

Virtuelles Prototyping und Wireless-Spannungsmessung

Wie die moderne Entwicklung eines optimierten leistungselektronischen Systems aussieht, zeigt das Autorenteam in diesem Beitrag mittels neuer Simulations- und Messwerkzeuge.

JONAS MÜHLEHALER, ANDREAS MÜSING, YANICK LOBSIGER, DOMINIK BORTIS *

Die Forschung am Power Electronic Systems Laboratory (PES) der ETH Zürich befasst sich mit der ganzheitlichen Analyse, Modellierung, Optimierung und Realisierung leistungselektronischer Systeme. In den letzten Jahren wurden im Rahmen der Forschungen zahlreiche neue Schaltungstopologien, Modulations- und Regelverfahren, Optimierungs- und Model-

lierungsansätze sowie Messmethoden erarbeitet. Um diese Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen bzw. den Wissens- und Technologietransfer in die Gesellschaft und Wirtschaft zu fördern, wurden durch PES/ETH mehrere Spin-off-Firmen gegründet, unter anderem die Enertronics GmbH und die Gecko-Simulations AG.

Ziel der Gecko-Simulations AG ist die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden in einfach zu bedienende Softwarewerkzeuge, die dem Anwender ein schnelles und detailliertes Design von leistungselektronischen Systemen ermöglichen. Die Enertronics GmbH bietet Beratungs-

dienstleistungen und Lösungen im Bereich Hardwareumsetzung und fortschrittlicher Messtechnik an.

Im Folgenden wird am Beispiel der Gecko-Simulations AG gezeigt, wie die Simulation und Modellierung von leistungselektronischen Systemen zeitgemäss durchgeführt werden kann. Danach wird ein neuer drahtloser Tastkopf (Wireless Voltage Probe) der Enertronics GmbH vorgestellt, welcher ein hochgenaues potenzialfreies Messen auch kleiner Spannungen auf hohen, steilflankige Änderungen aufweisenden Referenzpotentialen ermöglicht.

Die Simulation in der Leistungselektronik

Schon vor der Realisierung eines ersten Prototyps werden üblicherweise CAD-Zeichnungen erstellt sowie die prinzipielle Funktionsweise einer Schaltung im Simulator getestet und weiter entwickelt. Dies wird als Virtual Prototyping bezeichnet. Der Entwurf eines optimierten Designs benötigt dabei eine ganzheitliche Systembetrachtung, da die Optimierung einzelner Komponenten nicht ausreichend ist bzw. nicht auf ein Gesamtoptimum führt. Um beispielsweise für ein leistungselektronisches System eine optimale Effizienz zu erreichen, sind die Schaltungstopologie, Leistungshalbleiter, EMV-Filter, Induktivitäten, Kühlsystem und Regelung und als Systemkomponenten deren Kopplungen untereinander zu betrachten.

Als Basis wurde hierfür am PES der Systemsimulator GeckoCIRCUITS entwickelt, der als Open-Source-Programm kostenlos zugänglich ist (www.gecko-simulations.com) und von der Gecko-Simulations AG weiterentwickelt wird. In der Praxis hat sich gezeigt, dass herkömmliche, auf SPICE basierte Schaltungssimulatoren, für eine Anwendung in der Leistungselektronik weniger geeignet sind: SPICE ist für transiente Schaltvorgänge zu detailliert und zu rechenintensiv, oder es setzt umfangreiches Experten-

* Jonas Mühlethaler und Andreas Müsing
... sind Gründer der Gecko-Simulations AG, Zürich und
Yanick Lobsiger und Dominik Bortis
... sind Gründer der Enertronics GmbH, Zürich.

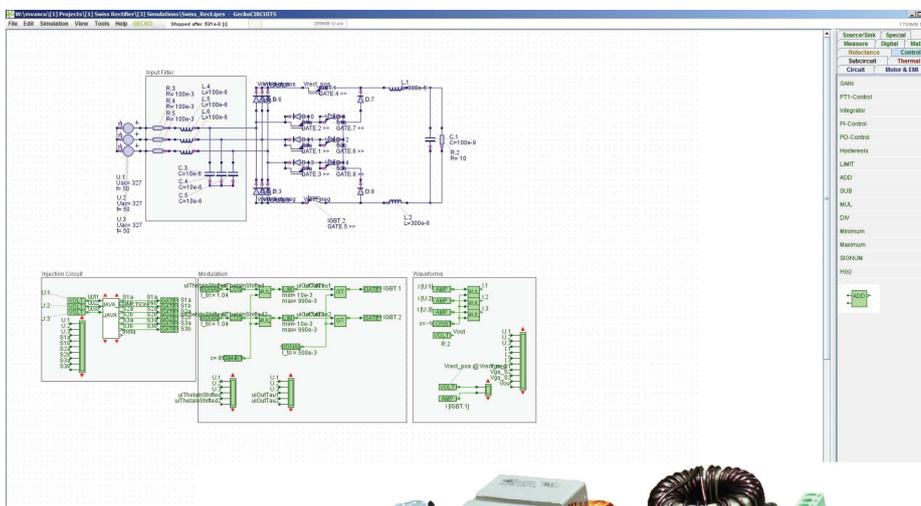


Bild 1: Realisierung und Gecko-CIRCUITS-Simulationsmodell eines SWISS-Rectifiers

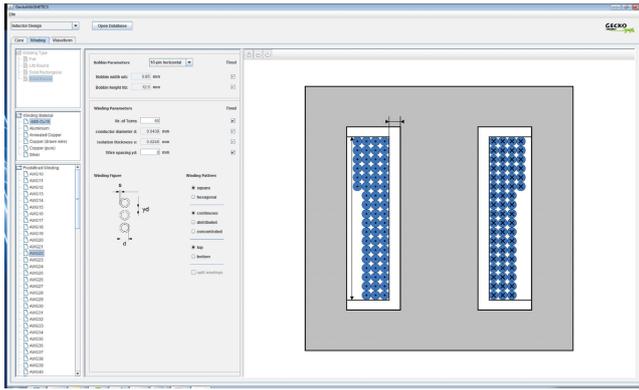


Bild 2: Die Benutzeroberfläche von GeckoMAGNETICS

wissen voraus, um schnell und zuverlässig die gewünschten Ergebnisse zu generieren.

Neben der eigentlichen Schaltungssimulation ermöglicht GeckoCIRCUITS eine schnelle und gekoppelte Simulation von Regelsystemen und thermischen Modellen. Bild 1 zeigt das Simulationsmodell eines SWISS-Rectifier zusammen mit dem entsprechenden Hardware-Prototypen.

Der Open-Source-Ansatz von GeckoCIRCUITS ermöglicht zudem die modulare Erweiterung mit Werkzeugen, die vom Entwickler während des Design-Prozesses benötigt werden. Als Beispiel seien hier Softwarepakete zur Optimierung von Kühlkörpern, EMV-Filtern oder magnetischen Komponenten genannt. Letztere können über das Simulationswerkzeug GeckoMAGNETICS entworfen und beispielsweise auf optimale Effizienz hin ausgelegt werden, wie es im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

Ein Design Tool für magnetische Komponenten

Am PES wurden im Rahmen einer Dissertation neue Ansätze zur Modellierung von

Induktivitäten und deren thermischen Verlusten entwickelt. Unter anderem wurde ein Ansatz für die Mitberücksichtigung der DC-Vormagnetisierung im Arbeitspunkt, eine neue Formel für die Einbeziehung von Relaxationseffekten und ein Verfahren zur Bestimmung von Luftspaltreluktanzen erarbeitet. Zum Beispiel können die Kernverluste unter Einfluss einer DC-Vormagnetisierung um einen Faktor 2 bis 3 zunehmen; entsprechend ist deren Berücksichtigung entscheidend für eine genaue Kernverlust-Modellierung. Diese Erkenntnisse fließen nun in das Tool GeckoMAGNETICS der Gecko-Simulationen AG ein.

Mittels GeckoMAGNETICS lassen sich induktive Komponenten folgendermaßen entwickeln: Der Benutzer spezifiziert den gewünschten Induktivitätswert, die Kerengeometrie (sie ist aus einer Datenbank wählbar), die Wicklungsgeometrie, und die mittels GeckoCIRCUITS simulierten Strom- und Spannungsverläufe. GeckoMAGNETICS ist mit diesen Eingangsparametern in der Lage, ein optimales Design in Bezug auf Verluste oder Bauvolumen zu finden. Bild 2 zeigt die Be-



Bild 3: Die Wireless Voltage Probe von Enertronics mit konventionellem passivem Tastkopf zur Abschwächung des Eingangssignals

austerlitz electronic gmbh

kompetenz in technik

FLÜSSIGKEITSKÜHLUNG

kundenspezifische Lösungen

hohe Kühlleistung durch eingearbeitete Kupfer- oder Edelstahl Innenrohre



FEINVERRIPPTHE HOCHLEISTUNGSKÜHLKÖRPER

variable Breiten durch modernste Reibschweißtechnik



Wir stellen aus zur PCIM Halle 7 - Stand 257



HOCHEFFIZIENTE WÄRMELEITPASTE

siliconhaltig · siliconfrei

lieferbar in verschiedenen Gebinden

austerlitz electronic gmbh

Ludwig-Feuerbach-Straße 38
D-90489 Nürnberg

Telefon: +49 (0)911/5 97 47-0
Telefax: +49 (0)911/5 97 47-89
E-Mail: kuehltec@austerlitz-electronic.de
Internet: www.austerlitz-electronic.de

Bild 4: Messung der Gate-Emitter-Spannung (V_{GE}) beim Einschaltvorgang eines High-Side-IGBTs (auf transientem Bezugspotential V_{CM})

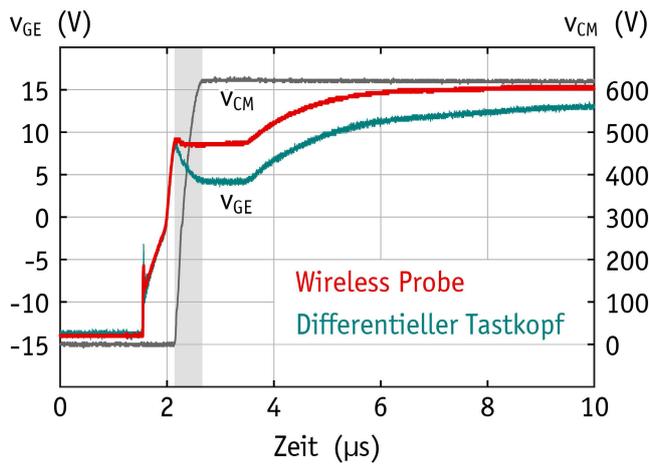
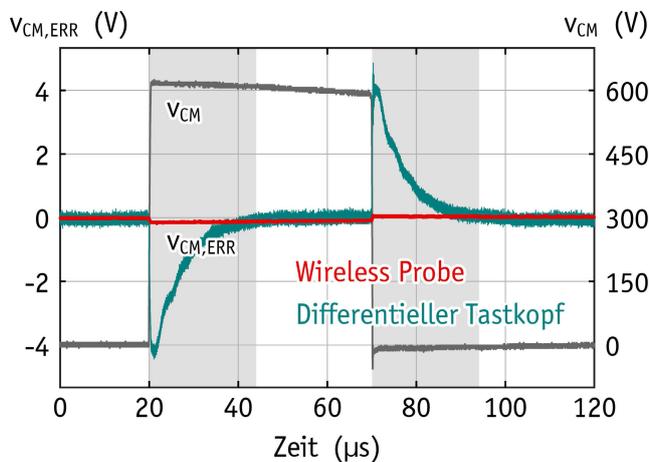


Bild 5: Messung der unerwünscht auftretenden Gleichtaktstörungen ($V_{CM,ERR}$) bei kurzgeschlossenem Messeingang auf transientem Bezugspotential (V_{CM})



schließlich die Messdaten visualisiert werden und für weitere Berechnungen bereit stehen.

Im Folgenden werden die Messergebnisse der Wireless Probe mit der Messung eines differentiellen Tastkopfs verglichen. Dazu wurde in Bild 4 das Gate-Emitter-Ansteuersignal (V_{GE}) eines IGBTs in einem 2-Level-Umrichter gemessen. Ersichtlich ist, dass während der Transienten der Gleichtaktspannung (V_{CM}) das Signal des differentiellen Tastkopfs erheblich gestört wird, während das mit der Wireless Probe gemessene Signal ein wie erwartet flaches Miller-Plateau zeigt.

Zur Veranschaulichung der Gleichtaktunterdrückung wurde zusätzlich in Bild 5 eine Messung mit kurzgeschlossenem Messeingang auf transientem Bezugspotential durchgeführt. Deutlich zu sehen ist die wesentlich geringere Sensitivität der Wireless Probe bezüglich Gleichtaktspannungen im Vergleich zum differentiellen Tastkopf.

Mit einer Abtastrate von 400 MS/s können Signale bis zu einer Analogbandbreite von 100 MHz sinnvoll erfasst werden. Die kompakten äußeren Abmessungen von 12 cm x 7,4 cm x 3,3 cm und das geringe Gewicht von 280 Gramm erlauben eine flexible Platzierung im Messaufbau, und der leistungsfähige Li-Ion-Akku ermöglicht eine Betriebsdauer von mindestens acht Stunden.

Vereinigung von Simulation und Messung

Um schließlich den Design- und Realisierungsprozess leistungselektronischer Systeme so effizient wie möglich zu gestalten, ist die Schnittstelle der Wireless Probe am PC mit dem Schaltungssimulator GeckoCIRCUITS koppelbar, d.h. Simulation und Messung lassen sich vereinen. Dies ermöglicht eine zielgerichtete Analyse und Fehlersuche sowohl bei der Hardware als auch der Modellierung mittels direktem Vergleich von Mess- und Simulationsdaten.

Auf der Messe PCIM Europe in Nürnberg (14. bis 16.5.2013) werden GeckoMAGNETICS und die Wireless Voltage Probe am Gemeinschaftsstand des European Center für Power Electronics (ECPE) erstmals einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt.

Über die InfoClick-Nummer 3913850 auf der Internet-Seite www.elektronikpraxis.de finden Sie weiterführende Links zum System-simulator GeckoCIRCUITS und erfahren mehr zu der Forschung an der ETH Zürich und Details zu Produkten und Dienstleistungen der Enertronics GmbH. // KU

Enertronics GmbH & Gecko-Simulations AG
+41(0)44 632 65 76

nutzeroberfläche der Software GeckoMAGNETICS.

Wireless Voltage Probe – die drahtlose Spannungsmessung

Neben der Modellierung und Optimierung ist die experimentelle Verifikation ein Kernelement bei der Entwicklung leistungselektronischer Systeme. Dabei werden in gewissen Anwendungen Messsysteme mit hoher Isolationsfestigkeit (mehrere 10 kV) und hoher Immunität gegenüber Änderungen der Gleichtaktspannung (mehrere kV/µs) benötigt. Dies ist besonders relevant für Multilevel-Umrichter in Mittelspannungsanwendungen, z.B. für Windenergieerzeugung oder Traktion. Ebenso notwendig ist ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis zur genauen Erfassung von kleinen Signalen im Volt-Bereich, welche sich auf transientem Potenzial im Kilovolt-Bereich befinden.

Heute erhältliche (differentielle) Tastköpfe weisen eine begrenzte Isolationsfestigkeit von lediglich einigen kV auf. Zudem besitzen sie aufgrund der hohen Teilverhältnisse

limitierte Rauschabstände und limitierte Gleichtaktunterdrückungen bei hohen Frequenzanteilen.

Die aus dem PES hervorgegangene Spin-off-Firma Enertronics GmbH hat sich dieses Messproblems angenommen und bietet mit der Wireless Voltage Probe (einer drahtlosen, potenzialfreien Spannungssonde, Bild 3) eine leistungsfähige und sichere Lösung zur Messung auf hohem Referenzpotential. Diese Sonde weist aufgrund autonomer Energieversorgung mittels eines Akkus und der drahtlosen Kommunikationsschnittstelle keine intrinsische Limitierung bezüglich der Isolationsspannung gegenüber Erdpotenzial auf. Des Weiteren erfolgt die Messung nicht differentiell, weshalb die Sonde eine äußerst hohe Gleichtaktunterdrückung und einen hohen Rauschabstand bietet.

Ein simultaner Einsatz mehrerer drahtloser Sonden ist ebenfalls möglich, um so mehrere Signale auf beliebigen Referenzpotentialen zeitsynchron zu erfassen! Bedient und konfiguriert werden die Sonden am PC analog einem handelsüblichen Oszilloskop, wo