



project vermogenelektronica

2024 - 2025

Vermogen RGB lamp

Ruben Schoonbaert

Inhoudsopgave

Vermogen RGB lamp	0
Projectbeschrijving.....	2
1) LM3404.....	4
1.1) Componenten LM3404.....	4
1.2) Application circuit.....	4
2) ESP8266.....	8
2.1) Flash programmeren.....	8
2.2) Bespreking schema.....	9
3) INA226.....	10
3.1 INA226 shunt berekening.....	10
3.2 INA226 I2C adres.....	10
4) LM2596S.....	11
4.1) Application circuit.....	11
4.2) Thermische berekening.....	12
5) LEDs.....	14
5.1) LED specificaties.....	14
5.2) Berekening verlies vermogen.....	14
5.3) Koelvlakken.....	16
6) Soldeerproces.....	17
7) Software.....	18
8) Analyse thermisch.....	19
8.1) conclusie thermisch.....	20
9) Analyse stroommeting.....	22
10) Analyse met oscilloscoop.....	23
11) Verbeteringen 2de revisie.....	24
11.1) Actief hoge PWM pin.....	24
11.2) Omgekeerde I2C lijn.....	24
12) Conclusie.....	25
13) Bijlagen.....	26
13.1) Schema.....	26
13.2) Boven & Onderzijde print.....	27
13.3) Render PCB.....	28
13.5) Programmeer bord.....	30
13.6) Componentenlijst.....	31
Bibliography.....	32

Projectbeschrijving

Projectbeschrijving: Dit project gaat over het maken van een RGB-lamp die via wifi bestuurd kan worden. De lamp gebruikt 3 5W LED's en een ESP12E microcontroller voor draadloze bediening en informatie te delen via een wifi applicatie.

Specificaties:

- **LED's:** De PCB heeft drie 5W LED's (één voor elke kleur: Rood, Groen, Blauw), zodat verschillende kleuren en lichtsterktes mogelijk zijn.
- **PWM-sturing:** Elke LED wordt apart aangestuurd met een digitaal PWM-signaal, waarmee de kleur en helderheid precies geregeld kunnen worden.
- **Microcontroller:** De ESP12E-module bestuurt het systeem en zorgt ook voor de wifi-verbinding.
- **Wifi-applicatie:** Een app maakt het mogelijk om de RGB-lamp op afstand te bedienen. De app laat ook de inkomende en uitgaande stroom zien, wat handig is voor controle en om het energieverbruik te volgen.
- **Voeding:** Het systeem wordt gevoed met een externe 24V-voeding om het stabiel en veilig te laten werken.
- **Stroommeting:** De stroom door alle 3 de LED's wordt gemeten via ingebouwde stroom-meet IC's met behulp van shunts. Deze informatie wordt op de Wifi applicatie getoond.

Doel van het project: Dit project creëert een flexibel lichtsysteem dat eenvoudig op afstand te bedienen is.

Blokschema

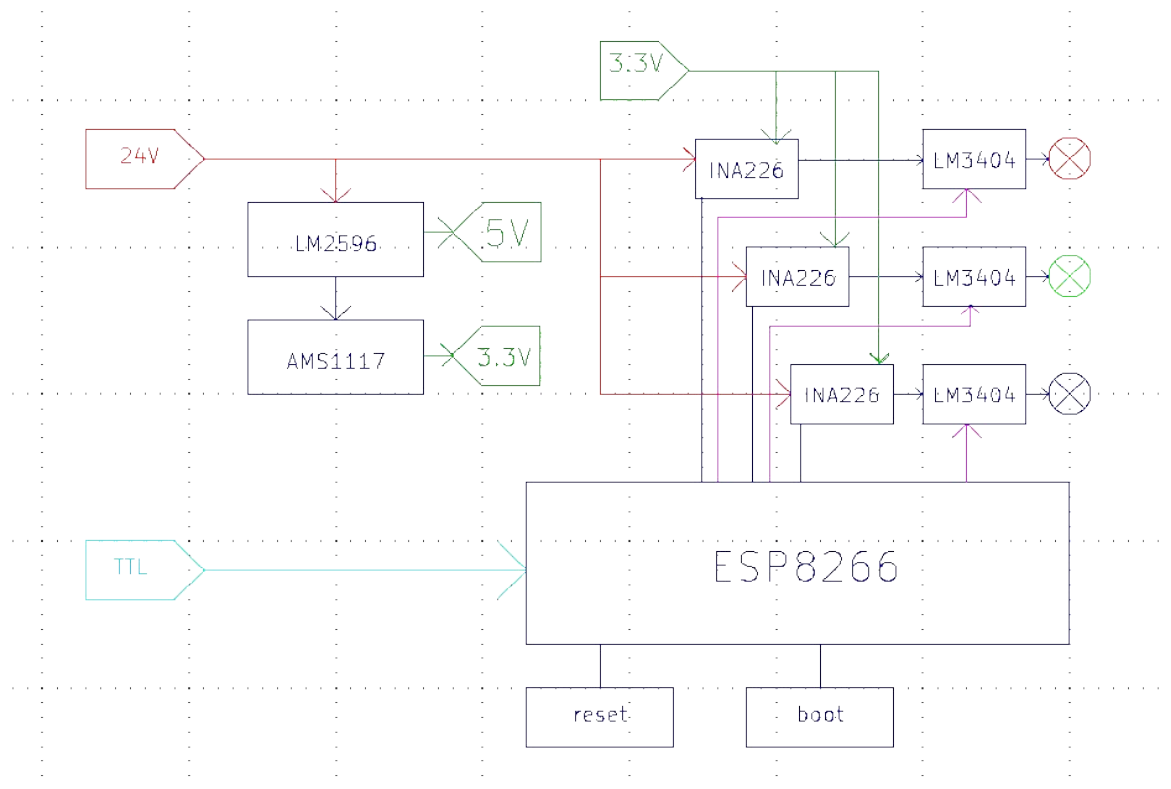


Figure 1: Blok schema

Bovenstaande afbeelding toont het blokschema van het ontwerp.

Voedingscircuit:

- Een 24V ingang voedt het systeem.
- De LM2596 zet de spanning om naar 5V, en de AMS1117 regelt deze verder naar 3.3V voor de ESP8266 en andere componenten.

Controle en stroommonitoring:

- De ESP8266 bestuurt de RGB-kanalen van de LED's.
- Voor elke kleurkanaal (rood, groen, blauw) wordt een aparte LM3404 LED-driver gebruikt.
- De INA226 stroom- en spanningssensoren monitoren de stroom naar elk LM3404-circuit. Dit helpt bij energiebeheer en detecteert problemen zoals overstroom.

Interface:

- De ESP8266 communiceert via een serieel met de pc via een FFC connector.
- Reset- en boot-pinnen knoppen voor de ESP8266

1) LM3404

De LM3404 is een eenvoudige en efficiënte LED-driver die ideaal is voor high-power LEDs. Het werkt met een breed ingangsvoltage (6V tot 42V) en zorgt voor een constante stroom, wat belangrijk is voor een stabiele werking van de LED. In dit ontwerp sturen 3 LM3404 chips afzonderlijk een LED aan en wordt helderheid geregeld via PWM-signalen van een microcontroller. Hierdoor is het mogelijk om het licht nauwkeurig te dimmen. [2]

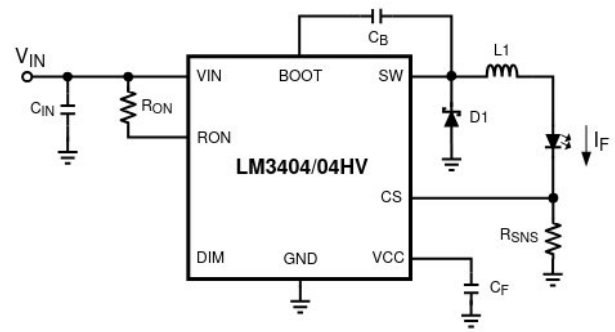


Figure 2: LM3404 application

1.1) Componenten LM3404

1.1.1) CB & CF

C_B of de “bootstrap” condensator moet volgens de datasheet een 10nF condensator zijn met een X7R-diëlektricum.

C_F of de lineaire filter condensator moet volgens de datasheet 100nF zijn. Ook met een X7R-diëlektricum.

Beide condensatoren moeten een voltage rating van 25V hebben voor een goede werking van het circuit.

1.1.2) L1, D1 & RSns

De functie van **L1** is om energie op te slaan tijdens elke schakelcyclus en om dan die energie aan de LED te leveren wanneer de schakelaar uit staat.

Volgens de datasheet is een inductor met een stroomtoelating van 1,6A hiervoor gewenst

D1 (Schottky-diode) zorgt ervoor dat de stroom door de LED kan blijven lopen als de schakelaar uit staat, met een lage spanningsval om het rendement te verbeteren.

RSns (stroommeetweerstand): Meet de stroom door de LED en geeft feedback aan de LM3404 om de duty cycle aan te passen en zo de gewenste stroom te bekomen.

1.2) Application circuit

Dit circuit toont een applicatie van een high power led array. Ons ontwerp zal op deze applicatie gebaseerd zijn. Omdat we de DIM functionaliteit van de chip zullen gebruiken zullen we de uitgangscondensator C_o niet toevoegen. [2]

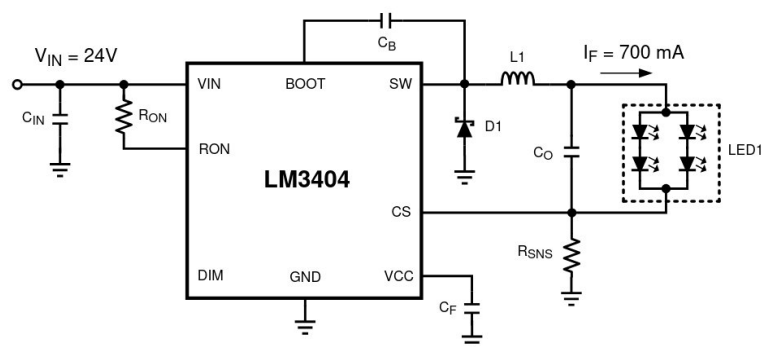


Figure 3: Application circuit 2

1.2.1) Berekening Ron

- Input voltage: 24 V ±10%
- Switching frequency: 400 kHz

De weerstand R_{on} bepaald de interne “switching frequency” f_{sw} (De snelheid waarop de LM3404's interne MOSFET schakelt). Een switching frequency van 400kHz is voldoende voor alle 3 de led chips en dus kan R_{on} berekend worden volgende formule uit de datasheet.

$$R_{ON} = \frac{V_O}{1.34 \times 10^{-10} \times f_{SW}}$$

Ingevuld met de waarden* van de rode LED chip:
($R_{on} = 2.3V / (1.34 \times 10^{-10} \times 4 \times 10^5) = 42.91K\Omega$).

Vergeleken met de E24 reeks weerstanden nemen we voor de rode LED chip een weerstand van **43KΩ**.

**waarden zijn te vinden in de tabel in hoofdstuk 5*

Ingevuld met de waarden van de groene LED chip: ($R_{on} = 6.5V / (1.34 \times 10^{-10} \times 4 \times 10^5) = 121.27K\Omega$).

Vergeleken met de E24 reeks weerstanden nemen we voor de rode LED chip een weerstand van **120KΩ**.

Ingevuld met de waarden van de blauwe LED chip: ($R_{on} = 6.5V / (1.34 \times 10^{-10} \times 4 \times 10^5) = 121.27K\Omega$).

Vergeleken met de E24 reeks weerstanden nemen we voor de rode LED chip een weerstand van **120KΩ**.

	E24 value resistor (5%)
$R_{on}(\text{red})$	43KΩ.
$R_{on}(\text{green})$	120KΩ.
$R_{on}(\text{Blue})$	120KΩ.

1.2.2) Berekening L1

Om de inductiewaarde van de inductor L1 te berekenen kunnen we de volgende formule toepassen.

$$L_{MIN} = \frac{V_{IN} - V_O}{\Delta i_L} \times t_{ON}$$

Figure 4: Formule L_{MIN}

Ingevuld met de waarden van de rode LED chip: $\Delta i_L \Rightarrow 0.4 \cdot 1.2 = \mathbf{0.48A}$

$t_{ON} \Rightarrow (1.34 \times 10^{-10} \cdot 43 \times 10^3) / 24 = \mathbf{240ns}$

$L_{MIN} \Rightarrow (24 - 2.3) / 0.48A \cdot 240ns = \mathbf{188.3\mu H}$

Vergeleken met de standaardreeks inductoren nemen we voor de rode LED best een inductor van **200μH**

Ingevuld met de waarden van de blauwe & groene LED :

$$\Delta I_L \Rightarrow 0.4 \cdot 0.7 = \mathbf{0.28A}$$

$$t_{ON} \Rightarrow (1.34 \times 10^{-10} \cdot 120 \times 10^3) / 24V = \mathbf{670ns}$$

$$L_{MIN} \Rightarrow = (24 - 6.5) / 0.28A \cdot 670ns = \mathbf{92.3\mu H}$$

Vergeleken met de standaardreeks inductoren nemen we voor de groene en blauwe LED best een inductor van **100μH**

	Inductor value calculated	Inductor value design
R_{on}(red)	188.3μH	200μH
R_{on}(green)	92.3μH	100μH
R_{on}(Blue)	92.3μH	100μH

1.2.3) Berekening RSNS

R_{SNS} is de stroommeetweerstand die wordt gebruikt om de LED-stroom te meten en te reguleren door de spanning die over de weerstand valt te monitoren

$$R_{SNS} = \frac{0.2 \times L}{I_F \times L + V_O \times t_{SNS} - \frac{V_{IN} - V_O}{2} \times t_{ON}}$$

De weerstandswaarden kunnen berekend worden met de volgende formule. Als we dit invullen met de waarden van de rode LED:

Waarden:

$$L = 200 \mu H \quad t_{SNS} = t_{ON} = 743 \text{ ns}$$

$$I_F = 1200 \text{ mA} \quad V_O = 2.3$$

$$V_{IN} = 24 \text{ V}$$

Ingevuld:

$$R_{SNS} \Rightarrow \frac{0.2 \cdot 200 \cdot 10^{-6}}{1.2 \cdot 200 \cdot 10^{-6} + 2.3 \cdot 743 \cdot 10^{-9} - \frac{24 - 2.3}{2} \cdot 743 \cdot 10^{-9}} = \mathbf{0.171\Omega}$$

We kiezen dus een standaard E24 reeks weerstand van 180mΩ (1%)

Als we deze formule toepassen voor de blauwe en groene LED bekomen we het volgende:

Waarden:

$$L = 100 \mu H \quad t_{SNS} = t_{ON} = 670ns$$

$$I_F = 700 \text{ mA} \quad V_O = 6.5$$

$$V_{IN} = 24 \text{ V}$$

Ingevuld:

$$R_{SNS} \Rightarrow \frac{0.2 \cdot 100 \cdot 10^{-6}}{0.7 \cdot 100 \cdot 10^{-6} + 6.5 \cdot 670 \cdot 10^{-9} - \frac{24 - 6.5}{2} \cdot 670 \cdot 10^{-9}} = \mathbf{0.292\Omega}$$

We kiezen dus een standaard E24 reeks weerstand van 300mΩ (1%)

	Weerstandswaarde berekend	E24 weerstand
R_{on}(red)	0.171Ω	180mΩ
R_{on}(green)	0.292Ω	300mΩ
R_{on}(Blue)	0.292Ω	300mΩ

1.2.4) Berekening ingangscondensator C_{in}

De volgende berekening is nodig om de minimum waarde van de ingangscondensator te berekenen: $\Delta v_{IN}(\text{MAX})$ is $24 \text{ V} \times 2\% \text{P-P} = 480 \text{ mV}$.

De minimum capaciteit is: $C_{IN}(\text{MIN}) = (0.7 \times 7.4 \times 10^{-7}) / 0.48 = 1.1 \mu\text{F}$

1.2.4) Her-circulatiediode D1

De her-circulatiediode D1 heeft voor 24V ingangsspanning volgens de datasheet een minimum tegen-spanning karakteristiek nodig van minimum 30V

1.2) Schema LM3404

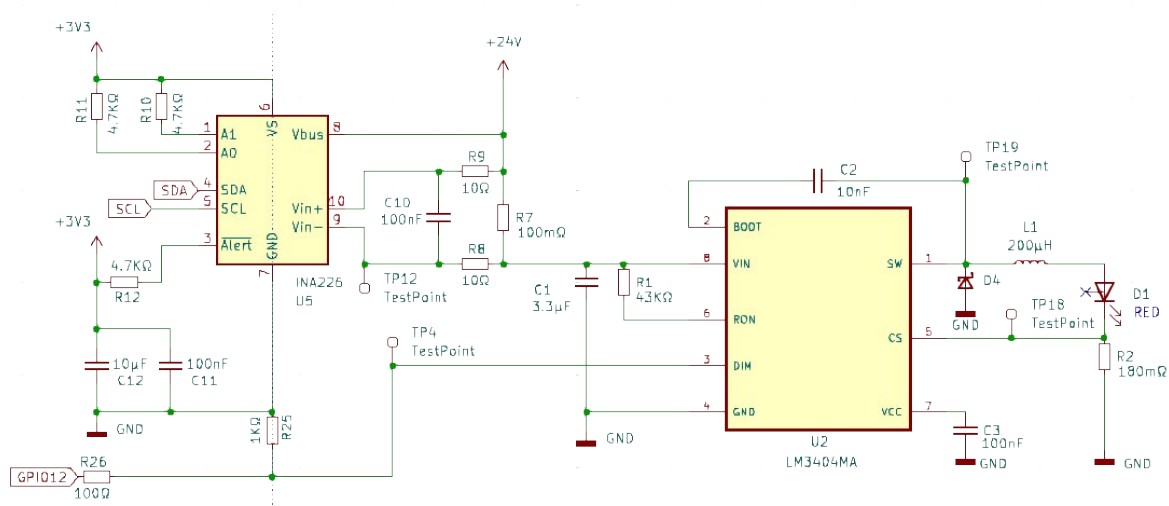


Figure 5: LM3404 & INA226 schematic

De bovenstaande figuur toont het LM3404 schema samen met het INA226 schema op de ingang (zie hoofdstuk 3). Met de ingevulde waarden van de berekende componenten voor de rode LED.

Voor de testbaarheid van het circuit zijn er testpoints voorzien op verschillende plaatsen in het circuit. Zoals op het PWM signaal van de DIM functie (TP4), de switch pin (hete punt van de buck) (TP19), de current sense pin (TP18) en op de shunt meting van de INA226 (TP12)

2) ESP8266

In het ontwerp maken we gebruik van de ESP8266 MCU. Deze microcontroller dient als de hoofdprocessor en heeft ook ingebouwde wifi functionaliteit.

Deze module zeer gekend in de domotica IOT-industrie en is er dus veel documentatie over terug te vinden. De ESP8266 bevat een seriële, I2C en SPI bus.

De logicaspanning van deze bussen bedraagt 3,3V, wat compatibel is met de logica-spanning toelating van de LM3404's DIM pin en er dus voor zorgt dat er geen logica-niveau-omzetter-schakeling nodig is voor wederzijdse communicatie. [7]

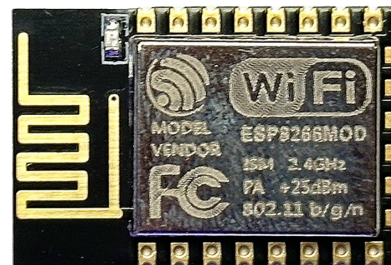


Figure 6: ESP12E module

2.1) Flash programmeren

Om de ESP8266 te programmeren zal er gebruik gemaakt worden van een CH340C programmeer-bord die ontworpen is geweest voor het geavanceerd printontwerp project "RFID-receiver" van het schooljaar 2023-2024 . De keuze deze schakeling extern van de voornaamste schakeling te maken omdat ik graag zelf een verwisselbaar programmeer-bord wilde hebben die ik kan implementeren op andere toestellen. [8]

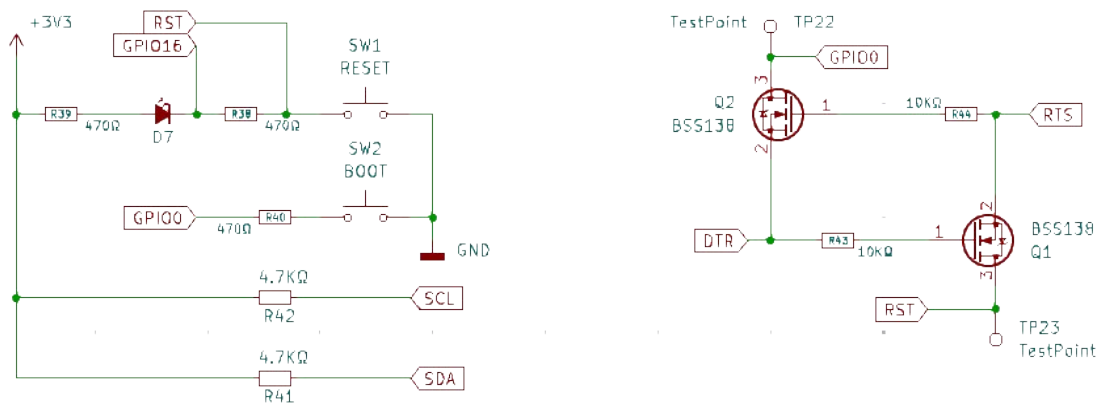


Figure 7: CH340C board

Dit bord heeft de mogelijkheid om 5 en 3,3V logica te gebruiken. Het wordt verbonden met de print aan de hand van een FFC kabel. En kan verbonden worden met een computer door middel van een micro usb kabel.

Om dit bord te kunnen gebruiken moet de host computer voorzien van de CH340C driver. Anders is er de mogelijkheid dat op sommige besturingssystemen de CH340C chip niet wordt gedetecteerd.

2.2) Bespreking schema



Voor de werking van de ESP8266 moet het toestel in 'boot' mode kunnen gezet worden en moet het toestel gereset kunnen worden. Hiervoor zijn er 2 verschillende manieren voorzien op de PCB.

Handmatig

De ESP8266 kan handmatig in 'boot' mode worden gezet en worden gereset door fysieke schakelaars of knoppen te bedienen. Dit vereist directe interactie met de hardware.

- **Resetten (RST):**
Er is een fysieke reset-knop (SW1) verbonden met de RST-pin van de ESP8266 die, wanneer ingedrukt de RST lijn naar de massa trekt. Wat de microcontroller opnieuw opstart. Er is ook een LED (D7) op deze lijn voorzien die toont als de reset lijn actief is.
- **Boot (of flash) mode (GPIO0):**
Er is een fysieke boot mode-knop (SW2) verbonden met GPIO-0 die wanneer ingedrukt de GPIO0 lijn laag trekt in het toestel in boot mode zet.

Automatisch (via seriële interface)

Via de seriële interface worden de signalen RTS (Request to Send) en DTR (Data Terminal Ready) gebruikt om de reset en boot mode aan te sturen. Dit gebeurt als volgt:

1. Het DTR-sigitaal wordt laag gemaakt, waardoor GPIO0 tijdelijk naar GND wordt getrokken via Q2.
2. Het RTS-sigitaal wordt laag gemaakt, waardoor de RST-pin naar GND wordt getrokken via Q1, wat de ESP8266 reset.

Hierna kan de ESP8266 geprogrammeerd worden.

Verder zijn er op het schema 2 4,7KΩ weerstanden te zien. Deze weerstanden zorgen ervoor dat de I2C-lijnen (SDA en SCL) actief naar hoog (3.3V) worden getrokken.

3) INA226

Om de 3 verschillende stromen van het systeem te meten, wordt de INA226 IC gebruikt. Dit is een high-side current-sense IC dat nauwkeurig de stroom door een shuntweerstand (R_s) meet. De INA226 meet zowel de stroom als de busspanning en berekent het opgenomen vermogen en digitaal uitleest via een I²C-interface. Dit maakt deze chip ideaal voor onze toepassing want er is dan geen nood voor een externe ADC. [9]

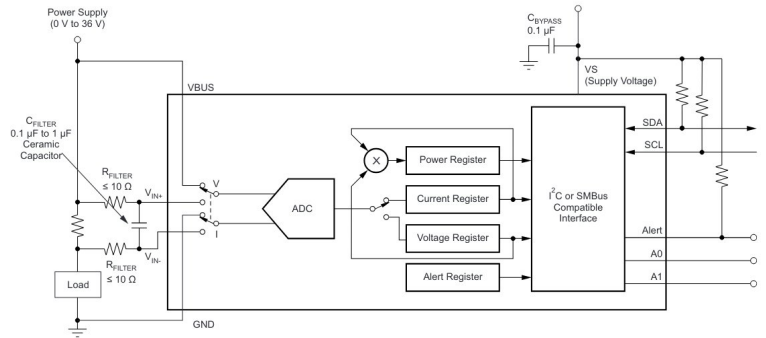


Figure 8: INA226 application

De weerstandswaarde van R_s kan berekend worden via de wet van ohm en de gespecificeerde nominaal meet spanning (100mV) uit de datasheet. Omdat we niet over de LED kunnen meten omdat deze gedimd zullen worden met PWM wordt de INA226 geplaatst op de voeding-pin van de LM3404.

3.1 INA226 shunt berekening

Om de shunt weerstand te berekenen kunnen we de wet van ohm toepassen op de nominale “sense-spanning” van het IC gespecificeerd uit de datasheet (100mV) en de max stroom door de LEDs (Hiervoor gebruiken we de maximum stroom van de rode LED want deze trekt theoretisch gezien het meeste stroom (1.2A) van alle 3 de LEDs). Dan bekomen we een R_s van **0.1Ω***

$$* R_s = \frac{V_{sense}}{I_L} \quad \text{Vb: voor LED}_{\text{rood}} \Rightarrow R_s = 0.1/1.2A \text{ (max waarde)} = 0.083\Omega \text{ dus E24} \\ \Rightarrow \mathbf{0.1\Omega}$$

3.2 INA226 I2C adres

A1	A0	SLAVE ADDRESS
GND	GND	1000000
GND	VS	1000001
GND	SDA	1000010
GND	SCL	1000011

Figure 9: Deel I2C adres tabel

Via de pinnen A1 en A0 kan het I2C adres ingesteld worden naar 16 verschillende combinaties. In dit ontwerp worden de gebruikte INA266 ICs met verschillende combinaties verbonden met de massa en vcc om er voor te zorgen dat ze alle 3 een uniek I2C adres hebben en dus geen conflicten op de bus veroorzaken. [9]

4) LM2596S

Om de 24 volt spanning om te zetten naar 3.3V en 5V wordt er gebruik gemaakt van het LM2596S-5 IC. Dit IC is een step-down (buck) spanningsregelaar die ontworpen is om hogere ingangsvoltages om te zetten naar lagere uitgangsspanningen. Het LM2596S-5 IC is specifiek ingesteld op een vaste uitgangsspanning van 5V, terwijl andere varianten, zoals de LM2596-ADJ, een instelbare uitgangsspanning bieden.

Met een maximaal ingangsspanning van 40V en een vermogen tot 3A is het IC ideaal voor onze toepassing.

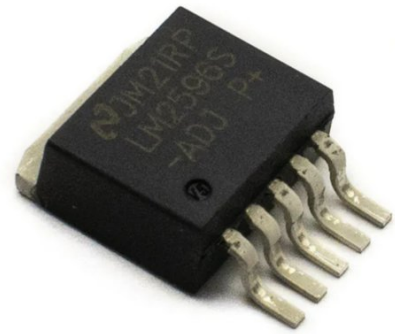
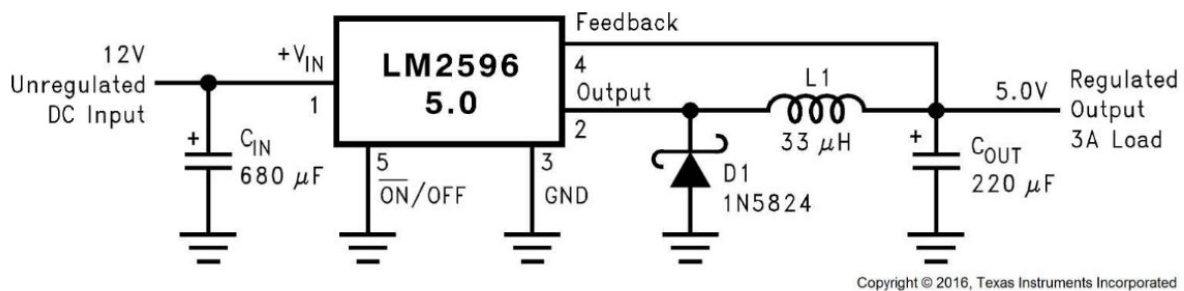


Figure 10: LM2596S

4.1) Application circuit.



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

Figure 11: LM2596S-5 application circuit

Figuur 10 toont het voorbeeldschema voor de LM2596-5.0 opgegeven in de datasheet. Aan de plaats van D1, L1 en Cout is het duidelijk te zien dat dit over een buck converter gaat. Het schema dat gebruikt wordt in onze opstelling volgt grotendeels dit circuit [1].

4.1.1) bespreking componenten.

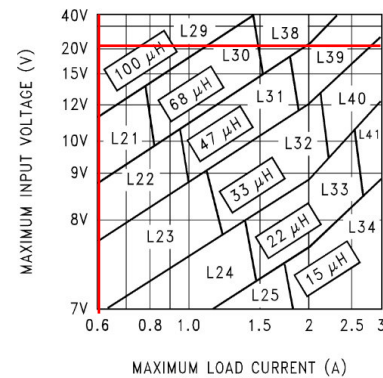
- **C_{in}** : Lage ESR aluminium condensator, dient voor stroompieken op te vangen.
- **C_{out}** : is een uitgangscondensator nodig om de uitgang te filteren en de stabiliteit van de regelaar te garanderen. Een lage ESR-elektrolytische of vaste tantaalcondensatoren moet worden gebruikt.
- **D1** : Buck omvormers hebben een diode nodig om terugkoppeling te voorzien voor de inductorstroom wanneer de chopper uitgaat. Hiervoor wordt de "catching Diode" (D1). Het is belangrijk dat de diode van voldoende snelheid is.

4.1.2) bespreking L1.

De waarde van de inductor L1 is afhankelijk van de maximum stroomwaarde en de ingangsspanning.

We weten dat de ingangsspanning 24V is en de maximum stroomwaarde van het systeem rond de ~250mA zal zijn.

Met deze waarden kunnen we uit de tabel van de datasheet (te zien op de rechtse figuur) concluderen dat we de inductor L29 nodig hebben. [1]



De waarden van L29 kunnen we uit de datasheet halen en is als volgt:

	INDUCTANCE (μH)	CURRENT (A)	SCHOTT		RENCO		PULSE ENGINEERING		COILCRAFT
			THROUGH- HOLE	SURFACE- MOUNT	THROUGH- HOLE	SURFACE- MOUNT	THROUGH- HOLE	SURFACE- MOUNT	SURFACE- MOUNT
L29	100	1.47	67144130	67144510	RL-5471-4	—	PE-53829	PE-53829-S	DO5022P-104

4.2) Thermische berekening

Om de correcte werking van de LM2596 te garanderen moet er rekening gehouden worden met de te dissiperen warmte van de omvormer. Hiervoor gebruiken we een heatsink bestaande uit een thermische pad, dit is een koperoppervlak op de printplaat (PCB) dat ontworpen is om de warmte van het component af te voeren.

Om de grootte van deze heatsink te berekenen hebben we eerst de totale vermogen verlies nodig. Deze kunnen we berekenen *adhv* de volgende formule.

$$Pd = (Vin - Vout) * Iload$$

$$Iload = I_{Esp8266} + I_{rest} = 150mA + \sim 100mA$$

$$Dus Pd = (24V - 5V) * 0.25 = 4.75W$$

Als thermisch vlak hebben we meer dan ~250mm² (~ 0.4 inch²) koper aan beide kanten van de PCB dus 0.8 inch² totaal. Met ~85 via's van 0.6 mm erdoor verdeeld. Voor een koperdikte van 1oz kunnen we de thermische weerstand berekenen met de volgende formule [10]:

$$Thermal\ resistance \approx 0.5 * \frac{C^{\circ}}{W\ per\ inch^2}$$

Als we dit uitrekenen met de totale oppervlakte bekomen we het volgende:

$$Thermal\ resistance = \frac{0.5}{0.8} \approx 0.625 \frac{C^{\circ}}{W}$$

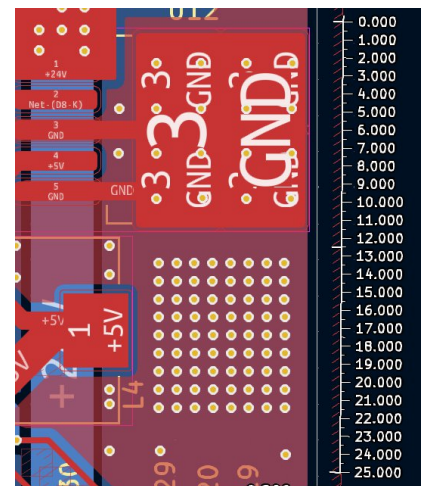


Figure 13: PCB-heatsink systeem LM2596

We hebben in totaal ~85 via's die deze 2 kopervlakten met elkaar verbinden. De thermische weerstand van één via van 0.6mm in een 1.6mm FR4 PCB0.6 is als volgt [10]:

$$\text{Thermal resistance one via} \approx 100 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Dus in totaal voor alle 85 vias is dit :

$$\text{Thermal resistance all vias} \approx \frac{100}{85} \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} = 0.588 \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

Nu kunnen we de totale thermische weerstand van het systeem berekenen als volgt: volg

$$\theta_{\text{total}} = \theta_{\text{copper}} + \theta_{\text{vias}} = 0.625 + 0.588 = 1.21 \text{ } ^{\circ}\text{C/W}$$

Met het totale vermogen verlies van 4.75W kan de temperatuurverhoging berekend worden [5]:

$$\text{Trise} = PD \times \theta_{\text{total}} = 4.75 \times 1.21 = 5.757 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Als we dit samentellen met de 'ambient' temperatuur (25°C gekozen) kunnen we als laatst de junction temperatuur berekenen.

$$T_j = T_A + \text{Trise} = 25 + 5.757 \text{ } ^{\circ}\text{C} = 30.757 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Een junction-temperatuur van ~35°C is volgens de datasheet (te zien op onderstaande tabel) acceptabel.

Lead temperature	KTW package	Vapor phase (60 s)	215	°C
		Infrared (10 s)	245	
	NDZ package, soldering (10 s)		260	
Maximum junction temperature			150	°C
Storage temperature, T _{stg}			−65 150	°C

Met deze berekeningen kunnen we concluderen dat dit thermisch vlak waarschijnlijk voldoende zal zijn om de spanningsregelaar binnen veilige grenzen te houden.

Hoewel de berekeningen ietwat losjes zijn gedaan, moet er bij geweten zijn dat:

1. De werkelijke stroom door het systeem (en dus de belasting op de regelaar) meestal lager zal zijn dan de piekwaarde van 250mA.
2. De totale effectieve kopervlak groter is dan 2 x 250 mm², doordat het onderste kopervlak verbonden is met een groter massavlak, wat extra warmteafvoer mogelijk maakt.

De geschatte junction-temperatuur van ~30.757°C ligt zeker in acceptabele grenzen, zoals vermeld in de datasheet van de LM2596. Dit betekent dat het systeem bij maximale belasting thermisch stabiel zal blijven.

[10][5][1]

5) LEDs

5.1) LED specificaties

De LEDs die gebruikt zullen worden voor dit project hebben de volgende karakteristieken:

Product No.		Color temprature	Forward voltage	Forward current	Lumen
5W Blue		460-465nm	DC 6-7V	700mA	500-600LM
5W Green		512-520nm	DC 6-7V	700mA	400-450LM
5W Red		620-625nm	DC 2.2-2.4V	1200mA	115-120LM

Deze zijn gekozen omdat ze een goede balans hebben van kostprijs en functie.



5.2) Berekening verlies vermogen

In totaal hebben we dus 3 x 5W leds wat ons een totaal vormogen (P_{totaal}) van 15W geeft. Om het totale verlies vermogen te berekenen kunnen we de volgende formule toepassen:

$$P_{\text{verlies}} = P_{\text{elektrisch}} - P_{\text{licht}}$$

Het lichtvermogen (P_{licht}) kan berekend worden met de volgende formule [4]

$$P_{\text{Licht}} = \frac{L}{K}$$

-L = lichtopbrengst (lumen)

-K = 683lm/W (maximale efficiëntie van lichtopbrengst) *

Toegepast voor de LEDS:

$$P_{\text{licht}} (\text{Rood}) = \frac{120lm}{683 lm/W} = 0.175W$$

$$P_{\text{licht}} (\text{groen}) = \frac{450lm}{683 lm/W} = 0.658W$$

$$P_{\text{licht}} (\text{blauw}) = \frac{600lm}{683 lm/W} = 0.878W$$

Het elektrisch vermogen (P_{licht}) kan als volgt berekend worden

$$P_{\text{elektrisch}} = U_{\text{voorwaards}} * I_{\text{voorwaards}}$$

Toegepast voor de LEDS:

$$P_{\text{elektrisch}}(\text{rood}) = 2.1V * 1200mA = 2.52W$$

$$P_{\text{elektrisch}}(\text{groen}) = 6.5V * 700mA = 4.55W$$

$$P_{\text{elektrisch}}(\text{blauw}) = 6.5V * 700mA = 4.55W$$

Als we nu de originele formule invullen

$$(P_{\text{verlies}} = P_{\text{elektrisch}} - P_{\text{licht}})$$

$$P_{\text{verlies}}(\text{rood}) = 2.52W - 0.175W \\ = 2.345W$$

$$P_{\text{verlies}}(\text{groen}) = 4.55W - 0.658W \\ = 3.892W$$

$$P_{\text{verlies}}(\text{blauw}) = 4.55W - 0.868W \\ = 3.682W$$

Nu kan ook het rendement worden berekend met de volgende formule:formule

$$\eta = \frac{P_{\text{licht}}}{P_{\text{elektrisch}}} * 100\%$$

In tabel:

LED	$P_{\text{elektrisch}}$	P_{licht}	P_{verlies}	η
Rood	2.52W	0.175W	2.345W	6.95%
Groen	4.55W	0.658W	3.892W	14.46%
Blauw	4.55W	0.868W	3.682W	19.07%

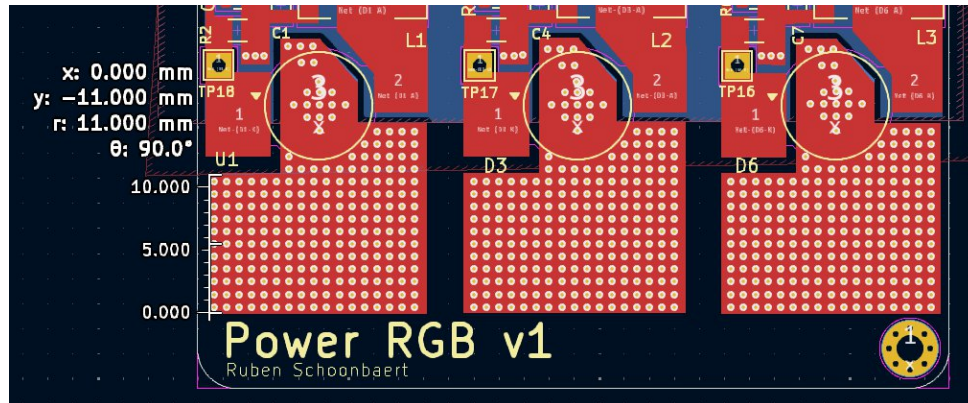
Om nu het totale verliesvermogen van het systeem te berekenen kunnen we de verschillende verliesvermogens optellen.

$$P_{\text{verlies}}(\text{totaal}) = P_{\text{verlies}}(\text{rood}) + P_{\text{verlies}}(\text{groen}) + P_{\text{verlies}}(\text{blauw})$$

Dit geeft ons dus een totaal P_{verlies} van 9.92W dat omgezet wordt in warmte, wat dus gedissipeerd moet worden in het ontwerp.

5.3) Koelvlakken

Aan de 'slug' van elke LED is er een koeloppervlak voorzien van $\sim 200\text{mm}^2$ of (0.31 inch^2) . De slug is elektrisch geïsoleerd van de anode en de kathode van de LED en mag dus niet worden verbonden met het massa of voedingsvlak!



5.3.1) berekening koelvlakken

De berekening van de warmte dissipatie volgt grotendeels de methode van 4.2 [10]. We nemen voor $P_{verlies}$ de waarde van $\sim 4\text{W}$ omdat dit het hoogste verlies is van alle 3 de LEDs.

Thermisch vlak $2 \times \sim 200\text{mm}^2$ ($\sim 0.62\text{ inch}^2$)

$$\text{Thermal resistance} = \frac{0.5}{0.62} \approx 0.806 \frac{\text{C}^\circ}{\text{W}}$$

We hebben in totaal ~ 180 via's die deze 2 kopervlakten met elkaar verbinden. Dus voor via's van 0.6mm in een 1.6mm FR4 PCB is als volgt:

$$\text{Thermal resistance all vias} \approx \frac{100}{180} \frac{\text{C}^\circ}{\text{W}} = 0.56 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Nu kunnen we de totale thermische weerstand van het systeem berekenen als volgt: volg

$$\theta_{total} = \theta_{copper} + \theta_{vias} = 0.806 + 0.56 = 1.336 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Met het totale vermogen verlies van 4W kan de temperatuurverhoging berekend worden:

$$T_{rise} = P \times \theta_{total} = 4 \times 1.336 = 5.46 \text{ }^\circ\text{C}$$

Als we dit samentellen met de 'ambient' temperatuur (25°C gekozen) kunnen we als laatste de junction temperatuur berekenen.

$$T_j = T_A + T_{rise} = 25 + 5.46 \text{ }^\circ\text{C} = 30.46 \text{ }^\circ\text{C}$$

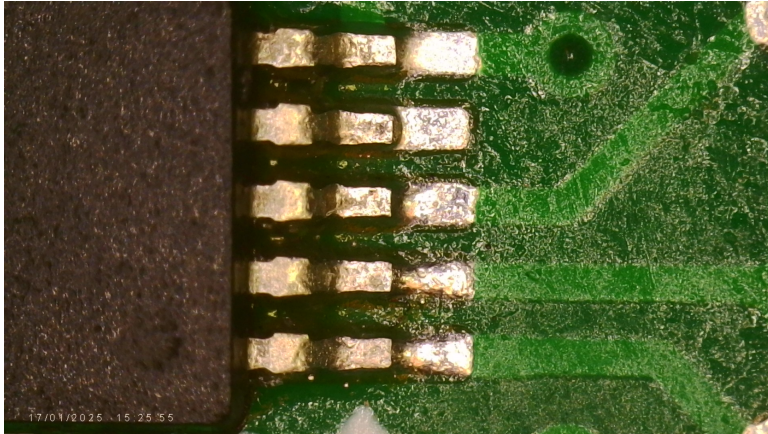
5.3.2) conclusie koelvlakken

Een junction-temperatuur van $\sim 30^\circ\text{C}$ is volgens de datasheet meer dan acceptabel.

LED Junction Temperature	T _j	135	°C
--------------------------	----------------	-----	----

6) Soldeerproces

Het soldeerproces is thuis gebeurd door middel van een soldeersstencil geproduceerd door JLCPCB en een hetelucht pistool. De gebruikte soldeerpasta (XG50 SN63 Pb37) werd toegepast op de stencil. Vervolgens werden de SMD-componenten handmatig gepositioneerd op de printplaat voorzichtig verwarmd met de hetelucht pistool.



De resulterende soldeerverbindingen zijn van voldoende kwaliteit hebben geen sporen van koude verbindingen of andere defecten.

*Figure 14: Foto soldeerverbinding INA226 (VSSOP 10)
pitch = 0.5mm*

Om de leds te solderen moest er extra rekening gehouden worden met hun temperatuurgevoelige behuizing om er voor te zorgen dat de lens niet smelt (Wat er voor zou zorgen dat het in gebruik veel warmer wordt). Dit werd gedaan door enkel hete lucht te blazen op de onderzijde van de print.

Na het soldeerproces met hete lucht werden de trough hole componenten met de hand gesoldeerd. En werd heel de print gekuist met isopropyl alcohol om flux residu's weg te kuisen.

7) Software

De ESP8266 kan verbinden met een reeds bestaand WiFi kanaal of kan zijn eigen kanaal creëren. Hierna creëert het een dynamische webpagina om de RGB leds aan te sturen op een statisch ip adres. Het systeem ondersteunt ook meerdere toestellen (slaves – master) via een propagatiemechanisme.

Deze webpagina bestaat uit 2 delen:

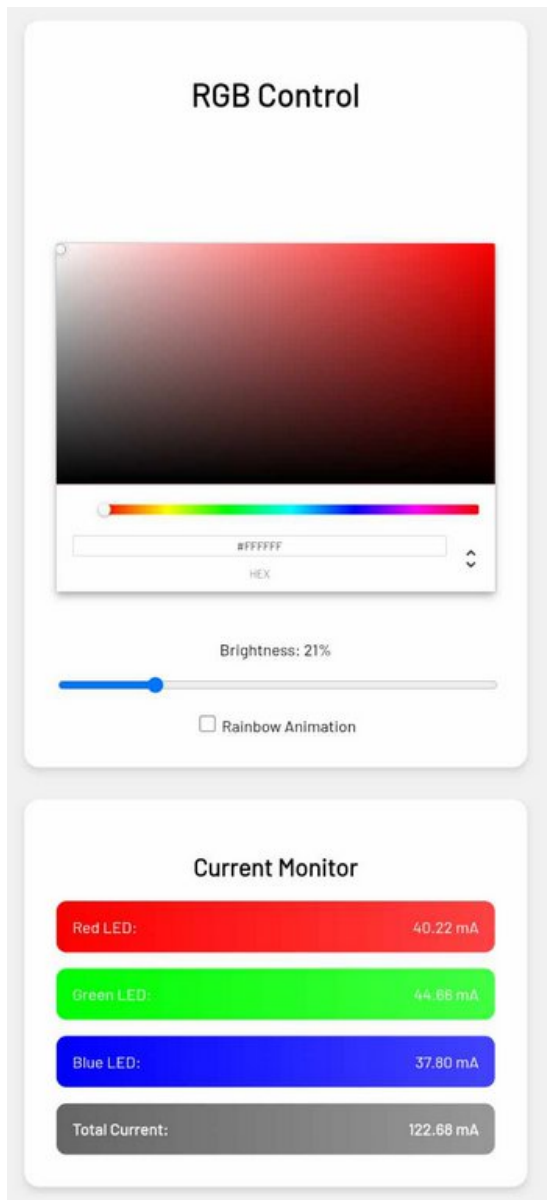


Figure 26: screenshot webapp

X.1) Het RGB controle venster

Dit venster stuurt de DIM functies van de 3 LEDs aan aan de hand van de input van de gebruiker. Om de kleur te kiezen maakt het gebruik van de “color-picker” javascript package van vue. Hiermee kan elke RGB kleur worden gecreëerd.

Verder wordt de RGB kleur vermenigvuldigd met de helderheid-schuiver om de kleur te kunnen dimmen. Hieronder is er een knop die een regenbooganimatie afspeelt als demonstratie. Dit wordt ook gedimd adhv de helderheid-schuiver.

Om de DIM functionaliteit zo nauwkeurig mogelijk te maken (om flikkering tegen te gaan) is de PWM resolutie ingesteld op 10bits (1024 stappen) door de ‘analogWriteRange’ aan te passen in de C++ code.

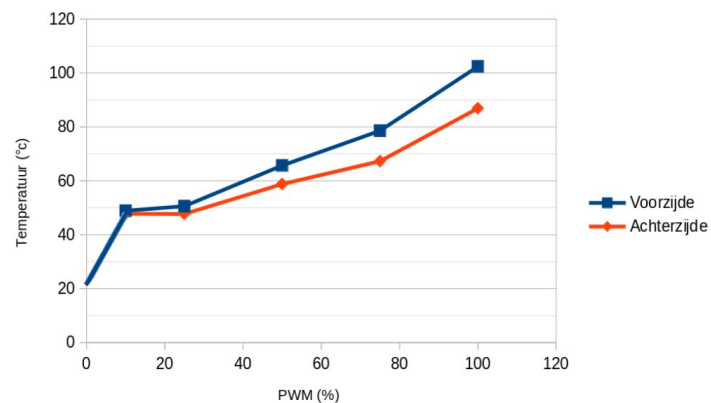
X.2) Het stroommetingsvenster.

In dit venster worden de verschillende stroom metingen van de 3 verschillende IN226 modules getoond in realtime. Naast de individuele metingen wordt ook een som van alle drie de stromen weergegeven. Deze som is niet helemaal gelijk aan de totale stroomverbruik van het systeem want het stroomverbruik van de ESP8266 en de spanningsregelaars zitten hier niet tussen (meestal is dit rond de ~20mA)

8) Analyse thermisch

Om de thermische aspecten van de printplaat in kaart te brengen is er gebruik gemaakt van een thermische camera van fluke.

Hierbij is elke led op de print telkens 25 seconden aangelegd op een telkens verschillend PWM percentage en de maximum gemeten temperatuur gemeten om zo de volgende tabel te bekomen. (De volledige meting kan op bladzijde 21 terug gevonden worden).



Het is bij de meting op te merken dat de groene LED consistent iets warmer is dan de blauwe LED en dat de rode LED een heel stuk minder warm wordt dan de rest. Dit is logisch als we kijken naar de berekende verliesvermogens van hoofdstuk 5.2.

Er is hier ook op te merken dat de inductor van de rode LED warmer is dan de inductor van de andere LED's dit kan te verklaren zijn door dat inductie is hoger dan bij de andere leds (200 μ H *idpv* 100 μ H) dit zorgt er voor dat het meer energie kan opslaan en dat de interne weerstand hoger ligt. Wat dus kan zorgen voor een hogere warmte.

Op de meting lijkt de temperatuur van de inductor te dalen naarmate de PWM-duty cycle wordt verhoogd. Echter is dit niet het geval maar lijkt het zo omdat de kleurwaarden van de thermische camera's heatmap dynamisch worden aangepast *adhv* de maximale temperatuur die de camera registreert.

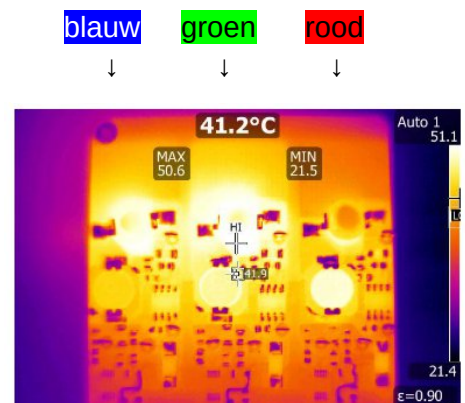
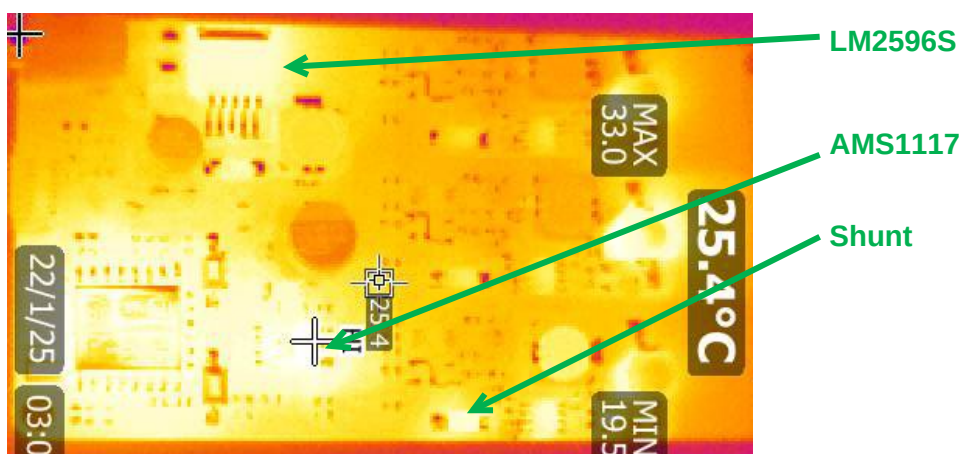


Figure 15: Foto thermische meting

Beide de spanningsregelaars (AMS1117 en de LM2596S) en de shunt weerstanden blijven allemaal relatief koel.



8.1) conclusie thermisch

In het algemeen ben ik niet zo tevreden met de thermische oplossing. De gemeten thermische waarden komen niet overeen met de berekende waarden en zouden tijdens overmatig gebruik over de maximum junction temperatuur kunnen gaan. Wat zou leiden tot een defecte LED chip.

Mogelijke oorzaken:

- Foutieve berekening: De berekende en gemeten junction temperatuur komen niet in de buurt van elkaar dus is het zeker mogelijk dat de toegepaste methode voor het berekenen van de thermische oplossing niet correct was.
- Slechte verbinding met de slug van de led en het koelvlak: Zoals besproken in hoofdstuk 6, was het moeilijk om de LED te solderen op de pcb zonder het te beschadigen. En solderen op een koelvlak is in het algemeen al moeilijk want de door de thermische aspecten van het koelvlak wordt de warmte van de soldeerverbinding weg genomen. Daarom is het niet onmogelijk dat de verbinding tussen de slug van de led en het koelvlak niet goed is, en zorgt voor een slecht of slechtere thermische prestatie.
- Niet-optimale geometrie: Uit de metingen blijkt duidelijk dat de warmte zich niet efficiënt verspreidt over het koelvlak, waardoor dit te warm blijft. kan worden toegeschreven aan de vorm van het koelvlak dat ervoor zorgt dat de warmte niet gelijkmatig in alle richtingen wordt kan worden afgevoerd.

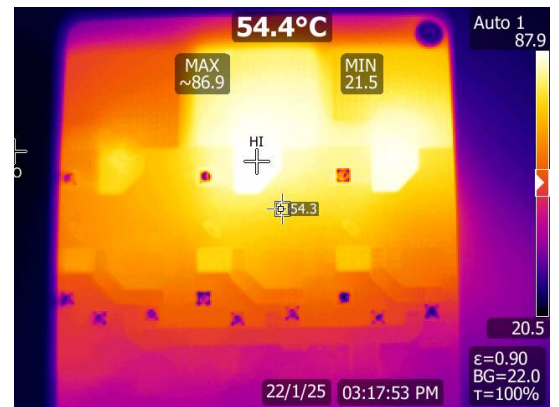
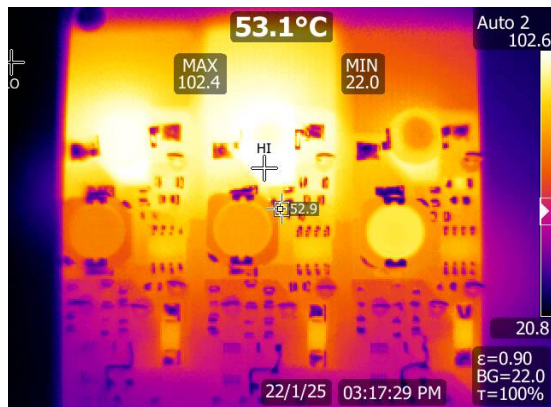
Mogelijke oplossingen:

- Gebruik van een aluminium print: Het gebruik van een aluminium PCB zou de warmte afvoer sterk verbeteren door de goede thermische geleidende eigenschappen van het materiaal, dit is wel zeer duur.
- Dikkere copper pour: Een dikkere koperlaag op de printplaat zou de de thermische geleidbaarheid verhogen en helpen met de warmte efficiënter te verspreiden.
- Gebruik van een heatsink: Het toevoegen van een heatsink zou zorgen voor een veel grotere oppervlakte om warmte af te voeren, wat zou helpen om de temperatuur van de componenten te verlagen. En verder zou er een ventilator op kunnen worden gemonteerd wat de thermische prestatie nog zou verbeteren. Dit lijkt mij de beste oplossing en moest ik deze print opnieuw ontwerpen zou ik dit implementeren.

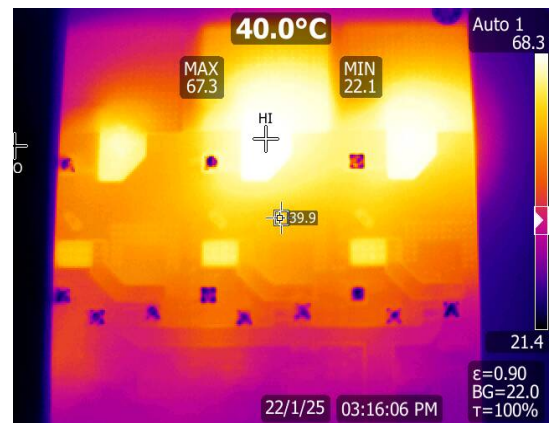
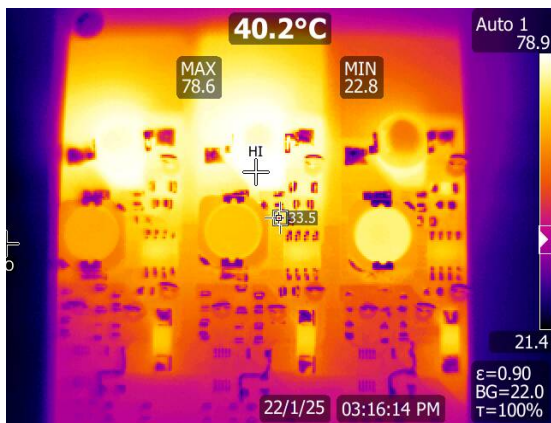
Voorzijde

Achterzijde

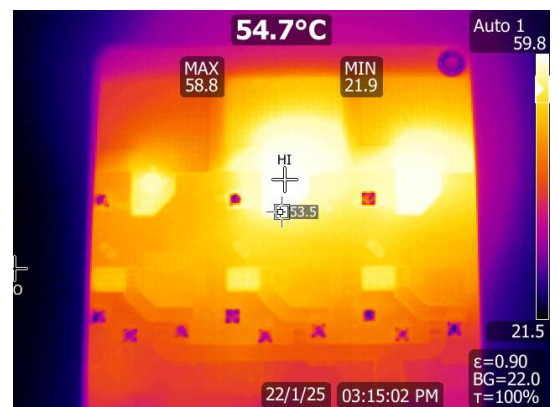
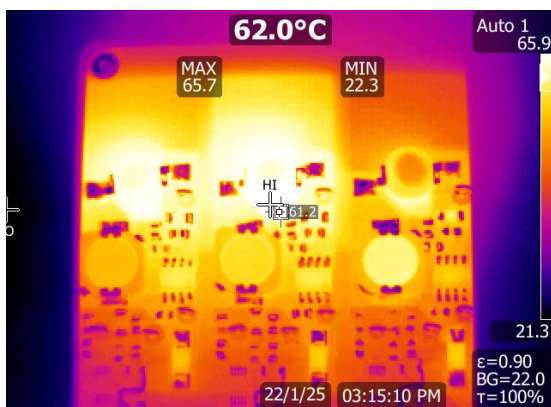
100%



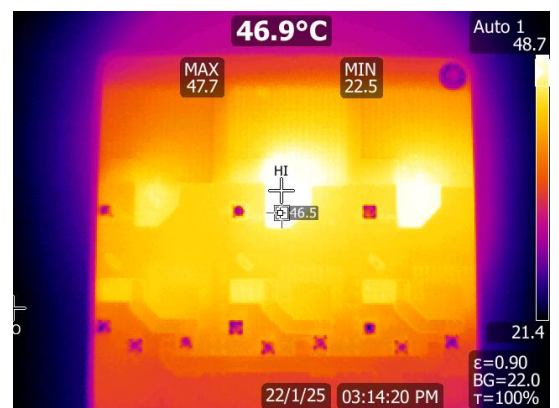
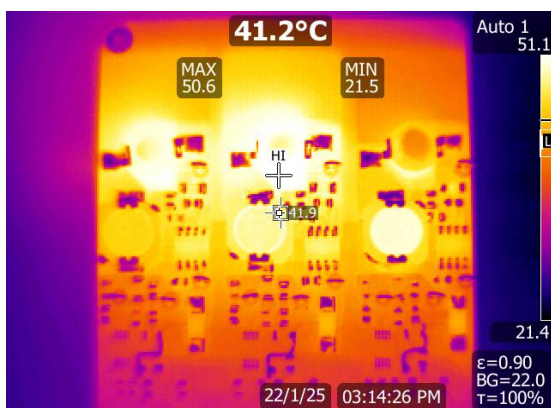
75%



50%



25%



9) Analyse stroommeting

Om de correcte werking van de INA226 te verifiëren, zijn er verschillende metingen uitgevoerd om de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de gemeten waarden te vinden.

Eerst is het stroomverbruik van het systeem gemeten met alle LEDS ingesteld op een helderheid van 0%. Hierbij is er gebruik gemaakt van een multimeter op de 24V DC ingang.

Het gemeten resultaat kwam ~28mA. Het grootste deel van deze stroom wordt veroorzaakt door de ESP8266, die gebruik maakt van zijn antenne, wat relatief veel stroom verbruikt.



Figure 16: Standby current



Figure 17: Helderheid instelling

Hierna is de helderheid van de rode led ingesteld op 50% en is de stroom gemeten door middel van de multimeter.

De multimeter meette een stroomverbruik van 120mA. Als we dit nu verminderen met de gemeten 'standby' stroom (120mA - 28mA) bekomen we een stroomverbruik van 92mA

Als we dit vergelijken met de waarde die de INA226 meet en doorgeeft aan de webpagina (91.37mA) kunnen we concluderen dat de stroommeting van de INA226 relatief accuraat is.



Figure 18: Multimeter meting

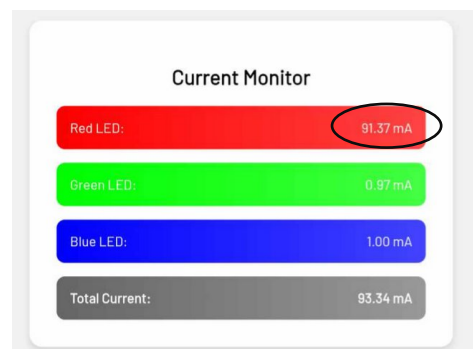


Figure 19: INA226 meting

10) Analyse met oscilloscoop

Meting op LM2596S bij deze meting is er op kathode van de catching diode gemeten (D8) om de schakelpuls te kunnen zien. De lengte van deze puls staat vast want we gebruiken de LM2596S-5 en niet de LM2596S-ADJ.

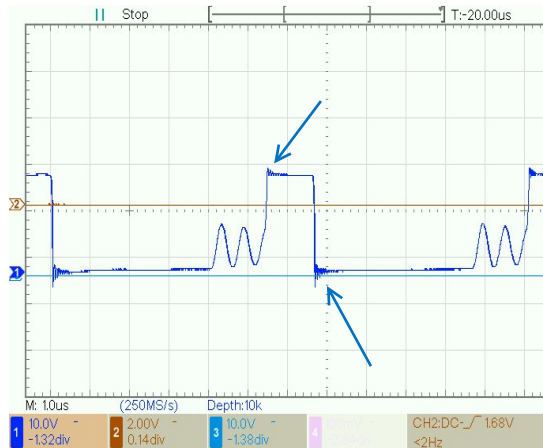
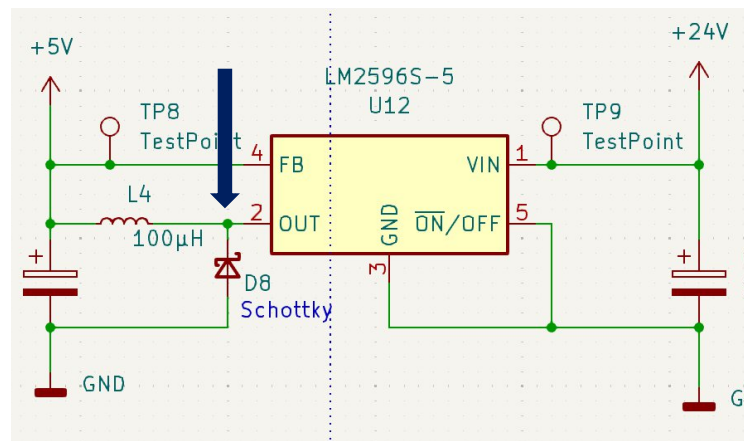


Figure 20: LM2596 meting



We kunnen de schakelpuls duidelijk zien op het scoopbeeld. Op het beeld is er een oscillatie te zien voorgaande de schakelpuls zijn opgaande flank. Dit is normaal, en het komt doordat de inductorstroom (L4) 0A bereikt en de inductor oscilleert met de parasitaire capaciteit van de diode (D8). (DCM-ringing). Verder is er ook wat ringing / EMI te zien op de switch nodes (zie pijltjes meting), maar dit heeft niet veel invloed op de werking van het de schakeling. [6][3]

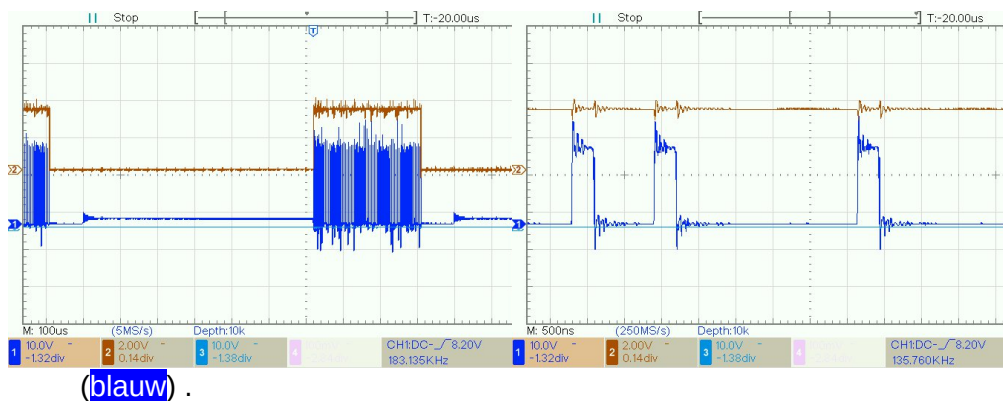


Figure 21: Meting PWM signaal zichtbaar

Figure 22: Meting SW signaal zichtbaar

Meting op LM3404: Op deze meting is er gemeten op de PWM schakelpuls (TP4) van ~30% en te zien (geel) en op de switching pin (TP19)

Op de PWM puls is er enige EMI (ruis) te zien op het signaal wanneer de LED actief is. Maar dit heeft geen zichtbare invloed op de werking van de schakeling.

Verder is het de aan en uitschakeling van de LED door de interne MOSFET te zien op het blauwe signaal. Ook hier is er ringing te zien op de switching nodes. Hoogstwaarschijnlijk ook veroorzaakt door terugslag van de inductor. [3]

12) Conclusie

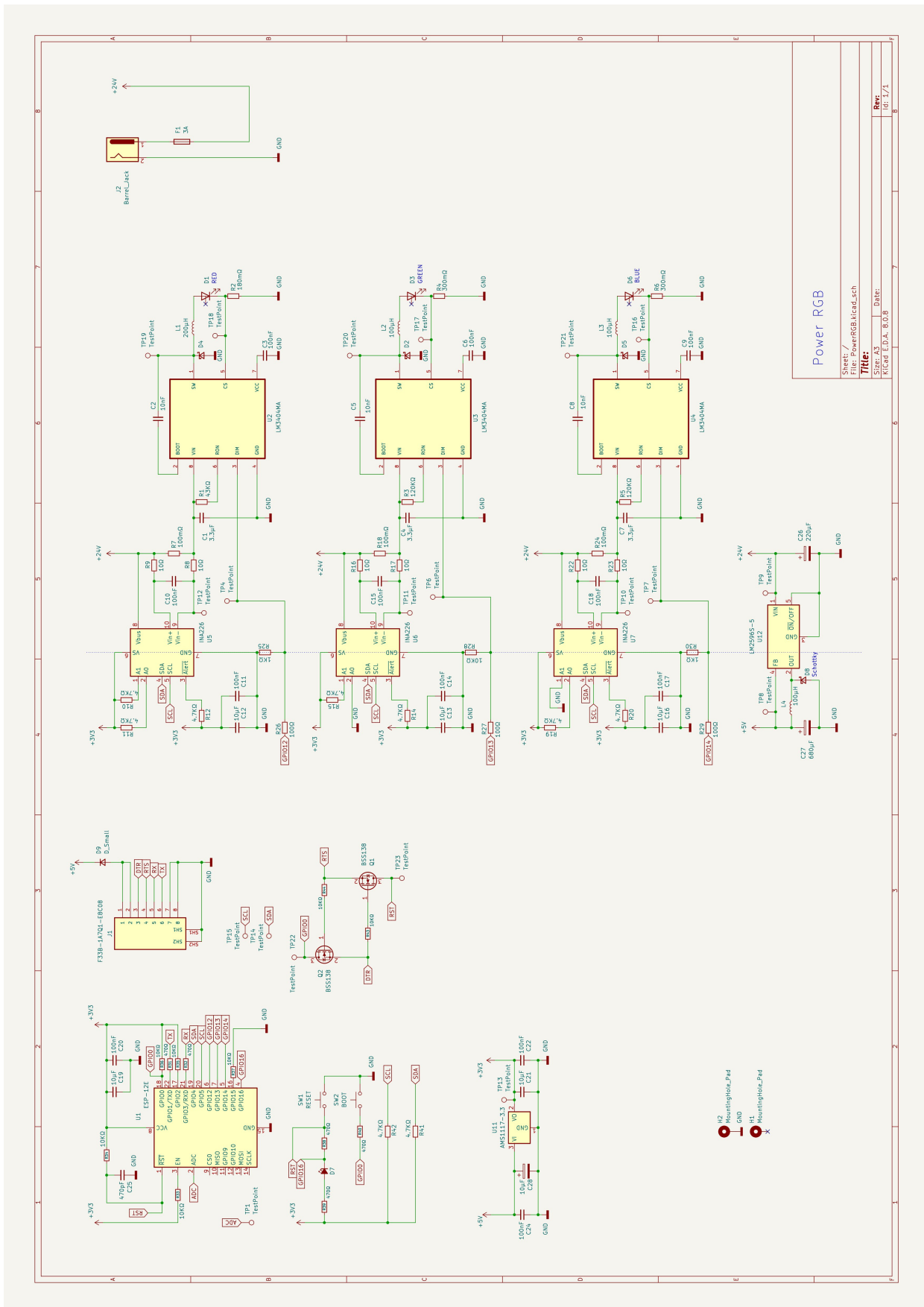
In het algemeen ben ik tevreden met de uitwerking van dit project. Los van de problemen op het thermisch aspect en een kleine hardwarematige aanpassing werkt het systeem naar behoren.

- De drivers werken zoals verwacht
- De LEDS werken zoals verwacht en zijn volledig dimbaar en beginnen niet te flikkeren bij lage helderheidsinstellingen
- De thermische metingen tonen aan dat er (los van de leds) geen componenten te warm worden.
- De INA226 meting is accuraat.
- Het soldeerproces ging vlot.
- Er is geen EMI dat invloed heeft op de werking van het systeem.
- De ESP8266 werkt naar behoren en kan geprogrammeerd worden met het reeds ontwikkelde programmeer bord.
- De webapp is robuust en functioneel.

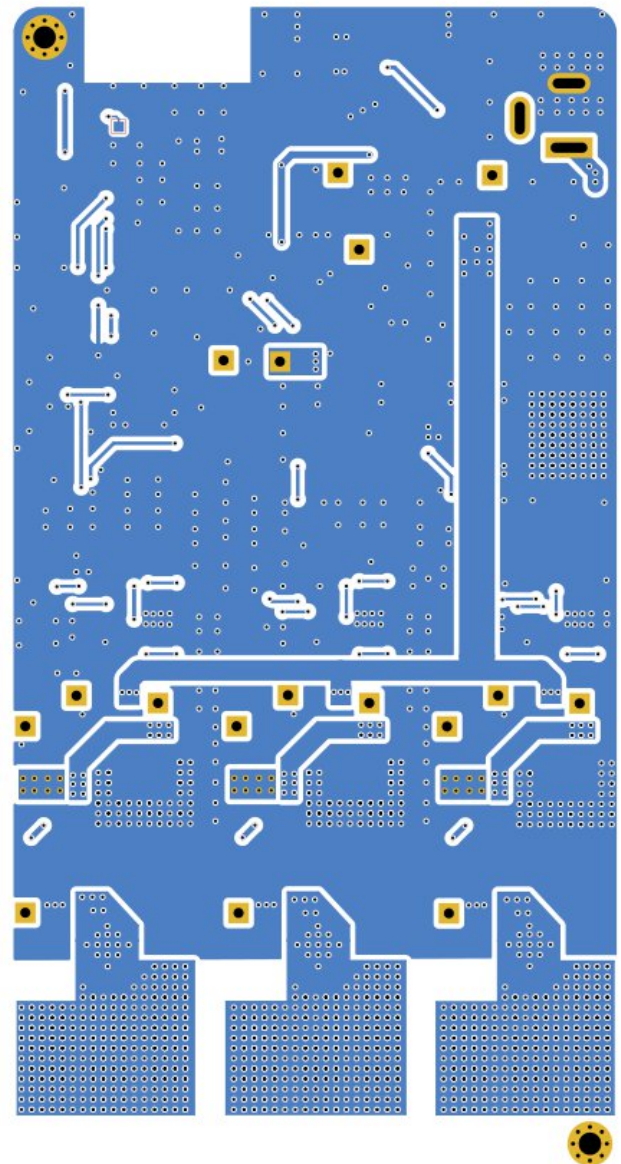
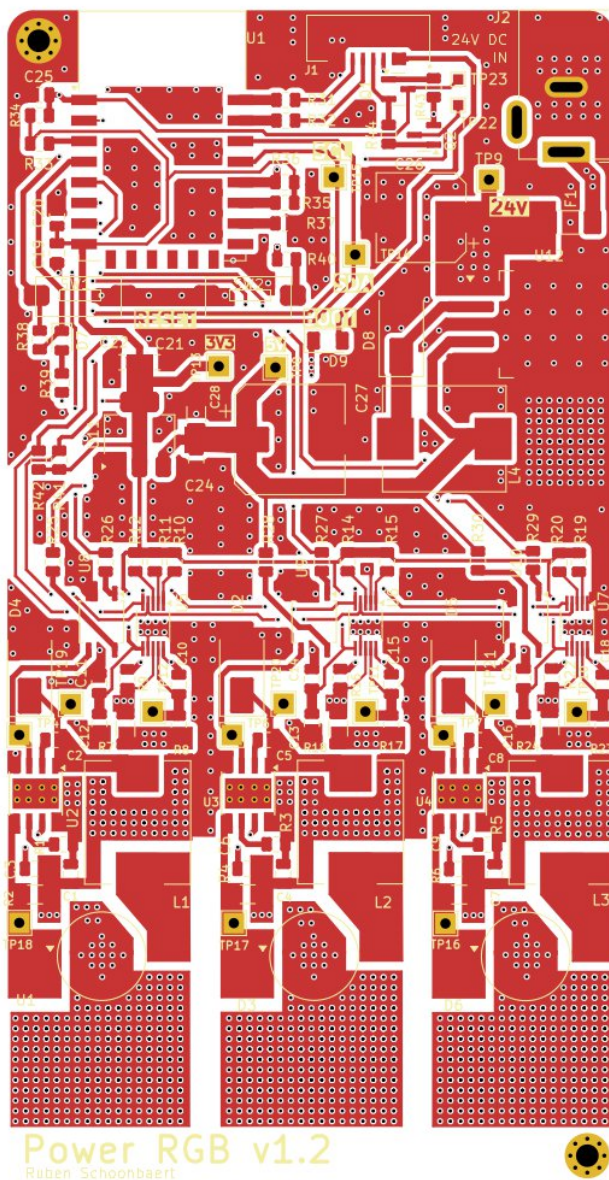
Moest ik een tweede revisie van dit project maken zou ik de thermische oplossing anders aanpakken (hoofdstuk 8.1) en de hardware aanpassing (besproken in hoofdstuk 11.1) implementeren.

13) Bijlagen

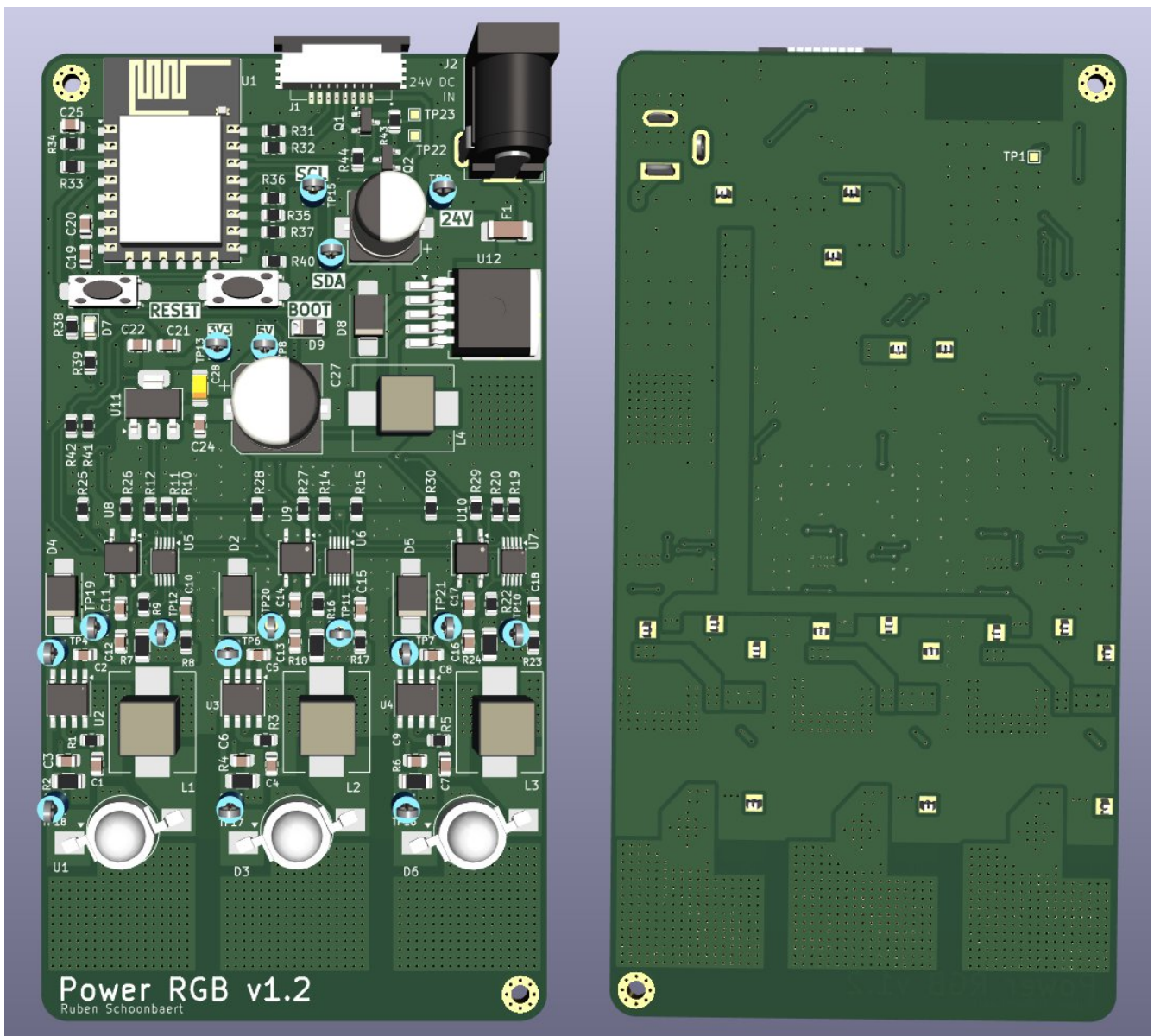
13.1) Schema



13.2) Boven & Onderzijde print



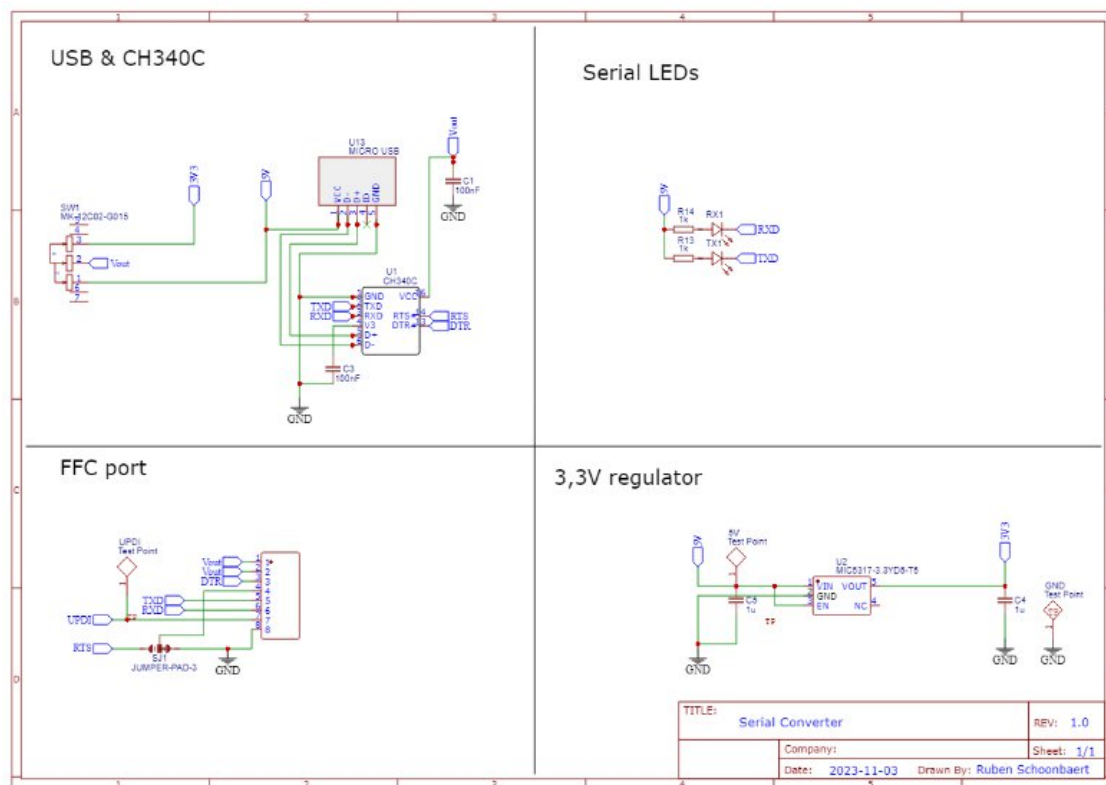
13.3) Render PCB



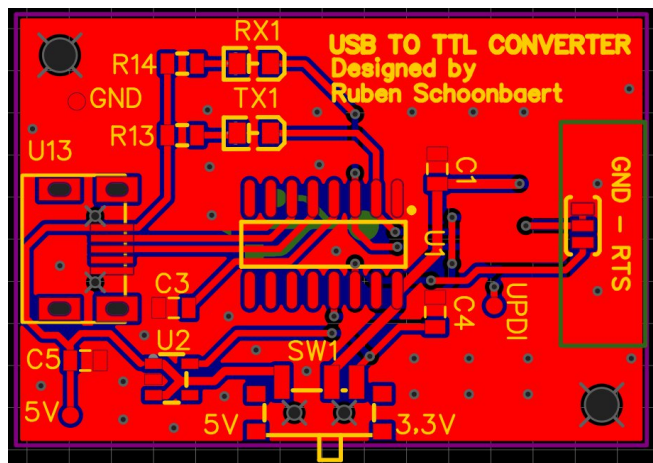
13.4) Fotos afgewerkte PCB



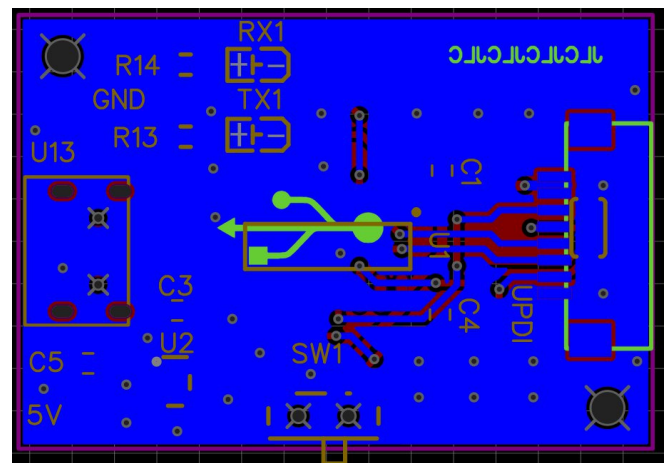
13.5) Programmeer bord



Figuur 24: Programmeer bord schema



Figuur 25: Programmeer bord top



Figuur 26: Programmeer bord bottom

13.6) Componentenlijst

Reference	Value	Footprint	Qty	Price (€)
C1,C4,C7	3.3µF	Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric	3	0.01
C2,C5,C8	10nF	Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric	3	0
C3,C6,C9,C10,C11,C14,C15,C17,C18,C20,C22,C24	100nF	Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric	12	0
C12,C13,C16,C19,C21,C28	10µF	-- mixed values --	6	0
C25	470pF	Capacitor_SMD:C_0805_2012Metric	1	0.01
C26	220µF	Capacitor_SMD:CP_Elec_8x10.5	1	0.01
C27	680µF	Capacitor_SMD:CP_Elec_10x10.5	1	0.01
D1,D3,D6	LED - Red	LED_SMD:LED_1W_3W_R8	3	0
D2,D4,D5,D8	Schottky	Diode_SMD:D_SMB_Handsoldering	4	0
D7	LED	LED_SMD:LED_0805_2012Metric	1	0.023
D9	D_Small	Diode_SMD:D_1206_3216Metric	1	0.1
F1	3A	Capacitor_SMD:C_1808_4520	1	0.1
J1		F33B-1A7Q1-E8C0	1	0
J2	Barrel_Jack	Connector_BarrelJack:I	1	0.5
L1	200µH	Inductor_SMD:L_Neosid_SM-PIC1004H	1	0.54
L2,L3,L4	100µH	Inductor_SMD:L_Neosid_SM-PIC1004H	3	0.54
Q1,Q2	BSS138	Package_TO_SOT_SMD:SOT-23	2	0
R1	43KΩ	Resistor_SMD:R_0805_2012Metric	1	0.1
R2	180mΩ	Resistor_SMD:R_1206_3216Metric	1	0.1
R3,R5	120KΩ	Resistor_SMD:R_0805_2012Metric	2	0
R4,R6	300mΩ	Resistor_SMD:R_1206_3216Metric	2	0.1
R7,R18,R24	100mΩ	Resistor_SMD:R_1206_3216Metric	3	0.1
R8,R9,R16,R17,R22,R23	10Ω	Resistor_SMD:R_0805_2012Metric	6	0
R10,R11,R12,R14,R15,R19,R20,R41,R42	4.7KΩ	Resistor_SMD:R_0805_2012Metric	9	0
R25,R30	1KΩ	Resistor_SMD:R_0805_2012Metric	2	0
R26,R27,R29	100Ω	Resistor_SMD:R_0805_2012Metric	3	0
R28,R33,R34,R35,R36,R37,R43,R44	10KΩ	Resistor_SMD:R_0805_2012Metric	8	0
R31,R32,R38,R39,R40	470Ω	Resistor_SMD:R_0805_2012Metric	5	0
SW1	RESET	tactile_button:3_6_2.5 button	1	0
SW2	BOOT	tactile_button:3_6_2.5 button	1	0
TP1,TP4,TP6,TP7,TP8,TP9,TP10,TP11,TP12,TP13,TP14,TP15,TP16,TP17,TP18,TP19,TP20,TP21,TP22,TP23	TestPoint	-- mixed values --	20	0.13
U1	ESP-12E	RF_Module:ESP-12E	1	0
U2,U3,U4	LM3404MA	Package_SO:TI_SO-PowerPAD-8_ThermalVias	3	1.53
U5,U6,U7	INA226	Package_SO:VSSOP-10_3x3mm_P0.5mm	3	0.488
U11	AMS1117-3.3	Package_TO_SOT_SMD:SOT-223-3_TabPin2	1	0
U12	LM2596S-5	Package_TO_SOT_SMD:TO-263-5_TabPin3	1	0.238
			Total cost =	12.535

*Alle componenten waarbij er '0' staat zijn componenten die ik reeds in mijn bezit had en dus moeilijk een bedrag kan op plaatsen.

Bibliography

- [1] T. Instruments, “LM2596 SIMPLE SWITCHER ® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator Typical Application LM2596,” 1999. Accessed: Jan. 27, 2025. [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1737980584445&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FLM2596
- [2] T. Instruments, “LM3405,” *Ti.com*, 2016. <https://www.ti.com/product/LM3405> (accessed Jan. 27, 2025).
- [3] Specter, “Specter Engineering — Switch Node Ringing,” *Specter Engineering*, Oct. 04, 2019. <https://www.specterengineering.com/blog/2019/9/26/switch-node-ringing>
- [4] Vigneshwaran, “Watts to Lumens - bimmodeller.com - BIM Modeling services Provider,” *bimmodeller.com - BIM Modeling services Provider*, Nov. 18, 2022. <https://www.bimmodeller.com/watts-to-lumens/> (accessed Jan. 27, 2025).
- [5] Atmel, “Estimated-Junction-Temperature_Application-Note.,” *microchip.com*, Apr. 2015. http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Atmel-9181-ATA6843-ATA6844-Estimated-Junction-Temperature_Application-Note.pdf (accessed Jan. 15, 2025).
- [6] A. Hernadi, “LM2596: Inverting mode instability - Power management forum - Power management - TI E2E support forums,” *Ti.com*, Jul. 07, 2020. <https://e2e.ti.com/support/power-management-group/power-management/f/power-management-forum/920864/lm2596-inverting-mode-instability> (accessed Jan. 27, 2025).
- [7] Espressif, “ESP8266EX Datasheet,” Jun. 2023. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [8] RubenSchoonbaert, “GitHub - RubenSchoonbaert/RFID-Transponder: This project is a compact and versatile PCB design featuring an RFID/NFC tag IC. It includes components for writing and managing data on the RFID tag (st25dv16kc),” *GitHub*, 2024. <https://github.com/RubenSchoonbaert/RFID-Transponder> (accessed Jan. 27, 2025).
- [9] T. Instruments, “INA226 36V, 16-Bit, Ultra-Precise I²C Output Current, Voltage, and Power Monitor With Alert,” Jun. 2011. Accessed: Jan. 27, 2025. [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina226.pdf?ts=1737959071870&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [10] K. James and K.-A. Field, “Accurate Thermal Calculations on the Back of a Napkin Application Report Accurate Thermal Calculations on the Back of a Napkin,” 2020. Accessed: Jan. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/an/slpa015/slpa015.pdf>