

CODEN: LUTFD2/(TFRT-5346)/1-104/(1986)

# Digital reglering av ljusbågsugnar

Olof Carlsson

Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Februari 1986

<b>Department of Automatic Control</b> <b>Lund Institute of Technology</b> P.O. Box 118 S-221 00 Lund Sweden		Document name <b>MASTER THESIS</b>	
		Date of issue <b>February 1986</b>	
		Document Number <b>CODEN: LUTFD2/(TFRT-5346)/1-104/(1986)</b>	
Author(s) <b>Olof Carlsson</b>		Supervisor <b>B. Olsson (Asea), B. Wittenmark (LTH)</b>	
		Sponsoring organisation	
Title and subtitle <b>Digital reglering av ljusbågsugnar</b> <b>(Digital control of arc furnaces)</b>			
Abstract <p>The conditions for electrode control with the ASEA MASTER PIECE or with Novatune have been investigated in this research. Most of the effort was concentrated on ASEA MASTER PIECE and the digital regulators prerequisite to manage electrode control.</p> <p>A conclusion after a study of ASEA MASTER PIECE was that it was surely suitable for electrode control. There is, however, one condition, scanning time must be decreased from 100 ms to at the least 50 ms. Hardware filtration of the signals before sampling is furthermore of vital importance to avoid alias Frequencing. This being partly due to the low sampling frequency and to the such relative harmonic content of the signals.</p> <p>An attempt to create a model of process failed. The purpose of such a model was to gain the possibility to test different digital regulators, sampling frequencies and control strategies. This research was abandoned due to the fact that the simulation program SANDY failed to solve the equations. At a late stage of research it became apparent that the SIMNON program at LTH in Lund was more suitable.</p> <p>Studies of a report about Novatune experiments from Smedjebacken show that Novatune is not suitable for electrode control in arc furnaces. The feature causing this is the quickly changing process dynamics in the melting phase. It should on the other hand be possible to use Novatune for electrode control in ladle furnaces which always contain a smelt.</p>			
Key words <b>Electrode control. Digital control.</b>			
Classification system and/or index terms (if any)			
Supplementary bibliographical information			
ISSN and key title			ISBN
Language <b>Swedish</b>	Number of pages <b>104</b>	Recipient's notes	
Security classification			

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.

## Sammanfattning

I föreliggande arbete har förutsättningarna för att använda ASEA MasterPiece eller Asea Novatune för elektrodreglering undersökts. Det största arbetet har lagts ner på Asea MasterPiece och den digitala regulatorns förutsättningar att klara regleringen.

Efter studium av Asea MasterPiece drogs slutsatsen att denna är användbar för elektrodreglering. En förutsättning är dock att scanning time sänks från 100 ms till åtminstone 50 ms. Vidare gäller att hårdvarufiltrering av signalerna före sampling är av vital betydelse för att undvika vikning. Detta dels på grund av den låga samplingsfrekvensen och dels på grund av signalernas rika övertonshalt.

Försöken att ta fram en modell av processen misslyckades. Syftet med modellen var att kunna testa olika digitala regulatorer, samplingsfrekvenser och reglerstrategier. På grund av att simuleringsprogrammet SANDYS inte klarade att lösa ekvationerna gavs detta arbete upp efter omfattande försök. Det visade sig dock i ett sent skede av arbetet att programmet SIMNON som finns på LTH i Lund var mera lämpligt.

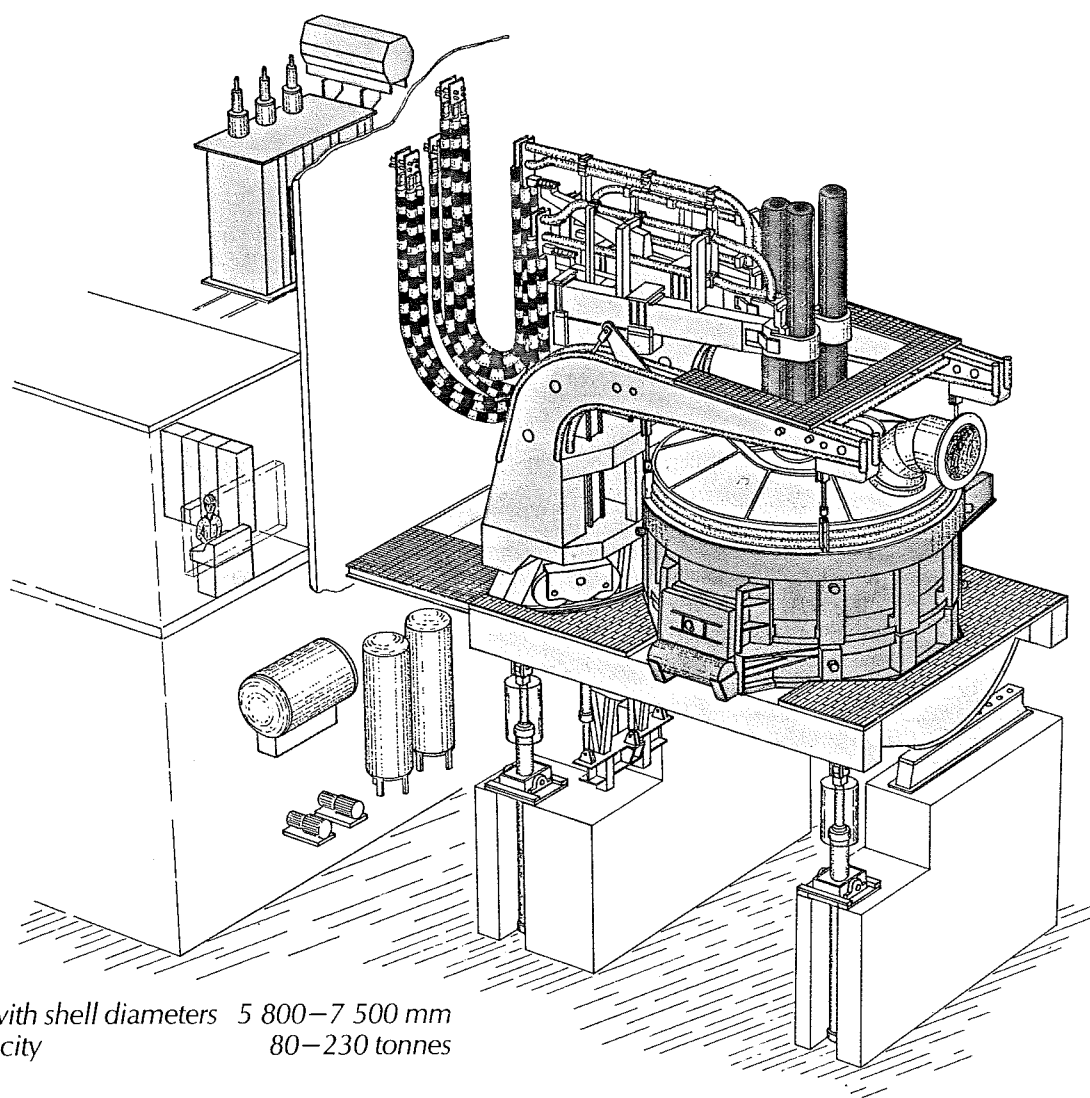
Efter studie av en rapport om Novatune försök i Smedjebacken drogs slutsatsen att Novatune inte lämpar sig för elektrodreglering i ljusbågsugnar. Den egenskap hos processen som troligen gör Novatune oanvändbar är den snabbt skiftande processdynamiken i nedsmältningsskedet. Det borde däremot vara möjligt att använda Novatune för elektrodreglering i skänkgagnar där man alltid har en smälta.

## Innehållsförteckning

1. Syftet med examensarbetet
2. Inledning
3. Mål och principer för regleringen
  - 3.1 Målet med regleringen
  - 3.2 Principer för regleringen
    - 3.2.1 Impedansreglering
4. Den "gamla" analoga regulatorn
  - 4.1 Strömmätkretsen
  - 4.2 Spänningsmätkretsen
  - 4.3 Regulatorn
5. Digitalreglering
6. Reglering med Asea MasterPiece 260
  - 6.1 Strömmätning
  - 6.2 Spänningsmätning
  - 6.3 Val av MasterPiece
  - 6.4 MasterPiece 260's bestyckning
  - 6.5 Implementering av regulatorn
  - 6.6 Församlingsfilter
  - 6.7 Programmet
  - 6.8 Idrifttagning
  - 6.9 MasterPiecens last
7. Adaptiv reglering
8. Novatune
9. Modell för datorsimulering
10. Drivsystemet
11. Överföringsfunktionen för hela systemet
  - 11.1 Ventilställdonet
  - 11.2 Hydrauliksystemet
  - 11.3 Mekaniska systemet
  - 11.4 Processen
    - 11.4.1 Modell av ljusbågen

(forts Innehållsförteckning)

- 12. SANDYS
  - 12.1 Programmet
  - 12.2 Resultat av simuleringen
- 13. Sammanfattning
  - 13.1 Utförande med MasterPiece
  - 13.2 Användning av Novatune
  - 13.3 Modell för datorsimulering
- 14. Referenser
- 15. Bilaga
  - 1. "Gamla" regulatorn (Combitrol)
  - 2. Krettschema för ström och spänningsmätning
  - 3. Registrering av stegstörning, ljusbågsugn
  - 4. Registrering av stegstörning, skänkuugn
  - 5. Program för Asea MasterPiece
  - 6. Program för Asea Novatune
  - 7. Program i SANDYS, komplett
  - 8. Program i SANDYS, processen ljusbågen ersatt med resistans



Arc Furnace with shell diameters 5 800–7 500 mm  
Furnace Capacity 80–230 tonnes

## 2. Inledning

Jämsides med att elektrisk energi gjorde sitt stora inbrott inom industrin vid sekelskiftet introducerades elektrisk smältning också i metallhanteringen. Det största intresset knöts redan från början kring ljusbågsugnar och ett flertal idéer presenterades för problemets lösning.

Ljusbågsugnar för enfas, tvåfas och för trefas ström provades. Det förekom också likström. Man provade fribrinnande ljusbågar och ugnar med bottenelektroder. Bland de tidigare förslagen förekom också ett av fransmannen Heroult med tre elektroder riktade mot badet. Denna typ kom tidigt att dominera och har sedan successivt fått övertaget så att den nu är allena rådande.

## 3.2 Principer för regleringen

För att uppnå målen i avsnitt 3.1 kan man välja att reglera enligt en av följande 3 principer.

- konstant elektrodström
- konstant ljusbågsspänning
- konstant impedans

Den vanligaste förekommande principen är impedansreglering.

### 3.2.1 Impedansreglering

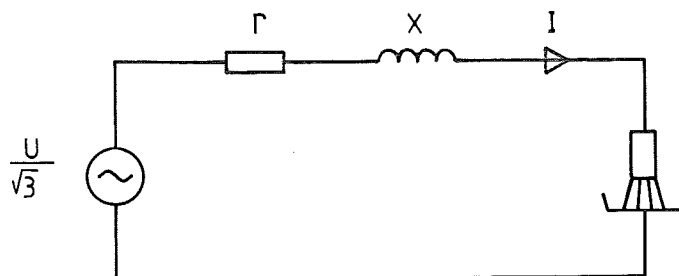


Fig. 1

Enfasigt principdiagram för ugnskretsen

För enkelhetens skull betraktar vi det enfasiga fallet då gäller att

$$U / \sqrt{3} = I \times Z = I \sqrt{R^2 + X^2}$$

där

U = transformatorspänning

I = elektrodström

X = reaktans i kretsen

R = resistans i tilledare och ljusbåge

Resistansen i ljusbågen är proportionell mot ljusbåglängden och omvänt proportionell mot strömstyrkan. Man kan således reglera strömstyrkan genom att variera ljusbåglängden.

Impedansregleringen innebär en kvotreglering dvs reglervillkoret lyder

$$U / \sqrt{3} - K_Z \times I = 0$$

Sker mätningen av spänningen vid transformatorn, kan regleringen mera karakteriseras som en ren strömreglering. Genom att mäta "ljusbågsspänningen" vid elektrodhållaren uppnås en bättre känslighet hos systemet vid kortslutningar. Ett annat sätt att klara detta är att i mätkretsarna kompensera för det reaktiva spänningsfallet i tilledare och elektroder. Fördelarna med impedansreglering är främst att  $\cos \phi$  blir oberoende av spänningsinställningen samt att förstärkningen blir konstant. En annan mycket viktig fördel är att risken för felaktiga inställningar elimineras. Detta medför att körning med för hög strömstyrka vid för låg spänning förhindras. Detta kan annars leda till uppkolning av smältan.



#### 4. Den "gamla" analoga regulatorn

I detta avsnitt behandlas hur den "gamla" Combitrol regulatorn är uppbyggd och fungerar. Det behandlar även utformningen av kretsarna för ström och spänningsmätning.

Regulatorn arbetar efter principen konstant impedans.

$$E - k \times I = 0$$

Detta innebär att man måste ha tillgång till både ström och spännings-  
signalen.

(Se bilaga 1 "Gamla" regulatorn och bilaga 2 Kretsschema)

##### 4.1 Strömmätkretsen

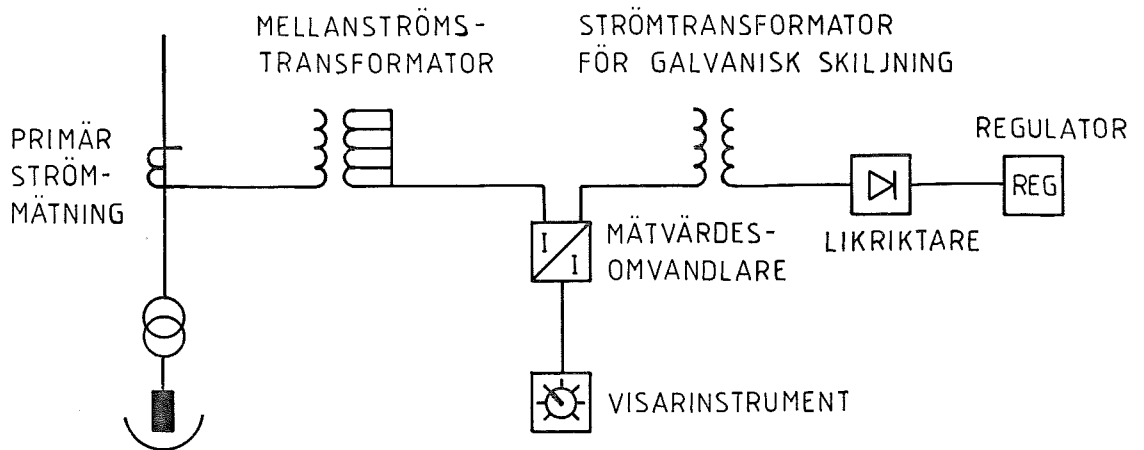


Fig. 2  
Strömmätkrets

Strömmen mäts på primärsidan av ugnstransformatorn. Detta görs därför att det är lättare att mäta den relativt begränsade strömmen på primärsidan än att mäta sekundärsidans mycket höga ström. Strömmen som mäts på primärsidan måste skalas om allt eftersom lindningskopplarläge skiftas, detta görs i mellanströmstransformatorn. Mellanströmstransformatorn har en omsättning för varje lindningskopplarläge. Omkopplingen mellan dessa lägen görs med hjälp av en kontaktbana i lindningskopplaren. Strömmen går sedan vidare genom en mätvärdesomvandlare för visning av aktuell elektrodström. Efter mätvärdesomvandlaren finns en transformator för galvanisk skiljning och en likriktare. Därefter går strömmätsignalen in i regulatorn.

#### 4.2 Spänningsmätkretsen

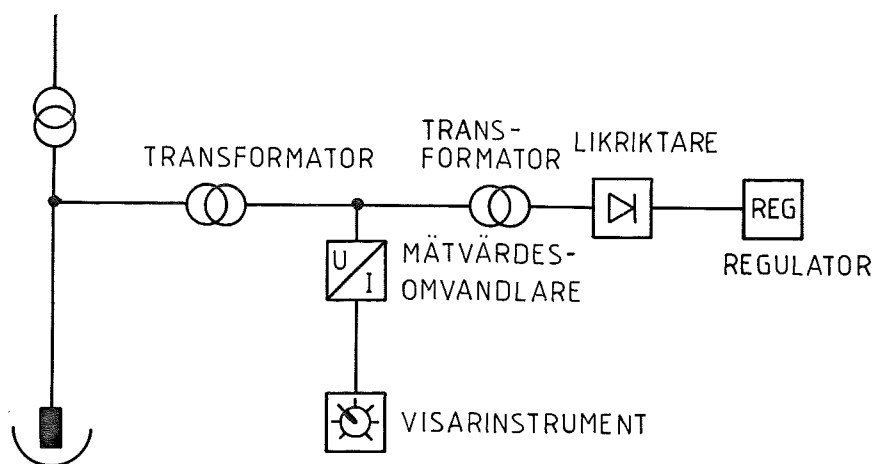


Fig. 3  
Spänningsmätkrets

För att minimera mätfelet mäts spänningen på sekundärsidan så nära elektroderna som möjligt. På grund av den mycket höga strömmen och den relativt låga spänningen på sekundärsidan är spänningsfallet betydande i tillledningarna till elektroderna.

Spänningen transformeras till 110 V. Denna spänning går till mätvärdesomvandlare för visning av elektrodspänning. Den går också till en transformator för galvanisk isolation och vidare till en likriktare och därifrån till regulatorn.

### 4.3 Regulatorn

Den regulator som används för närvarande bygger på ASEA's elektroniksystem Combitrol. Blockschemat framgår av bilaga 1.

Utgående ifrån reglervillkoret  $E - KI = 0$  bildas regleravvikelsen med en summator QA 208. Regleravvikelsen passerar en PIP-regulator QALB 200, dvs snabba förändringar förstärks mindre än långsamma förändringar.

Med hjälp av ett effektsteg QHNM 118 lämnas en strömsignal till ett elektrohydrauliskt ställdon. Genom att variera hur stor del av strömsvaret som skall gå till summatorn med hjälp av potentiometerenheten QAPG 220 kan impedansen varieras.

Då spänningssvaret är proportionellt mot elektrodspänningen erhålls på detta sätt samma impedans över elektroden oberoende av spänningsinställningen. Vid de högre spänningslägena kan det dock bli nödvändigt att begränsa strömmen, beroende på den maximala transformatorströmmen  $I_{max}$  och den maximala fullasteffekten  $S_{max}$ . Genom att undertrycka spänningssvaret åstadkoms en förskjutning av ugnens arbetspunkt mot lägre strömstyrka. Inställningen sker på potentiometerenhet QAPG 220.

Ett antal förinställningar kan inkopplas med yttre kontaktslutningar. Kontaktslutningarna är bestämda av lindningskopplarläget.

Då spänningssvaret är proportionellt mot elektrodspänningen erhålls en minskning av den totala krets förstärkningen vid minskande spänning. För att kompensera för detta kan förstärkningen hos summator QA 208 varieras med yttre kontaktslutningar. Dessa kontaktslutningar erhålls från lindningskopplarlägena.

## 5. Digitalreglering

Användandet av datorer för reglering har på senare år gjort stora framsteg. Tidigare använde man endast datorer till stora och komplicerade processkontroll system. Nu använder man även datorer till enstaka "control loopar" och detta sker tack vare utvecklingen av små och snabba mikroprocessorer.

Från början så översatte man de analoga regulatorerna till digitala. Man upptäckte snart att det fanns mycket att vinna på att utveckla en egen teori för digitala regulatorer. De första att använda avancerade digitala regulatorer var flygplanskonstruktörerna men tack vare mikroprocessortekniken används de i dag även i mycket enkla tillämpningar.

En enkel bild av ett datorstyrt kontrollsystem kan se ut så här:

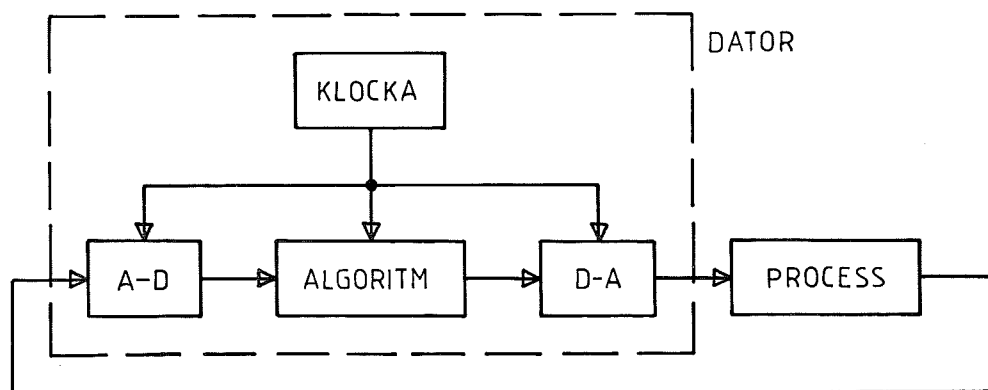


Fig. 4  
Datorstyrt kontrollsystem

Signalerna från processen samplas och A-D omvandlas varefter man beräknar de nya styrvärdena. Dessa styrvärden D-A omvandlas och påföres processen. Sampling A-D omvandling beräkning och D-A omvandling styrs av en klocka.

## 6. Reglering med Asea MasterPiece 260

MasterPiece användbarhet för elektrodreglering av ljusbågsugnar och skänkgagnar samt vilka krav som måste ställas på kringutrustning har undersökts. Utgående ifrån den gamla väl fungerande regulatorn har en konvertering av funktionerna till digital form genomförts. Försök att göra ett simuleringsprogram för att testa nya reglerstrategier har också gjorts. Detta lyckades tyvärr inte, vilket redovisas längre fram i denna rapport. Det principiella utseendet hos kretsen som skall regleras är

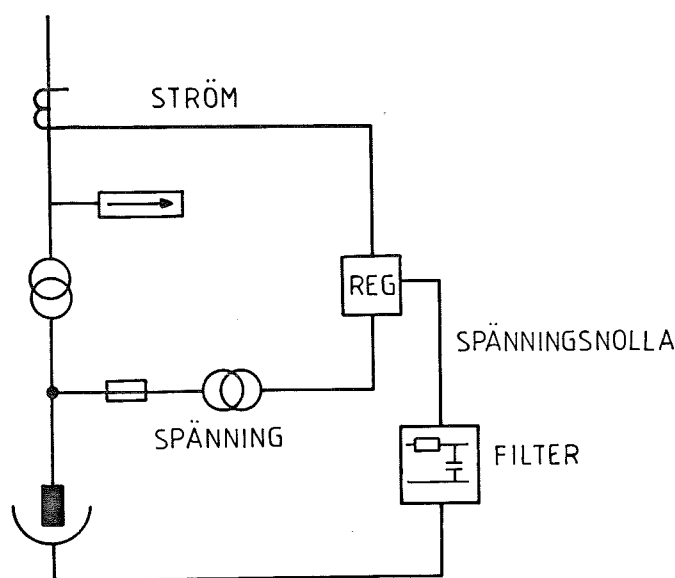


Fig. 5

Principiella utseendet hos kretsen som skall regleras

### 6.1 Strömmätning (se även kretsschema bilaga 2 samt 4.1)

Strömmen mätes på primärsidan av ugnstransformatorn med en strömtransformator. Därefter går den till en ny strömtransformator, den så kallade mellanströmstransformatorn. Denna har ett flertal olika omsättningar. Beroende på lindningskopplarläge på ugnstransformatorn väljs lämplig omsättning. Detta val sker med hjälp av en kontaktbana i lindningskopplaren. Denna omskalning krävs för att få korrekt mätvärde på elektrodströmmen oberoende av inställt spänningläge.

Därefter går strömmen via ett relä för Y/D omkoppling genom mätvärdesomvandlare för primärmätningen till en strömtransformator. Denna transformator har omsättningen 1/1 och är bara till för att galvaniskt skilja regulatören från högspänningssidan. Strömmen likriktas omvandlas till en spänningssignal och går därefter till regulatören.

Här föreslås att man tar bort likriktarna, den sista transformatorn och mellanströmstransformatorn. Man kommer här alltså att gå direkt från strömtransformatorn som mäter primärströmmen till mätvärdesomvandlarna. Dämpdonen tas bort och signalen går direkt in i Mastern. Mätvärdesomvandlarna Tillquist I 200 mäter sant RMS-värde och har en tidkonstant som är ca 100 ms. Detta innebär att de släpper igenom signaler inom hela det intressanta frekvensområdet. Mätvärdet tas ut som en strömsignal 0-20 mA. Det hade varit intressant att känna till fasfunktionen för omvandlarna, men denna uppgift är tyvärr inte tillgänglig. Enligt konstruktören av mätvärdesomvandlarna i Schweiz skall det dock inte vara några problem vid denna tillämpning. I Mastern sker den skalning av strömmen som tidigare åstadkoms med hjälp av mellanströmstransformatorn. På detta sätt erhålls en strömmätsignal till regulatören och även en signal till mätinstrumentet. Signalen till mätinstrumentet kan eventuellt filtreras i Mastern för att få en stadig visning.

## 6.2 Spänningsmätning (se även kretsschema bilaga 2 samt 4.2)

Spänningen mäts på sekundärsidan så nära elektroderna som möjligt. Detta görs för att få med så lite av spänningsfallet i elektroder och tillledningarna till elektroderna som möjligt. Nollan filtreras i ett filter avstämt för nätfrekvens. Spänningen transformeras därefter till 110 V. Därefter finns ytterligare en transformator för att få galvanisk skiljning och nedtransformering till 10 V. . Spänningen likriktas och går till regulatören.

Även här är det tänkt att ta bort den sista transformatorn och likriktaren och låta spänningen gå via mätvärdesomvandlaren till Mastern. Här uppstår inga problem med skalning av spänningen. Däremot kan det vara nödvändigt att filtrera spänningssignalen till mätinstrumentet för stabil visning.

Mätvärdesomvandlaren Tillquist U 200 har samma data som I 200 och passar följdaktligen bra också för spänningsmätningen.

Man erhåller då de mycket enkla mätkretsarna som redovisas i figur 6.

Denna förenkling kan i viss mån leda till ett billigare mätsystem och uppväga den kostnadsökning som en MasterPiece innebär. Man har ju här plockat bort 2 strömtransformatorer, 1 spänningstransformator och 2 likriktarbryggor per fas samt 1 kontaktbana i ugnstransformatorns lindningskopplare per fas. Inga komponenter förutom Mastern har tillkommit.

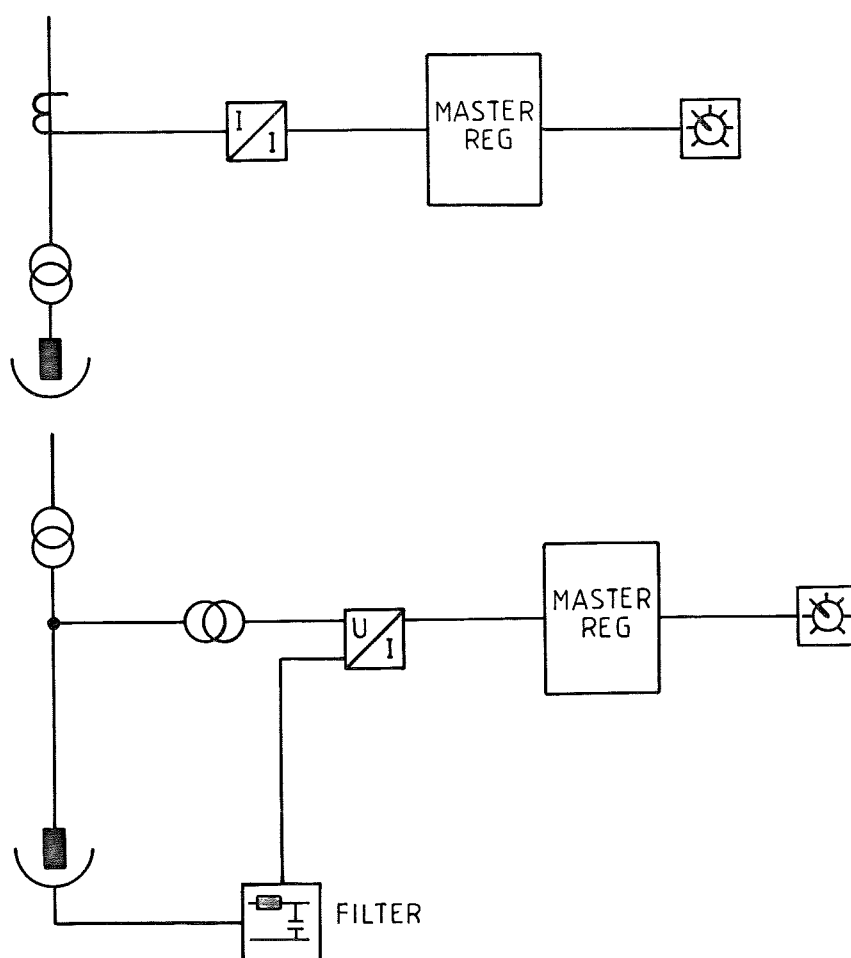


Fig. 6  
Strömmätning och spänningsmätning enligt det nya förslaget

### 6.3 Val av MasterPiece

Den MasterPiece som främst är avsedd för reglering är MasterPiece 260. I denna MasterPiece har man tillgång till alla reglerelement som finns för MasterPiece serien. Skulle man välja t ex en MasterPiece 240 så är denna främst avsedd för datahantering och det finns inte tillgång till alla reglerelement. MasterPiece'n för reglering kommer antagligen inte att användas till något annat heller. Detta beror på att lasten kommer att bli hög även om endast regulatorn placeras i denna Master (se avsnittet om MasterPiecen's last). Detta medför att det är lämpligt att välja MasterPiece 260 för elektrodregleringen.

### 6.4 MasterPiece 260's bestyckning

MasterPiecen är lämplig att bestycka på följande sätt. Som analogt ingångskort väljes DSAI 130 och anslutningsenhet DSTA 130. Detta kort har 16 ingångskanaler och en upplösning på 12 bitar + tecken. Det krävs 6 ingångar, 3 för strömsignal och 3 för spänningssignal. De övriga 10 kanalerna kan utnyttjas till andra ändamål. Upplösningen på 12 bitar medför att man får en upplösning i ström på minst 25 A och i spänning ca 0.4 volt vilket är mer än tillräckligt.

På utgångssidan är det lämpligt att använda 2 st DSAO 120 och anslutningsenhet DSTA 170. Dessa kort har 8 utgångar var för analoga ström eller spänningssignaler och en upplösning på 12 bitar. Här utnyttjas 9 av de 16 utgångar kortet har, där finns alltså 7 i reserv. Tyvärr så orkar korten ej med att driva ventilställdonet utan ett separat drivsteg måste användas.

Det finns även behov av att ta in digitala signaler. För detta ändamål så är 2 st DSDI 130 lämpligt. Dessa är 32 kanalskort med 24 V märkspänning. Här kan behovet av ingångar skifta beroende på antalet lindningskopplarlägen och antal strömlägen. 64 ingångar räcker säkert för samtliga fall.



## 6.5 Implementeringen av regulatoren

Det första man får göra är att bestämma sig för samplingsfrekvens utgående från kunskaper om processdynamiken. I detta fall finns tillgång till några stegsvarsregistreringar från en ljusbågsugn i Halmstad. (Se bilaga 3). Mätningen har gått till på följande sätt. Genom att köra ned elektroderna i smältan manuellt och sedan slå till automatisk reglering får vi här en bra stegsvarsregistrering. De signaler som vi ser är ingången till regulatoren underst och styrsignalen till ventilen överst. Vi ser här att vi har en utregleringstid på ungefär 1-2 sek.

I figur 12, sid 32, visas ett Bodediagram för det öppna systemet där vi förutsätter att överföringsfunktion för regulatoren  $G_R(S) = 1$ . Vi ser här att systemet är nära att bli instabilt redan vid så låga frekvenser som 3-4 Hz. Skulle krets förstärkningen bli för hög får vi instabilitet. Detta gör att man måste vara observant på förstärkningen hos regulatoren så den inte väljs för hög. Man bör också observera att förstärkningen hos processen kan variera ganska kraftigt beroende på vilket skede av nedsmältningsförloppet man befinner sig i.

Detta medför att vi måste dämpa frekvenser i området 3 Hz och uppåt ordentligt. Därför kan processen inte bli så snabb. En samplingsfrekvens på runt 20 Hz skulle därför kunna räcka till. Enligt en tumregel så skall Nyquistfrekvensen (= samplingsfrekvensen/2) vara 5-20 gånger större än överkorsningsfrekvensen för det öppna kontinuerliga systemet. Detta villkor är här inte helt uppfyllt utan vi kommer att få en Nyquistfrekvens som är 3 gånger större än överkorsningsfrekvensen. Det måste alltså undersökas praktiskt om samplingsfrekvensen är tillräckligt stor. Det är svårt att öka samplingsfrekvensen mer eftersom lasten i MasterPiece då tenderar att bli för hög. Denna samplingsfrekvens kräver dessutom att man gör en speciell programgenerering. Den högsta frekvens som kan uppnås med standard Master är annars 10 Hz. För skänkungar har man en utregleringstid som är betydligt längre än för ljusbågsugnar. (Se bilaga 4). Här skulle en samplingsfrekvens på 10 Hz räcka och vi skulle kunna använda en standard MasterPiece.

## 6.6 Församlingsfilter

Man måste tänka på att ha ett rätt dimensionerat församlingsfilter eftersom signalen är mycket rik på övertoner. Församlingsfiltret har man för att undvika vikningseffekter. Vikning kan kort beskrivas som att frekvenser över halva samplingsfrekvensen viks in och tolkas som lägre frekvens inom det nyttiga frekvensområdet.

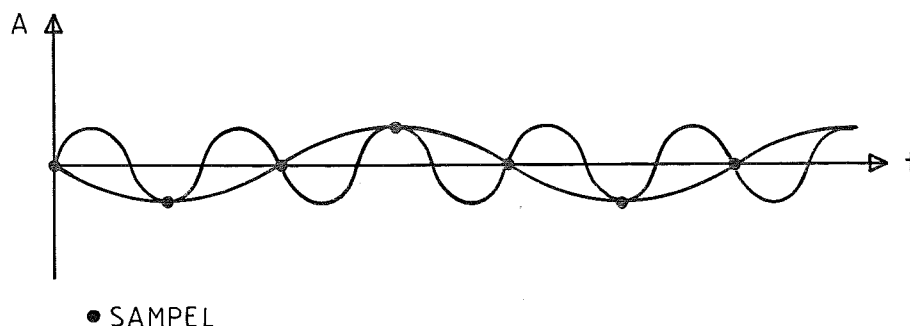


Fig. 7

Två signaler med olika frekvens kan ha samma värde vid alla samplings-tidpunkter

För att undvika detta fenomen så måste alla signaler med högre frekvens än halva samplingsfrekvensen filtreras bort. Vid en samplings-frekvens på 20 Hz behövs det troligen inget separat församlingsfilter därför att transformatorer och mätvärdesomvandlare fungerar som filter. Dessutom finns det ett filter på ingången hos DSAI 130 med en brytfrekvens på 6.5 Hz, och dämpningen 40 dB/dekad. Skulle det visa sig att denna filtrering inte räcker till så får man designa ett separat församlingsfilter. Ett lämpligt val kan då vara t ex ett aktivt filter. Man bör dock här se upp så att man inte får för liten fasmarginal och därmed ett instabilt system. Ett annat alternativ är att ha mätvärdes-omvandlarna som filter. Enligt konstruktören av mätvärdesomvandlarna (Tillquist I 200 och U 200) så går det att ändra deras tidskonstanter. Det skulle härigenom vara möjligt att använda dessa som församlingsfilter och på så sätt slippa att designa separata filter.

Skulle man vilja använda en lägre samplingsfrekvens än 20 Hz för skänkgagnar blir det nödvändigt att använda ett separat församlingsfilter. Detta filter dimensioneras så att man får en brytfrekvens som är något mindre än hälften av samplingsfrekvensen men större än överkorsningsfrekvensen. Anledningen till att man vill minska samplingsfrekvensen är att man skulle kunna använda en helt standard MasterPiece och att lasten skulle minska väsentligt.

Skulle lasten minska kunde man använda samma Masterpiece för elektrodreglingen och värmningsstationen och därmed spara kostnaden för en Master.

Här kan det vara lämpligt med ett aktivt filter och man skall även här vara observant på fasmarginalen. Anledningen till att man använder ett aktivt filter är att man skulle få orimligt stora värden på induktanserna i ett Butterworth eller ett Chebyshev filter. De stora induktansvärdena beror på den låga brytfrekvensen.

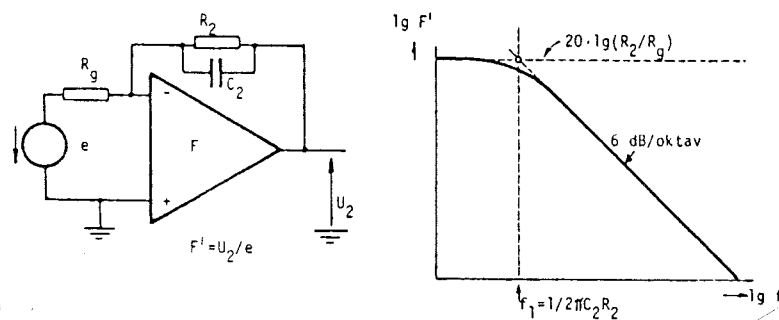


Fig.8  
Aktivt filter

Eventuellt kan det vara nödvändigt att kaskadkoppla flera aktiva filter för att få tillräcklig dämpning.

## 6.7 Programmet

I bilaga 5 redovisas ett förslag till ett Master program för reglering samt för ström och spänningsvisning i en fas.

Tabell 1 innehåller värden för skalning av strömmen beroende på lindningskopplarläge.

Tabell 2 innehåller värden för skalning av strömmen beroende på valt strömläge.

Tabell 3 innehåller värden för skalning av spänning beroende på valt lindningskopplarläge. (Max last lägen).

Tabell 4 innehåller värden för att förändra förstärkningen beroende på valt lindningskopplarläge.

Tabellerna kan göras på följande sätt. På ingång A till en MUX-I lägges t ex valt strömläge. Det datavärde som finns på den adress som valt strömläge representerar kommer då att läggas ut på utgången från MUX:en. Datavärdet är på förhand beräknat och lagrat för att ge en lämplig arbetspunkt för ugnen. De andra tabellerna konstrueras på precis samma sätt.

Skillnaden mellan spänningssvaret och en del av strömssvaret bildas. Denna skillnad får sedan representera mitt är-värde till regulatorn.

Jag har valt att använda en PI-regulator i stället för den PIP som tidigare användes. Anledningen till att man använde en PIP-regulator var problem med integratoruppvridning när ljusbågen slocknade. Detta problem är lättare att ordna i Master än det var med den analoga regleringen.

Här kan man göra på följande sätt. När strömmen blir noll detekteras detta med en komparator och man ger order om nerkörning av elektroden samtidigt som integratordelen nollställes. När strömmen åter börjar flyta normalt slås regulatorn till igen och man börjar åter att reglera utan att få någon "inkopplingsbump". Denna "bump" uppstår om man låter integrationsdelen växa på grund av det stora reglerfelet som uppstår då ljusbågen är släckt. När man sedan slår till regulatorn igen så måste den tömma sin stora integrationsdel innan den kan börja ge order om att köra upp igen. Man har då eventuellt redan kört ned i skrotet och förorsakat en kortslutning eller i värsta fall ett elektrod-brott.

Man bör också i denna del av programmet observera att det är fördelaktigt att konvertera ett real tal till ett integer före jämförelsen med referensvärdet. Denna konstruktion sparar last på grund av att jämförelse i integer är mycket snabbare än i motsvarande real.

## 6.8 Idrifttagning

Samplingsfrekvensen är en parameter av stor betydelse. Man bör eftersträva att ha en så hög samplingsfrekvens som möjligt. I detta fall har vi en samplingsfrekvens på ca 20 Hz. Denna samplingsfrekvens är kanske något låg och borde varit upp mot 30-40 Hz istället för att säkert kunna garantera en bra funktion. Skulle det visa sig att 20 Hz är en för låg samplingsfrekvens så yttrar det sig som för stora överslängar hos stegsvaret. Man måste då öka samplingsfrekvensen. Detta kan göras genom att öka samplingsfrekvensen i Mastern men man måste då se upp så att lasten inte blir för stor. Eventuellt kan man bli tvungen att ta bort utgångarna för visning av ström och spänning samt även ta bort för regleringen onödiga programavsnitt.

En annan väg att gå är att försöka använda externa A-D och D-A omvandlare därför att inläsning och utläsning av digitala signaler i Mastern är mycket snabbare än inläsning och utläsning av analoga.

Det skulle också vara nyttigt att göra en spektralanalys av ström och spänningssignal på strategiska ställen som t ex före och efter filtreringen. Denna analys av signalernas spektralinhåll skulle ge mycket nyttig information om behovet av ytterligare filtrering för att undvika vikningstendenser.

De vanliga regulatorparametrarna för en PI-regulator, förstärkning och integrationstid, är naturligtvis även för en digitalregulator av central betydelse. Dessa parametrar skall följaktligen ägnas stor uppmärksamhet vid igångkörningen då de är väl så viktiga för en digitalregulator som för motsvarande analoga regulator.

### 6.9 MasterPiecen's last

Vid val av samplingsfrekvens så har det varit nödvändigt att titta på hur mycket last som fås i MasterPiece. Samplingsfrekvensen är omvänt proportionell mot den scanning time som har valts för programavsnittet för regulatorn.

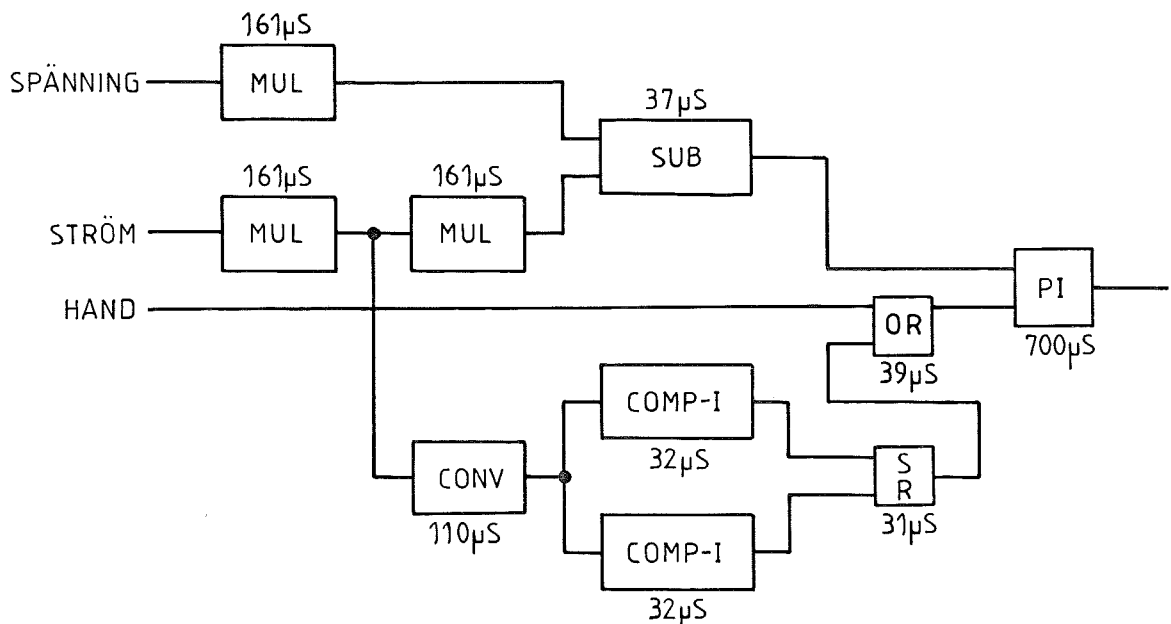


Fig. 9  
Regulatorprogrammet (scanning time 50 ms)

För att beräkna lasten i MasterPiecen så måste exekveringstiderna summeras för alla element. In- och utläsningarnas bidrag till lasten måste också uppskattas.

Programavsnittet för regulatorn (scanning time 50 ms)

1.5 ms = totala exekveringstiden för elementen

3 x 3 = 9 ms = maximala exekveringstiden för analoga in och utläsningar

$$1.5 + 9 / 50 = 21 \% \text{ last}$$

Programavsnittet för visning av ström (scanning time 200 ms)

1.2 ms = totala exekveringstiden för elementen

3 x 2 ms = 6 ms = totala exekveringstiden för analoga utläsningar

$$1.2 + 6 / 200 = 3.6 \% \text{ last}$$

Programavsnittet för tabeller till regulatorn (scanning time 200 ms)

4 x 0.052 = 0.2 ms = totala exekveringstiden för elementen

1 ms = maximala tiden för alla digitala inläsningar

$$1 + 0.2 / 200 = 0.6 \% \text{ last}$$

Den totala lasten kommer maximalt att bli 3 (21 + 3.6 + 1) = 77 % för dessa programavsnitt. Jag har här räknat med en exekveringstid på 3 ms för en analog in eller utläsning. De produktansvariga uppger att exekveringstiden kan ligga på 2-3 ms. Skulle exekveringstiden vara 2 ms skulle lasten bara bli 54 % och det skulle finnas utrymme för att snabba upp scanning time i programavsnittet för regulatorn. Med en scanning time på 33 ms så skulle vi få en samplingsfrekvens på 30 Hz och troligen en bättre funktion hos regulatorn. Samtidigt skulle lasten inte överstiga 80 % och vi skulle ha en liten marginal kvar.

Enligt detta resonemang så kan vi se att lasten i MasterPiecen till största delen bestäms av vald scanning time för de analoga in och utläsningar som måste göras. Programmet utgör endast en obetydlig del när det gäller lasten. Det är därför möjligt att addera till finesser i regleralgoritmen utan att lasten påverkas nämnvärt. Detta kan vara en fördel om man i framtiden vill göra några förändringar eller kompletteringar.



## 7. Adaptiv reglering

För att förenkla framtagningen av komplexa regulatorer så försöker man automatisera hela beräkningsproceduren. Detta kan göras genom att förse regulatorn med nödvändiga algoritmer för parameterberäkning och kontrolldesign. Man får då en självinställande regulator som har förutsättningar att ställa in sig själv. En sådan regulator blir mer komplex än en konstant förstärknings regulator. Den kan dock bekvämt implementeras med microprocessorer.

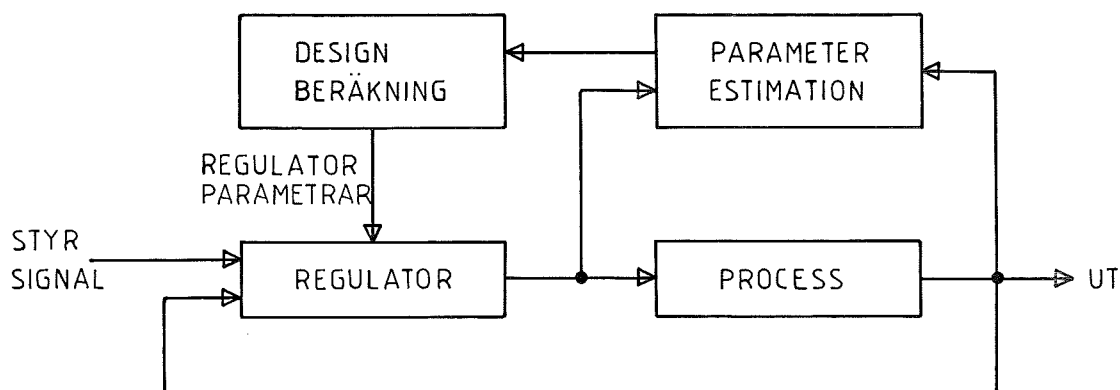


Fig. 10  
Självinställande regulator

Med små modifieringar av den självinställande regulatorn får man en adaptiv regulator, som kan klara system med stora parameter variationer.

Med tanke på att krets förstärkningen varierar vid elektrodreglering då ljusbågsimpedansen försökes hållas konstant så skulle en adaptiv regulator kunna ge en bättre reglering.

## 8. Novatune

Novatune förefaller att vara ett lämpligt val av adaptiv regulator för elektrodreglering hos ljusbågsugnar. Den är en av de allra första kommersiellt tillgängliga adaptiva regulatorerna. Den är dessutom utvecklad inom ASEA och finns så att säga redan i huset. Försök med Novatune har gjorts i tidigare projekt hos Smedjebacken Boxholm Stål AB, Smedjebacken. Detta projekts målsättning var att utprova Novatune för elektrodreglering av ljusbågsugnar och skänkungar. Projektledare var Bertil Göransson (HKC) och som expert på Novatune deltog Mats Westholm (ILN).

Man kopplade Novatunen (Novatune 430) parallellt med den gamla regulatorn. Genom att man hade en enkel omkoppling mellan den gamla regulatorn och Novatunen så kunde man bedriva försök även under produktion. Man slog alltså om till den gamla regulatorn när det började gå dåligt med Novatunen och kunde på så sätt förhindra att större driftstörningar uppstod.

Det program som används under försöket visas i bilaga 6. Man använde sig av en Star 3 modul för att uppnå maximal flexibilitet i parametervalet. Star 1 och Star 2 modulerna tillåter inte lika stora valmöjligheter av parametrar som Star 3 modulen. Ett stort antal parameteransatser gjordes för att hitta den bästa kombinationen och underlätta för Novatunen att identifiera processen. Man lyckades dock aldrig identifiera processen i smältskedet. Man kom fram till att den mest lyckade regleringen nåddes med samplingsintervallet  $T_S = 600$  ms och med parametrarna  $N_A = 1$ ,  $N_B = 2$ ,  $N_C = 0$  och  $K_D = 1$ . Detta leder till en prediktionshorisont på  $T_S \times K_D = 600$  ms.

Som ledning för prediktionshorisonten kan allmänt sägas att det skall vara så lång tid som det tar för den ostyrda processens stegsvar att uppnå en avsevärd del av slutvärdet. Med tanke på att man har en utregleringstid på 1.8-2.5 s för denna parameteruppsättning så är prediktionshorisonten rimlig.  $K_D = 1$  är också rimligt med tanke på att vi har en dödtid som är ca 200-300 ms vilket kan betraktas som försumbar. När man har processer utan dödtid väljs  $K_D = 1$ . Samplingsperioden  $T_S$  väljes som 25 % av önskad insvängningstid utöver dödtiden. Detta leder till att även samplingsperioden är rimlig ty  $4 \times 0.6 = 2.4$  s, lika med utregleringstiden.

$N_A$  = antal termer av  $\dot{y}$  är värdet  
 $N_B$  = antal termer av styrvärdet  
 $N_C$  = antal framkopplingstermer

Det normala valet  $N_A = N_B = N_C = 3$  är här inte lämpligt.  $N_C = 0$  måste vi ha för att framkoppling är omöjlig i denna tillämpning.  $N_A$  och  $N_B$  väljes mindre än 3 för att vi skall erhålla en snabbare adaptation. Väljs  $N_A$  och  $N_B$  för stora finns risk att regulatorn försöker fånga upp snabba oönskade moder. Valet  $N_A = 1$  och  $N_B = 2$  förefaller alltså också rimligt. Alla valda parametrar förefaller alltså lämpligt valda och man kan dra den slutsatsen att man måste ha hittat den "bästa" regulatorn för detta problem. Denna regulator är dock inte tillräckligt bra för att klara av att reglera processen i nedsmältningsskedet. Den ger här upphov till skakningar och vibrationer i elektrodarmarna som riskerar att bryta sönder grafitelektrodena.

Följande slutsatser har dragits efter studium av slutrapporten från försöken i Smedjebacken och efter samtal med Anders Åberg (ILN).

1. Novatune är ej lämplig för reglering när processdynamiken varierar alltför snabbt. Därför är den inte lämplig för reglering under det inledande smältskedet i en ljusbågsugn. I detta skede kan processförstärkningen variera så mycket som 30 gånger. Denna variation i förstärkning kan ske flera gånger under en sekund. Novatune hinner då inte med att adaptera, så vi kan alltså få en olämplig regulator i detta skede.
2. Genom att använda en konventionell digital regulator för regleringen under smältprocessen skulle man kunna kringgå problemet med adapteringen. Detta visade sig dock svårt att genomföra på grund av den låga samplingsfrekvensen hos Novatune systemet. Man skulle även få problem med lasten. Man skulle vara tvungen att implementera 3 digitala PI-regulatorer i Novatunen förutom Star modulerna och detta kräver en hel del last. Därför kan denna metod ej rekommenderas.
3. Reglering mot blank smälta går bra, i viss mening även bättre än reglering med en konventionell regulator. Detta skulle innebära att Novatune skulle kunna vara ett lämpligt val för reglering av elektrodena hos en skänkgugn.

## 9. Modell för datorsimulering

Syftet med detta modellbygge har varit att få fram en modell lämplig för körning på dator. Med hjälp av modellen skulle nya reglerstrategier kunna testas och även sådana saker som val av samplingsintervall för digitala regulatorer. Ett intressant problem att studera är kopplingen mellan faserna. Därför har stor vikt lagts på modellen av trefas-systemet och dess uppförande.

## 10. Drivsystemet

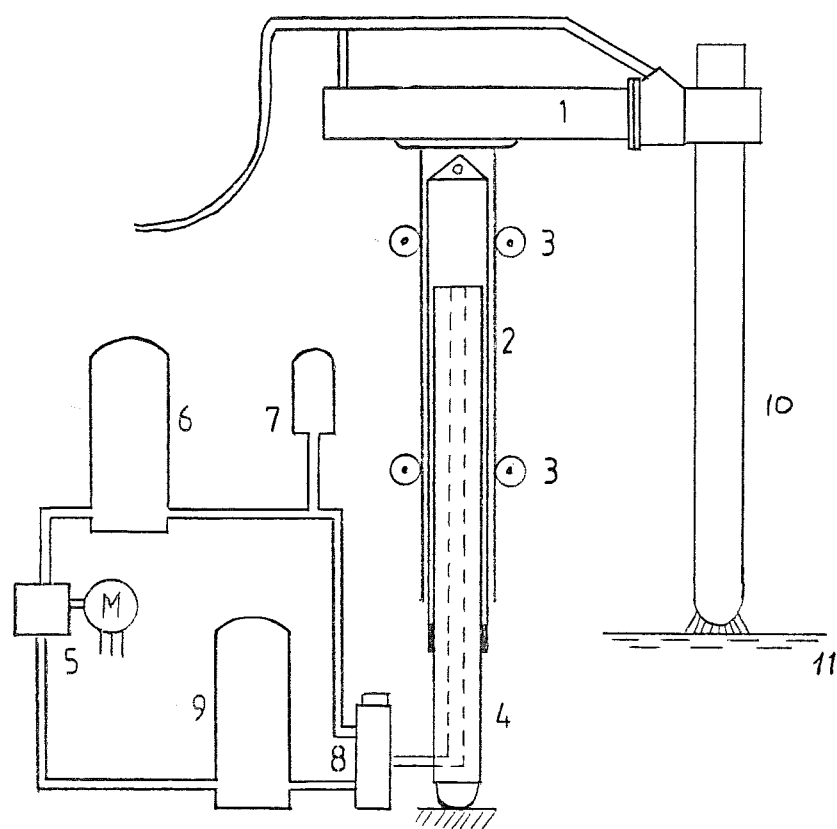


Fig. 11  
Hydraulsystemet för inställning av elektrodläget

1 elektrodarmar, 2 elektrodpelare, 3 stödhjul, 4 hydraulcylindrar,  
5 högtryckspump, 6-7 högtryckstankar, 8 trevägsventil med ställdon  
9 lågtryckstank, (10 elektrod, 11 smälta)

Genom att ställa in avståndet mellan elektrod och smälta kan man bestämma strömmen genom elektroden samt spänningen över ljusbågen och därmed även impedansen. Denna avståndsställning sker med hjälp av ett hydraulsystem (se fig 11). En trevägsventil förbinder hydraulcylindern med antingen en högtryckstank eller en lågtryckstank. Därigenom höjs eller sänks elektroden.

Med hjälp av en strömsignal påverkas ett ställdon som i sin tur påverkar öppningen hos ventilen. Strömsignalen fås från regulatorn som försöker upprätthålla konstant impedans  $U/I = \text{konst.}$  Strömmen påverkar en spole i ställdonet som är upphängd i fältet från en permanent magnet. Spolen kommer att flytta sig beroende av strömmens storlek och riktning. Rörelsen hos spolen överförs hydrauliskt till ventilen.

## 11. Överföringsfunktionen för hela systemet

Överföringsfunktionen för hela systemet kan beskrivas som en kaskadkoppling av följande överföringsfunktioner:

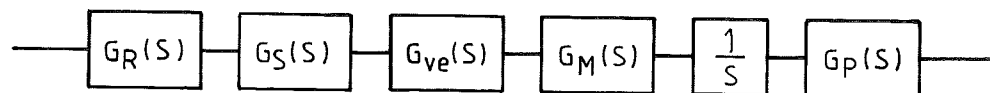
$G_R(S)$  = Regulatorns överföringsfunktion

$G_S(S)$  = Ventilställdonets överföringsfunktion

$G_{Ve}(S)$  = Hydrauliska systemets överföringsfunktion

$G_M(S)$  = Mekaniska systemets överföringsfunktion

$G_P(S)$  = Processens överföringsfunktion (det elektriska 3-fas systemet)



$$G(S) = G_R(S) \cdot \frac{K_S}{1 + S\tau_S} \cdot \frac{1}{1 + S\tau_V} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2\xi}{\omega}S + \frac{S^2}{\omega^2}} \cdot \frac{1}{S} \cdot G_P(S)$$

Sätter vi överföringsfunktionen för regulatorn  $G_R(S) = 1$  samt överföringsfunktionen för processen  $G_P(S) = k_p$  och ritar Bodediagrammet för hela systemet så kommer det att se ut som i fig 12.

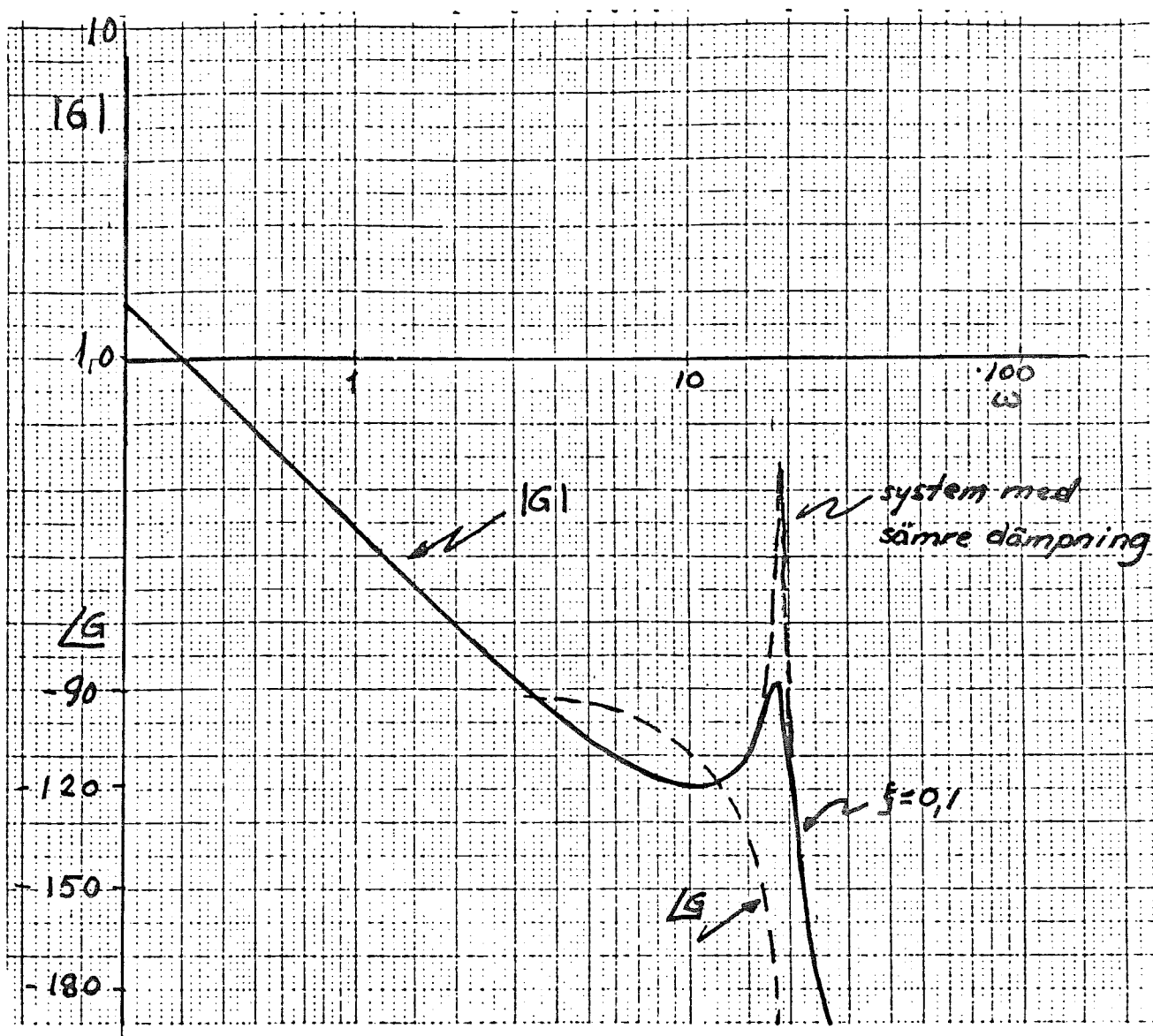


Fig. 12

Bodediagram för hela systemet

I Bodediagrammet kan man se att om krets förstärkningen väljs för hög kommer vi att få ett instabilt system. Fäsvridningen kommer då att överstiga  $180^\circ$  samtidigt som förstärkningen blir större än 1.

I de kommande avsnitten skall en kort förklaring ges till de olika överföringsfunktionerna för de olika blocken. Härledning av ekvationerna finns i PM FAUK 71-5 författat av Kjell Bergman.



## 11.1 Ventilställdonet

Överföringsfunktionen för ställdonet beskrivs enklast som en funktion som ger ventilarean som en funktion av insignalen från regulatören.

Inom det frekvensområde som är intressant kan överföringsfunktionen approximeras med en ren tidsfördröjning.

$$G_S(s) = k_s \times e^{-s\tau_s}$$

detta kan approximativt skrivas som

$$G_S(s) = K_s / (1 + s\tau_s)$$

$$\tau_s = 0.035 \text{ s}$$

Bodediagrammet för en sådan funktion har det principiella utseendet som visas i fig 13.

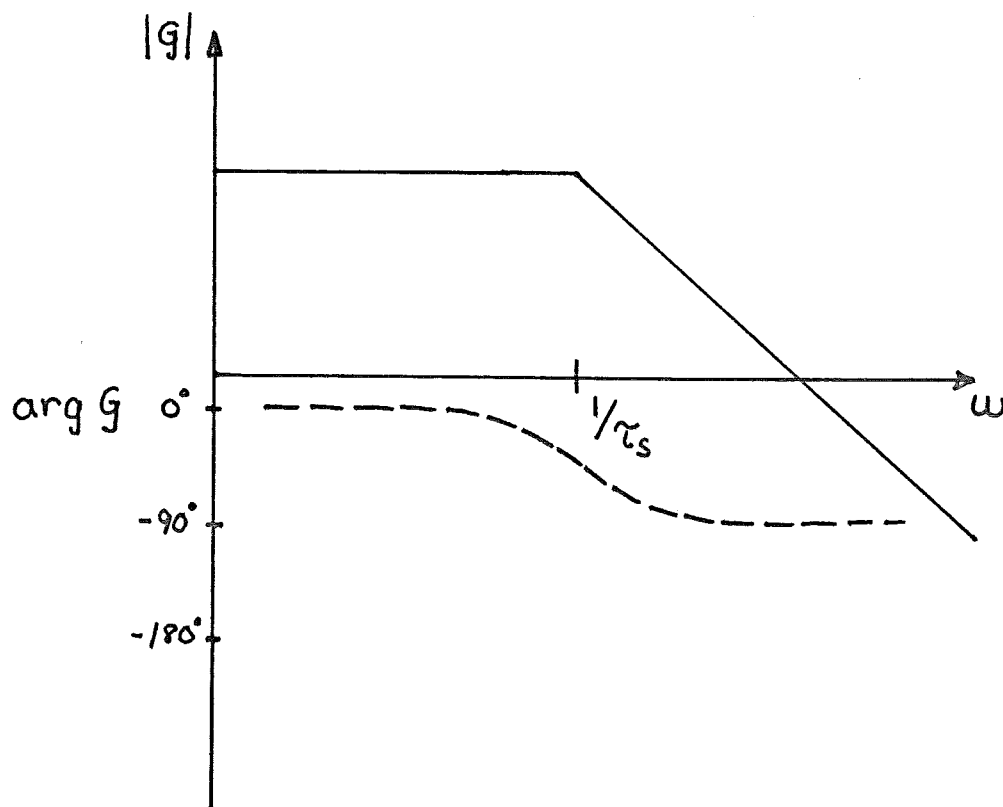


Fig. 13

Bodediagram för ventilställdonet

## 11.2 Hydrauliksystemet

Om man försummar fjädringen i oljepelaren, lyftcyllindern, elektrod-masten och elektrodarmen kan överföringsfunktionen för hydraulik-systemet approximeras med (se PM FAUK 71-5)

$$G_{ve} = 1 / (1 + s\mathcal{T}_v)$$

$$\text{där } \mathcal{T}_v = 0.75 \times V_\infty / A_m$$

$$\mathcal{T}_v \text{ max} = 0.24$$

$V_\infty$  = sluthastigheten på elektroden vid ett visst ventilläge

$A_m$  = maximal acceleration bestämd av hydraultryck och ekvivalent trög massa

Den massa som skall accelereras är vätskepelaren i rörsystemet från högtryckstanken fram till reglerventilen samt pelaren med elektrodarm och elektrod. Det bör observeras att vätskepelaren i rörsystemet omräknad till ekvivalent massa på cylindersidan är av samma storleks-ordning som vikten av pelare + arm.

Man måste också tänka på att ventilställdonet har vissa begränsningar så som maximal gånghastighet och maximal gångsträcka. Den maximala elektrodhastigheten blir således begränsad av maximal ventilöppning och tillgängligt tryckfall över reglerventilen.

När man studerar småsignalstörningar kan dock ställdonets begränsningar försummas. Bodediagrammet har samma principiella utseende som det för ventilställdonet. (Se fig 13).

### 11.3 Mekaniska systemet

Det mekaniska systemets dynamiska egenskaper bestäms av fjädringen i elektropelare, elektrodarm och hydraulcylinder. De mekaniska svängningar vi får i systemet kommer att medföra avståndsförändringar mellan elektrodspets och smälta. Dessa avståndsförändringar ger upphov till en ändring i ljusbåglängd. Vi får alltså en ändring av impedansen i kretsen.

Dessa svängningar kan beskrivas med en dubbeloscillator enligt fig 14 (se PM FAUK 71-5)

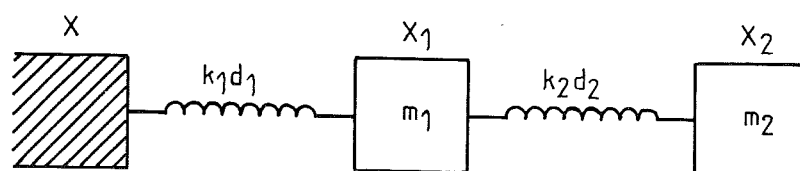


Fig. 14  
Dubbeloscillator

$k_1$  = fjäderkonstanten för vätskepelaren

$d_1$  = dämpkonstanten för vätskepelaren

$m_1$  = totala rörliga massan

$k_2$  = fjäderkonstanten för elektropelaren och elektrodarmen

$d_2$  = dämpkonstanten för elektropelaren och elektrodarmen

$m_2$  = effektiv massa =  $1/2$  (elektrodarmsmassan) + elektrodmassan

Denna ansats ger upphov till en fjädeordningens överföringsfunktion

$$G(s) = \frac{b_2 \cdot s^2 + b_1 \cdot s + b_0}{a_4 \cdot s^4 + a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0}$$

där koefficienterna är

$$b_2 = d_1 d_2$$

$$b_1 = k_1 d_2 + k_2 d_1$$

$$b_0 = k_1 k_2$$

$$\begin{aligned}
 a_u &= m_1 m_2 \\
 a_3 &= m_1 d_2 + m_2 d_1 + m_2 d_2 \\
 a_2 &= m_1 k_2 + m_2 k_1 + m_2 k_2 + d_1 d_2 \\
 a_1 &= k_1 k_2 + k_2 d_1 \\
 a_0 &= k_1 k_2
 \end{aligned}$$

Dessa konstanter kan beräknas med hjälp av följande två ekvationer samt kännedom om resonansfrekvenserna i systemet.

$$\begin{aligned}
 k &= \omega^2 \times m \\
 d &= 2\xi \times \sqrt{k \times m}
 \end{aligned}$$

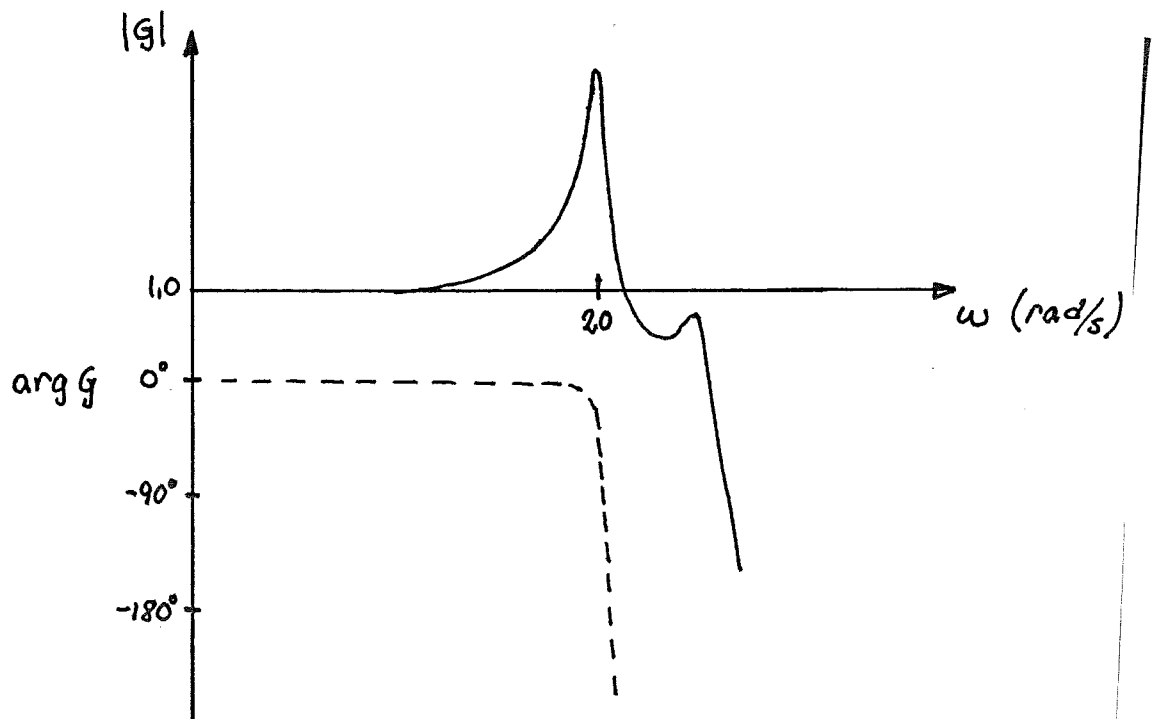


Fig. 15

Bodediagram fjärde ordningens överföringsekvation mekaniska systemet

Vi ser här att det kan vara rimligt att ansätta en andra ordningens överföringsfunktion för praktiskt bruk. Eftersom den andra resonansfrekvensen är ganska hårt dämpad kommer vi att få en snarlik amplitudfunktion med en andra ordningens överföringsfunktion.

$$G_M(s) = \frac{1}{1 + \frac{2\xi}{\omega} s + \frac{s^2}{\omega^2}}$$

$$\omega = \text{grundtonen} \approx \sqrt{\frac{k_1}{m_1}} = 30 \text{ rad/sek}$$

$$\xi = \text{dämpfaktor} (= 0.1)$$

Andra ordningens differentialekvation har ett Bodediagram som kommer att se ut som i fig 16 och vi kan se att avvikelserna från fjärdeordningens Bodediagram inte är så stora.

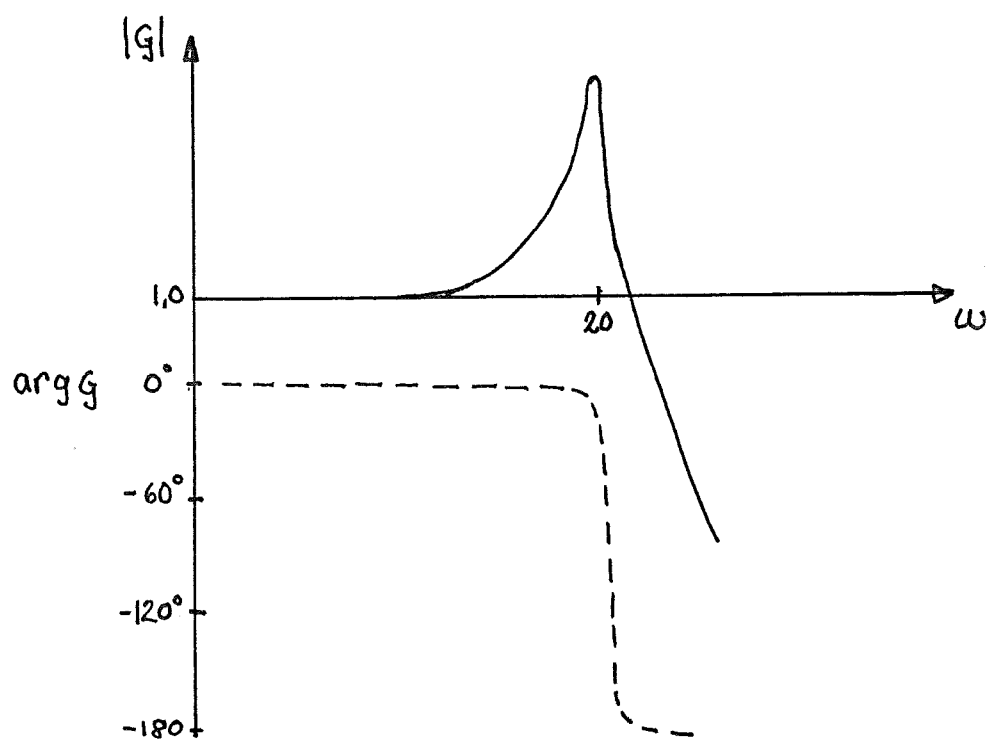
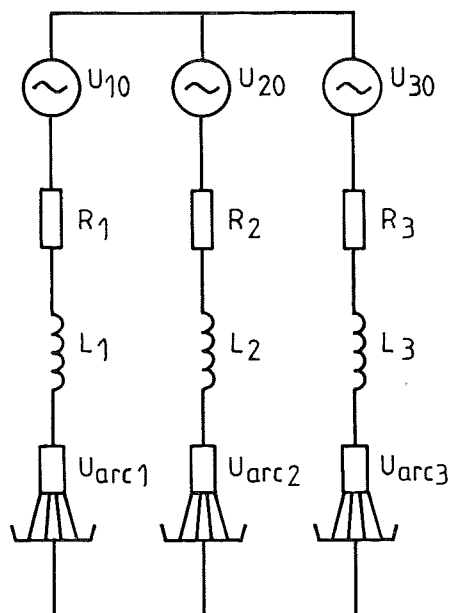


Fig. 16

Bodediagram andra ordningens överföringsekvation mekaniska systemet

## 11.4 Processen

Processen kan beskrivas som ett trefassystem.



$U_{10}$ - $U_{30}$  är spänningen på transformatorns sekundärsida.

$R_1$ - $R_3$  är resistansen i tilledare och elektroder

$L_1$ - $L_3$  är den ömsesidiga induktansen mellan faserna reducerat till fas induktanser

$U_{arc1}$ - $U_{arc3}$  är ljusbågsspänningen

### Ljusbågen

Det enda som gör denna krets ovanlig och svår att räkna på är ljusbågarna. En ideal ljusbåge har en U-I karakteristisk enligt figur 17.

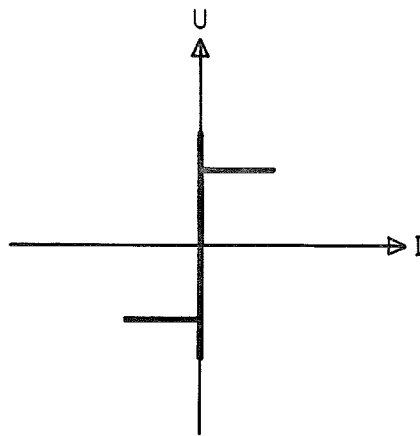


Fig. 17  
Ideal U-I karakteristisk för växelströmsljusbåge

Kurvformen för en ideal ljusbåge är som i fig 18.

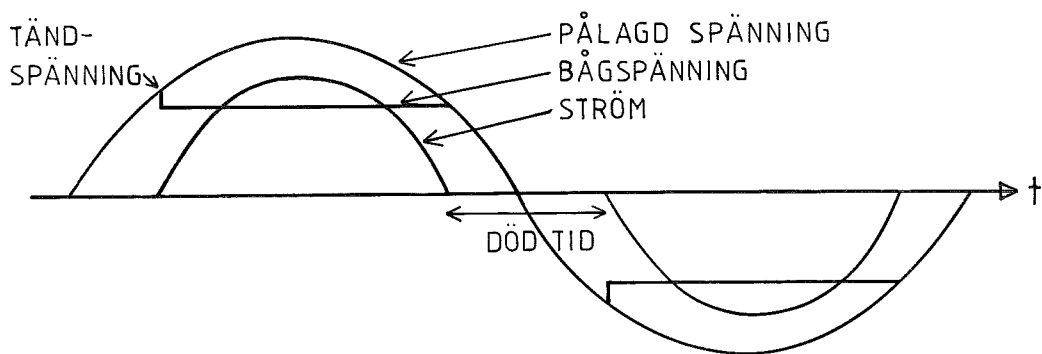


Fig. 18  
Idealiserade kurvformer för ström och spänning i ljusbåge matad med växelspanning

Bågspänningen följer pålagd spänning tills att den når tändspänningen. När bågen tänt minskas bågspänningen och förblir vid ett konstant värde tills att ljusbågen slocknar. Strömmen följer nästan en sinuskurva.

Vid höga temperaturer tänds ljusbågen lättare och dödtiden går mot noll. Detta medför att bågspänningen idealt kan beskrivas som en fyrkantvåg och strömmen som en sinusvåg vid höga temperaturer.

Vid praktiska mätningar finner man att ljusbågsspänningen skiljer sig från den ideala bilden en del. Den skiljer sig t o m för olika perioder hos samma elektrod. Detta kan bero på en hel del faktorer som t ex elektrodens geometri, temperaturen och krestsreaktansen.

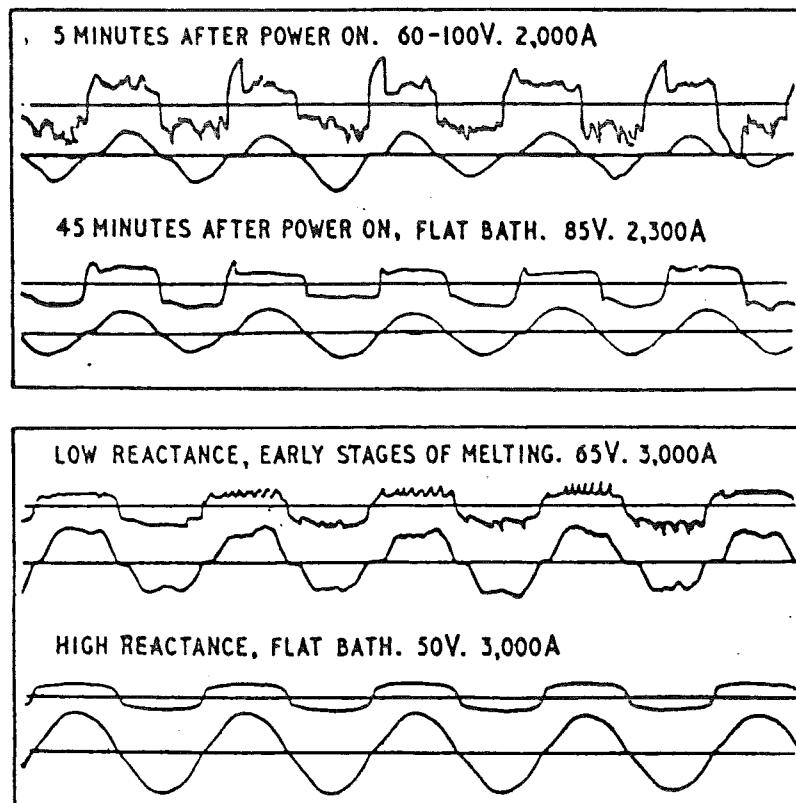


Fig. 19

Registrering av bågspänning och ström

De höfrekventkomponenter som kan observeras hos bågspänningen uppkommer genom att ljusbågen byter fotpunkt och därmed ändras avståndet mellan anod och katod.



Även U-I karakteristiken skiljer en hel del från idealbilden.

—Dynamic characteristics of furnace arcs: (a) low reactance, early stages of melting, (b) high reactance, early stages of melting, (c) low reactance, molten bath, (d) high reactance, molten bath

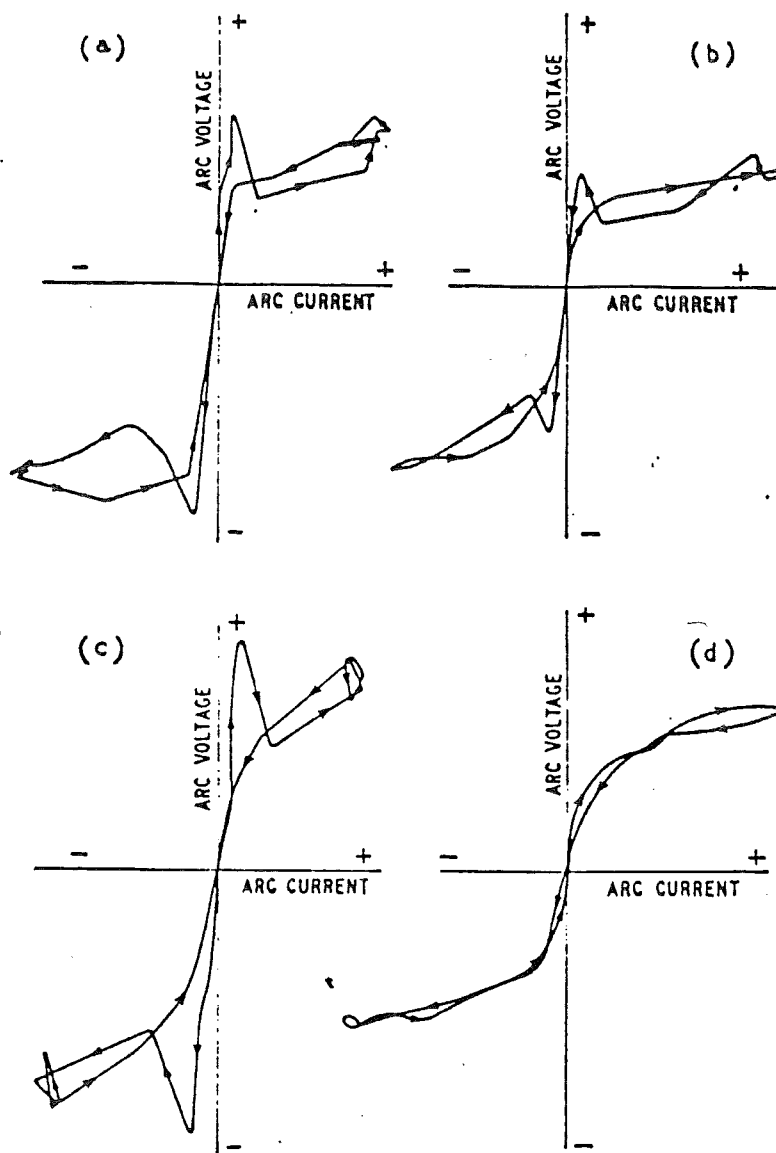


Fig. 20

Registrering av U-I karakteristisk för växelströmsljusbåge

Spänningen i själva ljusbågen kan beskrivas med en karakteristik enligt fig 21. Här kan man se att det finns ett spänningsfall vid katod och ett spänningsfall vid anod som är oberoende av avståndet mellan anod och katod.

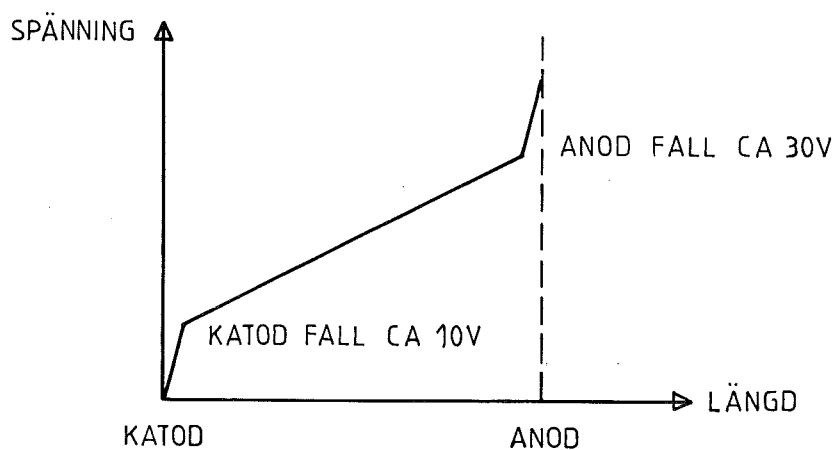


Fig. 21

Spännings karakteristik för ljusbågen

Spänningsfallet vid katoden beror på att det bildas ett tunt skikt (katodfallet) där positiva joner accelereras till energinivåer som är tillräckligt höga för att emittera elektroner av katoden. Man får även en upphettning av katoden på grund av jonbombardemanget.

Vid anoden finns motsvarande skikt (anodfallet) där elektroner med hög hastighet träffar anoden och upphettar denna.

#### 11.4.1 Modell av ljusbågen

Det tidigare behandlade beteendet hos ljusbågen visar att följande modell av bågen skulle motsvara våra krav

$$U_{\text{arc}}(l) = k_1 \times l + k_2$$

där  $k_1 = 1000 \text{ volt/m}$

$$k_2 = 40 \text{ volt}$$

$$l = \text{avståndet i meter mellan anod och katod}$$

Detta är den så kallade Cassies bågmodell.

Beräkning av strömmar och spänningar i processmodellen (fig 22).

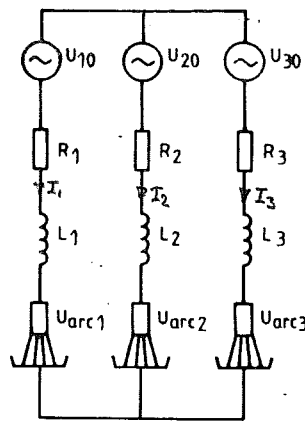


Fig. 22  
Processmodellen

För att lösa ut strömmen använder jag Kirchhoffs lagar för ström och spänning. Detta ger

$$\begin{aligned} U_{10} - I_1 R_1 - \frac{dI_1}{dt} L_1 - U_{arc1} &= \\ = U_{20} - I_2 R_2 - \frac{dI_2}{dt} L_2 - U_{arc2} &= \\ = U_{30} - I_3 R_3 - \frac{dI_3}{dt} L_3 - U_{arc3} &= \end{aligned}$$

och

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

där

$$U_{10} = U_0 \sin(\omega t)$$

$$U_{20} = U_0 \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$U_{30} = U_0 \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

$$U_{arc1} = (k_1 * AVS1 + k_2) * \text{sign}(I_1)$$

$$U_{arc2} = (k_1 * AVS2 + k_2) * \text{sign}(I_2)$$

$$U_{arc3} = (k_1 * AVS3 + k_2) * \text{sign}(I_3)$$

$U_0, k_1, k_2$  konstanter

$AVS1, AVS2, AVS3$  avstånd mellan anod och katod.

För lösning av ekvationerna måste en dator användas. Möjligheten att använda ett datorprogram kallat SANDYS undersöktes.

## 12. SANDYS

För att simulera systemet valdes att använda ett program kallat SANDYS (Simulation and Analysis of Dynamic Systems).

SANDYS är ett program för lösning av system av styckvis kontinuerliga differentialekvationer och algebraiska ekvationer. Dessutom kan sk händelser förekomma då t ex parametervärden ändras eller ekvationer byts ut. Programmet klarar även diskontinuiteter i systemekvationerna.

Lösningssmetoden bygger på att användaren beskriver sitt system i ett speciellt simuleringspråk. Dessa systembeskrivningar översättes av en preprocessor till FORTRAN-subrutiner. Dessa rutiner, som även kan bifogas direkt av användaren, infogas i beräkningsdelen, vilken utför tidsintegrationen av systemekvationerna.

Integrationen utföres med hjälp av sk bakåtderiveringsformler.

Indata omfattar dels systembeskrivning given antingen i simuleringspråket eller som färdig FORTRAN-rutin och dels direktiv för hantering av indata, styrning av beräkningen och resultatutmatning. Indata kan sparas och modifieras mellan olika beräkningsfall.

Resultatutmatningen omfattar kontrollutskriften, tabellutskriften samt kurvritning av resultat på plotter.

SANDYS förefaller att vara ett utmärkt val för simulering av detta system. Detta antagande skall efter omfattande försök visa sig felaktigt.

## 12.1 Programmet

Programmet utför transientanalys av system som kan formuleras som styckvis kontinuerliga system av ordinära differentialekvationer och algebraiska ekvationer av formen:

$$F(y, y', t, a) = 0 \text{ där}$$

$F$  är en vektorvärd funktion av  $y$ ,  $y'$ ,  $t$  och  $a$

$y = y(t)$  är den sökta vektorn av beroende variabler

$y'$  är derivatan av  $y$  med avseende på den oberoende variabeln  $t$

$a$  är en vektor av tidsberoende parametrar

Förutom systemekvationerna kan användaren föreskriva ett antal  $s$   $k$  händelser. En händelse kan inträffa  $t$  ex när en ny komponent i den studerade elektriska kretsen kopplas in, när programmet har integrerat fram till en på förhand bestämd tidpunkt, o dyl. Dessa yttre händelser motsvaras av åtgärder som programmet skall företa enligt användarens instruktioner,  $t$  ex utföra diskreta ändringar av ekvationer, variabler eller parametrar och därefter återstarta lösningen av systemet.

Åtgärder orsakade av händelser utlöses av  $s$   $k$  triggfunktioner. Triggfunktionerna får vara av två olika typer, vilka motsvarar fallen att avbrottstidpunkterna är kända i förväg resp att de är bestämda av kända algebraiska/logiska uttryck i  $y$ ,  $y'$ ,  $t$  och  $a$ .

SANDYS består av fyra huvuddelar:

- preprocessor som omvandlar användarens systembeskrivning till ekvationsbeskrivande FORTRAN-rutiner
- beräkningsdel som utför tidsintegration av det resulterande systemet
- beräkningsdel som utför frekvensanalys av det resulterande systemet
- resultatbehandlingsprogram för kurvritning och tabellutskriften

Systembeskrivningen görs i ett användarorienterat simuleringspråk. Detta är konstruerat för att medge enkel formulering av system, bestämda av reglertekniska, elektriska, mekaniska och termiska delsystem och komponenter.

Språket innehåller element för beskrivning av omslagsvillkor och händelser, samt för användning av hjälputtryck. Anrop till egna FORTRAN-rutiner kan också infogas.

Delsystem (sk moduler) kan lagras på bibliotek, vilka sedan kan refereras i överordnade system.

Ett centralt bibliotek med moduler av allmänt intresse finns generellt tillgängligt inom systemet.

Användaren har även möjlighet att själv skriva de ekvationsbeskrivande FORTRAN-rutinerna.

Hantering av indata samt styrning av beräkning och resultatutmatning göres med enkla kommandon.

Både preprocessor, beräkningsdelarna och resultatbehandling kan köras såväl i TS som i batch, men initieringen av ett jobb sker alltid från TS.

Vid beskrivningen av systemet har först gjorts försök att beskriva processen och lösa ekvationerna för densamma. Här stötte man omedelbart på problem när man försöker lösa ekvationerna. Från början hade inte teckenskiftningarna hos ljusbågsspänningen (fyrkantvåg) definierats som händelser, se bilaga 7. Detta medförde att beräkningstiderna blev orimliga och det uppstod falska lösningar till differkvationerna när ljusbågsspänningen ökade. För att kringgå detta problem så definierades teckenskiftningarna som händelser med hjälp av WHEN-satser (se bilaga 8.2 "Fyrkantvåg"). Detta gjorde att det blev möjligt att köra med en större ljusbågsspänning dock inte tillräckligt stor. Även här uppstod problem när ljusbågsspänningen blev stor. Detta yttrade sig på så vis att programmet kom att stå och slå mellan de två tillstånden POS och NEG som definierade positiv respektive negativ halvperiod hos fyrkantvågen. Enligt de programansvariga på KZT är detta fenomen vanligt.

Det enda man kan göra för att undvika problemet är att ha en viss hysteres på omslagsvillkoret för händelserna. Även med mycket stor hysteres kvarstod problemet varför försök att runda av fyrkantvågen gjordes för att den skulle bli lättare att räkna på och därigenom minska problemen. Inte heller detta hjälpte nämnvärt. Dessutom skulle körkostnaderna bli orimligt höga om systemet simulerats i 2-3 sek. Detta ledde till att efter ett otal försök med diverse mer eller mindre bra ansatser till modell av ljusbågen, gavs försöken att simulera processen i SANDYS upp. En av anledningarna till att det blir svårt att räkna på processen är att man har ett dåligt konditionerat system.

Det har även gjorts försök med att ersätta ljusbågen med en ren resistans (se bilaga 8). Denna ansats av ljusbågen är inte riktig därför att ljusbågsspänningen kommer att bli beroende av strömmen. Det gick dock att få en uppfattning om det skulle vara möjligt att simulera hela systemet med den kompletta överföringsfunktionen. Detta system visade sig gå att köra. Det var dock ganska trögt och körkostnaden kom att bli ca 500:- för 2-3 sekunders simulering.

## 12.2 Resultat av simuleringen

De slutsatser som dragits av försöket att simulera reglerförloppen i SANDYS är följande.

- Det var ej lämpligt att simulera ett system med så stora och ofta förekommande diskontinuiteter som i detta fall.
- Det var ej lämpligt att simulera ett så stort system med så snabba transienter under längre tidsrymder.
- Det är svårt att lära sig alla finesser och knep som skall till för att programmet skall snurra utan hjälp av sakkunniga (avd KZT).

Under slutskedet av mitt arbete har min handledare på LTH i Lund kört en simulering av enbart processen. Denna simulering utfördes med ett programpaket kallat SIMNON. Detta program lyckades lösa ekvationerna på mycket kort tid och med tillfredsställande resultat. Skulle det finnas behov av simuleringar i framtiden så kan körningar med SIMNON eventuellt utföras på ASEA Relays eller ASEA Robotics. Både Relays och Robotics har tillgång till SIMNON programmet.

De slutsatser som kan dras av SIMNON körningen är att modellen av processen i stort sett momentant svänger in sig vid ett steg i ljusbågs-  
spänningen, samt att påverkan på de andra faserna är ringa vid måttliga stegstörningar.



### 13. Sammanfattning

Den reglering som används är impedansreglering.

$$U / \sqrt{3} = I \times Z = I \sqrt{R^2 + X^2}$$

Resistansen i ljusbågen är proportionell mot ljusbåglängden och omvänt proportionell mot strömstyrkan. Det går således att reglera strömstyrkan genom att variera ljusbåglängden.

För att beräkna impedansen så måste man ha tillgång till både ström- och spänningssignal. Spänningen mätes på sekundärsidan av ugnstransformatorn så nära elektroderna som möjligt för att undvika spänningsfallet i tillledningarna. Strömmen mätes på primärsidan av ugnstransformatorn. Mätningen sker på primärsidan därför att strömmen där är betydligt lägre än på sekundärsidan. På grund av att mätningen sker på primärsidan måste en skalning av mätsignalen göras, beroende på valt lindingskopplarläge. Detta görs nu med den så kallade mellanströmstransformatorn.

#### 13.1 Utförande med MasterPiece

För den nya regulatorn har ström och spänningsmätningen gjorts om. Detta redovisas i fig 6 avsnitt 6.1 och 6.2. Bland annat har ett antal mellanströms och spänningstransformatorer tagits bort.

Som regulator har Asea MaterPiece 260 valts. Denna bestyckas med analoga och digitala in- och utgångskort. Detta redovisas i avsnitt 6.3 och 6.4.

Signalerna till regulatorn samplas med en frekvens av minst 20 Hz. Detta medför att en speciell systemgenerering i MasterPiece måste göras för att klara denna höga samplingsfrekvens. Den högsta samplingsfrekvensen är annars 10 Hz.

För att kunna garantera att regulatorn säkert kommer att fungera skulle en samplingsfrekvens som är betydligt större än 20 Hz använts. Detta är tyvärr ej möjligt på grund av att lasten i MasterPiece då skulle bli för hög.

På grund av den relativt låga samplingsfrekvensen blir förfiltreringen av signalen av vital betydelse för funktionen. Filtreringen måste verka på signaler över halva samplingsfrekvensen för att undvika vikning. Det är samtidigt viktigt att ingen information med lägre frekvens än 2-4 Hz filtreras bort för att systemet skall behålla sin snabbhet. Det visar sig att mätvärdesomvandlarna tillsammans med ett filter på ingångskortet i MasterPiece'n ger lämplig filtrering vid 20 Hz samplingsfrekvens. Detta redovisas i avsnitt 6.5 och 6.6.

Programmet i MasterPiece'n redovisas i bilaga 5 samt avsnitt 6.7. Programmet skall sköta all skalning av signaler som tidigare utförts med omkopplingar i resistansnät och mellanströmstransformatorer. Den PIP-regulator som användes i Combitrol har här ersatts av en regulator av PI-typ. Detta är möjligt på grund av att det är lättare att förhindra integratoruppvridding i MasterPiece än tidigare i Combitrol.

Skulle ingen hänsyn tas till integratoruppvriddingen skulle man erhålla så kallade "inkopplingsbumpar" när ljusbågen tändes. Detta skulle kunna leda till haverier i form av elektrodbrött.

### 13.2 Användning av Novatune

Utvärderingen av ett tidigare försök med Novatune visade att denna inte var lämplig för reglering av ljusbågsugnar. Det skulle dock kunna gå att använda Novatune för reglering av skänkungar. Denna utvärdering kan kort sammanfattas i tre punkter.

1. Novatune är ej lämplig för reglering när processdynamiken varierar alltför snabbt. Därför är den inte lämplig för reglering under det inledande smältskedet i en ljusbågsugn.

2. Genom att använda en konventionell digital regulator för regleringen under smältprocessen skulle man kunna kringgå problemet med den snabbt varierande processdynamiken i smältskedet. Detta visade sig dock svårt att genomföra på grund av den låga samplingsfrekvensen och den höga last man skulle fått i Novatune systemet.
3. Reglering mot blank smälta går bra. Detta skulle innebära att Novatune skulle vara lämplig för reglering av elektroderna hos en skänkgugn.

### 13.3 Modell för datorsimulering

Modellen för datorsimulering skulle vara ett hjälpmedel för att undersöka nya reglerstrategier och inverkan av samplingsfrekvensen för en digital regulator. Modellen består av ett antal block (se avsnitt 11) där varje block beskriver ett delsystem. De olika blocken beskriver regulatorn, ventilställdonet, hydrauliska systemet, mekaniska systemet och processen. Regulatorn beskrivs i fallet med MasterPiece'n av en digital PI-regulator och i fallet med Novatune av en Star 3 modul. Regulatorn är alltså det block som varierar i modellen beroende på vad man vill undersöka. Ventilställdonet kan beskrivas med en första ordningens överföringsfunktion. Det samma gäller för det hydrauliska systemet. Det mekaniska systemet beskrivs med en andra ordningens överföringsfunktion. Processen beskrivs med ett trefasssystem i form av olinjära differentialekvationer. Dessutom ingår en integrerande länk i beskrivningen.

För att kunna lösa dessa ekvationer måste datorhjälp tillgripas. Valet av program för ekvationslösningen föll på ett programpaket kallat SANDYS. SANDYS är ett simuleringsprogram för lösning av styckvis kontinuerliga differentialekvationer och algebraiska ekvationer. Till att börja med såg det ut som om SANDYS skulle klara att lösa ekvationerna, men efter ett otal försök konstaterades att SANDYS inte klarade detta. Detta berodde främst på att ekvationssystemet var för stort, hade för stora diskontinuiteter och att tidsrymden för simuleringen var för lång. Därför blev körkostnaderna orimligt stora och arbetet med simuleringarna avbröts efter att alla rimliga möjligheter till lösningar undersökts.

## 14. Referenser

Bergman K.

Elektroreglering vid ljusbågsugnar. Reglerprinciper och reglerprestanda.

PM FAUK 71-5, ASEA

Bergman K.

Elektroreglering vid ljusbågsugnar. Kursdokumentation för igångkörnings- och anläggningspersonal.

TR FAUK 75-6, ASEA

Siemens AG

Simelt elektrodenregelung für Lichtbogenöfen.

E 275/REF.B3.4.33/Dö

ASEA YLAD

Elektroregulator för ljusbågsugn. Igångkörningsanvisning.

Information YL 411-101

ASEA YLA

Elektroregulator för ljusbågsugn. Beskrivning.

Information YL 411-301

Von Ch.v. Dunski, Lüttich, und H. Krabiell, Herdecke (Ruhr)

Untersuchungen über das Lichtbogenverhalten in einem dreiphasigen Lichtbogenöfen mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera.

Internationale Zeitschrift für ELEKTROVÄRME

Band 21 (1963) Nr. 11

J. Ravenscrott

ARC investigations in steel-making furnaces.

Electrical Review 14 Sep. 1962

M. Sakulin

Studie über das elektrische Verhalten des Dreiphasen-Lichtbogenofens.

Union internationale d'électrothermie 10th.

Congress June 18-22 1984 Poster Nr. 2.2.6

von F. Milde und K. Bretthaver

Teil 1-3: Optimierung der Anordnung der Hochstromleiter von Drehstromlichtbogenöfen.

Elektrowärme international 41 1983 B4-B6 Aug.-Dec.

K.-J. Åström, B. Wittenmark

Computer controlled systems theory and design.

Prentice-Hall, Inc.

L. Friis

Modell för simulering av trefas växelströmsljusbågsugn.

TR k445 6631-6054

Y. Sundberg

Elektrodugnar och induktiva omrörare.

Ugnsbyrån, ASEA

57310173-AHB

ASEA	Kreisschema	Circuit diagram
YLKD	IMPECTE REGULATOR	ATOR
1972	05	E.K.
1972	05	E.K.

Table of contents  
Innehållsförteckning

Sheet  
Blad

1	Table of contents Innehållsförteckning
3	Block diagram Blockschema
4	External connections (Electrode 1) Yttre anslutningar (Elektrod 1)
5	External connections (Electrode 2 + Test points) Yttre anslutningar (Elektrod 2 + Testuttag)
6	External connections (Electrode 3 + Power input) Yttre anslutningar (Elektrod 3 + Spänningsingång)
7	Power unit Effektsteg
8-11	Electrode 1 Elektrod 1
12-15	Electrode 2 Elektrod 2
16-19	Electrode 3 Elektrod 3

Order No.	Part No.	Part Name
1	2224	YLKD
2	7237	YLKD
3	7213	YLKD
4	7914	YLKD

1 Bl. 2-6, 8-19 ändr.  
2 Bl. 2, 9-15, 17-19 ändr.  
3 Bl. 3, 11, 15, 19 a  
4 Bl. 10, 11, 14, 15, 18 och 19 ändr.

5731 0173-AHB

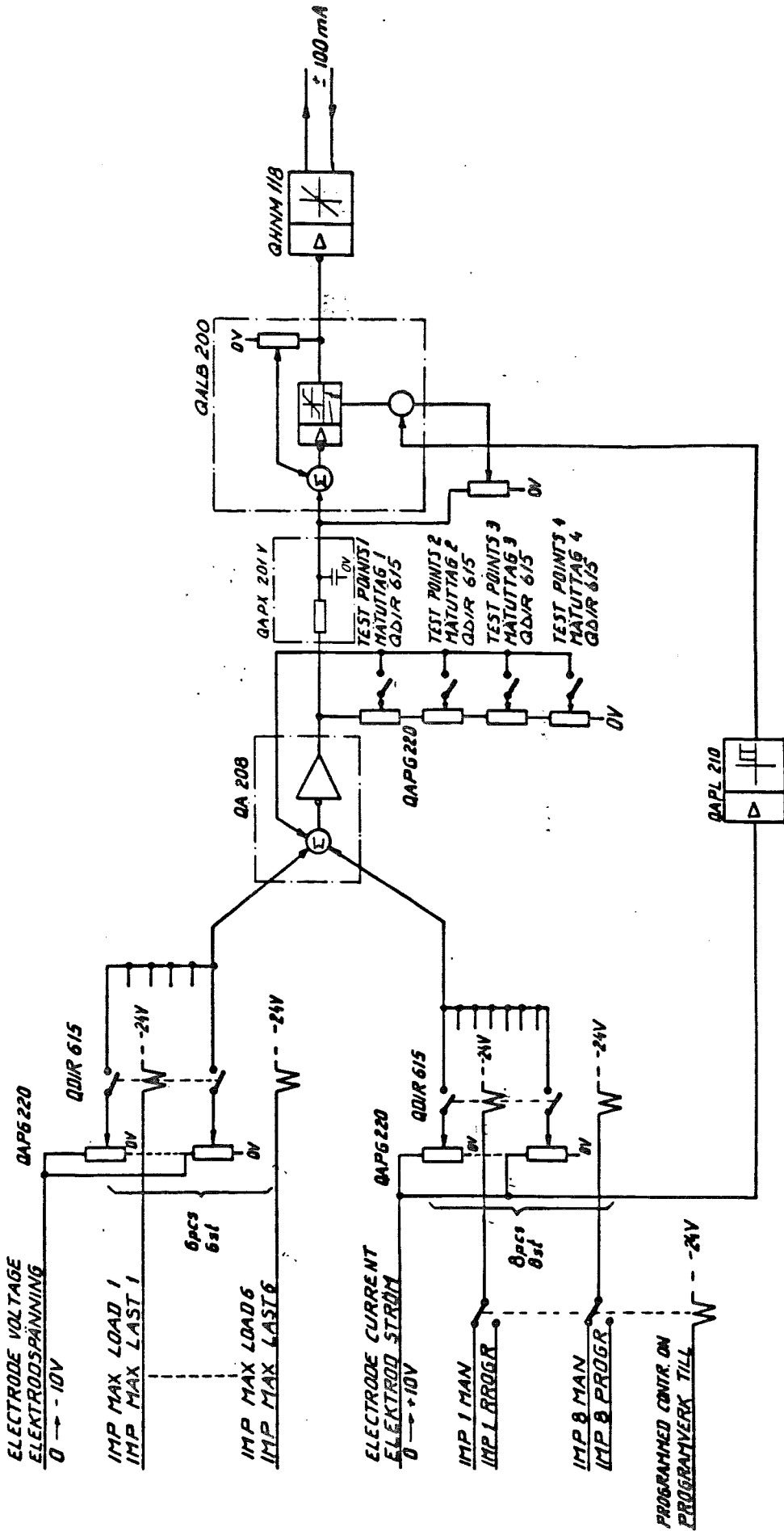
Kretschema Circuit diagram

ASEA

YLKD  
1972 05  
L. Peltersson

År	År	År	År	År	År	År	År	År	År
1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
YLKD	YLKD	YLKD	YLKD	YLKD	YLKD	YLKD	YLKD	YLKD	YLKD
78.13	78.13	78.13	78.13	78.13	78.13	78.13	78.13	78.13	78.13

Block diagram  
Blockschema



**ASEA**  
 YLKD  
 1972 05  
 L. Pettersson

Kretsschema Circuit diagram

5731 0173-AHB

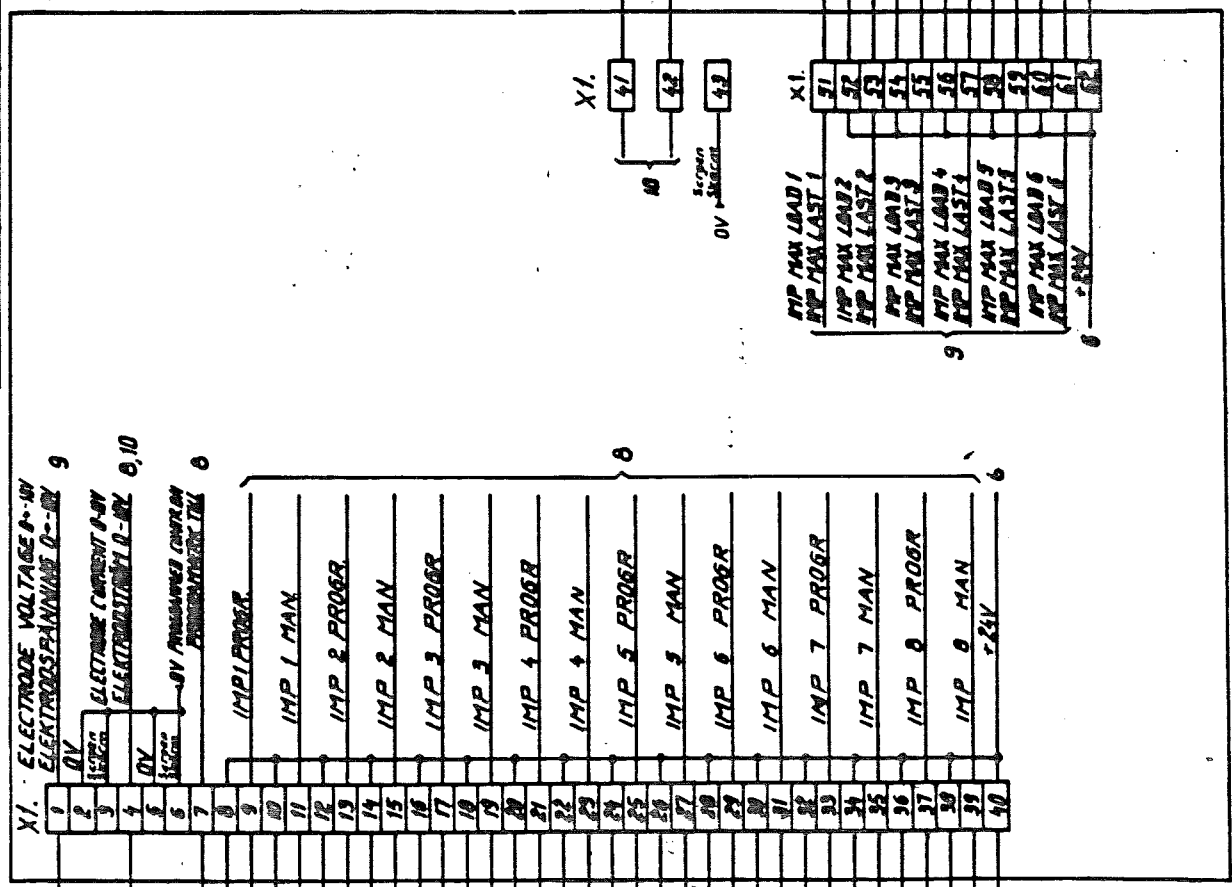
E.K.

External connections Electrode 1

Ylre anslutningar Elektrode 1

TO ELECTROHYDRAULIC REGULATOR  
 TILL ELEKTROHYDRAULISK REGULATOR

LOAD IMPEDANCE  $\approx 100 \Omega$   
 BELASTNINGSPÅVERKAN  $\approx 100 \Omega$   
 CURRENT DIRECTION WHEN  
 ELECTRODE CURRENT  
 SHALL INCREASE  
 STRÖMRIKTNING NÄR  
 ELEKTRODSTRÖMMEN SKALL ÖKA



Rev.	Ändr.	Ändr. Datum	Ändr. Av	Godk. Av
1	Ändr.	22.24	YLK	

1 Ändr.

Ändr. av: YLK  
 Godk. av: E.K.

Bildkont

The document must not be used without the written permission and the consent of the manufacturer. It is intended for use only for the intended purpose. ASEA

Önskar handling för en annan språkversion eller tekniska ändringar. Översättningar och tekniska ändringar ska inte göras utan tillstånd från ASEA.



5731 0173-AHB

External connections Electrode 2+ test points

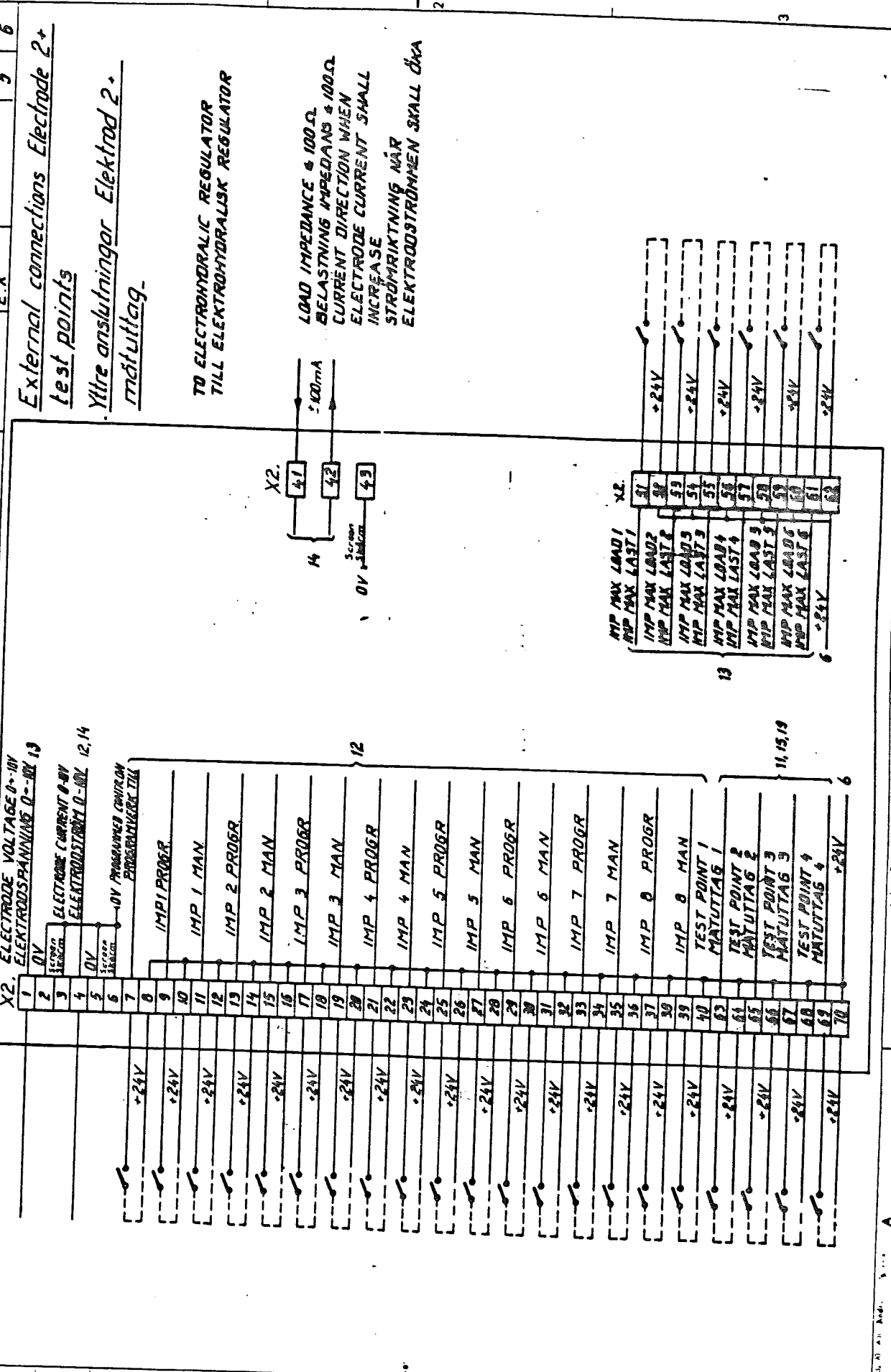
Yttre anslutningar Elektrod 2+ mätuttag.

TO ELECTROHYDRAULIC REGULATOR  
TILL ELEKTROHYDRAULISK REGULATOR

LOAD IMPEDANCE 6 100 Ω  
BELASTNING IMPEDANS 6 100 Ω  
CURRENT DIRECTION WHEN  
ELECTRODE CURRENT SHALL  
INCREASE  
STRÖMRIKTNING NÄR  
ELEKTRODSTRÖMMEN SKALL ÖKA

ASEA  
Title Date  
YLKD  
Year 1972 05  
Vestas Work  
L. Pettersson  
Design of  
Drawing of  
E. K.

Kretsschema Circuit diagram



X2. ELECTRODE VOLTAGE 0-10V  
ELEKTRODSPÄNNING 0-10V 13

ELECTRODE CURRENT 0-8V  
ELEKTRODSTRÖM 0-8V 12, 14

0V PROGRAMMED CURRENT  
PROGRAMMERAD STRÖM

IMP MAX LOAD 1	31
IMP MAX LOAD 2	32
IMP MAX LAST 1	53
IMP MAX LAST 2	54
IMP MAX LAST 3	55
IMP MAX LAST 4	56
IMP MAX LOAD 3	57
IMP MAX LAST 3	58
IMP MAX LOAD 4	59
IMP MAX LAST 4	60
IMP MAX LAST 5	61
IMP MAX LAST 6	62

1 Rind:  
A. Väst. Från  
Year 1972 05  
Date 1972 05  
Appr. YLKD

Clickon

ASEA

ASEA  
YLKD  
1972 05  
L. Pettersson

Krettschema Circuit diagram  
5731 0173-AHB  
E.K.

External connections Electrode 3+  
-POWER input

Yttre anslutningar Elektrod 3+  
Spänningsingång

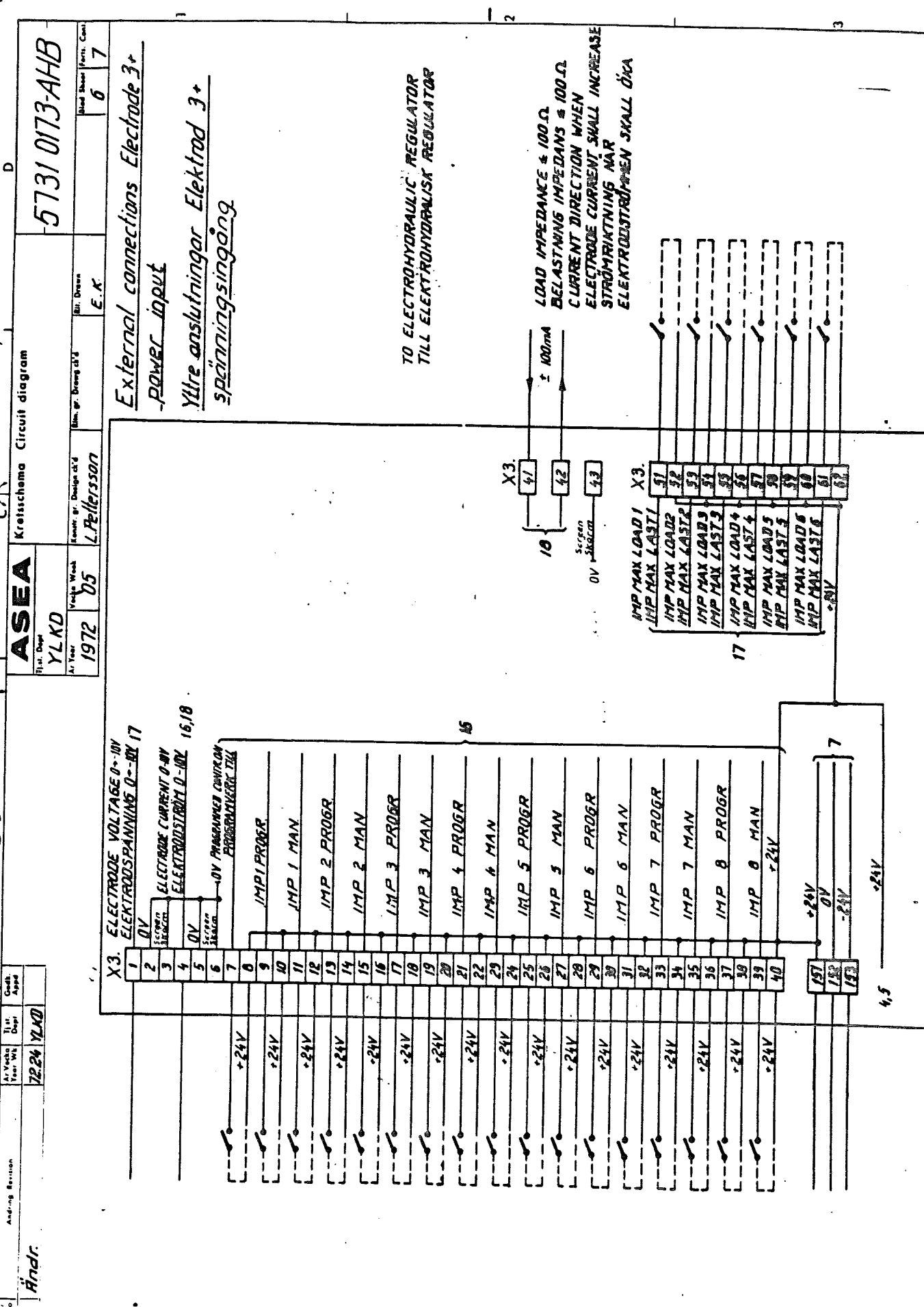
TO ELECTROHYDRAULIC REGULATOR  
TILL ELEKTROHYDRAULISK REGULATOR

LOAD IMPEDANCE & 100 Ω  
BELASTNING IMPEDANS & 100 Ω  
CURRENT DIRECTION WHEN  
ELECTRODE CURRENT SHALL INCREASE  
STRÖMRIKTNING NÄR  
ELEKTRODSTRÖMMEN SKALL ÖKA

± 100mA

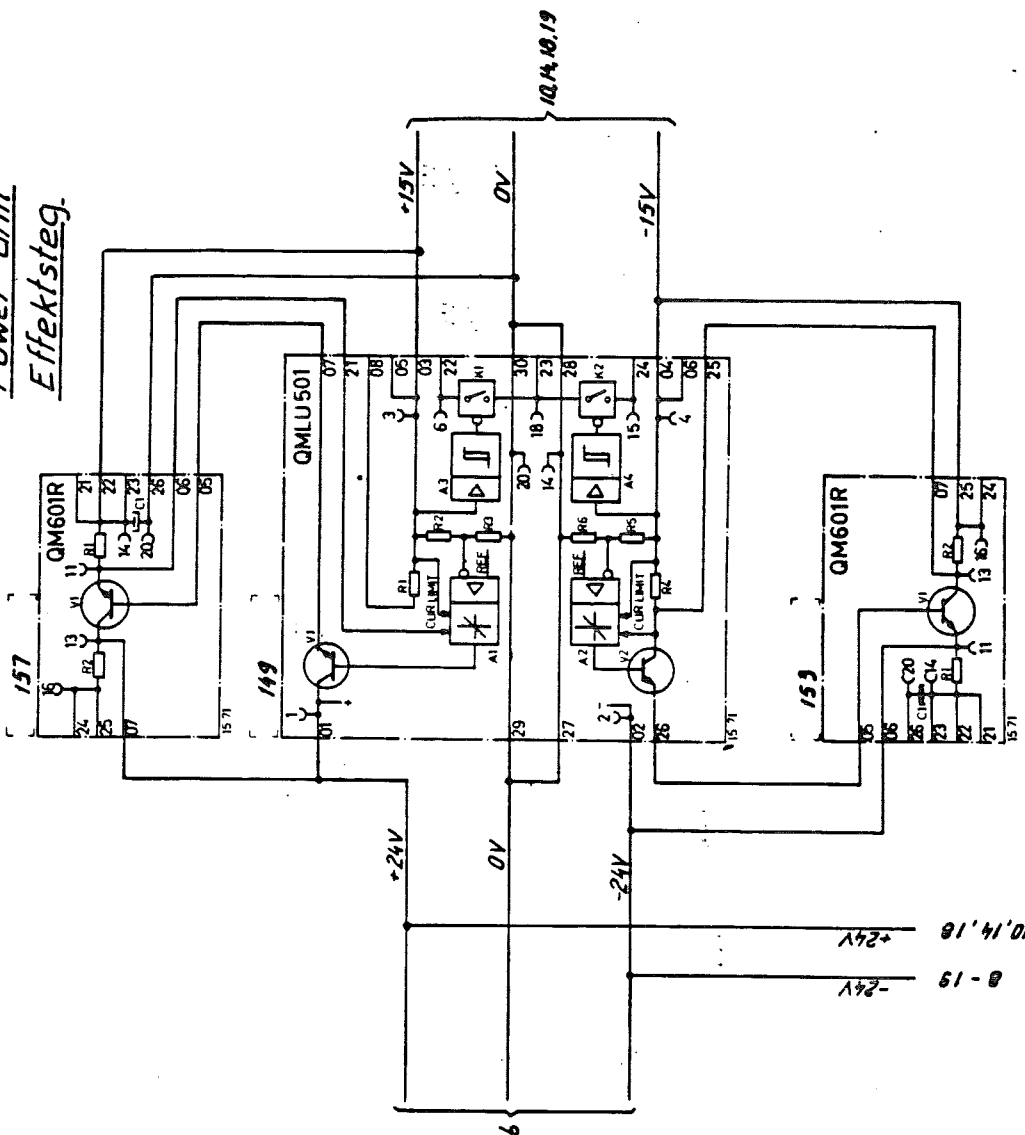
0V +Skacc

IMP MAX LOAD 1 X3  
IMP MAX LOAD 2 X3  
IMP MAX LOAD 3 X3  
IMP MAX LOAD 4 X3  
IMP MAX LOAD 5 X3  
IMP MAX LOAD 6 X3  
IMP MAX LOAD 7 X3  
IMP MAX LOAD 8 X3  
IMP MAX LOAD 9 X3  
IMP MAX LOAD 10 X3



ASEA		Kretsschema Circuit diagram		57310173-AHB	
Titel Data	Ar Year	Verka Week	Skema nr. Design cl'd	Rit. Drawn	Blad Sheet/Total Count
YLKD	1972	05	L. Pattersson	E.K.	7 8

Power unit  
Effektsteg.



4.56, 10, 14, 18  
-24V  
0V  
+24V

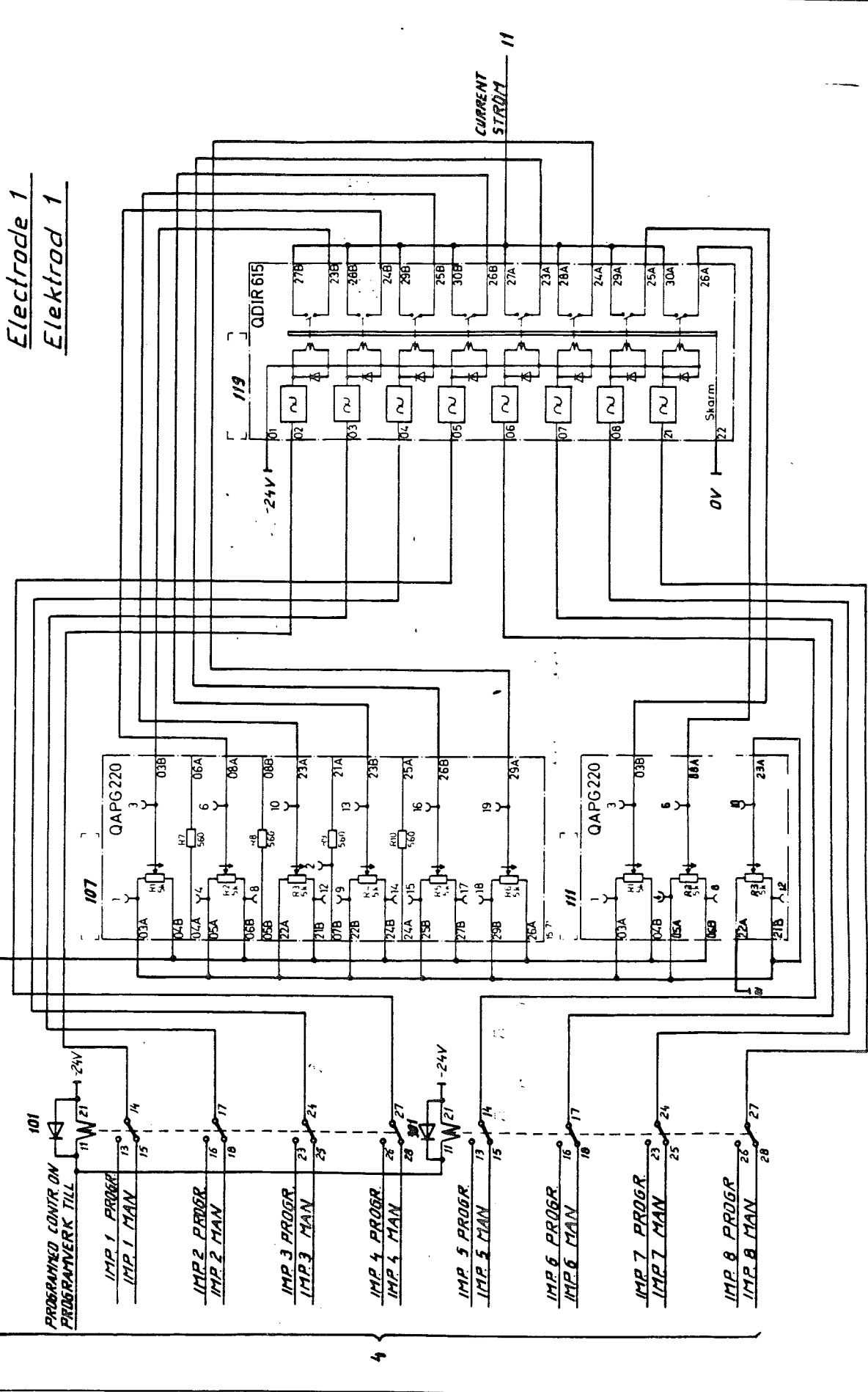
År	Ändring Revision	År	Verka Week	Skema nr. Design cl'd	Rit. Drawn	Blad Sheet/Total Count

Formater: Best drawing  
Ändring: list Dept. Ar Year V Wt Part Cont.  
Blad Sheet

THIS DOCUMENT IS NOT TO BE REPRODUCED WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF ASEA.  
All dimensions are in millimeters, and no tolerance is given unless otherwise specified.  
All drawings are to be made to a 1:1 scale unless otherwise specified.  
Conventions will be provided by ASEA.  
For use for any other purpose than specified.

Även om denna ritning inte är en del av en teknisk lösning, kan den inte användas för att kopiera eller återge tekniska lösningar utan tillstånd från ASEA.  
Även om denna ritning inte är en del av en teknisk lösning, kan den inte användas för att kopiera eller återge tekniska lösningar utan tillstånd från ASEA.  
Även om denna ritning inte är en del av en teknisk lösning, kan den inte användas för att kopiera eller återge tekniska lösningar utan tillstånd från ASEA.

No	1	Äändr.	Ändr. No. Revision		L. Dept.	Y.L.K.D.	Costs	Appd.	1972	05	L. Petterson	E.K.	Blad Sheet No.	8	9
			Year	Week											
Krettschema Circuit diagram															
57310173-AHB															



Electrode 1  
Elektrod 1

ELECTRODE CURRENT  
ELEKTRODSTRÖM

PROGRAMMED CONTROL ON  
PROGRAMVERK TILL

IMP 1 PROG  
IMP 1 MAN

IMP 2 PROG  
IMP 2 MAN

IMP 3 PROG  
IMP 3 MAN

IMP 4 PROG  
IMP 4 MAN

IMP 5 PROG  
IMP 5 MAN

IMP 6 PROG  
IMP 6 MAN

IMP 7 PROG  
IMP 7 MAN

IMP 8 PROG  
IMP 8 MAN

Backof

This document must not be copied without  
our written permission, and the contents  
thereof must not be imparted to a third party.  
Infringement will be prosecuted.

Denna handling får ej kopia eller  
översättas utan tillstånd från ASEA.  
Infringement will be prosecuted.

ASEA Krettschema Circuit diagram		5731 0173-AHB	
Proj. Dept. YLKD	Count. pr. Design skiz L. Pettersson	Ill. Drawn E.K.	Head Sheet Parts Count 9 10
Year 1972	Week 05		

No.	Andring Revision	A'Verke Year	Ill. Dept.	Code Appd.
1	Ändr.	22.24	YLKD	
2	Ändr.	72.31	YLKD	

ELECTRODE VOLTAGE  
ELEKTRODSÄNNING

Electrode 1  
Elektrod 1

IMP MAX. LOAD 1  
IMP. MAX. LAST 1

IMP MAX. LOAD 2  
IMP. MAX. LAST 2

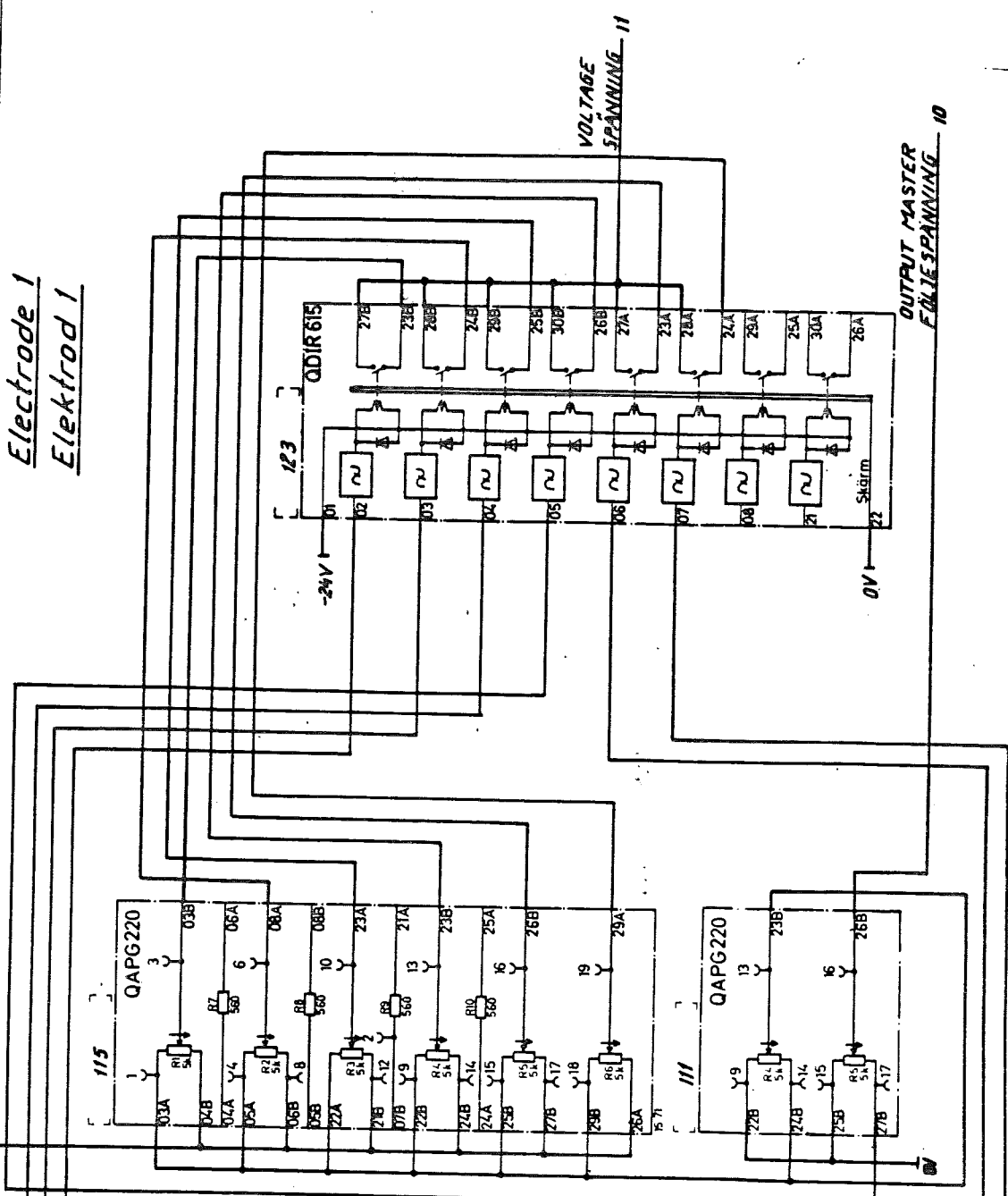
IMP MAX. LOAD 3  
IMP. MAX. LAST 3

IMP MAX. LOAD 4  
IMP. MAX. LAST 4

IMP MAX. LOAD 5  
IMP. MAX. LAST 5

IMP MAX. LOAD 6  
IMP. MAX. LAST 6

DEVIATION  
REGLERAVVIKELSE





5731 0173-AHB

YLKD  
1972 05  
L. Pettersson

QA 208  
QA 208  
QA 208  
QA 208

QA 208  
QA 208  
QA 208  
QA 208

QA 208  
QA 208  
QA 208  
QA 208

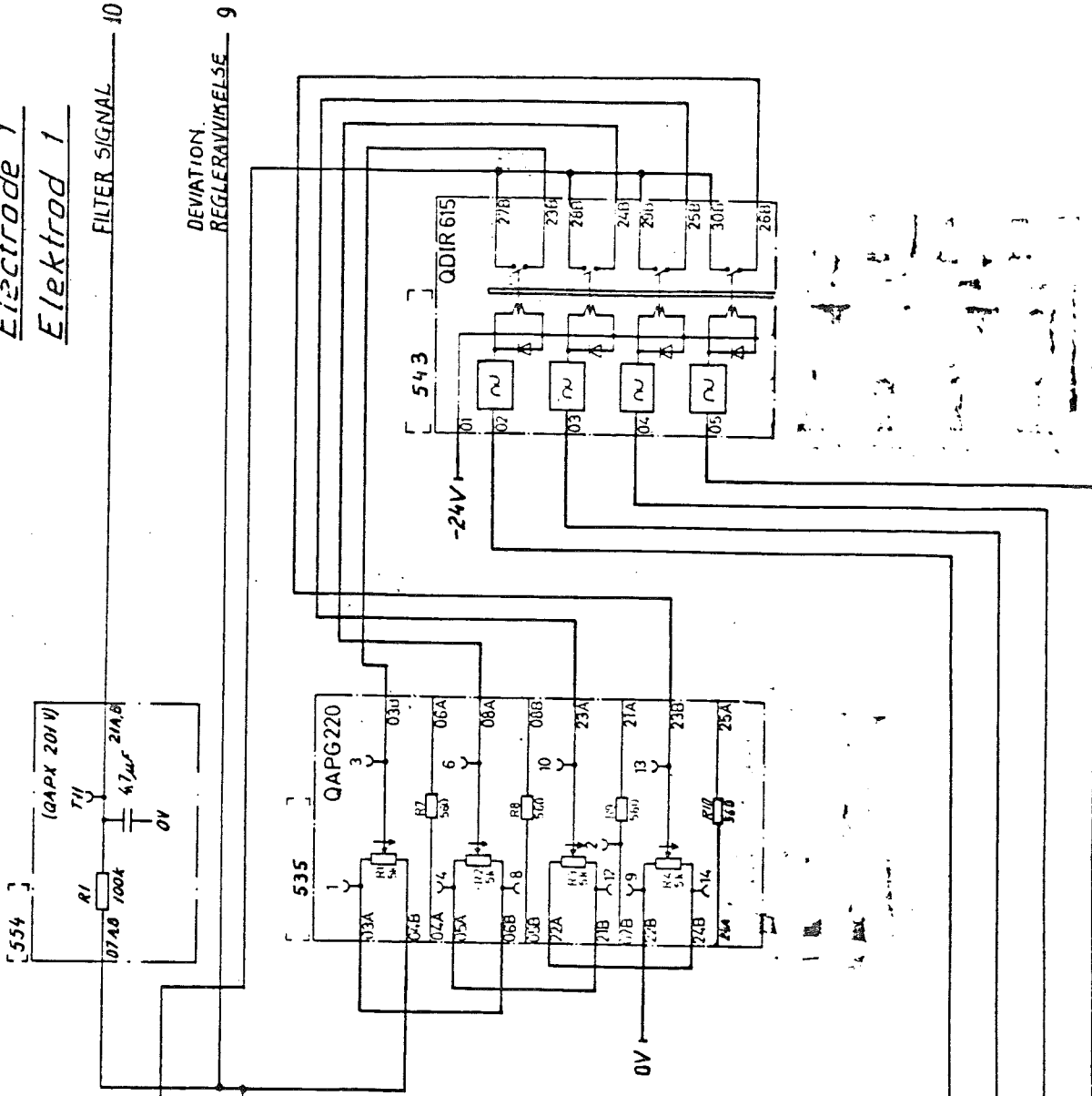
QA 208  
QA 208  
QA 208  
QA 208

QA 208  
QA 208  
QA 208  
QA 208

QA 208  
QA 208  
QA 208  
QA 208

Electrode 1  
Elektrod 1

FILTER SIGNAL 10  
DEVIATION.  
REGLERAVVIKELSE 9



- TEST POINTS 1
- MATUTTAG 1
- TEST POINTS 1
- MATUTTAG 2
- TEST POINTS 3
- MATUTTAG 3
- TEST POINTS 4
- MATUTTAG 4

5

1 Rändr. 5

224 YLKD

501

5

57310173-AHB

Mod. Shee. / Orig. Con. 12 13

Mr. Design E.K.

Mr. Drawn

Mr. Design L. Petttersson

1972 05

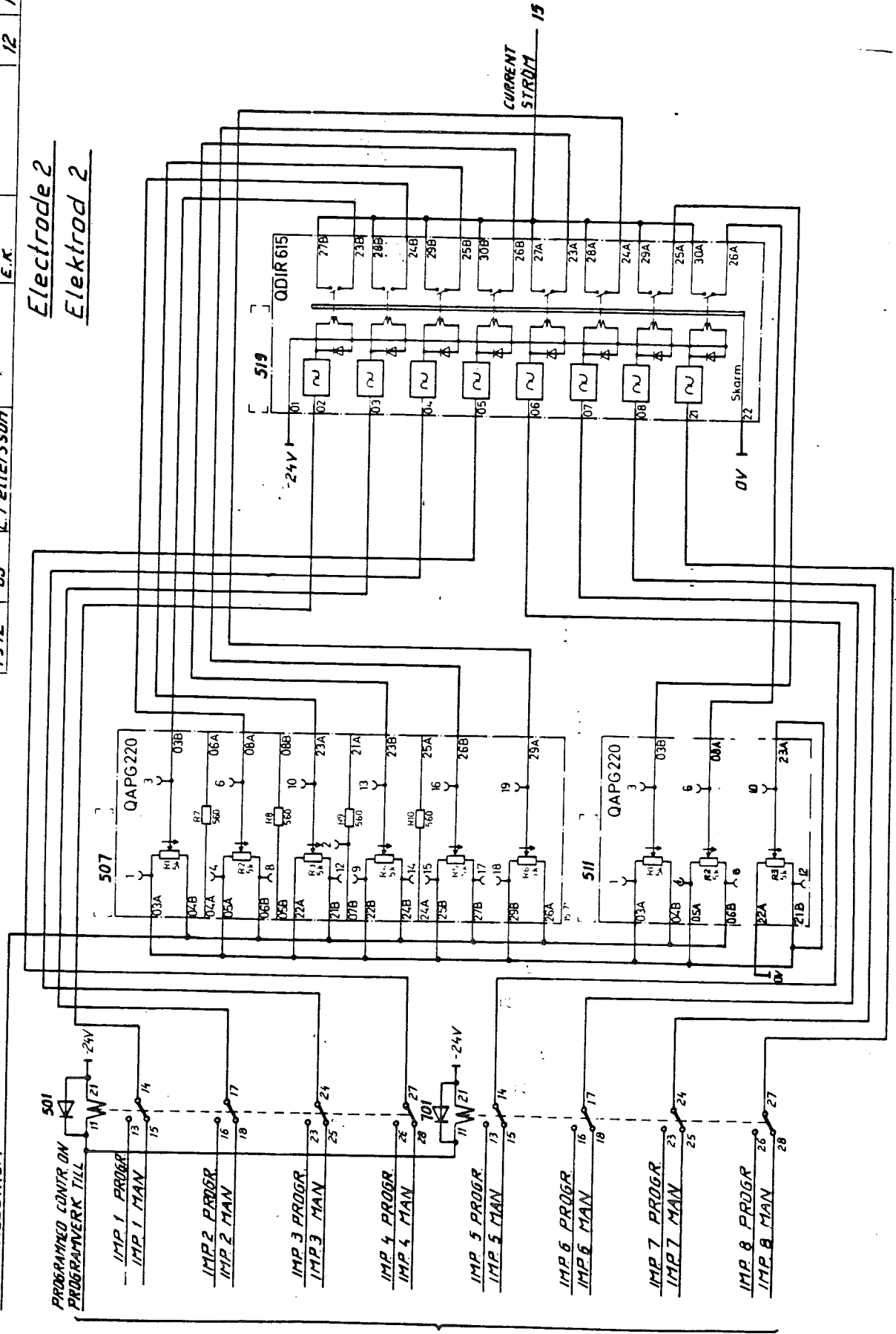
Y.L.K.D.

1972 05

1972 05

1972 05

Electrode 2  
Elektrod 2



Bildkon

Centronics AB  
Århusgade 10  
S-141 86 Åkersberg  
Tel. 08-730 10 00  
Telefax 08-730 10 01  
Telefax 08-730 10 02  
Telefax 08-730 10 03  
Telefax 08-730 10 04  
Telefax 08-730 10 05  
Telefax 08-730 10 06  
Telefax 08-730 10 07  
Telefax 08-730 10 08  
Telefax 08-730 10 09  
Telefax 08-730 10 10  
Telefax 08-730 10 11  
Telefax 08-730 10 12  
Telefax 08-730 10 13  
Telefax 08-730 10 14  
Telefax 08-730 10 15  
Telefax 08-730 10 16  
Telefax 08-730 10 17  
Telefax 08-730 10 18  
Telefax 08-730 10 19  
Telefax 08-730 10 20  
Telefax 08-730 10 21  
Telefax 08-730 10 22  
Telefax 08-730 10 23  
Telefax 08-730 10 24  
Telefax 08-730 10 25  
Telefax 08-730 10 26  
Telefax 08-730 10 27  
Telefax 08-730 10 28  
Telefax 08-730 10 29  
Telefax 08-730 10 30  
Telefax 08-730 10 31  
Telefax 08-730 10 32  
Telefax 08-730 10 33  
Telefax 08-730 10 34  
Telefax 08-730 10 35  
Telefax 08-730 10 36  
Telefax 08-730 10 37  
Telefax 08-730 10 38  
Telefax 08-730 10 39  
Telefax 08-730 10 40  
Telefax 08-730 10 41  
Telefax 08-730 10 42  
Telefax 08-730 10 43  
Telefax 08-730 10 44  
Telefax 08-730 10 45  
Telefax 08-730 10 46  
Telefax 08-730 10 47  
Telefax 08-730 10 48  
Telefax 08-730 10 49  
Telefax 08-730 10 50  
Telefax 08-730 10 51  
Telefax 08-730 10 52  
Telefax 08-730 10 53  
Telefax 08-730 10 54  
Telefax 08-730 10 55  
Telefax 08-730 10 56  
Telefax 08-730 10 57  
Telefax 08-730 10 58  
Telefax 08-730 10 59  
Telefax 08-730 10 60  
Telefax 08-730 10 61  
Telefax 08-730 10 62  
Telefax 08-730 10 63  
Telefax 08-730 10 64  
Telefax 08-730 10 65  
Telefax 08-730 10 66  
Telefax 08-730 10 67  
Telefax 08-730 10 68  
Telefax 08-730 10 69  
Telefax 08-730 10 70  
Telefax 08-730 10 71  
Telefax 08-730 10 72  
Telefax 08-730 10 73  
Telefax 08-730 10 74  
Telefax 08-730 10 75  
Telefax 08-730 10 76  
Telefax 08-730 10 77  
Telefax 08-730 10 78  
Telefax 08-730 10 79  
Telefax 08-730 10 80  
Telefax 08-730 10 81  
Telefax 08-730 10 82  
Telefax 08-730 10 83  
Telefax 08-730 10 84  
Telefax 08-730 10 85  
Telefax 08-730 10 86  
Telefax 08-730 10 87  
Telefax 08-730 10 88  
Telefax 08-730 10 89  
Telefax 08-730 10 90  
Telefax 08-730 10 91  
Telefax 08-730 10 92  
Telefax 08-730 10 93  
Telefax 08-730 10 94  
Telefax 08-730 10 95  
Telefax 08-730 10 96  
Telefax 08-730 10 97  
Telefax 08-730 10 98  
Telefax 08-730 10 99  
Telefax 08-730 10 100

Centronics AB  
Århusgade 10  
S-141 86 Åkersberg  
Tel. 08-730 10 00  
Telefax 08-730 10 01  
Telefax 08-730 10 02  
Telefax 08-730 10 03  
Telefax 08-730 10 04  
Telefax 08-730 10 05  
Telefax 08-730 10 06  
Telefax 08-730 10 07  
Telefax 08-730 10 08  
Telefax 08-730 10 09  
Telefax 08-730 10 10  
Telefax 08-730 10 11  
Telefax 08-730 10 12  
Telefax 08-730 10 13  
Telefax 08-730 10 14  
Telefax 08-730 10 15  
Telefax 08-730 10 16  
Telefax 08-730 10 17  
Telefax 08-730 10 18  
Telefax 08-730 10 19  
Telefax 08-730 10 20  
Telefax 08-730 10 21  
Telefax 08-730 10 22  
Telefax 08-730 10 23  
Telefax 08-730 10 24  
Telefax 08-730 10 25  
Telefax 08-730 10 26  
Telefax 08-730 10 27  
Telefax 08-730 10 28  
Telefax 08-730 10 29  
Telefax 08-730 10 30  
Telefax 08-730 10 31  
Telefax 08-730 10 32  
Telefax 08-730 10 33  
Telefax 08-730 10 34  
Telefax 08-730 10 35  
Telefax 08-730 10 36  
Telefax 08-730 10 37  
Telefax 08-730 10 38  
Telefax 08-730 10 39  
Telefax 08-730 10 40  
Telefax 08-730 10 41  
Telefax 08-730 10 42  
Telefax 08-730 10 43  
Telefax 08-730 10 44  
Telefax 08-730 10 45  
Telefax 08-730 10 46  
Telefax 08-730 10 47  
Telefax 08-730 10 48  
Telefax 08-730 10 49  
Telefax 08-730 10 50  
Telefax 08-730 10 51  
Telefax 08-730 10 52  
Telefax 08-730 10 53  
Telefax 08-730 10 54  
Telefax 08-730 10 55  
Telefax 08-730 10 56  
Telefax 08-730 10 57  
Telefax 08-730 10 58  
Telefax 08-730 10 59  
Telefax 08-730 10 60  
Telefax 08-730 10 61  
Telefax 08-730 10 62  
Telefax 08-730 10 63  
Telefax 08-730 10 64  
Telefax 08-730 10 65  
Telefax 08-730 10 66  
Telefax 08-730 10 67  
Telefax 08-730 10 68  
Telefax 08-730 10 69  
Telefax 08-730 10 70  
Telefax 08-730 10 71  
Telefax 08-730 10 72  
Telefax 08-730 10 73  
Telefax 08-730 10 74  
Telefax 08-730 10 75  
Telefax 08-730 10 76  
Telefax 08-730 10 77  
Telefax 08-730 10 78  
Telefax 08-730 10 79  
Telefax 08-730 10 80  
Telefax 08-730 10 81  
Telefax 08-730 10 82  
Telefax 08-730 10 83  
Telefax 08-730 10 84  
Telefax 08-730 10 85  
Telefax 08-730 10 86  
Telefax 08-730 10 87  
Telefax 08-730 10 88  
Telefax 08-730 10 89  
Telefax 08-730 10 90  
Telefax 08-730 10 91  
Telefax 08-730 10 92  
Telefax 08-730 10 93  
Telefax 08-730 10 94  
Telefax 08-730 10 95  
Telefax 08-730 10 96  
Telefax 08-730 10 97  
Telefax 08-730 10 98  
Telefax 08-730 10 99  
Telefax 08-730 10 100



**ASEA**  
 1st Desg: YLKD  
 1972 05  
 Krets schema Circuit diagram  
 5731 0173-AHB  
 13 14  
 E. K.  
 L. Pettersson

Elektrod 2  
Elektrod 2

1 Andr.  
 1 Andr.  
 22.24 YLKD  
 22.37 YLKD  
 ELECTRODE VOLTAGE  
 ELEKTRODESPÄNNING

IMP MAX. LOAD 1  
 IMP. MAX. LAST 1

IMP MAX. LOAD 2  
 IMP. MAX. LAST 2

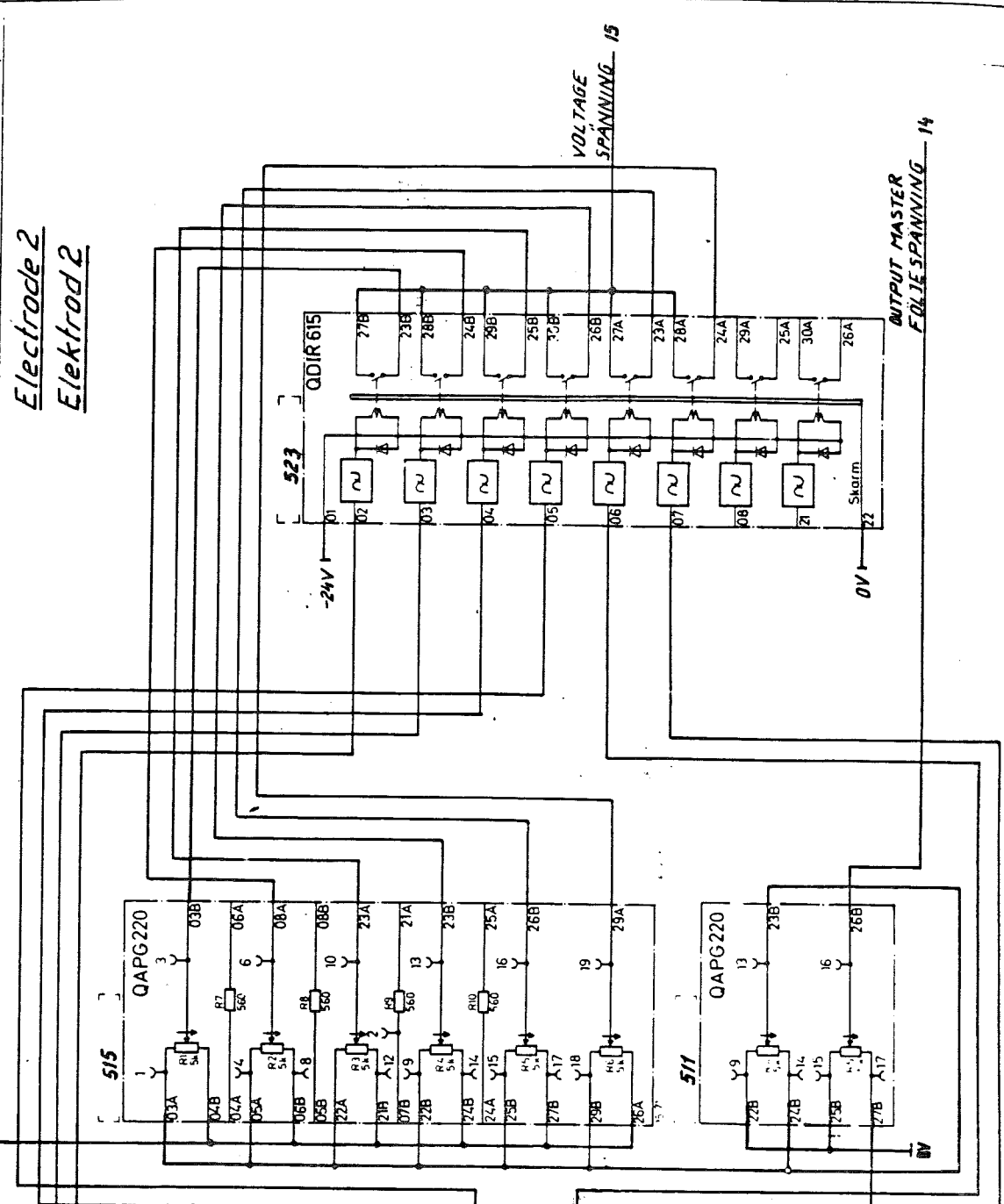
IMP MAX. LOAD 3  
 IMP. MAX. LAST 3

IMP MAX. LOAD 4  
 IMP. MAX. LAST 4

IMP MAX. LOAD 5  
 IMP. MAX. LAST 5

IMP MAX. LOAD 6  
 IMP. MAX. LAST 6

DEVIATION  
 REGLERAVVIKELSE



5

15

ASEA

1.13

57310173-AHB

Head Sheet Parts List

14	15
----	----

YLKD

1972 05

L. Pellérsson

531

Electrode 2  
Elektrod 2

QHNM 118

LOAD 1.800mA BEL. 100Ω

1.800mA BEL. 100Ω

CURRENT DIRECTION WHEN ELECTRODE CURRENT SHALL INCREASE

STRÖMRIKTNING NÄR ELEKTRODSTRÖMMEN SKALL ÖKA

QALB 200

15 FILTER SIGNAL

OUTPUT MASTER FÖLJESPÄNNING

QAPL 210

ELECTRODE CURRENT ELEKTRODSTRÖM

1	Ändr.	22.28	YLKD
2	Ändr.	72.37	YLKD
3	Ändr.	79.14	YLKD

A B C D

5731 0173-AHB

Kretsschema Circuit diagram

Blad Seriennummer 15 16

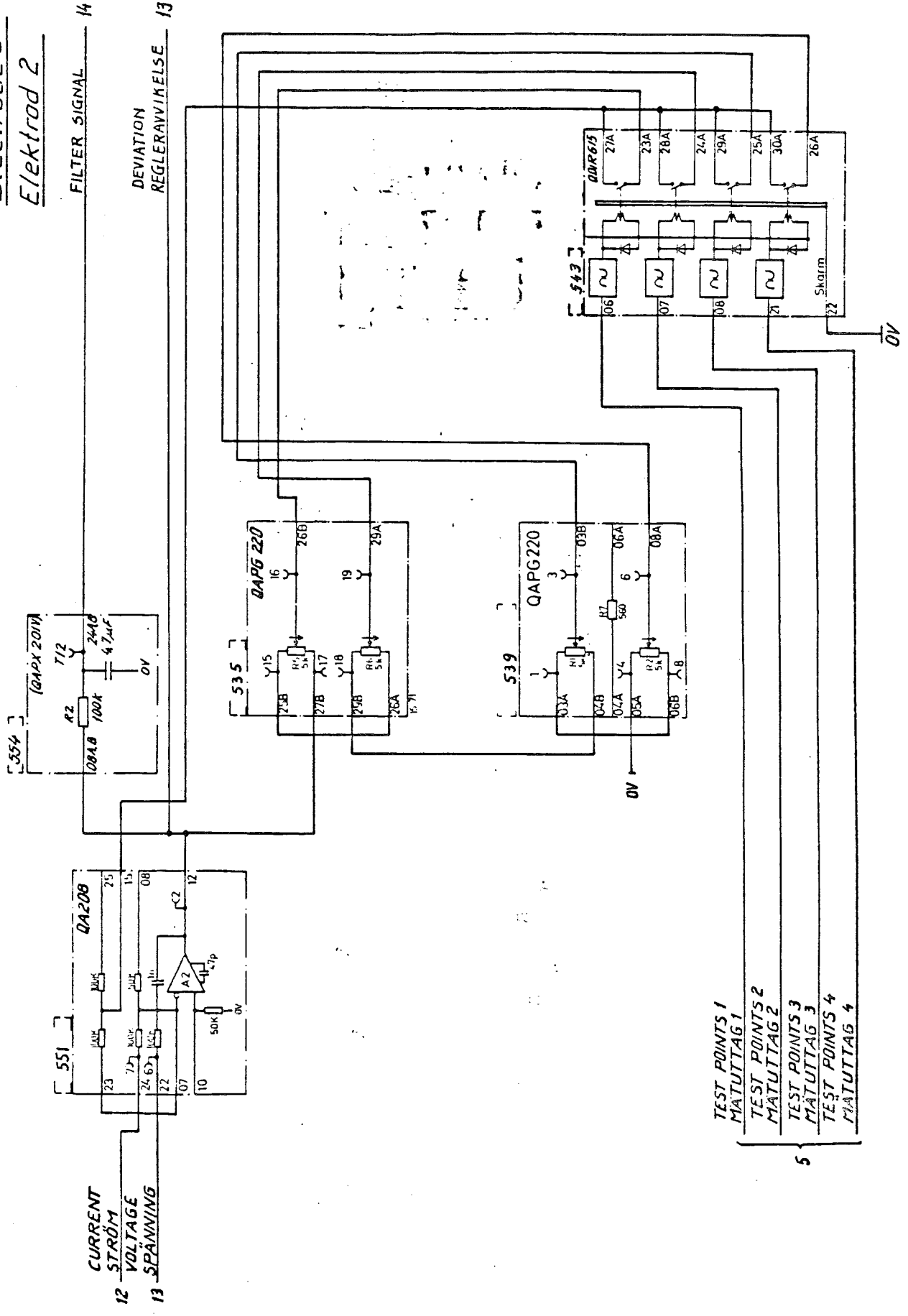
Blad Nummer E.K

Ansatt av Uppdragsled L. Pettersson

YLKD 1972 05

7224	YLKD
7237	YLKD
7813	YLKD
7914	YLKD

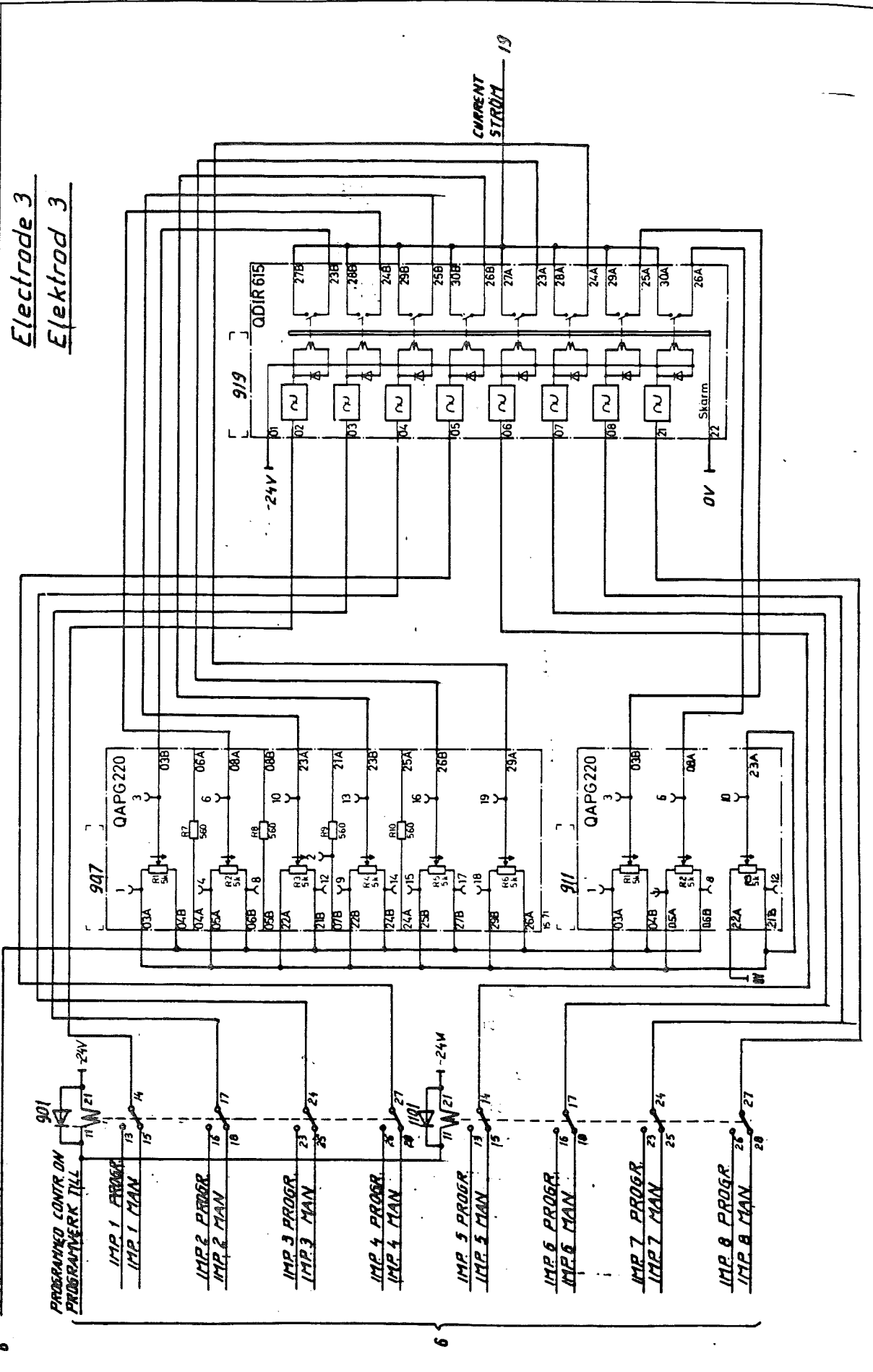
Electrode 2  
Elektrod 2



- TEST POINTS 1  
MATUITAG 1
- TEST POINTS 2  
MATUITAG 2
- TEST POINTS 3  
MATUITAG 3
- TEST POINTS 4  
MATUITAG 4

5

ASEA		Krettschema		Circuit diagram		57310173-AHB	
Tit. Dept	YLKD	Contr. gr. Design ch'd	Blm. gr. Design ch'd	Blm. Drawn	E.K.	Blad Sheet	16 17
Ar Year	1972	Vesta Week	05	Electrode 3 Elektrod 3			
ASEA		Krettschema		Circuit diagram		57310173-AHB	
Tit. Dept	YLKD	Contr. gr. Design ch'd	Blm. gr. Design ch'd	Blm. Drawn	E.K.	Blad Sheet	16 17
Ar Year	1972	Vesta Week	05	Electrode 3 Elektrod 3			



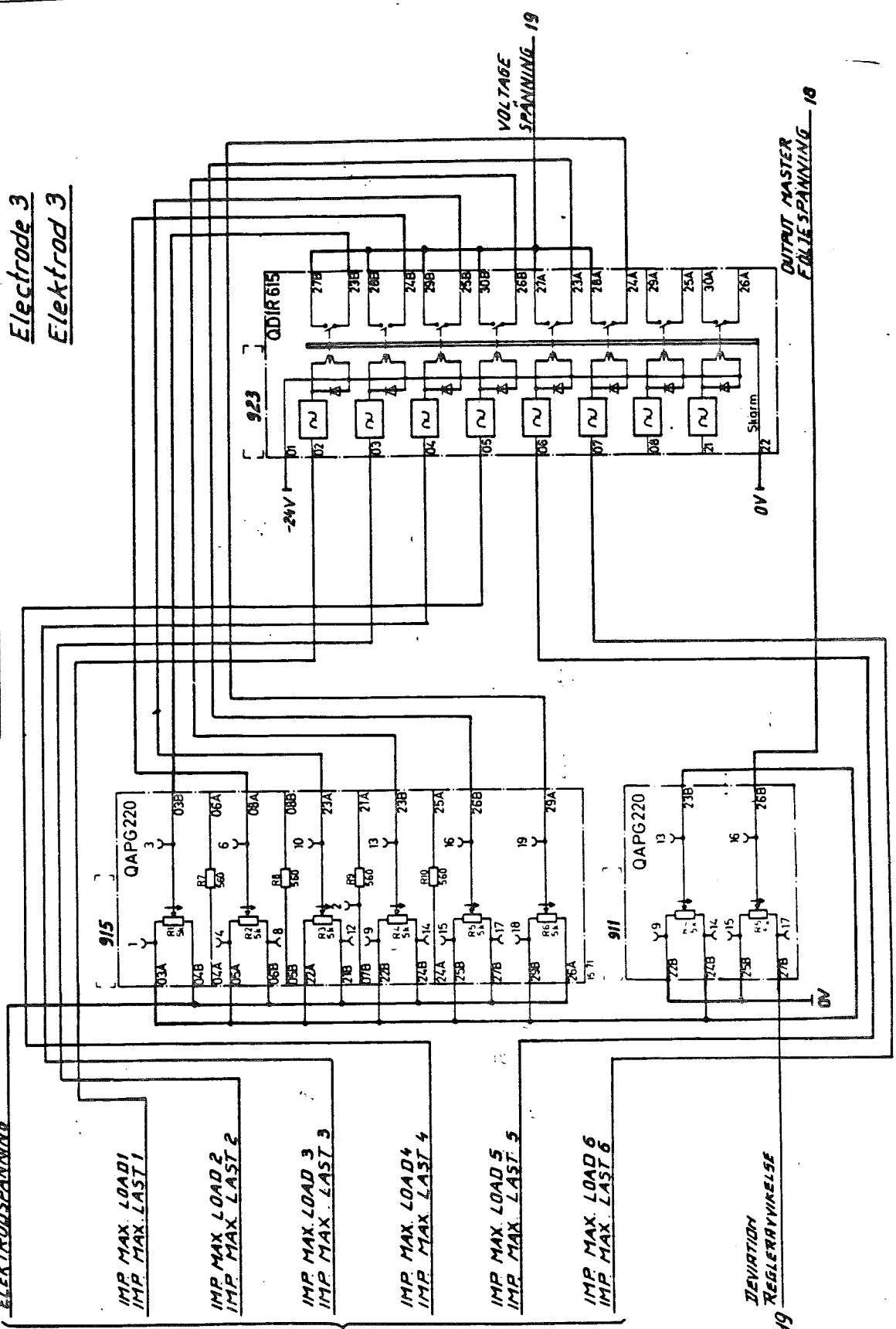
1  
2  
3

ASEA  
This document must not be copied without  
our written permission, and the contents  
thereof must not be reproduced for  
any other purpose.  
ASBA  
Denna handling får ej kopia eller  
reproducera utan tillstånd från  
ASEA.

Bidkot

<b>ASEA</b>		Kretschemo Circuit diagram		5731 0173-AHB	
U.S. Dept. YLKD	Year 1972	Week 05	Design E.K	Drawn 17	Rev. 18
Author L. Pettersson			Checked 17 18		

Electrode 3  
Elektrod 3



1. Andr.	2. Andr.	3. Andr.	4. Andr.
728 YLND	727 YLND	726 YLND	725 YLND
724 YLND	723 YLND	722 YLND	721 YLND
720 YLND	719 YLND	718 YLND	717 YLND

ELECTRODE VOLTAGE  
ELEKTRODSPÄNNING

IMP. MAX. LOAD 1  
IMP. MAX. LAST 1

IMP. MAX. LOAD 2  
IMP. MAX. LAST 2

IMP. MAX. LOAD 3  
IMP. MAX. LAST 3

IMP. MAX. LOAD 4  
IMP. MAX. LAST 4

IMP. MAX. LOAD 5  
IMP. MAX. LAST 5

IMP. MAX. LOAD 6  
IMP. MAX. LAST 6

DEVIATION  
REGLERAVVINKELSE  
19

VOLTAGE  
SPANNING - 19

OUTPUT MASTER  
FÖLJESPÄNNING - 18

57310173-AHB

18 19

ASEA

Krettschem Circuit diagram

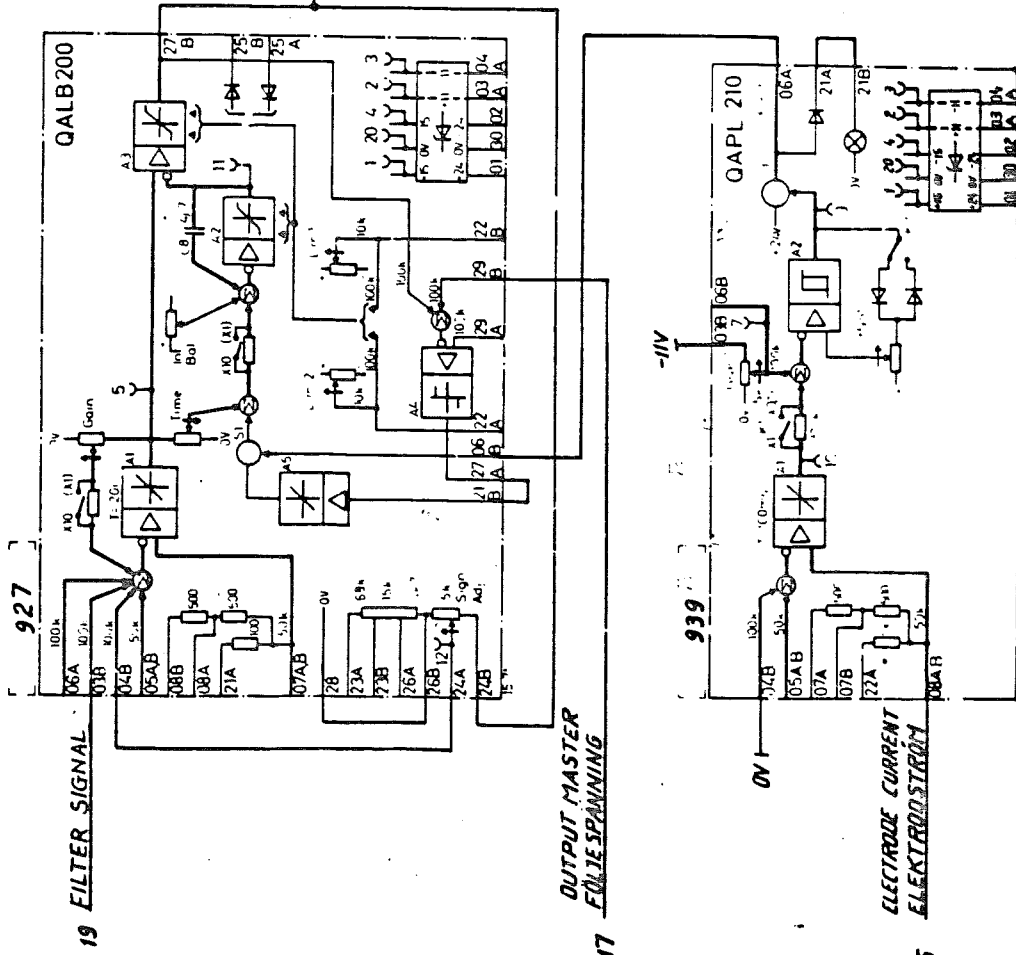
YLKD

1972 05

L. Pellersson

E.K.

Electrode 3  
Elektrod 3



CURRENT DIRECTION  
WHEN ELECTRODE CURRENT  
SHALL INCREASE  
STRÖMRIKTNING NÄR  
ELEKTRODSTRÖMMEN  
SKALL ÖKA

LOAD IMP 400Ω  
100mA BELÄPP 400Ω

1	Andr.	YLKD	YLKD	YLKD	YLKD	YLKD
2	Andr.	72.27	72.37	79.14	79.14	79.14
3	Andr.					

E.K.

57310173-AHB

YLKD	1972	05	L. Pettersson	E. K.
At Year	Value Week	Kontr. nr	Design	Bl. Diagram
1972	05	L. Pettersson	E. K.	

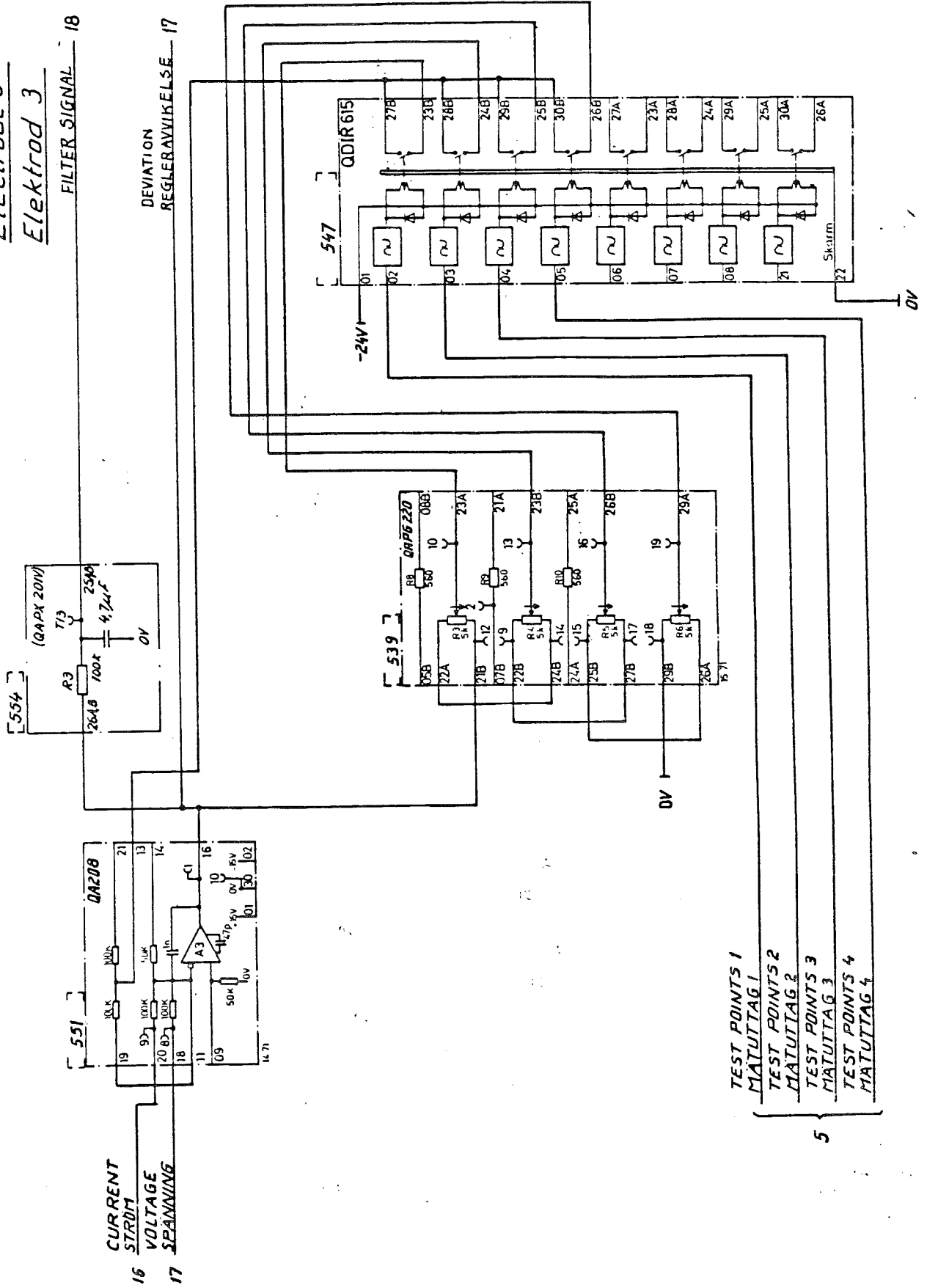
Analysnummer  
Kontrollnr  
57310173-AHB

57310173-AHB

Ändr.	7224	YLKD
Ändr.	7237	YLKD
	7813	YLKD
	7914	YLKD
Ändr.	QAPX 20V t	
	Ändr.	

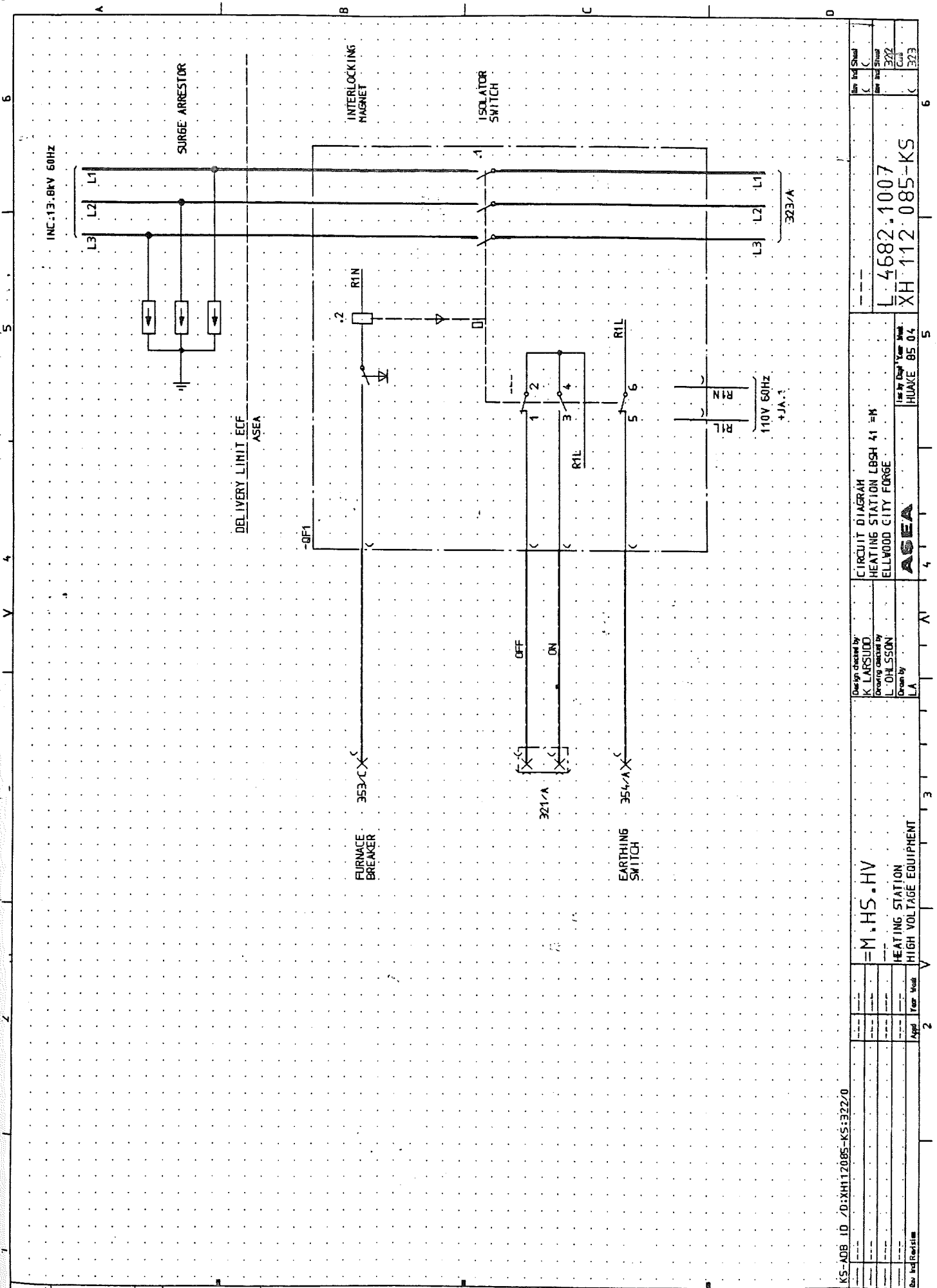
Electrode 3  
Elektrod 3

FILTER SIGNAL 18  
DEVIATION  
REGLERAVVIKELSE 17



- TEST POINTS 1  
MATUTTAG 1
- TEST POINTS 2  
MATUTTAG 2
- TEST POINTS 3  
MATUTTAG 3
- TEST POINTS 4  
MATUTTAG 4

5



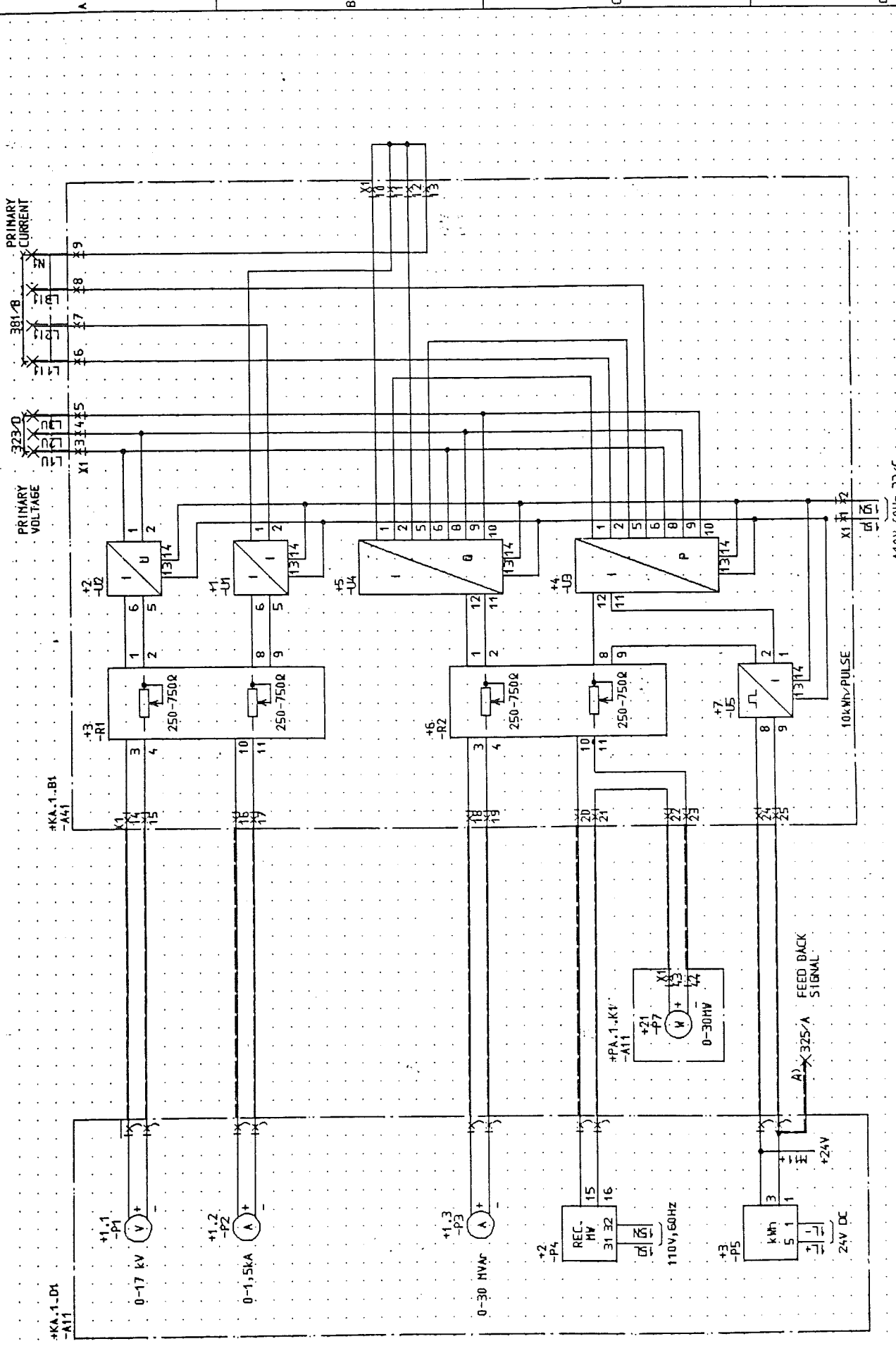
KS-ADB 10 / D:XH112085-KS1322/0

Design checked by	K. LARSSON	Rev. Ind. Draw.	302
Design checked by	L. ÖHLSSON	Rev. Ind. Draw.	303
Drawn by	LA	Rev. Ind. Draw.	303
Project No.	L 4682.1007	Rev. Ind. Draw.	302
Order No.	XH 112 085-KS	Rev. Ind. Draw.	303
Customer	HEATING STATION LBSH 41 = H	Rev. Ind. Draw.	
Customer	HEATING STATION	Rev. Ind. Draw.	
Customer	HIGH VOLTAGE EQUIPMENT	Rev. Ind. Draw.	
Customer	M. HS. HV	Rev. Ind. Draw.	
Customer	HEATING STATION LBSH 41 = H	Rev. Ind. Draw.	
Customer	ELLWOOD CITY FORGE	Rev. Ind. Draw.	
Customer	HUAXE 85.04	Rev. Ind. Draw.	
Customer	ASEA	Rev. Ind. Draw.	

our written permission, and the contents  
 shall not be reproduced or copied  
 for use by any other party.  
 The ASEA logo is a registered trademark  
 and its use is prohibited without  
 our written permission. ASEA AB  
 Stockholm, Sweden







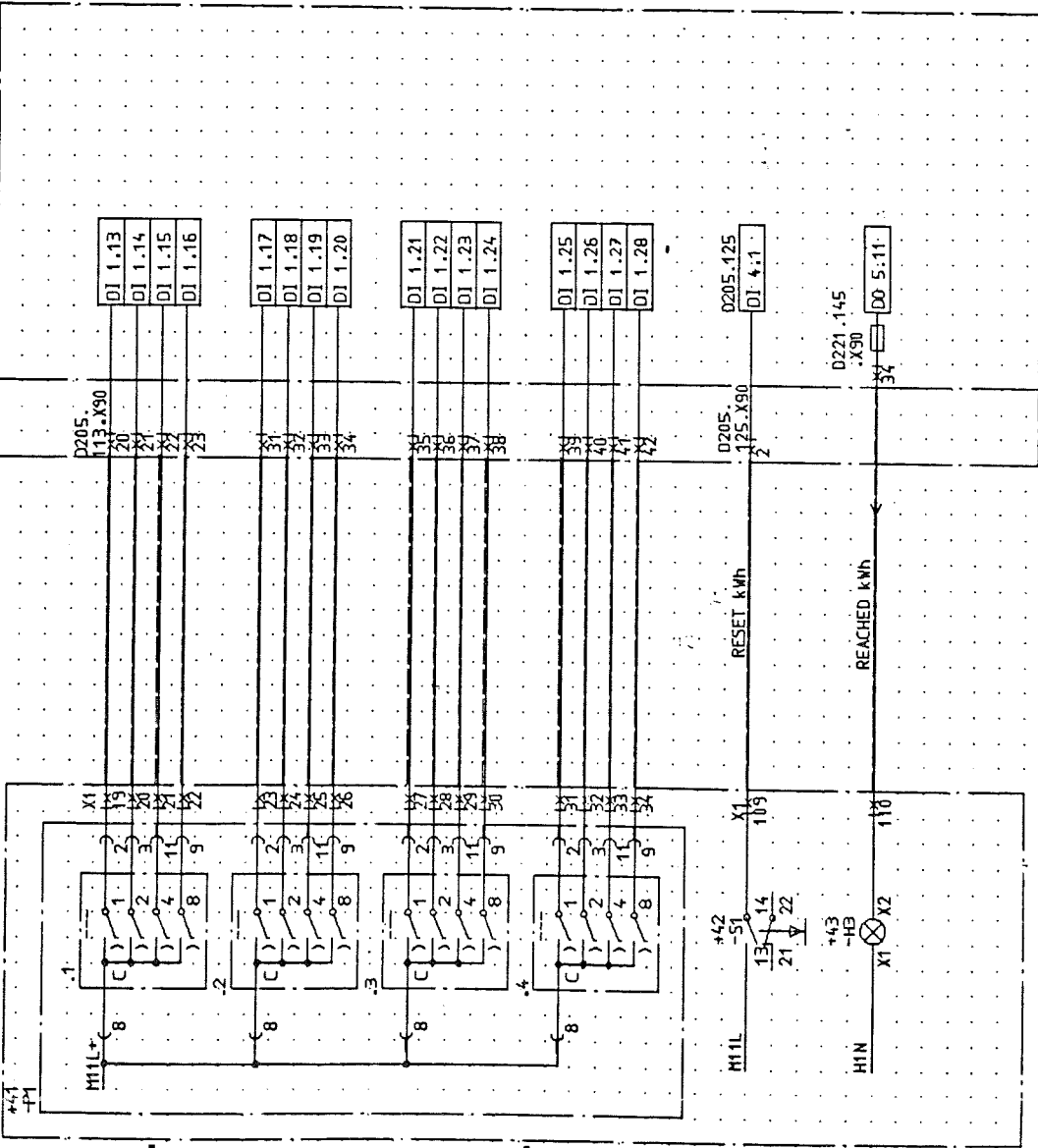
KS-NOB ID / 0: XH112085-KS:324/0	Design checked by K. LARSSON	CIRCUIT DIAGRAM HEATING STATION LBSH 41 =H ELLWOOD CITY FORGE	Rev. No. Sheet 324
	Drawn by L. OHLSSON	Use by Dept Year Des. HILAKE 85 04	Rev. No. Sheet 325
		ASEA	
		L. 4682.1007	
		XH 112 085-KS	

This document must not be copied without permission from ASEA. If it is to be used for any other purpose, it must be approved by the person who has issued it. ASEA AB (Contractor) will be prosecuted.

Drawn by: NEWHEAD  
 Design checked by: NEWHEAD  
 Rev. No. Sheet: 324  
 Rev. No. Sheet: 325



+DS.1  
=M.MP1  
+DS.2

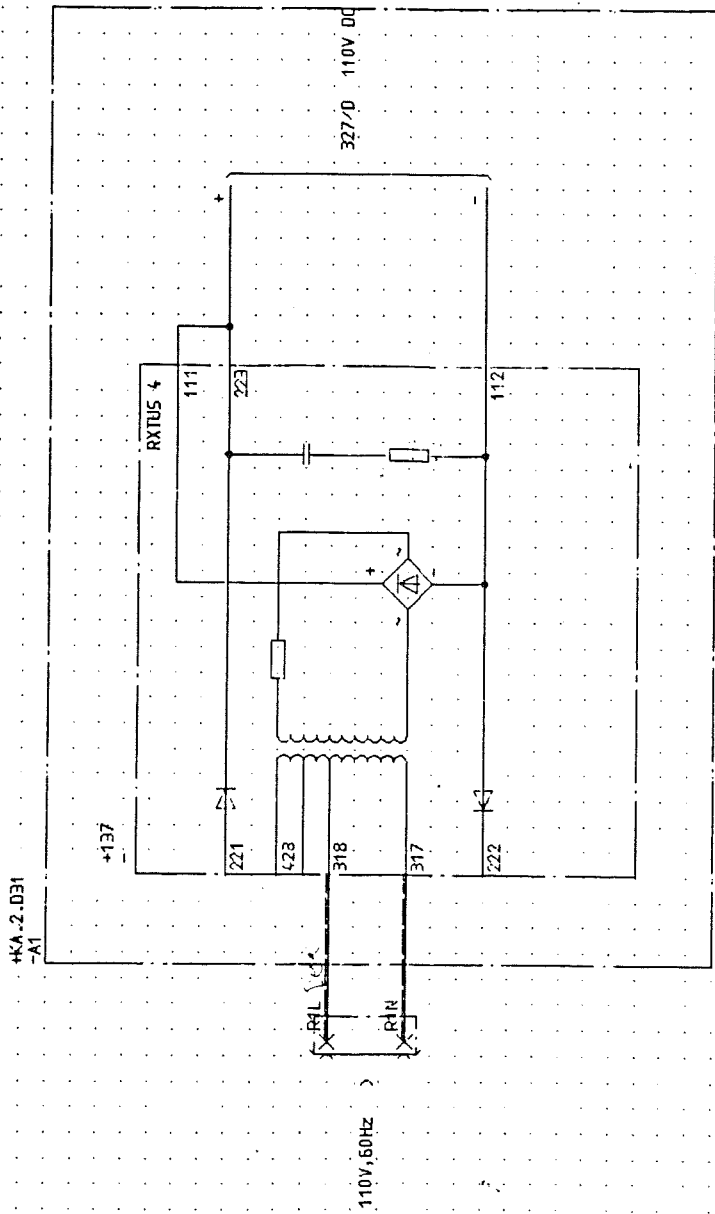


+PA.1.K1  
-M11  
#41  
-M1

KS-ADE ID / D: XHH12085-KS:326/0	Design Decided by K. LARSSON	Drawn by L. OHLSSON	Checked by LA
HEATING STATION WITH SET-POINT	HEATING STATION LBSH 41 =M ELLWOOD CITY FORGE	Issue by Dept Year Week HUAKE 85 04	Rev No Sheet 326 327
NEWHEAD	L. 4682.1007 XH.112.085-KS		6

This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof may not be reported to a third party. Information will be processed, KSA AB





KS-ADB ID /D: XH112085-KS:328/0

M.HS.HV  
HEATING STATION  
SUPPLY VOLTAGE

CIRCUIT DIAGRAM LBSH 41 =M  
HELLWOOD CITY FORGE

Design checked by  
K.L.A.SUDD  
Drawing created by  
L.OH.S50N  
Created by  
L.A

Drawn by  
WUAKE 85 04

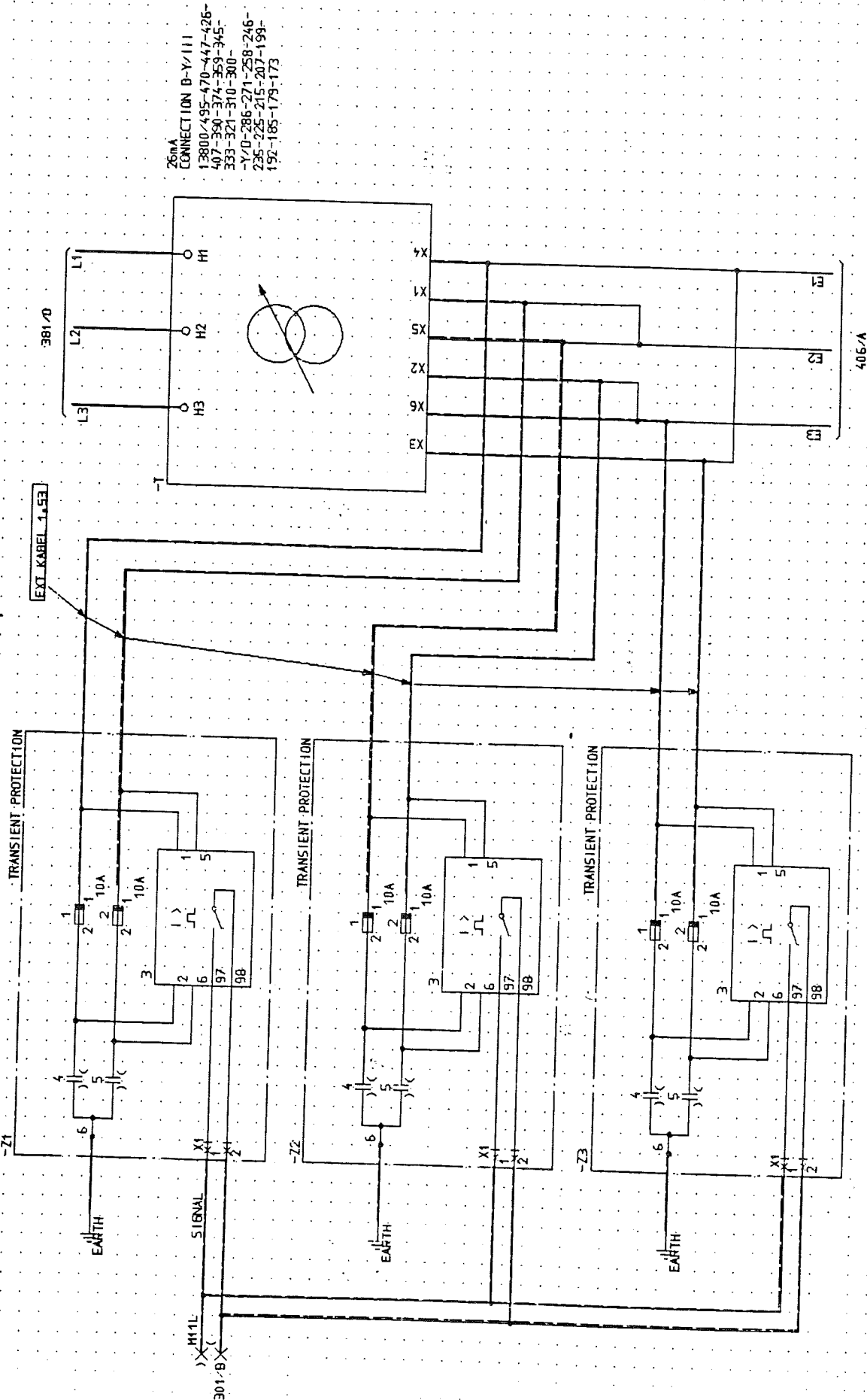
L 4682.1007  
XH 112.085-KS

Rev	Rev	Sheet
1	1	351
2	2	328
3	3	351

This document must not be copied without  
our written permission, and the contents  
must not be reproduced in any form.  
It may be used for any limited third party  
environment will be provided, ASEA AB

Charge checked by  
Rev. No. 1  
Rev. No. 2  
Rev. No. 3





26mA  
CONNECTION B-Y/III  
13800/495-470-447-426-  
407-390-374-353-345-  
333-321-310-300-  
-Y/D-286-271-258-246-  
235-225-215-207-199-  
192-185-179-173

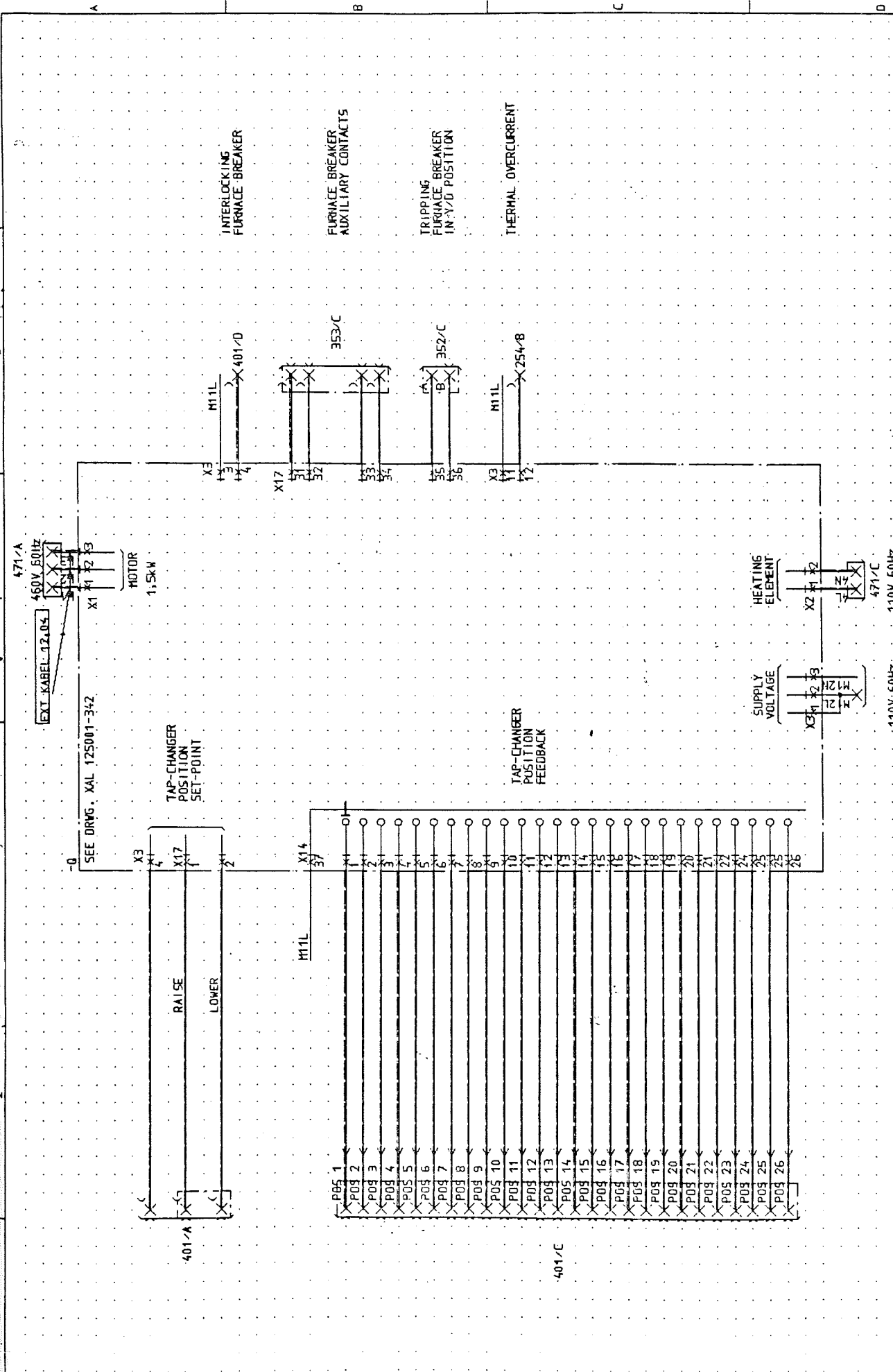
KS-ADP ID / O: XH112085-KS:382/0	Design checked by K. LARSSON	CIRCUIT DIAGRAM	Rev. No. Sheet
	Drawing created by L. OHLSSON	HEATING STATION LBS H41 = N	1
	Drawn by LA	ELLWOOD CITY FORGE	2
		ASEA	3
		Uses in Dept Year Week	4
		HUJAKE 85 04	5
		L 4682.1007	6
		XH 112 085-KS	382
			383

M.H.S.F.T

HEATING STATION  
FURNACE TRANSFORMER

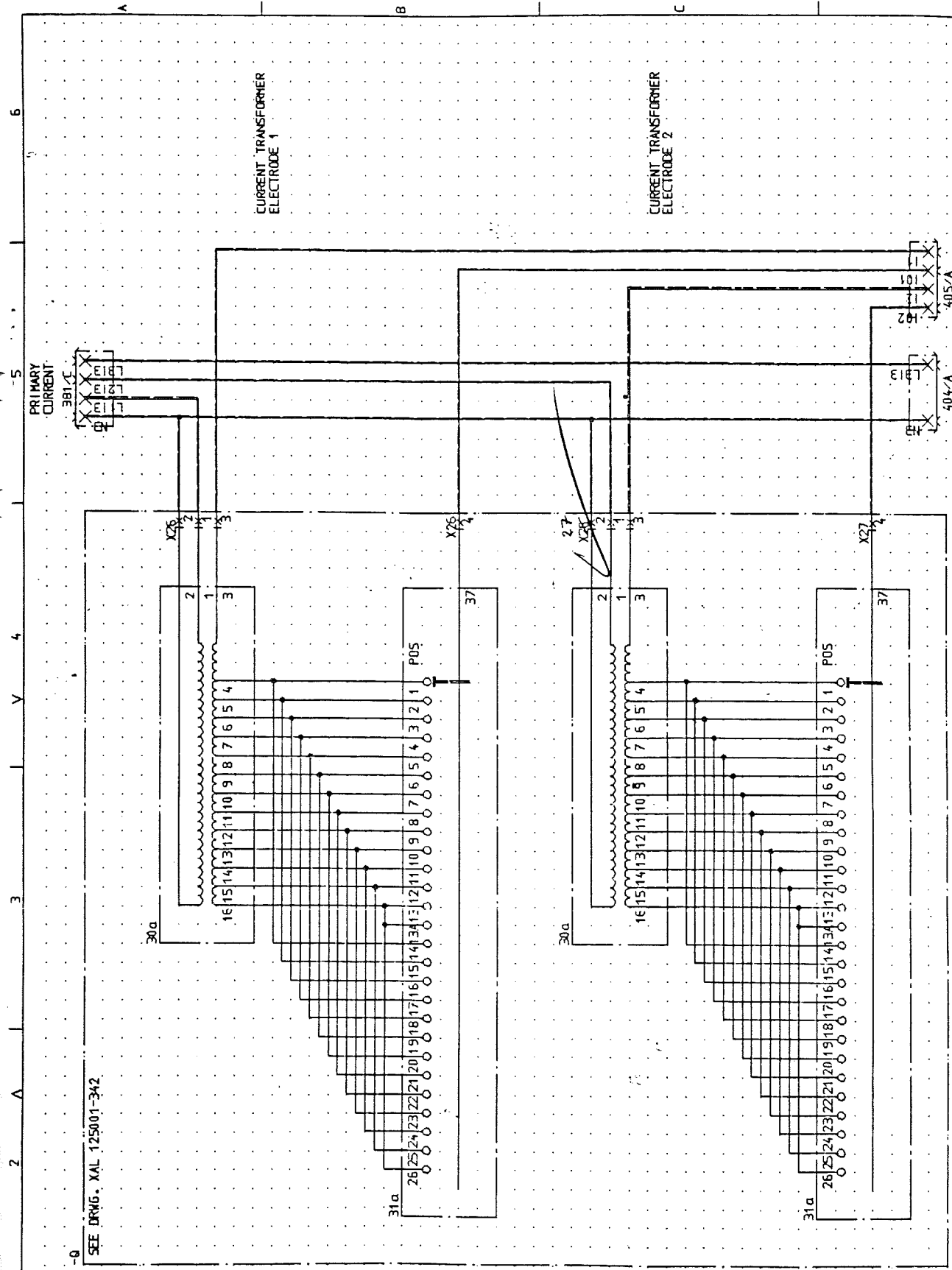
Important note: This drawing is not to be used for any unauthorized purposes. ASEA AB  
Liability will be preserved.





KS-106 ID /D: XH112085-KS:402/0		CIRCUIT DIAGRAM		Rev	Ind	Shall
HEATING STATION TAP-CHANGER		HEATING STATION LBSH 41 =H		(	(	(
=M.H.S.E.R		ELLWOOD CITY FORGE		402	402	403
HEATING STATION TAP-CHANGER		ASEA		403	403	403
Appl		Year		Week		
2		85		04		
Drawn by		Checked by		Year		
NEWHEAT		L. OHLSSON		1985		
Design checked by		K. LARSSON		1985		
Date		1985		04		
Sheet		1		403		

This document must not be copied without  
 our written permission, and the copyright  
 must be used for any further use and copy.  
 If it is not used for any further use and copy  
 our permission will be provided. ASEA AB



SEE DRWG. XAL 125001-342.

KS-A0B ID /D:XH112085-KS1403-0	Design checked by K. LARSSON	CIRCUIT DIAGRAM HEATING STATION LB5H 41 =N	Rev and Sheet C
	Drawing executed by L. OHLSSON	HEATING STATION ELLWOOD CITY FORGE	Rev and Sheet C
	Drawn by L.A.	ASEA	403
			404
		Use by Dept Year Issue HUJAKE BS 04	
			6

M. HS. ER

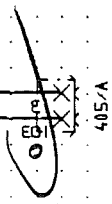
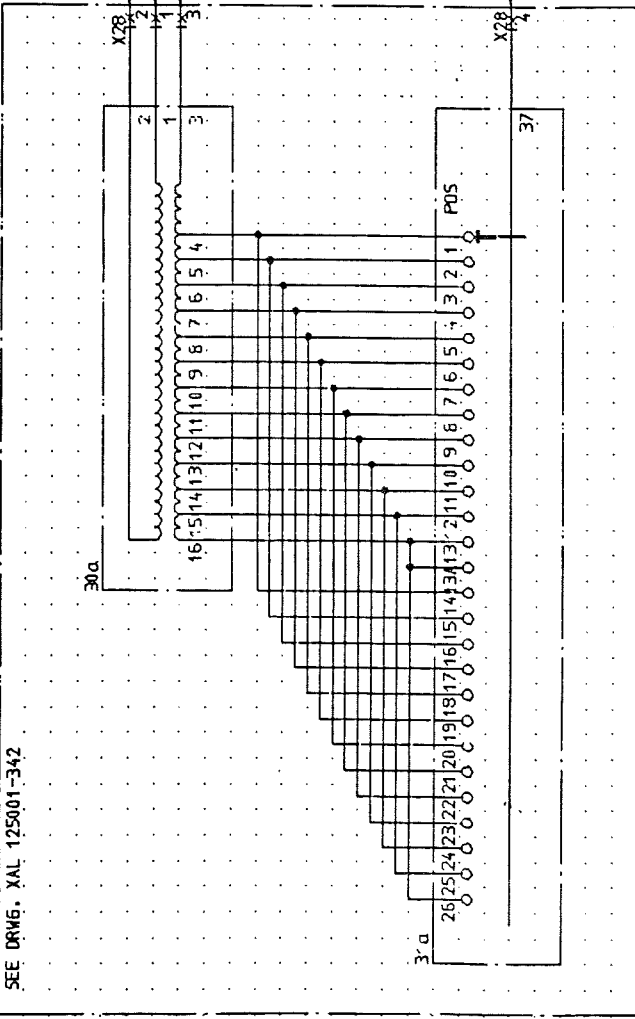
HEATING STATION  
CURRENT TRANSFORMER

App'd	Year	Issue

This drawing is the property of ASEA AB. It must not be used for any unauthorized purpose. Information will be provided, ASEA AB

NEWHEAD

SEE DRWG. XAL 125001-342



K5-A0B ID /D: XH112085-K5:404/0

M.H.S.ER

HEATING STATION  
CURRENT TRANSFORMER

CIRCUIT DIAGRAM  
HEATING STATION LB5H 41 EN  
ELLWOOD CITY FORGE

ASEA

Iss By Dept Year  
HUAKE 85 04

L 4682.1007  
XH 112 085-K5

Rev	Iss	Shall
1	C	(
2	C	(
3	C	(
4	C	(
5	C	(
6	C	(

Design created by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year

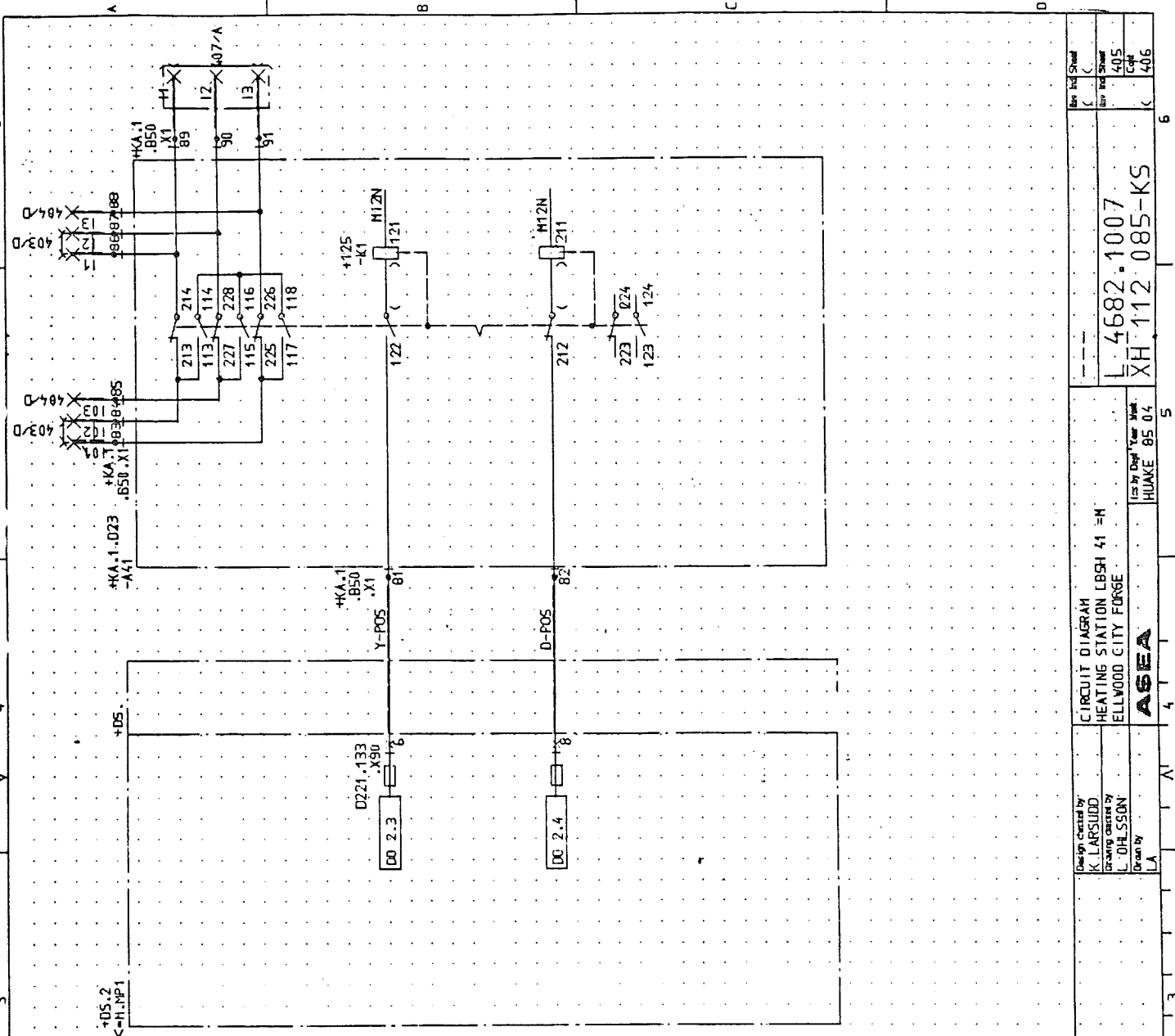
Reviewed by  
Date  
Year

Designated by  
Date  
Year

Drawn by  
Date  
Year

Checked by  
Date  
Year

Approved by  
Date  
Year



KS-A0B ID /0:XH112085-KS1405/0

M.HS.ER  
HEATING STATION  
D-Y-CHANGING OVER

CIRCUIT DIAGRAM  
HEATING STATION LBSH 41 -H  
ELLWOOD CITY FORGE

L. 4582.1007  
XH 112 085-KS

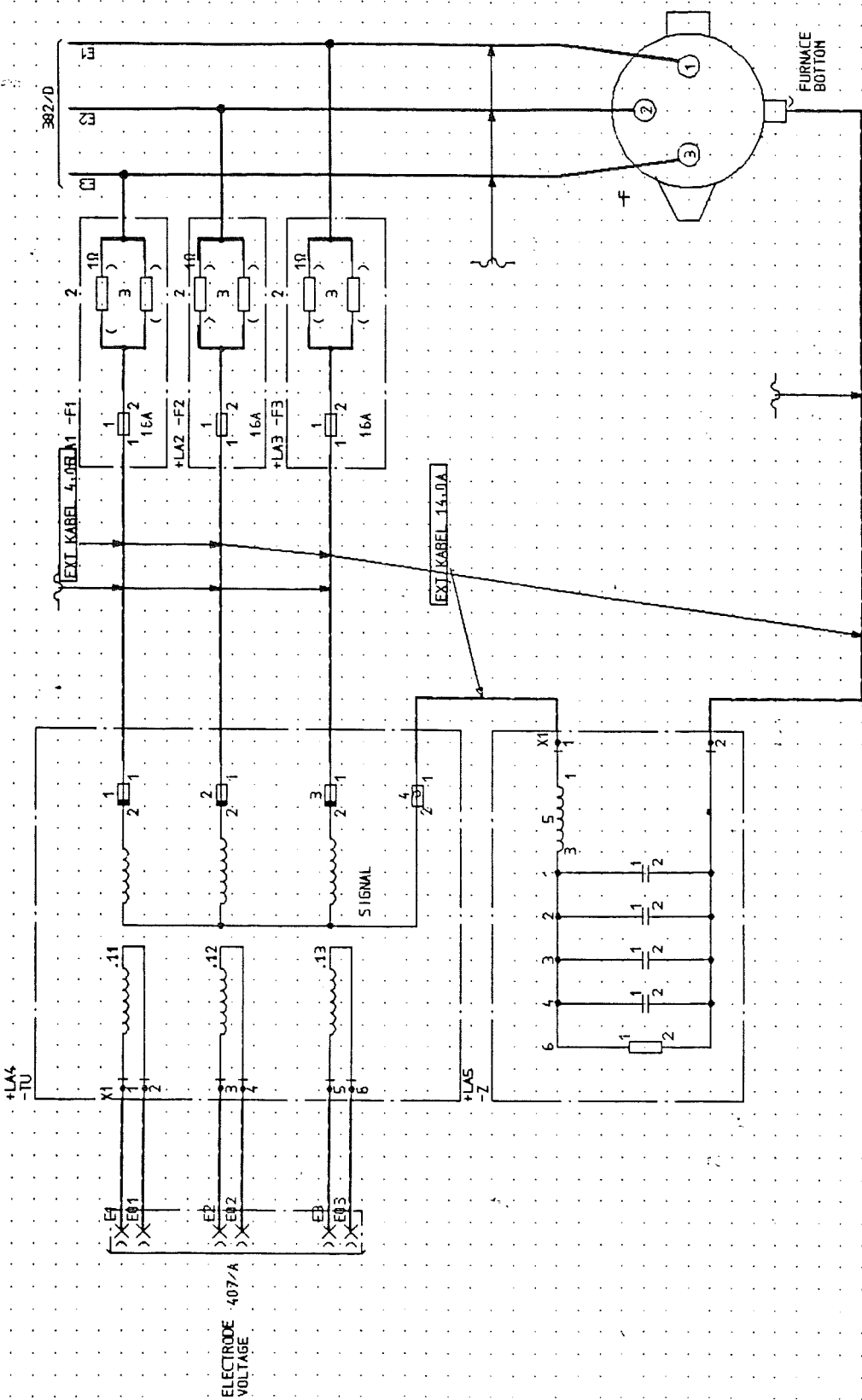
Rev. No. 1  
Rev. No. 2  
Rev. No. 3  
Rev. No. 4  
Rev. No. 5  
Rev. No. 6

Design checked by  
K. LARSSON  
Drawing checked by  
L. OHLSSON  
Drawn by  
LA

Issued by Dept Year Week  
HUAKKE 85 04

Rev. No. 1  
Rev. No. 2  
Rev. No. 3  
Rev. No. 4  
Rev. No. 5  
Rev. No. 6

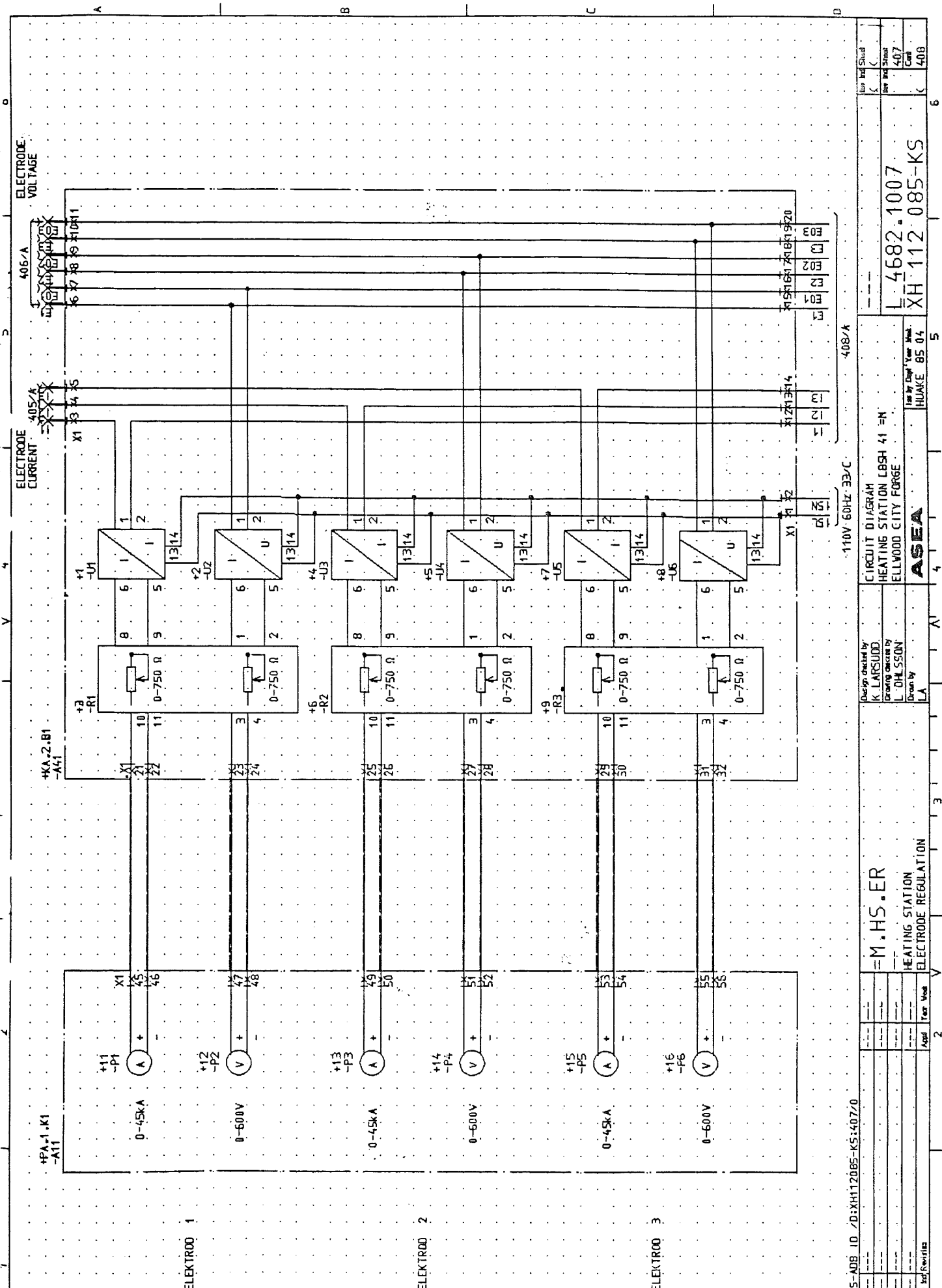
This print not be reprinted for a third party  
without the permission of ASEA AB



Design checked by M. HS. ER		Design checked by K. LARSSON		Design checked by L. OHLSSON	
Approved by M. HS. ER		Approved by K. LARSSON		Approved by L. OHLSSON	
Date 1982		Date 1982		Date 1982	
Project HEATING STATION ARC FURNACE		Project HEATING STATION LBH 41 #H ELLWOOD CITY FORGE		Project L 4682.1007 XH 112.085-KS	
Rev 2		Rev 5		Rev 6	
Drawn by M. HS. ER		Drawn by K. LARSSON		Drawn by L. OHLSSON	
Checked by M. HS. ER		Checked by K. LARSSON		Checked by L. OHLSSON	
Approved by M. HS. ER		Approved by K. LARSSON		Approved by L. OHLSSON	

KS-A03 ID 70:XH112085-KS:406/0

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ASEA AB. IT IS TO BE USED FOR THE PROJECT AND NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM. WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF ASEA AB, NO PART OF THIS DRAWING IS TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM.



KS-ADB 10 / D:XH112085-KS:4070		Date: / /	
Design checked by: M.HS.ER		Date: / /	
HEATING STATION		Date: / /	
ELECTRODE REGULATION		Date: / /	
Design checked by: K.LARSJÖD		Date: / /	
Drawing checked by: L.OHLSSON		Date: / /	
Drawn by: LA		Date: / /	
Project No: 408		Date: / /	
Sheet No: 408		Date: / /	
L 4682.1007		Date: / /	
XH 112 085-KS		Date: / /	
HUAK 85 04		Date: / /	

NEWHREAD

Design checked by: / /

Drawn by: / /

This document must not be copied without  
 prior written permission and the contents  
 may be used for unauthorized purposes.  
 Information will be provided, ASEA AB

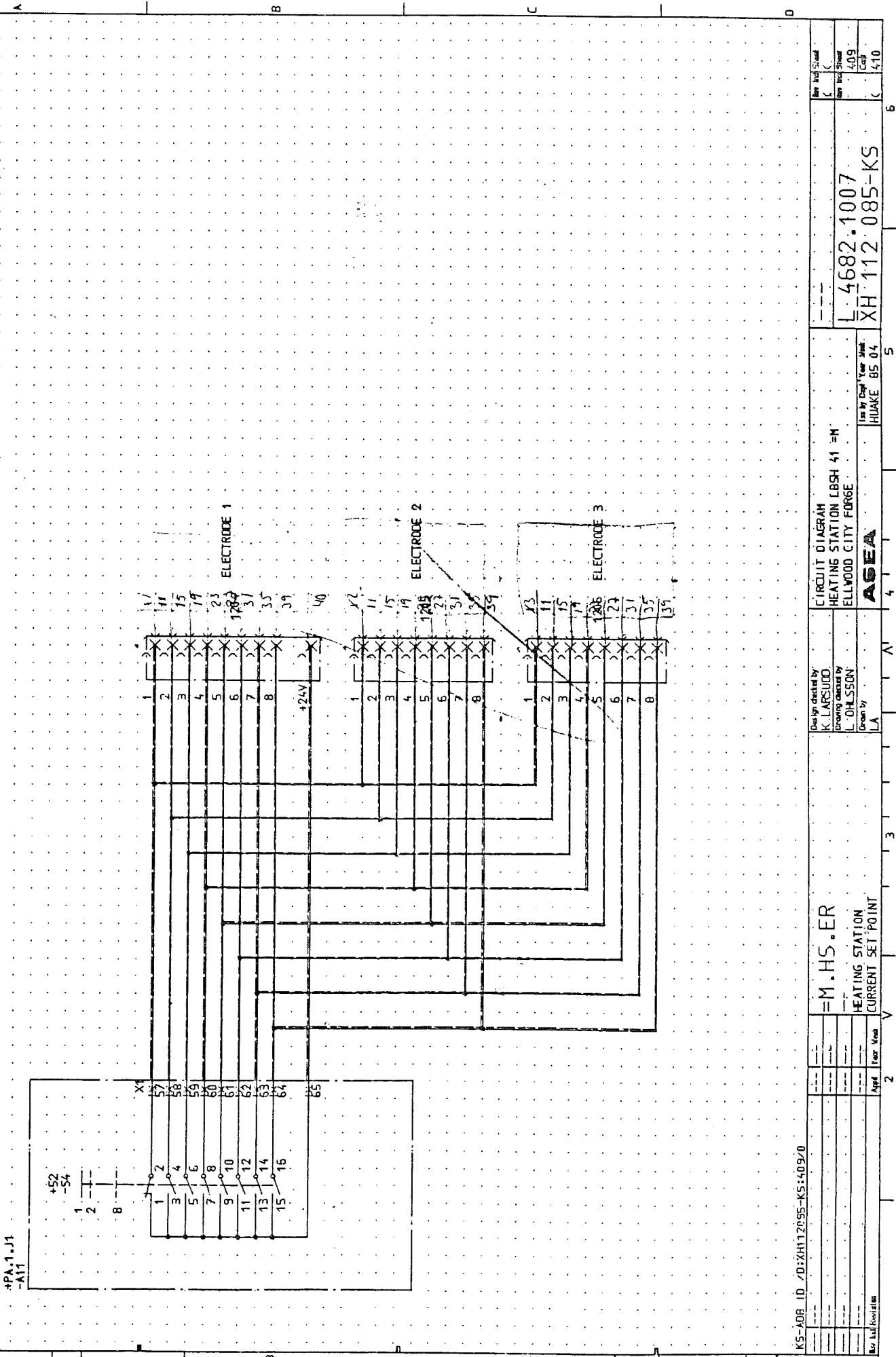
Design checked by: / /

Drawn by: / /

Proj No: / /

Sheet No: / /





KS-A08 ID /D: XH12095-KS:409/0

L 4682.1007  
XH 112 085-KS

CIRCUIT DIAGRAM  
HEATING STATION LBSH 41 -H  
ELLWOOD CITY FORGE

ASEA

Design checked by  
K. LARSSON  
Drawing checked by  
L. OHLSSON  
Drawn by  
LA

M. HS. ER  
HEATING STATION  
CURRENT SET POINT

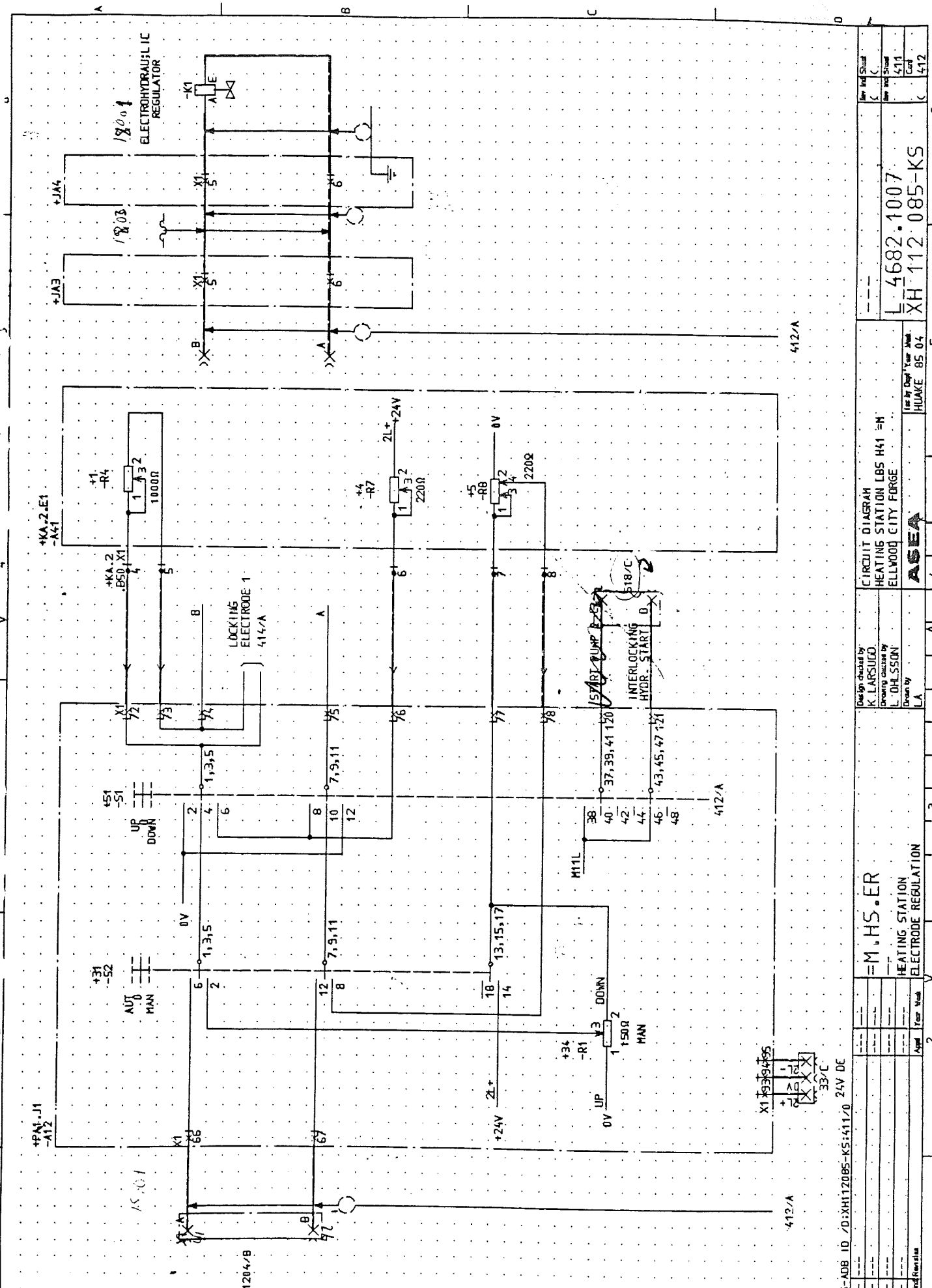
Appr Per Week

Rev 1/1/1974

THIS DOCUMENT MUST NOT BE COPIED WITHOUT  
THE WRITER'S PERMISSION, AND THE CONTENTS  
THEREOF MUST NOT BE REPRODUCED OR TRANSMITTED  
IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR  
MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING,  
OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL  
SYSTEM. PERMISSION WILL BE PROCURED: ASEA AB

NEWHEAD





KS-A0B ID / 0: XH112085-KS:411/0 24V DC

M.H.S.E.R  
HEATING STATION  
ELECTRODE REGULATION

CIRCUIT DIAGRAM  
HEATING STATION LBS H41 3H  
ELLWOOD CITY FORGE

L 4682.1007  
XH 112 085-KS

Rev	Ind	Drawn	412
411	C	C	412
410	C	C	412
409	C	C	412
408	C	C	412
407	C	C	412
406	C	C	412
405	C	C	412
404	C	C	412
403	C	C	412
402	C	C	412
401	C	C	412

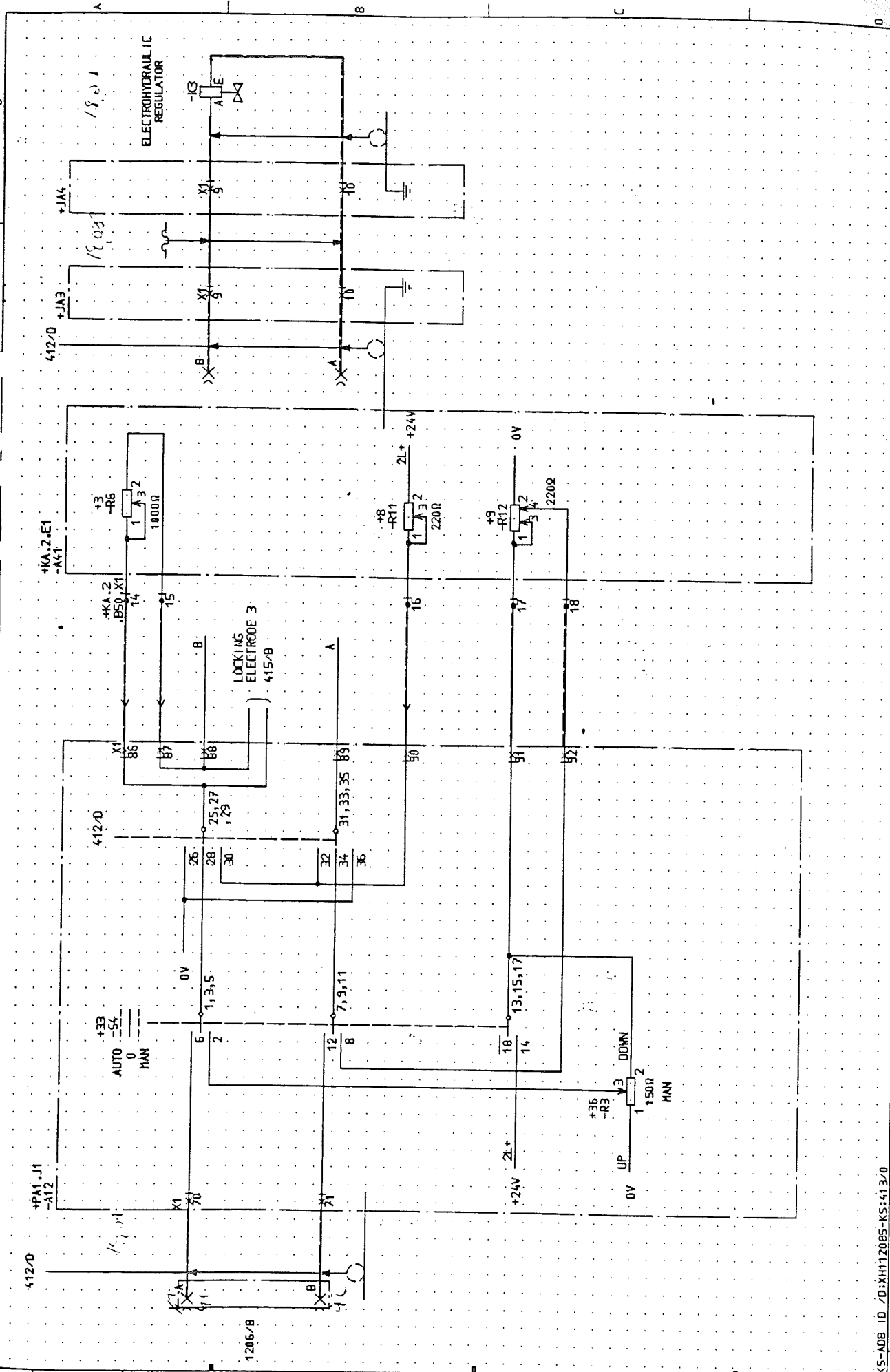
Design checked by  
K. LARSSON  
Drawing checked by  
L. OHLSSON  
Drawn by  
LA

Apr Year Work  
2

Rev Ind Drawn  
412 C C 412

Not to be used for any unauthorised purpose.  
Information will be provided, ASEA AB



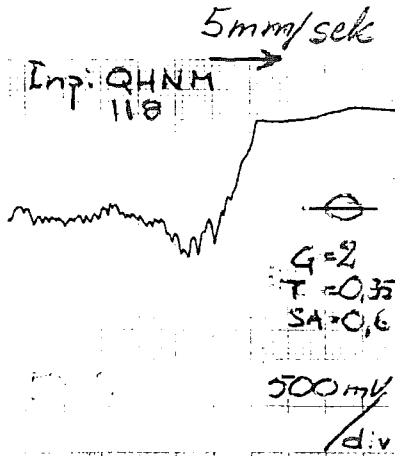


KS-ADB ID / D: XH112085-KS:413/0		M.H.S.E.R.		HEATING STATION		ELECTRODE REGULATION	
Design created by K. LARSSON		HEATING STATION CBS H41 =N		CIRCUIT DIAGRAM		HEATING STATION CBS H41 =N	
Drawing checked by L. OHLSSON		ELLWOOD CITY FORGE		ELLWOOD CITY FORGE		ELLWOOD CITY FORGE	
Drawn by LA		ASEA		ASEA		ASEA	
Appr / Rev / Week		Appr / Rev / Week		Appr / Rev / Week		Appr / Rev / Week	
2		5		5		5	
New Rev / Revision		New Rev / Revision		New Rev / Revision		New Rev / Revision	
414		413		412		411	
414		413		412		411	
414		413		412		411	

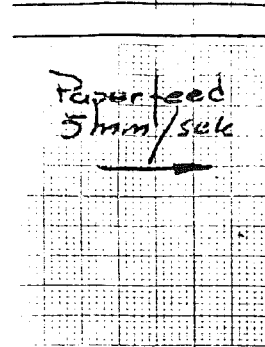
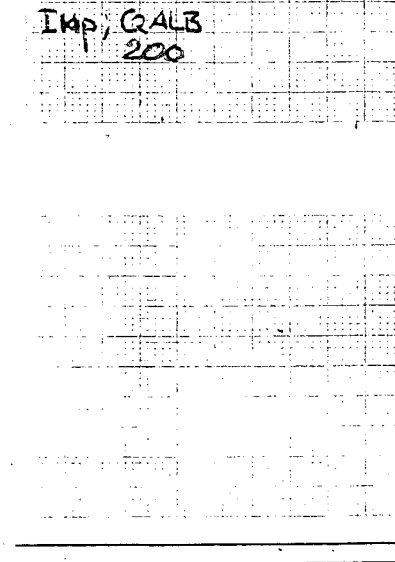
Design created by: NEWHEAD  
 Rev / Rev / Week: / /  
 Appr / Rev / Week: / /  
 New Rev / Revision: / /  
 This document must not be copied without  
 the written permission of the copyright  
 holder. If it is used for any other purpose  
 (reproduction will be prosecuted. ASEA AB  
 Design checked by: / /  
 Drawing checked by: / /  
 Drawn by: / /  
 Appr / Rev / Week: / /

ELEKTROD 3

Styrsignal till ventilen

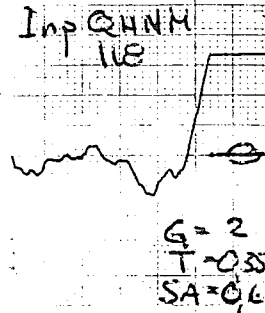


Insignal till regulatorn

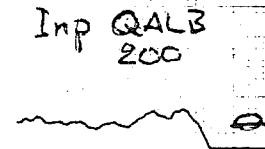


ELEKTROD 2

Styrsignal till ventilen

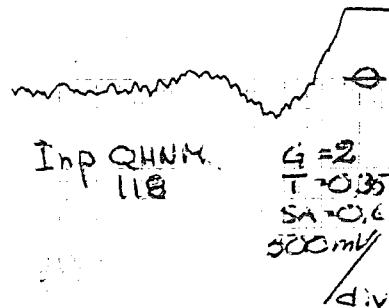


Insignal till regulatorn

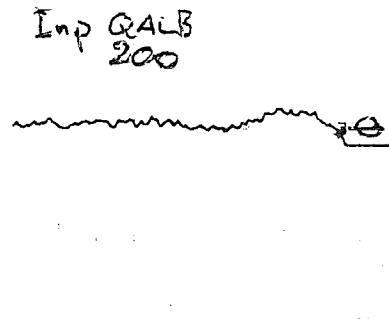


ELEKTROD 1

Styrsignal till ventilen

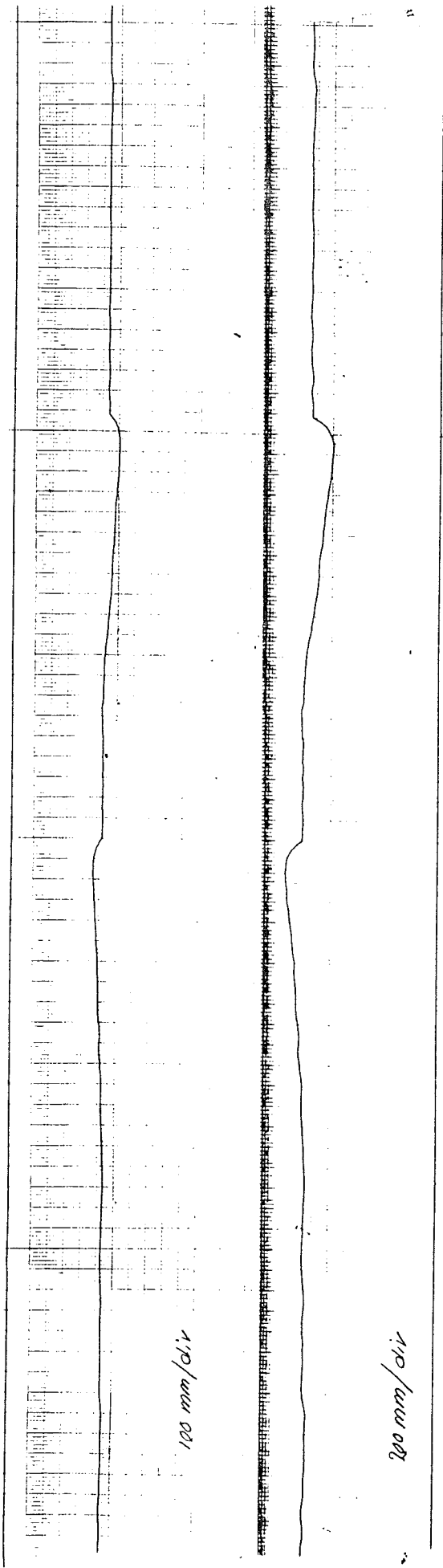


Insignal till regulatorn



steg 22-26 KA

steg 26-28 KA

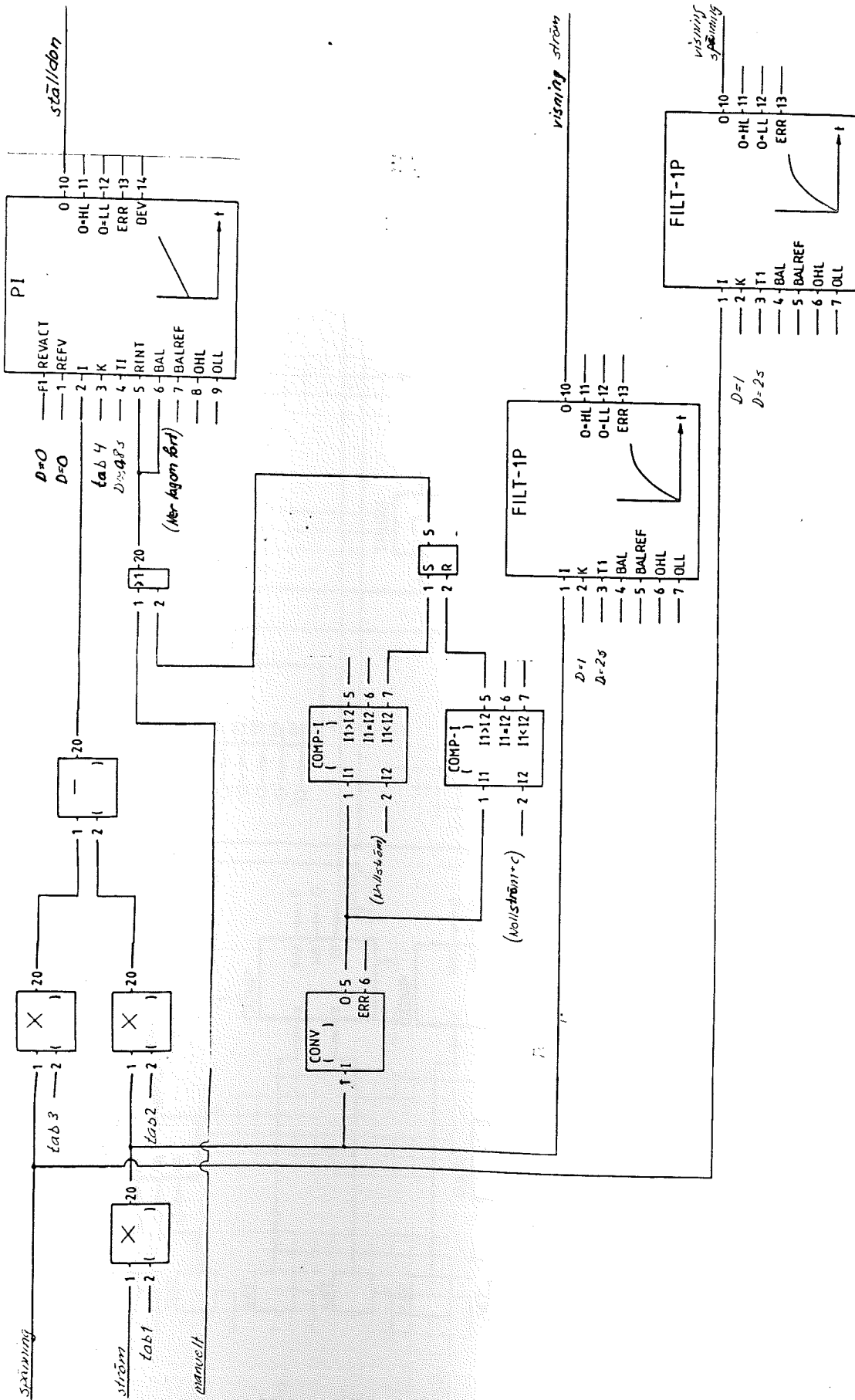


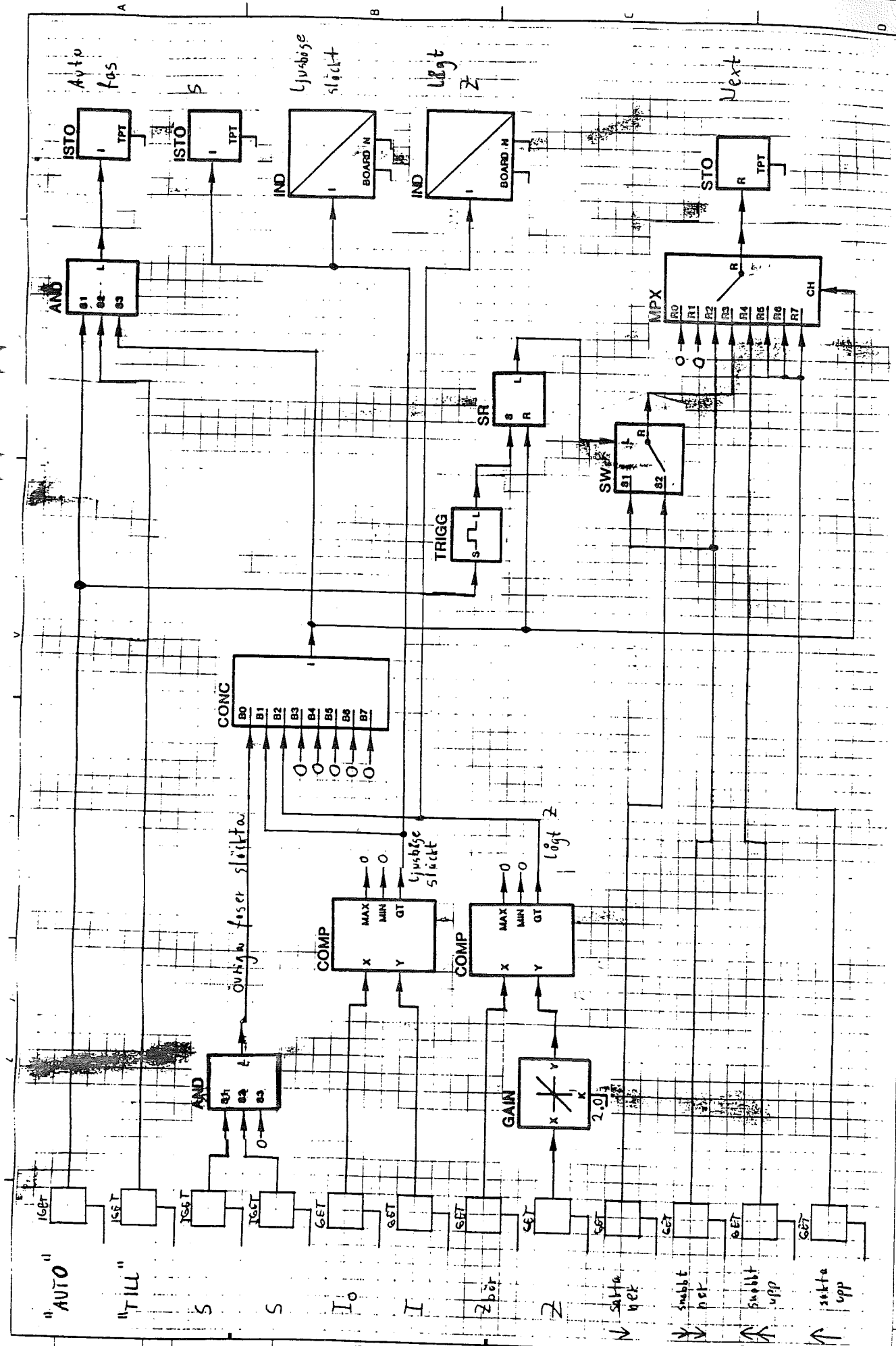
100 mm/div

200 mm/div

5 mm/s

Denna mätning har utförts på följande sätt genom att  
ändra ström referansen till GA 208 har en stegstörning  
bildats. Överst ser vi störsignalen till ventilerna och  
under denna felsignalen till regulatorn.

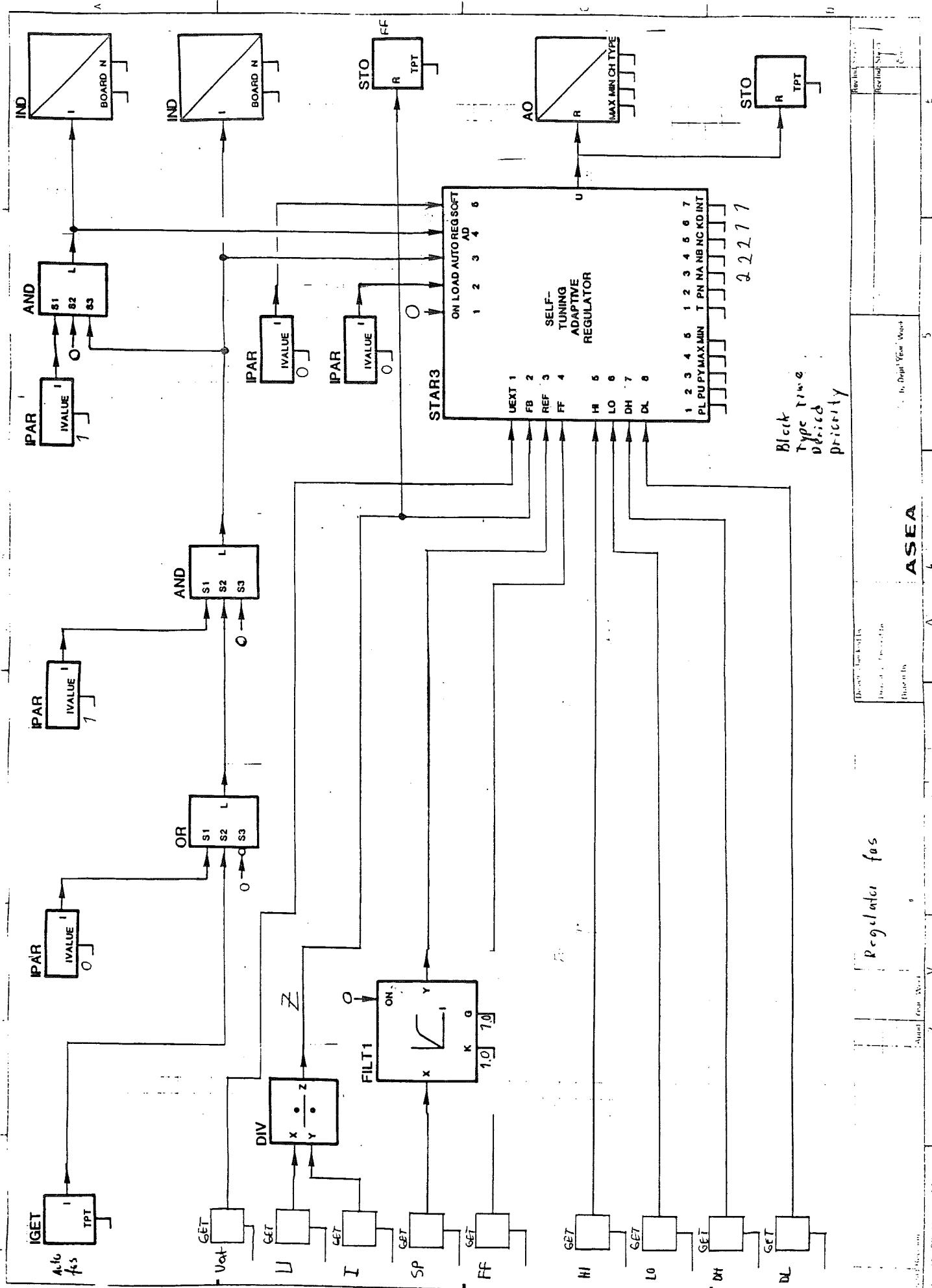




Design checked by	ASEA
Drawing checked by	
Drawn by	
Issued by Dept/Year/Week	
Rev. No.	6
Cont.	

This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party without our prior written consent. ASEA AB. Contribution will be prosecuted.

Design checked by  
 Year/Week/Cont  
 TID No  
 Drawn by  
 Order No  
 Year/Week/Cont



Block time  
type device  
priority

Regulator fas

This document must not be copied without  
our written permission and the contents  
thereof must not be imparted to a third party  
without our prior written permission. ASEA AB  
assumes no responsibility for any errors or  
omissions.

Printed in Sweden  
SHEET 1 OF 1  
Revision No. 1  
Date: 1984-08-15

1984-08-15



FILE: LJUSS SANDYS A1 ASEA INFORMATION SYSTEMS CMS

\*SYSTEM <LJUSB

;

; ===== LJUSBAGE =====

;

\*VARDEC I1 I2 I3  
 \*INITIAL I1=1.0E4 I2=-1.0E4 I3=-1.0E4

;

\*AUXDEC U10 U20 U30

;

\*AUXDEC VL

;

\*AUXDEC ARH1 ARH2 ARH3

;

\*VARDEC AR1 AR2 AR3

;

\*VARDEC AVS1 AVS2 AVS3  
 \*INITIAL AVS1=0.25 AVS2=0.25 AVS3=0.25

;

\*VARDEC STY1 STY2 STY3  
 \*INITIAL STY1=0.0 STY2=0.0 STY3=0.0

;

\*VARDEC MUT1 MUT2 MUT3  
 \*INITIAL MUT1=0.0 MUT2=0.0 MUT3=0.0

;

\*VARDEC VUT1 VUT2 VUT3  
 \*INITIAL VUT1=0.0 VUT2=0.0 VUT3=0.0

;

\*VARDEC HUT1 HUT2 HUT3  
 \*INITIAL HUT1=0.0 HUT2=0.0 HUT3=0.0

;

\*PARAM R1=0.626E-3 R2=0.446E-3 R3=0.597E-3 ; RESISTANSVARDE

;

\*PARAM L1=7.003E-6 L2=6.815E-6 L3=6.853E-6 ; INDUKTANSVARDE

;

\*PARAM REF1=0.01 REF2=0.013 REF3=0.01 ; REFVARDE TILL REGULATOR

;

\*PARAM KR=5 TR=0.6 ; PAR REGULATOR

;

\*PARAM K1=1 T1=0.035 ; PAR VENTILSTÄLLDON

;

\*PARAM K2=1 P2=0.0011 Q2=0.0067 ; PAR MEKANISKASYSTEMET

;

FILE: LJUSS SANDYS A1 ASEA INFORMATION SYSTEMS CMS

```

*PARAM      K3=1          T3=0.05          ;PAR HYDRAULIKSYSTEM
;
*PARAM      K4=1E10       T4=1E10          ;PAR INTEGRATOR
;
*PARAM      K5=1          T5=0.016         ;PAR GLÄTTNINGSFILTER
;
*PARAM      W0=50         U0=400          PI=3.14159265
;
*PARAM      OHM=0.04
;
*PARDEC     W             U03
;

```

```

-----
VL = U10 - R1 * I1 - L1 * 'I1 - I1 * AVS1 * OHM
VL = U20 - R2 * I2 - L2 * 'I2 - I2 * AVS2 * OHM
;

```

I1 + I2 + I3 = 0

\*FORTRAN

```

VL = U30 - R3 * I3 - L3 * 'I3 - I3 * AVS3 * OHM
;

```

```

ARH1 = AVS1 * OHM
ARH2 = AVS2 * OHM
ARH3 = AVS3 * OHM
;

```

\*FORTEND

```

LB19< FILT1 ARH1 AR1 : K5 T5          ;GLÄTTNINGSFILTER
LB20< FILT1 ARH2 AR2 : K5 T5          ;GLÄTTNINGSFILTER
LB21< FILT1 ARH3 AR3 : K5 T5          ;GLÄTTNINGSFILTER
;

```

```

LB4< PIREG REF1 AR1 STY1 :TR KR       ;REGULATOR FAS1
LB5< PIREG REF2 AR2 STY2 :TR KR       ;REGULATOR FAS2
LB6< PIREG REF3 AR3 STY3 :TR KR       ;REGULATOR FAS3
;

```

```

LB7< FILT2 STY1 MUT1 : K2 P2 Q2       ;MEKANISKT SYSTEMET FAS1
LB8< FILT2 STY2 MUT2 : K2 P2 Q2       ;MEKANISKT SYSTEMET FAS2
LB9< FILT2 STY3 MUT3 : K2 P2 Q2       ;MEKANISKT SYSTEMET FAS3
;

```

```

LB10< FILT1 MUT1 VUT1 :K1 T1         ;VENTILSTÄLLDON FAS1

```

FILE: LJUSS      SANDYS      A1      ASEA INFORMATION SYSTEMS CMS

```

LB11< FILT1 MUT2 VUT2 :K1 T1                    ;VENTILSTÄLLDON FAS2
LB12< FILT1 MUT3 VUT3 :K1 T1                    ;VENTILSTÄLLDON FAS3
;
LB13< FILT1 VUT1 HUT1 :K3 T3                    ;HYDRAULIKSYSTEM FAS1
LB14< FILT1 VUT2 HUT2 :K3 T3                    ;HYDRAULIKSYSTEM FAS2
LB15< FILT1 VUT3 HUT3 :K3 T3                    ;HYDRAULIKSYSTEM FAS3
;
LB16< FILT1 HUT1 AVS1 :K4 T4                    ;INTEGRATOR
LB17< FILT1 HUT2 AVS2 :K4 T4                    ;INTEGRATOR
LB18< FILT1 HUT3 AVS3 :K4 T4                    ;INTEGRATOR

```

```

;
*FORTRAN

```

```

;
W    = 2.00 * PI * W0
U03 = U0 / DSQRT(3.00)

```

```

;
U10 = U03 * SIN( W*TIME )
U20 = U03 * SIN( W*TIME - 2.00*PI/3.00 )
U30 = U03 * SIN( W*TIME - 4.00*PI/3.00 )

```

```

;
*END

```

FILE: OLOFS SANDYS A1 ASEA INFORMATION SYSTEMS CMS

\*SYSTEM <LJUSB

```

;
; ===== LJUSBAGE =====
;
*VARDEC      I1          I2          I3
*INITIAL     I1=-7E4     I2=7E3     I3=4E4
;
*AUXDEC      U10         U20         U30
;
*AUXDEC      UARC1       UARC2       UARC3
*AUXVAL      UARC1=0.0   UARC2=-200.0 UARC3=-200.0
;
*AUXDEC      VL
;
*PARAM       AVS1=0.25   AVS2=0.25   AVS3=0.25
;
*PARAM       R1=0.626E-3 R2=0.446E-3 R3=0.597E-3
;
*PARAM       L1=7.003E-6 L2=6.815E-6 L3=6.853E-6
;
*PARAM       W0=50       U0=400       PI=3.14159265
;
*PARDEC      W          U03
;
*PARDEC      UTE1       UTE2       UTE3
;
*PARAM       VOME=500.0                               ;VOLT PER METER LJUSBAGE
;
-----
;
VL = U10 - R1 * I1 - L1 * ' I1 - UARC1
VL = U20 - R2 * I2 - L2 * ' I2 - UARC2
;
I1 + I2 + I3 = 0
;
LB1< FKVAG UARC1 : I1 UTE1
LB2< FKVAG UARC2 : I2 UTE2
LB3< FKVAG UARC3 : I3 UTE3
;
*FORTRAN
;

```

FILE: OLOFS SANDYS A1 ASEA INFORMATION SYSTEMS CMS

VL = U30 - R3 \* I3 - L3 \* 'I3 - UARC3

UTE1 = ((AVS1\*VOME)+35)

UTE2 = ((AVS2\*VOME)+35)

UTE3 = ((AVS3\*VOME)+35)

W = 2.00 \* PI \* WD

U03 = U0 / DSQRT(3.00)

U10 = U03 \* SIN( W\*TIME )

U20 = U03 \* SIN( W\*TIME - 2.00\*PI/3.00 )

U30 = U03 \* SIN( W\*TIME - 4.00\*PI/3.00 )

\*END

\*MODULE <FKVAG UTEK : I UUTE

===== FYRKANTVAG =====

\*VARDEC UTEK

\*PARDEC I UUTE

\*PARAM EPSP=10 EPSM=-10 EPS0=0

\*STATESET VAG

\*STATE POS

UTEK = UUTE

\*WHEN I < EPSM

VAG = NEG

\*STATE NEG

UTEK = -UUTE

\*WHEN I > EPSP

VAG = POS

\*STATE START

UTEK = UUTE SIGN (I)

\*WHEN I > EPS0

VAG = POS

\*WHEN I < EPS0

VAG = NEG

\*STSTART VAG = START

\*END