

2016•2017  
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
*master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT*

## Masterproef

Automatische kalibratie van geïntegreerde voedingen in een PXI karakterisatie systeem met behulp van LabVIEW

Promotor :  
Prof. dr. ir. Luc CLAESEN

Promotor :  
Dhr. KEVIN HAESEVOETS

Alexander Smeets

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT*

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2016•2017

Faculteit Industriële  
ingenieurswetenschappen

*master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT*

## Masterproef

Automatische kalibratie van geïntegreerde voedingen in  
een PXI karakterisatie systeem met behulp van LabVIEW

Promotor :  
Prof. dr. ir. Luc CLAESEN

Promotor :  
Dhr. KEVIN HAESEVOETS

Alexander Smeets

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële  
wetenschappen: elektronica-ICT*

## Dankwoord

Deze masterproef zou niet mogelijk geweest zijn zonder een heel aantal personen. In de eerste plaats zou ik graag ing. Kevin Haesevoets, mijn stagebegeider bij Melexis, willen bedanken. Enerzijds voor de kans die hij me gaf om onder zijn toezicht een stage te doen bij Melexis en anderzijds voor de expertise, steun en hulp die hij me bood gedurende deze stage.

Graag zou ik ook prof. dr. ir. Luc Claesen willen bedanken voor zijn kennis en praktische ondersteuning.

Ten laatste, veel dank aan het karakterisatieteam van Melexis waarbij ik altijd terecht kon voor hulp, raad en input. Ik kijk er naar uit om mij verder te ontplooien in dit team binnen deze organisatie.

Bedankt aan allen voor de fijne samenwerking.

- Alexander



# Inhoudsopgave

Dankwoord	i
Lijst van tabellen	v
Lijst van figuren	vii
Verklarende woordenlijst	ix
Abstract	xi
Abstract in English	xiii
<b>1 Inleiding</b>	
1.1 Doelstelling	
1.2 Materiaal en methode	
1.2.1 Materiaal	
1.2.2 Methode	3
<b>2 Kalibratieprocedure NI PXIe-4112</b>	<b>5</b>
2.1 Setup	6
2.2 Verificatie	6
2.2.1 Uitgangsspanning verificatie	6
2.2.2 Spanningsmeting verificatie	7
2.2.3 Uitgangsstroom verificatie	8
2.2.4 Stroommeting verificatie	9
2.2.5 Spanningsbelastingregeling verificatie	9
2.2.6 Stroom belastingregeling verificatie	10
2.2.7 Uitgangsspanning remote sense nauwkeurigheid verificatie	11
2.3 Aanpassingsstap en de tweede verificatie	12
2.3.1 Spanningsaanpassing	12
2.3.2 Stroomaanpassing	13
2.3.3 Beëindigen aanpassingstap en de tweede verificatie	13
<b>3 PCB ontwerp</b>	<b>15</b>
3.1 Schakelmatrix	15
3.2 Kalibratie- en verificatie circuits	16
3.2.1 Uitgangsspanning en spanningsmeting verificatie en kalibratie	16
3.2.2 Uitgangsstroom en stroommeting verificatie en kalibratie	16
3.2.3 Stroom en spanning belastingregeling	17
3.2.4 Spanning remote sense verificatie	18
3.3 Hardware implementatie van PCB	19
3.4 Debuggen PCB	21
3.4.1 De fout	21
3.4.2 Opsporen van de fout	21
3.4.3 Oplossing	21
<b>4 LabVIEW programma</b>	<b>23</b>
4.1 Werking programma	23
4.2 Testen	23
4.2.1 Initialisatie	24
4.2.2 Meting	24
4.2.3 Verificatie	24

4.2.4	Post meting . . . . .	24
4.2.5	Aanpassing . . . . .	24
4.2.6	Stop . . . . .	25
4.3	Sequencer . . . . .	25
4.4	Graphical User Interface . . . . .	25
4.5	Kalibratierapport . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Resultaten</b>	<b>27</b>
5.1	Voor aanpassingsstap . . . . .	27
5.1.1	Uitgangsspanning verificatie . . . . .	27
5.1.2	Spanningsmeting verificatie . . . . .	27
5.1.3	Uitgangsstroom verificatie . . . . .	27
5.1.4	Stroommeting verificatie . . . . .	28
5.1.5	Spannings remote sense nauwkeurigheid verificatie . . . . .	28
5.2	Na aanpassingsstap . . . . .	28
5.2.1	Uitgangsspanning verificatie . . . . .	29
5.2.2	Spanningsmeting verificatie . . . . .	29
5.2.3	Uitgangsstroom verificatie . . . . .	29
5.2.4	Stroommeting verificatie . . . . .	30
5.2.5	Spannings remote sense nauwkeurigheid . . . . .	30
5.3	Belastingsregeling . . . . .	30
5.4	Vergelijking . . . . .	30
<b>6</b>	<b>Fout op metingen</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Mogelijke uitbreidingen</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>Besluit</b>	<b>35</b>
	<b>Referenties</b>	<b>37</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>39</b>
	Bijlage A: Template kalibratierapport . . . . .	40
	Bijlage B: Gegeneerd kalibratierapport . . . . .	42

## Lijst van tabellen

1	Uitgangsspanning verificatie . . . . .	7
2	Spanningsmeting verificatie . . . . .	8
3	Uitgangsstroom verificatie . . . . .	8
4	Stroommeting verificatie . . . . .	9
5	Spanningsbelasting regulatie verificatie . . . . .	10
6	Stroom belastingregeling verificatie . . . . .	11
7	Uitgangsspanning remote sense verificatie . . . . .	11
8	Waarden spanningsaanpassingsstap . . . . .	12
9	Waarden stroomaanpassingsstap . . . . .	13
10	Waarden uitgangsspanning verificatie voor aanpassingsstap . . . . .	27
11	Waarden spanningsmeting verificatie voor aanpassingsstap . . . . .	27
12	Waarden uitgangsstroom verificatie voor aanpassingsstap . . . . .	28
13	Waarden stroommeting verificatie voor aanpassingsstap . . . . .	28
14	Waarden spannings remote sense nauwkeurigheid verificatie voor aanpassingsstap . . . . .	28
15	Waarden uitgangsspanning verificatie na aanpassingsstap . . . . .	29
16	Waarden spanningsmeting verificatie na aanpassingsstap . . . . .	29
17	Waarden uitgangsstroom verificatie na aanpassingsstap . . . . .	29
18	Waarden stroommeting verificatie na aanpassingsstap . . . . .	30
19	Waarden spannings remote sense nauwkeurigheid verificatie na aanpassingsstap . . . . .	30





## Lijst van figuren

1.1	Verschillende NI PXI systemen zonder kaarten . . . . .	2
1.2	Een PXIe-4112 kaart . . . . .	2
2.1	Spanningsverificatie diagram . . . . .	7
2.2	Stroom verificatie diagram . . . . .	8
2.3	Spanningsbelasting connectie diagram . . . . .	9
2.4	Stroom belasting connectie diagram . . . . .	10
2.5	Uitgangsspanning remote sense connectiediagram . . . . .	11
2.6	Spanningsaanpassings diagram . . . . .	12
2.7	Stroomaanpassings diagram . . . . .	13
3.1	Overzicht PCB ontwerp . . . . .	15
3.2	Werking schakelmatrix . . . . .	15
3.3	Uitgangsspanning/Spanningsmeting schematic op PCB . . . . .	16
3.4	Uitgangsstroom en stroommeting schematic op PCB . . . . .	16
3.5	Current/Voltage belastingregeling schematic op PCB . . . . .	17
3.6	Spanning remote sense schematic op PCB . . . . .	19
3.7	Voorkant 3D render PCB . . . . .	20
3.8	Achterkant 3D render PCB . . . . .	20
3.9	De PXI interface . . . . .	21
4.1	Flowchart van het LabVIEW programma . . . . .	23
4.2	Flowchart van de testen . . . . .	24
4.3	GUI van het programma . . . . .	25
4.4	Prompt bij starten programma . . . . .	26



## Verklarende woordenlijst

**DMM:** Digital multimeter of digitale multimeter

**LED:** Light-Emitting Diode

**NI:** National Instruments. Bedrijf dat producten biedt voor testen en metingen.

**PCB:** Printed Circuit Board

**PLC:** Staat voor Power Line Cycle en is een parameter die ingesteld kan worden bij verschillende VI's.

**PPS:** Programmable power supply of programmeerbare labvoeding

**PXI:** Staat voor PCI eXtensions for Instrumentation. Het is een PC gebaseerd platform voor meet- en automatisatiesystemen [1].

**VI:** Afkorting van Virtual Instrument. VI is de benaming die NI hanteert voor een LabVIEW programma [2].



## Abstract

Bij Melexis in Tessenderlo worden er programmeerbare labvoedingen, o.a. de PXIe-4112, van National Instruments, gebruikt om allerlei metingen en testen uit te voeren. Deze programmeerbare labvoedingen zijn zeer nauwkeurige toestellen en dienen tweejaarlijks gekalibreerd te worden. De huidige methode om deze programmeerbare labvoedingen te kalibreren bestaat uit het opsturen van de toestellen naar National Instruments wat natuurlijk een kost en tijdverlies met zich meebrengt. Om dit te vermijden is met behulp van een PXI systeem, een zelf ontworpen PCB en LabVIEW software een testopstelling gerealiseerd die de kalibratieprocedure succesvol, volledig geautomatiseerd, uitvoert zoals beschreven staat in de kalibratie-handleiding. Na de eigenlijke kalibratie wordt er geverifieerd of de programmeerbare labvoedingen binnen de specificaties vallen. De testopstelling zelf wordt gevalideerd door de programmeerbare labvoedingen te kalibreren en te verifiëren of de programmeerbare labvoedingen binnen de specificaties vallen zoals beschreven staat in de datasheet van de toestellen.



## Abstract in English

At Melexis in Tessenderlo, programmable power supplies of the type PXIe-4112 from National Instruments are utilized to perform different measurements and tests. These programmable power supplies are very accurate devices and therefore have the need to be calibrated every other year. The current method of calibrating these programmable power supplies consist out of sending them back to National Instruments which involves a certain cost and waste of time. In order to avoid the loss of time and cost a PXI system, a self-designed PCB and a LabVIEW program is used to create a test setup which successfully goes through the calibration of the programmable power supplies automatically. After the calibration there is a verification which verifies if the programmable power supplies meet the specifications as described in the datasheet of the devices. The test setup itself is validated by calibrating the programmable power supplies and verifying if they meet the specifications as described in the datasheet.





# 1 Inleiding

Melexis is als technologiebedrijf gespecialiseerd in micro elektronica. Het bedrijf is actief in 14 verschillende landen, waaronder België. Het dertigjarig bedrijf richt zich grotendeels op de automobielsector waarvoor het verschillende smart IC's en sensorcomponenten ontwikkelt. Buiten de automobielsector is Melexis actief binnen de huisautomatisatie, smartapplicaties, de industriële en de medische sector. Hun aanbod van producten is verdeeld in drie groepen: Sensoren, rijtechnologie en communicatietechnologie. Om al deze technologieën te realiseren werken verschillende afdelingen nauw samen. Eén van deze afdelingen is de karakterisatieafdeling die verantwoordelijk is voor het karakteriseren van de verschillende chips. Om dit te doen maken ze gebruik van PXI hardware van NI om automatische metingen en testen uit te voeren. Deze metingen dienen accuraat te zijn en daarom worden toestellen zoals digitale multimeters (DMM), sourcemeters en programmeerbare labvoedingen (PPS) jaarlijks of tweejaarlijks gekalibreerd door de fabrikant of gecertificeerde labo's om ervoor te zorgen dat ze binnen de specificaties vallen. Indien deze toestellen niet binnen de specificaties vallen kunnen er ook geen accurate metingen gedaan of spanningen aangelegd worden. Om de specificaties van de PPS te garanderen vereist NI dat deze om het jaar gekalibreerd worden door henzelf of gecertificeerde labo's. Maar deze kalibratie brengt een kost en tijdverlies met zich mee die vermeden kunnen worden door gebruik te maken van de zeer nauwkeurige DMM's die aanwezig zijn in de PXI.

## 1.1 Doelstelling

De doelstelling van deze masterthesis is om een volledig automatische kalibratie van de PPS te verwezenlijken zodanig dat deze binnen de specificaties valt zoals omschreven in de datasheet. Om dit te verwezenlijken worden de volgende doelstellingen vooropgesteld:

- PCB ontwerp

De PCB dient bevestigd te worden op de PXI en al de nodige connecties dienen gemaakt te worden. Ook moeten er voldoende relais voorzien worden om ervoor te zorgen dat de verschillende schakelingen die nodig zijn om de kalibratie uit te voeren opgebouwd kunnen worden op de PCB.

- LabVIEW software

De LabVIEW software moet de gebruiker in staat stellen om de automatische kalibratie van de PXI uit te voeren, dit dient te gebeuren met zo weinig mogelijk interactie met het programma of de hardware. Nadat de kalibratie is uitgevoerd moet er een log van de kalibratie gegenereerd worden. Deze moet aangeven op welke vlakken de PPS binnen/buiten de specificaties lag en welke parameters er veranderd zijn.

## 1.2 Materiaal en methode

### 1.2.1 Materiaal

Om de thesis tot een goed einde te brengen werd er gebruik gemaakt van verschillende instrumenten. Deze worden in de volgende puntjes toegelicht.

- PXI

PXI staat voor PCI eXtensions for Instrumentation. Het is een PC gebaseerd platform voor meet- en automatisatiesystemen. Een PXI combineert PCI bus kenmerken met de modulaire Eurocard verpakking van CompactPCI. Het grote voordeel van een PXI-systeem is dus dat het een modulair systeem is wat gebruik maakt van verschillende kaarten met bepaalde functies. Deze functies kunnen variëren van een DMM, DIO, PPS tot een oscilloscoop [1]. Een PXI systeem kan dus als het ware volledig geconfigureerd worden naar de wensen en eisen van de gebruiker. Het door Melexis gebruikte PXI systeem beschikt naast meerdere kaarten ook nog over een interface waarop alle uitgangen

van de verschillende kaarten op uit komen. Deze interface maakt het mogelijk om met behulp van een standaard PCB lay-out, het loadboard genaamd, alle nodige connecties eenvoudig te verwezenlijken. In figuur 1.1 zijn verschillende versies van PXI systemen van NI, zonder kaarten, zichtbaar.



Figuur 1.1: Verschillende NI PXI systemen zonder kaarten [3]

- PXIe-4112

De PXIe-4112, die zichtbaar is in figuur 1.2, is een programmameerbare tweekanaals DC voeding met geïsoleerde outputs. De PXIe-4112 is in staat om spanningen te leveren van 0.1 - 60V in constante spanningsmodus. In constante stroommodus is hij in staat om stromen te leveren van 0.01 - 1A. De nauwkeurigheid van deze voeding is te danken aan het feit dat hij aan ieder kanaal naast twee force connecties ook nog eens beschikt over twee sense connecties. Deze sense connecties zijn in staat om een spanningsval over een parasitaire weerstand, zoals draden, weg te werken. In het PXI systeem van Melexis bevinden zich twee van deze PPS. Deze zijn uiteraard ook de PPS die gekalibreerd moeten worden. Voor nauwkeurigere specificaties van de PPS wordt verwezen naar de datasheet [4].



Figuur 1.2: Een PXIe-4112 kaart [5]

- PXI-4071

Dit is de DMM die gebruikt gaat worden om de nauwkeurige metingen en kalibratie van de PXIe-4112 uit te voeren. Deze zeer nauwkeurige DMM, waarvan zich er twee in de PXI bevinden, zijn in staat om stromen te meten van 1 pA tot 3 A en spanningen van 10 nV tot 1000  $V_{DC}$ . Deze DMM zijn veel nauwkeuriger dan de PPS en kunnen dus gebruikt worden om de PPS te kalibreren. Voor meer informatie over de specificaties van de PXI-4071 wordt verwezen naar de datasheet [6].

- PXI-6509

Dit is een 96 kanaals digitale I/O module die in staat is om 5V te leveren en 24mA te leveren of te sinken aan iedere I/O pin. De PXI-6509 wordt gebruikt om de verschillende relais aan te sturen die de verschillende kalibratieschakelingen opbouwen. Deze kaart bevindt zich uiteraard ook in de PXI [7].

- Verscheidene componenten

Naast de te kalibreren toestellen en de DMM zijn er nog andere componenten nodig om de kalibratie tot een goed einde te brengen. Een volledig overzicht en bespreking hiervan is terug te vinden in paragraaf 3 die het PCB ontwerp toelicht.

### 1.2.2 Methode

Om deze thesis tot een goed einde te brengen werden verschillende stappen doorlopen. Namelijk het tekenen van het schematic, de PCB lay-out, het solderen van de componenten op de PCB en de testen implementeren met behulp van LabVIEW.

#### 1. Ontwerp PCB

- Tekenen schematic:** Het schematic is getekend met behulp van het programma Altium. De keuze voor dit programma ligt voor de hand omdat intern bij Melexis dit programma gebruikt wordt en ze dus ook over de nodige licenties beschikken. Tijdens het tekenen werden ook de geschikte componenten gekozen die nodig zijn om de kalibratie tot een goed einde te brengen.
- PCB lay-out:** Nadat het schematic getekend is kon de PCB lay-out gedaan worden. Dit gebeurde vanzelfsprekend ook met het programma Altium.
- Solderen componenten:** De componenten werden natuurlijk ook op de PCB gesoldeerd.
- Testen/debuggen PCB:** Nadat alle componenten gesoldeerd waren op de PCB werd de PCB zeer nauwkeurig gecontroleerd op de verbindingen en contacten. Deze stap is erg low level en gebeurde met een multimeter.

#### 2. LabVIEW programma

- Testen implementeren:** Zoals gebleken uit de literatuurstudie verloopt de kalibratie volgens verschillende stappen die gebruik maken van verschillende testen. Deze testen werden eerst individueel geïmplementeerd en gecontroleerd met behulp van het programma LabVIEW. Ook wordt bij iedere test de input en output opgeslagen. Dit is interessant voor de log die automatisch gegenereerd wordt.
- Testen automatiseren:** De testen dienen volledig geautomatiseerd te zijn. Dit houdt in dat het programma ervoor moet zorgen dat de schakelingen intern op de PCB worden gerealiseerd. Ook moet het programma ervoor zorgen dat de correcte test wordt uitgevoerd met behulp van de correcte schakeling. Om te schakelen tussen de verschillende schakelingen kan men terugvallen op de relais van de PCB en het I/O systeem die het PXI systeem ter beschikking heeft.
- kalibratierapport genereren:** De laatste vereiste die het programma heeft is een automatisch kalibratierapport genereren. Deze zal de output gebruiken van de individuele tests en controleren als deze voldoet aan de specificaties. Dit geheel wordt dan verwerkt in een kalibratierapport.



## 2 Kalibratieprocedure NI PXIe-4112

De kalibratieprocedure van de PXIe-4112, zoals beschreven in de kalibratiehandleiding [8], verloopt in 4 stappen:

### 1. Setup

Gedurende de setup wordt de PXIe-4112 geïnstalleerd en geconfigureerd in de modus 'Measurement Automation Explorer (MAX)'. Deze modus laat toe om de PXIe-4112 hardware te configureren [9].

### 2. Eerste verificatie

In deze stap wordt nagegaan of de PXIe-4112 binnen de specificaties valt, zoals beschreven in de datasheet [4] en in paragraaf 1.2.1, voordat er een aanpassing van de kalibratieconstanten gebeurd is.

### 3. Aanpassing

In deze derde stap worden de kalibratieconstanten aangepast om ervoor te zorgen dat de PXIe-4112 binnen de specificaties valt.

### 4. Tweede verificatie

Om er zeker van te zijn dat de PXIe-4112 door de aanpassing die gebeurde in de derde stap binnen de specificaties valt wordt de PXIe-4112 nog eens geverifieerd.

Tijdens de eerste en tweede verificatie wordt de PXIe-4112 getest op volgende eigenschappen [4]:

- Uitgangsspanning en spanningsmeting
  - NI garandeert een uitgangsspanning bereik op ieder kanaal van 0.1 - 60V met een resolutie van 2mV en een nauwkeurigheid van 0.12% met een afwijking van + 55 mV.
  - De PXIe-4112 is ook in staat om deze spanningen nauwkeurig uit te meten tot op 0.1% van de aangelegde spanning met een afwijking van +50 mV.
- Uitgangsstroom en stroommeting
  - De stroom die aangelegd kan worden door de PXIe-4112 ligt tussen 0.01A en 1A. De nauwkeurigheid van deze stroom bedraagt 0.15% van de aangelegde stroom met een afwijking van +10 mA. De resolutie bedraagt 34  $\mu$ A.
  - Indien de PXIe-4112 een stroom uitmeet gebeurt dit met een nauwkeurigheid van 0.15% met een afwijking van +4 mA.
- Belastingregeling
  - De belastingregeling geeft aan in hoeverre de output van een kanaal varieert indien de belasting verandert [10]. Voor de spanning belastingregeling garandeert NI dat de spanning per 1A maximaal 12 mV verandert. Voor de belastingsregeling garanderen ze een verandering van maximum 32  $\mu$ A per 1V verandering.
- Remote sense
  - Remote sense is een techniek om de invloed van de weerstand van de draden te compenseren om zo de gewenste uitgangsstroom of -spanning te realiseren. [11] De PXIe-4112 is met behulp van deze techniek in staat om een spanningsval van maximum 1V per draad te compenseren.

In de volgende paragraaf zullen de verschillende stappen die testen indien deze eigenschappen binnen de specificaties vallen meer toegelicht worden. Merk ook op dat de formules die gebruikt worden gedurende deze tests om bijvoorbeeld limieten te berekenen direct afgeleid zijn uit de specificaties zoals beschreven in 1.2.1.

## 2.1 Setup

Voordat aan de verificatie/kalibratie begonnen kan worden moet er eerst gezorgd worden dat een aantal condities voldaan zijn:

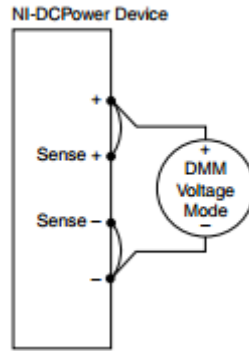
- hou eventuele connecties met kabels zo kort mogelijk om parasitaire effecten tot een minimum te herleiden;
- controleer of alle connecties goed bevestigd zijn;
- stel de PXI ventilatorsnelheid in op het maximum en dat lege slots van de PXI gevuld zijn met vulpanelen;
- laat de PXI opwarmen voor minimum 30 minuten nadat de PC de PXI herkent;
- gebruik geïsoleerde koper draden voor alle connecties met kabels. Gebruik ook twisted-pair draden om ruis en afwijkingen ten gevolge van thermische invloeden te voorkomen;
- laat het systeem toe om 1 seconde te wachten tussen het aanvragen van een nieuwe stroom of spanning en het meten ervan.
- controleer indien de vochtigheid zich tussen 10% tot 70% bevindt;
- stel de 'niDCPower Aperture Time' in op 1 power-line-cycle (PLC) en de 'niDCPower Aperture Time Units' in op PLC;
- vermijd grondlussen;
- stel waarden voor de PPS in op de standaard waarden indien ze niet gespecificeerd worden gedurende de kalibratieprocedure;
- voor de verificatieprocedure is een omgevingstemperatuur nodig van  $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ;
- voor de aanpassingsprocedure is een omgevingstemperatuur nodig van  $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

## 2.2 Verificatie

Om na te gaan indien de PXIe-4112 binnen de specificaties valt moet er een verificatie gebeuren. Deze verificatie bestaat uit verschillende stappen die ieder één bepaald aspect van de PXIe-4112 toetsen. In paragraaf 2 wordt gesproken over een eerste en een tweede verificatie. Deze twee verificaties verlopen volgens het zelfde principe en daarom zullen deze twee verificaties samen besproken worden. Het enige verschil tussen beide verificaties is dat de eerste wordt uitgevoerd voordat de kalibratieconstanten gewijzigd zijn. De tweede daarentegen wordt uitgevoerd nadat de kalibratieconstanten gewijzigd zijn.

### 2.2.1 Uitgangsspanning verificatie

Om te verifiëren of de uitgangsspanning voldoet aan de vereisten zoals beschreven in paragraaf 1.2.1 wordt de schakeling intern op de PCB verwezenlijkt zoals weergegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1: Spanningsverificatie diagram [8]

Nadat de schakeling verwezenlijkt is op de PCB worden volgende stappen overlopen met behulp van tabel 1 om te controleren of de werkelijke uitgangsspanning overeenkomt met de gevraagde uitgangsspanning:

1. Stel het eerste niveau bereik, limiet bereik en limiet in op de PXIe-4112.
2. Vraag de eerste spanning/testpunt op.
3. Meet de uitgangsspanning op met de PXI-4071.
4. Controleer of de gevraagde spanning binnen de specificaties van de PXIe-4112 valt.

De laatste stap gebeurt met behulp van formule 1.

$$\text{Limieten} = \text{Testpunt} \pm (|\text{Testpunt}| \% \text{ van Spanning} + \text{Afwijking}) \quad (1)$$

Indien de gemeten spanning dan ligt tussen de boven- (+) en onderlimiet (-) kan gezegd worden dat de PXIe-4112 slaagt voor deze test. Formule 1 is direct afkomstig uit het feit dat de effectieve spanning slechts  $\pm(0.12 \% + 55 \text{ mV})$  mag afwijken van de aangevraagde spanning [4].

Tabel 1: Uitgangsspanning verificatie [8]

Niveau Bereik	Limiet Bereik en Limiet	Testpunt	Test Limieten (% van Spanning + Afwijking)
60V	1A	0.1V	0.12% + 55 mV
		60V	

### 2.2.2 Spanningsmeting verificatie

De PXIe-4112 kan spanningen zeer nauwkeurig terugmeten zoals beschreven staat in paragraaf 1.2.1. Om deze specificaties te blijven garanderen moet ook dit aspect geverifieerd worden. Dit wordt gedaan door dezelfde schakeling op te bouwen op het loadboard als bij de uitgangsspanning verificatie. Dit schema is terug te vinden in figuur 2.1. Nadat de schakeling opgebouwd is worden er verschillende spanningen opgevraagd aan de PXIe-4112. Deze spanningen worden dan gemeten door de PXIe-4112 en de PXI-4071. Concreet worden met behulp van tabel 2 de volgende stappen doorlopen:

1. Stel het eerste niveau bereik, limiet bereik en limiet in op de PXIe-4112.
2. Vraag de eerste spanning/testpunt op
3. Meet uitgangsspanning op met de PXIe-4112 en PXI-4071 en controleer of deze binnen de specificaties valt.
4. Herhaal vorige stappen voor ieder testpunt.

De controle van als de PXIe-4112 binnen de specificaties valt gebeurt door een onder- en bovenlimiet te berekenen met behulp van formule 2.

$$\text{Limieten} = \text{Spanning DMM} \pm (|\text{Spanning DMM}| \cdot \% \text{ van Spanning} + \text{afwijking}) \quad (2)$$

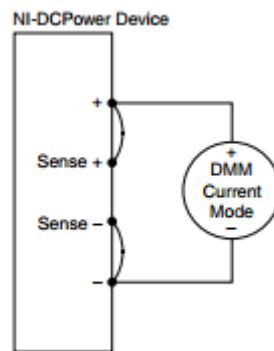
Als de spanning gemeten door de PXIe-4112 valt binnen de limieten slaagt de PXIe-4112 voor de test.

Tabel 2: Spanningsmeting verificatie [8]

Niveau Bereik	Limiet Bereik en Limiet	Testpunt	Test Limieten (% van Spanning + Afwijking)
60V	1A	0.1V	0.10% + 50 mV
		60V	

### 2.2.3 Uitgangsstroom verificatie

Om te verifiëren of de uitgangsstroom voldoet aan de specificaties wordt de schakeling opgebouwd zoals weergegeven in figuur 2.2.



Figuur 2.2: Stroom Verificatie Diagram [8]

Hierna worden volgende stappen overlopen met behulp van tabel 3:

1. Stel het eerste niveau bereik, limiet bereik en limiet in op de PXIe-4112.
2. Vraag de eerste stroom/testpunt op.
3. Meet de uitgangsstroom op met de PXI-4071.
4. Controleer of de gevraagde stroom binnen de specificaties van de PXIe-4112 valt.
5. Herhaal vorige stappen voor ieder testpunt.

De controle van als de PXIe-4112 binnen de specificaties valt gebeurt door een onder- en bovenlimiet te berekenen met behulp van formule 3.

$$\text{Limieten} = \text{Testpunt} \pm (|\text{Testpunt}| \cdot \% \text{ van Stroom} + \text{Afwijking}) \quad (3)$$

Als de stroom gemeten door de PXIe-4112 binnen de limieten valt slaagt de PXIe-4112 voor de test.

Tabel 3: Uitgangsstroom verificatie [8]

Niveau Bereik	Limiet Rereik en Limiet	Testpunt	Gevonden Testlimiet (% van Stroom + Afwijking)
1A	60V	0.1A	0.15% + 10 mA
		1A	



### 2.2.4 Stroommeting verificatie

Door een aantal testpunten/stromen aan de uitgang van de PXIe-4112 aan te leggen en deze op te meten met de PXI-4071 kan de stroommeting functie van de PXIe-4112 gecontroleerd worden. Dit gebeurt met behulp van tabel 4 en door de volgende stappen te doorlopen:

1. Stel het eerste niveau bereik, limiet bereik en limiet in op de PXIe-4112.
2. Vraag de eerste stroom/testpunt op
3. Meet de uitgangsstroom op met de PXIe-4112 en PXI-4071 en controleer of deze binnen de specificaties valt.
4. Herhaal vorige stappen voor ieder testpunt.

De controle van als de PXIe-4112 binnen de specificaties valt gebeurt door een onder- en bovenlimiet te berekenen met behulp van formule 4.

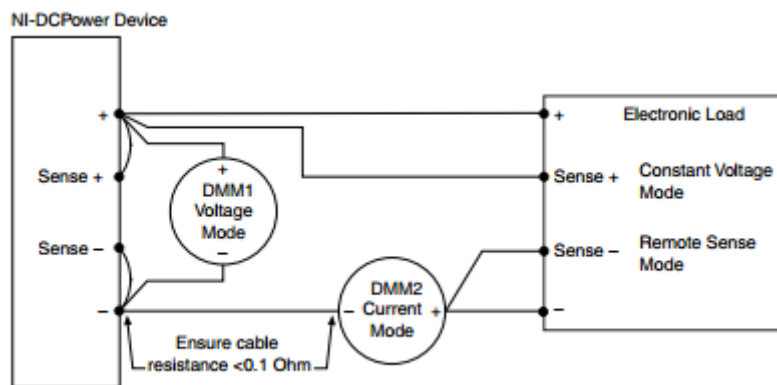
$$\text{Limieten} = \text{Stroom DMM} \pm (|\text{Stroom DMM}| \cdot \% \text{ van Stroom} + \text{Afwijking}) \quad (4)$$

Als de stroom gemeten door de PXIe-4112 valt binnen de limieten slaagt de PXIe-4112 voor de test.

Tabel 4: Stroommeting verificatie [8]

Niveau Bereik	Limiet Bereik en Limiet	Testpunt	Testlimieten (% van Stroom + Afwijking)
1A	60V	0.1A	0.15% + 4 mA
		1A	

### 2.2.5 Spanningsbelastingregeling verificatie



Figuur 2.3: Spanningsbelasting connectie diagram [8]

Door de PXIe-4112 te gebruiken in constante spanningsmodus kan geverifieerd worden of de spanningsverandering aan de uitgang binnen de berekende limieten valt indien de belastingsstroom wordt gevarieerd. Merk op dat deze test enkel en alleen mag worden uitgevoerd nadat de uitgangsstroom en stroommeting van de PXIe-4112 zijn geverifieerd. Nadat de schakeling is opgebouwd zoals weergegeven in figuur 2.3 wordt met behulp van tabel 5 volgende stappen uitgevoerd:

1. Stel de programmeerbare belasting in op de eerste waarde van de tabel (belasting 1).
2. Stel het eerste niveau bereik, limiet bereik en limiet in op de PXIe-4112.
3. Stel het eerste testpunt op de PXIe-4112 in.

4. Meet de uitgangsspanning met behulp van  $DMM_1$  en sla deze op.
5. Meet de stroom met behulp van  $DMM_2$  en sla deze op.
6. Stel de programmeerbare belasting in op belasting 2 en herhaal de vorige stappen.

Nadat deze stappen zijn overlopen kunnen de spanningsbelasting regulatie limieten berekend worden met behulp van formule 5:

$$\text{Limieten} = \pm(I_1 - I_2) \cdot 0.012 \text{ V/A} \quad (5)$$

De spanningsverandering kan berekend worden met formule 6:

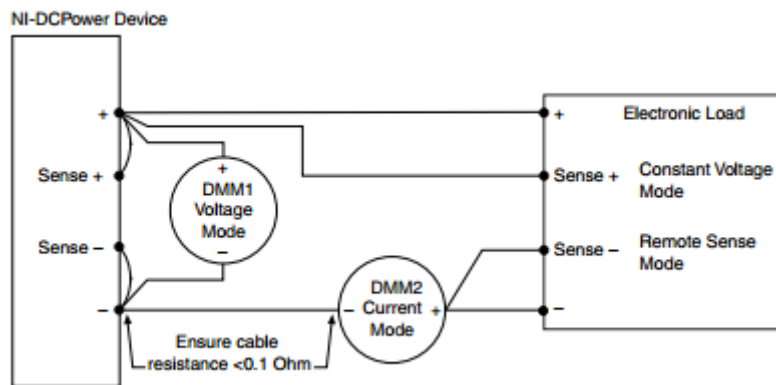
$$\text{Spanningsverandering} = V_1 - V_2 \quad (6)$$

Indien de spanningsverandering binnen de limieten valt slaagt de PXIe-4112 op deze test.

Tabel 5: Spanningsbelasting regulatie verificatie [8]

Niveau Bereik	Limiet Bereik en Limiet	Testpunt	Belasting 1	Belasting 2
60V	1A	60V	0.1A	0.9A

### 2.2.6 Stroom belastingregeling verificatie



Figuur 2.4: Stroom belasting connectie diagram [8]

Door de PXIe-4112 te gebruiken in de constante stroom modus kan geverifieerd worden of de stroomverandering aan de uitgang binnen de berekende limieten valt indien de belastingspanning wordt gevarieerd. Merk op dat deze test enkel en alleen mag worden uitgevoerd nadat de uitgangsstroom en stroommeting van de PXIe-4112 geverifieerd zijn. Nadat de schakeling is opgebouwd zoals weergegeven in figuur 2.4 worden de volgende stappen uitgevoerd met behulp van tabel 6:

1. Stel de programmeerbare belasting in op de eerste waarde van de tabel (belasting 1).
2. Stel het eerste niveau bereik, limiet bereik en limiet in op de PXIe-4112.
3. Stel het eerste testpunt op de PXIe-4112 in.
4. Meet de uitgangsspanning met behulp van  $DMM_1$  en sla deze op.
5. Meet de stroom met behulp van  $DMM_2$  en sla deze op.
6. Stel de programmeerbare belasting in op belasting 2 en herhaal de vorige stappen.

Nadat deze stappen zijn overlopen kunnen de stroom belastingregeling limieten berekend worden met behulp van formule 7:

$$\text{Limieten} = (V_1 - V_2) \cdot 0.0000032 \text{ A/V} \quad (7)$$

De stroomverandering kan berekend worden met formule 8:

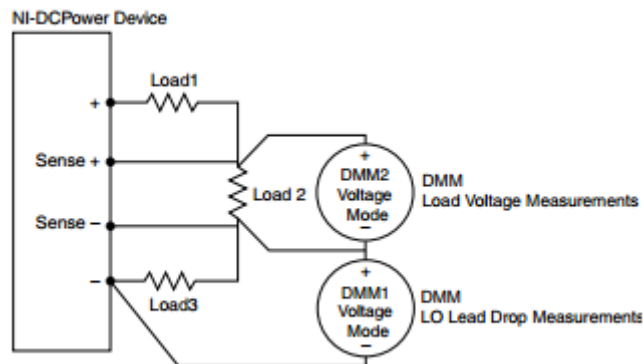
$$\text{Stroomverandering} = I_1 - I_2 \quad (8)$$

Indien de stroomverandering valt binnen de limieten slaagt de PXIe-4112 op deze test.

Tabel 6: Stroom belastingregeling verificatie [8]

Niveau Bereik	Limiet Bereik en Limiet	Testpunt	Belasting 1	Belasting 2
1A	60V	1A	6V	54V

### 2.2.7 Uitgangsspanning remote sense nauwkeurigheid verificatie



Figuur 2.5: Uitgangsspanning remote sense connectiediagram [8]

Om de spanning remote sense nauwkeurigheid verificatie te verifiëren wordt het schema opgebouwd zoals beschreven in figuur 2.5. Merk op dat de spanning remote sense nauwkeurigheid enkel getest mag worden indien de PXIe-4112 vorige tests doorlopen heeft. Nadat het schema is opgebouwd worden de volgende stappen uitgevoerd met behulp van tabel 7 om de uitgangsspanning remote sense nauwkeurigheid te verifiëren:

1. Stel het eerste niveau bereik, limiet bereik en limiet in op de PXIe-4112.
2. Stel het eerste testpunt op de PXIe-4112 in.
3. Meet de spanningsval over de belasting met  $DMM_1$  en sla deze spanningsval op als "lead drop".
4. Meet de spanning over belasting 2 met  $DMM_2$  en sla deze spanning op als "belastingsspanning".

Indien geldt dat de belastingsspanning binnen de testlimieten valt zoals beschreven in tabel 7 slaagt de PXIe-4112 voor de test.

Tabel 7: Uitgangsspanning remote sense verificatie [8]

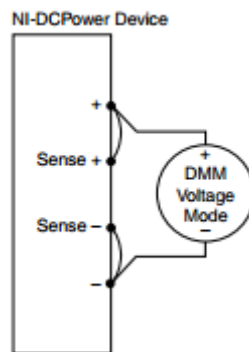
Niveau Bereik	Limiet Bereik en Limiet	Testpunt	Belasting 1	Belasting 2	Belasting 3	Spanning Remote Sense testlimiet	Minimum lead drop
60V	1A	10V	50 $\Omega$	1 k $\Omega$	50 $\Omega$	0.12 % + 55 mV	$\geq 0.4V$

## 2.3 Aanpassingsstap en de tweede verificatie

De laatste stap om de PXIe-4112 binnen de specificaties te doen vallen is de aanpassingsstap. In deze stap worden de volgende eigenschappen van de PXIe-4112 aangepast:

- Spanningsprogramatie en -meting
- Stroomprogramatie en -meting

### 2.3.1 Spanningsaanpassing



Figuur 2.6: Spanningsaanpassings diagram [8]

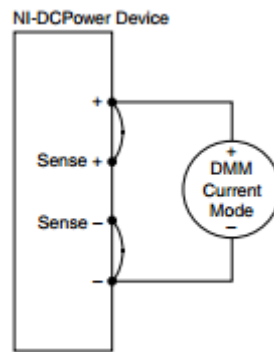
In deze stap wordt de spanningsprogramatie en -meting getest. Dit wordt gedaan door volgende stappen uit te voeren met behulp van tabel 8:

1. Bouw het circuit op met behulp van figuur 2.6
2. Stel het eerste niveau bereik, limiet bereik en limiet in op de PXIe-4112.
3. Vraag het eerste testpunt op.
4. Voer een spanningsmeting uit met de PXIe-4112 en de DMM.
5. Sla deze waarden op en gebruik deze als input voor de 'niDCPower Cal Adjust VI'.
6. Herhaal de vorige drie stappen voor ieder testpunt.
7. Update de meting kalibratieconstanten met behulp van de 'niDCPower Cal Adjust Voltage Measurement VI'.
8. Update de output kalibratieconstanten met behulp van de 'niDCPower Cal Adjust Voltage Level VI'.

Tabel 8: Waarden spanningsaanpassingsstap [8]

Niveau Bereik	Limiet Bereik en Limiet	Testpunt
60V	1A	1.0V
		60V

### 2.3.2 Stroomaanpassing



Figuur 2.7: Stroomaanpassings diagram [8]

Om de stroomprogrammatie en -meting te testen moeten volgende stappen worden uitgevoerd met behulp van tabel 9:

1. Bouw het circuit op met behulp van figuur 2.7
2. Stel het eerste niveau bereik, limiet bereik en limiet in op de PXIe-4112.
3. Vraag het eerste testpunt op.
4. Voer een stroommeting uit met de PXIe-4112 en de DMM.
5. Sla deze waarden op en gebruik deze als input voor de 'niDCPower Cal Adjust VI'.
6. Herhaal de vorige drie stappen voor ieder testpunt.
7. Update de meting kalibratieconstanten met behulp van de 'niDCPower Cal Adjust Current Measurement Vi'.
8. Update de output kalibratieconstanten met behulp van de 'niDCPower Cal Adjust Current Level Vi'.

Tabel 9: Waarden stroomaanpassingsstap [8]

Niveau Bereik	Limiet Bereik en Limiet	Testpunt
1A	60V	0.1A
		1A

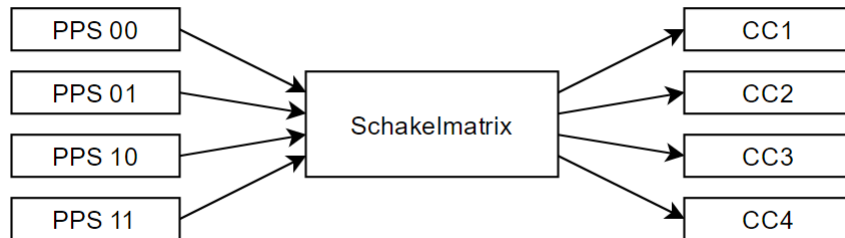
### 2.3.3 Beëindigen aanpassingstap en de tweede verificatie

Nadat de kalibratieconstanten zijn aangepast moet de kalibratiesessie gesloten worden. Dit gebeurt met behulp van de 'niDCPower Close External Calibration Vi'. Na het sluiten van de kalibratiesessie begint de tweede verificatie. Deze is identiek aan de eerste verificatie en zal niet meer besproken worden. Normaal zou de PXIe-4112 deze tweede verificatie niet mogen falen omdat de kalibratieconstanten gecorrigeerd zijn. Indien dit wel zo is moet nagekeken worden of alle omgevingsvariabelen correct zijn zoals beschreven in paragraaf 2.1. Indien aan alle eisen voldaan is en de kalibratie nog niet slaagt dient de PPS terug opgestuurd te worden naar NI voor reparatie.



### 3 PCB ontwerp

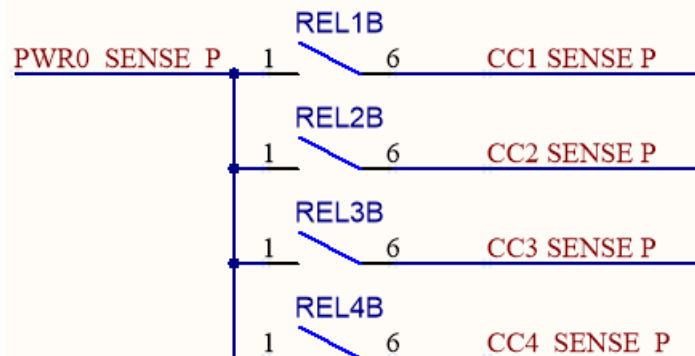
In figuur 3.1 is een schematisch overzicht terug te vinden van de opbouw van de PCB. De hoofdonderdelen van de PCB zijn de schakelmatrix en de verificatie- en kalibratiecircuits CC1 tot 4. De verschillende PPS en hun kanalen worden in dit schema aangeduid met PPS gevolgd door twee getallen. Het eerste getal duidt de PPS aan en het tweede het kanaal. Zo duidt PPS 00 het eerste kanaal van de eerste PPS aan.



Figuur 3.1: Overzicht PCB ontwerp

#### 3.1 Schakelmatrix

De schakelmatrix heeft als functie om de verschillende connecties van beide kanalen van iedere PPS te verbinden met de juiste kalibratie- en verificatiecircuits. Om deze verbinding te voltooien zijn er verschillende mogelijkheden. Zo is het mogelijk om voor ieder kanaal van iedere PPS een apart kalibratiecircuit op te bouwen. Maar dit design zou te veel (beperkte) plaats op de PCB in beslag nemen. Daarom is er gekozen voor een systeem die voor iedere test slechts één circuit voorziet en de verschillende PPS kanalen verbindt met ieder circuit. Dit is mogelijk door gebruik te maken van meerdere relais. Een schematisch overzicht van dit design, die de positieve sense connectie van één kanaal van één PPS verbindt met de 4 circuits, is terug te vinden in figuur 3.2. In deze figuur worden positieve sense netten van de 4 kalibratiecircuits voorgesteld door CC1 tot 4 Sense P.



Figuur 3.2: Werking schakelmatrix

De werking zelf van deze schakeling is eenvoudig. Door relais 1B te sluiten, en de andere drie relais te openen, wordt de positieve sense connectie van één PPS verbonden met het kalibratiecircuit CC1. Voor de positieve/negatieve force- en de negatieve sense connecties van deze PPS wordt hetzelfde principe gehanteerd. Deze methode heeft ook als voordeel dat er per connectie van de PPS en de kalibratiecircuits slechts één parasitaire contactweerstand geïntroduceerd wordt. Om de geschikte relais te kiezen voor deze matrix moesten de relais voldoen aan verschillende eisen die rechtstreeks afgeleid worden uit de kalibratieprocedure, zoals beschreven in paragraaf 2, en de hardware die ter beschikking staat. Zo moesten de relais tweepolig zijn, in staat zijn om stromen van minimaal 1A te verdragen en schakelbaar zijn met de DIO kaart die zich in de PXI bevindt. De relais die aan deze eisen voldeed was deze van Pickering met

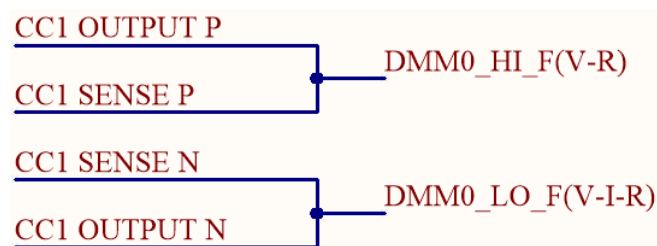
het typenummer 109-2-A-5/2D. Deze relais zijn namelijk tweepolig, kunnen een stroom verdragen van 1.2A, worden geschakeld met 5V en hebben een spoelweerstand van  $375\Omega$ . De spoelweerstand van  $375\Omega$  en de schakelspanning van 5V wijst erop dat deze relais slechts een stroom nodig hebben van  $5V/375\Omega \approx 13.3$  mA wat dus geen enkel probleem is voor de DIO kaart van de PXI die 24 mA kan leveren of sinken bij een spanning van 5V [7]. Andere gunstige eigenschappen van deze relais zijn de lage contactweerstand van  $0.14\Omega$  en de kleine voetafdruk. Deze relais zijn namelijk verpakt in een single in-line package met een breedte, lengte en hoogte van respectievelijk 3.7 mm, 15.1 mm en 8.9 mm [12]. Al deze gunstige eigenschappen maakten deze relais een uitstekende kandidaat voor de PCB.

### 3.2 Kalibratie- en verificatie circuits

Om de kalibratieprocedure van de PPS tot een goed einde te brengen zijn de verschillende circuits besproken in paragraaf 2 herleid tot 4 circuits op de PCB.

#### 3.2.1 Uitgangsspanning en spanningsmeting verificatie en kalibratie

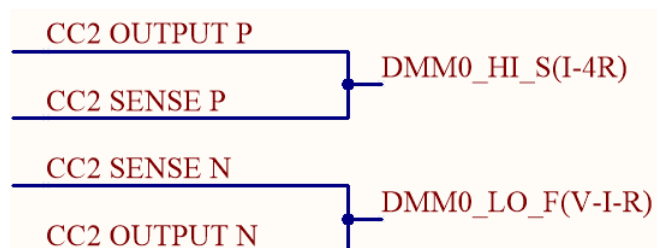
In figuur 3.3 is de schakeling te zien die gebruikt wordt voor zowel de kalibratie als de verificatie van de uitgangsspanning. Deze schakeling is volledig conform aan de schakeling beschreven in paragraaf 2.2 en draagt de naam CC1. CC1 OUTPUT P, CC1 SENSE P, CC1 SENSE N en CC1 OUTPUT N zijn de namen van de netten waar respectievelijk de positieve force, positieve sense, negatieve sense en negatieve force connecties aan worden gekoppeld van de verschillende kanalen van de PPS door de schakelmatrix. Merk op dat bij deze schakeling de DMM, die aangegeven wordt door de netten DMM0\_HI\_F(V-R) en DMM0\_LO\_F(V-I-R), losgekoppeld wordt door gebruik maken van de schakelmatrix. De DMM zelf zit als het ware vast in het circuit om onnodige parasitaire weerstanden van de relais te vermijden.



Figuur 3.3: Uitgangsspanning/Spanningsmeting schematic op PCB

#### 3.2.2 Uitgangsstroom en stroommeting verificatie en kalibratie

Om de uitgangsstroom te verifiëren en te kalibreren wordt er gebruik gemaakt van de schakeling die afgebeeld staat in figuur 3.4. Deze schakeling draagt de naam CC2 en heeft net als CC1 een DMM die enkel en alleen los te koppelen is door gebruik te maken van de schakelmatrix. Het grote verschil tussen CC1 en CC2 is natuurlijk dat bij CC1 de DMM parallel geschakeld in tegenstelling tot CC2 waar de DMM in serie geschakeld staat.

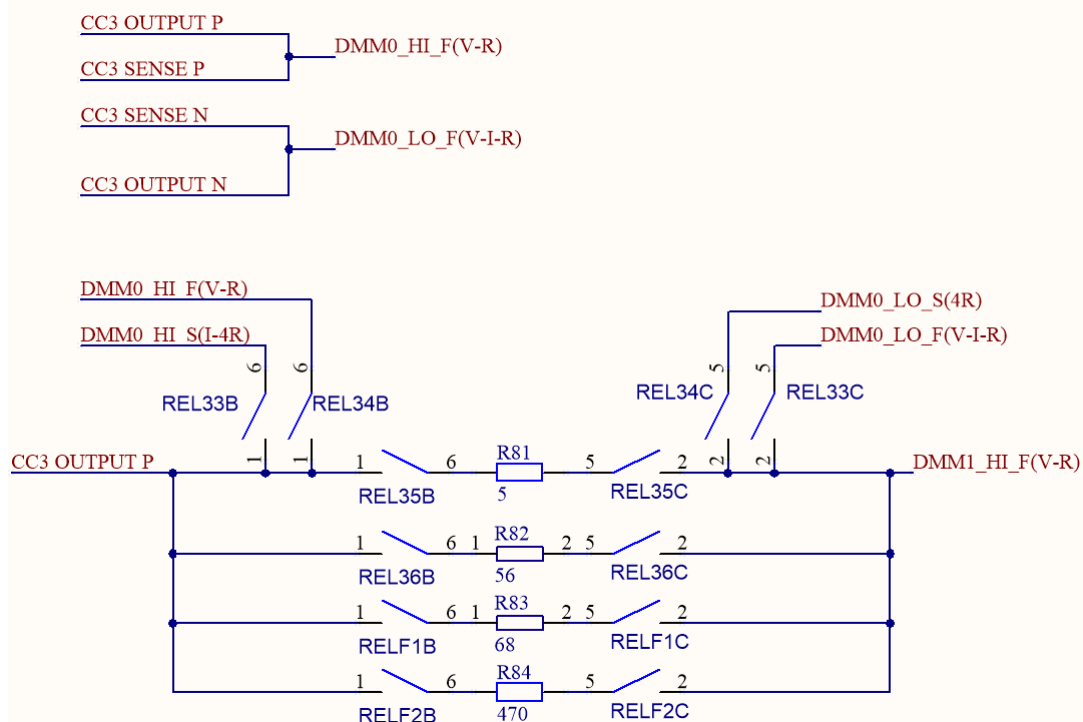


Figuur 3.4: Uitgangsstroom en stroommeting schematic op PCB



### 3.2.3 Stroom en spanning belastingregeling

Voor de stroom en spanning belastingregeling werd het circuit gebruikt dat zichtbaar is in figuur 3.5. Wat meteen opvalt is dat deze schakeling niet conform is aan het circuit zoals beschreven in de kalibratiehandleiding en in paragraaf 2.2. Dit komt doordat er gebruik gemaakt wordt van normale vermogenweerstand in plaats van een programmeerbare belasting. Deze keuze lag voor de hand omdat er niet op iedere Melexis site programmeerbare belastingen aanwezig zijn. Een andere factor was dat een programmeerbare belasting niet geïntegreerd kan worden op een PCB wat het doel van deze masterproef tegenwerkt. Maar deze keuze is niet optimaal want de programmeerbare belasting wordt normaal gebruikt omdat deze in staat is om exact hetzelfde verdrag te vertonen bij zowel lage spanningen/stromen als bij hoge spanningen/stromen. Dit gedrag is mogelijk doordat eventuele verliezen, zoals een spanningsval over de kabels, worden weggewerkt. Een vermogenweerstand heeft deze eigenschappen natuurlijk niet. Een ander negatieve effect van de vermogenweerstand is dat de weerstand fluctueert naarmate de temperatuur toe- of afneemt. Deze toename van temperatuur en de bijhorende verandering van weerstand is een logisch gevolg van de hoge vermogens die de weerstand dient te dissiperen. Merk wel op dat deze verandering van de weerstandswaarde zeer beperkt is door de aard van de verificatie want zo stroomt de hoge stroom maar voor een zeer korte periode door de weerstand. Alhoewel de weerstandswaarde zeer beperkt verandert verliest deze verificatiestap toch enige nauwkeurigheid doordat de belasting/vermogenweerstand niet exact hetzelfde gedrag vertoont bij de lage stroom/spanning en hoge stroom/spanning als de programmeerbare belasting. Maar dit is geen probleem omdat deze stap louter indicatief gebruikt zal worden omdat tijdens de aanpassingsstap van de kalibratie de parameters die invloed hebben op de belastingregeling niet aangepast kunnen worden.



Figuur 3.5: Current/Voltage belastingregeling schematic op PCB

Om de werking van het circuit uit te leggen wordt eerst gekeken naar DMM0. Deze DMM, aangeduid met de netten DMM0\_HI\_F(V-R) en DMM0\_LO\_F(V-I-R), wordt gebruikt om de spanning over de output van de PPS te meten. Om de stroom te meten werd er gebruik gemaakt van DMM1. Deze wordt normaal gekenmerkt door de netten DMM1\_HI\_F(V-R) en DMM1\_LO\_F(V-I-R). Maar wat meteen opvalt is dat het net DMM1\_LO\_F(V-I-R) niet aanwezig is. Dit komt doordat deze over het hoofd werd gezien. De oplossing voor dit probleem was om de netten manueel door te verbinden met behulp van een kabel die gesoldeerd werd en de juiste netten met elkaar verbond. Deze fout werd ook meteen rechtgezet in de

schematics. Om de juiste belasting aan te leggen worden de weerstanden R81 tot 84 geschakeld met behulp van de bijhorende relais. R81 tot 82 worden gebruikt voor de stroom belastingregeling en R83-84 voor de spanning belastingregeling. De waarden zijn zodanig gekozen dat ze het volledig bereik van de PPS overbruggen en zo een juiste indicatie van de belastingregeling weergeven. De keuze wordt ook verduidelijkt met enkele berekeningen in de volgende paragraaf.

### Berekening vermogenweerstand

Voor de berekening van de weerstanden R81 en R82, die gebruikt worden voor de stroom belastingverificatie, zegt de kalibratiehandleiding dat er twee belastingen moeten zijn die een spanningsval van 6V en 54V veroorzaken bij een testpunt van 1A. Dit betekent dus dat het verschil in spanningsval tussen beide belastingen 48V moet bedragen. In theorie zou dit perfect gaan met behulp van een programmeerbare belasting. Maar zoals in paragraaf 3.2.3 reeds vermeld werd is het gebruik van een programmeerbare belasting niet mogelijk. Daarom wordt er gekozen voor vermogenweerstand die ongeveer hetzelfde verschil in spanningsbereik veroorzaken. Voor R81 werd de waarde van 5  $\Omega$  gekozen omdat:

$$V_{81} = R_{81} \cdot I_{test} = 5\Omega \cdot 1A = 5V$$

Deze spanningsval van 5V over de weerstand R81 is lager dan de voorgeschreven waarde van 6V in de kalibratiehandleiding. Hierdoor wordt het bereik van de verificatie verhoogd. Het vermogen dat deze weerstand dient te dissiperen kan ook eenvoudig berekend worden:

$$P_{81} = V_{81} \cdot I_{81} = 5V \cdot 1A = 5W.$$

Voor R82 kan dezelfde redenering gevolgd worden en werd er een waarde van 56  $\Omega$  gekozen. De spanningsval en vermogendissipatie die hierdoor ontstaat bedraagt respectievelijk 56V en 56W. Het totale spanningsbereik dat hierdoor overbrugt wordt bedraagt dan:

$$56V - 5V = 51V$$

Dit is een breder spanningsbereik dan de voorgeschreven 48V in de kalibratiehandleiding.

De twee andere weerstanden R83 en R84, die gebruikt worden voor de spanning belastingregeling verificatie, kunnen bepaald worden door rekening te houden met het feit dat er voor deze test het testpunt een constante spanning van 60V is bij een belasting van 0.1A en 0.9A. Voor R83 werd er dan de waarde van 68  $\Omega$  gekozen omdat:

$$I_{83} = \frac{V_{83}}{R_{83}} = \frac{60V}{68\Omega} \approx 0.88A$$

De vermogendissipatie van R83 kan als volgt berekend worden:

$$P_{83} = V_{83} \cdot I_{83} = 60V \cdot 0.88A \approx 52.9W.$$

Voor R82 werd de waarde van 470  $\Omega$  gekozen door dezelfde redenering te volgen als R81. De stroom door R81 bedraagt dan  $\approx 126mA$  en de vermogendissipatie  $\approx 7.7W$ . Het totale stroombereik kan dan ook bepaald worden:

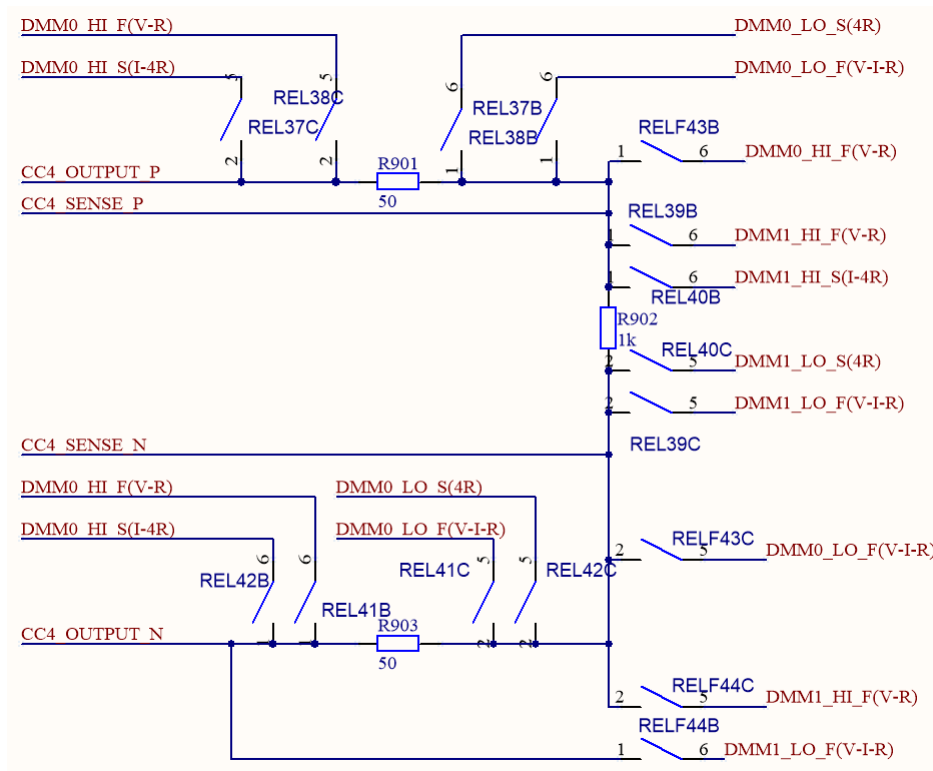
$$0.88A - 0.126A \approx 0.76A$$

Dit is een iets kleiner bereik dan de voorgescheven 0.8A in de kalibratiehandleiding.

### 3.2.4 Spanning remote sense verificatie

Om de spanning remote sense te verifiëren wordt er gebruik gemaakt van het schema wat zichtbaar is in figuur 3.6. Dit schema draagt de naam CC4 en is volledig conform met het schema wat besproken wordt in paragraaf 2.2. De twee weerstanden R901 en R903 zijn weerstanden die gebruikt worden om een extra

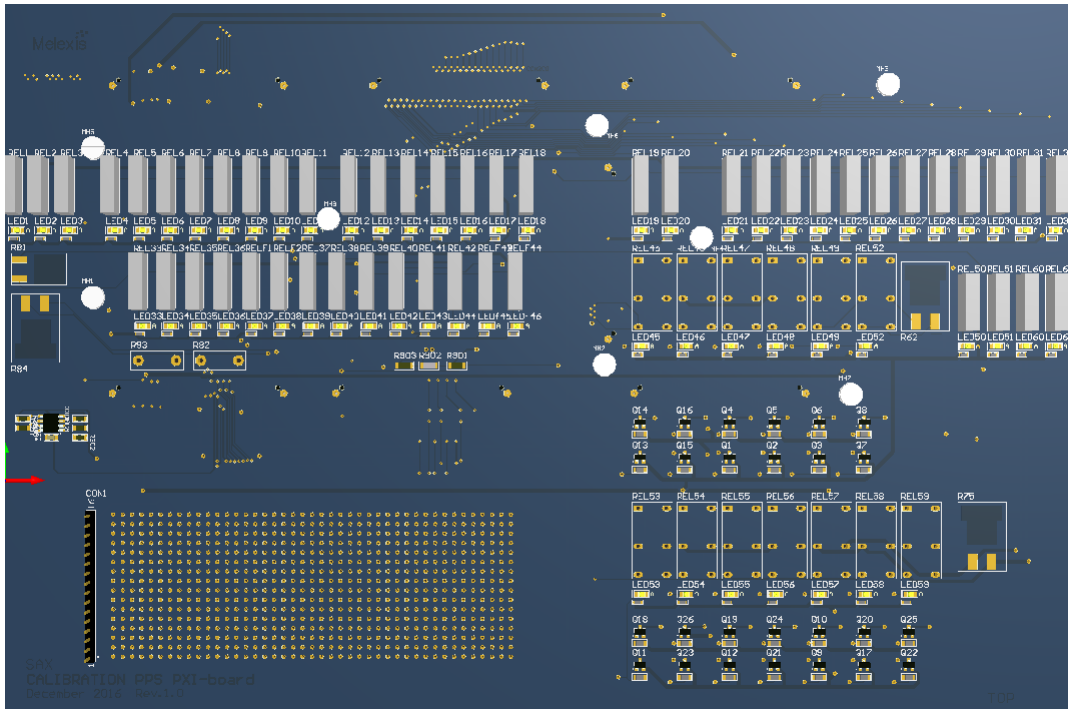
spanningsval te genereren die de PPS moet compenseren. Deze twee weerstanden hebben een waarde van  $50 \Omega$ , een tolerantie van  $0.1\%$  en zijn in staat om een vermogen te dissiperen van  $1/8W$ . De weerstand R902 met een waarde van  $1 \text{ k}\Omega$  is de eigenlijke belasting waar de volledige spanning over dient te staan die ingesteld wordt zoals beschreven in paragraaf 2.2. Deze weerstand heeft ook een tolerantie van  $0.1\%$  en kan een vermogen dissiperen van  $1/4W$ . De keuze van deze weerstanden ligt voor de hand omdat de specificaties van al deze weerstanden beschreven staan in de kalibratiehandleiding. Dit circuit werkt door de relais RELF43 en RELF44 te sluiten. Hierdoor worden respectievelijk DMM0 en DMM1 verbonden aan het circuit en kunnen de twee DMM de twee spanningsmetingen uitvoeren. De PPS worden uiteraard ook hier verbonden aan CC4 door gebruik te maken van de schakelmatrix. Wat ook opvalt is dat er nog meerdere relais aanwezig zijn. Deze relais, REL37 tot 42, kunnen gebruikt worden om de weerstanden terug te meten.



Figuur 3.6: Spanning remote sense schematic op PCB

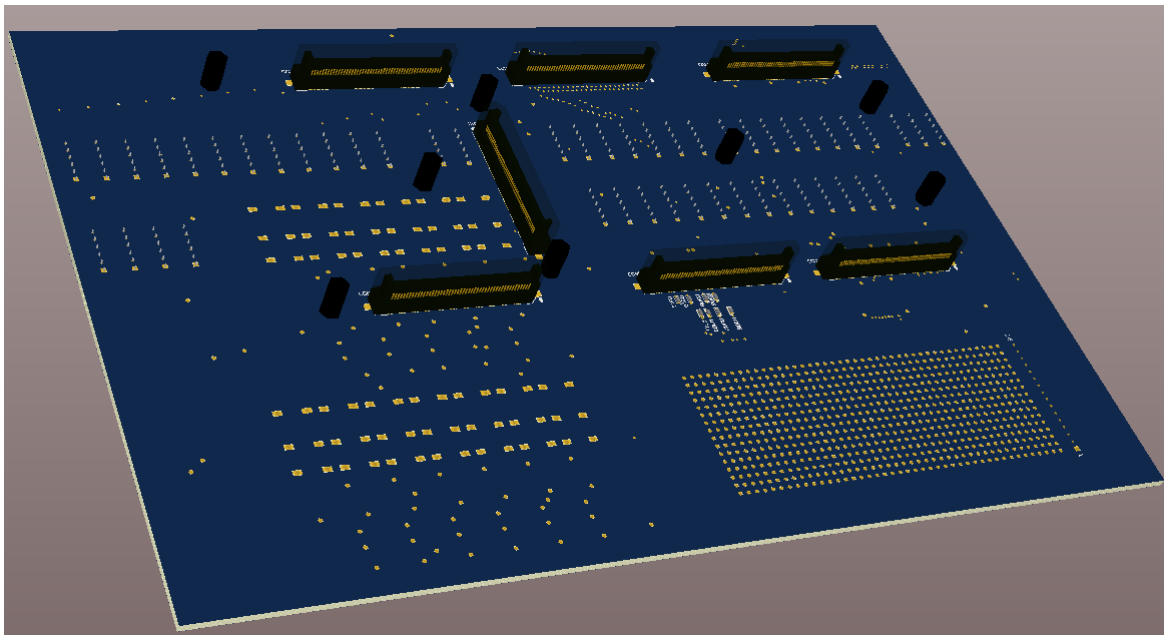
### 3.3 Hardware implementatie van PCB

Een 3D render van de PCB met voorgaande schema's geïmplementeerd is terug te vinden in figuur 3.7.

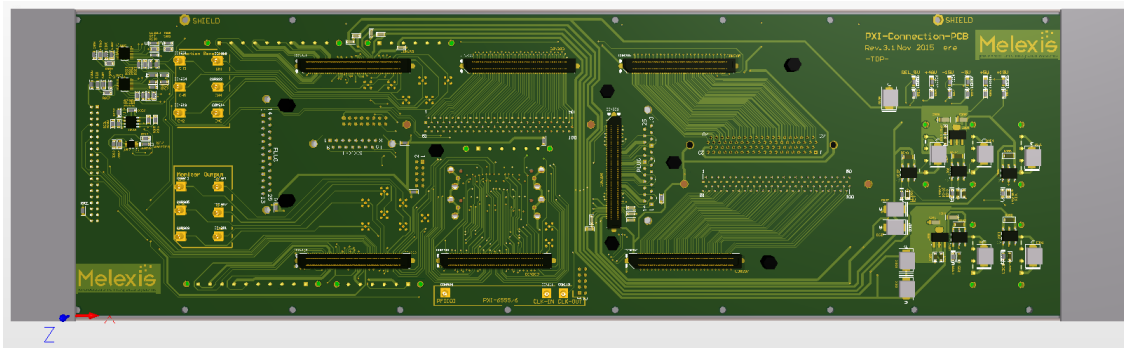


Figuur 3.7: Voorkant 3D render PCB

De PCB zichtbaar in figuur 3.7 is een vierlaags PCB van 288mm op 190mm met een koperdikte van  $35\mu m$ . Andere noemenswaardige eigenschappen van deze PCB zijn dat er meer dan 60 relais, 7096 banen, 1039 via's en 1580 pads aanwezig zijn. Wat ook opvalt is dat er naast iedere relais LED's geplaatst zijn. Deze LED's zorgen voor een visuele indicatie wanneer een relais schakelt. In de linkerhoek van de PCB zijn ook talloze via's geplaatst. Deze groep van via's wordt ook de "patch area" genoemd en dient om eventuele fouten in de PCB eenvoudig te corrigeren. Aan de achterkant van de PCB die zichtbaar is in figuur 3.8 zijn de 7 connectoren zichtbaar die dienen om de PCB te bevestigen aan de door Melexis ontworpen interface van de PXI. Deze connectoren verbinden de PCB rechtstreeks met PXI interface, die zichtbaar is in figuur 3.9, en dus ook met de PPS en de DMM.



Figuur 3.8: Achterkant 3D render PCB



Figuur 3.9: De PXI interface

### 3.4 Debuggen PCB

Naast de fout die in de PCB zat door een net te vergeten, zoals aangehaald werd in paragraaf 3.2.3 was er nog één grote fout in de PCB aanwezig. En omdat dit zeer veel tijd heeft gekost om deze te ontdekken wordt in deze paragraaf uitgelegd wat de fout was, hoe deze ontdekt werd en wat de oplossing was.

#### 3.4.1 De fout

Tijdens het testen van de PCB werd al zeer snel duidelijk dat er een kortsluiting in de PCB zat tussen de positieve- en negatieve uitgang van de PPS. Het feit dat het over deze twee uitgangen ging was duidelijk omdat indien er een spanning of stroom aangelegd werd de PPS meteen de stroom limiteerden, wat enkel en alleen kan gebeuren indien deze twee uitgangen kortgesloten zijn. Dit zorgde ervoor dat er geen enkele test mogelijk was. Er werd meteen gedacht dat de oorzaak van dit probleem een slecht gesoldeerde connector of relais was. Maar deze oorzaak werd snel uitgesloten want op de twee andere PCB's (er waren drie PCB's besteld) bleek deze fout ook aanwezig te zijn. De volgende logische oorzaak van het probleem was een ontwerpfout. Maar bij nadere inspectie van het ontwerp in Altium bleek hier totaal geen kortsluiting van de netten te zijn en werd ook deze oorzaak uitgesloten. De enigste mogelijke reden van dit probleem was dus een hardware fout in de PCB.

#### 3.4.2 Opsporen van de fout

Voor het vinden van de fout werden verschillende technieken toegepast. Zo werd eerst een grote stroom door de PCB gestuurd, waardoor de banen opwarmden. Daarna werd gekeken met behulp van een warmtecamera. Deze methode gaf gewoon een bevestiging van dat er een kortsluiting was maar niet waar deze zich precies bevond. Omdat er door het gebruik van een warmtecamera geen uitsluiting gegeven kon worden waar de fout zich bevond werd de hulp van een boormachine ingeroepen. Deze boormachine werd gebruikt om banen tussen de verschillende relais te onderbreken. Hierdoor bleek al snel dat indien de connectie tussen twee relais onderbroken werd het probleem zich enkel nog voordeed aan één van de twee relais. Dit proces werd herhaald totdat de fout zich enkel nog voordeed aan één relais, namelijk relais 19. Het bord wat gebruikt werd voor de fout te vinden is natuurlijk volledig onbruikbaar omdat er overal in geboord is.

#### 3.4.3 Oplossing

Nu om het probleem op te lossen op de PCB waarop alle componenten zich al bevonden werd relais 19 samen met zijn headers verwijderd en werden er gaten geboord door pin 1 en 2 die gekoppeld zijn aan de kortgesloten netten. Na het boren van de gaten werd er geverifieerd met een DMM dat de kortsluiting over de hele PCB verholpen was. Daarna werd een ander relais bevestigd op de patch area en werden pinnen van deze relais terug gekoppeld aan de juiste netten met behulp van kabels. Na het koppelen van de onderbroken netten was het hele probleem van de kortsluiting verholpen en konden de testen weer uitgevoerd worden.

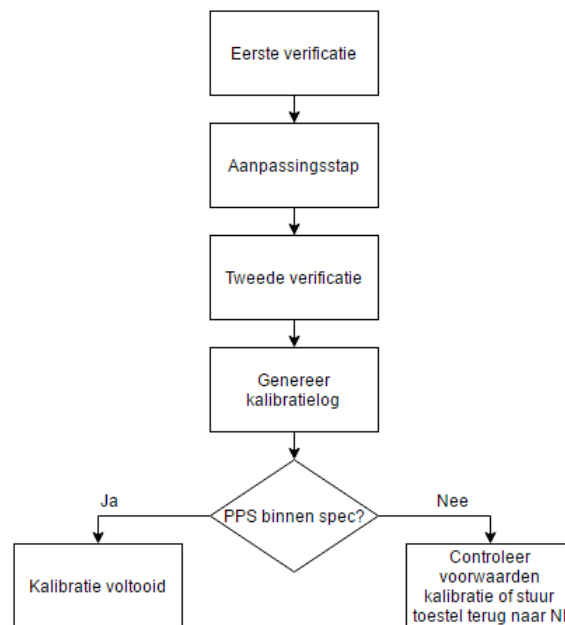


## 4 LabVIEW programma

Het LabVIEW programma stelt de gebruiker in staat om met één eenvoudige druk op de knop de volledige kalibratieprocedure te voltooien. Dit gebeurt doordat het programma de DIO kaart aanstuurt en zo de juiste relais aanstuurt bij iedere test. Naast het schakelen van de juiste relais, die de verschillende circuits opbouwen, en tussen de verschillende PPS voert het programma ook nog metingen uit die opgeslagen worden en nadien verwerkt worden in een kalibratierapport. Dit kalibratierapport, wat een Excel bestand is, geeft grafisch weer indien een test geslaagd is of niet. In deze sectie zal eerst een algemeen overzicht van de werking van het programma gegeven worden. Daarna wordt dieper ingegaan op de verschillende testen en hun opbouw. Tot slot zal de sequencer, die alle testen in de juiste volgorde uitvoert, het gegenereerde kalibratierapport en de grafische gebruikersinterface (GUI) besproken worden.

### 4.1 Werking programma

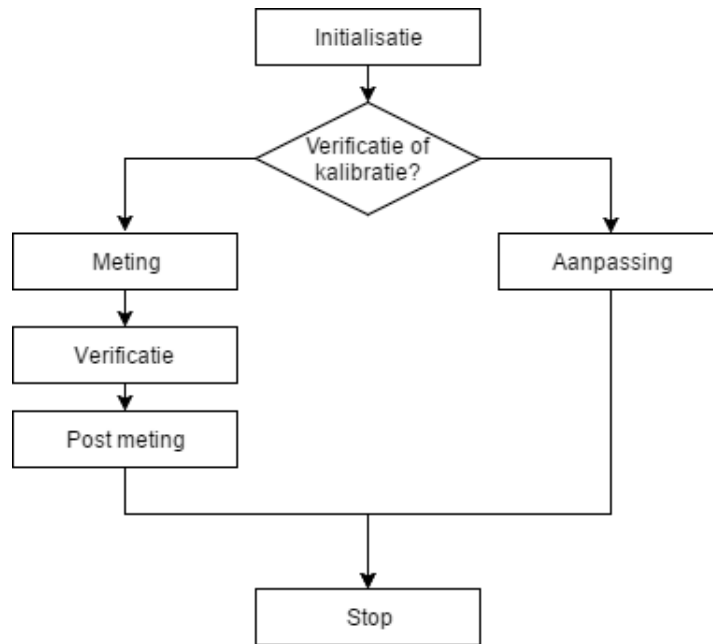
Een algemeen overzicht van de stappen die het programma doorloopt is te zien in figuur 4.1. In deze figuur is duidelijk te zien dat de testen volgens een vaste volgorde verlopen. Deze volgorde is niet willekeurig en is gebaseerd op de instructies van de kalibratieprocedure zoals reeds besproken werd in paragraaf 2.



Figuur 4.1: Flowchart van het LabVIEW programma

### 4.2 Testen

De verschillende testen die beschreven werden in paragraaf 2 zijn geïmplementeerd als finite state machines in LabVIEW. Hoewel er voor iedere test een afzonderlijke VI aangemaakt werd blijft de manier van uitvoering voor iedere test hetzelfde. De structuur van de finite state machines van iedere test is terug te vinden in figuur 4.2. Merk op dat de tak die er gevolgd wordt afhankelijk is als het over een verificatie- of kalibratietest gaat.



Figuur 4.2: Flowchart van de testen

#### 4.2.1 Initialisatie

Gedurende deze stap worden de instrumenten correct geconfigureerd door parameters zoals niveau, niveau bereik, limiet en limiet bereik in te stellen zoals beschreven in de kalibratiehandleiding [8]. Deze parameters verschillen voor iedere stap en dit is ook één van de redenen waarom er gekozen werd om iedere test als een afzonderlijke VI te implementeren.

#### 4.2.2 Meting

Tijdens deze stap wordt de eigenlijke test uitgevoerd. Dit gebeurt door voor ieder kanaal van iedere PPS de metingen uit te voeren die bij die gevraagde test gevraagd wordt. Om deze metingen uit te voeren worden de gevraagde spanningen en stromen aangelegd. Naast het aanleggen van de correcte stromen en spanningen wordt ook steeds de juiste schakeling opgebouwd die verschilt voor ieder kanaal. Dit gebeurt door de DIO kaart aan te sturen. Nadat deze stap is afgelopen worden de verschillende metingen opgeslagen en doorgegeven naar de volgende stap, de verificatiestap.

#### 4.2.3 Verificatie

De verificatiestap is verantwoordelijk voor het verifiëren of de kanalen van de verschillende PPS binnen de specificaties vallen. Dit wordt gedaan door de meting die binnenkomt te analyseren op basis van de voorwaarden beschreven in paragraaf 2.

#### 4.2.4 Post meting

Deze stap zorgt ervoor dat de VI een mooie output genereert die dan eenvoudig gebruikt kan worden om het kalibratierapport te genereren. Deze stap was niet noodzakelijk maar simplificeerde het proces voor de generatie van het kalibratierapport aanzienlijk.

#### 4.2.5 Aanpassing

De aanpassingsstap zorgt ervoor dat de kalibratieconstanten van de PPS aangepast worden zodat deze weer binnen de specificaties valt. Dit is een aparte subVI waarin de volledige aanpassingsprocedure doorlopen wordt. De subVI zelf is een kleine aanpassing op code die NI had voorzien nadat er contact werd gelegd omdat de aanpassingsstap niet werkte en ervoor zorgde dat de PPS niet meer binnen de



specificaties lagen. Na dit contact ging NI er vanuit dat de kaarten beschadigd waren en werden de kaarten en de software opgestuurd voor verder onderzoek. Maar na dit onderzoek bleek dat er niks aan de kaarten of de software was maar dat de aanpassingsstap van de kalibratie niet correct beschreven stond in de kalibratiehandleiding. Om deze fout recht te zetten voorzag NI een subVI die in staat was om één kanaal van één PPS te kalibreren. Deze code werd dan aangepast om ervoor te zorgen dat de juiste relais geschakeld werden en ieder kanaal van beide PPS gekalibreerd konden worden.

#### 4.2.6 Stop

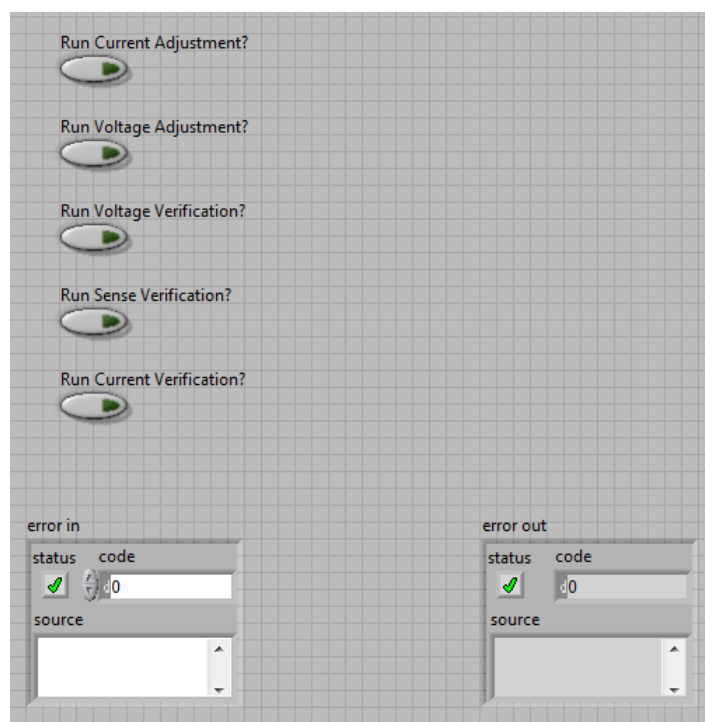
Deze stap zorgt ervoor dat er geen spanningen of stromen aan de output van de PPS staan door de output te disablen. Ook worden de contacten van de relais verbroken gedurende deze stap.

### 4.3 Sequencer

De sequencer is de voornaamste VI. Zo zorgt hij ervoor dat alle testen, zowel de verificatie- als de kalibratietesten, in de juiste volgorde worden doorlopen. Naast het doorlopen van de testen in de juiste volgorde zorgt hij er ook voor dat alle sessies van de verschillende meetinstrumenten in het begin van de kalibratieprocedure worden geopend en op het einde van de kalibratieprocedure worden gesloten. Deze VI is de standaard die Melexis gebruikt voor testen te runnen en is op zich ook een (zeer) uitgebreide finite state machine.

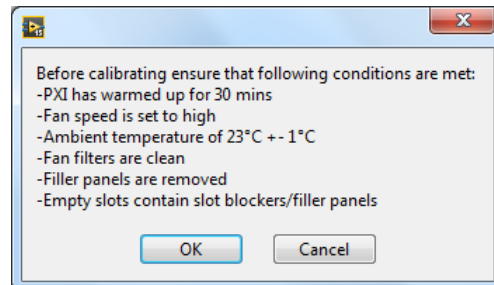
### 4.4 Graphical User Interface

De GUI van het programma is zichtbaar in figuur 4.3. Deze GUI is zeer minimalistisch en geeft enkel en alleen de mogelijkheid om verschillende testen te runnen en om een error weer te geven indien er één zou optreden. Er is gekozen voor een minimalistisch design omdat dit ervoor zorgt dat de gebruiker enkel en alleen op start moet duwen, wat één van de doelstellingen was van deze thesis. Een andere reden voor dit minimalistisch design is omdat de gebruiker niet in staat hoeft te zijn om met de kalibratieprocedure te spelen of parameters aan te passen aangezien de procedure vast staat en ongeldig wordt wanneer er parameters aangepast zouden worden.



Figuur 4.3: GUI van het programma

Nadat de gebruiker de verschillende tests heeft geselecteerd, standaard staan ze allemaal aangevinkt, en op start duwt wordt de gebruiker geprompt met een scherm, die zichtbaar is in figuur 4.4, waarin alle voorwaarden instaan om de kalibratieprocedure tot een goed einde te brengen. Dit zorgt ervoor dat de gebruiker zeker op de hoogte is van de verschillende voorwaarden. Ook geeft het de mogelijkheid aan de gebruiker om de kalibratieprocedure stop te zetten en ervoor te zorgen dat er aan de verschillende voorwaarden voldaan is.



Figuur 4.4: Prompt bij starten programma

## 4.5 Kalibratierapport

Nadat de kalibratieprocedure is afgelopen worden de verschillende opgeslagen metingen verwerkt tot een kalibratierapport met behulp van de "LabVIEW Report Generation Toolkit". Deze toolkit stelt de gebruiker in staat om op met behulp van verschillende VI's een kalibratierapport te genereren op basis van een template. Deze zelfgemaakte template is terug te vinden in bijlage A. Met behulp van de toolkit kan labVIEW deze template, een Excel bestand, automatisch openen, manipuleren en opslaan. Dit resulteert in een kalibratierapport die terug te vinden is in bijlage B. Hierin is te zien dat de meetwaarden duidelijk weergegeven worden. Ook is er een visuele indicatie, namelijk een groene of een rode markering, wanneer de PPS binnen de specificaties vallen of niet. Naast een duidelijke weergave van als een PPS binnen de specificaties valt of niet worden ook de serienummers van zowel de PPS als de DMM aangegeven samen met hun laatste en aangeraden kalibratiedatum. Dit zorgt ervoor dat de operator van het programma weet met welke toestellen hij aan het werken is en of de toestellen die hij gebruikt om de metingen te doen zelf nog binnen de specificaties vallen. Indien dit niet het geval zou zijn zou de kalibratie van de PPS nutteloos zijn om dat men er vanuit gaat dat de DMM gekalibreerd zijn.

## 5 Resultaten

In paragraaf 5.1 en 5.2 zijn de meetwaarden te vinden van de verschillende verificatiestappen van respectievelijk voor- en na de aanpassingsstap.

### 5.1 Voor aanpassingsstap

#### 5.1.1 Uitgangsspanning verificatie

In tabel 10 zijn de metingen en berekeningen zichtbaar die gedaan werden om de uitgangsspanning van de PPS te verifiëren. De kolom "meting" bevat de waarden die de DMM heeft gemeten. Deze waarden moeten zich tussen de onder- en bovenlimiet bevinden die berekend werden volgens de methode uitgelegd in paragraaf 2.2.1.

Tabel 10: Waarden uitgangsspanning verificatie voor aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [V]	Testpunt [V]	Onderlimiet [V]	Meting [V]	Bovenlimiet [V]
0	0	60	0.1	0.045	0.099	0.155
	0	60	60	59.873	60.001	60.127
	1	60	0.1	0.045	0.098	0.155
	1	60	60	59.873	59.998	60.127
1	0	60	0.1	0.045	0.1	0.155
	0	60	60	59.873	59.999	60.127
	1	60	0.1	0.045	0.098	0.155
	1	60	60	59.873	59.998	60.127

#### 5.1.2 Spanningsmeting verificatie

De verschillende metingen en berekening om de spanningsmeting verificatie tot een goed einde te brengen zijn terug te vinden in tabel 11. De kolom meting bevat in deze tabel de metingen die gedaan werden door de PPS zelf. De limieten daarentegen werden berekend op basis van de metingen die uitgevoerd werden door de DMM. De manier waarop dit gebeurt staat beschreven in paragraaf 2.2.2.

Tabel 11: Waarden spanningsmeting verificatie voor aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [V]	Testpunt [V]	Onderlimiet [V]	Meting [V]	Bovenlimiet [V]
0	0	60	0.1	0.049	0.1	0.149
	0	60	60	59.891	60.002	60.111
	1	60	0.1	0.048	0.099	0.148
	1	60	60	59.888	60	60.108
1	0	60	0.1	0.05	0.103	0.15
	0	60	60	59.889	60.002	60.109
	1	60	0.1	0.048	0.099	0.148
	1	60	60	59.888	60	60.108

#### 5.1.3 Uitgangsstroom verificatie

In tabel 12 zijn de metingen en berekeningen zichtbaar die gedaan werden om de uitgangsstroom van de PPS te verifiëren. De kolom "meting" bevat de waarden die de DMM heeft gemeten. Deze waarden moeten zich tussen de onder- en bovenlimiet bevinden die berekend werden volgens de methode uitgelegd in paragraaf 2.2.3.

Tabel 12: Waarden uitgangsstroom verificatie voor aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [A]	Testpunt [A]	Onderlimiet [A]	Meting [A]	Bovenlimiet [A]
0	0	1	0.1	0.09	0.1	0.11
	0	1	1	0.989	1.001	1.012
	1	1	0.1	0.09	0.099	0.11
	1	1	1	0.989	1.001	1.012
1	0	1	0.1	0.09	0.1	0.11
	0	1	1	0.989	1.001	1.012
	1	1	0.1	0.09	0.1	0.11
	1	1	1	0.989	1	1.012

#### 5.1.4 Stroommeting verificatie

De verschillende metingen en berekening om de stroommeting verificatie tot een goed einde te brengen zijn terug te vinden in tabel 13. De kolom meting bevat in deze tabel de metingen die gedaan werden door de PPS zelf. De limieten daarentegen werden berekend op basis van de metingen die uitgevoerd werden door de DMM. De manier waarop dit gebeurt staat beschreven in paragraaf 2.2.4.

Tabel 13: Waarden stroommeting verificatie voor aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [A]	Testpunt [A]	Onderlimiet [A]	Meting [A]	Bovenlimiet [A]
0	0	1	0.1	0.096	0.1	0.104
	0	1	1	0.959	1	1.042
	1	1	0.1	0.095	0.1	0.104
	1	1	1	0.959	1	1.042
1	0	1	0.1	0.096	0.1	0.105
	0	1	1	0.959	1	1.042
	1	1	0.1	0.096	0.1	0.104
	1	1	1	0.959	1	1.042

#### 5.1.5 Spannings remote sense nauwkeurigheid verificatie

De meetwaarden van de spannings remote sense nauwkeurigheid verificatie zijn terug te vinden in tabel 14. Hierin worden de onder- en bovenlimieten berekend op basis van het testpunt. De kolom "metingen" en "lead drop" bevatten waarden die door de DMM gemeten worden. De methode waarop de limieten berekend worden is terug te vinden in paragraaf 2.2.7.

Tabel 14: Waarden spannings remote sense nauwkeurigheid verificatie voor aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [V]	Testpunt [V]	Onderlimiet [V]	Meting [V]	Bovenlimiet [V]	Lead Drop [V]
0	0	60	10	9.933	10.004	10.067	0.426
	1	60	10	9.933	9.996	10.067	0.425
1	0	60	10	9.933	10.004	10.067	0.426
	1	60	10	9.933	9.997	10.067	0.425

## 5.2 Na aanpassingsstap

De opbouw van de tabellen nadat de aanpassingsstap is gebeurd is identiek aan de tabellen voor de aanpassingsstap. Daarom worden de tabellen niet meer besproken maar enkel weergegeven.

### 5.2.1 Uitgangsspanning verificatie

Tabel 15: Waarden uitgangsspanning verificatie na aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [V]	Testpunt [V]	Onderlimiet [V]	Meting [V]	Bovenlimiet [V]
0	0	60	0.1	0.045	0.099	0.155
	0	60	60	59.873	60	60.127
	1	60	0.1	0.045	0.098	0.155
	1	60	60	59.873	59.999	60.127
1	0	60	0.1	0.045	0.1	0.155
	0	60	60	59.873	59.999	60.127
	1	60	0.1	0.045	0.099	0.155
	1	60	60	59.873	60	60.127

### 5.2.2 Spanningsmeting verificatie

Tabel 16: Waarden spanningsmeting verificatie na aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [V]	Testpunt [V]	Onderlimiet [V]	Meting [V]	Bovenlimiet [V]
0	0	60	0.1	0.049	0.1	0.149
	0	60	60	59.89	60.002	60.11
	1	60	0.1	0.048	0.099	0.148
	1	60	60	59.889	60.001	60.109
1	0	60	0.1	0.05	0.102	0.15
	0	60	60	59.889	60.002	60.109
	1	60	0.1	0.049	0.1	0.149
	1	60	60	59.89	60.001	60.11

### 5.2.3 Uitgangsstroom verificatie

Tabel 17: Waarden uitgangsstroom verificatie na aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [A]	Testpunt [A]	Onderlimiet [A]	Meting [A]	Bovenlimiet [A]
0	0	1	0.1	0.09	0.1	0.11
	0	1	1	0.989	1	1.012
	1	1	0.1	0.09	0.1	0.11
	1	1	1	0.989	0.999	1.012
1	0	1	0.1	0.09	0.1	0.11
	0	1	1	0.989	1	1.012
	1	1	0.1	0.09	0.1	0.11
	1	1	1	0.989	1.001	1.012

## 5.2.4 Stroommeting verificatie

Tabel 18: Waarden stroommeting verificatie na aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [A]	Testpunt [A]	Onderlimiet [A]	Meting [A]	Bovenlimiet [A]
0	0	1	0.1	0.096	0.1	0.105
	0	1	1	0.959	1	1.042
	1	1	0.1	0.096	0.1	0.104
	1	1	1	0.958	1	1.041
1	0	1	0.1	0.096	0.1	0.104
	0	1	1	0.959	1	1.042
	1	1	0.1	0.096	0.1	0.104
	1	1	1	0.959	1	1.042

## 5.2.5 Spannings remote sense nauwkeurigheid

Tabel 19: Waarden spannings remote sense nauwkeurigheid verificatie na aanpassingsstap

PPS	Kanaal	Bereik [V]	Testpunt [V]	Onderlimiet [V]	Meting [V]	Bovenlimiet [V]	Lead Drop [V]
0	0	60	10	9.933	10.004	10.004	0.426
	1	60	10	9.933	9.996	9.996	0.425
1	0	60	10	9.933	10.004	10.004	0.426
	1	60	10	9.933	9.997	9.997	0.425

## 5.3 Belastingsregeling

Wat opvalt is dat in de paragrafen 5.1 en 5.2 de verschillende meetresultaten zijn besproken maar dat de meetresultaten van de belastingregeling ontbreken. Dit komt doordat de PCB beschadigd is geraakt bij het uitvoeren van deze testen. Er is namelijk een interne baan doorgebrand. Hierdoor zijn de belastingregeling circuits, en dus ook de testen, onbruikbaar geworden. De reden waarom dit gebeurde kan niet precies achterhaald worden omdat de testen niet meer herhaald kunnen worden maar de meest voor de hand liggende reden is dat er intern banen beschadigd zijn geraakt wat een kortsluiting veroorzaakt. Voor deze beschadiging kunnen meerdere redenen zijn. Zo liggen de traces van de PCB waar de beschadiging gebeurde op de twee binnenste lagen. Deze twee binnenste lagen hebben de meeste moeite om warmte te dissiperen en aangezien er sprake was van een hoog vermogen zou het goed kunnen zijn dat de PCB hierdoor beschadigd raakte. Een andere mogelijkheid is dat een te grote spanningsval tussen twee relais zorgde dat de PCB beschadigd raakte. Merk op dat deze twee vorige redenen slechts speculaties zijn en dat de precieze oorzaak nooit eenduidig bepaald kan worden omdat de testen niet herhaald kunnen worden. Deze mogelijke oorzaken kunnen wel vermeden worden, maar hier zal meer over verteld worden in paragraaf 7. Merk op dat deze beschadiging er ook voor zorgt dat de verificatie niet volledig voltooid kan worden maar aangezien deze eigenschap van de PPS niet in rekening gebracht wordt bij de aanpassingsstap van de PPS betekent dit dat deze verificatie slechts een indicatie is van de werking van de belastingregeling en dat de eigenlijke aanpassing, en dus de kalibratie van het toestel, wel nog correct verloopt.

## 5.4 Vergelijking

Wat meteen opvalt is dat de resultaten van voor- en na de aanpassingsstap zeer dicht bij elkaar liggen en nog steeds binnen de specificaties vallen. Het feit dat de metingen van beide PPS zeer overeenkomen valt te verklaren doordat beide PPS slechts één jaar oud zijn en ze dus reeds binnen de specificaties vielen. Dit wordt ook nog eens bevestigd door de 1ste verificatie en het kalibratierapport die te vinden is in de bijlage.

## 6 Fout op metingen

De nauwkeurigheid van de DMM kan rechtstreeks uit de datasheet gehaald worden. Dit kan omdat steeds de hoogste resolutie van 7.5 digits gebruikt wordt en de datum van de laatste kalibratie van de DMM langer dan 90 dagen maar korter dan 2 jaar geleden is [13]. De fout op de DC spanning meting voor een bereik van 1V en 100V zijn terug te vinden in respectievelijk de vergelijkingen 9 en 10. Merk op dat er gekozen werd voor deze twee vergelijkingen omdat deze bereiken ook ingesteld worden bij de metingen die gebeuren tijdens de kalibratieprocedure.

$$\pm 15 \text{ ppm van meting} + 0.8 \text{ ppm van bereik} \quad (9)$$

$$\pm 20 \text{ ppm van meting} + 2 \text{ ppm van bereik} \quad (10)$$

Voor de DC stroommetingen worden de bereiken van 100 mA en 1A gebruikt. De bijhorende fout kan ook teruggevonden worden in de datasheet van de DMM. De fout op de meting voor de bereiken van 100 mA en 1A zijn terug te vinden in respectievelijk vergelijking 11 en 12.

$$\pm 140 \text{ ppm van meting} + 20 \text{ ppm van bereik} \quad (11)$$

$$\pm 240 \text{ ppm van meting} + 20 \text{ ppm van bereik} \quad (12)$$





## 7 Mogelijke uitbreidingen

De huidige versie van dit project is volledig functioneel maar er zijn natuurlijk ook mogelijke uitbreidingen die verder onderzocht kunnen worden.

- Herziening PCB lay-out

Door de PCB lay-out te herzien zouden de banen van de belastingregeling naar de bovenste laag gebracht kunnen worden. Ook zou de grootte van de PCB kunnen verbeterd worden door de componenten beter te schikken.

- Gebruik maken van solid state relais

Solid state relais hebben als voordeel dat ze een zeer lage contactweerstand hebben terwijl ze in staat zijn om hoge spanningen en stromen te verdragen. Ook hebben ze een zeer kleine contactweerstand. Als voorbeeld wordt er een relais van panasonic genomen. Deze relais heeft slechts een contactweerstand van  $0.081 \Omega$  terwijl in staat is om stromen en spanningen te verdragen van 2.6A en 60V [14]. Door deze goede elektrische eigenschappen zouden deze relais een ideale kandidaat zijn om de Pickering relais te vervangen die nu gebruikt worden.

- Aanbrengen sensoren op PCB

Wanneer er een temperatuursensor en een vochtigheidssensor zou worden aangebracht op de PCB zou gecontroleerd kunnen worden of de temperatuur en vochtigheid voldoet aan de kalibratievoorwaarden. Indien dit niet het geval zou zijn zou de uitvoering van de kalibratie softwarematig geweigerd worden.

- PCB identificatie

Door ieder PCB een serienummer te geven en op te slaan op een EEPROM op de PCB zou het zeer eenvoudig zijn om de PCB's te identificeren en te achterhalen welke PPS gekalibreerd werd met welke PCB. Ook zou de serienummer van de PCB vermeld kunnen worden in het kalibratierapport.

- Connecties voor programmeerbare belasting voorzien

Door de mogelijkheid te voorzien om bananenstekkers rechtstreeks in te pluggen op de PCB zou er eventueel een programmeerbare belasting voorzien kunnen worden om de verificatie van de belastingregeling volledig volgens de procedure uit te voeren zoals beschreven in de kalibratiehandleiding.

- Software uitbreiden

De software zou uitgebreid kunnen worden door een automatische detectie van de PPS uit te voeren. Hierdoor zou gedetecteerd worden indien er een PPS ontbreekt. Een andere mogelijke uitbreiding voor de software is dat de gebruiker de optie krijgt om de kalibratie over te slaan indien de PPS nog binnen de specificaties valt.



## 8 Besluit

Na het beëindigen van deze masterproef is men er in geslaagd om met behulp van een PXI systeem, een PCB en LabVIEW software een testopstelling te ontwerpen die de kalibratie en verificatie, volledig geautomatiseerd, tot een goed einde brengt volgens de vooropgestelde eisen. Zo kan de PCB eenvoudig bevestigd worden aan het PXI systeem en kan er na bevestiging van de PCB het programma, die de kalibratie volledig doorloopt, eenvoudig opgestart worden met behulp van de zeer minimalistische GUI. In de laatste stap van het programma wordt er ook een overzichtelijk rapport gegenereerd waarin duidelijk vermeld staat indien de PPS de kalibratieprocedure succesvol doorlopen heeft of niet. Indien de kalibratieprocedure niet succesvol doorlopen is wordt er duidelijk grafisch weergegeven op welke test de PPS gefaald heeft. Het feit dat er slechts twee handelingen uitgevoerd moeten worden, het bevestigen van de PCB en het LabVIEW programma starten, voor de PPS te kalibreren en te verifiëren zorgt ervoor dat de interactie met de PPS en de operator beperkt blijft. Hierdoor worden mogelijke externe factoren die eventuele (menselijke) fouten met zich meebrengen tot een minimum herleid. Maar het feit dat er een volledig functionele testopstelling is afgeleverd betekent niet dat deze testopstelling perfect is. Zo zou er nog een aanpassing moeten gebeuren om de implementatie van de belastingsregeling verificatie tot een goed einde te brengen. Naast deze aanpassing zijn er nog een aantal mogelijke aanpassingen die gedaan kunnen worden om de testopstelling te perfectioneren. Melexis heeft me hiervoor de kans gegeven, in de vorm van een vakantiejob en vast werk, om dit nog te implementeren.



## Referenties

- [1] National Instruments. What is PXI?
- [2] National Instruments. LabVIEW Environment Basics.
- [3] National Instruments. PXI Chassis.
- [4] National Instruments. NI PXIe-4113 and NI PXIe-4112 Power Supplies, 2015.
- [5] National Instruments. PXIe-4112.
- [6] National Instruments. 712-Digit, 26-Bit, 1000 V Digital Multimeter and 1.8 MS/s Isolated Digitizer, 2008.
- [7] National Instruments. User Guide and Specifications: NI 6509, 2010.
- [8] National Instruments. NI PXIe-4112 Calibration Procedure, 2013.
- [9] National Instruments. NI PXIe-4112/4113 Getting Started Guide, 2014.
- [10] National Instruments. Line and Load Regulation for Programmable DC Power Supplies and Precision DC Sources, 2014.
- [11] National Instruments. Local and Remote Sense, 2009.
- [12] Pickering. Micro-SIL ® SIL / SIP Reed Relays.
- [13] National Instruments. How Do I Calculate Absolute Accuracy Or System Accuracy?
- [14] Panasonic. Automation Controls Catalog, 2014.



## Bijlagen

Bijlage A: Template kalibratierapport . . . . .	40
Bijlage B: Gegeneerd kalibratierapport . . . . .	42


# Bijlage A: Template kalibratierapport

						
Procedure Name			Calibration PXle-4112		Calibration date	
Procedure Version			V1.0			
Temperature [°C]						
Device	Serial number	Last calibration date	Calibration due			
<b>As Found</b>						
<b>Voltage Output</b>						
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit
0						
1						
<b>As Found</b>						
<b>Voltage Measurement</b>						
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit
0						
1						
<b>As Found</b>						
<b>Current Output</b>						
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit
0						
1						
<b>As Found</b>						
<b>Current Measurement</b>						
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit
0						
1						



As Found							
Voltage Remote Sense Accuracy							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	Lead Drop
0							
1							
After Adjustment							
Voltage Output							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	
0							
1							
After Adjustment							
Voltage Measurement							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	
0							
1							
After Adjustment							
Current Output							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	
0							
1							
After Adjustment							
Current Measurement							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	
0							
1							
After Adjustment							
Voltage Remote Sense Accuracy							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	Lead Drop
0							
1							

## Bijlage B: Gegeneerd kalibratierapport

 INSPIRED ENGINEERING						
Procedure Name	Calibration PXle-4112	Calibration date	5/24/2016			
Procedure Version	V1.0					
Temperature [°C]	24.2					
Device	Serial number	Last calibration date	Calibration due			
PXI	30E7AA9	n/a	n/a			
DMM 0	1805098	2/26/2016	2/26/2018			
DMM 1	1805086	2/18/2016	2/18/2018			
PPS 0	018077B7	5/24/2017	5/24/2019			
PPS 1	018077D2	5/24/2017	5/24/2019			
<b>As Found</b>						
<b>Voltage Output</b>						
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit
0	0	60	0.1	0.043	0.099	0.155
	0	60	60	39.873	60.001	60.127
	1	60	0.1	0.043	0.098	0.155
	1	60	60	39.873	39.998	60.127
1	0	60	0.1	0.043	0.1	0.155
	0	60	60	39.873	39.999	60.127
	1	60	0.1	0.043	0.098	0.155
	1	60	60	39.873	39.998	60.127
<b>As Found</b>						
<b>Voltage Measurement</b>						
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit
0	0	60	0.1	0.048	0.1	0.148
	0	60	60	39.891	60.002	60.111
	1	60	0.1	0.048	0.099	0.148
	1	60	60	39.888	60	60.108
1	0	60	0.1	0.05	0.103	0.15
	0	60	60	39.889	60.002	60.109
	1	60	0.1	0.048	0.099	0.148
	1	60	60	39.888	60	60.108
<b>As Found</b>						
<b>Current Output</b>						
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit
0	0	1	0.1	0.08	0.1	0.11
	0	1	1	0.989	1.001	1.012
	1	1	0.1	0.08	0.099	0.11
	1	1	1	0.989	1.001	1.012
1	0	1	0.1	0.08	0.1	0.11
	0	1	1	0.989	1.001	1.012
	1	1	0.1	0.08	0.1	0.11
	1	1	1	0.989	1	1.012
<b>As Found</b>						
<b>Current Measurement</b>						
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit
0	0	1	0.1	0.096	0.1	0.104
	0	1	1	0.999	1	1.042
	1	1	0.1	0.095	0.1	0.104
	1	1	1	0.999	1	1.042
1	0	1	0.1	0.096	0.1	0.105
	0	1	1	0.999	1	1.042
	1	1	0.1	0.096	0.1	0.104

	1	1	1	0.999	1	1.042	
<b>As Found</b>							
<b>Voltage Remote Sense Accuracy</b>							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	Lead Drop
0	0	60	10	9.933	10.004	10.067	0.426
	1	60	10	9.933	9.996	10.067	0.423
1	0	60	10	9.933	10.004	10.067	0.426
	1	60	10	9.933	9.997	10.067	0.423
<b>After Adjustment</b>							
<b>Voltage Output</b>							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	
0	0	60	0.1	0.043	0.099		0.133
	0	60	60	39.873	60		60.127
	1	60	0.1	0.043	0.098		0.133
	1	60	60	39.873	39.999		60.127
1	0	60	0.1	0.043	0.1		0.133
	0	60	60	39.873	39.999		60.127
	1	60	0.1	0.043	0.099		0.133
	1	60	60	39.873	60		60.127
<b>After Adjustment</b>							
<b>Voltage Measurement</b>							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	
0	0	60	0.1	0.048	0.1		0.148
	0	60	60	39.88	60.002		60.11
	1	60	0.1	0.048	0.099		0.148
	1	60	60	39.889	60.001		60.109
1	0	60	0.1	0.05	0.102		0.13
	0	60	60	39.889	60.002		60.109
	1	60	0.1	0.048	0.1		0.148
	1	60	60	39.88	60.001		60.11
<b>After Adjustment</b>							
<b>Current Output</b>							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	
0	0	1	0.1	0.09	0.1		0.11
	0	1	1	0.989	1		1.012
	1	1	0.1	0.09	0.1		0.11
	1	1	1	0.989	0.999		1.012
1	0	1	0.1	0.09	0.1		0.11
	0	1	1	0.989	1		1.012
	1	1	0.1	0.09	0.1		0.11
	1	1	1	0.989	1.001		1.012
<b>After Adjustment</b>							
<b>Current Measurement</b>							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	
0	0	1	0.1	0.096	0.1		0.105
	0	1	1	0.999	1		1.042
	1	1	0.1	0.096	0.1		0.104
	1	1	1	0.998	1		1.041
1	0	1	0.1	0.096	0.1		0.104
	0	1	1	0.999	1		1.042
	1	1	0.1	0.096	0.1		0.104
	1	1	1	0.999	1		1.042
<b>After Adjustment</b>							
<b>Voltage Remote Sense Accuracy</b>							
PPS	Channel	Range	Test Value	Low Limit	Reading	High limit	Lead Drop
0	0	60	10	9.933	10.004	10.067	0.426
	1	60	10	9.933	9.996	10.067	0.423
1	0	60	10	9.933	10.004	10.067	0.426
	1	60	10	9.933	9.997	10.067	0.423

# Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:  
**Automatische kalibratie van geïntegreerde voedingen in een PXI karakterisatie systeem met behulp van LabVIEW**

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektronica-ICT**  
Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Smeets, Alexander**

Datum: **6/06/2017**