

Neuer IGBT7-Chip für hohe Leistungsdichte

Performance-starkes Replacement

Ziel der Entwicklung des IGBT7-Chips war es, vor alle die Stromdichte deutlich zu erhöhen, um so die Systemkosten für Hersteller von Wechselrichtern zu senken. Große Bedeutung hatte es dabei, die neue Chip-Technologie in bestehenden Modul-Abmessungen zu implementieren. Bisherige Inverter-Systeme sollten damit einfach aufzurüsten sein.

VON KLAUS VOGEL,
MANAGER TECHNICAL MARKETING,
UND DR. CHRISTOPH URBAN,
SENIOR MANAGER R&D,
BEIDE INFINEON TECHNOLOGIES

Damit die Vorgaben erfüllt werden konnten, mussten die Schaltcharakteristika der neuen IGBTs und Dioden an die Charakteristik des ausgewählten Modulgehäuses adaptiert werden. Dies betrifft insbesondere das Oszillationsverhalten, da der Strom im Modul höher und eine Verringerung der Streuinduktivität nur begrenzt möglich ist. Gleichzeitig ist eine Verbesserung der Gehäuse-Technologie wichtig, um die höheren Ströme und Temperaturen handhaben zu können.

Für den Anwender des neuen Bauelementes liegen die Vorteile auf der Hand: ein höherer Inverter-Ausgangsstrom bei gleichen Abmessungen und die Vermeidung der Parallelschaltung von IGBT-Modulen. Beides vereinfacht das Design von Inverter-Systemen und senkt die Kosten. Im Folgenden werden die technischen Aspekte des neuen EconoDual3-Leistungsmoduls mit dem Trenchstop-IGBT7 in gängigen Antriebs-Anwendungen dargestellt.

Anwendungen

Eine Ziel-Anwendung für die neue IGBT7-Generation sind General-Purpose-Antriebe (GPDs) im Leistungsbereich über 90 kW. An dieser Stelle ist es wichtig, die typischen Applikationsparameter zu betrachten, um die verschiedenen Verbesserungen im Vergleich zur vorherigen IGBT4-Technologie bewerten zu können. Typischerweise liegen die Schaltfrequenzen von GPDs im Leistungsbereich über 90 kW bei 2 bis 2,5 kHz. In ihrer Mehrzahl nutzen Wechselrichter-Hersteller fortschrittliche Modulationsverfahren wie DPWM (Discontinuous Pulse Width Modulation), um Schaltverluste zu reduzieren – und zwar etwa um die Hälfte im Vergleich zur herkömmlichen kontinuierlichen Modulation.

Für die IGBT7-Entwicklung und die folgenden Betrachtungen wurde eine Schaltfrequenz von 1 kHz und 2,5 kHz herangezogen, beides als kontinuierliche PWM, um die neue Technolo-

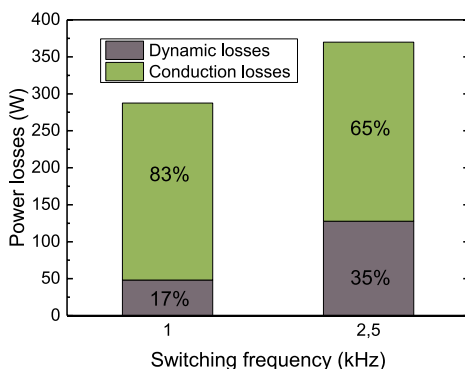


Bild 1: Verluste des FF600R12ME4_B72 bei 350 A und typischen GPD-Bedingungen in dieser Leistungsklasse

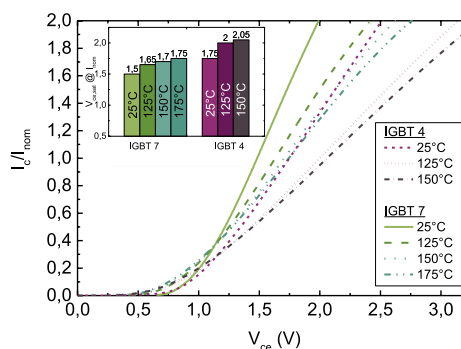


Bild 2: Normalisierte Ausgangs-Charakteristika des 1200-V-Trenchstop-IGBT4 im Vergleich zum 1200-V-Trenchstop-IGBT7 bei $V_{ge}=15\text{ V}$

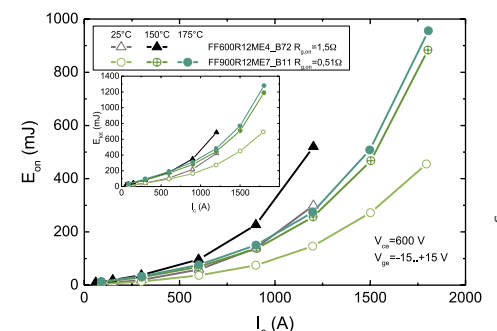


Bild 3: Einschaltverluste E_{on} des FF600R12ME4_B72 und des FF900R12ME7_B11 als Funktion des Kollektorstromes I_c . Eingefügtes Diagramm: $E_{tot} (E_{on} + E_{off})$

alle Bilder: Infineon Technologies

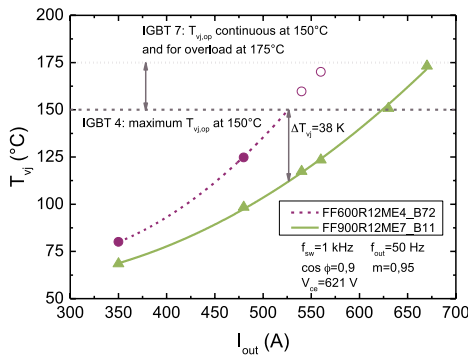


Bild 4: IGBT-Sperrschichttemperatur als Funktion des Ausgangsstromes bei 1 kHz und unter den Bedingungen wie in Tabelle 1 aufgeführt

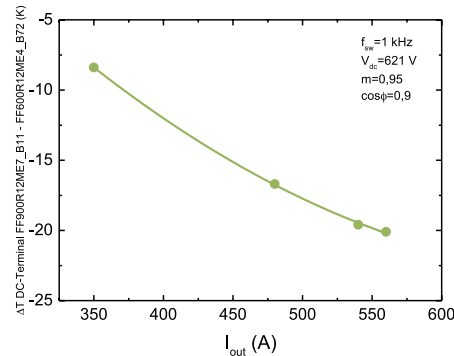


Bild 5: Verbesserung des Temperatur-Verhaltens: Vergleich der Temperatur des DC-Lastanschlusses zwischen dem bisherigen und dem neuen Gehäuse

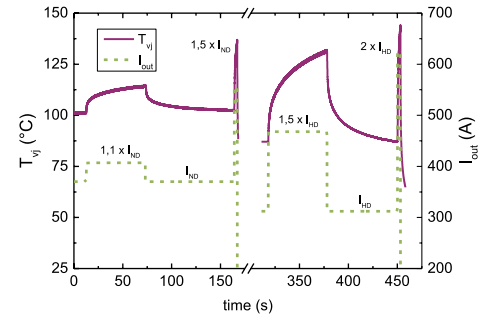


Bild 6: FF900R12ME7_B11 mit Baugröße 477 A: Messergebnisse für den Nennstrom unter ND- (Normal Duty) und HD- (Heavy Duty) Bedingungen

gie zu evaluieren. Es ist aber auch möglich, die Ergebnisse auf höhere Schaltfrequenzen mit DPWM zu übertragen.

Darüber hinaus ist für die betrachtete Anwendung der Einsatz eines luftgekühlten Kühlkörpers aus stranggepresstem Aluminium bei einer maximalen Umgebungstemperatur von 40 °C typisch. Der Nennstrom für den GPD-Inverter wurde für normale und hohe (Heavy Duty) Überlastzyklen dimensioniert. Außerdem ist die maximal erlaubte IGBT-Betriebstemperatur für die betrachtete Anwendung zu berücksichtigen.

Letztendlich ist auch die maximale Steilheit für den Spannungsanstieg ($du/dt_{10-90\%}$) während des Ein- und Ausschaltens des IGBT auf 5 kV/μs begrenzt – bedingt durch die Lebensdauer der Motorwicklung und die Abnutzung der Antriebswelle und des Wellenlagers sowie die Einhaltung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV).

Mit den erwähnten Parametern wurde eine Simulation auf Basis des Leistungsmoduls FF60012ME4_B72 durchgeführt. Bild 1 zeigt die entsprechenden Ergebnisse.

Es ist offensichtlich, dass die Durchlassverluste des IGBT und der Diode gegenüber den dynamischen Verlusten dominieren. So repräsentieren sie bei 1 kHz 83 Prozent und bei 2,5 kHz immer noch 65 Prozent der gesamten Halbleiterverluste. Zusammen mit der Tatsache, dass die Schaltgeschwindigkeit in Elektromotor-Anwendungen eine Spannungsflankensteilheit von 5 kV/μs nicht überschreiten sollte, führt dies zu dem Schluss, dass für eine Bauelemente-Optimierung der Fokus auf den statischen Verlusten liegen muss.

Statische Verluste

Bild 2 zeigt die normalisierten Ausgangs-Charakteristika der IGBT7-MPT-Technologie im Vergleich zur IGBT4-Technologie für die Temperaturen 25 °C, 125 °C und 150 °C. Für den Trenchstop-IGBT7 sind auch die Ergebnisse für 175 °C dargestellt.

Beim Vergleich der beiden IGBT-Technologien kann eine Reduzierung für $V_{ce,sat}$ um 350 mV auf 1,70 V bei Nennstrom festgestellt werden. Hier zeigt sich die Optimierung des Chips.

Dynamisches Schalten

Die Einschaltverluste (E_{on}) des 900-A-IGBT7-Moduls sind geringer als die des 600-A-IGBT4-Modules, wenn der gleiche Kollektorstrom eingeschaltet wird. Allerdings führen eine Reduzierung der Sättigungsspannung und die gegebene Softheit des Bauteils zu höheren Ausschaltverlusten des 900-A-IGBT7 im Vergleich zum 600-A-IGBT4 bei gleichen Kollektorströmen. Bild 3 zeigt die Ergebnisse für beide Chip-Technologien. Der gewählte externe Gate-Widerstand entspricht den Datenblatt-Werten, die so ausgelegt sind, dass ein Schalten ohne Oszillationen des IGBT und der Diode beim Ausschalten mit 25 °C Junction-Temperatur gewährleistet ist. Darüber hinaus können mit dem FF600R12ME4_B72 und dem FF900R12ME7_B11 vergleichbare du/dt -Werte bei diesen Gate-Widerständen erreicht werden, sowohl beim Ein- als auch Ausschalten.

Zusammenfassend sind die gesamten IGBT-Verluste (E_{tot}) als Summe aus E_{on} und E_{off} etwa gleich. Insbesondere unterhalb von 600 A zeigen beide Module identische Verluste.

Topologie	H-Brücke
Kühlkörper	luftgekühlt
Schaltfrequenz	1 und 2,5 kHz
Modulationsmethode	Continuous PWM
Gate-Emitter-Spannung	-8 V bis +15 V
Zwischenkreisspannung	621 V
Modulationsindex	0,95
cos phi	0,9
$du/dt_{10-90\%}$	< 5 kV/ μ s
Bildrate der IR-Kamera	30 Bilder/s
Umgebungstemperatur	20 °C* (40 °C)

Tabelle 1: Typische GPD-Parameter für den Anwendungsvergleich von IGBT7 und IGBT4. *Die erforderliche Umgebungstemperatur von 40 °C war mit dem Testaufbau nicht realisierbar.

Spezifikation der Sperrschicht-Temperatur

Ohne Differenzierung zwischen kontinuierlichem und diskontinuierlichem Betrieb ist der IGBT4 für eine maximale Temperatur $T_{vj,op}$ von 150 °C spezifiziert. Im Unterschied dazu berücksichtigt die $T_{vj,op}$ -Spezifikation des IGBT7 die typischen Überlast-Szenarien der Antriebshersteller und können entweder 3 oder 60 s lange Überlastspitzen abdecken. Für kontinuierlichen Betrieb ist der IGBT7 mit 150 °C und bei Überlast mit 175 °C für maximal 60 s spezifiziert.

Applikationstests und Ergebnisse

Alle genannten Charakteristika des neu entwickelten FF900R12ME7_B11 führen zu einer Leistungssteigerung im Vergleich zum bisherigen FF600R12ME4_B72-Modul. Um die Performance der beiden Komponenten zu evaluieren und zu vergleichen, wurden verschiedene Tests durchgeführt und die Temperaturen mittels IR-Kamera ermittelt. Die Testparameter beziehen sich auf die eingangs dargestellten Kriterien und sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Ausgangsstrom und Temperatur-Reduktion

Die Testergebnisse sind exemplarisch für eine Schaltfrequenz von 1 kHz in Bild 4 dargestellt.

Es zeigt sich, dass bei einer kontinuierlichen PWM mit 1 kHz bei gleichem Ausgangsstrom das Modul mit der IGBT7-Technologie eine um 38 K niedrigere Temperatur erreicht als das IGBT4-Modul. Belastet man das neue Modul mit der maximal spezifizierten Temperatur, erreicht man einen um 150 A höheren Ausgangsstrom. Bei 150 °C bietet die IGBT7-Lösung immer noch einen Vorteil von einem um 95 A erhöhten Strom gegenüber der IGBT4-Alternative.

Auch bei einer kontinuierlichen PWM-Modulation mit 2,5 kHz ist der Vorteil der neuen Technologie signifikant: eine um 33 K geringere Temperatur bei gleichem Strom oder ein um 70 A höherer Strom bei 150 °C. Bei 175 °C ist der Ausgangsstrom sogar um 110 A größer.

Temperatur-Senkung am DC-Anschluss

Bild 5 zeigt die erreichte Temperatursenkung mit dem neuen Gehäuse des FF900R12ME7_B11 im Vergleich zum FF600R12ME4_B72.

Das neue Gehäuse des FF900R12ME7_B11-Moduls ermöglicht eine Reduzierung der Temperatur um 20 K für den DC-Lastanschluss im Vergleich zum FF600R12ME4_B72 bei gleichem Ausgangsstrom.

GPD-Baugröße

In diesem Teil des Tests wurden die Ausgangsströme nach Angabe eines GPD-Herstellers für normalen Überlastbetrieb (Normal Duty, ND) und hohen Überlastbetrieb (Heavy Duty, HD)

	Baugröße 370 A	Baugröße 477 A
Nennstrom I_{ND}	370 A	477 A
Normal-Duty $1,1 \times I_{ND}$ für 60 s	407 A	525 A
Normal-Duty $1,5 \times I_{ND}$ für 3 s	555 A	716 A
Nennstrom I_{HD}	312 A	370 A
Heavy-Duty $1,5 \times I_{HD}$ für 60 s	468 A	555 A
Heavy-Duty $2 \times I_{HD}$ für 3 s	624 A	740 A

Tabelle 2: Ausgewählte Parameter für die mögliche Baugröße der beiden Module

untersucht, um die maximale Baugröße und damit die Leistungsdichte für die verschiedenen Technologien zu evaluieren. Die Parameter sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Der Nenn-Ausgangsstrom im Halbleiter wurde unter den Bedingungen wie in Tabelle 1 und bei 2,5 kHz evaluiert. Die Temperatur des gesamten Systems bezieht sich auf den stationären Zustand (Steady-State) vor dem Überlastbetrieb. In Bild 6 ist das thermische Verhalten des Systems dargestellt. Danach erreicht die IGBT4-Lösung das thermische Limit bei der Baugröße 370 A. Während des Überlast-Impulses für 3 s erreicht die Junction-Temperatur (T_{vj}) des IGBT 142 °C.

Das IGBT7-Modul ermöglicht die Erfüllung der Anforderungen für die Baugröße 477 A. Für alle erforderlichen Strombereiche ist das FF900R12ME7_B11 dabei innerhalb der IGBT7-Spezifikationen.

Obwohl die Umgebungstemperatur beim Test bei 20 °C und nicht bei den erforderlichen 40 °C lag, können die Ergebnisse doch als Vergleichsbasis dienen. Inverter-Hersteller können die genannten Ausgangsströme auch bei 40 °C erreichen, wenn sie einen optimierten Kühlkörper, diskontinuierliche PWM und/oder reduzierte Schaltfrequenzen wählen. (eg) ■