

# Hand in Hand

## Halbleiterchips und Modulgehäuse harmonisch kombiniert

Eine 1200-Volt-Modulreihe mit IGBT-Schaltern sowie CAL-Freilaufdioden der vierten Generation will die langjährige Erfolgsgeschichte von Semitrans-IGBT-Modulen fortschreiben. Den deutlichen Performanzgewinn begründen die Autoren dieses Beitrags jedoch nicht nur mit den verbesserten Eigenschaften der verwendeten Halbleiterchips, mit diesen Hand in Hand wirken unter anderem auch die niedrigen Anschlusswiderstände und Streuinduktivitäten des Modulaufbaus.

Im Wachstumsmarkt für Frequenzumrichter differenzieren sich die Anbieter über die Leistungsfähigkeit und Kompaktheit ihrer Geräte. Dazu schaffen neue Halbleitertechnologien durch niedrigere Verluste auch bei höheren Schaltfrequenzen eine wichtige Basis. In ein seit längerer Zeit verfügbares Standardgehäuse gepackt, profitiert der Anwender doppelt: Er kann die neuen Eigenschaften der Halbleiterchips in einem geometrisch unveränderten mechanischen Aufbau nutzen. Das Standardgehäuse Semitrans der Nürnberger Semikron ist 62 Millimeter breit und bietet sich als Plattform an – die sich mit unterschiedlichen IGBT- und Diodenchips bestückt, für eine Vielzahl von Anwendungen eignet, wobei der Gehäusestandard dem Kunden theoretisch mehrere Lieferantenquellen zugänglich machen könnte.

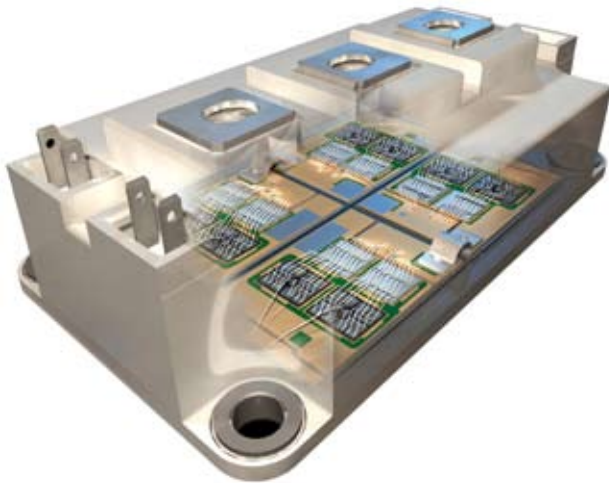
Dabei muss er sorgfältig auf die richtige Anpassung von Gehäuse und Halbleiterchips achten. Die wichtigen Kriterien werden denn auch hier am Beispiel einer neuen 1200-Volt-Modulreihe von Semikron beschrieben. Diese beinhaltet IGBT4-Chips von Infineon sowie eigene, zuverlässige und robuste CAL4-Diodenchips, die dem Anwender gegenüber ihren durchaus noch aktuellen Vorgängern zum Teil erhebliche Verbesserungen bringen können.

IGBT und Dioden nutzt die Leistungselektronik nahezu ausschließlich als Schalter. Ein idealer Schalter zeigt allerdings unabhängig vom geführten Strom keine Durchlassspannung und bis zur maximal zulässigen Sperrspannung auch keinen Sperrstrom. Darüber hinaus treten auch keine Schaltverluste auf, und da die

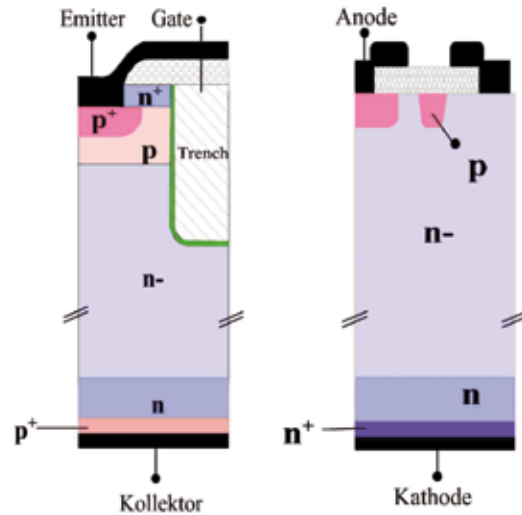
Verlustbilanz so bei null Watt liegt, verlieren auch die Wärmeübergangswiderstände ihre Bedeutung. Reale Schalter zeigen jedoch signifikante Durchlass- und Schaltverluste, damit wird der Wärmewiderstand des Aufbaus zum entscheidenden Kriterium für das Leistungsvermögen eines Moduls.

Abgebildet sind die Grundstrukturen eines IGBT4-Schalters und einer CAL4-Freilaufdiode: Beim IGBT4 wurde die vom Vorgänger her bekannte Trench-Gate-Architektur mit einer optimierten vertikalen aus n-Substrat, n-Feldstoppschicht und Rückseitene-mitter Struktur kombiniert, was bei gleichzeitiger Reduzierung der Chipfläche zu niedrigeren Gesamtverlusten und einem sanfteren Schaltverhalten führt. Darüber hinaus ließ sich die maximal zulässige Temperatur des p-n-Überganges von 150 auf 175 Grad Celsius erhöhen, als Folge ergeben sich neue Sicherheitsmargen für statische und dynamische Überlastfälle. Die IGBT4-Chipfamilie hat Semikron für Module mit niedrigen, mittleren und hohen Leistungen eingeführt, wobei das Schaltverhalten und die Verluste an die typischen Schaltfrequenzen der jeweiligen Leistungsklasse angepasst wurden. Die hier vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf niederinduktive Modulversionen für Applikationen des sogenannten mittleren Strombereichs zwischen 50 und 600 Ampere und Schaltfrequenzen zwischen vier und zwölf Kilohertz.





**Niederinduktive Semitrans-Module durch parallel geführte, gelötete Terminals:** IGBT (dunkelgrau) und Freilaufdioden (silbrig) sind mit Bonddrähten verbunden.



**Querschnitt der zwei im Semitrans-Modul verbauten Halbleiterchips:** Links der Trench-Feldstopp-IGBT4, rechts die CAL4-Diode von Semikron.

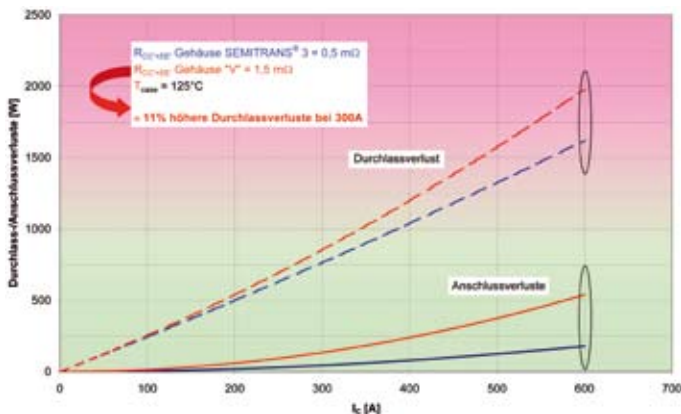
Verbesserte IGBT mit höherer Stromdichte erfordern insbesondere bei voll bestückten Modulen auch Freilaufdioden mit höherer Stromdichte. Deshalb wurde auf Basis der Controlled-Axial-Lifetime-Technologie von Semikron eine neue Freilaufdiode entwickelt: Die CAL4 ist wie ihre Vorgängerinnen gekennzeichnet durch softes Schaltverhalten bei allen Strömen, Robustheit beim schnellen Schalten sowie niedrige Rückstromspitzen und Ausschaltverluste. Als Basisstruktur dient ihr ein dünnes n<sup>-</sup>-Substrat mit rückseitiger n/n<sup>+</sup>-Struktur. So ließen sich die Diodenverluste durch ein optimiertes n-Bufferprofil, einen dünneren n<sup>+</sup>-Trägerwafer,

eine Vergrößerung der aktiven Fläche sowie die Optimierung des vertikalen Lebensdauerprofils reduzieren. Die verbesserte Diode zeigt gegenüber der Vorgängerin bei 30 Prozent höherer Stromdichte und vergleichbare Schaltverluste. Um die maximal zulässige Temperatur des p-n-Überganges auf ebenfalls 175 Grad Celsius zu erhöhen, wurde eine neue Randstrukturpassivierung eingeführt. So sind die CAL4-Freilaufdioden optimal an die Möglichkeiten der IGBT4-Schalter angepasst.

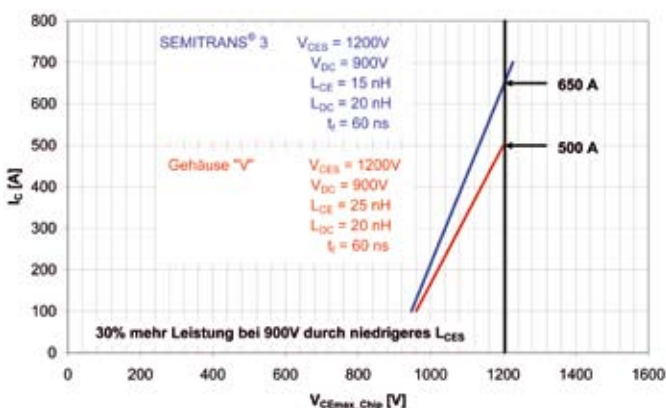
Hinweis: Die nun zulässige Sperrschicht-Temperatur der Halbleiterchips von 175 Grad Celsius wurde durch Zuverlässigkeitstests abgesichert – zum Beispiel Gatestress-, Hot-Temperature-Reverse-Bias- und Feuchtetests. Kommentierte Tabellen zu den anwendungsbestimmenden Parametern der drei im Semitrans verbauten 1200-Volt-IGBT-Technologien sowie den wichtigsten Parametern dieses Gehäuses finden Sie unter [www.elektronikjournal.com](http://www.elektronikjournal.com)

**Anspruchsvolle Gehäuseanforderungen erfüllen**

Der Anschlusswiderstand eines Moduls beeinflusst den Wirkungsgrad der elektronischen Schaltung. Im abgebildeten Beispiel steigen die Durchlassverluste beim Einsatz eines Vergleichsgehäuses gegenüber dem Semitrans um elf Prozent. Dieser Wert repräsentiert absolut etwa 90 Watt pro Phase und summiert sich wegen



**Der Anwender muss sowohl auf die Durchlassspannung der IGBT-Schalter als auch auf die Anschlusswiderstände des Moduls achten;** blau: IGBT4/Semitrans-, rot: IGBT3/Vergleichsmodul.



**Die Induktivität zwischen Kollektor und Emitteranschlüssen eines IGBT-Schalters beeinflusst dessen Strombelastbarkeit über die Abschaltüberspannung;** blau: Semitrans-, rot: Vergleichsgehäuse.

**Auf einen Blick**

**Gehäuseplattform für IGBT-Module erfolgreich halten**

„IGBT und Dioden nutzt die Leistungselektronik meist als Schalter, bei denen allerdings unabwendbar Durchlass- und Schaltverluste auftreten. Also heißt die Devise für unsere Module, die Verluste mit modernen Halbleiterchips zu senken. Damit ermöglichen wir dem Anwender, in existierenden Gehäusegeometrien höhere Leistungen zu steuern. An der Einsatzdauer der Semitrans-Gehäuselinie zeigt sich, dass Semikron mit guten technischen Modulparametern auch über mehrere Chipgenerationen erfolgreich sein kann.“

**Ralph Annacker (oben) ist Produktmanager für IGBT-Modulreihen, Dr. Reinhard Herzer verantwortet die Entwicklung von Mosfets, IGBT und Smartpower-IC bei Semikron in Nürnberg.**



► der Anschlusswiderstandsdifferenz der zwei Gehäusevarianten bei einem Dreiphasen-Wechselrichter auf 270 Watt.

Der thermische Übergangswiderstand beeinflusst dagegen die maximal zulässige Verlustleistung und damit die maximal verfügbaren IGBT- und Diodenströme in einem Modul. Für den Übergangswiderstand sind ausschlaggebend: Die Fläche der eingesetzten Chips, der Modulaufbau aus Lötverbindungen, Keramiksubstrat und Grundplatte sowie der Systemaufbau und dort vor allem die verwendete Wärmeleitpaste und Kühlungsart. Einen Bericht über Messverfahren zur Bestimmung des thermischen Widerstandes können Sie auf [www.elektronikjournal.com](http://www.elektronikjournal.com) abrufen.

Indes beeinflussen die herausragende Isolationsfestigkeit von Semitrans-Modulen im Wesentlichen die Dicke und Art des den Halbleiterchips unterlegten Keramiksubstrates sowie die Eigenschaften des verwendeten Weichvergusses. Während die zwischen Kollektor und Emitteranschlüssen eines IGBT-Schalters liegende Induktivität ist für die Überspannungen beim Abschaltvorgang

verantwortlich. Das Spannungsmaximum errechnet sich aus der Terminalspeisung plus dem Produkt aus der Kollektor-Emitterinduktivität und der Stromsteilheit beim Abschalten des Kollektorstroms. In der Praxis sind hohe Induktivitäten besonders bei hohen Zwischenkreisspannungen nachteilig, da die Überspannungen beim Abschalten schneller die Sperrspannung der Bauelemente erreichen können. Dementsprechende Betriebszustände können durch Lastabwurf oder im Rückspeisebetrieb entstehen. Also gilt: Mit niederinduktiven Modulen kann der Anwender eine hohe Betriebssicherheit sowie den bestmöglichen Wirkungsgrad erreichen.

Hierzu abgebildet ist ein Vergleich zwischen dem Semitrans und einem Gehäuse anderer Bauform. Allein durch die niedrigere Modulinduktivität erlaubt Semitrans, um 30 Prozent höhere Ströme zu schalten, ehe die maximale Sperrspannung der Chips erreicht wird. Die niedrige Induktivität dieses Gehäuses lässt sich auf die konstruktive Gestaltung der Hauptanschlüsse in Kombination mit

der symmetrischen Parallelschaltung der Keramiksubstrate begründen. Die tatsächlich an den Halbleiterchips anstehende Spannung ist übrigens immer höher als die an den Modulanschlüssen gemessene Spannung.

In Semitrans-Modulen sind bis zu vier parallel geschaltete IGBT- und vier Diodenchips verbaut, wobei die Parallelschaltung von Dioden besonders anspruchsvoll ist – begründet mit dem negativen Temperaturkoeffizienten der Diodenflussspannung unterhalb des Nennstromes. Hier gibt es applikationsbezogene Lösungen mit optimierter statischer und dynamischer Stromaufteilung für Hochstromanwendungen sowie solche mit einer dynamischen Begrenzung der Abschaltüberspannung für Anwendungen mit hohen Zwischenkreisspannungen. Nähere Informationen finden Sie unter [www.elektronikjournal.com](http://www.elektronikjournal.com)

Beim Parallelschalten von Modulen wirkt der positive Temperaturkoeffizient der Sättigungsspannung der eingesetzten IGBT-Chips durchaus unterstützend, während bei den Dioden Maßnahmen erforderlich werden: Siehe unter [www.elektronikjournal.com](http://www.elektronikjournal.com), bei Semitrans-Modulen liegt der Deratingfaktor nach den Definitionen des dort hinterlegten Berichtes zwischen 90 und 95 Prozent.

*(Ralph Annacker und Dr. Reinhard Herzer von Semikron/eck)*

**Semikron**  
Tel. (+49 911) 65 59 23-4  
[sales.skd@semikron.com](mailto:sales.skd@semikron.com)