

# Wenn der Strom auf dem Board andere Wege geht

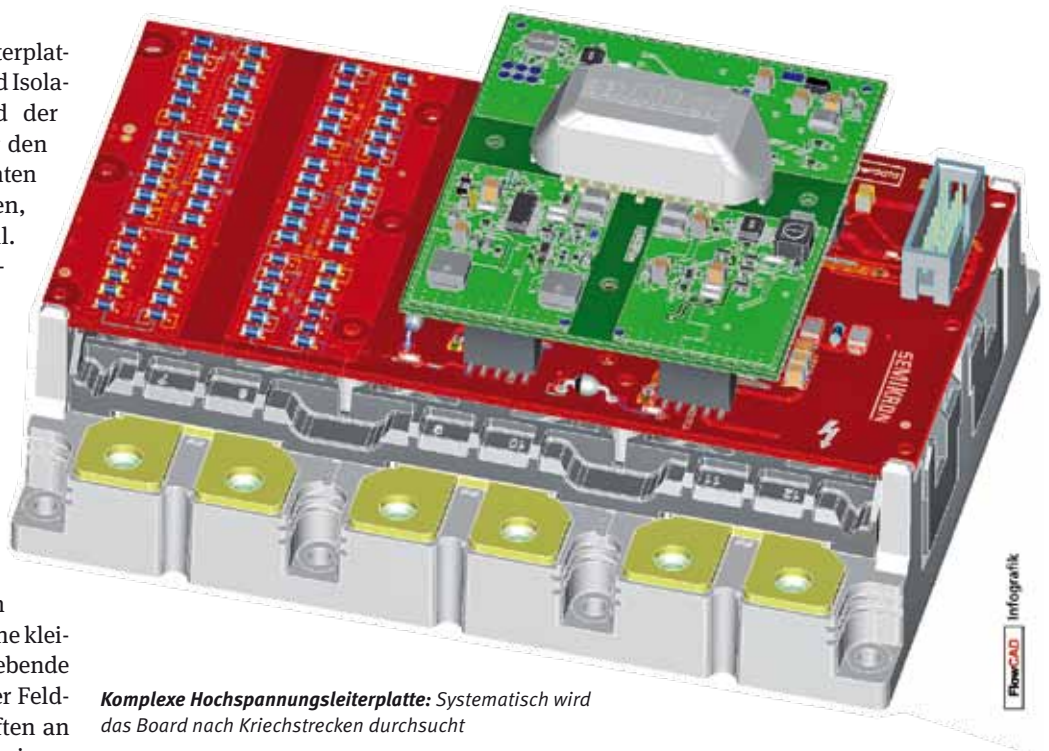
*Kriechströme sind ein ernstes Problem bei Hochspannungsanwendungen in der Leistungselektronik. Ein Software-Tool zur Kriechstreckenanalyse zeigt alle Leckströme in der 3-D-Ansicht.*

DIRK MÜLLER \*, PETER MAUER \*\*

Allgemein bekannt ist, dass Leiterplatten aus leitendem Material und Isolationsmaterial bestehen und der Strom auf Leiterplatten nur entlang den dafür vorgesehenen Leitungselementen wie Anschlussbeinen, Leiterbahnen, Kupferflächen und Vias fließen soll. Jedoch gibt es in der realen physikalischen Welt auch Ausnahmen, die vom Layouter zu berücksichtigen sind.

Bei höheren Spannungen kann es zu Teilentladungen kommen, bei denen durch das Isolationsmaterial bzw. durch die Luft ein Strom fließt. Entladungen treten dort auf, wo Inhomogenitäten des Mediums unter starkem Feldeinfluss liegen, beispielsweise Gasbläschen im Trägermaterial bzw. Verschmutzungen in der Luft. Diese Störstellen besitzen eine kleinere Dielektrizitätszahl als das umgebende Material, wodurch eine Erhöhung der Feldstärke eintritt. Die Isoliereigenschaften an der Störstelle sind durch die örtlich geringere Durchschlagsfestigkeit gestört, was zu Teilentladungen führt. Für Prepreg und FR4 als Isolationsmaterial wird eine Durchschlagsfestigkeit im Datenblatt angegeben, somit ist für die Isolationsschichten ein Wert vorgegeben und braucht später in den Designdaten nicht extra kontrolliert zu werden.

Anders verhält es sich aber mit den sogenannten Kriechströmen. Ein Kriechstrom ist ein Leckstrom, der an der Oberfläche eines



**Komplexe Hochspannungsleiterplatte:** Systematisch wird das Board nach Kriechstrecken durchsucht

Isolierstoffes entlang fließt. Während die inneren Isolationseigenschaften eines Isolierstoffes durch dessen spezifischen elektrischen Widerstand bestimmt werden, kann die Stromleitung an dessen Oberfläche wesentlich davon abweichen, auch wenn die Durchschlagsfestigkeit einer gleichlangen Luftstrecke noch nicht erreicht wird. Die Ursache ist hier eine mögliche Verschmutzung der Oberfläche durch Staub, Öl oder Wasser. Zu diesen Verschmutzungen kann es im Produktionsprozess der Leiterplatte wie auch später im Betrieb in verschmutzter Umgebung kommen.

Auf für den Stromfluss nicht vorgesehenen Flächen des isolierenden Trägermaterials sind Mindestabstände zwischen Stromkreisen einzuhalten, um eine Leitfähigkeit und damit Teilentladung zwischen den Leitungselementen zu vermeiden. Speziell im Bereich

der Leistungselektronik können Spannungen von weit mehr als 1000 V zwischen den Leitungselementen auf einer Leiterplatte auftreten und erfordern größere Mindestabstände als die normalen Fertigungsabstände für die Leiterplatte. Diese größeren Sicherheitsabstände zwischen den elektrischen Stromkreisen müssen eingehalten werden. Die automatisierte Überprüfung dieser Mindestabstände in konventionellen PCB-Layoutsystemen bleibt bislang ungelöst, da hierbei dreidimensionale Aspekte der Leiterplatte berücksichtigt werden müssen.

## Die dreidimensionale Analyse von Kriechstrecken

In den Vorschriften zur Analyse von Kriechstrecken wird immer angenommen, das Trägermaterial der Leiterplatte selbst ist ein idealer Isolator, d.h. es gibt keine Mög-



\* Dirk Müller  
...ist Geschäftsführer der FlowCAD  
EDA-Software Vertriebs GmbH in  
Feldkirchen.



\*\* Peter Mauer  
...ist Leiter der Abteilung Electronics  
Design bei Semikron in Nürnberg.

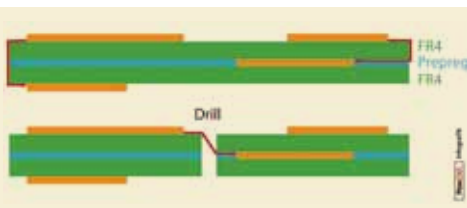
lichkeit des Stroms, durch das Trägermaterial zu fließen oder es zu durchschlagen (die Durchschlagfestigkeit ist separat nachzuweisen). Ein eventueller Kriechstrom selbst würde also nur auf der Oberfläche des Trägermaterials fließen. Weiterhin wird angenommen, dass ein derartiger Strom nicht nur auf der Oberfläche einer Leiterplattenlage, sondern auch auf der Oberfläche individueller Lagen laminiertes Mehrlagenleiterplatten fließen könnte und daher von den Außenseiten einer Leiterplatte in die inneren Lagen eindringen kann. Kriechstrecken sind aber nicht nur an Außenseiten, sondern auch an den Innenflächen von Bohrungen und Fräsungen durch die Leiterplatte zu berücksichtigen. Hierbei gilt immer die kürzeste Strecke an der Oberfläche.

### Uneinheitliche Standards und Normen zu Kriechströmen

Die Standards und Normen zur Berücksichtigung von Kriechströmen sind sehr zahlreich, uneinheitlich und unübersichtlich. Um nur einige zu nennen: VDE 0109, VDE 110, DIN EN 60664, DIN EN 50124, IEC 62497 UL 508 und CSA-C22.2 No.14. Nationale und internationale Gremien und Behörden erarbeiten und beschließen überaus detaillierte Dokumente zu diesem Themenkomplex, denen oft jedoch eine gemeinsame Grundlage fehlt. Als wesentliche Kriterien für die Berücksichtigung von Kriechströmen lassen sich die vier Parameter Arbeitsspannung, Verschmutzungsgrad der Einsatzumgebung, Überspannungsklasse der Spannungsquelle sowie Materialeigenschaften des Trägermaterials herauskristallisieren.

### Limitierungen konventioneller PCB-Layout-Systeme

Unabhängig von der gegebenen Norm ist das Prinzip der Berechnung immer das gleiche. Es wird aus der speziellen Kombination der Parameter (das sind beispielsweise Arbeitsspannung, Verschmutzungsgrad und anderes mehr) ein minimaler Abstandswert in der entsprechenden Norm vorgegeben. Diese sind aus Tabellen abzulesen bzw. über Formeln zu berechnen.



**Offene Seiten und Bohrungen:** So kommen die Kriechströme auf die Innenlagen der Platine

## PRAXIS WERT

### Die Software findet alle Kriechstrecken

Das neue Kriechstreckenmodul der 3-D-PCB-Software Nextra kann in Layout-Daten automatisch Kriechstreckenverletzungen finden und anzeigen. Nach Vorgabe von entsprechenden Designregeln, die die Verschmutzungsgrade beschreiben, werden Abstände im Dreidimensionalen gemessen. Designdaten der Leiterplatten lassen sich aus allen gängigen PCB-Layout-Systemen importieren.

Bisher manuell gemessen: Kriechstrecken werden heute für die offiziellen Sicherheitsabnahmen manuell nachgemessen, da es bisher keine Software gab, die Kriechstrecken im Dreidimensionalen unter Berücksichtigung verschiedener Verschmutzungsgrade automatisch ermitteln konnte. Das hat sich nun geändert, wie dieser Beitrag zeigt.

Der Einsatz heute verfügbarer Leiterplatten-Layoutsysteme erlaubt die komfortable Definition von Regeln, denen ein Leiterplattenlayout genügen muss. Dazu gehören z.B. minimale und maximale Leiterbahnbreiten, Mindestabstände zwischen Leitungselementen, minimale oder maximale Längen von Netzen usw. Die maximalen Abstände von Leitungselementen werden dann von den automatischen Layoutalgorithmen (Routern) eingehalten oder als Designregelverletzung (DRC) identifiziert. Jedoch werden solche Abstände nicht als Abstände zwischen Elementen auf unterschiedlichen Lagen berücksichtigt.

Weiterhin unterstützen PCB-Layoutsysteme nur die Analyse von Netzen-Netzklassen, stellen nur eine Klassifikation elektrisch ähnlicher Netze, aber keine topologische Aussage dar – jedoch keine Analyse von Stromkreisen.

In PCB-Layoutsystemen lässt sich für die Leiterplatte der grobe Aufbau einer Mehrlagenleiterplatte mit Zahl und Dicke der Isolationsschichten angeben. Oftmals jedoch ist die Angabe von Laminat-, Prepreg und Kupferlagen-Anordnung nur eingeschränkt möglich. Die tatsächliche Lage des Kupfers in den

## Unsere Präzision = Ihr Design-Vorteil



Epson Toyocom hat den Anspruch, besonders ausgereifte Lösungen für Ihre Herausforderungen zu finden.

Dies zeigt sich bei unseren Quarzen durch Integration unseres gesamten Know-Hows in kleinste Bauformen.

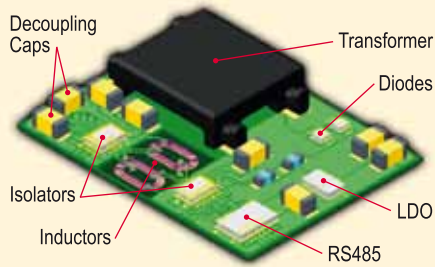
### Die Gründe für Ihren Design-Vorteil:

- > Kompakt: Minimaler Footprint bei minimaler Bauhöhe (ab 0,35 mm max.)
- > Innovativ: Einzigartiger QMEMS Prozess für optimale Charakteristika bei kleinsten Bauformen
- > Verfügbar: Produktions- und Lieferkapazitäten des Marktführers
- > Umweltfreundlich: Geringerer Materialaufwand und weniger CO<sub>2</sub>-Emission

Informieren Sie sich auf unserer Website [www.epson-electronics.de](http://www.epson-electronics.de) oder fragen Sie Ihren Distributor.

### µModule™

- Isolierte RS232/485-Treiber (LTM288x)
- DC/DC Converter (LTM80xx/LTM46xx)
- Signal Chain Receiver (LTM900x)



#### Vorteile der µModule™

- Komplettes System auf einem Chip (SoC)
- niedriges Gewicht
- geringe Bauhöhe
- Schnelle Wärmeabfuhr
- Einfache Board-Bestückung

### Energy Harvesting

- LTC3108 Thermal (Peltier)
- LTC3588-1 Vibration (Piezo)
- LT3652 Photovoltaic (Solar)
- LTC4070 Shunt Battery Charger



Ungenutzte Energie steht überall zur Verfügung. Energy-Harvesting ist die Methode zur Gewinnung dieser Energien: Thermo-, Piezoelektrik, Induktion, Photovoltaik und galvanische Quellen.

Besuchen Sie uns | Halle A4 | Stand 520



**setron GmbH**  
Friedrich-Seele-Straße 3a  
38122 Braunschweig  
Tel: +49 531 8098-0  
[linear@setron.de](mailto:linear@setron.de)

Innenlagen bleibt oft unberücksichtigt und wird idealisiert dargestellt.

### Kriechstreckenanalyse im 3-D-Kontext

Das 3-D-Layoutsystem Nextra erlaubt es, Layouts, die in 2-D-Leiterplattenlayouts-systemen z.B. von Cadence, OrCAD, Mentor Graphics oder Zuken erstellt wurden, einzulesen und an diesen Layouts Kriechstreckenanalysen durchzuführen. Durch die vollständig dreidimensionale Repräsentation eines Leiterplattenlayouts können Abstandsmessungen auch entlang der Oberfläche über mehrere Lagen hinweg vorgenommen werden.

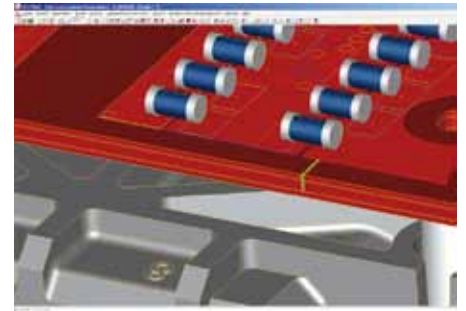
Das Modul zur Kriechstreckenanalyse nimmt darüber hinaus spezielle, für diese Analyseproblematik hinausgehende Sachverhalte zur Kenntnis: Es lassen sich Netze automatisiert oder manuell zu Stromkreisen zusammenfassen, die gemeinsam als Probanden bei Kriechstreckenanalysen herangezogen werden können. Die automatisierte Zuordnung kann ggf. beim Import eines Designs aus 2-D-Systemen erstellt werden.

Die Software berücksichtigt bei der Kriechstreckenanalyse die Kontur der Leiterplatte und beachtet die (gerade aus Gründen der Verlängerung von Kriechstrecken eingeführten) Fräsungen. Diese werden von Layoutern in die Leiterplatte eingebracht, um die möglichen Abstände zwischen Stromkreisen zu verlängern. Jedoch können bei komplexen Leiterplatten-Fräsungen auch ungewollt zu Verkürzungen von Kriechstrecken zu Leitungselementen auf einer anderen Lage führen.

Für die Abnahme durch die Prüfstellen wie beispielsweise VDE werden alle Abstände auf der Leiterplatte manuell in der Dokumentation nachgemessen. Dies ist ein ebenso zeitaufwändiger wie auch fehlerträchtiger Prozess. Durch die Automatisierung per Software können so Kriechstreckenanalysen schneller und vollständiger durchgeführt werden.

### Was ist Kriechstrom?

Kriechstrom ist laut Definition ein Strom, der auf der Leiterplatte nicht auf den dafür vorgesehenen Leiterbahnen, sondern an der Oberfläche des Isolationsmaterials fließt. Ermöglicht wird der Kriechstrom auf dem Board durch Verschmutzungen der Leiterplatte mit Staub, Öl oder Wasser.



Im 3-D-Kontext gezoomt: Die grüne Linie ist eine Kriechstrecke auf dem Board

Die PCB-Designndaten lassen sich über einen Dialog zur Kriechstreckenanalyse einlesen. Es können dann Einstellungen vorgenommen werden, ob nur einzelne Stromkreise gegeneinander geprüft werden sollen, ob eine komplette Prüfung zwischen allen Stromkreisen stattzufinden hat (jeder gegen jeden) oder ob in Teilbereichen der Leiterplatte unterschiedliche Arbeitsspannungswerte zu unterschiedlichen Minimalwerten führen. Falls bereits im Layoutsystem als Property spezifiziert, lassen sich diese Zuordnungen automatisiert übernehmen.

Die Ergebnisse der Kriechstreckenanalyse wird einerseits in tabellarischer Form als Gegenüberstellung der Leitungselemente und der zwischen ihnen ermittelten Strecke sowie in der 3-D-Ansicht der Leiterplatte als farblich unterschiedliche Polygonzüge der Kriechstrecken dargestellt. Durch Selektion einer oder mehrerer Zeilen in der tabellarischen Darstellung oder eines oder mehrerer Leitungselementes in der 3-D-Ansicht können Elemente speziellen Interesses individuell untersucht werden.

Komplexe Verläufe des minimalen Abstands, die z.B. diagonal an der Oberfläche einer Bohrung verlaufen, lassen sich manuell nicht nachmessen bzw. lässt sich der genaue Verlauf manuell nicht ermitteln. Die Software zeigt selbst bei komplexesten Strukturen den kürzesten Verlauf an, und die Kriechstrecke lässt sich durch virtuelle 3-D-Drehungen der Leiterplatte bzw. mit Durchsichten einfach verfolgen und nachvollziehen. //KU

FlowCAD +49(0)89 45637770

#### InfoClick

- Alle Details des 3D-ECAD-System NEXTRA
- Kontakt zu FlowCAD
- Kontakt zu Semikron

[www.elektronikpraxis.de](http://www.elektronikpraxis.de)

InfoClick 2397350