

HOGESCHOOL ZUYD



Opleiding Elektrotechniek, Heerlen

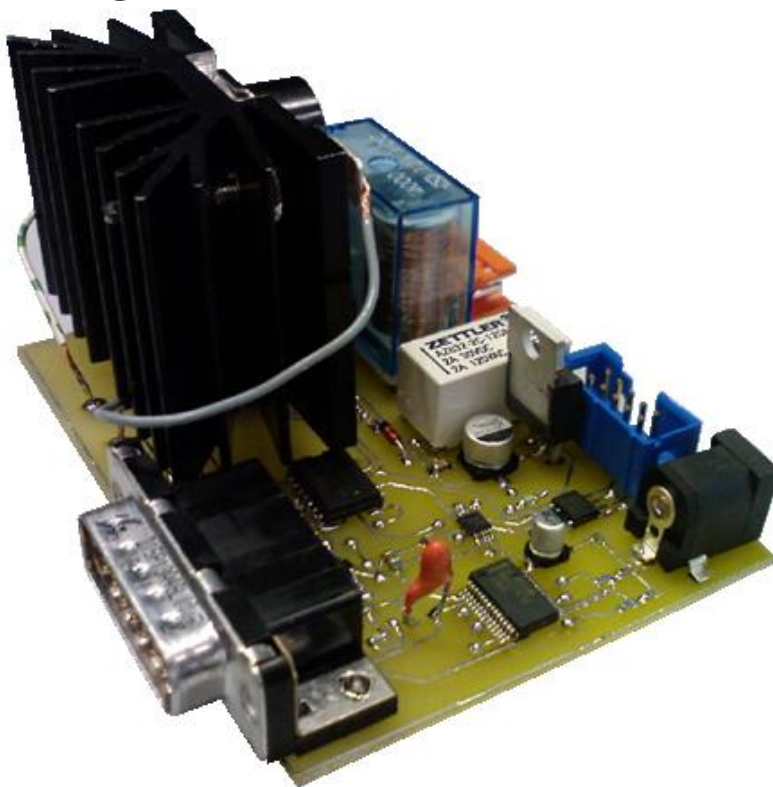
L.A.R.S.

LabVIEW Adjustable Regulated Supply



Neways Advanced Applications B.V.

Eindverslag



HOGESCHOOL ZUYD



Opleiding Elektrotechniek, Heerlen

L.A.R.S.

LabVIEW Adjustable Regulated Supply



Neways Advanced Applications B.V.

Eindverslag

In opdracht van	Hogeschool Zuyd Faculteit Elektrotechniek
Stagecoördinator	Ing. L.M.C. Muijtjens
Student	Ivo Nieskens 0624659 E&T 4
Bedrijf	Neways Electronics International N.V.
Stagebegeleider	Ing. B.L.J. Goofers
Periode	september 2009 tot februari 2010

Voorwoord

Om de opleiding Elektrotechniek van HSZuyd te Heerlen succesvol af te ronden, volg ik in het 4^e jaar een afstudeerperiode. Dit is een periode van een half jaar. Tijdens het afstuderen wordt er een traject gevolgd van een project of theoretisch onderzoek bij een bedrijf.

Mijn keuze is uitgegaan naar een zelfstandig project bij het bedrijf Neways Advanced Applications. Dit verslag geeft het ontstaan, de realisatie en de ontwikkeling van mijn afstudeerproject aan.

Tijdens dit project heb ik geleerd dat uitgangspunten van een ontwerp altijd ontzettend belangrijk zijn. Zomaar aannemen dat iets ergens voor wordt gebruikt, is niet aan te raden. Mocht er bijvoorbeeld iets in een datasheet ontbreken, dan kan het een oplossing zijn extra informatie op te vragen bij de fabrikant. Voor componenten waar geen verdere informatie over is te verkrijgen, blijft als enige mogelijkheid over dit in de praktijk uit te proberen. Zo kan de werking worden getest.

Mijn belangrijkste leerpunt bij dit project was dat datasheets niet zo perfect zijn als ik dacht.

Voor de begeleiding die ik bij Neways heb gehad tijdens mijn afstudeerperiode wil ik graag de heer B. Goofers en de heer F. Sandler danken. Ik heb aan hen veel steun gehad tijdens mijn werkzaamheden bij Neways.

Samenvatting

Neways produceert een breed scala aan elektronische producten. Voordat deze producten bij de klant komen, moeten ze worden getest op functionaliteit en betrouwbaarheid. Hier houdt de afdeling Test Engineering van Neways Advanced Applications zich mee bezig. Om de producten te testen, wordt er gebruik gemaakt van testopstellingen. Voedingen in deze testopstellingen voorzien het te testen product van een spanning en stroom. De voedingen worden hardwarematig ingesteld. De hardware bestaat uit een weerstandsdeling die resulteert in een spanningsniveau; dit is een maat voor de gewenste spanning en stroom van de voeding. Zodra de weerstandswaarden zijn bepaald, wordt de weerstandsdeling in de testopstelling ingebouwd. Omdat dit veel tijd kost, is er behoefte aan een snellere manier: automatisering. Deze automatisering wordt gerealiseerd door middel van een module. De module is een link tussen een pc, waar het gewenste spanningsniveau softwarematig wordt ingesteld en een print. De print genereert met behulp van de software het juiste spanningsniveau voor de voeding. Het bedenken, ontwerpen en realiseren van deze module is het onderwerp van mijn afstudeerproject en wordt in dit verslag behandeld. Aan de hand van gestelde eisen zijn er concepten opgezet. Deze concepten zijn uitgewerkt tot een ontwerp en dit ontwerp is vervolgens tot in detail uitgelegd. Hierna is het ontwerp geëvalueerd en zijn de problemen opgepakt. Na het oplossen van de problemen is er een eindproduct tot stand gekomen dat zorgt voor de benodigde automatisering.

Summary

Neways offers customers a wide range of electronic products. Before these products arrive at the designated customer, it is necessary that they are tested on functionality and reliability. The Test Engineering department of Neways Advanced Applications takes care of these tests. To be able to test these products a test tool is required. Power supplies located on these tools provide the required voltage and current level for the test product. These power supplies are tuned by a component on the test tool which uses voltage division across resistors to provide the desired input for the power supply. Once the resistor values are determined they can be picked and placed in the circuit. Because this is very time-consuming the need for a faster - in example automated - method arose. Automation is realizable by use of a module which is a link between a PC, where the desired voltage level is set by software, and a print. This print generates the desired level for the supply. To invent, design and realize this module is the subject of my graduation and will be discussed in this report. Based on the requirements some concepts were developed and elaborated into a design and this design is explained in detail. After this the design was evaluated and possible issues were rectified. Finally a final product was developed which provides the necessary automation.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1.	Inleiding	7
2.	Neways	8
3.	Ontstaan van de opdracht	9
4.	De opzet	10
5.	Het ontwerp	11
1.	Uitgangspunten	11
a.	De voeding	11
b.	Ontwerp eisen	12
2.	Concepten	13
a.	Aansturing	14
b.	Foutcorrectie	14
c.	Stroommeting	14
3.	Keuze	15
4.	Prototype ontwerp	16
a.	Voeding	16
b.	Galvanische scheiding	16
c.	Bediening	16
d.	DAC	17
e.	ADC	17
f.	Beveiliging	18
g.	Stroommeting	18
5.	Evaluatie ontwerp	18
a.	Hardware	18
b.	Software	21
c.	Behuizing	22
6.	Herontwerp	23
a.	Hardware	23
b.	Software	25
c.	Behuizing	25
7.	Evaluatie herontwerp	26
7.	Bronnen	28

8.	Bijlagen	29
	Bijlage A – Blokschema	29
	Bijlage B – Meetresultaten van de voeding	31
	Bijlage C – Elektrisch schema	32
	Bijlage D – Datasheet ADC	33
	Bijlage E – Thermische weerstand	34
	Bijlage F – Spanningsmeting	35
	Bijlage G – IC aansturing, datasheet DAC	36
	Bijlage G – IC aansturing, datasheet DAC vervolg	37
	Bijlage H – IC aansturing, datasheet I/O poort	38
	Bijlage H – IC aansturing, datasheet I/O poort vervolg	39
	Bijlage H – IC aansturing, datasheet I/O poort vervolg	40
	Bijlage I – IC aansturing, datasheet ADC	41
	Bijlage J – IC aansturing, datasheet sensor	42
	Bijlage K – IC aansturing	43
	Bijlage K – IC aansturing vervolg	44
	Bijlage L – Stuklijst prototype	45
	Bijlage M – Nieuw elektrisch schema	46
	Bijlage N – Board lay-out	47
	Bijlage O – Datasheet DTS-ES150	48
	Bijlage P – ADC berekening	49
	Bijlage Q – Flowchart	50
	Bijlage R – LabVIEW legenda	51
	Bijlage S – LabVIEW	52
	Bijlage S – LabVIEW vervolg	53
	Bijlage S – LabVIEW vervolg	54
	Bijlage S – LabVIEW vervolg	55
	Bijlage S – LabVIEW vervolg	56
	Bijlage S – LabVIEW vervolg	57
	Bijlage S – LabVIEW vervolg	58
	Bijlage S – LabVIEW vervolg	59
	Bijlage T – Spanningsmeting	60
	Bijlage U – Stroommeting	61

1. Inleiding

Neways produceert elektronische producten. Deze producten worden, voordat ze bij de klant worden geleverd, getest op zowel functionaliteit als betrouwbaarheid. Neways Advanced Applications heeft een afdeling Test Engineering die verantwoordelijk is voor het testen van deze producten. In hoofdstuk twee vermeld ik daarom iets meer over het bedrijf Neways.

De oorsprong van dit afstudeerproject ligt bij een bestaande testopstelling. Met deze opstelling worden voedingen hardwarematig ingesteld. Om de duur en kosten te verlagen, moet het testen worden geautomatiseerd. Informatie over de testopstelling en over de noodzaak tot automatisering geef ik in hoofdstuk drie. De opzet van de opdracht wordt vervolgens in hoofdstuk vier toegelicht.

Om de gewenste automatisering te realiseren is er een module nodig die de voedingen instelt. In hoofdstuk vijf wordt besproken aan welke eisen het ontwerp van deze module moet voldoen. Aan de hand van deze eisen worden er verschillende concepten opgezet. Vervolgens wordt er een keuze tussen de concepten gemaakt voor het uiteindelijke ontwerp. Nadat de keuze is gemaakt, wordt er op de details van het ontwerp ingegaan en wordt er besproken wat er van het prototype en van het uiteindelijke product wordt verwacht.

In hoofdstuk zes volgen de conclusie en aanbevelingen.

Neways

Neways Electronics International richt zich vooral op het ontwikkelen, vervaardigen en onderhouden van elektronische producten. Dit zijn producten zoals MRI-scanners (van Philips Medical Systems) en lithografische systemen (van ASML), Zie figuur 1 voor een weergave van een dergelijk systeem.

Neways werd in 1969 opgericht door oud-Philips medewerker Gerard Meulenstein en groeide in de jaren zeventig en tachtig uit tot een internationaal bedrijf. Het hoofdkantoor is gevestigd in Nederland. Er zijn ook vestigingen in Duitsland, Slowakije en China.



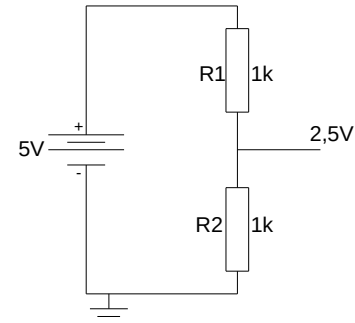
Figuur 1

De meeste vestigingen van Neways richten zich op een specifiek marktsegment. Zo is Neways Advanced Applications te Son werkzaam in de High-Mix Low Volume sector. Dit houdt in dat men een grote variatie van elektronica producten maakt, die in lage aantallen worden geproduceerd. Op de afdeling Test Engineering worden de testprocedures en opstellingen ontworpen voor deze producten .

2. Ontstaan van de opdracht

Bij het testen van verschillende producten van ASML maakt Neways gebruik van een testopstelling. Deze opstelling bestaat onder andere uit vier voedingen. Afhankelijk van het te testen product, wordt er gebruik gemaakt van één tot vier voedingen. De voedingen die worden gebruikt om te testen, worden dan hardwarematig ingesteld. Dit hardwarematig instellen gebeurt met behulp van spanningsdeling dat resulteert in een spanningsniveau. Een voorbeeld van spanningsdeling is te zien in figuur 2. Het spanningsniveau is een maat voor de gewenste spanning en stroom van de voeding. Na het bepalen van de weerstandswaarden worden de weerstanden gesoldeerd op een print die zich bevindt in de testopstelling. Vervolgens wordt de spanning gecontroleerd op de uitgang. Indien deze spanning niet overeenkomt met de gewenste spanning dan worden de weerstanden opnieuw ingesteld.

Voor ieder product dat wordt getest, is er een andere spanning en stroom nodig op de uitgang. Deze procedure moet dus voor ieder te testen product worden doorlopen. Dit principe kost veel tijd en dus geld. Eén mogelijkheid om deze voorbereidingstijd te verkorten, is automatisering. Het voordeel van automatiseren is niet alleen de verkorte voorbereidingstijd maar tevens de mogelijkheid om dynamisch te meten. Dit houdt in dat het mogelijk is om de spanningen en stromen tijdens het meten aan te passen. Vanwege dit alles was er bij Neways de behoefte om dit te onderzoeken. Dit is mijn afstudeerproject geworden.



Figuur 2

3. De opzet

Het aanbieden van de benodigde spanningen en stromen van de testopstelling kan geautomatiseerd worden. Deze automatisering kan worden gerealiseerd aan de hand van een module. De module is een link tussen een pc en een print. De print genereert met behulp van software op de pc het juiste spanningsniveau voor de voeding. Dit verkort de tijd die nodig is voor het voorbereiden van het testen en bespaart dus kosten. Tevens is het dan mogelijk om de spanning aan te passen zonder het testen te onderbreken, het dynamisch testen. Mijn afstudeeropdracht heeft als doel een dergelijke automatisering te verwezenlijken.

Om het geheel goed te overzien is er eerst een blokschema opgezet, zie bijlage A. Vervolgens worden, aan de hand van eisen, verschillende concepten opgezet. Deze concepten worden uitgewerkt en vergeleken. Het concept dat het beste voldoet aan de eisen wordt gebruikt om het ontwerp te realiseren. Vervolgens wordt het ontwerp tot in detail uitgewerkt. Hierna is het ontwerp geëvalueerd en zijn de eventuele problemen aangepakt. Na het oplossen van de problemen is de software geschreven. Hieruit is het eindproduct tot stand gekomen dat zorgt voor de benodigde automatisering.

4. Het ontwerp

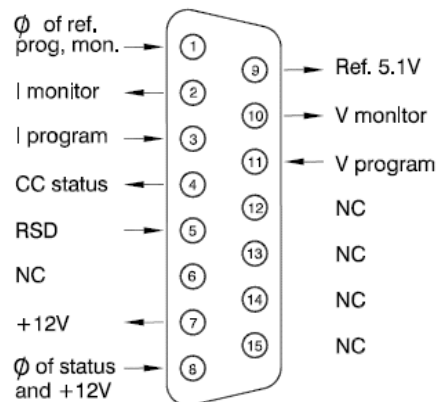
In dit hoofdstuk wordt behandeld hoe de module is ontstaan. Tevens wordt er ingegaan op de keuzes die bij dit project zijn genomen. Als laatste worden de resultaten van de keuzes besproken. Voordat er een begin wordt gemaakt met het ontwerp voor de module, is het belangrijk om de uitgangspunten na te gaan.

1. Uitgangspunten

Voordat er een ontwerp wordt gemaakt is het van belang om de uitgangspunten te bekijken. Het uitgangspunt bij dit project is de voeding die wordt gebruikt om de spanning en stroom aan te bieden op het te testen product. Er wordt voor gekozen om een bestaande voeding regelbaar te maken in plaats van het gebruik van een bestaande regelbare voeding. Dit is namelijk veel goedkoper en het geheel kan naar wens worden gemaakt.

a. De voeding

De voeding die wordt gebruikt, is afkomstig van Delta Elektronika, de ES-150. Dit is een 150 Watt voeding met een uitgang die ingesteld kan worden tussen de 0V en 30V met een instelbare begrenzingstroom van 0 tot 5A. De complete testopstelling bevat drie maal de ES-150 en één maal de ES-300. De ES-300 heeft hetzelfde spanningsbereik als de ES-150 en een instelbare begrenzingstroom van 0 tot 10A. Deze waarden kunnen handmatig worden ingegeven. Dit kan met behulp van de potmeters op de voorkant van de voeding. Het kan ook worden geprogrammeerd; dit gebeurt aan de hand van V_{program} en I_{program} ingangen. De keuze tussen handmatig instellen of instellen met de programmeerbare ingangen wordt aangegeven met



Figuur 3

behulp van twee schakelaars. Deze bevinden zich aan de achterzijde van de voeding; één schakelaar dient voor de spanning en één voor de stroom. Omdat er bij dit project een automatisering moet ontstaan, wordt er uiteraard gekozen voor het instellen met behulp van de programmeerbare ingangen. Deze ingangen bevinden zich op een vijftienpolige Sub-D connector aan de achterzijde van de voeding, zie figuur 3. Om de module te ontwerpen is het van belang om eerst de functionaliteit en de werking van de voeding te testen. De meetresultaten zijn te vinden in bijlage B. Het testen geeft ook een duidelijker beeld hoe de voeding kan worden aangestuurd. Tevens kunnen de extra functies van de voeding worden getest, deze bevinden zich ook op de Sub-D connector. Er wordt hieronder kort ingegaan op de functies van de voeding.

De voedings hebben voor de spanning een interne versterking van een factor 6. De maximale spanning die de voeding kan leveren is 30V. V_{program} moet dus ingesteld worden tussen de 0 en 5V. Met I_{program} wordt de maximaal toelaatbare stroom ingesteld tussen de 0 en 5A of 0 tot 10A. Deze waarden worden bepaald door aan de ingang 0 tot 5V aan te bieden. Bij de ES-300 zit er een interne versterking van een factor 2.

V_{monitor} en I_{monitor} zijn twee uitgangen die worden gebruikt om de instelwaarden uit te lezen. Met behulp van deze uitgangen kan er worden gecontroleerd welke spanning er op de ingestelde ingangen V_{program} en I_{program} staat.

Zoals te zien op figuur 3 heeft de voeding twee uitgangen met een vaste spanning. De spanning van 5,1V kan worden gebruikt als referentiespanning voor IC's. Verder heeft de voeding nog een voedingslijn van 12V.

CC status is de Current Status uitgang. Deze geeft aan of de begrenzingstroom is bereikt. Een logische één geeft Constant Current aan, de maximale stroom is bereikt en de spanning is niet meer regelbaar. Een logische nul geeft Constant Voltage aan, de maximale stroom is nog niet bereikt en de spanning is regelbaar.

RSD is de Remote ShutDown ingang, als hier een logische één wordt gegeven dan gaat de voeding in stand-by modus.

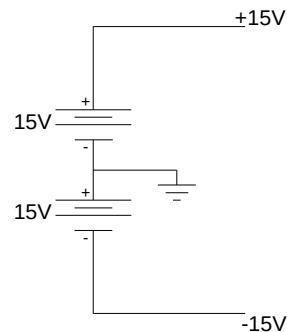
De spanning over de belasting moet in alle omstandigheden constant blijven. Om hieraan te voldoen heeft deze voeding Sense Lines. Een merkbare spanningsval treedt vooral op bij een hoger ampèreage. De weerstand van de draden zorgt in dat geval voor een spanningsverlies: $U = I * R$. De Sense Lines van de voeding zijn erg hoogohmig waardoor er een lage stroom door zal lopen. Door deze Sense Lines rechtstreeks op de belasting aan te sluiten, meet de voeding de spanning over de belasting en vergelijkt deze met de ingestelde waarde. Met deze meting is de voeding in staat om de spanning eventueel bij te regelen tot $\pm 500\text{mV}$.

b. Ontwerp eisen

Om de voedingen automatisch aan te kunnen sturen, is er een module nodig. Deze mag niet teveel plaats innemen. Om dit te verwezenlijken moeten er zo weinig mogelijk "through hole" componenten worden gebruikt.

Om de gebruikte ruimte zo klein mogelijk te houden wordt de module rechtstreeks in de voeding gestoken. De module moet worden aangestuurd door LabVIEW en tevens door deze applicatie worden gecontroleerd. Omdat het I²C microwire protocol een makkelijk en goed toe te passen protocol is, moet de nieuwe module hiervan worden voorzien.

Het eindproduct maakt gebruik van vier voedingen. Om de aarde netjes te scheiden, moet iedere module galvanisch worden gescheiden. Een galvanische scheiding betekent dat er geen ohmse verbinding bestaat tussen twee signalen of spanningen. Op deze manier is het mogelijk om symmetrische voeding op te zetten zoals aangegeven in figuur 4.



Figuur 4

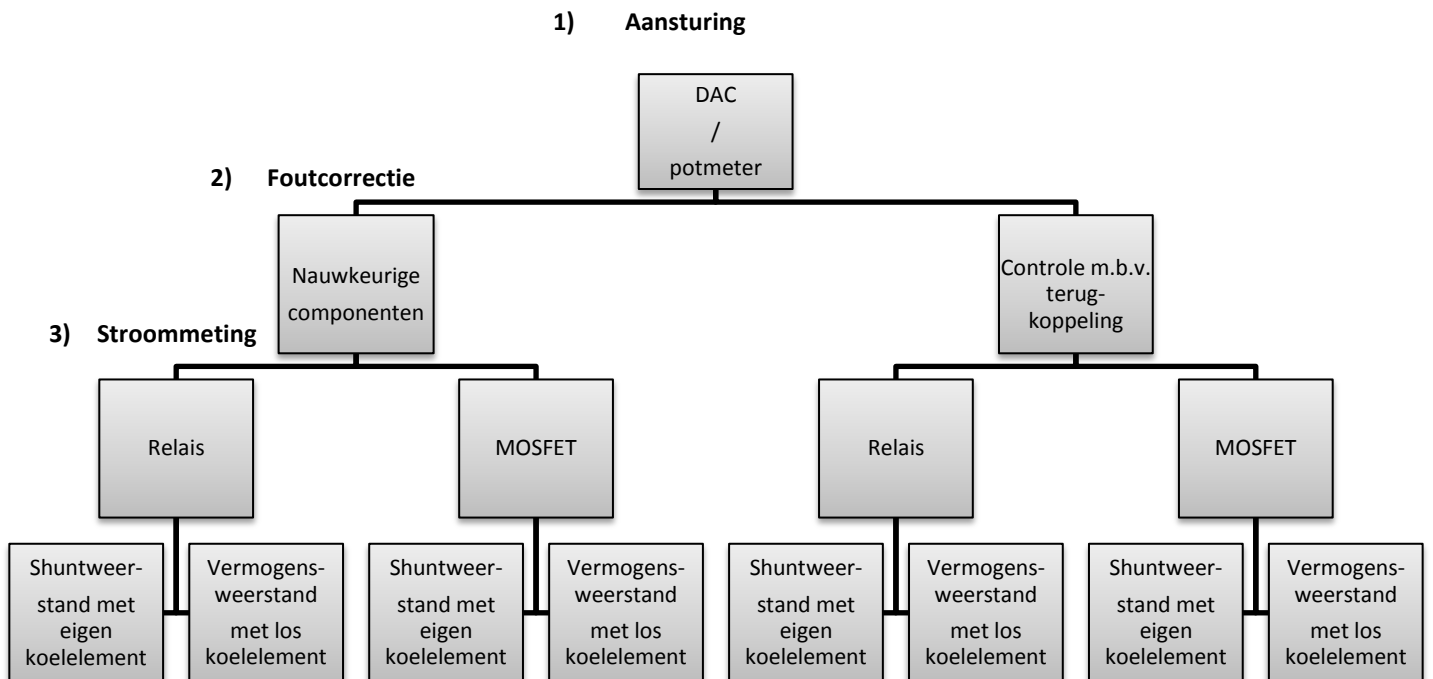
Om ervoor te zorgen dat het te testen product niet wordt voorzien van een ongewenste spanning of stroom, moet de uitgang van de module worden onderbroken. Het testen mag pas van start gaan als de gewenste instellingen zijn bereikt. De richtlijn is een maximale afwijking van de spanning en stroom op de uitgang van $\pm 1\%$.

2. Concepten

Het project bestaat uit drie delen. Eén deel is de aansturing, het tweede is de foutcorrectie van de voeding en het derde deel is de beveiliging ten opzichte van het te testen product. Het ontwerpen van het geheel is een kwestie van het afwegen van verschillende opties. Om de voeding in te stellen, wordt er gekozen voor een digitaal - analoog - omzetting. De functies van de voedingen worden bediend door een I/O poort. Voor de controle van de ingestelde waarden wordt een analoog – digitaal - omzetter gebruikt. Deze omzetter koppelt de gecontroleerde ingestelde waarde terug naar LabVIEW. Er moet een spanning - en stroommeting komen op de uitgang om het testen te starten. De stroommeting wordt geactiveerd met behulp van een schakelaar. Bij inschakeling wordt er een belastingsweerstand toegevoegd. De stroom kan dan worden berekend met behulp van de Wet van Ohm, $U = I \cdot R$.

Bepaalde delen vereisen meer onderzoek, zo zijn er verschillende manieren voor de digitaal – analoog - omzetting, de aansturing. Tevens kan de foutcorrectie op verschillende manieren worden verwezenlijkt. Het laatste deel dat meer onderzoek nodig heeft, is de stroommeting. Hier komen namelijk aspecten zoals de belastingsweerstand en de warmtedissipatie bij grote stromen, aan de orde. Een ander belangrijk aspect van de stroommeting is de inschakeling hiervan. Als de stroommeting namelijk constant wordt gebruikt en er loopt 5A door een weerstand van 1Ω dan is er al een vermogensverlies van 25W. Dit is niet gewenst omdat het te testen product dan niet van het volledige vermogen gebruik kan maken.

Voor de delen die meer onderzoek vereisen, worden concepten opgezet. Dit wordt verduidelijkt in figuur 5. De benaming bij iedere tak geeft het concept aan. In onderstaande paragrafen wordt iedere tak beschreven.

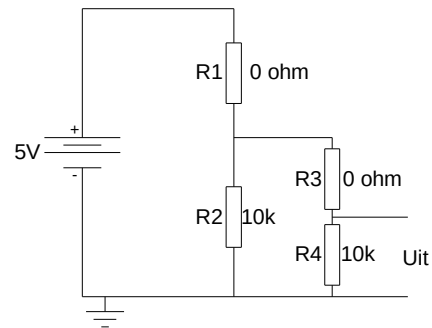


Figuur 5

a. Aansturing

Als eerste wordt bekeken hoe de digitaal - analoog - omzetting plaats gaat vinden. Hierin zijn twee keuzes, de potmeter en de DAC.

De beschikbare potmeters worden al snel beperkt door het gebruik van het I²C protocol. Zo blijven alleen de 8bit potmeters over. Omdat het omzetten nauwkeurig moet gebeuren, zijn 8bit, 256 stappen, te grof om te gebruiken. Met het achter elkaar schakelen van twee potmeters, zie figuur 6, kan een schakeling worden gerealiseerd die overeenkomt met 16bit. Naast de enorme precisie van dit principe, hoeven de potmeters na het ontkoppelen niet opnieuw te worden ingesteld. Dit komt omdat de potmeters, net als analoge potmeters, hun ingestelde waarde vasthouden. Bij de potmeters is er wel een buffer nodig om ze onafhankelijk van elkaar in te kunnen stellen.



Figuur 6

Het omzetten van digitaal naar analoog kan ook door middel van een DAC. Deze DAC's, met I²C compatibiliteit, zijn in een breed scala te vinden.

Een DAC is makkelijk te programmeren omdat het een volledig digitaal component is. De goedkopere DAC's hebben echter een foutmarge dat, buiten het gebruik van andere componenten, de 1% foutmarge overschrijdt.

b. Foutcorrectie

De foutcorrectie is een belangrijk aspect van de module. Er zijn twee opties om deze goed te laten verlopen. De eerste optie is het gebruik van nauwkeurige componenten, de tweede optie is een controlemeting.

Eén van de eisen van het ontwerp is een maximale foutmarge van 1% op de uitgang. Om dit te realiseren kunnen nauwkeurige componenten worden gebruikt. Bij het gebruik van nauwkeurige componenten moet van iedere component de precieze foutmarge worden berekend. Met dit principe is er geen controle op de uitgang nodig. Zodra er echter iets fout gaat tijdens de test kan er ook niets worden teruggelezen. Tevens zijn de componenten met een lage foutmarge vaak veel duurder dan de standaard versies.

De andere optie is een controlemeting op de uitgang met een terugkoppeling naar LabVIEW. De terugkoppeling wordt verwezenlijkt met behulp van de analoog - digitaal - omzetting. Deze stuurt de gemeten waarden terug naar LabVIEW. In LabVIEW wordt de teruggekoppelde waarde vergeleken met de ingestelde waarde. Komen de twee waarden niet overeen, dan wordt de ingestelde waarde aangepast. Dit wordt herhaald totdat er op de uitgang de gewenste waarde wordt gemeten. De software die nodig is om deze terugkoppeling te realiseren kan eventuele fouten bevatten. Als de software een fout bevat die niet goed is op te merken, wordt er foutief gemeten. Bij de nauwkeurige componenten moet alleen goed worden opgelet bij het kiezen en berekenen van de componenten.

c. Stroommeting

Om de stroommeting niet constant te laten lopen, wordt deze geactiveerd met een schakelaar. Om kortsluiting te voorkomen wordt er een laagohmige weerstand in serie geplaatst met de schakelaar. Omdat de belastingsweerstand die wordt gebruikt laagohmig moet zijn, moet de schakelaar die wordt gebruikt ook laagohmig zijn.

Veel laagohmige relais zijn in staat om 10 ampère te schakelen. Dit geeft een breed scala aan keuzes binnen de relais. De ruimte die een relais inneemt, is eveneens acceptabel. Het probleem met relais is dat de weerstand van de contactpunten zelf relatief hoog is. De duurdere relais hebben hier minder last van.

Een andere optie is een transistor. Om een transistor te vinden die 10A kan schakelen, moet er al worden geselecteerd. Dit beperkt de keuzes bij de power FET's. Hoewel power FET's, vergeleken met relais, niet galvanisch zijn gescheiden, zijn deze niet groot qua afmetingen. Tevens is hun weerstand te verwaarlozen ten opzichte van een laagohmige vermogensweerstand.

Zodra de stroommeting wordt geactiveerd met de schakelaar ontstaat er een kortsluiting. Om de stroom te meten zonder kortsluiting te creëren, wordt er gebruik gemaakt van een belastingsweerstand. Om deze te bepalen moet er het één en ander worden bekeken. De stroom kan maximaal 10A bedragen. Bij een hoger ampèrage wordt het vermogen dat de weerstand opneemt, volgens de wet van Ohm $P = I^2 * R$, groter. Een groot vermogen leidt tot veel warmte dissipatie. Om dit te beperken moet er een laagohmige vermogensweerstand worden gebruikt.

Met het oog op de belastingsweerstand zouden de laagohmige shuntweerstand een keuze kunnen zijn. Deze zijn vrij nauwkeurig. Tevens hebben ze een eigen koelelement. Er komen dus geen extra kosten bij voor een koelelement. De koeling van deze componenten is echter niet altijd ideaal te noemen.

De weerstanden met los koelelement zijn ook laagohmig te verkrijgen en nemen relatief weinig plaats in op de print. De precisie van deze weerstanden is ook erg goed. Bij een los koelelement moet er echter met een belangrijke factor rekening worden gehouden. De thermische weerstand van het koelelement moet namelijk laag genoeg zijn zodat de het koelelement genoeg vermogen kan dissiperen. Tevens is dit principe duurder dan het gebruik van een shuntweerstand.

3. Keuze

Voor de digitaal - analoog - omzetting wordt de DAC genomen. De DAC kan namelijk net zo nauwkeurig werken als de potmeters. Tevens is er bij de potmeters vanwege de extra buffer een groter oppervlak van de print nodig. De DAC kost dus minder ruimte op de print en het programmeren van een DAC is makkelijker dan een digitale potmeter.

Bij het gebruiken van nauwkeurige componenten is er geen controle op de uitgang. Er wordt dus niet duidelijk welke waarden er op de uitgang staan. Omdat dit in de meeste gevallen toch gewenst is, is een terugkoppeling naar LabVIEW nodig. Met een terugkoppeling kan een eventuele fout in LabVIEW eenvoudig worden aangepast. Deze constante controle zorgt ervoor dat de foutmarge van de DAC niet van belang is. Zo is het mogelijk om voor een goedkopere variant te kiezen.

Een shuntweerstand met eigen koellichaam is één geheel. Hierdoor is het makkelijk te monteren op een print. Meestal vallen de maten van dit component echter erg groot uit. Zoals eerder vermeld, wordt de print achter de voeding geplaatst. Hierdoor moeten de afmetingen zo beperkt mogelijk blijven. De afmetingen van de gebruikte weerstand en/of koelelement zijn dus belangrijk.

Een los koelelement is in verschillende maten te kiezen. Het is dus mogelijk om een hoog koelelement te kiezen, dit beperkt de oppervlakte die nodig is op de print. Tevens moet de thermische weerstand laag zijn zodat het vermogen goed kan worden gedissipeerd.

Zoals te zien is in figuur 5 staan er twee vertakkingen onder het derde punt. De laatste vertakking is de schakelaar die ervoor dient om de beveiliging in te schakelen. Om te schakelen zijn zowel het relais als de power FET goed toe te passen in dit ontwerp. Omdat de schakelaar in serie komt te staan met de vermogensweerstand, moet de weerstand van de schakelaar zo klein mogelijk zijn. De power FET heeft een vele lagere weerstand dan het relais. Ten opzichte van de laagohmige vermogensweerstand is de weerstand van de power FET dus een eerder te verwaarlozen factor dan ten opzichte van de weerstand van het relais. Tevens is een relais een mechanische component en slijt dus sneller dan een power FET.

4. Prototype ontwerp

Om het gewenste ontwerp te verkrijgen moeten zaken op technisch gebied worden uitgewerkt. Zo kan alles op elkaar worden ingesteld en kan er worden voldaan aan de eisen. Om een goed beeld te creëren van het ontwerp wordt er in deze paragraaf ingegaan op de gedetailleerde aspecten. Dit wordt gedaan aan de hand van bijlage A. In bijlage C staat het elektrisch schema dat hieruit is voortgekomen.

a. Voeding

De Delta Elektronika ES-serie heeft een voedingsspanning van 12V op de SubD connector. Om de module onafhankelijk te houden, wordt deze 12V gebruikt als voeding voor de module. Met behulp van een regulator wordt de 12V van de voeding omgezet naar de voedingsspanning voor de IC's. Het spanningsbereik van alle gekozen IC's bedraagt 5V. De regulator die hiervoor wordt gebruikt, moet dus 12V omzetten in 5V.

De DAC en de ADC worden voorzien van een referentiespanning. De waarde die de DAC uitgeeft en die de ADC in gaat, bedraagt maximaal 5V. De 5V van de regulator kan dus ook als referentiespanning van deze twee componenten dienen.

b. Galvanische scheiding

Om de massa's van de verschillende modules van elkaar gescheiden te houden, is er een galvanische scheiding nodig. Vanwege I²C compatibiliteit van de module moeten de signaal lijnen van het I²C protocol ook galvanisch worden gescheiden. Tevens gaan er data naar de module en komen er nieuwe data van de module af. Om deze reden is er gekozen voor een bi-directionele galvanische scheiding.

c. Bediening

Om de extra functies van de voeding te kunnen bedienen, wordt er gebruik gemaakt van een I/O poort. Tevens kunnen de gebruikte FET's met behulp van de I/O poort worden geschakeld. Vanwege kosten en gebruikersgemak is gekozen om dezelfde I/O poort te gebruiken als de I/O poort bij de starters kit. Er moet bij deze I/O poort wel worden opgelet deze alleen kan sinken, dit houdt in dat de I/O poort een signaal wel laag kan maken maar hierna niet meer hoog krijgt. De uitgangssignalen zoals de FET en RSD moeten dus worden voorzien van een pull-up weerstand. Dit zorgt voor een hoger ampèrage waardoor het signaal weer hoog kan worden gemaakt.

d. DAC

In één van de concepten is aangegeven dat er is gekozen voor een 12bit DAC, tevens wordt aangegeven dat er is gekozen voor een terugkoppeling. Dit houdt in dat er minder hoge eisen aan de nauwkeurigheid van de DAC zijn gesteld. De keuze van de DAC wordt gemaakt aan de hand van prijsvergelijking en wijze van programmeren. De referentiespanning van de DAC wordt aangeboden door de referentie uitgang van de voeding.

e. ADC

Omdat de ADC de gemeten waarde digitaliseert, is het, ondanks de terugkoppeling, van belang dat de ADC een nauwkeurig component is. De terugkoppeling koppelt de uitgang van de voeding, tussen de 0V en 30V, terug naar de ADC. De ADC wordt ingesteld op een bereik van 0 tot 5V. Zoals te zien in bijlage D wordt de FSR bij deze instelling een factor 1,2207 groter dan de referentiespanning. Omdat deze ADC een interne referentie van 4,096V bezit, kan deze worden gebruikt, te weten $1,2207 * 4,096 = 5$. Met de interne referentie zorgt dit voor een stap van 1mV/LSB.

Bij een ingangsspanning boven de 5V is er geen verschil zichtbaar voor de ADC. Om dit op te lossen wordt er gebruik gemaakt van een spanningsdeling voor een ingang van de ADC. De berekening van de waarden voor de weerstanden is hieronder gegeven.

De voeding versterkt een factor 6, logischerwijs kan er dan worden gekozen voor een factor 6 spanningsdeling voor de ingang van de ADC. Er komt dan echter een probleem bij. De maximale foutmarge bedraagt 1%, de maximale spanning op de uitgang is dus 30,3V. De verzwakkingfactor moet dus bedragen:

$$A = \frac{U_{voeding_max}}{U_{ADC_max}} = \frac{30,3}{5} = 6,06x$$

Als deze factor 6 bedraagt in plaats van 6,06 zal de ADC bij een maximale voedingsspanning een spanning uit moeten geven van:

$$U = \frac{U_{voeding_max}}{A} = \frac{30,3}{6} = 5,05V$$

Omdat het bereik van de ADC maximaal 5V bedraagt, detecteert de ADC 0,05V niet. De ADC stuurt in dit geval dus een foute waarde naar LabVIEW en in LabVIEW wordt deze fout niet gemeten. Om dit afkappen te voorkomen, moeten de weerstandwaarden worden aangepast. Dit wordt gerealiseerd door het aanpassen van de spanningsdeling.

$$\begin{aligned} \frac{R2}{R1 + R2} * U_{voeding_max} &= U_{in_ADC} \rightarrow \frac{1000}{R1 + 1000} * 30,3 = 5 \\ \frac{1000}{R1 + 1000} * &= 0,165 \rightarrow R1 = \frac{1000 - 165}{0,165} = 5k06 \end{aligned}$$

Deze waarde komt niet voor in de E-reeks, er wordt gekozen voor de E48 variant 5k11.

Tevens worden de monitor ingangen op de ADC voorzien van spanningsdeling. De maximale foutmarge van de gebruikte DAC bedraagt 126,53mV. Dit houdt in dat er bij een maximale uitgang 5,13V op de uitgang van de DAC kan staan. De ADC leest wederom maar 5V. Hier wordt dus 0,13V afgekapt. De spanningsdeling bedraagt hier:

$$\frac{R2}{R1 + R2} * U_{DAC_max} = U_{in_ADC} \rightarrow \frac{1000}{R1 + 1000} * 5,13 = 5$$

$$\frac{1000}{R1 + 1000} * = 0,975 \rightarrow R1 = \frac{1000 - 975}{0,975} = 26\Omega$$

Dit is erg laagohmig en dus gevoelig voor ruis. Om dit te verhelpen wordt er vermenigvuldigd met een factor 10. De dichtstbijzijnde waarde staat in de E48 reeks: 261E in combinatie met 10k.

f. Beveiliging

Om te voorkomen dat het te testen product niet van een foutieve spanning of stroom wordt voorzien, wordt de uitgang van de module onderbroken. Zodra de gemeten waarden binnen een foutmarge van 1% van de ingestelde waarden overeenkomen, wordt de uitgang ingeschakeld. Het inschakelen van de uitgang wordt bediend via de I/O poort. Deze schakelt een FET die het relais inschakelt, zodat de uitgang wordt geactiveerd. Een andere beveiliging is temperatuur afhankelijk. Bij het meten van de stroom kan de temperatuur oplopen. Om te voorkomen dat het geheel te warm wordt, wordt er een sensor onder het koellichaam geplaatst. Deze kan constant worden gelezen en zodra de temperatuur $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ bedraagt, wordt de stroommeting uitgeschakeld.

Als er tijdens het meten van de stroom een software fout ontstaat dan bestaat de kans dat LabVIEW vastloopt. Als de temperatuur in dit geval oploopt dan kan de meting niet worden gestopt. Om dit te voorkomen wordt er een bimetaal schakelaar op het koellichaam geplaatst, in het elektrisch schema aangegeven met SW_in en SW_out. Deze schakelt zichzelf uit bij een vaste temperatuur, afhankelijk van het soort schakelaar.

g. Stroommeting

Om de stroom te kunnen meten bij een volledige belasting van 10A, is er gekozen voor een los koelelement. Een belangrijke factor bij de keuze van een koelelement is de thermische weerstand. De thermische weerstand bepaalt hoeveel warmte het koelelement in een bepaalde tijd kan dissiperen. De vermogensweerstand heeft ook een thermische weerstand. Om ervoor te zorgen dat de weerstand niet te warm wordt en dus onnauwkeurig, is het van belang dat het koelelement een goede thermische weerstand heeft. Dus meer warmte dissipeert ten opzichte van de vermogensweerstand. De berekening voor de thermische weerstand staat in bijlage E.

5. Evaluatie ontwerp

De evaluatie is opgedeeld in drie delen. Als eerste wordt nagegaan of de hardware werkt, deze wordt gecontroleerd met behulp van RealTerm. RealTerm is een terminal programma dat de ingegeven hexadecimale waarden in een programmacode verwerkt voor het I²C protocol. Vervolgens stuurt RealTerm de code naar het geselecteerde adres. Als de hardware in orde is dan kan de aansturing van de hardware worden gecontroleerd, oftewel het LabVIEW programma. In het laatste deel van de evaluatie wordt de behuizing van de module besproken.

a. Hardware

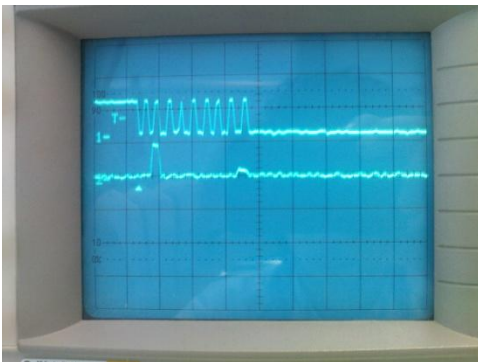
Het testen van de hardware gebeurt aan de hand van een aantal punten. Het voornaamste punt is de aanwezigheid van de juiste voeding op de IC's. Enkele andere punten zijn dat de voedingsspanning voor de IC's $5\text{V} \pm 0,1\%$ moeten bedragen en dat bij een uitgangsspanning van 30V de spanning op de ADC ingang $4,909\text{V} \pm 0,1\%$ bedraagt.

Bij het inschakelen bleek dat de 12V van de regelbare voeding zakte naar 4V. Dit zorgt ervoor dat er geen voeding voor de IC's aanwezig is. Na het opvragen van extra informatie met betrekking tot de voeding, bleek dat de 12V uitgang maximaal 25mA kan leveren. Vergeleken met de vereiste ampères van de componenten, ongeveer 100mA, is dit te weinig om de schakeling te laten functioneren. Eén oplossing hiervoor is een externe voeding te gebruiken. Om verder te kunnen meten is er een labvoeding aangesloten op de module.

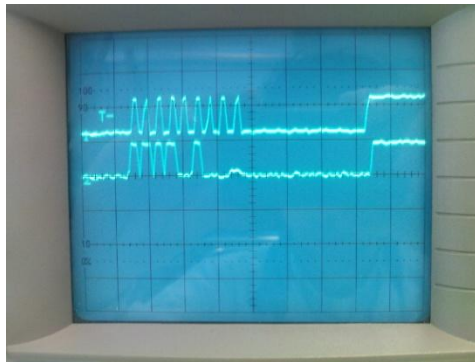
Nu de print wordt gevoed, kan één van de belangrijkste aspecten, namelijk veiligheid, worden gemeten. Dit heeft betrekking op de stand van de schakelaars bij inschakeling. Zowel beide relais als de power FET moeten open staan zodat de uitgang en de stroommeting is uitgeschakeld. Bij het inschakelen van de spanning schakelden beide relais in. Tevens was de uitgang kortgesloten, dit houdt dus in dat ook de powerFET was ingeschakeld voor de stroommeting. Hier kunnen verschillende oorzaken voor zijn, zoals een ongewenst geïnverteerd signaal of een verkeerde aansluiting.

Het volgende punt is de stand-by mode van de voeding, RSD. De voeding geeft bij opstarten Constant Current aan met behulp van een indicatie LED. Dit komt omdat de uitgangen van de I/O poort bij opstarten allemaal hoog zijn. RSD hoog betekend dat de voeding in stand-by mode staat. De begrenzingstroom staat dus op 0A en deze waarde is bereikt. Bij het inschakelen van de module is de voeding dus uitgeschakeld. Dit komt overeen met de gewenste waarden.

Vervolgens moet de waarde die wordt gestuurd met Realterm, worden omgezet naar I²C data. Dit kan gemeten worden met een scope. Om te testen of de juiste data aankomen bij het juiste IC wordt een willekeurige waarde naar de I/O poort gestuurd, in dit geval xF4. Het scopebeeld in figuur 7 geeft het adres aan waar de I/O poort zich bevindt, x18. Figuur 8 geeft aan dat de data op het datapad overeenkomen met de hexadecimale waarde xF4.



Figuur 7

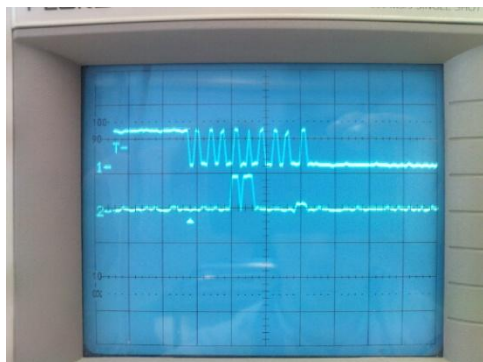


Figuur 8

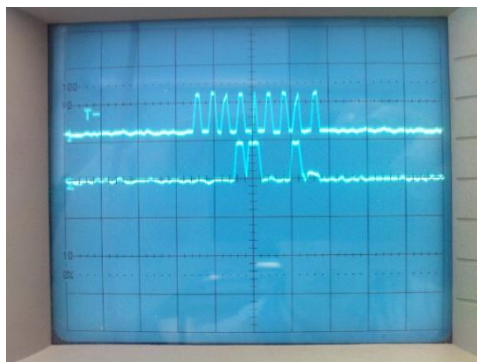
De gestuurde data zijn in orde. De volgende stap is de uitgang van de DAC. De DAC is 12bit met een referentiespanning van 5V. Dit komt overeen met

$$U = \frac{5}{2^{12}} = 1,22mV / LSVB$$

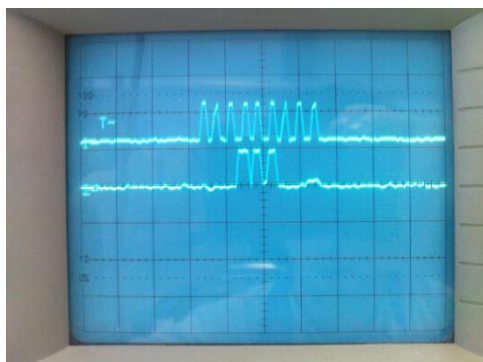
Als de hexadecimale waarde x1C3 naar de DAC wordt gestuurd, dan moet er theoretisch 0,00122 * 451 = 0,55V op de uitgang van de DAC staan. De scopebeelden in figuur 9 tot en met 12 geven respectievelijk het adres van de DAC: x18, de aangeroepen uitgang: x19 en de ingestelde waarde: x1C3 aan. In figuur 13 is de gemeten waarde op de uitgang van de DAC te zien.



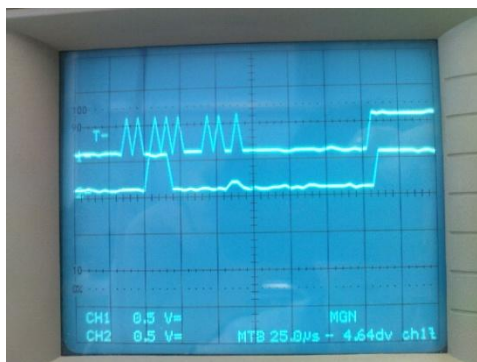
Figuur 9



Figuur 10



Figuur 12



Figuur 11



Figuur 13

Na de DAC wordt nagegaan of de waarde van de ADC overeenkomt met de ingestelde waarde op DAC. Bij het testen blijkt dat de uitgelezen ADC waarde nagenoeg overeenkomt met de DAC waarden. Deze waarden zijn terug te zien in bijlage F. Het spanningsverschil tussen de gemeten DAC en gemeten ADC waarde is te verklaren door de spanningsdeling voor de ingang van de ADC. Deze bevat een factor 0,9757. Verder is te concluderen dat de ingestelde waarde per stap van 0,5V 1LSB extra op de uitgang afwijkt.

Als de instellingen van de module in orde zijn, wordt gekeken of de voeding de gewenste waarde heeft. Dit is echter niet het geval. Bij een gewenste 15V geeft de voeding 15,2V aan. Dit is een afwijking van meer dan 1% en is dus niet gewenst. In bijlage F is de afwijking bij andere instelwaarden te zien. De ingestelde DAC en uitgelezen ADC waarde op de U_{monitor} uitgang van de voeding komen overeen. Bij het meten op de uitgang van de voeding blijkt echter dat de ADC afwijkt van de gewenste waarde. Uit nader onderzoek blijkt dat deze afwijking een lineair verband is. De berekende factor die de voeding versterkt, is hier de oorzaak van.

Het laatste punt van het prototype is een hardwarematige noodstop. Mocht de pc vastlopen tijdens het meten van de stroom, dan is er geen softwarematige stop mogelijk. Om te voorkomen dat de temperatuur te hoog oploopt, is er een bimetaal schakelaar geplaatst. Deze moet open schakelen zodra de temperatuur van het koellichaam $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ heeft bereikt. Met behulp van een föhn is dit getest. Hieruit is gebleken dat dit ook functioneert.

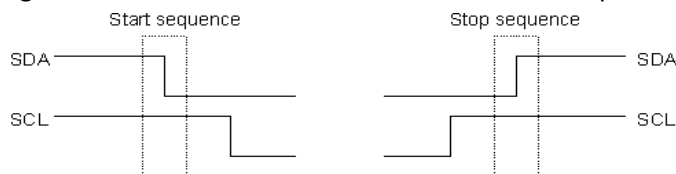
Als er uit wordt gegaan van het eindproduct, dan komt er een aandachtspunt bij. Het eindproduct bestaat namelijk niet, zoals het prototype, uit één maar uit vier voedingen. Iedere voeding wordt voorzien van een module. De functie hiervan is dat alle vier de voedingen, met ieder een aparte spanning en stroom, kunnen worden ingesteld. Het is dus de bedoeling dat er één voor één met een module kan worden gecommuniceerd. Als de module van het prototype vier keer wordt gebruikt, dan is iedere module identiek. Hierdoor heeft iedere DAC hetzelfde adres. Het is dus niet mogelijk om iedere voeding apart in te stellen. Dit kan worden opgelost door voedingen parallel te zetten en dezelfde IC's voor iedere print een ander adres te geven.

b. Software

In eerste instantie was het de bedoeling om voor het prototype een programma te schrijven in LabVIEW. Tijdens het testen van het prototype met het programma RealTerm is gebleken dat alles kan worden gecontroleerd aan de hand van dit programma. Omdat vooral de functionaliteit van het prototype belangrijk is, is ervoor gekozen om geen LabVIEW programma te schrijven voor het prototype. Na testen met Realterm bleek een correcte werking van de hardware en daarom werd besloten een programma met LabVIEW te schrijven voor het eindproduct. Dit bespaart veel tijd omdat het eventuele programma van het prototype veel aanpassingen nodig heeft om gebruikt te kunnen worden bij het eindproduct.

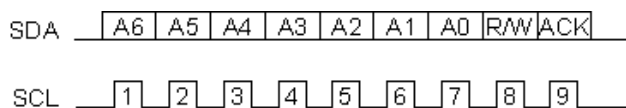
Om de werking van de software te begrijpen, wordt er eerst gekeken naar het I²C microwire protocol. I²C heeft een clock lijn, die zorgt voor synchronisatie van alle data overzettingen, en een data lijn. Deze twee lijnen zijn op ieder IC aangesloten om ermee te communiceren. De IC's op het I²C protocol zijn zowel slave als master IC's.

Het IC dat de clock lijn bedient is de master, de IC's die op de master reageren, zijn de slaves. Het communiceren vanuit de master begint altijd met een start conditie en eindigt altijd met een stop conditie, zie figuur 14.



Figuur 14

Om goed te kunnen testen, is het van belang dat er naar het juiste IC wordt geschreven of van wordt gelezen. Dit wordt gedaan door middel van het I²C "device addressing". In figuur 15 zijn de adres bits aangegeven. Zoals te zien, is het mogelijk om naar 128 verschillende adressen te lezen of te schrijven. Het lezen of schrijven wordt aangegeven door bit 8.



Figuur 15

Om het onderscheid te maken tussen de adressen van de verschillende IC's heeft ieder IC een eigen adres. Deze gegevens zijn te vinden in de datasheets van de betreffende IC's.

In bijlage G tot I zijn de gebruikte pagina's uit de datasheets te vinden en in bijlage I zijn deze gegevens opgesomd.

Het I²C zorgt dus voor een bi-directionele verbinding tussen componenten. Met behulp van deze communicatie kan er in LabVIEW worden ingegaan op een aantal specificaties voor de module.

Tijdens de stroommeting wordt er veel warmte gedissipeerd in de weerstand. Om deze warmte dissipatie zoveel mogelijk te voorkomen, moet de stroommeting stoppen zodra er een stroomwaarde bekend is. Deze waarde moet binnen een foutmarge zitten van $\pm 1\%$. De meting mag maximaal 2 seconden actief zijn. Is er na deze 2 seconden geen stroomwaarde vrijgegeven dan moet de meting stoppen. Tijdens het testen was deze functie volledig naar wens.

Als softwarematige noodstop wordt er een sensor geplaatst onder het koelelement. Deze sensor meet constant de omgevingstemperatuur. Zodra de omgevingstemperatuur oploopt tot $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ wordt de stroommeting stopgezet via de I/O poort.

De sensor wordt geijkt met behulp van een infrarood temperatuurmeter. Zo kan de temperatuur goed worden ingesteld op de $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Het laatste probleem is dat één van de vier voedingen een 10A voeding is in plaats van de gebruikte 5A. Omdat dit bekend was, is de module ontworpen om 10A aan te kunnen. Het programmeren van de 10A voeding is echter een ander probleem. Deze voeding vermenigvuldigt de I_{program} ingang namelijk met een factor twee. Hierdoor moet er om 1A te verkrijgen 0,5V worden ingesteld in plaats van 1V voor 1A bij de drie andere voedingen.

c. Behuizing

Bij het eindproduct worden niet één, maar vier voedingen gebruikt. Het principe om de module rechtstreeks op de voeding in te steken werkt hierbij niet. De ES-300 voeding heeft de 230V stekker namelijk veel dichter bij de Sub-D connector dan de ES-150 voeding. Zo blijft er geen ruimte over om de module te plaatsen.

6. Herontwerp

Aan de hand van de fouten in het ontwerp wordt er een herontwerp gemaakt. In deze paragraaf worden de problemen uit de vorige paragraaf opgelost. Het eerste deel dat werd besproken was de hardware. Een lijst van de uiteindelijk gebruikte componenten is te vinden in bijlage L.

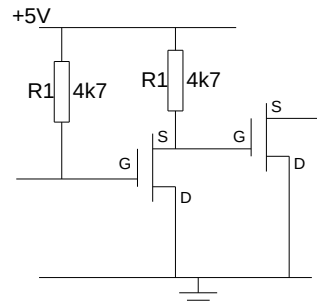
a. Hardware

Om de module goed te laten functioneren, is er een voeding nodig die het benodigde ampèreage kan leveren. Het beveiligingsrelais, het relais voor de stroommeting en de regulator zijn de verbruikers van de 12V voeding. Deze hebben respectievelijk 55mA, 22mA en 8mA nodig. Dit is een totaal ampèreage van 83mA.

Omdat de 12V uitgang van de voeding maar 25mA uitgeeft, wordt de module afhankelijk van een externe voeding. Een labvoeding is hierbij uitgesloten omdat dit niet mobiel is. Een 12V adapter is wel mobiel, deze kan alleen maar één module voeden. Het splitsen van de adapter van één naar vier uitgangen kan dit probleem verhelpen. Per module is ongeveer 100mA nodig, om het veilig te stellen wordt er gekozen voor een adapter die 1A kan leveren. Zo is er na de splitsing voor iedere module 250mA beschikbaar. Het schema en het PCB ontwerp staan in bijlage M en N.

Het inschakelen van de relais wordt veroorzaakt doordat de uitgangen van de I/O poort altijd hoog zijn bij het opstarten. Dit kan worden opgelost door een andere I/O poort te kiezen. Bij deze keuze komen twee facetten kijken. Men kan er niet vanuit gaan dat alles wat op papier staat, klopt. Daarom moet de nieuwe I/O poort in praktijk worden getest op werking en functionaliteit. Tevens zijn er weinig I/O poorten die actief lage uitgangswaarden hebben bij het opstarten. De I/O poorten die dit wel hebben, hebben 16 of meer uitgangen. Dit kost weer erg veel overbodige ruimte op de print en het testen in praktijk kost extra tijd en er is een kans dat de nieuwe I/O poort niet naar wens functioneert.

De tweede optie is het inverteren van de I/O uitgangen waar de FET's zich op bevinden. Dit kan door het gebruik van P kanaal FET's of door twee N FET's achter elkaar te schakelen. Deze keuze is echter makkelijk gemaakt omdat een P kanaal FET een negatieve spanning nodig heeft op de gate-source. Om deze te leveren zou er een extra voeding moeten worden gemaakt op de print of een extra externe voeding. De extra voeding kost echter weer ruimte en de extra externe voeding maakt de module minder mobiel. Het principe om het signaal te inverteren door middel van het gebruik van twee N kanaal FET's is aangegeven in figuur 16. Dit is de meest praktische toepasbare methode en kost tevens weinig extra oppervlakte op de print.



Figuur 16

Een ander probleem was de afwijking van de voeding. In theorie is de maximale afwijking op de ingang van de voeding als volgt te berekenen:

De voeding heeft een offset error van +3mV bij een ingangsspanning van 5V:

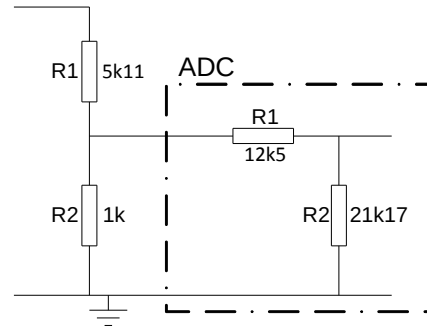
$$\frac{0,003}{5} * 100\% = \pm 0,06\%$$

Samen met een foutmarge van $\pm 0,2\%$ komt de totale foutmarge op $\pm 0,26\%$. Omdat de voeding de ingang met een factor zes vermenigvuldigt, komt dit neer op een afwijking van $\pm 1,56\%$ op de uitgang. De gebruikte gegevens voor bovenstaande berekening staan in bijlage O.

Om verdere vergissingen te voorkomen, wordt er verder onderzoek gedaan naar de ADC. Uit de datasheet blijkt dat er bij de eerder berekende factor 6,03 niet met alle aspecten rekening is gehouden. Bijlage P geeft deze aspecten weer.

Zoals te zien, zijn er extra weerstanden, die zich in de ADC bevinden, waar rekening mee moet worden gehouden. Deze staan parallel over de 1k weerstand uit de spanningsdeling, aangegeven in figuur 17.

Om verdere vergissingen te voorkomen, wordt er rekening gehouden met de tolerantie van de gebruikte weerstanden. De tolerantie van de weerstanden in de ADC is niet bekend, de minimale en maximale tolerantie waarden worden dan ook alleen berekend met de bekende tolerantie van 0,1% van beide weerstanden in de spanningsdeling.



Figuur 17

$$\%R1 = \frac{5110}{100\%} * 0,1\% = \pm 5,11\Omega$$

$$\%R2 = \frac{1000}{100\%} * 0,1\% = \pm 1\Omega$$

De marge van R2 is dan:

$$R2_{\max} = \frac{R2 * R1_{ADC} + R2_{ADC}}{R2 + (R1_{ADC} + R2_{ADC})} = \frac{1001 * (12500 + 8670)}{1001 + 12500 + 8670} = 955,81\Omega$$

$$R2_{\min} = \frac{R2 * R1_{ADC} + R2_{ADC}}{R2 + (R1_{ADC} + R2_{ADC})} = \frac{999 * (12500 + 8670)}{999 + 12500 + 8670} = 953,98\Omega$$

Dit resulteert in een minimale en maximale factor van de spanningsdeling:

$$A_{\max} = \frac{R1_{\max} + R2_{\max}}{R2_{\max}} = \frac{5115,11 + 953,98}{953,98} = 6,36x$$

$$A_{\min} = \frac{R1_{\min} + R2_{\min}}{R2_{\min}} = \frac{5104,89 + 953,98}{953,98} = 6,34x$$

De uitgang van de voeding wordt via de ADC teruggekoppeld naar LabVIEW. Hier wordt de ingestelde met de gemeten waarde vergeleken. Naar aanleiding van deze vergelijking kan de ingestelde waarde worden verlaagd of verhoogd. Dit proces loopt totdat de gemeten waarde met een marge van $\pm 1\%$ van de ingestelde waarde overeenkomt. Met behulp van dit proces kan ook de gewijzigde factor makkelijk worden aangepast. In plaats van de eerst gebruikte 6,11 wordt nu het gemiddelde gebruikt van de berekende factoren, te weten 6,35x.

Het laatste punt was het adresseringsconflict. Ieder IC kan worden ingesteld met een uniek adres door middel van de adreslijnen. Door het plaatsen van jumpers is het mogelijk om drie verschillende adresseringen te verwezenlijken. Dit zou betekenen dat er één adressering is die twee keer voorkomt. Om dit te verhelpen wordt er gebruik gemaakt van de subadressering van de I²C starters kit, zie figuur 18. De drie rode connectoren zijn ieder een subadres van de I²C starters kit. Door één module op één connector te plaatsen en de drie overige modules parallel op de tweede connector, kan het adresseringsconflict worden opgelost.



Figuur 18

b. Software

Het eerste punt is de duur van de stroommeting. Als de gemeten stroom na twee seconden niet binnen de marge van $\pm 1\%$ zit, moet de meting stoppen. In LabVIEW is dit een kwestie van het inbouwen van een timer in een aparte lus. De lus stopt zodra er een stroomwaarde is gevonden binnen de marge. In de tussentijd loopt de timer, deze stopt het programma als de lus niet binnen twee seconden een waarde heeft.

Het tweede punt is de softwarematige noodstop. In LabVIEW wordt hiervoor een regeling gemaakt die constant de temperatuur van de modules in de gaten houdt. Loopt de temperatuur op tot $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ dan wordt de lus voor de stroommeting gestopt.

Het laatste punt is de afwijking van de verhouding van de stroom van één voeding ten opzichte van de drie andere. Het oplossen van het adresseringsconflict gebeurt door één voeding op een aparte bus te zetten van de I²C starters kit. Door hier de 10A voeding voor te nemen, kan het instellen van de stroom worden opgelost. Naar het eerste subadres wordt dan rekening gehouden met een factor twee in plaats van een factor één.

De opzet van dit programma, de flowchart, is te zien in bijlage Q. Bijlage R tot en met S geven het main programma weer met een beschrijving van de sub VI's.

c. Behuizing

Omdat het ontwerp van de module niet is aan te passen naar iets dat voor beide voedingen kan worden gebruikt, wordt ervoor gekozen om de module los naast de voeding te plaatsen. Omdat het eindproduct bestaat uit vier modules, worden deze vier in een behuizing op elkaar gestapeld. Dit zorgt voor een goede oplossing. Het enige nadeel is dat alles moet worden gedemonteerd bij de onderste print bij een eventuele hardware fout.

7. Evaluatie herontwerp

Het invoeren van een externe voeding zorgt ervoor dat iedere module kan worden voorzien van 250mA. Om te testen of deze functioneert, wordt deze aangesloten op het prototype. Bij inschakeling staan overal de juiste spanningen.

Zoals gewenst, schakelen de relais niet in bij het opstarten maar wachten op een actief laag signaal van de I/O poort. Tevens wordt de stroommeting ingeschakeld met een actief laag signaal.

Het inbouwen van een terugkoppeling van de ingestelde waarde in LabVIEW verhelpt het probleem met de afwijking niet. Bij een ingestelde spanning van 10V staat er 10,192V op de uitgang. Het programma regelt nog niet bij binnen de juiste foutmarge. De oorzaak hiervan ligt bij de offset van de voeding. Na een aantal metingen is de factor vastgesteld op 1,0287. Door de ingestelde waarde te delen met deze factor komt de juiste waarde binnen de foutmarge op de uitgang van de DAC.

De testresultaten van de stroommeting en de totaal meting zijn te zien in respectievelijk bijlage T en U. In deze meting is het niet mogelijk om de maximale 30V en 5A in te stellen. Uit tests is gebleken dat het wel mogelijk is om 29V in te stellen. Hierbij meet de ADC al een full scale waarde. Dit komt door de spanningsdeling die softwarematig niet wordt bijgesteld. Door de gewenste waarde ook te delen door deze factor komt de full scale waarde op de uitgang van de DAC bij 30V

Het prototype zorgt, na een aantal aanpassingen, met behulp van het programma RealTerm voor een geautomatiseerde instelling van één voeding. Hierbij is echter geen terugkoppeling mogelijk. Het uiteindelijke programma, geschreven met LabVIEW, heeft wel een terugkoppeling waardoor een foutcontrole op de uitgang mogelijk is. Het prototype is uiteindelijk getest met dit LabVIEW programma, hierin is één voeding te selecteren. Door de voeding te selecteren waar het prototype zich op bevindt, kan deze worden getest. Bij het testen blijkt dat de voeding kan worden ingesteld binnen de foutmarge van 1% van de gewenste waarden.

Het prototype voldoet ook aan de overige eisen, de uitgangen worden alleen vrijgegeven als de ingestelde en gemeten waarde overeenkomen. De stroommeting stopt zodra de ingestelde waarde bereikt is. Tevens stopt de stroommeting als de ingestelde waarde na 2 seconden niet bereikt is. Als de temperatuur boven de 80°C komt, wordt de stroommeting softwarematig uitgeschakeld. De bimetaal schakelaar schakelt netjes uit bij 90°C.

5. Conclusie en aanbevelingen

Concluderend kom ik tot de volgende eisen waaraan het product voldoet: De module neemt weinig ruimte in beslag omdat deze worden gestapeld. Tevens is de module I²C microwire protocol compatible en beschikt het over een galvanische scheiding. De aansturing en controle wordt gerealiseerd met LabVIEW. Het instellen gaat met een DAC en de controle van deze instellingen gaat via een ADC. De extra functies van de voedingen worden bediend door een I/O-poort. Tevens komen de gewenste waarden binnen de foutmarge van 1% op de uitgang van de voeding.

L.A.R.S. kan door Neways worden gebruikt in plaats van een kant-en-klare regelbare voeding, omdat L.A.R.S. alle wensen voldoet. Tevens is L.A.R.S. veel goedkoper dan de meeste regelbare voedingen.

6. Bronnen

Analog Digital Converter

Maxim datasheet
MAX127/MAX128

http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/1890

Choice of heat sink

Vishay datasheet
LPS300

<http://www.vishay.com/resistors-discrete/list/product-50052/>

Digital Analog Converter

Analog Device datasheet
AD5627R

<http://www.analog.com/en/digital-to-analog-converters/da-converters/ad5627r/products/product.html>

RealTerm Terminal Software

I2Cchip

<http://realterm.sourceforge.net/>

I/O port

Philips Semiconductor datasheet
PCF8574

[http://www.nxp.com/#/pip/pip=\[pip=PCF8574_4\]|pp=\[t=pip,i=PCF8574_4\]|](http://www.nxp.com/#/pip/pip=[pip=PCF8574_4]|pp=[t=pip,i=PCF8574_4]|)

Sensor

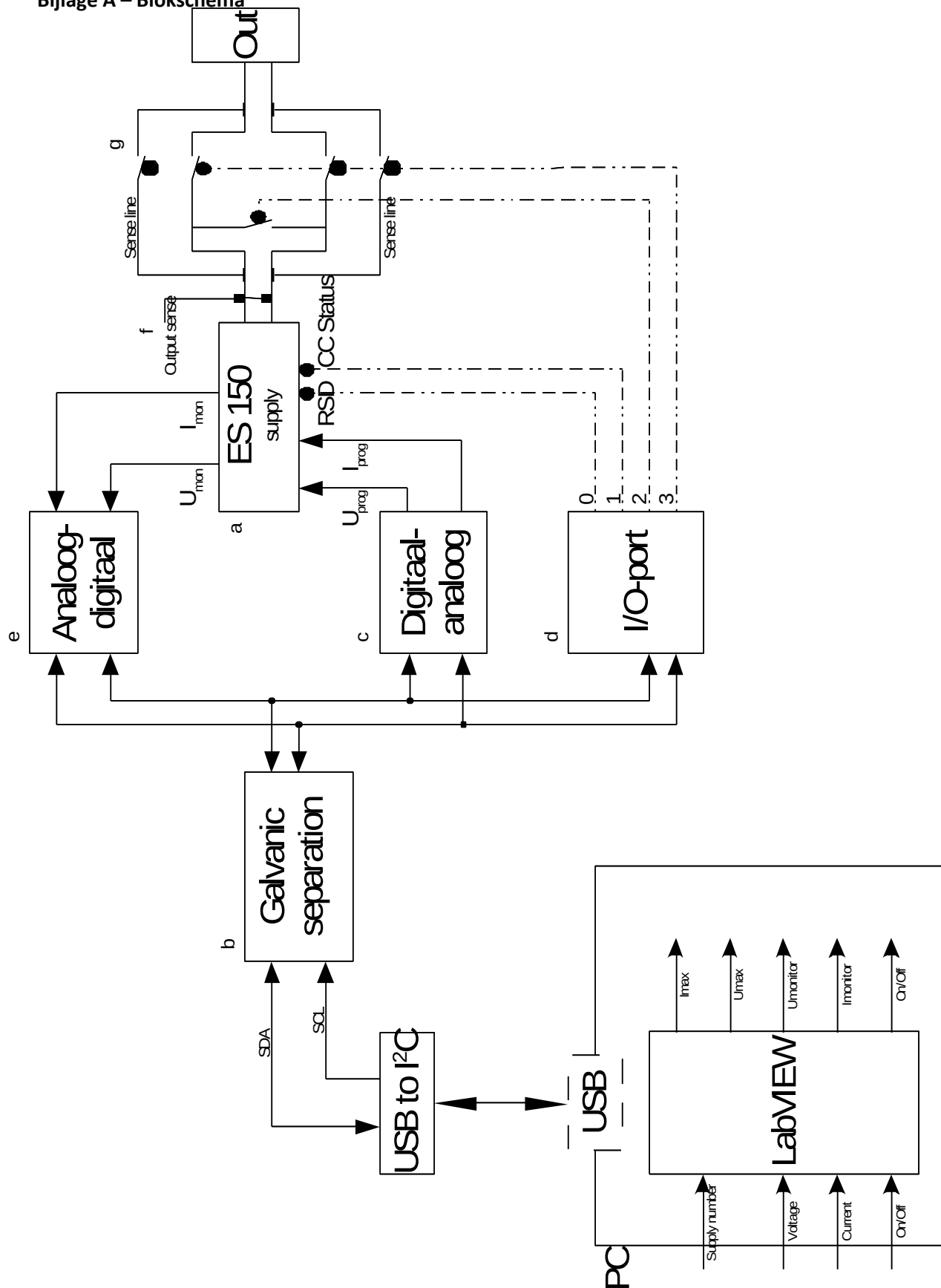
National Semiconductor datasheet
LM75

<http://nl.farnell.com/national-semiconductor/lm75cim-5-nopb/digita-temp-sensor-3-v-3-6-v-8soic/dp/1564753>

7. Bijlagen

Bijlage A – Blokschema	29
Bijlage B – Meetresultaten van de voeding	31
Bijlage C – Elektrisch schema	32
Bijlage D – Datasheet ADC	33
Bijlage E – Thermische weerstand	34
Bijlage F – Spanningsmeting	35
Bijlage G – IC aansturing, datasheet DAC	36
Bijlage G – IC aansturing, datasheet DAC vervolg	37
Bijlage H – IC aansturing, datasheet I/O poort	38
Bijlage H – IC aansturing, datasheet I/O poort vervolg	39
Bijlage H – IC aansturing, datasheet I/O poort vervolg	40
Bijlage I – IC aansturing, datasheet ADC	41
Bijlage J – IC aansturing, datasheet sensor	42
Bijlage K – IC aansturing	43
Bijlage K – IC aansturing vervolg	44
Bijlage L – Stuklijst prototype	45
Bijlage M – Nieuw elektrisch schema	46
Bijlage N – Board lay-out	47
Bijlage O – Datasheet DTS-ES150	48
Bijlage P – ADC berekening	49
Bijlage Q – Flowchart	50
Bijlage R – LabVIEW legenda	51
Bijlage S – LabVIEW	52
Bijlage S – LabVIEW vervolg	53
Bijlage S – LabVIEW vervolg	54
Bijlage S – LabVIEW vervolg	55
Bijlage S – LabVIEW vervolg	56
Bijlage S – LabVIEW vervolg	57
Bijlage S – LabVIEW vervolg	58
Bijlage S – LabVIEW vervolg	59
Bijlage T – Spanningsmeting	60
Bijlage U – Stroommeting	61

Bijlage A – Blokschema



Bijlage B – Meetresultaten van de voeding

Zoals in tabel 1 is te zien, wordt er bij een geprogrammeerde spanning van 1V maar 0,8V uitgestuurd. Dit komt doordat er een grotere stroom wordt gevraagd maar niet gegeven door de ingestelde begrenzing. Zodra de begrenzing wordt verhoogd, neemt de spanning ook toe tot de ingestelde waarde. Hetzelfde geldt voor de vierde stap. De CC status uitgang van de voeding wordt dan ook hoog.

Iprog (V)	Uprog (V)	Imon(V)	Umon (V)
0,5	0,5	0,3	0,5
0,5	1	0,5	0,8
0,6	1	0,6	1
0,6	1,5	0,6	1
1	1,5	0,9	1,5

begrensd door Iprog

begrensd door Iprog

Tabel 1

Pagina 32



Multirange, +5V, 12-Bit DAS with 2-Wire Serial Interface

Table 1. Control-Byte Format

BIT 7 (MSB)	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 (LSB)
START	SEL2	SEL1	SEL0	RNG	BIP	PD1	PD0

BIT	NAME	DESCRIPTION
7 (MSB)	START	The logic "1" received after acknowledgment of a write bit ($R\overline{W} = 0$) defines the beginning of the control byte.
6, 5, 4	SEL2, SEL1, SEL0	These three bits select the desired "ON" channel (Table 2).
3	RNG	Selects the full-scale input voltage range (Table 3).
2	BIP	Selects unipolar or bipolar conversion mode (Table 3).
1, 0 (LSB)	PD1, PD0	These two bits select the power-down modes (Table 4).

Table 2. Channel Selection

SEL2	SEL1	SEL0	CHANNEL
0	0	0	CH0
0	0	1	CH1
0	1	0	CH2
0	1	1	CH3
1	0	0	CH4
1	0	1	CH5
1	1	0	CH6
1	1	1	CH7

Table 4. Power-Down and Clock Selection

PD1	PD0	MODE
0	X	Normal Operation (always on)
1	0	Standby Power-Down Mode (STBYPD)
1	1	Full Power-Down Mode (FULLPD)

Table 3. Range and Polarity Selection

INPUT RANGE (V)	RNG	BIP	NEGATIVE FULL SCALE (V)	ZERO SCALE (V)	FULL SCALE (V)
MAX127					
0 to 5	0	0	–	0	$V_{REF} \times 1.2207$
0 to 10	1	0	–	0	$V_{REF} \times 2.4414$
± 5	0	1	$-V_{REF} \times 1.2207$	0	$V_{REF} \times 1.2207$
± 10	1	1	$-V_{REF} \times 2.4414$	0	$V_{REF} \times 2.4414$
MAX128					
0 to $V_{REF}/2$	0	0	–	0	$V_{REF}/2$
0 to V_{REF}	1	0	–	0	V_{REF}
$\pm V_{REF}/2$	0	1	$-V_{REF}/2$	0	$V_{REF}/2$
$\pm V_{REF}$	1	1	$-V_{REF}$	0	V_{REF}

Bijlage E – Thermische weerstand

Door de weerstand kan 10A lopen. De weerstand moet dus laagohmig zijn zodat er bij 30V ook daadwerkelijk 10A doorheen loopt. Bij een weerstand van 0,01 ohm staat er een spanning over de weerstand van $10 \cdot 0,01 = 1\text{mV}$. Deze waarde ligt veel te laag voor de ADC om een duidelijk signaal te kunnen lezen. De weerstandswaarde moet dus alsnog omhoog, hier komt een hogere vermogensdissipatie bij kijken. Dit houdt in dat de weerstand erg warm zal worden. Om ervoor te zorgen dat de weerstand niet doorbrandt, wordt ervoor gekozen om een koelelement te plaatsen. Er zijn een aantal regels bij het uitzoeken van een koelelement. Zo heeft de thermische weerstand een grenswaarde die berekend moet worden. Dit gebeurt met een algemene formule die wordt gebruikt zoals aangegeven in figuur 19.

Choice of the heatsink

The user must choose the heatsink according to the working conditions of the component (power, room temperature). Maximum working temperature must not exceed 120°C . The dissipated power is simply calculated by the following ratio:

$$P = \frac{\Delta T}{[R_{TH(j-c)} + R_{TH(c-a)}]}$$

P: Expressed in W

ΔT : Difference between maximum working temperature and room temperature

$R_{TH(j-c)}$: Thermal resistance value measured between resistive layer and outer side of the resistor. It is the thermal resistance of the component: (see specifications environmental paragraph).

$R_{TH(c-a)}$: Thermal resistance value measured between outer side of the resistor and room temperature. It is the thermal resistance of the thermal interface, the heatsink (type, shape) and the quality of the fastening device.

Example:

$R_{TH(c-a)}$ for LPS 300 power dissipation 180W at $+50^{\circ}\text{C}$ room temperature.

$\Delta T \leq 120^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$

$$R_{TH(j-c)} + R_{TH(c-a)} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{70}{180} = 0.388^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{TH(j-c)} + R_{TH(c-a)} = 0.112^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{TH(c-a)} = 0.388 - 0.112 = 0.276^{\circ}\text{C/W}$$

Figuur 19

Het koelelement dat gebruikt moet worden bij deze module heeft een maximaal toegestane vermogensdissipatie van 10W met een omgevingstemperatuur van 30°C . De limiet van de overgangstemperatuur bedraagt 80°C . De thermische weerstand van de gebruikte component is $0,9^{\circ}\text{C/W}$ en de thermische weerstand van de koelpasta bedraagt ongeveer 1°C/W .

Het koelelement moet dus een thermische weerstand hebben van $3,1^{\circ}\text{C/W}$.

Bijlage F – Spanningsmeting

Instelwaarde			Gemeten waarde (spanning)				Uitgangswaarde voeding		verschil		eigenlijke waarde
Gewenste spanning (V)	DAC (V)	DAC (hex)	DAC outB (V)	ADC ch.1 (V)	ADC ch.1 (hex)	ch.1 berekend (V)	Spanning (V)	voeding (V)	DAC (hex)	DAC (hex)	
0	0.00	000	0.007	0.006	009	0.011	0.037	0.037	005	000	
0.5	0.08	044	0.091	0.087	041	0.079	0.528	0.028	004	040	
1	0.17	088	0.175	0.168	083	0.160	1.034	0.034	005	083	
1.5	0.25	0CC	0.252	0.242	0C0	0.234	1.543	0.043	006	0C7	
2	0.33	111	0.345	0.332	10C	0.327	2.052	0.052	007	10A	
2.5	0.42	155	0.429	0.413	14C	0.405	2.558	0.058	008	14D	
3	0.50	199	0.513	0.494	18E	0.486	3.064	0.064	009	190	
3.5	0.58	1DE	0.598	0.576	1D2	0.569	3.576	0.076	00A	1D4	
4	0.67	222	0.682	0.657	214	0.649	4.081	0.081	00B	217	
4.5	0.75	266	0.766	0.738	257	0.731	4.587	0.087	00C	25A	
5	0.83	2AB	0.852	0.821	29C	0.815	5.1	0.1	00E	29D	
10	1.67	556	1.696	1.636	538	1.667	10.178	0.178	018	53E	
15	2.50	801	2.541	2.451	7D5	2.448	15.255	0.255	023	7DE	
20	3.33	AAC	3.386	3.266	A78	3.271	20.331	0.331	02D	A7F	
25	4.17	D57	4.23	4.080	D0F	4.081	25.408	0.408	038	D1F	
30	5.00	FFF	5.07	4.890	FA9	4.894	30.462	0.462	03F	FC0	

AD5627R/AD5647R/AD5667R, AD5627/AD5667

INPUT SHIFT REGISTER

The input shift register is 24 bits wide. Data is loaded into the device as a 24-bit word under the control of a serial clock input, SCL. The timing diagram for this operation is shown in Figure 3. The 8 MSBs make up the command byte. DB23 is reserved and should always be set to 0 when writing to the device. DB22 (S) is used to select multiple byte operation. The next three bits are the command bits (C2, C1, C0) that control the mode of operation of the device. See Table 8 for details. The last 3 bits of first byte are the address bits (A2, A1, A0). See Table 9 for details. The rest of the bits are the 16-, 14-, 12-bit data word. The data word comprises the 16-, 14-, 12-bit input code followed by two or four don't cares for the AD5647R and the AD5627R/AD5627, respectively (see Figure 59 through Figure 61).

MULTIPLE BYTE OPERATION

Multiple byte operation is supported on the AD56x7R/AD56x7. A 2-byte operation is useful for applications that require fast DAC updating and do not need to change the command byte. The S bit (DB22) in the command register can be set to 1 for 2-byte mode of operation (see Figure 57). For standard 3-byte and 4-byte operation, the S bit (DB22) in the command byte should be set to 0 (see Figure 58).

BROADCAST MODE

Broadcast addressing is supported on the AD56x7R/AD56x7. Broadcast addressing can be used to synchronously update or power down multiple AD56x7R/AD56x7 devices. Using the broadcast address, the AD56x7R/AD56x7 responds regardless of the states of the address pins. Broadcast is supported only in write mode. The AD56x7R/AD56x7 broadcast address is 00010000.

Table 8. Command Definition

C2	C1	C0	Command
0	0	0	Write to input register <i>n</i>
0	0	1	Update DAC register <i>n</i>
0	1	0	Write to input register <i>n</i> , update all (software LDAC)
0	1	1	Write to and update DAC channel <i>n</i>
1	0	0	Power up/power down
1	0	1	Reset
1	1	0	LDAC register setup
1	1	1	Internal reference setup (on/off)

Table 9. DAC Address Command

A2	A1	A0	ADDRESS (<i>n</i>)
0	0	0	DAC A
0	0	1	DAC B
1	1	1	Both DACs

LDAC FUNCTION

The AD56x7R/AD56x7 DACs have double-buffered interfaces consisting of two banks of registers, input registers and DAC registers. The input registers are connected directly to the input shift register, and the digital code is transferred to the relevant input register on completion of a valid write sequence. The DAC registers contain the digital codes used by the resistor strings.

Access to the DAC registers is controlled by the $\overline{\text{LDAC}}$ pin. When the $\overline{\text{LDAC}}$ pin is high, the DAC registers are latched and the input registers can change state without affecting the contents of the DAC registers. When $\overline{\text{LDAC}}$ is brought low, however, the DAC registers become transparent and the contents of the input registers are transferred to them. The double-buffered interface is useful if the user requires simultaneous updating of all DAC outputs. The user can write to one of the input registers individually and then, by bringing $\overline{\text{LDAC}}$ low when writing to the other DAC input register, all outputs update simultaneously.

These parts each contain an extra feature whereby a DAC register is not updated unless its input register has been updated since the last time $\overline{\text{LDAC}}$ was brought low. Normally, when $\overline{\text{LDAC}}$ is brought low, the DAC registers are filled with the contents of the input registers. In the case of the AD56x7R/AD56x7, the DAC register updates only if the input register has changed since the last time the DAC register was updated, thereby removing unnecessary digital crosstalk.

The outputs of all DACs can be simultaneously updated, using the hardware $\overline{\text{LDAC}}$ pin.

AD5627R/AD5647R/AD5667R, AD5627/AD5667

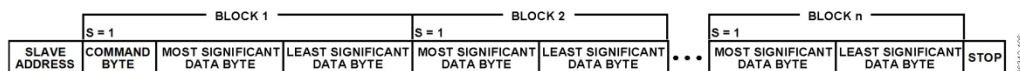


Figure 57. Multiple Block Write with Initial Command Byte Only ($S = 1$)

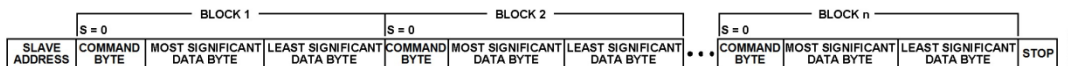


Figure 58. Multiple Block Write with Command Byte in Each Block ($S = 0$)

DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
R	S	C2	C1	C0	A2	A1	A0	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
RESERVED	BYTE SELECTION	COMMAND			DAC ADDRESS			DAC DATA								DAC DATA							
		COMMAND BYTE			DATA HIGH BYTE								DATA LOW BYTE										

Figure 59. AD5667R/AD5667 Input Shift Register (16-Bit DAC)

DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
R	S	C2	C1	C0	A2	A1	A0	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X	X
RESERVED	BYTE SELECTION	COMMAND			DAC ADDRESS			DAC DATA								DAC DATA							
		COMMAND BYTE			DATA HIGH BYTE								DATA LOW BYTE										

Figure 60. AD5647R Input Shift Register (14-Bit DAC)

DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16	DB15	DB14	DB13	DB12	DB11	DB10	DB9	DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
R	S	C2	C1	C0	A2	A1	A0	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	X	X	X	X
RESERVED	BYTE SELECTION	COMMAND			DAC ADDRESS			DAC DATA								DAC DATA							
		COMMAND BYTE			DATA HIGH BYTE								DATA LOW BYTE										

Figure 61. AD5627R/AD5627 Input Shift Register (12-Bit DAC)

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

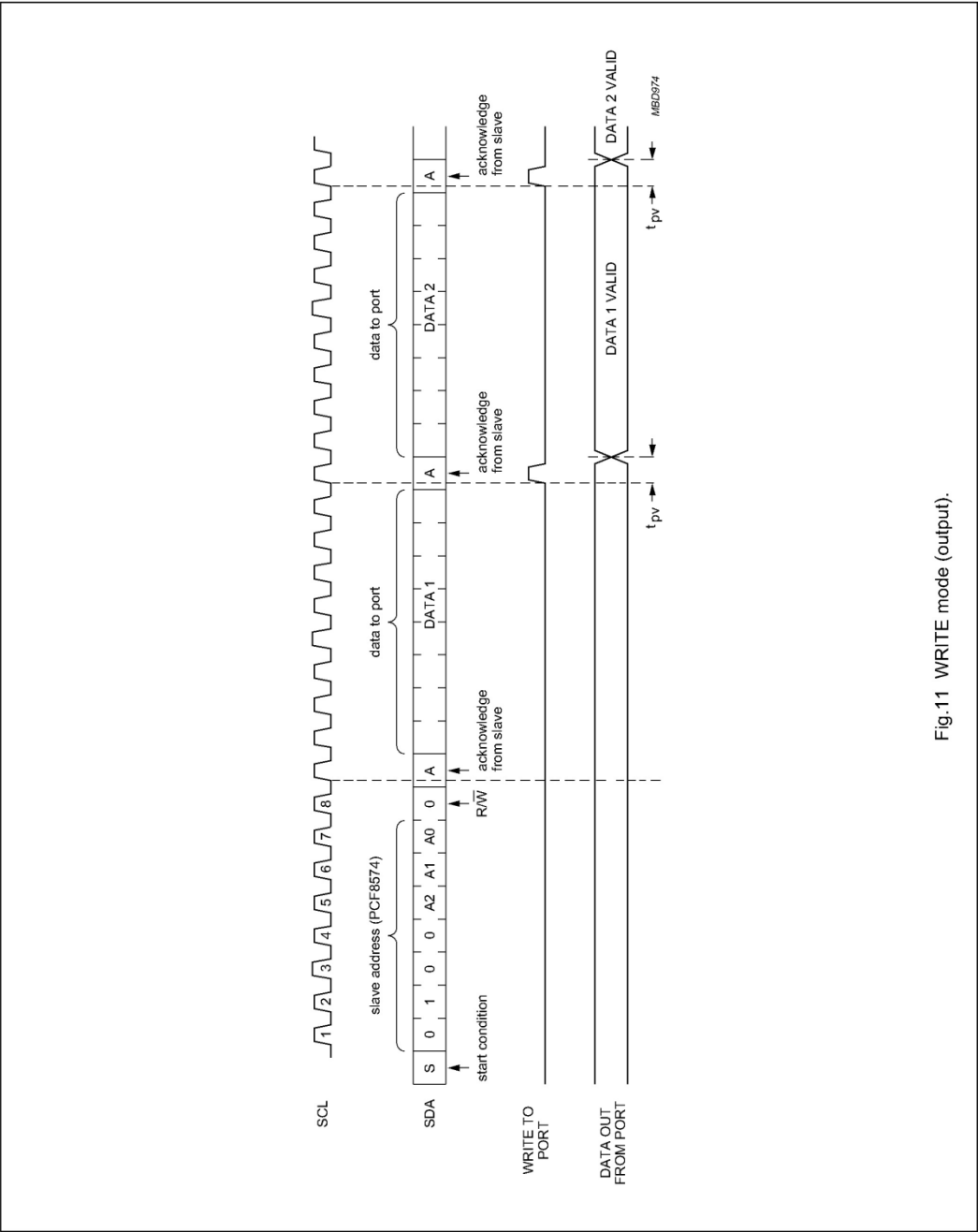
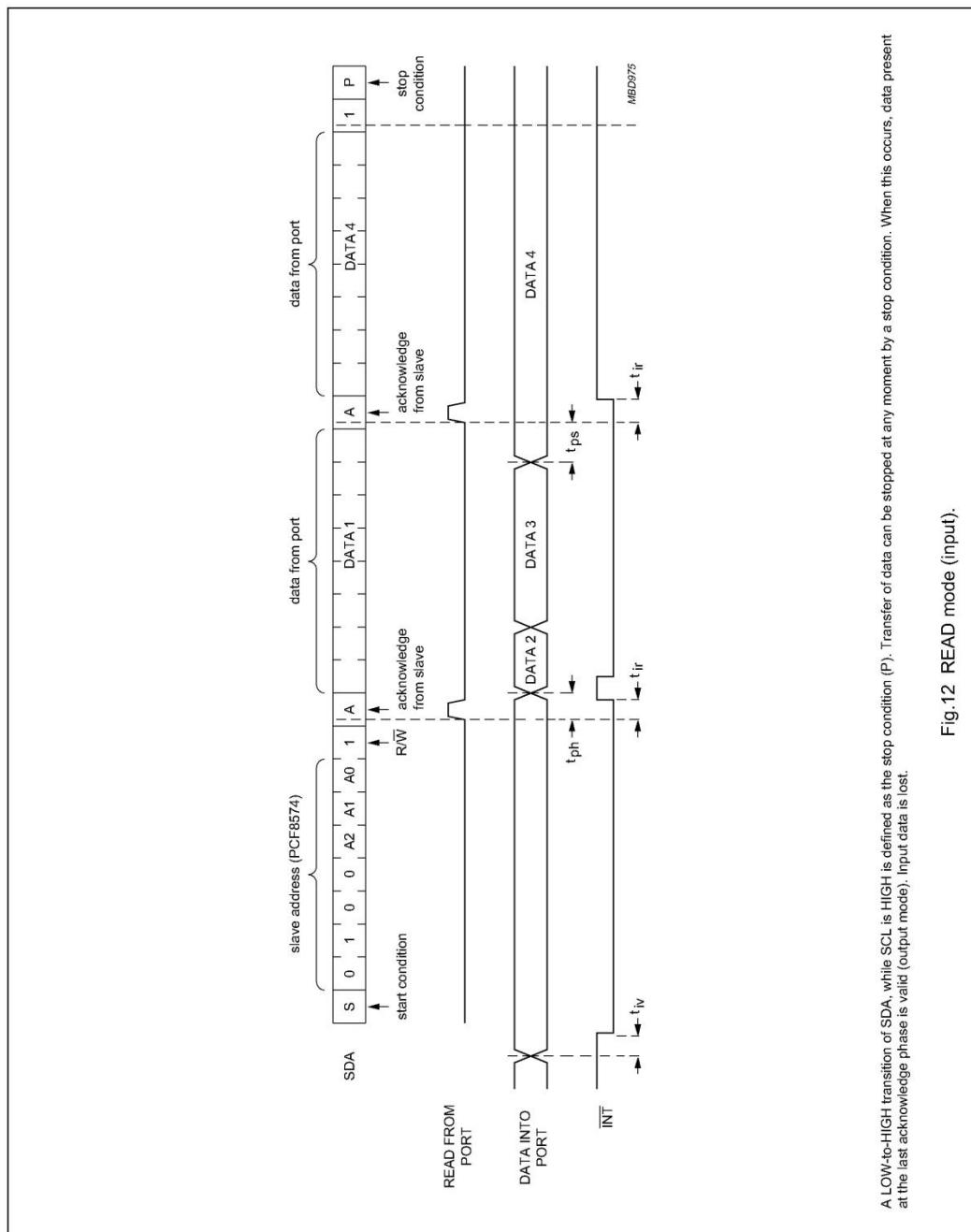


Fig.11 WRITE mode (output).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574



Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

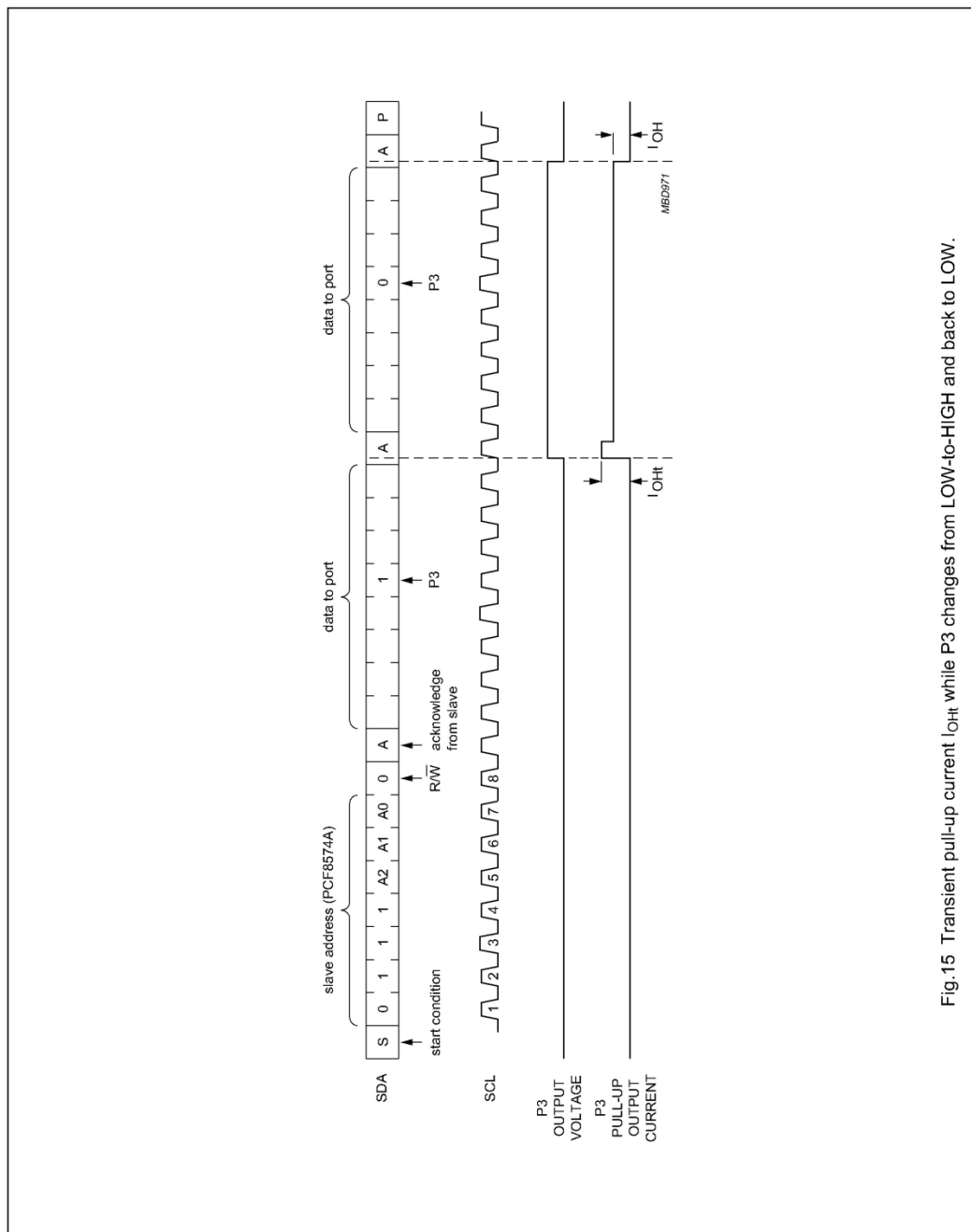


Fig.15 Transient pull-up current I_{OH} while P3 changes from LOW-to-HIGH and back to LOW.

Multirange, +5V, 12-Bit DAS with 2-Wire Serial Interface

Table 1. Control-Byte Format

BIT 7 (MSB)	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 (LSB)
START	SEL2	SEL1	SEL0	RNG	BIP	PD1	PD0

BIT	NAME	DESCRIPTION
7 (MSB)	START	The logic "1" received after acknowledge of a write bit ($R/\overline{W} = 0$) defines the beginning of the control byte.
6, 5, 4	SEL2, SEL1, SEL0	These three bits select the desired "ON" channel (Table 2).
3	RNG	Selects the full-scale input voltage range (Table 3).
2	BIP	Selects unipolar or bipolar conversion mode (Table 3).
1, 0 (LSB)	PD1, PD0	These two bits select the power-down modes (Table 4).

Table 2. Channel Selection

SEL2	SEL1	SEL0	CHANNEL
0	0	0	CH0
0	0	1	CH1
0	1	0	CH2
0	1	1	CH3
1	0	0	CH4
1	0	1	CH5
1	1	0	CH6
1	1	1	CH7

Table 4. Power-Down and Clock Selection

PD1	PD0	MODE
0	X	Normal Operation (always on)
1	0	Standby Power-Down Mode (STBYPD)
1	1	Full Power-Down Mode (FULLPD)

Table 3. Range and Polarity Selection

INPUT RANGE (V)	RNG	BIP	NEGATIVE FULL SCALE (V)	ZERO SCALE (V)	FULL SCALE (V)
MAX127					
0 to 5	0	0	–	0	$V_{REF} \times 1.2207$
0 to 10	1	0	–	0	$V_{REF} \times 2.4414$
± 5	0	1	$-V_{REF} \times 1.2207$	0	$V_{REF} \times 1.2207$
± 10	1	1	$-V_{REF} \times 2.4414$	0	$V_{REF} \times 2.4414$
MAX128					
0 to $V_{REF}/2$	0	0	–	0	$V_{REF}/2$
0 to V_{REF}	1	0	–	0	V_{REF}
$\pm V_{REF}/2$	0	1	$-V_{REF}/2$	0	$V_{REF}/2$
$\pm V_{REF}$	1	1	$-V_{REF}$	0	V_{REF}

LM75

1.0 Functional Description (Continued)**1.4 TEMPERATURE DATA FORMAT**

Temperature data can be read from the Temperature, T_{OS} Set Point, and T_{HYST} Set Point registers; and written to the T_{OS} Set Point, and T_{HYST} Set Point registers. Temperature data is represented by a 9-bit two's complement word with an LSB (Least Significant Bit) equal to 0.5°C.

Temperature	Digital Output	
	Binary	Hex
+125°C	0 1111 1010	0FAh
+25°C	0 0011 0010	032h
+0.5°C	0 0000 0001	001h
0°C	0 0000 0000	000h
-0.5°C	1 1111 1111	1FFh
-25°C	1 1100 1110	1CEh
-55°C	1 1001 0010	192h

1.5 SHUTDOWN MODE

Shutdown mode is enabled by setting the shutdown bit in the Configuration register via the I²C bus. Shutdown mode reduces power supply current to 1 µA typical. In Interrupt mode O.S. is reset if previously set and is undefined in Comparator mode during shutdown. The I²C interface remains active. Activity on the clock and data lines of the I²C bus may slightly increase shutdown mode quiescent current. T_{OS} , T_{HYST} , and Configuration registers can be read from and written to in shutdown mode.

1.6 FAULT QUEUE

A fault queue of up to 6 faults is provided to prevent false tripping of O.S. when the LM75 is used in noisy environments. The number of faults set in the queue must occur consecutively to set the O.S. output.

1.7 COMPARATOR/INTERRUPT MODE

As indicated in the O.S. Output Temperature Response Diagram, *Figure 4*, the events that trigger O.S. are identical for either Comparator or Interrupt mode. The most important difference is that in Interrupt mode the O.S. will remain set indefinitely once it has been set. To reset O.S. while in Interrupt mode, perform a read from any register in the LM75.

1.8 O.S. OUTPUT

The O.S. output is an open-drain output and does not have an internal pull-up. A "high" level will not be observed on this pin until pull-up current is provided from some external source, typically a pull-up resistor. Choice of resistor value depends on many system factors but, in general, the pull-up resistor should be as large as possible. This will minimize any errors due to internal heating of the LM75. The maximum resistance of the pull up, based on LM75 specification for High Level Output Current, to provide a 2V high level, is 30 kΩ.

1.9 O.S. POLARITY

The O.S. output can be programmed via the configuration register to be either active low (default mode), or active high. In active low mode the O.S. output goes low when triggered exactly as shown on the O.S. Output Temperature Response Diagram, *Figure 4*. Active high simply inverts the polarity of the O.S. output.

Bijlage K – IC aansturing

DAC

Addressing	default					Address 0			r/!w
	0	0	0	1	1	0	0	0	
Address write	1					8			
	0	0	0	1	1	0	0	1	
Address read	1					9			

Command byte	Data high byte				Data low byte			
	res	Bit	mode (C2..C0)		output address			
	0	0	1	0	0	X	X	X
Power mode	2				0			
	0	0	0	1	1	0	0	0
Iprogram (outA)	1				8			
	0	0	0	1	1	0	0	1
Uprogram (outB)	1				9			

I/O poort

Addressing	default					Address 0			r/!w
	0	1	0	0		0	0	0	0
Address write	4					0			
	0	1	0	0		0	0	0	1
Address read	4					1			

Commands	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0
	1	1	1	1	1	1	1	0
Idle mode	F				E			
	1	1	1	1	1	1	0	1
RSD off	F				D			
	1	1	1	1	1	1	1	1
RSD on	F				F			
	1	1	1	1	0	1	0	0
Current measurement	F				4			
	1	1	1	1	0	1	0	0
Output enable	E				D			

!P0 = CC Status, input

P1 = enable RSD, output

!P3 = enable current measurement, output

!P4 = enable output, output

!P7 = clear DAC, output

Bijlage K – IC aansturing vervolg

ADC

Addressing	default				Address			r/lw
	0	1	0	1	0	0	0	0
Address write	5				0			
	0	1	0	1	0	0	0	0
Address read	5				1			

Control	Strt	Ch. number			rng	bip	Power m.	
	1	0	0	0	0	0	0	0
Imonitor	8				0			
	1	0	0	1	0	0	0	0
Umonitor	9				0			
	1	0	1	0	0	0	0	0
Uout	A				0			
	1	0	1	1	0	0	0	0
Iout	B				0			

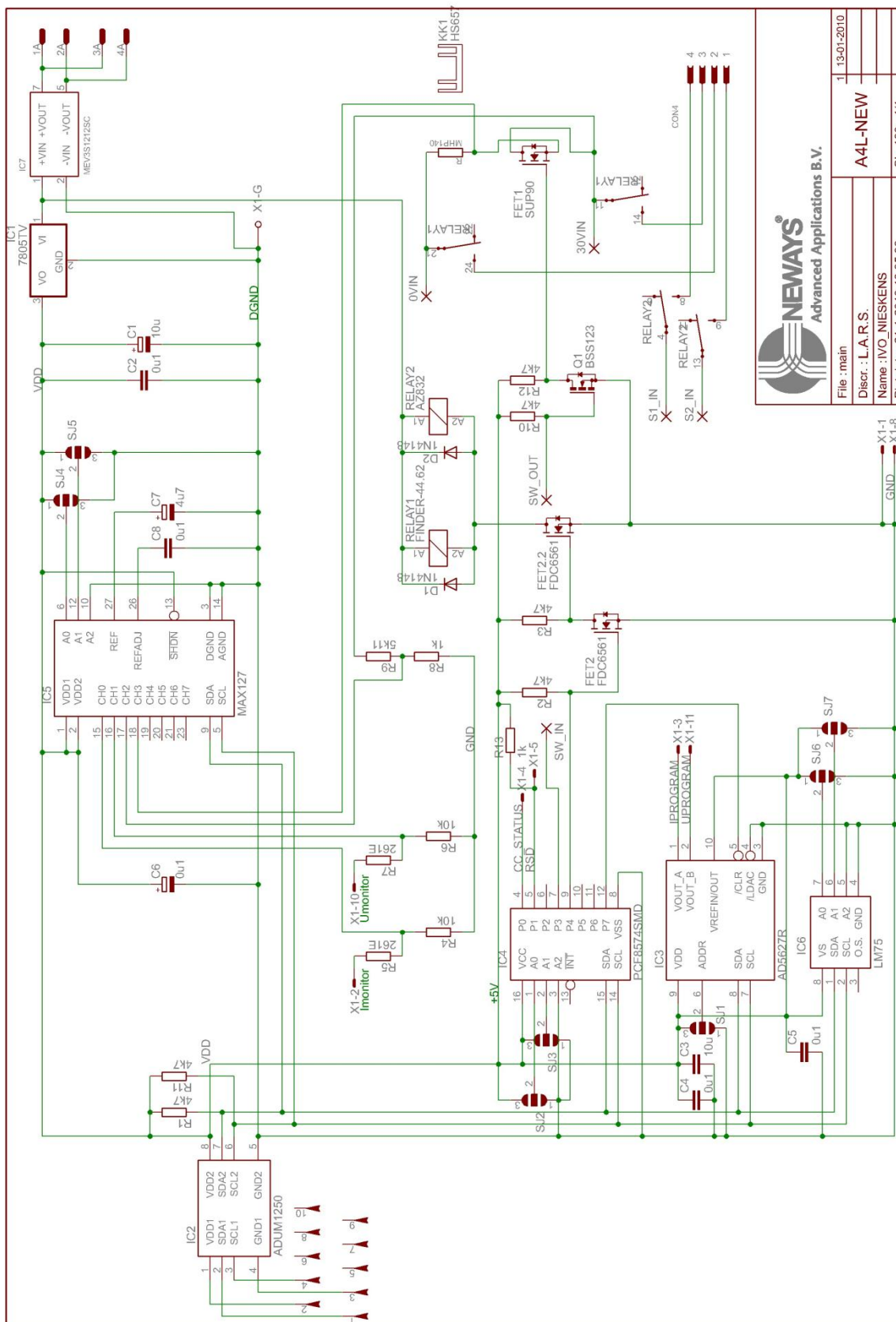
Sensor

Addressing	default				Address			r/lw
	1	0	0	1	0	0	0	0
Address write	9				0			
	1	0	0	1	0	0	0	1
Address read	9				1			

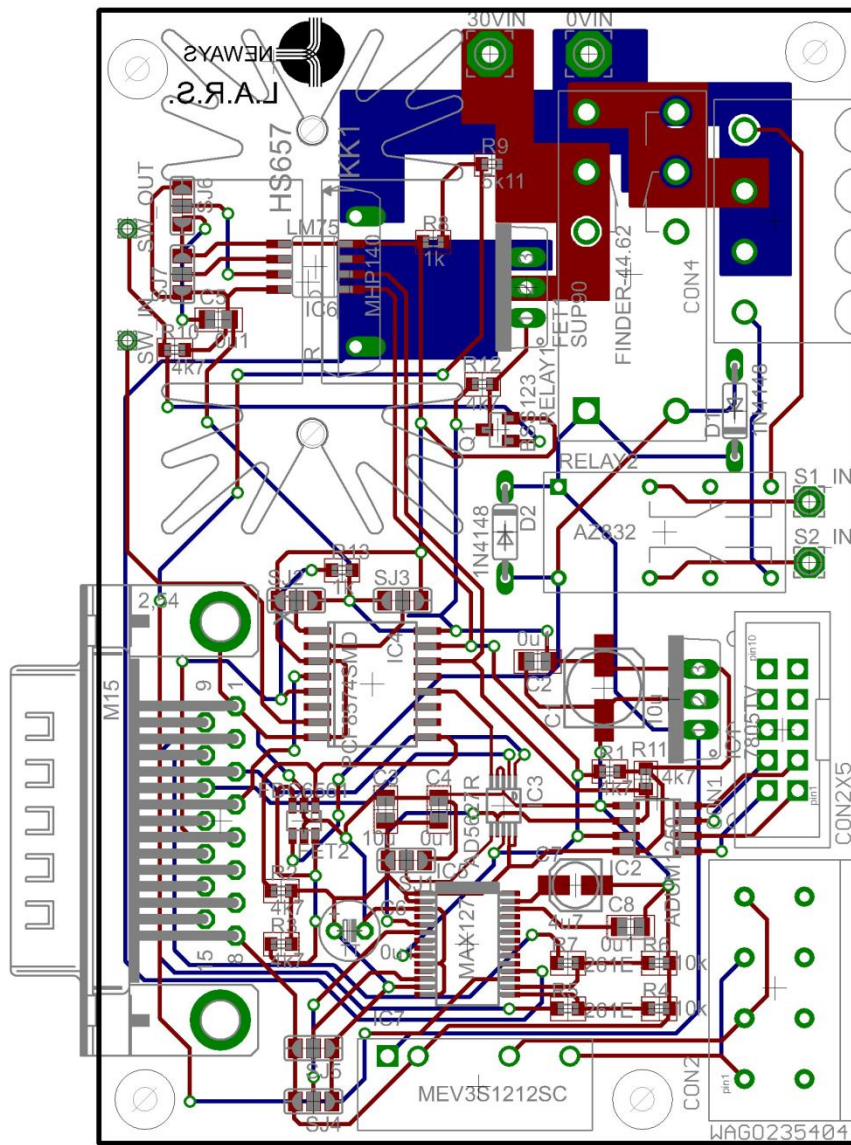
Bijlage L – Stuklijst prototype

number	part	description	Internal Part Number	Order (IPN N/A)	Supplier
1	ES150		N/A	-	
1	Adapter	12V/1A	N/A		
1	ADC	MAX127	N/A	MAX127ACAI	Maxim
4	CAP 0,1u	C C 100N 50V 10% 0805	309281000		
1	CAP 10u	C C 10U0 10V 10% 0805	323465900		
1	Conn 2x5p cable	X CONN 10P FS	322376300		
1	Conn 2x5p PCB	X CONN 2X5P MS	400326500		
4	Conn 4p	235-404	N/A	235-404	Farnell
1	Conn 4p cable	X CONN 4P CABLE	310481100	125936	
1	Conn 4p PCB	X CONN 4P PCB	310482600	11246	
1	DAC	AD5627R	N/A	AD5627RBRMZ	AnalogDevice
1	DCDC conv.	12V/12V galvanic isolation	N/A		
2	Diode	1N4448	311043200		
1	ELC CAP 4u7	C ELC 4U70 35V 20% SMD	400042700		
1	ELC. CAP 10u	C ELC 10U0 50V SMD	402271800		
1	ELC.CAP 0,1u	C ELC OU10 25V 20% RAD	402152100		
1	FET	FDV303N SOT23-3	402463000		
1	Galvanic	ADum1250	N/A	ADuM1250ARZ	Analog Device
1	Heat control	Bimetalic switch	N/A	2455R- 100-76	Honeywell
1	Heat dissipation	HEATSINK	N/A	657-15ABEP	Wakefield
1	Heat sensor	LM75CIM-5 NOPB SO-8	400475700		
1	I/O	PCF8574T/3 SO-16	307769900		Philips Semi
1	MOSFET	I MOSFET FDC6561AN SMD	402546500		
1	Power MOSFET	0E0033, 2.63 - 3.75 W	N/A	SUP90N03-03-E3	Vishay
1	Power RES	0E1, 140W, 0.9C/W	N/A	MHP1400R100F	BI Technologies
1	RELAY double	FINDER44.62	N/A	44.62.9.012.4000	FINDER
1	RELAY double (sense)	U RELAY PCB 2XC.O 12V/2A	322320200		
1	RES 1k	1K00 0.1% 100mW 15PPM 0603	310401500		
3	RES 4k7	4K7 1% 100mW 50PPM 0603	313330100		
1	RES 5k11	R 5K11 0.1% 0.1W 15PPM 0603	402722100		
2	RES 249E	249E 1% 100mW 50PPM 0603	321039500		
2	RES 10k	10K 0.1% 100mW 50PPM 0603	402084800		
1	SubD	X CONN 15P SUB-D MA	308539400		
1	Uref 12V - 5V	I REG LM7805CT 5V TO220	317634800		

Bijlage M – Nieuw elektrisch schema



Bijlage N – Board lay-out



Bijlage O – Datasheet DTS-ES150

DELTA ELEKTRONIKA BV

ES150

	ES 015-10	ES 030-5	ES 075-2	ES 0300-0.45
Output voltage current	0 - 15 V 0 - 10 A	0 - 30 V 0 - 5 A	0 - 75 V 0 - 2 A	0 - 300 V 0 - 450 mA
Input AC single phase, 48 - 62 Hz Input current @ 230 VAC power factor, 110 / 230 VAC full load DC internal fuses standby input power ($V_o=I_o=0$) standby input power ($V_o=V_{max}$)	90 - 265 V 1 A 0.99 / 0.83 contact factory 4 AT 6 W 11 W			
Efficiency AC 230 V input, full load AC 110 V input, full load	83 % 80 %	84 % 82 %	84 % 81 %	84 % 81 %
Regulation				
Load 0 - 100% CV internal sensing optional external sensing	15 mV 2 mV	6 mV 2 mV	5 mV 5 mV	10 mV 10 mV
Line 90 - 265 V AC CV	0.2 mV	0.5 mV	1 mV	3 mV
Load 0 - 100% CC Line 90 - 265 V AC CC (internal voltage sensing)	3 mA 0.5 mA	1 mA 0.2 mA	0.5 mA 0.1 mA	0.3 mA 0.05 mA
Ripple + noise (full load) rms (BW=300 kHz) CV p-p (BW=50 MHz) CV rms (BW=300 kHz) CC p-p (BW=50 MHz) CC	0.5 mV 8 mV 1.5 mA 10 mA	0.6 mV 10 mV 0.5 mA 2 mA	1 mV 15 mV 0.1 mA 0.5 mA	7 mV 50 mV (typical 30 mV) 0.03 mA 0.2 mA
Temp. coeff., per °C CV CC	5.10 ⁻⁵ 10.10 ⁻⁵			
Stability after 1 hr warm-up during 8 hrs CV CC tamb = 25 ± 1 °C, Vin = 230 VAC (internal voltage sensing for CC-stab.)	10.10 ⁻⁵ 10.10 ⁻⁵	10.10 ⁻⁵ 10.10 ⁻⁵	10.10 ⁻⁵ 10.10 ⁻⁵	10.10 ⁻⁵ 12.10 ⁻⁵

Analog Programming	CV	CC
Programming inputs input range accuracy offset temp. coeff. offset input impedance	0 - 5 V ± 0.2% 0 ... + 3 mV (on 5 V) 10 μV / °C 1 MOhm	0 - 5 V ± 0.8% 0 ... + 10 mV (on 5 V) 60 μV / °C 1 MOhm
Monitoring output output range accuracy offset temp. coeff. offset output impedance	0 - 5 V ± 0.2% - 1 ... + 1 mV (on 5 V) 10 μV / °C 2 Ohm / max. 4 mA	0 - 5 V ± 0.8% - 10 ... 0 mV (on 5 V) 60 μV / °C 2 Ohm / max. 4 mA

Reference voltage on prog. connector TC	Vref	5.137 ± 10 mV (R _{ref} = 2 Ohm, max. 4 mA) 50 ppm
--	------	---

Multirange, +5V, 12-Bit DAS with 2-Wire Serial Interface

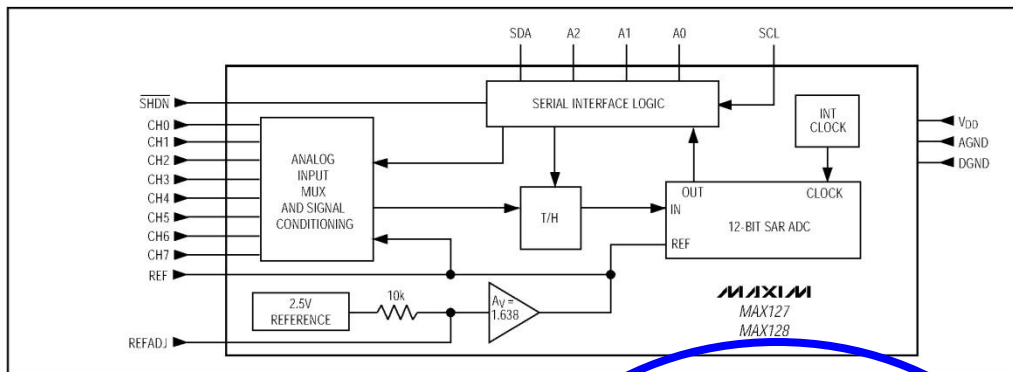


Figure 1. Block Diagram

Detailed Description

Converter Operation

The MAX127/MAX128 multirange, fault-tolerant ADCs use successive approximation and internal track/hold (T/H) circuitry to convert an analog signal to a 12-bit digital output. Figure 1 shows the block diagram for these devices.

Analog-Input Track/Hold

The T/H circuitry enters its tracking/acquisition mode on the falling edge of the sixth clock in the 8-bit input control word and enters its hold/conversion mode when the master issues a STOP condition. For timing information, see the *Start a Conversion* section.

Input Range and Protection

The MAX127/MAX128 have software-selectable input ranges. Each analog input channel can be independently programmed to one of four ranges by setting the appropriate control bits (RNG, BIP) in the control byte (Table 1). The MAX127 has selectable input ranges extending to $\pm 10V$ ($\pm V_{REF} \times 2.441$), while the MAX128 has selectable input ranges extending to $\pm V_{REF}$. Note that when an external reference is applied at REFADJ, the voltage at REF is given by $V_{REF} = 1.638 \times V_{REFADJ}$ ($2.4 < V_{REF} < 4.18$). Figure 2 shows the equivalent input circuit.

A resistor network on each analog input provides a $\pm 16.5V$ fault protection for all channels. This circuit limits the current going into or out of the pin to less than 1.2mA, whether or not the channel is on. This provides an added layer of protection when momentary over-voltages occur at the selected input channel, and when a negative signal is applied at the input even though

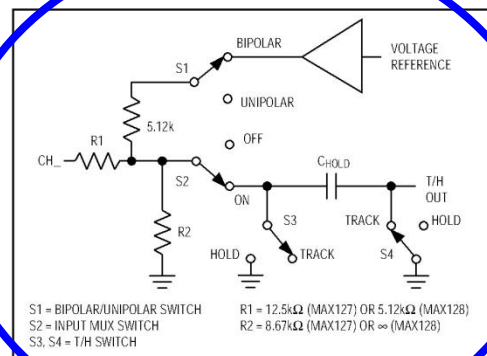


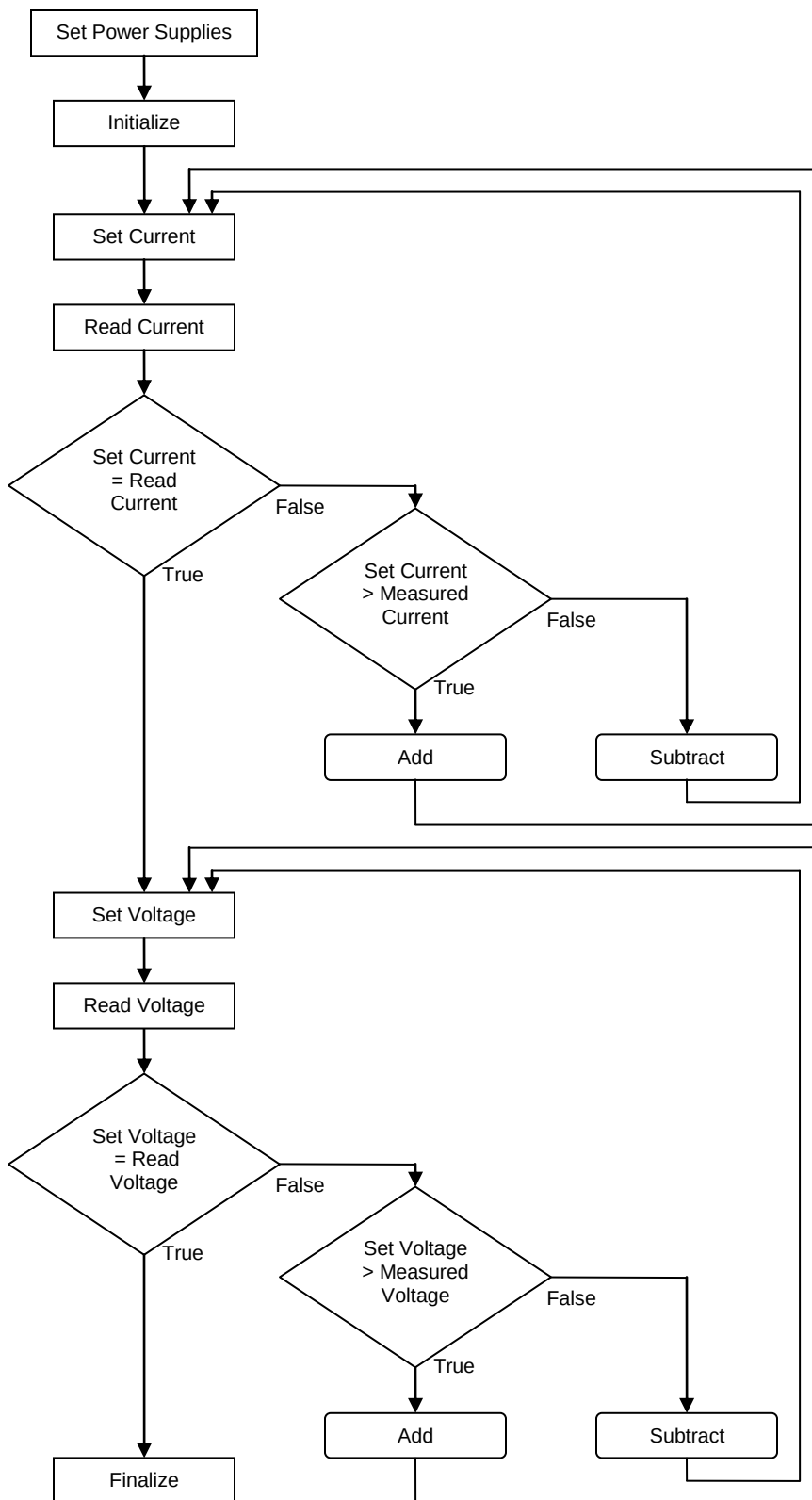
Figure 2. Equivalent Input Circuit

the device may be configured for unipolar mode. Overvoltage protection is active even if the device is in power-down mode or $V_{DD} = 0$.

Digital Interface

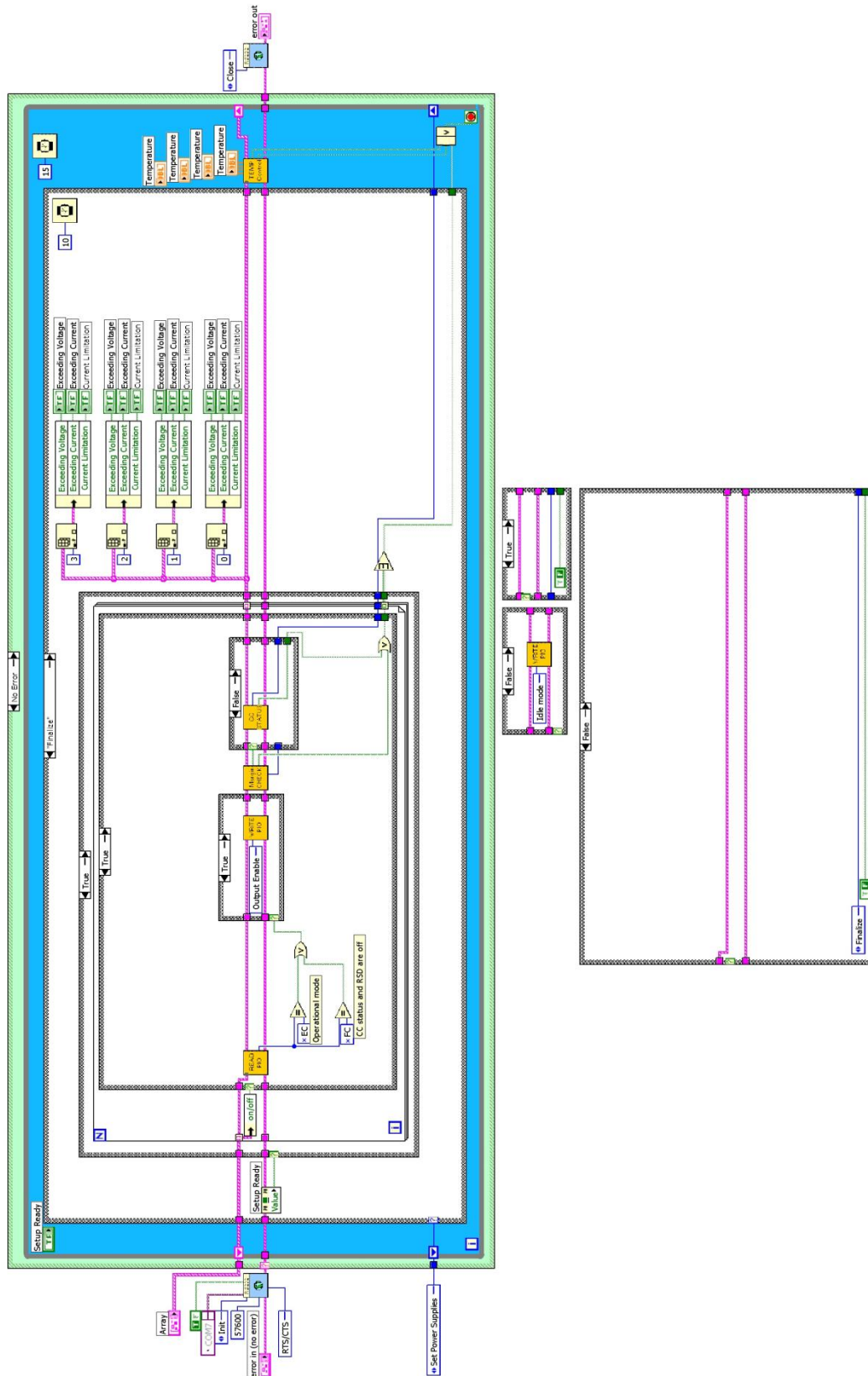
The MAX127/MAX128 feature a 2-wire serial interface consisting of the SDA and SCL pins. SDA is the data I/O and SCL is the serial clock input, controlled by the master device. A2–A0 are used to program the MAX127/MAX128 to different slave addresses. (The MAX127/MAX128 only work as slaves.) The two bus lines (SDA and SCL) must be high when the bus is not in use. External pull-up resistors (1kΩ or greater) are required on SDA and SCL to maintain I²C compatibility. Table 1 shows the input control-byte format.

Bijlage Q – Flowchart

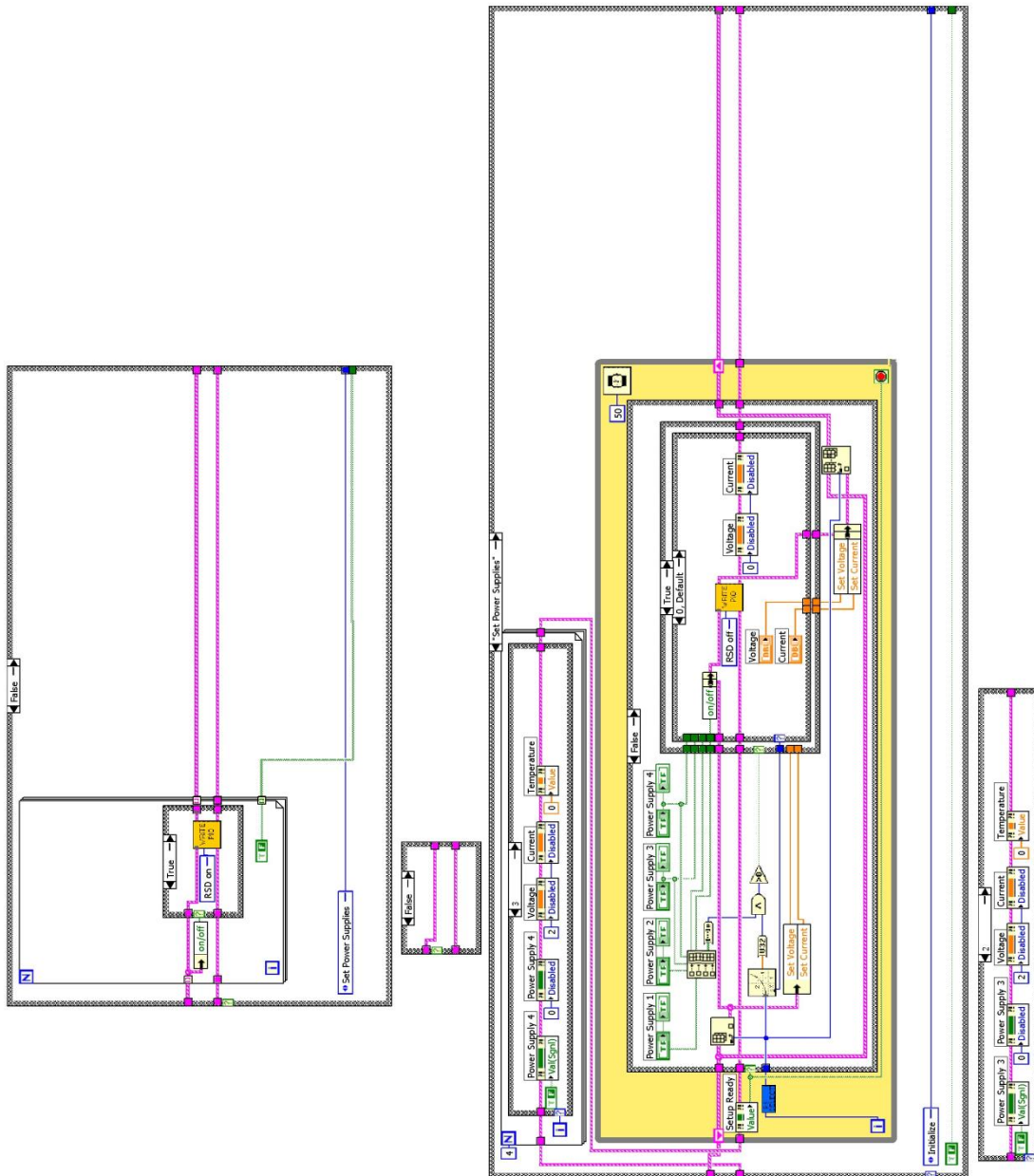


	RS232_GLI.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\FS_Utils.1lb\RS232_GLI.vi
	Read PIO.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\Read PIO.vi
	Write PIO.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\Write PIO.vi
	Correction.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\Correction.vi
	PS select.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\PS select.vi
	CC stat. control.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\CC stat. control.vi
	States.cti G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\States.cti
	new Temperature control.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\new Temperature control.vi
	Write DAC.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\Write DAC.vi
	Read ADC.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\Read ADC.vi
	new Marge Check.vi G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\new Marge Check.vi
	PS settings.cti G:\NAA_temp\[]Ivo\Interface LARS\PS settings.cti

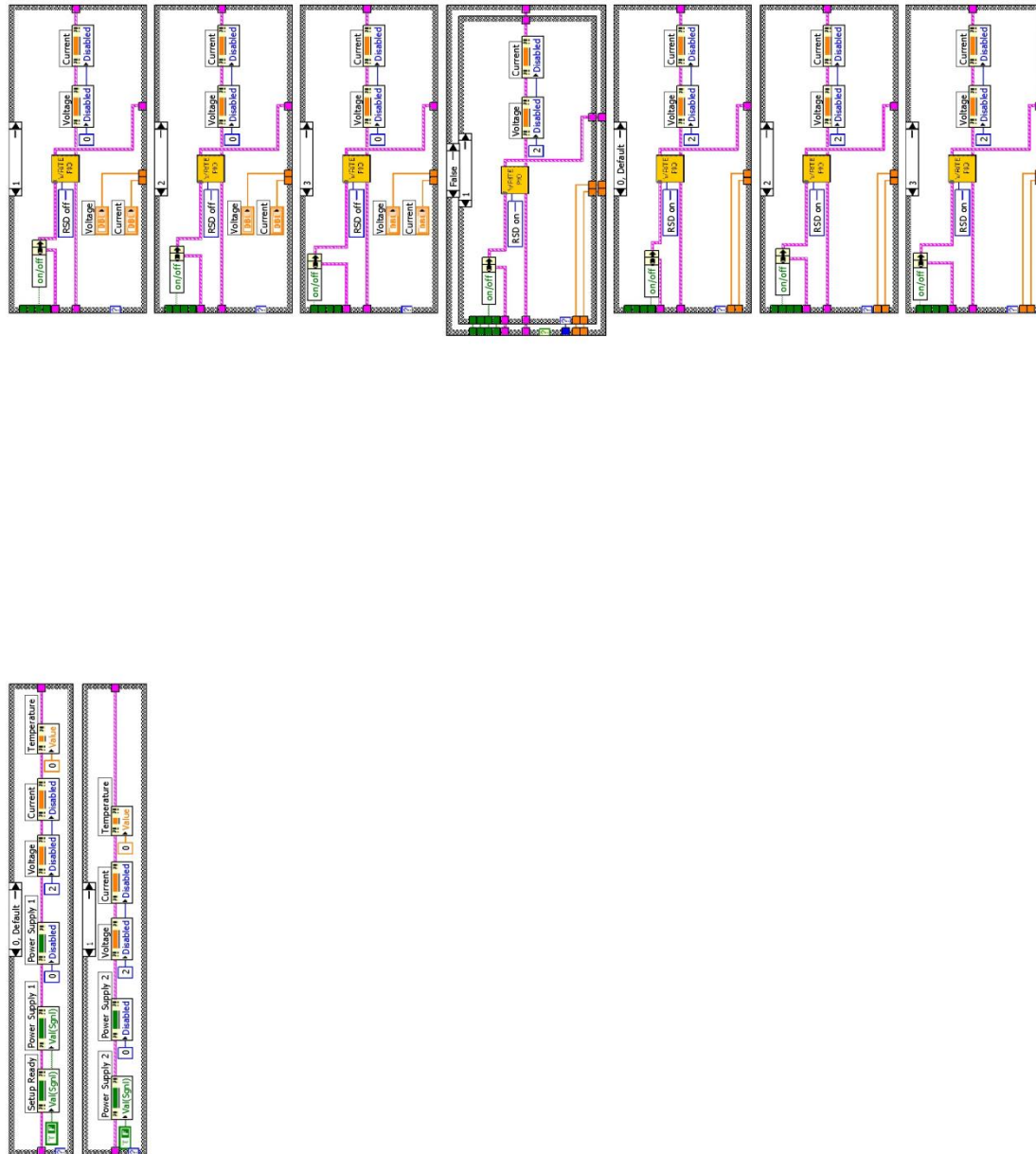
Bijlage S – LabVIEW



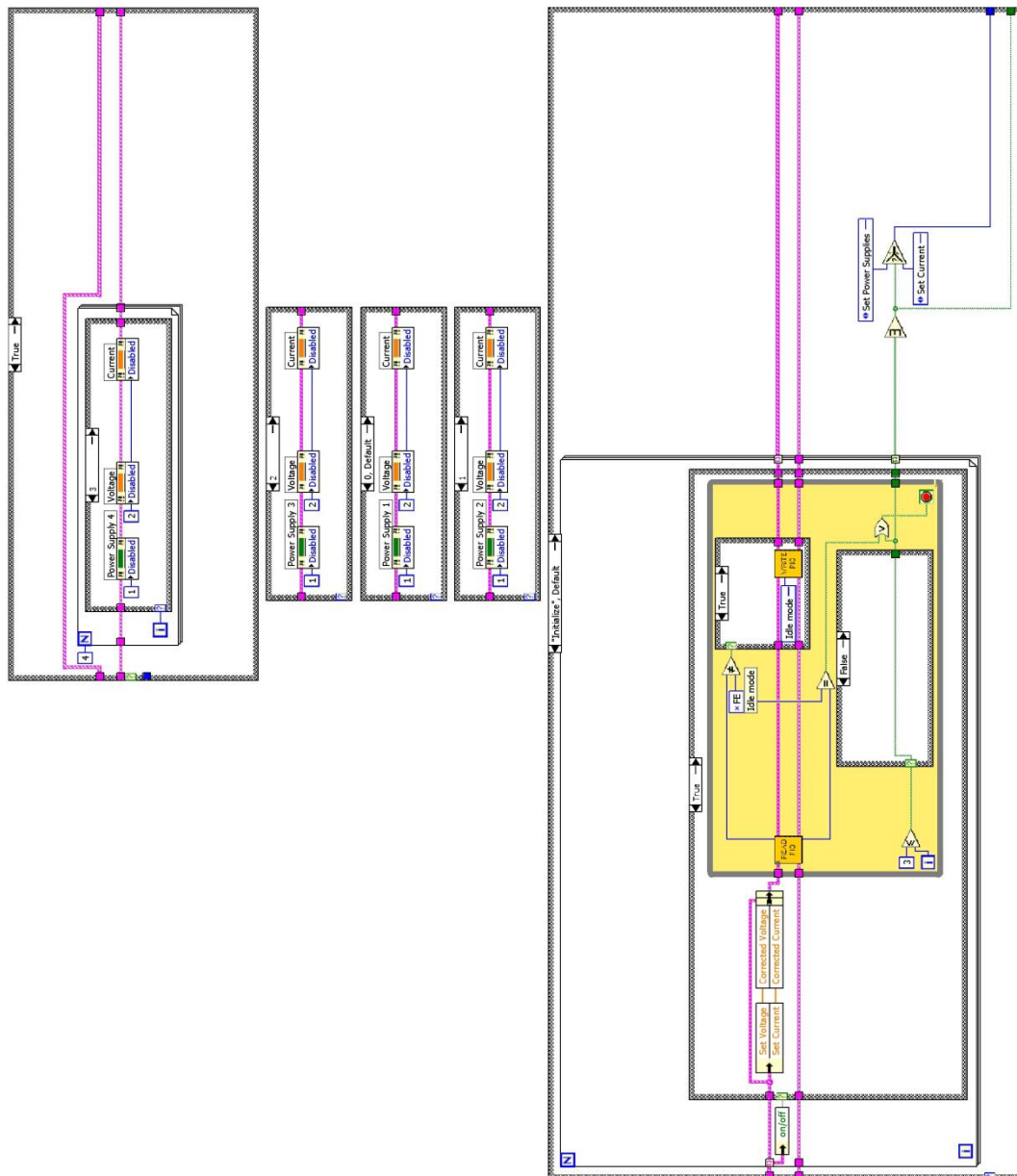
Bijlage S – LabVIEW vervolg



Pagina 54



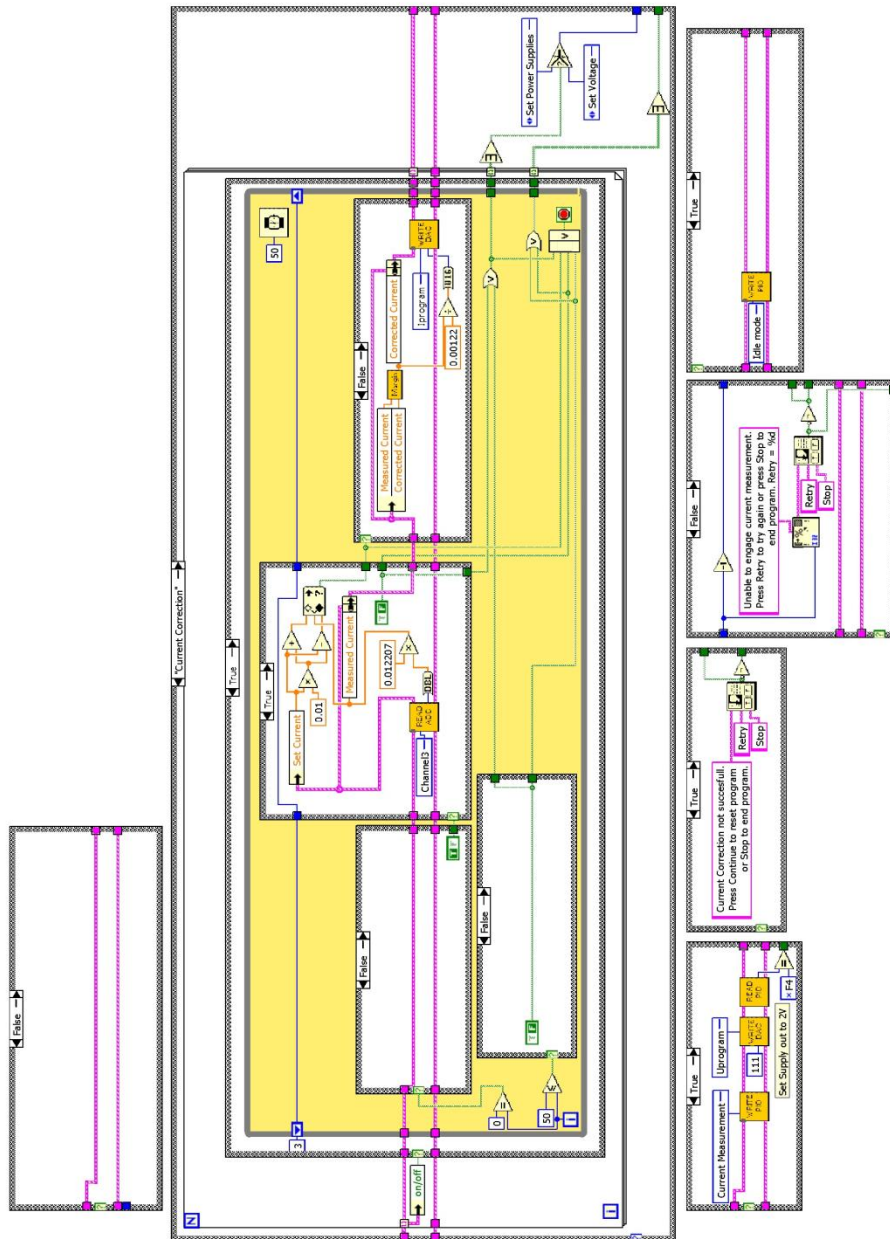
Bijlage S – LabVIEW vervolg



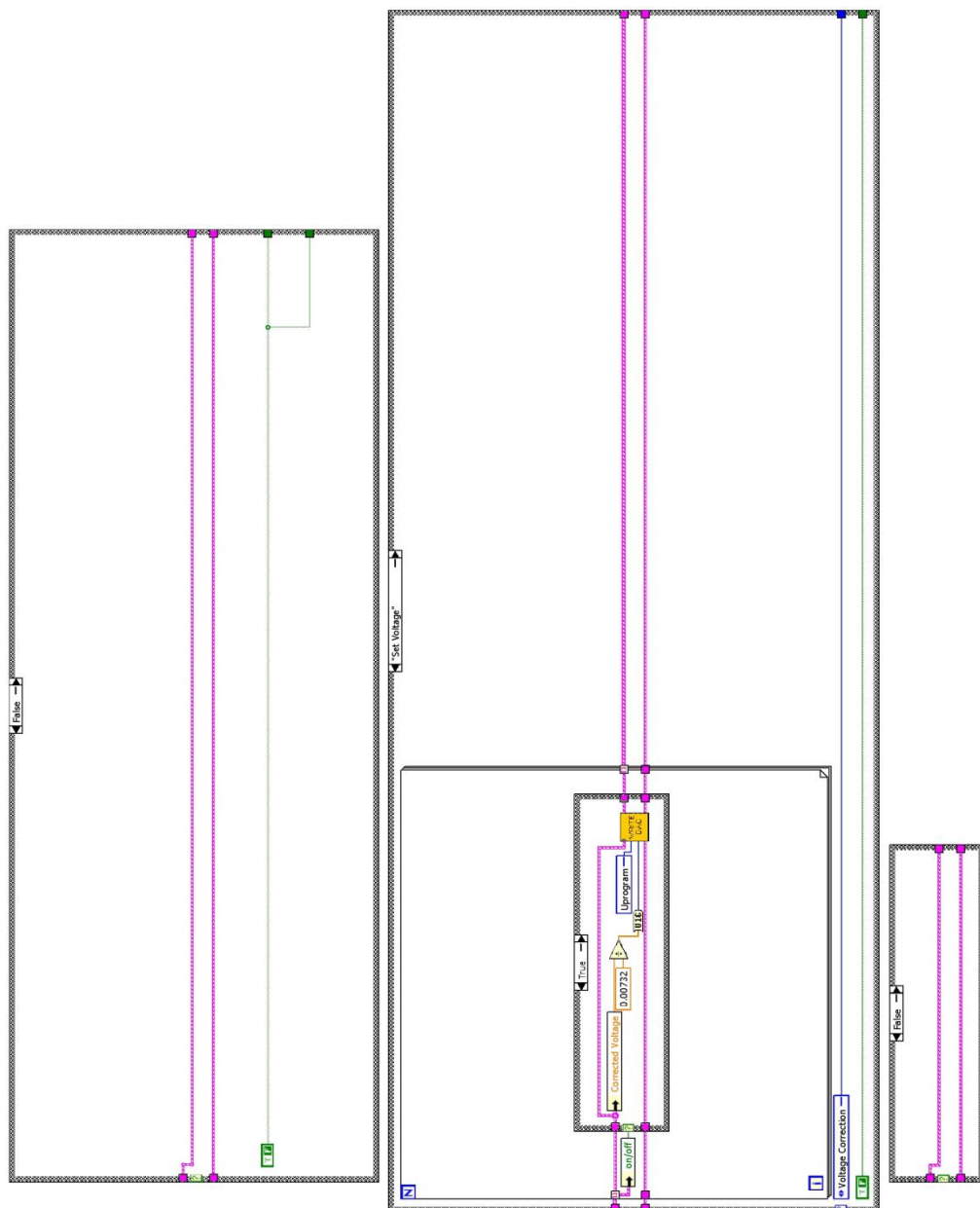
Pagina 56



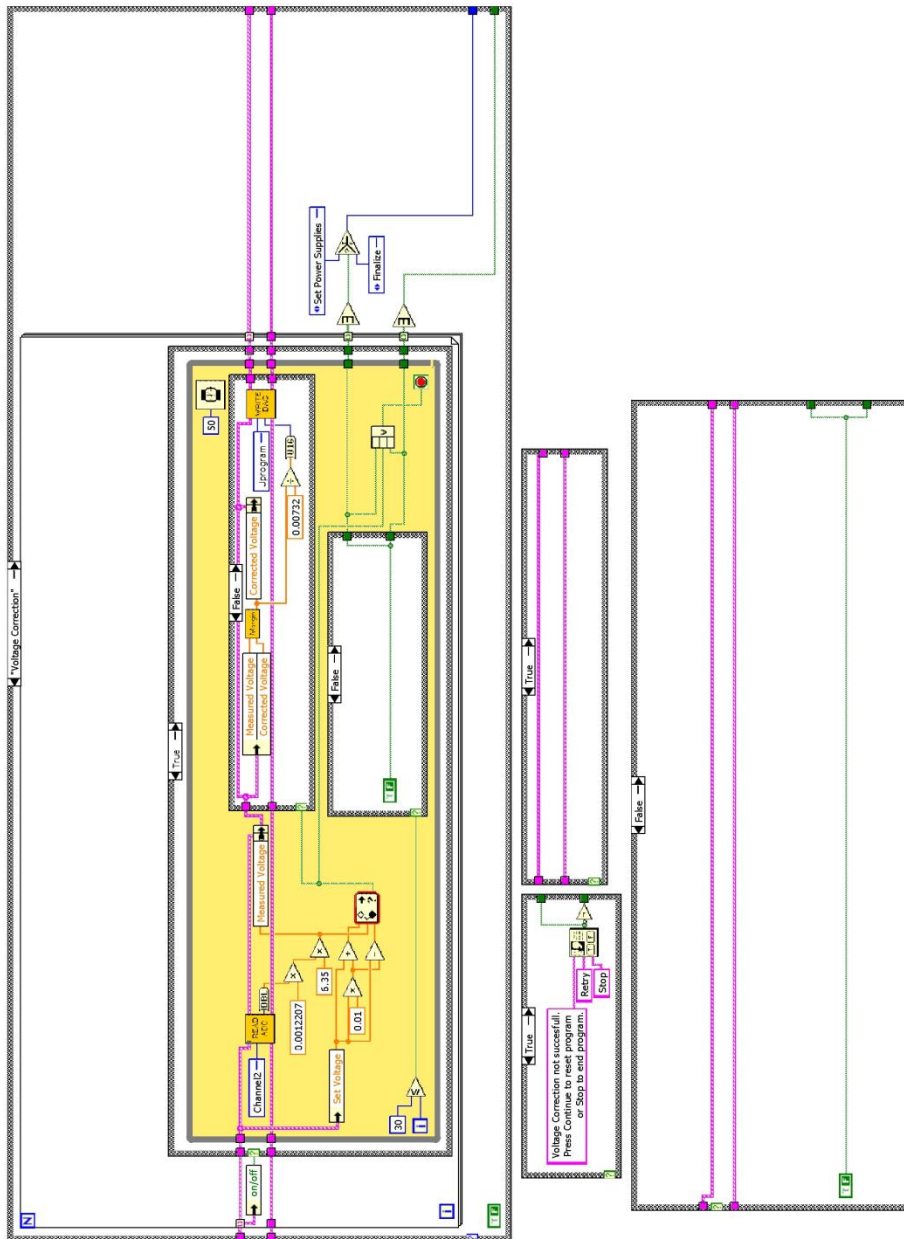
Bijlage S – LabVIEW vervolg



Bijlage S – LabVIEW vervolg



Bijlage S – LabVIEW vervolg



Bijlage T – Spanningsmeting

Instelwaarde Gewenste spanning (V)	Gemeten waarde (spanning)			Uitgangswaarde voeding		verschil	
	Uprogram	Uout* (V)	Uout (hex)	Uout berekend (V)	Spanning (V)	voeding (V)	%
0	0,005	0,001	000	0,000	0,0000	0,000	
0,5	0,092	0,086	040	0,468	0,5291	0,032	6,30
1	0,177	0,167	082	0,952	1,043	0,048	4,78
1,5	0,2612	0,247	0C3	1,428	1,5941	0,072	4,80
2	0,3456	0,326	104	1,904	2,0555	0,096	4,78
2,5	0,4311	0,407	147	2,395	2,5693	0,105	4,19
3	0,5153	0,487	188	2,871	3,0754	0,129	4,30
3,5	0,5994	0,567	1CA	3,355	3,582	0,145	4,15
4	0,6835	0,647	20C	3,838	4,088	0,162	4,06
4,5	0,7689	0,728	24E	4,321	4,602	0,179	3,97
5	0,8533	0,808	290	4,805	5,108	0,195	3,90
10	1,699	1,609	521	9,617	10,192	0,383	3,83
15	2,5448	2,411	7B3	14,436	15,276	0,564	3,76
20	3,392	3,213	A44	19,248	20,36	0,752	3,76
25	4,237	4,015	CD6	24,066	25,443	0,934	3,74
30							

*Uout is de verzwaakte uitgangsspanning

Pagina 61

L.A.R.S. NEWAYS®