

# Versteckte Leistung im Alltag

## Intelligente Powermodule für Traktionsantriebe

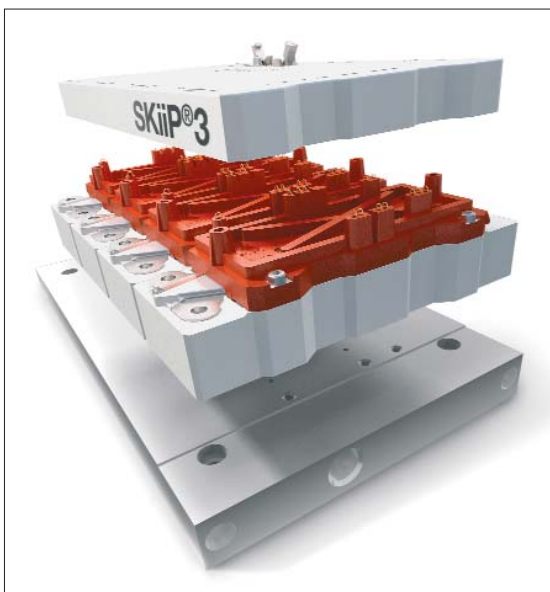
Leistungselektronische Systeme sind ein selbstverständlicher Teil unseres Alltags und werden meistens kaum wahrgenommen. Systeme, die z.B. im öffentlichen Personennahverkehr U-Bahnen oder Straßenbahnen antreiben, rücken erst dann ins Bewusstsein, wenn sie einmal ihren Dienst versagen sollten und Passagiere z.B. in einem blockierten U-Bahn-Zug eingeschlossen sind.

**Die Zuverlässigkeit der zugrundeliegenden Antriebssysteme genießt daher allerhöchste Priorität.**

Von Dr. Ladislav Sobotka und Ralf Herrmann

**B**ei Traktionsanwendungen stellen die Einsatzbedingungen bezüglich Umgebungstemperatur, Leistungs- und Temperaturzyklen sowie Gerätekompaktheit hohe Anforderungen an die Umrichter. Die Betriebsumgebungstemperaturen überschreiten im Normalfall leicht 100 °C, können jedoch nachts bei Stillstand

auch deutlich unter Null Grad sinken. Kompakte Systemabmessungen, eine hohe Leistungsdichte sowie hohe Vibrations- und Schockfestigkeit erweitern die Forderungsliste. Diese teilweise widersprüchlichen Ziele müssen bei der Entwicklung eines IGBT-Traktionsumrichters in Einklang gebracht werden. Hohe Leistungsdichte bei gleichzeitig hohen Kühlmittel-Temperaturen stellt dabei höchste Anforderungen an die Lastwechselfestigkeit.



**I Bild 1.** Aufbau eines SKiiP-Moduls: Das Powermodul besteht aus den drei aufeinander abgestimmten Komponenten Kühlkörper, IGBT-Halbbrücken und Gate-Ansteuerungen mit integrierten Schutzfunktionen.

### IPMs für Traktionsantriebe

Für Traktionsanwendungen ist eine ganze Reihe konventioneller Powermodule mit Kupferbodenplatte verfügbar. Hierbei müssen vom Entwickler Kühlkörper und Ansteuerbaugruppen verschiedener Hersteller so an die Powermodule angepasst werden, dass das Gesamtsystem in allen

Betriebszuständen korrekt arbeitet. Das intelligente Powermodul SKiiP beinhaltet bereits drei aufeinander abgestimmte Komponenten: Kühlkörper, IGBT-Halbbrücken und Gate-Ansteuerungen mit integrierten Schutzfunktionen. Hohe Leistungsdichte sowie hervorragende Temperaturlastwechselfestigkeit werden durch die patentierte SKiiP-Druckkontakt-Technologie erreicht.

Skoda hat mehr als zehn Jahre Erfahrung mit kritischen Traktionsanwendungen wie Oberleitungsbussen, Straßenbahnen und U-Bahn-Zugwagen. Die Powermodule SKiiP kommen bei Traktionsantrieben mit Zwischenkreisspannungen bis zu 1000 V<sub>DC</sub> zum Einsatz (Bild 1). Nahezu 20 Jahre Erfahrung mit der Druckkontakt-Technologie flossen in die Entwicklung dieser Powermodule ein. Die Technik basiert auf einem mechanischen Drucksystem, mit dem das DBC-Substrat (Direct Bonded Copper) lötfrei direkt auf den Kühlkörper gepresst wird. Die sehr homogene Druckverteilung führt zu einer optimalen thermischen Verbindung zwischen Kühlkörper und den keramischen Substraten mit den Halbleiter-Chips. Da die Aufbautechnologie des SKiiP-Moduls keine Grundplatte und somit weniger Lotschichten aufweist, ist auch der thermo-mechanische Stress im Innern des Moduls niedriger als bei einem konventionellen Aufbau: Die Temperaturwechselfestigkeit ist um den Faktor 5 höher als bei Standard-

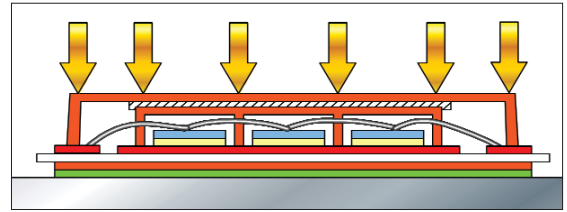
Modulen mit Grundplatte und erfüllt die rauen Umgebungsbedingungen elektrischer Traktionsantriebe. Die hohe Temperaturlastwechselfestigkeit wird durch die patentierte SKiiP-Druckkontakt-Technologie sichergestellt. Die aufeinander abgestimmten Materialien mit angepassten thermischen Ausdehnungskoeffizienten (CTE) sowie moderne Packaging- und Bonding-Technologien prädestinieren diesen Modul-Typ für den Einsatz bei Traktionsantrieben (Bild 2).

Bei Applikationen im Bereich niedrigerer Leistungen setzt Skoda Module mit luftgekühlten Kühlkörpern ein. Traktionsantriebe in U-Bahn-Zügen werden hingegen bevorzugt mit flüssigkeitsgekühlten Modulen ausgestattet, bei denen der maximale Laststrom der IPMs, besonders im Bremsbetrieb, voll ausgenutzt wird. Die auf maximale Zuverlässigkeit und minimale Schaltverluste ausgelegten SKiiP-Powermodule sind mit Schutzfunktionen ausgestattet, die sie sicher vor

Übertemperatur und Überstrom bewahren. Die Überwachungssensoren können für Diagnosezwecke genutzt werden, um automatische Korrekturen einzuleiten, sobald der Bereich sicherer Betriebszustände überschritten werden sollte. Integrierte Stromwandler liefern die Strom-Istwerte an die Antriebsregelung.

#### Alles, was zählt: Zuverlässigkeit und Lebensdauer

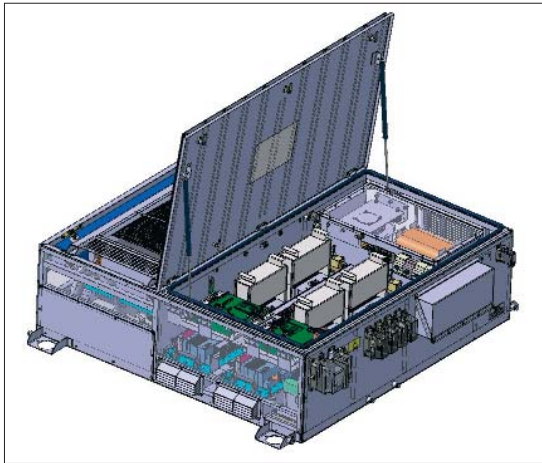
IGBT-Umrichter sind zur Standard-Antriebstechnologie für asynchrone Traktionsmotoren geworden. Damit stehen die intelligenten Powermodule unter erheblichem Preisdruck und werden bei jedem neuen Projekt mit konventionellen IGBTs verglichen. Ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis, minimale Ausfallraten und eine hohe Lebensdauer der IGBT-Traktionsumrichter sind die entscheidenden Kriterien. Skoda Electric produziert jährlich über 300, auf dem SKiiP-Modul basierende



**Bild 2.** Das mechanische Drucksystem erzielt einen niedrigeren thermischen Übergangswiderstand. Die Temperaturwechselfestigkeit liegt um Faktor 5 höher als bei Standard-Modulen mit Grundplatte.

Umrichter für Antriebe im öffentlichen Nahverkehr.

Auch bei der Entwicklung applikationsspezifischer Antriebstechniken für den öffentlichen Personennahverkehr, z.B. für die Niederflur-Straßenbahnzüge Skoda ForCity Modell 15T mit Drehgestellen, entschied man sich für den Einsatz intelligenter IGBT-Module. Der Straßenbahn-Zugwagen verfügt über vier angetriebene Drehgestelle, in denen 16 Permanentmagnet-Synchronmotoren für den nötigen Schub sorgen. Jeder der Fahrmotoren



**I Bild 3. Skoda-Traktionsumrichter mit SKiiP-IPM. Ein wichtiger Faktor im Alltag ist die leichte Zugänglichkeit der Module für Mess- oder Servicezwecke.**

wird separat von einem eigenen Umrichter mit SKiiP-Modulen betrieben. Die gesamte Antriebselektronik eines Drehgestells, einschließlich isolierten Bremswiderstands, ist im Dachcontainer untergebracht. Bei dem beengten Einbauraum und den speziellen Anfor-

derungen der Permanentmagnet-Synchronmotoren und IGBT-Modulen realisiert werden. Ein weiterer, wichtiger Faktor ist die leichte Zugänglichkeit der Module für Mess- oder Servicezwecke (**Bild 3**).

Mit der Antriebsausrüstung für das U-Bahn-System in St. Petersburg, Russ-

land, befindet sich derzeit eine weitere Anwendung für die flüssigkeitsgekühlten Hochleistungs-SKiiP-Module bei Skoda Electric in Entwicklung. Bei dieser Applikation müssen die Module kurzzeitig im Bremsbetrieb eine Leistung von nahezu 1 MW übertragen können. Eine große Herausforderung ist die vom Kunden geforderte Betriebstemperatur bis herab zu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bezüglich thermischer Zyklen gehören die Traktionsantriebe für U-Bahn-Zugwagen zu den anspruchsvollsten Anwendungen. Alle Betriebszustände wurden vorher genau simuliert, und die Traktionsumrichter wurden dynamischen Worst-Case-Belastungstests unterworfen. Auch beim ersten, mit Wasserstoff betriebenen Bus setzte Skoda SKiiP-Module ein – erste Straßentests wurden bereits erfolgreich durchgeführt. Darüber hinaus werden diese Module in Umrichtern für Hilfsantriebe der Bahnindustrie in Lokomotiven und Elektro-Triebzügen verwendet.

## ■ Härtetests für Powermodule

Um die hohen Qualitätsanforderungen bei Traktionsanwendungen zu erfüllen, werden die Powermodule zu 100 % vorgetestet. Sobald die IGBT-Halbbrücken, Gate-Treiber und alle weiteren Komponenten getestet sind, wird die Funktion des Gesamtsystems qualifiziert. Wenn vom Kunden die Module separat beschafft und zusammen mit eigenen Treiber-Baugruppen oder denen von Drittanbietern betrieben werden, muss der Systemtest vom Kunden durchgeführt werden. SKiiP-Module bieten besonders niedrige Gesamtkosten, da der Anwender keine Treiber-Elektronik selbst entwickeln muss – das Projekt wird nicht durch zusätzliche Entwicklungszeiten belastet.

Für die Module steht optional ein Burn-In-Test zur Verfügung. Hierbei werden sie zwei Stunden lang unter Worst-Case-Bedingungen eines realen Umrichterbetriebs bei erhöhter Temperatur und Spannung betrieben. Alle Ursachen für Frühausfälle werden identifiziert und herausgefiltert. Um hohe Stresswerte zu erzeugen, werden die SKiiP-Module bei diesem Burn-In-Test mit Kühlflüssigkeit von 80 °C zyklisch getestet; die Silizium-Sperrschichttemperatur erreicht dabei bis zu 140 °C (IGBT 3). Werden noch höhere Kühlmitteltemperaturen, z.B. bis 105 °C, gefordert, so sind hohe Leistungsdichten nur bei maximalen Sperrschichttemperaturen von über 150 °C realisierbar.

## ■ Generationswechsel bringt mehr Leistung

Unter vergleichbaren Bedingungen und Modulgrößen bietet das 2009 auf den Markt gebrachte SKiiP-4-Modul ca. 33 % mehr Leistung als die Vorgängerversion. Die Leistungssteigerung wurde durch die Druckkontakt-Technologie als Aufbau- und Verbindungstechnik, einen verbesserten Kühlkörper, IGBT-4-Chips sowie CAL-4-Freilaufdioden ermöglicht. Erstmals wurden an der oberen Leistungsgrenze der Modulfamilie sechs an Stelle von vier Halbbrücken integriert. Wie bereits bei den Vorgängergenerationen sind die Komponenten Kühlkörper, Powermo-

dul, Gate-Treiber sowie Sensoren und Schutzfunktionen präzise aufeinander abgestimmt. Der Aufbau- und Verbindungstechnik – realisiert als Druckkontakt-System – kommt hierbei eine entscheidende Rolle zu.

Für zuverlässiges und sanftes Schalten wurde ein neuer Gate-Treiber entwickelt, der mittels digitaler, galvanisch getrennter Signalübertragung eine störteste Schaltsicherheit gewährleistet. Zudem verfügt das IPM über einen auf dem CANopen-Protokoll beruhenden Diagnosekanal und eine mehrstufige Ausgangsstufe. *ag*



**Dr. Ladislav Sobotka**

studierte Leistungselektronik und promovierte an der Universität West Bohemia in Pilsen. Seit 1982 ist er bei Skoda Plzen tätig und Gründer und Vorstandsmitglied der Skoda Electric a.s., Leiter Strategien und Technische Entwicklungen.  
[ladislav.sobotka@skoda.cz](mailto:ladislav.sobotka@skoda.cz)



**Dipl.-Ing., MBA  
Ralf Herrmann**

studierte an der Georg-Simon-Ohm Fachhochschule in Nürnberg Elektrotechnik. Nachdem er als Hardware-Entwickler für analoge Schaltungen im Bereich der Messtechnik arbeitete, wechselte er 2005 als Produktmanager für Bipolar-Module zu Semikron. Seit 2006 ist er als Produktmanager und Projektleiter für die IGBT-IPM-Module SKiiP verantwortlich. 2009 erlangte er nebenberuflich den akademischen Grad MBA.  
[ralf.herrmann@semikron.com](mailto:ralf.herrmann@semikron.com)