

ELIMINERING AV STÖRNINGAR VID  
FÖRSEGLING MED ULTRALJUD

BENGT LEVIN

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK  
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
MARS 1981

<b>LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY</b> DEPARTMENT OF AUTOMATIC CONTROL Box 725 S 220 07 Lund 7 Sweden		Document name Master Thesis
		Date of issue March 1981
		Document number LUTFD2/(TFRT-5244)/1-039/(1981)
Author(s) Bengt Levin		Supervisor Lars Pernebo
		Sponsoring organization
Title and subtitle Eliminering av störningar vid försegling med ultraljud (Elimination of disturbances at sealing with ultrasound)		
Abstract Packages made of plastics may be welded by ultrasonic. An electrical signal with high energy is converted in a piezoelectrical crystal to a mechanical vibration. If this motion is transmitted to the plastic, it will generate heat. When heating the plastic it melts and two pieces can be welded together. The amount of heat transferred is proportional to the welding time. To get a proper joint the welding time should not be too short neither too long. In this case the joint will be rigid and fragile.  Due to influence of disturbances (changes in line voltage, pneumatic pressure etc), the quality of the joint changes of a constant welding time is used. The influence will be eliminated if the supplied energy is measured and the welding is terminated when a certain amount of energy is transferred to the joint.  A design has been done in accordance with the princip mentioned above and the thesis has been proved.		
Key words		
Classification system and/or index terms (if any)		
Supplementary bibliographical information		
ISSN and key title		ISBN
Language Swedish	Number of pages 39	Recipient's notes
Security classification		

DOKUMENTATABLAD RT 3/81

Distribution: The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Telex: 33248 lubbis lund.

ELIMINERING AV STÖRNINGAR VID  
FÖRSEGLING MED ULTRALJUD

AV

BENGT LEVIN

EXAMENSARBETE UTFÖRT 1980-1981

<u>Innehållsförteckning</u>	<u>Sid</u>
SAMMANFATTNING.....	2
Kapitel 1 - INLEDNING.....	3
Kapitel 2 - TETRA KING.....	4-11
Kapitel 3 - PROBLEMFÖRMULERING.....	12
Kapitel 4 - PROBLEMLÖSNING.....	13-33
Kapitel 5 - FÖRSÖK.....	34-37
Kapitel 6 - SLUTSATSER.....	38
REFERENSER.....	39
BILAGA 1: Komponentförteckning	

## SAMMANFATTNING

Tetra Pak Development AB arbetar bl a med konstruktion och utveckling av maskiner och material för företagets olika förpackningar. En av dessa, Tetra King, tillverkas av en polymer XPS (expanderad polystyren), se fig 2.

Hopfogning och påfyllning av vätska sker i maskin enligt figur 1. Förslutning sker genom att de skarvar som är markerade i fig 2, svetsas ihop med hjälp av ultraljud. Uppbyggnaden av apparaturen som utför förseglingen finns beskriven i fig 3. Den elektriska signal som genereras av ultraljudsaggregatet, omvandlas i convertern till en vibrationsrörelse. Booster och Horn överför vibrationer till det material som skall förseglas. Hornet pressas dessutom mot XPS-materialet mha ett pneumatiskt tryck. I materialet genererar vibrationsrörelsen friktionsvärme som smälter materialet, så att en försegling uppstår. Är förseglingstiden för kort blir skarven otät, är tiden för lång mister skarven sin elasticitet, blir spröd och går lätt sönder. En anpassad tid ställs in mha en timer för varje ny rulle XPS-material som matas in i maskinen.

Vid försegling av förpackningarna uppstår läckage, beroende på att nätspänningen och det pneumatiska trycket varierar på ett icke predikterbart sätt. Variationerna fungerar som störningar vid ultraljudsförseglingen. Examensarbetet syftar till att eliminera dessa störningar. Använd lösningsprincip bygger på att förseglingstiden anpassas så att samma mängd energi hela tiden tillförs skarvarna. Detta realiserar genom att den uteffekt som ultraljudsaggregatet genererar mätes, integreras och jämföres med ett referensvärde. Mätningen sker under övervakning av en styrenhet. Blockschema se fig 7. Inkoppling av konstruktionen i befintligt system sker i enlighet med fig 6.

Mätningar och försök har utförts vid en labuppställning, som är en identisk kopia av den apparatur som utför förseglingarna i Tetra King-maskinen. Försök som utförts med modifierad systemuppställning visar att variationer av pneumatiskt tryck och nätspänning, elimineras genom en ändrad förseglingstid. Se fig 20 resp fig 21. I båda försöksserierna har värdet varierats ca 10 % mellan de olika mätningarna. En osäkerhetsfaktor finns i de presenterade resultaten då bedömningen av förseglingarnas kvalitet har skett enligt en erfarenhetsmässig metod som används av Tetra Pak. Det har därvid inte kunnat undvikas att bedömningen till viss del blivit subjektiv.

Dokumentationen av försöksresultatet har ej kunnat utföras i önskad omfattning då nödvändig mätutrustning varit indisponibel, när dessa mätningar skulle utföras.

INLEDNING

Arbetet har utförts som examensarbete vid institutionen för Reglerteknik, LTH, i samarbete med Tetra Pak Development AB. Handledare har Tekn Dr Lars Pernebo resp civ ing Åke Blomqvist och civ ing Istvan Vuk varit.

Målsättningen har varit att förbättra de förseglingar som försluter en av Tetra Paks förpackningstyper. För närvarande har man problem med läckage, då olika parametrar under driftsförhållanden ändras på ett icke predikterbart sätt. Arbetet har utförts enligt en ny metod att angripa problemställningen. De resultat som presenteras skall därför inte ses som absoluta, utan får endast anses vara indikationer på en möjlig problemlösning. Den övervägande delen av arbetet har varit av praktisk natur. Det har till stor del bestått i att utföra mätningen och realisera en konstruktion. Dokumentationen är en sammanställning av förutsättningarna, underlag för kretslösningarna och framtagna resultat.

Dispositionen är följande: I kapitel 2 beskrivs aktuell maskintyp och den apparatur som utför förseglingen. En problemformulering ges i kapitel 3. Lösningsprincip och beskrivning av byggd konstruktion sker i kapitel 4. I kapitel 5 görs en genomgång av de försök som har utförts. Slutligen ges i kapitel 6 en sammanfattning av de slutsatser som har framkommit.

Ett varmt tack till Institutionen för Reglerteknik och Tetra Pak Development AB för hjälp och råd vid genomförandet av examensarbetet.

Amm: Dokumentationen av mätresultaten är inte gjord i önskvärd utsträckning. Detta har inte kunnat ske, då nödvändig mätutrustning inte har varit tillgänglig under arbetets slutskede.

### TETRA KING

Tetra Pak utvecklar och konstruerar maskiner för automatisk fyllning och försegling av sina förpackningstyper. Innehållet i förpackningarna varierar och kan t ex vara mjölk, juice eller vin. Maskinerna är en komponent i större distributionssystem som Tetra Pak säljer över hela världen. En av förpackningstyperna, Tetra King, produceras endast för export. Förpackningsmaskinen finns avbildad i fig 1. Försegling av de sista skarvarna sker vid pilen. Tetra King förpackningen är avbildad i fig 2. De längsgående skarvarna, vars kvalitet skall förbättras, försluts efter påfyllning. Se pilmarkering.

### Presentation

Tetra King maskinens arbete kan indelas i ett antal moment:

- Hopmontering av förpackningen. De olika delarna antyds i fig 2
- Försegling av alla skarvar utom i fig 2 markerade
- Påfyllning av vätska genom de ännu ej förseglade skarvarna
- Försegling av de sista skarvarna

Maskinens arbete styrs av en PLC (Programmable Logic Controller) utrustning, en 16 bitars dator där varje bit av utgångsordet motsvarar en fysisk funktion. Påfyllning av förpackningar sker 2 gånger per sekund. Den del av maskinen som utför de sista förseglingarna är uppbyggd enligt följande, se fig 3:

Varje gång försegling skall ske, ger en av PLC-utgångarna en positiv puls till en timer. Denna triggas på positiv flank och sluter en reläkontakt på sin utgång under en på förhand inställd tid. Inställbara tider är 200-400 ms. Reläet sluter en kontakt i ultraljudsaggregatet som genererar en ultraljudssignal på utgången så länge denna kontakt är sluten. Den elektriska ultraljudssignalen omvandlas i en converter (piezoelektrisk kristall) till en longitudinell vibration. Boostern och Hornet är speciellt utformade metallbitar, som skall överföra vibrationerna till det material som skall förseglas. Mothållet tjänar som stöd för materialet under förseglingen men påverkar även denna så till vida, att beroende på geometrisk utformning ger mothållet ett visst "svar" som har betydelse för slutresultatet.

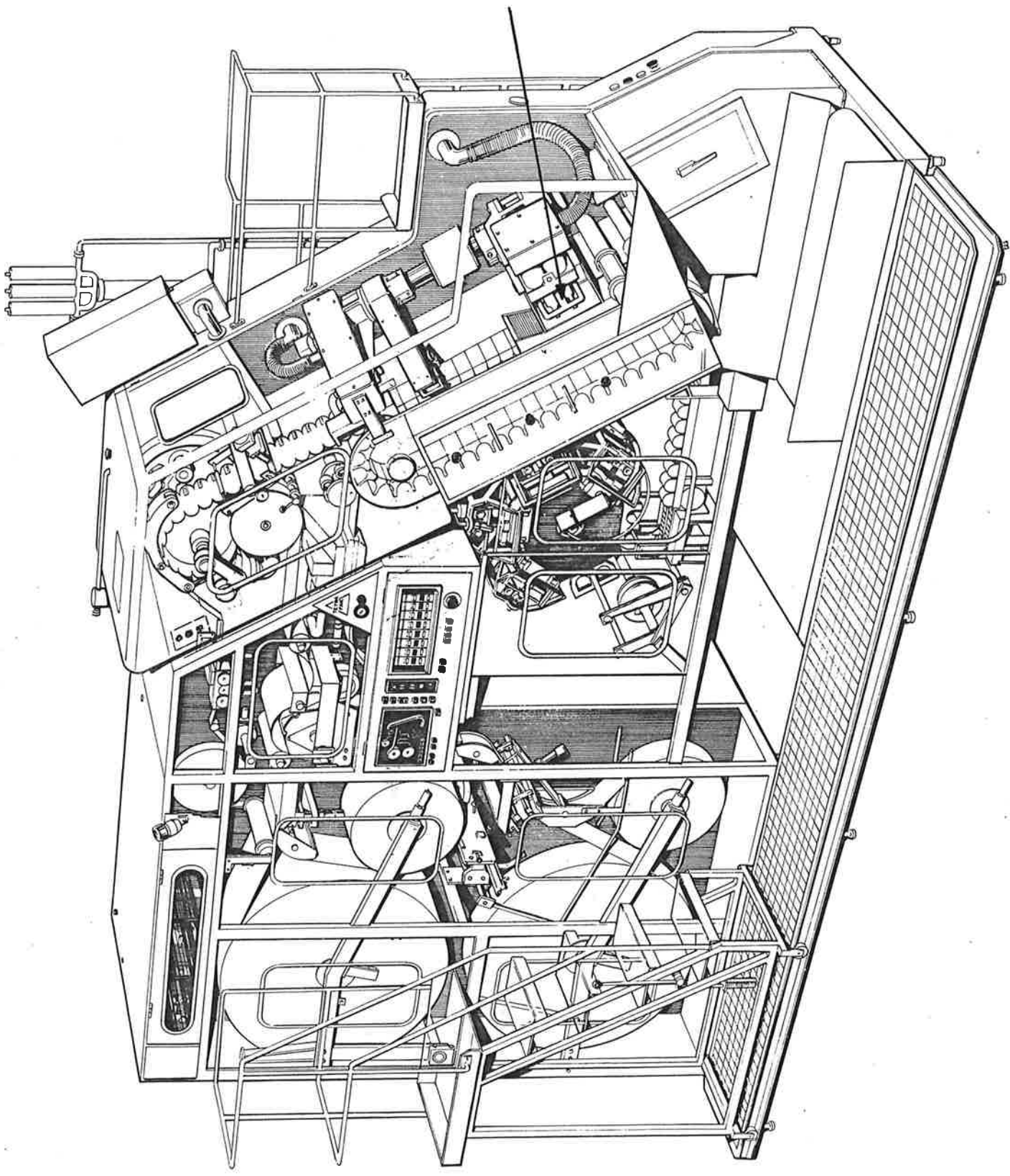


Fig 1. Tetra King förseglingsmaskin



© Tetra Pak AB 1982

**TETRA KING**  
**200-500 ml**

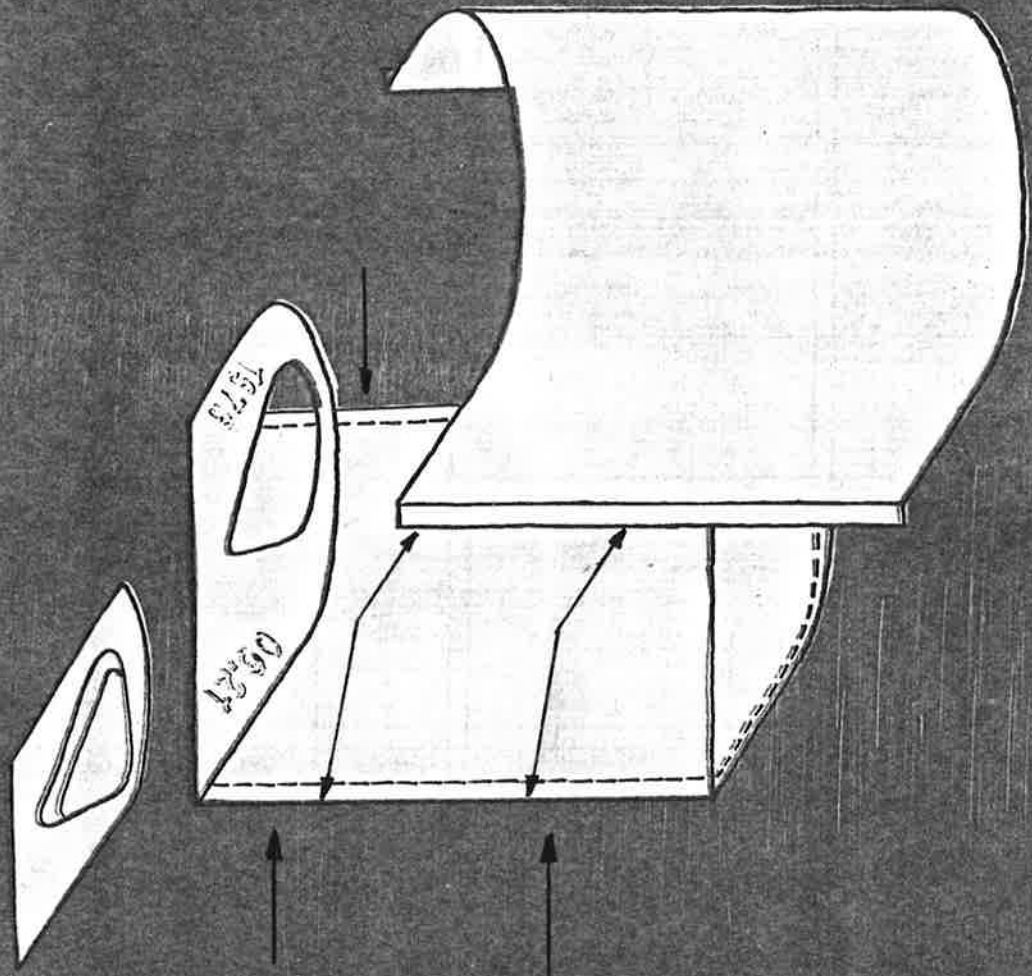
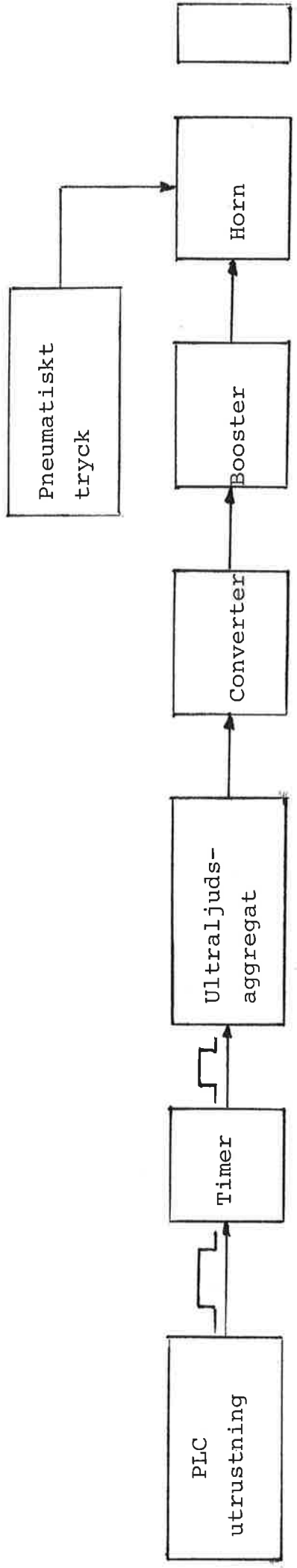


Fig 2. Tetra King förpackningen.



Mot-håll

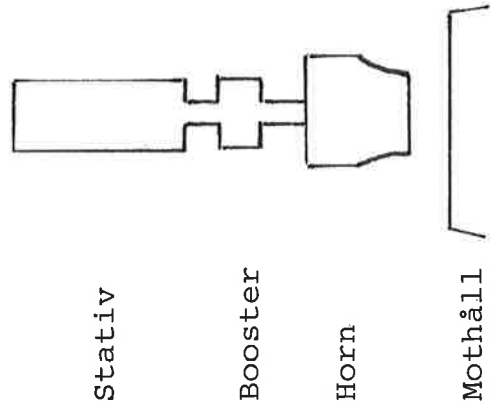


Fig 3.Apparatur för försegling och principbild av del av utrustningen.Triggpulserna är utsatta.

De fysikaliska förlopp som sker i Boostern och Hornet är inte klarlagda. Utformningen av dessa sker därför i stor utsträckning enligt en trial and error metod. Boostern fungerar som en amplitudomformare och anpassar ultraljudsvågorna, så att deras amplitud blir för Hornet lämpliga. Hornet är en halv våglängd långt och överför vibrationerna till materialet. Utformningen av Hornets anläggningsyta är alltså avgörande för förseglingens geometriska utformning. För att få en god överföring mellan Horn och material, pressas Hornet mot den yta som skall förseglas mha ett pneumatiskt tryck. Materialet kommer alltså under själva förseglingen att vara klämt mellan Horn och Mothåll genom ett yttre tryck. Ultraljudsvibrationerna kommer att vara överlagrade det yttre trycket.

Egenskaperna hos ultraljudsaggregatet och det fysikaliska förloppet vid en försegling, har stor inverkan på processens verkningssätt. De kommer därför att undersökas mer ingående.

#### Ultraljudsaggregatet

Aggregatet är av typ ULTRASONIC POWER SUPPLY MODEL 186 P och har väsentligen funktionen att omvandla nätspänningen 220 V, 50 Hz till en ultraljudssignal 20 000 Hz mot varierande spänning. Uteffekten är maximerad till 1400 W. Den piezoelektriska kristallens resonansfrekvens är bestämd till 19 900 - 20 000 Hz varför tillåten frekvensdrift i ultraljudsaggregatet är mycket liten. Utseendet av ström- och spänningssignalerna på utgången varierar kraftigt med den typ av belastning som Hornet utsätts för. Då Hornet vibrerar i vatten blir strömmen och spänningen störningsrika. Vattnet kommer i svängning genom Hornets vibrationer som härigenom kommer att möta olika belastning vid olika tidpunkter. En antydning till distortion kan även märkas. För principiellt utseende se fig 4a.

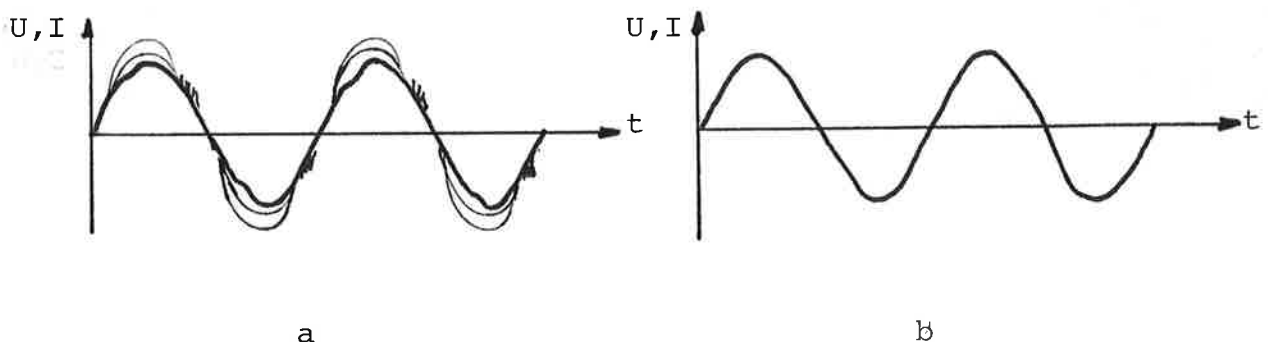


Fig 4. Principiellt utseende på ström och spänningssignalerna på ultraljudsaggregatets utgång

Belastas Hornet med fast material som t ex plaster, blir utsignalerna betydligt renare sinussignaler. Både ström och spänning varierar med ändrad belastning. Principiellt utseende visas i fig 4 b.

Försöken har gjorts vid den labuppställning som beskrivs senare. Mätningar av effektfaktorn då Hornet belastades med vatten har även utförts. Som mått på signalerna användes grundtonernas värde. Spänningen mättes mha en  $\times 100$  probe, strömmen mättes med en strömtång och ett litet motstånd anslutet över sekundärsidan. Effekten mättes med Wattmeter. Följande samhörande värden erhöles:

Spänning ( $V_{\text{eff}}$ )	Ström ( $I_{\text{eff}}$ )	Effekt (kW)
1500	1,5	1,4
1000	1,1	0,6
600	0,5	0,2

Ur enkla beräkningar fås att effektfaktorn  $\cos \phi \approx 0,6$  (kapacitiv).

#### Försegling med hjälp av ultraljud

Ultraljud kan vara av både longitudinell och transversell karaktär. Definitionsmässigt skall vågrörelsens frekvens vara lägst 20 000 Hz. Då ultraljud används för svetsning (försegling) av olika material uppnås följande fördelar:

Skarven är ren efter utförd svetsning  
Den mängd värme som genereras är liten

Genom att pressa Hornet mot de materialbitar som skall fogas samman, uppnås en god kontaktyta och en stor del av den energi som tillförts Hornet kan transmittas in i svetsområdet. Hornet får dock inte tryckas för hårt mot materialet. Är detta tryck större än tryckkraften från vibrationerna, avstannar dessa, då de inte kan upprätthålla en rörelse i den riktning som är motriktad det pneumatiska tryckets.

Det material som används i Tetra King förpackningarna är en polymer, XPS (Expanderad Polystyren). Då två XPS skivor utsätts för ultraljudsvibrationer, överförs inmatad effekt till friktionsvärme. Temperaturen i det område där Hornet ligger an ökar, och smältning inträder efter ett tag. De

båda materialen har nu svetsats samman med en tät skarv. Den energimängd (proportionell mot förseglingstiden) som tillförs skarven har både en undre och en övre gräns. Är tiden för kort smälter delarna inte ihop ordentligt och skarven blir otät. Blir tiden för lång bibehåller materialet inte sin elasticitet efter uppvärmningen och skarven blir spröd och hård.

Individuella variationer i skarvens kvalitet uppstår beroende på förändringar i XPS-materialet. Variationer i materialets struktur, ändringar i densiteten etc, ger olika slutresultat under i övrigt likvärdiga omständigheter.

Genom olika prov har det visat sig att bäst resultat erhålles om Hornet får börja svänga i luft, så att vibrationerna sker med maximal amplitud då Hornet kommer i beröring med materialet. Dessutom bör Hornet ligga kvar mot materialet under en kyltid, utan att svänga, efter att förseglingen har utförts. Effektkurvans förlopp visas i fig 5.

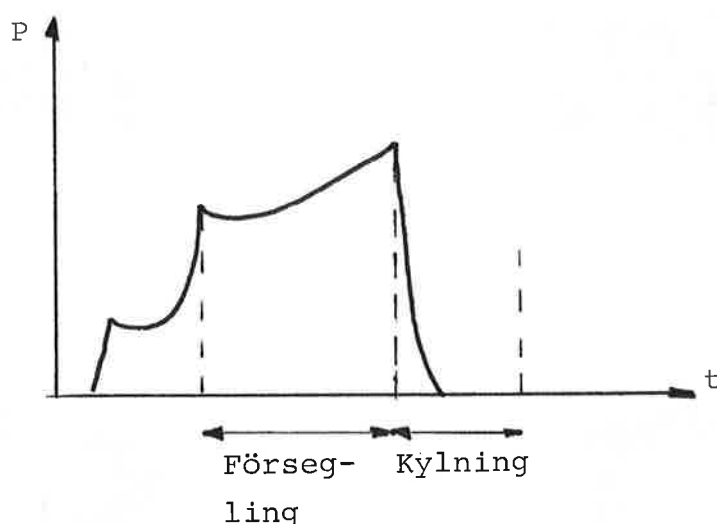


Fig 5. Effektkurva under ett förseglingsförlopp

#### Laboratorieuppställning

Alla försök och provningar som omnämnes har utförts vid en labuppställning av den del av Tetra King maskinen som utför förseglingarna. Uppställningens uppbyggnad är identisk med den i fig 2 angivna, om PLC-signalen ersätts med en tryckknapp. Med hjälp av tryckknappen öppnas en ventil till det pneu-

matiska trycket, ultraljudsaggregatet startas och den timer, T1, som bestämmer förseglingstiden sätts igång. Då Hornet har sänkts till materialet startas den timer, T2, som reglerar hålltiden (den tid Hornet ligger mot materialet kommer alltså inte att variera med svetstiden). Ultraljudsaggregatet kommer sedan att stoppas då T1 via en kontaktor ger order om detta och Hornet lyfts från materialet då den förinställda hålltiden är slut.

#### Under drift

Vid försegling i Tetra King maskinen sker processen enligt ovan beskrivna sätt. För att erhålla bra försegling sker en manuell inställning av förseglingstiden, då varje ny materialrulle matas in i maskinen. Skulle någon eller några parametrar förändras under driften sker en kontinuerlig justering av förseglingstiden. Metoden är rent erfarenhetsmässig och leder till att en alltför stor del av förseglingarna får en icke önskvärd kvalitet. De parametrar vars förändringar huvudsakligen inverkar är:

1. Det pneumatiska trycket
2. Nätspänningen
3. Densitet och strukturförändringar i materialet

PROBLEMFÖRMULERING

Sök en metod att genom en automatisk förändring av förseglingstiden kompensera förändringar i ovan nämnda parametrar (störningar) 1. och 2. Härvid kan följande antaganden och förutsättningar göras:

- Den energimängd som åtgår vid svängning i luft är konstant
- Ingen hänsyn tas till systemets dynamik eller Hornets och Boosterns verkningsgrad
- Fassettskillnaden mellan ström och spänning ut från ultraljudsaggregatet är konstant
- Föreslagen metod skall ej påverka sekvensstyrningen av maskinen

Den konstruktion som skall realisera föreslagen metod skall:

- Eliminera nätspänningsvariationer -15 % - +10 %
- Eliminera pneumatiska tryckvariationer  $\pm 10$  %
- Arbeta i temperaturintervallet -5°C - +65°C
- Arbeta i störningsrik miljö
- Ha egen strömförsörjning

Pga ekonomiska skäl kan ej eventuellt befintliga komponenter som finns ute på marknaden idag ej användas. Utvecklingsarbetet skall utföras utgående från elektriska standardkomponenter.

LÖSNINGSPRINCIP

Gör ansatsen att en försegling är av fullgod kvalitet då viss empiriskt bestämd energimängd har tillförts XPS-materialet. Ansatsen baseras på att försegling sker då de båda materialbitarna har värmts upp till en viss temperatur, och fått smälta samman under en viss tidsperiod. Den för denna process erforderliga värmemängden uppskattas genom att den energimängd som överförs till materialet mätes.

Den inverkan en förändring av nätspänningen har på av ultraljudsaggregatet avgiven effekt kommer att kompenseras av en ändrad förseglingstid. Hornets tryck mot materialet ändrar belastningen på Hornet och den effektöverföring som sker till materialet (se avsnittet försegling mha ultraljud). Denna ändrade effektöverföring ger ett temperaturförlopp som funktion av tiden i materialet. Genom ansatsen kommer ändringen i det pneumatiska trycket att ge en förändrad svetstid. Ultraljudets frekvens är 20 000 Hz och förseglingstiden är  $< 500$  ms, man kan därför anta att parametervariationerna (störningarna) sker långsamt i förhållande till de ovan nämnda tiderna. För att realisera principen förändras systemet som styr förseglingen enligt fig 6, där timern har ersatts av en styrenhet benämnd konstruktionen. Insignaler till konstruktionen är ström- och spänningssignalerna på ultraljudsaggregatets utgång. Dessa signaler kan användas då den energi som ultraljudsaggregatet genererar är proportionell mot den som Hornet överför till materialet enligt förutsättningarna. Ett referensvärde, som skall motsvara den energimängd man vill tillföra skarven, skall även kunna ställas in mha konstruktionen. Funktionen under en försegling skall vara:

- Starta ultraljudsaggregatet då PLC-signalen går hög
- Mät till skarven utmatad energi mha  $U(t)$  och  $I(t)$
- Slå av ultraljudsaggregatet då önskat referensvärde är uppnått

Dessutom skall konstruktionen tvångsmässigt avbryta förseglingen då denna har pågått så länge att PLC-signalen går låg (nästa delmoment i Tetra King maskinens arbete skall då utföras).

Sök en matematisk beskrivning av konstruktionen under förutsättning att ström- och spänningssignalerna är sinusformade med konstant amplitud (ideala fallet).



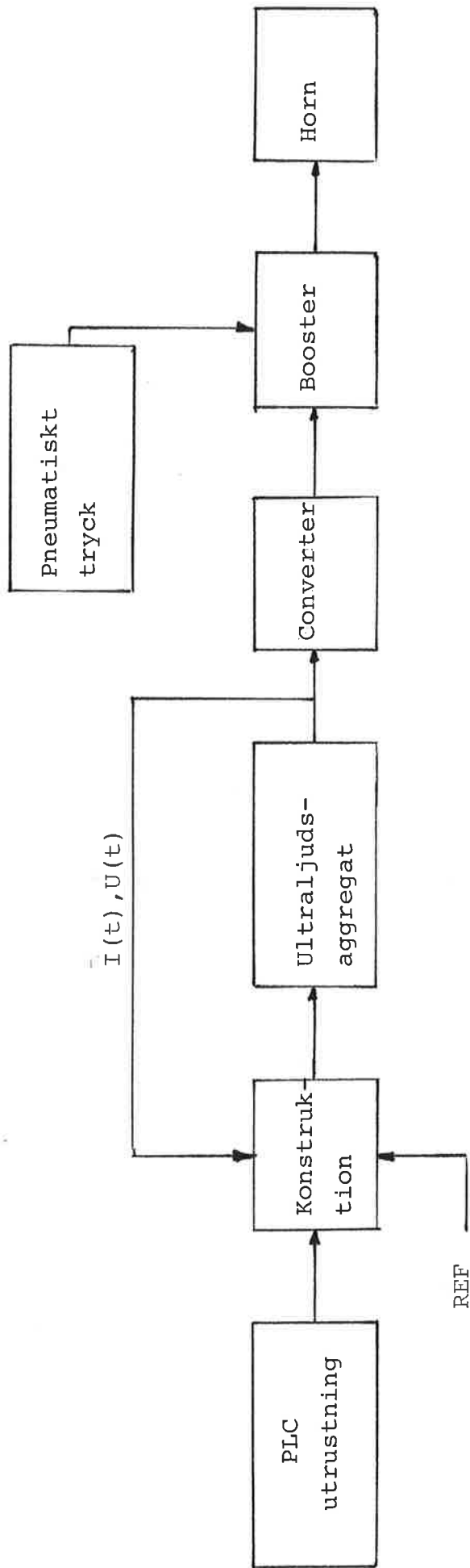


Fig 6. Systemuppbyggnad med konstruktionen insatt.

Spänning  $U(t) = U_0 \sin (wt + \phi)$

Ström  $I(t) = I_0 \sin wt$

$$W(t) = \int_0^t P(t)dt = \int_0^t U(t)I(t)dt = U_0 I_0 \int_0^t (\sin^2 wt \cos\phi + \sin wt \cos wt \sin\phi) =$$

$$= U_0 I_0 \int_0^t \left[ \frac{1}{2}(1 - \cos 2wt) \cos\phi + \frac{1}{2} \sin 2wt \sin\phi \right] =$$

$$= U_0 I_0 \left[ \frac{1}{2} \cos\phi \cdot t + \frac{1}{4} w (\sin\phi - \sin(2wt + \phi)) \right] \quad \text{men } \frac{1}{4} w \approx 2 \cdot 10^{-6}$$

varför  $w(t) \approx U_0 I_0 / 2 \cos\phi t$

Resultatet av en idealiserad svetsning blir enligt fig 7.

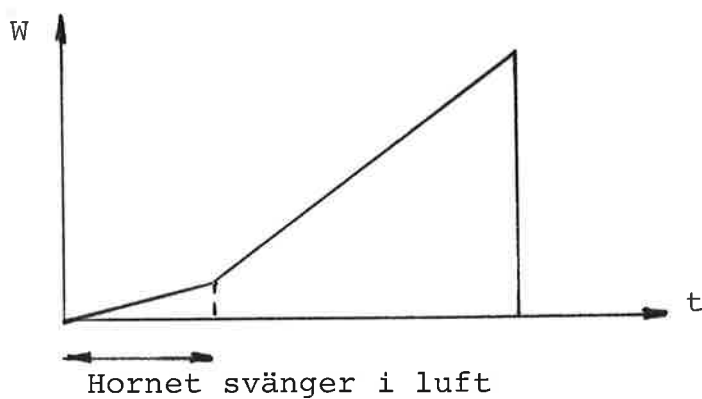
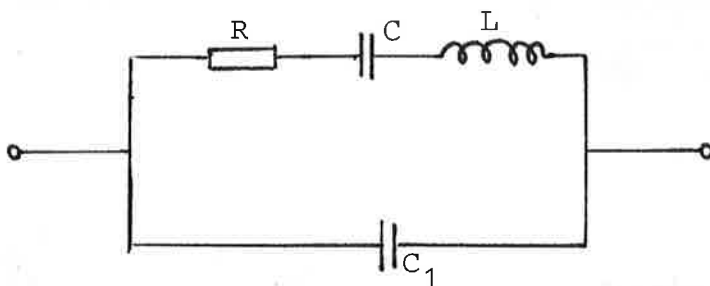


Fig 7. Energitillförsel till XPS-materialet vid försegling

Den matematiska behandlingen ger att ström, spänning och deras inbördes fasförskjutning måste mätas på ett linjärt, tidsinvariant sätt. Justering av spänningsnivåer kan sedan ske internt i konstruktionen, så att lämpliga nivåer erhålles då  $W(t)$  skall jämföras med referensvärdet. Det icke ideala fallet då sinussignalernas amplituder varieras, ändras inget i den matematiska behandlingen då beräkningarna utgår från momentanvärden.

Fasförskjutningen antages vara i princip konstant vid kontinuerlig drift. Den belastning ultraljudsaggregatet känner, och som även ger upphov till fasförskjutningen, är den piezoelektriska kristallen. Denna har enligt fabrikantens anvisningar en mycket väldefinierad resonansfrekvens. Skulle argumentet för kristallens impedans ändras måste även dess resonansfrekvens ändras, vilket strider mot förutsättningarna. Se även ekvivalentschemat i fig 8. Kristallen kan åskådliggöras som en LC-baserad resonanskrets.



- L : Elektrisk analogi för massa
- R : Elektrisk analogi för friktion
- C : Elektrisk analogi för elasticitet
- $C_1$  : Kapacitans mellan yttre elektroder

Fig 8. Elektriskt ekvivalentschema för en piezoelektrisk kristall

Ovanstående resonemang ger följande blockschema för konstruktionen, se fig 9. Styrenheten skall arbeta i realtid med diskreta signalnivåer och skall realisera de tre funktionssteg som beskrivits tidigare. Insignaler är PLC-utgången och komparatorns utgång (komparatorn slår om då  $W(t) = REF$ ). Utsignaler är SWITCH som sluter integratorns ingång och startar själva effektmätningen. RELÄ sluter den styrkrets som aktiverar ultraljudsaggregatet. Detta måste ske via ett relä då spänningsskillnaden mellan aggregatets kontaktpoler är 110 VAC.

Insignaler till konstruktionens mätmedel är strömmen och spänningen från ultraljudsaggregatet. Två givare skall överföra dessa parametrar till konstruktionen. Signalerna måste dämpas till sådana värden att svagströmselek-

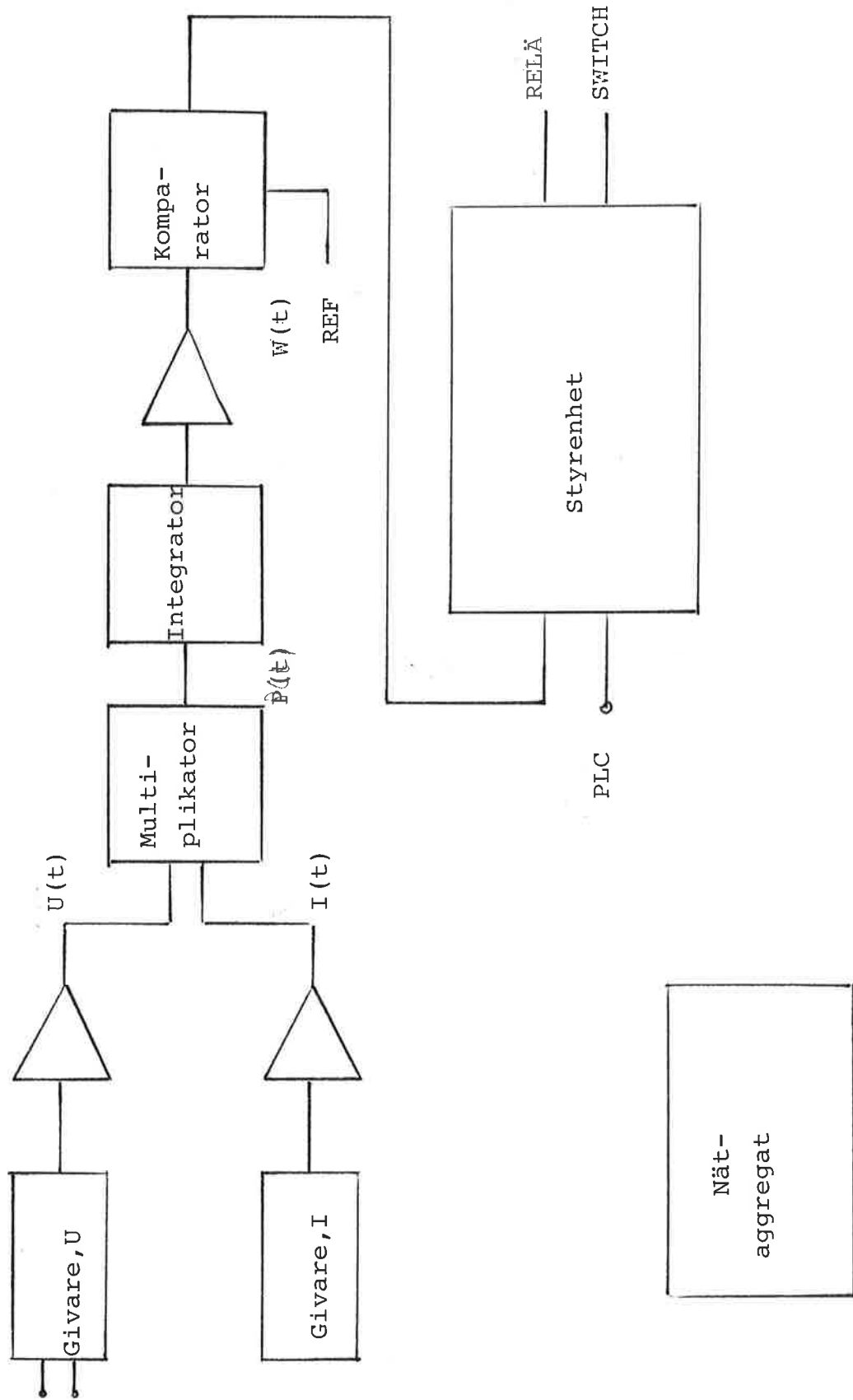


Fig 9. Blockschema över konstruktionen

troniken kan hantera dem. Givarna placeras i Tetra King maskinen på sådant sätt att en enkel inkoppling på ultraljudsaggregatets utgångskabel kan ske. Konstruktionen kan sedan placeras tillsammans med övrig elektronik i maskinen. Viss vaksamhet måste iakttagas så att ledningarna mellan givare och konstruktion inte blir för långa. Störningen kan lättare induceras i ledningarna. Problem med strökapacitanser kan även uppstå då signalerna är relativt högfrekventa. Följande krav ställs på givarnas funktion:

- Signalen skall överföras linjärt och tidsinvariant oberoende av kurvform, samma krav gäller även för signalernas fasvinkel. Den totala förändringen av fasskillnader får inte vara sådan att  $\phi \rightarrow 90^\circ$
- Givarna får ej belasta ultraljudsaggregatets utgång

Uppbyggnaden av mätdelen i övrigt sker enligt den tidigare uppställda formeln för  $W(t)$ .

#### Val av spänningsgivare

Flera grundprinciper är aktuella vid val av spänningsgivare:

- Induktiv (transformator)
- Kapacitiv (spänningsdelning mellan kondensatorer)
- Resistiv (spänningsdelning mellan motstånd)

Transformatorn kan utformas så att den får goda högfrekvenssegenskaper. Grundtonen på 20 000 Hz kan överföras utan att distortion uppstår (den ojämförligt största delen av den energi som påverkar kristallen överförs i grundtonen). Nackdelen med transformatorn är att dess inre resistans på primärsidan ligger i  $k\Omega$  området och kommer att belasta aggregatets utgång. En specialbyggd transformator vars primärsida skulle klara av ställda krav, är inte möjlig ur ekonomisk synvinkel. De kapacitiva givarna kan göras höghögiga och är mycket billiga. Den högimpediva kopplingarna besväras dock av inverkan från strökapacitanser. Kopplingen färförskjuter även signalen ca  $90^\circ$ . Som spänningsgivare väljes en motståndskedja enligt fig 10. Kopplingen kan göras godtyckligt höghögig. Försök visar att inverkan av strökapacitanser ej har någon avgörande inverkan på givaren.

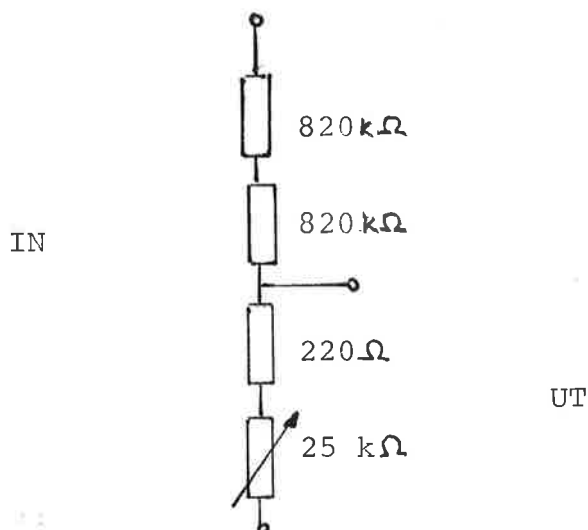


Fig 10. Spänningsgivare. Potentiometern används vid injustering

Välj i enlighet med ovanstående resonemang en resistiv givarkoppling. Väljes motståndsvärden som i fig 10 kommer aggregatet att belastas med ca 1,6 M $\Omega$  vilket får anses vara ett acceptabelt värde. Effektförlusterna i de höghmiga motstånden blir:

$$P < U_e^2 \max / 482 \text{ k} = 1,2 \text{ W} \quad \text{då } U_e \max = 2000 \text{ V}$$

Välj 820 k $\Omega$  motstånden med 5 W övre effektgräns

Konstruktionen skall arbeta i mycket störningsrik miljö. Filtrera därför den signal som fås efter spänningsdelning. Utforma filtret mha en operationsförstärkare. Den dämpning som ett RC-nät skulle infört kan nu elimineras. För att förstärkarkopplingen inte skall ändra givarens spänningsdelning införs ett höghmigt ingångsmotstånd (R4). Se kretsschema fig 11. Vid val av operationsförstärkare är frekvensgången kritisk parameter. Använd slew rate som ett mått på förstärkarens förmåga att hantera snabba signaler. Välj den vanligaste operationsförstärkaren  $\mu\text{A} 741$ . Intressant frekvens är 20 000 Hz,  $T = 1/f = 50 \mu\text{s}$ . Ur datablad fås att min slew rate är 0,7 V/ $\mu\text{s}$ . Då sinussignalen går från 0 V till maxvärde på  $1/4T$  sek fås att max insignal =  $0,7 \cdot 12,5 = 8,75 \text{ V}$ . Detta visar sig vara ett tillräckligt värde. För att filtrera signalen kompletteras förstärkarkopplingen med en kondensator mellan in- och utgång. Följande överföringsfunktion erhålls då:

$$H(j\omega) = - \frac{R5/j\omega C1}{R4 + 1/j\omega C1} = \frac{R5}{R4 (1 + j\omega R5 C1)}$$

Väljes  $R4 = R5 = 47 \text{ k}\Omega$  och  $C1 = 68 \text{ pF}$  blir brytfrekvensen 50 kHz

( $\omega RC = 1$  ger brytfrekvensen)

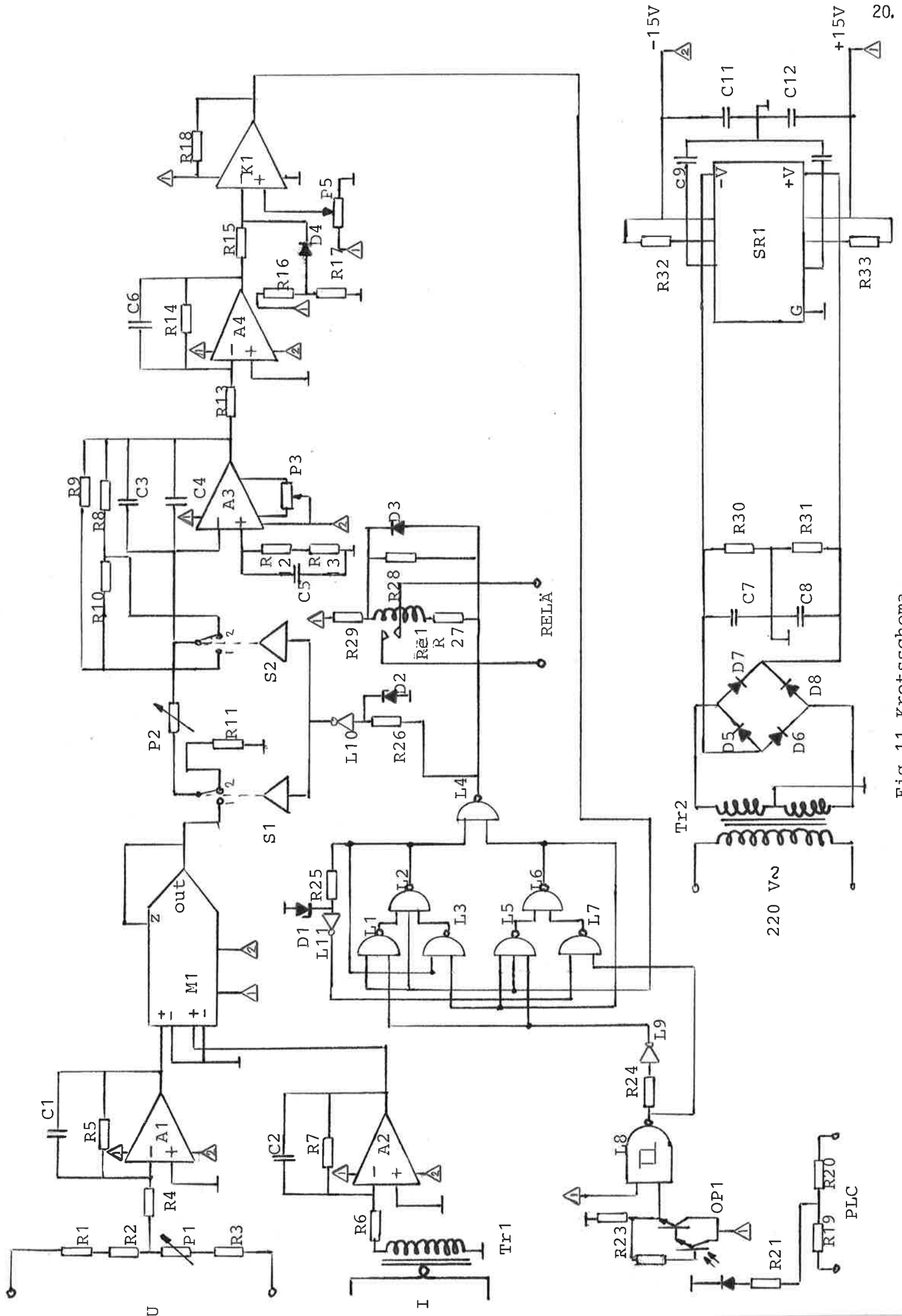


Fig 11. Kretsschema.

### Val av strömgivare

Strömgivare kan konstrueras på ett par olika sätt:

- Resistivt (spänningsfallet över ett mycket litet motstånd i serie med ultraljudsaggregatets utgång mätes. Spänningsfallet blir proportionellt mot strömmen i ledningen).
- Induktivt (strömtransformator där transformatorns primärlindning utgörs av aggregatets ena kabel virad ett godtyckligt antal varv kring transformator kärnan).

Den resistiva givaren ger en utsignal som måste tas ut mha en differentialsförstärkare, då ingen av motståndets anslutningar får jordas. En nackdel är att ingrepp på aggregatets utgång måste göras. Huruvida detta alternativ skulle kunna påverka den piezoelektriska kristallen är inte klarlagt. Välj därför en strömtransformator som tar ut signalen induktivt. Enligt uppgift från Transduktor Winding AB skall en liten ferritkärna (Transduktor 111648) väl klara av ställda frekvenskrav. En nackdel är dock att strömtransformatorer måste arbeta med sekundärsidan i det närmaste kortsluten för att eliminera risken att stora spänningar induceras i sekundärlindningen.

Vid dimensionering fås enklaste fallet om antalet varv på primärsidan väljes till ett. Bestäms antalet varv på sekundärsidan till 50 kommer givaren att ge ett nerskalat värde till konstruktionen som ligger inom kretsarnas arbetsområde.

Signalen ut från transformatorn skall omvandlas till en spänning och anpassas till en lämplig nivå. Detta sker genom att signalen får passera genom ett filtrerat förstärkarsteg. Dimensioneringen följer samma kriterier som uppställts vid beräkning av spänningsgivarsteget.

Förstärkare  $\mu A$  741. Minusingången är virtuell jord, dimensionera ingångsmotståndet ( $R_6$ ), så att maximala spänningsfallet blir ca 0,5 V.

$I < 50$  mA. Ohms lag:  $0,5 = 0,05 \cdot R_6$ ,  $R_6 = 10\Omega$ . Försök har visat att lämplig signalnivå erhålles om förstärkningen väljes till ca 80 ggr. Välj därför  $R_7 = 820\Omega$ . Välj  $C_2 = 2,7$  nF för att få lämplig brytfrekvens.



Inkoppling av givarna på ultraljudsaggregatets utgång sker på det sätt som visas i fig 12. Kabeln ut från aggregatet skarvas och en mätplatta införes på vilken uppkoppling av givarna kan ske.

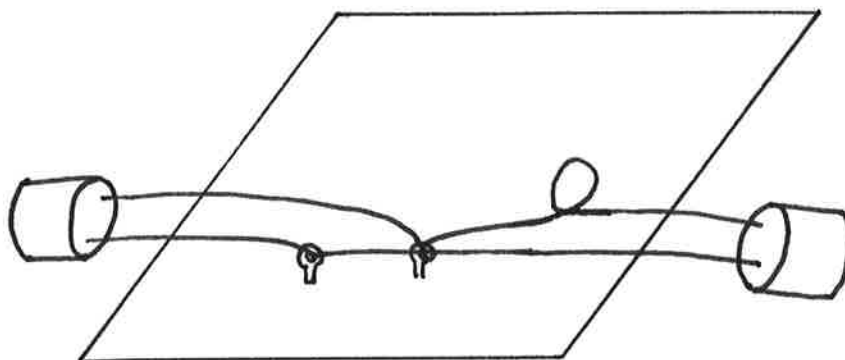


Fig 12. Kopplingsplatta för inkoppling av spännings- och strömgivare

Mätningar visar att de ändringar av fasvinkeln som spänningsgivaren (pga strökapacitanser) och strömgivare (induktiv koppling) inför, inte nämnvärt påverkar fasskillnader mellan de bägge signalerna.

### Multiplikator

Spänningens och strömmens ögonblicksvärden skall multipliceras. Detta måste ske med hög precision då annars en felsignal introduceras tidigt i kretsen och kan förstärkas så att ett felaktigt slutresultat fås. Välj en multiplikator i integrerat utförande som är utrustad med intern trimning.

AD 532 DS uppfyller ställda krav. Kretsen har följande egenskaper:

Utsignal :  $X \cdot Y/10$

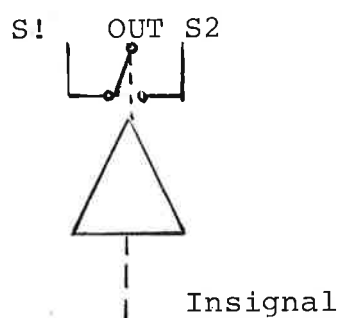
Noggrannhet:  $\pm 1\%$  då insignalens frekvens  $< 100$  kHz

Förtrimmad

För att uppfylla ställda temperaturkrav, välj den militära versionen. Ändringar i den angivande temperaturen ger upphov till ett fel  $< |1,5\%|$ . Kretsens totala olinjäritet är alltså mindre än  $\pm 2,5\%$ , vilket är ett acceptabelt värde. Inkopplingen enligt anvisningar i datablad.

### Analoga switchar

Under de tidsintervall försegling inte sker skall förbindelsen mellan multiplikatorns utgång och integratorns ingång vara bruten. Brytarens läge styrs av styrenhetens SWITCH-signal. En annan brytare skall tillse att integratorns kapacitans kan laddas ur efter avslutad integrering (försegling). Som brytare kan både relä och analoga switchar användas. Ett relä är robust och kan styra stora spänningar men har en lång till- och frånslagstid som dessutom varierar i längd. Då reläet släpper kan störningsspikar genereras, som dels kan förstöra styrlogiken och dels kan uppträda som störningar i mätdelen. En analog switch har ett snabbt och distinkt till- och frånslag men är känsligare, endast en begränsad ström får flyta genom komponenten. Då de analoga switcharnas egenskaper passar bäst in i konstruktionen väljes dessa. Beteckning AD 7512 DS. En kapsel innehåller de två switchar som erfordras i konstruktionen. Komponentens fördelen är att slå om mellan två olika poler i stället för att enbart sluta en kontakt, se fig 13.



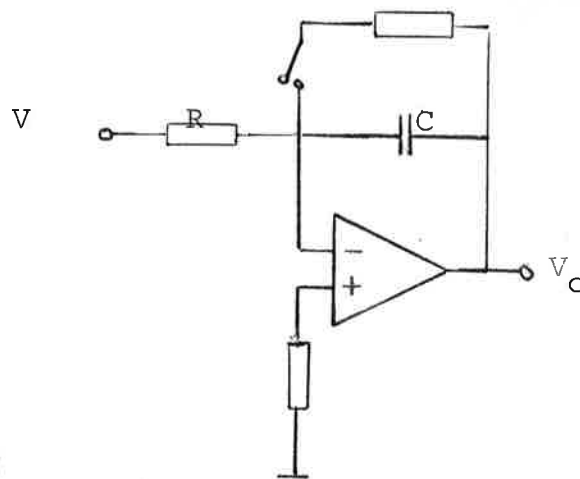
Insignal HIGH(15V):OUT till S1  
LOW(0V) :OUT till S2

Fig 13. Schematisk bild av analog switch AD 7512

Omslag styrs mha en binär signal på ingångsbenet. Signalnivåerna är 0 och 15 V. Kapseln är av militär standard för att uppfylla temperaturkraven. Chipet är tillverkad med CMOS teknik, vilket gör switchen mindre störningskänslig. Se vidare diskussion under styrenheten. Switcharna är i kretschemat betecknade med S1 och S2. Inkopplingen av dem beskrivs nedan.

### Integratorn

Integratorn är konstruktionens kritiska del. En korrekt signalbehandling är nödvändig för att slutresultatet skall bli rätt. Vid användning av integratorer baserade på operationsförstärkare uppstår ofta problem att kretsen driver pga offsetspänningar och offsetströmmar hos förstärkaren. Grundkonstruktionen måste vara sådan att den kompenserar för ändringar och drift av dessa parametrar. Enligt Smith (se ref lista) kan acceptabelt resultat erhålls enligt fig 14.



Figur 14. Grundkoppling av integrator

Utsignalen blir då

$$V_0 = - 1/RC \int V_i dt - i_n^+ R + 1/C \int (i_n^- - i_n^+) dt$$

Där  $i_n$  in är strömmarna som går in på förstärkarens plus- resp minusingång.

Försök visar att problem med drift samt långtidsstabilitet inträffar om operationsförstärkare av typ  $\mu A$  741,  $\mu A$  748 etc används. Välj därför en bredbandig, höghögig JFET operationsförstärkare typ LF 351. Denna krets har mycket små offsetspänningar och offsetströmmar. Tillsammans med yttre stabiliseringskomponenter har de negativa egenskaper som nämnts ovan eliminerats. Insignalen till integratorn är en produkt av två 20 kHz sinussignaler, som väsentligen är en 40 kHz sinussignal, se fig 15.



Fig 15. Plottning av integratorns insignal. Frekvens 40 kHz

Kontrollera att LF 351 slew rate uppfyller ställda krav. Utsignalen från givaren är maximalt 9 V, på multiplikatorns utgång kommer maximalt att ligga  $9 \cdot 9 \cdot 10 = 8,1$  V. För att LF 351 skall klara av en spänningsökning av 8 V på  $1/4$  periodtid (ca  $6 \mu\text{s}$ ), krävs en slew rate större än  $1,4 \mu\text{s}$ . Parametern är  $13 \text{ V}/\mu\text{s}$  enligt datablad. Förstärkaren kommer inte att distordera signalen.

Integratorn kan beroende på de analoga switcharnas lägen inta två tillstånd. Då integratorn arbetar laddas kapacitansen C3 (enl kretsschema) kontinuerligt upp eller vilande tillstånd då C3 antingen laddas ur eller hålles urladdad i väntan på att nästa positiva PLC flank skall ge order om integrering. Vid integrering går signalen via P2 och laddar upp C3 =  $1 \mu\text{F}$ . Styrsignalen på switcharna är hög och S1 står i läge 1 och S2 i läge 2 enligt kretsschema. R8 är höghögt och skall endast verka stabiliserande. Utsignalen kommer även att vara förstärkt och fasvänd, se formel för integratorns signalbehandling. P2 är tillsammans med C3 de förstärkningsbestämmande komponenterna. Förseglingsprov på labplatsen har visat att  $P2 = 68 \text{ k}\Omega$  ger en bra spänningsnivå på utsignalen. Tidskonstanten blir då  $P2C3 = 0,07 \text{ s}$ . För att förhindra att störningen kopplas genom kopplingen (C3 är av polyestertyp) har parallellt över C3 kopplats en av RIFA:s metalliserade polyesterkondensatorer, C4, som har en mycket god störningsdämpning.  $C4 = 0,1 \mu\text{F}$  är 10 gånger mindre än C3 och har liten inverkan på återkopplingens totala kapacitans. Vid urladdning av integratorn laddas C3 ur via  $R9 = 390 \Omega$ . Tidskonstanten är  $C3 R9 = 0,4 \text{ ms}$  och integratorn är klar för en ny integrering i princip omedelbart efter att

den tidigare har avslutats. Strömmen genom switch S2 blir maximalt  $15/390 = 40$  mA om integratorn är uppladdad till maximal utspänning. Switchen tål en kontinuerlig ström 50 mA. Vid urladdningen står switcharna S1 i läge 2 och S2 i läge 1. S1 ansluter via ett litet motstånd, R11, integratorns ingång till jord. På så sätt förhindras inverkan av spänningen som kan ladda upp C3 då integratorn ej arbetar. R10 är höghohmig och skall förhindra att R9:s ena anslutning hänger fritt under de tidsintervall integration sker. R9 skulle annars kunna uppta induktivt kopplade störningar. Då  $R10 = 8,2 \text{ M}\Omega$  är större än R8 inverkar den inte på kopplingen i övrigt.  $R12 = 56 \text{ k}\Omega$  och  $P4 = 25 \text{ k}\Omega$  skall förhindra inverkan av differentiella insignaler. Dimensioneringen är gjord enligt Smith. För att störningar inte skall kunna kopplas in via förstärkarens plusingång har en kondensator, C5, kopplats mellan utgången och jord.  $C5 = 15 \text{ nF}$ .

$P3 = 50 \text{ k}\Omega$  är en 15-varvig trimpotentiometer för justering av förstärkarens offsetspänning. Inkopplingen är hämtad ur datablad för LF. För övriga komponentvärden se komponentförteckningen bilaga 1.

### Förstärkarsteg

Utsignalen från integratorn blir negativ (energin är positiv och operationsförstärkarna skiftar tecken mellan in- och utsignal). Komparatorn skall arbeta med positiva insignaler. Tecknet på integratorns utsignal ändras mha ett efterföljande förstärkarsteg. Uppkoppling sker som ett invertterande förstärkarsteg där signalen LP filtreras. Val av förstärkare är ej kritisk då insignalen är en monotont växande likspänning. Välj därför  $\mu\text{A} 741$ . Dimensioneras motstånden  $R13 = R14 = 33 \text{ k}\Omega$  och kondensatorn  $C6 = 22 \text{ nF}$  fås en brytfrekvens på ca 200 Hz. C6 väljes som en av RIFA:s metalliserade polyesterkondensatorer.

### Komparatorn

Den spänning som representerar energin skall jämföras med ett referensvärde och indikering skall ske då dessa signaler är lika stora. Referensvärdet är den spänning som justeras in så att resulterande förseglingskarv både blir tät och behåller sin elasticitet. Inställning skall vid kontinuerlig drift av Tetra King maskinen göras av operatören mha en graderad ratt på instrumentpanelen. Referensspänningen erhålles genom att en potentiometer, P5, inkopplas mellan +15 V och jord. P5 är en  $50 \text{ k}\Omega$  fler-varvig potentiometer. Komparatorns parametrar är inte kritiska. Vald krets

i konstruktionen är LM 3302. Uppkopplingen görs enligt anvisningen i datablad. Med  $R18 = 100 \text{ k}\Omega$  fås en koppling som är anpassad till att driva CMOS logik (se vidare under styrenheten). Komparatorns utgång är hög (15 V) så länge referensvärdet är större än signalen på minusingången. Komparatorn slår om då signalerna på ingångarna är lika stora. Omslagstiden  $1,5 \mu\text{s}$  är försumbar. Vald komparator är känslig för negativa signaler på ingången. Förstärkarstegets utgång klampas därför med en diod som förspännes så att den börjar leda om signalen till komparatorns minusingång blir mindre än 0 V. Enligt datablad slår komparatorn om då signalen är mindre än  $-0,5 \text{ V}$ . Välj en snabb switchdiod så att även inverkan av snabba flanker kan dimensioneras, 1N 6263 är en Schottkydiod byggd som metall-halvledarkontakt. Den har liten kapacitans och därför snabba omslagstider och kräver lägre framström än andra dioder för att vara fullt ledande. Dioden börjar leda vid  $0,3 - 0,4 \text{ V}$  i framriktningen. Dimensioneras förspänningen  $R16 = 8,2 \text{ k}\Omega$ ,  $R17 = 220 \Omega$ , börjar dioden leda då komparatorns ingångssignal är  $-0,1 - 0 \text{ V}$ .

#### Summering av mätdelens funktion

Utsignalen från förstärkarsteget är den mätsignal som med angivna approximationer skall utgöra ett proportionellt värde på den energi som tillförs förpackningsskarven. Signalens spänningsnivå kan sägas vara en produkt av tid och effekt dvs energi. Signalen mellan multiplikatorns ingång och komparatorns ingång fås med numeriska värden insatta i följande matematiska framställning:

$$U = - \left[ - 1/(69 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}) \int_0^t 1/10 I(t) U(t) dt \right] = 1,45 \int_0^t I(t) U(t) dt \approx$$

$$\approx 0,73 I_0 U_0 \cos\phi \cdot t$$

$I_0$ ,  $U_0$  är toppvärden och fås enligt tidigare resonemang inte vara större än ca 8 V. Effektfaktorn  $\cos\phi$  har tidigare uppskattats till ca 0,6. Beroende på material, Horn och pneumatiskt tryck kan förseglingstiden variera mellan 200 ms och 400 ms. Insättes dessa värden i formeln ovan fås att utspänningen kommer att vara maximalt 11 V. Antages kortaste förseglingstiden samt att toppvärdena är ca 6 V fås ett mått på den minsta utspänningen ca 3 V.

Dimensioneringen är utförd så att de olika stegens maximala värden ej överskrides (komponenterna bottenar inte), samt att den spänning som representerar den sökta energin ligger i ett intervall som är lätthanterligt och där dämpade störningar får en liten inverkan.

### Styrenheten

Styrenheten har komparatorns utgång och PLC-signalen som insignaler. Ut-signalerna skall styra de analoga switcharna och ultraljudsaggregatet. Då enheten skall arbeta med binära signaler finns standardkretsar tillverkade enligt CMOS och TTL teknik tillgängliga. De olika tillverkningsätten ger följande egenskaper:

- CMOS har lägre effektförbrukning än TTL
- CMOS har en överlägsen störokänslighet
- CMOS kan drivas med matningsspänningarna +5 V, +10 V och +15 V
- TTL drivs med +5 V
- TTL logiken är snabbare
- Priset för identiska kretsen är ungefär lika

Kombinationer av högre möjlig matningsspänning och bättre störtålighet (egenskaperna är delvis sammankopplade) gör att CMOS kretsarna är bäst lämpade för styrenhetens logikdel. För att undvika galvanisk kontakt med PLC-utrustningen införes PLC-signalen via en optokopplare. Signalen är +48 V med ett överlagrat rippel. Genom spänningsdelning  $R19 = 56 \text{ k}\Omega$  och  $R20 = 27 \text{ k}\Omega$  blir signalen till styrenheten en +15 V signal. Använd en optokopplare, TIL 113, dimensionerad med relativt stora motstånd för att begränsa strömuttaget från nätdelen. Välj  $R21 = 15 \text{ k}\Omega$ . Inför dessutom  $R22 = 2,2 \text{ M}\Omega$  för att stabilisera darlingtontransistorns arbetspunkt. Då PLC-signalen går hög kan eventuellt den positiva flanken föregås av spänningsspikar motsvarande kontaktstudsar. Risk finns för att dessa kan trigga styrenhetens logikdel på sådant sätt att den kommer till ett otillåtet eller odefinierat tillstånd. Inför därför en Schmittigger, SCL 4093, mellan optokopplaren och logikdelens ingång. Kretsen är realiserad som en två ingångars NAND-grind med Schmittiggerfunktion på bägge ingångarna. Utgången, U, blir en funktion av ingångarnas värde,  $U = \overline{A \cdot B}$ . Då endast en ingång behövs, lägg den andra till +10 V. Utgången blir då ingången inverterad. Signalen inverteras en gång till då både PLC-signalen och dess in-

verterade värde kommer att behövas för att realisera logikfunktionen. Alla inverterare i konstruktionen är av typ 4049, och enligt datablad skall ingångarna skyddas genom att ett 200  $\Omega$  motstånd kopplas i serie. Eventuellt kan även en diod med ca 20 V (zenerdiod BZY 85) kopplas mellan ingången och jord.

Logikdelen realiseras i form av ett asynkront sekvensnät. Minnesfunktionen är nödvändig då återtrigging skulle inträffa efter avslutad svetsning (SWITCH-signalen avslutar integreringen) om PLC-signalen fortfarande var hög. Komparatorn skulle då integratorn laddas ur slå om och ny försegling skulle startas. Detta skulle ske regelmässigt då PLC-signalen anger maximalt tillåten förseglingstid. Konstruktionens beteende finns angivet i fig 16.

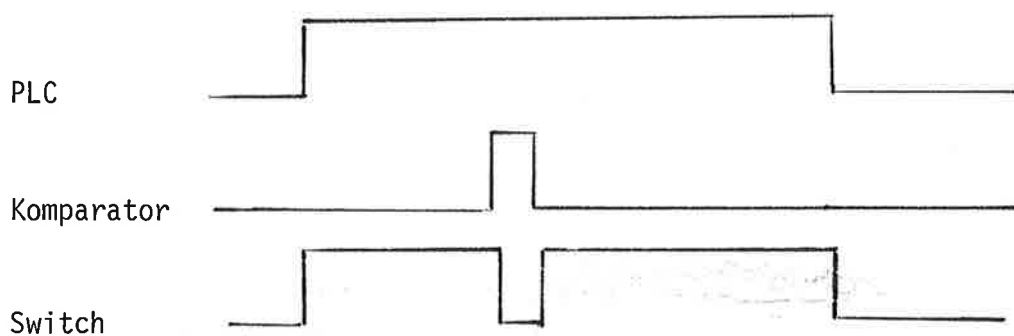


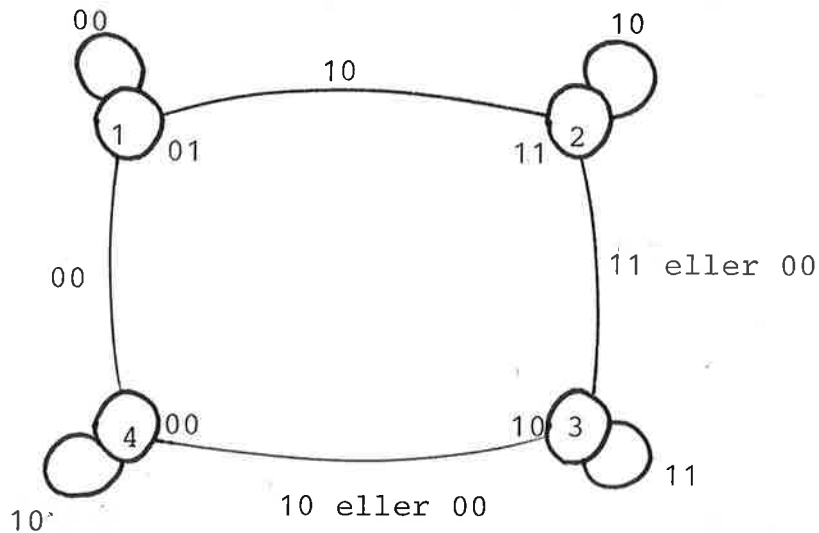
Fig 16. Bild av ett återtriggningsförlopp (återtriggingen är tidsmässigt uppförstorad)

Sekvensnätet måste vara asynkront då logiken arbetar i realtid. Tillståndskodningen skall ske på sådant sätt att kapplöpning och hasard elimineras. Bilda följande tillstånd för nätet:

1. Vilotillstånd
2. Integrering skall börja (positiv PLC-flank)
3. Avsluta integreringen (komparatorn slår om eller negativ PLC-flank)
4. Ingen integrering



Tillstånd 4 har införts för att endast en tillståndsvariabel skall ändras mellan tillståndsbytena. Därmed har kapplöpning förhindrats. Tillståndsgraf med kodade tillstånd finns angiven i fig 17a. Då antalet tillstånd är fyra, krävs två inre tillstånd. Grafen överförs sedan till en tillståndstabell, se fig 17b. Framtagning av nästa tillståndsfunktion sker mha karnaughdiagram, se fig 17c.



Insignaler:  
PLC och KOMPARATOR

Intr tillstånd:  $q_1, q_2$

Fig 17a. Tillståndsgraf

	00	01	11	10
00	01	—	—	11
01	10	—	10	11
11	00	—	10	00
10	01	—	—	00

Fig 17b. Tillståndstabell

$q_1^+$		00	01	11	10
00	0	—	—	0	
01	0	—	—	1	
11	1	—	1	1	
10	0	—	1	0	

$q_2^+$		00	01	11	10
00	1	—	—	0	
01	1	—	—	1	
11	0	—	0	1	
10	0	—	0	0	

$$q_1^+ = ((q_2^{PLC})'KOMP'(q_1q_2)')'$$

$$q_2^+ = ((q_2^{PLC} KOMP')'(q_1^{PLC})')'$$

Ur tillståndsgrafan fås RELÄ =  $q_1q_2$  (anger då reläet skall vara draget)  
 SWITCH =  $q_1q_2$

Fig 17c. Karnaughdiagram

De ut signaler som skall styra ultraljudsaggregatet (RELÄ) och switcharna (SWITCH) fås även ur karnaughdiagrammet. Realiseringen är gjord så att NAND-grindar (4011 och 4023) används genomgående. På så sätt garanteras tillräcklig förstärkning i återkopplingslooparna. Se kretsschemat för uppkoppling. Anm: De lägen i tabellerna fig 17, som är markerade med — är odefinierade vid realiseringen. Dessa tillstånd är inte intressanta då de inte uppnås. De analoga switcharna är CMOS kompartibla, varför ut signalen SWITCH kan kopplas in direkt på ingångarna. Reläet som skall styra ultraljudsaggregatet skall vara kopplat så att det är draget under det tidsintervall försegling sker. Det är vanligt att reläer har lång omslagstid (flera ms) som dessutom kan variera från gång till gång. Då förseglingstiden kan vara ca 200 ms måste reläets omslagstid vara försumbar i f t denna tid. Reedreläet tillverkade tungement uppfyller detta krav. Välj RA 3031 som har följande egenskaper:

omslagstid : 0,15 ms

bryteffekt : 10 W

omslagsnivå : 12 V

brytspänning: 250 V

Bryteffekten är inte kritisk då strömmen i aggregatets styrledning är liten. Aktuell brytspänning är ca 110 V. För att förhindra att för stor ström flyter genom reläspolen vid omslag, seriekopplas denna med ett litet motstånd  $R27 = 10\Omega$ . Spänningsdelningen  $R29 = 47\text{ k}\Omega$  och  $R28 = 82\Omega$  gör att i princip 15 V ligger över spolen med seriekopplat motstånd. Då  $R26$  är lågohmig kommer erforderlig spänning för anslag att ligga över spolen. Pga självinduktion alstras vid omslag störningsspikar av reläet. För att eliminera dessa har en diod, D3, 1N 4007, kopplats parallellt över reläspolen och  $R27$ .

### Spänningsaggregat

I konstruktionen ingående kretsar spänningssmatas antingen med  $\pm 15\text{ V}$  eller  $15\text{ V}$  och  $0\text{ V}$ . Några likspänningar lämpliga att använda finns inte i Tetra King maskinen. Konstruktionen måste därför förses med egen spänningsförsörjningsenhet. Det krävs en momentan i strömförsörjning  $\pm 30\text{ mA}$  (då Schottkydioden skall börja leda sker största strömåtgången). Dimensionera därför en nät-del som ger  $\pm 15\text{ V}$  och  $\pm 50\text{ mA}$ . Spänningsregulatorn SG 1568 ger  $\pm 15\text{ V}$  ut med en noggrannhet  $\pm 0,2\text{ V}$  då inspänningen är 18-30 V (mot-svarande på för den negativa sidan) och uppfyller även i övrigt ställda krav. Regulatorn matas med en från 220 V nätet nedtransformerad, likriktad och filtrerad signal. Använd en ringkärnetransformator med mittuttag för att transformera ner spänningen. Om mittuttaget jordas fås en positiv och en negativ spänning ut från Graetzbryggan om koppling sker enligt krets-schemat. Filtreras bryggans utsignal med ett RC-filter fås en likspänning med överlagrat rippel. Välj en standardtransformator som ger en sekundärspänning sådan att den filtrerade signalen kommer inom spänningsregulatorns driftområde. Sekundärspänningen  $2 \times 18\text{ VAC}$  ger önskat resultat. Genom val av filterkonstant kan ripplets storlek bestämmas. Spänningens utseende blir enligt fig 18.

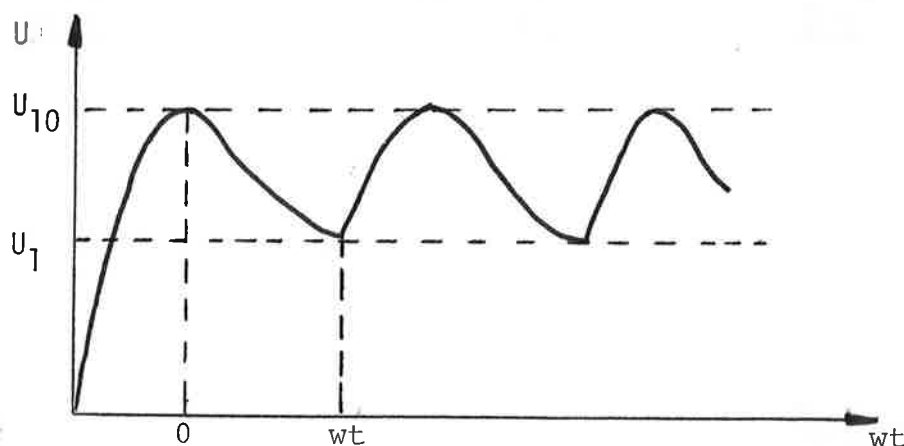


Fig 18. Spänningens utseende efter RC-filtrering

Dimensioneringsformel  $U_1 = U_{10} \cos wt$ . Beteckningen se fig 18.

$$U_{10} = \sqrt{2} \cdot 18 = 25,5 \text{ V}$$

Välj  $\cos wt = 0,95$  då blir  $U_1 = 24,2 \text{ V}$  och  $wt = 0,32$

$C7 = C8 = 1 \mu\text{F}$  och  $R30 = R31 = 47 \text{ k}\Omega$  uppfyller ekvationen

Andras nätspänningen  $\pm 15\%$  kommer dessa variationer att falla inom reglerbart område. Val av övriga komponenter har gjorts enligt anvisningen i databladet för SG 1568. I övrigt, se kretsschema och komponentförteckning fig 11 resp bilaga 1.

#### Kostnadsberäkning

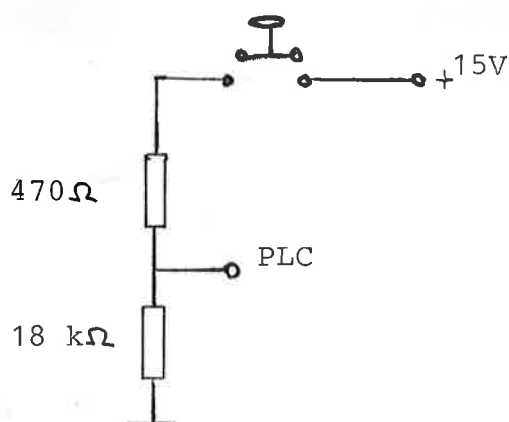
Uppgifter på materialkostnader finns angivna i Tabell 1. Totalkostnaden ligger i storleksordningen 1200 tkr.

<u>Artikel</u>	<u>Pris (kr)</u>
Kontaktidon	100
Multiplikator	500
Analoga switchar	100
Övriga IC kretsar	50
Motstånd, kondensatorer, potentiometrar, dioder, optokopplare	100
Transformator, relä, kopplingskort, chassi etc	<u>300</u>
Totalt	$\approx 1200 \text{ kr}$

Angivna priser är ungefärliga och inklusive moms.

FÖRSÖK

Försök har utförts med konstruktionen inkopplad i labuppställningen. Inkoppling har gjorts enligt tidigare angiven princip, se fig 6. PLC-signalen har simulerats med den tryckknapp som i normala fall har startat förseglingsproceduren. För att utföra detta har en ändring i konstruktionen fått göras. Genom en uppkoppling som i fig 19 initierar tryckknappen att +15 V kopplas till PLC-ingången på styrenheten.



Inkopplingen sker så att PLC-utgången ansluts till R21 (se kopplingsschemat, fig 11)

Fig 19. Ändring av konstruktionen för att möjliggöra inkoppling i labuppställningen

Då tryckknappen ej är intryckt är PLC-ingången 0 V. Övergången mellan de båda spänningsnivåerna sker momentant och ingången kommer alltid att ha en definierad spänning. R19 och R20 tas bort ur tidigare koppling.

Förseglingen har utförts med XPS-material avsedda för olika förpackningstyper. Försök har endast utförts med luft som omgivande medium, och ej med förpackningar fyllda med vätska. För de olika materialen har prov gjorts med olika pneumatiskt tryck, olika Horn och vid varierande nätspänning.

Mätningar har utförts för att undersöka på vilket sätt konstruktionen eliminerar variationer i nätspänningen och pneumatiska trycket. En svårighet som uppstod vid dessa försök var bedömningen av skarvens kvalitet. Tetra Pak bedömer den m h a en erfarenhetsmässig metod. Genom att studera skarven mot en upplyst bakgrund samt dra isär den och undersöka om skarven eller ett av materialskikten hade sämst hållfasthet bildar man sig

en uppfattning om skarvens hållbarhet. Med metoden fås alltid en i viss utsträckning subjektiv bedömning. Härigenom uppträder en viss osäkerhetsfaktor i de nedan presenterade resultaten.

Det pneumatiska trycket varierades stegvis. Spänningen på komparatorns minusingång (energi) mättes med ett digitalt minnesoscilloskop. Resulterande kurvor plottades för skarvar som bedömdes vara likvärdiga. Följande resultat erhöles:

Försök 1	pneumatiskt tryck 60 psi	förseglingstid 300 ms
Försök 2	pneumatiskt tryck 65 psi	förseglingstid 290 ms
Försök 3	pneumatiskt tryck 70 psi	förseglingstid 280 ms

Komparatorns referensvärde REF var inställt på 5 V. Kurvorna finns presenterade i fig 20. Grovt sett kan plottarna delas in i två linjära delar. Den första delen motsvarar den energi som åtgår vid svängning i luft och den andra delen uppstår då Hornet är pressat mot materialet. Undersöks kurvorna visar det sig att förseglingstiden i princip varierar linjärt med förändringar i det pneumatiska trycket.

Anm: De spikar som uppträder på flera ställen har inget med förseglingsprocessen att göra, utan härrör från labupställningen. Vissa förbättringar för att minska störningens inverkan har utförts efter det att plottarna gjordes.

Följande resultat erhöles då nätspänningen till ultraljudsaggregatet varierades, se fig 21. Samma mätmetod som i föregående försök

Försök 1	nätspänning 0,9 x 220 V	förseglingstid 190 ms
Försök 2	nätspänning 1,0 x 220 V	förseglingstid 170 ms
Försök 3	nätspänning 1,1 x 220 V	förseglingstid 170 ms

Komparatorns referensspänning var inställd på 6 V. Förseglingstiderna skall inte jämföras mellan de båda försöksserierna då de inte utfördes under samma betingelser. Försöken visar ett samband mellan ändringen i matningsspänningen och olika förseglingstider. Mer omfattande försök än de som plottats visar mer entydigt på ett linjärt förhållande mellan de båda parametrarna. I försök 2 har antagligen bedömningen av skarvens kvalitet varit felaktig. Denna skarv var förmodligen av något sämre kvalitet än de båda andra.

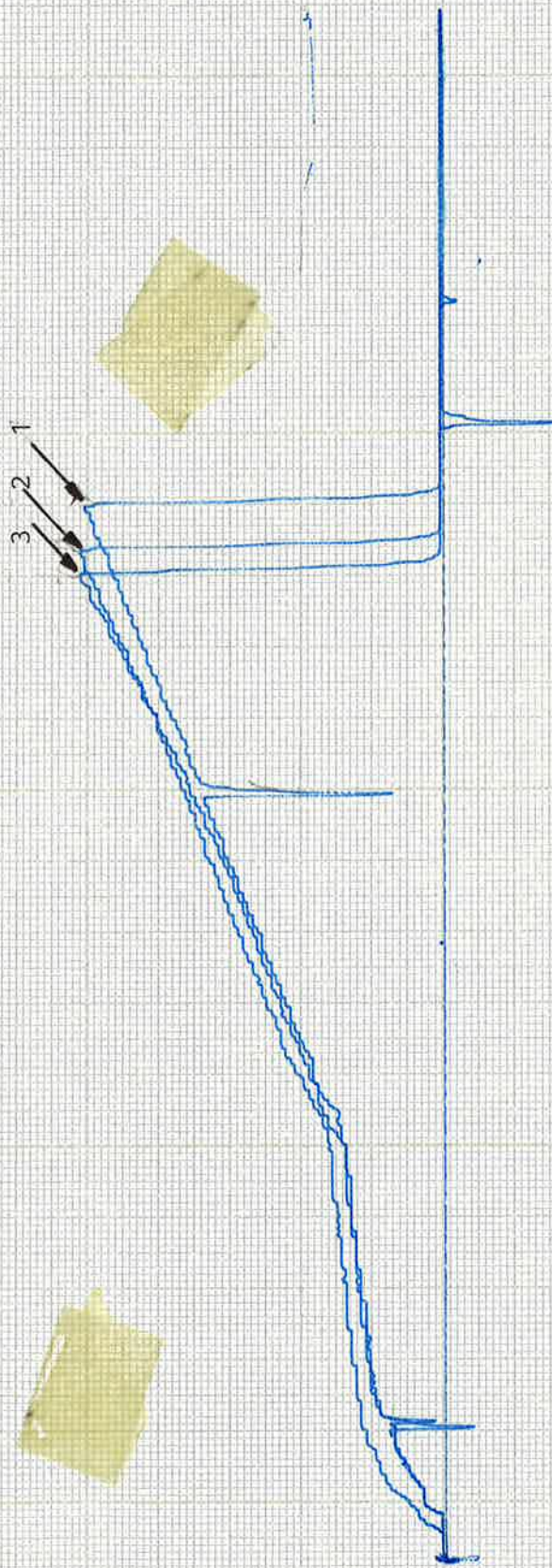


Fig 20. Förseglingstidens variation vid olika pneumatiska tryck.  
Anm. Randen tvärs över pappret anger att skrivarens papper snart är slut.

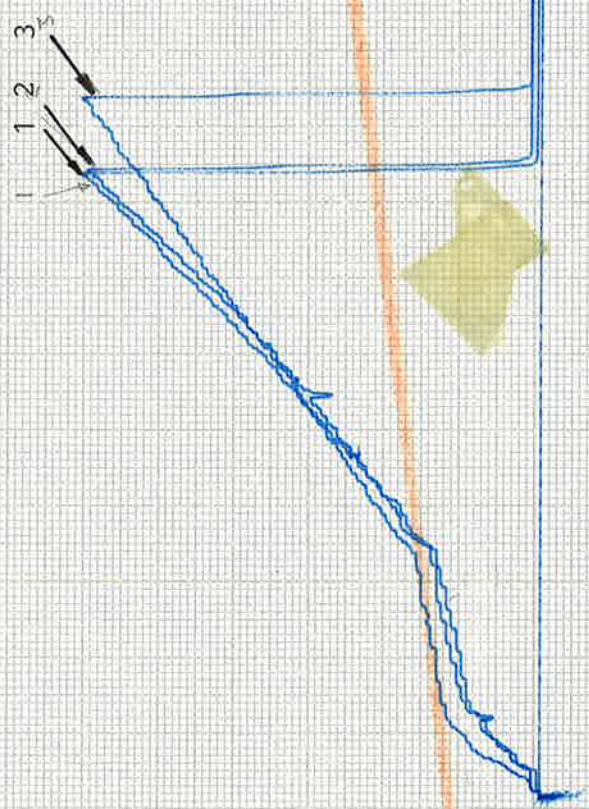


Fig 21. förseglingstidens variation med ändringar i nätspänningen.



SLUTSATSER

Försöksserierna har visat att konstruktionen varierar förseglingstidernas längd så att samma energimängd tillförs skarven då det pneumatiska trycket och nätspänningen ändras. Skarvar av samma kvalitet har erhållits då dessa parametrar varierats  $\pm 10\%$ .

Om labuppställningen används med ursprunglig uppbyggnad och flera förseglingar utföres med samma timertid inställd uppstår en variation i förseglingarnas kvalitet. Detta kan förklaras av densitetsskillnaden, olikheter i materialens struktur etc. Samma uppförande har förekommit då konstruktionen har varit inkopplad. Trots att energikurvorna har varit i princip identiska har förseglingarnas kvalitet kunnat variera. Ytterligare undersökningar bör utföras för att utröna hur de tidsvariationer (10-20 ms) som har uppstått under försöken förhåller sig till de individuella variationernas inverkan.

Försök 2 då det pneumatiska trycket varierades och försök 3 då nätspänningen ändrades visar att den energimängd som åtgår då Hornet svänger i luft inte är konstant. Skillnaderna bland de plottade värdena ligger i storleksordningen 10 %. Det ingick i förutsättningarna att detta värde kunde anses vara konstant. Eventuellt kan dessa variationer falla inom den säkerhetsmarginal som ställs in då REF-värdet injusteras under driftförhållanden. Det bör undersökas huruvida detta är fallet.

Störningsreducerande komponenter som filter, dioder etc har införts på flera ställen i konstruktionen. Då den miljö elektroniken skall arbeta i är mycket störningsrik, bör man överväga vilka andra åtgärder som kan utföras för att ytterligare minska konstruktionens störkänslighet.

En del av problemlösningar har bestått i att bilda sig en uppfattning om hur ultraljudssignalen uppför sig under olika omständigheter och vad som händer då den elektriska signalen överförs till friktionsvärme i materialet. Problemställningarna är dåligt dokumenterade i litteratur som rör ultraljud och dess tillämpningar. Framtida arbete med ultraljudet skulle antagligen förenklas om man utförde en undersökning rörande systemets uppförande. Hur ser dynamiken ut? Vilka faktorer påverkar förseglingen av XPS-materialet i störst utsträckning o s v.

REFERENSLISTA

1. GOLDMAN, R G: Ultrasonic Technology. Reinhold Publishing Corporation, 1962.
2. OLSON, H F: Acoustical Engineering. D Van Nostrand Company Inc, 1957.
3. Ultrasonic Plastics Assembly: Bremen Instruments Inc, 1973.
4. Instruction Manual Ultrasonic Power Supply Model 186 P. Branson Sonic Power.
5. SCHWAB: High Voltage Measurement Techniques.
6. GRAHM, L: Elektrisk Mätteknik. Analoga Instrument och Mätmetoder. Sigmatryck TLTH, 1977.
7. SMITH, J I: Modern Operational Circuit Design. Wiley-Interscience, 1971.
8. SÖDERMAN, L: CMOS-krestar - Effektsnålare men långsammare än TTL. Elteknik med aktuell elektronik, 2/1978.
9. HANSON, B och JONSSON, I: Effektkretsar. Sigmatryck TLTH.

Komponentlista

C1	68 pF
C2	2,7 nF
C3	1 $\mu$ F
C4	0,1 $\mu$ F (metalliserad polyester)
C5	15 nF
C6	22 nF
C7, 8	1 $\mu$ F
C9, 10	1,5 nF (elektrolyt)
C11, 12	1 $\mu$ F (elektrolyt)
A1, 2, 4	$\mu$ A 741
A3	LF 351
M1	AD 532 DS
K1	LM 3302
SR1	SG 1568
S1, 2	AD 7512 DS
D1, 2	BZY 85
D3	1N 4007
D4	1N 6263
D5, 6, 7, 8	1N 4003
OP1	TIL 113
Re1	RA 3031
L3, 4, 6, 7	MB 84011 B
L1, 2, 5	4023 BPC
L8	SCL 4093 BE
L9, 10, 11	MB 84049 B
R1, R2	820 k $\Omega$
R3, 17	220 $\Omega$
R4, 5, 30, 31	47 k $\Omega$
R6	10 $\Omega$
R7	820 $\Omega$
R8	4,7 M $\Omega$
R9, 11	390 $\Omega$
R10	8,2 M $\Omega$
R12, 19	56 k $\Omega$
R13, 14	33 k $\Omega$
R15	68 k $\Omega$
R16	8,2 k $\Omega$

R18	100 k $\Omega$
R20, 23, 29	27 k $\Omega$
R21	15 k $\Omega$
R22	2,2 M $\Omega$
R24, 25, 26	
R27, 32, 33	10 $\Omega$
R28	8,2 $\Omega$
P1	20 k $\Omega$
P2	800 k $\Omega$
P3	80 k $\Omega$ (flervarvig)
P5	50 k $\Omega$ (flervarvig)
Tr1	Ferritkärna 1:50
Tr2	Transduktor 6046 Type R 220/2 x 18 V