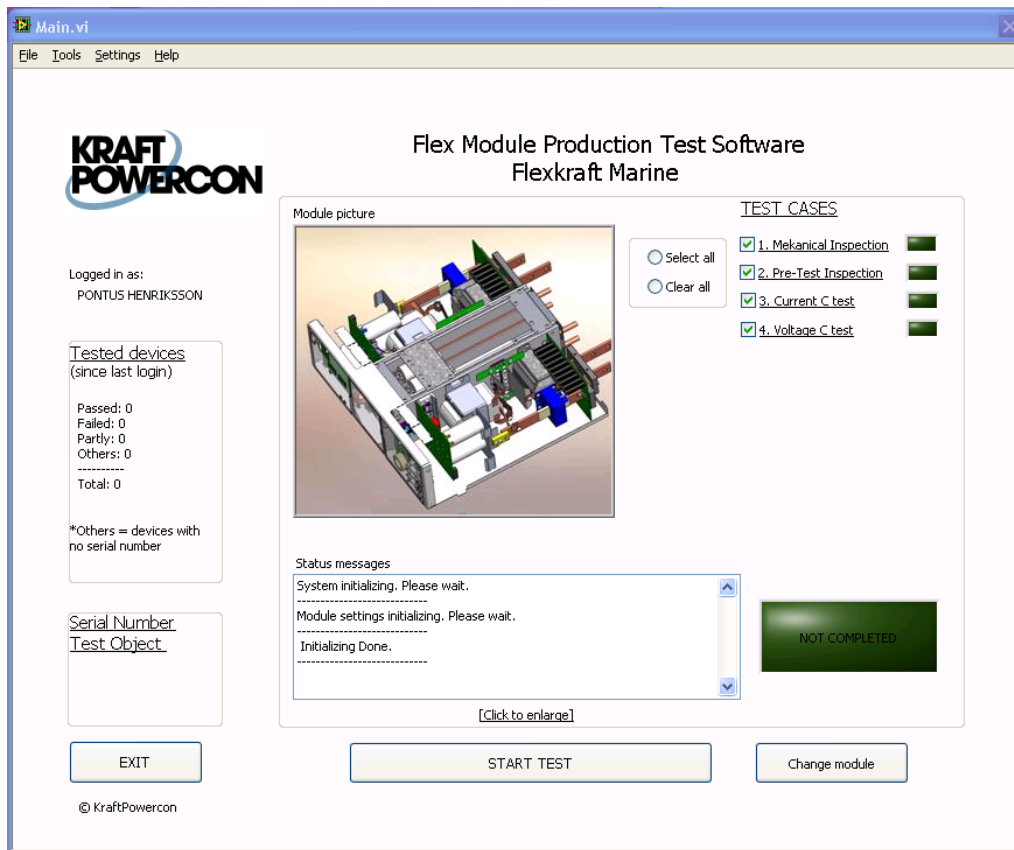


# CHALMERS



## Uppgradering av automatisk teststation Improving an automatic test station

Styrning och mätning av likriktare samt lastdimensionering  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Mekanik*

Pontus Henriksson & Christoffer Johnson

Institutionen för signaler och system  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2013

## Förord

Examensarbetet är den sista delen i utbildningen Mekanik på Chalmers vilket är en treårig högskoleutbildning beläget på Lindholmen i Göteborg. Examensarbetet räknas som en 15p kurs och innefattar 10 veckor.

Arbetet gjordes på KraftPowercon Sweden AB vilket har sitt huvudkontor i Surte strax om Göteborg. KraftPowercon tillverkar och säljer högspänningsapparater och även likriktare vilka var de vi arbetade med.

Ett stort tack till våra handledare Anders Olofsson på KraftPowercon som har varit otroligt hjälpsam och trevlig att arbeta med, samt Göran Hult som är vår handledare från Chalmers.

Även stort tack till följande medarbetare på KraftPowercon:

Chefsingenjören Peter Mathisson som gjort examensarbetet möjligt.  
Utvecklingsingenjören Christer Fransson för hjälp med kretskortstillverkning  
Leif Hidesjö som hjälpt oss med signaler och protokoll  
Konstruktören Benny Holmqvist som hjälpt oss med konstruktion av last

## Sammanfattning

Under 10 veckor med start vecka 15 2013 har två studenter från Chalmers tekniska högskola utförs ett uppgraderingsprojekt av en automatisk teststation på KraftPowercon i Surte. KraftPowercon är ett företag som tillverkar likriktare. Dessa likriktare består av moduler. Anledningen till att arbetet utfördes var att alla moduler som tillverkades inte gick att testas i tidigare teststation. Det tidigare testprogrammet var skrivet i LabVIEW och den tidigare stationen bestod av många gamla instrument. Resultatet blev ett nytt program, även det skrivet i LabVIEW. Detta program är inte låst utan har sina parametrar i separata textfiler. Det finns även möjlighet att lägga till nya moduler så länge de följer samma testförlopp. Programmet är även mer användarvänligt och mer strukturerat. Vad det gäller stationen används nu bara ett mätinstrument med MUX. En ny last fick tas fram då den tidigare bara var dimensionerad för en modultyp. Denna last styrs digitalt och är justerbar mellan  $0,037 \Omega$  till  $1 \Omega$ .

## Abstract

During 10 weeks starting at week 15 in 2013, two students from Chalmers University of Technology performed an improvement project of an automatic test station at KraftPowercon Surte. KraftPowercon is a company that manufactures rectifiers. These rectifiers consist of modules. The reason that the work was done was that all modules produced could not be tested in the previous test station. The previous test program was written in LabVIEW and the former station consisted of many old instruments. The result was a new program, that too is written in LabVIEW. This program is not fully constrained but has its parameters in separate text files. It is also possible to add new modules as long as it follows the same test procedure. The program is also more user-friendly and more structured. Concerning the station, it now has only one measuring instrument with MUX capability. A new load was produced because the former load was only designed for a module type. This load is digitally controlled and is adjustable between  $0,037 \Omega$  to  $1 \Omega$ .

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1	BAKGRUND .....	1
1.2	SYFTE .....	1
1.3	AVGRÄNSNINGAR .....	1
1.4	PRECISERING AV FRÅGESTÄLLNINGEN .....	1
<b>2</b>	<b>TEORETISK BAKGRUND</b> .....	<b>2</b>
2.1	FÖRKORTNINGAR.....	2
2.2	PROGRAMVAROR.....	3
<b>3</b>	<b>METOD</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>TESTOBJEKTSBESKRIVNING</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>TIDIGARE LÖSNING</b> .....	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>SIGNALBUFFERTSTEG OCH STATIONSUTRUSTNING</b> .....	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>LAST</b> .....	<b>11</b>
7.1	LASTKONCEPT .....	12
7.1.1	<i>Lastkoncept A</i> .....	13
7.1.2	<i>Lastkoncept B</i> .....	14
7.1.3	<i>Lastkoncept C</i> .....	15
7.1.4	<i>Lastkoncept D</i> .....	16
7.2	REALISERING AV LASTKONCEPT .....	18
7.2.1	<i>Resistanspaketslösning</i> .....	18
7.2.2	<i>Kontaktor och laststyrningslösning</i> .....	19
7.2.3	<i>Anslutning och Layoutlösning</i> .....	22
<b>8</b>	<b>PROGRAMBESKRIVNING</b> .....	<b>25</b>
	<b>SLUTSATS OCH DISKUSSION</b> .....	<b>30</b>
	<b>REFERENSER</b> .....	<b>31</b>
	<b>APPENDIX</b> .....	<b>A-1</b>

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

KraftPowercon är ett företag som tillverkar och säljer likriktare för industriellt bruk. Dessa apparater består av seriekopplade moduler. Modulerna finns i olika varianter. De som tillverkas idag är FlexKraft (Standard 15 V, Standard 20 V, Marine) och RWO. Dessa moduler testas efter produktion. Det finns idag ett autonomt system för att testa FlexKraft Standard 15 V och Standard 20 V med modifikation. Övriga moduler testas för hand. KraftPowercon vill nu ha ett autonomt system för att testa alla moduler. De program som används för att testa "FlexKraft Standard 15 V" och 20 V skall även uppdateras. Provpplatsen ska struktureras om helt med nytt instrument, nya I/O:n och ny last.

## 1.2 Syfte

Att uppdatera och automatisera en provplats för likriktarmoduler som ingår i apparaterna FlexKraft (Standard 15 V, Standard 20 V, Marine) och RWO. Målet är att provplatsen skall uppdateras för att innefatta alla dessa moduler. Vidare behöver programvaran uppdateras enligt KraftPowercon:s dokumenterade standard för produktionsprogramvara. Befintlig dator behöver bytas ut mot en industriklassad PC. Befintliga mätinstrument rackmonteras tillsammans med PC, alternativt ersätts med ett datainsamlingskort. Utredning om kommunikationen mellan PC och provobjekt kan förenklas.

## 1.3 Avgränsningar

Några moment i uppgraderingen av provplatsen kommer inte att genomföras:

- Felsökning av trasiga moduler
- Utbildning av provare
- Provningsinstruktioner
- Bygga lastmotstånd

## 1.4 Precisering av frågeställningen

- Välja ett koncept som innehåller så få instrument och signaltyper som möjligt för att minska felkällor vid felsökning.
- Teststationen skall även vara lätthanterlig för både operatör och utvecklingspersonal.
- Programmet skall utformas så att det är lätt att ändra parametrar och testsekvenser om man har behörighet.

## 2 TEORETISK BAKGRUND

### 2.1 Förkortningar

#### **Likriktarmodul**

En produkt KraftPowercon tillverkar och säljer. Modulen matas med trefassspänning och levererar upp till 50V eller 300A likspänning. Modulerna seriekopplas eller parallellkopplas i skåp för att leverera högre ström eller spänning. Modulerna finns i modellerna:

FlexKraft Standard 15 V, FlexKraft Standard 20 V, FlexKraft Marine och RWO.

#### **Börvärde**

Ett värde på en storhet som berättar för likriktarmodulen vilken ström eller spänning som ska levereras.

#### **Ärvärde**

Det värdet på en storhet som mäts på utgången på likriktarmodulen och återkopplas till reglersystemet för att kunna reglera ström eller spänning. Reglersystemet strävar efter att ställa in ärvärdet så nära börvärdet som möjligt.

#### **DAQ**

DAQ står för Data acquisition, vilket betyder datainsamling. En DAQ är en elektrisk apparat ansluten till en dator som gör något eller flera av följande:

- Läs in analoga signaler till dator
- Läs in digitala signaler till dator
- Skicka ut analoga signaler från dator
- Skicka ut digitala signaler från dator

I arbetet används DAQ:ar för att styra lastkontakter och skicka ut styrsignaler till likriktarmodulerna.

#### **MUX**

Ett labbinstrument som har ett flertal ingångar och i vissa fall utgångar. Det ger möjlighet att använda ett instrument till att mäta många signaler, dock en i taget.

#### **Kanthal**

Motståndstråd eller motståndsbånd tillverkad av en metallegering, effekt i form av värme avges till omgivningen då ström passerar igenom kanthalen.

#### **CAN-buss**

Seriell kommunikationsutrustning som ofta används inom bilindustrin.

#### **D-sub kontakt**

En kontakt som ofta används för seriell kommunikation som t.ex. CAN eller RS-232 protokoll. Kontakten har ofta 9 eller fler ledare.

## 2.2 Programvaror

### **LabVIEW**

Programmet LabVIEW (2) används för testutrustningen, programmet sköter de visuella testen, styr signaler till likriktarmodulerna, insamling och bearbetning av mätdata från instrumenten och rapportgenerering av utförda test till loggfil. LabVIEW styr även kontaktorer till lasten för att ställa in rätt testpunkter.

LabVIEW använder ett grafiskt programmeringsgränssnitt med funktionsblock. Programmet använder till skillnad mot de flesta programmeringsmetoder, dataflöde istället för tidsbestämda cykler, vilket innebär att allt som kan göras samtidigt görs samtidigt. I LabVIEW är det lätt att överblicka kod och även felsöka då programmet kan köras långsamt och då animeras signalbanorna med aktuellt värde.

### **PADS**

Företaget har licens till EICAD-programmet PADS (3) av Mentor Graphics vilket är ett professionellt program för att skapa kretskortsritningar. Kretskortsritningar skickas till mönsterkortstillverkaren Cogra Pro AB i Älvängen för tillverkning.

### **LTspice IV**

Simuleringsprogrammet LTspice IV (4) från Linear Technology används till simulering av elektriska scheman för att testa och säkerhetskälla effektberäkningar vid utformning av lastkoncept.



### 3 METOD

#### **Arbetsgången utförs enligt schemat nedan:**

- Studera befintlig provplats och läsa kravdokument
- Välja koncept för styrning av apparat, instrument och last inklusive styrsignaler
- Lära sig programmering enligt KraftPowercon:s standard
- Upprätta plan på provupplägg/testsekvens
- Praktisk uppkoppling och snabbt test av provplan manuellt
- Styrning av instrument via dator
- Styrning av apparat via dator
- Samordna programvara med provplan
- Verifiering av att provplatsen fungerar
- Dokumentera/lagra mätdata för spårning
- Rapportgenerator
- Presentera resultatet

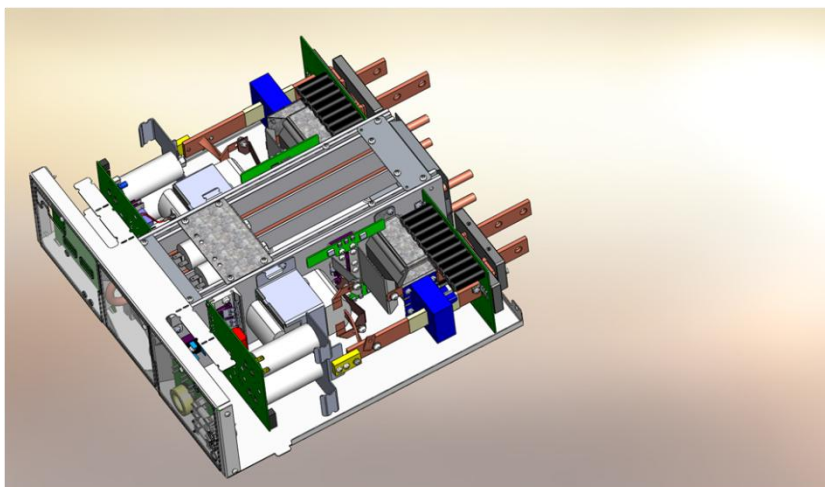
#### **Aktiviteter som utförs löpande under projektets gång:**

- Dokumentation av provplatsen
- Skrivning av rapport

All programmering kommer att utföras i LabVIEW. Testsekvenserna kommer att skrivas med hjälp av de manuella testprotokollen och det gamla testprogrammet som referens. All programmering kommer följa KraftPowercon:s programutvecklingsstandard.

## 4 TESTOBJEKTSBESKRIVNING

För att bättre förstå varför testutrustningen ser ut som den gör och förstå varför en lösning är bättre än en annan är det bra att först veta vad det är som ska testas. KraftPowercon tillverkar och säljer bland annat likriktare. Dessa likriktare är skåpinstallationer av olika storlek. Dessa skåp har en överordnad styrenhet som skickar börvärden och andra styrsignaler som behövs för att styra likriktaren. Denna enhet samlar även in data från likriktardelen för att kontrollera om likriktaren beter sig som den ska. Dessa styrkort har möjlighet att anslutas till PLC system eller andra överordnade enheter via ett antal kommunikationsinterface. I Likriktardelen av skåpet sitter det likriktarmoduler, dessa moduler förekommer i fyra olika modeller, dock har ett skåp bara en typ av modul i sig. Dessa fyra modultyper är de moduler som skall testas i den aktuella testtriggen. Dessa moduler heter: FlexKraft 15 V, FlexKraft 20 V, FlexKraft Marin och RWO. Mer information om KraftPowercon och dess likriktarmoduler finns på hemsidan [www.kraftpowercon.com](http://www.kraftpowercon.com).



*Figur 4.1 En likriktarmodul av typ FlexKraft Marine*

Dessa moduler skiljer sig både invändigt och utvändigt. Styrsignaler och 3-fasanslutning sitter alltid på framsidan av modulen och utgångarna sitter på baksidan. Alla moduler har två kanaler ut: A och B. Avståndet mellan utgångsskenorna varierar något mellan de olika modultyperna.

Alla moduler har olika maxvärden på hur mycket ström eller spänning de kan leverera, dock är börvärdessignalen en analog signal mellan 0-10 V på alla moduler. Där 10 V är den maximala spänningen eller strömmen som modulen kan leverera. Modulerna skickar även ut ärvärden på 0-10 V på ström och spänning.

På de äldre modulerna FlexKraft 15 V och 20 V styrs fläkten på modulen externt av det överordnade styrkortet och på det andra två styrs detta internt. Den nyaste modulen FlexKraft Marin kan styras via en CAN-buss. Denna CAN-buss måste vara ansluten för att modulen skall starta. FlexKraft Marins reglering styrs digitalt av en mikroprocessor, i de andra modulerna är det analoga PID regulatorer.

## 5 TIDIGARE LÖSNING

KraftPowercon:s tidigare teststation konstruerades 2005 av Fredrik Carlsson och Henrik Matsum, vilket var deras examensarbete(1) på Elteknikprogrammet vid Chalmers i Göteborg. Då sluttastades bara en typ av likriktarmodul. Detta var den största anledningen till att de ville ha en uppgraderad teststation. Testet fungerade så att operatören sköt fram modulen till anslutningspunkten och låste fast skenorna på baksidan med en klämanordning. När modulens utgångar var anslutna kopplade operatören in trefasmatningen på framsidan. Efter att modulen var helt ansluten startade operatören testprogrammet. Det första som hände när programmet startade var att operatören blev tillfrågad om att skriva in ett serienummer. När serienummet var inskrivet startas huvudprogrammet, vilket började med en visuell inspektion. Efter detta körde programmet igenom alla testpunkter. Om alla krav uppfylldes blev modulen godkänd varpå operatören blev informerad om att märka modulen med en etikett med godkännande. Om den inte uppfyllde något krav fick operatören istället märka den med en etikett skrivet defekt på. Denna sekvens tog ungefär två minuter.

Programmet var skrivet på ett sådant sätt att det var svårt att följa och därför svårt att modifiera för att passa alla moduler. Testets mätpunkter och krav var hårdkodat djupt ner i programmet vilket gjorde det omöjligt att bara göra en snabb ändring om ett krav eller en mätpunkt flyttades. Programmet hade modifierats ett antal gånger innan uppdraget lämnades till oss. Detta medförde att programmet kördes direkt från utvecklingsmiljön, vilket var riskabelt.



Figur 5.1 Bild på tidigare lösning

Teststationen har en last med två lägen; ett för strömstyrt och ett för spänningsstyrt läge. Denna last var uppbyggd av två kanthaltrådsspolar som en kontaktor växlade mellan då signal gavs från programmet. Denna last var endast dimensionerad för den modul som testades 2008.

Mätningen av alla testpunkter lästes in av sex stycken separata instrument. Dessa instrument är labbinstrument tillverkade 1989. Detta medförde att om något instrument skulle gå sönder så är det mycket svårt att hitta ett instrument att byta ut det med. Kalibreringskostnaden var också ganska hög då alla sex skulle kalibreras och testanläggningen kunde inte köras under tiden någon av dem kalibrerades.

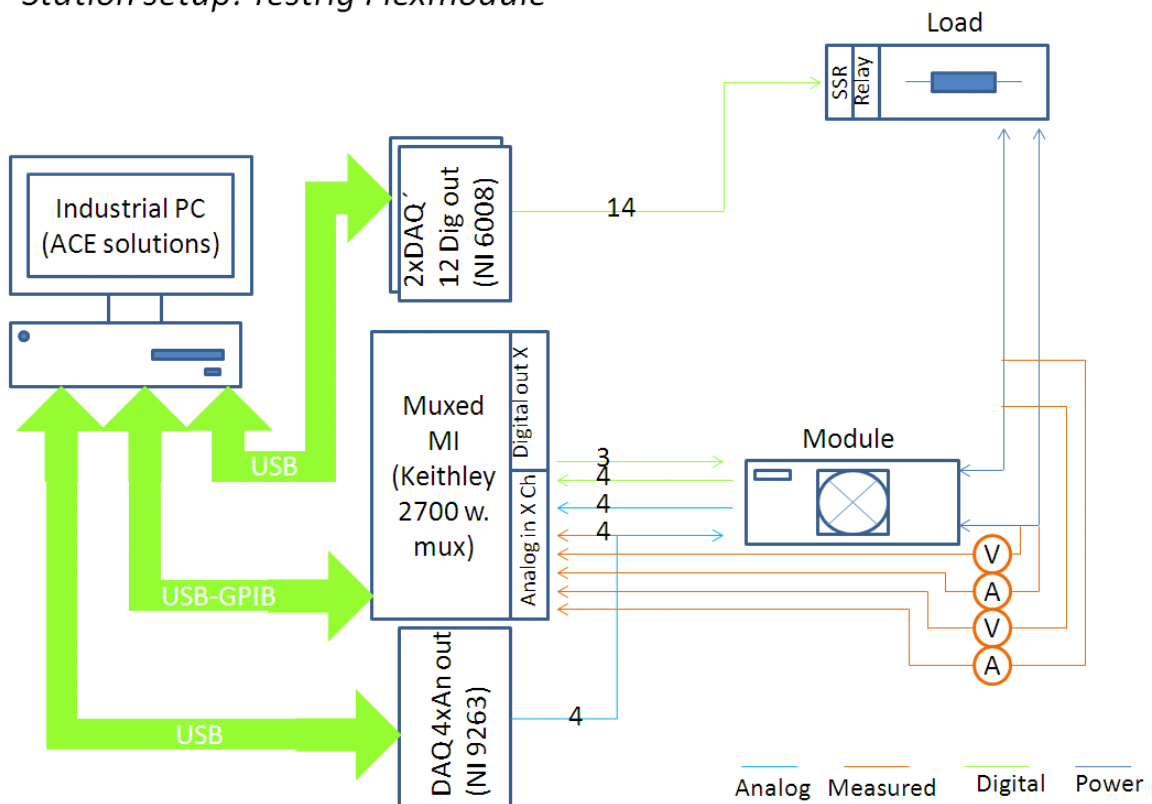
Denna utrustning går endast att köra på en modultyp. Modifieras stationen med en annan last kan en annan modul testas. Då tillkommer en ställtid på några minuter. Den tredje modulen testas helt manuellt, alla testpunkter testas manuellt och alla styrvärden ställs in manuellt. Detta test tar närmare 20 minuter per modul. Den fjärde modultypen testas inte alls.

## 6 SIGNALBUFFERTSTEG OCH STATIONSUTRUSTNING

Den utrustning som var tilldelad projektet var en mobil testdatainsamlingsstation. Denna datainsamlingsstation bestod av en rackmonterad dator med skärm, ett mätinstrument med MUX, Ett nätaggregat och ett oscilloskop. För att veta om denna utrustning var tillräcklig skapades en signalkarta där alla signaler som behövdes för att testa de krav som fanns på modulerna. Hela signalkartan finns att se i figur A-6 och A-7 i appendix. Denna undersökning resulterade i:

- 4 analoga styrsignaler
- 16 analoga mätpunkter
- 17 Digitala styrsignaler
- Ett CAN-buss interface

*Station setup: Testrig Flexmodule*



*Figur 6.1 Signalkarta*

De fyra analoga styrsignalerna är de fyra börvärden som används för att styra modulens utvärden. Dessa fyra styrsignaler mäts av mätinstrumentet för att minska antalet kalibreringsobjekt. De 16 analoga mätpunkterna är spänning- och strömmätningar för modulens båda kanaler, modulens egna analoga värde på levererad ström och spänning samt återkopplingen av styrsignaler. De digitala signalerna är startsignaler för modulens båda kanalerna och inbyggda fläkt samt 14 för laststyrning.

De mätinstrument som var tillgänglig var ett Keithley 2700 multimeter/data acquisition system. Detta instrument har 32 analoga kanaler, två analoga utsignalsportar och två 8-bitars digitala utsignalskanaler. Detta räckte för alla analoga mätpunkterna men inte för de digitala eller analoga styrsignalerna.

De analoga utsignalerna hanteras av en NI 9263 DAQ som har fyra analoga utsignaler med 16-bitars upplösning. Denna enhet ansluts via USB till datorn.

De digitala signalerna som styr lasten levereras av två NI 6008 DAQ:ar dessa styrs också via USB. Dessa enheter har möjlighet till 12 digitala utsignaler detta gör att om lasten i framtiden ska byggas ut finns det möjlighet till detta utan att utöka styrningskoncept eller att köpa en ny enhet. De digitala signalerna som hanterar styrningen av modulen levereras från mätinstrumentet.

Den ena modulen som skall testas behöver konstant anslutning till CAN för att starta. Så för att denna modul ska gå att testa behövs en CAN-buss anslutning. För detta användes en CAN till USB adapter.

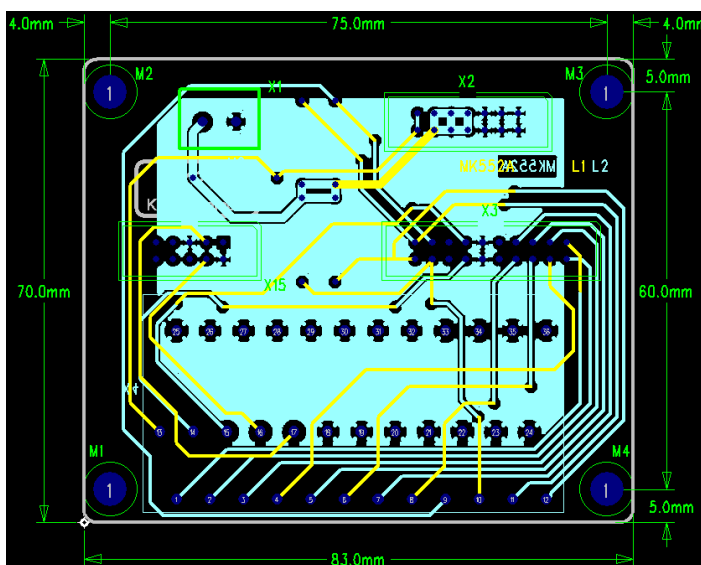
Idén var att datainsamlingsstationen skulle gå att flytta mellan teststationer. Detta betydde att inga signalkablar fick anslutas direkt till datainsamlingsstationen utan att det måste finnas ett kontaktsteg emellan dem. För att göra det så enkelt som möjligt bestämdes att alla stationsanslutningar skulle anslutas på samma ställe. Det lättaste sättet att realisera detta var genom ett signalbuffertsteg eller adapterlåda.

En lämplig adapterlåda beställdes utifrån vad som skulle få plats i den. Nämligen en NI 9263 DAQ:en samt CAN till USB-adaptern och rum för kablar och kontakter. Anslutningarna mellan adapterboxen och mätinstrumentet var en niopolig D-subkontakt för de digitala signalerna och en ICON ONE-kontakt från VPC. Detta är en hundrapolig kontakt som även har åtta koaxialkabelanslutningar. Anslutningarna mellan stationen och adapterlådan var en niopolig D-subkontakt med alla mätpunktsanslutningar. De två DAQ:arna ansluts direkt till datainsamlingsstation via USB.

Anslutningar mellan modul och adapterlådan är tre bandkabelskontakter; en 10, en 14 och en 20 polig kontakt. Dessa kontakter monterades på ett mönsterkort med skruvkontakter på baksidan av kortet. Detta kort skruvades sedan fast på lådans insida för bättre stabilitet och föra att man lätt ska kunna bytta dessa kablar om något går sönder. Bilder på mönsterkortet och den färdiga uppsättningen av kontakter kan ses nedan.



Figur 6.2 Signaladapterlåda



Figur 6.3 Kretskort konstruerat i PADS för modulanslutning. Kortet är en länk mellan matningsspänning, stiftkontakter till modulen och skruvanslutningar för mätning och styrsignaler.

## 7 LAST

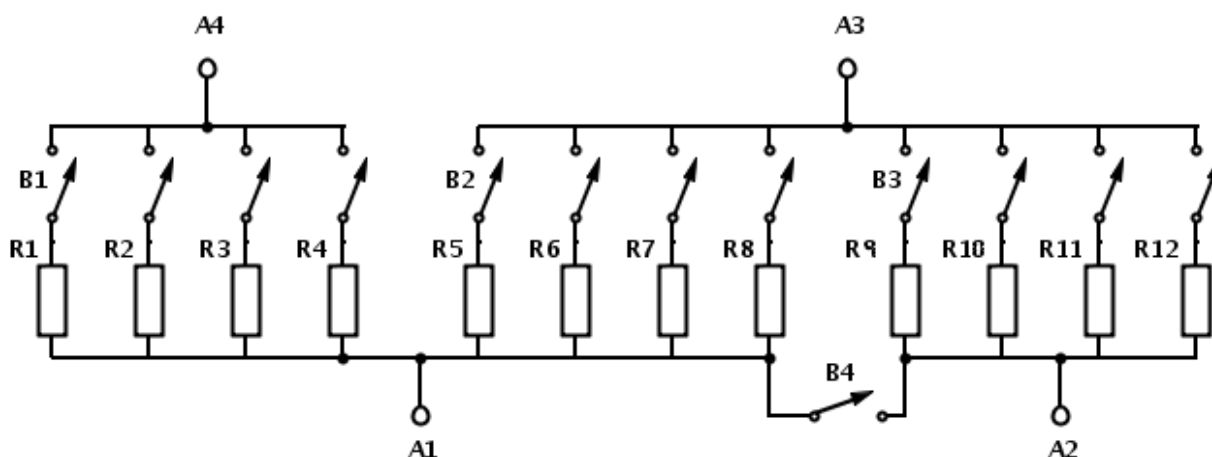
Vid modulprovning används en resistiv last bestående av kanthaltråd för att testa modulernas olika effektlägen. Varje modul kan köras i strömstyrning eller spänningsstyrning.

I strömstyrning ställs modulen in på maximal spänning och levererar önskad ström genom lasten.

I spänningsstyrning ställs modulen in på maximal ström och levererar önskad spänning över lasten. Testpunkterna vid provningen ligger vid 85-92% av maximal kapacitet, vilket gör att lasterna behöver vara av olika resistans vid de två typerna av test.

Det finns 4 typer av moduler vilket ger 8 olika laster. Två mätpunkter har dock samma resistans, vilket reducerar antalet lastpunkter till 7. Se tabell 1 i appendix för testpunkter.

För närvarande används en tunna med 12 kanthallindade rör på 0,55 ohm och 60 A vardera vilka är anslutna enligt följande schema:



Figur 7.1 Schema på Lastkoncept D (en kanal)

B1, B2 och B3 är mekaniska brytare, B4 ansluts med ett bleck. A1, A2, A3 och A4 används som anslutningar beroende på lastpunkt. Tunnan är avsedd för en typ av modul och klarar inte av alla testpunkter. Ett lastkoncept framtas som skall klara av alla testpunkter samt testa båda utgångarna samtidigt. Lasten skall även vara automatisk och styrs av testprogrammet. Alla lastkoncept har simulerats i LT SPICE.



## 7.1 Lastkoncept

Fyra lastkoncept har tagits fram där lastkoncept A-C använder kanthalband med tjockleken 1.5 mm. Tjockleken bestämdes av att endast kanthalband i en tjocklek fanns att tillgå. Bredd och längd på kanthalbanden beräknades med hjälp av resistansens samband med tvärsnittsarean och att temperaturen inte får överstiga 300 °C.

En fördel med kanthalband jämfört med kanthaltråd är att kanthalband har lättare anslutningsmöjligheter som skruvförband. Kanthaltråd måste däremot krympas eller hårdlödats för att få god kontaktförmåga. Temperaturgränsen på 300 °C är satt som ett riktmärke på hur mycket strålningsvärme som tillåts då personal arbetar nära lasten. Effektutvecklingen vid temperaturen 300 °C beräknades genom strålningsvärme och tvingad konvektion med samma metodik som med lastkoncept D.

Lastkoncept D är däremot byggt på 3 mm kanthaltråd lindad till en spole. Längd beräknades också med hjälp av resistansens samband med tvärsnittsarean och att temperaturen inte får överstiga 300 °C.

Den kanthaltråd som används är av typen A-1 vilket bestämdes då den har högst resistans per tvärsnittsarea än andra typer av kanthal. A-1 kan värmas upp till 1400 °C. Kanthaltråd av typen A-1 håller en relativt jämn resistans över det stora temperaturområde den kan arbeta i. Vid 1400 °C ökar resistansen med en faktor av 1,05 jämfört med rumstemperatur.

## 7.1.1 Lastkoncept A

Bredden på kanthalbandet beräknades till 21 mm vilket är gränsfallet då temperaturen på kanthalbandet R7 är 300°C, vilket resulterar i följande längder på slingorna R1-R7:

$$L_{R1} = 18,1 \text{ m}$$

$$L_{R2} = 43,4 \text{ m}$$

$$L_{R3} = 7,0 \text{ m}$$

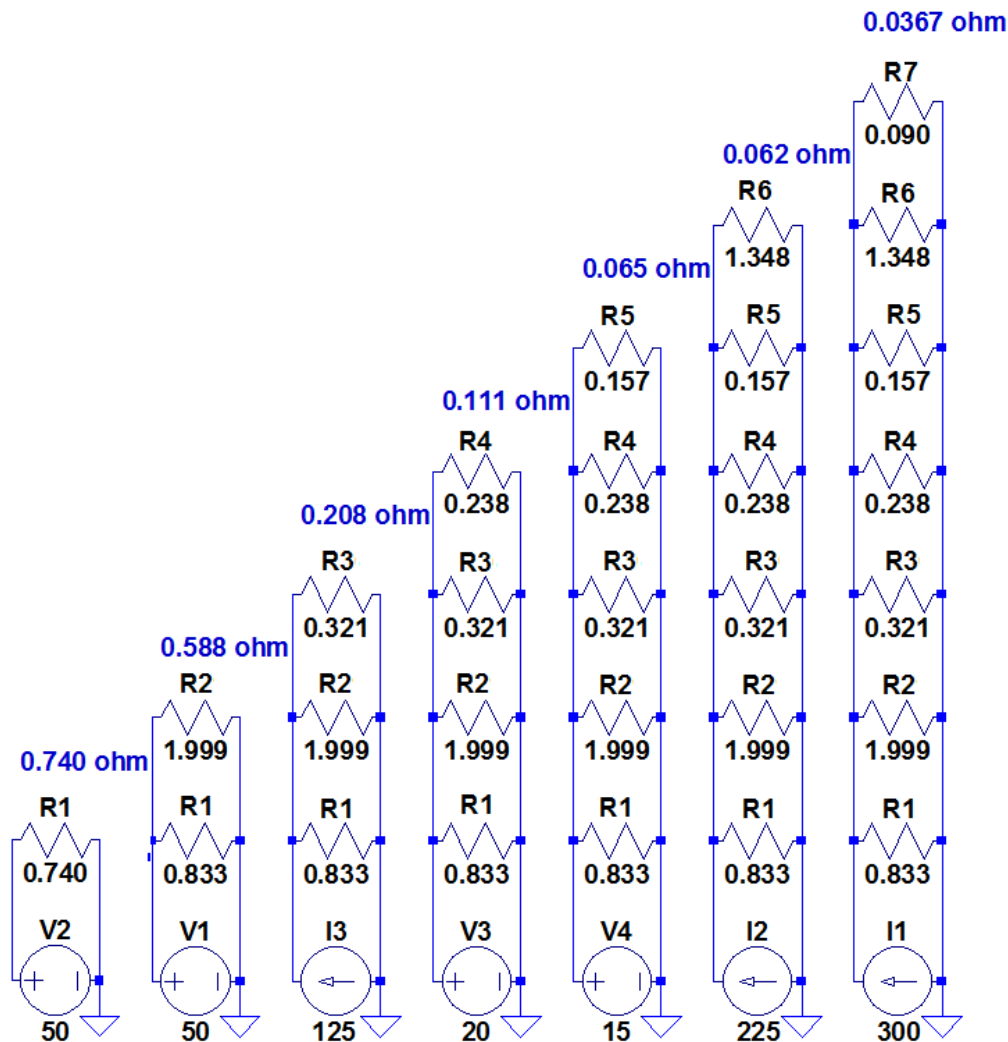
$$L_{R4} = 5,2 \text{ m}$$

$$L_{R5} = 3,4 \text{ m}$$

$$L_{R6} = 29,3 \text{ m}$$

$$L_{R7} = 2,0 \text{ m}$$

Den totala längden är 108,4 meter per kanal, total volym är 6829 cm<sup>3</sup>, total vikt är 48,5 kg och priset för kanthalbandet är cirka 39 000 kr.



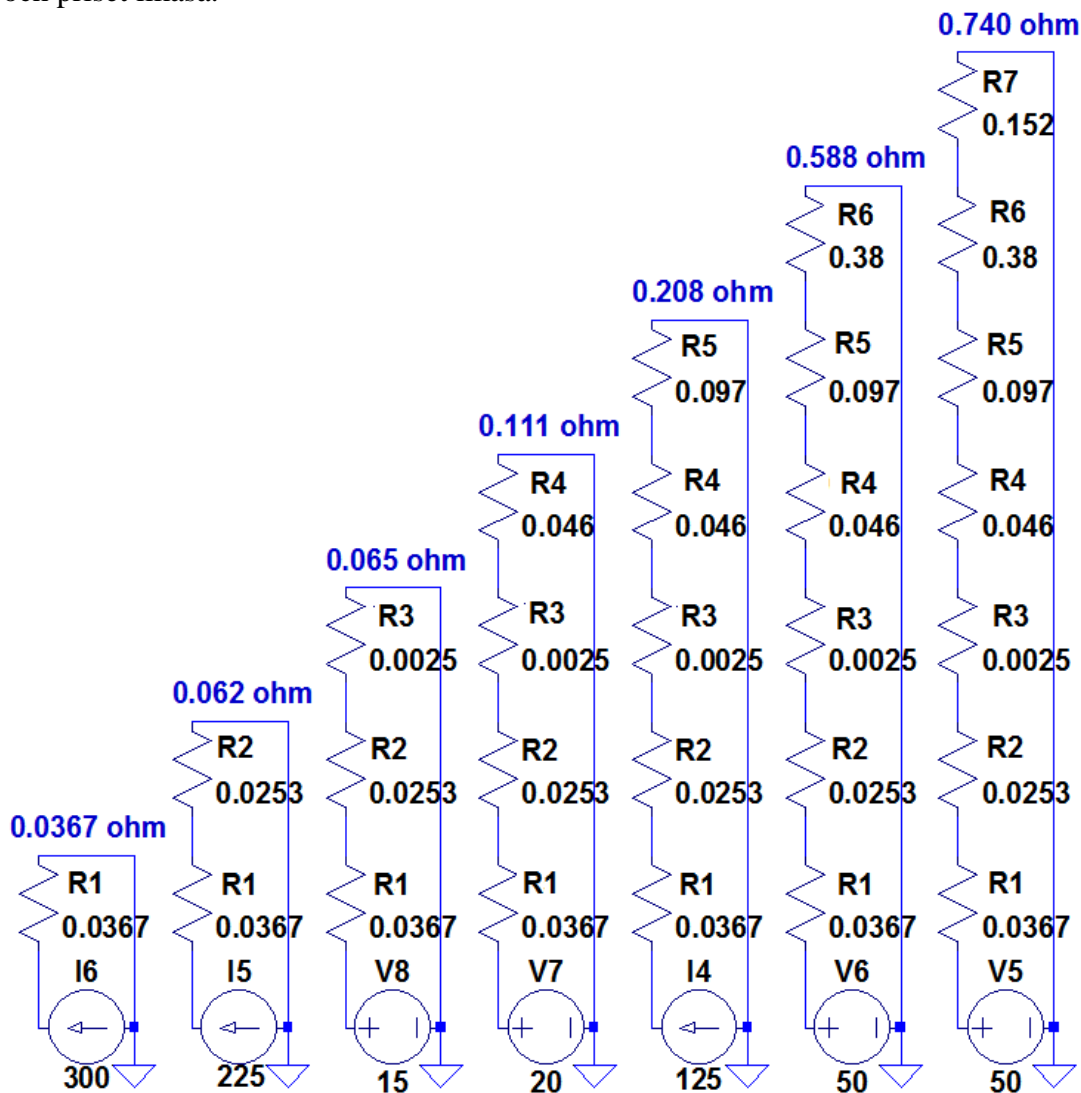
Figur 7.2 Alla testpunkter på Lastkoncept A

## 7.1.2 Lastkoncept B

Bredden på kanthalbandet beräknades till 51 mm vilket är gränsfallet då temperaturen på kanthalbandet R1 är 300°C, vilket resulterar i följande längder på slingorna R1-R7:

$L_{R1} = 2,1 \text{ m}$   
 $L_{R2} = 1,4 \text{ m}$   
 $L_{R3} = 0,2 \text{ m}$   
 $L_{R4} = 2,6 \text{ m}$   
 $L_{R5} = 5,5 \text{ m}$   
 $L_{R6} = 21,7 \text{ m}$   
 $L_{R7} = 13,9 \text{ m}$

Den totala längden är 47,4 meter per kanal, vilket också är orimligt mycket kanthalband, då bredden är mer än dubbelt så bred och längden hälften som i Lastkoncept A blir volymen något större och priset likaså.



Figur 7.3 Alla testpunkter på Lastkoncept B

### 7.1.3 Lastkoncept C

Vid tidigare lastkoncept beräknades den kritiska bredden för kanthalbandet vid den del av kanthalbandet som tar upp mest effekt per meter. Resten av lasten använder sedan samma bredd för alla lastpunkter. Detta innebär att vid de lastpunkter som det sker mindre effektutveckling från är kanthalbandet för brett och måste vara längre för att erhålla rätt resistans.

Lastkoncept C bygger på lastkoncept B men delar upp effektutvecklingen från kanthalbanden genom att parallellkoppla smalare kanthalband vid de utsatta lastpunkterna för att öka effektiviteten och därmed minska mängden kanthalband. Användandet av en bredd för hela lasten är enklare i monteringsyfte, reparation och inköp. Bredden på kanthalbandet valdes till 20 mm vilket är den bredd som minimerar antalet parallellkopplingar och därmed också längden kanthalband. Följande längder på kanthalband erhålls:

$$L_{R1} = 3 \times 2,3 \text{ m} = 6,9 \text{ m}$$

$$L_{R2} = 2 \times 1,1 \text{ m} = 2,2 \text{ m}$$

$$L_{R3} = 2 \times 0,1 \text{ m} = 0,2 \text{ m}$$

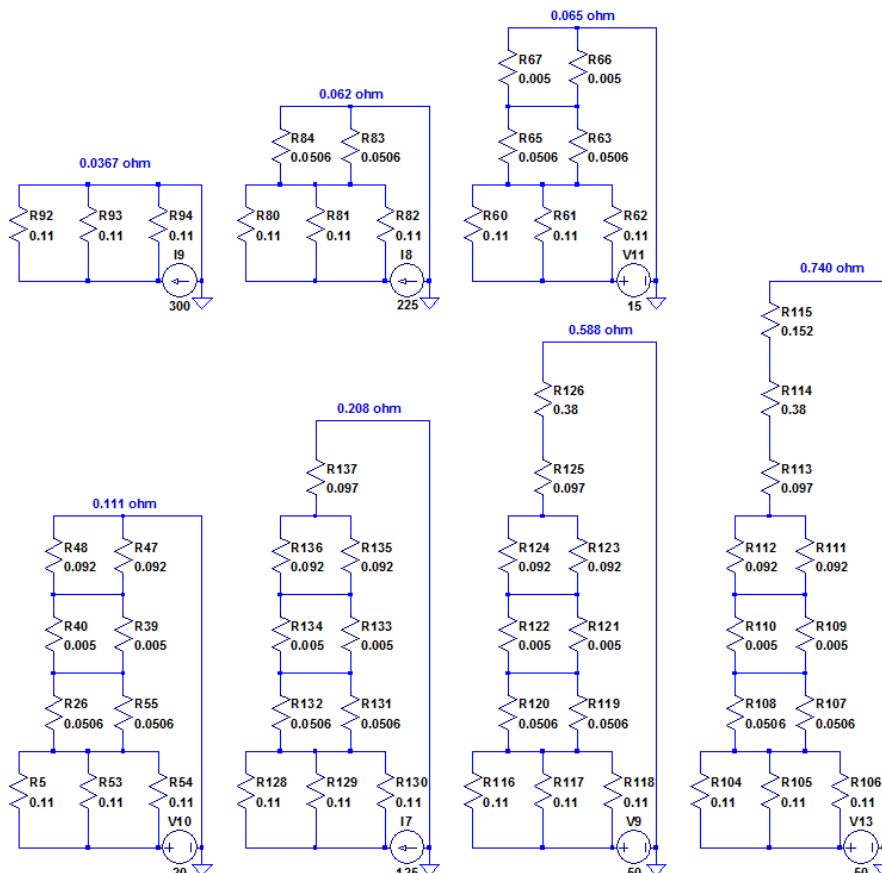
$$L_{R4} = 2 \times 1,9 \text{ m} = 3,8 \text{ m}$$

$$L_{R5} = 2 \text{ m}$$

$$L_{R6} = 7,9 \text{ m}$$

$$L_{R7} = 3,4 \text{ m}$$

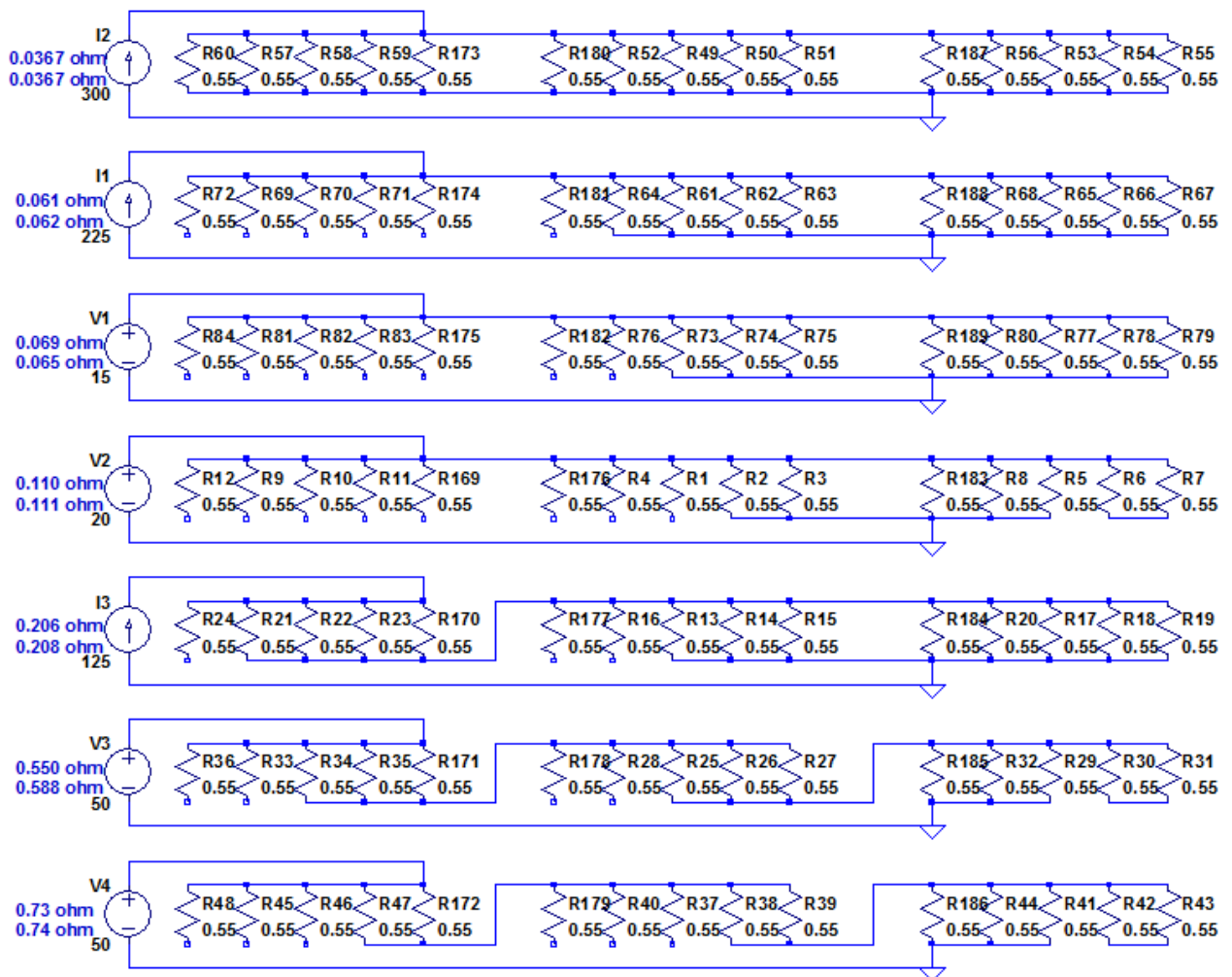
Den totala längden är 28,1 meter per kanal, total volym är  $1686 \text{ cm}^3$ , total vikt är 11,97 kg och priset för kanthalbandet är cirka 9 600 kr.



Figur 7.4 Alla testpunkter på Lastkoncept C

## 7.1.4 Lastkoncept D

Vid närmare undersökning av lasttunnan som för närvarande används vid manuella prov togs ett nytt lastkoncept fram. Konceptet tar tillvara på den generella idén med banker av kanthaltråd som kan anslutas parallellt för att få en liten resistans eller anslutas seriellt för att få en hög resistans. Kanthaltrådarna kan även anslutas i en kombination av båda typer för att matcha de resterande testpunkterna samt fördela effektutvecklingen på så mycket kanthaltråd som möjligt. För att nå den lägsta testpunkten krävs 15 st. 0,55 ohms kanthaltrådsslingor kopplade parallellt för varje kanal. De andra testpunkterna hittades genom att räkna igenom alla kombinationer av dessa 15 st. och matcha de närmaste resistansvärdena för alla testpunkter. Det räknades inte bara på 0,55 ohms kanthalsslingor utan även på närliggande resistansvärden, dock passade bara 0,55 ohm in på alla testpunkter. Lastkoncept D är det koncept som slutligen används.

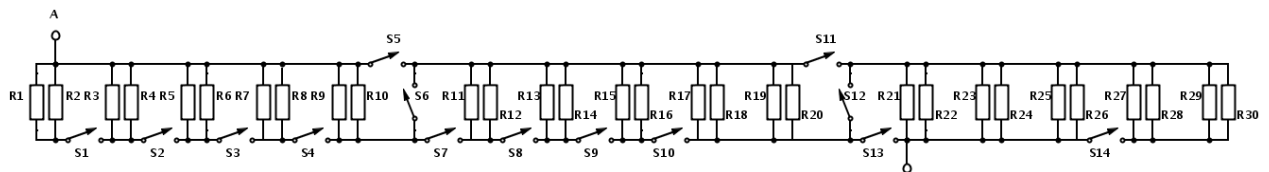


Figur 7.5 Alla testpunkter på Lastkoncept D

Testpunkterna ställs in genom att använda kontaktorer mellan de 15 kanthalsslingorna som styrs av testprogrammet. Ett arbete med att finna gemensamma nämnare vid alla testpunkter påbörjades och fyra kontaktorer på varje kanal eliminerades. Elimineringen av kontaktorer innebär ett mindre kontaktorskåp, mindre kablar och billigare inköp. Om fler testpunkter behövs i framtiden som inte kan åstadkommas genom nuvarande anslutningar kan fler kontaktorer kompletteras relativt enkelt.

Vid studerande av tunnans upptäcktes att kanthaltråd lindades med dubbla trådar för att öka ytarean med fyra gånger. Detta medför att kanthaltrådsslingan klarar av en högre effektutveckling. Nackdelen är att även fyra gånger längre tråd måste användas för att erhålla samma resistans.

Vid en simulering i LT Spice säkerhetsställdes beräkningarna och den största effektutvecklingen som uppstår är 730 watt per slinga som kan jämföras med tunnans som är märkt med två kilowatt per slinga. Belastningen beräknades för stor då det kräver mer koncentrerad kylning för en enskild slinga och därför används dubbla slingor även vid detta koncept.



Figur 7.6 Schema på Lastkoncept D (en kanal)

## 7.2 Realisering av lastkoncept

### 7.2.1 Resistanspaketslösning

Lasten skulle monteras i ett skåp, då tråden är strömförande och därmed också varm. Det skall inte vara möjligt att som operatör av misstag röra vid något som är strömförande. Det skåp som tilldelades projektet var ett skåp som används till en likriktarprodukt. Detta skåp har ytterdimensionerna 600x800x2000mm. När beslutet togs för hur de olika bankerna skulle se ut och monteras, användes de kriterier som följer; det skall vara lätt att montera. Det skall vara lätt att ansluta och det skall vara lätt att tillverka. Det koncept som tillslut togs fram var att göra banker om fem med dubbellindade kanthaltrådsspolar. Dessa spolar skulle ha en ytterdiameter på 210 mm och en höjd på 130 mm. Dessa banker skulle sedan monteras i skåpets vertikalriktning. För de båda kanalerna på modulen krävs totalt 30 dubbellindade kanthalspolar, detta betyder sex banker med fem spolar i varje. Med denna uppsättning gick allt in i skåpet med goda marginaler is sidled och i höjddled. I höjddled lämnades även plats för fläktpaketet då dessa inte ska sitta längst ner i skåpet för att inte blåsa in smuts.



*Figur 7.7 Kanthaltrådsspolar arrangerade som paket i skåpet.*

## 7.2.2 Kontaktor och laststyrningslösning

Lastens testpunkter ställs in med hjälp av kontaktorer. Efter att den maximala strömmen genom varje kontaktor beräknades kunde en lista upprättas.

Maximal ström genom kontaktorer på varje kanal:

Kontaktor 1 = 20 A

Kontaktor 2 = 40 A

Kontaktor 3 = 62 A

Kontaktor 4 = 93 A

Kontaktor 5 = 225 A

Kontaktor 6 = 125 A

Kontaktor 7 = 100 A

Kontaktor 8 = 120 A

Kontaktor 9 = 140 A

Kontaktor 10 = 160 A

Kontaktor 11 = 136 A

Kontaktor 12 = 90 A

Kontaktor 13 = 200 A

Kontaktor 14 = 55 A

De rimligaste kontaktorer som lagerhålls på företaget är följande:

MC-32 vilket klarar att bryta 3 x 30 A DC, drivs med 24 V spole och kostar 250 kr/st

MC-65 vilket klarar att bryta 3 x 100 A DC, drivs med 24 V spole och kostar 350 kr/st

AE-30-00 vilket klarar att bryta 3 x 100 A DC, drivs med 24 V spole och kostar 550 kr/st



*Figur 7.8 De tre kontaktorer i jämförelse med en kaffemugg.*

*Från vänster: Kaffemugg, MC-32, AE-30-00, MC-65*



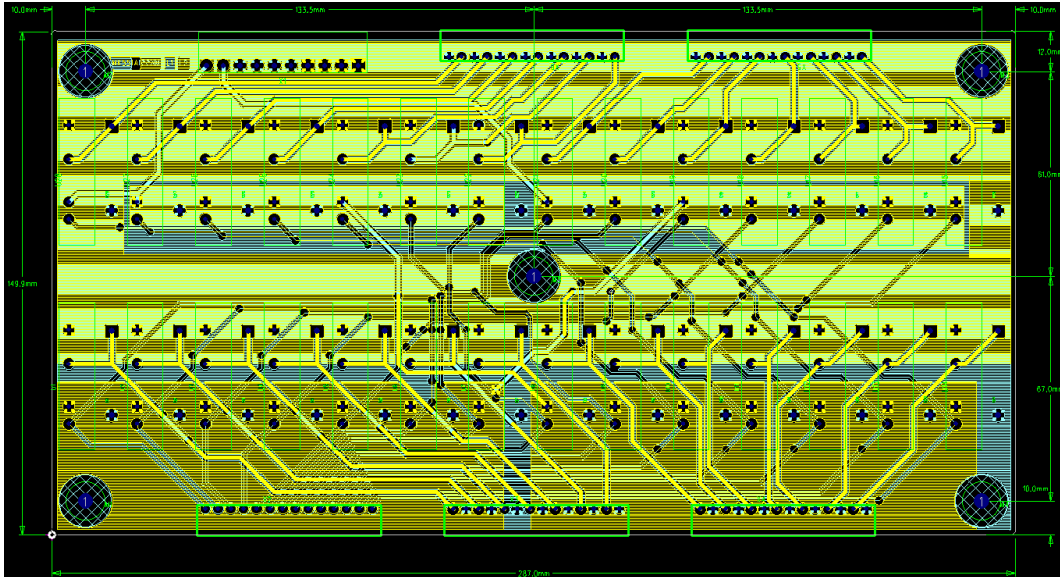
MC-32 hade varit det bästa valet om ingen av strömmarna låg över 90A, så var dock ej fallet, då den högsta strömmen är på 225 A. Alternativet med att använda olika kontaktorer för olika punkter behandlades också. Detta hade dock lett till en mindre flexibel last och felkopplingsrisker hade tillkommit. Detta ledde ett val mellan AE-30-00 och MC-65.

AE-30-00 är en mindre kontaktor vilket leder till att mindre plats i skåpet måste reserveras för kontaktorer. MC-65 är det billigare alternativet, dock är de ungefär 50 % större. MC-65 är den kontaktor som beslutades att använda. Anledningarna för detta var inte bara för att den var billigare, utan även för att den för tillfället inte används i produktion vilket betydde att företaget hade ett överskott i lager. Dessutom drog den mindre ström under drift och strömspiken vid omslag var mycket lägre. Detta betyder att kontaktorstyrningen kan dimensioneras ned något.

Kontaktorer ansluts till spolarna via tre separata ledare. De tre ledarna går parallellt från kontaktpunkt till kontaktpunkt genom kontaktorn. Detta gör att kabeltjockleken kan hållas ner, då det går maximalt 75 A genom en kabel istället för 225 A. Anledningen till att tunnare kabel är bra, är för att den inte är lika styv som en tjockare kabel och därför är lättare att montera i skåpet.

Kontaktorer drivs på 24 V och 0,8 A konstant ström. De utgångar som fanns tillgängliga från datorn kunde bara leverera en spänningssignal på 5 V. Detta betydde att det måste finnas ett mellansteg som förstärker 5 V signalen till en kraftfullare 24V signal som klarar att driva spolen med marginal. Detta löstes med hjälp av halvlederreläer som monteras på ett experimentkretskort som sedan monteras i skåpet. Detta för att lätt kunna byta ut trasiga reläer och andra komponenter. Med närmare eftertanke konstaterades att ett experimentkretskort hade varit en dålig idé, då banorna på detta kort inte klarar strömmar på 22A som är det värsta fallet som maximalt antal kontaktorer drar. De skulle inte klara den höga strömmen även om banorna förstärktes med lödtenn eller liknande lösning. Därför beslutades att montera allt på ett fabrikstillverkat mönsterkort och användande av kontakter med skruvanslutning på kortet för att lätt kunna ta ner kortet och utföra reparationer om något skulle gå sönder.

Detta kort ritas upp i EICAD-programmet Pads och ritningarna för mönsterkortet skickas till Cogra PRO AB. Komponenterna monteras sedan på kortet. Detta kort består av 28 halvledarreläer, 28 dioder och 5 stycken 14-poliga kontakter för alla utgångar och ingångar, och en 10-polig kontakt för 24 V matningsspänning.



Figur 7.9 Halvledarreläkort konstruerat i programmet PADS

Den 24V matningsspänning som kontaktörerna kräver kommer från ett nätaggregat, detta nätaggregat måste kunna leverera 24 V och minst 22 A. Företaget använder nätaggregat i sina apparater och ett av dessa passade specifikationerna för denna installation. Nätaggregatet har produktnamnet "Mean Well DRT-960P-24". Detta är ett switchat nätaggregat som levererar ström upp till 40 A.

Den enhet som används för att producera 5 V signalerna som styr halvledarreläerna är en "ni-6008" som är en DAQ-enhet från National Instrument. Denna enhet har 12 digitala utgångar och i denna installation används två stycken, vilket leder till 24 utgångar. Detta räcker dock inte för att styra alla reläer om ett relä skulle ha en individuell signal. För att lösa detta styr varje utsignal från DAQ:en två reläer. Detta för att modulens båda kanaler alltid körs med samma effekt under testet och därför behöver samma motstånd. På så sätt minskas antalet utgångar utan att förlora någon funktion.

### 7.2.3 Anslutning och Layoutlösning

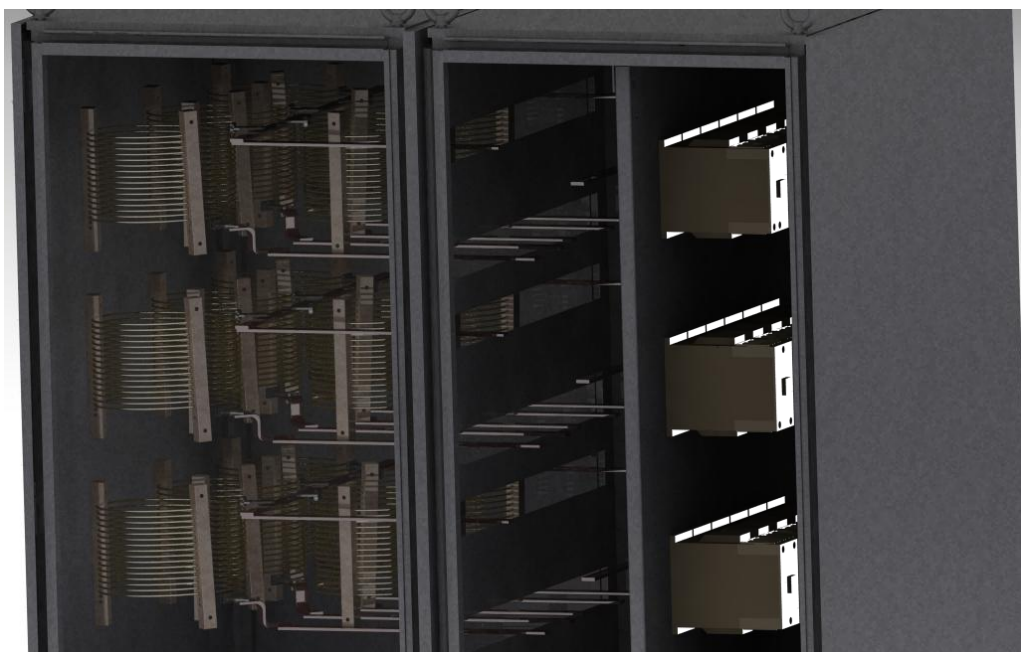
När alla dellösningar var fastställda var det dags att fundera på inkapslingen, var alla komponenter ska sitta och hur det ska vara anslutna. För att det ska vara säkert skall inget kontaktbleck eller andra strömledande delar gå att nå utifrån. Kontaktorerna är anslutna enligt bilden nedan;



*Figur 7.10 Kontakter monterade i skåpet*

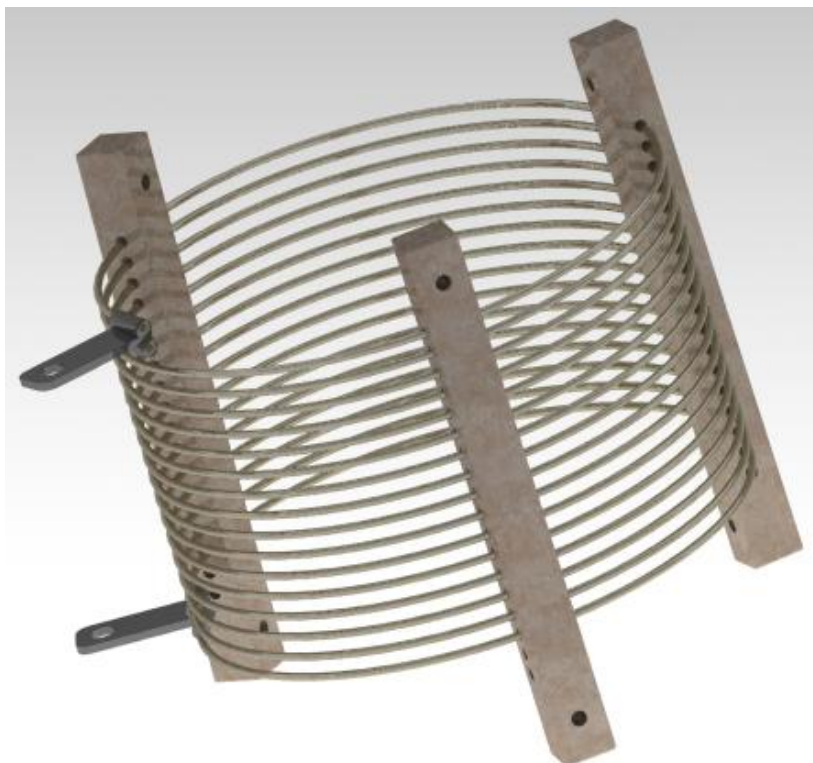
Denna layout leder till att spolbankerna är anslutna till ett gemensamt bleck på ovansidan och individuella bleck på undersidan. Dessa bleck leds sedan ut på baksidan av monterings-skåpet. Om denna layout följs leder det till att ett bleck maximalt ansluts till två kontaktorer, vilket betyder sex kablar. Då kabelskon i kabelns ända kan anslutas till båda sidor om blecket krävs maximalt tre anslutningshål i blecket, vilket kan ses i bilden. I bilden syns även gemensamma anslutningsbussar för de kontaktorer som är kopplade till spolarna. Dessa existerar för att göra det lättare för montören och för att det ska vara lättare att byta ut trasiga komponenter. Detta gör även att det är lättare att följa och man slipper kabeltrassel i skåpet.

För att dessa bleck ska vara beröringsskyddade och för att få konstruktionen så kompakt som möjligt, monteras all utrustning i två skåp av samma storlek som nämndes tidigare. De har måtten 600 x 800 x 2000 mm och står med ryggarna mot varandra. För att göra det lättare att montera är bakstycket till det ena skåpet borttaget och en monteringsplatta installeras i mitten av skåpet. Denna platta skapar en avskiljande vägg som kontaktorer kan monteras på. Reläkortet monteras i dörren av kontaktors-skåpet och spänningsaggregatet till reläkortet monteras i botten på detta skåp. Signalkablarna från reläkortet följer väggen på skåpet i en kabelkanal för att sedan anslutas till respektive kontaktor.



*Figur 7.11 Last och kontaktorer monterade i skåp.*

Kablarna mellan bleck och kontakter ligger bakom monteringsplattan om skåpet öppnas från kontaktorsidan. På kortsidan av skåpet sitter bleckanslutningarna till modulens båda kanaler. Då dessa bleck måste gå att komma åt utifrån sticker dessa ut ur skåpet. Dessa har dock en skyddande kåpa som beröringsskydd. De enda kablar som går in i skåpet är två USB-kablar som ansluter DAQ:arna med datorn.



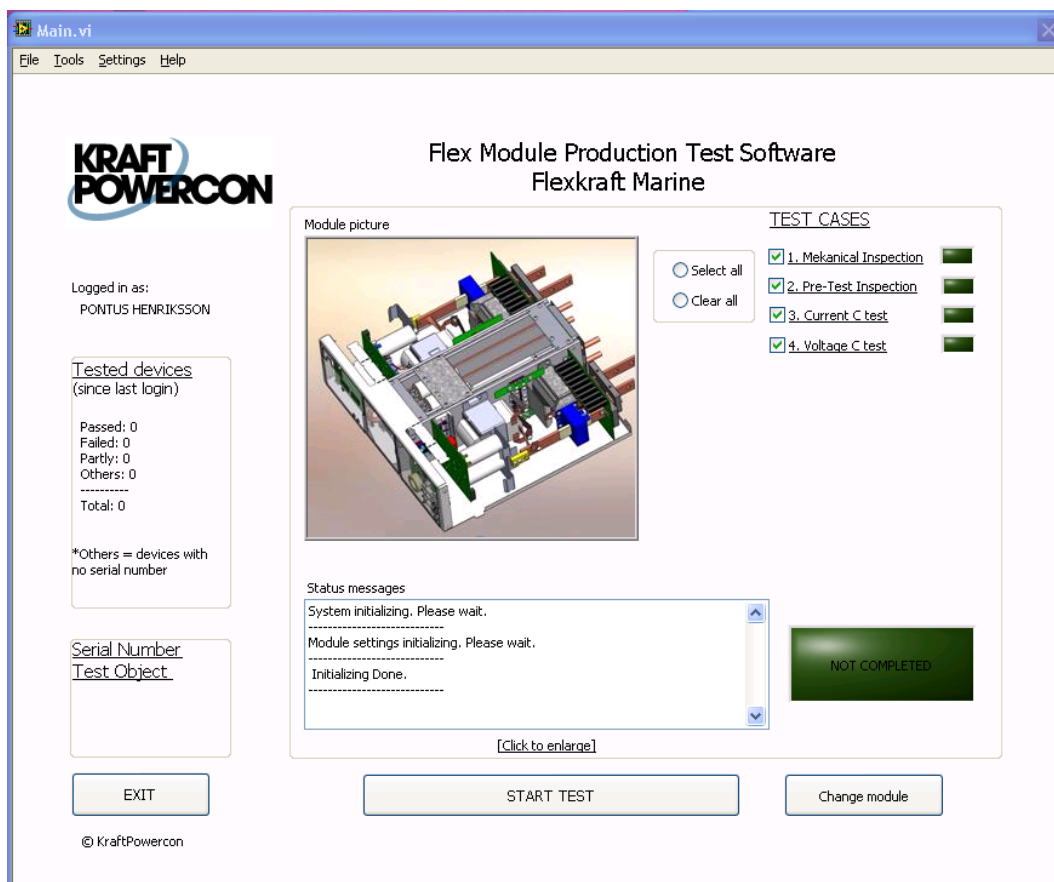
*Figur 7.12 Den dubbla kanthaltrådsspolen med keramiska distanser*

## 8 PROGRAMBESKRIVNING

Programmet som styr testförloppet är skrivet i LabVIEW. LabVIEW lämpas bra för denna typ av program som innehåller mycket menyer och popup-fönster, tillsammans med både mottagning och sändning av både digitala och analoga signaler.

När programmet startar blir operatören tillfrågad att logga in med ett användarnamn. Detta användarnamn används sedan som underskrift efter utfört test. Användarnamn måste skrivas in för att programmet ska fortsätta.

När operatören har loggat in kommer han eller hon att bli tillfrågad att välja den modultyp som ska testas, beroende på vilken modultyp som väljs kommer olika konfigurationsfiler att laddas. Dessa filer innehåller: styrsignalsskalningen (de värden som behövs för att tolka en insignal på 0-10V som ett värde på ström eller spänning), Reläkonfiguration för inställning av lasten samt alla mätpunkter och tillåtna värden. När operatören valt en modul kommer han eller hon till huvudmenyn.



Figur 8.1 Manöverpanel för teststationen

På startsidan visas vem som är inloggad och vilken modul som är vald. Operatören ser även en tabell på de moduler som testats sedan senaste inloggningen. Operatören kan även välja att byta till en annan modultyp genom att trycka på "Change module". I mitten visas en bild på den modultyp som är vald. Under denna bild finns en statusruta där operatören ständigt får uppdateringar på hur testet går. Exit-knappen till vänster avslutar programmet.

Det finns möjlighet att ändra hur instrumenten är anslutna och redigera de olika konfigurationsfilerna i flikar i den övre menyn. Dessa flikar går bara att nå om "Advanced mode" är aktiverat, detta läge går att nå under en annan flik i menyn. Anledningen till att denna funktion är implementerad är för att konfigurationsfilerna inte ska förstöras av misstag.

Programmets huvudfunktion är ett automatiserat test som utförs då man trycker på "Start test". Beroende på vilken modul som är vald kommer olika testprogram utföras. Alla testprogram är definierade så att de har;

**En mekanisk inspektion** där operatörer ombeds kontrollerar produkten invändigt. När detta görs är modulen inte ansluten. Operatören kollar så att allting sitter som det ska och att det sitter rätt komponenter i modulen. Detta görs i form av en checklista, operatören bockar av de punkter han eller hon har inspekterat och när alla punkter i listan är inspekterade fortsätter programmet. I detta steg fyller även operatören i artnummer, ordernummer och TO-nummer.

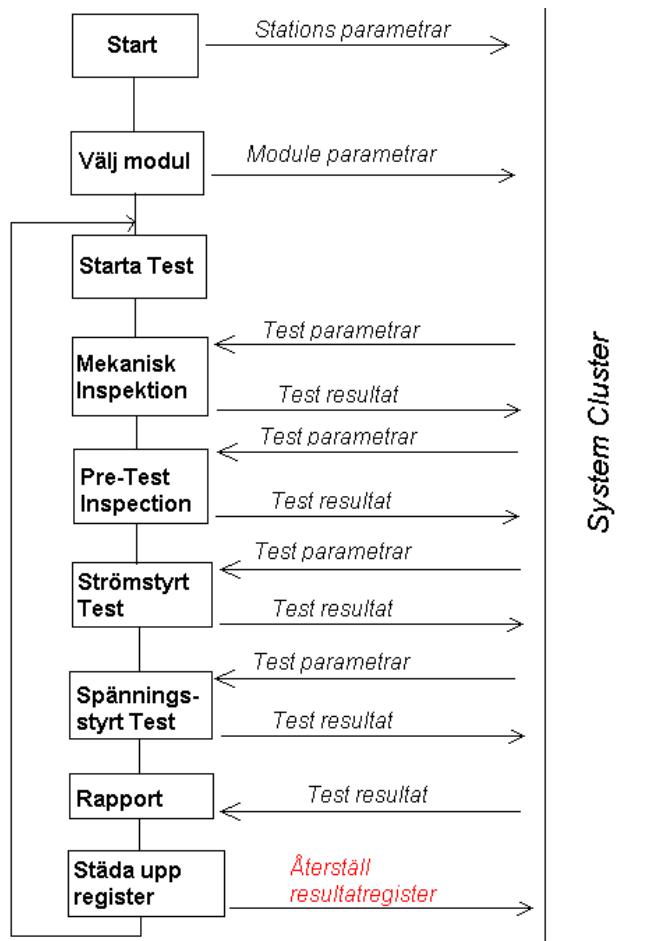
**En Förtestinspektion** där operatören svarar på frågor i form av popup-fönster. Under detta test körs likriktarmodulen på minimal kapacitet. Syftet med denna del av programmet är att operatören ska upptäcka de allvarligaste felen som hade gett allvarliga konsekvenser vid körning på högre kapacitet.

**Ett strömstyrt test** där Likriktarmodulen ställs in till sin maximala spänningsstyrka och regleras med hjälp av värdet på strömmen som levereras. Varje modul har ett antal testpunkter som ska testas och ett antal tillåtna nivåer på de olika mätpunkterna. De mätningar som utförs görs över de två shuntresistorerna, dessa används för att beräkna den ström som levereras på de båda kanalerna, sen mäts spänningen som levereras ut på de båda kanalerna och även ripplet på dessa utgångar. Varje modul kan ha testpunkter på olika strömnivåer och ha olika accepterade värden på mätpunkterna. Alla dessa mätpunkter är fördefinierade in en konfigurationsfil tillhörande just den modulen.

**Ett spänningsstyrt test** där modulen istället styrs med värdet på den spänning som den levererar istället för strömmen, här sätts strömmen till sitt maximala tillåtna värde. Annars fungerar det på samma sätt som det strömstyrda testet.

Operatörer kan välja att utesluta ett eller flera test. Men om detta görs kan modulen inte bli fullständigt godkänd då inte alla krav har testats.

När testet startas får operatören frågan om att skriva in produktens serienummer. Testet går även att köra utan serienummer men då loggas inte resultatet. Efter operatören har skrivit in serienummer startar den mekaniska inspektionen. När alla punkter är avklarade går programmet vidare till en Förtestinspektion. Om modulen inte är felaktig kommer programmet att gå vidare till det strömstyrda testet. Om modulen även klarar detta testet rapporteras det till operatören att modulen klarat testet och alla uppmätta värden loggas i en loggfil. När programmet stöter på ett krav som inte uppfylls, stoppas testet och modulen rapporteras som defekt och operatören för åtgärda felet.



Figur 8.2 Förenklat flödesschema av huvudprogram



Programmet är uppbyggt enligt principen att så få parametrar ska vara hårdkodade i programmet som möjligt. Detta för att om en testpunkt skall ändras skall det var möjligt att göra det utan att behöva sätta sig in i koden, hitta den aktiva punkten och sedan ändra den på korrekt sätt. Ett annat troligt scenario är att nya hårdare krav ska ställas på en modul eller om i framtiden en ny modultyp införs ska man inte behöva öppna och bygga en helt ny programsektion i utvecklingsmiljön, utan bara redigera en textfil. LabVIEW har den fördelen att när ett program är färdigt kan en applikation skapas av programmet, alltså en självstående exekverbar fil. Efter denna applikation är skapad går den dock inte längre att redigera. Detta är också en av anledningarna till att det mesta av informationen ligger i separata filer.

Alla funktionen är uppbyggda på samma sätt. Programflödet styrs av en felslinga, detta är ett felkluser som går genom hela programmet. Detta är ett sätt att få saker och ting att utföras i sekvens i LabVIEW. LabVIEW är nämligen uppbyggt på så sätt att allt som kan utföras parallellt kommer utföras parallell. Utöver detta så består huvudprogrammet huvudsakligen av en så kallad tillståndsmaskin. Detta är en styrprincip som består av två delar, en kö del och en exekverings del. Alla knappar har ett motsvarande tillstånd eller huvudfunktion, vissa knappar består bara av en huvudfunktion, andra består av flera i följd. Kö delen av programmet ser till att när en knapp blir tryckt läggs motsvarade tillstånd i kön. Alla olika tillstånd eller huvudfunktioner köas i denna globala kö. Denna kö går att skriva till överallt i programmet för att köa huvudfunktioner i en förbestämd ordning. Som tillexempel när testsekvensen startar så ska först alla buffertregister tömmas och alla indikatorer återställas. Efter det skall testen utföras i ordning var efter resultaten skall rapporteras och loggas. På så sätt blir flödet alltid lätt att följa.

Programmets utseende följer en standard för hur testprogram skall se ut på KraftPowercon. I denna standard står det att alla funktioner skall märkas med namn som beskriver deras funktion och headern på varje funktion beskriver till vilken grupp funktionen tillhör. Denna headertext har även olika bakgrundsfärg för att ytterligare förtydliga vad det är för typ av funktion. Dessa funktionsgrupper är tillexempel: File, vilket är filhantering, Config, vilket är konfigurationsfiler och Com, vilket är kommunikationsfiler.

Utöver felklustret löper även ett annat kluster genom programmet. Detta kluster kallas för systemklustret och innehåller till exempel alla sökvägar, lästa konfigurationsvärden, uppmätta mätpunkter och teststatus. Användningen av detta kluster ersätter användningen av globala och lokala variabler. Detta gör programmet lättare att följa och eliminerar risken för skrivkrockar till lokala och globala variabler. Detta gör också att alla information alltid är tillgänglig i alla funktioner.

Alla konfigurationsfiler följer också en standard för hur de ska se ut. Denna standard består av avsnitt som betecknas med hakparenteser och specifika nyckel ord. Det finns två typer av konfigurationsfiler, en typ är systemkonfigurationsfilen. I denna fil finns alla systemrelaterade parametrar, så som var all utrustning är ansluten till och vilka taskar som tillhör vilket instrument. Den andra typen av konfigurationsfil är modulkonfigurationsfiler. Dessa filer innehåller alla inställningar som är specifika för modultypen. Så som reläkonfiguration för lasten, testpunkter och de accepterade mätresultaten. Denna fil innehåller konverteringsvärden för att omvandla ett tal på spänning eller ström till en styrsignal på 10V.

Dessa modulkonfigurationsfiler ligger i en egen mapp och alla ini filer i den mappen registreras som en egen modul. Detta leder till att i framtiden behövs endast en ny fil skapas som innehåller de värden som gäller för den nya modulen. Sedan döps filen till ett lämpligt namn.

Programvaran testades kontinuerligt, varje subprogram för sig och programmet som helhet. Då systemkluster används är det ibland nödvändigt att testa programmet fullt ut för att få godkänt resultat. Programvaran är också testad mot avbrott i kablar och kontakter. Då avbrott sker kan inte styrsignaler och kontakter hamna i ett läge vilket äventyrar säkerheten, utan det som händer är att programmet får mätvärden som inte överensstämmer med specifikationen och i värsta fall underkänns modulen. I bästa fall upptäcks felet direkt då styrsignaler saknas eller liknande. Underkänns flera moduler kan även fel konstateras.

Programmet testas på hårdvaran individuellt och gemensamt. Det vill säga alla DAQ:ar, MUX:en och CAN-bussen. Mät signaler testas parallellt med ett oscilloskop för att säkerhetsställa att spänningsnivåer och rippel är korrekta.

Anledningen till att programmet inte presenteras i kodform i detta kapitel eller bilaga är för att det består av cirka 70 subfunktioner, många av dessa innehåller flera nivåer. Hur dessa funktioner används kan ses i ett funktionsträd i figur A-9.

## SLUTSATS OCH DISKUSSION

Om resultatet ska beskrivas med ett ord skulle det vara dynamiskt. Då den tidigare lösningen var mycket statisk med många fasta värden och låsta parametrar. Den nya lasten fungerar inte bara för de moduler som testas idag utan går att ställas in inom ett intervall mellan 37 mΩ och 1000 mΩ. Lasten är inhängd vilket gör att den är säker att hantera. Programmet är modulärt på så sätt att större delen av parametrarna finns i textfiler, som går att modifiera. Det går även att skapa nya textfiler för att skapa nya modulprofiler.

Programmeringen i LabVIEW fortgick utan större hinder, vilket var imponerande då vi aldrig använt LabVIEW tidigare, gränssnittet är enkelt och vi tycker LabVIEW är mycket kraftfullt. Vi har inte stött på problem med funktionsutbudet vilket är lätt att göra med andra program. Vid frågor hjälpte handledaren Anders oss med nöje, vilket var tacksamt.

Arbetets resultat stämmer överens med de mål vi satt upp innan arbetets början mycket bra, dock är stationen inte helt testad då lasten inte är monterad. Arbetet med lasten, montering samt test av stationen skapt i produktion får fortsätta på KraftPowercon efter examensarbetets slut.

Stationen är dock inte perfekt då vissa kompromisser har gjorts, antingen i mån om tid eller i mån om pengar. Till exempel är inte lasten ställbar på alla punkter mellan 37 mΩ och 1000 mΩ då några kontaktorer togs bort för att spara pengar. Vad det gäller programmet finns det inget användarvänligt sätt att redigera en testpunkt eller skapa en ny modulfil. Även om upplägget i textfilerna är logiskt och kommenterat så måste personen som redigerar ha bra koll på hur stationen fungerar.

Förslag på förbättringar är att lasten kan återkopplas genom att mäta resistansen innan körning av test. Resistansmätning har fördelar som att säkerhetskälla lastens hälsa vid åldrande, eller bara se till att alla kontaktorer och styrning fungerar som det ska. MUX:en har resistansmättningsfunktion i olika varianter men en utredning krävs om hur detta ska implementeras på ett säkert sätt.

Lasten kan uppgraderas med fler mätpunkter om fler kontaktorer och styrning till dem monteras. Ett styrkort med 8 halvledarreläer krävs men styrsignaler från DAQ:arna finns. De extra kontaktorererna får plats i magnumskåpet om de sätts på skena tätt intill varandra.

Konfigurationsfilerna kan hanteras helt av programmet vilket i stort sätt eliminerar riken för felhantering av filerna. Alla värden kan läsas in som ett kalkylblad med bestämda intervall för tillåtna värden, Även felhantering av tabbseparering eller otillåtna mellanslag elimineras.

## REFERENSER

1. Carlsson, F. och Matsum, H. (2005) Automated production test of FLEX KRAFT.  
Göteborg: Chalmers University of Technology
2. LabVIEW 2011, programvara från National Instruments, <http://sweden.ni.com/labview>
3. PADS 9.4, programvara från Mentor Graphics, <http://www.mentor.com/>
4. LTspice IV, programvara från Linear Technology,  
<http://www.linear.com/designtools/software/>
5. Cengel, Yunus A., Turner, Robert H. & Cimbala, John M.: Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences, Third Edition, McGraw-Hill, New York 2008.

# APPENDIX

## Beräkning av värmeutveckling från last

### Givet:

Värmetråd: Kanthal typ A-1

Diameter:  $D = 3 \text{ mm}$

Elektrisk resistans vid  $20\text{-}500^\circ\text{C} = 1,45 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Svartkropps faktor:  $\varepsilon = 0,7$

Den kritiska effektutvecklingen per tråd =  $730 \text{ W}$

Trådlängd:  $L = 5,36 \text{ m}$

Ytarea:  $A_s = \pi DL = 0,0505 \text{ m}^2$

### Sökt:

Lufthastigheten  $v$ .

### Antag temperaturer:

$$T_\infty = 303 \text{ }^\circ\text{K} (30 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$T_s = 573 \text{ }^\circ\text{K} (300 \text{ }^\circ\text{C})$$

*Omgivningstemperatur runt lasten.*

*Yt-temperatur på kanthaltråden.*

### Medeltemperaturen för omgivande luft:

$$T_m = \frac{(T_\infty + T_s)}{2} = 438 \text{ }^\circ\text{K} (165 \text{ }^\circ\text{C})$$

*Ekvation 1*

### Egenskaper vid medeltemperatur $T_m$ :

Antag: Luft är en ideell gas vid lufttrycket  $1 \text{ atm}$ .

$$\nu = 2,975 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 0,03511 \text{ W/m}^\circ\text{K}$$

$$Pr = 0,7014$$

*Kinematiska viskositeten*

*Termiska konduktiviteten*

*Prandtls nummer*

*Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences, tabell A-22 (5)*

### Reynolds tal:

$$Re = \frac{vD}{\nu} = 100,84v$$

*Ekvation 2*

### Nusselt tal:

$$Nu_{cyl} = \frac{hD}{k} = C Re^m Pr^{\frac{1}{3}}$$

*Ekvation 3*

*Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences, ekv.19-31 (5)*

**Antag  $0,4 \leq v \leq 10 \text{ m/s}$  :**

$$\rightarrow 40 \leq Re \leq 1000 \rightarrow C = 0,683, m = 0,466 \quad \text{Ekvation 4}$$

*Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences, tabell 19-2 (5)*

$$\rightarrow h = \frac{kCRe^mPr^{\frac{1}{3}}}{D} = 7,10(100,84v)^{0,466} \quad \text{Ekvation 5}$$

$$\rightarrow h = 60,95v^{0,466} \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Ekvation 6}$$

**Konvektion:**

$$\dot{Q}_k = hA_s(T_s - T_\infty) = 831,33v^{0,466} \text{ W} \quad \text{Ekvation 7}$$

**Strålningsvärme:**

Boltzmann's constant:  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

$$\dot{Q}_r = \varepsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_\infty^4) = 199,17 \text{ W} \quad \text{Ekvation 8}$$

**Totala värmeutvecklingen:**

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_r + \dot{Q}_k = 730 \text{ W} = 199,17 + 831,33v^{0,466} \quad \text{Ekvation 9}$$

**Kritiska luftflöde hastigheten  $v_{min}$   
för att överföra den kritiska värmeutvecklingen 730 W:**

$$v_{min} = \sqrt[0,466]{\frac{730 - 199,17}{831,33}} = 0,38 \text{ m/s} \quad \text{Ekvation 10}$$

**Summering:**

Värmeutvecklingen från lasten delas upp i värmeöverföring genom tvingad konvektion med luft och värmeöverföring genom strålning.

Den maximala värmeutvecklingen vid ett test belastar kanthaltråden med 730 W.

Ett antagande om yt-temperaturen på kanthaltråden till  $300^\circ\text{C}$  har gjorts för att minska den delen av värmeutvecklingen som sker via strålning samt minska slitaget på kanthal och kontakter.

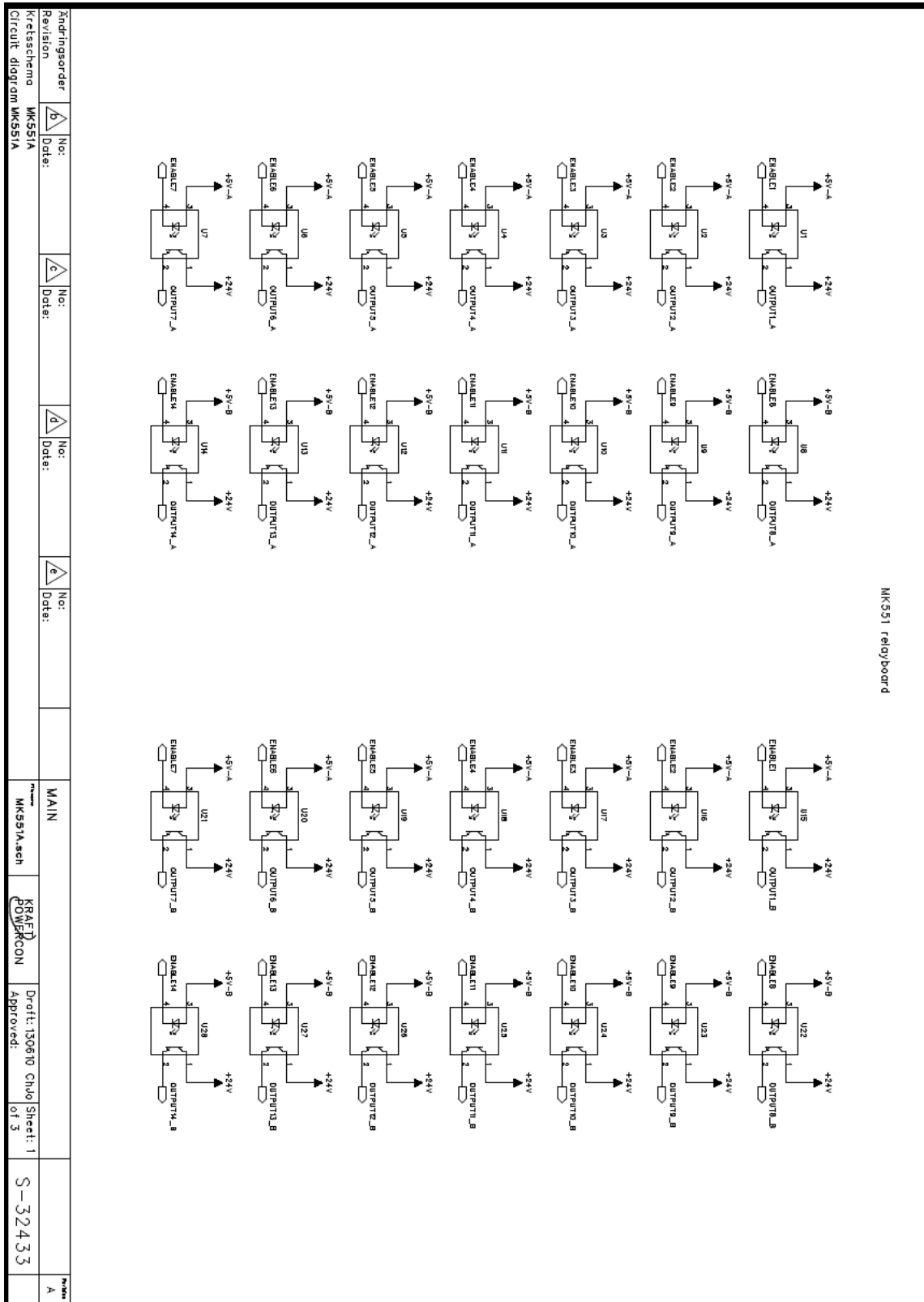
Strålningsvärmerna vid  $300^\circ\text{C}$  är konstant på 200 W medans konvektion med luft beror på lufthastigheten förbi tråden. Den hastighet på luft som krävs för att kyla bort 700 W vid en kanthaltrådstemperatur på  $300^\circ\text{C}$  beräknades till 0,38 m/s. Kyls lasten med högre hastighet kommer temperaturen på kanthaltråden sjunka lägre än  $300^\circ\text{C}$ .

## Testpunkter och likriktarmoduldata

Tabell 1 Testpunkter för last

	FlexKraft 15 V	FlexKraft 20 V	FlexKraft RWO 50 V	Flex Marine 50 V
<b>Strömstyrning</b>	10,5-11,5 V vid 300 A	13,5-14,5 V vid 225 A	24-28 V vid 125 A	24-28 V vid 125 A
<b>Spänningsstyrning</b>	15V vid 220-240 A	20 V vid 170-190 A	50 V vid 55-65 A	50 V vid 80-90 A
<b>Medelvärde strömstyrning</b>	11 V vid 300 A	14 V vid 225 A	26 V vid 125 A	26 V vid 125 A
<b>Effekt vid strömstyrning</b>	3,3 kW	3,15 kW	3,25 kW	3,25 kW
<b>Resistans vid strömstyrning</b>	0,035-0,038 Ohm	0,060-0,064 Ohm	0,192-0,224 Ohm	0,192-0,224 Ohm
<b>Medelresistans</b>	0,0367 Ohm	0,062 Ohm	0,208 Ohm	0,208 Ohm
<b>Procent av kapacitet</b>	91,75 %	91,17 %	85,83 %	85,83 %
<b>Medelvärde spänningsstyrning</b>	15V vid 230 A	20V vid 180 A	50V vid 67 A (60 A)	50 V vid 85 A
<b>Effekt vid spänningsstyrning</b>	3,45 kW	3,6 kW	3,35 kW (3,0 kW)	4,24 kW
<b>Resistans vid spänningsstyrning</b>	0,063-0,068 Ohm	0,105-0,118 Ohm	0,694-0,806 Ohm (0,769-0,909)	0,556-0,625 ohm
<b>Medelresistans</b>	0,065 Ohm	0,111 Ohm	0,75 Ohm (0,833)	0,588 Ohm
<b>Procent av kapacitet</b>	87,2 %	90,09 %	88,8 % (80 %)	90,09 %
<b>Testpunkter i storleksordning</b>				
	0,0367 Ohm			
	0,062 Ohm			
	0,065 Ohm			
	0,111 Ohm			
	0,208 Ohm			
	0,588 Ohm			
	0,75 Ohm (0,833)			
*Värden inom parentes är gamla testpunkter som ändrats.				

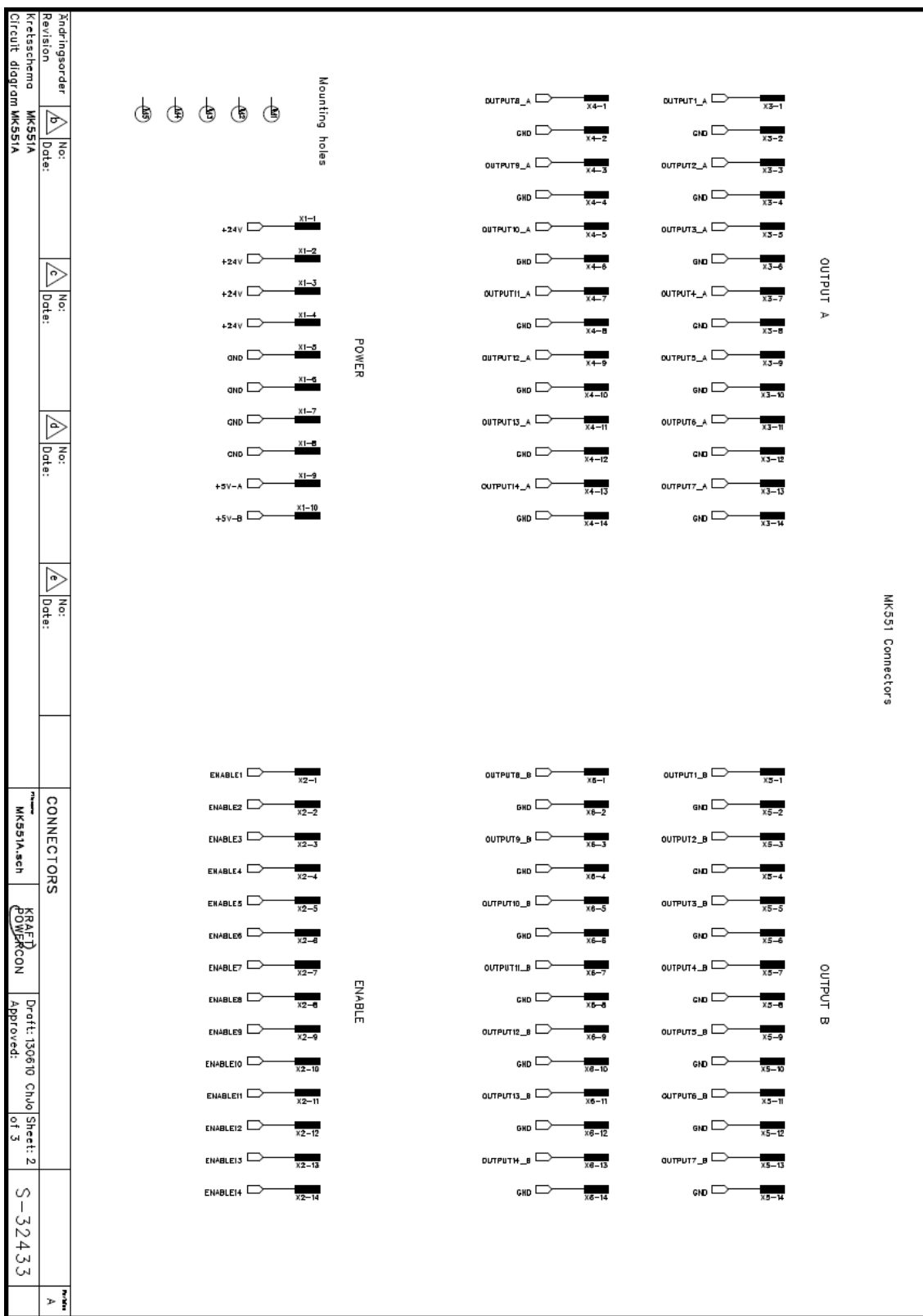
# Kretsschema på halvledarreläretskortet, blad 1 av 3



Figur A-1 Kretsschema på halvledarreläretskortet, blad 1 av 3

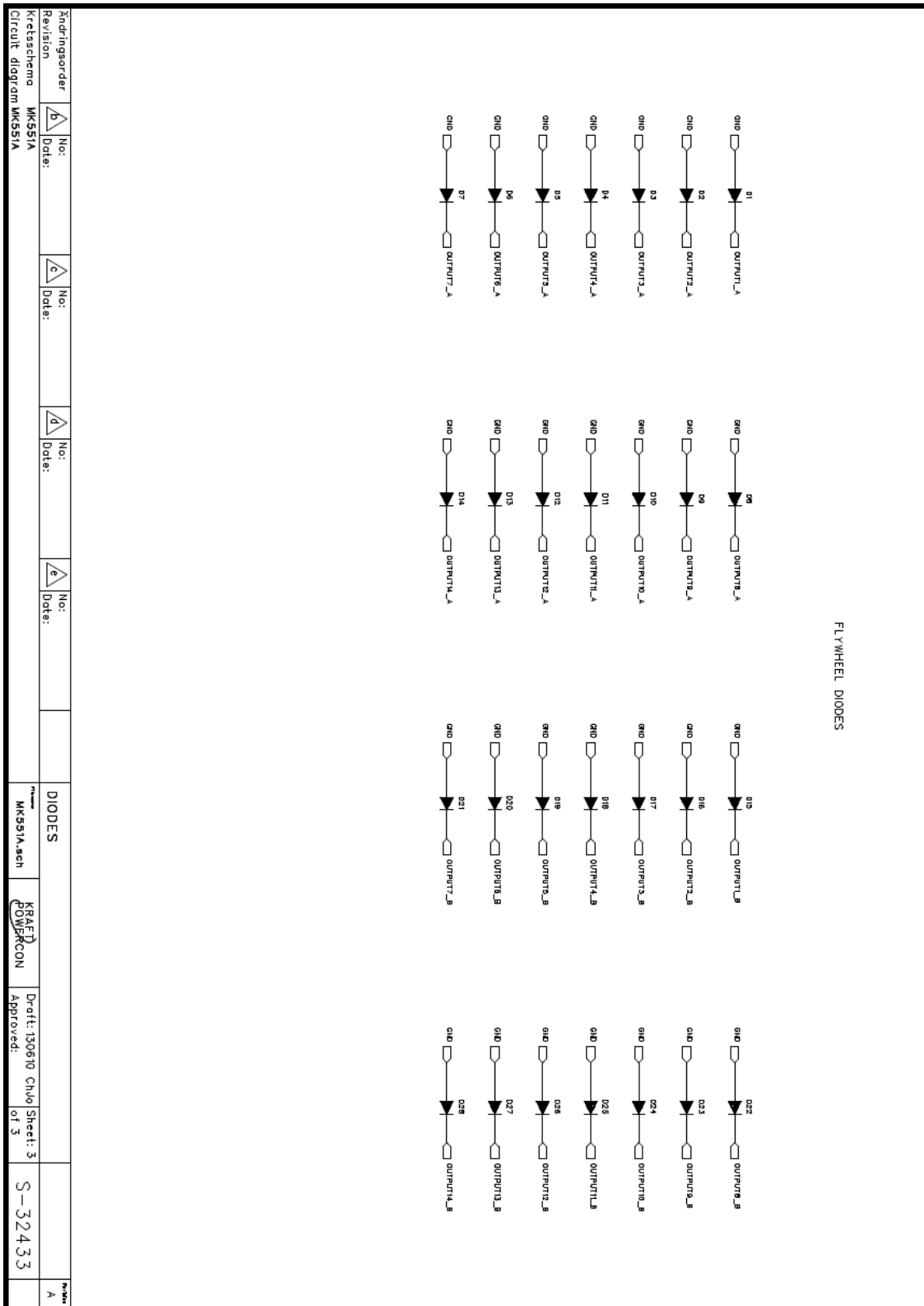


# Kretsschema på halvlederreläkretskortet, blad 2 av 3



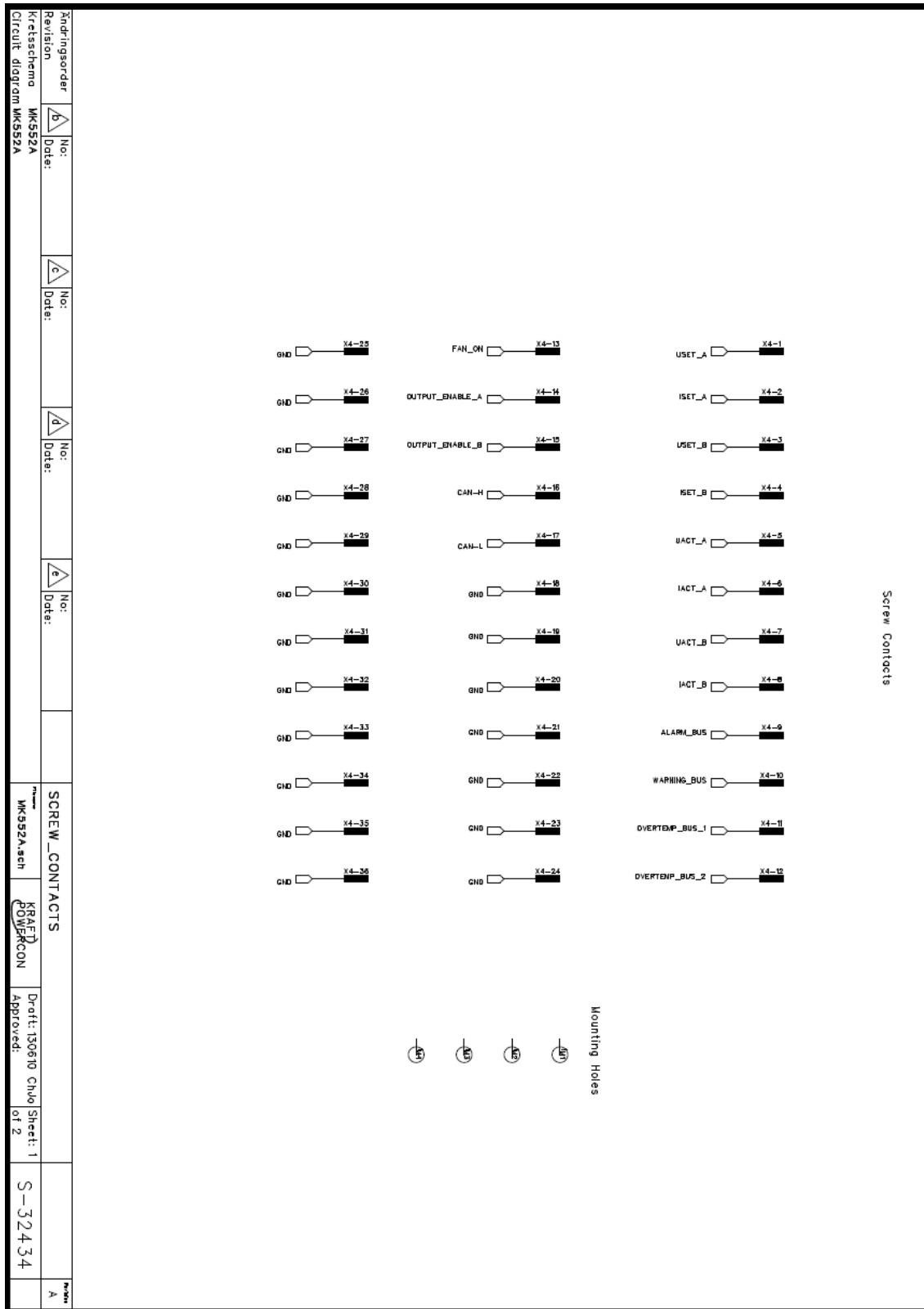
Figur A-2 Kretsschema på halvlederreläkretskortet, blad 2 av 3

# Kretsschema på halvlederreläkretskortet, blad 3 av 3



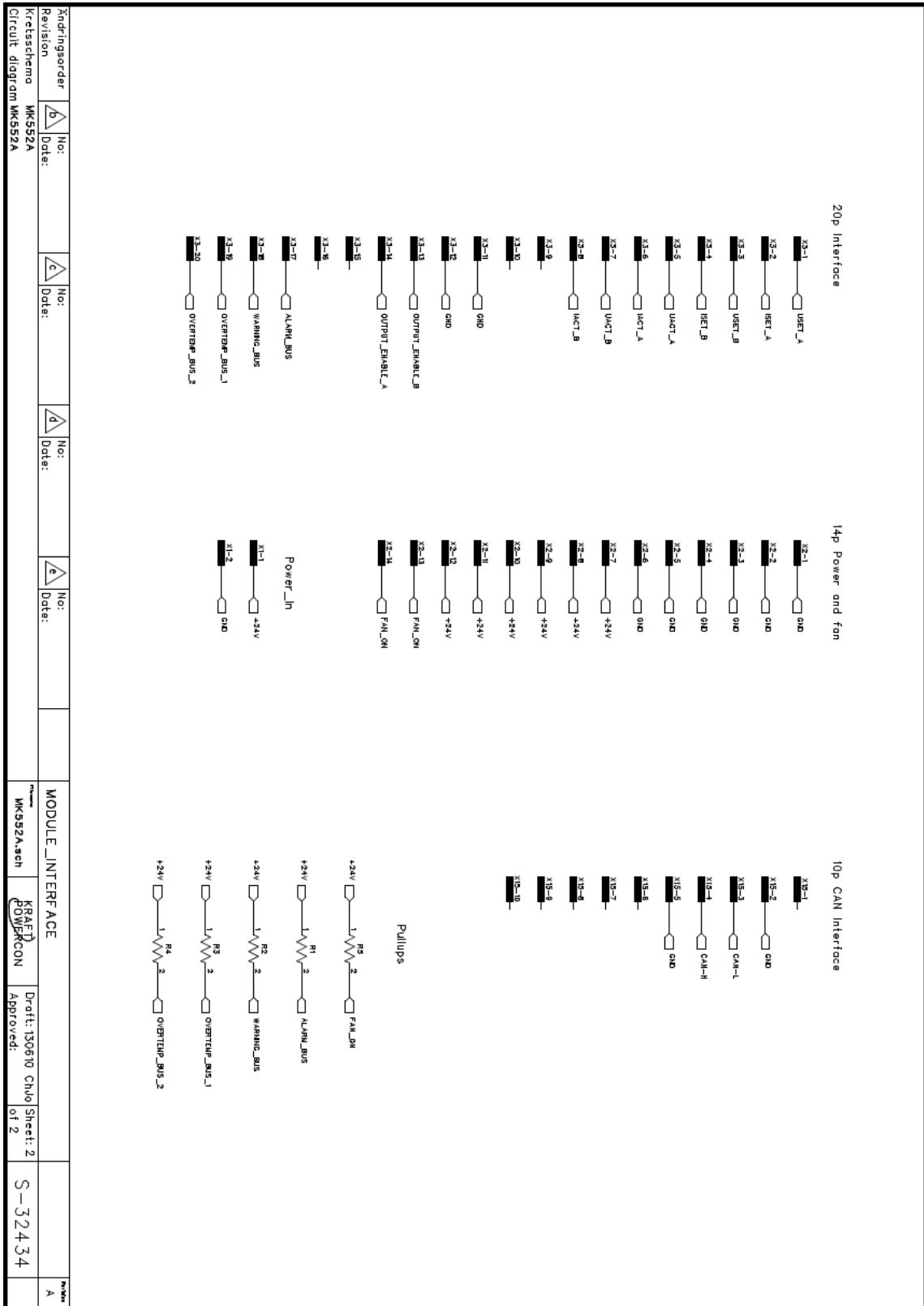
Figur A-3 Kretsschema på halvlederreläkretskortet, blad 3 av 3

# Kretsschema på signalanslutningskretskortet, blad 1 av 2



Figur A-4 Kretsschema på signalanslutningskretskortet, blad 1 av 2

# Kretsschema på signalanslutningskretskortet, blad 2 av 2



Figur A-5 Kretsschema på signalanslutningskretskortet, blad 2 av 2

# Signal och kopplingskarta för kontaktorer och halvledarreläkretskort

Solid state Relayboard	Name	Voltage level	NI-6008	S. Term. X1	S. Term. X2	S. Term. X3	S. Term. X4	S. Term. X5	S. Term. X6	Connections
24V	24V power in	24V		X1-1 to X1-4						4
GND	GND	0V		X1-5 to X1-8						4
5V-A	5V from NI6008A	5V	A-5V	X1-9						2
5V-B	5V from NI6008B	5V	B-5V	X1-10						2
Enable 1	Relay U1, U15	0-5V O. K.	A-PO-0		X2-1					2
Enable 2	Relay U2, U16	0-5V O. K.	A-PO-1		X2-2					2
Enable 3	Relay U3, U17	0-5V O. K.	A-PO-2		X2-3					2
Enable 4	Relay U4, U18	0-5V O. K.	A-PO-3		X2-4					2
Enable 5	Relay U5, U19	0-5V O. K.	A-PO-4		X2-5					2
Enable 6	Relay U6, U20	0-5V O. K.	A-PO-5		X2-6					2
Enable 7	Relay U7, U21	0-5V O. K.	A-PO-6		X2-7					2
Enable 8	Relay U8, U22	0-5V O. K.	B-PO-0		X2-8					2
Enable 9	Relay U9, U23	0-5V O. K.	B-PO-1		X2-9					2
Enable 10	Relay U10, U24	0-5V O. K.	B-PO-2		X2-10					2
Enable 11	Relay U11, U25	0-5V O. K.	B-PO-3		X2-11					2
Enable 12	Relay U12 U26	0-5V O. K.	B-PO-4		X2-12					2
Enable 13	Relay U13 U27	0-5V O. K.	B-PO-5		X2-13					2
Enable 14	Relay U14 U28	0-5V O. K.	B-PO-6		X2-14					2
Output Relay 1	Output 1 A	0-24V				X3-1				1
GND Contactor 1	GND Contactor 1	0V				X3-2				1
Output Relay 2	Output 2 A	0-24V				X3-3				1
GND Contactor 2	GND Contactor 2	0V				X3-4				1
Output Relay 3	Output 3 A	0-24V				X3-5				1
GND Contactor 3	GND Contactor 3	0V				X3-6				1
Output Relay 4	Output 4 A	0-24V				X3-7				1
GND Contactor 4	GND Contactor 4	0V				X3-8				1
Output Relay 5	Output 5 A	0-24V				X3-9				1
GND Contactor 5	GND Contactor 5	0V				X3-10				1
Output Relay 6	Output 6 A	0-24V				X3-11				1
GND Contactor 6	GND Contactor 6	0V				X3-12				1
Output Relay 7	Output 7 A	0-24V				X3-13				1
GND Contactor 7	GND Contactor 7	0V				X3-14				1
Output Relay 8	Output 8 A	0-24V					X4-1			1
GND Contactor 8	GND Contactor 8	0V					X4-2			1
Output Relay 9	Output 9 A	0-24V					X4-3			1
GND Contactor 9	GND Contactor 9	0V					X4-4			1
Output Relay 10	Output 10 A	0-24V					X4-5			1
GND Contactor 10	GND Contactor 10	0V					X4-6			1
Output Relay 11	Output 11 A	0-24V					X4-7			1
GND Contactor 11	GND Contactor 11	0V					X4-8			1
Output Relay 12	Output 12 A	0-24V					X4-9			1
GND Contactor 12	GND Contactor 12	0V					X4-10			1
Output Relay 13	Output 13 A	0-24V					X4-11			1
GND Contactor 13	GND Contactor 13	0V					X4-12			1
Output Relay 14	Output 14 A	0-24V					X4-13			1
GND Contactor 14	GND Contactor 14	0V					X4-14			1
Output Relay 15	Output 1 B	0-24V						X5-1		1
GND Contactor 15	GND Contactor 15	0V						X5-2		1
Output Relay 16	Output 2 B	0-24V						X5-3		1
GND Contactor 16	GND Contactor 16	0V						X5-4		1
Output Relay 17	Output 3 B	0-24V						X5-5		1
GND Contactor 17	GND Contactor 17	0V						X5-6		1
Output Relay 18	Output 4 B	0-24V						X5-7		1
GND Contactor 18	GND Contactor 18	0V						X5-8		1
Output Relay 19	Output 5 B	0-24V						X5-9		1
GND Contactor 19	GND Contactor 19	0V						X5-10		1
Output Relay 20	Output 6 B	0-24V						X5-11		1
GND Contactor 20	GND Contactor 20	0V						X5-12		1
Output Relay 21	Output 7 B	0-24V						X5-13		1
GND Contactor 21	GND Contactor 21	0V						X5-14		1
Output Relay 22	Output 8 B	0-24V							X6-1	1
GND Contactor 22	GND Contactor 22	0V							X6-2	1
Output Relay 23	Output 9 B	0-24V							X6-3	1
GND Contactor 23	GND Contactor 23	0V							X6-4	1
Output Relay 24	Output 10 B	0-24V							X6-5	1
GND Contactor 24	GND Contactor 24	0V							X6-6	1
Output Relay 25	Output 11 B	0-24V							X6-7	1
GND Contactor 25	GND Contactor 25	0V							X6-8	1
Output Relay 26	Output 12 B	0-24V							X6-9	1
GND Contactor 26	GND Contactor 26	0V							X6-10	1
Output Relay 27	Output 13 B	0-24V							X6-11	1
GND Contactor 27	GND Contactor 27	0V							X6-12	1
Output Relay 28	Output 14 B	0-24V							X6-13	1
GND Contactor 28	GND Contactor 28	0V							X6-14	1

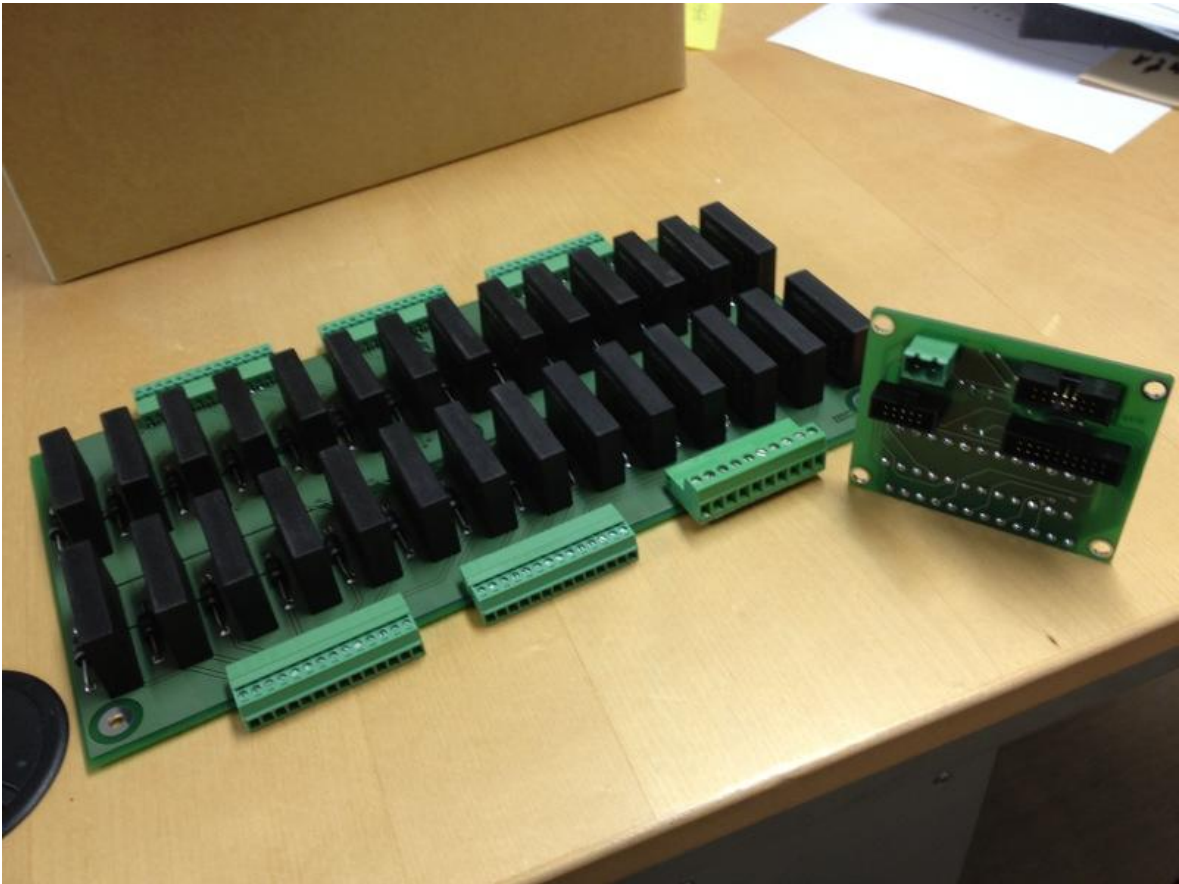
Figur A-6 Signal och kopplingskarta för kontaktorer och halvledarreläkretskort

# Signal och kopplingskarta för signalanslutningskretskortet

14 pole pin contact X2	Name	Voltage level	iCon iOne	7701 Channel	7706 Channel	NI-9263	USB-CAN	Output &	Enable D-SIB-9 female	Power X1	S. Term. X4	Connections	
X2-1	0V	0V										X1-2	
X2-2	0V	0V										X1-2	
X2-3	0V	0V										X1-2	
X2-4	0V	0V										X1-2	
X2-5	0V	0V										X1-2	
X2-6	24V	24V										X1-1	
X2-7	24V	24V										X1-1	
X2-8	24V	24V										X1-1	
X2-9	24V	24V										X1-1	
X2-10	24V	24V										X1-1	
X2-11	24V	24V										X1-1	
X2-12	24V	24V										X1-1	
X2-13	NC/ Fan on	Vgs<16V			Ch-21 bit 2, 100k pullup to 24V -> Vgs=8V				D-SUB 1			X4-13	2
X2-14	NC/ Fan on	Vgs<16V			-							-	
20 pole pin contact X3	Name	Voltage level	iCon iOne	7701 Channel	7706 Channel	NI-9263	USB-CAN	Output &	Enable D-SIB-9 female	Power X1	S. Term. X4	Connections	
X3-1	Uset A	(0-10V)	A1	Ch-1 Hi		AO-0						X4-1	3
X3-2	Iset A	(0-10V)	A3	Ch-2 Hi		AO-1						X4-2	3
X3-3	Uset B	(0-10V)	A5	Ch-3 Hi		AO-2						X4-3	3
X3-4	Iset B	(0-10V)	A7	Ch-4 Hi		AO-3						X4-4	3
X3-5	Uact A	(0-10V)	A9	Ch-5 Hi								X4-5	2
X3-6	Iact A	(0-10V)	B1	Ch-6 Hi								X4-6	2
X3-7	Uact B	(0-10V)	B3	Ch-7 Hi								X4-7	2
X3-8	Iact B	(0-10V)	B5	Ch-8 Hi								X4-8	2
X3-9	Module type												
X3-10	NC												
X3-11	GND	0V											
X3-12	GND	0V											
X3-13	Output enable B	En = 0V			Ch-21 bit 0				D-SUB 3			X4-15	2
X3-14	Output enable A	En = 0V			Ch-21 bit 1				D-SUB 5			X4-14	2
X3-15	Share bus A												
X3-16	Share bus B												
X3-17	Alarm bus	O. K. Ext. Pul.	B7	Ch-9 Hi								X4-9	2
X3-18	Warning bus	O. K. Ext. Pul.	B9	Ch-10 Hi								X4-10	2
X3-19	Overtemp bus 1	O. K. Ext. Pul.	C1	Ch-11 Hi								X4-11	2
X3-20	Overtemp bus 2	O. K. Ext. Pul.	C3	Ch-12 Hi								X4-12	2
20 pole pin contact X15 CAN	Name	Voltage level	iCon iOne	7701 Channel	7706 Channel	NI-9263	USB-CAN	Output &	Enable D-SIB-9 female	Power X1	S. Term. X4	Connections	
X15-1	NC												
X15-2	GND	0V											
X15-3	CAN-L						D-SUB 2					X4-17	2
X15-4	CAN-H						D-SUB 7					X4-16	2
X15-5	GND	0V											
X15-6	NC												
X15-7	NC												
X15-8	NC												
X15-9	NC												
X15-10	NC												
GND bus	Name	Voltage level	iCon iOne	7701 Channel	7706 Channel	NI-9263	USB-CAN	Output &	Enable D-SIB-9 female	Power X1	S. Term. X4	Connections	
1	GND	0V	A2	Ch-1 Lo								X4-18	2
2	GND	0V	A4	Ch-2 Lo								X4-19	2
3	GND	0V	A6	Ch-3 Lo								X4-20	2
4	GND	0V	A8	Ch-4 Lo								X4-21	2
5	GND	0V	A10	Ch-5 Lo								X4-22	2
6	GND	0V	B2	Ch-6 Lo								X4-23	2
7	GND	0V	B4	Ch-7 Lo								X4-24	2
8	GND	0V	B6	Ch-8 Lo								X4-25	2
9	GND	0V	B8	Ch-9 Lo								X4-26	2
10	GND	0V	B10	Ch-10 Lo								X4-27	2
11	GND	0V	C2	Ch-11 Lo								X4-28	2
12	GND	0V	C4	Ch-12 Lo								X4-29	2
13	GND	0V						D-SUB 3 TERM?				X4-30	2
14	GND	0V							D-SUB 7			X4-31	2
15	GND	0V				COM						X4-32	2
16	GND not used	0V										X4-33	
17	GND not used	0V										X4-34	
18	GND not used	0V										X4-35	
19	GND not used	0V										X4-36	
Shunt	Name	Voltage level	iCon iOne	7701 Channel	7706 Channel	NI-9263	USB-CAN	Output &	Enable D-SIB-9 female	Power X1	S. Term. X4	Connections	
Shunt A +	Shunt A +	0-64mV	C5	Ch-13 Hi				D-SUB 1					2
Shunt A -	Shunt A -	0-64mV	C6	Ch-13 Lo				D-SUB 6					2
Shunt B +	Shunt B +	0-64mV	C7	Ch-14 Hi				D-SUB 2					2
Shunt B -	Shunt B -	0-64mV	C8	Ch-14 Lo				D-SUB 7					2
Voltage output from filter	Name	Voltage level	iCon iOne	7701 Channel	7706 Channel	NI-9263	USB-CAN	Output &	Enable D-SIB-9 female	Power X1	S. Term. X4	Connections	
Filter A +	Filter A +	0-50V	C9	Ch-15 Hi				D-SUB 5					2
Filter A -	Filter A -	0-50V	C10	Ch-15 Lo				D-SUB 9					2
Filter B +	Filter B +	0-50V	D1	Ch-16 Hi				D-SUB 4					2
Filter B -	Filter B -	0-50V	D2	Ch-16 Lo				D-SUB 8					2

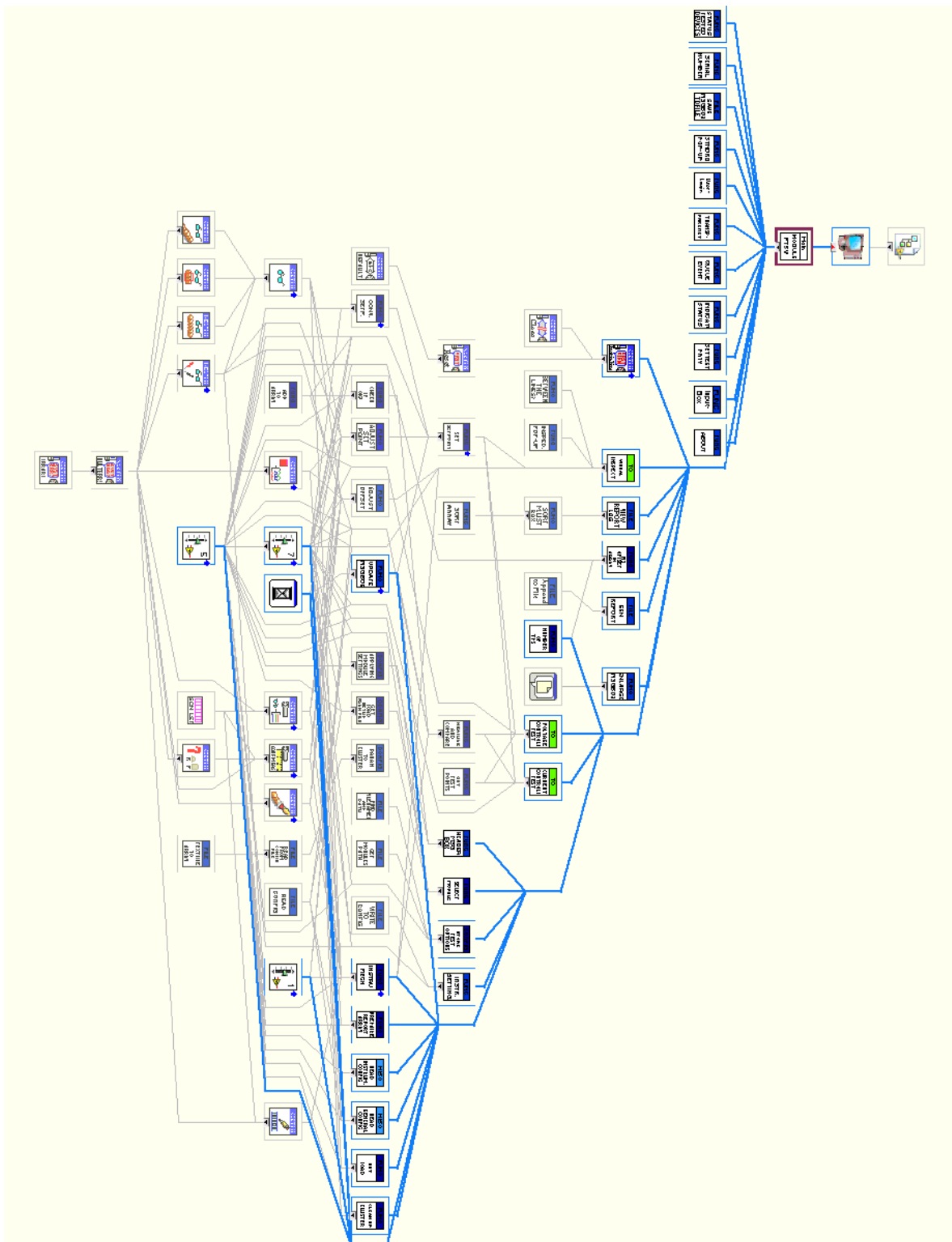
Figur A-7 Signal och kopplingskarta för signalanslutningskretskortet

**Bild på färdiga kretskort**



*Figur A-8 Färdigtillverkade kretskort*

# Programträd för LabVIEW-program



Figur A-9 Programträd för LabVIEW-program