

GEKOPPELTE ELEKTRO-THERMISCHE SIMULATION: METHODIK ZUR ENTWICKLUNG EINES BIDIREKTIONALEN ONBOARD CHARGERS MIT HOHER LEISTUNGSDICHTE

Thomas LANGBAUER¹, Christian MENTIN², Alexander CONNAUGHTON³, Franz VOLLMAIER⁴, Michael RINDLER⁵, Rudolf KRALL⁶, Klaus KRISCHAN⁷

Inhalt

Im Energienetz der Zukunft werden erneuerbare Energien im hohen Maße Verteil- und Übertragungsnetze an ihre Belastungsgrenzen bringen. Elektromobilität kann daher ein wichtiger Bestandteil einer erfolgreichen Energiewende werden, da durch neue Batterie- und Ladetechnologien wichtige Netzstabilisierungsfunktionen realisiert werden können. An diese neuen Technologien werden jedoch auch hohe Ansprüche gestellt. Neue Onboard Ladeeinrichtungen sollen auf geringstem Bauraum minimalste Verluste realisieren und gleichzeitig hohe Ladeleistungen sowie bidirektionalen Energietransfer bereitstellen, um die gewünschte Stabilisierungsfunktion für Stromnetze zu bieten.

Um die zukünftigen Anforderungen realisieren zu können, werden in Zukunft neue Wide-Bandgap Halbleiter eingesetzt. Zusätzlich interagieren passive- sowie aktive Bauteile auf kleinstem Bauraum immer stärker. Um diese elektrisch thermischen Interaktionen bereits in der Simulation berücksichtigen zu können, müssen diese elektrisch thermisch gekoppelt werden.

Anhand eines einfachen Boost Converters gibt dieser Beitrag einen Überblick über die Methodik einer Simulationsumgebung aus mehreren kombinierten Tools. Diese transient elektrisch und 3D thermisch gekoppelte Simulation wird für den Entwurf eines zu entwickelnden Onboard Chargers verwendet. In [1] sind bereits wesentliche Methoden der vorgeschlagenen Co-Simulationsumgebung erklärt. Dieser Beitrag soll anhand dieses einfachen Beispiels die Wichtigkeit der folgenden Punkte in der Entwurfsmethodik hervorheben:

- Update der elektrischen Schaltungsparameter in Abhängigkeit der aktuellen Bauteiltemperaturen, um so genaue Werte für deren Verlustleistungen zu erhalten
- Adaptive Schrittweiten in der Simulationsumgebung, um auch für 3D transiente Simulationen schnelle Simulationszeiten zu erreichen

Die Wichtigkeit, vor allem des ersten Punktes, wird anhand eines Boost Converters veranschaulicht. In Abbildung 1 ist die Temperaturabhängigkeit für die Verlustleistung der verwendeten Diode und des MOSFETs sowie die Temperaturabhängigkeit der CeraLink™ Ausgangskapazitäten dargestellt. In der 3D Simulation werden durch Entwärmung aktiver Komponenten in der Platine, elektrische Eigenschaften benachbarter Bauteile stark beeinflusst. Nur die Berücksichtigung dieser starken Abhängigkeiten führt zu genauen Simulationsergebnissen. Der zweite Punkt stellt sicher, auch bei typischer Workstation Rechenleistung Simulationsergebnisse in vertretbarer Zeit (wenigen Stunden) zu erhalten.

¹ Silicon Austria Labs GmbH, Inffeldgasse 25F, 8010 Graz, +43 664 8157869, thomas.langbauer@silicon-austria.com, www.silicon-austria-labs.com

² Silicon Austria Labs GmbH, Europastraße 12, 9524 Villach, +43 664 3547306, christian.mentin@silicon-austria.com, www.silicon-austria-labs.com

³ Silicon Austria Labs GmbH, Inffeldgasse 25F, 8010 Graz, +43 664 8251176, alexander.connaughton@silicon-austria.com, www.silicon-austria-labs.com

⁴ Silicon Austria Labs GmbH, Inffeldgasse 25F, 8010 Graz, +43 664 8529500, franz.vollmaier@silicon-austria.com, www.silicon-austria-labs.com

⁵ Silicon Austria Labs GmbH, Europastraße 12, 9524 Villach, michael.rindler@silicon-austria.com, www.silicon-austria-labs.com

⁶ Silicon Austria Labs GmbH, Europastraße 12, 9524 Villach, +43 664 88200174, rudolf.krall@silicon-austria.com, www.silicon-austria-labs.com

⁷ Institut für elektrische Antriebstechnik und Maschinen, Inffeldgasse 18/I, 8010 Graz, +43 316 8737745, klaus.krischan@tugraz.at, www.tugraz.at/institute/eam

Methodik

Die vorgeschlagene Simulationsumgebung besteht aus dem Schaltungssimulator SALamanderCircuits, dem Tool für die Simulation der Regelung implementiert in Matlab/Simulink™, dem Programm für die Kopplung der verschiedenen Tools Model.CONNECT™ und die thermische Simulation mit AVL FIRE™ M. Die Verknüpfung dieser Programme bildet die entwickelte SAL Co-Simulationsumgebung. Wird wie vorgeschlagen die Schrittweite für die 3D transiente thermische Simulation adaptiv verändert, so kann die Simulation deutlich beschleunigt werden. Um gleichzeitig eine schnelle Schaltungssimulation zu garantieren, werden die Bauteilverluste über Look-up Tabellen bestimmt.

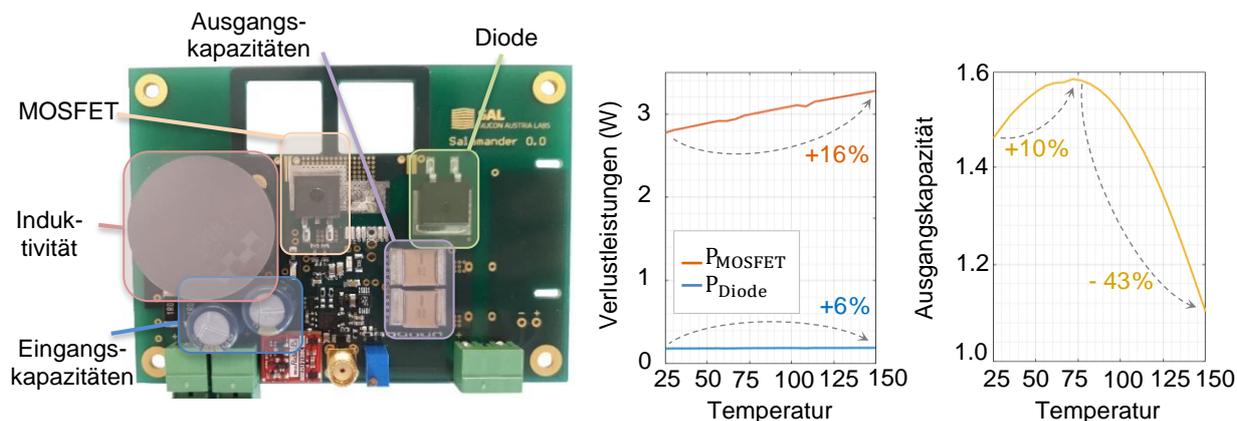


Abbildung 1: (links) Aufbau eines Boost Converters mit Kennzeichnung der wesentlichen Bauelemente; (rechts) Darstellung der Temperaturabhängigkeit der Verlustleistungen des MOSFETs und der Diode sowie der Temperaturabhängigkeit eines Ceralink™ Kondensators

Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Simulationsumgebung sollen hier anhand einer Gegenüberstellung zwischen Simulation und Labormessung mit Thermokamera ersichtlich werden. In Abbildung 2 ist die Übereinstimmung des Simulationsergebnisses erkennbar. Beim Vergleich der MOSFET Oberflächentemperaturen kann man eine sehr geringe Abweichung erkennen. Für eine Co-Simulationszeit von 60 s wurden 45 min Rechenzeit an einem handelsüblichen Notebook benötigt.

Mithilfe dieser elektrisch-thermisch gekoppelten Simulation kann man bereits im Designprozess realitätsnähere Ergebnisse erzielen und so einen eventuellen teuren und aufwendigen Re-Design Prozess vermeiden.

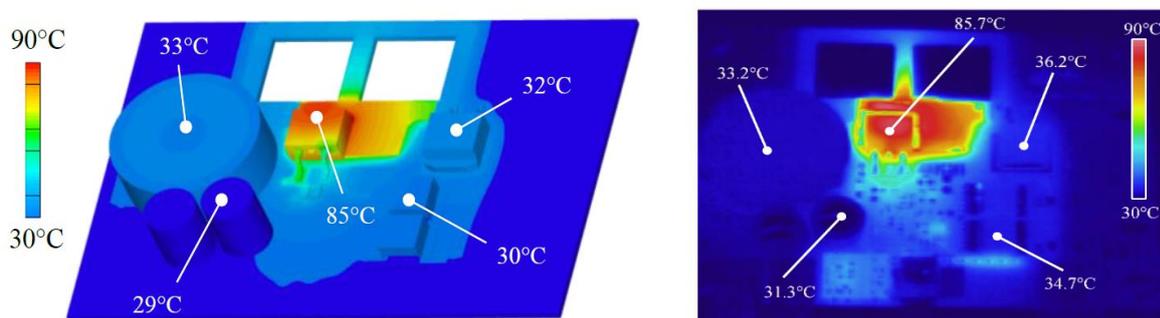


Abbildung 2: (links) Simulationsergebnisse für einen Boost Converter; (rechts) Verifikation anhand einer Labormessung mittels Thermokamera

Referenzen

- [1] T. Langbauer, C. Mentin, M. Rindler, F. Vollmaier, A. Connaughton, K. Krischan, „Closing the Loop between Circuit and Thermal Simulation: A System Level Co-Simulation for Loss Related Electro-Thermal Interactions“, 25th International Workshop Thermal Investigations of ICs and Systems, THERMINIC 2019, Lecco, Italy, 25 – 27. September 2019