

Infineon Technologies präsentiert IGBT5-PrimePACK-Module für erhöhte Anforderungen

Höhere Stromdichten bei unverändertem Bauraum

Steigende Betriebstemperaturen und ein robustes Modulgehäuse bei gleichzeitig steigender Lebensdauer unter hohen thermischen Wechsellasten sind Herausforderungen an künftige Leistungselektronik-Baugruppen.

Für diese teils gegensätzlichen Anforderungen entwickelt Infineon die nächste Generation der 1700-V-PrimePACK-Module mit IGBT5- und .XT-Aufbau- und -Verbindungstechnologie.

VON WILHELM RUSCHE
UND ANDRE R. STEGNER*

Weitere Reduzierung des Bauvolumens, die Verlängerung der Lebensdauer und die damit verbundene steigende Leistungsdichte erfordern die Entwicklung neuer innovativer Technologien. Typische Beispiele für diese teils gegensätzlichen hohen Anforderungen an die Leistungselektronik sind Windkraftanlagen für die regenerative Energiegewinnung. Alle verwendeten Baugruppen und Power-Module in diesen kommerziell genutzten Systemen müssen hohen elektrischen, mechanischen und thermischen Belastungen standhalten und darüber hinaus über Jahre ausfallfrei funktionieren.

Mit der Verwendung der neuen .XT-Aufbau- und -Verbindungstechnologie erfüllen die Infineon-PrimePACK-Module diese deutlich gestiegenen Anforderungen. Erreicht wird das zum einen durch die Verwendung neuer Materialien auf der Chipvorderseite wie Kupfer für die Bonddrahtverbindungen anstelle von Aluminium, zum anderen aber vor allem auch durch weiter entwickelte Verfahren für das Bonding. Das erst ermöglicht es, neue Materialkombinationen prozesssicher auch in der Hochvolumen-Serienproduktion einzusetzen. Einher mit dem Einsatz der .XT-Aufbau- und -Verbindungstechnologie gehen die kontinuierlichen Verbesserungen der dafür entwickelten neuen 1700-V-IGBT und Dioden-Si-Chips der 5. Generation.

Beides zusammen stellt erstmalig in dieser Leistungsklasse den kontinuierlichen Betrieb bei erhöhter Sperrschichttemperatur mit $T_{vjop} = 175^\circ\text{C}$ sicher und bietet damit das Potential

einer deutlichen Leistungssteigerung ohne Einschränkungen bei der Lebensdauer des Moduls. Alternativ lässt sich bei unveränderter Ausgangsleistung des Stromrichters die Lebensdauer der Leistungshalbleiter in der Anwendung deutlich verlängern. Mit dieser Wahlmöglichkeit unterstützen die neuen PrimePACK IGBT5-Module viele Plattformen in der Leistungselektronik.

1700-V-IGBT5

Sowohl die IGBT-Chips der 4. als auch der neuen 5. Generation basieren beide auf der bewährten Trench-Field-Stop-Technologie. Darüber hinaus weisen die neuen IGBT5 eine dünnere aktive Siliziumschicht auf. Sie führt zu geringeren statischen und dynamischen Verlusten. Für die Abführung der hohen Verlustleistung, die im Fehlerfall eines Brückenkurzschlusses entsteht, weist die Vorderseite der 5.

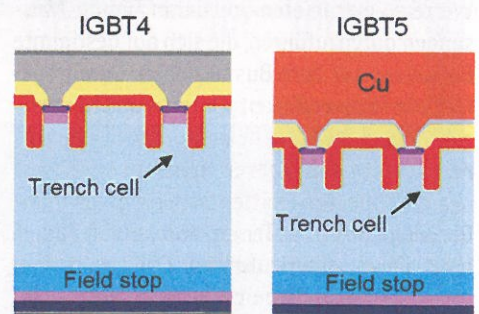


Abbildung 1: Der neue 1700-V-IGBT5 mit Kupferbeschichtung für eine verbesserte Kurzschlussfestigkeit und dünnere aktiven Siliziumschicht für reduzierte Verluste

*André Stegner ist als Manager Technology Development in der IGBT- und Diodenentwicklung bei der Infineon Technologies Austria AG in Villach, und Wilhelm Rusche im Technischen Marketing für die technische Produktunterstützung und Definition von Hochleistungsmodulen bei der Infineon Technologies AG in Warstein beschäftigt.

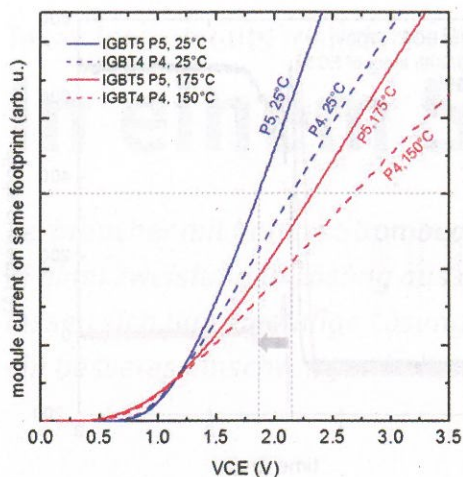


Abbildung 2: Ausgangskennlinie des 1700-V-IGBT-P5 im Vergleich zum 1700-V-IGBT-P4, dargestellt bei 25 °C und bei der T_{jopMax} für die gleiche Chipgröße

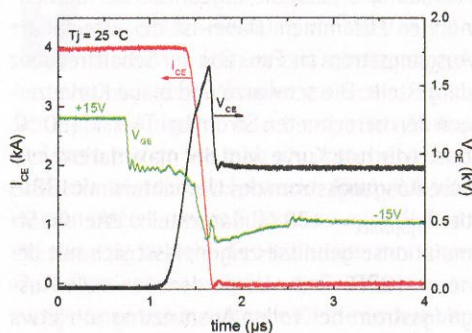


Abbildung 3: Eine für das neue IGBT5 PrimePACK gemessene Abschaltkurve

IGBT-Generation zusätzlich eine dicke Kupferbeschichtung auf – ein Ansatz, dessen erfolgreicher Beitrag zur Verlängerung der Kurzschlussfestigkeit bereits im Rahmen von PCIM-Konferenzen dargestellt wurde. Darüber hinaus ermöglicht die Kupferbeschichtung den Einsatz von Hochstrom-Bondedrähten aus Kupfer, die fester Bestandteil der neuen .XT-Verbindungstechnologie sind. In Abbildung 1 ist der unterschiedliche Aufbau der IGBT-Chips der Generation 4 und 5 in einer schematischen Darstellung verdeutlicht. Mit der neuen Technologiegeneration ließen sich die Leistungsmerkmale des IGBTs noch einmal deutlich verbessern. Abbildung 2 stellt die Ausgangskennlinien bei Raumtemperatur und bei der jeweiligen maximalen Betriebstemperatur dar.

Auch für die IGBTs der 5. Generation (P5) zeigen die Kollektor-Emitter-Sättigungsspannungen einen positiven Temperaturverlauf. Zudem führt die verbesserte vertikale Chipstruktur bei gleicher Chipgröße zu einer wesentlich geringeren Durchlassspannung (V_{CEsat}). Diese signifikante Verbesserung ermöglicht eine deutliche Erhöhung der Stromdichte bei gegebener Grundfläche.

Für die Betrachtung im Gesamtsystem sind neben den statischen Verlusten durch die Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung auch die dynamischen Eigenschaften und vornehmlich die Schaltverluste von entscheidender Bedeutung. In Tabelle 1 sind die Kennwerte der 1700-V-P5-High-Power-Version mit einer 30 Prozent erhöhten Stromdichte mit der korrespondierenden 1700-V-P4-Vorgängerversion gegenübergestellt. Beide Versionen basieren auf der gleichen PrimePACK-Grundfläche.

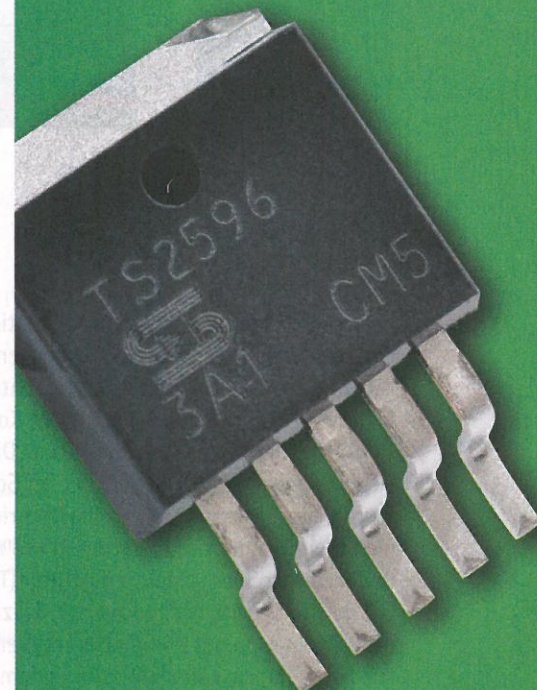
Tabelle 1 zeigt, dass der 1700-V-IGBT-P5 sogar bei einer um 25 K höheren Sperrschichttemperatur geringere Schaltverluste pro Ampere (E_{sw}/A) aufweist als die vorherige Generation P4. Trotz der um 30% höheren Stromdichte zeigt der P5 bei derselben Sperrschichttemperatur (150 °C) wie der P4 die gleiche Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung und zusätzlich um ca. 10% reduzierte Schaltverluste. Diese Kennwerte verdeutlichen anschaulich das Potential der neuen Si-Chip-Generation.

Eine weitere entscheidende Anforderung, die bei der Bewertung neuer IGBT-Technologien berücksichtigt werden muss, ist die Charakteristik, die sich im Schaltbetrieb einstellt. Ein sanftes Schaltverhalten erleichtert einen EMV-freundlichen Betrieb und unterstützt damit mögliche Einsparungen passiver Komponenten wie Kondensatoren. EMV-kritische Arbeitspunkte sind für den IGBT bei hohem Abschaltstromniveau und gleichzeitiger niedriger Sperrschichttemperatur durch die sich einstellenden steilen Schaltflanken zu erwarten. Abbildung 3 zeigt eine entsprechende für das neue IGBT5-PrimePACK gemessene Abschaltkurve. Auf nachdrückliche Weise belegen die Abschaltkurven, dass der 1700V-IGBT-P5 das Designziel eines sanften Abschaltverhaltens bei gleichzeitig reduzierten Abschaltverlusten erfüllt. Er ist damit auch für High-Power-Module mit Nominalströmen von 1800 A geeignet.

1700-V-Diode der 5. Generation

Für die bestmögliche Leistungssteigerung bei der Entwicklung neuer Power-Module bedarf es neben dem IGBT auch der Entwicklung einer Leistungsdiode, die sehr eng mit dem IGBT abgestimmt ist. In Abbildung 4 ist die schematische Darstellung des Querschnitts der neuen Diode der 5. Generation dargestellt. Auch bei der 1700-V-Diode (EC5) gelang es im Vergleich zur vorherigen Dioden-Generation, die Siliziumschicht zu reduzieren. Diese Anpassung ist, wie schon beim IGBT, auch bei der Diode die Grundlage für geringere statische und dynamische Verluste. Die daraus resultierenden Ver-

Power by TAIWAN SEMICONDUCTOR



Power Devices

by Taiwan Semiconductor

- alle Standard-Dioden und Brückengleichrichter
- IGBTs und MOSFETs
- Standard-Komparatoren und OPs
- Festspannungsregler
- Low-Drop-Festspannungsregler
- Schaltregler
- LED-Treiber
- Hallensoren

Distribution by Schukat electronic

- 25.000 Produkte
- detaillierte Technikinfos
- günstige Preise
- 24 h-Lieferservice

Onlineshop mit stündlich aktualisierten Preisen und Lagerbeständen

www.schukat.com

SCHUKAT
electronic

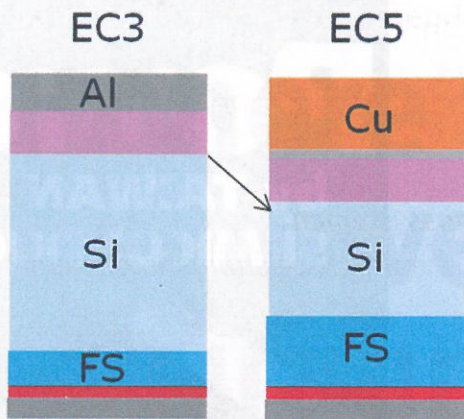


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Querschnitts der 1700-V-Diode der 5. Generation im Vergleich zur Diode der vorherigen Generation

besserungen ermöglichen in Kombination mit der um 25 K erweiterten Sperrschichttemperatur eine um 30% höhere Stromdichte. Abbildung 5 zeigt einen Vergleich der Kommutierungscharakteristiken der beiden Dioden-Generationen. Für die Bewertung der Softness wurde eine Messung im Teillastbetrieb bei niedrigem Kommutierungsstrom ($I = 5\% I_{nom}$) und niedriger Sperrschichttemperatur ($T_{vj} = 25^\circ\text{C}$) gewählt. Trotz der reduzierten Siliziumdicke, die ein ruppiges Kommutierungsverhalten zur Folge haben kann, sind die dynamischen Eigenschaften der Diode der 5. Generation vergleichbar mit der vorherigen Generation und damit auch für Hochstrom-Module geeignet. Für die hohe Stoßstromfestigkeit bei gleichzeitig um 25 K erweiterter Sperrschichttemperatur weist die neue Dioden-Generation auf der Vorderseite eine dicke Kupferbeschichtung auf, wie in Abbildung 4 dargestellt.

Vergleich der Modulperformance

Basierend auf den Leistungsdaten der einzelnen Power-Module ist mit dem neuen 1700-V-IGBT-P5 für dieselbe Modulgrundfläche eine Erhöhung des maximalen Umrichter-Ausgangsstromes zu erwarten. Von Infineon 2006 entwickelt, wird das PrimePACK-Modul weltweit in Windkraftanlagen im MW-Bereich ein-

IGBT	IGBT4 P4 @150°C	IGBT5 P5 @150°C	IGBT5 P5 @175°C
Current / PP3 footprint (%)	100%	130%	130%
$T_{j,op,max}$ (°C)	150	175	175
V_{CEsat} (V)	2.2	2.2	2.3
E_{sw}/A (%)	100%	88%	95%

Tabelle 1: Vergleich für den P5 und den Vorgänger P4, basierend auf derselben PrimePACK-Grundfläche

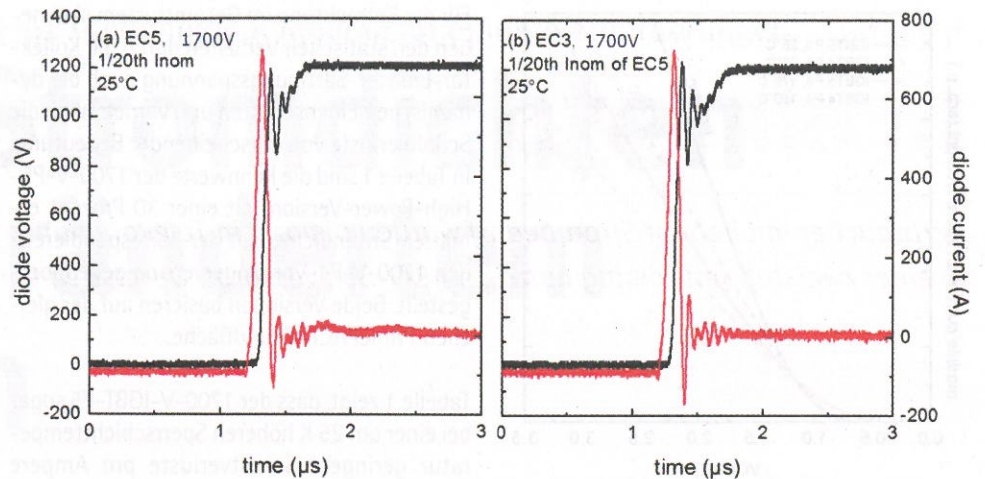


Abbildung 5: Vergleich der Kommutierungscharakteristiken der vorherigen Dioden-Generation (EC3) (rechts) und der Dioden (EC5) der 5. Generation (links).

gesetzt und steht daher als erstes IGBT-Modul mit der neuen Generation der Leistungshalbleiter für die hohen Anforderungen an Lebensdauer- und Leistungsdichte zur Verfügung. Für die nachfolgende Modulperformance-Betrachtung eines generatorseitigen Windkraftumrichters ist das PrimePACK-Modul damit das geeignete Bauelement.

Bei der Berechnung wird von einem flüssigkeitsgekühlten System mit einem $R_{th,ha}$ von 0,015 K/W pro Modulzweig und einer Umgebungstemperatur von $T_a = 50^\circ\text{C}$ ausgegangen. Weiterhin wird angenommen, dass für diese Anwendung die Diode das auslegungsrelevante Bauelement zur Dimensionierung des generatorseitigen Umrichters ist. Folglich werden eine Zwischenkreisspannung von 1080 V, eine Grundfrequenz von 15 Hz, ein Modulationsfaktor von 1,00 und ein $\cos \Phi$ von -0,82 angenommen.

Abbildung 6 fasst die Ergebnisse der Berechnungen zusammen. Dabei ist der erreichbare Ausgangsstrom als Funktion der Schaltfrequenz dargestellt. Die schwarze und blaue Kurve zeigen den berechneten Strom bei $T_{vj,op} = 150^\circ\text{C}$. Durch die rote Kurve wird der maximal erreichbare Ausgangsstrom des Umrichters mit IGBT5 bei $T_{vj,op,Max} = 175^\circ\text{C}$ dargestellt. Wie die Simulationsergebnisse zeigen, lässt sich mit der neuen IGBT5-Technologie der maximale Ausgangsstrom bei voller Ausnutzung um etwa 30% erhöhen. So zeigt die blaue Kurve den maximalen Ausgangsstrom der 5. Generation bei einer auf $T_{vj,op} = 150^\circ\text{C}$ begrenzten Sperrschichttemperatur. Unter diesen Bedingungen verlängert die im Modul enthaltene XT-Aufbau- und Verbindungstechnologie die Lebensdauer der Bauelemente deutlich, wobei der maximal erreichbare Ausgangsstrom immer noch um etwa 10% höher liegt als bei der vorherigen P4-Variante. (eg)

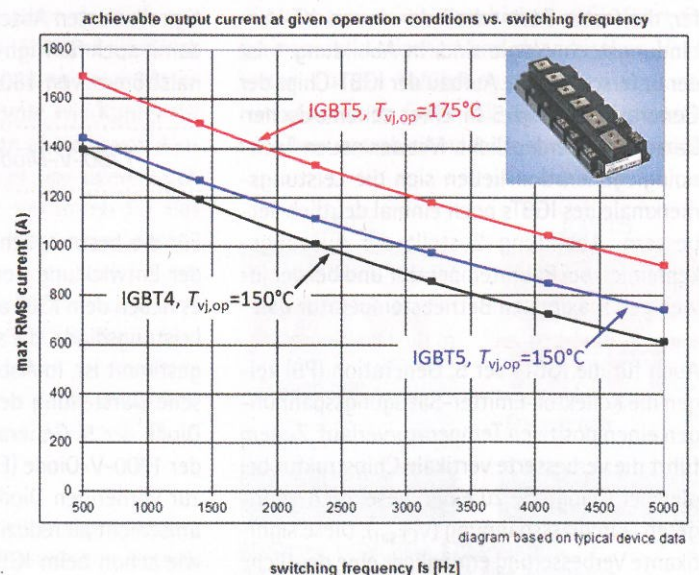


Abbildung 6: Ausgangsstrom mit IGBT4 und mit IGBT5, der eine Sperrschichttemperatur von bis zu 175 °C ermöglicht