



PASSENDEN IGBT-MODUL GESUCHT

Die Qual der Wahl

Das vermeintlich beste, schnellste oder neueste IGBT-Modul ist häufig nur bedingt für eine Applikation geeignet. Verschiedene Faktoren müssen bei der Modulauswahl berücksichtigt werden: Jede Applikation stellt andere Anforderungen, und auch das IGBT-Datenblatt hat nur bedingt etwas mit der Realität gemein.

TEXT: Werner Bresch und Erik Rehmann, GvA Leistungselektronik BILDER: GvA Leistungselektronik; iStock, Tatomm

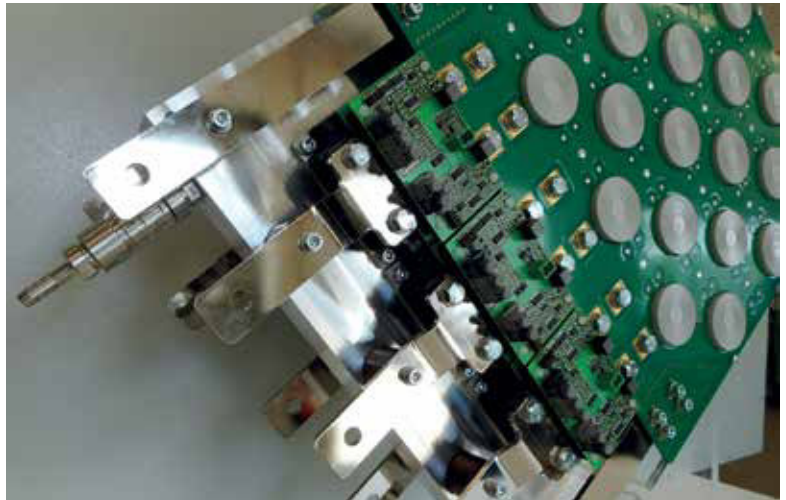
Die Auswahl eines in die Applikation passenden IGBT-Moduls hängt von vielen, teilweise auch gegenläufigen Faktoren ab. Oft ist das vermeintlich beste, schnellste oder auch neueste IGBT-Modul für eine Anwendung nur bedingt einsetzbar. Oder es bringt außerdem auf Grund seiner Eigenschaften zusammen mit den geforderten Leistungswerten und den im leistungselektronischen Hardware-Design vorhandenen Gegebenheiten keinen signifikanten Zusatznutzen.

Ein Dreiecksverhältnis

Wegen dieser Verhältnisse kann es hierbei oft zu un schönen Nebeneffekten mit entsprechenden Kollateralschäden kommen. Ein allgemeiner Ratgeber, der zeigt, welches IGBT-Modul für

eine bestimmte Schaltungstopologie und die definierten Belastungswerte am besten geeignet ist, existiert leider nicht. Das liegt vor allem an den unendlich vielen möglichen Applikationen und den damit verbundenen Anforderungen sowie den ebenso vielen möglichen Hardware-Designs.

Deshalb steht ganz am Anfang der Suche nach dem passenden IGBT-Modul die jeweilige Applikation. Es liegt auf der Hand, dass an die Leistungselektronik für zum Beispiel Induktionserwärmung andere Anforderungen gestellt werden als das etwa für industrielle Antriebswechselrichter oder Traktionsanwendungen der Fall ist. Für diese Einsatzgebiete stehen unterschiedliche Schaltungstopologien zur Verfügung. Sie können mit ein- und dreiphasigen Wechselrichtern, in Zwei-, Drei- oder



Die Lage der Haupt- und Nebenanschlüsse sowie der Befestigungspunkte beeinflusst das finale Design des Umrichters.

Multilevel-Topologie, eventuell mit direkter Parallelschaltung der IGBT-Module oder mit ganzen Wechselrichtereinheiten realisiert werden. Nicht vergessen sollte man auch DC-Chopper und Resonanzwechselrichter.

Außerdem fließt das Hardware-Design in die Auswahl des passenden IGBT-Moduls mit ein. Oftmals ist es bestimmt durch übergeordnete Auslegungskriterien, die konträr zu dem optimalen Betrieb eines IGBT-Moduls sind. Auch kann eine nicht ganz optimale thermische Auslegung oder ein nicht ideales Design des Zwischenkreisfilters dazu führen, dass die im Datenblatt eines IGBT-Moduls ausgewiesene Performance nicht erreicht wird.

Die Spezifikation schafft Klarheit

Entscheidungshilfe bietet hier die Spezifikation, die alle Einsatzkriterien und -werte für die Leistungselektronik und damit die später zum Einsatz kommenden IGBT-Module beschreibt. Die in ihr festgelegten Punkte dürfen nicht isoliert betrachtet werden, da sie alle Einfluss auf die Auslegung der Leistungselektronik haben.

In der allgemeinen Beschreibung der Spezifikation finden sich Angaben zu Anwendung, Schaltungstopologie sowie applikationsrelevante Eigenschaften, Besonderheiten und Anforderungen.

Die elektrische und thermische Beschreibung dient primär zur elektrischen Auslegung der Leistungselektronik und damit zur Auswahl der passenden IGBT-Module. Es finden sich neben Angaben zu den Spannungskoordinaten auch Angaben zu den Laststrombedingungen, Leistungsanforderungen, Temperatur-, Frequenz- und Isolationskoordinaten, Schnittstellen der Leistungsanschlüsse, des Treiberinterface und der Steuerung, den Treiberanforderungen, zu Strom und Spannungssensoren. Auch wird aufgeführt, welche Lüfter zum Einsatz kommen, falls for-

cierte Belüftung vorgesehen ist. Hinzu kommt außerdem die Kapazität des Zwischenkreisfilters, die maximale Verlustleistung und der angestrebte Wirkungsgrad.

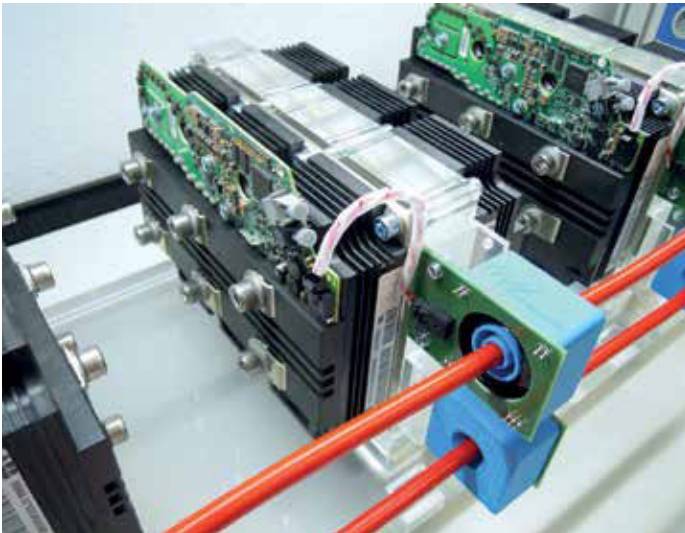
Sind bisher noch keine Angaben zur gewünschten Kühlart gemacht worden, so finden diese sich spätestens in der mechanischen Beschreibung. Denn die Kühlart hat großen Einfluss auf Größe und Gewicht der damit aufgebauten Leistungselektronik. Daneben wird auch die Lage der Haupt- und Nebenanschlüsse sowie der Befestigungspunkte definiert.

Unter Sonstiges finden sich etwa Angaben zu Field-Acceptance-Test-Vorgaben, Angaben zur mechanischen Robustheit, die gewünschte Lebensdauer, Umgebungsangaben zum Aufstellungsort, etwa Temperatur, relative Feuchte, Höhenstrahlungsfestigkeit, sowie die Anforderungen bezüglich der Tropenfestigkeit, Termiten- und Nagerbeständigkeit, Entflammbarkeit, Schadstofffreiheit, Second-Source-Problematik, den Emissionen, Kosten und der Terminplanung.

Außerdem werden in der Spezifikation die unterschiedlichen Standards, die erfüllt werden sollen, gelistet. Ergänzt eventuell durch zusätzliche anwendungsspezifische Vorgaben, wie beispielsweise in der Marine oder dem Bergbau.

Datenblatt versus Spezifikation

Stehen die Spezifikationen fest, können sie mit dem Datenblatt eines IGBTs verglichen werden. Sinnvoll ist es, mit der thermischen Dimensionierung zu beginnen. Zur Bestimmung der erzeugten Verlustleistung im IGBT-Chip werden die Schaltverlustenergien E_{on} und E_{off} sowie der Durchlassspannungsabfall V_{cesat} dem Datenblatt entnommen. Hinzu kommen noch die Ausschaltverlustenergie E_{offrec} und der ausgewiesene Durchlassspannungsabfall V_f der Freilaufdiode.



In Bezug auf Verfügbarkeit und Beschaffungspreise ist eine Second-Source-Strategie wichtig.

Aus Marketinggründen möchten die Hersteller von IGBT-Modulen möglichst geringe Verlustenergien angeben können. Deshalb werden diese in den Testaufbauten mit der härtesten möglichen Ansteuerung, verbunden mit der geringsten möglichen Streuinduktivität im Kommutierungskreis, ermittelt. Diese Testaufbauten haben mit den Gegebenheiten im wirklichen Wechselrichterdesign nicht viel gemeinsam.

Ein solch niederinduktiver Aufbau lässt sich alleine schon zur Erreichung einer thermisch vernünftigen Anbindung der IGBT-Module auf einen Kühlkörper nicht realisieren. Dazu müssten nämlich beispielsweise sechs Einzelschalter-IGBT-Module möglichst eng zusammen auf einen großflächigen Aluminiumkühler montiert werden. Der thermische Übergangswiderstand des Kühlers $R_{th,ka}$ ist jedoch unter der Annahme angegeben, dass die abzuführende Verlustwärme gleichmäßig an die gesamte Oberfläche des Kühlers, auf der die sechs IGBT-Module montiert sind, abgegeben wird. Das bedeutet, dass die sechs punktförmigen Verlustwärmequellen in Form der sechs IGBT-Einzelschalter-Module möglichst symmetrisch und gleichförmig über die Montagefläche des Kühlers verteilt werden müssen, um einen guten Kühlerwirkungsgrad zu erhalten.

Gleichzeitig entstehen längere Kommutierungswege, die höhere Streuinduktivitäten mit sich bringen. Wird das IGBT-Modul nun mit der für die minimal angegebenen Verlustenergien harten Ansteuerung geschaltet, ergeben sich hohe Schaltüberspannungsspitzen. Sie treten eventuell schon bei der Abschaltung des geforderten Nominalstroms auf, spätestens aber bei der Abschaltung von kurzzeitig zulässigen Über- oder Kurzschlussströmen.

Ein möglicher Ausweg ist es, die Ansteuerung der IGBT-Module weniger hart zu gestalten. Das verringert ihre Schaltge-

schwindigkeit und reduziert die Schaltüberspannungsspitzen in einen tolerierbaren Bereich. Dadurch erhöhen sich jedoch die dynamischen Verluste aus E_{on} , E_{off} und E_{offrec} deutlich und auch die Verlustleistung bei gleicher Strombelastung steigt. Eventuell kann der Kühlkörper die höheren Verluste dann nicht mehr abführen. Das wiederum kann dazu führen, dass die in der Spezifikation definierte Strombelastbarkeit der Wechselrichter nicht erreicht wird, oder nur in Form größerer Kühler und gegebenenfalls auch größerer IGBT-Module. Das steht natürlich den Forderungen in der Spezifikation bezüglich Größe, Gewicht und letztlich auch den Kosten entgegen.

Es sind vor allem die Streuinduktivitäten in den Kommutierungskreisen, die Entwicklern die Auslegung der IGBT-Module sehr schwer machen. Sie sind überall zu finden, im Modul selbst, in den Kondensatoren des Zwischenkreisfilters und in der Multi-layer-Verschienung des Zwischenkreises.

IGBT-Schaltdynamik meets Streuinduktivität – oder die Kunst der Ansteuerung

Streuinduktivitäten zwischen den einzelnen IGBT-Modulen und damit den entsprechenden Kommutierungspfaden lassen sich nicht vermeiden. Ein möglicher Ausweg besteht darin, die Schaltdynamik der IGBT-Module mit Hilfe dafür ausgelegter IGBT-Treiber an die jeweils auftretende Schaltsituation anzupassen. Dazu wird der zu schaltende Laststrom erfasst und aus dem definierten Normlaststrom heraus so hart wie möglich mit den geringsten erreichbaren Gatewiderständen geschaltet, um die dynamischen Verluste gering zu halten. Beim Schalten von Überströmen oder gar Kurzschlussströmen wird einmalig mit größeren Gatewiderständen sanfter geschaltet. Gebraucht wird dafür jedoch eine Ansteuerelektronik, die mindestens zweistufig,

eventuell auch asymmetrisch schaltend, oder gar mehrstufig ausgelegt ist. Im Highend-Bereich sind Treiberlösungen möglich, bei denen sowohl das Schalt-di/dt und das Schalt-dv/dt des IGBTs überwacht wird, als auch die Schaltdynamik des IGBTs auf die Gegebenheiten der kompletten Wechselrichter-Endstufe angepasst werden kann. Solche Treiberelektroniken haben natürlich nichts mehr mit der einfachen und problemlosen Ansteuerung zu tun. Sie sind teuer. Unter Umständen kosten sie genauso viel wie der von ihnen angesteuerte IGBT. Auch die damit verbundenen Entwicklungszeiten sollten Ingenieure auf keinen Fall unterschätzen. Schließlich müssen sie auch im schlimmsten di/dt- und dv/dt-Gewitter zuverlässig funktionieren und Spannungsunterschiede von einigen 100 mV detektieren, um damit den Reglereingriff zu steuern.

Beachten sollten Entwickler außerdem die von ihnen gewünschte Lebensdauer des IGBT-Moduls. Sie ist allerdings in vielen Fällen schwieriger abzuschätzen als es zunächst erscheint. Wie hoch die Lebenserwartung der IGBT-Module voraussichtlich sein wird, hängt davon ab, wie hart oder weniger hart sie in der

Applikation zyklisch erwärmt und dann wieder abgekühlt beziehungsweise zyklisch mit hohem Strom beaufschlagt werden. Durch entsprechend schonenden Betrieb kann ihre Lebenserwartung deutlich erhöht werden. Die Hersteller der IGBT-Module verfügen über entsprechende Informationen zur Lebensdauer in Abhängigkeit von Temperaturwechseln bei Wechsellast. Eine typische Wechsellastapplikation ist zum Beispiel der Einsatz eines Antriebswechselrichters für Personenaufzüge. Diese werden in mehreren Sekundenintervallen voll beschleunigt und wieder abgebremst, um die Passagiere ein- und aussteigen lassen zu können. Wird ein IGBT-Modul in dieser Applikation mit einem Temperaturhub von etwa 85 °C belastet, kann dieses schon in einem Zeitraum von zwölf Monaten das Ende seiner Lebenszeit erreichen. Der gleiche Wechselrichter betrieben als Antriebswechselrichter für eine Pumpe, welche kaum Laständerung erfährt, erreicht unter gleichen Lastbedingungen eine Lebensdauer von Jahren. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass in Wechsellast-behafteten Applikationen die IGBT-Module und deren Kühlung überdimensioniert werden sollten, um eine adäquate Lebensdauer zu erreichen. □

PIC® & AVR® MCUs

Zusammen sind
die Möglichkeiten unbegrenzt

Sie wollen Technologie intelligenter, effizienter und für jeden zugänglich machen? Microchip bietet die Möglichkeiten, Produkte und Tools zu entwickeln, die Ihr Designproblem einfach lösen, um zukünftige Anforderungen zu erfüllen. Microchips Angebot von mehr als 1200 8-Bit-PIC®- und AVR®-Mikrocontrollern ist nicht nur das branchenweit größte, sondern deckt auch neueste Techniken ab, um die Leistungsfähigkeit zu erhöhen, den Stromverbrauch zu verringern und die Entwicklungszeit zu verkürzen. Mit 45 Jahren Erfahrung in der Entwicklung kommerzieller und kostengünstiger MCUs ist Microchip der Anbieter erster Wahl, wenn es um umfassendes Know-how und Innovation geht.

Wesentliche Leistungsmerkmale:

- ▶ Autonome Peripherie
- ▶ Energieeffizient
- ▶ Robust
- ▶ Einfache Entwicklung

microchip
DIRECT
www.microchipdirect.com



MICROCHIP
www.microchip.com/8bitEU