

APPLICATION NOTE

ANP082 | Anforderungen an die Hilfsversorgung für SiC/GaN-Gate-Treibersysteme



Andreas Nadler, Eleazar Falco, Emil Nierges

01. EINLEITUNG

Leistungshalbleiter-Bauelemente mit großer Bandlücke wie Siliziumkarbid (SiC)-MOSFETs erfreuen sich wachsender Beliebtheit in vielen modernen Anwendungen wie E-Mobilität oder erneuerbare Energien. Ihre extrem schnelle Schaltgeschwindigkeit trägt dazu bei, die Effizienz zu erhöhen sowie die Baugröße und Kosten des Systems insgesamt zu reduzieren. Allerdings stellt das schnelle Schalten in Verbindung mit typisch hohen Betriebsspannungen und steigenden Schaltfrequenzen große Herausforderungen an das Gate-Treibersystem dar. Eine robuste galvanische Trennung, Einhaltung von Sicherheitsstandards, Störfestigkeit des Steuersignals und die Einhaltung der EMV sind nur einige der wichtigsten Aspekte, die es zu berücksichtigen gilt. Ein optimales Design der isolierten Stromversorgung, welche die Spannungen zur Ansteuerung des SiC/GaN-Bausteins liefert, ist entscheidend, damit die Gate-Treiberschaltung die vielen Anforderungen erfüllt, welche von modernen Anwendungen gestellt werden.

02. ÜBERSICHT UND ANFORDERUNG EINER TYPISCHEN HV SiC/GaN GATE ANSTEUERUNG

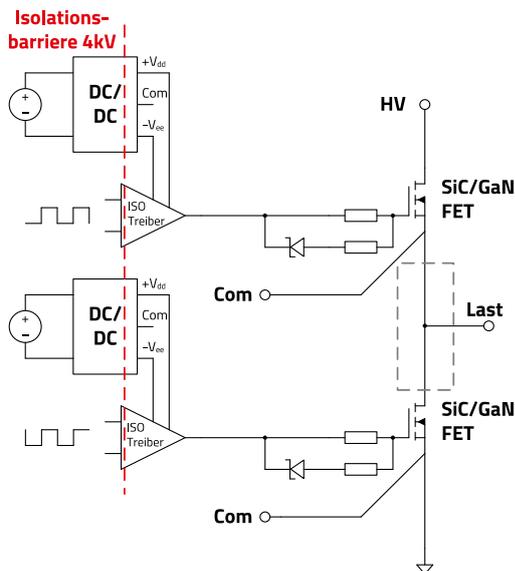


Abbildung 1: Übersicht einer HV Halbbrücken Ansteuerung des Highside & Lowside SiC-FET

Bei Anwendungen mit SiC/GaN-Hochspannungs-Halbleiterbauelementen im Hartschaltbetrieb ist eine galvanische Trennung aus Sicherheits- und Funktionsgründen eine häufige Anforderung, und je nach Anwendung ist eine Basis- oder verstärkte Isolierung erforderlich. Daraus ergeben sich je nach Betriebsspannung, Isoliermaterial, Verschmutzungsgrad und Norm die benötigten Mindest-Luft- & Kriechstrecken sowie die Stoßspannungs-festigkeit für alle passiven und aktiven Bauelemente. Der isolierte Gate-Treiber-IC (z. B. TI UCC21520) und der Transformator in der isolierten Hilfsstromversorgung (DC/DC-Block in Abbildung 1) "überbrücken" beide diese Isolationsbarriere und müssen daher strenge Sicherheits- und Funktionsanforderungen erfüllen.

Die neueste SiC-MOSFETs benötigen Gate-Source-Spannungen zwischen +15 V und +20 V zum vollständigen Einschalten und zwischen 0 V und -5 V zum zuverlässigen Ausschalten. Für das Gate eines Gallium Nitrid FET's (GaN 650 V) werden in der Regel nur +5 V und 0 V benötigt. Auch eine kleine negative Spannung zum Ausschalten des GaN-FETs wird in manchen Fällen verwendet. Je nach Hersteller und SiC/GaN FET variieren diese Werte jedoch. Die Halbbrücke in Abbildung 1 stellt hier die einfachste Ausführung einer Schaltendstufe dar. Für Inverter werden mindestens drei dieser Halbbrücken benötigt. Für jeden einzelnen Power FET wird ein eigener Gate Treiber verwendet und jeder der Treiber benötigt seine eigene, galvanisch getrennte Spannungsversorgung. Dies ermöglicht nicht nur die individuelle Steuerung jedes SiC/GaN-Bauelements, sondern hilft auch, die Gate-Stromschleife klein und lokal am Bauelement zu halten. Dadurch verringern sich die Auswirkungen der parasitären Induktivität und somit des Potentialsprungs, welcher durch das sehr hohe $\Delta I/\Delta t$ während des Schaltens verursacht wird. (Abbildung 2 und Abbildung 3).

APPLICATION NOTE

ANP082 | Anforderungen an die Hilfsversorgung für SiC/GaN-Gate-Treibersysteme

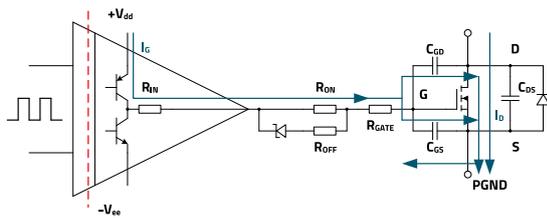


Abbildung 2: High dI/dt Stromschleifen während des Einschalten eines SiC/GaN FET's.

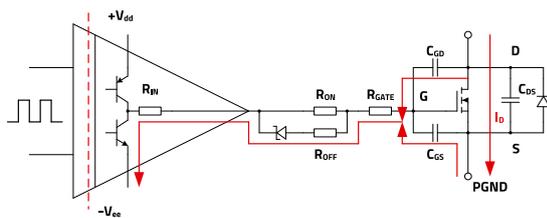


Abbildung 3: High dI/dt Stromschleifen während des Ausschalten eines SiC/GaN FET's

Wenn dies nicht beachtet wird, kann dies zum unkontrolliertem Ein- und Ausschalten des MOSFETs sowie zu thermischen Problemen führen. Einige SiC-MOSFETs sind mit einem zusätzlichen niederimpedanten Kelvin-Source-Anschluss für einen Gate-Strom-Rückweg versehen (Abbildung 4).

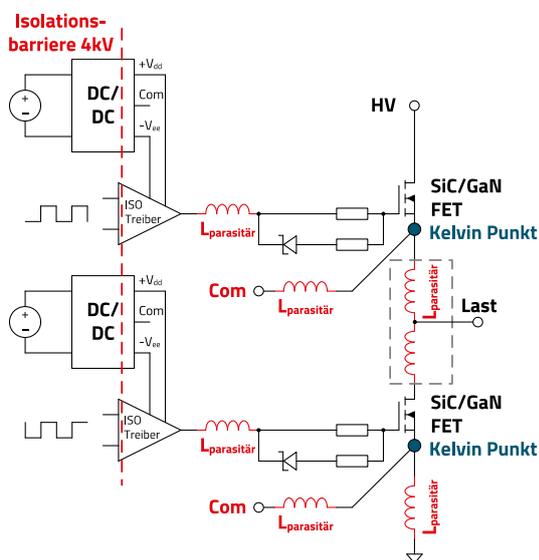


Abbildung 4: Kelvin Verbindungen und kritische parasitäre Induktivitäten in einer Halbbrücke

Dieser Anschluss führt nicht den hohen Schaltstrom und hat somit ein niedrigeres Störpotenzial durch eine geringere parasitäre Induktivität als der Source-Anschluss, was die Gate-Ansteuerung erheblich verbessert (z.B. Infineon IMZ120R045M1 1200V / 52A).

Die Hilfsversorgung sollte kompakt sein und ihre Ausgangskondensatoren (mit minimalem ESL und ESR) sollten sehr nahe am Gate-Treiber-IC und SiC/GaN-Bauelement platziert werden, um die Gatestromschleife und damit die parasitäre Induktivität zu minimieren und die damit verbundenen parasitären Effekte (z. B. Klingeln) zu verringern..

03. WICHTIGE ELEKTRISCHE PARAMETER FÜR EINE ISOLIERTE SIC GATE SPANNUNGSVERSORUNG

Auf dem Markt findet man aktuell eine große Auswahl an kompakten, isolierten 1 – 2 W DC/DC Konvertern von verschiedenen Herstellern. Der Grund dafür liegt auf der Hand: Für einen einzelnen SiC FET wie den Infineon IMZ120R045M1 1200 V / 52 A, reichen 1 W pro SiC FET locker aus (Beispielrechnung (1)). Hat der Kunde allerdings eine Applikation mit einer Schaltleistung von mehr als nur 5 kW, so kommt man um den Einsatz fertiger SiC Module (z.B. ROHM BSM600D12P3G001 1200 V / 600 A), oder mehrerer parallel geschalteter diskreter FETs nicht vorbei. In den Modullösungen sind mehrere Halbleiter parallel geschaltet um den eigentlichen SiC-MOSFET zu bilden. Diese Technik reduziert den effektiven $R_{DS(ON)}$, führt aber zu einer höheren "Total Gate Charge", die mehr Treiber-Leistung von der Hilfsversorgung erfordert (Beispielrechnung (2)). Oberhalb einer notwendigen Ansteuerleistung von 2 W gibt es nur eine sehr kleine Auswahl an isolierten DC/DC-Wandlermodulen auf dem Markt, die trotz ihrer Zweckmäßigkeit oft größer als diskrete Lösungen sind und eine Wirkungsgrad von unter 80 % aufweisen.

$$P_{GATE} = P_{Driver} + (Q_{Gate} \cdot F_{SW} \cdot \Delta V_{Gate})$$

- P_{Gate} Gesamte Benötigte Leistung für die Gate Treiber
- P_{Driver} Verlustleistung der Gate Treiber Schaltung (ca. 0,3 W)
- Q_{Gate} Total Gate Charge Wert aus dem jeweiligen Datenblatt
- F_{SW} Maximale Schaltfrequenz
- ΔV_{Gate} Maximaler Spannungshub am Gate von $-V_{ee}$ bis $+V_{dd}$ ($-4 V$ bis $+15 V = 19 V$)

Beispielrechnung (1) mit Infineon IMZ120R045M1 1200 V/52 A:

$$P_{GATE} = 0,3 W + (62 nC \cdot 100 kHz \cdot 19 V) = 0,42 W$$

Beispielrechnung (2) mit ROHM BSM600D12P3G001 1200 V/600 A:

$$P_{GATE} = 0,3 W + (1900 nC \cdot 100 kHz \cdot 19 V) = 3,91 W$$

Die derzeit erhältlichen SiC-MOSFET-Module können eine Gate-Kapazität von nur wenigen hundert nC bis zu 3000 nC

APPLICATION NOTE

ANP082 | Anforderungen an die Hilfsversorgung für SiC/GaN-Gate-Treibersysteme

aufweisen. Je höher die Sperrspannung und die Nennleistung des SiC-MOSFETs, desto höher die Gate-Kapazität. Bei einer Erhöhung der Schaltfrequenz oder der Ausgangsleistung (die mehr parallelgeschaltete SiC-Bausteine mit der entsprechenden Erhöhung der gesamten Gate-Ladung erfordert) kann mit einem Leistungsbedarf des Treibersystems von 6 - 10 W für die meisten derzeitigen und zukünftigen Applikationen gerechnet werden.

Der Wirkungsgrad, die Größe und vor allem die parasitäre Kopplungskapazität sind oft kritische Parameter in High-Performance SiC-basierte Systemen. Mit zunehmender Schaltgeschwindigkeit und den daraus resultierenden sehr steilen Schaltflanken wird mehr Oberwellenenergie kapazitiv zwischen der Wandlerendstufe/Gate-Treiber (Hochspannungsseite) und der Niederspannungs-Steuerseite eingekoppelt.

Die parasitäre Kopplungskapazität (CP) zwischen Primär- und Sekundärseite in der Gate-Treiber-Hilfsversorgung wird maßgeblich durch den Übertrager des DC/DC Wandlers bestimmt. Moderne SiC FETs erreichen beim Schalten bereits ein $\Delta U/\Delta t$ von 100 kV/us! Bei dieser Flankensteilheit bewirken 10pF parasitäre Kapazität schon einen dielektrischen Spitzenstrom von 1 A über die Isolationsbarriere verursachen. Ein hoher dielektrischer Verschiebestrom lässt auf Dauer die Isolationbarriere degradieren, stört die Steuersignale und führt zu Gleichtaktströmen, die eine typische Ursache für EMI-Probleme sind.

$$I_P = C_P \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

I_P Dielektrischer Verschiebestrom

C_P Parasitäre Koppelkapazität

Generell sollte die parasitäre Kopplungskapazität CP 10 pF nicht überschreiten. Beachten Sie jedoch, dass die maximale Kapazität, die bei jeder Anwendung toleriert wird, von der Schaltgeschwindigkeit und der CMTI-Fähigkeit (Common-mode Transient Immunity) des verwendeten Gate-Treiber-ICs abhängt.

Würth Elektronik hat sich diesen Herausforderungen gestellt und präsentiert mit seinen neuen Referenzdesigns für SiC- und IGBT-Gate-Treiber optimierte Lösungen. Diese Designs basieren auf den neuen WE-AGDT-Transformatoren, die sich durch eine sehr geringe Wickelkapazität von bis zu 6,8 pF auszeichnen. Sie bieten verschiedene gut geregelte bipolare und unipolare Gate-Treiberspannungen mit einer Ausgangsleistung von bis zu 6 W bei einem extrem kompakten Formfaktor (27 x 14 x 14 mm (L x B x H)).

04. WÜRTH ELEKTRONIK LÖSUNGEN BIS 6 W (10 W)

Das Referenzdesign **RD001** mit bipolarem Ausgang bietet folgende Spezifikation:

- Eingangsspannungsbereich 9 - 18 V
- Ausgangsspannung Variante-1: +15 V / -4 V
- Ausgangsspannung Variante-2: +19 V / -4 V
- Ausgangsspannung Variante-3: +20 V / -5 V
- Wirkungsgrad von bis zu 86 % (83 % @ 6 W)

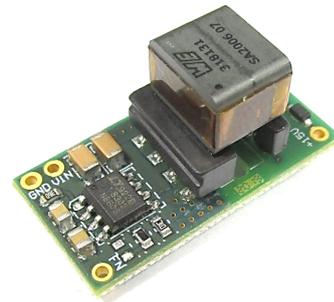


Abbildung 5: Würth Elektronik Referenz Design für einen kompakten, galvanisch getrennten DC/DC Wandler für HV SiC/GaN/IGBT Anwendungen

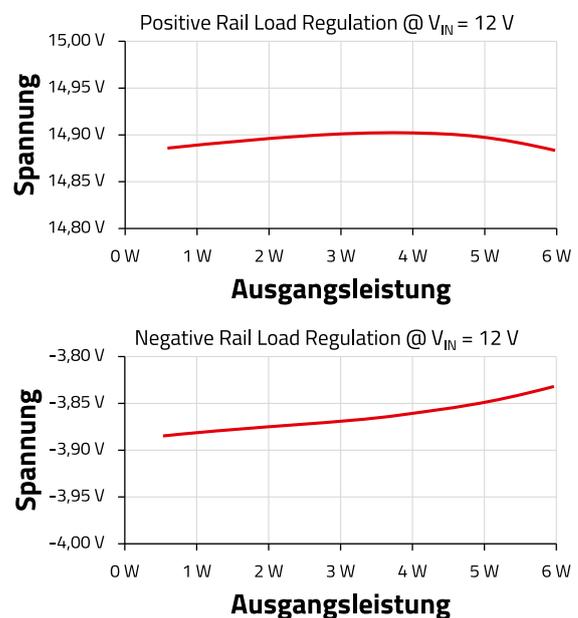


Abbildung 6: Positive & Negative Ausgangsspannungen vs Ausgangsleistung (@ V_{IN} (nominal) = 12 V)

Das Referenzdesign **RD002** mit unipolarem Ausgang bietet folgende Spezifikation:

- Eingangsspannungsbereich 9 - 18 V
- Ausgangsspannung Variante-1: 15 V
- Ausgangsspannung Variante-2: 18 V
- Ausgangsspannung Variante-3: 20 V
- Wirkungsgrad von bis zu 88 % (86 % @ 6 W)

APPLICATION NOTE

ANP082 | Anforderungen an die Hilfsversorgung für SiC/GaN-Gate-Treibersysteme

Neben der Steuerung-IC (ADI Power by Linear) ist die neue WE-AGDT Transformatorserie die Schlüsselkomponente des Designs. Es wurde ein kompaktes maßgefertigtes EP7-Gehäuse verwendet und optimiert, um die folgenden Anforderungen zu erfüllen:

- Breiter Eingangsspannungsbereich: 9 - 36 V
- Sehr geringe Wicklungskapazität: 6,8 pF
- Sehr niedrige Streuinduktivität
- SMD Pick & Place bereit
- Sicherheitsnorm IEC-62368-1, IEC-61558-2-16
- Basisisolierung für V_{BUS} : 800 V_{DC}
- Dielektrische Isolation min. 4 kV AC
- Temperaturklasse B 130 °C.
- AEC-Q200-Qualifikation

Jeder Transformator aus der WE-AGDT-Serie ist für unterschiedliche Spezifikationen und sein eigenes Referenzdesign optimiert. Beachten Sie, dass diese Leistungsübertrager nicht nur für Gate-Treibersysteme von SiC-MOSFETs, sondern auch für IGBTs und Hochspannungs-Leistungs-MOSFETs auf Siliziumbasis verwendet werden können. Bei den derzeit verfügbaren HV-GaN-FETs kann aufgrund der niedrigeren maximalen Gate-Spannung, die GaN-Bauelemente tolerieren können, eine zusätzliche Ausgangsstufe (Step-down) erforderlich sein.

Die Referenzdesign-Dokumente RD001 und RD002 mit den entsprechenden PCB-Layoutdateien (Altium Designer 21) sowie den PCB-Fertigungsdateien können auf der Website von Würth Elektronik heruntergeladen werden.

Bitte beachten Sie, dass die Ausgangsleistung dieser Referenzdesigns durch die Verwendung eines EP10-Gehäuses und den Ersatz einiger Komponenten auf bis zu 10 W skaliert werden kann.

Für spezifische Anforderungen stehen Würth Elektronik Ingenieure Ihnen gerne zur Verfügung.

05. ZUSAMMENFASSUNG

Mit der neuen Transformatorserie WE-AGDT adressiert Würth Elektronik die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen im Bereich der Leistungselektronik und gibt Ingenieuren die Möglichkeit, unkompliziert eine diskrete Lösung einer sehr kompakten und effizienten Gate-Treiber-Versorgung mit bis zu 6 W Ausgangsleistung zu implementieren, welche die Anforderungen an eine niedrige Zwischenwicklungskapazität erfüllt, die von vielen modernen Anwendungen mit schnell schaltenden SiC/GaN- sowie IGBT-Bauelementen gefordert werden.

APPLICATION NOTE

ANP082 | Anforderungen an die Hilfsversorgung für SiC/GaN-Gate-Treibersysteme

WICHTIGER HINWEIS

Der Anwendungshinweis basiert auf unserem aktuellen Wissens- und Erfahrungsstand, dient als allgemeine Information und ist keine Zusicherung der Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG zur Eignung des Produktes für Kundenanwendungen. Der Anwendungshinweis kann ohne Bekanntgabe verändert werden. Dieses Dokument und Teile hiervon dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung vervielfältigt oder kopiert werden. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG und seine Partner- und Tochtergesellschaften (nachfolgend gemeinsam als „WE“ genannt) sind für eine anwendungsbezogene Unterstützung jeglicher Art nicht haftbar. Kunden sind berechtigt, die Unterstützung und Produktempfehlungen von WE für eigene Anwendungen und Entwürfe zu nutzen. Die Verantwortung für die Anwendbarkeit und die Verwendung von WE-Produkten in einem bestimmten Entwurf trägt in jedem Fall ausschließlich der Kunde. Aufgrund dieser Tatsache ist es Aufgabe des Kunden, erforderlichenfalls Untersuchungen anzustellen und zu entscheiden, ob das Gerät mit den in der Produktspezifikation beschriebenen spezifischen Produktmerkmalen für die jeweilige Kundenanwendung zulässig und geeignet ist oder nicht.

Die technischen Daten sind im aktuellen Datenblatt zum Produkt angegeben. Aus diesem Grund muss der Kunde die Datenblätter verwenden und wird ausdrücklich auf die Tatsache hingewiesen, dass er dafür Sorge zu tragen hat, die Datenblätter auf Aktualität zu prüfen. Die aktuellen Datenblätter können von www.we-online.com heruntergeladen werden. Der Kunde muss produktspezifische Anmerkungen und Warnhinweise strikt beachten. WE behält sich das Recht vor, an seinen Produkten und Dienstleistungen Korrekturen, Modifikationen, Erweiterungen, Verbesserungen und sonstige Änderungen vorzunehmen. Lizenzen oder sonstige Rechte, gleich welcher Art, insbesondere an Patenten, Gebrauchsmustern, Marken, Urheber- oder sonstigen gewerblichen Schutzrechten werden

hierdurch weder eingeräumt noch ergibt sich hieraus eine entsprechende Pflicht, derartige Rechte einzuräumen. Durch Veröffentlichung von Informationen zu Produkten oder Dienstleistungen Dritter gewährt WE weder eine Lizenz zur Verwendung solcher Produkte oder Dienstleistungen noch eine Garantie oder Billigung derselben.

Die Verwendung von WE-Produkten in sicherheitskritischen oder solchen Anwendungen, bei denen aufgrund eines Produktausfalls sich schwere Personenschäden oder Todesfällen ergeben können, sind unzulässig. Des Weiteren sind WE-Produkte für den Einsatz in Bereichen wie Militärtechnik, Luft- und Raumfahrt, Nuklearsteuerung, Marine, Verkehrswesen (Steuerung von Kfz, Zügen oder Schiffen), Verkehrssignalanlagen, Katastrophenschutz, Medizintechnik, öffentlichen Informationsnetzwerken usw. weder ausgelegt noch vorgesehen. Der Kunde muss WE über die Absicht eines solchen Einsatzes vor Beginn der Planungsphase (Design-In-Phase) informieren. Bei Kundenanwendungen, die ein Höchstmaß an Sicherheit erfordern und die bei Fehlfunktionen oder Ausfall eines elektronischen Bauteils Leib und Leben gefährden können, muss der Kunde sicherstellen, dass er über das erforderliche Fachwissen zu sicherheitstechnischen und rechtlichen Auswirkungen seiner Anwendungen verfügt. Der Kunde bestätigt und erklärt sich damit einverstanden, dass er ungeachtet aller anwendungsbezogenen Informationen und Unterstützung, die ihm durch WE gewährt wird, die Gesamtverantwortung für alle rechtlichen, gesetzlichen und sicherheitsbezogenen Anforderungen im Zusammenhang mit seinen Produkten und der Verwendung von WE-Produkten in solchen sicherheitskritischen Anwendungen trägt.

Der Kunde hält WE schad- und klaglos bei allen Schadensansprüchen, die durch derartige sicherheitskritische Kundenanwendungen entstanden sind.

NÜTZLICHE LINKS



Application Notes

www.we-online.de/app-notes



REDEXPERT Design Plattform

www.we-online.de/redexpert



Toolbox

www.we-online.de/toolbox



Produkt Katalog

www.we-online.de/produkte

KONTAKTINFORMATION

appnotes@we-online.de

Tel. +49 7942 945 - 0



Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG
Max-Eyth-Str. 1 · 74638 Waldenburg Germany

www.we-online.de

