



**EFUSE**

**Bachelor Elektronica-ICT**  
Embedded electronics

**Eindwerk voorgedragen tot het behalen van  
de graad en het diploma van bachelor Elektronica-ICT**

Academiejaar 2020-2021

Campus De Nayer, Jan De Nayerlaan 5, BE-2860 Sint-Katelijne-Waver

**Door:** Ian Blockmans  
**Promotor hogeschool:** Pedro Wyls  
**Promotor bedrijf:** Donald Heyman



## **VOORWOORD**

Ik was zelf niet naar een bedrijf gestapt met een vraag voor een Bachelorproef. Hierdoor moest ik kiezen uit de aanvragen vanuit bedrijven. Mijn drie keuzes die ik had doorgegeven aan de school waren al ingenomen. Door het eigenlijk te laat indienen van de voorstellen van Antwerp Space heb ik nog de kans gehad om bij Antwerp Space mijn Bachelorproef te doen. Ik bedank daarvoor mijn bedrijfspromotor Donald Heyman. Daarnaast wil ik ook mijn schoolpromotor Pedro Wyns bedanken voor de hulp. Ten slotte nog een speciaal woord van dank aan mijn familie.

## **SAMENVATTING**

Het doel van dit eindwerk is om een extra veiligheid te maken voor het testen van space grade instrumenten en prototypes, ontwikkeld door Antwerp Space. Deze veiligheid zit tussen het prototype en de labovoedingen. De voedingen die worden gebruikt voor deze elektronica in de ruimte zijn typisch uitgerust met Latching Current Limiters (LCLs) uitgangen. De LCL treedt inwerking bij als er te veel stroom wordt gebruikt en voorkomt overbelasting van de voeding in de satelliet. Deze beveiligingen worden ingedeeld in 'LCL-classes' en volgens de karakteristieken van de gewenste LCL-groep(en) maakte ik mijn beveiliging. (ECCS)

Vanuit het bedrijf ben ik gestart met twee industriële 'eFuse' evaluatie kits (4.1.1 eFuse componenten). Een eFuse is een ic dat de stroom zal onderbreken wanneer de spanning of de stroom boven een instelpunt gaat. Ik moest dus zien of de gegeven ic's goed genoeg waren voor een LCL-klassen 1,2 en 3 en of dat er alternatieven waren die mogelijk beter geschikt waren. Na het selecteren van een goede ic kon ik beginnen met het maken van een volledige pcb met een microcontroller en een usb interface naar een LabVIEW applicatie. Ik heb dan een eerste prototype gemaakt met een tps26631 en een arduino MKRZERO. Na het testen hebben we beslist welke extra functionaliteit mag blijven.

Er was nog geen toolchain voor dit project. Ik heb dus gekeken wat ik kon gebruiken voor een arduino bord. PlatformIO is in mijn opinie de beste toolchain voor arduino in een professionele context.

Een plan voor een finaal product is gemaakt. En in de laatste week (na het indienen van mijn scriptie) heb ik nog geprobeerd om dit uit te voeren

# INHOUDSTAFEL

<b>VOORWOORD .....</b>	<b>2</b>
<b>SAMENVATTING .....</b>	<b>3</b>
<b>INHOUDSTAFEL .....</b>	<b>4</b>
<b>INLEIDING .....</b>	<b>6</b>
<b>1        BLOKSCHEMA .....</b>	<b>9</b>
<b>2        SOFTWARE .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1    Doel .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2    IDE's .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3    User interface .....</b>	<b>12</b>
2.3.1    Modbus over virtual com port.....	12
2.3.1.1    Coils.....	12
2.3.1.2    Inputs .....	14
2.3.1.3    Finite state machine modbus .....	15
2.3.1.4    Control and wait flowchart .....	18
2.3.2    Front panel .....	16
2.3.2.1    Local user interface flowchart .....	19
2.3.3    LabVIEW.....	21
2.3.3.1    Instellen .....	21
<b>3        HARDWARE .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1    Component keuze .....</b>	<b>22</b>
3.1.1    eFuse .....	22
3.1.2    ESD en overspanning beveiliging .....	23
3.1.2.1    Ingang .....	23
3.1.2.2    Uitgang.....	23
<b>3.2    eFuse TPS26631.....</b>	<b>23</b>
3.2.1    Spanning limiet instellingen .....	23
3.2.1.1    LCL-classes .....	23
3.2.1.2    Extra instelpunten.....	25
3.2.2    Stroom limiet instellingen.....	26
3.2.2.1    Class1 .....	26
3.2.2.2    Class 2 .....	26
3.2.2.3    Class 3 .....	26
3.2.3    Power Good.....	27
<b>3.3    Optocoupler voorschakel weerstand .....</b>	<b>27</b>
3.3.1.1    eFuse kant .....	27
3.3.1.2    Digitale kant.....	27
<b>3.4    Stroom berekeningen.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5    Prototype .....</b>	<b>28</b>
3.5.1    Schema's .....	29
3.5.2    PCB.....	31
3.5.3    Tests .....	33
3.5.3.1    Spanning punten.....	34
3.5.3.2    Stroom limiet .....	35
3.5.3.3    Afschakel snelheid.....	35
3.5.3.4    Temperatuur .....	37
3.5.4    Evaluative .....	37
3.5.4.1    Spanning instellingen .....	38
3.5.4.2    Stroom limieten .....	38
3.5.4.3    Extra instellingen .....	38
3.5.4.4    Problemen die ik heb ondervonden tijdens het testen .....	38
<b>3.6    Prototype V0.2 .....</b>	<b>38</b>
3.6.1    Schema .....	40
3.6.1.1    Analooq .....	40
3.6.1.2    Digitaal.....	40
3.6.2    Front panel .....	43
3.6.3    Aanpassingen tegenover eerste prototype .....	44

<b>BESLUIT.....</b>	<b>45</b>
<b>LIJST VAN FIGUREN .....</b>	<b>46</b>
<b>LITERATUURLIJST .....</b>	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

## INLEIDING

Antwerp Space is een snelgroeiend bedrijf met een focus op de communicatie-aspecten met satellieten, de voornaamste producten zijn:

- Satellite Communication Sub-systems
- Transceiver (regenerative and bentpipe) in different frequency bands
- Telecom Payload Technology, incl. Integrated Photonics
- RFI equipment
- Navigation- and radar solutions

### Korte geschiedenis

Antwerp Space is actief in ruimtetechnologie sinds 1962 en was oorspronkelijk een subdivisie van Bell Telephone Manufacturing Company. Het werd een autonoom dochterbedrijf van de Alcatel Space group in 1998, het bedrijf hield zich toen ook nog bezig met activiteiten gerelateerd aan defensie en werd toen "Alcatel Bell Space and Defence" genoemd. Deze activiteiten werden een jaar later verkocht en de naam werd veranderd naar "Alcatel Bell Space".

In 2005 werd het bedrijf hernoemt naar "Alcatel Alenia Space Antwerp" wegens de fusie van Alcatel Space en Finmeccanica waarna het onderdeel werd van Alcatel Alenia Space.

2 jaar later werd de naam verandert naar "Thales Alenia Space Antwerp" nadat Thales de ruimte gerelateerde activiteiten van Alcatel overkocht.

In 2010 verkocht Thales Alenia Space zijn aandelen in het bedrijf aan OHB AG waarna de naam "Antwerp Space" werd en tot op heden is.

(Antwerp Space)

Het doel van dit project is om een 'second level' protectie tussen de labo-voeding en een prototype bijvoorbeeld een transponder te maken.

Bij Antwerp Space wordt er gewerkt met 'space grade' elektronica componenten die geschikt zijn voor gebruik in de ruimte waar deze worden blootgesteld aan extreme temperaturen, vacuüm, straling en hevig vibraties tijdens de lancering. Deze onderdelen kosten veel meer dan onderdelen die worden gebruikt in consumentenelektronica. De prototypes zijn uniek en moeten steeds in de meest veilige omstandigheden getest worden.

Daarom werd de vraag gesteld, kunnen we een eFuse ic gebruiken om het testen van deze gevoelige elektronica veiliger te maken?

Het doel is om deze eFuse af te stellen op de voedingen die worden gebruikt in bijvoorbeeld een satelliet. Deze voedingen hebben Latching Current Limiters (LCL).

Deze LCLs worden ingedeeld in klassen. Voor dit project moest klassen 1 en 2 mogelijk zijn. (ECCS)

Er waren al twee eFuse development bordjes 1 van ST (STEF01) en 1 van Texas Instruments (TPS2660). Daaruit ben ik begonnen om te zien of een eFuse ic geschikt was voor de job.

# 1 EFUSE REQUIREMENTS

## Doelstellingen van de bachelorproef (kwantitatief en moeten meetbaar zijn)

**Product:** Een eFuse prototype geschikt die kan geconfigureerd worden als Latching Current Limiter (LCL) class 1 en 2, optioneel ook class 3, 22-38V, conform de technische specificatie. LCL-class conform de ESA standaard ECSS-E-ST-20-20.

## Met specificaties (tijdens stage verder in detail uitgewerkt):

### Hardware:

1. eFuse kan geconfigureerd worden over de seriële poort ✓
  - a. LCL-klasse of individueel ✓
  - b. UVL ✓ (deze en volgende geschrapt voor finaal product)
  - c. OVL ✓
  - d. OVC ✗
  - e. Timing (optioneel) ✗
2. eFuse configuratie blijft bewaard na reset , power cycle ON/OFF ✓
3. eFuse configuratie heeft een beveiliging op integriteit. Een ongeldige configuratie zet de eFuse in 'safe mode' + error. ✓
4. eFuse serieel protocol volgens Modbus ✓
  - a. <https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus>
  - b. Trade-off keuze RTU of ACSII mode
5. eFuse heeft een eenvoudige display met configuratie en status info. ✓ (Niet compleet op moment van inlevering)
6. eFuse heeft ten minste volgende diagnose LEDs
  - a. power on ✓
  - b. error ✓
  - c. safe state (uitgang afgeschalend) ✓
7. De eFuse voeding (LEDs, micro-controller, ...) is geïsoleerd / gescheiden van de primaire beveiligde bus. De eFuse werkt als intelligente relais op de primaire voeding en mag geen 'consumer' zijn. ✓
8. eFuse status boodschappen over de seriële poort bevat
  - a. Configuratie info ✓
  - b. Status info ✓
  - c. Versie info ✗
  - d. Temperatuur ✗
  - e. Trip/reset counters ✗
9. eFuse zit in een commercieel beschikbare behuizing, form factor 1U, 19" (aluminium of staal) ✓ (4 in 1 1U 19" rack mogelijk)
10. eFuse maakt gebruik van een eenvoudige 'Arduino' microcontroller (maw geen WiFi, ethernet,... ). ✓
11. eFuse heeft een digitale temperatuur sensor met I2C bus ✗
12. eFuse wordt gevoed over USB. Connector type B ✗ (adapter nodig, arduino werkt met micro usb)
13. eFuse heeft banaanconnectors voor in/uit primaire bus (supply) met labeling ✓
14. eFuse heeft banaanconnectors voor in/uit primaire bus sensing (V-sense) met labeling (meten van de voedingsspanning of test object) ✗

### Software:

1. eFuse heeft een Python seriële driver volgens PEP-8, inclusief unit test scripts ✓
2. eFuse heeft een LabVIEW test applicatie (graphical user interface) ✓
3. eFuse heeft c-code embedded software volgens de MISRA coding rules en style guide, inclusief unit test scripts ✓ (code is zover getest als cppcheck de misra c regels kent. 3.4 Code check. Een heel beknopt python testscript bestaat.)

### Documentatie:

1. Design ✓
2. Trade-offs ✓



3. Productie dossier \*
4. Source code comments ✓
5. Test procedure (beknopt) \*
6. Analyses (optie) \*
7. Gebruikers handleiding \*
8. Test rapport van evaluatieborden en prototype(s) ✓
9. Software test rapport / conclusie : static code checker(s), MISRA checker (linter), style review (optie) \*(wel getest maar nog geen rapport geschreven)

#### **Algemeen:**

1. Source code control (GIT) voor uitwisselen documenten , source code ✓
2. Tests op EMC conducted emissie contributie en immuniteit voor opgeven inrush current. \*

#### **Functionele Opties:**

1. Beveliging configuratie (wachtwoord, pin code) \*
2. Model 2: Labo toepassing veel gebruikte spanningen : 12V, 5V, 3.3 V ✓(12v en 5V zijn mogelijk en getest. Niet in finale product)
3. Units kunnen gecombineerd worden voor hogere stromen. ✓

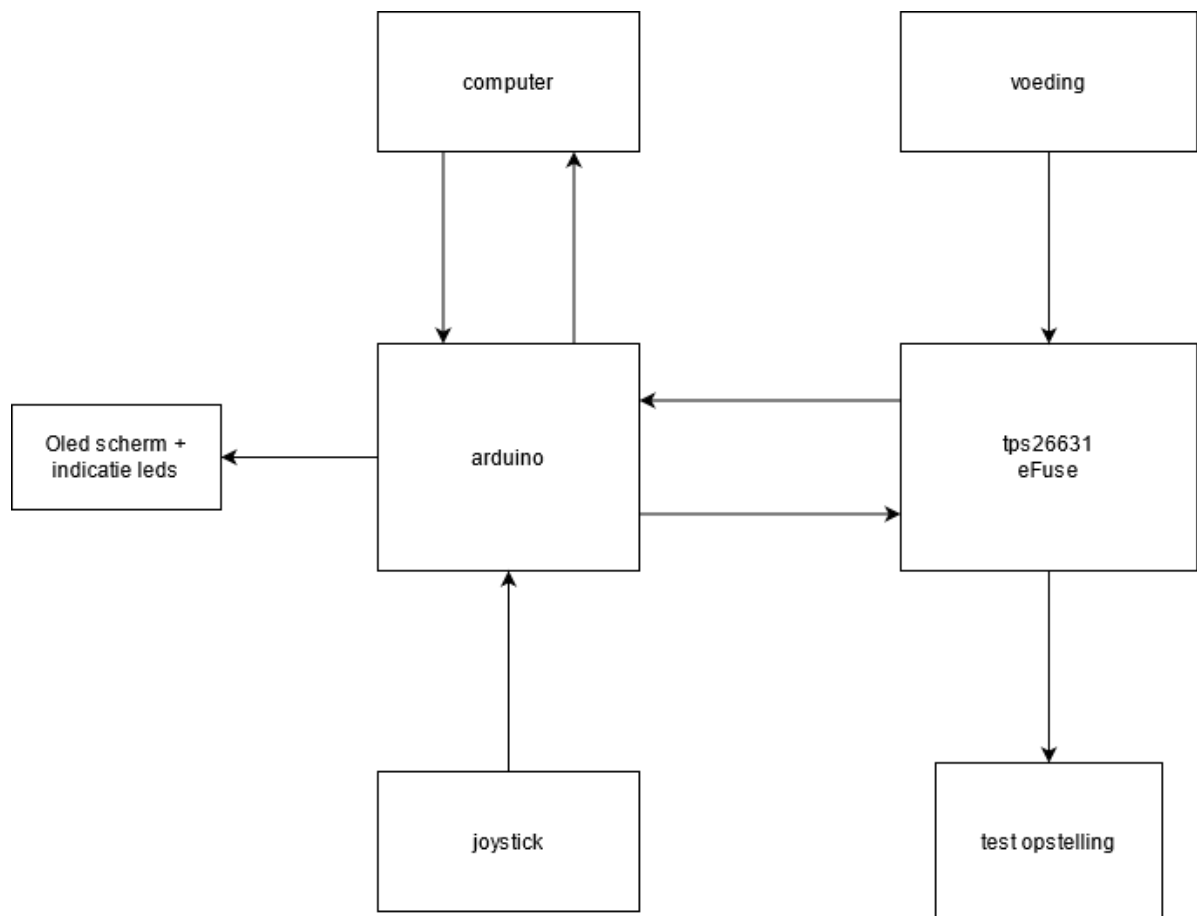
#### **Gewenste resultaat (Wat moet er (minimaal) opgeleverd worden?):**

1. Een eFuse proto type die kan geconfigureerd worden als LCL class 2, conform de technische specificatie. ✓
2. Een product naam voor deze specifieke eFuse. ✓(eFuse-LCL1-3)
3. Een zelf ontworpen PCB conform de specificaties. ✓
4. Een (zelf) bestukte PBA conform de specificaties. ✓
5. Een Python "driver" voor monitoring en controle van de eFuse over een seriele poort. Source code conform de technische specificatie. ✓
6. Een LabVIEW applicatie voor monitoring en controle van de eFuse over een seriele poort, mits gebruik van de Python driver, conform de technische specificatie. LabVIEW app volgens design template / design pattern. ✓
7. Firmware / Embedded (C-code) software voor de eFuse conform de specificatie ✓
8. Meetrapport eFuse proto types (timing, inrush tolerantie, UVL, OCP, OVP ...) ✓
9. Trade-off analyse van minstens 3 eFuse chips beschikbaar op de commerciële markt ✓
10. Productie files (BOM, gerber, layout, schema's , STEP file , ...) ✓
11. Design documentatie
  - Hardware Architectuur / Design ✓
  - Software Architectuur Architectuur / Design ✓
  - Thermische analyse (basis) ✓
  - 3D model ✓
  - Trade-offs ✓

#### **Optioneel / Bonus:**

1. Unit tests / scripts voor de driver \*
2. Unit tests / scripts voor de embedded software\*
3. Software test rapport / conclusie : static code checker(s), MISRA checker (linter), style review\*
4. Trade-off embedded software IDEs (break-points, on target debugging, simulatie, code coverage, code optimalisatie ...) ✓
5. FMECA + RAMS van het proto type\*
6. Meer uitgebreide thermische analyse mits gespecialiseerde tools\*
7. Extra functies (zie spec)

## 2 BLOKSCHEMA



Figuur 1 – blokschema

- Computer: communiceert via Modbus RTU. Aangestuurd via python driver of LabVIEW.
- Arduino: een Arduino DUE is uiteindelijk gekozen voor zijn grote hoeveelheid I/O.
- Oled scherm + indicatie leds: zitten aan de voorkant van de 1U 19" rack.
- Joystick: joystick aan de voorkant voor lokale bediening van de eFuse.
- Voeding: labovoeding of andere voeding waarmee getest wordt.
- Test opstelling: bv. Prototype van een transponder.

## 3 SOFTWARE

### 3.1 Doel

Het doel van de software is om de eFuse te kunnen aansturen over USB en (optioneel) met een PC. Een deel van mijn opdracht was om een geschikte IDE te kiezen voor dit project. De hoofd criteria was dat de IDE moest bruikbaar zijn met een Arduino ontwikkelbord.

### 3.2 IDE's

Bruikbare IDE's voor arduino bordjes:

	Microchip MPLAB	PlatformIO	Arduino	IAR Embedded Workbench
<b>Prijs</b>	Gratis	Gratis	Gratis	Niet vermeld je moet een quote vragen
<b>Editor</b>	custom	VSCode, ...	Custom(arduino ide 2 is bijna identiek aan VSCode)	Custom of Eclipse
<b>Debugging</b>	Ja	Ja	Alleen in V2 momenteel in beta	Ja
<b>Unit Testing</b>	Mogelijk maar niet veel documentie.	Ingeboud. Goede documentatie.	Mogelijk met extra software vooral voor arduino bordjes	Extern
<b>Code Coverage</b>	Ja	Extern	Extern	Extern
<b>Open source</b>	Nee	Ja	Ja	Nee
<b>Extras</b>	MPLAB Code Configurator(GUI controller configurator tool), microchip HAL library.	Support voor arduino en veel andere platforms en libraries.	Arduino libraries.	Functional safetey certificcation, ...

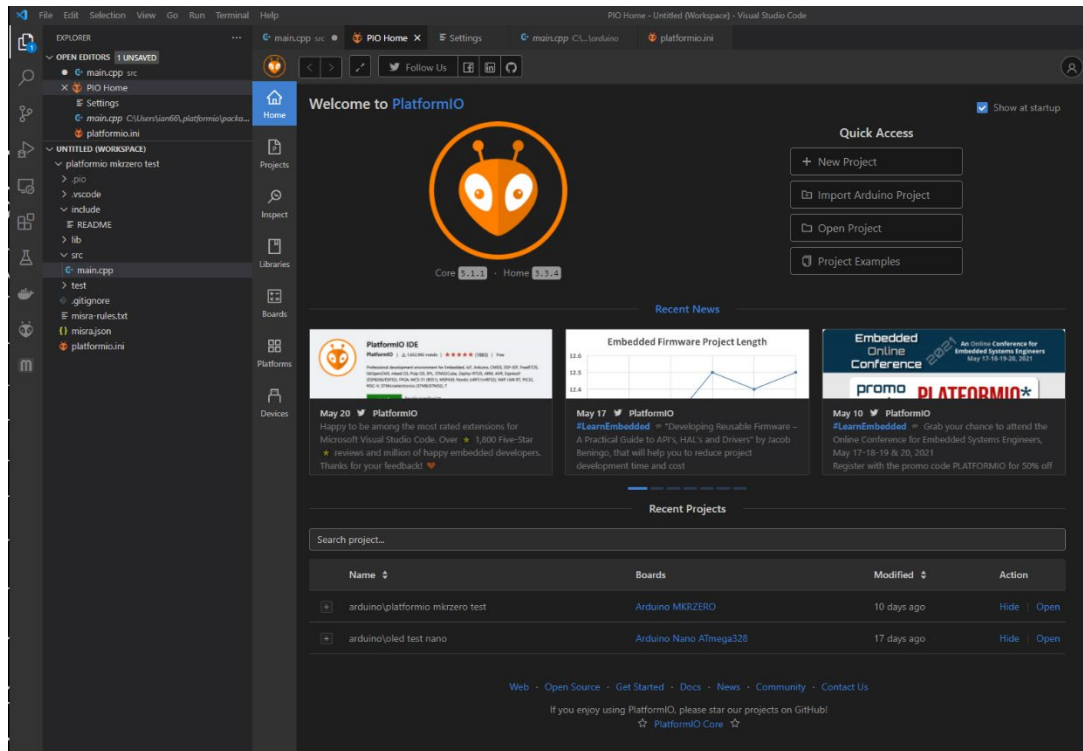
Tabel 1 – IDE trade-off

Mijn keuze hier is PlatformIO. Deze heeft de meeste functionaliteit en is gratis.

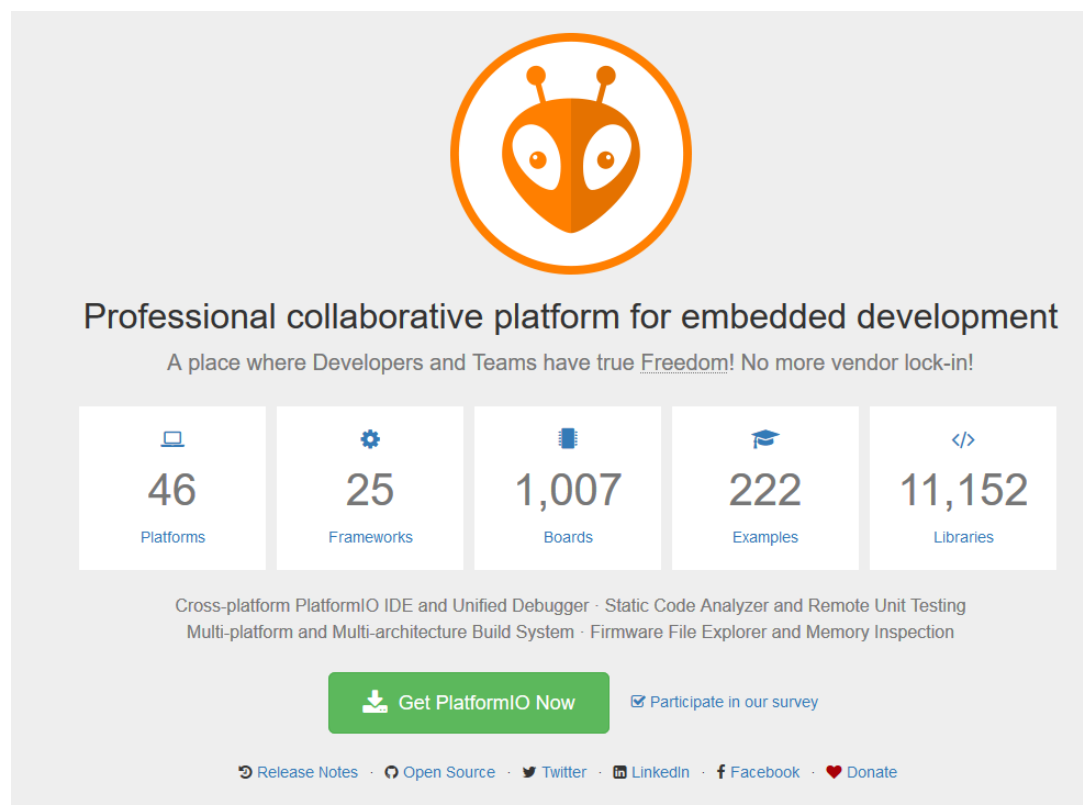
(PlatformIO, sd), (IAR, sd), (Arduino, sd), (Microchip, sd)

### 3.3 Arduino

De Arduino is geprogrammeerd in C met behulp van PlatformIO. Dit is een extensie voor VSCode dat heel gemakkelijk werkt met Arduino.



Figuur 2 - PlatformIO VSCode

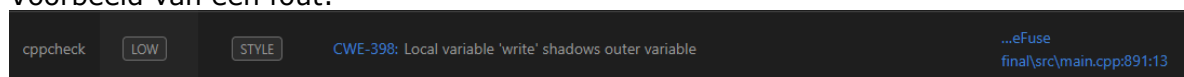


Figuur 3 - PlatformIO homepage (PlatformIO, sd)

### 3.4 Code check

Om de code zo goed en veilig mogelijk te maken heb ik gebruik gemaakt van Cppcheck. Met deze tool kan je static code analysis doen. Cppcheck heeft zijn eigen lijst van fouten en waarschuwingen waarop hij gaat testen. Maar zij hebben ook een python addon dat kan checken op MISRA C 2012 regels. Je moet wel een tekstdocument geven met al de regels. (Niet alle regels worden gecheckt zie <http://cppcheck.sourceforge.net/misra.php>) (cppcheck)

Voorbeeld van een fout:



Ik had dezelfde array 2 keer na mekaar gedeclareerd.

### 3.5 GitHub

Alle documenten, code en PCB bestanden staan op GitHub. Onder branches staat ook een V0.1 branch met de test code en pcb bestanden van prototype V0.1.

Link: <https://github.com/Ian-Blockmans/efuse>

Directe link naar embedded code: <https://github.com/Ian-Blockmans/efuse/blob/main/arduino/eFuse%20final/src/main.cpp>  
(Blockmans)

### 3.6 User interface

#### 3.6.1 Modbus over virtual com port

Voor communicatie met een computer is er gekozen voor Modbus RTU. Dit is een gestandaardiseerd protocol. Hierdoor kan ik gemakkelijk data van de eFuse binnen nemen en data sturen naar de eFuse. Je kan met de modus connectie maken over de virtuele com poort met een baud rate van 9600 en 2 stop bits. De enige functies dat ik heb geïmplementeerd zijn het lezen van coils en inputs. En het schrijven van coils. Alle andere functies van de Modbus RTU specificatie is niet nodig.

(Modbus)

##### 3.6.1.1 Coils

Prototype V0.1:

Adres	Coil name	Function
<b>1</b>	ON/OFF	De efuse aan en uit zetten.
<b>2</b>	LCL-class 1	Maximumstroom 1.4A spanning van 22V tot 38V
<b>3</b>	LCL-class 2	Maximumstroom 2.8A spanning van 22V tot 38V
<b>4</b>	LCL-class 3	Maximumstroom 4.2A spanning van 22V tot 38V

<b>5</b>	12V	Maximum spanning 12V (optioneel niet in het finale ontwerp)
<b>6</b>	5V	Maximum spanning 5V (optioneel niet in het finale ontwerp)
<b>7</b>	Arduino led	Led van de arduino (voor het testen van modbus)

Tabel 2 - Prototype V0.1 coils

Prototype V0.2:

<b>Adres</b>	<b>Coil name</b>	<b>Function</b>
<b>1</b>	ON/OFF eFuse 1	De eerste eFuse aan en uit zetten.
<b>2</b>	LCL-class 1 eFuse 1	Maximumstroom 1.4A spanning van 22V tot 38V voor eerste eFuse
<b>3</b>	LCL-class 2 eFuse 1	Maximumstroom 2.8A spanning van 22V tot 38V
<b>4</b>	LCL-class 3 eFuse 1	Maximumstroom 4.2A spanning van 22V tot 38V
<b>5</b>	ON/OFF eFuse 2	De 2 <sup>de</sup> eFuse aan en uit zetten.
<b>6</b>	LCL-class 1 eFuse 2	Maximumstroom 1.4A spanning van 22V tot 38V voor 2 <sup>de</sup> eFuse
<b>7</b>	LCL-class 2 eFuse 2	Maximumstroom 2.8A spanning van 22V tot 38V voor 2 <sup>de</sup> eFuse
<b>8</b>	LCL-class 3 eFuse 2	Maximumstroom 4.2A spanning van 22V tot 38V voor 2 <sup>de</sup> eFuse
<b>9</b>	ON/OFF eFuse 3	De 3 <sup>de</sup> eFuse aan en uit zetten.
<b>10</b>	LCL-class 1 eFuse 3	Maximumstroom 1.4A spanning van 22V tot 38V voor 3 <sup>de</sup> eFuse
<b>11</b>	LCL-class 2 eFuse 3	Maximumstroom 2.8A spanning van 22V tot 38V voor 3 <sup>de</sup> eFuse
<b>12</b>	LCL-class 3 eFuse 3	Maximumstroom 4.2A spanning van 22V tot 38V voor 3 <sup>de</sup> eFuse
<b>13</b>	ON/OFF eFuse 4	De 4 <sup>de</sup> eFuse aan en uit zetten.
<b>14</b>	LCL-class 1 eFuse 4	Maximumstroom 1.4A spanning van 22V tot 38V voor 4 <sup>de</sup> eFuse
<b>15</b>	LCL-class 2 eFuse 4	Maximumstroom 2.8A spanning van 22V tot 38V voor 4 <sup>de</sup> eFuse

<b>16</b>	LCL-class 3 eFuse 4	Maximumstroom 4.2A spanning van 22V tot 38V voor 4 <sup>de</sup> eFuse
-----------	------------------------	--

Tabel 3 - Prototype V0.2 coils

Als een LCL-class coil op 1 wordt gezet worden de andere op 0 gezet. Als je een instelling op 0 zet gebeurt er niets. Als alle instellingen op 0 worden gezet gaat de software in een fout modus.

### 3.6.1.2 Discrete Inputs

Prototype V0.1:

<b>Adres</b>	<b>Input name</b>	<b>Function</b>
<b>1</b>	Hardware Fout	Er is een fout opgetreden (overvolt, undervolt of overcurrent)
<b>2</b>	Software Fout	Er is geprobeerd een foute configuratie naar de eFuse te schrijven.
<b>3</b>	Pgood	Is de Vout van de eFuse > dan 22V (niet gebruikt in finale product kan misleidend zijn. Zie 4.6.4 Aanpassingen tegenover eerste prototype)

Tabel 4 - Prototype V0.1 discrete inputs

PrototypeV0.2:

<b>Adres</b>	<b>Input name</b>	<b>Function</b>
<b>1</b>	ON/OFF eFuse 1	Is de eerste eFuse aan.
<b>2</b>	Hardware Fout eFuse 1	Er is een fout opgetreden (overvolt, undervolt of overcurrent) eerste eFuse
<b>3</b>	Software Fout eFuse 1	Er is geprobeerd een foute configuratie naar de eFuse te schrijven. Eerste eFuse
<b>1</b>	ON/OFF eFuse2	Is de 2 <sup>de</sup> eFuse aan.
<b>2</b>	Hardware Fout eFuse 2	Er is een fout opgetreden (overvolt, undervolt of overcurrent) 2 <sup>de</sup> eFuse
<b>3</b>	Software Fout eFuse 2	Er is geprobeerd een foute configuratie naar de eFuse te schrijven. 2 <sup>de</sup> eFuse
<b>1</b>	ON/OFF eFuse 3	Is de 3 <sup>de</sup> eFuse aan.
<b>2</b>	Hardware Fout eFuse 3	Er is een fout opgetreden (overvolt, undervolt of overcurrent) 3 <sup>de</sup> eFuse
<b>3</b>	Software Fout eFuse 3	Er is geprobeerd een foute configuratie naar de eFuse te schrijven. 3 <sup>de</sup> eFuse

<b>1</b>	ON/OFF eFuse 4	Is de 4 <sup>de</sup> eFuse aan.
<b>2</b>	Hardware Fout eFuse 4	Er is een fout opgetreden (overvolt, undervolt of overcurrent) 4 <sup>de</sup> eFuse
<b>3</b>	Software Fout eFuse4	Er is geprobeerd een foute configuratie naar de eFuse te schrijven. 4 <sup>de</sup> eFuse

Figuur 4 - Prototype V0.2 discrete inputs

### 3.6.1.3 Finite state machine Modbus

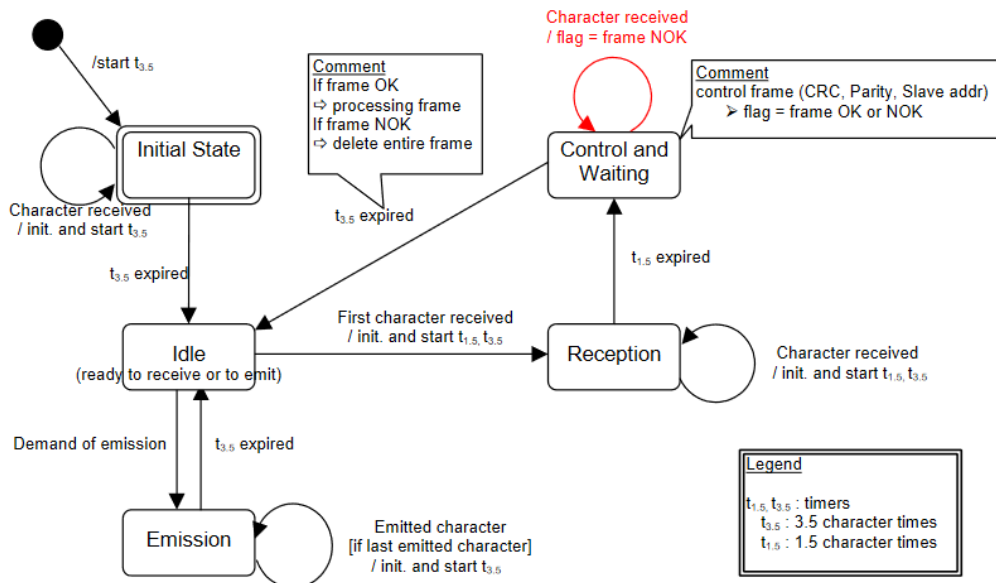


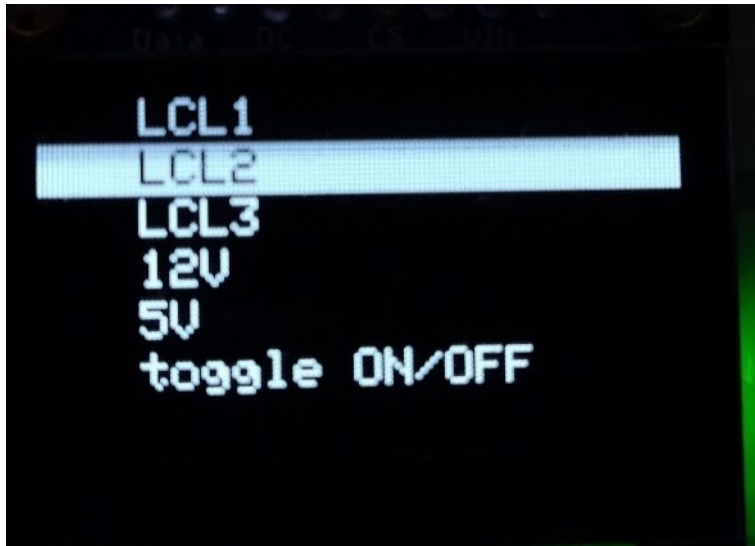
Figure 14: RTU transmission mode state diagram

Figuur 5 - Modbus FSM  
(Modbus)



### 3.6.2 Front panel

Op de oled display kan je de eFuse instellen.



*Figuur 6 - Oled UI*

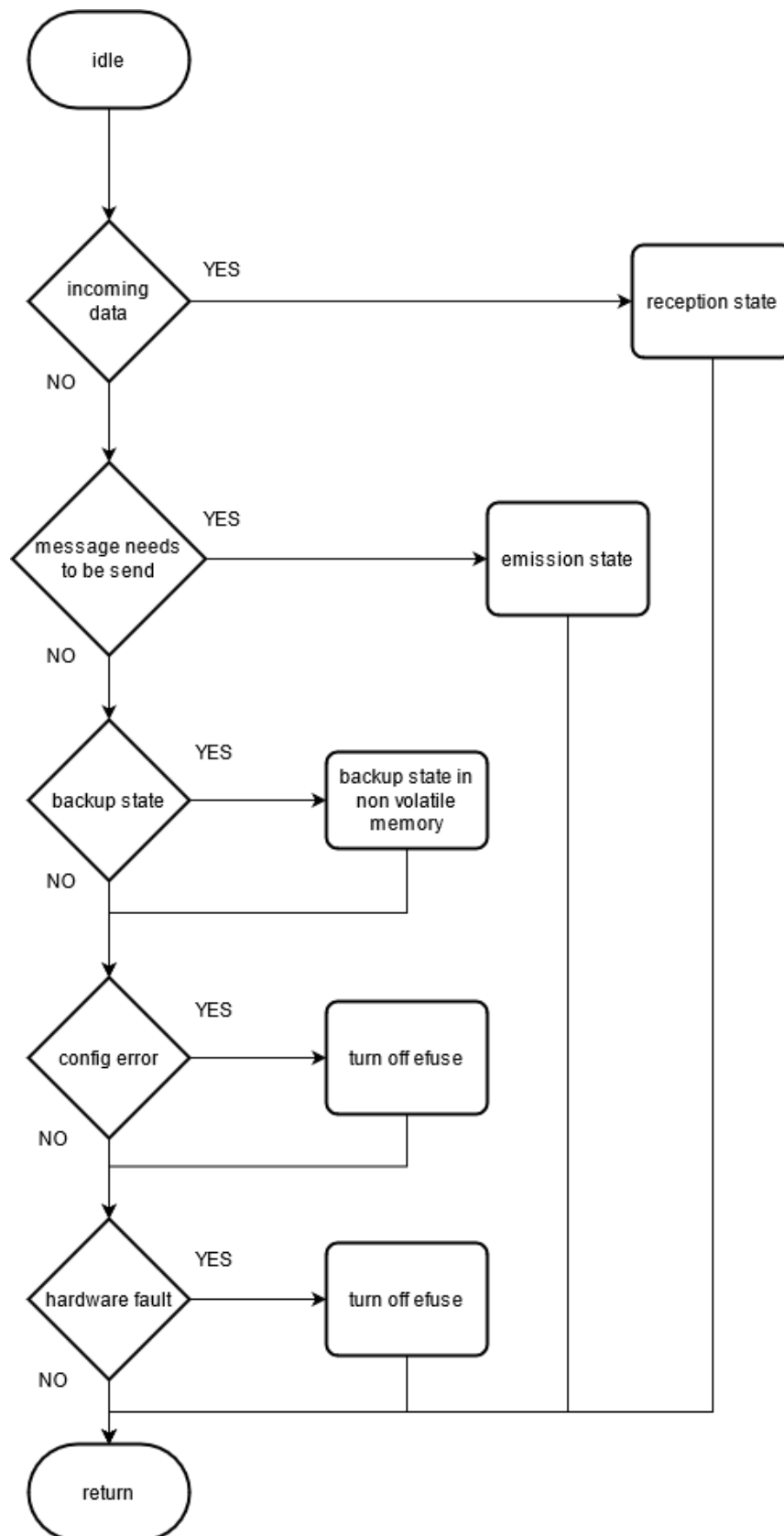
Een kleine joystick kan gebruikt worden om een instelling te selecteren.



*Figuur 7 - joystick*

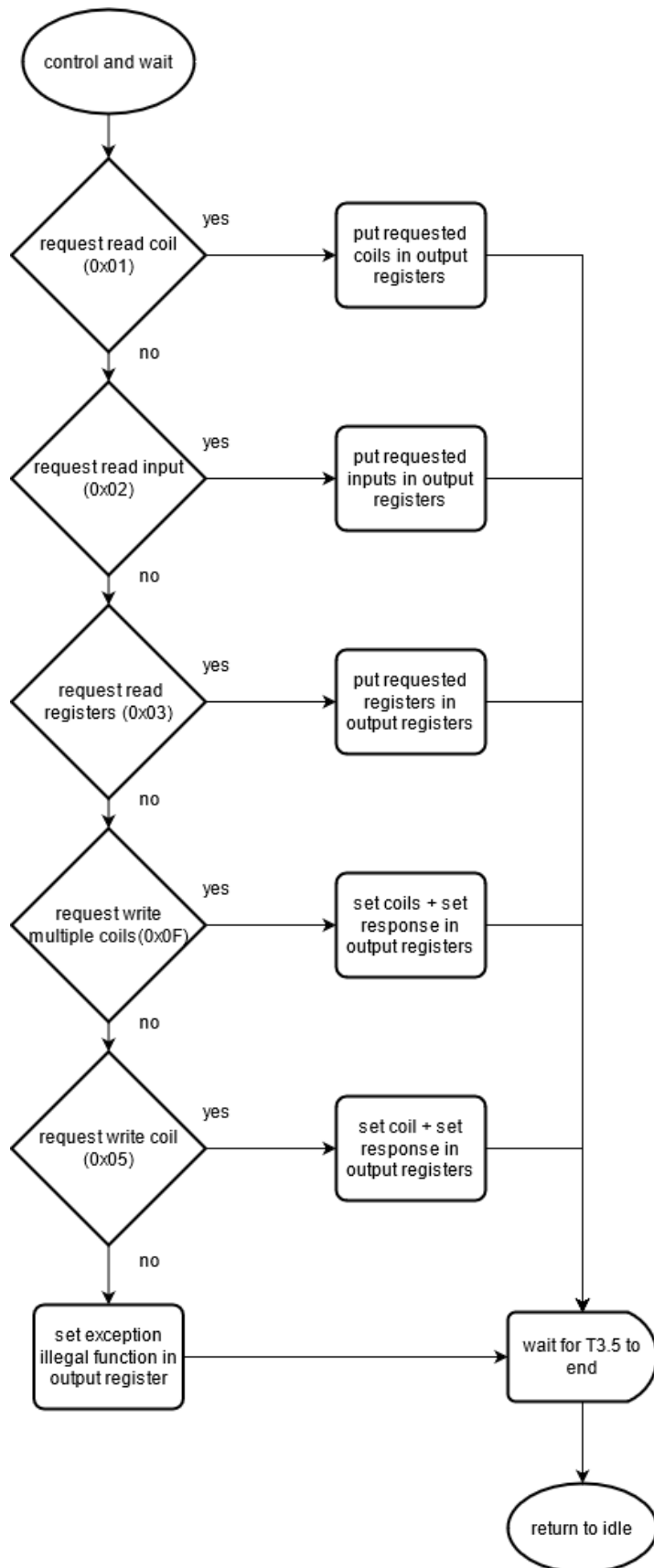
## 3.7 Embedded code flowcharts

### 3.7.1 Idle State



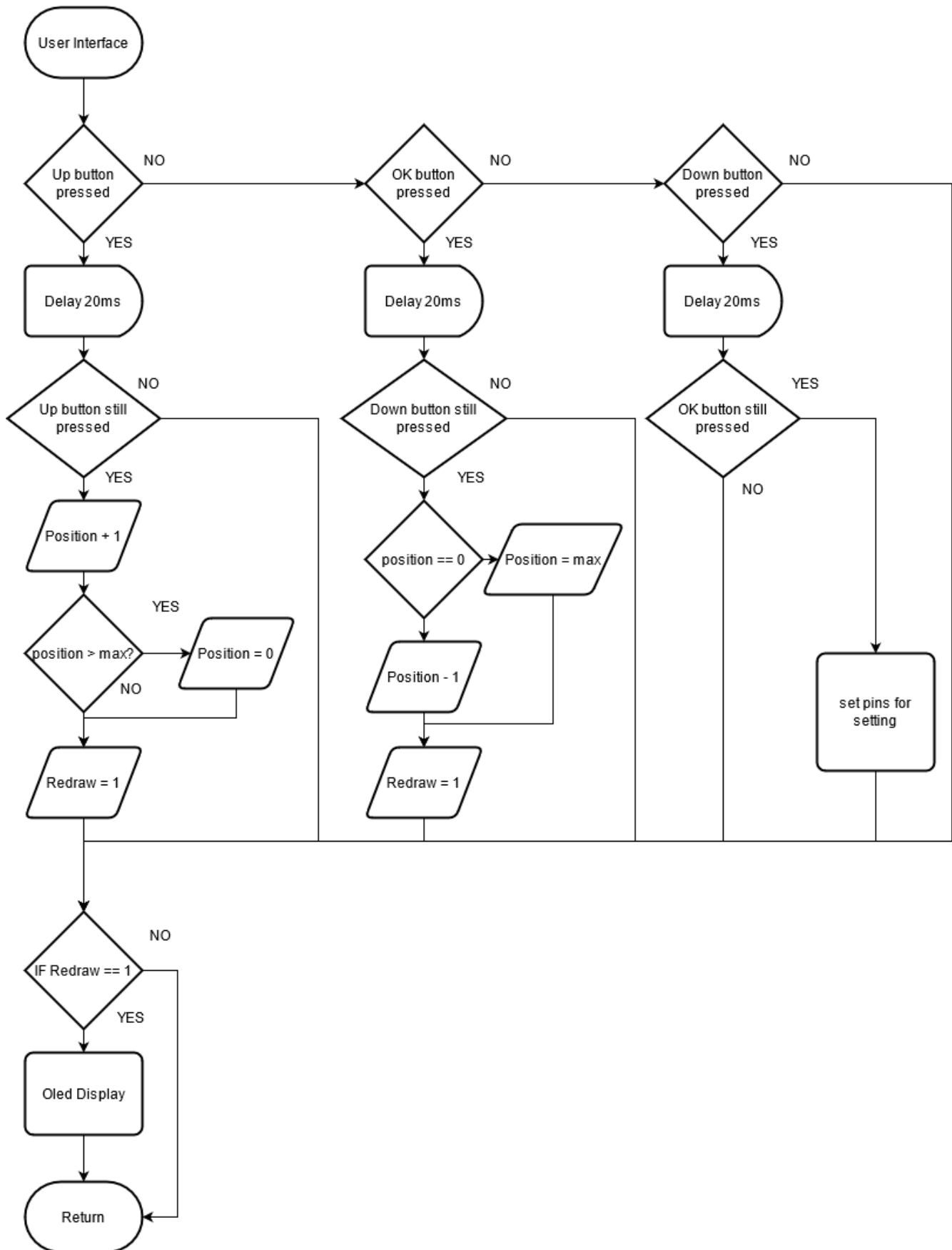
Figuur 8 - idle state

### 3.7.2 Control and wait flowchart

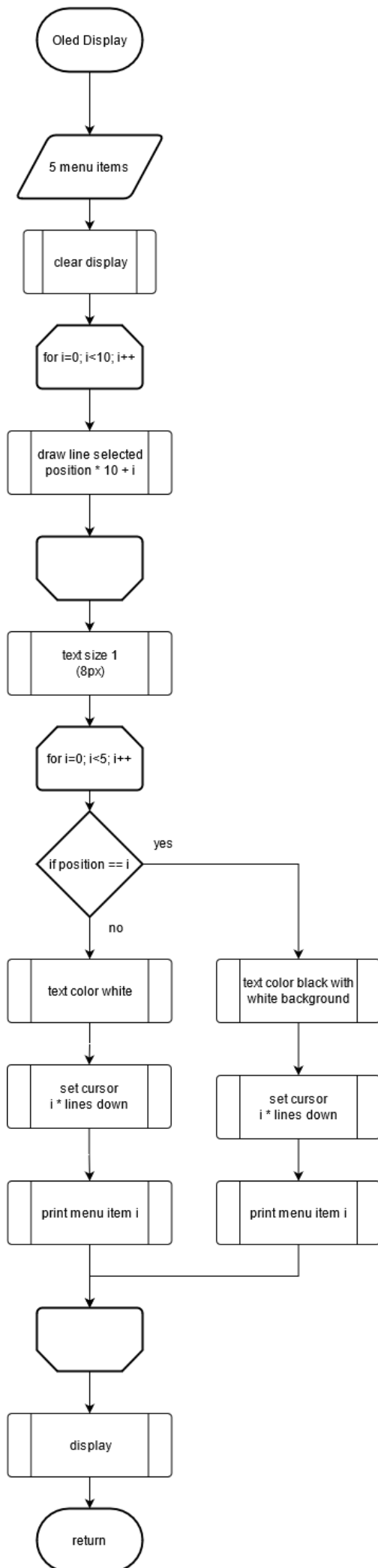


Figuur 9 - control and wait flowchart

### 3.7.3 Local user interface flowchart



Figur 10 - Local user interface flowchart



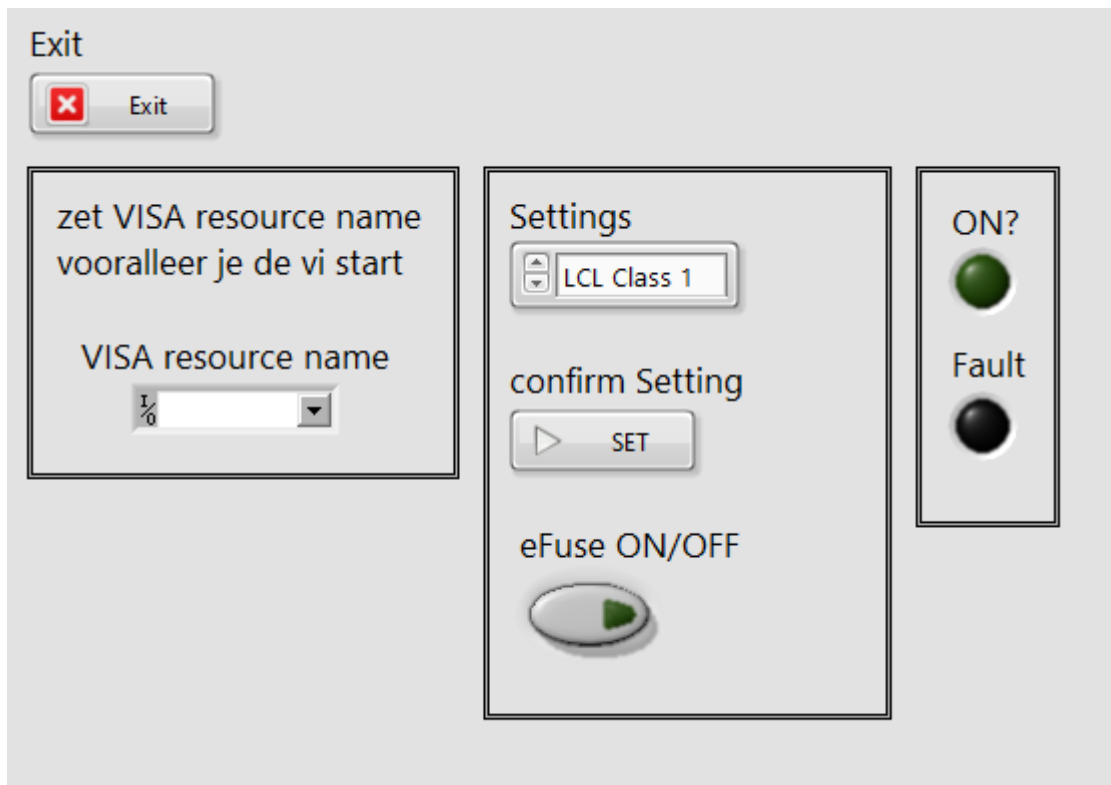
*Figuur 11 - Local user interface flowchart*

### 3.7.4 LabVIEW

In LabVIEW kan je zien of er een fout is opgetreden, de eFuse aan en uit zetten en de configuratie selecteren.

#### 3.7.4.1 Instellen

Om de juiste instelling te doen moet je eerst de juiste COM port(VISA resource name) selecteren. Dan kan je de LCL-klas selecteren en op set klikken om de instelling te bevestigen. En dan kan je de eFuse in schakelen.



Figuur 12 - LabVIEW UI

## 4 HARDWARE

### 4.1 Component keuze

#### 4.1.1 eFuse IC trade-off

eFuse	ST stef01	TI tps2660x	TI tps2663x
Voltage range	8 to 48V	4.2 to 60V	4.5 to 60V
Continuous current	4A	2.23A	6A
Max current	6A	N/A	N/A
Parallel mogelijk	Ja	Ja	Ja
Prijs	2euro	=	3euro
Reverse polarity protection	Externe fet	Intern	Externe fet
Peak current	N/A	3x limiet gemeten	2x limiet gedefinieerd in de datasheet

Tabel 5 - eFuse ic trade-off

(ST)

(Texas Instruments)

(Texas Instruments)

De tps2660 ic is het meest kost effectief. Zou genoeg zijn voor een class 1 of 2 voeding maar heeft geen reserve. Bij LCL-klasse 2 zit je aan de minimumstroom limiet.

De STEF01 is goedkoop voor wat hij aan kan maar door mijn slechte ervaring met het evaluatie bord en de enkele bi directionele fout pin is het moeilijk om deze aan te raden. Kan LCL-klasse 3 maar de 5V instelling of lager gaat niet.

De tps2663 is duurder maar heeft hogere limieten dan de andere. Deze ic kan het meesten inclusief klasse 3 en 5V.

Een 3.3V instelling is niet belangrijk dus deze komt er niet bij.

De gekozen ic is de TPS26631 deze laat hogere piek stromen toe en is geschikt voor de toepassing.

Characteristic	LCL class							
	1	2	3	4	5	6	8	10
Regulated Bus voltage [V]	28							
Unregulated Bus voltage [V]	22 to 38							
Class current [A]	1	2	3	4	5	6	8	10
Min limitation current [A]	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	8,8	11
Max limitation current [A]	1,4	2,8	4,2	5,6	7	8,4	11,2	14
Trip-off min [ms]	10	10	6	6	4	2	2	1,5
Trip-off max [ms]	20	20	12	12	8	4	4	3

Tabel 6 - LCL-klassen

(ECCS)

### 4.1.2 ESD en overspanning beveiliging

#### 4.1.2.1 Ingang

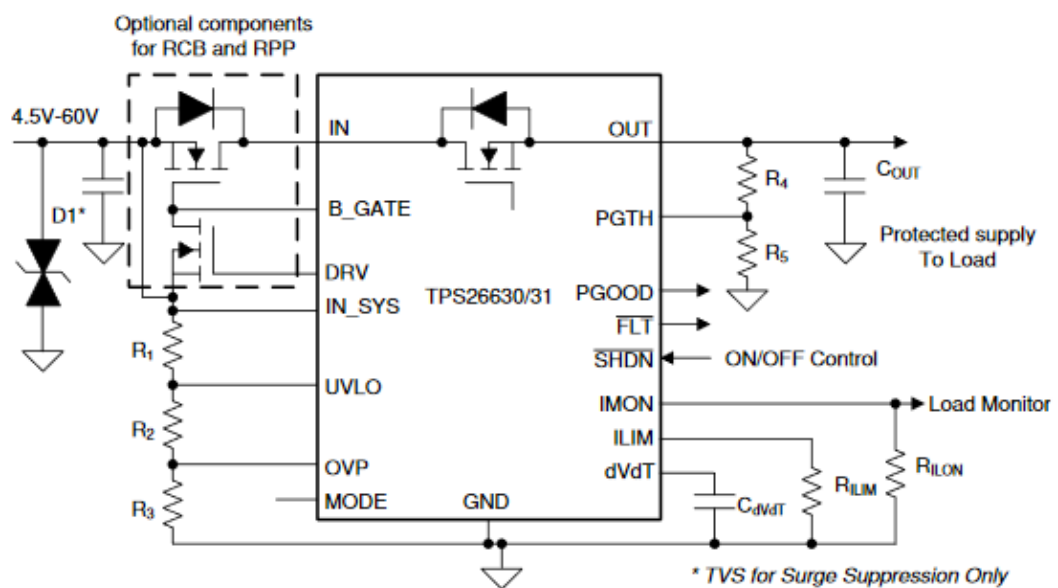
Op de ingang gebruik ik een bi-directionele TVS-diode. Deze zijn meer gebruikt bij lage spanningen. Er is geen extra fuse nodig omdat deze "open" breken, kan een voordeel zijn. Ze gaan ook langer mee.

#### 4.1.2.2 Uitgang

Op de uitgang heb ik een schottky diode voor ESD protection.

## 4.2 eFuse TPS26631

### Simplified Schematic



Figuur 13 - eFuse TPS26631 simplified  
(Texas Instruments)

#### 4.2.1 Spanning limiet instellingen

$$V_{(OVPR)} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \times V_{(OV)}$$

$$V_{(UVLOR)} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \times V_{(UV)}$$

In specs:  $V_{(OVPR)} = 1.2 \text{ V}$  and  $V_{(UVLOR)} = 1.2 \text{ V}$

##### 4.2.1.1 LCL-classes

LCL-classes definiëren een spanning tussen 22 en 38V.



$$R3 = 36k\Omega$$

$$1.2V = \frac{36000\Omega}{R1 + R2 + 36000\Omega} * 38V$$

$$R1 + R2 = \left( \frac{36000\Omega}{1.2V} * 38V \right) - 36000\Omega = 1104000\Omega$$

$$R2 = \left( \frac{1.2V * (1104000\Omega + 36000\Omega)}{22V} \right) - 36000\Omega = 26181.82\Omega$$

$$R1 = \left( \left( \frac{26182\Omega + 36000\Omega}{1.2V} \right) * 22V \right) - 26182\Omega - 36000\Omega = 1077821.33\Omega$$

Bestaande enkele weerstanden E24: 1M+75K,27K,36K

$$V(ov) = 1.2V * \left( \frac{1075000\Omega + 27000\Omega + 36000\Omega}{36000\Omega} \right) = 37.93V$$

$$V(uv) = 1.2V * \left( \frac{1075000\Omega + 27000\Omega + 36000\Omega}{27000\Omega + 36000\Omega} \right) = 21.67V$$

Bestaande enkele weerstanden alternatief 1 E24: 1M+75K,24K,36K

$$V(ov) = 1.2V * \left( \frac{1075000\Omega + 24000\Omega + 36000\Omega}{36000\Omega} \right) = 37.83V$$

$$V(uv) = 1.2V * \left( \frac{1075000\Omega + 24000\Omega + 36000\Omega}{24000\Omega + 36000\Omega} \right) = 22.7V$$

Bestaande enkele weerstanden alternatief 2

$$R3 = 33k\Omega$$

$$1.2V = \frac{33000\Omega}{R1 + R2 + 33000\Omega} * 38V$$

$$R1 + R2 = \left( \frac{33000\Omega}{1.2V} * 38V \right) - 33000\Omega = 1012000\Omega$$

$$R2 = \left( \frac{1.2V * (1012000\Omega + 33000\Omega)}{22V} \right) - 33000\Omega = 24000\Omega$$

$$R1 = \left( \left( \frac{24000\Omega + 33000\Omega}{1.2V} \right) * 22V \right) - 24000\Omega - 33000\Omega = 988000\Omega$$

E24: 1M,24K,33K

$$V(ov) = 1.2V * \left( \frac{1000000\Omega + 24000\Omega + 33000\Omega}{33000\Omega} \right) = 38.4V$$

$$V(uv) = 1.2V * \left( \frac{1000000\Omega + 24000\Omega + 33000\Omega}{24000\Omega + 33000\Omega} \right) = 22.25V$$

Bestaande enkele weerstanden alternatief 3 E12: 1M,22K,33K

$$V(ov) = 1.2V * \left( \frac{1000000\Omega + 22000\Omega + 33000\Omega}{33000\Omega} \right) = 38.36V$$

$$V(uv) = 1.2V * \left( \frac{1000000\Omega + 22000\Omega + 33000\Omega}{24000\Omega + 33000\Omega} \right) = 23V$$

Bestaande enkele weerstanden alternatief 3 E12: 910k+75k,24K,33K

$$V(ov) = 1.2V * \left( \frac{985000\Omega + 24000\Omega + 33000\Omega}{33000\Omega} \right) = 37.9V$$

$$V(uv) = 1.2V * \left( \frac{985000\Omega + 24000\Omega + 33000\Omega}{24000\Omega + 33000\Omega} \right) = 21.94V$$

Bestaande enkele weerstanden alternatief E24(gebruikt in prototypes):  
910k+75k,24K,51K//91k=32683

$$V(ov) = 1.2V * \left( \frac{985000\Omega + 24000\Omega + 32683\Omega}{32683\Omega} \right) = 38.25V$$

$$V(uv) = 1.2V * \left( \frac{985000\Omega + 24000\Omega + 32683\Omega}{24000\Omega + 32683\Omega} \right) = 22.05V$$

#### 4.2.1.2 Extra instelpunten

12V:

$$R3 = 33k\Omega$$

$$1.2V = \frac{33000\Omega}{R1 + R2 + 33000\Omega} * 12V$$

$$R1 + R2 = \left( \frac{33000\Omega}{1.2V} * 12V \right) - 33000\Omega = 297000\Omega$$

$$R2 = \left( \frac{1.2V * (297000\Omega + 33000\Omega)}{11V} \right) - 33000\Omega = 3000\Omega$$

$$R1 = \left( \left( \frac{3000\Omega + 33000\Omega}{1.2V} \right) * 11V \right) - 3000\Omega - 33000\Omega = 294000\Omega$$

Bestaande enkele weerstanden E24 985k//430k,24k,51K//91k:

$$V(ov) = 1.2V * \left( \frac{300000\Omega + 24000\Omega + 33000\Omega}{33000\Omega} \right) = 13V$$

$$V(uv) = 1.2V * \left( \frac{300000\Omega + 24000\Omega + 33000\Omega}{24000\Omega + 33000\Omega} \right) = 7.5V$$

5V:

Bestaande enkele weerstanden E24 985k//430k,24k,91k:

$$V(ov) = 1.2V * \left( \frac{300000\Omega + 24000\Omega + 91000\Omega}{91000\Omega} \right) = 5.4V$$

$$V(uv) = 1.2V * \left( \frac{300000\Omega + 24000\Omega + 91000\Omega}{24000\Omega + 91000\Omega} \right) = 4.3 \rightarrow 4.5V$$

#### 4.2.2 Stroom limiet instellingen

$$I_{OL} = \frac{18}{R_{(ILIM)}}$$

where

- $I_{(OL)}$  is the overload current limit in Ampere
- $R_{(ILIM)}$  is the current limit resistor in k $\Omega$

##### 4.2.2.1 Class1

$$IOL = 1.4A$$

$$\frac{18}{1.4A} = 12.8k\Omega$$

Bestaande weerstand -> 13k $\Omega$

$$\frac{18}{13} = 1.38A$$

##### 4.2.2.2 Class 2

$$IOL = 2.8A$$

$$\frac{18}{2.8A} = 6.4k\Omega$$

Bestaande weerstand -> 6.8k $\Omega$

$$\frac{18}{6.8} = 2.65A$$

##### 4.2.2.3 Class 3

$$IOL = 4.2A$$

$$\frac{18}{4.2A} = 4.28k\Omega$$

Bestaande weerstand -> 4.3k $\Omega$

$$\frac{18}{4.3} = 4.18A$$

### 4.2.3 Power Good

$$V_{(PGTHF)} = \frac{R_5}{R_4 + R_5} \times V_{UVLO\_DC-DC}$$

$$\left( \frac{22V}{1.14V} * 56k\Omega \right) - 56k\Omega = 1M\Omega$$

## 4.3 Optocoupler voorschakel weerstand

### 4.3.1.1 eFuse kant

Led 1.3V @ 5mA

$$mid \rightarrow 22V \rightarrow 22V - 1.3V = 20.7V \rightarrow \frac{20.7V}{5mA} = 4140\Omega$$

Bestaande weerstand: 4.3kΩ

$$max \rightarrow 60V \rightarrow \frac{60}{4300\Omega} = 14mA$$

$$min \rightarrow 5V \rightarrow \frac{5}{4300\Omega} = 1.2mA$$

38/0.06 = 633.33ohm current limit analog opto coupler

### 4.3.1.2 Digitale kant

Led 1.3V @ 5mA

$$mid \rightarrow 3.3V \rightarrow 3.3V - 1.3V = 2V \rightarrow \frac{2V}{5mA} = 400\Omega$$

Bestaande weerstand: 390Ω

## 4.4 Stroom berekeningen

Max vermogen usb 5V 500mA: 2.5W (Wikipedia)

Max stroom uit 3.3V regulator van de arduino: max 800 mA (Arduino)

2.5W @ 3.3V = 757.5mA

Stroomverbruik controller: 150mA max (Arduino)

Stroomverbruik relais: 4 x 73.3mA = 293.2mA (Digikey)

Stroomverbruik leds 10mA

Optocouplers max: 2x 10mA

Stroom oled display: max 1mA (SOLOMON SYSTECH)

$$293.2 + 150 + 20 + 10 - 1 = 474.2 \text{mA}$$

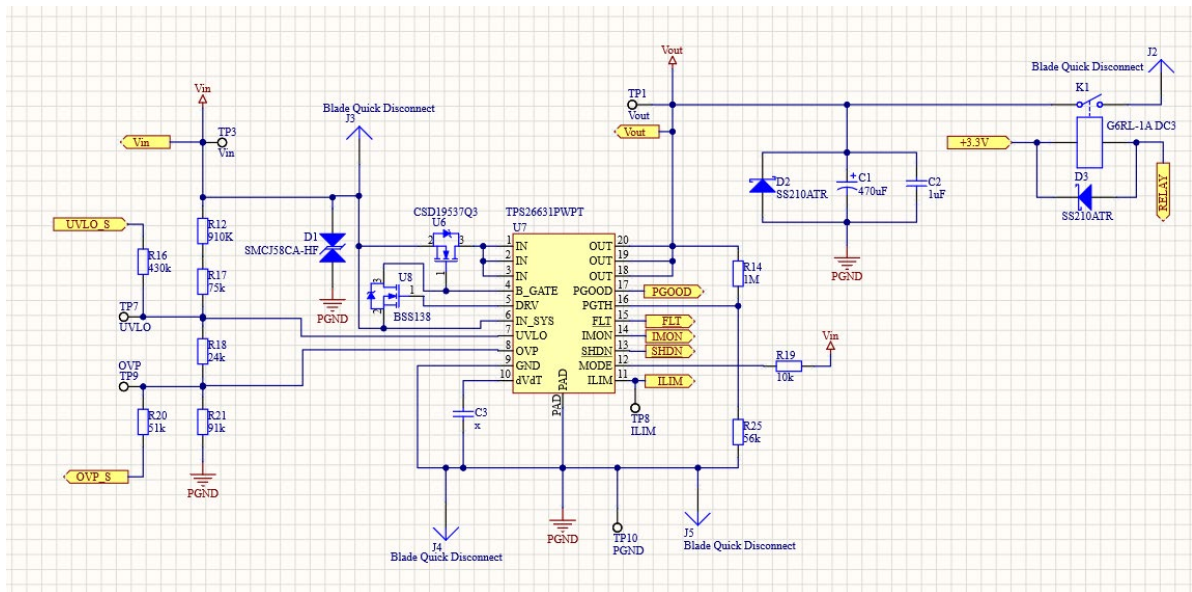
$$757.5 \text{mA} - 474.2 \text{mA} = 283.3 \text{mA overhead}$$

## **4.5      Prototype V0.1**

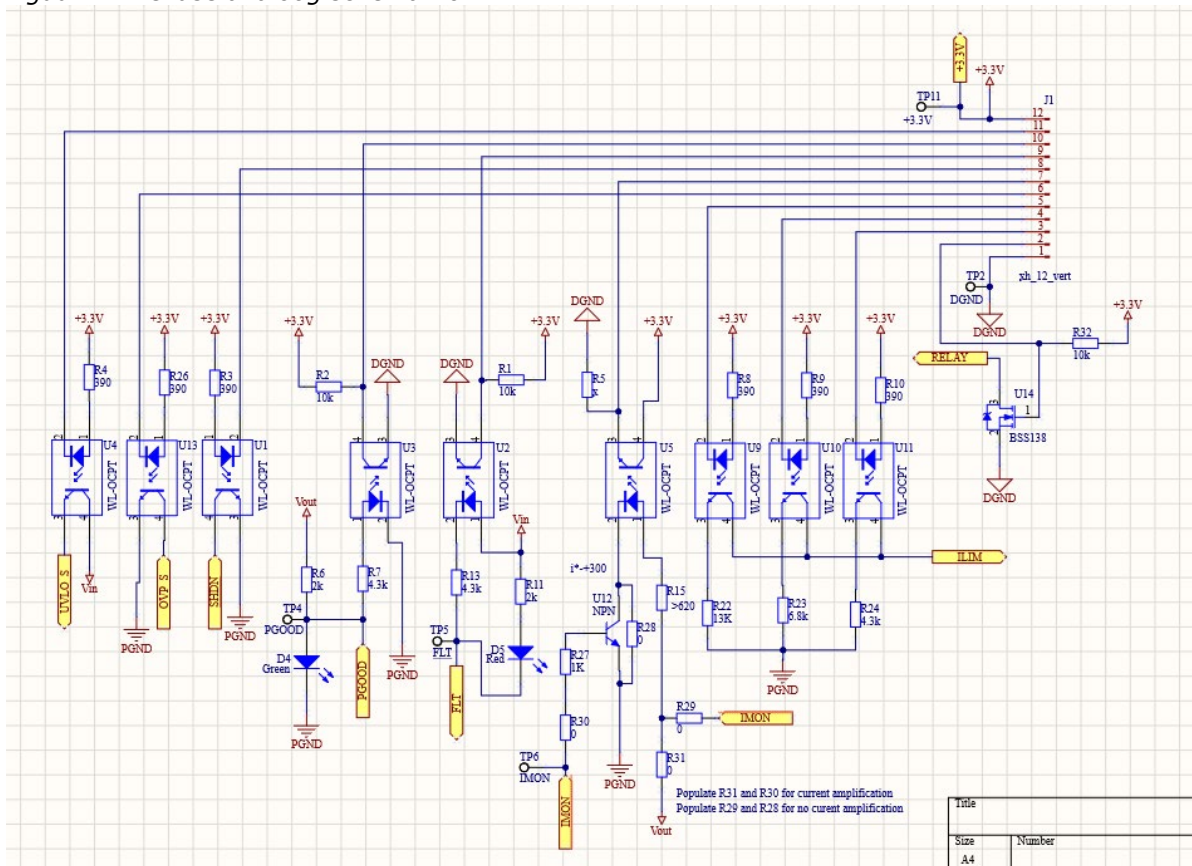
Een prototype is gemaakt met alle minimum functionaliteit en een paar extra's.

- LCL-klasse 1,2 en 3.
- Output relay.
- Spanning instelling voor 5V,12V(optioneel) en 22V tot 38V.
- Aanstuur baar met headers

### 4.5.1 Schema's



Figuur 14 - eFuse analog schema V0.1

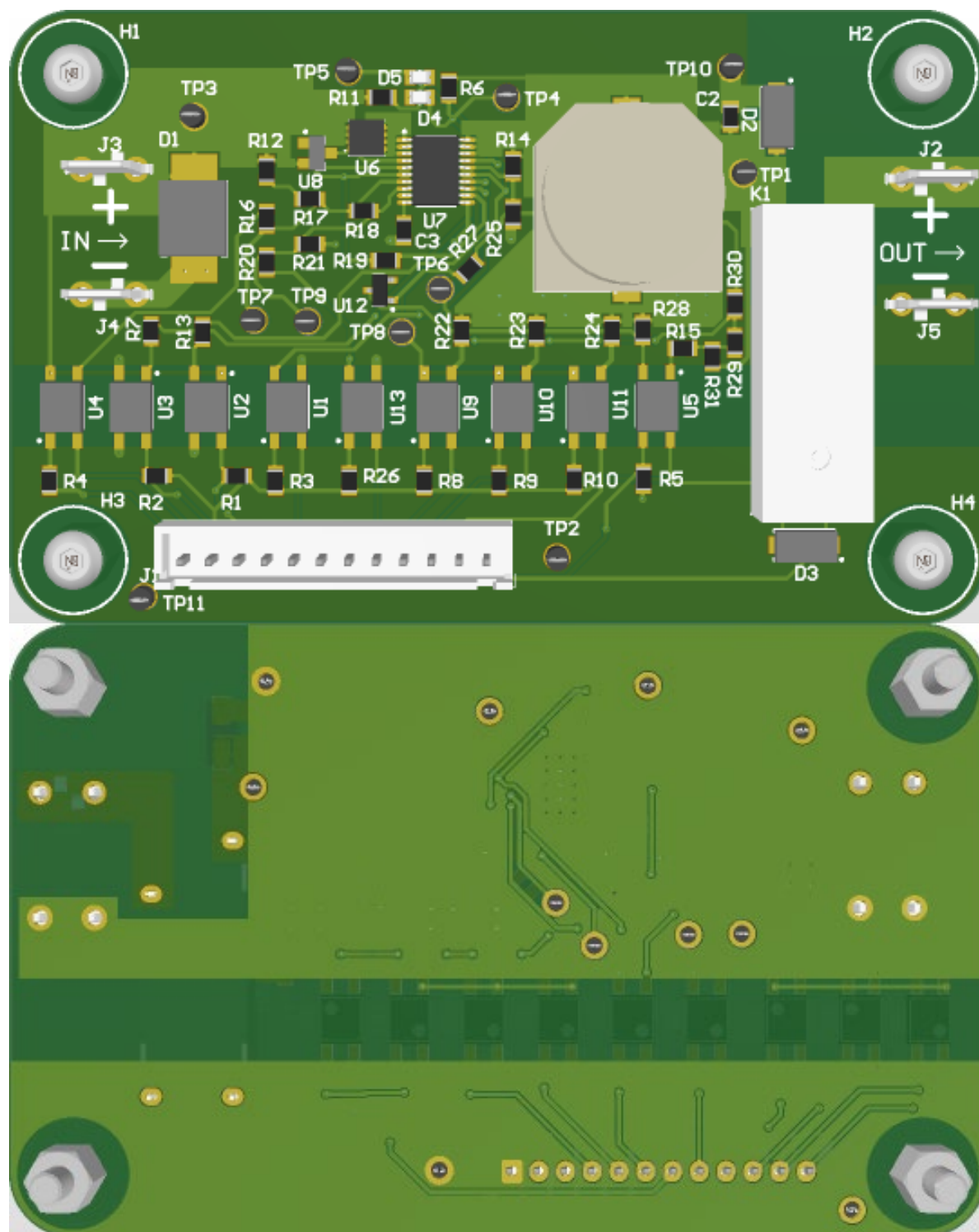


Figuur 15 - eFuse digitaal schema V0.1

## Pinout header

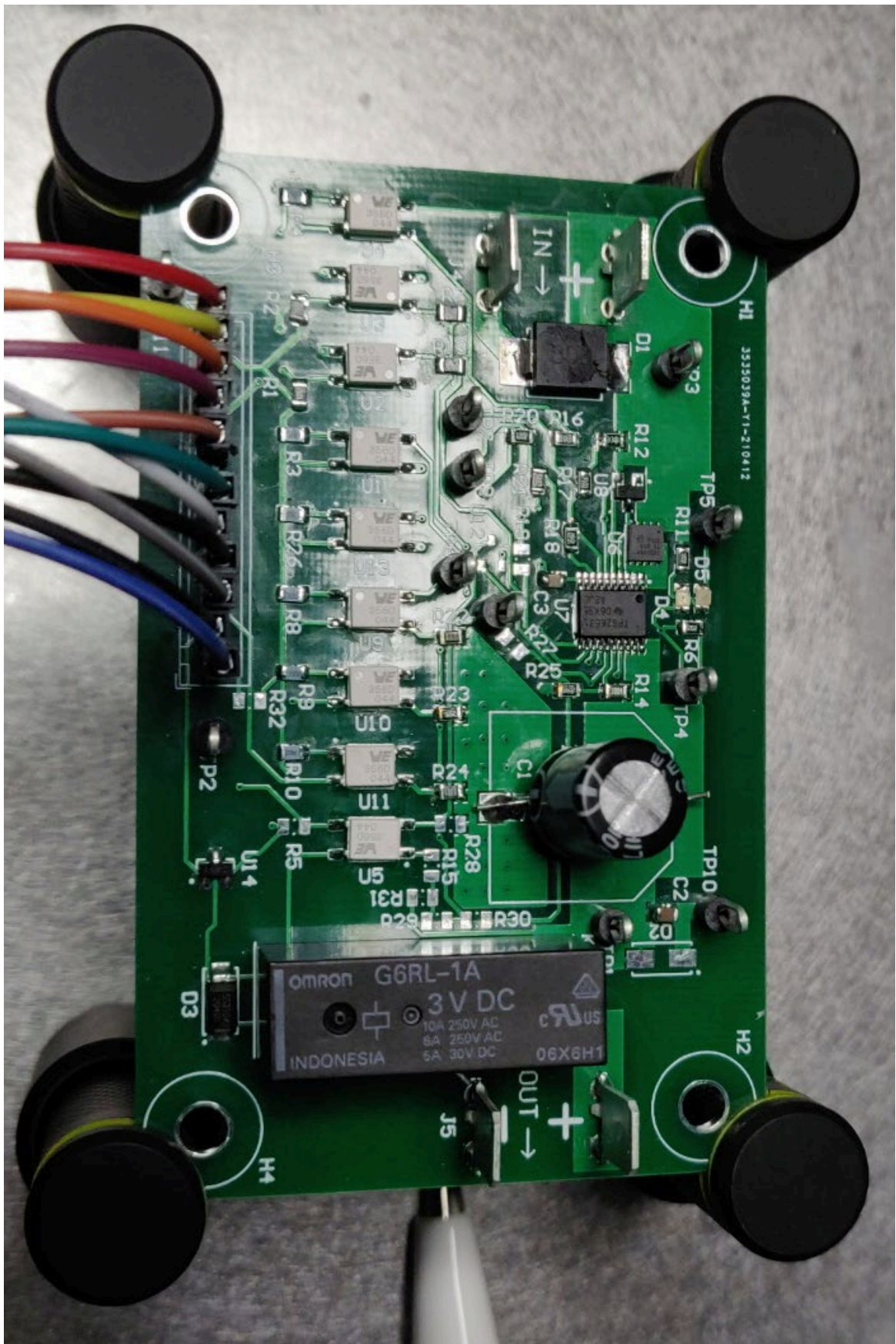
1. GND
2. Relay
3. Ilim 4.2A
4. Ilim 2.8A
5. Ilim 1.4A
6. Ovp\_s pull down voor 12V of 22V tot 38V
7. Imon niet gebruikt
8. SHDN pull down voor shutdown
9. Fault output
10. Pgood output
11. Uvp\_s pull down voor 12V of 5V
12. 3.3V

#### 4.5.2 PCB V0.1



Figuur 16 - eFuse PCB V0.1 3D

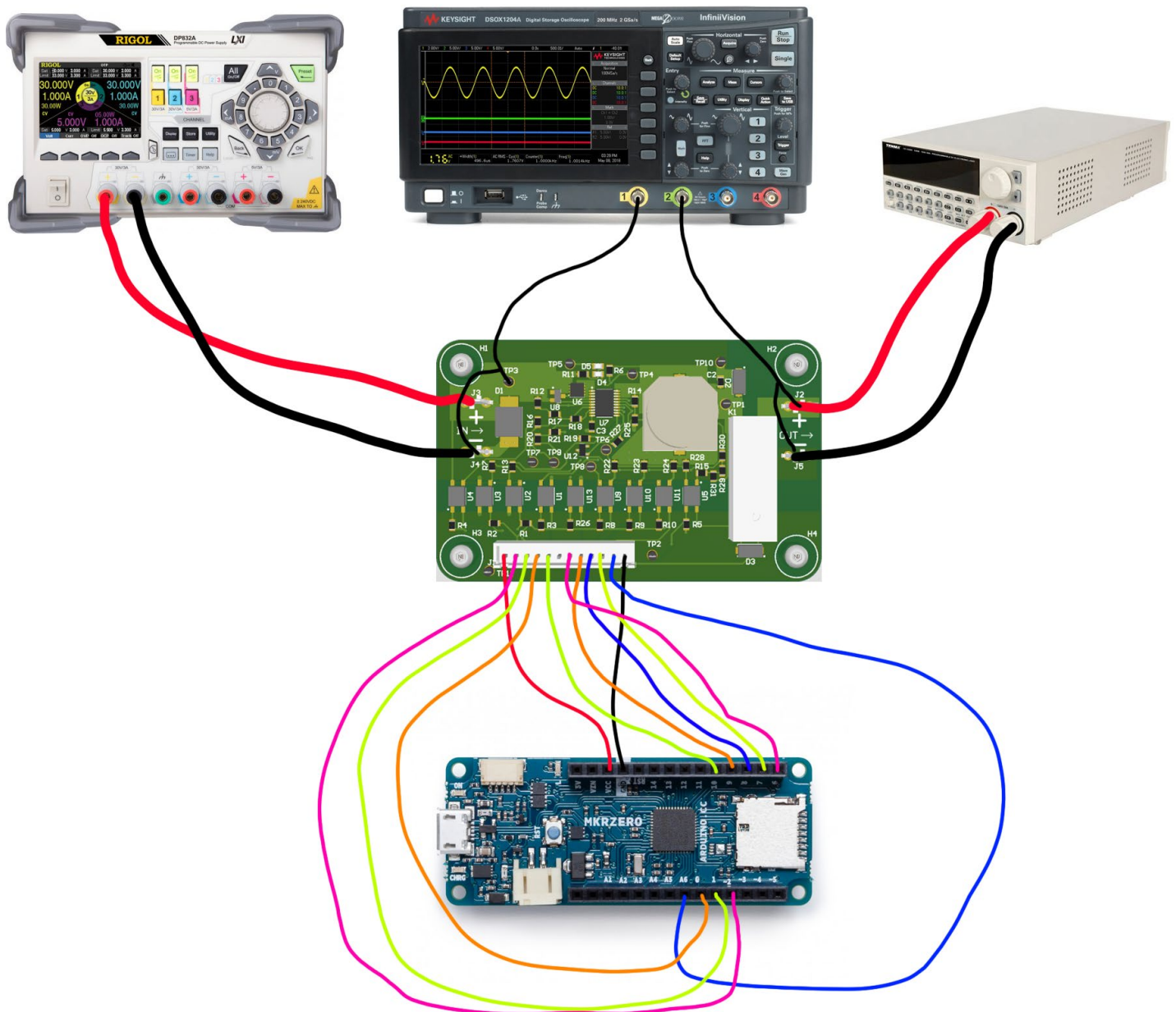




Figuur 17 - eFuse PCB V0.1

### 4.5.3 Tests

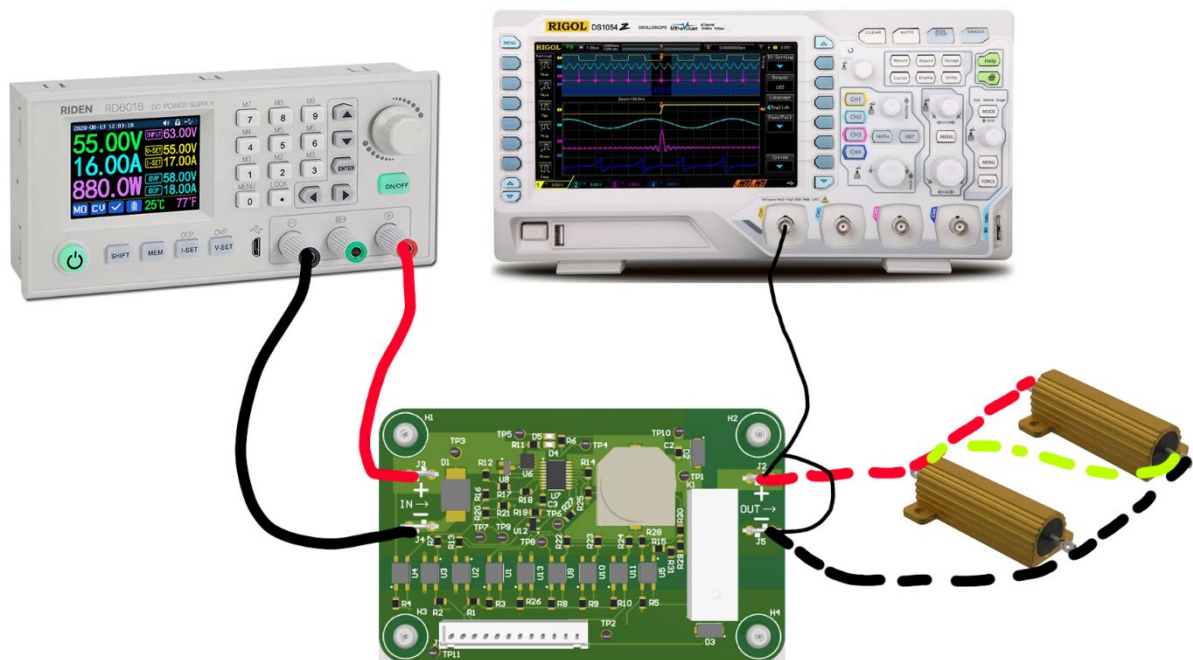
#### 4.5.3.1 Opstelling bij Antwerp Space



*Figuur 18 - Test opstelling bij Antwerp Space*

- Power supply: Rigol DP832A
- OSC: Keysight DSOX1204
- DC electronic load: Tenma 72-13200
- Controller: Arduino MKRZERO

#### 4.5.3.2 Opstelling thuis



Figuur 19 - Test opstelling thuis

- Power supply: Riden RD6018
- OSC: Rigol DS1054Z
- Load: 2 x 80mH

#### 4.5.3.3 Spanning punten

Instelling	Doel Limieten	Overvolt protection gemeten	Undervolt protection gemeten
<b>LCL-Klasse</b>	38 VDC $\pm$ 2 % OVP $\checkmark$ 22 VDC $\pm$ 8 % UVP $\checkmark$	37.78V	20.43V
<b>12V (7.5 tot 13)</b>	13 VDC $\pm$ 11 % OVP $\checkmark$ 7.5 VDC $\pm$ 43 % UVP $\checkmark$	14.46V	10.71V
<b>5V (4.2 tot 5.4V)</b>	5.4 VDC $\pm$ 1 % OVP $\checkmark$ 4.2 VDC $\pm$ 0 % UVP $\checkmark$	5.45V	4.2V (geen fout wordt gegeven maar de eFuse schakelt uit)

Tabel 7 - gemeten undervolt en overvolt punten

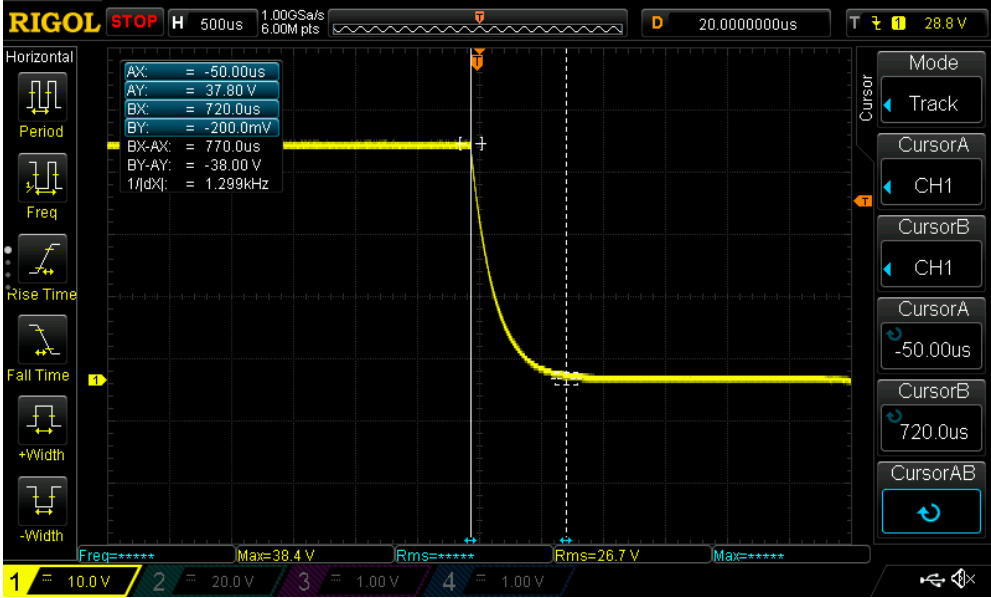


4.5.3.4    Stroom limiet

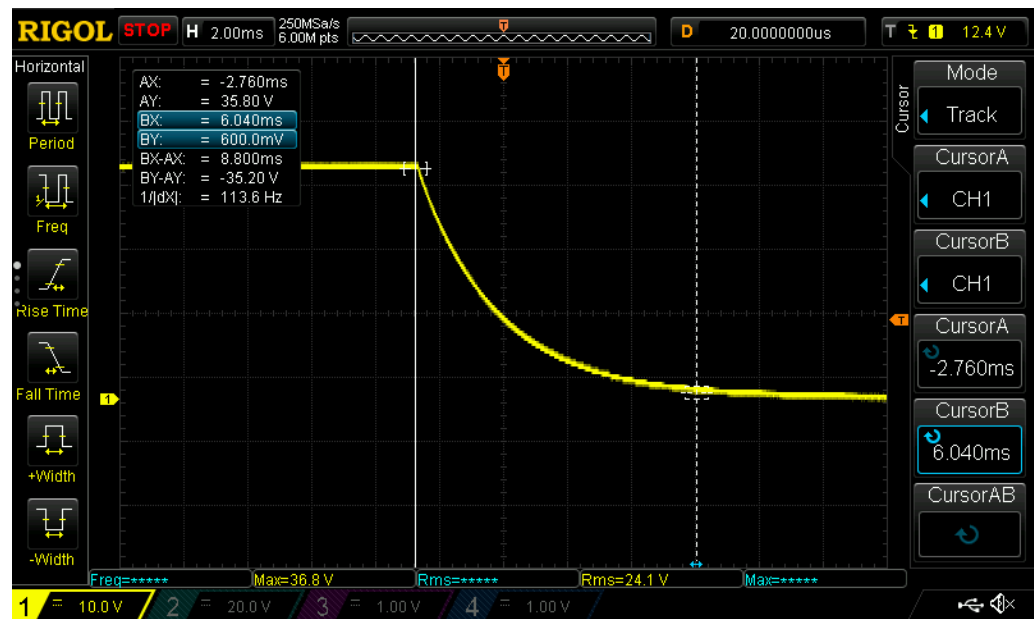
Instelling	Doel limieten	Stroom limiet gemeten
LCL-Klasse 1	LCL-klasse 1: 1.1A-1.4A. mijn meeting 1.35A ✓	±1.35A
LCL-Klasse 2	LCL-klasse 2: 2.2A-2.8A. mijn meeting 2.5A ✓	±2.5A
LCL-Klasse 3	LCL-klasse 3: 3.3A-4.2A. mijn meeting 3.9A ✓	±3.9A

Tabel 8 - gemeten stroom limieten

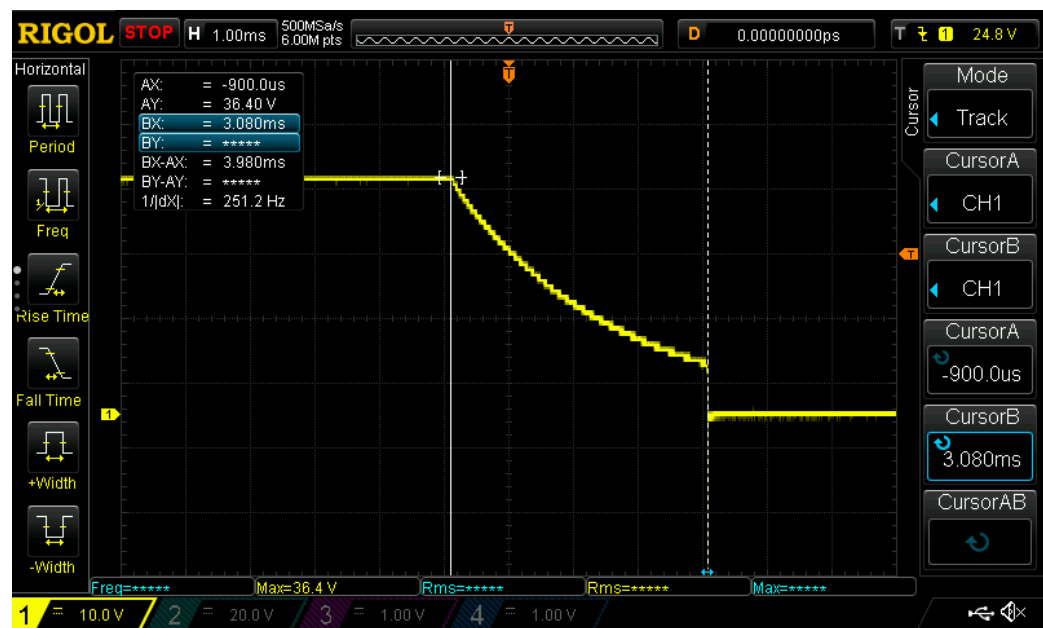
4.5.3.5    Afschakel snelheid

Instelling	Tijd
LCL-klasse	<div>770µs met microcontroller relais uitschakelen no load</div> <div></div> <div>Figuur 20 – afschakelsnelheid no load relais</div>

8.8ms met max stroom. Als er een lichte load aan hangt wordt deze tijd uit gerekte. Deze meeting is gedaan met een 100 $\mu$ F condensator en een weerstand van 260 $\Omega$



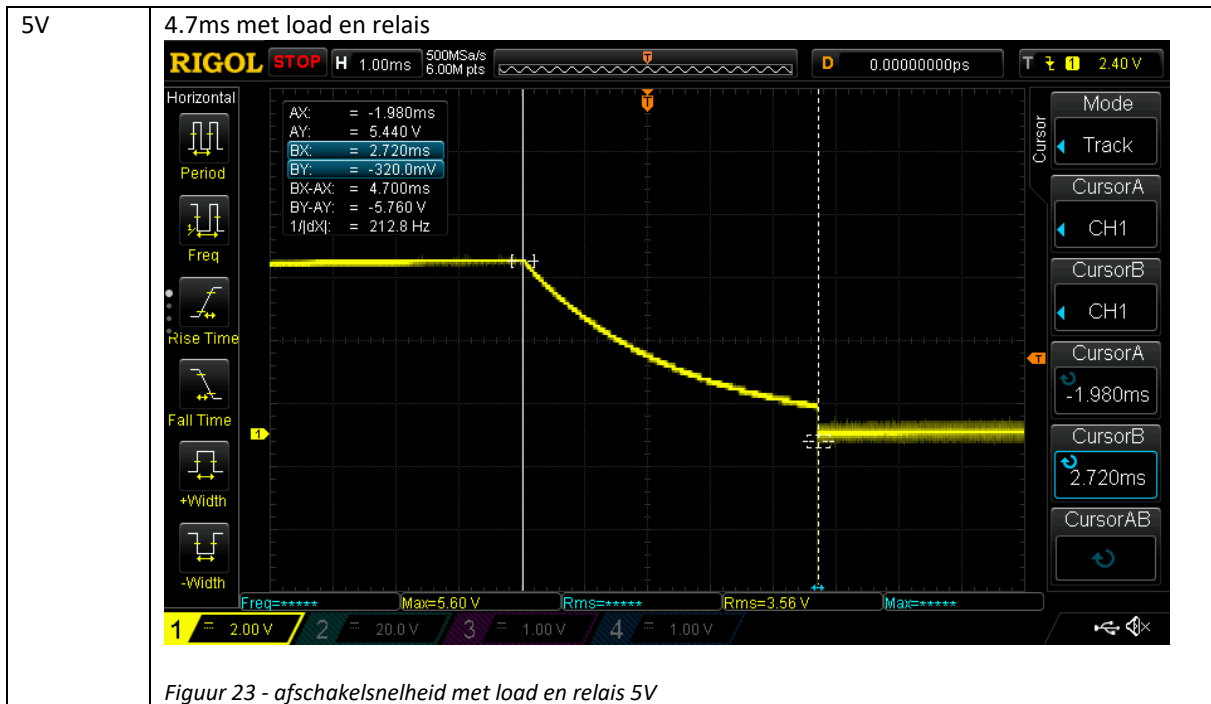
Figuur 21 - afschakelsnelheid met load geen relais  
4ms Met het relais uitschakelen 260 $\Omega$



Figuur 22 - afschakelsnelheid met load en relais

12V

4.5ms met load en relais



#### 4.5.3.6 Temperatuur

De casetemperatuur van de MOSFET en eFuse na 15min aan max vermogen is niet boven 60°C gegaan. Er was de vraag of er 1 model MOSFET kan gebruikt worden. Na deze meeting is het niet aangeraden om 1 soort MOSFET te gebruiken. De MOSFET t gekozen voor het hogere vermogen kost 10x meer dan de kleinere MOSFET gebruikt voor de relais en gate driver MOSFET.

#### 4.5.4 Evaluative

Tabel met de waarden die ik wil bekomen:

Characteristic	LCL class							
	1	2	3	4	5	6	8	10
Regulated Bus voltage [V]	28							
Unregulated Bus voltage [V]	22 to 38							
Class current [A]	1	2	3	4	5	6	8	10
Min limitation current [A]	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	8,8	11
Max limitation current [A]	1,4	2,8	4,2	5,6	7	8,4	11,2	14
Trip-off min [ms]	10	10	6	6	4	2	2	1,5
Trip-off max [ms]	20	20	12	12	8	4	4	3

Tabel 9 - LCL-klassen  
(ECCS)

#### 4.5.4.1 Spanning instellingen

Het doel was van 22V tot 38V. De gemeten waarden van mijn prototype zijn van 20,4 tot 37,8. Het overvolt punt mocht iets hoger liggen maar voor een eerste prototype is dit zeker geen slecht begin.

#### 4.5.4.2 Stroom limieten

- 1) LCL-klasse 1: 1.1A-1.4A. mijn meeting 1.35A ✓
- 2) LCL-klasse 2: 2.2A-2.8A. mijn meeting 2.5A ✓
- 3) LCL-klasse 3: 3.3A-4.2A. mijn meeting 3.9A ✓

De stroom limieten vallen binnen de specificatie.

#### 4.5.4.3 Extra instellingen

Deze zijn niet verplicht maar werken goed.

#### 4.5.4.4 Problemen die ik heb ondervonden tijdens het testen van prototype V0.1

- Als de voeding wordt ingeschakeld wanneer de eFuse aan staat krijg je een fout tijdens de soft start van de labo voeding.
- Alleen het relais uitschakelen bij een fout is niet goed. De eFuse ic moet ook ge reset worden bij sommige fouten dus is het best om dit bij elke fout te doen.
- Door het snel in- en uitschakelen tijdens het testen kan inrush current een fout geven. Als je de eFuse niet te snel ( $< 2s$ ) terug in probeert te schakelen zou dit geen probleem mogen creëren.

## 4.6 Prototype V0.2

Dit prototype is mijn finale versie. Alle onnodige functionaliteit is verwijderd zoals de foute stroom meeting, de opties voor 5V en 12V en de PGOOD pin. Dit zorgt ervoor dat er minder fouten kunnen optreden. Dit is belangrijk omdat de controller de spanning kan bepalen. Als er iets fout gaat in de controller kan de maximum spanning en minimum spanning veranderen. Dat is niet gewenst. Prototype V0.1 is meer een proof of concept. Dit is een finaal design.

### 4.6.1 Connector pinouts

eFuse 8-pin connector:

1. GND
2. Relay
3. LCL-class 3
4. LCL-class 2
5. LCL-class 1
6. SHDN
7. FLT
8. +3.3V

Front panel 16-pin connector:

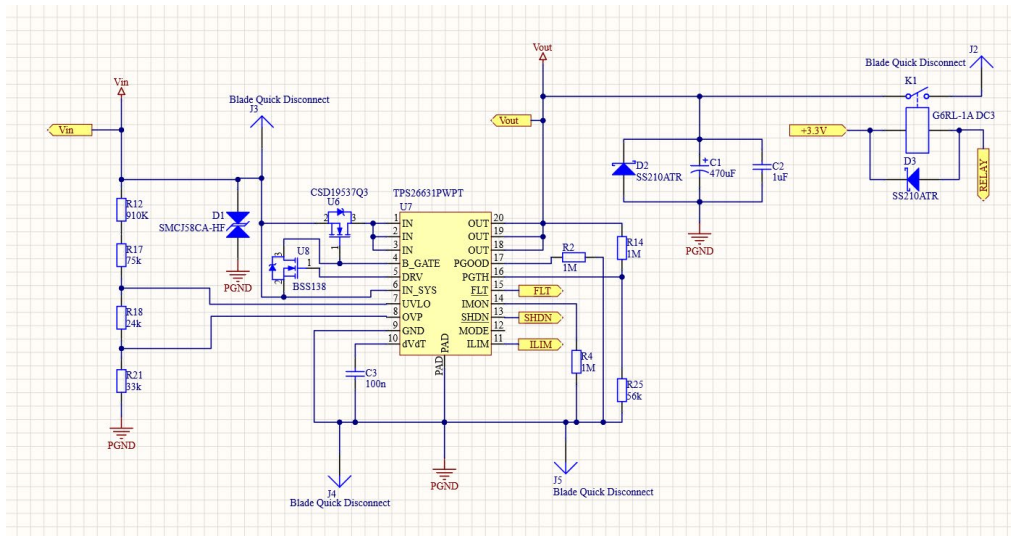
1. GND

2. Joystick right
3. Joystick up
4. Joystick center
5. Joystick left
6. Joystick down
7. Led matrix x1
8. Led matrix x2
9. Led matrix x3
10. Led matrix x4
11. Led matrix y1
12. Led matrix y2
13. Led matrix y3
14. SDA
15. SLC
16. +3.3V

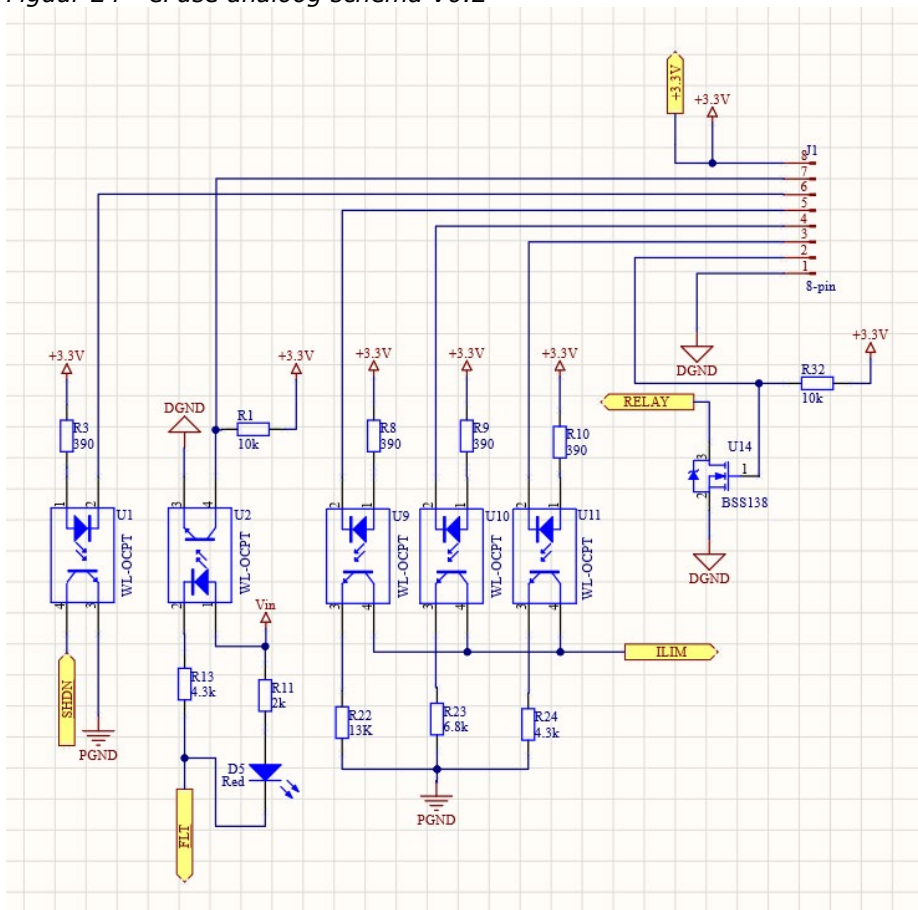


## 4.6.2 Schema

### 4.6.2.1 Analoo



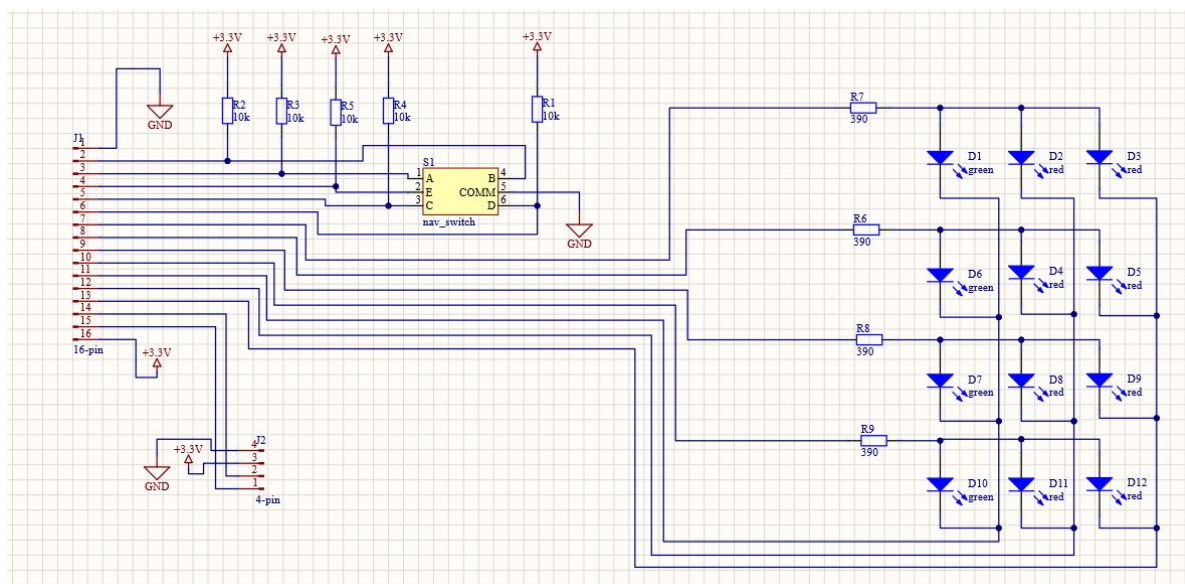
Figuur 24 - eFuse analoo schema V0.2



Figuur 25 - eFuse digitaal schema V0.2

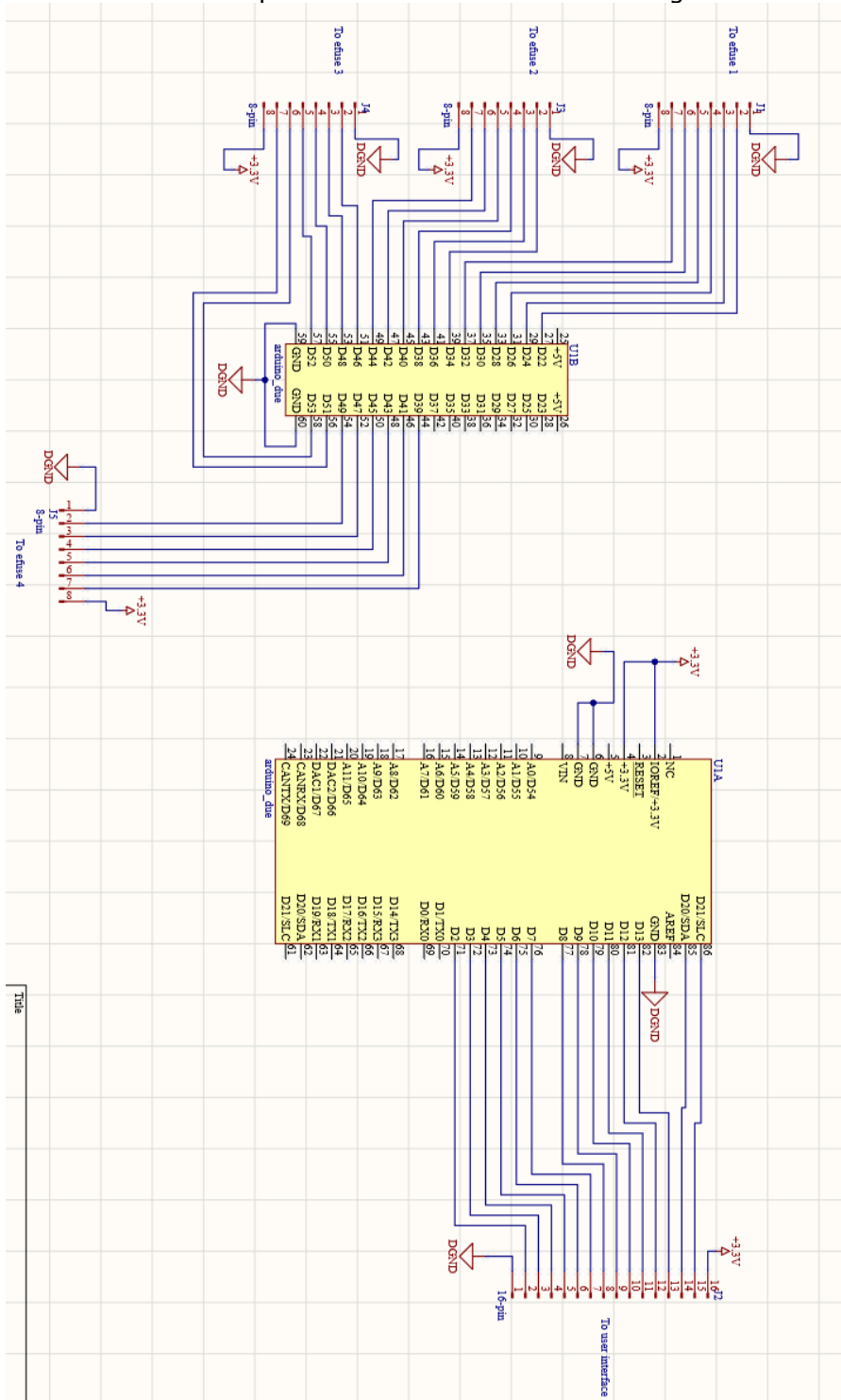
### 4.6.2.2 Digitaal

Front panel ui



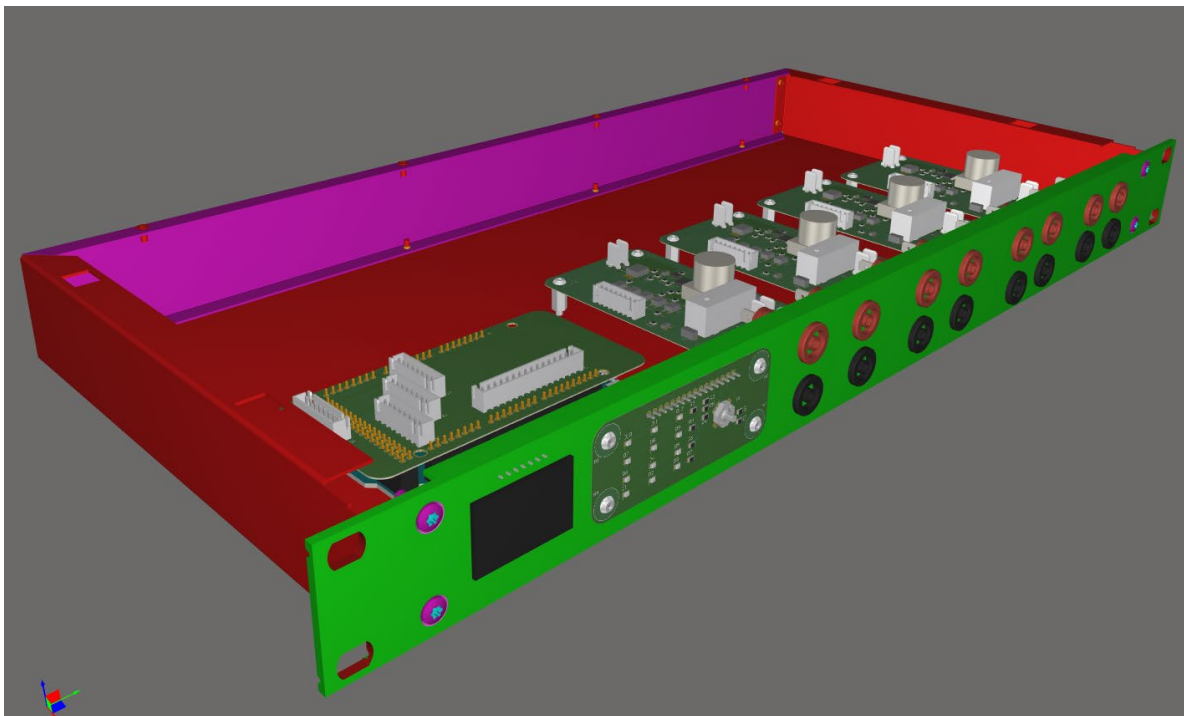
*Figuur 26 - front panel schema*

Controller interface pcb voor 4 fuses in een behuizing.



Figuur 27 - controller bord schema

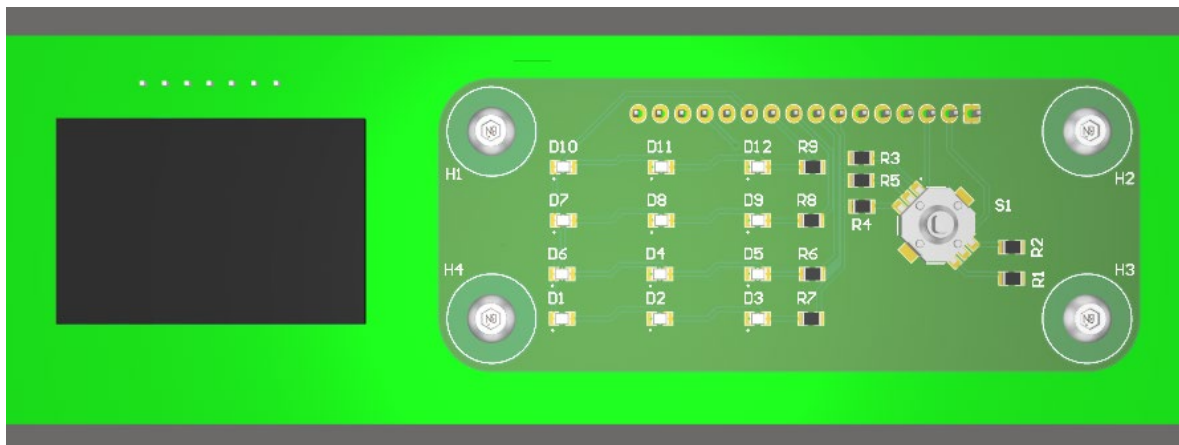
## Assembly



Figuur 28 – Assembly

Een 19 inch 1U rack wordt gebruikt als behuizing waarin 4 eFusen kunnen geplaatst worden.

### 4.6.3 Front panel



Figuur 29 - front panel UI

Op de voorkant van de behuizing is een oled display en een joystick. Hiermee kan je de eFuse instellen. Er zijn ook 12 indicatie leds die weergeven of de individuele eFuses aan zijn of een fout detecteren.

#### 4.6.3.1 leds

eFuse 1 ON	eFuse 1 hardware error	eFuse 1 configuratie error
eFuse 2 ON	eFuse 2 hardware error	eFuse 2 configuratie error
eFuse 3 ON	eFuse 3 hardware error	eFuse 3 configuratie error
eFuse 4 ON	eFuse 4 hardware error	eFuse 4 configuratie error

*Tabel 10 - front panel leds layout*

#### 4.6.4 Aanpassingen tegenover eerste prototype

- Pgood verwijderd: Deze indicatie was misleidend omdat de led kan uit zijn terwijl de eFuse in werking is. Het is beter om aan te geven of de eFuse aan is. En of er een fout is.
- Extra spanning instellingen verwijderd: Niet nodig, kan alleen maar voor meer problemen zorgen als er iets misgaat in de controller.
- Stroommeting verwijderd. (Werkte niet)
- PCB's voor het digitale deel: Interface pcb voor de Arduino Due. PCB voor de front pannel met leds en een joystick.

## **BESLUIT**

Mijn eerste prototype was goed. Al mijn metingen zijn binnen specificatie. Dit heeft mij veel tijd bespaart. Maar omdat componenten ineens out of stock waren en het proces om componenten te bestellen bij Antwerp Space onvoorzien traag was, heb ik deze tijd terug verloren. Het extra nakijken van mijn schema's was zijn tijd dus zeker waard. Uiteindelijk had ik nog genoeg tijd om alles zo ver mogelijk uit te werken, en een bruikbare eFuse te maken.

## LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1 - blokschema .....	9
Figuur 2 - Patformio VSCode.....	11
Figuur 3 - PlatformIO homepage .....	11
Figuur 4 - Modbus FSM .....	15
Figuur 5 - Oled UI .....	16
Figuur 6 - joystick.....	16
Figuur 7 - idle state.....	17
Figuur 8 - control and wait flowchart.....	18
Figuur 9 - Local user interface flowchart .....	19
Figuur 10 - Local user interface flowchart .....	20
Figuur 11 - LabVIEW UI .....	21
Figuur 12 - eFuse TPS26631 simplified.....	23
Figuur 13 - eFuse analoog schema V0.1 .....	29
Figuur 14 - eFuse digitaal schema V0.1 .....	29
Figuur 15 - eFuse PCB V0.1 3D .....	31
Figuur 16 - eFuse PCB V0.1 .....	32
Figuur 17 - Test opstelling bij Antwerp Space.....	33
Figuur 18 - Test opstelling thuis .....	34
Figuur 19 - afschakelsnelheid no load relais.....	35
Figuur 20 - afschakelsnelheid met load geen relais.....	36
Figuur 21 - afschakelsnelheid met load en relais.....	36
Figuur 22 - afschakelsnelheid met load en relais 5V .....	37
Figuur 23 - eFuse analoog schema V0.2 .....	40
Figuur 24 - eFuse digitaal schema V0.2 .....	40
Figuur 25 - front panel schema .....	41
Figuur 26 - controller bord schema .....	42
Figuur 27 - Assembly .....	43
Figuur 28 - front panel UI.....	43

## LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 – IDE trade-off .....	10
Tabel 2 - Prototype V0.1 coils .....	13
Tabel 3 - Prototype V0.2 coils .....	14
Tabel 4 - Prototype V0.1 discrete inputs .....	14
Tabel 5 - Prototype V0.2 discrete inputs .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 6 - eFuse ic trade-off.....	22
Tabel 7 - LCL-klassen .....	22
Tabel 8 - gemeten undervolt en overvolt punten.....	34
Tabel 9 - gemeten stroom limieten .....	35
Tabel 10 - LCL-klassen.....	37
Tabel 11 - front panel leds layout .....	44



## LITERATUURLIJST

Antwerp Space. (sd). Opgehaald van [www.antwerpspace.be](http://www.antwerpspace.be)

Arduino. (sd). *Arduino Due*. Opgehaald van <https://store.arduino.cc/arduino-due>

Arduino. (sd). *arduino.cc*. Opgehaald van [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

Blockmans, I. (sd). *eFuse*. Opgehaald van GitHub: <https://github.com/Ian-Blockmans/efuse>

Comchip. (sd). *SMCJ58CA-HF*. Opgehaald van [https://www.comchiptech.com/admin/files/product/QW-JTV21%20SMCJ5.0\(C\)A-HF%20Thru.%20SMCJ250\(C\)A-HF%20RevB.pdf](https://www.comchiptech.com/admin/files/product/QW-JTV21%20SMCJ5.0(C)A-HF%20Thru.%20SMCJ250(C)A-HF%20RevB.pdf)

cppcheck. (sd). *cppcheck*. Opgehaald van <http://cppcheck.net/>

Digikey. (sd). *Omron relais*. Opgehaald van <https://www.digikey.be/product-detail/nl/omron-electronics-inc-emc-div/G6RL-1A-DC3/Z2762-ND/1679836>

ECCS. (sd). Opgehaald van European Cooperation for Space Standardization: <https://ecss.nl/standard/ecss-e-st-20-20c-space-engineering-electrical-design-and-interface-requirements-for-power-supply-15-april-2016-2/>

IAR. (sd). *iar.com*. Opgehaald van <https://www.iar.com/products/architectures/arm/iar-embedded-workbench-for-arm/>

Microchip. (sd). *microchip.com*. Opgehaald van <https://www.microchip.com/en-us/development-tools-tools-and-software/mplab-x-ide>

Modbus. (sd). Opgehaald van <https://modbus.org/>

Modbus. (sd). *Modbus RTU finite state diagram*. Opgehaald van [https://modbus.org/docs/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](https://modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf)

Modbus. (sd). *Modbus\_Application\_Protocol*. Opgehaald van [https://modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf)

PlatformIO. (sd). Opgehaald van [platformio.org](http://platformio.org).

SOLOMON SYSTECH. (sd). *Adafruit*. Opgehaald van <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>

ST. (sd). *STEF01*. Opgehaald van <https://www.st.com/en/power-management/stef01.html>

Texas Instrument. (sd). *CSD19537Q3*. Opgehaald van [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/csd19537q3.pdf?HQS=dis-dk-null-digikeymode-dsf-pf-null-ww&ts=1621430235868&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.digikey.be%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/csd19537q3.pdf?HQS=dis-dk-null-digikeymode-dsf-pf-null-ww&ts=1621430235868&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.digikey.be%252F)

Texas Instruments. (sd). *TPS2660x*. Opgehaald van <https://www.ti.com/product/TPS2660>

Texas Instruments. (sd). *TPS2663x*. Opgehaald van <https://www.ti.com/product/TPS2663>

Wikipedia. (sd). *USB 2.0 Power*. Opgehaald van <https://en.wikipedia.org/wiki/USB#Power>

Würth Elektronik. (sd). *140356145400*. Opgehaald van <https://www.wer-online.com/catalog/datasheet/140356145400.pdf>

## TPS2663x 60-V, 6-A Power Limiting, Surge Protection Industrial eFuse

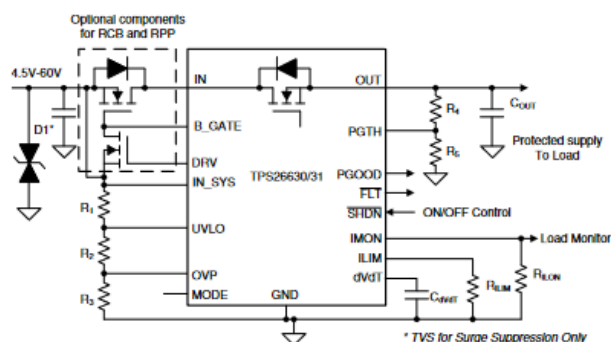
### 1 Features

- 4.5-V to 60-V Operating voltage, 67-V absolute maximum
- Integrated 60-V, 31-m $\Omega$   $R_{ON}$  hot-swap FET
- Reverse polarity protection and reverse current blocking support with an external N-channel FET
- 0.6-A to 6-A Adjustable current limit ( $\pm 7\%$ )
- Electrical fast transients (IEC61000-4-4) immunity and load protection during surge (IEC 61000-4-5) with Class-A system performance
- Fast reverse current blocking (0.17  $\mu$ s)
- Variants with adjustable output power limiting ( $\pm 6\%$ )
- Adjustable UVLO, OVP Cut Off, output slew rate control for inrush current limiting
- Charges large and unknown capacitive loads through thermal regulation during device power up
- Variants with 35-V and 39-V maximum over voltage clamp
- Power Good Output (PGOOD)
- Selectable over current fault response options between auto-retry and latch off (MODE)
- Variants with 2x pulse over current support
- Analog current monitor (IMON) output ( $\pm 6\%$ )
- UL 2367 Recognized
  - File No. E169910
  - RILIM  $\geq 3k\Omega$
- IEC 62368-1 Certified

### 2 Applications

- Factory automation and control – PLC, DCS, HMI, I/O modules, sensor hubs
- Motor drives – CNC, encoder supply
- Electronic circuit breakers

#### Simplified Schematic



(Texas Instruments)

### 3 Description

The TPS2663x devices are easy to use, positive 60 V and 6-A eFuse with a 31-m $\Omega$  integrated FET. It features a B-FET driver to control an external N-channel FET in the system designs that require protection from input reverse polarity faults and reverse current blocking. The device incorporates robust protection features that simplify system designs requiring protection during system tests like IEC61000-4-5 industrial surge tests. The device features an adjustable output power limiting (PLIM) functionality that simplifies the system design requiring compliance in accordance to the standards like IEC61010-1 and UL1310. Additional protection features include adjustable overcurrent protection, fast short circuit protection, output slew rate control, overvoltage protection and undervoltage lockout.

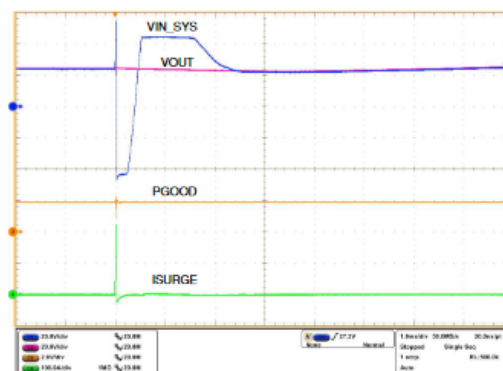
For system status monitoring and downstream load control, the device provides fault and a precise current monitor output. PGOOD can be used for enable and disable control of the downstream DC-DC converters. The MODE pin allows flexibility to configure the device between the two current-limiting fault responses (latch off and auto-retry).

#### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
TPS26630 TPS26631 TPS26632 TPS26633 TPS26635	VQFN (24)	4.00 mm x 4.00 mm
TPS26631 TPS26633 TPS26636	HTSSOP (20)	6.50 mm x 4.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

#### IEC61000-4-5 Surge Performance at 24-V Supply



## CSD19537Q3 100-V N-Channel NexFET™ Power MOSFET

### 1 Features

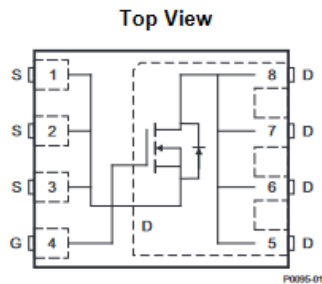
- Ultra-Low  $Q_g$  and  $Q_{gd}$
- Low Thermal Resistance
- Avalanche Rated
- Lead Free Terminal Plating
- RoHS Compliant
- Halogen Free
- SON 3.3-mm × 3.3-mm Plastic Package

### 2 Applications

- Primary Side Isolated Converters
- Motor Control

### 3 Description

This 100-V, 12.1-m $\Omega$ , SON 3.3-mm × 3.3-mm NexFET™ power MOSFET is designed to minimize losses in power conversion applications.



#### Product Summary

$T_A = 25^\circ\text{C}$		TYPICAL VALUE	UNIT
$V_{DS}$	Drain-to-Source Voltage	100	V
$Q_g$	Gate Charge Total (10 V)	16	nC
$Q_{gd}$	Gate Charge Gate-to-Drain	2.9	nC
$R_{DS(on)}$	Drain-to-Source On-Resistance	$V_{GS} = 6\text{ V}$	13.8 m $\Omega$
		$V_{GS} = 10\text{ V}$	12.1 m $\Omega$
$V_{GS(th)}$	Threshold Voltage	3	V

#### Ordering Information<sup>(1)</sup>

DEVICE	MEDIA	QTY	PACKAGE	SHIP
CSD19537Q3	13-Inch Reel	2500	SON 3.3- x 3.3-mm Plastic Package	Tape and Reel
CSD19537Q3T	13-Inch Reel	250		

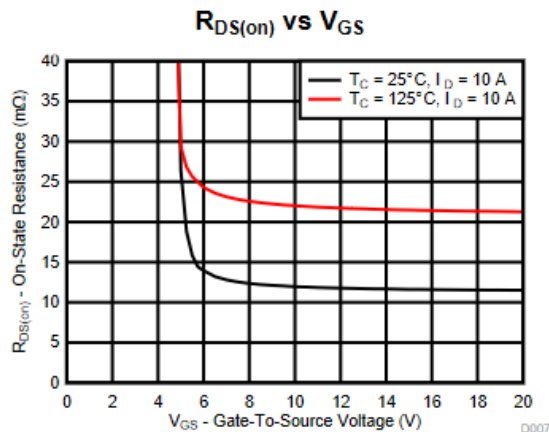
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

#### Absolute Maximum Ratings

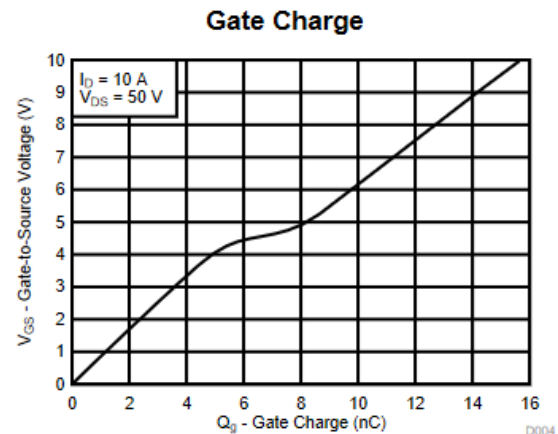
$T_A = 25^\circ\text{C}$		VALUE	UNIT
$V_{DS}$	Drain-to-Source Voltage	100	V
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_D$	Continuous Drain Current (Package Limited)	50	A
	Continuous Drain Current (Silicon Limited), $T_C = 25^\circ\text{C}$	53	A
	Continuous Drain Current <sup>(1)</sup>	9.7	A
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current <sup>(2)</sup>	219	A
$P_D$	Power Dissipation <sup>(1)</sup>	2.8	W
	Power Dissipation, $T_C = 25^\circ\text{C}$	83	W
$T_J, T_{slg}$	Operating Junction Temperature, Storage Temperature	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
$E_{AS}$	Avalanche Energy, Single Pulse $I_D = 33\text{ A}$ , $L = 0.1\text{ mH}$ , $R_G = 25\text{ }\Omega$	55	mJ

(1) Typical  $R_{\theta JA} = 45^\circ\text{C/W}$  on a 1-in<sup>2</sup>, 2-oz Cu pad on a 0.06-in thick FR4 PCB.

(2) Max  $R_{\theta JC} = 1.5^\circ\text{C/W}$ , pulse duration  $\leq 100\text{ }\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 1\%$ .



(Texas Instrument)



# SMD Transient Voltage Suppressor

**Comchip**  
SMD Diode Specialist

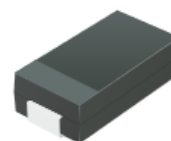
## SMCJ5.0(C)A-HF Thru. SMCJ250(C)A-HF

Working Peak Reverse Voltage: 5.0 to 250 Volts

Power Dissipation: 1500 Watts

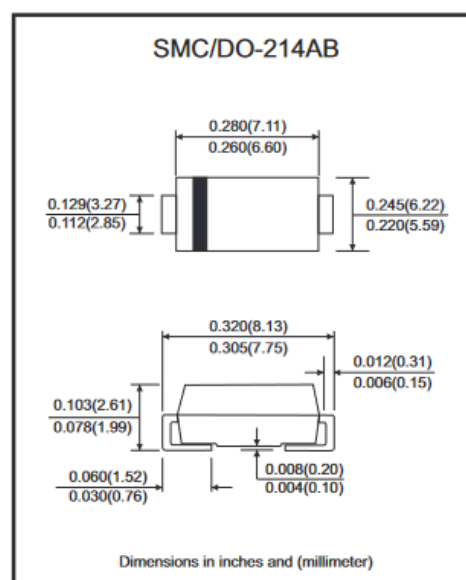
RoHS Device

Halogen Free



### Features

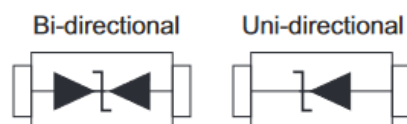
- 1500W peak pulse power capability with a 10/1000 $\mu$ s waveform, repetitive rate (duty cycle): 0.01%.
- For surface mounted applications to optimize board space.
- Low incremental surge impedance.
- Excellent clamping capability.
- Very fast response time.
- Uni and Bidirectional unit.
- Plastic package has underwriters laboratory flammability 94V-0.
- Meet Halogen free and RoHS compliant.



### Mechanical data

- Case: SMC/DO-214AB, molded plastic.
- Terminals: solderable per MIL-STD-750, method 2026.
- Polarity: Color band denotes positive end (cathode) except bi-directional models.

### Circuit Diagram



### Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Single phase, half wave, 60Hz resistive or inductive load. For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristics	Symbol	Value	Units
Peak power dissipation on a 10/1000 $\mu$ s waveform (Note 1)	$P_{PP}$	1500	W
Peak pulse current on a 10/1000 $\mu$ s waveform (Note 1)	$I_{PP}$	See Next Table	A
Steady state power dissipation at $T_L=50^\circ\text{C}$	$P_D$	6.5	W
Peak forward surge current, 8.3ms single half sine-wave uni-directional only (Note 2)	$I_{FSM}$	200	A
Maximum instantaneous forward voltage at 100A for uni-directional only	$V_F$	3.5/5.0	V
Operation junction and storage temperature range	$T_J, T_{STG}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

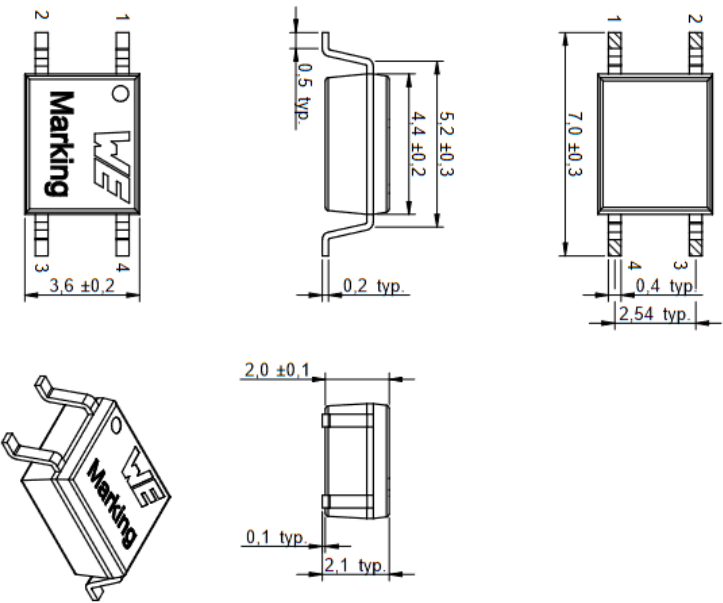
Notes: 1. Non-repetitive current pulse, and derated above  $T_A=25^\circ\text{C}$

2. Mounted on 0.31 x 0.31" (8.0 x 8.0 mm) copper pads to each terminal

3.  $V_F < 3.5\text{V}$  for devices of  $V_{BR} < 200\text{V}$  and  $V_F < 5.0\text{V}$  for devices of  $V_{BR} > 201\text{V}$

(Comchip)

Dimensions: [mm]

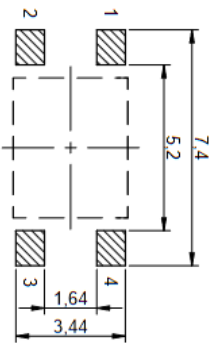


Scale - 5:1

Product Marking:

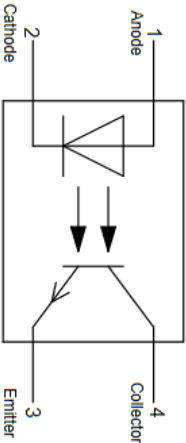
Marking	356D (Series 356, Binning D)
Marking - Date Code	YWW

Recommended Land Pattern: [mm]



Scale - 5:1

Schematic:



General Properties:

Type	Optocoupler Phototransistor
Input	DC
Package	SOP 4
Plastic Housing Color	White

Certification:

RoHS Approval	Compliant (2011/65/EU&2015/863)
REACH Approval	Conform or declared [(EC)1907/2006]
Halogen Free	Conform [IEDEC JS709B]
Halogen Free	Conform [IEC 61249-2-21]
VDE Approval	40051484 [DIN EN 60747-5-5 (VDE0884-5); EN 60747-5-5:2011; A1:2015]
UL Approval	E513104 [UL 1577]
COC Approval	COC20001274583 [GB4943.1-2001; GB8898-2011]

General Information:

Operating Temperature	-55 up to +110 °C
Storage Conditions (for single parts)	-55 up to +125 °C
Storage Conditions (in original packaging)	< 40 °C; < 75 % RH
Moisture Sensitivity Level (MSL)	1

WÜRTH ELEKTRONIK

WÜRTH ELEKTRONIK AG & CO. KG  
IMC & Electronic Solutions  
Max-Eyth-Str. 1  
74638 Wittenberg  
Germany  
Tel. +49 (0) 714 42 3965-0  
www.wae.com  
info@wae.com

ORDERED	REORDER	DATE OF THIS ORDER	GENERAL TOLERANCE	PROTECTION METHOD
SMD	001 001	2021-02-04	DIN ISO 2768-1m	

DESCRIPTION

**WL-OCPT Optocoupler Phototransistor**

ORDER CODE

**140356145400**

SC/TYPE

SOP4

ORDER CODE

Valid

DATE

1/12

This electronic component has been designed and developed for usage in general electronic equipment only. This product is not authorized for use in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have concluded an agreement specifically governing such use. Moreover, Würth Elektronik AG & Co. KG and its subsidiaries and its authorized distributors do not accept any liability for damages of any kind, including consequential damages, arising from the use of this product in equipment where a higher safety standard and reliability standard is especially required or where a failure of the product is reasonably expected to cause severe personal injury or death, unless the parties have concluded an agreement specifically governing such use. In addition, without liability limitation clauses or warranty must be performed on every electronic component which is used in electrical circuits that require high safety and reliability functions or performance.



