

Thermische Berekeningen

Syme Vandenbosch

februari 2025

Inleiding

In dit document worden de thermische berekeningen besproken die gemaakt zijn voor de led-PCB met betrekking tot de vertical farm. Het doel van deze berekeningen is om na te gaan of de warmte die gedissipeerd wordt door de leds, op een efficiënte manier kan afgevoerd worden. Hierbij wordt er gekeken naar de thermische weerstand van verschillende onderdelen, via's, PCB, en de koelplaat. Aan de hand van deze gegevens kan bepaald worden of extra maatregelen zoals actieve of passieve koeling nodig zijn om de levensduur van de led te verlengen.

1 Thermische Berekeningen

In deze sectie wordt dieper ingegaan op de nodige berekeningen en de aspecten die belangrijk zijn voor de thermische vereisten van de leds. Er wordt dieper ingegaan op de bijkomende aspecten bij het ontwerp van een led-PCB.

1.1 Berekening van de via's

Via de applicatie <https://circuitcalculator.com/wordpress/2006/03/12/pcb-via-calculator/>.

Inputs:

Finished Hole Dia	0.254	mm ▾
Plating Thickness	0.025	mm ▾
Via Length	1	mm ▾

Optional Inputs:

Applied Current	0.240	Amps
Plating Resistivity	1.9E-6	Ohm-cm

Electrical Results:

Resistance	0.000867	Ohms
Voltage Drop	0.000208	Volts
Power Loss	0.0000499	Watts
Estimated Ampacity	1.70	Amps

Thermal Results:

Thermal Resistance	114	Deg. C/Watt
--------------------	-----	-------------

Figure 1: Berekening van de thermische weerstand van de via

De thermische weerstand van één via bedraagt 90.9 °C/W. Er is zo een goed mogelijke warmteafvoer gewenst. Daarom is er gekozen om zoveel mogelijk via's te plaatsen voor een goed warmteafvoer te kunnen garanderen. Echter wordt er bij de verdere thermische berekeningen slechts gerekend met tien via's aan elke zijde van de led.

Wat resulteert in een totaal van 20 via's. De rede hiervoor is dat deze 20 via's dicht genoeg bij de led staan om een aanzienlijk aandeel te hebben bij de warmte afvoer. De extra's zijn toegevoegd om wat marge te hebben.

De thermische weerstand van één via bedraagt:

$$R_{th \text{ via-copper}} = \frac{R_{th \text{ tot}}}{n_{\text{via's}}} = \frac{90.9}{20} = 4.55^\circ C/W \quad (1)$$

Hierbij is:

$R_{th \text{ via-copper}}$ = de thermische weerstand van via naar het koper ($25^\circ C$)

$R_{th \text{ tot}}$ = totale waarde van de thermische weerstand van de via

$n_{\text{via's}}$ = het aantal via's

1.2 Berekening van de PCB

FR-4 is een van de meest gebruikte printplaatmaterialen en is een met glasvezel versterkte epoxyhars. Het heeft een lage thermische geleidbaarheid, wat betekent dat warmte niet gemakkelijk door het materiaal stroomt. Dit maakt thermisch beheer in PCB-ontwerpen een belangrijke factor. Om de thermische weerstand zo laag mogelijk te houden, is ervoor gekozen om de PCB een dikte te geven van 0.8mm i.p.v. de normale standaard dikte van 1.6mm. De PCB heeft dus een opbouw zoals weergegeven wordt in fig:2 [1] [2]

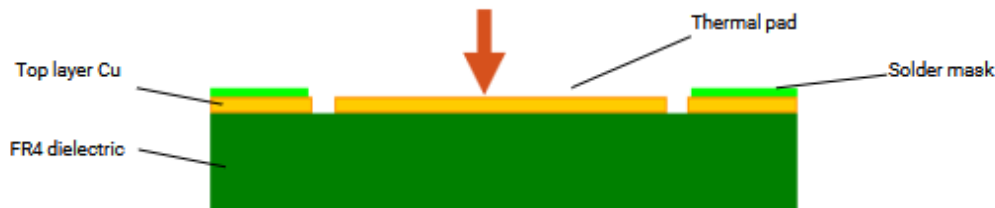


Figure 2: Doorsnede van een eenlaag FR-4 PCB [2]

De thermische weerstand van de PCB wordt berekend met de volgende formule:

$$\theta = \frac{l}{k \cdot A} \quad (2)$$

waarbij:

- $l = 0.0008$ m (dikte van de PCB),
- $A = 225 \times 10^{-6}$ m² (warmteafvoeroppervlak),
- $k = 0.2$ W/mK (thermische geleidbaarheid van FR-4).

Invullen in de formule geeft:

$$\theta = \frac{0.0008}{0.2 \times 225 \times 10^{-6}} = \frac{0.0008}{0.000045} = 17.78^\circ C/W \quad (3)$$

Laag/Materiaal	Dikte (µm)	Thermische geleidbaarheid (W/mK)
SnAgCu soldeer	75	58
Toplaag koper	70	398
FR-4 diëlektricum	802	0.2

Table 1: Typische thermische geleidbaarheden van FR-4 PCB-lagen [2]

De themische weerstand van de PCB bedraagt dus 17,78 °C/W. Er wordt best nog wat marge ingerekend dus er zal verder gerekend worden met een waarde van 40 °C/W. Dit lijkt ruim gerekend maar dit kan eventuele afwijkingen van die bij de berekeningen van de via's bekomen zijn te compenseren.

1.3 Berekening van de led

De led temperatuur is afhankelijk van verschillende factoren en wordt opgesplitst in:

$$R_{\text{th j-solder}}, R_{\text{th solder-via}}, R_{\text{th via-copper}}, R_{\text{th copper-ambient}}$$

Hierbij is:

$R_{\text{th j-solder}}$ = de thermische weerstand van de junctie naar de soldeerverbinding

$R_{\text{th solder-via}}$ = de thermische weerstand van de soldeerverbinding naar de via's

$R_{\text{th via-copper}}$ = de thermische weerstand van de via's naar het koelvlak

$R_{\text{th copper-ambient}}$ = de thermische weerstand van het koelvlak naar de omgeving

De bijhorende waarden voor deze thermische weerstanden kunnen worden afgelezen in:

Benaming	Waarde ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	Verklaring van de waarde
$R_{\text{th j-solder}}$	15	Dit wordt weergegeven in de datasheet (far red is hoogste)
$R_{\text{th solder-via}}$	3	Dit is een algemene waarde
$R_{\text{th via-copper}}$	4,55	Dit is berekend in 1.1
$R_{\text{th copper-ambient}}$	40	Berekend in punt 1.2 + marge

Table 2: Thermische weerstandswaarden zonder koeling

De thermische weerstand van de led bedraagt:

$$R_{\text{th led}} = (R_{\text{th j-solder}} + R_{\text{th solder-via}} + R_{\text{th via-copper}} + R_{\text{th copper-ambient}})$$

$$R_{\text{th led}} = 15^{\circ}\text{C}/\text{W} + 3^{\circ}\text{C}/\text{W} + 4,55^{\circ}\text{C}/\text{W} + 40^{\circ}\text{C}/\text{W} = 62,55^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$\Delta T_{\text{led}} = R_{\text{th led}} \cdot P_{\text{led}} = 62,55^{\circ}\text{C}/\text{W} \cdot (240\text{mA} \times 3\text{V}) = 45,036^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{junctie}} = T_{\text{omgeving}} + \Delta T_{\text{led}} = 25^{\circ}\text{C} + 45,036^{\circ}\text{C} = 70,036^{\circ}\text{C}$$

In de datasheet van de Cree leds staat dat de maximale junctie temperatuur 125°C mag bedragen. De berekende waarde is dus lager dan de maximale waarde. Dit betekent dat de led niet oververhit zal raken. Om de levensduur te bevorderen, wordt aangeraden om de leds passief of actief te koelen. Dit zal de levensduur aanzienlijk verlengen. [3]

1.4 Berekening van de koelplaat

Om de levensduur van de leds te kunnen verlengen wordt er gekozen om de leds te laten werken op een maximale temperatuur van 45°C . Er zal dus een koelplaat nodig zijn voor de nodige thermische afvoer. Men bekomt dan een opbouw zoals in weergegeven wordt in fig:3 [1] [2]

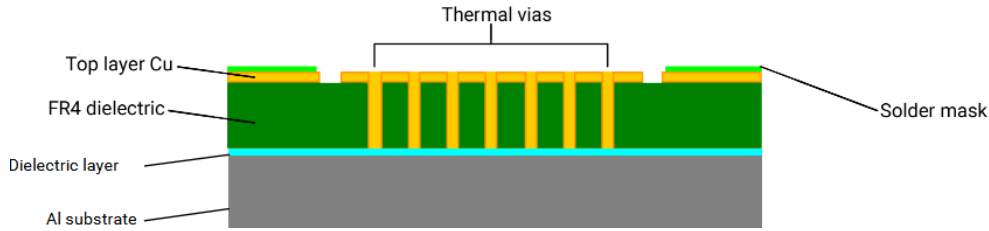


Figure 3: Doorsnede van een eenlaag FR-4 PCB [2]

De bijhorende waarden voor deze thermische weerstanden kunnen worden afgelezen in:

Benaming	Waarde ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)	Verklaring van de waarde
$R_{\text{th j-solder}}$	15	Dit wordt weergegeven in de datasheet (far red is hoogste)
$R_{\text{th solder-via}}$	3	Dit is een algemene waarde
$R_{\text{th via-coolpad}}$	4,55	Berekend in punt 1.1
$R_{\text{th coolpad-heatsink}}$	7	Uit de datasheet
$R_{\text{th heatsink-ambient}}$	0.29	Uit de datasheet

Table 3: Thermische weerstandswaarden met koeling

De thermische weerstand van de totale PCB bedraagt:

$$R_{\text{th pcb}} = (R_{\text{th j-solder}} + R_{\text{th solder-via}} + R_{\text{th via-coolpad}} + R_{\text{th coolpad-heatsink}} + R_{\text{th heatsink-ambient}})$$

$$R_{\text{th pcb}} = 15^{\circ}\text{C}/\text{W} + 3^{\circ}\text{C}/\text{W} + 4,55^{\circ}\text{C}/\text{W} + 7^{\circ}\text{C}/\text{W} + 0,29^{\circ}\text{C}/\text{W} = 29,84^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

$$\Delta T_{\text{led}} = R_{\text{th pcb}} \cdot P_{\text{led}} = 29,84^{\circ}\text{C}/\text{W} \cdot (240\text{mA} \times 3\text{V}) = 21,49^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{junctie}} = T_{\text{omgeving}} + \Delta T_{\text{led}} = 25^{\circ}\text{C} + 21,49^{\circ}\text{C} = 46,49^{\circ}\text{C}$$

De Led zullen dan op een temperatuur van $46,49^{\circ}\text{C}$ functioneren. Dit is in de grootorde van de gewenste temperatuur voor de leds.

Conclusie

Uit de berekeningen blijkt dat de totale thermische weerstand zonder koeling vrij hoog is, wat resulteert in een junctietemperatuur van net boven de 70°C . Dit is wel onder de maximaal toegelaten waarde van 125°C die weergegeven wordt in de datasheet, maar om de betrouwbaarheid en levensduur van de LED te verbeteren is extra koeling aangewezen. Door toevoeging van een koelplaat wordt de junctietemperatuur verlaagd tot ongeveer 46°C , wat zorgt voor een veilige marge. Zo zal de led aanzienlijk langer kunnen functioneren zonder door te branden.

References

- [1] Texas Instruments. Thermal management guide. Technical Report SLPA015, 2006.
- [2] CREE LEDs. Optimizing pcb thermal performance for xlamp. Technical report, 2010-2023.
- [3] CREE LEDs. J series 2835 color leds, 2023-2024.