

Betrachtungen zum Gatewiderstand eines IGBT

Markus Hermwille, Semikron

Ein IGBT-Chip arbeitet bis auf wenige Sonderanwendungen im Schaltbetrieb. Die Schaltzeiten eines IGBT werden durch die inneren Kapazitäten und parasitären Induktivitäten im Zusammenwirken mit dem Ansteuerschaltkreis maßgeblich bestimmt. Somit kann das Schaltverhalten in weiten Grenzen über die Umladegeschwindigkeit der Gatekapazitäten beeinflusst werden.

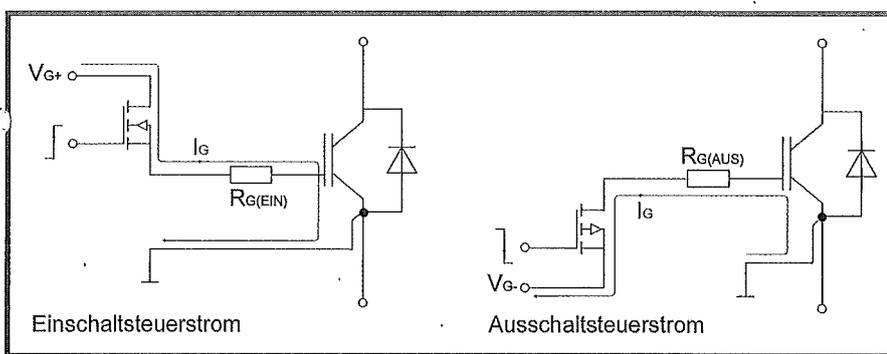


Bild 1. Steuerstrom des IGBT beim Ein- und Ausschalten

Das dynamische Verhalten des IGBT kann über den Wert des Gatewiderstands geregelt werden, der die Schaltzeit sowie Schaltverluste und eine Vielzahl anderer Parameter wie Spannungs- und Stromänderungen beeinflusst. Auswahl und Optimierung des Gatewiderstands sind daher sehr sorgfältig unter Berücksichtigung der Anwendungsbedingungen vorzunehmen.

Schaltverhalten von IGBTs

Im Unterschied zu bipolaren Transistoren, deren Schaltzeiten auf die Verläufe des Basisstroms und des Kollektorstroms bezogen sind, beziehen sich die Schaltzeiten von IGBTs auf die Verläufe von Gate-Emitter-Spannung und Kollektorstrom (I_c). Der Ansteuerschaltkreis beeinflusst zusammen mit den Gatewiderständen die Schaltzeiten (Einschalt- und Ausschaltzeit). Da die Gatekapazität vor den Schaltvorgängen auf die Absolutwerte der Steuerspannungen V_{G+} , V_{G-} aufgeladen ist, sinkt bei vorgegebenem Gatewiderstand die Umladezeit bis zur Strom- oder Spannungsänderung mit steigendem Umladestrom. Der Gatewiderstand hat Einfluss auf die Schaltzeiten und auf einen Großteil der Schaltverluste (Bild 1).

Ein niedriger Gatewiderstand ermöglicht ein schnelles Ausschalten des Kollektorstroms

und reduziert somit die Schaltverlustleistung. Andererseits erzeugt ein schnell abgeschalteter Strom I_c an den parasitären Induktivitäten des Hauptstromkreises eine Überspannungsspitze der Größe $V_{\text{streu}} = L_{\sigma} \cdot di/dt$ zwischen Kollektor und Emitter. Dieser Effekt wird in Bild 2 gezeigt.

Die schattierten Bereiche zeigen den relativen Wert der Schaltverluste. Die Überspannungsspitze kann zur Zerstörung des IGBT führen, insbesondere bei einer Kurzschlussabschaltung mit hohem di/dt . Durch Erhöhung des Gatewiderstands im Ausschaltpfad lässt sich das Risiko einer Zerstörung des IGBT vermeiden. Tabelle 1 skizziert die tendenziellen Auswirkungen von Änderungen der Gatewiderstände auf das IGBT-Schaltverhalten.

Bei sehr schnellem Einschalten entsteht eine hohe Rückstromspitze an der internen Inversdiode (Freilaufdiode), die den IGBT als Kollektorstromspitze zusätzlich beansprucht. Mit kleinerem Gatewiderstand steigt die Kommutierungsgeschwindigkeit in der Inversdiode. Durch die Verwendung von speziellen Dioden, so genannte CAL-Dioden (Controlled Axial Lifetime), die in ihren Eigenschaften auf den IGBT abgestimmt sind, lassen sich die Einschaltverluste des IGBT reduzieren. Das wird durch eine niedrige Rückstrom-

spitze erreicht. CAL-Dioden weisen ein Soft-Recovery-Verhalten auf.

Wie in Bild 2 dargestellt, wird die Treiberausgangsstufe üblicherweise mit zwei MOSFETs in Totem-Pole-Schaltung aufgebaut. Beide Gates der MOSFETs werden über das gleiche Signal angesteuert. Steht ein Ein-Signal an, dann ist der N-Kanal-MOSFET eingeschaltet. Bei einem Aus-Signal der P-Kanal-MOSFET. Dadurch erhält man eine Gegentaktanfangskonfiguration mit zwei Transistoren. Die MOSFET-Ausgangsstufen können mit ein oder zwei Ausgängen aufgebaut werden. Je nachdem, ob die Ausgangsstufe einen oder zwei Ausgänge besitzt, können unterschiedliche Konfigurationen zur symmetrischen oder asymmetrischen Ansteuerung mit ein oder zwei Gatewiderständen ($R_{G(EIN)}$, $R_{G(AUS)}$) realisiert werden. Empfohlen wird die Verwendung einer asymmetrischen Ansteuerung. Hauptvorteil dieser Lösung ist die getrennte Optimierungsmöglichkeit von Ein- und Ausschaltvorgang hinsichtlich Einschaltüberstrom und Ausschaltüberspannung bzw. des Kurzschlussverhaltens. Steht nur ein Ausgangs-

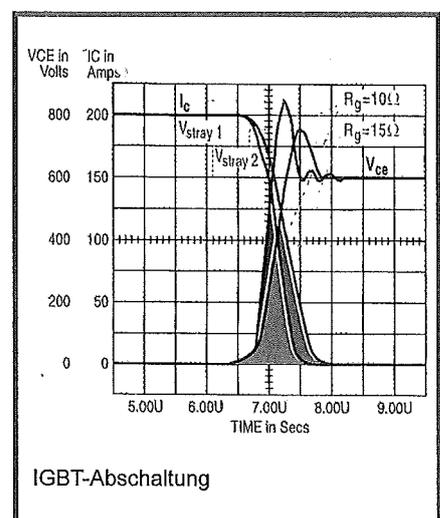


Bild 2. Abschaltverhalten des IGBT bei verschiedenen Gatewiderständen

Kenndaten / Eigenschaften	$R_g \nearrow$	$R_g \searrow$
I_{EM}	\nearrow	\searrow
I_{AUS}	\nearrow	\searrow
E_{EM}	\nearrow	\searrow
E_{AUS}	\nearrow	\searrow
Einschaltspitzenstrom	\searrow	\nearrow
Ausschaltspitzenstrom Diode	\searrow	\nearrow
dv/dt	\searrow	\nearrow
di/dt	\searrow	\nearrow
Spannungsspitze	\searrow	\nearrow
Störstrahlung	\searrow	\nearrow

Tabelle 1. Kenndaten eines IGBT in Abhängigkeit von R_g

anschluss für R_g zur Verfügung, kann die asymmetrische Ansteuerung auch durch die Parallelschaltung des Einschaltwiderstands in Reihe mit einer Diode (Kathode in Richtung IGBT-Gate) und des Ausschaltwiderstands in Reihe mit einer weiteren Diode (Anode in Richtung IGBT-Gate) erzielt werden.

Dimensionierung des Gatewiderstands

Ein Gatewiderstand muss ein optimales Schaltverhalten realisieren. Dies gilt für niedrige Schaltverluste, die Vermeidung von Schwingungen im IGBT-Modul, niedrige Rückstromspitzen an der Diode und eine maximale Begrenzung von dv/dt. In den meisten Anwendungen werden IGBT-Module, die für große Ströme ausgelegt sind, mit kleineren Gatewiderständen gesteuert. Analog dazu werden für IGBT-Module mit kleine-

ren Nennströmen größere Gatewiderstände verwendet. Der individuelle Gatewiderstand muss für jeden Aufbau optimiert werden. Der im Datenblatt des IGBT angegebene Gatewiderstandswert ist ein Minimalwert. Unter den dort spezifizierten Bedingungen kann der doppelte Nennstrom sicher abgeschaltet werden. In der Praxis kann der im IGBT-Datenblatt genannte Widerstandswert aufgrund der Unterschiede zwischen der Testschaltung und den jeweiligen Anwendungsbedingungen nicht immer erreicht werden. Der doppelte Betrag des Datenblattwertes kann für eine optimierte Anpassung dienen. Der einzige Weg zur genauen Bestimmung des endgültigen Werts führt über Tests und Messungen in der jeweiligen Anwendung.

Es ist wichtig, die parasitären Induktivitäten in Anwendungen zu minimieren. Ein induktionsarmer Aufbau des Zwischenkreises ist empfehlenswert. Dies ist notwendig, um die Ausschaltüberspannung am IGBT innerhalb der Grenzen zu halten, insbesondere unter Kurzschlussbedingungen. Der Gatewiderstand bestimmt auch den Gatespitzenstrom I_{GM} . Eine Erhöhung des Gatespitzenstroms reduziert sowohl die Ein- und Ausschaltzeiten als auch die Schaltverluste. Der Maximalwert für den Gatespitzenstrom und entsprechend der Minimalwert für den Gatewiderstand werden durch die Leistungsfähigkeit der Treiberausgangsstufe bestimmt.

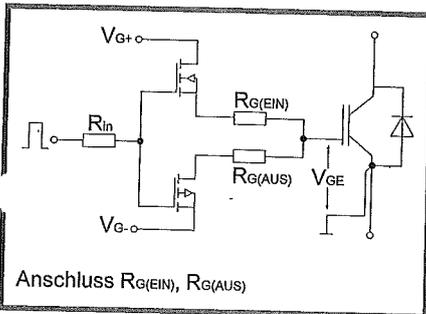


Bild 3. Ansteuerschaltung mit zwei MOSFETS

Auslegung und Fehlervermeidung

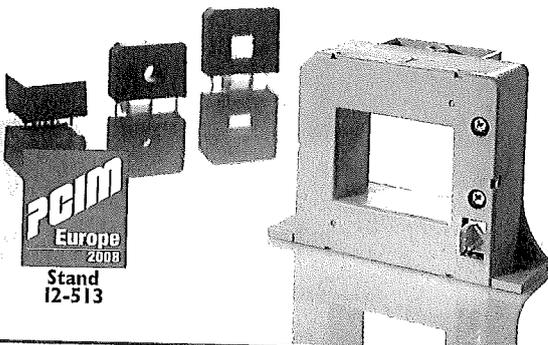
Aufgrund der Last, die auf den Gatewiderständen ruht, ist der Einsatz von parallel geschalteten Widerständen ratsam. Dies würde eine Redundanz schaffen und somit den zeitweiligen Betrieb bei höheren Schaltverlusten ermöglichen, falls ein Gatewiderstand beschädigt würde. Sollten sowohl die Verlustleistung als auch das Spitzenleistungsvermögen des Widerstands nicht ausreichen, oder sollte ein nicht stoßstromfester Widerstand zum Einsatz kommen, führt dies zur Überhitzung oder Zerstörung des Gatewiderstands. Im Betrieb muss der Gatewiderstand einen kontinuierlichen Strom von Impulsen aushalten. Daher benötigt er eine bestimmte Spitzenleistungsfähigkeit. Ist der gewählte Gatewiderstand zu hoch, entstehen erhebliche Schaltverluste. Der Gatewiderstand muss dann verringert werden. Sehr kleine Gatewiderstände führen zu höheren dv/dt- bzw. di/dt-Werten und somit zu unerwünschten Störungen.

Eine zu hohe Induktivität in der Anwendung oder ein kleiner Ausschaltgatewiderstand bewirkt einen höheren di/dt-Wert und verursacht eine Spannungsspitze am IGBT. Folglich sollte die Induktivität minimiert oder der Ausschaltgatewiderstand vergrößert werden. Um die Überspannung im Falle eines Kurzschlusses zu verringern, kann eine Kurzschlussanftabschaltung (Soft-Turn-Off) verwendet werden, die den IGBT im Kurzschluss langsamer ausschaltet. Wichtig ist, die Schaltinduktivität im Gatestromkreis durch kurze, möglichst verdrehte Leitungen gering zu halten, da diese im Zusammenwirken mit den Kapazitäten des IGBT parasitäre Schwingungen verursachen kann. Diese Schwingungen können somit mittels einer kürzeren Leitungsführung oder einem größeren Gatewiderstand gedämpft werden. (jo)

- Semikron
- Kennziffer: 201
- www.el-info.de ▶ Webcode: 05201

Stromsensoren vom Partner mit Anwender-Know how

Ströme messen – Kosten vergleichen



Stromsensor-Komplettlösungen für Ihre individuellen Leistungs-Parameter. Höchste Genauigkeit, kompakte Bauweise, faire Preise.

Messbereich von 1 bis 2.500 Ampere – ideal für komplexe Anforderungen.

Ebenso präzise: Unsere Beratung und unser Service. Daran können Sie uns messen!

BFI OPTILAS GmbH
Magnetic Components
Assar-Gabrielsson-Str. 1
D-63128 Dietzenbach
Germany
Tel.: +49 (0)6074 4098-0
Fax: +49 (0)6074 4098-10
ipe.de@bfioptilas.de
www.bfioptilas.de

