

应用指南

ANP082 | SiC/GaN 栅极驱动系统的辅助供电要求



Andreas Nadler, Eleazar Falco, Emil Nierges

01. 介绍

碳化硅 (SiC) MOSFET等宽禁带功率半导体器件在电动汽车和可再生能源等许多现代电子电力应用中越来越受欢迎。它们极快的开关速度有助于提高效率并减小系统的整体尺寸和成本。然而，快速开关、高工作电压和不断增加的开关频率给栅极驱动系统带来很大考验。增强电气隔离、符合安全标准、控制信号的抗干扰能力和EMI性能是需要考虑的一些重要方面。提供驱动SiC/GaN器件的电压和电流水平，优化隔离辅助电源的设计，对于帮助全栅极驱动系统满足先进应用设定的许多要求都至关重要。

02. HV SiC/GaN FET器件栅极控制概述和要求

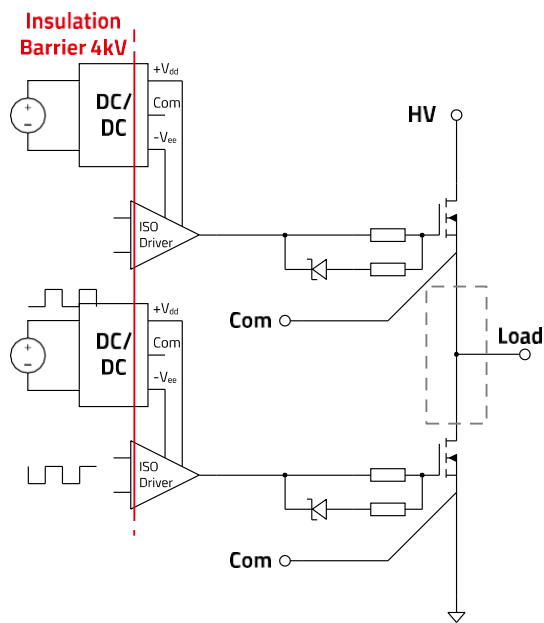


图1: SiC-MOSFET高侧和低侧高压半桥控制示意图

在使用SiC/GaN高压半导体器件进行硬开关操作的应用中，电气隔离是基于安全和功能需求的常见要求，根据应用场景不同，可能需要基本绝缘或加强绝缘。工作电压、绝缘材料、污染等级以及适用的监管标准都规定了最小爬电距离和电气间隙，以及影响隔离屏障上部件的介电隔离电压要求。高速隔离栅极驱动器IC（例如TI UCC21520）和隔离辅助电源中的变压器（图1中的DC/DC模块）均“桥接”此隔离屏障，因此必须满足严格的安全和功能要求。

最新的SiC MOSFETs需要+15V至+20V之间的栅-源电压才能完全导通，需要0V至-5V电压才能可靠关断。对于氮化镓场效应晶体管(GaN 650V)的栅极驱动电压，通常仅需要+5V和0V。在某些情况下，一个小的负电压也可以关闭GaN场效应管。请注意，这些数值各

制造商会有不同。在图1中，呈现了一个半桥配置，通常在逆变器电路中需要多个这样的配置来驱动千瓦级别的交流电机。每个SiC/GaN FET都需要一个独立的栅极驱动器，并配备自己的隔离辅助电源。这不仅可以实现对每个SiC/GaN器件的单独控制，还有助于保持栅极电流回路的小型化和局部化，从而最大限度地减少在开关转换期间由极高 $\Delta I/\Delta t$ 引起的寄生环路电感和接地反弹的不利影响（图2和图3）。

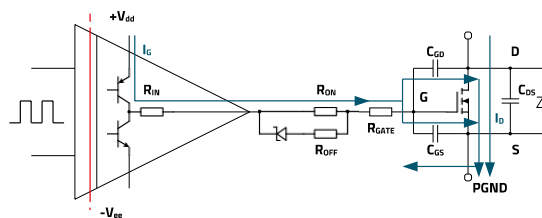


图2: SiC/GaN FET导通时的高 $\Delta I/\Delta t$ 电流路径。

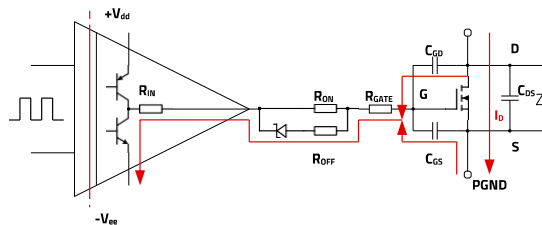


图3: SiC/GaN FET关断时的高 $\Delta I/\Delta t$ 电流路径。

如果忽略不管，可能会导致MOSFET不受控的开启/关闭以及发热问题。一些SiC MOSFET设计了一个额外的低阻抗Kelvin连接，作为栅极电流的返回路径（图4）。

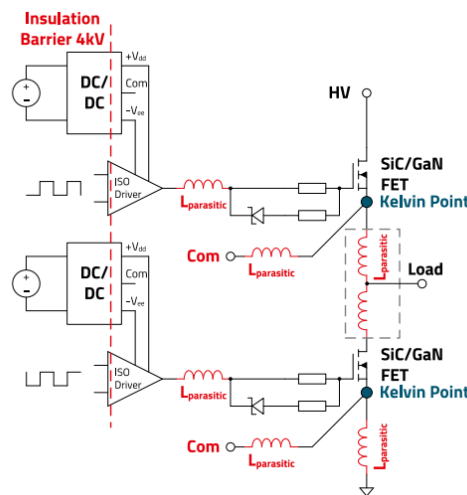


图4: 半桥结构中的Kelvin连接和关键寄生电感

这种连接不承载高开关电流，且由于比直接连源极具有更低的寄生电感，所以其干扰潜力较低，从而显著改善了栅极驱动。（例如英飞凌IMZ120R045M1 1200V/52A）。

关于辅助电源，它的输出电容（具有最小的ESL和ESR）应该放置在尽可能靠近栅极驱动器IC和SiC/GaN器件的位置，以最大限度地减少栅极电流环路及其寄生电感，从而减少相关的寄生效应（即振铃）。

03. SiC-MOSFET 隔离栅极驱动电源的要求

目前市场上有大量紧凑型、隔离的1-2W DC/DC转换器可供选择。对于像英飞凌IMZ120R045M1 1200V/52A这样的SiC-MOSFET，可以估算每个SiC-MOSFET 最多需要1W的功率(见示例计算(1))。然而，负载功率超过5kW的应用需要使用SiC-MOSFET模块（例如ROHMBSM600D12P3G001 1200V/600A）或并联多个分立SiC-MOSFET（均流）。在模块解决方案中，可以使用多个半导体芯片并联以形成最终的SiC-MOSFET。该技术有效地降低了 $R_{DS(ON)}$ ，但会导致出现更高的“总栅极电荷”，从而需要来自辅助电源更多的驱动功率（见示例计算(2)）。超过2W的功率后，市面上只有非常有限的隔离DC-DC转换器模块可供选择，尽管它们很方便，但它们的成本往往很高，而且体积比分离式解决方案大，效率通常也低于80%。

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

P_{GATE} 驱动SiC器件栅极所需的总功率

P_{Driver} 栅极驱动器部分的功率损耗（约0.3W）

Q_{Gate} 总栅极电荷值（来自数据表）

F_{SW} 最大开关频率

ΔV_{Gate} 栅极从 $-V_{ee}$ 到 $+V_{dd}$ 的最大电压振幅
(例如-4V至+15V, 为19V)

示例计算(1) 使用英飞凌IMZ120R045M1 1200V/52A:

$$P_{GATE} = 0.3W + (62nC * 100kHz * 19V) = 0.42W$$

示例计算(2) 使用ROHM BSM600D12P3G001 1200V/600A:

$$P_{GATE} = 0.3W + (1900nC * 100kHz * 19V) = 3.91W$$

目前市场上可用的SiC-MOSFET模块的总栅极电荷可以从几百nC到3000nC不等。它们的阻断电压和额定功率越高，栅极电容就越大。随着开关频率或负载功率的增加（需要并联更多的SiC器件，相应增加总栅极电荷），预计驱动系统功率将达到6-10W来应对当前和未来最苛刻的应用。

效率、尺寸尤其是寄生耦合电容，都是高性能SiC系统中的重要参数。随着开关频率的增加以及由此产生的越发陡峭的开关斜坡，更多的谐波能量通过电容耦合到转换器输出级/栅极驱动器（高压侧）和低压控制侧之间。

在栅极驱动器辅助电源中初级侧和次级侧之间的寄生电容(C_p)主要由DC/DC电源变压器器件的匝间电容决定。对于最新的SiC-MOSFET，以100kV/us($\Delta U/\Delta t$)的电压变化速率、10pF的寄生电容将在隔离栅极上产生1A的峰值位移电流。

从长远来看，高位移电流会降低绝缘屏障、干扰控制信号并产生共模噪声，这是EMI问题的典型原因。

$$I_p = C_p \cdot \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

I_p 电位移电流

C_p 寄生电容

通常建议将辅助电源中的 C_p 保持在10pF以下。

然而，我们仍需考虑到任何应用中容许的最大电容取决于所用栅极驱动器IC的开关频率和CMTI（共模瞬态抗扰度）能力。

伍尔特电子已经解决了这些问题，并通过新的SiC和IGBT栅极驱动器参考设计提供了改善后的解决方案。这些设计基于新型WE-AGDT变压器，该变压器具有最高仅为6.8pF的匝间电容。它们提供多种规格的双极和单极栅极驱动电压，输出功率最高可达6W，外形极其紧凑（27*14*14mm（长*宽*高））。

04. 伍尔特电子解决方案高达 6W(10W)

RD001具有双极输出的参考设计提供以下规格:

- 输入电压范围: 9 - 18 V
- 输出电压类型1: +15 V / -4 V
- 输出电压类型2: +19 V / -4 V
- 输出电压类型3: +20 V / -5 V
- 峰值效率高达86% (83%@6W)



图5: 用于高压SiC/GaN/IGBT栅极驱动的紧凑、隔离的DC/DC转换器参考设计

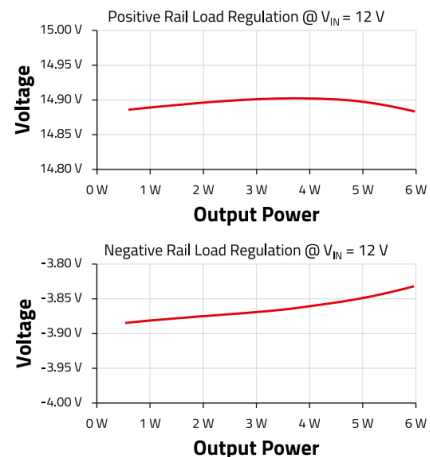


图6: 正负电压与负载功率 (@V_{in} (标称) = 12V)

RD002具有双极输出的参考设计提供以下规格:

- 输入电压范围: 9 - 18 V
- 输出电压类型1: 15 V
- 输出电压类型2: 18V
- 输出电压类型3: 20V
- 峰值效率高达88% (86%@6W)

除了控制器IC(ADI线性功率器件)之外, 这些参考设计中的关键组件是新的WE-AGDT变压器系列。采用紧凑型EP7定制封装并进行了优化以满足以下要求:

- 宽输入电压范围: 9-36V
- 非常低的匝间电容(典型值) 6.8 pF
- 极低的漏感
- SMD表面贴装器件
- 安全标准IEC-62368-1, IEC-61558-2-16
- 基本绝缘: 800VDC
- 绝缘电压最小4kV AC
- 温度遵循Class B等级130°C
- 满足AEC-Q200

WE-AGDT系列的每个变压器都优化了规格书和相应的参考设计。请注意, 这些功率变压器不仅可用于SiC MOSFET的栅极驱动系统, 还可用于IGBT和高压硅基功率MOSFET。对于目前可用的高压GaN场效应管, 由于GaN器件需要一个较小的负栅极电压才可关闭, 因此可能需要前级驱动电路提供额外的输出级(降压)。

参考设计RD001和RD002以及相应的PCB layout文件(Altium Designer 21)以及PCB制造文件可以从伍尔特电子的网站下载。

请注意, 通过使用EP10封装并替换一些元件, 这些参考设计的输出功率可扩展至10W。

如需特定要求, 请联系伍尔特电子工程师。

05.总结

凭借新的WE-AGDT变压器系列, 伍尔特电子解决了功率电子领域当前和未来的挑战, 并使工程师能够轻松实现一个非常紧凑且高效的栅极驱动器电源分立式解决方案, 提供功率高达6W的高效栅极驱动电源。这满足了许多现代应用对快速开关的SiC/GaN以及IGBT器件对低匝间电容的要求。

应用说明:

ANP082|SiC/GaN 栅极驱动器系统的辅助供电要求

重要提示:

本应用指南基于我们对这些领域典型要求积累的知识和经验。仅作为一般性指导，不应被视为伍尔特电子集团对客户应用适用性的承诺。本文中的信息如有更改，恕不另行通知。未经书面许可，不得翻印或复制本文档及其部分内容，不得将其内容透露给第三方，未经授权不得使用。

伍尔特电子集团及其子公司和附属公司不对任何形式的应用支持承担责任。客户可以在其应用和设计中使用的伍尔特电子的帮助和产品建议。伍尔特电子产品在特定客户设计中的适用性和使用责任始终完全由客户自己承担。基于这一事实，客户应在适当情况下，自行评估和研究，判断具有产品规格中描述的特定产品特性的设备是否适合于的客户应用。

技术规格见产品最新规格书。顾客应使用规格书，并注意确认规格书是否最新版本。最新版规格书可以从www.we-online.com下载。客户应严格遵守所有产品的说明、注意事项和警告。我们保留对产品和服务进行更正、修改、增强、改进和其他变更的权利。伍尔特电子不保证或代表任何基于与伍尔特电子产品或服务使用的任何组合、机器或过程有关的任何专利权、版权、屏蔽作品权或其他知识产权。

以及以明示或暗示的方式授予的许可。伍尔特电子发布的有关第三方产品或服务的信息并不代表伍尔特电子授予使用此类产品或服务的许可证、保修书或认证。

伍尔特电子产品不可用于对安全有严格要求的应用，或合理预期产品故障会导致严重的人身伤害或死亡的用途。此外，伍尔特电子产品不应用于军事、航天、航空、核控制、潜艇、运输

(汽车控制，火车控制，船舶控制)、交通信号、防灾、医疗、公共信息网络等领域。客户应在设计阶段之前告知伍尔特电子有关此类用途的意图。在某些要求高安全性的客户应用中，电子元器件的故障或失效可能危及人类生命或健康

，客户必须确保他们在应用安全和法规方面具备所有必要的专业知识。客户承认并同意，无论伍尔特电子提供与应用程序相关的任何信息或支持，他们将对其产品以及在对安全有严格要求的应用中使用伍尔特电子产品有关的所有法律

、法规和安全性要求承担全部责任。客户应就在对安全有严格要求的应用中使用伍尔特电子产品造成的损害，对伍尔特电子进行赔偿。

相关链接



应用指南

www.we-online.com/appnotes



REDEXPERT 设计工具

www.we-online.com/redexpert



工具箱

www.we-online.com/toolbox



产品目录

www.we-online.com/products

联系方式



appnotes@we-online.com

Tel. +49 7942 945 - 0



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

www.we-online.com

伍尔特（天津）电子有限公司

苏州在线服务中心: +86-512-65128813

电话: +86 22 2385 8666

邮箱: eiSos-china@we-online.com