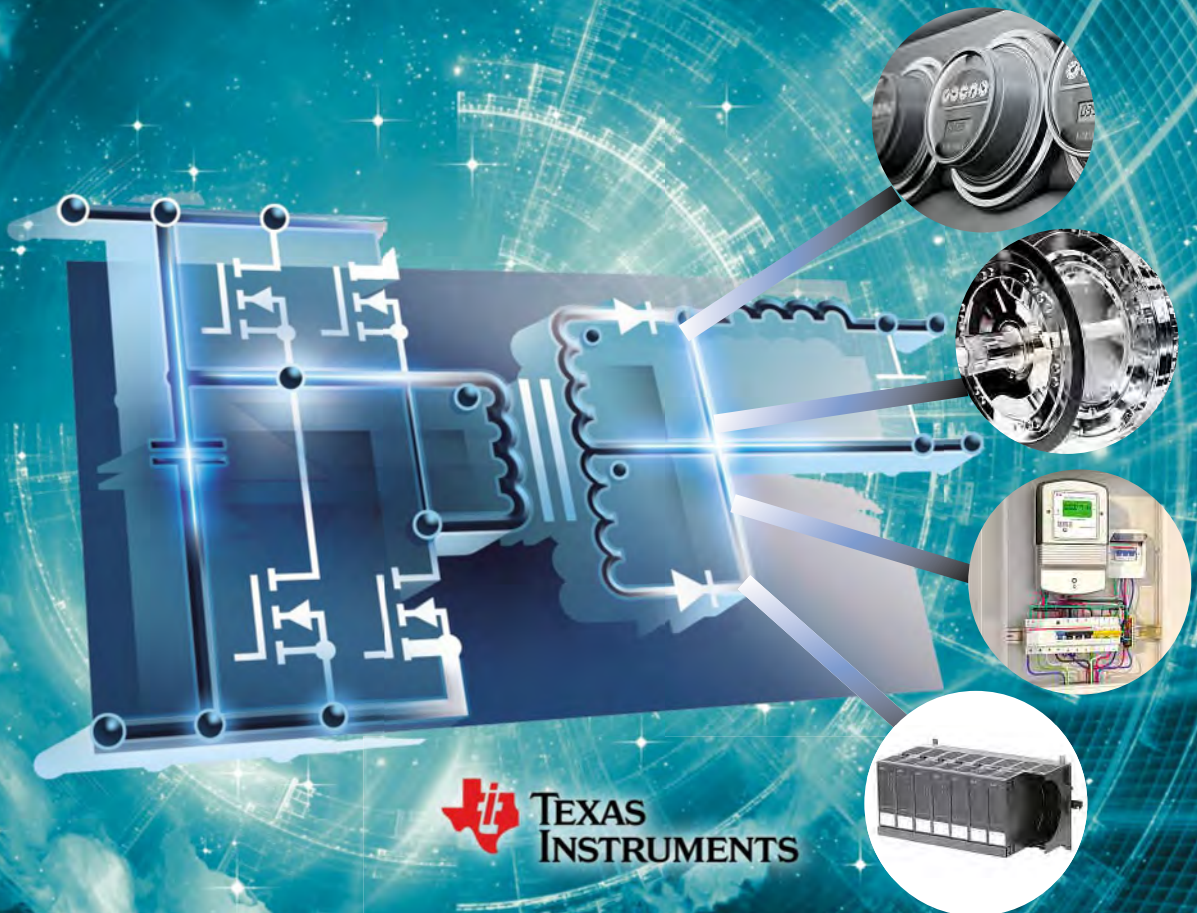


# ELEKTRONIK PRAXIS

www.elektronikpraxis.de

Wissen.  
Impulse.  
Kontakte.

November 2017



## Ein Motortreiber-IC als Vollbrücken-DC/DC-Wandler

Entwickelt wurde der Baustein DRV8848 als Motortreiber-IC, doch seine integrierte Stromversorgung macht ihn auch für andere Applikationen interessant.

### IGBTs in Antrieben mit Kabellast richtig schalten

Schaltverhalten und Konsequenzen bei langem Motorkabel. **Seite 12**

### Belastungen von Leistungselektronik aufdecken

Seit 15 Jahren klärt das ZFW Fragen zur Lebensdauer und Zuverlässigkeit. **Seite 16**

### Gezielte Simulation der Alterung von HV-Transistoren

Schaltungsdegradation auf Jahre genau per EDA-Modell prognostizieren. **Seite 28**





# Platz 1 für DIGI-KEY:

## Beste Bewertung für die Website-Performance

Quelle: Distributor Evaluation Survey, *Electronic Specifier*, 17. März 2017

*Electronic  
Specifier*

**Nutzen der Website: Platz 1**

**Wert des Gesamtinhalts: Platz 1**

**Wert der technischen  
Informationen: Platz 1**

**Produktsuche: Platz 1**

**Mechanismus der  
Produktbestellung: Platz 1**

**Einfache Navigation: Platz 1**

**Organisation der Website: Platz 1**

**Zugriffsgeschwindigkeit: Platz 1**



TELEFON: 0800 180 01 25  
**DIGIKEY.DE**



**ÜBER 6 MILLIONEN PRODUKTE ONLINE | ÜBER 650 LIEFERANTEN | 100%-IGER VERTRAGSDISTRIBUTOR**

\*Für alle Bestellungen unter 50,00 € wird eine Versandgebühr von 18,00 € in Rechnung gestellt. Bei Bestellungen unter \$60,00 USD wird eine Versandgebühr von \$22,00 USD berechnet. Alle Bestellungen werden per UPS, Federal Express oder DHL für die Lieferung innerhalb von 1 bis 3 Tagen (abhängig vom endgültigen Bestimmungsort) versendet. Keine Bearbeitungsgebühren. Alle Preise werden in Euro oder US-Dollar angegeben. Digi-Key ist ein autorisierter Distributor für alle Lieferpartner. Neue Produkte werden täglich hinzugefügt. Digi-Key und Digi-Key Electronics sind eingetragene Marken von Digi-Key Electronics in den USA und anderen Ländern. © 2017 Digi-Key Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, USA

# Wenn Selbstverständliches plötzlich nicht mehr verfügbar ist

Im Allgemeinen sind Betreiber von Rechenzentren der festen Ansicht, gegen alle denkbaren Gefahren geschützt zu sein. Dass dem nicht so ist, zeigt sich immer wieder. Spannungsschwankungen durch Blitzaktivitäten bringen Server und Festplatten aus dem Takt, und die Batterien der einsetzenden Notstromversorgung kommen nicht selten an die Grenzen ihrer Möglichkeiten. Nach einem Gewitter haben fünf Prozent aller in einem betroffenen Rechenzentrum laufenden Festplatten, so die Einschätzung von IT-Experten, mindestens einen Schreib/Lese-Fehler. Und bei fast 1 Millionen Entladungen zur Erde pro Jahr kann das Naturereignis in Deutschland jeden treffen, mahnt der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft.

Im Mittel ist die Blitzenergie relativ gering, beschreibt der VDE, doch werde sie in weniger als einer Tausendstelsekunde wirksam. In betroffenen Anlagen sind daher sehr hohe Spannungen und Ströme bis über 200.000 A möglich. Die Folge: Bauteile werden derart stark erhitzt, dass sie auch in Brand geraten können.

Neben Überspannungen durch atmosphärische Elektrizität gibt es Gefährdungen auch durch das Schalten induktiver



**Gerd Kucera, Redakteur**  
gerd.kucera@vogel.de

und kapazitiver Verbraucher wie Elektromotoren, Kompensationsanlagen oder durch Netzurückwirkungen von Frequenzumrichtern. Trotz hohem Niveau der Versorgungssicherheit sorgen auch öffentliche Bauarbeiten immer wieder für eine Unterbrechung im Mittelspannungsnetz. Das Unangenehme beim Wiederanlauf der Versorgung ist der Einschalt-Rush, mit dem viel Energie dem Netz entnommen wird.

Der Energie-Management-Konzern Eaton betreibt einen Blackout Tracker mit jährlicher Statistik über Energieausfälle. Nun hat Eaton für Unternehmen jedweder Größe fünf zentrale Aspekte formuliert, auf die es zu achten gelte, um ein sicheres und zugleich energieeffizientes Rechenzentrum langfristig zu gewährleisten. Dazu gibt es in diesem Sonderheft einen zusammenfassenden Beitrag ab Seite 38.

Herzlichst, Ihr



## Impedanzmessung von mΩ bis MΩ



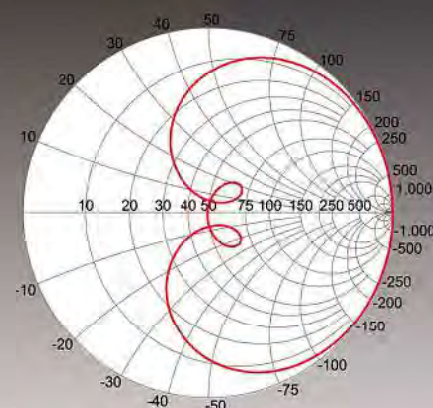
Die neue **Bode Analyzer Suite 3.11** bietet sieben unterschiedliche Impedanzmessmethoden für den vektoriellen Netzwerkanalysator **Bode 100** im Frequenzbereich von 1 Hz - 50 MHz:

Messen Sie:

- Bauteilimpedanzen
- frequenzabhängige Verluste
- Güte von Induktivitäten
- Resonanzfrequenzen von Bauteilen
- Skineffekte
- und vieles mehr

Weitere Applikationen finden Sie auf:

[www.omicron-lab.com/ohm](http://www.omicron-lab.com/ohm)



**Jetzt neu!**  
**Bode Analyzer Suite 3.11**



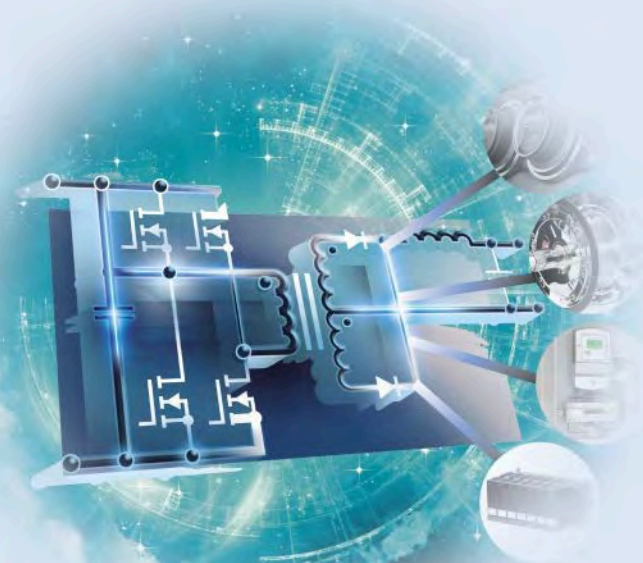
## STROMVERSORGUNG

### Ein Motortreiber-IC als Lowpower-Vollbrücken-DC/DC-Wandler

Mit dem Motortreiber DRV8848 lassen sich zwei unabhängige Vollbrücken-Gleichspannungswandler konfigurieren.

Der Baustein mit integrierten Schutzfunktionen ist eine sinnvolle Ergänzung der Techniken zur Erzeugung isolierter Versorgungsspannungen. Die eingebaute Temperaturbegrenzung und der programmierbare Stromwächter werden durch eine schnelle Überstrombegrenzung ergänzt. Durch Kontrollieren der Spannung am VREF-Pin ist eine Softstart-Funktion realisierbar.

# 34



Titelcollage: © 2015 Andrew Ostrovsky - adobe.stock.com, © destina - adobe.stock.com, © LVDESIGN - adobe.stock.com, © sveta - adobe.stock.com, © dneez - adobe.stock.com, [M] – Herkersdorf

## SCHWERPUNKTE

### Forschung

#### 6 Metallische Trägermaterialien für Leistungshalbleiter

Einem internationalen Forscher-Team unter der Leitung der Jülicher Chemikerin Dr. Hilde Hardtdegen gelang es erstmals, auf einem metallischem Träger Hochleistungs-Transistoren zu entwickeln.

### Leistungselektronik

#### 8 Power Devices richtig beurteilen

Zur Auslegung leistungselektronischer Geräte ist die genaue Kenntnis der thermischen Situation der Leistungshalbleiter unumgänglich, die Bestimmung aber häufig mit mehr Tücken behaftet als erwartet.

#### 12 IGBTs in elektrischen Antrieben richtig schalten

In Antrieben kleiner und mittlerer Leistung haben Kabelkapazitäten unerwünschten Einfluss auf Schaltverluste sowie Verriegelungs- und Schaltzeiten. Der Autor erklärt Zusammenhänge und Konsequenzen.

#### 16 Expertenwissen für ein langes Schaltungsleben

In Fragen der Lebensdaueranalyse löst das ZFW in Stuttgart seit 15 Jahren erfolgreich sensible Aufgaben aus Industrie und Forschung.

#### 20 Technologie-Ansatz für den einfachen SJ-MOSFET

D3 Semi hat ihren Hochvolt-Superjunction-MOSFET weiterentwickelt und bietet die Konfigurierbarkeit auf Wafer-Ebene für schnelles Prototyping und Behebung von Schaltungsproblemen.

#### 24 Offline-Sperrwandler-IC-Serie mit 94% Wirkungsgrad

25% geringerer Leistungsverlust charakterisiert die Power-Wandler InnoSwitch3 mit den Schaltregler-Familien CE, CP und EP. Einsatzziel: kühlkörperlose Stromversorgungen mit Ausgangsleistungen bis 65 W.

#### 28 Alterungssimulation von Hochvolt-Transistoren

Um ein Schaltungsverhalten auf Jahre genau zu prognostizieren, haben Wissenschaftler des Fraunhofer IIS/EAS mathematische Alterungsmodelle für EDA-Umgebungen entwickelt.

### Stromversorgung

#### TITELTHEMA

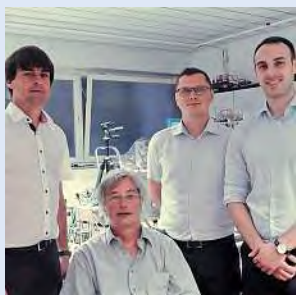
#### 34 Motortreiber-IC als Vollbrücken-DC/DC-Wandler

Entwickelt wurde der Baustein DRV8848 als Motortreiber-IC, doch die integrierte isolierte Stromversorgung befähigt ihm auch zum Einsatz in weiteren Applikationen, wie der Autor am Beispiel Smart Meter zeigt.

#### 38 Betrachtungen für sichere und energieeffiziente Rechenzentren

Der Ausfall oder ein Einbruch in der Energieversorgung kann fatale Folgen mit sich bringen. Für eine sichere Energieversorgung gibt der Energie-Management-Spezialist Eaton beachtenswerte Hinweise.

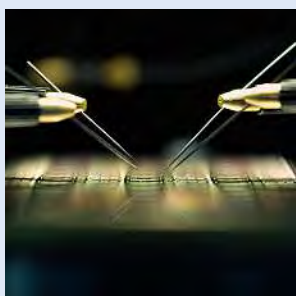




**16** Expertenwissen für ein  
langes Schaltungsleben



**24** Offline-Sperrwandler-IC  
mit 94% Wirkungsgrad



**28** Alterungssimulation von  
Hochvolt-Transistoren



**38** Sichere und energie-  
effiziente Rechenzentren

## RUBRIKEN

3 Editorial

50 Impressum

### Praxisforum Elektrische Antriebstechnik



20. - 22. 03. 2018, Würzburg

Die Veranstaltung bietet einen ganzheitlichen Blick auf die Antriebstechnik und hilft, elektrische Antriebe zeitgemäß zu projektieren. Die dreitägige Veranstaltung mit zweitägiger Fachausstellung wendet sich an Hard- und Software- Entwickler sowie an Projektverantwortliche und Entwicklungsleiter, die sich mit elektrischen Antriebslösungen für Maschinen, Anlagenbau und Automotive beschäftigen.

[www.praxisforum-antriebstechnik.de](http://www.praxisforum-antriebstechnik.de)



## Zuverlässiger? Geht's nicht!

EPSITRON® - elektronische Schutzschalter  
Platzsparende und präzise Absicherung  
für Gleichspannungskreise



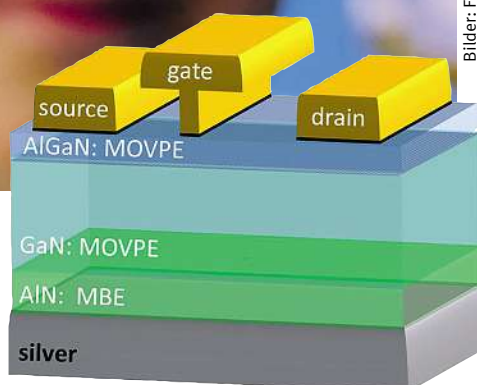
# Metallische Trägermaterialien für Hochleistungs-Halbleiter

*Einem internationalen Forscher-Team unter der Leitung der Jülicher Chemikerin Dr. Hilde Hardtdegen gelang es erstmals, auf einem metallischem Träger Hochleistungs-Transistoren zu entwickeln.*



**Bild 1:** Forscherin Dr. Hilde Hardtdegen mit einem metallischen Substrat.

**Bild 2:** Schema der Transistorstruktur auf dem Silber-Substrat.



Bilder: Forschungszentrum Jülich/Marcel Bülow

effekt reduziert das die Aufheizung der Halbleiterstrukturen um bis zu 70 Prozent.“

## Noch fünf bis sieben Jahre bis zur Perfektion

Die möglichen Anwendungen für ein solches metallisches Trägermaterial sind vielfältig: Hochleistungselektronik für mobile Funknetze, Bauteile für die Automobil- und Flugzeugindustrie, selbst alltägliche Geräte wie Handys oder Tablets – eben überall dort, wo sich Wärmeentwicklung nachteilig auf die Funktion von Geräten auswirken kann.

Doch noch ist das Zukunftsmusik. Die im Labor optimierten Prozesse sind selbstverständlich noch an die Anforderungen der Massenproduktion anzupassen und ebenso an die jeweiligen technischen Spezifikationen für diverse Endprodukte. Vor allem Stabilität und Wiederholbarkeit müssen noch gezielt optimiert werden. Die optimistischste Einschätzung der Wissenschaftler für eine tatsächliche Anwendung ihrer Entwicklung liegt bei fünf bis sieben Jahren.

Das Peter Grünberg Institut beschäftigt sich mit grundlegenden Fragen der Halbleiterphysik, der Halbleitertechnologie und der Bauelementphysik. In der Bauelemententwicklung werden alternative Konzepte verfolgt, um die Grenzen elektronischer Bauelemente zu erforschen, beispielsweise geht es um die maximal mögliche Frequenz, die Signalverstärkung oder Signalübertragung und nicht zuletzt um die Miniaturisierbarkeit von Transistoren. Besondere Bedeutung kommt den Quanteneffekten in Nanostrukturen zu. Im Vordergrund steht die Epitaxie von SiGe-Schichten, klassischer III/V-Verbindungen und von Gruppe-III-Nitriden sowie Untersuchungen von elektronischen und optischen Eigenschaften dieser Halbleitermaterialien. Insbesondere das selbstorganisierte Wachstum von Quantenpunkten und Quantendrähten wird mit verschiedenen Methoden der Epitaxie untersucht.

**Peter Grünberg Institut (PGI-9)**

Eine um nur 10 K erhöhte Chip-Temperatur reduziert die Lebensdauer eines Halbleiters auf die Hälfte. Effiziente Wärmeableitung ist daher essenziell für die weitere Entwicklung von Schaltkreisen. Daher sind neue Konzepte gefragt – beispielsweise mit metallischen Trägermaterialien. Ein Metallsubstrat reduziert das Aufheizen des Halbleiters, leitet einen Großteil der Wärme effektiv ab und macht das Bauelement stabiler.

## Silber-Trägermaterialien statt Saphir-Substrate

„Metalle sind sehr gute Wärmeleiter“, erklärt Hilde Hardtdegen vom Peter Grünberg Institut am Forschungszentrum Jülich, „doch bisher kamen Metalle als Trägermaterialien nicht in Frage. Unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften und vor allem Unterschiede im Kristallgitter machten ein Aufbringen von monokristallinen Halbleiterschichten auf metallische Substrate mit konventionellen Methoden unmöglich.“

Gemeinsam mit Kollegen aus der Slowakei, Tschechien und Australien ist den Jülicher Wissenschaftlern nun das Aufbringen von monokristallinen Halbleiterschichten erstmals gelungen. „Entscheidend dabei war, dass wir die für den Abscheidungsprozess notwendige Temperatur gesenkt haben“, erklärt Hardtdegen, „insbesondere mussten wir ein kontrolliertes Aufheizen und Abkühlen der Proben gewährleisten. So konnten wir verhindern, dass sich an der Grenzschicht zwischen dem metallischen Trägermaterial und der Halbleiterschicht mechanische Spannungen aufbauen.“

Wie viel besser leiten nun metallische Trägermaterialien die Wärme ab? Hardtdegen: „Das hängt vom Temperaturbereich ab. Hochleistungs-Transistoren erhitzen sich während des Betriebs von Raumtemperatur auf bis zu mehreren hundert Grad Celsius. In diesem Bereich zeigen die von uns verwendeten Silber-Trägermaterialien eine mehr als achtfach höhere Wärmeleitfähigkeit als die konventionellen Saphir-Substrate. Im End-



# DIE QUELLE IHRER INNOVATION

...die weltweit größte Auswahl der  
neuesten elektronischen Komponenten  
für den sofortigen Versand

**KOSTENLOSER  
VERSAND**  
BEI BESTELLUNGEN  
AB 50 € ODER  
\$60 USD

TELEFON: 0800 180 01 25  
**DIGIKEY.DE**



ÜBER 6 MILLIONEN PRODUKTE ONLINE | ÜBER 650 LIEFERANTEN | 100%-IGER VERTRAGSDISTRIBUTOR

\*Für alle Bestellungen unter 50,00 € wird eine Versandgebühr von 18,00 € in Rechnung gestellt. Bei Bestellungen unter \$60,00 USD wird eine Versandgebühr von \$22,00 USD berechnet. Alle Bestellungen werden per UPS, Federal Express oder DHL für die Lieferung innerhalb von 1 bis 3 Tagen (abhängig vom endgültigen Bestimmungsort) versendet. Keine Bearbeitungsgebühren. Alle Preise werden in Euro oder US-Dollar angegeben. Digi-Key ist ein autorisierter Distributor für alle Lieferpartner. Neue Produkte werden täglich hinzugefügt. Digi-Key und Digi-Key Electronics sind eingetragene Marken von Digi-Key Electronics in den USA und anderen Ländern. © 2017 Digi-Key Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, USA

ecia  
MEMBER

ecsn  
member

CEDA  
MEMBER



# Von Glauben zu präzisiertem Wissen, Power Devices richtig beurteilen

*Zur Auslegung leistungselektronischer Geräte ist die genaue Kenntnis der thermischen Situation der Leistungshalbleiter unumgänglich, die Bestimmung aber häufig mit mehr Tücken behaftet als erwartet.*

MARTIN SCHULZ \*

Die Chip-Temperatur eines Halbleiters ergibt sich aus den am Silizium entstehenden Verlusten und der Kette an thermischen Widerständen, über die die resultierende Wärme abfließt. Es gilt der scheinbar einfache lineare Zusammenhang  $T_{vj} = P_v \cdot (R_{th1} + R_{th2} + \dots + R_{thn})$ .

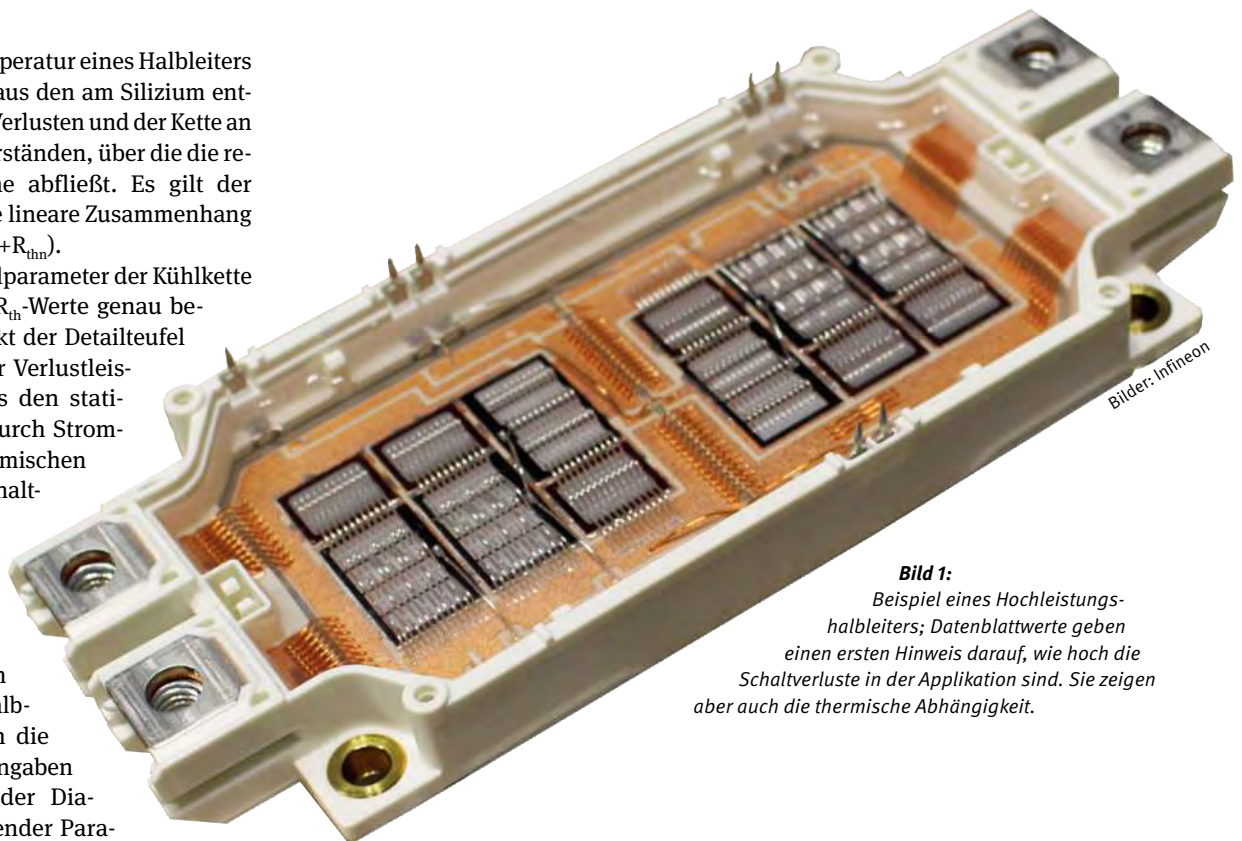
Sind die Materialparameter der Kühlkette bekannt und die  $R_{th}$ -Werte genau bestimmt, dann steckt der Detailteufel noch immer in der Verlustleistung, die sich aus den statischen Verlusten durch Stromfluss und den dynamischen Verlusten durch Schaltaktionen ergeben. Auch dieser Zusammenhang erscheint zunächst überschaubar, denn im Datenblatt eines Halbleiters finden sich die entsprechenden Angaben als Zahlenwert oder Diagramm entsprechender Parameter wieder. In Bild 2 sind exemplarisch die Angaben zu sehen, die im Datenblatt eines Hochleistungshalbleiters (Bild 1) zu den Schaltverlusten enthalten sind:

## Glauben: das Fürwahrhalten ohne methodische Begründung

Die Datenblattwerte geben einen guten ersten Hinweis darauf, wie hoch die Schaltverluste in der Applikation sind. Sie zeigen aber auch die thermische Abhängigkeit. Für eine genaue Bestimmung ist also das Wissen über die Chiptemperatur erforderlich. Die



\* Dr. Martin Schulz  
... ist Principal Application Engineer bei Infineon, Warstein.



Bilder: Infineon

**Bild 1:**

Beispiel eines Hochleistungshalbleiters; Datenblattwerte geben einen ersten Hinweis darauf, wie hoch die Schaltverluste in der Applikation sind. Sie zeigen aber auch die thermische Abhängigkeit.

zusätzlichen Angaben zu Testbedingungen zeigen außerdem, dass die Schaltverluste an weitere Parameter gebunden sind, darunter die Schaltgeschwindigkeiten  $di/dt$  beim Einschalten und  $du/dt$  beim Abschaltvorgang. Diese Schaltgeschwindigkeiten sind von der Streuinduktivität  $L_s$  des Aufbaus ebenso abhängig wie vom verwendeten Gate-Treiber und dem hier eingesetzten Gate-Widerstand.

Die erreichten Schaltverluste des Leistungshalbleiters gelten zudem für das Ein- und Ausschalten des Nennstromes, im Beispiel  $I_c = 450$  A, getrieben von der halben Sperrspannung  $V_{ce}$ , hier 600 V.

Eine unreflektierte Verwendung dieser Zahlenwerte ohne Interpolation führt auf ein konservatives Design, da die bestimmten Verluste zu hoch ausfallen. Ein konservatives Design zeichnet sich zwar durch eine hohe

Lebensdauer aus, führt aber möglicherweise zu höheren Systemkosten.

## Schätzen: vages Bestimmen durch Augenscheinnahme

Statt davon auszugehen, dass der Datenblattwert eine stets gültige Konstante ist, lässt sich eine genauere Auskunft erzielen, indem die tatsächlichen Gegebenheiten der Applikation in die Betrachtungen einfließen. Eine Skalierung der Schaltverluste mit dem Mittelwert des in der Applikation üblichen Stromes ist ein erster Schritt; die gleiche Linearisierung bei der DC-Spannung verbessert die Aussage weiter.

In Bild 3 sind Strom- und Spannungsverlauf eines typischen Einschaltvorgangs zu sehen. Ein in weiten Bereichen linearer Zusammenhang zwischen Strom, Spannung und Schaltverlusten ergibt sich wegen der



Quelle: Infineon

Einschaltverlustenergie pro Puls turn-on energy loss per pulse	$I_C = 450\text{ A}$ , $V_{CE} = 600\text{ V}$ , $L_S = 35\text{ nH}$ $V_{GE} = \pm 15\text{ V}$ , $di/dt = 7000\text{ A}/\mu\text{s}$ ( $T_{vj}=150^\circ\text{C}$ ) $R_{Gon} = 1,3\ \Omega$	$T_{vj} = 25^\circ\text{C}$ $T_{vj} = 125^\circ\text{C}$ $T_{vj} = 150^\circ\text{C}$	$E_{on}$	15,0 26,0 28,5
Abschaltverlustenergie pro Puls turn-off energy loss per pulse	$I_C = 450\text{ A}$ , $V_{CE} = 600\text{ V}$ , $L_S = 35\text{ nH}$ $V_{GE} = \pm 15\text{ V}$ , $du/dt = 3100\text{ V}/\mu\text{s}$ ( $T_{vj}=150^\circ\text{C}$ ) $R_{Goff} = 1,3\ \Omega$	$T_{vj} = 25^\circ\text{C}$ $T_{vj} = 125^\circ\text{C}$ $T_{vj} = 150^\circ\text{C}$	$E_{off}$	38,0 55,5 61,5

Bild 2: Auszug aus dem Datenblatt der Halbbrücke FF450R12ME4.

konstanten Schaltgeschwindigkeiten. Die Schaltverluste entstehen in der Überlappungszone von Strom und Spannung, diese wächst wenn der Strom höher wird ebenso wie bei höherer Spannung. Die Näherung mit einem Strom-Mittelwert zieht aber nicht die tatsächlich bei jeder Schalthandlung entstehenden Verluste in Betracht. Ebenso wenig sind die aus dem Aufbau resultierenden Einflüsse berücksichtigt.

### Simulieren: der erste Schritt zu einer Modellfindung

Der wiederkehrende Ansatz zur möglichst genauen Voraussage ist die Simulation. Sind die entscheidenden Parameter hinreichend genau bekannt, dann kann mit passender Software eine Bestimmung der zu erwartenden Temperatur recht genau geschehen.

Vorsicht ist immer dann geboten, wenn für das zu simulierende System keine Möglichkeit besteht, es mit realen Messdaten abzugleichen. Häufig besteht der Bedarf, erste Simulationen zu optimieren, weil bereits kleine Einflüsse an der Hardware zu unerwartet großen Änderungen am System führen. Parasitäre Bauteile wie die Streuinduktivitäten im Ansteuerkreis eines Halbleiters sind oft nicht hinreichend genau bekannt, das Schaltverhalten in der realen Hardware – und damit die Verlustleistung – weicht von der Simulation ab. Im ungünstigen Fall zeigt eine Simulation bezüglich der Chip-Temperatur ein hinreichend niedriges Ergebnis, im

realen Aufbau entstehen aber thermische Probleme, deren Behebung sich als zeit- und kostenintensiv erweisen kann.

### Messen: quantitative Aussage über eine physikalische Größe

Um eine Simulation mit genauen Werten füttern zu können ist es notwendig, möglichst viele der dominanten Einflüsse des Aufbaus mit einzufügen. Neben den Streuinduktivitäten von DC- und Ansteuerkreisen sind es oft weitere Gegebenheiten aus dem Aufbau von Gate-Treibern und dem Layout von Platinen, die zu berücksichtigen sind.

Obwohl es auch für die Extraktion dieser Parameter entsprechende Software-Pakete gibt, ist die Messung eine sichere und schnelle sowie zuverlässige Methode, um die Schaltverluste eines Halbleiters zu bestimmen. Die Messung gestattet die genaue Einstellung der Temperatur beispielsweise über Heizelemente und erlaubt es, unter kontrollierten Bedingungen die für eine weitere Simulation notwendigen Grundlagen zu ermitteln. Findet die Messung im später verwendeten Aufbau statt, sind automatisch alle Parameter einbezogen, die aus dem Layout, den verwendeten Komponenten und dem gewählten Halbleiter hervorgehen.

### Wissen: die Quelle von Fakten, Erkenntnissen und Regeln

Je genauer der Aufbau mit all seinen parasitären Einflüsse bekannt ist, umso eher ist

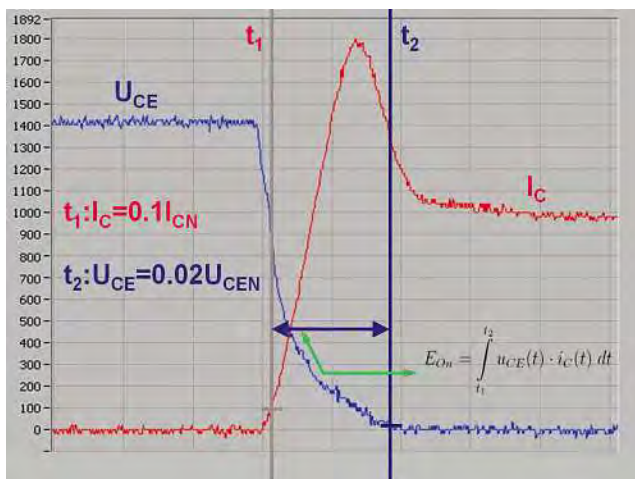


Bild 3: Typischer Einschaltvorgang eines IGBT.

# Power Devices



TAIWAN  
SEMICONDUCTOR

## Power Devices

- Alle Standard-Dioden und Brückengleichrichter
- IGBTs und MOSFETs
- Standard-Komparatoren und OPs
- Festspannungsregler
- Low-Drop-Festspannungsregler
- Schaltregler
- LED-Treiber
- Hallsensoren

## Distribution by Schukat electronic

- Über 200 Hersteller
- 97% ab Lager lieferbar
- Top-Preise von Muster bis Serie
- persönlicher Kundenservice

Onlineshop mit stündlich aktualisierten Preisen und Lagerbeständen

**schukat.com**

**SCHUKAT**  
electronic

**Bild 4:**  
Verifikation mittels Thermographie.



eine belastbare Ermittlung der Verlustleistungen und damit der Chip-Temperatur möglich.

Neben der präzisen Kenntnis der Verlustleistung ist ein umfassendes Wissen über die thermische Kopplung erforderlich. Eine ganzheitliche Messung sollte daher nicht nur die Verlustleistung, sondern insbesondere

auch die thermische Gesamtsituation enthalten. Hierzu eignen sich bildgebende Verfahren wie die Thermographie besonders gut. Bild 4 stellt eine Infrarotmessung an in Reihe geschalteten Halbleitern dar.

Der Temperaturunterschied von 14 K ergibt sich aus einer unterschiedlich guten thermischen Kopplung. Der einzige Unterschied

zwischen den verwendeten Modulen ist das genutzte Wärmeleitmaterial. In dem scheinbar einfachen, linearen Zusammenhang  $T_{vj} = P_v \cdot (R_{th1} + R_{th2} + \dots + R_{thn})$  steckt der Fehler-teufel nicht nur in der genauen Bestimmung der Verlustleistung. Gerade wegen des linearen Zusammenhangs ist jeder der beteiligten Parameter von gleich großer Bedeutung.

In dem Infineon-Beitrag auf dem Praxisforum Elektrische Antriebstechnik 2018 in Würzburg (siehe dazu den Kastentext unten) befasse ich mich ausführlich mit den hier skizzierten Problemen und vermittele notwendige Kenntnisse für die praxisgerechte Lösung.

Der Titel meines Vortrags lautet: „Der Doppelpuls-Versuch: eine wirksame Methode zur Charakterisierung und Messung von Leistungshalbleitern. Neben Grundlagen und Beschreibung des Versuchsaufbaus lernt der Teilnehmer auch, die im Versuch gewonnenen Messergebnisse richtig zu interpretieren.“ // KU

Infineon/www.praxisforum-antriebstechnik.de

## Leistungshalbleiter auf dem Praxisforum Antriebstechnik 2018

Die Fähigkeit, aus vielfältigen Informationen anwendbares Wissen zu erzeugen, ist eine Schlüsselkompetenz, die durch Fort- und Weiterbildung unterstützt wird. Fortbildung sichert, vertieft und aktualisiert bereits vorhandene Kompetenzen; Weiterbildung führt das Wissen über die bisherige fachliche Ausrichtung hinaus. **Beide Ziele verfolgt das Praxisforum Elektrische Antriebstechnik vom 20. - 22. März 2018 (www.elektrische-antriebstechnik.de) in Würzburg** und vermittelt Grundlagen, komplexes interdisziplinäres Wissen sowie für die Praxis relevante aktuelle Erkenntnisse aus der Forschung. Programminhalte der dreitägigen Konferenz ist etwa die Analyse grundlegender Rahmenbedingungen, die Simulation einer geplanten Lösung, das Messen physikalischer Größen an Leistungshalbleitern und leistungselektronischen Systemen sowie die optimierte Kombination elektrischer und mechanischer Eigenschaften. **Prof. Manfred Schrödl** forscht an der TU Wien u.a. auf dem Gebiet der sensorlosen feldorientierten Regelung von permanentmagnet-erregten Synchronmotoren. Stete Wissensbildung ist für ihn essentiell: „Für den Antriebsanwender werden die Mög-

lichkeiten der Kommunikationstechnik zu neuen Herausforderungen in der Ausbildung führen. Weiterhin muss beispielsweise der Antriebstechniker verstärkt das Gesamtsystem im Auge haben, vor allem in Hinblick auf Energieeinsparmöglichkeiten durch intelligente Betriebsführung.“

**Prof. Roberto Leidhold**, Institut für Elektrische Energiesysteme an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, ergänzt: „Wenngleich Maschinenkonstrukteure und Elektroniker in Projekten ergänzend zusammenarbeiten, muss die fachliche Schnittstelle erweitert werden. Es besteht die besondere Gegebenheit, dass sich Maschine, Elektronik und Regelung gegenseitig ergänzend auslegen lassen. So erreicht eine für hohe Leistungsdichte ausgelegte Maschine, die als Nachteil höhere Drehmomentwelligkeit mitbringt, durch aktive Drehmomentglättung als Gesamtantrieb gute Eigenschaften.“

### 25 Referenten und 20 Aussteller

Hartschaltende Umrichter mit Siliziumkarbid-Bauelementen erzeugen neue Arten schädlicher Lagerströme und -spannungen. Elektromagnetische Unverträglichkeiten verändern das Isolati-

onssystem elektrischer Maschinen. Als Bildungsmaßnahme bietet das Praxisforum ein weites Themenspektrum. Es schlägt die Brücke aus der Forschung in die Praxis, wenn an den drei Veranstaltungstagen weniger über Trends als über aktuelle Anforderungen und sofort anwendbare Lösungen diskutiert wird.

### Auszug aus dem Programm 2018:

- Messen von Lagerströmen und -spannungen und Beurteilen einer resultierenden Lagerschädigung an umrichter- gespeisten Elektromotoren.
- Simulation eines Fluid-Kühlers unter Anwendung der richtigen Vernetzungstechnik.
- Thermische Charakterisierung von Interface-Materialien für Power Devices.
- Modifikationen von Gate-Treibern für SiC-Halbleiter in Frequenzumrichtern.
- Automatisierte Messung von Kennfeldern elektrischer Antriebe.
- Anwendung der Raumzeigerdarstellung und dq0-Transformation in Echtzeit.
- Design-Aspekte zur Steigerung der Drehmomentdichte permanenterregter Servomotoren.
- Das aktuelle Programm gibt es in Kürze auf [www.praxisforum-antriebstechnik.de](http://www.praxisforum-antriebstechnik.de)



**SMALLER  
STRONGER  
FASTER**



# IGBTs für Automotive- und Industrie-Anwendungen



## ■ RGS Serie (Automotive)

- Gehäuse: TO-247N
- 650 V, 1200 V
- Beständig gegen Kurzschlüsse von 8 - 10  $\mu$ s
- Geringe Schaltstörungen
- Eingebaute, sehr schnelle FRD mit sanftem Sperrverzögerungsverhalten
- Basierend auf AEC-Q101

## ■ RGP Serie (Zündung)

- Gehäuse: TO-252 (DPAK), TO-263S (D2PAK)
- $BV_{CES} = 360$  V bis 560 V
- Geringe Sättigungsspannung von typ. 1,6 V
- Avalanche-Energie 250 mJ bis 500 mJ ( $T_j = 25$  °C)
- Eingebaute ESD-Schutzdiode für das Gate
- Eingebauter Widerstand zwischen Gate und Emitter (Opt.)
- Basierend auf AEC-Q101

## ■ RGTV / RGW Serie (Industrie)

- *Hoher Wirkungsgrad*
- *Sanftes, oszillationsfreies Abschalten*
- *Eingebaute Diode mit sanfter Charakteristik*
- Light-Punch-Through- und Thin-Wafer-Technologie
- Gehäuse: TO-247N und isoliertes TO-3PFM
- 650 V / 30, 50, 80 A: RGTV bei  $T_c = 100$  °C
- 650 V / 30, 40, 50 A: RGW bei  $T_c = 100$  °C
- Geringe Sättigungsspannung von typ. 1,5 V ( $T_j = 25$  °C)
- Beständig gegen Kurzschlüsse bis 2  $\mu$ s (RGTV)

**Besuchen Sie uns!**

**sps ipc drives**

Nürnberg  
28. - 30.11.2017

Halle 1, Stand 320

Sign Up

ROHM E-Newsletter ▶▶▶



[www.rohm.com/eu](http://www.rohm.com/eu)

# IGBTs in elektrischen Antrieben mit Kabellast richtig schalten

*In Antrieben kleiner und mittlerer Leistung haben Kabelkapazitäten unerwünschten Einfluss auf Schaltverluste sowie Verriegelungs- und Schaltzeiten. Der Autor erklärt Zusammenhänge und Konsequenzen.*

ARENDT WINTRICH \*

**D**atenblatt-Schaltverluste von IGBT und ihren Freilaufdioden werden in einem Doppelpuls mit rein induktiver Last bestimmt. Dies kommt den Einsatzbedingungen in den meisten Anwendungsfällen recht nahe und wird deshalb auch von der zutreffenden Halbleiternorm (IEC 60747-9) so vorgeschrieben. Bei elektrischen Antrieben kleiner und mittlerer Leistung mit langen, geschirmten Kabeln tritt allerdings eine substantielle kapazitive Last für die verwendeten Leistungshalbleiter auf, welche das Schaltverhalten massiv verändert.

Die kapazitiven Effekte erhöhen die Gesamtverluste des Wechselrichters und deren Vernachlässigung kann deshalb zu einer falschen Produktauslegung und zur Überlastung von Bauteilen führen. Die hier präsentierten Ergebnisse sind teilweise der Masterarbeit von Denis Richter („Detaillierte Untersuchung des Schaltverhaltens von Leistungshalbleitern bei langem Motorkabel“) an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

entnommen. Die Wirkung der geschirmten Kabel soll für eine Antriebsanwendung mit 3-phasigem Spannungswechselrichter und Motor-Last betrachtet werden. Bild 1 zeigt das Schaltbild mit prinzipiellen EMV-Komponenten (Netzfilter und Y-Kondensatoren) eines Antriebs. Die Schaltvorgänge der IGBTs verursachen auf der Motorseite Potentialsprünge mit hohem  $dv/dt$  zwischen den Phasen und von Phase zur Masse (PE, Erde), was einen Stromfluss über die parasitären Kapazitäten zwischen den Leitern erzwingt.

## Messung von Schaltverlusten; Testschaltung und Prüfling

Ein typischer Vertreter der IGBT-Module in der interessanten Leistungsklasse ist ein MiniSKiiP. Für die hier präsentierten Ergebnisse wurde ein 1200-V-IGBT mit 8 A Nennstrom gewählt (siehe Bild 2). Je nach Kühlung und Taktfrequenz kann ein solches Modul im MiniSKiiP1-Gehäuse für Antriebe bis 5,5 kW eingesetzt werden. Für die Schaltverlustmessungen ist das Modul mit einer niederinduktiven Testplatine mit dem Zwischenkreis-Kondensator und dem Treiber verbunden. Ein doppelt geschirmtes Kabel mit 4 mm x 4 mm verbindet den Wechselrichter direkt mit dem Motor. Die Kabelkapazitäten liegen im

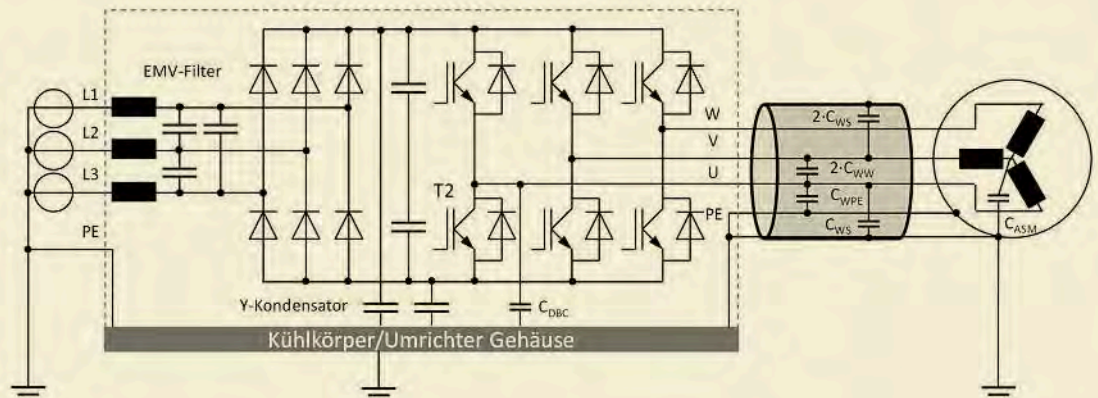
Bereich von 100 bis 150 pF/m und sind durch eine im Schaltvorgang wirksame Parallelschaltung schon bei 2 m Kabel um einen Faktor 10 größer als die Halbleiter- und Modulkapazitäten und dominieren das Schaltverhalten mit zunehmender Länge. Der Anteil des Stromes über die Motorkapazität ist bei 10 m Kabellänge schon <15%. Trotzdem sollte die Motorkapazität mit in die Untersuchung einbezogen werden; beispielsweise kann ein kleiner und langer Servomotor andere Kapazitäten haben als der hier verwendete Standard-Asynchronmotor.

Die Pfeile in Bild 3 zeigen beispielhaft den Stromfluss beim Einschalten von T2. Der kapazitive Strom fließt vom IGBT über die Y-Kondensatoren zur Gehäusemasse und dann über die Kabelkapazitäten zurück zum Zwischenkreis und IGBT. Für die hochfrequenten kapazitiven Ströme sind die Zwischenkreis- und Y-Kondensatoren wie Kurzschlüsse. Da das Motorgehäuse auch mit dem Erdpotential verbunden ist, fließt ein Teil des Stroms über das Erdpotential. Für geschirmte Kabel spielt es keine Rolle, ob die Kabel gerade oder auf einer Trommel verlegt sind, weil außerhalb des Kabels keine kapazitive Kopplung mit einem sich ändernden elektrischen Potential besteht.



\* Dr.-Ing. Arendt Wintrich  
... ist Application Manager bei SEMIKRON, Nürnberg.

**Bild 1:** Ersatzschaltbild eines Antriebsumrichters mit EMV-Komponenten und parasitären Kapazitäten.



Bilder: SEMIKRON



Die Schaltverluste werden im Doppelpuls-Test gemessen. Im Beispiel ist das untersuchte Bauteil der untere IGBT der Phase U (T2) mit der oberen Freilaufdiode (D1). Die anderen fünf IGBT sind entweder permanent eingeschaltet (T3, T5=+DC auf Phase V und W) oder dauerhaft ausgeschaltet (T1, T4 und T6). Der gewünschte Strom wird durch die Pulsdauer des ersten Impulses eingestellt. Nach dem Ausschalten des IGBTs folgt eine Freilaufphase, bis der IGBT zum zweiten Mal eingeschaltet wird. Der Strom bleibt während des Freilaufs nahezu konstant. Die erste Abschaltung und das zweite Einschalten werden zur Messung der Strom- und Spannungsverläufe und der Schaltenergie verwendet (siehe Bild 4).



**Bild 2:** MiniSKiiP-Module sind für 600 V/650 V, 1200 V und 1700 V mit 4 bis 400 A Chip-Nennstrom konzipiert und bieten Trench-IGBT-Technologie in Verbindung mit den SEMIKRON-CAL-Dioden. 1200-V-Trench-IGBT4 und CAL4-Dioden sind für maximale Sperrschichttemperaturen von 175 °C vorgesehen.

### Einfluss verschiedener Schaltungsparameter

**Kabellänge:** Die Kabellänge wurde von 2 m bis 50 m variiert. Beim Einschalten dominiert der dem Laststrom überlagerte kapazitive Strom das Schaltverhalten. Mit zunehmender Länge steigt die Amplitude des kapazitiven Stroms an. Bei 50 m geht der IGBT sogar in die Entsättigung und begrenzt den Strom auf ca. 24 A ( $3 \times I_{C(nom)}$ ). Bei der folgenden Halbwelle wird der Strom negativ, die antiparallele Diode leitet und die Spannung über dem Schalter wird negativ. Der zusätzliche Strom und teilweise auch der langsamere Abfall der Kollektor-Emitter-Spannung  $V_{CE}$  erhöht die Einschaltverlustenergie  $E_{on}$  auf mehr als 250% gegenüber dem Wert ohne Kabel.

Beim Ausschalten ist ein entlastetes Schalten zu beobachten, da die Kapazitäten am Ausgang den Spannungsanstieg reduzieren. Der Hauptteil des kapazitiven Stroms fließt durch den Zwischenkreis. Die IGBT-Abschaltverlustenergie  $E_{off}$  werden auf ca. 50% reduziert, aber der hochfrequente Strom verursacht zusätzliche Verluste im Zwischenkreis-kondensator. Die Stufe in der Ausgangsspannung kann durch eine Wellenbildung im Kabel erklärt werden, die unabhängig von der Halbleiterschaltgeschwindigkeit oder den Gate-Ansteuerbedingungen ist. Je länger das Kabel ist, desto ausgeprägter ist die Stufe. Das Plateau sinkt mit dem Strom und bei niedrigen Strömen kann die Spannung mehrere Plateaus aufweisen.

**Laststrom:** Die Höhe des Laststroms beeinflusst stark die prozentuale Zunahme der Einschaltverluste und die Spannungsanstiegszeit beim Ausschalten. Während  $E_{off}$  proportional mit dem Strom gegen Null geht, wird trotz fehlendem Laststrom (0 A) eine Einschaltverlustenergie verursacht. Der Offset auf die Schaltverluste (Absolutwert) ist

über den gesamten Wechselrichterstrombereich nahezu konstant.

Die Amplitude des überlagerten kapazitiven Stroms ist für niedrige und hohe Laststrompegel ähnlich. Das führt bei niedrigen Strömen sehr schnell dazu, dass sich die Stromrichtung während der Oszillationen ändert und die antiparallele Diode leitend wird. Beim Ausschalten ist der niedrige Strom nicht in der Lage, die Kabel-Kapazitäten parallel zum IGBT schnell aufzuladen. Der Spannungsanstieg verlangsamt sich proportional mit der Verringerung des Laststroms.

**Zwischenkreisspannung:** Der Einfluss der Zwischenkreisspannung auf die Schaltverluste liegt im gleichen Bereich wie bei Standardschaltbedingungen mit rein induktiver Last.  $E_{on}$  bei 400 V beträgt etwa 50% des Wertes bei 600 V und  $E_{off}$  bei 400 V ist 78% des 600-V-Wertes.

**Sperrschichttemperatur:** Sowohl bei Raumtemperatur als auch im heißen Zustand steigen die Verluste mit längeren Kabeln. Der prozentuale Anstieg gegenüber den rein induktiven Verlusten ist bei hohen Temperaturen geringer als im Kalten. Grund dafür ist, dass die Halbleiterverluste mit der Temperatur steigen, aber der kapazitive Teil nahezu konstant bleibt. Von den 39% zusätzlichen Leerlaufverlusten bei 25 °C bleiben noch etwa 23% bei  $T_j=125$  °C und etwa 20% bei  $T_j=150$  °C jeweils in Bezug auf die Schaltverluste bei Nennstrom.

### Die Konsequenzen bei verschiedenen Kabellängen

Zusätzliche **Schaltverluste im Wechselrichterbetrieb:** Leerlaufverluste werden in der gebräuchlichen Formel für PWM-Wechselrichter vernachlässigt. Diese werden bei Nullstrom zu Null angenommen. Es ist notwendig, die Berechnung um einen Ausdruck

# High Power



## MeanWell Power Supplies NEU: Serie RSP

- Geschlossene Bauform (case)
- Niedrige Bauhöhe 1 HE / 2 HE
- Leistung 750 bis 3.000 W
- Programmierbare Ausgangsspannung ab RSP-750
- Parallel-Funktion ab RSP-1000

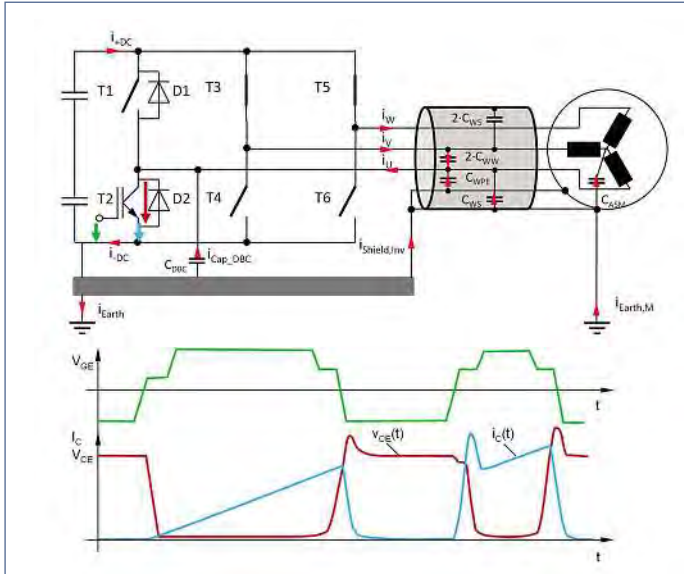
## Distribution by Schukat electronic

- Über 200 Hersteller
- 97 % ab Lager lieferbar
- Top-Preise von Muster bis Serie
- Persönlicher Kundenservice

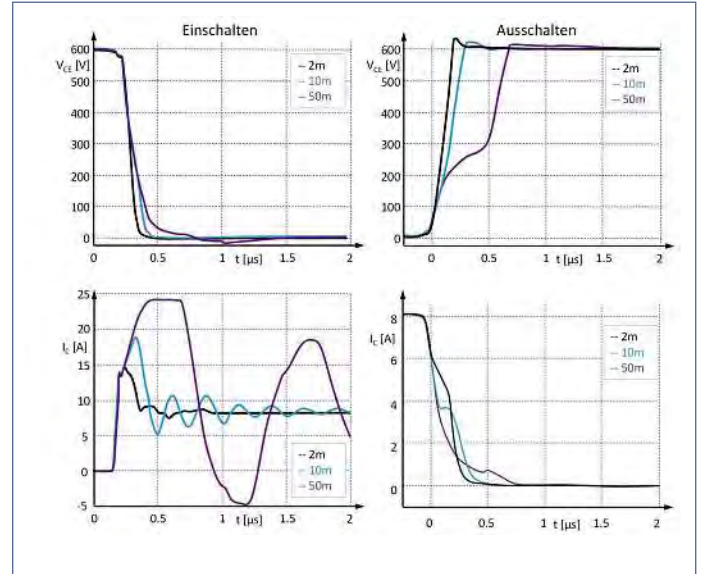
Onlineshop mit stündlich aktualisierten Preisen und Lagerbeständen

[schukat.com](http://schukat.com)

**SCHUKAT**  
electronic



**Bild 3:** Prinzipschaltung des Testaufbaus und Kurvenverlauf im Doppelpuls.



**Bild 4:** Ein- und Ausschalten bei 8 A Laststrom mit verschiedenen Kabellängen.

für den kapazitiven Kabelstrom zu erweitern, der einen Offset der Schaltverluste (Energie multipliziert mit der Schaltfrequenz) unabhängig vom Laststrom hinzuaddiert. Für unterschiedliche Kabellängen ist dieser Offset unterschiedlich hoch (siehe Bild 5).

### Einfluss am Beispiel eines Wechselrichters

Ein Beispiel soll den Einfluss verdeutlichen. Angenommen wird ein 3,7-kW-Wechselrichter mit 400 V Ausgangsspannung, einer Schaltfrequenz von 12 kHz bei 700 V DC-Spannung. Ohne Kabellast verursacht ein 8-A/1200-V-IGBT etwa 6 W Leitverluste plus 10 W Schaltverluste und wird damit im Mini-SKiiP-Gehäuse 30 K heißer als die Kühlkörpertemperatur. Mit 50 m Kabel verdoppeln sich fast die Schaltverluste auf 18,5 W und der IGBT wird 45 K heißer als der Kühlkörper.

**Verlängerung der Verriegelungszeit:** Verriegelungszeiten sind notwendig, um einen dynamischen Kurzschluss zwischen den Schaltern einer Wechselrichterphase zu verhindern. Es ist sicherzustellen, dass ein IGBT vollständig ausgeschaltet ist, bevor der an-

dere IGBT eingeschaltet wird. Die Anstiegszeit der Spannung während des Abschaltens bei nahezu Nullstrom kann in den  $\mu$ s-Bereich ansteigen. In diesem Fall wird die minimale Verriegelungszeit durch die Kabelkapazitäten und nicht durch den Halbleiter bestimmt.

**Kurzschlusschutz:** Stand der Technik für den Kurzschlusschutz ist eine Überwachung der Durchlassspannung des IGBT, welche mit einer Referenzspannung von typischerweise 5 bis 7 V verglichen wird. Falls die Durchlassspannung die Referenz überschreitet, wird der IGBTs ausgeschaltet. Die Überwachung wird zum Einschaltbefehl ein paar  $\mu$ s verzögert aktiviert, damit der IGBT seine stationäre Vorwärtsspannung erreicht hat. Wenn aber die kapazitiven Oszillationen mehrere  $\mu$ s dauern, so muss die Verzögerung verlängert werden. Für IGBTs der heutigen Generation mit Kurzschluss-Pulsdauern von  $\leq 10 \mu$ s sind solche Verlängerungen realisierbar. Für zukünftige IGBT-Generationen mit höheren Stromdichten reduziert sich die Kurzschluss-Pulsdauer. Dadurch kann es passieren, dass die gängige Kurzschlussüberwachung nicht mehr einsetzbar ist bezie-

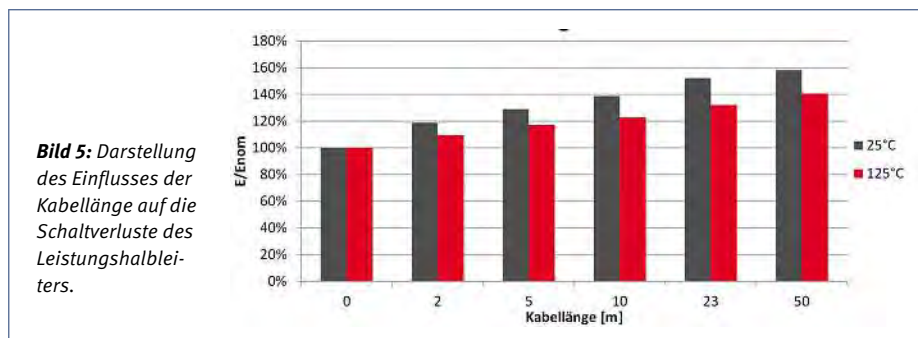
hungsweise unerwünschte Fehlerabschaltungen erfolgen.

**Schlussbetrachtung:** Für die EMV-Anforderungen sind oftmals geschirmte Kabel erforderlich. Die Koppelkapazitäten des Kabels erhöhen die Einschalt-Energie eines IGBTs mehr als die Abschaltenergie reduziert wird. Daher ist eine Zunahme der Schaltverluste zu berücksichtigen, deren Höhe von der Kabellänge abhängt. Die zusätzlichen Verluste können im Leerlauf bei Nullstrom bestimmt werden und als einfacher aber guter Ansatz als konstanter Offset für den gesamten Strombereich hinzugefügt werden.

Bei höheren Umrichterleistungen verlieren die zusätzliche Verluste an Bedeutung, da die vom Halbleiter verursachten Schaltverluste von z.B. 10 A auf 100 A Nennstrom nahezu linear steigen, während die Kabelkapazitäten im gleichen Leistungsbereich nur um weniger als Faktor 3 zunehmen. Es kann nicht spezifiziert werden, bis zu welchem Strom der Effekt geschirmter Kabel berücksichtigt werden soll, da er von der maximalen Kabellänge, dem Verhältnis zwischen Schalt- und Leitverlusten und dem Motorbetrieb abhängt.

Man sollte den Einfluss in die Entwicklungsbetrachtungen einbeziehen, solange ein paar einzelne Watt pro IGBT einen merklichen Beitrag zu den Gesamtverlusten leisten. Die Kabelkapazitäten haben auch Auswirkungen auf die Verluste im Zwischenkreiskondensator, die Schalt- und Verriegelungszeiten und die Ausblendzeit des Kurzschlusschutzes mit  $V_{CE(sat)}$ -Überwachung.

// KU



**Bild 5:** Darstellung des Einflusses der Kabellänge auf die Schaltverluste des Leistungshalbleiters.

SEMIKRON





# Jede Kombination – Ihr Gewinn!

Individuelle Antriebslösung in 48 Stunden, ab 1 Stück.



Geber

Bremse

Elektronik

Motor

Getriebe

Besuchen Sie uns auf der SPS IPC Drives 2017 in Nürnberg vom 28. bis 30. November 2017, Halle 1, Stand 1-324.

Für jeden Einsatzzweck die perfekte Lösung – dank Baukastenprinzip.

- Verschiedene Motorkonzepte im Leistungsbereich von 10–750 Watt
- Beliebig kombinierbar mit verschiedenen Getrieben, Bremsen, Gebern und Elektronik
- Elektronik zum drehzahl-, drehmoment- und positionsgesteuerten Betrieb

Vorzugstypen innerhalb von 48 Stunden versandfertig.

Mehr Informationen für Ihre Anwendung: [ebmpapst.com/idt-konfigurator](http://ebmpapst.com/idt-konfigurator)

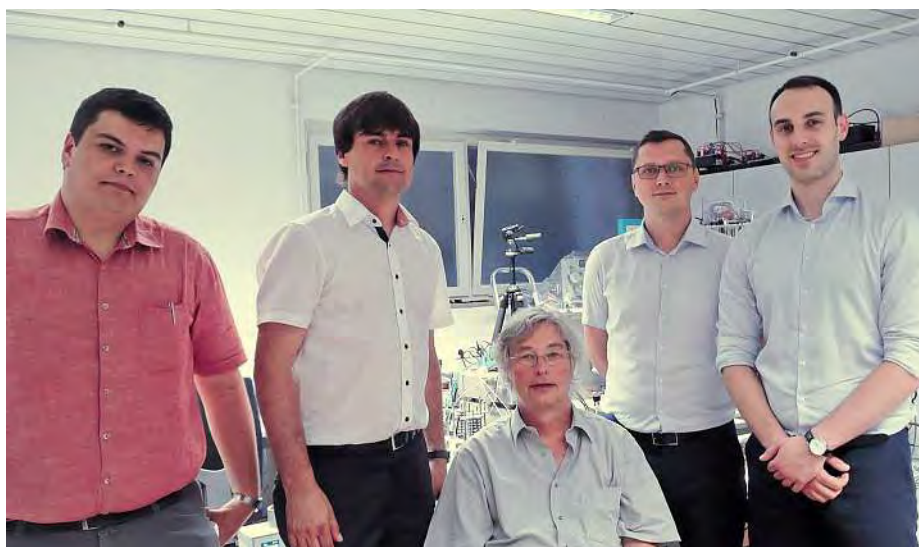
## ebmpapst

Die Wahl der Ingenieure

# Umfassendes Expertenwissen für ein langes Schaltungsleben

*In Fragen der Lebensdaueranalyse löst das ZFW in Stuttgart seit 15 Jahren erfolgreich sensible Aufgaben aus Industrie und Forschung. Die enge Kooperation mit der DHBW macht das möglich.*

ANDREAS GRIESINGER \*



Bilder: Zentrum für Wärmemanagement

**Bild 1:** Nicht jeder Test ist bei jedem Bauteil nötig; aus der Erfahrung wissen die ZFW-Experten genau, welche Simulation und welches Messverfahren anzuwenden ist.

Beim Entwickeln von Leistungselektronik steht am Anfang eines jeden Design-Projekts das Abschätzen der Lebensdauer eines Systems. Um Re-Designs so weit wie möglich einzuschränken, muss diese Lebensdauerabwägung sehr früh im Entwicklungsprozess stattfinden. Meist liefern beschleunigende Umweltprüfungen die Grundlage für diverse Berechnungsmodelle. Die Kombination vieler Materialien und Belastungsprofile sorgt aber für eine beinahe unüberschaubare Menge an Ausfallmechanismen. Der Entwickler muss bei dieser Menge an Parametern den Überblick behalten – das ist nicht einfach.

Zu den wichtigen Themenfeldern gehören nach wie vor thermische Interface-Materiali-

en, die sogenannten TIMs. Also Pasten, Gele, Pads, Folien oder Klebstoffe, die für einen guten Wärmetransport zwischen zwei Festkörperoberflächen sorgen. Diese TIMs machen an den Gesamtkosten eines Systems nur einen kleinen Teil aus, bestimmen aber zu einem wesentlichen Teil die Lebensdauer des Gesamtsystems. Genaue Informationen zum Alterungsverhalten der TIMs sind heute in den wenigsten Fällen verfügbar. Da bleibt dem Entwickler nur sein Bauchgefühl.

## Der detaillierte Nachweis der Betriebssicherheit ist Pflicht

Ein typisches Beispiel für eine lange Lebensdauer sind Windkraftanlagen. 20 Jahre sind heute Standard, die Reise geht in Richtung 30 Jahre Zuverlässigkeit. Wirtschaftlich interessant ist natürlich der Betrieb über die anfangs zertifizierte Lebensdauer hinaus. Das bietet die Möglichkeit, die Stromgestehungskosten deutlich zu senken. Der Weiterbetrieb erfordert den detaillierten Nachweis der Betriebs-

sicherheit. Die Entwickler sind hier mehrfach gefordert: Neben der sorgfältigen thermischen, elektrischen und mechanischen Auslegung muss das Augenmerk besonders auf Rework- und Updateprozessen liegen.

## Besonderheiten in der elektrischen Antriebstechnik

Ein Merkmal der elektrischen Antriebstechnik ist, dass einer thermischen Belastung in der Regel auch eine Vibrationsbelastung überlagert ist. Deren reales Profil steht in der Entwicklungsphase nur selten zur Verfügung. Das ist dann die besondere Herausforderung. Ein weiterer Punkt ist, dass in vielen Fällen die Einbausituation der Elektronik nicht bekannt ist. Beispielsweise wird das Motosteuergerät eines Pkw in verschiedenen Fahrzeugentypen an den unterschiedlichsten Stellen verbaut. Hier muss der Entwickler vom Worst-Case ausgehen. Das Elektroniksystem muss also so ausgelegt sein, dass es in heißer Nachbarschaft ohne kühlende Anströmung und ohne wärmeableitende Anschraubung oder Stecker überlebt.

## Wovon die Zuverlässigkeit der Leistungselektronik abhängt

Statistisch gesehen ist die Temperatur bei über 50% der Elektronik die Ausfallursache. Dazu gehören die Überschreitung der maximal erlaubten Temperatur und die Belastung durch Temperaturwechsel. Danach kommen bei den Ausfallursachen mechanische Einflüsse, beispielsweise durch Vibration, Schädigung durch Feuchte oder durch Staub. Interessant wird es, wenn man sich die Wechselwirkung der Schadensmechanismen näher betrachtet, die durch diese Einwirkungen zustande kommen.

## Gründungsgedanken und Arbeitsschwerpunkte des ZFW

In Deutschland gibt es zwischen Hochschule oder Universität und der Industrie manchmal eine hohe gedankliche Mauer. Die Hoch-



\* Prof. Andreas Griesinger  
... lehrt an der Dualen Hochschule  
Baden-Württemberg und ist Gründer  
des Zentrums für Wärmemanagement,  
Stuttgart.



schulen profitieren zu wenig von den wichtigen praktischen Erfahrungen der Industrie und umgekehrt kommt das Knowhow der Hochschulen in der Praxis nicht an. Die moderne Infrastruktur der Hochschulen, wie etwa teure Messtechnik, wird so manchmal nur für kurzfristige Forschungsprojekte genutzt. Mit dem Weggang des entsprechenden Doktoranden von der Hochschule ist das Wissen dann verloren und die Laborausstattung verstaubt im Keller.

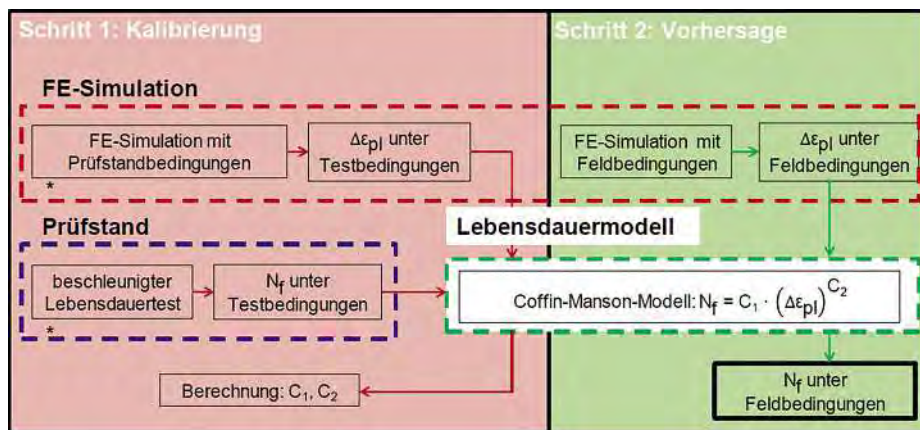
Die Idee bei der Gründung des Zentrum für Wärmemanagement (ZFW) vor 15 Jahren war, diese Mauer zumindest in meinem Bereich einzureißen. Das Knowhow und die Infrastruktur der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) sollten der Forschung und Lehre und der Industrie zur Verfügung stehen. Andererseits wollte ich in meinen Vorlesungen den Praxisbezug nicht verlieren. Gedacht wurde zunächst nur an Projekte mit kleinen und

mittleren Betrieben. Mittlerweile gehören aber auch viele Großkonzerne zu den Kunden des Zentrums für Wärmemanagement.

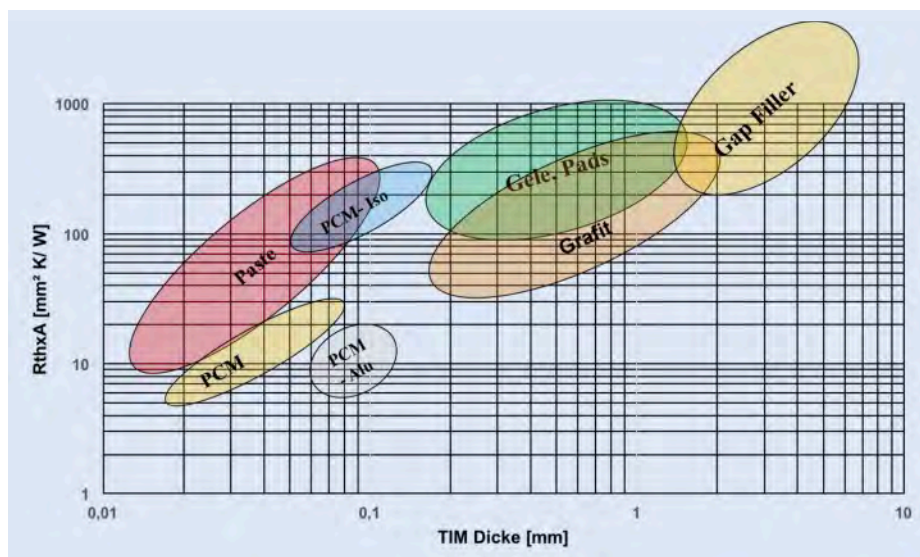
Das ZFW beschäftigt sich seit seiner Gründung vor 15 Jahren mit dem Wärme-Management und der Lebensdaueranalyse elektronischer Komponenten und Systeme. Dazu gehören viele Berechnungs-, Mess- und Prüfmethoden. Ein Schwerpunkt unserer Arbeit ist, mögliche Zustände einer Elektronik schon in einem frühen Entwicklungsstadium vorherzusagen, zu optimieren und letztlich die Lebensdauer auf einen gewünschten Wert zu bringen.

### Aktuelle Entwicklungsthemen und Erfolge des ZFW

Aktuell entwickeln wir zusammen mit einem großen Unternehmen eine Mess- und Prüfeinrichtung für thermische Interface-Materialien. Das Ziel ist die thermische und



**Bild 2:** Die Zuverlässigkeitsbetrachtung durch Simulation und Messtechnik (Versuch) findet in zwei aufeinander aufbauenden Schritten statt.



**Bild 3:** Überblick über verschiedene TIM-Arten. Eine um 10 K niedrigere Junction-Temperatur verdoppelt im Regelfall die Halbleiter-Lebensdauer.

## Kompetenz in Technik.

### FLÜSSIGKEITSKÜHLUNG

#### kundenspezifische Lösungen

Hohe Kühlleistung durch eingearbeitete Kupfer- oder Edelstahl Innenrohre.



### HOCHLEISTUNGSKÜHLKÖRPER

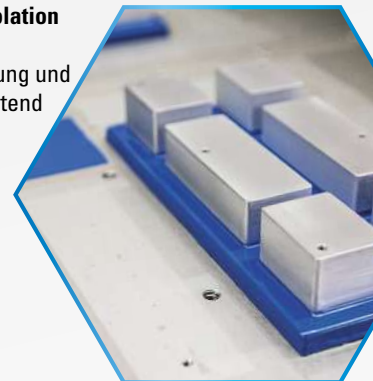
#### feinverrippt

Variable Breiten durch modernste Reibschweißtechnik.



### BLAUE TECHNIK elektrische Isolation

Potentialtrennung und hoch wärmeleitend mit 1W/mK.



**austerlitz electronic**

austerlitz electronic GmbH

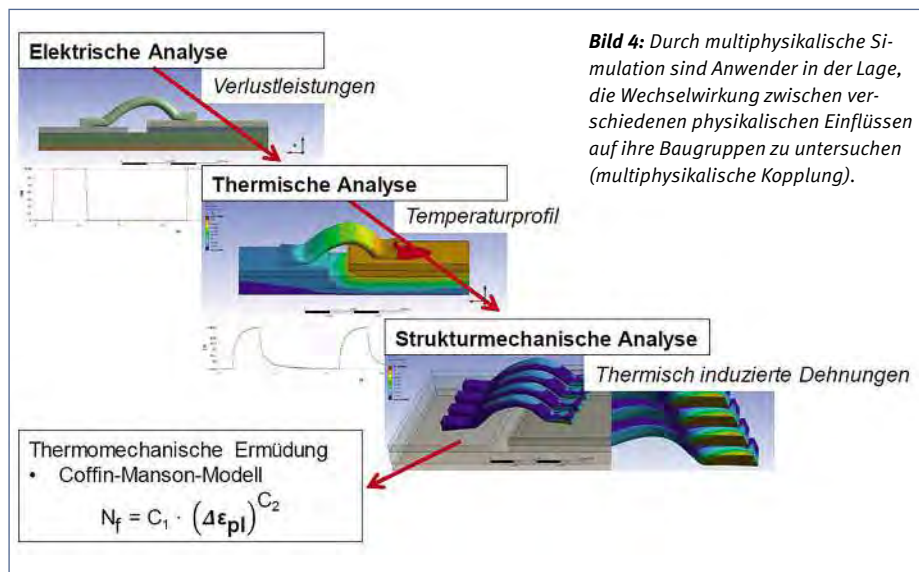
Ludwig-Feuerbach-Straße 38  
D-90489 Nürnberg

Telefon: +49 (0)9 11/5 97 47-0

Telefax: +49 (0)9 11/5 97 47-89

E-Mail: [info@austerlitz-electronic.de](mailto:info@austerlitz-electronic.de)

Internet: [www.austerlitz-electronic.de](http://www.austerlitz-electronic.de)



**Bild 4:** Durch multiphysikalische Simulation sind Anwender in der Lage, die Wechselwirkung zwischen verschiedenen physikalischen Einflüssen auf ihre Baugruppen zu untersuchen (multiphysikalische Kopplung).

mechanische Belastung dieser Materialien mit nur einer Prüfung beschleunigt und applikationsnah abzubilden. Dabei werden die thermischen, elektrischen und mechanischen Parameter kontinuierlich überwacht. Mit den Daten soll mehr über die Ausfallmechanismen der Materialien in ihrem praktischen Einsatz in Erfahrung gebracht werden. Diese gesammelten Informationen bilden dann die Basis für verbesserte Lebensdauermodelle.

Ein weiteres, spannendes Thema sind derzeit die elektrischen Kontakte. Ein elektrischer Kontakt kann durch Umwelteinflüsse bei falscher Auslegung schnell zu einer Wärmequelle werden und überhitzen. Es geht darum, die elektrischen Kontakte hinsichtlich ihrer thermischen Eigenschaften kennenzulernen und entsprechend zu optimieren, und das über ihre gesamte Lebensdauer. Treiber ist hauptsächlich die Automobilindustrie, die für ihre Batterietechnik hohe Ladeströme verlangt.

Unser Erfolg ist immer der Erfolg unseres Kunden. Da gäbe es sicher einiges zu berich-

ten. Ein Highlight war die Entwicklung unseres TIM-Testers, für den wir im Jahr 2013 zusammen mit dem Stuttgarter Mahle-Konzern (Spezialist für Elektromobilität) den Lohnpreis der Steinbeis-Stiftung bekommen haben. Ein anderes Erfolgsbeispiel ist unser Projekt „Cyber-Lab“, mit dem das ZFW den Studierenden der Dualen Hochschule Baden-Württemberg die Grundlagen des Wärmemanagements vermittelt. Dafür gab es 2015 den Landeslehrpreis Baden-Württemberg (DHBW).

### Zusammenarbeit des ZFW mit der Dualen Hochschule

Als Gründer und Leiter des ZFW bin ich gleichzeitig Professor an der DHBW Stuttgart und leite dort den Forschungsschwerpunkt Wärmemanagement. Mitarbeiter der DHBW arbeiten teilweise auch am ZFW und anders herum. Damit ist das ZFW eng mit der Hochschule verzahnt. Das ZFW kann auf die hervorragende Laborausstattung der DHBW zurückgreifen. Davon profitieren alle Beteiligten.



**Bild 5:** Ausführliche Analyse und Bewertung der Messergebnisse im ZFW-Team, um genaue Aussagen über das Verhalten des Bauelements in der realen Applikation zu gewinnen.

Eine gute Vorlesung lebt vom Praxisbezug, von aktuellen Beispielen und manchmal sogar von kleinen Anekdoten. Der Professor, der reines Buchwissen verbreitet, wird bei seinen Studierenden auf wenig Gegenliebe stoßen. Die Mitarbeiter des ZFW können da Gott sei Dank auf einen großen Erfahrungsschatz zurückgreifen. Durch die enge Verzahnung von ZFW und Hochschule profitieren also auch die Studierenden. Ein kleiner Wermutstropfen ist, dass so manche pfiffige Lösung, die am ZFW ausgetüftelt wurde, nicht mit in die Vorlesung genommen werden darf. Das verbietet manchmal die Geheimhaltungspflicht, der wir unterliegen.

### Wie Studierende für die Praxis ausgebildet sein müssen

Die praxisgerechte Fachausbildung ist eine ganz zentrale Frage. Welche Ausbildung brauchen junge Menschen, die heute mit dem Smartphone praktisch uneingeschränkter Zugriff auf die vielfältigsten Informationen haben? Welches Wissen und Können brauchen die Studierenden, die unsere zukünftigen Technologien entwickeln, die für uns vielleicht heute noch gar nicht vorstellbar sind?

Die Antwort kann nur heißen: Wir müssen Grundlagen und Methodik lehren, weniger das Wissen. Wir müssen das Denken lehren, nicht das schon Gedachte. Zu einem Ingenieurstudium gehören im Bachelor die Mechanik, die Werkstoffkunde, die Elektrotechnik, die Informatik, die Thermodynamik und ganz viel Mathematik. Und das unabhängig von der Fachrichtung. Die Spezialisierung kann dann im Masterstudium erfolgen. Übrigens: Nicht jeder Ingenieur muss im Berufsalltag Differentialgleichungen lösen. Aber die Mathematik ist im Studium hervorragend dazu geeignet, das analytische Denken zu trainieren. Mit den Grundlagen des Studiums muss sich der Studierende später im Beruf flexibel in neue Themen einarbeiten können. Themen, von denen wir heute vielleicht noch nicht einmal träumen. Die Besonderheit der Dualen Hochschule Baden-Württemberg ist die enge Verbindung von Theorie und Praxis im Studium. Etwa die Hälfte des Studiums verbringen die Studierenden an der Hochschule, die andere Hälfte im Unternehmen. Die Studierenden haben vom ersten Tag ihres Studiums an einen Ausbildungsvertrag mit ihrem Unternehmen, und damit alle Rechte und Pflichten eines Angestellten – einschließlich eines meist ganz ordentlichen Gehalts. Mittlerweile sind über 9000 Firmen oder soziale Einrichtungen Teil dieses Erfolgsmodells.

// KU

Zentrum für Wärmemanagement (ZFW)



One of our  
key products:  
Trust.

## Leistungshalbleiter von Mitsubishi Electric.

Präzise und effiziente Steuerung von dynamischen Prozessen stellt hohe Ansprüche an die Komponenten. Mit über 30 Jahren Entwicklung und Produktion von IGBTs und der Weiterentwicklung wegweisender Technologien bietet Mitsubishi Electric ausgezeichnetes Know-how, um diese Anforderungen zu erfüllen. Neueste Chip-, Aufbau- und Verbindungstechnologien bieten verlängerte Modul Lebensdauer, hohe Leistungsdichte für kompakte Bauweise, einfache Systemmontage und Unterstützung von skalierbaren Plattformkonzepten.

### Leistungshalbleiter für industrielle Anwendungen



#### 7. Generation IGBT Module im NX-Gehäuse

- 7. Generation IGBT mit CSTBT™ Chip-Technologie
- Überragende Langzeitzuverlässigkeit durch optimierte Verbindungstechnik und Hartverguss
- Hohe Lastwechselfähigkeit durch Einsatz neuer IMB-Technologie (Insulated Metal Baseplate)
- Thermisches Interface Material und PressFit Kontakte
- Umfassendes Produktportfolio für 650 V, 1200 V und 1700 V Spannungsklassen



for a greener tomorrow

Mehr Informationen:  
[semis.info@meg.mee.com](mailto:semis.info@meg.mee.com)  
[www.mitsubishichips.eu](http://www.mitsubishichips.eu)



Scannen und bei  
YouTube mehr über die  
Produktsreihe erfahren.

 **MITSUBISHI  
ELECTRIC**  
*Changes for the Better*

# Ein neuer Technologie-Ansatz für den einfachen SJ-MOSFET

*D3 Semi hat ihren Hochvolt-Superjunction-MOSFET weiterentwickelt und bietet u.a. die Konfigurierbarkeit auf Wafer-Ebene für schnelles Prototyping und/oder Behebung von Schaltungsproblemen.*

TOM HARRINGTON, SCOTT CARSON \*

Aufgrund der MOSFET-Knappheit in den Jahren 2007 und 2008 erkannten drei Power-Routiniers die Marktbedeutung eines neuen Anbieters, der Qualitätsprodukte schnell zu liefern in der Lage ist. D3 Semiconductor entstand. Mit insgesamt rund 70 Jahren Branchenerfahrung und ebenso weitreichendem Technologie-Background entwickelten Vince Eversizer (CEO) und Tom Harrington (CTO) sowie Marty Brown (als erfahrener Entwickler mit einer Vielzahl von Spezialisierungen) einen dreistufigen Business-Plan, der eine Geschäfts-

entwicklung und Technologie vorantreiben sollte. Unmittelbar nach der planerischen Konzeptionierung begann 2011 die Testphase verschiedener Technologiekonzepte.

Die technologische Vision war es, den Gate-Treiber zusammen mit anderen analogen Funktionen auf dem Hochspannungs-Superjunction-MOSFET zu integrieren. Klar war: Hinsichtlich des Preis/Leistungs-Verhältnisses ist Silizium schwer zu übertreffen. Somit stand die Silizium-SJ-Technologie als logische Wahl für das Erreichen des Ziels fest. Ein einfacher dreistufiger Prozess bei der Produktentwicklung sollte dazu dienen, die gewünschte Integration und Leistung für zukünftige Generationen von SJ-Transistoren zu erreichen.

Die Stufe 1 bestand darin, einen Weltklasse-HVJS zu entwickeln. Das wurde mit der Einführung der +FET-MOSFET-Produktlinie im März 2017 erreicht. Die Leistungsstärke von Hochspannungs-Superjunction-MOSFETs kann mit allen anderen Bausteinen auf dem Markt mithalten. Unsere MOSFET-Pro-

duktlinie deckt einen weiten Bereich an Kenndaten und Gehäusetypen ab. Mit laufender Serienproduktion und zwei Ersatzquellen für jeden Teil der Lieferkette erfreuen wir uns bereits reger Nachfrage.

## Zusätzliche Konfigurationen sind möglich

Die Stufe 2 unterscheidet uns vom Wettbewerb dahingehend, dass das Konzept die Rückwärtsentwicklung ist. Anders ausgedrückt: Anstatt erst eine Lösung (Produkt) zu erschaffen und dann ein Problem (Kundenbedarf) zu finden, haben wir uns darauf konzentriert, eine zuverlässige Superjunction-Plattform zu entwickeln, die auf Wafer-Ebene gemäß den Entwicklervorgaben konfigurierbar ist.

Wir nutzen dabei unseren Background sowohl in der Analog- als auch der Mixed-Signal-Technologie. Diese haben wir zur Erschaffung unseres Superjunction-MOSFET zusammengeführt. Das Einzigartige dabei ist die Nutzung einer Mixed-Signal-Fabrik. Dies bedeutet, dass das Silizium bereits während des Fertigungsprozesses im Hinblick auf eine spezielle Anwendung optimiert werden kann.

Diese ‚Skalierbarkeit‘ stellt für ein mittelständisches Halbleiterunternehmen ein Novum in der Branche dar. Bestehende Top-Tier-Zulieferer setzen nur führende diskrete Technologien für hochvolumige kommerzielle Märkte ein. Zulieferer der zweiten Ebene sind auf veraltete Fabriken mit begrenzter technologischer Skalierbarkeit angewiesen. Dies führt oftmals zu Problemen der Lieferkette, die wiederum Designkompromisse nach sich ziehen, und dazu, dass kleinere Unternehmen einfach nicht über die Möglichkeit verfügen, eine vergleichbare Art von Flexibilität zu bieten.

D3 Semiconductor hält Patente zur Verbesserung der Konfigurierung von SJ-MOSFETs. Feineinstellungsmöglichkeiten von Slew-Rate, Schwellenspannung, Einschaltwider-

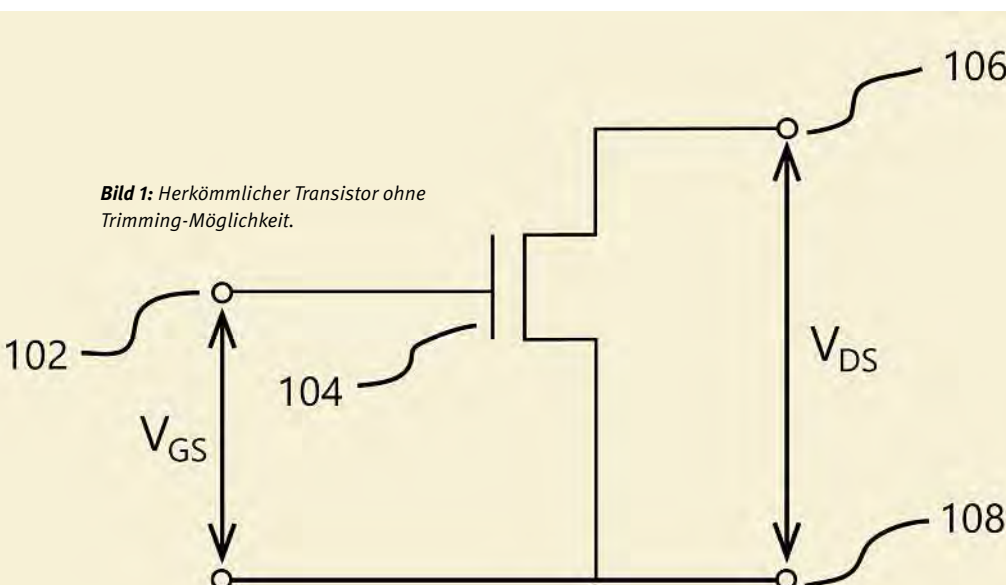


\* Tom Harrington  
... ist Chief Technology Officer und Mitgründer der D3 Semiconductor, Addison/Texas.



\* Scott Carson  
... ist Vice President Sales & Marketing bei D3 Semiconductor, Addison/Texas.

Bild 1: Herkömmlicher Transistor ohne Trimming-Möglichkeit.



Bilder: D3 Semiconductor



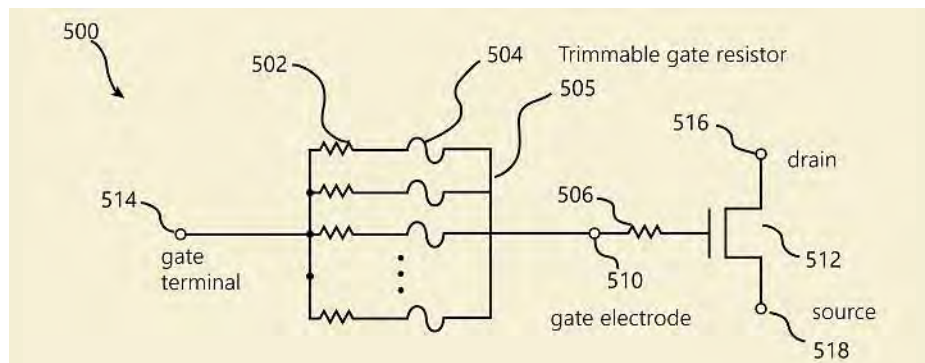


Bild 2: Transistor mit konfigurierbarem Gate-Widerstand.

stand und Strombelastbarkeit innerhalb eines bestimmten Bereichs liefern Optionen, die man bisher bei SJ-MOSFETs nicht kannte. Dies bietet Entwicklern eine bessere Kontrolle des dynamischen Systemverhaltens als je zuvor. Mit der Konfigurationsmöglichkeit zusätzlicher Variablen lässt sich der MOSFET noch besser an das System anpassen und die benötigte Zeit für die Änderung des Platinen-Layouts oder das Prototyping von Magnetop-tionen verkürzen.

### Die Vereinfachung des MOSFET-Bausteins

Im herkömmlichen Ansatz ist der MOSFET ein einfacher Schalter mit gegebenem Verhalten, definierter Leistungsfähigkeit und Auswirkung. Der Rest der Schaltung wird anschließend so ausgelegt, dass der MOSFET in seinem sicheren Betriebsbereich bleibt. Darüber hinaus wird die externe Beschaltung derart abgestimmt, dass sich das vom MOSFET während des normalen Betriebs erzeugte Rauschen verringert. Von außerhalb betrachtet erscheint dieser Ansatz vernünftig, jedoch erhöht die zusätzliche Beschaltung Komplexität, Kosten und Systemgewicht.

Innerhalb der Schaltung ist der MOSFET oft sein eigener Feind. Er erzeugt im Normalbetrieb hochfrequentes Rauschen während seiner Ein/Aus- und Aus/Ein-Übergänge. Während des Ein/Aus-Übergangs kann dieses Rauschen durch parasitäre physikalische Eigenschaften der Schaltungskomponenten und des Platinen-Layouts verstärkt werden. Wird das verstärkte Rauschen auf das Gate bzw. auf die Gate-Treiber-Schaltung rückgekoppelt, kann die Gate-Spannung so weit ansteigen, dass der MOSFET wieder in den On-Zustand kommt, was zu Verlusten führt.

Neben der schwierigen Aufgabe der Rauschminderung ist zudem ein hoch bleibender Wirkungsgrad sicherzustellen, denn die Produktanforderungen verlangen EMV-Konformität bei höchstmöglicher Effizienz. Dies stellt den Entwickler vor die Aufgabe,

auch die letzten 0,1% Wirkungsgrad aus einer Schaltung herauszupressen. Dessen bewusst, dass dies wesentliche Fragen unter den Entwicklern sind, haben wir uns dafür entschieden, Teil der Lösung anstatt Teil des Problems zu sein. Mit anderen Worten: Da der MOSFET oftmals Teil des Problems ist, sahen wir keinen Grund, warum er nicht auch Teil der Lösung sein sollte – mit Schwerpunkt auf dem Wirkungsgrad. Zu diesem Zweck bestand der neue Ansatz darin, durch Hinzufügen einer Konfigurationsebene für MOSFETs dem Entwickler mehr Kontrolle in die Hand zu geben, um den MOSFET besser an das System anzupassen.

### Typische Steuerungstechniken und schärfere Kontrolle

Abweichungen bezüglich der Schwellenspannung und des Gate-Widerstands bestimmen zeitliche Randbedingungen, die sich auf den Gesamtwirkungsgrad der Schaltung (beispielsweise Netzteil) auswirken. Eine schärfere und genauere Kontrolle der Verteilungen der Schwellenspannung und des Gate-Widerstands bietet viele Vorteile. Einige Beispiele umfassen ein präziseres System-Zeit-Verhalten, geringere Schaltverluste, vermindertes Rauschen und verbesserter Wirkungsgrad. Es gibt verschiedene Geräteparameter dieser Art, bei denen der Absolutwert nicht so wichtig ist, wie die für diesen Parameter beobachtete Schwankungsbreite. Eine schärfere Kontrolle dieser Verteilungen würde dem Entwickler die Flexibilität geben, ein bestimmtes Leistungsmerkmal zu verbessern, das für eine bestimmte Anwendung erforderlich ist, und gleichzeitig das elektrische Rauschen gering halten. Die Nutzung einer Wafer-Fertigungsstätte für Analog/Mixed-Signal-Halbleiter liefert das erforderliche Kontrollniveau zum Erreichen dieser Ergebnisse.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Techniken eingesetzt, um die Parameterteilungen in kostengünstigeren Fertigungs-

## Präzisions DC-Lasten



**LN-300A-Series**

300W, 60A, 120V



**LN-1000A-Series**

1000W, 180A, 120V

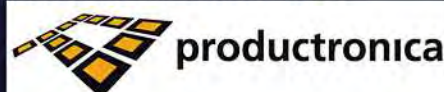
- mit Farb-LCD
- wie ein elektronischer Widerstand, ohne "Min. Spannung" Anforderung
- Sweep-Modus ermöglicht Testen von OCP ohne PC
- Superior High Speed Current Management Technologie
- Optionale Ripple & Noise / High Precision DCV Messung
- Optionale GP-IB & DIDO Steuerung
- **Impedanzmessungen bis zu 100kHz möglich.**

### Sontronic

System-Vertriebs GmbH  
Klausenburger Straße 9  
D-81677 München

Telefon +49 / 89 99301160  
Telefax +49 / 89 937343  
info@sontronic-gmbh.de  
[www.sontronic-gmbh.de](http://www.sontronic-gmbh.de)

Besuchen Sie uns auf der...



14.-17. Nov 2017 München

**Halle A1**

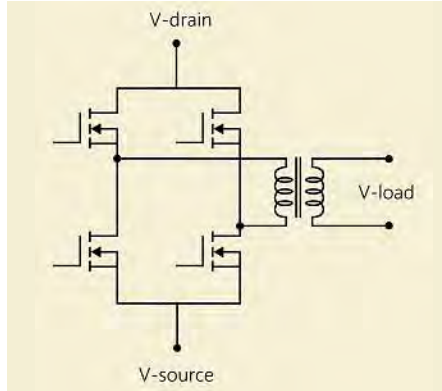
**Stand 148**

prozessen zu straffen, die jedoch nicht vollständig zufriedenstellend waren. Eine bisherige Lösung bestand darin, sich auf den kostengünstigsten Fertigungsprozess zu konzentrieren, die resultierenden Bauteile zu testen und nur diejenigen auszuwählen, die in einen akzeptablen Bereich fallen. Dies ist auch als ‚Binning‘ bekannt. Leider verursacht dieser Ansatz höhere Kosten, da eine große Anzahl der gefertigten Bauelemente außerhalb des gewünschten Verteilungsbereichs verworfen werden müssen. Darüber hinaus birgt diese Methode ein großes Potenzial für verwaiste Lagerbestände, die zu noch höheren Gesamtkosten führen.

Ein weiterer Ansatz war, die Konstruktion der Bauelemente leicht zu verändern, um Laser-Trimming oder andere Nachbehandlungsverfahren zu ermöglichen, um so eine große Anzahl in den jeweils gewünschten Parameterbereich zu verschieben. Dieses ‚Trimming‘-Verfahren wurde erfolgreich bei Mixed-Signal-Schaltungen in der Serienfertigung eingesetzt. Allerdings noch nicht erfolgreich bei vertikalen Halbleiterbauelementen. Der Grund dafür ist, dass die internen Komponenten des vertikalen Bausteins alle einen gemeinsamen Anschluss auf der Unterseite des Wafers haben. Beispielsweise ist die Unterseite des Wafers für einen VD-MOS der gemeinsame Drain-Anschluss für alle internen Einheiten, aus denen der Baustein besteht. Trimming für Bauelemente mit gemeinsamen Anschlüssen bedurfte neuartiger Technologien. Im Mittelpunkt der dritten Stufe des D3-Business-Fahrplans steht der Aufbau einer Roadmap von 20+ Jahren.

### Der interessante Ansatz ist die Konfigurierbarkeit

Wie in Bild 1 gezeigt sind in einer herkömmlichen Transistorkonfiguration keine Elemente vorhanden, die die Möglichkeit für Trimming bieten. Entschließt sich der Entwickler dazu, einen klassischen Weg der Systementwicklung zu verfolgen, ist die Entscheidung für einen herkömmlichen Transistor sicherlich ein gangbarer. Zusätzliche Schaltungskontrollmechanismen durch die Auswahl von Transistoren mit Laser-Trimming-Möglichkeit eröffnet eine Vielzahl neu-



**Bild 3:** Eine H-Brücken-Schaltung von D3 Semiconductor.

er Variablen, die vom Entwickler festgelegt werden können.

Insbesondere Parameter wie beispielsweise Schaltzeiten, Einschaltwiderstand, Schwellenspannung und Strombelastbarkeit können entsprechend den Vorgaben des Entwicklers innerhalb eines bestimmten Auswahlbereichs festgelegt oder konfiguriert werden. Diese Konfigurierbarkeit wird durch Laser-Trimming des Transistorelements unter Verwendung mehrerer paralleler Bauteilabschnitte erzielt, wie in Bild 2 gezeigt. Dieselbe Methode kann dazu verwendet werden, die gewünschten Parameter Bauelemente- oder Wafer-übergreifend abzugleichen. Dadurch lassen sich identisch angepasste Bauelemente auf konsistente Weise in Serienfertigung liefern.

Der Vorteil für den Entwickler liegt darin, dass identisch angepasste MOSFETs in einer H-Brücken- oder Parallel-Konfiguration zur Verfügung stehen. Das ermöglicht die Reduzierung des System-Overheads, da die Stromflüsse in einer gegebenen Schaltung vorhersehbar sind. Im Fall der Halbbrückenschaltung gilt dasselbe in Bezug auf abgestimmte Transistoren. Im besonderen Fall der Halbbrücke lassen sich Totzeit verringern und Schaltfrequenz erhöhen und so die Bauelemente hinsichtlich Größe, Strombelastbarkeit und Rauschminderung optimieren.

Neben der Festlegung des dynamischen Verhaltens durch Trimming lassen sich statische Parameter auf ähnliche Weise konfi-

gurieren. Die Konfiguration von Schwellenspannung, Einschaltwiderstand und Strombelastbarkeit durch die Beeinflussung von Gate-Widerständen und Schmelzeinsätzen ermöglicht die Auswahl der optimalen Spannung für die Zielschaltung. Durch Verwendung eines Lasers zur Erzeugung eines open circuit (hochohmiger Ausgang) im Gate-Bereich des Transistors während eines Standard-Fertigungsablaufs können die statischen Parameter im gewünschten Rahmen konfiguriert werden.

Der Vorteil für den Entwickler ist, dass er die Schwellenspannung ausreichend hoch legen kann, um das Schaltungsrauschen vernachlässigen zu können; oder ausreichend niedrig, um Wirkungsgradverluste in der Gate-Treiber-Schaltung zu kompensieren.

Beim Rapid-Prototyping, bei dem ein bestimmter Einschaltwiderstand oder eine Strombelastbarkeit erforderlich ist, wird Trimming zur Entfernung des aktiven Transistorbereichs eingesetzt. So können innerhalb kurzer Zeit eine Anzahl von Bauteilen (in der Menge eines Wafers) geliefert werden, die die besonderen Anforderungen des Entwicklers erfüllen. Ist das Prototyping abgeschlossen und geht das Projekt in die Serienfertigung, wird ein Maskensatz für die jeweilige Schwellenspannung, Einschaltwiderstände und Strombelastbarkeit erzeugt, um die Kosten zu optimieren.

Bei der Entwicklung der +FET-Architektur wurden Überlegungen hinsichtlich Laser-Trimming angestellt, um zu verhindern, dass Wärmeinjektion durch den Laser den Transistorbetrieb beeinträchtigt; Mixed-Signal-Fertigungstechniken kamen zur Anwendung, ohne die Herstellungskosten zu erhöhen.

Die Verwendung des Laser-Trimming in der Serienfertigung ist gebräuchlich; allerdings ist der D3-Ansatz, diese Fertigungstechnik für Power-MOSFETs einzusetzen, besonders. Ergebnisse sind neue Möglichkeiten der Schaltungsoptimierung, etwa für medizinische Stromversorgungen oder Audioschaltungen. // KU

D3 Semiconductor



Besuchen Sie unsere Homepage

**www.peak-electronics.de**

PEAK electronics GmbH - Mainzer Str. 151-153 - 55299 Nackenheim - Tel. 06135 7026-0

DC/DC-Wandler  
AC/DC-Wandler  
Schaltregler  
.....



SIC-SCHOTTKY-DIODEN

## Für 650 und 1200 V bis 200/100 A



Mit fehlender Reverse-Recovery-Ladung und 175 °C maximaler Sperrschichttemperatur sind die SiC-Schottky-Gleichrichter der xR-Serie von United Silicon Carbide für hochfrequente und

hocheffiziente Leistungselektronik mit einem Minimum an Kühlanforderungen geeignet. Die 650-V-Typen gibt es ab 4 A bis 200 A (1200 V von 5 A bis 100 A). Die SiC-Bausteine können dauerhaft bei 175 °C arbeiten. Abhängig vom Ausgangsstrom sind sie im TO-220-2L- und TO-247-3-Gehäuse oder auch als Bare Die erhältlich. SMD-Versionen oder Modulgehäuse sind auf Anfrage beim Kirchzartener Anbieter möglich.

ECOMAL Europe

WÄRME-MANAGEMENT

## Applikationsspezifische Kühler

LEDs für den gewerblichen und industriellen Einsatz benötigen leistungsstarke Kühllösungen für eine gleichbleibende Licht- und Farbleistung sowie eine lange Lebensdauer. CTX Thermal Solutions offeriert Kühlkörper für ein wirkungsvolles und wirtschaftliches Thermal Management von LEDs in vielen Anwendungen an. Dazu zählen Kühlkörper für die Automotive-Branche ebenso wie für Schaufenster, Straßen, öffentlichen Einrichtungen oder Bussen. Applikationsspezifische Kühlkörper wer-



den aus Reinaluminium nach DIN EN 1050 und 1070 gefertigt und haben eine Wärmeleitfähigkeit von > 220 W/mK.

CTX Thermal Solutions

POWER-MOSFET

## 30% höhere Leistungsdichte



Diese Trench-9-Leistungs-MOSFETs kommen vor allem in der Automobilindustrie zum Einsatz, die auf der Low-Voltage-Superjunction-Technologie basieren. Alle Bausteine sind AEC-Q101-

qualifiziert und übertreffen nach Herstellerangaben bei den wichtigsten Zuverlässigkeitstests (darunter Temperaturzyklus, Hochtemperatur-Gate-Bias, Hochtemperatur-Sperrspannung und Lebensdauer bei intermittierendem Betrieb) die Anforderungen des internationalen Automotive-Standards um bis zu Faktor 2. LFPAK56E ist eine Variante des LFPAK56-Gehäuses, bei der sowohl der Lead-Frame als auch das Gehäuse optimiert wurden.

Nexperia

# Die Antwort Auf All Ihre Einzigartigen Anforderungen an Die Stromversorgung



**PEL-2000A Serie**  
Programmierbare Elektronische Gleichstromlast



**PSU-Serie**  
Programmierbares Gleichstrom-Schaltnetzteil



**GPD-Serie**  
Programmierbares lineares Gleichstromnetzteil mit mehreren Ausgängen



**PSW-Serie**  
Programmierbares Mehrbereichs-Gleichstrom-Schaltnetzteil



**APS-1102A**  
Programmierbare Gleichstrom-/Wechselstromquelle



GW Instek teilt seine Stromversorgungs-Produktlinien in Gleichstromversorgung, Wechselstromversorgung und elektronische Gleichstromlasten ein und erweitert die Produktpalette auf mehr als 100 Produkte, die auf Bereiche wie Test und Montage elektronischer Produkte, Forschung und Entwicklung, Burn-in und Stromversorgungs-Testequipment für Alterungsprüfungen abzielen. Die umfangreichen Anwendungen von Stromversorgungsprodukten umfassen Ausbildung, Produkte der Informationselektronik, Mobiltelefone, Produkte für die drahtlose Kommunikation, Komponenten, Batterien, Automobilelektronik, Militär- und Luftfahrtindustrie.



# GW INSTEK

Einfach zuverlässig Seit 1975

GOOD WILL INSTRUMENT EURO B.V.  
De Run 5427A, 5504DG Veldhoven, THE NETHERLANDS  
T +31(0)40-2557790 F +31(0)40-2541194  
Email: sales@gw-instek.eu

# Offline-Sperrwandler-IC-Serie mit 94% Wirkungsgrad

*25% geringerer Leistungsverlust charakterisiert die Power-Wandler InnoSwitch3 mit den Schaltregler-Familien CE, CP und EP. Einsatzziel: kühlkörperlose Stromversorgungen mit Ausgangsleistungen bis 65 W.*

CHRIS LEE \*



Bilder: Power Integrations

(Bauteilgröße) vielleicht nicht immer voll ausgenutzt werden kann, so vereinfacht der Effizienzgewinn doch das Design hochkomplexer Wandler. Andererseits kann man auch auf den potenziellen Effizienzgewinn verzichten und stattdessen kleinere magnetische Bauteile oder preisgünstigere SR-MOSFETs einsetzen und so die Systemkosten verringern.

InnoSwitch3-ICs arbeiten mit einem besonderen Schaltalgorithmus, der Designs zulässt, die über ihren gesamten Eingangsspannungsbereich (typisch 90 bis 264 VAC) einen konstant hohen Wirkungsgrad aufweisen (Bild 3). Der gleiche Schaltalgorithmus gewährleistet auch einen nahezu konstanten Wirkungsgrad über den gesamten Bereich von Leicht- bis Volllast. Dadurch eignen sich InnoSwitch3-ICs für Anwendungen, für die einen geringeren mittleren Energieverbrauch vorgeschrieben sind, beispielsweise nach den Standards US DoE6 und EU CoC V5. Diese ICs bieten eine einfach zu implementierende Lösung zur Minimierung des Stromverbrauchs in allen Betriebszuständen – von Standby bis Volllast.

Die für galvanisch getrennte Sperrwandler vorgesehenen ICs der Familie InnoSwitch3 arbeiten mit einem sekundärseitigen Quasi-Resonanz-Controller (QR), der sowohl die Synchrongleichrichter als auch den primärseitigen Controller steuert. Der sekundärseitige Controller verwendet einen proprietären Schaltalgorithmus, der einen über den gesamten Lastbereich konstant hohen Wirkungsgrad gewährleistet. QR- oder Valley-Schalten zwingt den integrierten, primärseitigen MOSFET dazu, zum Zeitpunkt des Minimums der Schaltspannung während des DCM-Zyklus einzuschalten. Das verringert sowohl die Schaltverluste als auch die Störstrahlung deutlich. InnoSwitch3-ICs nutzen außerdem FluxLink, eine proprietäre Technologie von Power Integrations für magnetoinduktive, galvanisch getrennte Hochgeschwindigkeitskommunikation zwischen

**Bild 1:** Die Sicherheit der InnoSwitch3-ICs hinsichtlich Kommunikation über die Isolationsbarriere hinweg ist nach CCC, UL und VDE zertifiziert.

**A**ls Fortsetzung der bisherigen, bewährten InnoSwitch-Bausteinreihe entwickelte Power Integrations eine neue Familie von galvanisch getrennten Sperrwandler-ICs mit einem Wirkungsgrad bis 94%. Sie erzielen dadurch im Vergleich zu den besten herkömmlichen Designs deutliche Energieeinsparungen und produzieren 25% weniger Verlustwärme. Diese InnoSwitch3-ICs kombinieren primär- und sekundärseitige Controller, einen integrierten primären Hochspannungsschalter, Synchrongleichrichter-Treiber und die FluxLink-Technologie für verbesserte Kommunikation

innerhalb des Regelkreises (Bild 2). Die Tabelle 1 (im Online-Artikel 44947458) zeigt die Wirkungsgradsteigerung und deren Auswirkungen auf wichtige Kenngrößen eines Energiewandlers: Wärmeproduktion, Flächenbedarf und thermisch begrenztes Volumen.

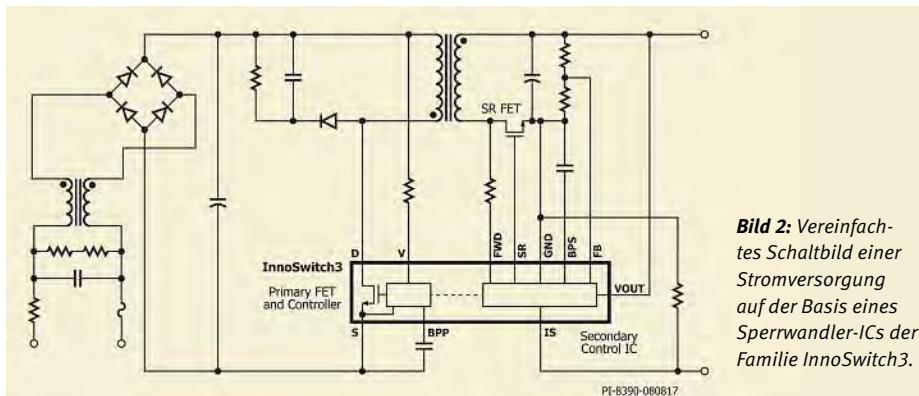
## **Stark reduzierte Verlustwärme macht Kühlkörper überflüssig**

Der auch im Vergleich zu den besten herkömmlichen Designs deutlich höhere Wirkungsgrad ermöglicht Verbesserungen im Schaltungsentwurf. Die geringere Wärmeproduktion gestattet eine drastische Verkleinerung der Abmessungen und macht Kühlkörper überflüssig. Obwohl die durch den höheren Wirkungsgrad erzielte Platzersparnis wegen mechanischer Beschränkungen

\* Chris Lee

... ist Senior Product Marketing Manager bei Power Integrations, San Jose/Kalifornien.





**Bild 2:** Vereinfachtes Schaltbild einer Stromversorgung auf der Basis eines Sperrwandler-ICs der Familie InnoSwitch3.

dem primärseitigen (Hochspannungs-) und dem sekundärseitigen (Niederspannungs-) Controller.

Synchrongleichrichtung ermöglicht zwar höhere Wirkungsgrade, erfordert andererseits eine genaue Steuerung des Timings der sekundär- und primärseitig schaltenden MOSFETs, um zu verhindern, dass die MOSFETs gleichzeitig durchschalten und dadurch eventuell zerstört werden. Eine hochgenaue Steuerung der primär- und sekundärseitigen Schalter übernimmt der FluxLink-Kommunikationskanal. Das maximiert den Wirkungsgrad und gewährleistet sicheres Schalten sowohl im kontinuierlichen als auch im diskontinuierlichen Betrieb. Die Maximierung der On-Zeit des Synchrongleichrichters eliminiert die Diodenleitung und verbessert den Wirkungsgrad. Außerdem macht die FluxLink-Kommunikation einen Optokoppler entbehrlich, verbessert indes die Sprungantwort, erhöht die Systemzuverlässigkeit und verringert die Anzahl der zusätzlich benötigten Bauteile.

### Kein Überspringen, kein nachgeschalteter Linearregler

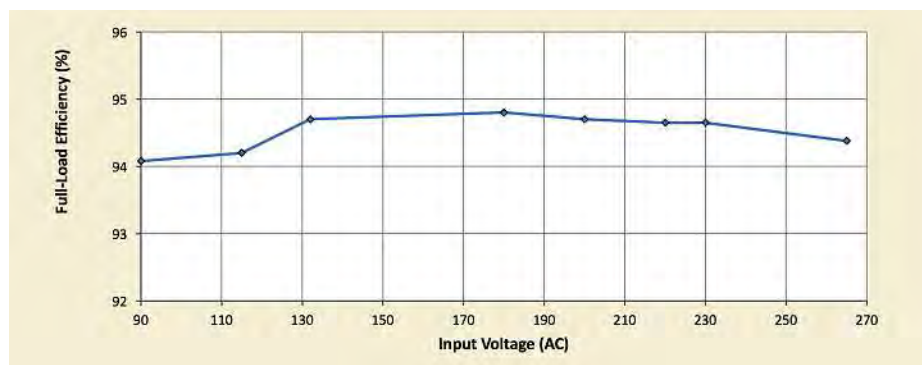
Der hochentwickelte Regelungsalgorithmus und die hohe Übertragungsgeschwindigkeit der FluxLink-Kommunikationsver-

bindung gewährleisten ein hervorragendes Transientenverhalten; bei einer sprunghaften Laständerung von 0 auf 100% treten so gut wie keine Vor- und Überschwinger auf (siehe Bild 4 Transientenverhalten).

Die hohe Regelungsgenauigkeit des Synchrongleichrichters verbessert nicht nur den Wirkungsgrad, sondern gewährleistet auch eine hervorragende Cross-Regelung über mehrere Ausgänge hinweg. Dadurch kann in vielen Anwendungen auf nachgeschaltete Linearregler verzichtet werden.

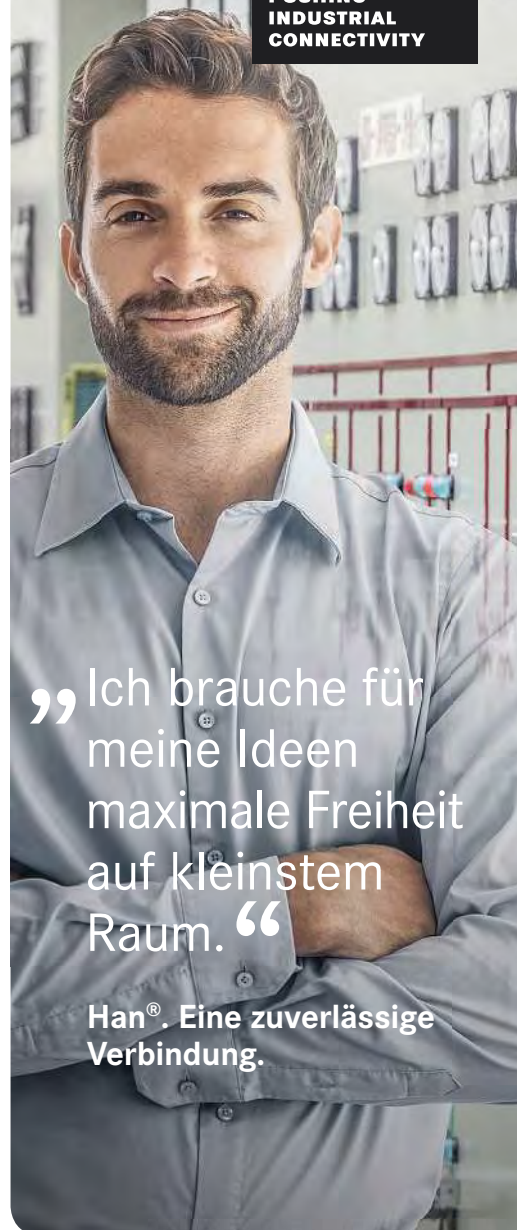
Die InnoSwitch3-ICs bieten unter allen Betriebsbedingungen eine Genauigkeit der Ausgangsspannung von besser als  $\pm 3\%$  und gewährleisten auch im Konstantstrombetrieb eine hohe Regelgenauigkeit. InnoSwitch3-ICs bieten zahlreiche Sicherheitsfunktionen und sind gegen Eingangsüberspannung (OV), Eingangsunterspannung (UV), Ausgangsüberspannung, Überstrom, Überleistung und Kurzschluss geschützt. Außerdem schützt der InnoSwitch3-Controller vor Leerlauf- oder Kurzschluss im SR-MOSFET und vor Übertemperatur.

Über den V-(Voltage)-Pin überwacht der Controller die Eingangsspannung auf Grenzwertüber- oder Grenzwertunterschreitung (OV bzw. UV). Das dabei angewandte Multiplexer-Messverfahren begnügt sich mit einer



**Bild 3:** Vollast-Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Eingangsspannung (20-V/30-W-Open-Frame-Design auf der Basis eines InnoSwitch3 CE INN3168C).

**HARTING**  
**Han**<sup>®</sup>  
PUSHING  
INDUSTRIAL  
CONNECTIVITY



„Ich brauche für meine Ideen maximale Freiheit auf kleinstem Raum.“

Han<sup>®</sup>. Eine zuverlässige Verbindung.



### Han-Modular<sup>®</sup>

Das neue Modul bringt Überspannungsschutz direkt in den Steckverbinder. Das macht externe Lösungen überflüssig und unterstützt den Trend zur Miniaturisierung.

One Range. No Limits:

[www.harting.com/smart-han](http://www.harting.com/smart-han)



Pushing Performance



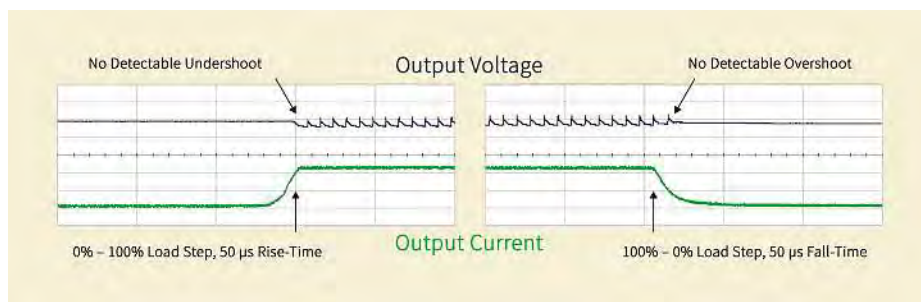


Bild 4: Das Transientenverhalten.

Leistungsaufnahme von nur 2 mW (im Leerlauf). Das trägt zu der sehr geringen Leerlauf-Leistungsaufnahme von weniger als 15 mW bei – auch bei aktiver Eingangsspannungsüberwachung.

### Eine Luft- und Kriechstrecke von mehr als 11 mm

Für die InnoSwitch3-Familie hat Power Integrations ein neues, halogenfreie Gehäuse InSOP-24(C) entwickelt, das nur 1,5 mm hoch ist und über der Isolationsbarriere der Leiterplatte positioniert wird. Die niedrige Bauhöhe ermöglicht es, den IC beispielsweise unter einem Transformator zu montieren und dadurch Platz zu sparen. Das InSOP-Gehäuse bietet in Verbindung mit FluxLink eine Luft- und Kriechstrecke von mehr als 11 mm. Dies gewährleistet eine verstärkte Isolation von >6 kVAC, die selbst dem strengen chinesischen Standard CQC 5000 m genügt. Alle InnoSwitch3-ICs erfüllen alle Sicherheitsvorschriften für Isolationsbarriere-überschreitende Bauteile und werden in der Serienproduktion 100%ig auf deren Einhaltung getestet.

Um den unterschiedlichen Anforderungen von Konsum-, Industrie- und USB-Lader-Anwendungen gerecht zu werden, wurden die InnoSwitch3-ICs in drei Produktfamilien unterteilt. Innerhalb dieser Familien stehen Versionen mit unterschiedlich dimensionierten primärschaltenden MOSFETs zur Auswahl, die jeweils unterschiedliche Ausgangsleistungsbereiche abdecken. Tabelle 2 im Online-Artikel 44947458 gibt einen Überblick über die InnoSwitch3-Produktfamilien.

### Die Einsatzbereiche der Serien CE, CP und EP

Die Familie InnoSwitch3-CE ist für kostensensitive Konsumelektronik-Anwendungen vorgesehen, die eine konstante Ausgangsspannung oder einen konstanten Ausgangsstrom erfordern. Zur Auswahl stehen Versionen, die im Fehlerfall einen automatischen Neustart versuchen oder sich dauerhaft abschalten, außerdem Versionen mit oder ohne

Kompensation des Spannungsabfalls über die Lastzuleitung (Cable-Drop Compensation, CDC). Die CE-Familie enthält einen 650-V-Leistungs-MOSFET, der den Anforderungen kostensensitiver Anwendungen wie z.B. Netzadapter genügt.

InnoSwitch3-CP wurde für Schnellladegeräte-, USB-PD-, Mobiltelefon-, Tablet-, Notebook- und Elektrowerkzeug-Ladegeräte-Anwendungen optimiert, die eine variable oder konstante Ausgangsspannung/Ausgangsleistung erfordern. Zur Auswahl stehen Versionen, die im Fehlerfall einen automatischen Neustart versuchen oder sich dauerhaft abschalten, außerdem solche mit oder ohne Kompensation des Spannungsabfalls auf der Lastzuleitung und solche mit 650-V- oder 725-V-Leistungs-MOSFET.

Schließlich sind InnoSwitch3-EP-ICs auf industrielle Anwendungen abgestimmt, beispielsweise für Stromzähler, Smart-Grid, Energieverbrauchsmessung, Solar-Wechselrichter, smarte Beleuchtungssysteme und Server-Notstromversorgungen. Diese ICs enthalten einen 725-V-MOSFET, sind für eine konstante, hochgenaue Ausgangsspannung ausgelegt und bieten umfassende Schutzfunktionen.

### Zahlreiche Optionen und Online-Auswahlhilfe

Für Hochzuverlässigkeitsanwendungen in anspruchsvollen Einsatzumgebungen, die eine erhöhte Überspannungsfestigkeit erfordern, ist eine 725-V-Leistungs-MOSFET-Option sowohl für InnoSwitch3-CP- und InnoSwitch3-EP-Versionen verfügbar. Unternehmen, die ihre Produkte für weltweite Abnehmermärkte produzieren, wird versichert, dass 725-V-InnoSwitch3-ICs auch in Regionen mit instabilen Stromnetzen zuverlässig funktionieren. Für die InnoSwitch3-Familien mit ihren zahlreichen Optionen gibt es eine Online-Auswahlhilfe, das Online-BYOI-Tool, (<https://ac-dc.power.com/products/innoswitch-family>). // KU

Power Integrations



## 100-1500VDC Input DC/DC Converter Designed for 1500V PV Power System

### ►PV Series

- Power(W): 5, 10, 15, 40, 45
- Isolation: 4000VAC
- Operating temperature:  
-40°C to +85°C
- Operating elevation up to  
5000m
- Protection: UVP, RVP, SCP,  
OCP, OVP
- PCB, Chassis mounting,  
Din-Rail mounting,  
Metal cage

\* For the detailed information, please refer to datasheet.

# MORNSUN®

Tel: +49 (0)89 / 693 350 20  
E-mail: [info@mornsunpower.de](mailto:info@mornsunpower.de)  
Website: [www.mornsunpower.de](http://www.mornsunpower.de)



AUTHORIZED DISTRIBUTOR

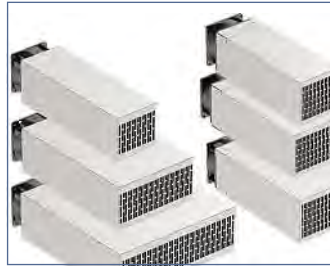
**EMTRON** Emtron electronic GmbH  
E-mail: [info@emtron.de](mailto:info@emtron.de)  
Website: [www.emtron.de](http://www.emtron.de)  
A FORTEC GROUP MEMBER



## HOCHLEISTUNGSLÜFTER

### Verlustleistung rasch abführen

Um große thermische Verlustleistungen, z.B. von Umrichtern oder Schaltanlagen, sicher abzuführen, offeriert Fischer Elektronik seine Hochleistungs-Lüfteraggregate. Die Konzeption der Serie LA(V) 28-33 besteht aus zusammen gelöteten Strangpressprofilen. Die strömungsoptimierte Hohlrippengeometrie wird durch zusätzlich eingebrachte, wärmetechnisch optimal kontaktierte Trennbleche realisiert. Die verwendeten Axiallüftermotoren sind hinsichtlich Volumenstrom und Stau-

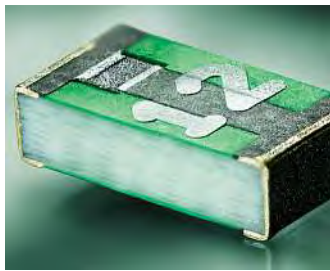


druck an die innenliegende Wärmetauschstruktur angepasst. Die Lüfter gibt es in diversen Höhen und Breiten.

Fischer Elektronik

## SMD-SCHUTZ VOR TEMPERATUR UND ÜBERSTROM

### Leistungshalbleiter absichern



Mit der USN 1206 bietet SCHURTER eine temperaturempfindliche SMD-Sicherung an, welche sich sowohl für den Überstromschutz wie auch den Schutz vor überhöhten Umgebungstempe-

raturen eignet. Sie eignet sich aufgrund ihrer Bauart besonders für Automotive-Anwendungen, die höchste Zuverlässigkeit unter besonders schwierigen Bedingungen (Vibrationen, mechanische und zyklische Festigkeit, etc.) erfordern. Herstellung und Qualifikation erfolgt in Abstimmung mit dem Kunden gemäss dem Anforderungsprofil der gewünschten Zeit-Strom-Auslösekennlinie in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur.

SCHURTER

## DC/DC-WANDLER

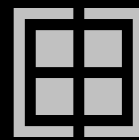
### Für schnell schaltende GaN-Treiber

GaN-Transistoren mit hoher Slew-Rate benötigen eine isolierte +6-V-Versorgung mit hoher Isolation und niedriger Isolationskapazität. Die RP-xx06S und RxxP06S Serien bieten eine Ausgangsspannung von +6 V, welche ausreicht, um GaN-HEMTs effizient zu schalten, ohne dass es zu einem Spannungsdurchschlag kommt. Intern kommt ein sogenannter Pot-Transformer zum Einsatz. Bei dieser Technik wird der Ringkern zusammen mit der Eingangswicklung in einem Topf vergossen. Die Ausgangswick-



lung wird anschließend über den Topf gewickelt. Physisch voneinander getrennt bieten sie eine Isolation von 6,4 kVDC.

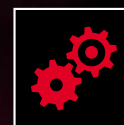
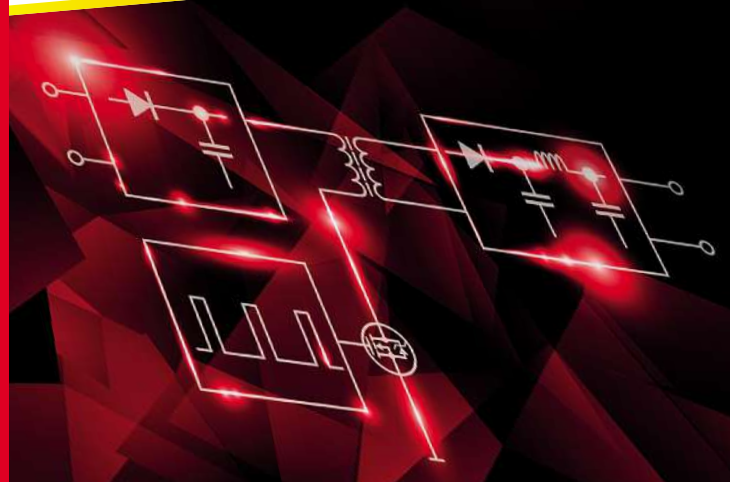
RECOM



**RUTRONIK**  
ELECTRONICS WORLDWIDE



**RUTRONIK** 24  
next generation e-commerce  
B2B e-commerce shop | [www.rutronik24.com](http://www.rutronik24.com)



Industrial



eMobility



Home  
Appliance

EFFICIENT. ROBUST. SCALABLE.  
**Design your Ideas**

RUTRONIK **POWER** bietet spezifischen Support für Kunden mit dem Fokus auf multi-funktionalen Lösungen in drei unterschiedlichen Marktsegmenten:

■ Industrial ■ eMobility ■ Home Appliance

Mehr Informationen:

[www.rutronik.com/power](http://www.rutronik.com/power) | [power@rutronik.com](mailto:power@rutronik.com)

Amphenol  
FCI

ASSMANN  
WISW components

AVX  
ANALOG DEVICES COMPANY

DIODES  
INCORPORATED

FSP  
FSP POWER SOLUTIONS GROUP

Infineon

JAE

KEKOVARICON

KRAH

Littelfuse  
Expertise Applied | Answers Delivered

muRata  
INNOVATOR IN ELECTRONICS

NESSCAP  
ULTRA CAPACITORS  
Advanced Technology Company

OMRON

Pulse  
Electronics

RECOM

ROHM  
SEMICONDUCTOR

Rubycon

ST  
life, augmented

sumida

TOSHIBA

VISHAY

WIMA



**RUTRONIK**  
**POWER**

# Gezielte Alterungssimulation von Hochvolt-Transistoren

*Um ein Schaltungsverhalten auf Jahre genau zu prognostizieren, haben Wissenschaftler des Fraunhofer IIS/EAS mathematische Alterungsmodelle für EDA-Umgebungen entwickelt.*

ANDRÉ LANGE \*

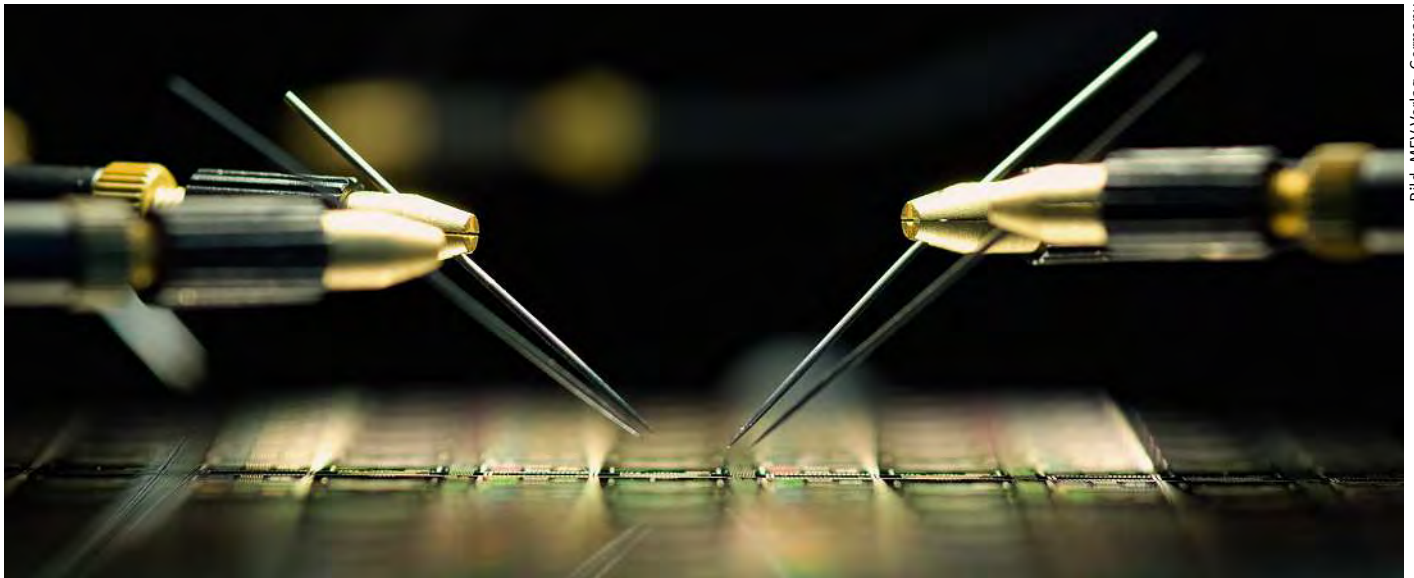


Bild: MEV-Verlag, Germany

**Bild 1:** Die Modelle des Fraunhofer IIS/EAS zur Vorhersage von Alterungsvorgängen an Transistoren berücksichtigen auch komplexe Abhängigkeiten.

Zahlreiche Anwendungen stellen heute hohe Anforderungen an Rechenleistung und Funktionalität ihrer ICs. Diesem Bedarf wird technologisch mit Strukturverkleinerung (More Moore) sowie Heterointegration (More than Moore) begegnet, z.B. bei der Integration von Nieder- und Hochvolt-Transistoren (NV/HV) in einem IC. Moderne

Halbleitertechnologien gelten jedoch als vergleichsweise anfällig für Zuverlässigkeitsprobleme. Dennoch werden sie auch in sicherheitskritischen Produkten eingesetzt. Weil hier eine lange Produktlaufzeit zumindest teilweise bei Dauerbetrieb erreicht werden muss, gilt es, den Zuverlässigkeitsaspekt bereits im IC-Entwurf zu berücksichtigen.

Die Alterung von Transistoren wirkt sich durch Veränderungen der elektrischen Charakteristiken aus und ist ein Risikofaktor. Die typischerweise auftretenden Mechanismen sind dabei Hot Carrier Injection (HCI) sowie Bias Temperature Instability (BTI). HCI wird

durch einen fließenden Drain-Strom hervorgerufen. Der Effekt betrifft sowohl N-Kanal- als auch P-Kanal-Transistoren und äußert sich in einer Abnahme des Stroms. Er gilt bei HV-Transistoren als besonders kritisch. BTI wird durch eine anliegende Gate-Source-Spannung bei erhöhter Temperatur verursacht und führt zu einer Verschiebung der Schwellspannung. PBTi degradiert N-Kanal-Transistoren unter positiven Spannungen – das jedoch praktisch nur in High-k-Metal-Gate-Technologien. NBTi wiederum wirkt sich auf P-Kanal-Transistoren unter negativen Spannungen aus. Eine Besonderheit von



\* Dr. André Lange  
... ist Gruppenleiter Qualität und Zuverlässigkeit am Fraunhofer IIS, Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme EAS, Dresden.



**M+R Multitronik GmbH**  
23568 Lübeck  
info@multitronik.com  
Tel. 0451 - 60 99 50



**Viele Netzteile von Mean Well ab LAGER**

- ausgewählte Serien von Mean Well
- LED- und Hutschienen-Netzteile
- schnelle Verfügbarkeit und beste Preise
- bis zu 7 Jahre Garantie

**www.multitronik.com**      *powerful(l) support*





BTI ist das Auftreten von Degradation sowie Recovery, also der teilweisen Erholung bei nachlassendem Stress.

## Analyse der Zuverlässigkeit auf Wafer-Ebene

Zuverlässigkeit von Transistoren ist seit langem ein Qualitätskriterium für Halbleiter-Technologien. Sie wird üblicherweise in der Halbleiterfertigung in sogenannten Wafer-Level-Reliability-Messungen (WLR) zur Prozessqualifikation untersucht [1]. An speziellen Strukturen in den Ritzgräben werden dabei die Eigenschaften von Transistoren, zum Beispiel Schwellspannung und Sättigungsstrom, bestimmt. Bei anliegendem konstanten Stress, also bei Gleichspannungen und gleichbleibender Temperatur, werden in Langzeitexperimenten über Tage oder Wochen die Veränderungen dieser Eigenschaften aufgezeichnet. „Überstress“ wird eingesetzt, um die Degradation zu beschleunigen.

Empirische Modelle beschreiben die Ergebnisse dieser Messungen meist mit unabhängigen Einflussgrößen. Ein Beispiel ist die Standard-NBTI-Beschreibung [2] wie sie in Bild 2 (mit Boltzmann-Konstante  $k_B$ ) dargestellt ist. Die Parameter  $A_0$ ,  $E_{aa}$ ,  $m$  sowie  $n$  werden aus den gemessenen Eigenschaftsänderungen  $\Delta p$  für die Gate-Source-Spannung  $V_{gs}$ , die Temperatur  $T$  und die Zeit  $t$  bestimmt. Solche WLR-Modelle erlauben die Umrechnung von Überstress auf einen Transistor unter normalen Nutzungsbedingungen in der Anwendung. Die Lebensdauer von Einzeltransistoren kann damit für ein festes Kriterium, beispielsweise für eine Verschiebung im Sättigungsstrom von 10%, vorhergesagt werden. Allerdings gibt eine solche Herangehensweise nicht die Degradation eines kompletten ICs wieder. Hierfür muss die gemeinsame Alterung aller Transistoren berücksichtigt werden.

Außerdem können in modernen Halbleitertechnologien die Einflussgrößen nicht mehr unabhängig voneinander betrachtet werden und ein Sättigungsverhalten der Degradation tritt ein. Deshalb werden komplexere Beschreibungen benötigt. Beispielsweise sind für die Modellierung von BTI spannungsabhängige Zeitexponenten  $n$  [3] sowie die Berücksichtigung von Recovery erforderlich.

## Das Prinzip der Alterungssimulation

Während WLR-Messungen und -Modelle auf einzelne Bauteile zugeschnitten sind, müssen für eine Aussage zur Schaltungslebensdauer ihre Eigenschaften über die Zeit

$$\Delta p = A_0 \cdot \exp\left(\frac{E_{aa}}{k_B \cdot T}\right) \cdot (|V_{gs}|)^m \cdot t^n$$

**Bild 2:** Die Standard-NBTI-Beschreibung [2] (mit Boltzmann-Konstante  $k_B$ ). Die Parameter  $A_0$ ,  $E_{aa}$ ,  $m$  sowie  $n$  werden aus den gemessenen Eigenschaftsänderungen  $\Delta p$  für die Gate-Source-Spannung  $V_{gs}$ , die Temperatur  $T$  und die Zeit  $t$  bestimmt.

mit Hinblick auf die Spezifikation betrachtet werden. Alle Transistoren einer Schaltung tragen zu deren Alterung bei, und sie werden individuell durch transienten Stress, also analoge Spannungen statt Gleichspannung, belastet. Alterungssimulationen stehen IC-Designern in verschiedenen EDA-Programmen der gängigen Entwurfsumgebungen zur Verfügung, um diese Aspekte zu untersuchen. Sie bauen auf klassischen Schaltungssimulationen (SPICE) auf und folgen dem in Bild 3 dargestellten Prinzip.

Die betreffende Schaltung wird für ein kurzes, typisches Anwendungsszenario simuliert, was ein Standardschritt im IC-Entwurf zur Abschätzung des Schaltungsverhaltens ist. Aus dieser Simulation werden die transienten Ströme und Spannungen für jeden Transistor extrahiert. Alterungsmodelle rechnen diese Informationen individuell in Veränderungen der Transistoreigenschaften nach einer bestimmten Betriebsdauer um, wobei eine Zeitextrapolation vorgenommen werden muss. Dadurch entsteht eine virtuell gealterte Schaltung, deren Verhalten per erneuter Simulation ermittelt wird.

Eine solche Analyse kann im Vergleich mit der Spezifikation einer Schaltung die Zuverlässigkeit nachweisen oder Schwachstellen aufzeigen. Sie kann zu einer Reduktion der erforderlichen Design-Margen führen, Over-Design verhindern und damit den IC-Entwurf vereinfachen und verkürzen.

## Nachbildung der Alterung über die Nutzungsdauer

Die gängigen EDA-Programme stellen Alterungsmodelle für Transistoren zur Verfügung. Diese sind jedoch für viele Technologien bisher nicht parametrisiert und häufig sehr einfach, weshalb die Analyseergebnisse oft ungenau und vor allem für neue Fertigungstechnologien nicht aussagekräftig sind. Zudem sind die Modelle herstellerspezifisch und zum Teil proprietär, sodass unterschiedliche Entwurfsumgebungen nicht konsistent sind. Allerdings stehen für die Implementierung eigener Alterungsmodelle in allen gängigen Umgebungen Schnittstellen bereit.

Das Fraunhofer IIS/EAS in Dresden widmet sich deshalb in seiner Forschungsarbeit

# 1 ANRUF – DESIGN IN SUPPORT

...DISTRIBUTION  
AS IT SHOULD BE.



Ihr Kontakt zu Heilind Electronics

+49 (0)8024 9021 300

vertrieb@heilind.com

**WWW.HEILIND.COM**

**HEILIND**  
Performance. Trust. Innovation.

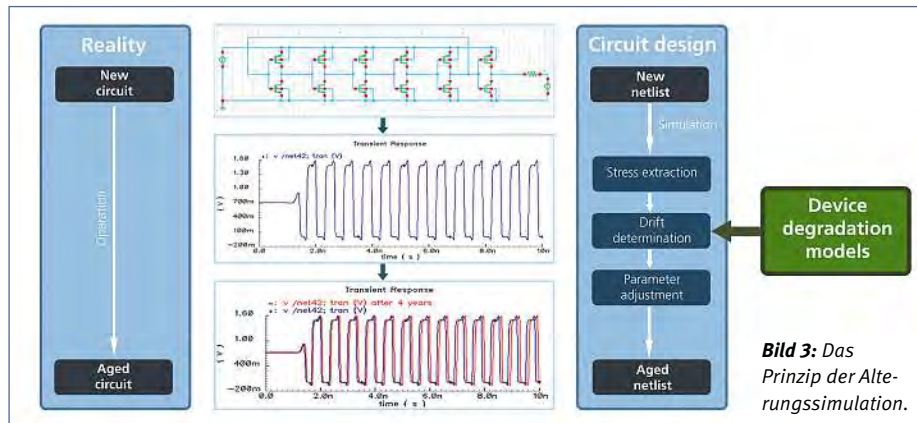


Bild: Fraunhofer IIS/EAS Dresden

Spannungen und Ströme interpolieren können, die in den transienten Zeitverläufen der Simulationen auftreten, aber nicht Teil der Messungen sind. Andererseits müssen sie eine Extrapolation von kurzen, typischen Anwendungsszenarien (im Bereich von Millisekunden) auf Lebensdauern (im Bereich von Jahren) erlauben. Diesen Anforderungen werden die Wissenschaftler durch die lineare Schadensakkumulation oder durch eine geschickte mathematische Modellformulierung mit hoher numerischer Effizienz gerecht.

Physikalische Ansätze können die Genauigkeit von Alterungsmodellen wesentlich verbessern. Zum Beispiel sind Defekte im Gate-Dielektrikum sowie an dessen Grenzfläche zum Kanal die Ursache von NBTI [4]. Im Betrieb eines Transistors werden sie geladen und entladen, was zu Degradation und Recovery führt. Die Anzahl und energetischen Eigenschaften der Defekte sowie die Wahrscheinlichkeiten für das Laden und Entladen unter verschiedenen Spannungsbedingungen sind dabei technologiespezifisch.

auch Modellierungslösungen, mit denen eine realistische Abbildung der Elektronikalterung über die Nutzungsdauer und damit die Entwicklung zuverlässiger ICs möglich wird. Dafür wird vor allem an Degradationsmodellen für HCI, BTI und ihre Kombination gearbeitet. Ihre Basis bilden WLR- sowie gegebenenfalls spezifische Ergänzungsmessungen, die für Standard- und zukünftig auch für HV-Transistoren direkt im Fraunho-

fer Institut IIS/EAS in Dresden durchgeführt werden können.

Zur Beschreibung von Transistordegradation werden am Fraunhofer IIS/EAS empirische und physikalische Ansätze verfolgt. Empirische Alterungsmodelle werden häufig direkt aus WLR-Messungen mit konstanten Stressbedingungen abgeleitet. Sie müssen im Wesentlichen zwei Bedingungen erfüllen. Einerseits müssen sie auf Zwischenwerte in

**pcim**  
EUROPE

Internationale Fachmesse und Konferenz  
für Leistungselektronik, Intelligente Antriebstechnik,  
Erneuerbare Energie und Energiemanagement  
Nürnberg, 05. – 07.06.2018

» **Leistungselektronik ist Ihre Leidenschaft?**

Dann ist die PCIM Europe Ihre Plattform – werden Sie jetzt Aussteller!  
[pcim.de/aussteller](http://pcim.de/aussteller)

Informationen:  
+49 711 61946-820  
[pcim@mesago.com](mailto:pcim@mesago.com)

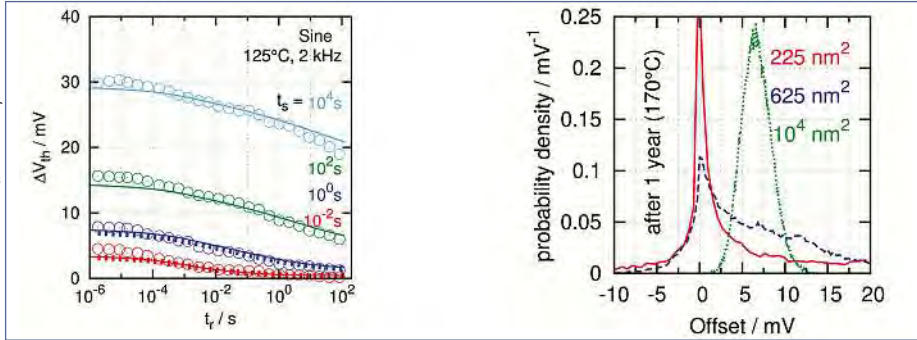


#pcimeurope



**mesago**  
Messe Frankfurt Group





**Bild 4:** Recovery-Verhalten nach NBTI-Alterung durch sinusförmigen Stress (links); Vergleich von Messung (Kreise), TCAD-Simulation (gestrichelt) und Simulation mit physikalischem NBTI-Modell (Linien). Verteilungen der Offset-Spannung eines Operationsverstärkers nach einjähriger NBTI-Alterung für unterschiedliche Geometrien des Eingangsdiﬀerenzpaars (rechts).

Am Fraunhofer IIS/EAS wurde ein physikalisches Degradationsmodell für Alterungssimulationen entwickelt, das diese Aspekte genau und effizient abbildet. Es unterstützt per se transiente Spannungsverläufe, Sättigungsverhalten und Recovery [5,6]. Weil die Anzahl der Defekte pro Transistor schwanken kann und das Laden und Entladen stochastische Prozesse sind, ist NBTI nicht deterministisch [7]. Das Modell am Fraunhofer IIS/EAS erfasst auch diese, als NBTI-Variabilität bezeichnete Eigenschaft. Zudem finden z.B. mögliche Temperaturvariationen sowie dynamische Anpassungen der Betriebsspannung (dynamic voltage scaling) Beachtung [8]. Bild 4 zeigt zwei Beispiele für die Anwendung des Modells: das Recovery-Verhalten eines Einzeltransistors im Vergleich zur Messung sowie die Variabilität in der Alterung eines Operationsverstärkers.

Für Alterungssimulationen können empirische und physikalische Degradationsmodelle im Prinzip auf zwei Wegen realisiert werden. Zentrales Element ist dabei das zugrunde liegende Kompaktmodell des betreffenden Transistors.

Zum einen kann ein Alterungsmodell ausgewählte Parameter des nominalen Kompaktmodells direkt verändern und dabei die in ihm erfassten physikalischen Zusammenhänge ausnutzen. Die Auswahl und Beschreibung der Parameter hängt jedoch von der Technologie und der Art des Kompaktmodells ab. Zum anderen kann die Degradation durch eine Ersatzschaltung aus gesteuerten Quellen um den unveränderten Transistor dargestellt werden. Dieser Ansatz hängt nicht vom Kompaktmodell ab, physikalische Zusammenhänge sind aber schwieriger zu erfassen. Generell sind Alterungsmodelle am Fraunhofer IIS/EAS so in die Schnittstellen der EDA-Programme implementiert, dass die gängigen Entwurfsumgebungen gleichwertig unterstützt werden. Dadurch wird eine bis-

her nicht vorhandene Konsistenz zwischen diesen Umgebungen sichergestellt. Halbleiterhersteller profitieren von diesem Vorgehen, indem sie verschiedene Entwurfsumgebungen ohne Zusatzaufwand gleichermaßen unterstützen können, und IC-Entwickler können aussagekräftige Alterungssimulationen ohne große Anpassungen durchführen.

Zusammenfassung: Mit Alterungssimulationen kann die Produktlebensdauer bereits im IC-Entwurf abgeschätzt werden. Ihre breite Anwendung wird bislang aber durch fehlende, vereinfachende oder inkonsistente Degradationsmodelle behindert. Die Modelle des Fraunhofer IIS/EAS erweitern deshalb den Stand der Technik und werden konsistent in gängigen Entwurfsumgebungen bereitgestellt. // KU

Fraunhofer IIS/EAS Dresden

#### Referenzen

- [1] JEDEC JEP001A: "Foundry Process Qualification Guidelines (Wafer Fabrication Manufacturing Sites)"; JEDEC, 2014.
- [2] JEDEC JEP122H: "Failure Mechanisms and Models for Semiconductor Devices"; JEDEC, 2016.
- [3] A. Kerber et al.: "Voltage Ramp Stress for Bias Temperature Instability Testing of Metal-Gate/High-k Stacks"; IEEE Electron Device Letters, 30(12), 2009.
- [4] T. Grassler: "Stochastic charge trapping in oxides: From random telegraph noise to bias temperature instabilities"; Microelectronics Reliability, 52(1), 2012.
- [5] K. Giering et al.: "NBTI modeling in analog circuits and its application to long-term aging simulations"; IIRW, 2014.
- [6] K. Giering et al.: "Analog-circuit NBTI degradation and time-dependent NBTI variability: An efficient physics-based compact model"; IRPS, 2016.
- [7] B. Kaczer et al.: "Origin of NBTI variability in deeply scaled pFETs"; IRPS, 2010.
- [8] K. Giering et al.: "BTI variability of SRAM cells under periodically changing stress profiles"; IIRW, 2016.



... scannen und  
Short-Movie sehen



## MISSION IMPOSSIBLE?

### WIR MACHEN ES MÖGLICH!

#### AC-Quellen

bis 2.000 kVA max. und 700 VAC / 1.000 VDC

#### DC-Quellen

Leistung bis 1 MW max. und 1.500 VDC

#### Elektronische Lasten

Leistung bis 200 KW max. und 1.200 V  
Eingangsspannung

#### Stromversorgungen

#### Wechselrichter

#### DC-Quelle / Senke mit Netzzurückspeisung

Leistung bis 210 KW und 1.500 VDC

Von der Entwicklung über die Produktion bis zum Vertrieb. Bei uns erhalten sie alles aus einer Hand – Serienprodukt bis Einzelstück. Wir setzen bedingungslos auf das, was wir unter bester deutscher Ingenieurskunst verstehen, nämlich auf solide Qualität und durchdachte Innovationen!

Kontaktieren Sie uns unter 0 62 05 / 3 94 80 oder informieren Sie sich auf [www.et-system.de](http://www.et-system.de)



ET SYSTEM

über 30 Jahre

**HKR**

Induktivitäten

www.HKRweb.de  
+49 (7122) 82598-0

**CelsiStrip®**

Thermoetikette  
registriert Maximalwerte  
durch Dauerschwärmung  
von +40 ... +260°C  
**GRATIS** Muster  
von celsi@spirig.com  
Kostenloser Versand ab  
Bestellwert EUR 200  
(verzollt, exkl. MwSt)

www.spirig.com

electronic  
components  
SHOP

neu

widap-ec.com

Thomas Schulz (Hrsg.)  
**Industrie 4.0**  
Potenziale erkennen und umsetzen  
1. Auflage 2017, 378 Seiten  
ISBN 978-3-8343-3394-0, 59,80 EUR

Weitere Informationen und Bestellung unter  
**www.vbm-fachbuch.de**

11857

Your Powerful  
Distribution-Partner.

25 Jahre wts // electronic

**wts // electronic** ist spezialisiert auf die Distribution  
von leistungsstarken passiven und elektromechanischen  
Baulementen. Und auf Ihren Erfolg. **Rufen Sie uns an!**

**wts //** electronic  
components  
GmbH

Tel.: +49 (0) 5130/58 45-0 · Fax: +49 (0) 5130/37 50 55  
info@wts-electronic.de · www.wts-electronic.de



## TRANSIENT VOLTAGE SUPPRESSOR

### 1800-W-Spannungs-Begrenzer

Der als der branchenweit erste automobilkonforme unidirektionale 1800-W-Transientenspannungs-Begrenzer (TSV, Transient Voltage Suppressor) angekündigte D28V0H1U2P5Q wurde zum Schutz empfindlicher Schaltungen vor transienten Spannungspulsen entwickelt. Er zielt auf ein breites Anwendungsspektrum im Kraftfahrzeug, darunter Pumpen, Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HVAC), Infotainment, Navigation sowie fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme (ADAS). Untergebracht ist der D28V0H1U2P5Q in einem wärmeeffizienten PowerDI5-Gehäuse. Er zeichnet sich durch eine Stand-off-Sperrspannung von 28 V ebenso aus wie durch einen niedrigen Sperrstrom und er ist gleichzeitig in der Lage, bis 1800 W Leistung pro 10/1000 s Transienten abzuleiten – dieser Wert liegt laut Hersteller 20% höher als bei ver-



gleichbaren Lösungen. Das Bauteil kann Spitzenimpulsströme bis 40 A verarbeiten, 25% mehr als ähnliche Teile im SMC-Gehäuse. Der D28V0H1U2P5Q ist auf Konformität mit den Lastabwurf-Standards der Autoindustrie nach ISO7637-2 (Impulse 1, 2a, 2b, 3) und gemäß den Anforderungen gegen Stromstöße nach IEC 61000-4-5 geprüft.

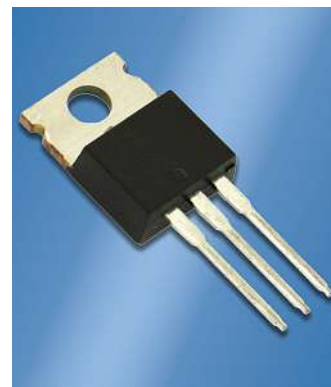
**Diodes**

## 600-V-MOSFET

### 4. Generation, weniger Verluste

Das erste Bauteil einer vierten Generation von 600-V-Power-MOSFETs ist der n-Kanal-MOSFET SiHP065N60E der E-Serie von Vishay Siliconix. Er bietet einen um 30% geringeren On-Widerstand (0,065  $\Omega$  maximal bzw. 0,057  $\Omega$  typisch bei 10 V Gate-Spannung) und eine um 44% geringere Gate-Ladung (49nC) als die bisherigen 600-V-MOSFETs der E-Serie und eignet

sich durch seinen hohen Wirkungsgrad für Stromversorgungsanwendungen in den Bereichen Telekommunikation, Industrie und Unternehmen. Nach Herstellerangaben bietet der Superjunction SiHP065N60E unter allen vergleichbaren Produkten auf dem Markt das kleinste Produkt aus Gate-Ladung und On-Widerstand (FOM) von 2,8  $\Omega \cdot \text{nC}$  (typisch) und ist laut Herstellerangaben damit um 25% geringer gegenüber dem nächstbesten Wettbewerbsprodukt. Auch die sehr geringen effektiven Ausgangskapazitäten von 93 pF bzw. 593 pF tragen zu dem guten Schaltverhalten des SiHP065N60E bei. Die geringeren Verluste führen zu Energieeinsparungen in PFC und steilflankig schaltenden DC/DC-Wandlerstufen.



**Vishay**



## WÄRME-MANAGEMENT

## Clips und Federn für die Kühlkörperbefestigung

Kühlkörper können mittels Kleben, Klemmen, Löten oder Schrauben auf dem zu kühlenden elektronischen Bauteil befestigt werden. Für das feste Anpressen des Kühlkörpers an den Halbleiter bietet CTX eine Vielzahl unterschiedlichster Clip- und Federlösungen. Dabei sind speziell die Kühlkörperbefestigungen aus den unlegierten Federstählen C67S und C75S um 20 bis 30 Prozent günstiger als Clips und Federn aus Edelstahl – bei gleichzeitig 20% höherer Bruchfestigkeit und der Option zur Realisierung deutlich komplexerer Geometrien. Clips und Federn sind die unkomplizierte Art der Kühlkörperbefestigung. Der von ihnen erzeugte hohe zentrale Anpressdruck und vereinfachte Isolationsmöglichkeiten sind die

wesentlichen Vorteile gegenüber einer Schraubbefestigung. Insbesondere bei isolierter Montage entsteht eine höhere Sicherheit durch Verzicht auf Schrauben und Isolierbuchse. Der hohe Anpressdruck gewährleistet einen dauerhaften, sicheren thermischen Kontakt und damit einen gleichbleibend guten Wärmeübergang zwischen Halbleiter und Kühlkörper. Die Flachfedern und gestanzten Teile aus Stahl C67S/C75S durchlaufen einen kontrollierten Fertigungs- und Qualitätssicherungsprozess, der bereits mit der Auswahl des Rohmaterials beginnt. Die Clips und Federn werden gehärtet und galvanisch verzinkt. Das patentierte Verzinkungsverfahren schließt eine Wasserstoffversprödung aus. Zur Vermeidung von elekt-



rischen Kurzschlüssen folgt die Beschichtung der Kühlkörperbefestigungen durch mikroskopisch kleine Zinkabscheidungen mit JS 500. Jeder dieser Verarbeitungs- und Veredlungsschritte unterliegt strengsten Qualitätskontrollen. Die Laserbeschriftung jedes einzelnen Teils ermöglicht zudem die problemlose Rückverfolgbarkeit. CTX bietet ein umfassendes Spektrum an Montageclips und -federn – darunter neben Standard-Clips und

-Klammern auch projektspezifische Stanzbiegeteile, Flachfedern, Drahtbiegeteile sowie Druck-, Zug-, Torsions- und Mikrofedern. Oberflächen-Veredelungen wie wasserstofffreies Verzinken, Vernickeln, Chromatieren oder Verkupfern sind auf Wunsch realisierbar. Applikationsspezifische Lösungen erarbeitet CTX typischerweise Schritt für Schritt gemeinsam mit dem Anwender. Das gilt selbstverständlich ebenfalls für das umfassende Kühlkörper-Portfolio von CTX. Neben einer Vielzahl von Standardkühlkörpern, bietet das führende Handelshaus vor allem applikationsspezifische Kühllösungen für die unterschiedlichsten Einsatzbereiche.

CTX

**SEMIKRON**  
innovation + service

Leistungsmodule für industrielle Anwendungen sind heutzutage größtenteils standardisiert. Liefersicherheit gehört zu den wichtigsten an sie gestellten Anforderungen. Standardmodule von SEMIKRON erfüllen diese Anforderung, bieten aber darüber hinaus weit mehr. Mit unserer Löt-, Sinter und Bond-Technologie erreichen unsere Standardmodule völlig neue Niveaus der Leistungsdichte und Zuverlässigkeit.

Durch integrierte Strommessshunts, Plug & Play-Treiber und voraufgetragene Wärmeleitmaterialien wird die Zahl der Komponenten im System verringert. Weiterhin sinken die Systemkosten und es verkürzen sich die Entwicklungszeit und damit die Zeit bis zur Markteinführung.



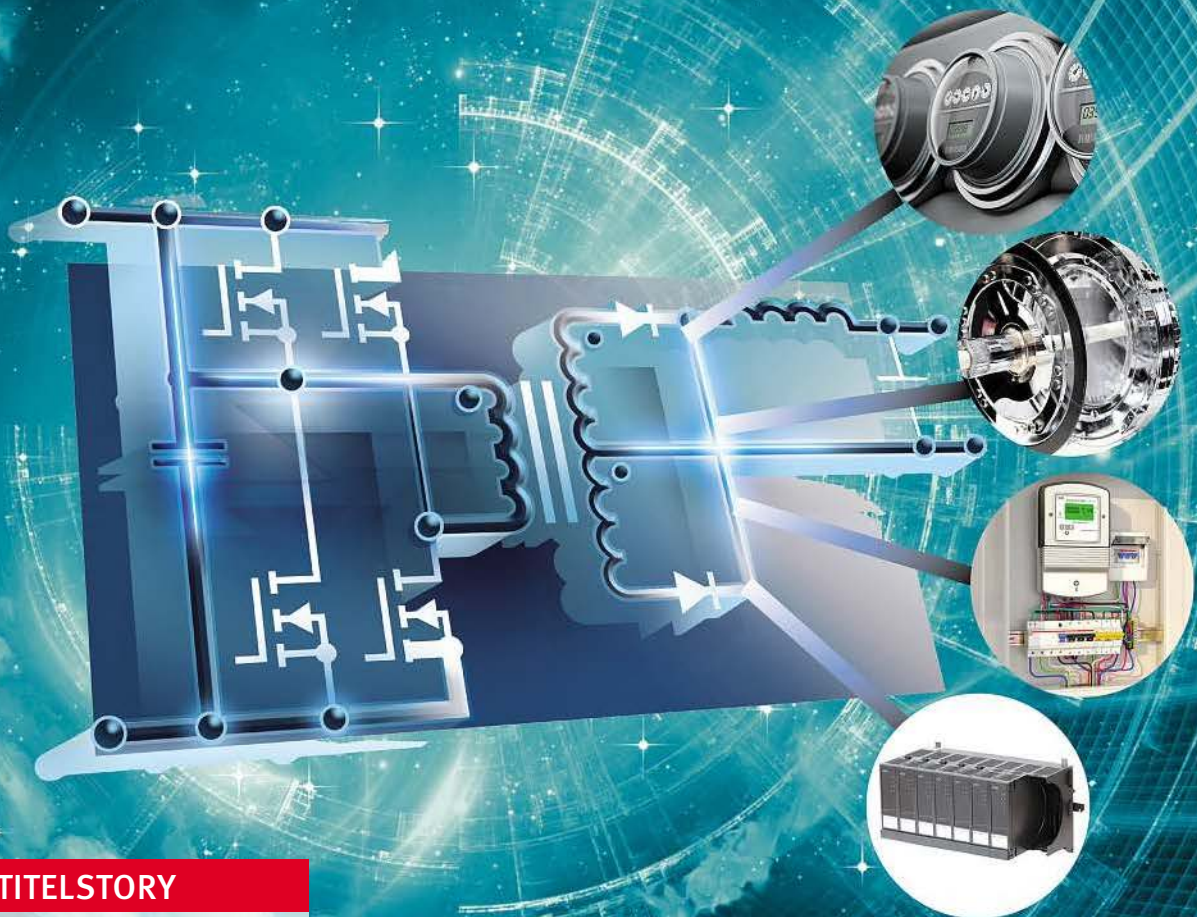
SEMIX® 6

www.semikron.com

Erwarten Sie mehr  
als den Standard.







## TITELSTORY

Mit dem Motortreiber DRV8848 lassen sich zwei unabhängige Vollbrücken-Gleichspannungswandler konfigurieren. Der Baustein mit integrierten Schutzfunktionen ist eine sinnvolle Ergänzung der Techniken zur Erzeugung isolierter Versorgungsspannungen. Die eingebaute Temperaturbegrenzung und der programmierbare Stromwächter werden durch eine schnelle Überstrombegrenzung ergänzt. Durch Kontrollieren der Spannung am VREF-Pin ist eine Softstart-Funktion realisierbar. Auch andere Motortreiber eignen als Vollbrücken-Wandler; etwa der DRV8835/7/9 für niedrige Spannung und DRV8870/1/2 sowie DRV8841/2, wenn höhere Spannungen benötigt werden.



# Ein Motortreiber-IC als Lowpower-Vollbrücken-DC/DC-Wandler

*Entwickelt wurde der Baustein DRV8848 als Motortreiber-IC, doch die integrierte isolierte Stromversorgung befähigt ihm auch zum Einsatz in weiteren Applikationen, wie der Autor am Beispiel Smart Meter zeigt.*

DAN TOOTH \*

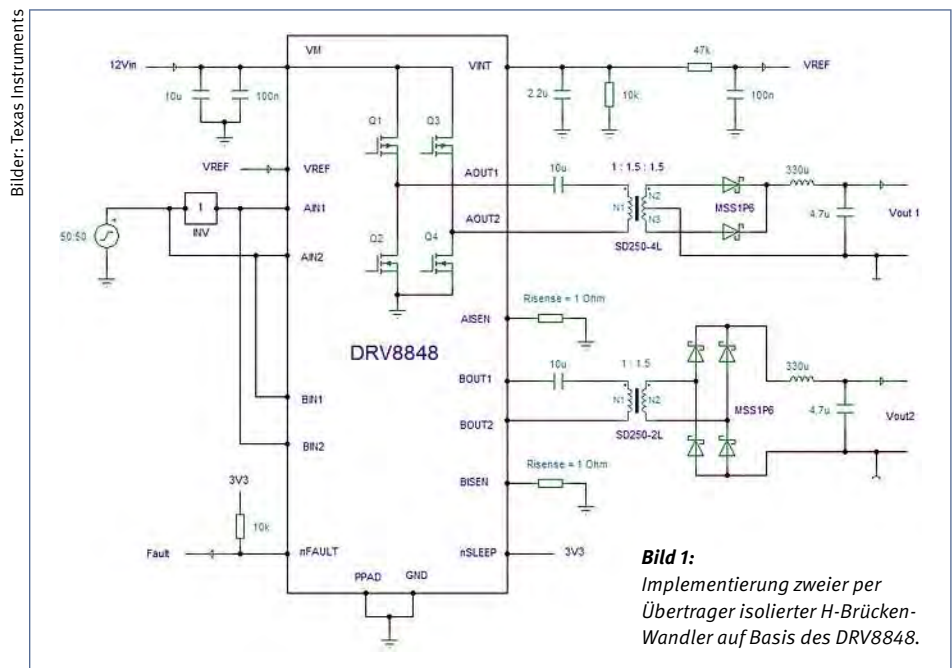
In elektronischen Systemen ist es häufig erforderlich, eine oder mehrere isolierte Versorgungsspannungen für leitungsgebundene Schnittstellen wie RS485, Wired mBus, 4/20-mA-Stromschleifen usw. bereitzustellen. Ein denkbare Anwendungsbeispiel sind intelligente Stromzähler (Smart Meter). Man könnte diese Spannungen mit zusätzlichen Wicklungen auf dem Haupt-Übertrager erzeugen. Gelegentlich ist es aber sinnvoller, an einer niedrigen Eingangsspannung einen isolierten Gleichspannungswandler zu betreiben. Hierdurch verhindert man, dass der Haupt-Übertrager zu groß und unhandlich wird, zumal strikte Vorgaben hinsichtlich der Isolationsspannung sowie der Luft- und Kriechstrecken bestehen.

Es gibt heute eine ganze Reihe von Wandler-Topologien, die häufig angewandt werden – vom Sperrwandler (Flyback Converter) über Fly-Buck- und Fly-Boost-Wandler bis zu Push-Pull-Wandlern. Der folgende Beitrag widmet sich jedoch einer anderen Topologie, nämlich dem Vollbrücken- oder H-Brücken-Wandler, der auch als Vierquadrantensteller bezeichnet wird und gleich mehrere Vorteile bietet.

Erstens ist durch die vier FETs gewährleistet, dass immer ein Weg für den Strom zur Verfügung steht, sodass es kaum oder gar nicht zu Spannungs-Überschwingern kommt. Zweitens wird kein Übertrager mit Mittelabgriff benötigt, sodass kostengünstige Ringkern-Transformatoren mit nur einer Primär- und einer Sekundärwicklung zum Einsatz kommen können. Der dritte Vorteil ist, dass keine Energiespeicherung erfolgt und dass der Übertrager in positiver und negativer Richtung magnetisiert wird, was die Größe der magnetischen Bauteile minimiert.



\* Dr. Dan Tooth  
... ist Analogue/Power Field Applications Engineer bei Texas Instruments, Edinburgh, Schottland.



**Bild 1:**  
Implementierung zweier per Übertrager isolierter H-Brücken-Wandler auf Basis des DRV8848.

Viertens gibt es integrierte Motorsteuerungs-ICs mit integrierten FETs sowie eingebautem Überstrom- und Übertemperaturschutz.

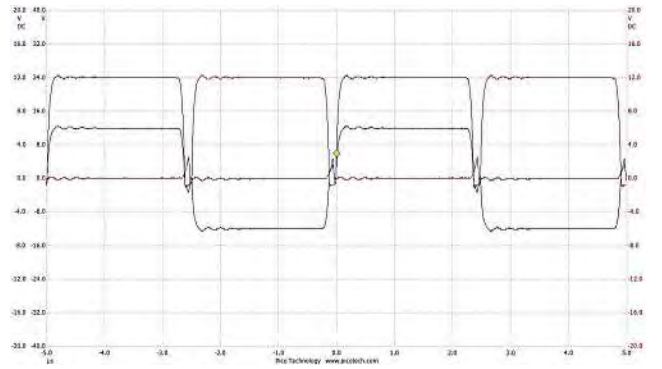
## Das Design des Vollbrücken-Gleichspannungswandlers

Die tendenziell weniger steilen Spannungsflanken dieser Bausteine sind günstig für Systeme, in denen es auf die Vermeidung von HF-Störgrößen ankommt, damit empfindliche Funkempfänger im selben System nicht beeinträchtigt werden. Als fünfter und letzter Vorteil ist zu erwähnen, dass einige Motorsteuerungs-ICs mehrere Vollbrücken-Wandler enthalten, die sich separat steuern lassen. Dies ist sinnvoll in Anwendungen, in denen die verschiedenen Ausgänge voneinander unabhängig sein müssen und sich daher nicht mit einem Übertrager implementieren lassen, der mehrere voneinander isolierte Sekundärwicklungen aufweist. Der DRV8848 ist ein Motorsteuerungs-IC mit zwei

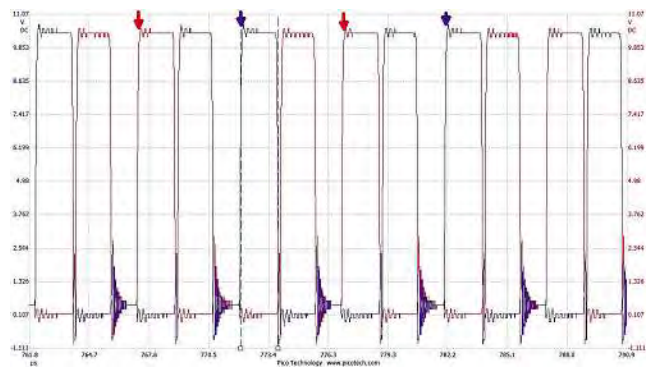
H-Brückenschaltungen, der sich mit seiner Nenn-Eingangsspannung von 18 V ideal für 12-V-Systeme eignet. Jede H-Brücke besteht aus high-seitigen P-FETs und masseseitigen N-FETs. Eine alternative Architektur wäre eine Ladungspumpe mit high-seitigen N-FETs. Allerdings kann die Ladungspumpe elektromagnetische Interferenzen (EMI) erzeugen, sodass in diesem EMI-sensiblen Design der DRV8848 die bessere Wahl ist.

Jede H-Brücke wird separat durch die Logikeingänge AINx und BINx gesteuert und besitzt eine eigene, über einen externen Messwiderstand ( $R_{\text{sense}}$ ) programmierte Strombegrenzung (Current Limit – CL). Wenn diese anspricht, schaltet die Strombegrenzung die FETs ab, die den Strom haben ansteigen lassen. Stattdessen wird das entgegengesetzte FET-Paar eingeschaltet, um den Strom für eine Dauer von 20  $\mu\text{s}$  (die PWM-Zykluszeit) oder bis zum Beginn des nächsten PWM-Zyklus abfallen zu lassen. Zusätz-

**Bild 2:**  
Primärseitige Phasen-  
ausgangsspannungen  
(rot, blau) des Wand-  
lers. Die berechnete  
Spannung zwischen  
den Phasen (lila) zeigt  
einen Spannungs-  
hub von  $\pm 12$  V an der  
Primärseite ( $1 \mu\text{s}/\text{div}$ .  
 $F_{\text{sw}} = 200$  kHz).



**Bild 3:**  
Primärseitige Phasen-  
ausgangsspannungen  
(rot, blau) des Wand-  
lers mit Darstellung  
des CL-Verhaltens des  
DRV8848 während der  
Startphase ( $F_{\text{sw}} = 100$   
kHz).



lich gibt es eine schnelle interne Überstrombegrenzung (Over Current Protection – OCP), die auf 2 A eingestellt ist und an deren Ansprechen sich eine Hiccup-Retry-Zeit von 1,6 ms anschließt.

Diese Schutzfunktionen sind nützliche Einrichtungen für isolierte Wandler, die eine störungsbedingte Überlastung an einem oder mehreren Ausgängen verkraften müssen. Häufig übersehen wird bei der Implementierung diskreter H-Brücken-Schaltungen die Unterspannungs-Sperre (Undervoltage Lockout – UVLO), die im Baustein DRV8848 auf etwa 3 V eingestellt ist und ein Schalten der FETs verhindert, wenn die Versorgungsspannung unter einen bestimmten Grenzwert fällt. Beim Versuch, die FETs bei zu niedriger Versorgungsspannung ein- und auszuschalten, würden diese Bauelemente nämlich im linearen Bereich betrieben, was eine hohe Verlustleistung zur Folge hätte.

Der IC erzeugt darüber hinaus eine interne Versorgungsspannung ( $V_{\text{INT}}$ ) von  $3,3 \text{ V} \pm 5\%$ . Diese Spannung lässt sich extern nutzen, beispielsweise zur Versorgung des  $V_{\text{REF}}$ -Pins des Bausteins zum Programmieren der Current-Limit-Funktion. Indem man  $V_{\text{INT}}$  über ein RC-Netzwerk mit  $V_{\text{REF}}$  verbindet, liegt an  $V_{\text{REF}}$  beim Einschalten eine steigende Spannung an, wodurch die Strombegrenzung CL langsam hochfährt und auf diese Weise für ein Softstart-Verhalten sorgt.

Die Strombegrenzung des DRV8848 wird berechnet mit  $V_{\text{REF}}/(6,6 R_{\text{sense}})$ . Bei einer Spannung von  $V_{\text{REF}}=3,3 \text{ V}$  und einem Widerstand  $R_{\text{sense}}=1 \Omega$  beträgt der Grenzstrom 0,5 A. Bild 1 zeigt exemplarisch eine Schaltung, in der der DRV8848 die Leistungswandlung für zwei separat isolierte Ausgänge übernimmt. Zu Demonstrationszwecken besitzt ein Übertrager eine Sekundärwicklung mit Mittelabgriff und zwei Gleichrichterdioden, während der andere über Einzelwicklungen mit einem anschließenden Vollbrücken-Gleichrichter verfügt, wie es normalerweise bei einem Ringkerntrafo der Fall wäre.

In den Primärstromkreis ist außerdem ein  $10\text{-}\mu\text{F}$ -Serienkondensator eingebaut, um sicherzustellen, dass niemals ein Gleichstrom an den Übertrager gelangt.  $V_{\text{REF}}$  wird von  $V_{\text{INT}}$  über ein RC-Netzwerk versorgt, das  $V_{\text{REF}}$  in rund 10 ms hochfährt und damit einen Softstart implementiert. Die auf 200 kHz eingestellte Schaltfrequenz muss extern zugeführt werden – entweder von einem Mikrocontroller-Pin oder von einem eigenständigen LMC555-Timer, der gemäß seinem Datenblatt für 50% Tastverhältnis konfiguriert ist. Der DRV8848 benötigt zusätzlich eine invertierte Version des Taktsignals. Diese wird mit dem im Schaltplan eingezeichneten Inverter SN74LVC1G04 generiert. Zum Aktivieren des IC muss der nSLEEP-Pin des Bausteins auf High-Potenzial gezogen werden.

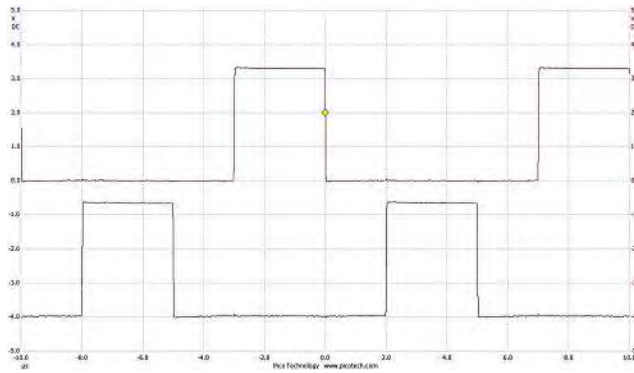
Für die Testschaltung wurde ein Übertrager des Typs Coilcraft SD250-4L mit einem Windungsverhältnis von 1:1,5:1,5 benutzt. Der zweite Kanal des DRV8848 steuert eine andere Version des Übertragers (SD250-2L) mit nur einer Sekundärwicklung (1:1,5) an. Der DRV8848 sorgt für eine gewisse Austastzeit, die zusammen mit den Anstiegs- und Abfallzeiten von dem normalerweise 100% betragenden Tastverhältnis des Wandlers abgezogen werden muss. Die 200 ns (typisch) betragende Austastzeit wird zwischen die Schaltvorgänge der high- und masseseitigen FETs in jeder Halbbrücke eingefügt. Daher beträgt das tatsächliche Tastverhältnis zirka 92% (Bild 2). Aus der Eingangsspannung von 12 V werden daher  $0,92 \cdot 12 \text{ V} \cdot 1,5 = 16,5 \text{ V}$ . Der Diodenabfall auf der Sekundärseite bewirkt, dass sich dieser Wert weiter auf eine Ausgangsspannung von rund 16 V reduziert.

Da dieser Wandler ungeregelt ist, muss davon ausgegangen werden, dass sich die 16 V Ausgangsspannung mit zunehmender Belastung verringern. Ursache hierfür sind die Wicklungswiderstände des Übertragers, die Einschaltwiderstände der FETs und der Wicklungswiderstand der Ausgangsinduktivität (werden ein Übertrager ohne Mittelabgriff und ein Vollbrücken-Gleichrichter verwendet, dann müssen zwei Dioden-Spannungsabfälle abgezogen werden). Mit dem „Powerstage Designer“ bietet Texas Instruments kostenlos ein Softwaretool zum Download an, mit dem sich für verschiedene Leistungswandler-Topologien schnell die Signalverläufe in der Leistungsstufe simulieren lassen. Mithilfe dieses Tools wurde eine geeignete Primärinduktivität von 1,5 mH für den Übertrager und eine zu Glättungszwecken dienende sekundärseitige Induktivität von 330  $\mu\text{H}$  gefunden. Das Volt-Sekunden-Produkt beträgt  $V_{\text{in}} \cdot \frac{1}{2} T = 12 \text{ V} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{200 \text{ kHz}} = 30 \text{ V}\mu\text{s}$ . Der gewählte Übertrager sollte ein Volt-Sekunden-Produkt aufweisen, das über diesem Wert liegt.

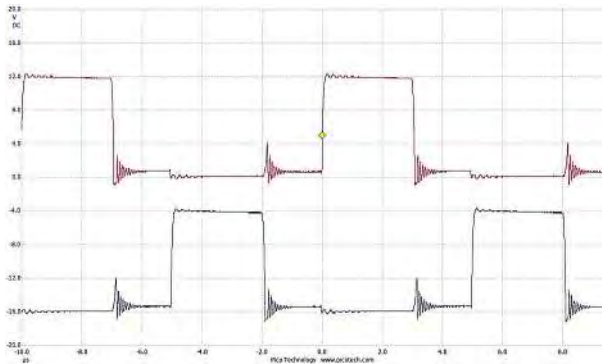
Bild 2 gibt die primärseitigen Phasenspannungen wieder. Auf der Sekundärseite werden 16 VDC gemessen, und der Lastwiderstand beträgt 168  $\Omega$ . Wenn mit Bezug auf Bild 1 die blau wiedergegebene Phasenspannung fällt, liegt dies daran, dass die diagonal gegenüberliegenden FETs dieser Phase (Q1 und Q4) abgeschaltet wurden. Es folgt eine innerhalb des IC festgelegte, rund 200 ns dauernde Totzeit, in der alle FETs abgeschaltet sind. Die in der Streuinduktivität des Übertragers gespeicherte Energie zieht die blau dargestellte Phase in den negativen Bereich, wobei durch die Body-Diode von Q2 eine Klemmung erfolgt. Jetzt setzt eine Oszillation ein, doch schon wenig später werden die FETs der ro-



**Bild 4:**  
INx-Treibersignale für  
60%-Tastverhältnis.



**Bild 5:**  
Phasenspannungen  
als Resultat der Trei-  
bersignale aus Bild 4.



ten Phase (Q2 und Q4) eingeschaltet, woraufhin die Spannung der roten Phase auf 12 V ansteigt. Bild 3 zeigt die Phasenspannungen während der Anlaufphase und bei aktiver CL-Funktion. In der Startphase fährt  $V_{REF}$  hoch, sodass der Grenzstrom noch nicht auf seinen vollen Wert von 0,5 A angestiegen ist. In Bild 3 liegt der Grenzstrom bei 120 mA. Die Schaltfrequenz wurde für diesen Test auf 100 kHz reduziert, der Lastwiderstand dagegen auf 112  $\Omega$  angehoben (für die Wahl dieser Prüfbedingungen gab es keine anderen Gründe als den, die Funktionsweise bei einer anderen Schaltfrequenz und einer anderen Last zu demonstrieren).

Die blaue Phase schaltet ein (erster blauer Pfeil) und geht für etwa 1,8  $\mu$ s (die CL-Aus-tastzeit) in den High-Zustand. Nach dieser Zeitspanne ist der CL-Grenzwert erreicht, und die blaue Phase schaltet ab (zweite gestrichelte Linie), woraufhin die rote Phase in den High-Zustand wechselt. Nach etwa 1,6  $\mu$ s ist der Strom nahezu auf null gefallen, und das Verhalten des DRV8848 ist so angelegt, dass die Brücke zur Vermeidung eines Rückstroms gesperrt wird. Es folgt nun eine Zeitspanne, in der keine der beiden Phasen eingeschaltet ist und beide Phasenspannungen somit null sind. Kurze Zeit später schaltet die rote Phase ein (zweiter roter Pfeil), weil das PWM-Signal high wurde und damit den Be-

fehl zum Einschalten dieser Phase gegeben hat (dies erfolgt, bevor die 20  $\mu$ s dauernde PWM-Periode des IC verstrichen ist). Die Zeitdifferenz zwischen den beiden blauen (und den beiden roten) Pfeilen beträgt 10  $\mu$ s, was der Periodendauer eines 100-kHz-Signals entspricht (die anderen Instanzen der blauen oder roten Phasenspannungen resultieren aus dem CL-Verhalten des IC).

Die H-Brücke lässt sich auch mit einem von 92% abweichenden Tastverhältnis ansteuern. Bild 4 zeigt die Treibersignale an INx bei 60% Tastverhältnis, während Bild 5 die Phasenspannungen beim Ansteuern des Übertragers wiedergibt. Die Streuinduktivität und die parasitäre Kapazität können hier anders als bei der Ansteuerung mit 92% Tastverhältnis über mehr Zyklen oszillieren. Eine bessere Möglichkeit zum Treiben mit einem nicht 50% betragenden Tastverhältnis ist es, die INx-Treibersignale in der in Bild 6 (im Online-Artikel 44947386) gezeigten Weise überlappen zu lassen; Bild 7 (online) zeigt die daraus resultierenden Treibersignale. Sind beide INx-Treibersignale high, schaltet der DRV8848 die masseseitigen FETs Q2 und Q4 ein, was beide Seiten des Übertragers auf 0 V klemmt und für einen saubereren Signalverlauf sorgt.

// KU

Texas Instruments



Elektro-Automatik

## Hightech Stromversorgungs- geräte und elektronische Lasten

bis 1500V, bis 5000A, bis 480kW

## HOCHLEISTUNGS- SCHRÄNKE

für automatisierte Prüfstände als  
Hochleistungsquelle, elektronische  
Last oder kombinierte Quelle-Senke,  
auch netzrückspeisend. 19" Schränke 15  
bis 42HE, standardisiert oder konfigurierbar.

PSI 9000 24HE

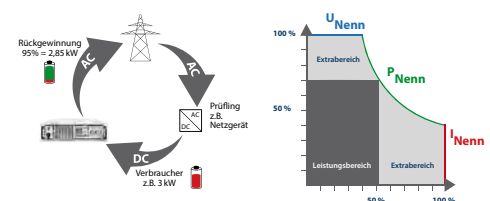
Konfigurierbar



PSI 9000 15HE

### AUSSTATTUNG

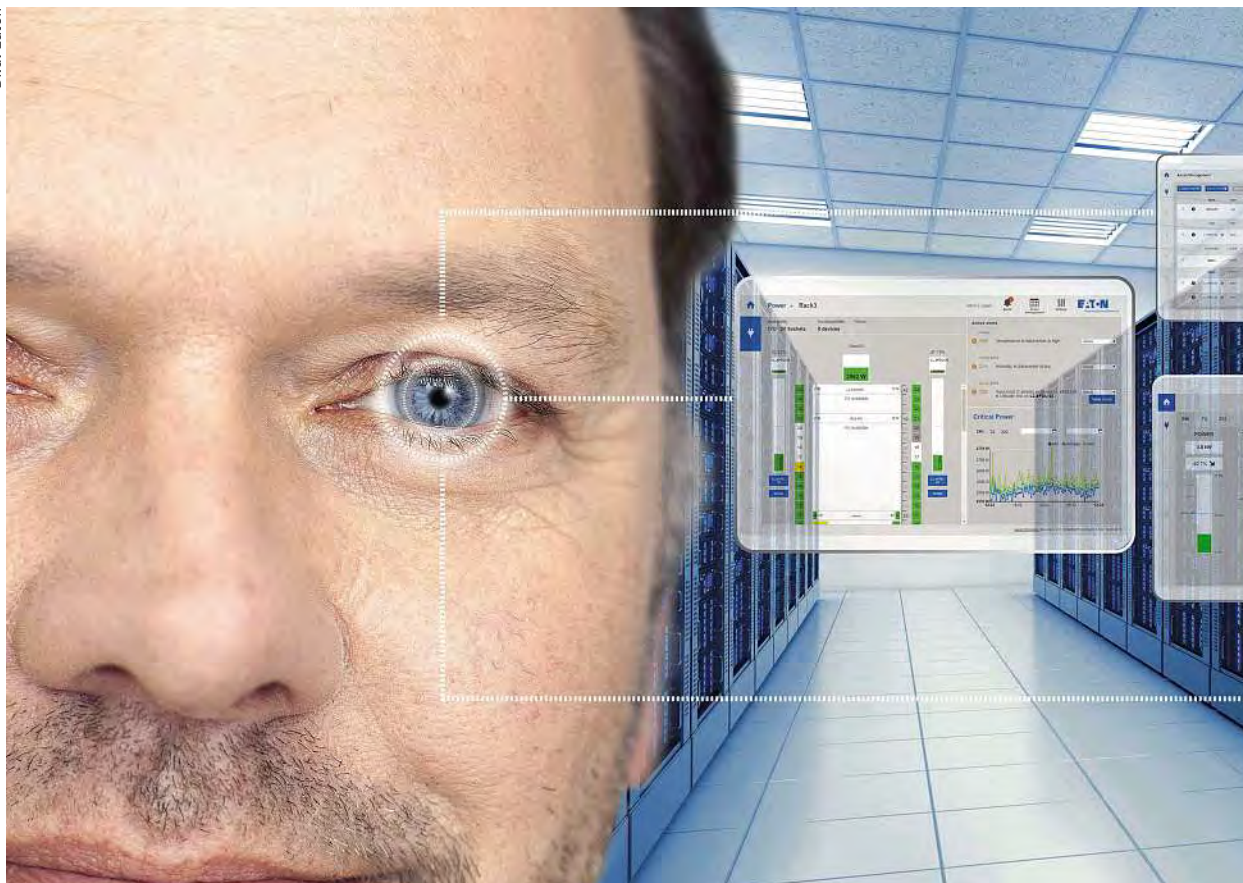
- AC-Bus, DC-Bus, Sicherungen, Rollen, Türen, Not-Aus (Option)
- Standards EN 60950 (IT-Systeme) oder EN 60204-1 (Maschinen)
- User Software Paket EA-Power Control



[www.elektroautomatik.de](http://www.elektroautomatik.de)  
ea1974@elektroautomatik.de  
Helmholtzstraße 31-37  
41747 Viersen, Deutschland  
Tel. +49 (0) 21 62 / 37 85 - 0

Bild: Eaton

**Bild 1:** Unterbrechungen und Störungen im Datenzentrum können sich massiv auf Produktion und Umsatz auswirken.



# Betrachtungen für sichere und energieeffiziente Rechenzentren

*Der Ausfall oder ein Einbruch in der Energieversorgung kann fatale Folgen mit sich bringen. Für eine sichere Energieversorgung gibt Energie-Management-Spezialist Eaton beachtenswerte Hinweise.*

Nach dem Ausfalls der Energieversorgung im Mai des Jahres bei British Airways bezifferte die Fluggesellschaft ihren finanziellen Verlust mit rund 100 Millionen Euro nebst massivem Imageschaden als weitere Folge, weil tausende Passagiere ihren Flug nicht antreten konnten. Dieser Vorfall zeigt einmal mehr: Stabil laufende Rechenzentren und IT-Netze sind für den Unternehmenserfolg unerlässlich.

Die Ursachen einer instabilen Versorgung sind vielfältig, etwa Bauarbeiten, Lastabwurf, automatische Wiedereinschaltung nach Blitzeinschlag, Erdschluss oder wenn die Regelung des Netzes nicht ausreichend

schnell auf Störungen oder Veränderungen im Stromnetz reagiert. Die Energie-Management-Experten von Eaton haben für Unternehmen jedweder Größe fünf zentrale Punkte fixiert, die für ein langfristig sicheres Rechenzentrum von Bedeutung sind.

Die Energieversorgung des Rechenzentrums ist hierin ein zentrales Thema. Unterbrechungen und Störungen können sich massiv auf Produktion und Umsatz auswirken und auch der größte Anteil der Betriebskosten entfällt auf den Energieverbrauch. Neue Entwicklungen bei der Rechenzentrum-Infrastruktur sowie bei der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) bieten

Unternehmen bessere Möglichkeiten, das Rechenzentrum energieeffizient und sicher zu betreiben.

## Komplexes Management virtualisierter Infrastrukturen

Virtualisierung sowie softwaredefinierte Rechenzentren und Recheninfrastrukturen sind auf dem Vormarsch. Die Auslagerung bietet laut Eaton Vorteile hinsichtlich Flexibilität und Betriebskosten, die Verwaltung ist jedoch komplex. Moderne Software-Lösungen für das Infrastruktur-Management lassen sich heute in virtuelle Architekturen einbinden, USV und Stromverteiler-Einheit





können zusammen mit Informationen zu Netzwerk, Servern und Speicherung in einer Applikation dargestellt werden. Zudem schaffen sie eine zusätzliche Sicherheitsebene, ermöglichen Fehlertoleranz bei Unregelmäßigkeiten der Stromversorgung oder Live-

Migrationen zu Backup-Standorten. Bei Problemen setzen sie automatisiert geeignete und vorab definierte Maßnahmen in Gang. Dies ist besonders in Hinblick auf den sequentiellen Shutdown von VM-Instanzen im Notfall wichtig, da die notwendige Hierarchisierung auch mit modernen physischen Doppelwandler-USV-Systemen alleine nicht umsetzbar ist.

### Infrastruktur Monitoring mit grafischen Analysen

Wenn die Komplexität zunimmt, bedarf es eines guten Überblicks über die Infrastruktur. Statt isolierten Einzellösungen sollte ein modernes Konzept die Überwachung von Energieversorgung, Räumen, Kapazitäten und weiterer Leistungskennzahlen aus einer Hand liefern. Der Vorteil: Betreiber der Rechenzentren können schneller reagieren, Änderungen besser vorausplanen sowie potenzielle Zwischenfälle frühzeitig erkennen und Reparaturzeiten minimieren. Moderne Lösungen unterstützen zudem eine Vielzahl von Schnittstellen und Protokollen, um unter anderem Umgebungssensoren anzuschließen, etwa zur Messung von Temperatur und Feuchtigkeit. Die Software-Schicht wird über die angebundenen Geräte zu einem zentralen Daten-Hub, über den sich umfassende grafische Analysen beziehen lassen.

### USV-Anlagen ohne zentrale USV im Rechenzentrum nutzen

Betreiber der Rechenzentren und vor allem Cloud-Anbieter haben wechselnde Auslastungen durch Nachfrageschwankungen; eine



Bild: Eaton/Dieter Speers

**Bild 2:** Brandschutzschalter (Arc Fault Detection Device, kurz AFDD) erkennen Hochfrequenzmuster in elektrischen Systemen, die auf einen Lichtbogen hindeuten und lösen einen Sicherheitsmechanismus aus. In diesem AFDD+ von Eaton sind zusätzlich ein Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter) sowie Kurzschluss- und Überlastschutz integriert.

langfristige Planung des Bedarfs ist schwierig. Überdimensionierte monolithische USV-Systeme bedeuten hohe Anschaffungskosten und steigern den Aufwand für die Klimatisierung, da Verlustleistungen in Wärme umgewandelt werden. Modulare Konzepte wachsen gemäß der Rechenleistung mit und tragen so zu einem ressourcenschonenden Verbrauch bei. Die Investitionskosten bemessen sich allein am aktuellen Nennleistungsbedarf. Noch passgenauer ist die Implementierung in die einzelne Server-Reihe, den



#### Sie suchen:

- Spezielle Bauform und mechanische Beschaffenheit
- Spezielle elektrische Eigenschaften und integrierte Funktionen
- Spezielle Konformität und Sicherheitszulassung

**AC/DC Schaltnetzteile und DC/DC Wandler, für jede Anforderung die passende Stromversorgung.**

#### Wir bieten:

- Kostenlose Beratung und Konzeption vor Ort
- Kurzfristige Lieferung von Prototypen
- Kostengünstige Serienproduktion
- Sicherheitszertifikate und Konformitätsbescheinigungen
- Produktionsüberwachung und Qualitätsmanagement

**TRACO POWER**

Reliable. Available. Now.

**SOLUTIONS**

[www.tracopower.com](http://www.tracopower.com)

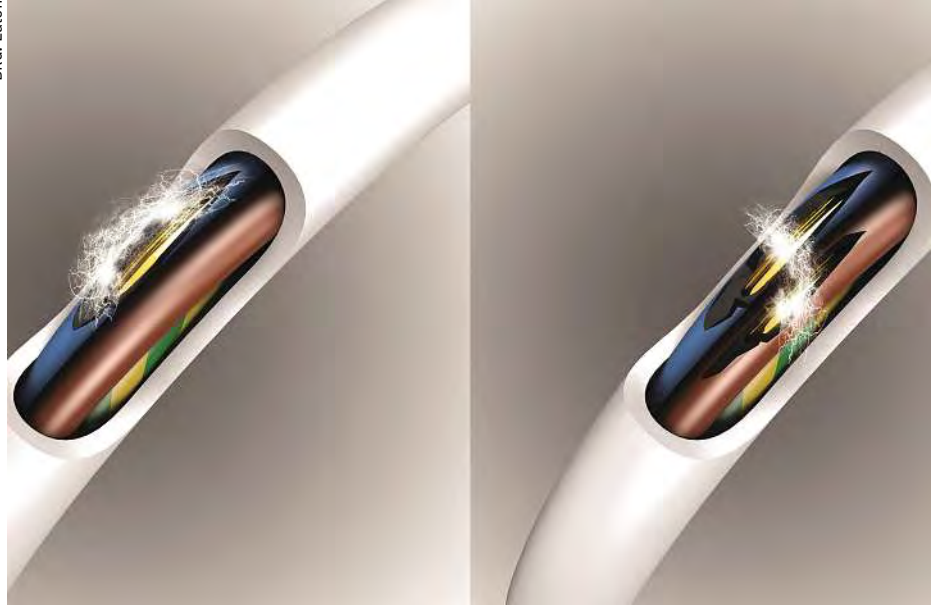
sogenannten Whitespace. Das Konzept kommt ohne zentrale USV aus, ist platzsparend und vermeidet Single Point of Failures, da Irritationen nur die jeweilige Server-Reihe betreffen.

### Der Eco-Mode für die USV senkt die Kosten

Etwa 15% des Energieverbrauchs im Rechenzentrum entfällt auf USV-Systeme. Der Verbrauch resultiert aus der kontinuierlichen Doppelwandlung, die permanent zwischen Netzzugang und angeschlossener Last geschaltet ist, um Stromausfälle und -schwankungen auszugleichen. Durch das erforderliche Redundanz-Niveau liegt der Wirkungsgrad jedoch nur bei 50%. Der European Code of Conduct für Rechenzentrum-Betreiber empfiehlt daher skalierbare Systeme mit einem Eco-Mode. Diese erreichen einen Wirkungsgrad von bis zu 99% – moderne Systeme sogar bei geringer Auslastung. Für ein 15-kW-Rack sind so laut Eaton Kosteneinsparungen von bis zu 2000 € pro Jahr möglich, bei einer Verbesserung des PUE-Werts (Power Usage Effectiveness) um 10%.

### Störlichtbögen sind eine weit unterschätzte Gefahr

Ungeplante Lichtbögen (Störlichtbogen oder Fehllichtbogen) zwischen Racks oder weiteren elektrischen Anlageteilen stellen ein hohes Risiko für Mitarbeiter und Infrastruktur dar. Sie erzeugen einen Druck bis zu 25 t pro Quadratmeter, die resultierende Explosion kann das Rechenzentrum schwer beschädigen und zu unwiderruflichem Datenverlust oder gar Personenschäden führen.



**Bild 3:** Fehlerlichtbogen, auch als Störlichtbogen bezeichnet, sind eine gefährliche Erscheinung, deren Ursache Isolationsfehler sind. Zwei oder gar mehrere Leiter können beteiligt sein.

Dennoch berücksichtigen viele Unternehmen Energieverteilungssysteme bei Sicherheitsanalysen nur unzureichend.

Selbst die Erfüllung von IEC-Normen bietet keinen vollständigen Schutz, da diese auf den normalen Arbeitsbetrieb ausgerichtet sind. Gefahren treten jedoch insbesondere bei Wartung oder Erweiterungen auf. Einen umfassenden Schutz bieten hier moderne Störlichtbogen-Schutzsysteme, deren Lichtsensoren vor jedem einspeisenden Leistungsschalter positioniert werden können und das emittierte Licht über eine Zentraleinheit auswerten. Diese veranlasst bei Ge-

fahr einen metallischen Kurzschluss in weniger als 2 ms, die sich aufbauende Spannung bricht entsprechend zusammen. Eine externe Analyse der Infrastruktur sowie regelmäßige Schulungen für die Belegschaft sollten zusätzlich vorgenommen werden.

Fazit: Für Rechenzentumbetreiber bietet insbesondere die Virtualisierung zahlreiche Vorteile. Allerdings sollten sie bei geplanten Investitionen in die Infrastruktur Sicherheit und Wirtschaftlichkeit langfristig mitdenken. Wer die hier vorgestellten Aspekte mit einbezieht, hält sein Rechenzentrum schlank, sicher und langfristig skalierbar.

# HDO-A 12-BIT, 1 GHz, 10 GS/s! HIGH DEFINITION OSZILLOSKOPE



**NEU!**

### HDO-A MODELLREIHEN

- 12-Bit AD Wandler Auflösung
- 200 MHz – 1 GHz, 10 GS/s
- Bis zu 8 analoge Kanäle und 16 digitale Kanäle





**Bild 4:** Der Intelligent Power Manager (IPM) ist eine Infrastruktur-Software, mit der die Leistung von Rechenzentren sowie die Umwelt- und physischen Kapazitätskennzahlen innerhalb der IT-Infrastruktur überwacht werden.

und reduziert dank eines energieeffizienten Betriebs gleichzeitig Kosten und Ressourcenverbrauch.

### Erfolgreicher Datacenter Day und Power-Kongress 2017

Der „Datacenter Day“ in Würzburg zeigte am 24. Oktober 2017 im VCC der Vogel Business Media Ideen zu Flexibilität, Effizienz und Sicherheit. Wie sieht die DataCenter- und IT-Zukunft aus und wie können sich Rechenzentren darauf vorbereiten? Wie kann ein Rechenzentrum den steigenden Anforderungen an Flexibilität, Effizienz und Sicherheit gerecht werden? Neben Trends, Technologien und Strategien rund um die Planung und den Betrieb des Rechenzentrums standen die begleitende Fachaussstellung und der Informations- und Erfahrungsaustausch mit Branchenkollegen und führenden Technologie-Anbietern im Mittelpunkt.

Zeitgleich fand der 3. Power-Kongress vom 24. bis 26. Oktober 2017 in Würzburg statt: Am ersten Tag stand das Design von Stromversorgungen im Vordergrund; der zweite Kongresstag behandelte Themen rund um die Auswahl einer geeigneten Stromversorgung und den dritten Tag bildete das Seminar „Korrektes Messen an Stromversorgungen“. Der Power-Kongress befasst sich mit facettenreichen Themen um Design, Auswahl und Überprüfung von Stromversorgungen. Eine begleitende Fachaussstellung zeigt stets neueste Power-Komponenten und Stromversorgungs-Lösungen. // KU

Eaton

# Anspruch trifft Wirklichkeit

## Der neue R&S®RTO

Mit dem R&S®RTO2000 sind Sie für anspruchsvolle Messaufgaben gerüstet (600 MHz bis 6 GHz):

- Seltene Signalfehler schnell finden dank 1 Million Messkurven/s
- Mit dem Zone Trigger einfach Ereignisse im Zeit- und Frequenzbereich separieren
- Mehrkanal-Spektrumanalyse für korrelierte Signalanalyse
- Schnelle Bedienung mit SmartGrid-Funktion und kapazitivem Touchbildschirm

**HD**  
16bit

**Multi**  
Domain

Hier erfahren Sie mehr:  
[www.scope-of-the-art.de/ad/rto](http://www.scope-of-the-art.de/ad/rto)

Besuchen Sie uns auf der  
**Productronica** in München  
14. bis 17. November  
Halle A1, Stand 375



**Turn your signals into success.**

  
**ROHDE & SCHWARZ**

**MAGAZIN-  
NEWSLETTER**



Aktuelle Fachartikel digital  
und kostenlos lesen



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

**Leise Flügel**

< 20 phon

**SUNON®**

**schukat.com**

**SCHUKAT**  
electronic

STROMSPEICHER

**Kapazität und Leistung anpassbar**

Der Stromspeicher Pacadu Flex von ASD ist ein Speicher für den privaten Bereich, bei dem sich nachträglich Kapazität und Leistung anpassen lassen. Betreiber sind es bisher gewohnt, sich bei der Anschaffung eines herkömmlichen Stromspeichers auf eine bestimmte Größe festzulegen. Zwar kann auch mit herkömmlicher Technologie die Speicherkapazität angepasst werden – allerdings nur in sehr begrenztem Rahmen. Die Leistung lässt sich bei einem einmal in Betrieb genommenen, herkömmlichen Stromspeicher in der Regel nicht ohne größere Anstrengungen erweitern. Der Pacadu Flex dagegen lässt sich einfach und nachträglich sogar im laufenden Betrieb erweitern, und zwar sowohl in Kapazität als in Leistung. Anfänglich kleinere Speicher (die kleinste Standardkonfiguration des Pacadu Home 64 liegt bei 2 kW und 5,1 kWh



nutzbarer Kapazität) lassen sich auf bis zu 9 kW und 28,8 kWh aufstocken – ein absolut ausreichender Wert für das private Umfeld, selbst für größere Anwesen mit hohen Leistungsanforderungen. Ist am Aufstellungsort genügend Platz vorhanden, dann steht mit diesem System darüber hinaus auch einem weiteren Ausbau nichts im Weg.

ASD

NETZGERÄTE

**Bis 100 Watt in schmaler Bauform**

Mit der 4. Generation der Netzgerätefamilie Logo!Power erweitert Siemens sein Angebot um zwei weitere Netzgeräte. Die Geräte sind um 18 mm schmaler und lassen sich flexibel montieren, z.B. auf der Hutschiene oder direkt an Wand oder Decke. Mit einem Wirkungsgrad von bis zu 90% im gesamten Lastbereich und einer Verlustleistung von weniger als 0,3 W im Leerlauf

sind die Netzgeräte sehr energieeffizient. Die neue Logo!Power-Reihe ist mit Gehäusebreiten von 18 bis 72 mm der kompakte Nachfolger der vorherigen 3. Generation. Die neuen Varianten mit 24 V/0,6 A und 12 V/0,9 A erweitern das Portfolio für sehr kleine Leistungen und sind nur eine 18-mm-Teileinheit breit. Die insgesamt elf Geräte mit fünf, zwölf, 15 und 24 V geregelter und einstellbarer Ausgangsspannung liefern Leistungen bis zu 100 W. Durch den Weitbereichseingang lassen sich die Netzgeräte ohne Umschaltung an allen 1-phasigen Versorgungsnetzen mit 110 bis 240 V<sub>AC</sub> Nennspannung und sogar an Gleichspannungsnetzen mit 110 bis 300 V<sub>DC</sub> betreiben. Ein Diagnose-LED-Signal „DC O.K.“ gibt den Status des Netzgerätes an.



Siemens



NETZTEILE

## Kundenspezifische Steckverbinder

Das 150-W-Tischnetzteil BET-1500 von Bicker Elektronik ist mit exakt geregelter +12-, +19- oder +24-V<sub>DC</sub>-Ausgang und mit kundenspezifischen Spezial-Steckverbindungen verfügbar, optional auch mit weiteren Spannungen. Es benötigt keine Grundlast und arbeitet im Temperaturbereich von -30 bis 65 °C. Mit einem Wirkungsgrad von bis zu 93% und einem Standby-Stromverbrauch von <0,15 W entspricht es den aktuellen Energie-Effizienz-Bestimmungen für die USA und Europa. Neben den Energie-Effizienzlevel-Standards DoE (US-Energieministerium), CEC, GEMS, NRCan Level VI und ErP Level V erfüllt das BET-1500 auch den EU-Tier-2-Standard. Das BET-1500 ist ausschließlich mit 105-°C-Premium-Elektrolyt-Kondensatoren bestückt und für den langjährigen 24/7-Dauerbetrieb ausgelegt. Es hat einen Weitbereichseingang von 90 bis



264 V<sub>AC</sub> (50 bis 60 Hz) und die notwendigen Sicherheitszulassungen IEC/EN/UL60950-1, CCC und CE. Die Isolationsspannung zwischen Ein- und Ausgang beträgt 4242 V<sub>DC</sub>. Neben dem regulären 4-PIN-POWER-DIN-Stecker kann das BET-1500 am DC-Ausgang mit kundenspezifischen Spezial-Steckverbindungen ausgestattet werden.

Bicker Elektronik

NETZTEILMODULE

## Für die Leiterplattenmontage

Emtron bietet die Stromversorgungsmodule der Baureihe IRM-45/60 von Mean Well an, die für die direkte Montage auf der Leiterplatte elektronischer Geräte konzipiert sind. Damit wird die Produktfamilie IRM auf den Leistungsbereich bis 60 W erweitert. Das kompakte Design und die niedrigen Leerlauf-Leistungsaufnahme der IRM-Familie von weniger als 0,1 W hilft Entwicklern

viele konstruktive Probleme zu lösen, die aus dem oft knappen Bauraum auf Leiterplatten resultieren. Zudem erfüllen diese Stromversorgungen mit Leichtigkeit die strengen Anforderungen der aktuellen Energieeffizienz-Richtlinien weltweit. Und darüber hinaus bieten sie mit ihrer Stoßfestigkeit von 5 G eine hohe mechanische Robustheit. Die Baureihe IRM-45/60 lässt sich über Anschlussstifte in die Leiterplatte einlöten; mit der Ausführung IRM-45/60-xST steht auch eine Modell mit Schraubanschlüssen zur Verfügung. Ihre Eigenschaften machen die Produkte der IRM-Familie zur idealen Stromversorgung für Industrielektronik, Mobil- und Handheld-Geräte. Zu beziehen ist die IRM-Familie über den Spezialdistributor Emtron electronic.



Emtron

fine power

innovation for tomorrow

1 W bis 200 W

## Steckernetzteile

gemäß DoE Effizienzanforderungen (Level V und VI)



- EN/UL 60950-1 zertifiziert
- Schutzklasse bis IP67
- Standby-Power < 0,1W
- Überspannungsfest bis 10kV

Auch kundenspezifische Designs

Finepower GmbH · Carl-Zeiss-Straße 21 · 85737 Ismaning  
www.finepower.com

## DAS GANZE SPEKTRUM DES TESTENS



Semiconductor Boardtester

## Flying Probe

### Treffericher und flexibel

SPEA-Testsysteme stehen für Präzision und Flexibilität. Sie produzieren - wir liefern das Testequipment für jeden Bereich Ihrer Elektronikfertigung.



productronica 2017

14.-17. Nov. 2017 - Halle A1, Stand 255



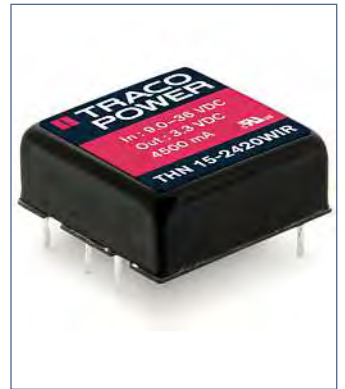
SPEA

www.spea-ate.de

#### DC/DC-WANDLER

### Robustes Design

Die DC/DC-Wandler der Serie THN 15WIR von Traco Power haben ein robustes Design und sind widerstandsfähig gegenüber EMI und thermodynamischen Einflüssen. Die hohe mechanische Festigkeit ermöglicht den Einsatz in Bahn- und Transport-Anwendungen. Die Wandler sind nach den Bahn-Standards EN 50155 und EN 61373 geprüft und decken weite Eingangsspannungsbereiche von 9 - 36, 18 - 75 und 36 - 160 V<sub>DC</sub> ab, womit Transienten von  $\pm 40\%$  auf den Busspannungen von 24, 48, 72, 96 und 110 V abgefangen werden. Die E/A-Isolationsspannung beträgt 3000 V<sub>DC</sub> und die Maße 25,4 mm x 25,4 mm x 10,2 mm. Der Wirkungsgrad liegt bei 90% und die erlaubte Umgebungstemperatur -40 bis 75 °C oder bis zu 90 °C mit 50% Lastreduktion. Die Qualifikation nach EN 45545-2 (Brandschutz) sowie die Sicherheitszulassungen nach IEC/EN



60950-1 und UL60950-1 unterstützen eine allfällige Zertifizierung der Applikation. Ein integriertes EMV-Filter nach EN 50022 Klasse A, Kurzschluss-sicherheit, Eingangs-Unterspannungsabschaltung, Extern-Ein/Aus und eine einstellbare Ausgangsspannung, sind weitere Eigenschaften, die das Design in vereinfachen.

Traco Power

#### DC/DC-WANDLER

### Umfangreiche 6-Watt-Serie

Die isolierten DC/DC-Wandler der ATA-6-Watt-Serie von Artesyn Embedded Technologies sind nun bei Fortec erhältlich. Die Wandler eignen sich für ein breites Spektrum von Anwendungen, u.a. in der Daten- und Telekommunikation, Industrieautomation, Computertechnik sowie in mobilen, batteriebasierten Systemen. Die 14 Modellvarianten der Serie sind jeweils als

Mini-DIL-Gehäuse für die Durchsteckmontage sowie als SMD-Bauteile für die Oberflächenmontage erhältlich.

Alle Modelle haben 4:1-Eingänge: Sieben Modelle verarbeiten 9 bis 36 V, weitere sieben 18 bis 75 V. Alle Modelle stehen mit je einem Einzelspannungsausgang zur Verfügung, der 3,3, 5, 12, 15 oder 24 V liefert. Zwei Varianten sind zudem mit dualen Spannungsausgängen erhältlich, an denen entweder  $\pm 12$  V oder  $\pm 15$  V anliegen.

Die DC/DC-Wandler sind vollständig in einem kompakten Kunststoffgehäuse mit den Maßen 24 mm x 13,7 mm x 8 mm gekapselt. Der Betriebstemperaturbereich der SMD-Versionen reicht von -40 bis 80 °C, der der Mini-DIL-Modelle von -40 bis 85 °C.



Fortec

## 150W Netzteil mit hoher Leistungsdichte

### Effiziente AC/DC Module in kompakter 4"x2" Bauform

- RAC150-G: bis zu 125W (unter natürlicher Konvektion), 150W mit forcierter Belüftung
- Nur 30mm Abstand oberhalb der Komponente erforderlich
- IEC/UL62368, IEC/UL60950, CB Reports
- Class B leitungsgebundene & abgestrahlte Emissionen
- Wirkungsgrad bis zu 91%
- Betriebstemperaturbereich -30°C bis + 70°C
- Schutzlackierung für anspruchsvolle Anwendungen in Industrie und Messtechnik



**RECOM**  
WE POWER YOUR PRODUCTS  
[www.recom-power.com](http://www.recom-power.com)



## NETZTEILE

### Für Medizin und Industrie

Im Sortiment von CompuMess Elektronik (CME) sind spezielle Netzteile mit Mehrfachausgängen für Medizin- oder Industrie-Anwendungen von Integrated Power Design. Die unter der Bezeichnung NXT-400M verfügbaren Produkte arbeiten rein konvektionsgekühlt und kommen bis 200-W-Ausgangsleistung ohne Lüfter aus, mit Zwangsbelüftung beträgt die Ausgangsleistung bis zu 400 W. Die Netzteile gibt es mit bis zu vier geregelten, trimmbaren Ausgängen mit Spannungen von 3,3 bis 28 V, wobei viele Standardkonfigurationen lieferbar sind. Für alle Ausgänge ist eine Inhibit-Funktion möglich.

Die Netzteile sind mit einer aktiven Leistungsfaktor-Korrektur ausgestattet und verfügen über einen Überlast- und Überspannungsschutz. Der Wirkungsgrad beträgt durchschnittlich 87 Prozent bzw. maximal 90



Prozent. Hervorzuheben ist die hohe Effizienz bei geringer Last. Im Standby-Modus nehmen die Netzteile weniger als 300 mW auf. Die Netzteile besitzen die Zulassungen für Medizin- und Industrie-Anwendungen gemäß CB/EN/UL 60950 und 60601 mit 2x MOPP zwischen Primär- und Sekundärseite, optional mit Schutzklasse BF.

CompuMess Elektronik

## NETZTEILE

### Die maßgeschneiderte Lösung

Standard oder kundenspezifisch? Es kommt auf den Einzelfall an, so inpton, wann welche Kategorie angebracht ist: Eine detaillierte Gegenüberstellung der Total Cost of Ownership zwischen Standardnetzteil und kundenspezifischer Ausführung zeigt Vor- und Nachteile. Nur anhand des Verkaufspreises lässt keine fundierte Entscheidung treffen. Beim Standardgerät kön-

ne der Kunde bei der Materialauswahl nicht mitentscheiden, zudem kann das gewählte Modell abgekündigt werden. Allerdings ist beim kundenspezifischen Netzteil die Bindung an einen einzigen Lieferanten eben auch als Risiko einzustufen. Entscheidend ist die Mitsprachemöglichkeit des Kunden bei der kundenspezifischen Lösung, z.B. bei der Optimierung: werden erweiterte Leistungsdaten benötigt, zusätzliche Ausgangsspannungen, besondere EMV-Parameter oder die Bestückung mit Bauteilen nach eigenen Vorgaben möglich? Ist der Netzteil-Kunde auch Lieferant ganzer Systeme, betont inpton, trage die Ausstattung mit sichtbar hochwertigen kundenspezifischen Stromversorgungsteilen zum Markterfolg bei.

inpton



## AC/DC und DC/DC Wandler Batterieladegeräte bis 15 kW

### Notstartwandler bis 2 kW cPCI mit 30 ms Netzausfallzeit

$P_A$ : 10 W ... 15 kW

$U_E$ : 12 V ... 5075 V<sub>DC</sub>



INDUSTRIE-  
und BAHNTECHNIK

**Grau  
Elektronik**  
GmbH

ISO 9001: 2008  
Tel.: 07248/9258-0

EN 50155  
EN 50121-3-2

[www.grau-elektronik.de](http://www.grau-elektronik.de) [info@grau-elektronik.de](mailto:info@grau-elektronik.de)



**GÜNTER**  
POWER SUPPLIES

**SNP-HF3**  
30 Watt/Med/ITE  
Abm.: 1,57"x 2,76"x 0,93"

**SNP-HF6**  
60 Watt/Med/ITE  
Abm.: 2"x 3,17"x 0,95"

**SNP-HF8**  
80 Watt/Med/ITE  
Abm.: 2"x 4"x 1,12"

[www.guenter-psu.de](http://www.guenter-psu.de)



## NEU: Fachbuchshop

Besuchen Sie uns unter  
[www.vbm-fachbuch.de](http://www.vbm-fachbuch.de)

NEU



Vogel Business Media

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

## INDUSTRIAL POWER SUPPLIES



PRODUZIEREN SIE SICHER UND VERLÄSSLICH.  
MIT UNSEREN INNOVATIONEN.

### NEU: Serie PCMAT150

- Base Plate Cooling Technologie
- Leistung: 150W + 50 % Power Boost
- Eingang: 90...264V<sub>AC</sub> / 100...300V<sub>DC</sub>
- Ausgangsspannungen: 12V, 24V
- Umgebungstemperatur: -40...+70 °C
- Vollständig vakuumvergossen
- PFC und Einschaltstrombegrenzung aktiv

[www.mtm-power.com](http://www.mtm-power.com)



MTM POWER®

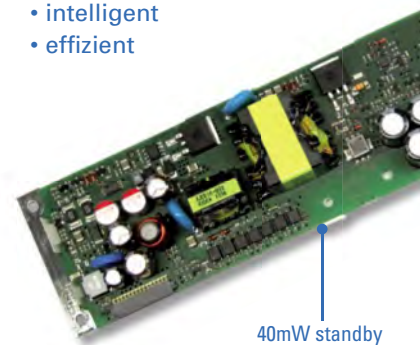




Patientenüberwachung

## Schaltnetzteile für medizinische Anwendungen

- maßgeschneidert
- intelligent
- effizient

Customized Solutions  
Made in Germany

Ihr Spezialist für die Entwicklung und Herstellung kundenspezifischer Schaltnetzteile und Stromversorgungs-lösungen.

**inpotron Schaltnetzteile GmbH**  
Hebelsteinstr. 5, DE-78247 Hilzingen  
Phone +49 7731 9757-0  
E-Mail [info@inpotron.com](mailto:info@inpotron.com)

## DC/DC-WANDLER

## Mit Montageplatte oder Kühlkörper



Die DC/DC-Wandler PCMDS80 von MTM Power wurden als dezentrale Stromversorgung speziell für Anwendungen in der Fahrzeugtechnik und zur Versorgung von geschlossenen Subsystemen

auf Schienenfahrzeugen entwickelt. Sie haben drei Eingangsbereiche, die ihren Einsatz an 24-V- bis 110-V-Batterien in Bordnetzen gemäß EN 50 155 erlauben. Die PCMDS80 liefern eine Ausgangsleistung von 80 W und arbeiten in Eintakt-Flußwandler-Topologie mit 50 kHz Schaltfrequenz. Mit Hilfe eines Transformators und einer sekundärseitigen Längsdrossel wird eine galvanisch getrennte Ausgangsspannung von 12, 13,8, 24, 27,6 oder 48 V erzeugt, die durch eine Pulsweitenmodulation nach

dem Current-Mode-Prinzip geregelt wird. Die Geräte können in einem Temperaturbereich von -40 bis 70 °C ohne Derating eingesetzt werden und haben einen Wirkungsgrad bis 88%. Die Maße der Version mit Grundplatte sind 119 mm x 100 mm x 40 mm. Daneben ist eine Kühlkörpervariante mit 119 mm x 115 mm x 65 mm erhältlich. Die wartungsfreien Wandler erfüllen die Brandschutzanforderungen der Norm EN 45 545-2.

MTM Power

## OPEN-FRAME-NETZTEILE

## Mit zwei oder drei Ausgängen

Für Anwendungen mit erhöhten Isolations- und EMV-Anforderungen eignet sich das Open-Frame-Netzteil LO10-26D0512-04L von Mornsun (Vertrieb SE Spezial-Electronic). Das für 4000 V<sub>AC</sub> Isolationsspannung ausgelegte Netzteil mit Kurzschluss-, Überstrom- und Überspannungsschutz entspricht IEC/EN61000 (EFT ±4 kV, Surge ±2 kV) sowie CISPR22/EN55022 CLASS B für einstrahlungsbedingte und leitungsgeführte Störgrößen. Mit seinem extrem großen Eingangsspannungsbe-

reich von 57 bis 528 V<sub>AC</sub> bzw. 80 bis 745 V<sub>DC</sub> und zwei Ausgängen (5,1 V<sub>DC</sub>/1,2 A bzw. 12 V<sub>DC</sub>/0,4 A) wird es den Anforderungen von Dreiphasen-Vierleiter-Systemen gerecht. Das LO20-10C0512-01 bietet neben drei Ausgängen (5 V/500 mA, 12 V/1200 mA und -12 V/150 mA) eine Ausgangsspannungstoleranz von ≤±3% sowie eine Lastregelung von ≤±5%. Der Eingangsspannungsbereich des LO20-10C0512-01 reicht von 165 bis 264 V<sub>AC</sub> (230 bis 370 V<sub>DC</sub>), die Isolationsspannung beträgt 3000 V<sub>AC</sub>, der Wirkungs-



grad bis zu 78 %. Auch beim LO20-10C0512-01 sind Kurzschluss-, Überstrom- und Überspannungsschutz integriert.

SE Spezial-Electronic

## ENERGIESPEICHER

## Vollständig modularer Stromspeicher



Der Photovoltaik-Spezialist Solarwatt hat einen vollständig modularen Batteriespeicher vorgestellt. Das Speichersystem MyReserve Matrix ist in Sachen Kapazität und Leistung nahezu unbegrenzt skalierbar und eignet sich deshalb für eine beliebige Zahl verschiedener Anwendungsfälle. Das MyReserve-Speichersystem besteht ab sofort nur noch aus zwei Elementen in der Größe eines Schuhkartons: aus dem Li-Ion-basierenden Batterie-Modul MyReserve Pack und dem MyReserve Command, in

dem die gesamte Leistungselektronik des Speichers inklusive Anschlüssen, Sensoren und Software steckt. Sollten Nutzer mehr Speicherkapazität bzw. Leistung benötigen, können unbegrenzt viele MyReserve Pack- oder Command-Module kombiniert werden. Dies ermöglicht anwendungsorientierte Konfigurationen in einer Größenordnung von 2,2 kWh bis zu 2 MWh. Die Modularität erleichtert sowohl Erweiterung als auch Reparatur.

Solarwatt



## LITHIUM-MANGANDIOXID-POUCH-ZELLEN

**Thin Cell-Batterie für vernetzte Geräte**

Die Ultralife Corporation ist ein globaler Batteriespezialist und hat das Angebot an primären (nicht aufladbaren) Lithium-Mangandioxid-Pouch-Zellen-Batterien ( $\text{LiMnO}_2$ ) erweitert. Dank der höheren Energiedichte und dem schlanken Formfaktor ist die Thin Cell-Technologie von Ultralife geeignet zur Verwendung für alle an das Internet angeschlossenen und Wearable-Geräte der nächsten Generation in Sektoren wie Medizin, Banken, Autobahnen, Logistik, Lagerhaltung und Sicherheit. Mit einer Nennspannung von 3,0 V bieten die Pouch-Zellen von Ultralife eine Energiedichte von bis zu 500 Wh/l und 400 Wh/kg. Das ist eine weitaus höhere Leistung als bei Lithium-Knopfzellen, die eine Energiedichte von nur 300

Wh/l bzw. 260 Wh/kg aufweisen, betont der Hersteller. Dadurch bieten sie bei gleicher Größe längere Laufzeiten. Da Thin Cell-Batterien mit einer Dicke von nur 0,4 mm hergestellt werden können, können Hersteller ihre Geräte kleiner machen, ohne bei der Laufzeit Kompromisse eingehen zu müssen. Thin Cell-Batterien bieten nicht nur mehr Energie in einem kleineren Format, sondern schneiden auch in Bezug auf hohe Entladeraten besser ab als Knopfzellen. Das liegt an den optimierten Stromabnehmern und bedeutet, dass die Batterie die Anforderungen von Geräten erfüllt, die hohe Energieschübe benötigen, wie z. B. RFID-Sender. „Entwicklungsingenieure sind an die Grenzen traditioneller Lithium-Knopfzel-



len gestoßen,“ erklärt Dr. Xulong Zhang, VP of China Sales and Operational Liaison bei der Ultralife Corporation, „die nächste Generation der vernetzten Geräte wird noch kompakter sein und noch mehr Funktionen aufweisen. Um die Kundennachfrage zu erfüllen, benötigen Gerätehersteller Batterien, die Innovationen zulassen. Genau das bietet Ultralife mit dieser Thin Cell-Batterie an.“ Die Thin Cell-Batterie von Ultralife ist für professio-

nelle und Verbrauchergeräte konzipiert und eignet sich für Anwendungen wie RFID-Bestandsverfolgungssysteme im Logistik- und Lagerhaltungssektor sowie für Wearable-Geräte und Verabreichungssysteme im Medizinbereich. Weitere Anwendungen sind z.B. intelligente Geräte in der Sicherheitsbranche sowie Maut-Vignetten für Autobahnen. Um die Anforderungen anspruchsvoller Anwendungen zu erfüllen, hat Ultralife die Thin Cell-Batterien auf den sicheren und effektiven Einsatz von -20 °C bis +60 °C ausgelegt. Die Thin Cell-Batterie behält auch über 98% ihrer Kapazität bei, wenn sie ein Jahr lang bei Zimmertemperatur gelagert wird.

Ultralife

**Your Power Partner**

**AC-/DC-/AC&DC-Quellen • Elektronische Lasten • Stromquellen • HV-Prüfgeräte • Batterie-Testsysteme • Leistungsmessgeräte • Sicherheitstester u.v.m.**

- AC&DC-Quellen mit bis zu 15kVA in nur 4HE
- umfassende Batterie-Testlösungen
- Präzisions-Leistungsmessgeräte mit bis zu 6 Phasen in einem Gerät
- Oberwellen- & Flicker-Messlösungen
- voll rückspeisefähige Quellen und Lasten
- kundenspezifische Lösungen
- Mietgeräte verfügbar

**www.caltest.de**



## INNOVATIVE LÖSUNGEN FÜR THERMISCHE PROZESSE

Industrielle Thyristor-Leistungssteller  
und Temperaturmessgeräte für alle  
Applikationen des elektrischen Heizens,  
Schmelzens, Trocknens und Formens.



Onyx Non-Contact  
Optical Pyrometers



Thyro-Family Digital SCR  
Power Controllers

**Besuchen Sie uns auf der  
SPS IPC Drives in Nürnberg -  
Halle 4-180**

**28. - 30. November 2017**

**sps ipc drives**

Elektrische Automatisierung  
Systeme und Komponenten  
Internationale Fachmesse



[advanced-energy.com](http://advanced-energy.com)

### BLEIAKKUS

## Für zyklische Anwendungen

Die zyklische REC-Batterieserie von GS YUASA liefert mit rund 500 Zyklen bei einer Entladetiefe von 75% fast doppelt so viele Zyklen wie herkömmliche zyklische Batterien. Ihr Anwendungsspektrum umfasst u.a. Rollstühle, Golftrolleys, Elektro-Scooter, Werkzeuge und alle Arten von tragbaren Geräten.

Besonders belastbare Bleiplatten ermöglichen in Verbindung mit einem speziellen Separatorsystem die hohe Zyklenzahl und schützen die Batterie auch bei Tiefentladung. Wegen der besonderen Plattenkonstruktion ist die Serie als 6-bis-9-Jahresbatterie klassifiziert (herkömmliche zyklische Batterien nach EURO-BAT: 3 bis 5 Jahre). Damit nimmt die REC-Serie eine Sonderstellung auf dem Markt ein. Ebenso punktet sie mit einer sehr geringen Selbstentladung von nur 0,1% pro Tag (bei 20 °C). Das bedeutet mehr Komfort für den



Nutzer sowie eine längere Lagerdauer für den Händler. Die REC-Baureihe in VRLA-Technik (valve-regulated lead-acid battery) ist fast wartungsfrei und kann in jeder beliebigen Lage außer dauerhaft über Kopf betrieben werden. Erhältlich sind acht Modelle mit jeweils 12 V Nennspannung in den Kapazitäten 10, 12, 14, 22, 26, 36, 50 und 80 Ah.

GS YUASA

### ULTRAKONDENSATOREN

## Hochleistungs-Speichermodul

Maxwell hat ein Ultrakondensatoren-Energiespeichermodul mit aktiver Kühlung und mit 51 V/189 F vorgestellt (Vertrieb: HY-LINE Power Components).

Dank eines speziellen Trockenprozesses bei der Elektrodenherstellung und einer robusten Zellenstruktur sind die Module deutlich schwingungs- und stoßfester als vergleichbare Produkte und eignen sich gut für

den mobilen Einsatz, u.a in der Bahntechnik, in Baumaschinen, Kränen, Lkw, Pkw und Industrieanlagen.

Die 18 Zellen des Moduls mit je 3400 F werden aktiv balanciert, der ESR liegt bei nur 5,6 mΩ. Die Maximalspannung liegt bei 54 V, der Maximalstrom bei 1900 A, die Module können parallel und in Serie geschaltet werden, auch kombiniert. Das Modul hat Ausgänge für Über Temperatur- und Überspannungswarnungen.

Der Betrieb ist dauerhaft von -40 bis 65 °C möglich, dank Lüfter liegt der thermische Widerstand der Zellen zur Umgebung bei nur 0,12 K/W, womit ein Dauerstrom von bis zu 120 A<sub>eff</sub> zulässig ist. Mit Lüfter wiegt das Modul weniger als 17 kg und hat die Maße 515 mm x 197 mm x 228 mm.



HY-LINE Power Components

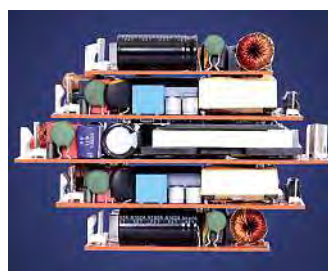


## AC/DC-WANDLER

## Besonders flache Bauformen

EOS Power hat seine neue ULP-Serie (Ultra Low Profile) medizinischer und industrieller Open-Frame-Stromversorgungen vorgestellt. Die Leistungsdichte der 40-, 180- und 250-W-(M)ULP-Serie erreicht bis zu 30 Watt pro Kubikinch. Ihre Höhe liegt bei 19,05 mm – das ist laut EOS niedriger als bei allen bisher im Markt verfügbaren, vergleichbaren Stromversorgungen. Die (M) ULP40-, 180- und 250-Watt-Serie bietet die Möglichkeit, Standard-Open-Frame Stromversorgungs-lösungen mit 2" x 4" und 3" x 5"

in höhenbegrenzten Umgebungen einzusetzen – mit erhöhter Effizienz und ohne das Gerät umdesignen zu müssen. EOS Power bietet seinen Kunden damit eine an, die Leistung ihres Geräts ohne großen Aufwand zu erhöhen und ihre Stromversorgung effizienter zu gestalten. Schon die Serien MWLP225 und MWLP350 medizinischer open frame Produkte waren aufgrund ihrer Leistungsdichte und marktführende Spezifikationen ein weltweiter Erfolg. Um noch stärker auf die Bedürfnisse seiner

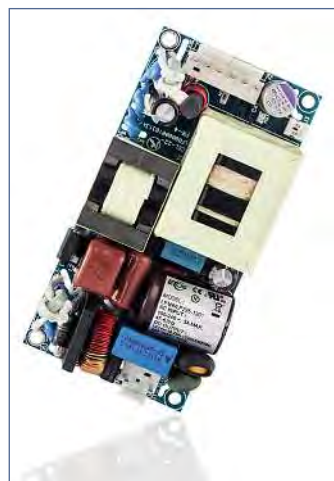


Kunden einzugehen, bietet EOS Power in Zukunft diese Produktserien auch mit erweiterter Garantie von sieben Jahren an.

EOS Power

## OPEN FRAME

## 225/350-Watt-Netzteil für -ITE und Medical



Günther Power Supplies bietet die Low Profile Serie (M)WLP225 und (M)WLP350 vom Hersteller EOS Power als Open Frame an. Mit Ausgangsspannungen zwischen 12 und 58 V, Schutzklasse I oder II (225 W) / Schutzklasse I (350 W) und einer Baugröße von nur 4 Zoll x 2 Zoll x 1 Zoll (225 W) und 5 Zoll x 3 Zoll x 1 Zoll (350 W) erhält der Anwender ein Gerät mit hervorragenden Eigenschaften zu einem sehr guten Preis-Leistungs-Verhältnis. Die Geräte arbeiten bis 112,5 W/200 W mit Konvektions-

kühlung und 225 W/350 W werden mit Lüfter erreicht. Die Stromversorgung wird vielen Anforderungen gerecht, so erstreckt sich der Betriebstemperaturbereich von -40 bis 50 °C, mit Derating bis 70 °C, die Leerlaufleistung liegt unter 0,5 W, der Wirkungsgrad beträgt bis zu 94% und die MTBF ist >800.000 h. Die neue (M)WLP225/350 Serie ist nach EN60601 3rd Edition und EN60950 2nd Edition zugelassen.

Günther Power Supplies

## AC/DC-MODULE

## In robuster Base-Plate-Cooling-Technologie

Die AC/DC-Module PCMAT150 S24 von MTM Power zur dezentralen Stromversorgung in Industrieanwendungen. Dank der robusten Konstruktion in BPC-Technologie (Base Plate Cooling) ist es möglich, die Verlustwärme über die Montageplatte abzuführen und somit die Lebensdauererwartung der Geräte zu erhöhen. Der Eingangsspannungsbereich reicht von 85 bis 264 V<sub>AC</sub>. Es wird eine geregelte nominelle Ausgangsspannung von 24 V<sub>DC</sub> erzeugt. Die Geräte bieten Power-Good-Signal, aktives PFC, Remo-

te Control sowie eine Überlastfähigkeit von 150% (Power Boost). Der Wirkungsgrad beträgt bis zu 92,5%, der Betriebstemperaturbereich -40 ... 70 °C. Die Auslegung der Isolationskoordinaten auf Überspannungskategorie OV 3 ermöglicht den Einsatz in transientenbehafteten Anwendungen. Die vakuumvergossenen (EP 1 987 708, U.S. Patent No. 8,821,778 B2) Schaltnetzteile bieten zuverlässigen Schutz gegen Betauung, leitfähige Stäube und sonstige Umwelteinflüsse. Ihr Anschluss erfolgt über industri-



elle Steckverbinder und ermöglicht den Einsatz als Plug-and-Play-Lösung in empfindlichen Elektronik-Subsystemen.

MTM Power



## DC/DC

### DC/DC HV-Versorgungen:

- beste Spannungsstabilität
- geringes Rauschen
- vielfältige Optionen
- made in Germany

Sie suchen kundenspezifische Lösungen?  
Bitte sprechen Sie uns an.



## AC/DC

### AC/DC HV-Versorgungen:

- bis 100 kV / 10 kW
- hochpräzise
- vielfältige Optionen
- made in Germany

Sie suchen kundenspezifische Lösungen?  
Bitte sprechen Sie uns an.



### NEU: 60 kV / 3 kW XRD-Supply

- für Röntgendiffraktion (XRD)
- digital geregelte HV-Versorgung
- integrierte Filamentversorgung (auf HV-Pot.)
- hohe Langzeitstabilität der Hochspannung
- direkte oder emissionsstromgeregelte Heizungssteuerung
- umfangreiche Sicherheitsschaltungen
- sehr geringes Rauschen und Restwelligkeit
- parametrierbares ARC-Management





```
int int_board_io(st
{
init_menu_text
bcm2835_init(
bcm2835_gpio_
init_menu_text(
```

#C/C++

#Multicore

#Safety/Security

#Open Source

#Test & Qualität

#Forschung

#Software Engineering



## Die neue Plattform für Embedded Software Professionals

Embedded Software Engineering Online ist die einzige deutschsprachige digitale Fachinformation, die sich ausschließlich und tiefgehend den Themen und Herausforderungen bei der Entwicklung von Embedded Software widmet.

[www.embedded-software-engineering.de](http://www.embedded-software-engineering.de)

ELEKTRONIK  
PRAXIS



Vogel Business Media

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

## Impressum

ELEKTRONIK  
PRAXIS

### REDAKTION

**Chefredakteur:** Johann Wiesböck (jw), V.i.S.d.P. für die redaktionellen Inhalte, Ressorts: Zukunftstechnologien, Kongresse, Kooperationen, Tel. (09 31) 4 18-30 81  
**Chef vom Dienst:** David Franz, Ressorts: Beruf, Karriere, Management, Tel. -30 97  
**Koordination redaktionelle Prozesse:** Christina Rüttinger  
**Redaktion München:** Tel. (09 31) 4 18-30 81  
Sebastian Gerstl (sg), ASIC, Entwicklungs-Tools, Prozessor- und Softwarearchitekturen, Programmierbare Logik, SOC, Tel. -30 98;  
Michael Eckstein (me), Mikrocontroller, Prozessoren, IoT, Embedded Plattformen, Tel. -30 96;  
Martina Hafner (mh), Produktmanagerin Online, Tel. -30 82;  
Hendrik Härter (heh), Messtechnik, Testen, EMV, Medizintechnik, Laborarbeitsplätze, Displays, Optoelektronik, Embedded Software Engineering, Tel. -30 92;  
Gerd Kucera (ku), Automatisierung, Bildverarbeitung, Industrial Wireless, EDA, Leistungselektronik, Tel. -30 84;  
Thomas Kuther (tk), Kfz-Elektronik, E-Mobility, Stromversorgungen, Quarze & Oszillatoren, Passive Bauelemente, Tel. -30 85;  
Margit Kuther (mk), Bauteilebeschaffung, Distribution, Embedded Computing, Tel. -30 99;  
Kristin Rinortner (kr), Analogtechnik, Mixed-Signal-ICs, Elektromechanik, Relais, Tel. -30 86;  
**Freie Mitarbeiter:** Prof. Dr. Christian Siemers, FH Nordhausen und TU Clausthal; Peter Siwon, MicroConsult; Sanjay Sauldie, EIMIA; Hubertus Andrae, dreipius  
**Verantwortlich für die FED-News:** Dietmar Baar, FED e.V., Frankfurter Allee 73c, D-10247 Berlin, Tel. (0 30) 3 40 60 30 50, Fax (0 30) 3 40 60 30 61, [www.fed.de](http://www.fed.de)  
**Redaktionsassistent:** Eilyn Dommel, Tel. -30 87  
**Redaktionsanschrift:** München: Rablstr. 26, 81669 München, Tel. (09 31) 4 18-30 87, Fax (09 31) 4 18-30 93  
Würzburg: Max-Planck-Str. 7/9, 97082 Würzburg, Tel. (09 31) 4 18-24 77, Fax (09 31) 4 18-27 40  
**Layout:** Vogel Design Werkstatt, Ltg. Annette Sahlmüller, Tel. (09 31) 418-2160

**ELEKTRONIKPRAXIS ist Organ des Fachverbandes Elektronik-Design e.V. (FED).**  
**FED-Mitglieder erhalten ELEKTRONIKPRAXIS im Rahmen ihrer Mitgliedschaft.**

### MEDIENGRUPPE

Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Max-Planck-Straße 7/9, 97082 Würzburg,  
**Postanschrift:** Vogel Business Media GmbH & Co. KG, 97064 Würzburg  
Tel. (09 31) 4 18-0, Fax (09 31) 4 18-28 43  
**Beteiligungsverhältnisse:** Vogel Business Media Verwaltungs GmbH, Kommanditistin: Vogel Medien Holding GmbH & Co. KG, Max-Planck-Straße 7/9, 97082 Würzburg  
**Geschäftsführung:** Matthias Bauer, Florian Fischer, Günter Schürger  
**Publisher:** Johann Wiesböck, Tel. (09 31) 4 18-30 81, Fax (09 31) 4 18-30 93  
**Verkaufsleitung:** Franziska Harfy, Rablstr. 26, 81669 München, Tel. (09 31) 4 18-30 88, Fax (09 31) 4 18-30 93, [franziska.harfy@vogel.de](mailto:franziska.harfy@vogel.de)  
**Stellv. Verkaufsleitung:** Hans-Jürgen Schäffer, Tel. (09 31) 4 18-24 64, Fax (09 31) 4 18-28 43, [hans.schaeffer@vogel.de](mailto:hans.schaeffer@vogel.de)  
**Key Account Manager:** Annika Schlosser, Tel. (09 31) 4 18-30 90, Fax (09 31) 4 18-30 93, [annika.schlosser@vogel.de](mailto:annika.schlosser@vogel.de)  
**Crossmedia-Beratung:** Andrea Menzel, Tel. (09 31) 4 18-30 94, Fax (09 31) 4 18-30 93, [andrea.menzel@vogel.de](mailto:andrea.menzel@vogel.de)  
Sophia Wittrock, Tel. (09 31) 4 18-31 00, Fax (09 31) 4 18-30 93, [sophia.wittrock@vogel.de](mailto:sophia.wittrock@vogel.de)  
**Marketingleitung:** Elisabeth Ziener, Tel. (09 31) 4 18-26 33  
**Auftragsmanagement:** Claudia Ackermann, Tel. (09 31) 4 18-20 58, Maria Dürr, Tel. -22 57;  
**Anzeigenpreise:** Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 51 vom 01.01.2017.  
**Vertrieb, Leser- und Abonnenten-Service:** DataM-Services GmbH, Franz-Horn-Straße 2, 97082 Würzburg, Marcus Zepmeisel, Tel. (09 31) 4170-462, Fax -4 94, [mzepmeisel@datam-services.de](mailto:mzepmeisel@datam-services.de), [www.datam-services.de](http://www.datam-services.de),  
Erscheinungsweise: 24 Hefte im Jahr (plus Sonderhefte).

**Verbreitete Auflage:** 38.258 Exemplare (II/2017).  
Angeschlossen der Informationsgemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung von Werbeträgern – Sicherung der Auflagenwahrheit.  
**EDA Bezahlpreis:** Einzelheft 12,00 EUR. Abonnement Inland: jährlich 240,00 EUR inkl. MwSt. Abonnement Ausland: jährlich 271,20 EUR (Luftpostzuschlag extra). Alle Abonnementpreise verstehen sich einschließlich Versandkosten (EG-Staaten ggf. +7% USt.).  
**Bezugsmöglichkeiten:** Bestellungen nehmen der Verlag und alle Buchhandlungen im In- und Ausland entgegen. Sollte die Fachzeitschrift aus Gründen, die nicht vom Verlag zu vertreten sind, nicht geliefert werden können, besteht kein Anspruch auf Nachlieferung oder Erstattung vorausbezahlter Bezugsgelder. Abbestellungen von Voll-Abonnements sind jederzeit möglich.  
**Bankverbindungen:** HypoVereinsbank, Würzburg (BLZ 790 200 76) 326 212 032, S.W.I.F.T.-Code: HY VED EMM 455, IBAN: DE65 7902 0076 0326 2120 32  
**Herstellung:** Andreas Hummel, Tel. (09 31) 4 18-28 52, Frank Schormüller (Leitung), Tel. (09 31) 4 18-21 84  
**Druck:** Vogel Druck und Medienservice GmbH, 97204 Hönchberg.  
**Erfüllungsort und Gerichtsstand:** Würzburg  
**Manuskripte:** Für unverlangt eingesandte Manuskripte wird keine Haftung übernommen. Sie werden nur zurückgesandt, wenn Rückporto beiliegt.  
**Internet-Adresse:** [www.elektronikpraxis.de](http://www.elektronikpraxis.de) [www.vogel.de](http://www.vogel.de)  
**Datenbank:** Die Artikel dieses Heftes sind in elektronischer Form kostenpflichtig über die Wirtschaftsdatenbank GENIOS zu beziehen: [www.genios.de](http://www.genios.de)

### VERLAGSBÜROS

**Verlagsvertretungen INLAND:** Auskunft über zuständige Verlagsvertretungen: Tamara Mahler, Tel. (09 31) 4 18-22 15, Fax (09 31) 4 18-28 57; [tamara.mahler@vogel.de](mailto:tamara.mahler@vogel.de).  
**AUSLAND:** Belgien, Luxemburg, Niederlande: SIPAS, Peter Sanders, Sydneystraat 105, NL-1448 NE Purmerend, Tel. (+31) 299 671 303, Fax (+31) 299 671 500, [peter.sanders@vogel.de](mailto:peter.sanders@vogel.de).  
**Frankreich:** DEF & COMMUNICATION, 48, boulevard Jean Jaurès, 92110 Clichy, Tel. (+33) 14730-7180, Fax -0189.  
**Großbritannien:** Vogel Europublishing UK Office, Mark Hauser, Tel. (+44) 800-3 10 17 02, Fax -3 10 17 03, [mark.hauser@comcast.net](mailto:mark.hauser@comcast.net), [www.vogel-europublishing.com](http://www.vogel-europublishing.com).  
**USA/Canada:** VOGEL Publishing Inc., Mark Hauser, 1632 Via Romero, Alamo, CA 94507, Tel. (+1) 9 25-6 48 11 70, Fax -6 48 11 71.

**Copyright:** Vogel Business Media GmbH & Co. KG. Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, digitale Verwendung jeder Art, Vervielfältigung nur mit schriftlicher Genehmigung der Redaktion. Nachdruck und elektronische Nutzung: Wenn Sie Beiträge dieser Zeitschrift für eigene Veröffentlichung wie Sonderdrucke, Websites, sonstige elektronische Medien oder Kundenzeitschriften nutzen möchten, erhalten Sie Information sowie die erforderlichen Rechte über <http://www.mycontentfactory.de>, (09 31) 4 18-27 86.



Vogel Business Media



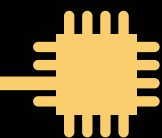
# MEILENSTEINE DER ELEKTRONIK



## Begeben Sie sich auf Zeitreise!

Im Jahr 2016 feierte ELEKTRONIKPRAXIS 50. Geburtstag. Aus diesem Anlass berichten wir bis Ende 2018 und online auf der Meilensteine-Webseite über führende Unternehmen der Elektronikbranche. Was waren ihre wichtigsten Leistungen, wo stehen die Firmen heute und wie sehen die Pioniere der Elektronik die Zukunft?

Entdecken Sie die ganze Geschichte unter [www.meilensteine-der-elektronik.de](http://www.meilensteine-der-elektronik.de)



### Schalter



### Arbeitsplatzsysteme



### Design-in Support



### Takterzeugung



### DC/DC-Wandler



### Security



### Leiterplatten



Eine Serie von





**REDEXPERT.** Die einzigartige Online-Plattform von Würth Elektronik zur Auswahl elektronischer und elektromechanischer Bauelemente.

- Weltweit genauestes AC-Verlustmodell für Speicherinduktivitäten
- Filtermöglichkeit für über 20 elektrische und mechanische Merkmale
- Simulation der Induktivität im DC/DC-Wandler
- Vergleichbarkeit anhand interaktiver Messkurven (Induktivität/Strom und Erwärmung/DC-Strom)
- Verfügbar in sieben Sprachen
- Messwertbasierte Online-Plattform
- Kein Login notwendig
- Integrierte kostenlose Musterbestellung
- Direkter Zugriff auf Produktdatenblatt

**#REDEXPERT**

***WE speed up  
the future***