



Grauzone – Betreten auf eigene Gefahr

Datenblattangaben für Leistungshalbleiter sind zugesicherte Werte der Hersteller. Doch für die Dimensionierung und Berechnung sind sie nur bedingt verwendbar.

TEXT: Thomas Schneider, GvA Leistungselektronik FOTO: Mansi Ltd., GvA Leistungselektronik  www.eue24.net/PDF/EE911501

Die Entwicklung immer kompakterer und effizienterer Anlagen für die Umwandlung und Übertragung elektrischer Energie erhöht dramatisch die Anforderungen, die an moderne Leistungshalbleiter gestellt werden. Die Optimierung des Wirkungsgrades steht oft an erster Stelle der Prioritätenliste von Lasten- und Pflichtenheften und stellt die Entwicklungsabteilungen, die sich mit diesen Vorgaben konfrontiert sehen, immer wieder vor Herausforderungen.

Die wirtschaftliche und technische Optimierung von Topologien für Umrichter, Gleichrichter oder Netzgeräte beschränkt sich nicht nur auf die eingesetzten aktiven und passiven Bauelemente, sondern bezieht den gesamten Herstellprozess inklusive dem notwendigen Materialeinsatz mit ein. In Zeiten, in denen die Rohstoffpreise sich als Spielball von Spekulanten erweisen, Naturkatastrophen sich häufen oder auch durch menschliche Unzulänglichkeit verursachte Pannen die Weltwirtschaft an den Rande des Kollaps bringen, kann man es sich nicht leisten, viel Auslegungsreserve in technische Anlagen zu integrieren. Auf den Punkt optimieren lautet die Devise und mit minimalem Rohstoffeinsatz die spezifizierten Daten der Anlagen zu erfüllen.

Viele Anlagen und Geräte absolvieren mittlerweile ihren Probelauf bereits in den virtuellen Umgebungen von Entwicklungsplattformen und Simulatoren, bevor überhaupt die erste Hardwareausführung gebaut wird. Doch so gut die elektrischen, thermischen und mechanischen Modelle auch sind, die Ergebnisse hängen immer von den Startwerten ab. Eine enge Ergebnistoleranz setzt meistens auch eine enge Toleranz der Initialwerte voraus und gerade für Schlüsselkomponenten energietechnischer Anlagen wie zum Beispiel Leistungshalbleiter, ist das nicht immer gegeben.

Technische Beschreibungen wie Datenblätter von IGBTs oder Thyristoren sind schwierig zu erstellen, da die auf den ersten Blick einfachen technischen Daten doch sehr komplex sind und in vielerlei gegenseitigen Abhängigkeiten stehen. Datenblätter müssen den Spagat zwischen der Übermittlung rein technischer Fakten und dem marketingtechnischen Versuch,



POWERCLIPS®
Transistorklammern
zur Befestigung von Leistungshalbleitern

- Kraft-Wege-Diagramme ermöglichen eine optimale Auslegung innerhalb der Applikation
- Schneller Prototypenbau
- Kundenspezifisches CAD-Design und Konstruktion von POWERCLIPS® auf Anfrage 100% korrosionsfrei durch Einsatz von rostfreiem Stahl
- Alle Klammern sind auch in isolierter Ausführung erhältlich

 **Kunze**
The Heatmanagement Company

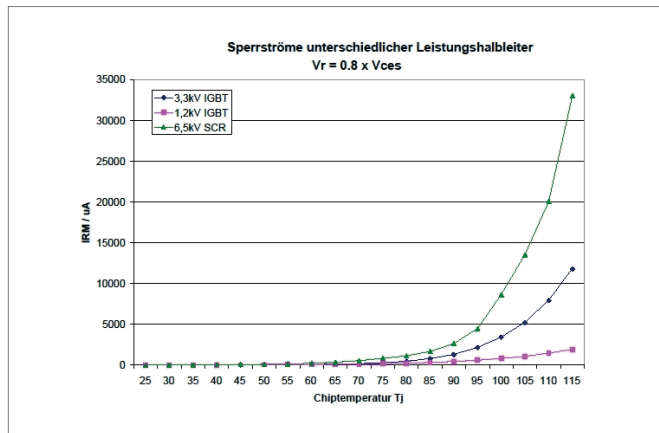


Abbildung 1: Sperrstromverlauf über der Temperatur bei verschiedenen Leistungshalbleitern

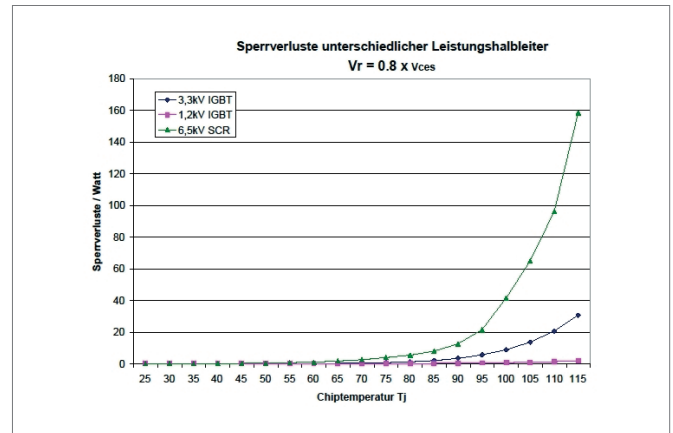


Abbildung 2: Sperrverlustleistung über der Temperatur bei verschiedenen Leistungshalbleitern

sich von der Konkurrenz abzusetzen, bewerkstelligen. Das macht sie nebenbei dann auch noch schwierig zu lesen oder gar mit denen anderer Hersteller zu vergleichen.

Viele Parameter, die in Datenblättern von Leistungshalbleitern aufgeführt sind, sind durch die verwendete Technologie wiederum von einem oder auch mehreren anderen abhängig. Ein globaler Parameter, der die Charakteristik in vielerlei Hinsicht beeinflusst, ist die Temperatur. Sie verändert die Durchlassspannung, das Sperrverhalten, die Dynamik und beschränkt die Leistungsfähigkeit eines Halbleiters. Da es sehr aufwändig ist, sämtliche Temperaturabhängigkeiten im Datenblatt zu beschreiben, beschränkt man sich auf Grenzwertangaben, die technisch sinnvoll erscheinen. Einige der wichtigsten Halbleiterangaben werden daher bei Raumtemperatur (25 °C) und maximaler Betriebstemperatur (technologieabhängig) ausgewiesen. Das Verhalten der Bauteile mit einer Temperatur, die dazwischen liegt, kann nur geschätzt werden, da die Abhängigkeiten in den seltensten Fällen linear verlaufen.

Besonders kritisch für die exakte Berechnung eines Schalters wird es, wenn nur eine Grenzwertangabe bei einer bestimmten Temperatur angegeben wird. Dies ist beispielsweise

se oft bei der Angabe des maximalen Sperrstroms eines Leistungshalbleiters der Fall. Viele Hersteller geben hier nur einen Grenzwert entweder bei Raumtemperatur oder bei maximaler Betriebstemperatur an. Doch da die Halbleiter im Umrichter oder im Netzteil später weder bei 25 °C noch permanent bei maximaler Betriebstemperatur arbeiten, kann man diese Angaben nicht direkt verwerten. Auch ein Vergleich des Sperrstroms für verschiedene Halbleiter hilft hier nicht weiter, denn aus den Datenblattangaben lässt sich keine Korrelation ableiten.

Sperrstromproblematik

Im Allgemeinen wird der Sperrstrom von Leistungshalbleitern und die damit verbundene Sperrverlustleistung eher als niedrig, oftmals als vernachlässigbar angesehen. Mit dem Vorstoß der Halbleitertechnik in den Mittelspannungsbereich ist diese Sichtweise nicht mehr so ohne Weiteres haltbar. Da die Datenblattangaben für den Sperrstrom eine genaue Dimensionierung nicht erlauben, wird oft das reale Sperrverhalten von Halbleitern ausgemessen. Die damit gewonnenen Ergebnisse können ähnlich aussehen wie die Kurven in Abbildung 1 und Abbildung 2.

Wie die Messkurven zeigen, bleibt naturgemäß die Sperrverlustleistung beim 1-200-V-IGBT über der Temperatur absolut gesehen noch sehr niedrig. Selbst bei 115 °C Sperrschichttemperatur werden nur etwa 2 Watt Sperrverluste erzeugt. Der 3.300-V-IGBT hingegen erreicht bei 115 °C Junction-Temperatur bereits etwa 33 Watt und der hochsperrende Thyristor liegt sogar bei etwa 160 Watt. Dass jedoch alle 3 Sperrstromverläufe der gleichen logarithmischen Gesetzmäßigkeit folgen, zeigt Abbildung 3.

SPANNUNGSKLASSE	1.200 V	1.700 V	3.300 V	6.500 V
Hersteller A Ices@25 °C	5 mA	5 mA	5 mA	0,4 mA
Hersteller B Ices@25 °C	1 mA	1 mA	4 mA	3-24 mA
Hersteller C Ices@25 °C	5 mA	5 mA	8-12 mA	25 mA
Hersteller D Ices@125 °C	120 mA	120 mA	120 mA	120 mA

Die Tabelle zeigt die Ices-Werte für Module verschiedener Hersteller für unterschiedliche maximale Sperrspannungen.

Die exemplarisch gemessenen Ströme liegen für alle drei Halbleiter bis zu einer Temperatur von 80 °C unter 1 mA. Im Bereich der Raumtemperatur (25 bis 35 °C) ist der Sperrstrom nochmals um den Faktor 100 (!) niedriger und erlaubt keine Aussage mehr, wie er sich mit steigender Temperatur verhalten wird.

Wenige Halbleiterhersteller geben die Sperrströme bei Raumtemperatur und Datenblatt an. Wenn diese beiden Angaben allerdings zur Verfügung stehen, lässt sich der große Unterschied zwischen den exemplarisch gemessenen Strömen und den Grenzwerten des Datenblattes deutlich erkennen. Der Bereich oberhalb der roten Linie ist vom Hersteller garantiert, die realen Werte dürfen unterhalb dieser Linie liegen. Hier erkennt man nun deutlich die Problematik, die auftritt, wenn Bauelemente und Peripherie (Kühlung) sehr eng und basierend auf exemplarisch gemessenen Werten dimensioniert werden.

Praxisbeispiel

In einer untersynchronen Stromrichter-kaskade soll ein AC-Crowbar-Schalter eingesetzt werden, der den Generator im Fehlerfall 3-phasig kurzschließt, um Überspannungen im DC-Zwischenkreis des Netzumrichters zu verhindern. Die maximale DC-Zwischenkreisspannung betrug 1.250 V, als Kurzschlussthyristor wurde ein 2.200-V-Bauelement mit entsprechender Stoßstromfestigkeit ausgewählt. Sperrstromprüfungen bei Raum-

temperatur im Rahmen der Erstmusterprüfung ergaben, dass die auftretenden Sperrverluste so niedrig waren, dass man sich entschlossen hat, das Thyristormodul mit seiner isolierten Bodenplatte direkt auf die Schaltschrankwand zu montieren. Aus Kostengründen wurden weder Kühlkörper noch den Wärmeübergang verbessernde Montagematerialien (Wärmeleitpaste oder -folie) verwendet. Dabei berücksichtigte man

All the power you need ...
 ...for applications with highest reliability

TFT-LCD Module

IGBT Module (NX-Serie)

MITSUBISHI ELECTRIC
 Changes for the Better

Semiconductor European Business Group
 www.mitsubishichips.eu · www.mitsubishichips.com
 semis.info@meg.mee.com

SPS/IPC DRIVES
 Stand 1-639

for a greener tomorrow

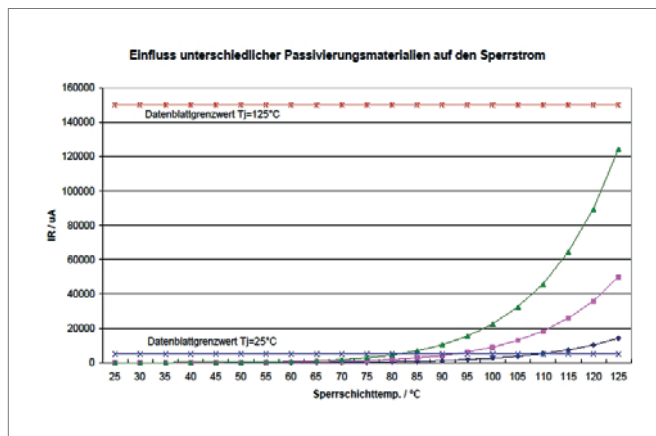


Abbildung 3: Sperrströme unterschiedlicher Leistungshalbleiter (log. Darstellung)

nicht, dass die Schaltschrankwand im Betrieb sich durch Wärmeabstrahlung und Kühlluft der Umrichter auf über 60 °C aufheizen konnte.

Nachdem die Anlage in den Feldeinsatz ging, häuften sich nach etwa drei Jahren Produktionszeit die Ausfälle von Thyristormodulen bei neuen Anlagen dramatisch. In vielen Anlagen traten bereits wenige Wochen nach der Inbetriebnahme Thyristorfehler auf, die das gesamte System außer Kraft setzten und sogar zu massiven Schäden führten. In der ersten Reaktion wurde vom Anwender die Qualität der Thyristoren in Frage gestellt und diese für die Ausfälle verantwortlich gemacht. Eine detaillierte Untersuchung durch ein unabhängiges Prüfinstitut unter Mitarbeit des Halbleiterherstellers ergab dann aber ein anderes Bild.

Problemfall Produktpflege

Im Rahmen der Produktpflege und der Sicherstellung der Lieferfähigkeit wechselte der Halbleiterhersteller den Hersteller des Passivierungslacks der Thyristoren von einem weniger bekannten Hersteller zu einem Weltmarktführer. Dieser Wechsel verbesserte auf der einen Seite drastisch die Sperrstromstabilität bei hoher Temperatur, führte aber auf der anderen zu erhöhten Sperrströmen im mittleren Temperaturbereich. Im Rahmen der normalen prozesstechnischen Schwankungsbreite erreichten nun einige der Thyristoren so hohe Sperrverluste, dass die sowieso schlechte Kühlung der Module durch die Schaltschrankwand nicht mehr ausreichte, um die Wärme abzuführen. Obwohl die Messwerte aller geprüften Halbleiter noch deutlich innerhalb der alten, immer noch gültigen Datenblattgrenzen lagen, versagten plötzlich einige der Module aufgrund eines „thermal runaways“.

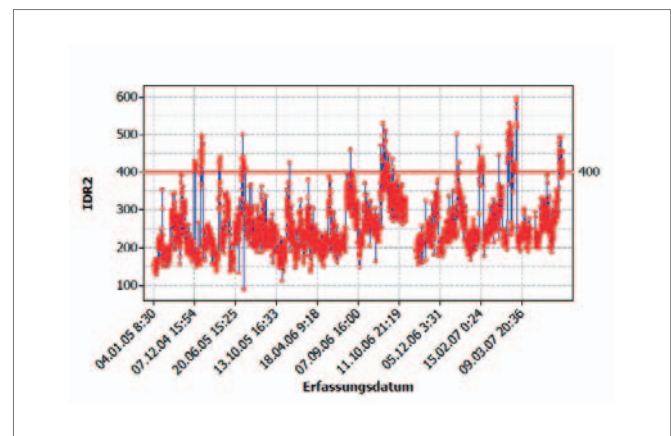


Abbildung 4: Parameterschwankung IDR (Sperrstrom bei 125 °C) eines 2.800-V-Thyristors über einen Produktionszeitraum von ca. 2 Jahren

Im Rahmen der Produktpflege und -verbesserung werden solche Änderungen im Herstellprozess von Leistungshalbleitern immer wieder durchgeführt und gewährleisten die sichere Funktion dieser Bauteile in den zugesicherten Grenzen.

Doch auch in einer kontinuierlich laufenden Fertigung sind die prozesstechnischen Schwankungen vieler Halbleiterparameter signifikant. Wie man aus den Werten in Abbildung 4 erkennen kann, ist aus einer exemplarischen Messung anhand von einzelnen Halbleitern keine Allgemeingültigkeit abzuleiten.

Speziell bei thermisch eng dimensionierten Geräten und dem Einsatz von hoch sperrenden Halbleitern müssen die oftmals als vernachlässigbar angesehenen Sperrverluste unbedingt berücksichtigt werden, um eine zuverlässige, thermisch stabile Dimensionierung zu erhalten. Bei unzureichend definierten Parametern im Datenblatt sollte unbedingt der Halbleiterhersteller oder dessen Vertriebspartner zu Rate gezogen werden, damit die Wahrscheinlichkeit für böse Überraschungen minimiert wird.

Betreten auf eigene Gefahr

Wie man sieht, kann selbst der als relativ einfach angesehene Sachverhalt des statischen Sperrverhaltens in bestimmten Fällen Probleme bereiten. Auch für weitere Betriebsparameter, die das Verhalten von Leistungshalbleitern noch stärker beeinflussen, etwa die Durchlassspannung und das dynamische Verhalten, gilt die gleiche Devise für die Grauzone der Datenblattangaben: Betreten auf eigene Gefahr. □

Der Beitrag wurde zuerst auf Englisch in Bodo's Power News, Oktober 2011, veröffentlicht.

> [MORE@CLICK EE911501](#)