

驱动 Microchip SiC MOSFET

作者: Xuning Zhang、Dennis Meyer 和 Kevin Speer
Microchip Technology Inc.

用途

本应用笔记针对如何在设计中正确选择 Microchip SiC MOSFET 产品的栅 - 源电压提供了指导, 此外还提供了相关器件的性能和特性信息。

本应用笔记适用于 Microchip 部件编号为 MSCXXXSMAXXX 的产品。

指定 SiC MOSFET 的栅极驱动电压

在数据手册中指定栅极驱动电压的方式因制造商而异, 但大多数都采用表 1 的形式。首先, 我们来定义一些术语:

- V_{GS} 是 MOSFET 栅极与源极端子之间施加的电压。
- V_{GSon} 是用于导通 MOSFET 的稳态 V_{GS} 。
- V_{GSoff} 是用于关断 MOSFET 的稳态 V_{GS} 。
- V_{GSmax} 是制造商允许的最大稳态 V_{GS} , 显示为负极值和正极值。
- $V_{GS,OP}$ 是制造商建议的稳态 V_{GSon} 和 V_{GSoff} 值。

一些数据手册并不会指定 V_{GSon} 和 V_{GSoff} : 与硅 MOSFET 类似, 适合不同应用的最佳值可能各不相同。

Microchip 建议

为实现最佳的器件性能和系统稳定性, 最好使用 $V_{GSon} = +20V$ 和 $V_{GSoff} = -5V$ 来驱动 Microchip SiC MOSFET。Microchip SiC MOSFET 在 V_{GSon} 和 V_{GSoff} 绝对值较低

时仍可正常运行, 但与所有设计一样, 我们应分析和了解在次优驱动条件下运行所产生的额外损耗。为此, 确定最佳 V_{GSon} 和 V_{GSoff} 的依据各不相同, 以下几节对每种情况下可能存在的取舍进行了描述。

导通状态栅极驱动电压 V_{GSon}

使用较低 V_{GSon} 驱动 Microchip SiC MOSFET 将出现以下情况:

- 导通电阻增大, 从而导致更高的导通损耗
- 降低峰值 (饱和) 电流能力
- 延长短路耐受时间
- 延长栅极氧化物的寿命
- 在相同的栅极电阻下, 开关损耗增加。

导通电阻 R_{DSon}

图 1 中的 4 个曲线图显示了归一化 R_{DSon} (在 $25^{\circ}C$ 和 $20V$ 栅极电压下归一化为 R_{DSon}) 如何随结温 (T_j) 变化而增大。Microchip 最大的 SiC MOSFET 裸片在四个电压等级下的数据如下: $700V$ 、 $15 m\Omega$; $1200V$ 、 $17 m\Omega$; $1700V$ 、 $35 m\Omega$; 以及 $3300V$ 、 $25 m\Omega$ 。

通过观察可得出以下结果:

- 就 R_{DSon} 随温度变化的增幅而言, SiC MOSFET 远低于硅 MOSFET。
- 当 T_j 升高时, Microchip SiC MOSFET 的 R_{DSon} 增幅低于其他 SiC MOSFET 供应商的产品。
- $V_{GSon} = 18V$ 时, R_{DSon} 变化幅度较小, 而 T_j 越高, 这种变化越小。
- $V_{GSon} = 15V$ 时, R_{DSon} 的增幅更为明显, 尤其是 T_j 越低, 增幅越明显。

表 1: 栅 - 源电压规范

特性	符号	条件	值	单位
栅 - 源电压	V_{GSmax}	绝对最大直流电压	-10 至 23	V
	$V_{GS,OP}$	建议的直流工作电压	-5 至 20	V

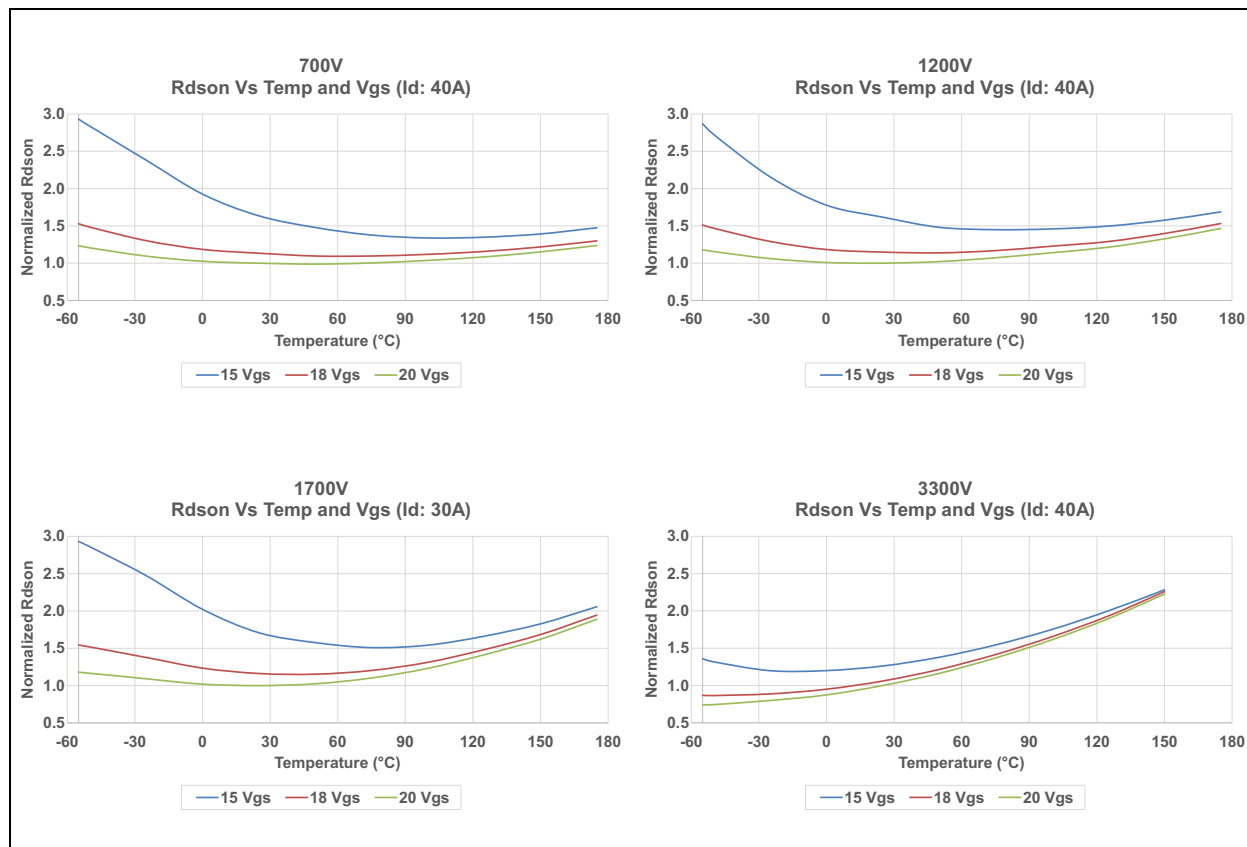


图 1: 不同电压系列产品的 $R_{DS(on)}$ 在不同栅极电压下的温度依赖性

$V_{GS(on)}$ 小于 20V 的设计

由于 SiC 的带隙较宽，所以反转 MOS 栅极晶体管半导体需要使用比硅片更高的电场。我们可以通过提高施加的 $V_{GS(on)}$ 或减少栅极氧化物的厚度来增强电场。提高 $V_{GS(on)}$ 可能需要使用全新的栅极驱动器设计，而减少氧化物的厚度则会使器件更容易发生故障。提供更大电流的第三种方法就是加大裸片尺寸，但这也会增加成本。从技术和商业角度来看，使用全新的栅极驱动器设计显然是最优之选，但如果无法实现理想的 $V_{GS(on)} = 20V$ ，我们应做出哪些妥协？

对 $R_{DS(on)}$ 的影响

当使用较低 $V_{GS(on)}$ 电压驱动时，设计人员应分析 $R_{DS(on)}$ 在相关结温范围内是如何变化的。如果相关 T_j 范围内的 $R_{DS(on)}$ 始终保持在 $V_{GS(on)} = 20V$ 时的 $R_{DS(on)}$ 范围附近，则最终设计可以适应这些微小差异，并且具有极高的稳健性。对于 Microchip SiC MOSFET，在生产中进行的 $R_{DS(on)}$ 测量表明，依靠 $V_{GS(on)} = 20V$ 时的数据就能够很好地预测出 $V_{GS(on)} = 18V$ 时 $R_{DS(on)}$ ；对于 $T_j = 175^\circ C$ 条件下的 1200V SiC MOSFET， $V_{GS} = 18V$ 时的 $R_{DS(on)}$ 仅比 $V_{GS} = 20V$ 时的 $R_{DS(on)}$ 高 4%。

相比之下，在比较 $V_{GS(on)} = 20V$ 与 $V_{GS(on)} = 15V$ 时的 $R_{DS(on)}$ 时需要特别小心。 $V_{GS(on)} = 15V$ 时的 $R_{DS(on)}$ 要高出大约 4 倍，具体取决于器件阈值电压 $V_{GS(th)}$ 。因此，Microchip 并不建议在 $V_{GS(on)} = 15V$ 下驱动 MSCXXXSMAXXX 类型的 SiC MOSFET。如果必须以 15V 电压驱动，则应提供足够的 $R_{DS(on)}$ 设计裕量。请联系您当地的 Microchip 销售办事处寻求支持。

并联 SiC MOSFET

关于并联 SiC MOSFET 和 $V_{GS(on)} < 20V$ 的情况，还有一点需要加以说明。从图表中可以看出，在整个相关 T_j 范围内， $R_{DS(on)}$ 的温度系数可能不是正值。作为极端案例，可以假设在 $V_{GS(on)} = 15V$ 时使用 700V SiC MOSFET。这种栅极驱动条件的结果就是 SiC MOSFET 具有 T_j 最高为 $80-100^\circ C$ 的负温度系数。确保并联器件平均分摊电流具有一定风险，我们应在设计中采取相应的防护措施。但是，如前所述，使用 $V_{GS(on)} = 18V$ 是最简单的解决方案，并且适用于大多数应用。

峰值电流能力

当使用较低 V_{GSon} 电压驱动时，MOSFET 通道不会得到完全增强，且最大电流会减小。

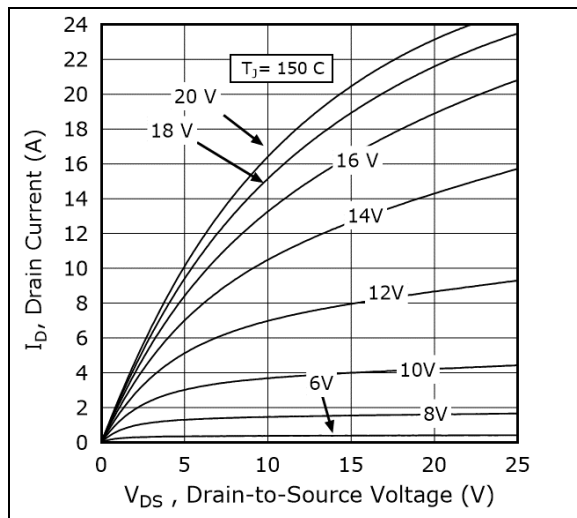


图2: $T_J = 150^\circ\text{C}$ 时, MSC360SMA120B 在不同驱动电压下的 I-V 曲线图

图2为 $T_J = 150^\circ\text{C}$ 时, MSC360SMA120B 在不同驱动电压下的 I-V 曲线图。请注意, $V_{GSon} = 20\text{V}$ 和 $V_{GSon} = 18\text{V}$ 时, R_{DSon} 曲线之间的间距比较小, 相比之下, 随着 V_{GSon} 逐渐降至 16V 以下, R_{DSon} 的差异也越来越大。还需要考虑以下几点:

- 可能无法触发基于最大电流的过流保护机制。设计人员应考虑到 V_{GSon} 越低, R_{DSon} 的可变性越大。
- V_{GSon} 越低, 小信号跨导 (gm) 就越高。这种效应会导致开关不稳定, 因为当漏极 - 源极电压较高时, V_{GS} 可能处于中间范围, 从而导致短路事件 (峰值短路电流将由 V_{GSon} 精确值及其持续时间决定。请参见下一小节)。

短路耐受时间

当使用较低 V_{GSon} 电压驱动时, 短路情况下的最大电流将会降低, 从而延长短路耐受时间。

下图显示了在 $V_{DS} = 350\text{V}$ 、 470V 和 560V 以及 $V_{GSon} = 20\text{V}$ 、 18V 和 15V 下测量的 MSC035SMA070B 短路耐受时间 (short circuit withstand time, SCWT) 与栅极和漏极电压之间的关系。可以看出, 漏极电压是影响 SCWT 的最重要因素, 其次是 V_{GS} 。

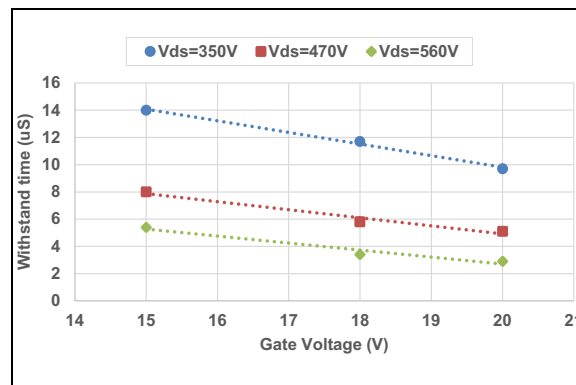


图3: MSC035SMA070B 的短路耐受时间
在可能发生短路的应用中, 应考虑以下情况:

- 数据手册中指定的 SCWT 为发生故障前的典型时间, 故障由器件不再具备适当电气功能来界定。现实情况下, 故障可能在器件关闭后发生, 而此时产生的潜热会导致不可逆损坏。本质上, 当测量结果表明会发生故障时, 故障并未发生。由于存在这种延迟, 数据手册中的 SCWT 只能视为一个典型数字。
- 在发生指定数量的短路事件后, 指定数量的器件仍能正常运行, 这才是更为合理的要求。
- 通过加大器件尺寸或使用多个可在更低电流下驱动且具有源极负反馈的器件, 可延长短路耐受时间。

如需获取更多指导和见解, 请联系您当地的 Microchip 销售团队。

设计寿命

下图表明, V_{GSon} 每增加 2.5V , 栅极氧化物的设计寿命就会减少一个数量级。这种关系适用范围比较广。由于损坏会随着时间的推移而增加, 所以这是一种磨损故障机理。

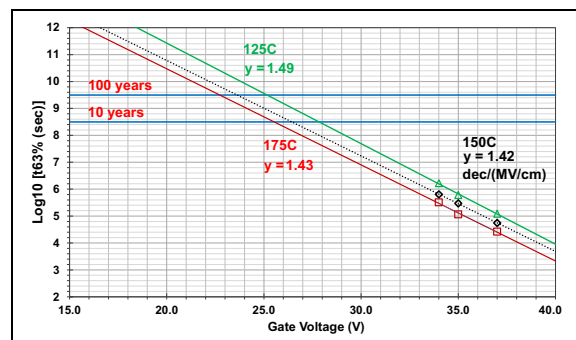


图4: 器件在不同栅极电压下的设计寿命

栅极氧化物的寿命主要由稳态栅极驱动电压决定。栅极的 +23V 最大额定值是基于器件设计寿命的稳态栅极电压建议值。由于 V_{GSon} 的瞬态过冲持续时间比较短，所以不会对器件寿命产生实质性影响。例如，假设在 25V 电压以及 20V 标称栅极电压下，矩形过冲时间为 20 ns。根据氧化物寿命图，在脉冲过程中，氧化物的降解速度高出 80 倍。然而，当开关频率为 100 kHz 时，占空比为 $20/100,000 = 0.002$ 。相对应力仅为 $80 \times 0.002 = 16\%$ 。

应注意一点，在封装引脚处无法观察到瞬态 V_{GS} 。由于存在栅极和源极引脚电感，所以测量实际栅极电压过冲会比较困难。由于栅极电容较高，因此栅极驱动通常为过阻尼状态，且很少会出现过冲问题。这在模拟中最容易确定。

V_{GSon} 总结

Microchip SiC MOSFET 可在 +18V 驱动电压下运行，与建议的 +20V 驱动电压相比，在 +18V 驱动电压下运行的性能损失很小。从上述图表中可以看出， R_{DSon} 在 25°C 下的增幅要比 100°C-150°C 下更大。通常情况下，如果裸片温度高，系统受导通损耗的影响会比在 25°C 下受温差的影响更小。尽管在相同栅极电阻下，开关损耗可能略高，饱和电流会更低，但却可以延长短路耐受时间。

在低于 18V 的 V_{GSon} 电压下运行会存在一定的风险，且只有 R_{DSon} 具有足够裕量的情况下才能使用。在结温较低的情况下，并联器件之间的均流可能会出现。如果需要低于 18V 的 V_{GSon} ，请联系您的 Microchip 团队寻求设计支持。

关断状态驱动电压 V_{GSoff}

Microchip SiC MOSFET 通常是关断状态的功率晶体管。在稳态下，无需负 V_{GSoff} 来保持开关断开。相反，负 V_{GSoff} 用于最大限度地降低开关损耗以及提高开关稳定性。

- 源极电感会减缓器件关断进程。利用负 V_{GSoff} 可以克服这一影响。
- 负 V_{GSoff} 可提供更多的裕量，以避免在开关瞬变期间出现误导通（亦称为直通或交叉导通）。
- 数十年来，负 V_{GSoff} 一直与硅 IGBT 一起使用。负栅极驱动并不是 SiC 独有的功能。
- 采用分布式晶体管的更复杂模块需要更高（更多负）的 V_{GSoff} 来避免出现不稳定问题。单晶体管分立式设计具有非常小的负 V_{GSoff} ，可勉强应对此问题。

第三象限导通性能

与硅 IGBT 不同，SiC MOSFET 可双向传导电流。下图显示的是 Microchip MSC360SMA120B 所谓的“第三象限”性能；简而言之，就是漏极电压反向时的漏极电流。如果 MOSFET 的通道关闭，则体二极管传输反向漏极电流。 $V_{GSoff} = -5V$ 时，所有电流都流经体二极管。随着 V_{GS} 的升高，开始形成通道，但即使在 $V_{GS} = 0V$ 的情况下仍保持相当高的压降，这意味着体二极管仍传输大部分反向漏极电流。在开关瞬变后，可打开通道来传导反向电流，通过同步整流技术进一步降低导通损耗。

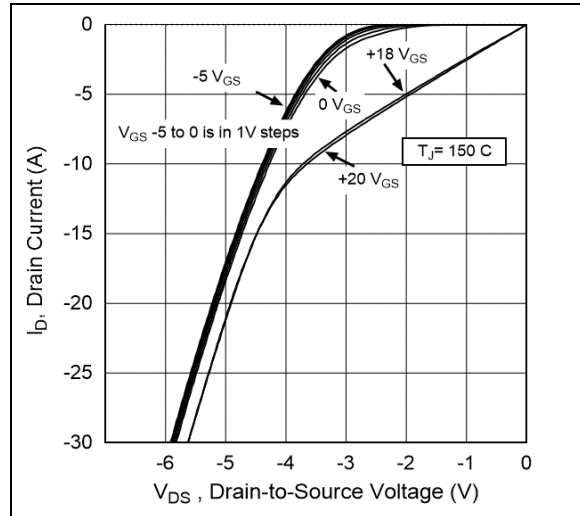


图5：MSC360SMA120B 的第三象限 I-V 曲线图

体二极管稳健性

在 Microchip SiC MOSFET 中使用体二极管没有任何限制，但并非所有 SiC MOSFET 供应商的产品皆如此。最新的第三方测量表明，竞争对手的器件出现不同程度的体二极管性能下降情况。在一些情况下，导通损耗在 168 小时后提高了 20%；而在其他一些情况下，导通损耗在不到 10 小时内就提高了一倍以上¹。这种退化机理称为重组增强位错运动；这种现象很好理解，并且已在其他半导体（如 SiGe、CdS 和 GaAs）中观察到。利用特定器件的专门技术，我们可以在 SiC 中减少这种影响。

再次强调，客户可以放心使用 **Microchip SiC MOSFET 体二极管**，如有任何问题，请联系当地 **Microchip** 销售办事处。

开关噪声抗扰性

如果将 $V_{GSoff} = 0V$ 用于高速硬开关应用中的 SiC MOSFET，则需要考虑采取一些重要的预防措施。在深入探讨这些预防措施之前，有必要先讨论一下阈值电压和夹断电压。

表 2 来自 Microchip 采用 TO-247 封装的 1200V、80 mΩ SiC MOSFET 数据手册。根据行业惯例，在 $V_{GS} = V_{DS}$ 且 $T_j = 25^{\circ}C$ 以及漏极电流仅为 1 mA 的条件下测量标称阈值电压 V_{th} 。由于与 V_{th} 相关的漏极电流非常低，所以我们在设计中会使用一个更为相关的参数，称之为夹断电压 (V_p)。夹断电压 (V_p) 是在特定 V_{DS} 下产生指定漏极电流的 V_{GS} 值。

因此， V_p 的值与 V_{DS} 有关，而 V_{DS} 因 MOSFET 架构而异。与平面型 MOSFET 相比，沟槽型 MOSFET 的 V_p 更多变；因此，为确保安全运行，通常会将沟槽型 MOSFET 在 $25^{\circ}C$ 时的 V_{th} 值设计为高于标准值。这意味着，平面型 MOSFET 可提供更大的 V_p 设计裕量，它最终成为了噪声抗扰性的关键所在。

开关噪声抗扰性的“实际”裕量应在最高 V_{DS} 和允许的最大 T_j 下，根据 V_p 来设置。对于目前这一代 SiC MOSFET，Microchip 保证可在 $T_j = 175^{\circ}C$ 且 $V_{GS} = 0V$ 时关断。使用负 V_{GSoff} 可提供更多的 V_p 裕量，这样就可以提高开关稳定性，同时也是防止出现误导通的最可靠方法。

通常情况下，半桥配置中的误导通是由密勒电容（漏极 - 栅极电容 C_{GD} ）引起的，如图 6 所示。当顶部器件 Q2 导通时，较高的中点（桥臂输出） dV/dt 将使电流流过 C_{GD} ，从而在栅极电阻 R_{OFF} 两端形成压差。此压差将

使底部器件 Q1 的实际栅极电压 V_{GS} 高于稳态关断电压 V_{EE} 。这个电压可以非常高，足以导通 Q1，而 V_p 的裕量则可以防止出现这种误导通。

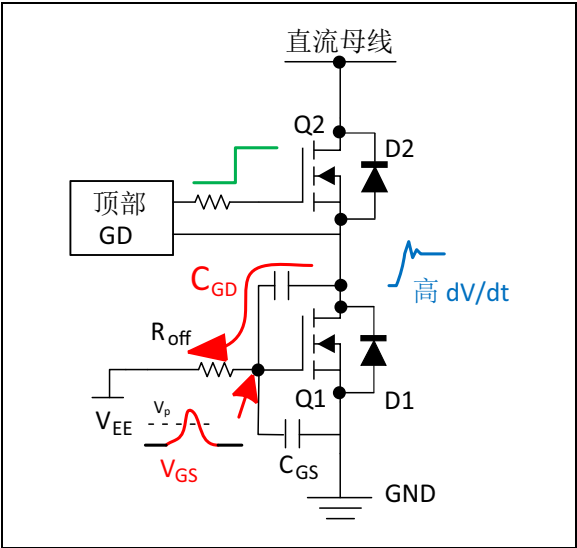


图6：半桥配置中开关引起的误导通

V_{GSoff} 总结

如前所述，Microchip 不建议使用 $V_{GSoff} = 0V$ 。对于不会出现直通的单端拓扑（例如：反激式、降压式或升压式拓扑），可以使用 $V_{GSoff} = 0V$ 。如果必须使用 $V_{GSoff} = 0V$ ，则应注意采用适当的栅极 - 源极回路设计。具体来说，设计人员应尽量降低：(i) 寄生漏极 - 栅极电容、(ii) 栅极 - 源极回路电感以及 (iii) 栅极 - 源极回路与主电流换相回路之间的共用电感。

表 2：MSC080SMA120B 的栅 - 源阈值电压

符号	特性	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{GS(th),25^{\circ}C}$	25°C 时的栅 - 源阈值电压	$V_{GS} = V_{DS}, I_o = 1\text{ mA}, T_j = 25^{\circ}C$	1.8	2.8	—	V

关键点

本应用笔记提供了有关 Microchip SiC MOSFET 栅 - 源电压规范的指导，以及实现最高效栅极驱动器电路的设计注意事项。以下是关键点。

1. 为实现最佳开关和导通性能，Microchip 建议使用 $V_{GSon} = +20V$ 和 $V_{GSoff} = -5V$ 驱动 SiC MOSFET。
2. 允许与这些建议值有所偏离。Microchip SiC MOSFET 可在 $+18V$ 电压下运行，尽管电流能力和导通效率可能会有所降低，但却可以延长短路耐受时间。
3. 不建议使用 $V_{GSon} = 15V$ 驱动目前这一代 Microchip SiC MOSFET。如果无法避免这种情况，请联系 Microchip 寻求设计协助。
4. Microchip 保证可在 $T_j = 175^{\circ}C$ 且 $V_{GS} = 0V$ 时关断。也就是说，使用负 V_{GSoff} 可提供更多的 V_p 裕量，这样就可以提高开关稳定性，同时也是防止出现误导通的最可靠方法。

参考

1. 作者：M. Kang 等，“Body Diode Reliability of Commercial SiC Power MOSFETs”，2019 IEEE 第七届宽带隙功率器件和应用研讨会（Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications, WiPDA），2019 年，第 416-419 页。

请注意以下有关 Microchip 产品代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》（Digital Millennium Copyright Act）。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他任何方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices>。

Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 www.microchip.com/quality。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、EyeOpen、GridTime、IdealBridge、IGaT、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、MarginLink、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mSIC、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PiCtail、Power MOS IV、Power MOS 7、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、Turing、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2023, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。

ISBN: 978-1-6683-2947-4

全球销售及服务网点

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631

印度 India - Pune
Tel: 91-20-4121-0141

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351

越南 Vietnam - Ho Chi Minh
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4485-5910
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-72400

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7288-4388

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenburg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820