

DIN EN IEC 60749-34-1

ICS 31.080.01

Einsprüche bis 2024-09-12

Entwurf

**Halbleiterbauelemente –
Mechanische und klimatische Prüfverfahren –
Teil 34-1: Leistungszyklusprüfung für Leistungshalbleitermodule
(IEC 47/2759/CD:2022);
Text Deutsch und Englisch**

Semiconductor devices –
Mechanical and climatic test methods –
Part 34-1: Power cycling test for power semiconductor module
(IEC 47/2759/CD:2022);
Text in German and English

Dispositifs à semiconducteurs –
Méthodes d'essais mécaniques et climatiques –
Partie 34-1: Essai de cycles en puissance pour modules de puissance à semiconducteurs
(IEC 47/2759/CD:2022);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-07-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Merianstraße 28, 63069 Offenbach am Main.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 37 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47/2759/CD:2022-03 „Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 34-1: Power cycling test for power semiconductor module“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 47 „Semiconductor devices“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 631 „Halbleiterbauelemente“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Inhalt

	Seite
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	6
4 Prüfgerät, TBD (Dauer bis zum Ausfall, en: time to Breakdown).....	8
5 Durchführung.....	10
6 Prüfbedingungen.....	12
6.1 Allgemeines.....	12
6.2 Lastwechselprüfung (kurze Dauer).....	12
6.3 Lastwechselprüfung (lange Dauer).....	13
6.4 Ziele der Prüfung.....	13
6.4.1 Zertifizierungsprüfung.....	13
6.4.2 Validierungsprüfung des Lebensdauermodells, TBD.....	13
7 Messungen.....	14
8 Ausfallkriterien.....	14
9 Schätzung der Lastwechselzyklus-Leistungsfähigkeit, TBD.....	16
9.1 Methode der drei Temperaturbedingungen.....	16
9.1.1 Verbesserung der Schätzungsgenauigkeit bei kleinen Stichprobengrößen.....	16
9.1.2 Lebensdauer-Abschätzung mittels <i>m</i> -Mittelwert-Methode.....	16
9.1.3 Abschätzung der Lastwechsel-Leistungsfähigkeit.....	17
9.2 Methode der zwei Temperaturbedingungen, TBD.....	18
9.2.1 Abschätzung der Lastwechsel-Leistungsfähigkeit.....	18
Bilder	
Bild 1 – Beispiel für die Grundstruktur eines Leistungshalbleitermoduls (schematische Darstellung) (Gehäusemodultyp für die industrielle Anwendung).....	8
Bild 2 – Beispiel einer grundlegenden Prüfschaltung für die Lastwechselprüfung (für IGBT-Module).....	9
Bild 3 – Beispiel einer einfachen Prüfschaltung für ein Leistungs-MOSFET-Modul.....	9
Bild 4 – Beispiel einer einfachen Prüfschaltung für ein Diodenmodul.....	10
Bild 5 – Beispiel für eine grundlegende Schaltung eines 6-in-1-IGBT-Moduls.....	10
Bild 6 – Ein Beispiel für ein Temperaturänderungsprofil und einen Ein-/Ausschaltzyklus der Lastwechselprüfung (kurze Dauer).....	11
Bild 7 – Ein Beispiel für ein Temperaturänderungsprofil und einen Ein/Aus-Zyklus des Lastwechselprüfverfahrens (lange Dauer).....	11
Bild 8 – Lebensdauer-Abschätzung durch die <i>m</i> -Mittelwert-Methode.....	17
Bild 9 – Ein Bild der Lastwechsel-Leistungsfähigkeit in der Lastwechselprüfung (kurze Dauer).....	17
Bild 10 – Ein Bild der Lastwechsel-Leistungsfähigkeit in der Lastwechselprüfung (lange Dauer).....	18
Bild 11 – Ein Beispiel für eine Lebensdauermodell-Validierungsprüfung.....	19

Tabellen

Tabelle 1 – Prüfbedingungen.....	14
Tabelle 2 – Ausfallkriterien in der Prüfung.....	15
Tabelle 3 – Der Stichprobenumfang N für Lastwechselprüfungen.....	16

Einleitung

Ein Leistungshalbleitermodul ist aufgrund der Verlustleistung der internen Halbleiterchips und der internen Verbindungen thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt. Dies tritt auf, wenn kleine Betriebsspannungen in Durchlassrichtung (unter Laststrom) periodisch ein- und ausgeschaltet werden, so dass schnelle Temperaturänderungen verursacht werden. Der Zweck des Lastwechselprüfverfahrens ist es, den Temperaturwechsel in typischen Anwendungen der Leistungselektronik zu simulieren, die sich von Anwendungen mit stabiler Temperatur im Rahmen der HTOL (Lebensdauer bei hoher Temperatur, en: High Temperature Operating Life) unterscheidet (siehe IEC 60749-23). Diese Prüfung führt möglicherweise nicht zu denselben Ausfallmechanismen wie die Thermozyklusprüfung oder die Thermoschockprüfung. Diese Prüfung ist eine zerstörende Prüfung und führt zum Verschleißausfall des Prüflings, wenn er über die Spezifikation des Geräts hinaus betrieben wird.

Die Lastwechselprüfung wird auf allgemeine industrielle Leistungshalbleitermodule angewandt, wie sie für Motorsteuerungen, Roboter und die Erzeugung erneuerbarer Energien verwendet werden. Die Lastwechselprüfung verfügt über zwei Modi: eine Prüfung mit kurzer Dauer (basierend auf der Zyklusdauer), die eine schnelle Beschleunigung und Verzögerung des Bauteils simuliert, und eine Prüfung mit langer Dauer (basierend auf der Zyklusdauer), die den wiederholten Betrieb und das Abschalten des Geräts simuliert. Bei der Prüfung mit kurzer Dauer werden vor allem die Auswirkungen der Temperaturänderung von T_{vj} geprüft, die eine Verschlechterung der Verbindung zwischen Chip und Draht sowie des Lots unter dem Chip verursacht. Bei der Prüfung mit langer Dauer werden die Auswirkungen der Temperaturänderung von T_c geprüft, die die Verschlechterung des Lots zwischen der metallischen Grundplatte und dem isolierenden Substrat sowie die Verschlechterung des Lots unter dem Chip verursacht.

Die Lastwechselprüfung wird in zwei Fällen durchgeführt: eine Zertifizierungsprüfung für die Produkte, deren Lastwechsel-Lebensdauermodell bereits bestätigt wurde, und eine Validierungsprüfung für die Produkte, deren Lebensdauermodell noch nicht bestätigt wurde. Der Zweck dieser Zertifizierung ist der Nachweis, dass das Produkt über eine längere Lebensdauer als die angegebenen Lastwechselzyklen verfügt.

Andererseits besteht der Zweck der Validierungsprüfung des Lebensdauermodells darin, das Lastwechsel-Lebensdauermodell anhand der Prüfergebnisse statistisch abzuschätzen und das erwartete Lebensdauermodell der Leistungsmodule zu erhalten. Dies ist erforderlich, wenn der Kunde seine Produkte auf eine Lebensdauer auslegt.

Halbleiterbauelemente – Mechanische und klimatische Prüfverfahren – Teil 34-1: Leistungszyklusprüfung für Leistungshalbleitermodule

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60749 beschreibt ein Prüfverfahren, das zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit eines Leistungshalbleitermoduls gegen aus Lastwechselzyklen resultierende thermische und mechanische Beanspruchungen der im Gehäuse montierten Halbleitermodule wie auch der innen liegenden Verbinder verwendet wird. Er basiert auf IEC 60749-34, Power Cycling (Lastwechselzyklen), wurde aber speziell für siliziumbasierte Leistungshalbleitermodule entwickelt.

Diese Prüfung verursacht Verschleißausfall und wird deshalb als zerstörend betrachtet.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60747-1:2006, *Semiconductor devices – Part 1: General*

IEC 60747-2:2000, *Semiconductor devices – Part 2: Discrete devices and integrated circuits – Rectifier diodes*

IEC 60747-6:2016, *Semiconductor devices – Part 6: Discrete devices – Thyristors*

IEC 60747-7:2010, *Semiconductor devices – Discrete devices – Part 7: Bipolar transistors*

IEC 60747-8:2010, *Semiconductor devices – Discrete devices – Part 8: Field-effect transistors*

IEC 60747-9:2007, *Semiconductor devices – Discrete devices – Part 9: Insulated-gate bipolar transistors (IGBTs)*

IEC 60747-15:2010, *Semiconductor devices – Discrete devices – Part 15: Isolated power semiconductor devices*

IEC 60749-3, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 3: External visual examination*

IEC 60749-23, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 23: High temperature operating life*

IEC 60749-34, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 34: Power cycling*

3 Begriffe

Die folgenden Begriffe gelten für dieses Dokument.

ANMERKUNG Weitere Begriffe bezüglich Halbleiterbauelemente finden sich in den Normen der Reihe IEC 60747 und IEC 60749.

3.1

Leistungshalbleitermodul

isoliertes Halbleitermodul mit zwei oder mehr Halbleiterchips in Gehäuseausführung und in Kunstharz-Gussform, das für Anwendungen in der Leistungselektronik verwendet wird

3.2

Prüfling

DUT, en: device under test
zu prüfendes Bauelement

3.3

Gehäusetemperatur

T_C

Temperatur der Gehäuseoberfläche direkt unter dem zu prüfenden Bauelement

3.4

Chip-Temperaturhub

ΔT_{vj}

Differenz zwischen der höchsten und der niedrigsten Ersatz-Sperrschichttemperatur (Chiptemperatur) des zu prüfenden Halbleiterbauelementes während eines Zyklus

3.5

Gehäuse-Temperaturhub

ΔT_C

Differenz zwischen der höchsten und der niedrigsten Gehäusetemperatur während eines Zyklus

3.6

niedrigste Ersatz-Sperrschichttemperatur

$T_{vj,min}$

niedrigste Ersatz-Sperrschichttemperatur des Bauelements während der Prüfung

3.7

höchste Ersatz-Sperrschichttemperatur

$T_{vj,max}$

höchste Ersatz-Sperrschichttemperatur des Bauelements während der Prüfung

3.8

niedrigste Gehäusetemperatur

$T_{C,min}$

niedrigste Gehäuse-Oberflächentemperatur direkt unter dem zu prüfenden Bauelement

3.9

höchste Gehäusetemperatur

$T_{C,max}$

höchste Gehäuse-Oberflächentemperatur direkt unter dem zu prüfenden Bauelement

3.10

Einschaltdauer

t_{on}

Dauer, während der das zu prüfende Halbleiterbauelement mit Laststrom beansprucht wird

3.11

Ausschaltdauer

t_{off}

Dauer der Abkühlphase während der Beanspruchung mit Laststrom

3.12

Zyklusdauer

Summe aus Einschaltdauer und Ausschaltdauer

3.13

Verlustleistung

P

Verlustleistung des zu prüfenden Halbleiterbauelementes, ermittelt aus der Stromform während der Einschaltdauer sowie aus Angaben in den Beschaffungsunterlagen (Datenblatt)

3.14

IGBT-Durchlassspannung

$V_{CE(sat)}$

Kollektor-Emitter-Dauerbetriebs-Einschaltspannung, wenn der IGBT erregt ist

3.15

MOSFET-Durchlassspannung

$V_{DS(on)}$

Drain-Source-Dauerbetriebs-Einschaltspannung, wenn der MOSFET erregt ist

3.16

Dioden-Durchlassspannung

V_F

Vorwärtsspannung bei stromführender Diode

4 Prüfgerät, TBD (Dauer bis zum Ausfall, en: time to Breakdown)

Das Lastwechselzyklus-Prüfsystem besteht aus einem Konstantstrom-Netzteil, das die Prüflinge mit Strom versorgt, einem Schaltkreis zum Ein- und Ausschalten des Stroms und einer Vorrichtung zur Kühlung der Prüflinge. Der Schaltkreis steuert den Kollektorstrom. Die Prüflinge werden mit einem Luft- oder Wasserkühlsystem gekühlt.

Bild 1 zeigt ein Beispiel für die Struktur einer typischen Leistungshalbleitermoduls für industrielle Anwendungen. Die Struktur des Leistungsmoduls kann aus Halbleiterchips (IGBT, MOSFET, Diode) bestehen, die auf einem isolierenden Substrat montiert sind. Das Substrat wird auf eine Kupfergrundplatte gelötet und in einem Gehäuse montiert. Die Elektroden-Klemmstellen im Gehäuse sind über Drähte mit dem Leistungshalbleiterchip verbunden.

Bild 1 zeigt ein Beispiel für die herkömmliche Struktur eines Leistungsmoduls, wobei es auch ein Modul ohne Grundplatte gibt. Alternativ weist die Chipverbindung eine Struktur mit Al, Cu-Draht und anderen vollwertigen Verbindungen auf.

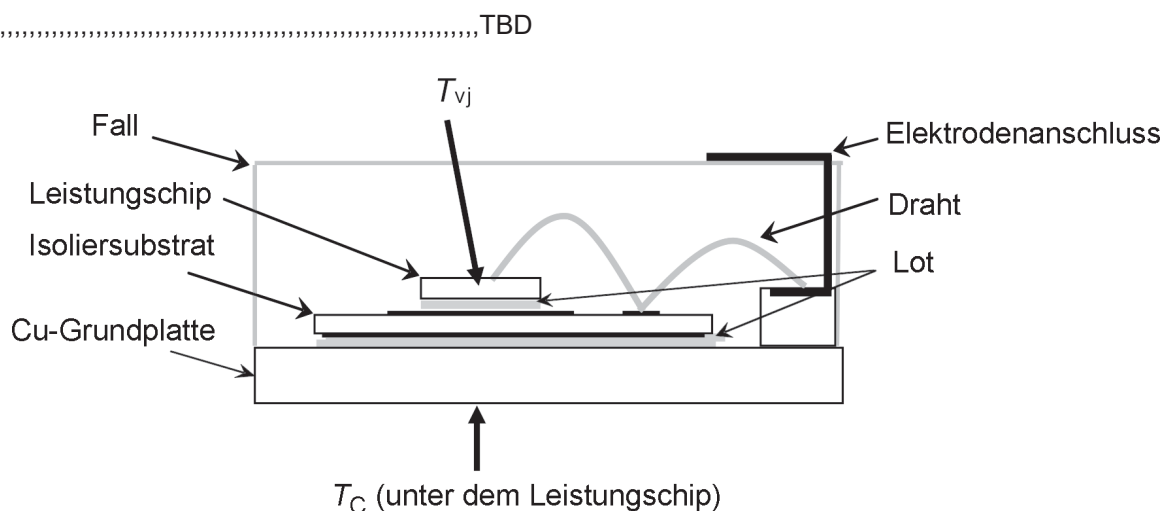


Bild 1 – Beispiel für die Grundstruktur eines Leistungshalbleitermoduls (schematische Darstellung) (Gehäusemodultyp für die industrielle Anwendung)

Bild 2 zeigt ein Beispiel einer Prüfanordnung für ein IGBT-Modul. Zunächst werden eine Konstantstromversorgung und eine Gatespannungsversorgung an die zu prüfende Phase des Prüflings angeschlossen. Anschließend wird der Phase der vorgegebene Strom durch Steuerung der Konstantstromversorgung oder der Gate-Spannung V_{GE} zugeführt. Dann wird ein Stromschalter gesteuert, der den Strom I_C des IGBT ein- und ausschaltet, um eine Temperaturänderung zu erzeugen.

Die zusätzliche Messschaltung, die für die Anwendung der VCE(T)-Methode zur Bestimmung der Sperrschichttemperatur T_{vj} erforderlich ist, wird in den Bildern 2, 3 und 4 weggelassen, da im Allgemeinen auch andere Methoden zur Bestimmung von T_{vj} möglich sind. Einzelheiten zur VCE(T)-Messschaltung können der geltenden IEC-Norm entnommen werden (siehe unten in Kapitel 5 „Bestimmung von $T_{vj,min}$, $T_{vj,max}$ “).

Das Verfahren zur Anwendung der ständigen elektrischen Beanspruchung (Bias) für die Kurzzeitprüfung ist wie folgt. Zunächst werden die Ein-/Ausschaltzeit und der Strom des Schaltkreises gesteuert, um ΔT_{vj} des IGBT auf eine bestimmte Temperatur einzustellen, dann wird die Prüfung gestartet. Nach einer kurzen Einlaufphase zur Prüfeinstellung, in der die Parameter festgelegt werden, müssen alle Steuerparameter (I_C , V_{GE} und die Ein-/Ausschaltzeit) bis zum Lebensdauerende konstant gehalten werden.

Bei der Langzyklusprüfung ist die ΔT_C des Prüflings auf die angegebene Temperatur einzustellen und die Prüfung zu starten.

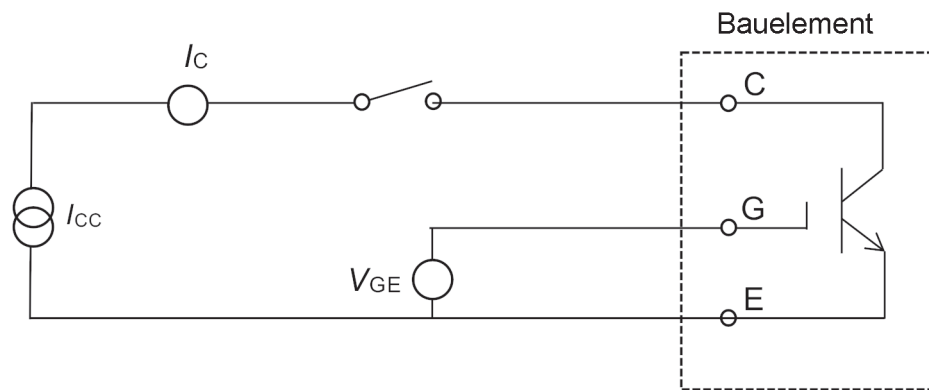


Bild 2 – Beispiel einer grundlegenden Prüfschaltung für die Lastwechselprüfung (für IGBT-Module)

In Bild 3 ist ein Beispiel einer Prüfschaltung für ein MOSFET-Modul dargestellt. Das Prüfverfahren ist das gleiche wie beim oben beschriebenen IGBT-Modul.

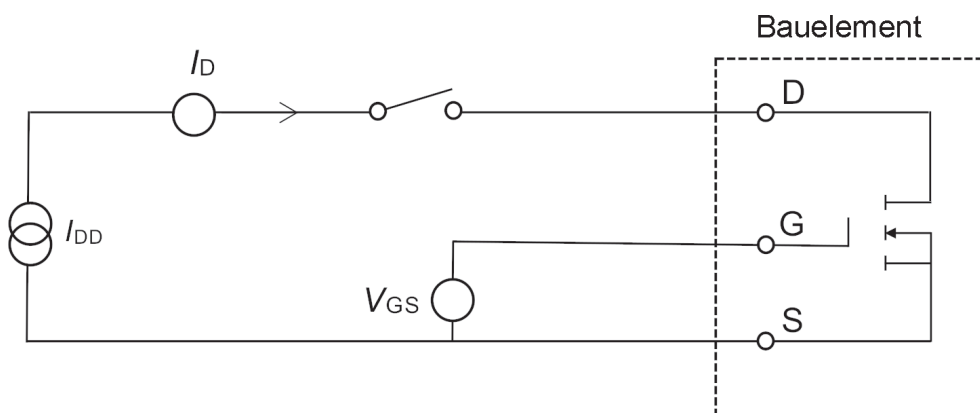


Bild 3 – Beispiel einer einfachen Prüfschaltung für ein Leistungs-MOSFET-Modul

Bild 4 zeigt ein Beispiel für die Prüfschaltung des Diodenmoduls. Bei der Prüfung des Diodenmoduls wird die Größe des Leitstroms (I_F) durch eine Konstantstromquelle gesteuert. Die Ein- und Ausschaltzeit des

Schaltkreises und die Einstellung der ΔT_{vj} des Chips oder der ΔT_C des Prüflings auf die angegebene Temperatur werden gesteuert.

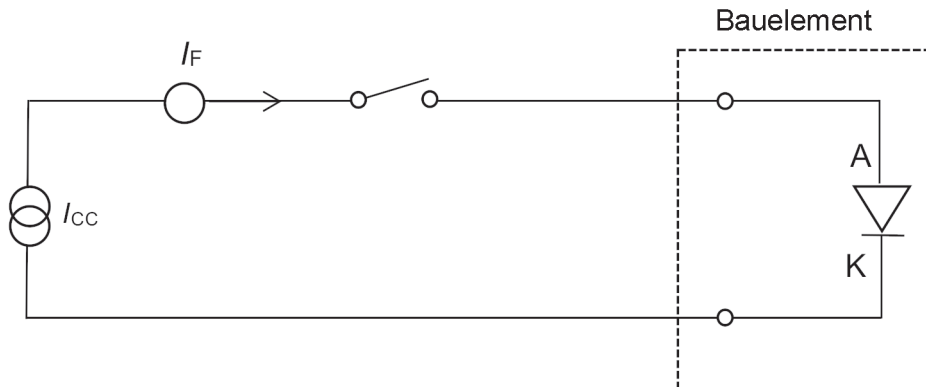


Bild 4 – Beispiel einer einfachen Prüfschaltung für ein Diodenmodul

5 Durchführung

In diesem Abschnitt wird das Prüfverfahren für ein 6-in-1-IGBT-Modul beschrieben. Bild 5 zeigt ein Beispiel einer grundlegenden internen Schaltung des Moduls.

Zunächst wird die Phase bestimmt, die unter den sechs Elementen unter denselben Bedingungen die geringste Lastwechselfähigkeit als schwächste Position aufweist, und zwar auf der Grundlage der Ergebnisse der strukturellen Auslegung, der Analyse, wie z. B. der thermischen Simulation, und der Messung der Temperatur, wenn ein Strom angelegt wird. Die Prüfung wird in der schwächsten Position durchgeführt. Bild 5 zeigt einen Fall, in dem sich die VN-Phase beispielhaft in der schwächsten Position befindet.

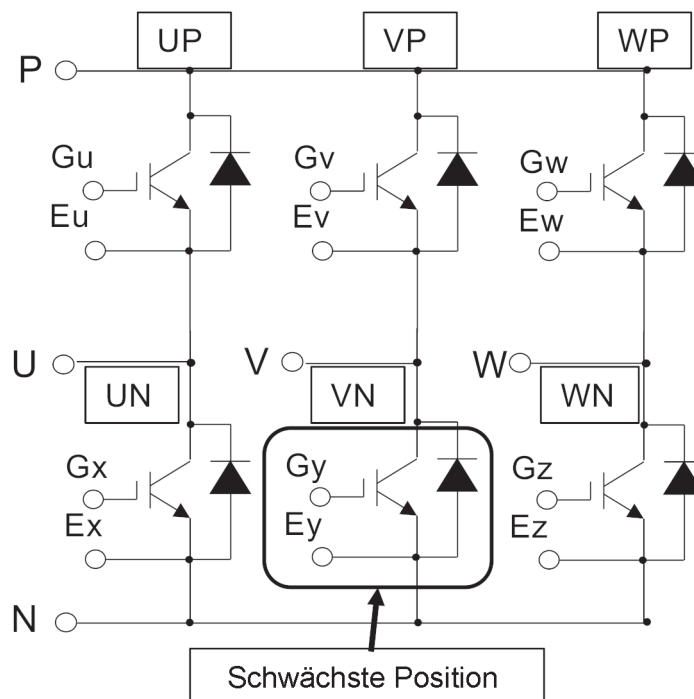
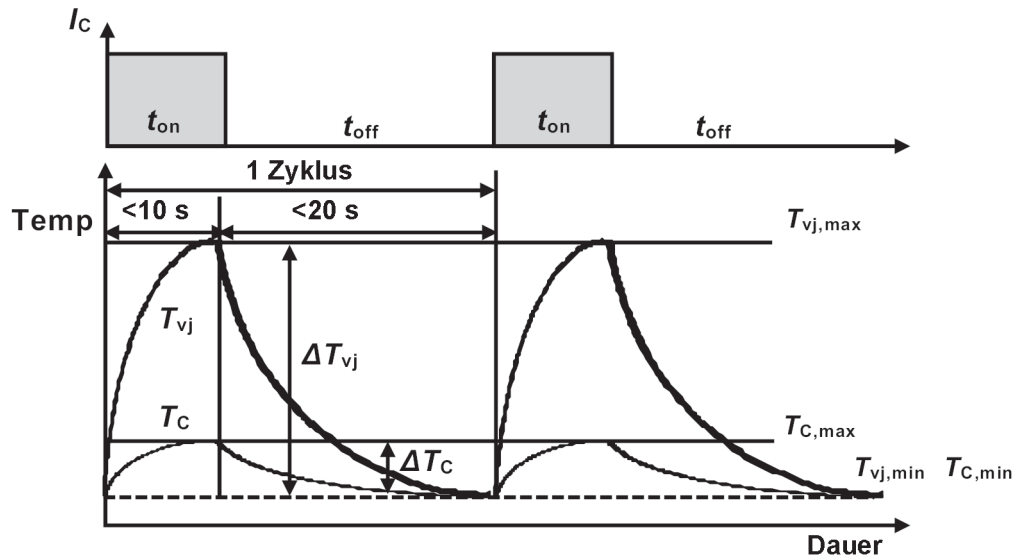


Bild 5 – Beispiel für eine grundlegende Schaltung eines 6-in-1-IGBT-Moduls

Als Nächstes wird das Temperaturwechselprofil eingestellt. Bild 6 zeigt ein Beispiel eines Profils der Lastwechselprüfung (kurze Dauer), und Bild 7 zeigt ein Beispiel der Lastwechselprüfung (lange Dauer). Die

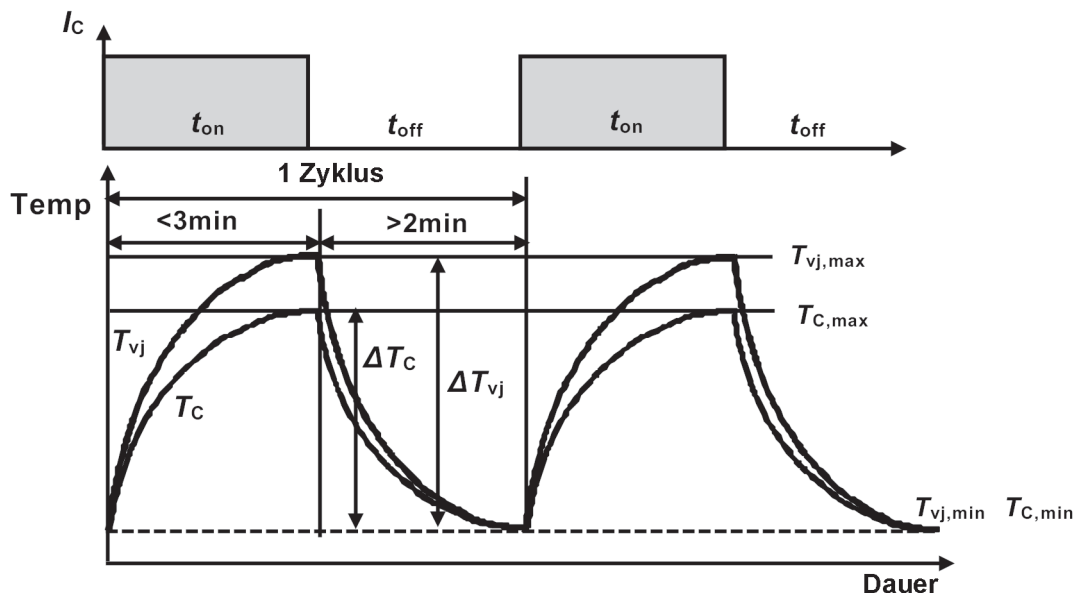
Dauer t_{on} und die Dauer t_{off} des Schaltkreises werden gesteuert und ΔT_{vj} oder ΔT_C wird auf den vorgegebenen Temperaturunterschied eingestellt. Jede kontinuierliche Dauer t_{on} und t_{off} wird als ein Zyklus definiert.

Dann wird wiederholt unter den festgelegten Bedingungen Strom an den Prüfling angelegt. Die Prüfung wird fortgesetzt, bis die Eigenschaften des Prüflings die Ausfall-Beurteilungskriterien überschreiten oder die angegebene Gesamtzahl der Zyklen erreicht ist.



ANMERKUNG t_{on} : Dauer, bis T_{vj} von $T_{vj,min}$ auf $T_{vj,max}$ ansteigt, t_{off} : Dauer, bis T_{vj} von $T_{vj,max}$ auf $T_{vj,min}$ fällt (die Zeiten im Bild sind Referenzwerte).

Bild 6 – Ein Beispiel für ein Temperaturänderungsprofil und einen Ein-/Ausschaltzyklus der Lastwechselprüfung (kurze Dauer)



ANMERKUNG t_{on} : Dauer, bis T_C von $T_{C,min}$ auf $T_{C,max}$ ansteigt, t_{off} : Dauer, bis T_C von $T_{C,max}$ auf $T_{C,min}$ fällt (die Zeiten im Bild sind Referenzwerte).

Bild 7 – Ein Beispiel für ein Temperaturänderungsprofil und einen Ein-/Aus-Zyklus des Lastwechselprüfverfahrens (lange Dauer)

Bestimmung von $T_{vj,min}$, $T_{vj,max}$:

Eine geeignete Methode zur Bestimmung der Ersatzsperrschichttemperatur $T_{vj,min}$ und $T_{vj,max}$ ist die VCE(T)-Methode. Die einschlägigen Normen für die Bauelemente erläutern die Einzelheiten der Messmethode in den Unterkapiteln über das Messprinzip für R_{thjc} (für IGBTs siehe z. B. IEC 60747-9 Ausgabe 2 Kapitel 6.3.13 Methode 1). Die VCE(T)-Methode ermöglicht eine Online-Überwachung von $T_{vj,max}$ und $T_{vj,min}$ und damit eine Online-Überwachung von $DT_j = T_{vj,max} - T_{vj,min}$.

Außerdem müssen der Laststrom (I_C , I_D oder I_F nach Bild 2, Bild 3 und Bild 4) und die jeweilige Durchlassspannung (V_{CEsat} , $V_{DS(on)}$ oder V_F) am Ende des Heizimpulses bei denselben Zyklen gemessen werden, für die auch $T_{vj,max}$ und $T_{c,max}$ bestimmt werden. Wenn $T_{vj,max}$, $T_{c,max}$, Laststrom und Durchlassspannung bekannt sind, kann R_{thjc} durch die folgende Gleichung bestimmt werden, die beispielhaft für IGBTs dargestellt ist:

$$R_{thjc} = (T_{vj,max} - T_{c,max}) / (V_{CEsat} * I_C)$$

Daher ermöglicht die VCE(T)-Methode eine Online-Überwachung des R_{thjc} -Wertes. Die Daten müssen nicht für jeden Zyklus erfasst werden, aber die Häufigkeit muss hoch genug sein, um das Ausfallkriterium für R_{thjc} nach Tabelle 2 zu erfassen.

Bei der Prüfung von Si-MOSFETs darf T_{vj} aus Gründen der Bauelementekonstruktion nicht im Kanal des Si-MOSFETs, sondern mittels der Körper-Diode bestimmt werden.

Alternative Methoden zur Messung der Chiptemperatur werden akzeptiert, wenn der Nachweis für die Korrelation mit der VCE(T)-Methode erbracht wird.

Alternativ wird die Berechnung von $T_{vj,max}$ mittels der gemessenen Verlustleistung P (z. B. $P = V_{CEsat} * I_C$ bei IGBTs), des gerätespezifischen $R_{thjc,i}$ und der gemessenen $T_{c,max}$ akzeptiert, wenn der Nachweis für die Korrelation mit der VCE(T)-Methode erbracht wird. In diesem Fall muss R_{thjc} vor der Lastwechselprüfung unter vergleichbaren Kühlbedingungen gemessen werden, um $R_{thjc,i}$ für jedes Gerät zu erhalten. $T_{vj,max}$ ergibt sich aus der Gleichung, die beispielhaft für IGBTs dargestellt ist:

$$T_{vj,max} = T_{c,max} + R_{thjc,i} * V_{CEsat} * I_C$$

Um $T_{vj,min}$ zu bestimmen, muss sichergestellt werden, dass sich T_c und T_{vj} am Ende der Kühlperiode im thermischen Gleichgewicht befinden. Unter diesen Bedingungen gilt die folgende Bedingung:

$$T_{vj,min} = T_{c,min}$$

Wenn $T_{vj,max}$ auf die oben beschriebene Weise berechnet wird, muss R_{thjc} in regelmäßigen Abständen überprüft werden, indem das Gerät vom Lastwechsel-Prüfstand abgenommen und R_{thjc} für jedes Bauteil auf einem separaten Gerät gemessen wird. Die Häufigkeit für diese Intervalle muss hoch genug sein, um das Ausfallkriterium für R_{thjc} nach Tabelle 2 zu erfassen.

6 Prüfbedingungen

6.1 Allgemeines

Die Prüfbedingungen werden aus Tabelle 1 als Typ der Prüfung ausgewählt.

Die Ein- und Ausschaltzeiten werden während der Prüfung konstant gehalten. Die vorgegebene Anzahl von Prüflingen wird geprüft. Wenn mehrere Prüflinge gleichzeitig unter angemessener Regelung der Last und der Temperatur aller Prüflinge geprüft werden, ist die Überwachung der Temperatur an einem repräsentativen Prüfling zulässig. Während der Prüfung wird die Temperatur aller zu prüfenden Prüflinge überwacht, auch wenn mehrere Prüflinge geprüft werden.

6.2 Lastwechselprüfung (kurze Dauer)

In der kurzen Lastwechselprüfung wird ΔT_{vj} des IGBT auf den vorgegebenen Temperaturunterschied eingestellt.