

SiC-Module richtig steuern

Auch in Power-Modulen, wie sie bislang für Silizium-IGBTs eingesetzt wurden, finden sich immer häufiger Siliziumkarbid-Mosfets. Um ihr Potenzial voll auszuschöpfen, ist ein robuster und schneller Gate-Treiber essenziell.

Pierre Delatte
CTO von Cissoïd

Halbleiter mit großer Bandlücke (Wide Bandgap; WBG) – insbesondere Siliziumkarbid (SiC) – werden immer beliebter, da der Automobilbereich diese immer ausgereifere Technologie mit hohem Wirkungsgrad und höherer Leistungsdichte für sich entdeckt hat. Doch auch industrielle Anwendungen profitieren zunehmend von den Vorteilen dieser Leistungstransistoren.

Um das schnelle Schalten und die geringeren Verluste der SiC-Mosfets voll auszuschöpfen, sind zwei wesentliche Herausforderungen zu bewältigen: die Beschaffung optimierter Leistungsmodule mit geringen parasitären Induktivitäten sowie ein robuster und schneller Gate-Treiber,

mit dem sich diese zuverlässig und effizient ansteuern lassen.

Dieser Beitrag stellt den Gate-Treiber *CMT-TIT8243* von Cissoïd vor (*Tabelle 1; [1]*). Dieser erfüllt die wesentlichen Anforderungen der Ansteuerung von 62-mm-SiC-Mosfet-Modulen:

- Schnelles Schalten (hoher du/dt -Wert) für hohen Wirkungsgrad,
- hohe Schaltfrequenz für hohe Leistungsdichte,
- robust gegen hohe Spannungen und
- sicherer und zuverlässiger Betrieb.

■ Schnelles Schalten

SiC-Mosfets können schnell schalten, weswegen die Flankensteilheit (du/dt) sehr

hoch und damit die Schaltverluste niedrig sind. Bei einem bestimmten Baustein lassen sich die Schaltverluste durch kleinere externe Gate-Widerstände reduzieren (*Bild 1*). Dadurch erhöht sich der Spitzen-Gate-Strom und das du/dt . Ein Gate-Treiber muss daher in der Lage sein, einen solch hohen Spitzen-Gate-Strom zu liefern, um niedrige Schaltverluste zu ermöglichen.

Zu beachten ist, dass SiC-Mosfet-Leistungsmodule in der Regel intern gedämpft sind, um das du/dt zu begrenzen und Schwingungen innerhalb des Moduls zu vermeiden. Das Modul *CAS300M12BM2* von Wolfspeed [2] beispielsweise verfügt über einen internen Gate-Widerstand von 3Ω [3]. Bei Steuerspannungen von $+20 \text{ V}/-5 \text{ V}$ begrenzt der interne Gate-Widerstand den maximalen Gate-Strom auf $8,3 \text{ A}$. Es wird empfohlen, einen minimalen externen Widerstand (zum Beispiel $2,5 \Omega$) hinzuzufügen, um Schwingungen zu vermeiden. Der Spitzenstrom ist damit in der Praxis auf $4,5 \text{ A}$ begrenzt. Mit einem maximalen Gate-Strom von 10 A bei $+125 \text{ °C}$ kann der Gate-Treiber SiC-Mosfet-Module für $1200 \text{ V}/300 \text{ A}$ mit maximalem du/dt und minimalen Schaltverlusten betreiben.

Da hohe Werte für das du/dt erwünscht sind, um die Schaltverluste von SiC-Mosfets zu verringern, ist das Design des Gate-Treibers eine Herausforderung. Denn ein hohes du/dt erzeugt über den parasitären Kapazitäten der Isolationsbarriere (also über dem Transformator und den Signalisolatoren) einen hohen Gleichtaktstrom, der den Betrieb des Gate-Treibers stören

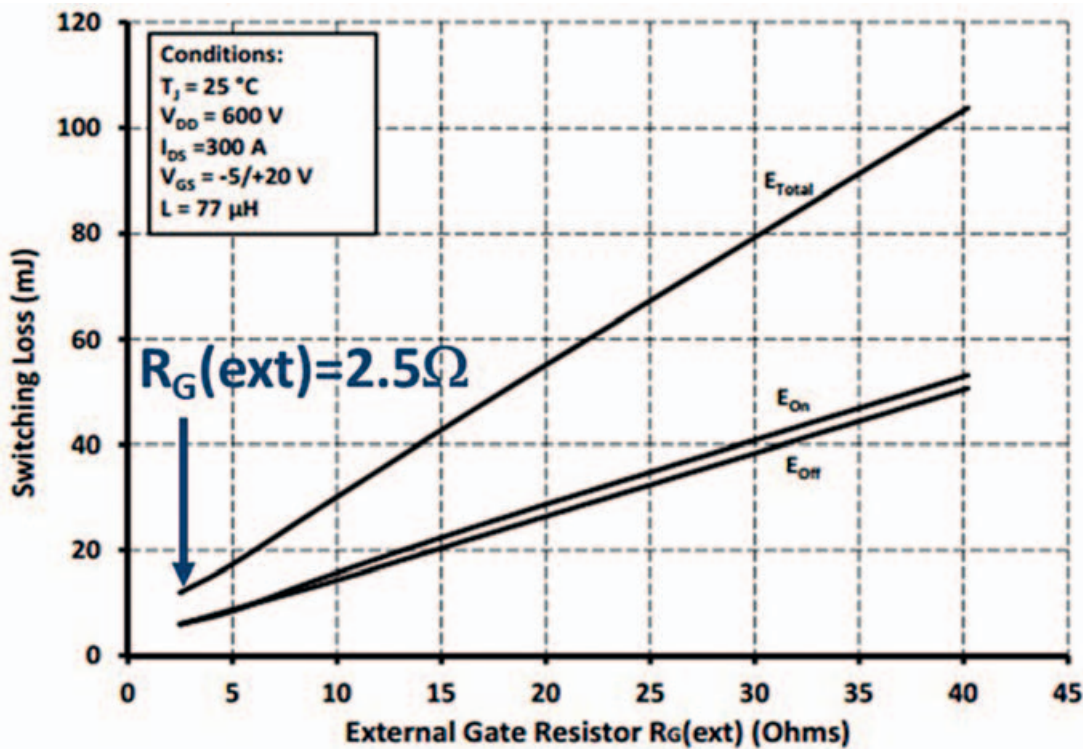


Bild 1: Schaltverluste bei verschiedenen externen Gate-Widerständen für das Modul CAS300M12BM2 von Wolfspeed [3].

und zu einem unerwünschten Verhalten wie parasitäres Ein- oder Ausschalten führen kann. Beim CMT-TIT8243 wurde der Transformator für eine niedrige parasitäre Kapazität optimiert, um Gleichtaktströme zu minimieren. Die gesamte parasitäre Kapazität beträgt weniger als 10 pF zwischen dem High-Side-Treiber und der Primärseite, einschließlich Transformator und Isolatoren. Damit garantiert der Treiber einen einwandfreien Betrieb bei einem du/dt über 50 kV/ μ s.

Außerdem verfügt der Gate-Treiber über eine differenzielle RS-422-Schnittstelle für PWM-Eingangssignale, um die Signalintegrität bei schnellen Übergängen der Leistungsstufe zu verbessern. Bei parasitären Kapazitäten von weniger als 10 pF zwischen Primär- und Sekundärkreis und bei du/dt -Werten bis zu 50 kV/ μ s liegen die Gleichtaktströme immer noch nahe bei 0,5 A. Solch hohen Ströme können die Eingangssignale stören, falls eine Single-Ended-Schnittstelle zum Einsatz kommt.

Bild 2 zeigt einen Doppelpuls des Gate-Treibers CMT-TIT8243 und des Moduls CAS300M12BM2 bei 250 A/600 V. Bild 3 zeigt das Einschalten des High-Side-Schalters mit einem du/dt von über 40 kV/ μ s und sauberen Gate-Signalen.

Hohe Schaltfrequenz und Isolation

Durch ihre geringen Schaltverluste können SiC-Transistoren die Schaltfrequenz von Leistungswandlern erhöhen und gleichzeitig die Kühlung leistungselektronischer Bauelementen unter Kontrolle halten. Dies reduziert die Größe von Filtern und Transformatoren und ermöglicht wesentlich kleinere und leichtere Leistungswandler. Um hohe Schaltfrequenzen sicherzustellen, muss der isolierte DC-DC-Wandler des Gate-Treibers einen ausreichenden großen durchschnittlichen Gate-Strom liefern können, der sich

| Parameter | min. | max. | Bedingungen |
|---|-------|-----------|---|
| Gate-Strom (max.) / A | 10 | | $R_{G(\text{on})} = R_{G(\text{off})} = 0\text{ }\Omega$, $T_a = +125\text{ °C}$ |
| Durchschnittlicher Gate-Strom (max.) / mA | 95 | | $T_a = +125\text{ °C}$, $V_+ = 20\text{ V}$, $V_- = -5\text{ V}$ |
| Positive Steuerspannung / V | 19,4 | 20,6 | -40 °C bis $+125\text{ °C}$, von 0 A bis max. Last |
| Negative Steuerspannung / V | -5,2 | -4,8 | -40 °C bis $+125\text{ °C}$, von 0 A bis max. Last |
| Parasitäre Kapazität / pF | | 10 | zwischen High-Side und Primärkreis |
| du/dt (max.) / kV/ μ s | 50 | | |
| Drain-Source-Spannung / V | | 1200/1700 | |
| Isolationsspannung / kV | 3,6 | | 50 Hz, 1 min. |
| Kriech-/Luftstrecke / mm | 14/12 | | |
| Dauerbetriebstemperatur / °C | -40 | +125 | |

Tabelle 1: Hauptmerkmale des Gate-Treibers CMT-TIT8243.

Anzeige

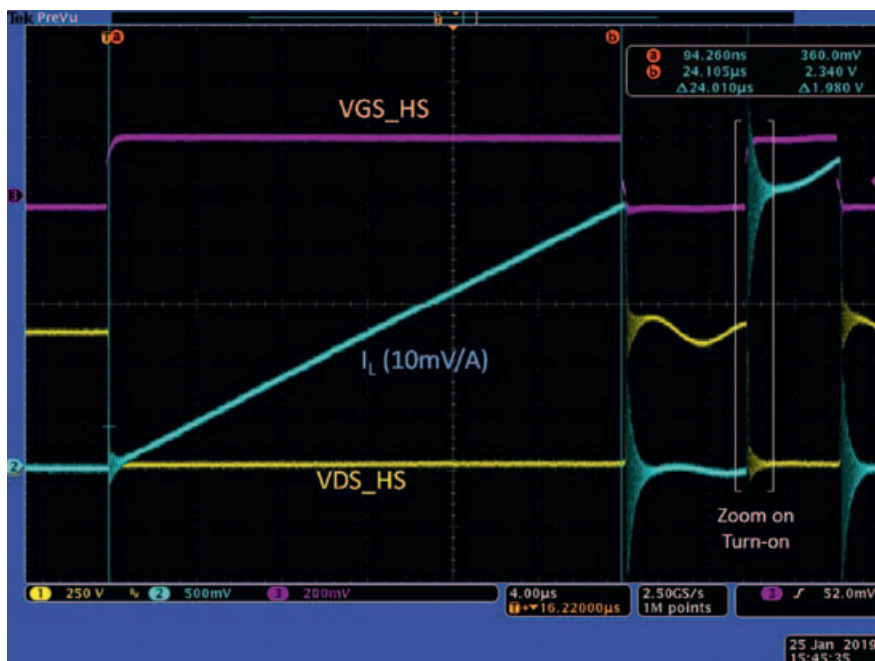


Bild 2: Doppelpuls mit dem Gate-Treiber CMT-TIT8243 und dem Leistungsmodul CAS300M12BM2.

Bild 3: Einschalten mit dem Gate-Treiber CMT-TIT8243 und dem Leistungsmodul CAS300M12BM2 bei einem du/dt von über $40 \text{ kV}/\mu\text{s}$ [2].

aus der Multiplikation von gesamter Gate-Ladung und Schaltfrequenz ergibt.

Der *CMT-TIT8243* liefert einen durchschnittlichen Gate-Strom von 95 mA pro Kanal. Mit SiC-Mosfet-Modulen für $1200 \text{ V}/300 \text{ A}$ steht eine Gate-Gesamtladung von circa $1 \mu\text{C}$ bei $800 \text{ V}/300 \text{ A}$ [2] bereit, das heißt, der Gate-Treiber kann mit einer Schaltfrequenz von 92 kHz betrieben werden. In der Praxis begrenzt nicht der

Gate-Treiber die Schaltfrequenz, sondern die Schaltverluste im Modul.

Die SiC-Mosfet-Technologie trägt auch dazu bei, eine hohe Leistungsdichte durch eine höhere Sperrschichttemperatur zu erzielen. Mit zunehmender Leistungsdichte im Inneren des Wandlers steigt auch die Umgebungstemperatur.

Wird viel Aufwand für die Kühlung dieser Leistungsmodule betrieben, wird

oft die Kühlung des Gate-Treibers vernachlässigt. Dieser Gate-Treiber kann bei einer Betriebstemperatur von $+125 \text{ }^\circ\text{C}$ ohne Derating in Bezug auf den maximalen durchschnittlichen Gate-Strom einen thermischen Spielraum für Wandler mit hoher Leistungsdichte bieten und so deren thermisches und mechanisches Design vereinfachen.

Eine stabile und genaue positive Ansteuerspannung ist wichtig, da der Durchlasswiderstand des SiC-Mosfets mit der Gate-Source-Spannung abnimmt. Sind die Schwankungen bei der positiven Treiber-Spannung recht groß, sind auch größere Toleranzen bei der thermischen Auslegung des Leistungswandlers einzuhalten. Der *CMT-TIT8243* bietet eine Genauigkeit von besser als 5% für die positive Steuerspannung, um das thermische Design der Leistungsstufe zu vereinfachen.

Die SiC-Technologie kann ihre Vorteile bei Sperrspannungen ab 600 V ausspielen. Außerdem erzeugen hohe Werte von du/dt und di/dt Spannungsüberhöhungen an den parasitären Induktivitäten innerhalb des Versorgungskreises, einschließlich des Leistungsmoduls, der Sammelschiene und des Zwischenkreiskondensators (DC Link). Der Gate-Treiber wird ebenfalls mit diesen hohen Spannungen beaufschlagt und muss eine hohe Isolation gewährleisten.

Der Gate-Treiber *CMT-TIT8243* bietet eine Isolationsspannung von mindestens 3600 V (50 Hz , 1 min.) sowohl von High-Side zu Low-Side als auch von Low-Side beziehungsweise High-Side auf Primärseite). Auch wurde der Treiber mit hohen Isolationsabständen für einen sicheren Betrieb in verschmutzten Umgebungen konzipiert. Daher liegen die Luft- und Kriechstrecken zwischen Primär- und Sekundärseite bei 12 mm beziehungsweise 14 mm .

■ Sicherer und zuverlässiger Betrieb

Leistungstransistoren müssen mit einer negativen Spannung abgeschaltet werden, um ein parasitäres Einschalten während des Übergangs zu verhindern. Diese negative Spannung muss jedoch gut gesteuert werden, da eine zu stark negative Gate-Vorspannung die langfristige Zuverlässigkeit des Gate-Oxids im SiC-Mosfet beeinträchtigen kann [4]. Der *CMT-TIT8243* bietet für die negative Steuerspannung eine Genauigkeit von mindestens 5% .

Der Schutz vor Fehlern für Gate-Treiber ist entscheidend – dies gilt umso mehr für

die Ansteuerung schnell schaltender Bauelemente wie SiC- oder GaN-Transistoren. Zu den wesentlichen Schutzfunktionen zählen:

- **Unterspannungssperre (Undervoltage Lock-Out, UVLO):** Der Treiber überwacht die primärseitige Versorgungsspannung sowie die sekundärseitigen Ausgangsspannungen des isolierten DC-DC-Wandlers und meldet einen Fehler, wenn die Werte unter dem programmierten Schwellenwert liegen. Die Hysterese verhindert ein falsches Fehlerereignis.
- **Überlappungsschutz (Totzeit):** Diese sorgt dafür, dass High- und Low-Side-Leistungsschalter niemals gleichzeitig leitend sind (Shoot Through).
- **Aktive Miller-Klemmung (Active Miller Clamping, AMC):** Sie sorgt für eine Umgehung des negativen Gate-Widerstands nach dem Ausschalten, um die Leistungs-Mosfets vor parasitärem Einschalten zu schützen. Diese Funktion ist sehr hilfreich bei schnell schaltenden SiC-Mosfets, die einen hohen Strom durch die Miller-Kapazität C_{gd} erzeugen.
- **Entsättigungserkennung (Desaturation):**

REFERENZEN

[1] Datenblatt CMT-TIT8243, <https://tinyurl.com/y3azpj5>, Cissoïd
 [2] Produktseite CAS300M12BM2, <https://tinyurl.com/y4cw3e2m>, Wolfspeed
 [3] P. Delatte, Designing a temperature ruggedized gate driver, EETimes, May 2015, p40-41
 [4] R. J. Kaplar, et al., Degradation mechanisms and characterization techniques in SiC Mosfets at high temperature operation, <https://tinyurl.com/y64v5sn4>, Electrical Energy Storage Application and Technologies (EESAT) Conference, 16.-19 Oct 2011, San Diego, CA, USA

Diese überprüft beim Einschalten (nach dem Strompuls zum Laden der parasitären Kapazitäten), ob die Drain-Source-Spannung des Leistungs-Mosfet unter einem Schwellenwert liegt. Wenn nicht, liegt wahrscheinlich ein Kurzschluss im Leistungsweig vor und der aktive Transistor muss ausgeschaltet werden. Ein Fehler muss an die Steuerung gemeldet werden.

- **Sanftes Abschalten:** Im Fehlerfall wird der Leistungstransistor langsam abgeschaltet, um Überspringen aufgrund eines hohen di/dt zu minimieren.

Ein neues isoliertes High-Voltage-Gate-Treiber-Board für 62-mm-SiC-Mosfet-Leistungsmodule bietet eine erweiterte Temperaturbeständigkeit bei +125 °C und somit thermischen Spielraum für den Aufbau hochkompakter Leistungswandler. Ein hoher Spitzen-Gate-Strom ermöglicht schnelles Schalten und geringe Verluste, während ein hoher durchschnittlicher Gate-Strom ein hochfrequentes Schalten unterstützt. Entsprechende Isolations- und Schutzfunktionen stellen einen sicheren Betrieb des Gate-Treibers in rauen elektrischen Umgebungen sicher. (rh)

Anzeige

TRACO POWER

Reliable. Available. Now.

www.tracopower.com

TSR-WI-Serie – Neue 0,6- und 1 A-POL-Wandler

POL-Wandler mit besonders breitem 8:1-Eingangsspannungsbereich decken viele Standard Bus- und Batteriespannungen ab

- Besonders breiter 8:1-Eingangsspannungsbereich: 9–72 V_{DC}
- Deckt die Mehrzahl der Standard Bus- und Batteriespannungen ab
- Hoher Wirkungsgrad bis zu 94 % – kein Kühlkörper erforderlich
- Pin mit LMxx-Linearreglern (SIL-3) kompatibel
- Arbeitstemperaturbereich –40 bis +85 °C
- Niedriger Ruhestrom
- Ausgezeichnete Linear-/Lastregelung
- Kurzschluss-, Überspannungs- und Überhitzungsschutz
- 3 Jahre Produktgarantie

