

TRM Case Study No. 4

Schnellere Elektrische und Thermische Simulation am Beispiel einer Heizfolie

J. Adam, ADAM-Research, Leimen, Germany

INHALT

Einleitung	1
Datenmaterial	1
Modell und Ergebnisse	2
Ergebnis: Temperatur, Spannung, Strom	2
Vergleich der Berechnungsmethoden.....	3
Variation einiger Aufbauparameter	4
Nachweise	4

EINLEITUNG

Lange gewundene oder spiralförmige Leiterbahnen sind für die *iterative* Stromberechnung in TRM immer eine Herausforderung gewesen. Entweder war die Standardmethode nach vielen Iterationen divergiert oder die alternative start-restart Etappenmethode hatte sehr lange gerechnet, dann aber schon das richtige Ergebnis erzeugt.

In TRM 2.3.12 (Juli 2019) wird alternativ eine *nicht-iterative* („direkte“) Methode angeboten. Diese Methode braucht etwas mehr Speicherplatz, liefert aber das Ergebnis in kurzer Zeit.

In dieser Anwendungsstudie berechnen wir mit beiden Methoden Stromheizung und Temperatur für eine mäandrierende Leiterbahn auf unterschiedlichen Substrataufbauten.

Verwendet werden solche Leiterbahnformen um eine Flächenheizung zu erzeugen, in Spiralförmig für elektromagnetische Übertrager.

DATENMATERIAL

Im Internet [1] finden wir das .png Bild von Abb 1. Konstruktionsdetails sind nicht bekannt.

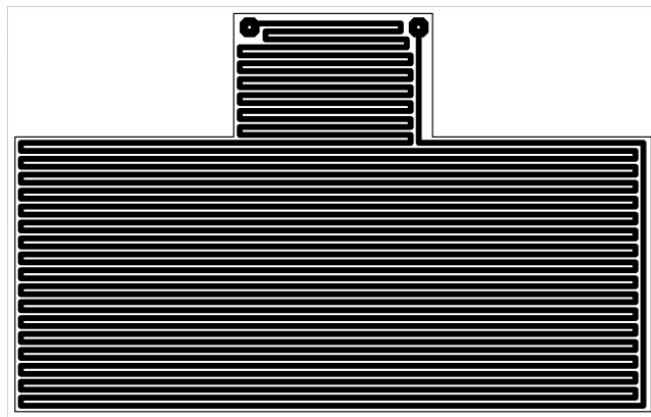


Figure 1: Bild der Heizschleife [1]. Bildgröße ist 640 x 404 Pixel.

Weil die Qualität dieser Vorlage wg. des anti-aliasing im png nur befriedigend ist, machen wir daraus für die Berechnung ein doppelt so großes S/W monochrom-bitmap mit 1280 x 808 Pixel. Wenn man dann eine Auflösung von 0.1 mm pro Pixel annimmt, ist dieses Layout 128.0 mm x 80.8 mm groß. Einige der 49 Querleitungen sind nach der Umwandlung png → bmp leider etwas schmaler als die anderen, was man im Stromdichteplot gut sieht. Aber das beeinflusst den Vergleich der Methoden nicht.

MODELL UND ERGEBNISSE

Das TRM Modell sei dreischichtig: Deckschicht, Kupferschleife und Substratträger. Im Grundmodell sei das Substrat eine FR4 Platte mit Wärmeleitfähigkeit $\lambda=0.3$ W/Km.

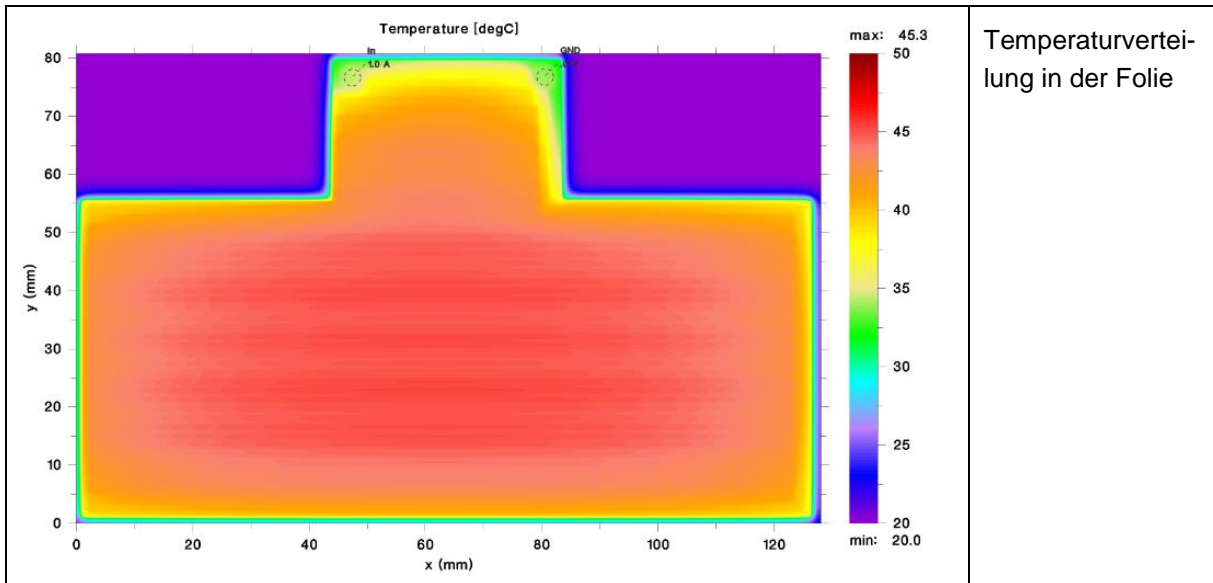
Name	Type	File	View	FR4 white?	Thick (mu)	Conductor	Dielectric
Cover	pre		View	<input checked="" type="checkbox"/>	500		k=0.2
Loop	bmp	Loop.bmp	View	<input checked="" type="checkbox"/>	20	CuSTRM	k=0.2
Substrate	pre		View	<input checked="" type="checkbox"/>	1000		FR4STRM

Figure 2: Schichtaufbau des Grundmodells: Folie auf Träger.

Am oberen Ende speise ein Pad $I=1$ A ein, das andere sei GND. Gekühlt werde über freie Konvektion bei 20°C Umgebungstemperatur.

ERGEBNIS: TEMPERATUR, SPANNUNG, STROM

Verlustleistung: 3.97 W
 Spannungsabfall: 3.97 V
 T_{max} 45.8 °C in der Schleife



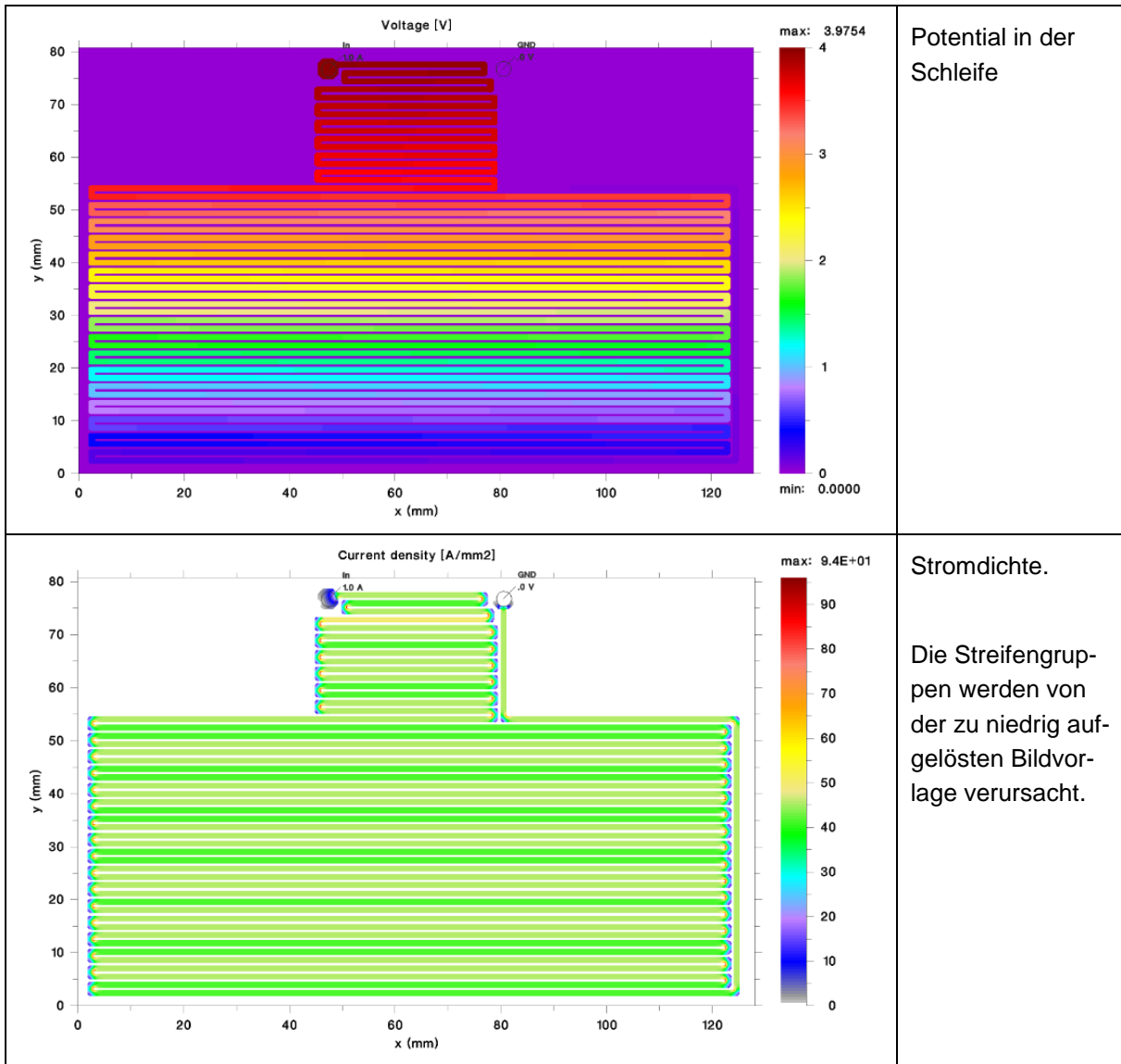


Figure 3: Grundmodell auf FR4 Substrat. x-y-Auflösung: 0.1 mm.

Abschätzung zur Kontrolle: Die Länge der Stromschleife ist in etwa $L \approx 39 \cdot 120 \text{ mm} \approx 4.7 \text{ m}$. Der Querschnitt des Leiters ist $11 \text{ pixel} \cdot 20 \mu\text{m} = 0.022 \text{ mm}^2$. Daraus ergibt sich geschätzt ein Widerstand von

$$R \approx \frac{4.7 \text{ m}}{0.022 \text{ mm}^2} * 0.0175 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \approx 3.7 \Omega$$

Für $I=1 \text{ A}$ ergeben sich daraus $\Delta U = R \cdot I \approx 3.7 \text{ V}$ und $P = R \cdot I^2 \approx 3.7 \text{ W}$.

VERGLEICH DER BERECHNUNGSMETHODEN

Die Ergebnisse der *iterativen* und der *direkten* Methode sind vergleichbar, wenn man berücksichtigt, dass eine iterative Methode immer ein Abbruchkriterium braucht. Hier muss ein Genauigkeitsniveau von 99.9% benutzt worden. Dann erst gibt es Übereinstimmung. Die direkte Methode ist quasi immer auf Maschinengenauigkeit. Die iterative Methode ist interessanterweise nicht mehr in der Lage die 0.1 mm Auflösung zu meistern.

Table 1: Vergleich von Berechnungsressourcen und Ergebnissen.

	Direkt (0.2 mm)	Iterativ (0.2 mm) 99%	Iterativ (0.2 mm) 99.9%	Direkt (0.1 mm)
CPU/ RAM Strom	1 sec / 1 GB	300 sec / 0.5 GB	473 sec / 0.5 GB	5 sec / 2GB
CPU/RAM Temperatur	10 sec / 1.8 GB	13 sec / 0.5 GB	20 sec / 0.5 GB	60 sec / 8 GB
Verlustleistung	4.2 W	4.0 W	4.2 W	4.0 W
Spannungsabfall	4.2 V	4.1 V	4.2 V	4.0 V
Temperatur (max.)	47.4 °C	46.0 °C	47.3 °C	45.8 °C

Bei 0.2 mm Auflösung stimmen die direkte Methode und die 99.9% Iteration überein. Allerdings ist die Spannungsberechnung der direkten Methode *500 mal schneller*. Die Iteration der Temperatur ist schneller als die des Stroms, weil der Wärmestrom nicht durch eine lange Schlange gezwungen wird sondern das ganze Leiterplattenvolumen zur Verfügung hat. Außerdem hat er einen kurzen vertikalen Weg zur Senke=Umgebungsluft.

Die iterative Methode macht demnach bei einer Parameterstudie keine wirkliche Freude. Deshalb verwenden wir im Folgenden die schnellere direkte Methode.

VARIATION EINIGER AUFBAUPARAMETER

Die Heizschlange wird nun auf unterschiedlichen Substraten aufgebracht. Die Parameter und das Ergebnis sind in Tabelle 2 gelistet.

Table 2: Variation des Substratmaterials

	1 mm FR4 ($\lambda=0.3$)	1 mm Glas ($\lambda=1$)	1 mm Keramik ($\lambda=20$)	500 mm Flex ($\lambda=0.2$)
Tmax	45.8 °C	44.9 °C	43.5 °C	45.8 °C

Warum macht sich die bessere Wärmeleitfähigkeit von Keramik nicht stärker bemerkbar?

Weil die Wärmeleitung hier nichts „zu tun“ hat. Die Wärme ist nämlich auf Grund der geometrischen Form der Wärmequelle bereits bestmöglich gespreizt. Mehr Wärmespreizung durch das Material geht nicht. Man würde einen Effekt nur bei singulären oder weit auseinander liegenden Stromleitungen sehen.

NACHWEISE

[1] Michael B.: „Platine als Flächenheizung“. <https://www.mikrocontroller.net/topic/180630> (Abruf am 4.7.2019)