

# antriebstechnik

Konstruktion, Entwicklung und Anwendung von Antrieben und Steuerungen  
Organ der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V.

## Umrichtertechnik:

Filter für überschwingungsarme Stromaufnahme auch bei großen Umrichterleistungen

## Drehgeber und Sensoren:

Zahnsensoren auf GMR-Basis für anspruchsvolle Messaufgaben

## Lineartechnik:

Vorsprung durch gerollte Gewindespindeln in Miniaturausführung

## Wälz- und Gleitlager:

Kriterien zur Rotorlagerauswahl bei Windturbinen mit Direkt- oder Hybridantrieb

## Special

## Energieeffizienz:

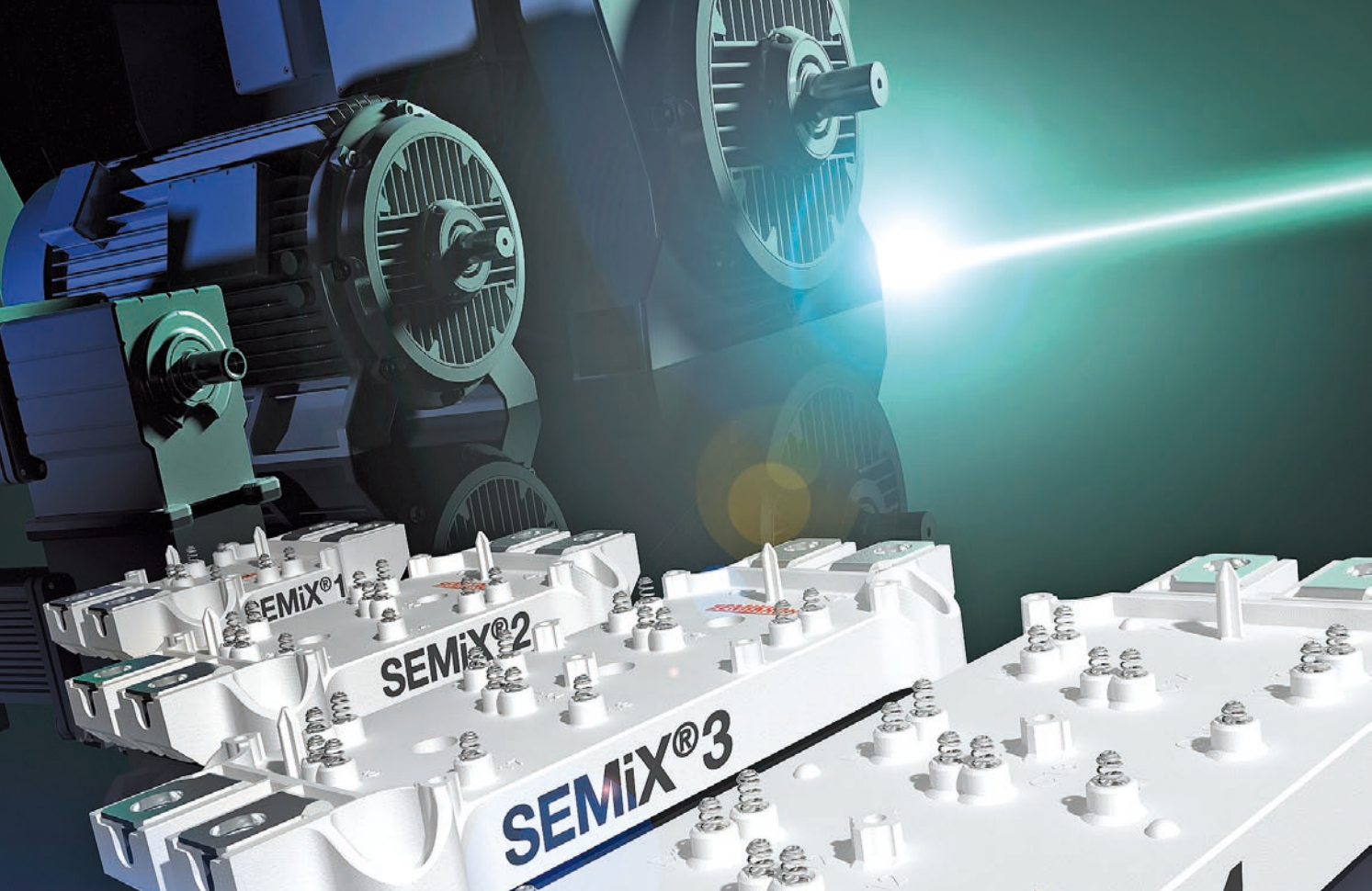
Bedarfsgerechte Antriebsauslegung optimiert den Energieverbrauch



TITEL

## Große Wünsche

Skalierbare Leistungselektronik  
spart Kosten und Platz



# Große und kleine Wünsche

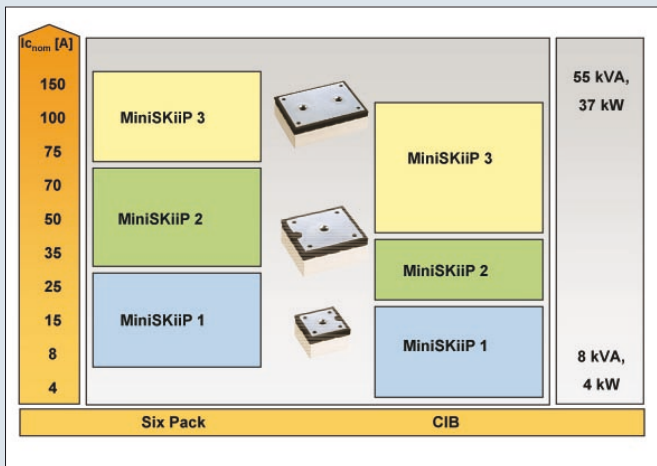
**Skalierbare Leistungselektronik für Antriebe spart Kosten und Platz**

*Thomas Grasshoff*

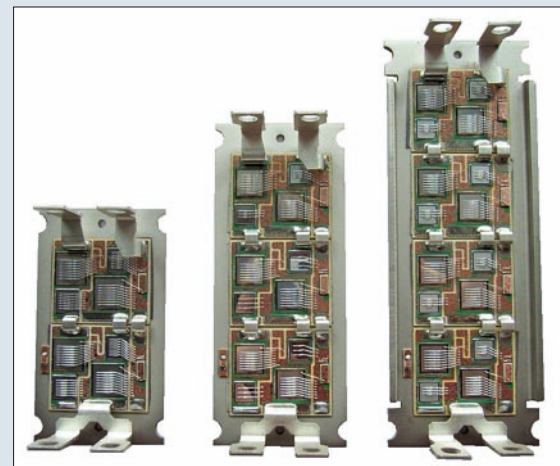
*Elektrische Antriebe erfüllen heute unterschiedliche Aufgaben in industriellen, öffentlichen und Fahrzeuganwendungen. Dadurch gibt es einerseits einen hohen Spezialisierungsgrad der Umrichter, andererseits auch einen aus Kostenaspekten getriebenen Wunsch nach Standardisierung. Eine Möglichkeit ist mit einer gemeinsamen Hardwareplattform durch entsprechende Softwareparametrisierung verschiedene Applikationsforderungen abzudecken.*

Elektrische Umrichtersysteme unterliegen seit Jahren der Forderung nach Kosteneffizienz und Größenoptimierung. Nur ca. 10% der weltweit eingesetzten Motoren werden durch Leistungselektronik gesteuert. Ein Umrichter-kontrollierter Motor kann bis zu 30% der elektrischen Energie einsparen im Vergleich zu einem ungesteuerten Motor. Die Notwendigkeit zur CO<sub>2</sub>-Einsparung und verbesserter Energieeffizienz zeigen das hohe Potential des Einsatzes von Motorumrichtern. Um die maximale Effizienz eines Antriebes zu erreichen, ist es notwendig Ansteuerung, Kühlung und das verwendete Silizium optimal zu kombinieren. Dies kann erreicht werden durch bessere Schaltungstopologien, resonante Umrichter und höhere Schaltfrequenzen, die wiederum kleinere Induktivitäten und damit geringere Kosten und Volumina ermöglichen. Die Qualität der Umrichterausgangssignale muss in den immer dynamischeren Netzen verbessert werden, während andererseits die EMV-Anforderungen steigen. Standards und Zulassungsvorschriften werden immer komplexer bei gleichzeitig zunehmendem Druck die Entwicklungszeiten zu verkürzen.

**Thomas Grasshoff** ist Leiter Produktmanagement International bei der Semikron International GmbH in Nürnberg



1: Die Gehäusegrößen und Leistungsklassen der MiniSKiiP IGBT-Modulreihe decken die Leistungsbereich von 1 kW bis 37 kW ab.



2: Die Skalierbarkeit des inneren Aufbaus der Semix-Baugrößen 2, 3 und 4 – gleicher Formfaktor für unterschiedliche Leistungsklassen.

Der beste Weg, diese diametralen Anforderungen zu erfüllen, ist der Einsatz von Produkten, die Basis einer Plattform sind und dadurch auf unterschiedliche Leistungsklassen angepasst werden können.

## Plattform für mehr Effizienz

Beispiele für solche Modulplattformen sind die MiniSKiiP und Semix IGBT-Modulreihen von Sekikron. Der MiniSKiiP deckt dabei den Leistungsbereich von 1 kW bis 37 kW in vier verschiedenen Gehäusegrößen ab (Bild 1). In jeder Größe gibt es bis zu drei unterschiedlichen Stromklassen, um mit einem gleichen Leiterplattenlayout die Leistungsklassen einer Umrichterplattform abzudecken.

Die Skalierbarkeit muss sich neben den Gehäusegrößen auch in der Art der Verbindungstechnik und deren Lage fortsetzen. So sind z. B. beim MiniSKiiP die Leistungs- und Steueranschlüsse in einer für sie Gesamtschaltung auf der Treiberplatine sinnvollen Lage angeordnet. Das Layout kann einfach für größere Leistungen skaliert werden. Damit wird wiederum bei der Umrichterentwicklung die Effizienz erhöht (Bild 2).

In der Semix-IGBT Baureihe erfolgt eine Skalierbarkeit durch die Modulgröße. Ge-

rade im Umrichterbereich mittlerer Leistung zwischen 15 und 200 kW mit geringeren Stückzahlen als im Kleinleistungsbe- reich können gleiche Zwischenkreisdesigns und Umrichterkonstruktionen eingesetzt werden.

Bei allen vier Bauformen sind die Lage der Leistungs- und Steueranschlüsse skaliert. Die Modulgröße variiert je nach Leistungsklasse. Diese Skalierbarkeit setzt sich auch im inneren Aufbau der Module fort. Beim Semix werden je nach Leistungsklasse bis zu vier DCBs mit je einer kompletten Halbbrücke intern parallel verbunden. Dies ermöglicht eine hohe Anzahl gleicher Teile bei der Modulproduktion und damit eine konstante Fertigungsqualität. In der Anwendung ergibt sich für die Module ein vergleichbares Schaltverhalten, da das Layout der Halbbrücken identisch ist und gleiche Kommutierungspfade vorhanden sind.

## Nebeneffekte erkennen

Neben der Auswahl der Modulplattform spielt die Überwachung im Betrieb eine wichtige Rolle. Da alle Module vor allem thermisch optimiert eingesetzt werden, ist es notwendig, die Temperatur permanent zu überwachen. Die Module besitzen einen integrierten Temperatursensor. Neben der Temperatur des Einzelmoduls müssen thermische Nebeneffekte berücksichtigt werden. Dazu gehören thermisches Übersprechen, Grenzflächeneffekte und Störungen bei der Temperaturentstreuung. Thermische Modellierungen helfen, solche Designrisiken im Vorfeld zu erkennen.

Fortschritte in der Halbleitertechnologie ermöglichen IGBTs mit immer feineren Strukturen und schnellerem Schaltverhalten. Durch die Reduktion der Chipdicken

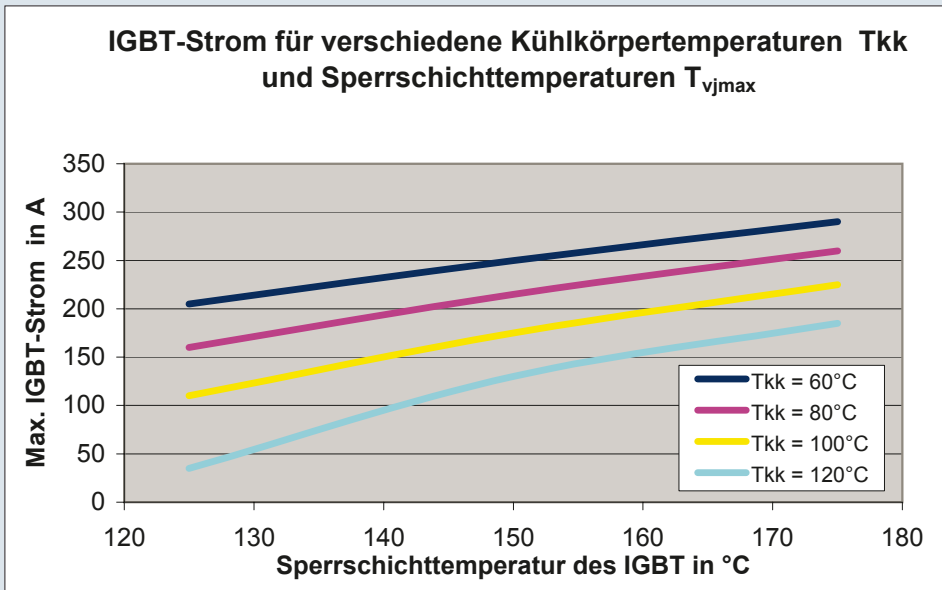
konnten in den vergangenen Jahren die Chipflächen bei gleichen Nennströmen um mehr als 60% reduziert werden. Die Dünnschichttechnologie hat mit der heutigen Aufbau- und Verbindungstechnik im Modul die Limits erreicht. Das ist daran ersichtlich, dass bei den 70 µm dicken 600 V IGBT3-Chips die maximale Kurzschlusszeit von 10 auf 6 µs reduziert wurde. Die hohe im Kurzschlussfall anfallende Wärme kann nicht mehr in dem dünnen Chip allein gespeichert werden und die thermischen Eigenschaften des Modulaufbaus gestatten nicht, die entstehende Wärme schnell genug abzuführen. Die Verkleinerung der Chipflächen ermöglichten es die Packungsdichte zu erhöhen, die Stromratings pro Modulfläche werden immer höher – mit 8 bis 10 W/cm<sup>2</sup> sind die Limits auf Luftkühler erreicht. Eine weitere Konzentration der Wärmedichten führt zu einem höheren Aufwand für die Kühlung und macht damit die Kosteneinspareffekte zunichte. Die Kosten der Leistungselektronik können nur mit zwei Wegen verringert werden – höheren Betriebstemperaturen und verbesserter Chipkühlung. Um immer mehr Strom aus der Siliziumfläche zu bekommen, werden die maximalen Sperrschichttemperaturen von IGBTs und Freilaufdioden erhöht (Bild 3). Die Anwendungsforderung nach einer Kurzschlusssicherheit setzt eine physikalische Grenze, da mit steigenden Temperaturen die Sperrströme exponentiell ansteigen.

## Optimierte Aufbau- und Verbindungstechnologie

Eine Erhöhung der Betriebstemperatur des IGBTs um 25 K ermöglicht je nach Schaltfrequenz einen bis zu 15% höheren Effektiv-

Modultyp	Mini-SKiiP 2	Mini-SKiiP 2	Mini-SKiiP 2
Nom. Stromrating	35 A	50 A	75 A
Typ. Umrichterleistung	7,5 kW	11 kW	15 kW

Zuordnung der Stromklassen der 6-Pack IGBT-Module zu den Leistungsklassen der Umrichter.



3: Die Abhängigkeit des Ausgangsstromes eines Umrichters von der max. Sperrschichttemperatur und der Kühlkörpertemperatur.

strom. Andererseits führt eine Erhöhung der Betriebstemperaturen zu beschleunigten Alterungseffekten und damit verringerten Lebensdauern. Das muss mittels Verbesserungen in der Aufbau- und Verbindungstechnologie kompensiert werden. Die Lotverbindungen zwischen Bodenplatte und Keramik bzw. zwischen Chip und Keramik stellen bei erhöhten Betriebstemperaturen die schwächste Stelle im Modul dar. Durch die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten der eingesetzten Materialien kommt es unter dem Einfluss hoher Temperaturschwankungen und exzessiver Lastzyklen zu Ermüdungen, sogenannten Microcracks der Lötungen. Am Lebensdauerende der Module führt das zu erhöhten thermischen Widerständen und damit zu höheren Temperaturen, die zur Zerstörung der Bondverbindung führen. Lösungsmöglichkeiten sind das Weglassen der Bodenplatte bei gleichzeitigem Einsatz eines Drucksystems und wärmespreizenden Layoutmaßnahmen. Da das Keramiksubstrat relativ flexibel ist und der Druck durch eine Vielzahl mechanischer „Finger“

aufgebaut wird, ist ein sehr enger Kontakt zwischen Kühlkörper und DCB gewährleistet. Deshalb kann die Wärmeleitpaste, die für bis zu 70% der thermischen Widerstände eines Modulaufbaus verantwortlich ist, auf ein Minimum von 20 bis 30µm reduziert werden. Bodenplattenmodule benötigen eine drei Mal dickere Schicht der Wärmeleitpaste, um die thermischen Verwerfungen zwischen Bodenplatte und Kühlkörper auszugleichen. Mit einem bodenplattenlosen Drucksystem steigt die thermische Performance um bis zu 25% im Vergleich zu einem Bodenplattensystem. Die neueste technologische Neuerung ist der Ersatz der Chipplötung durch eine Sinterschicht. Die um Faktoren höhere Schmelztemperatur verringert die Alterung durch Temperatur und Lastwechsel auf ein Minimum. Die Lastwechselfestigkeit kann damit bis zum Faktor 5 gesteigert werden und damit sind keine Kompromisse mehr bei der Dimensionierung der Leistungsmodule im Umrichter notwendig. Der aus Zuverlässigkeitsaspekten schwächste Punkt im Modul ist jetzt die Ultraschall-Bondverbindung auf der

Chipoberseite und der Keramik. Alle Modulhersteller entwickeln neue Kontaktierungsverfahren auf der Chipoberseite, um eine zuverlässige Verbindung herzustellen.

### Kosteneffizienter und kleiner

Das Plattformkonzept ermöglicht es Herstellern, gleiche Aufbausysteme für Umrichter verschiedener Leistungsklassen einzusetzen. Das sind z.B. Universal- und Servoumrichter mit anderen Überlastauslegungen und Präzisionsanforderungen. Die IGBT-Modulbaureihen MiniSKiiP und Semix bieten skalierbare Anschlusstechnik und Außenabmessungen für komplette Umrichterfamilien. Die Weiterentwicklungen in der Aufbau- und Verbindungstechnik der Module ebnet den Weg für höhere Betriebstemperaturen z. B. am Kühlkörper über 100°C und damit kosteneffiziente und kleinere Aufbauten.

SEMİKRON  
11332090

WWW  
www.vf1.de/#11332090