

Praktische Anwendung einer elektrischen und thermischen Simulation einer Platine zur Ansteuerung eines BLDC-Motors

Christian Schmid

Hochschule Augsburg, Fakultät für Elektrotechnik, Augsburg, Deutschland, Christian.Schmid1@Hs-Augsburg.de

Zusammenfassung

Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand.

Abstract

Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand. Dies ist ein normaler Text in 10 pt Schriftgröße und 12 pt Zeilenabstand.

1 Grundlagen

1.1 Wärmefluss

Es gibt 3 Möglichkeiten wie sich Wärme ausbreiten kann. Durch Strahlung, Konvektion und Konduktion [1]. Alle 3 Ausbreitungsmöglichkeiten treten an der Platine auf, siehe Abbildung 1.

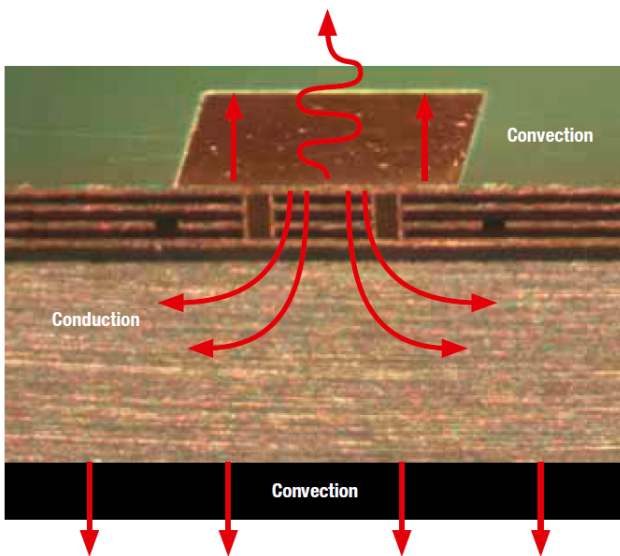


Abbildung 1: Wärmefluss auf einer Platine, [1]

1.2 Thermische Auslegung

Elektrische Komponenten haben einen Betriebstemperaturbereich. Bauteile werden vom Hersteller im Temperaturbereich getestet. Aus den Messdaten wird der zu erwartende Lebenszyklus ermittelt. Bei Überschreiten der Temperatur kann die Lebenszeit der Bauteile rapide abnehmen. Besonders gefährdet sind Elektrolyt Kondensatoren. Die maximale Temperatur beträgt meist 105°C. Bei Erhöhung der Betriebstemperatur um jeweils 10K

halbiert sich die Lebensdauer der Bauteile [2].

Um die Verluste und daraus entstehende Abwärme durch Selbstinduktion und elektrische Widerstände auf der Leiterbahn gering zu halten, wird die Leiterbahn abhängig von der Anwendung unterschiedlich ausgelegt.

Eine Versorgungsleitung benötigt eine größere Leiterbahnfläche als eine Messleitung, da die Versorgungsleitung einen höheren Strom führt. Der Strom geht quadratisch in die Leistungsformel ein, siehe Formel 1.

$$P_{\text{elektrisch}} = P_{\text{thermisch}} = I^2 \cdot R_{\text{Leiter}} \quad (1)$$

2 Thermisches Design

Abhängig von dem eingestellten Strom gibt es in der Industrie Vorgaben, wie breit Leiterbahnen sein sollen.

2.1 Aufbau einer Platine

Der Aufbau einer 2-lagigen Platine ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die mittlere Schicht der Platine besteht aus FR4, einem 1,5mm breiten Dielektrikum [5]. Die Leiterbahnenhöhe auf Ober- und Unterseite betragen 35µm [6].

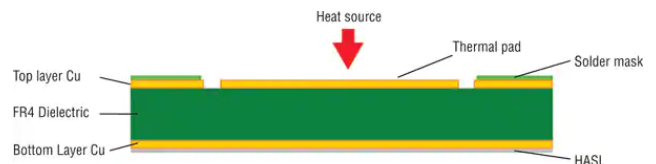


Abbildung 2: Querschnitt einer Platine [5]

Mittels Vias kann die Wärmeenergie einfacher durch die Platine fließen. Dieser Fall wird nicht untersucht.

2.2 Überprüfung des Vorgabewerts

Die Arbeit widmet sich der Bestimmung des Thermischen Widerstands und der Platinenerwärmung durch den ein-

gestellten Strom.

Für einen Strom von $I_{Strang} = 5A$ und einer maximalen Erwärmung von $10K$ ergibt sich nach dem Industriestandard eine Leiterbahnbreite von $b = 4mm$ [4].

Für die Arbeit wird ein Strom von $I_{Strang} = 5A$ und eine Leiterbahnbreite von $b = 4mm$ untersucht. Die Platine hat die Maße $15mm \times 15mm$. Die Abmaße der zu simulierende Platine sind in Abbildung 3 ersichtlich.

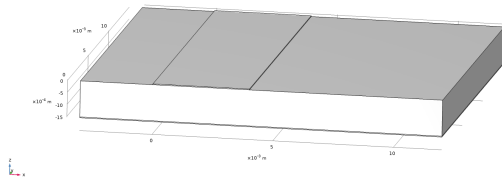


Abbildung 3: Geometrie der verwendeten Platine

2.3 Wärmestrom

Der Wärmestrom wird durch den elektrischen Strom der Leiterbahn und den Widerstand des Leiters bestimmt.

Die elektrische Leitfähigkeit von Kupfer beträgt $\rho_{Cu} = \frac{58.1 \cdot 10^6}{Sm^{-1}}$.

Die zu simulierende Leiterbahnlänge beträgt $l = 15mm$.

Die Querschnittsfläche der Leiterbahn beträgt:

$$A = b \cdot h = 4mm \cdot 35\mu m = 140m^{-9} \quad (2)$$

Der Widerstand der Leiterbahn beträgt:

$$R_{Leiter} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{l}{A} = 1,84 \cdot 10^{-3} \Omega \quad (3)$$

Der elektrische Schaltplan ist in Abbildung 4 ersichtlich.

Es stellt sich eine Spannung über dem Widerstand ein, vgl. Formel 4.

$$U_{Verlust} = I_{Strang} \cdot R_{Leiter} \quad (4)$$

Die elektrische Verlustleistung wird mit Formel 5 berechnet:

$$P_{elektrisch} = P_{Thermisch} = I^2 \cdot R_{Leiter} \quad (5)$$

Es wird $P_{Thermisch} = (5A)^2 \cdot 1,84 \cdot 10^{-3} \Omega = 46 \cdot 10^{-3} W$ in das System eingepreßt. Die Erwärmung wird mit Formel 6 berechnet.

$$\Delta T = P_{Thermisch} \cdot \Theta_{Junction,Ambient} \quad (6)$$

3 Händische Rechnung

Der thermische Widerstand $\Theta_{Junction,Case}$ wird mittels Formel 8 berechnet.

$$\Theta_{Junction,Ambient} = \frac{1}{h} \quad (7)$$

Der Wärme-Transfer-Koeffizient zwischen Platine und Umgebung $\Theta_{Junction,Ambient}$ wird mit $h = 10 \frac{W}{m^2 K}$ angenommen.

Die Oberseite und Unterseite der Platine betragen:

$$A = 2 \cdot 15mm \cdot 15mm.$$

$$\Theta_{Junction,Ambient} = \frac{\frac{1}{10 \frac{W}{m^2 K}}}{2 \cdot 15mm \cdot 15mm} = 222 \frac{K}{W} \quad (8)$$

Die Platine erwärmt sich nach der Formel um

$$\Delta T = 46 \cdot 10^{-3} W \cdot 222 \frac{K}{W} = 10.2K.$$

4 Elektrischer Schaltplan für den Wärmestrom

Um den Wert genauer zu bestimmen wird Ersatzschaltbild erstellt um Thermische Verläufe abzubilden. Es werden die thermischen Widerstände berechnet. Das Ersatzschaltbild wird ohne thermische Kapazitäten dargestellt, da uns der statische Zustand interessiert, nicht der transiente. Um das System noch von Hand zu simulieren, wird angenommen, dass der Wärmestrom nur nach oben und nach unten fließt. Der thermische Widerstand wird durch Formel 9 berechnet.

$$\Theta = \frac{h}{A \cdot \lambda} \quad (9)$$

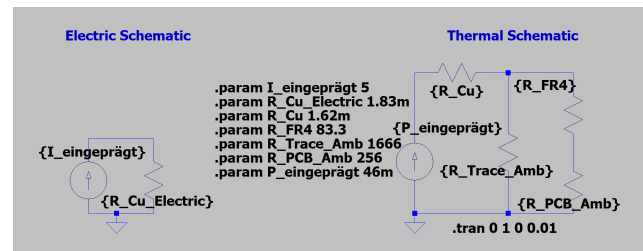


Abbildung 4: Ersatzschaltbild den elektrischen Stromkreis (links) und für die statische Temperatur (rechts)

Die Leistung in Abbildung 4 stellt den Strom dar. Die Spannung ist die Temperaturerhöhung zur Referenztemperatur. Die Platine erwärmt sich um knapp $\Delta T = 13K$. Die thermische Leitfähigkeit von Kupfer beträgt:

$$\lambda_{Cu} = 360 \frac{W}{mK} [1]$$

Für den spezifischen Fall beträgt der thermische Widerstand von der Leiterbahn:

$$\Theta_{Leiterbahn} = \frac{35\mu m}{4mm \cdot 15mm \cdot 360 \frac{W}{mK}} = 1,62 \cdot 10^{-3} \frac{K}{W}$$

Die thermische Leitfähigkeit von FR4 beträgt:

$$\lambda_{FR4} = 0,3 \frac{W}{mK} [1]$$

Für den spezifischen Fall beträgt der thermische Widerstand von dem Dielektrikum:

$$\Theta_{FR4} = \frac{1,5mm}{mm \cdot 15mm \cdot 0,3 \frac{W}{mK}} = 1,62 \cdot 10^{-3} \frac{K}{W}$$

Der thermische Widerstand zwischen Leiterbahn und Ambient be-

$$\text{trägt: } \Theta_{Leiterbahn,Ambient} = \frac{\frac{1}{10 \frac{W}{m^2 K}}}{2 \cdot 15mm \cdot 15mm - 4mm \cdot 15mm} = 256 \frac{K}{W}$$

Der thermische Widerstand zwischen Platine ohne Leiterbahn und Ambient beträgt:

$$\Theta_{PCB,Ambient} = \frac{\frac{1}{10 \frac{W}{m^2 K}}}{4mm \cdot 15mm} = 1666 \frac{K}{W}$$

5 Simulation

Ein Strom wird an einem Ende eingepreßt. Die Masse ist am anderen Ende. Die Geometrie ist in Abbildung 3 ersichtlich. Die Vernetzung ist in Abbildung 5. Da die breiten sich deutlich voneinander unterscheiden, konnte nur eine endliche Fläche für die Platine betrachtet werden. Bei zu groß gewählter Fläche tritt ein Fehler auf: Einige Kanten sind zu kurz, einige Flächen sind zu schmaal beziehungsweise. Auch konnte nur eine endliche Fläche untersucht werden, da sonst die Rechenvorgänge zu lange zum simulieren dauern.

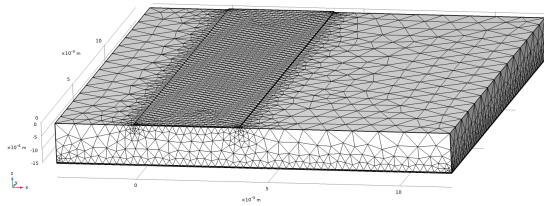


Abbildung 5: Vernetzung des Modells

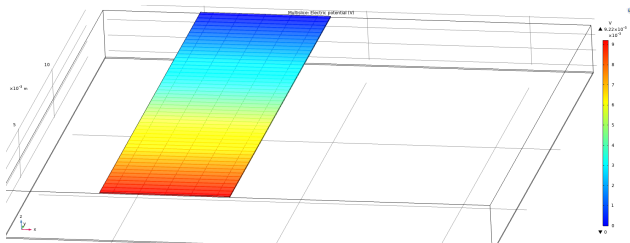


Abbildung 6: Spannungsabfall über der Leiterbahn

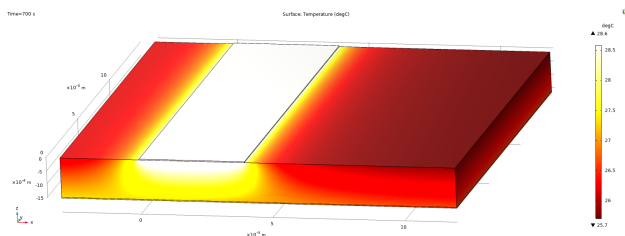


Abbildung 7: Thermische Endzustände

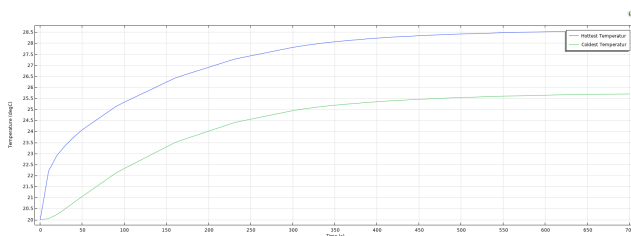


Abbildung 8: Änderung der Temperatur mit der Zeit

Die Temperatur erhöht sich in der Simulation um 8,6K. Das unterschreitet die händischen Berechnungen. Comsol verwendet andere Werte für die thermische Leitfähigkeiten. Die Formeln, die man händischen löst sollen den Wert überschätzen, damit noch Sicherheit enthalten ist. Die händischen Formeln nehmen eine doppelt so große Fläche an auf der die Wärme abgegeben wird.

Es wird der statische Endwert der Temperatur nach 700s erreicht. Danach ist die abgegebene Leistung = der eingepreßten Leistung

Literatur

- [1] Wuerth Elektronik eiSos [online], [Zugriff am 22.12.2021] Verfüegbar unter: https://www.wuerthonline.com/web/en/index.php/show/media/04_leiterplatte/2011_2/relaunch/produkte-5/heatsink/neu_2011/TecReport012011EN-S.pdf
- [2] TDK-Lambda Germany GmbH [online], [Zugriff am 22.12.2021] Verfüegbar unter: <https://www.emea.lambda.tdk.com/de/KB/Was-Sie-über-die-Lebensdauer-von-Stromversorgungen-wissen-sollten.pdf> Aachen, TDK-Lambda Germany GmbH
- [3] Texas Instruments, 01.04.2013, Zugriff am 22.12.2021] Verfüegbar unter: <https://www.ti.com/lit/pdf/snva419?keyMatch=THERMAL%20DESIGN%20BY%20INSIGHT%20NOT%20HINDSIGHT>
- [4] IPC [online], [Zugriff am 22.12.2021] Verfüegbar unter <https://www.ipc.org/TOC/IPC-2221.pdf>, United States, IPC
- [5] Cree, Inc. Optimizing PCB Thermal Performance for Cree XLamp LEDs 22.12.2010, [Zugriff am 22.12.2021] Verfüegbar unter <https://www.digikey.de/en/articles/optimizing-pcb-thermal-performance-for-cree-xlamp-leds>
- [6] Aisler B. V. [online], [Zugriff am 22.12.2021] Verfüegbar unter <https://aisler.net/help/design-rules-and-specifications/specifications>