

Application Note

使用非隔离式栅极驱动器驱动 SiC MOSFET



Rubas Khalid, Sam Wallace, Kevin Ginunas

摘要

人们对以更小的外形尺寸实现更高功率密度的需求推动了碳化硅 (SiC) 等宽带隙半导体技术的普及。传统上，这类开关多用于 10kW 以上的大功率设计，通常需要隔离式栅极驱动器，尤其在电动汽车和充电站应用中。随着 SiC 技术的不断扩展，越来越多的工业客户开始考虑将其用于小功率、非隔离式应用场景。本应用手册概述了德州仪器 (TI) 适用于 SiC MOSFET 的非隔离式低侧栅极驱动器产品组合，包括合理系统设计的关键考量因素及一个功率因数校正 (PFC) 设计示例。

内容

1 简介.....2

2 TI 非隔离式 SiC MOSFET 栅极驱动器概述.....3

3 SiC MOSFET 栅极驱动器设计考量因素.....4

 3.1 欠压锁定 (UVLO).....4

 3.2 负偏置电源 (双极性驱动)5

 3.3 短路保护.....5

4 PFC CCM 升压低侧栅极驱动器示例.....8

 4.1 栅极驱动器要求.....9

 4.2 栅极驱动器选择.....9

 4.3 栅极驱动器功耗.....10

5 总结.....11

6 参考资料.....11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

碳化硅 (SiC) 电源开关因支持高开关频率、高电压和大电流，在工业和汽车应用中日益普及。SiC MOSFET 设计在高频与大功率应用场景之间实现了良好平衡。栅极驱动器在有效控制 SiC MOSFET 方面发挥着关键作用，精心设计栅极驱动器系统对于确保 SiC MOSFET 保持在其安全工作区内至关重要。

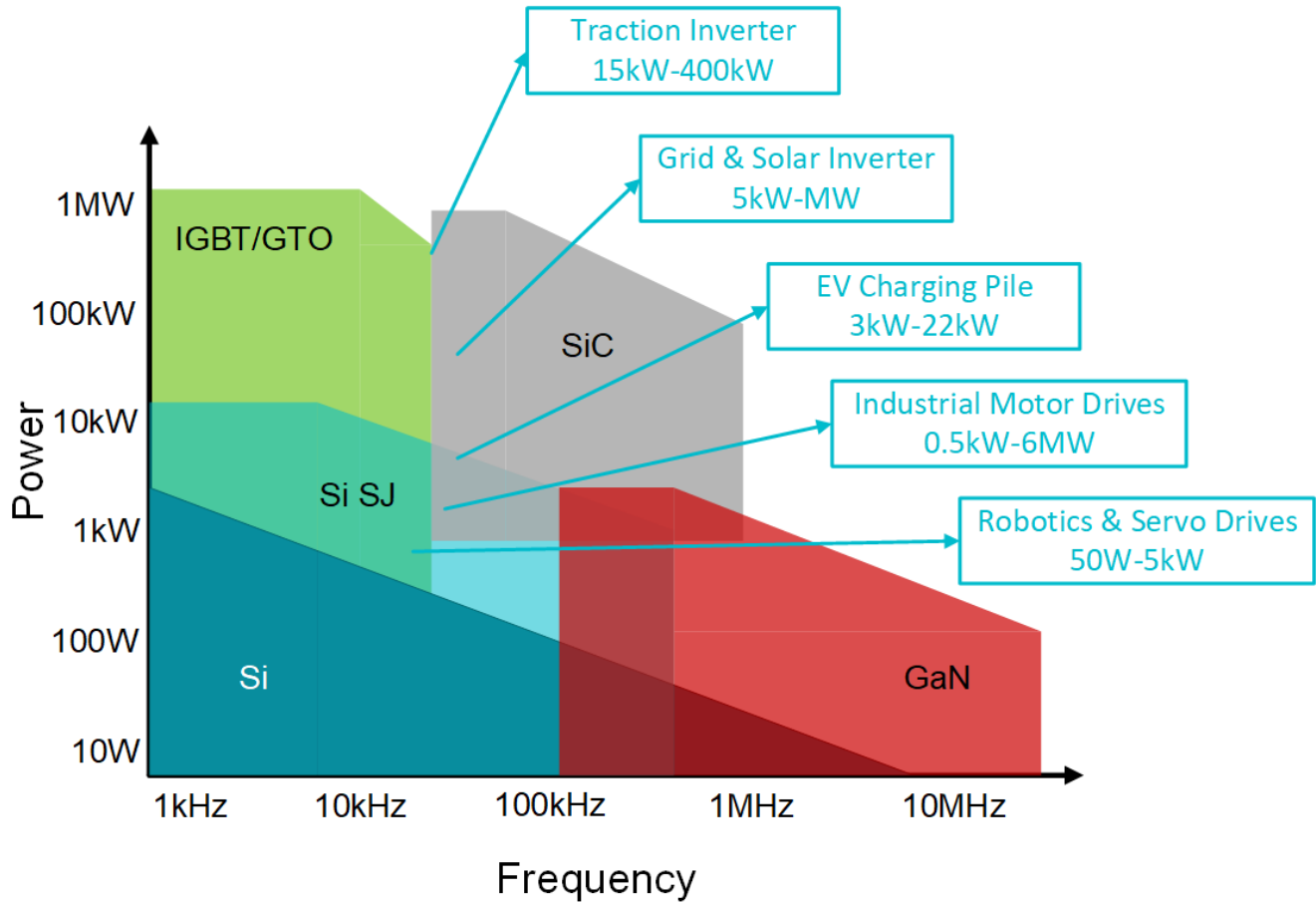


图 1-1. 电源开关技术和常见应用

本应用手册探讨了德州仪器 (TI) 的非隔离式低侧栅极驱动器产品，包括欠压锁定 (UVLO)、短路保护和负偏置电源支持等功能的设计详细信息。文中还针对功率因数校正 (PFC) 连续导通模式 (CCM) 升压拓扑提供了栅极驱动器设计示例。本文从最大电源电压 (V_{DD}) 额定值、峰值电流能力、UVLO 阈值、短路保护设计、外部栅极驱动电阻器和功耗等方面，探讨了栅极驱动器的设计要求。

2 TI 非隔离式 SiC MOSFET 栅极驱动器概述

TI 最新推出的低侧栅极驱动器 UCC5710X、UCC5713x 和 UCC5714x，是其首款集成短路保护功能的非隔离式驱动器。其中，UCC5710x 具备 DESAT 保护功能，UCC5713x 和 UCC5714x 则分别配备正向或负向的过流保护 (OCP) 功能。尽管这些短路保护方式的目标一致，但各自具备独特优势：OCP 不仅实现方式更为简便，还具备更强的定制灵活性；而 DESAT 则因无需检测电阻器消耗功率，本质上拥有更高的效率优势。

UCC5710X、UCC5713x 和 UCC5714x 还具备其他特性，使其成为驱动 SiC MOSFET 的优选方案。这其中包括多项关键特性：高 UVLO 选项，能在系统上电或电源出现故障时，防止开关器件损坏与功率损耗；负偏置电源能力，可将电源开关的栅极电压稳定维持在低至 -15V 的水平，避免器件意外导通；以及热关断功能，当检测到过温情况时，会立即关断驱动器。除上述特性外，UCC5710x、UCC5713x 与 UCC5714x 驱动器还具备负向输入电压能力及短传播延迟优势，凭借这些综合性能，它们成为了采用 SiC MOSFET 的系统中兼具高可靠性与高效能的理想驱动器。表 2-1 展示了这些驱动器的更详细规格。

表 2-1. 非隔离式低侧 SiC MOSFET 栅极驱动器

参数		UCC27614	UCC27531	UCC5710x	UCC5713x/ UCC5714x
保护特性	集成式保护	无	无	DESAT	OCP
绝对最大额定值	电源电压, V_{DD}	30V	35V	30V	30V
建议运行条件	电源电压, V_{DD}	26V	32V	26V	26V
	输入电压: IN_A 、 IN_B 、 EN_A 、 EN_B	-10 至 26V	-5 至 25V	-5 至 26V	-5 至 26V
	负电源电压, V_{EE}	不适用	不适用	-15V (B 型号)	-15V (B 型号)
	工作结温范围	-40°C 至 150°C	-40°C 至 150°C	-40°C 至 150°C	-40°C 至 150°C
UVLO	电源启动阈值	4.1V	8.9V	8.0V/13.5V	8.0V/13.5V
输出	峰值灌电流/拉电流	10A/10A	2.5A/5A	3A/3A	3A/3A
开关特性 ($C_{Load} = 1.8nF$)	上升时间, t_R (10% 至 90%) 下降时间, t_F (90% 至 10%)	5ns、4ns	15ns、7ns	8ns、14ns	8ns、14ns
	输入至输出传播延迟	17ns	17ns	26ns	26ns
附加特性	启用	是	是	W 型号	是
	分离输出	否	是	C 型号	C 型号
	软关断	否	否	是	否

3 SiC MOSFET 栅极驱动器设计考量因素

SiC MOSFET 用于大功率系统，主要部署在开关频率高于 50kHz 的应用场景中。为确保 SiC MOSFET 正常、高效运行，需考虑多项栅极驱动器设计因素。本部分介绍了 SiC MOSFET 栅极驱动器最重要的考量因素。

3.1 欠压锁定 (UVLO)

UVLO 是栅极驱动器的一项关键特性，其作用是当偏置电源电压低于预期值时，通过关断栅极驱动器的输出来保护 SiC MOSFET。如果栅极驱动器未配备 UVLO 功能，当其偏置电源电压下降时，栅极驱动器输出的电压可能仍能达到 SiC MOSFET 的栅源极导通阈值电压 (V_{GS})，但此时器件并未完全导通，会导致严重的导通损耗。

这种导通损耗可以通过 SiC MOSFET 的漏极电流 (I_D) 与漏源极电压 (V_{DS}) 随 V_{GS} 变化的 I-V 曲线关系体现。 V_{GS} 过低会使 SiC MOSFET 提前进入饱和状态，且由于漏源极导通电阻 ($R_{DS(on)}$) 较大，器件无法完全导通。

图 3-1 展示了 Si MOSFET 与 SiC MOSFET 的典型 I-V 曲线； V_{GS} 越低，MOSFET 饱和速度越快。对于 Si MOSFET 和 SiC MOSFET 而言，当 $V_{GS} < 10V$ 时，各曲线之间差距显著，表明 MOSFET 未完全导通。 V_{GS} 越低， $R_{DS(on)}$ 就越大，进而导致导通损耗越高。

但是，当 $V_{GS} \geq 10V$ 时，Si MOSFET 和 SiC MOSFET 之间的差异更加明显。对于 Si MOSFET， $V_{GS} = 10V$ 和 $V_{GS} = 15V$ 时的曲线几乎重合，表明 Si MOSFET 在 $V_{GS} = 10V$ 时已完全导通。将 Si MOSFET 的 V_{GS} 提高到 10V 以上，对降低导通损耗的作用微乎其微。而 SiC MOSFET 在 $V_{GS} = 10V$ 和 $V_{GS} = 15V$ 时的曲线仍有较大差距，这表明与 Si MOSFET 同类器件不同，SiC MOSFET 在 $V_{GS} = 10V$ 时并未完全导通。与 $V_{GS} = 15V$ 的工况相比，在 $V_{GS} = 10V$ 下运行 SiC MOSFET 会导致更多的导通损耗。

因此，为了在偏置电源启动或关断过程中最大限度降低导通损耗，SiC MOSFET 通常要求配备高 UVLO 功能。

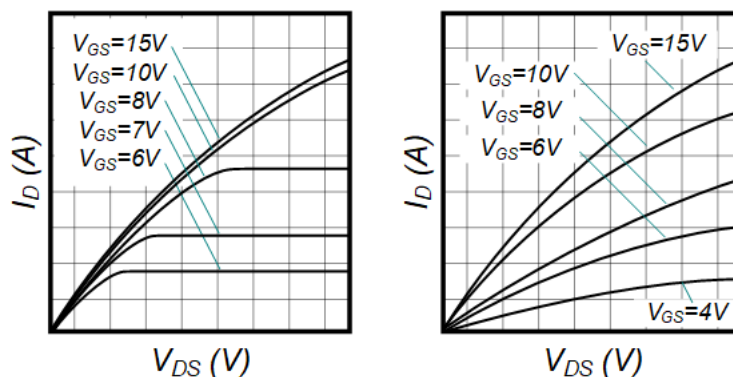


图 3-1. Si MOSFET (左) 与 SiC MOSFET (右) 的 I-V 曲线

3.2 负偏置电源（双极性驱动）

负偏置电源是驱动 SiC MOSFET 的另一项常见要求。在大功率应用中，较高的 dv/dt 可能通过 SiC MOSFET 的密勒电容感应出电流，进而对栅极充电。SiC MOSFET 可能会意外导通，引发毁灭性后果。负偏置电压可用于防止尖峰达到导通阈值，确保 SiC MOSFET 保持关断状态（此方式也称为双极性驱动）。图 3-2 展示了 2.5V 瞬态尖峰对栅源阈值电压为 2.5V 的 SiC MOSFET 的影响：采用 0V 关断会导致意外导通，而采用 -5V 关断则可确保 SiC MOSFET 保持关断。

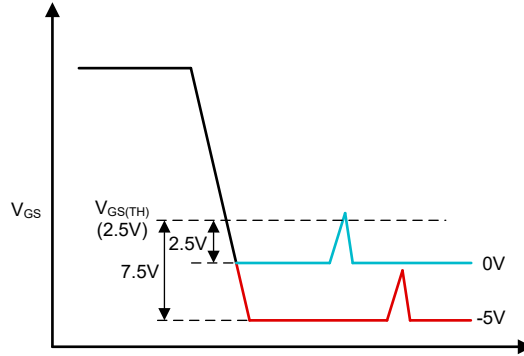


图 3-2. 关断电平对比

3.3 短路保护

大功率应用存在较高的短路风险，短路事件可能严重损坏 SiC MOSFET 及系统中的其他元件。可采用多种短路保护方式，通过快速检测和低误触发特性，减轻短路事件造成的损坏。

3.3.1 去饱和和保护

去饱和 (DESAT) 保护是一种基于电压的短路保护。图 3-3 展示了一个典型的 DESAT 电路。

正常工作状态下，当 SiC MOSFET 导通时， I_D 会处于规格范围内，漏极电压维持在较低水平 ($V_{DS} = I_D \times R_{DS(on)}$)。此时高压阻断二极管 (D_{HV}) 处于正向偏置状态，使得从 I_{CHG} 流出的电流（如图中 VDD 的向下箭头所示）可以通过 D_{HV} ，而不会对消隐电容器 (C_{BLK}) 充电。

当发生短路时，过大的 I_D 会导致漏极电压上升至高电平。这会导致 D_{HV} 进入反向偏置状态，从而阻断从 I_{CHG} 流出的电流。此时充电电流会对 C_{BLK} 充电；当 C_{BLK} 两端电压超过内部 DESAT 电压阈值 (V_{DESAT}) 时，比较器会指示检测到短路。

电容充电所需时间即为消隐时间，可通过使用内部 V_{DESAT} 和 I_{CHG} 在方程式 1 中计算得出。减小电容容值可缩短 DESAT 保护的触发时间，这一点在 SiC MOSFET 应用中十分实用。

$$t_{BLK} = \frac{V_{DESAT} \times C_{BLK}}{I_{CHG}} \quad (1)$$

尽管内部 V_{DESAT} 是由设计决定的，但触发 DESAT 保护所需的漏极电压可通过修改 DESAT 引脚与 SiC MOSFET 漏极之间的串联元件进行调整，而该漏极电压可通过方程式 2 计算得出。 $V_{DESAT(actual)}$ 是指触发 DESAT 的漏极电压。

$$V_{DESAT(actual)} = V_{DESAT} - (I_{CHG} \times R_{BLK}) - V_F(D_{HV}) \quad (2)$$



分流电阻器阻值是根据触发 OCP 所需的漏极电流 (通常略低于 SiC MOSFET 可处理的最大漏极电流) 进行选择的, 可通过 [方程式 3](#) 计算得出。

$$R_S = V_{OCTH}/I_{D(OC)} \quad (3)$$



3.3.3 软关断

检测到短路事件后，需要安全地关断 SiC MOSFET，以更大限度地减少对系统的损坏。

寄生电感可以与快速的 I_D 开关相互作用，从而在 $(V = L \times \frac{di}{dt})$ SiC MOSFET 两端产生电压。在 I_D 处于额定范围内的正常工况下，采用常规关断方式所感应的电压处于 SiC MOSFET 的耐受范围内。但在短路事件中，感应电压可能达到毁灭性水平，导致 SiC MOSFET 损坏。

软关断设计通过延长关断时间，降低 SiC MOSFET 关断过程中的开关速度。此举可减小 di/dt ，从而将感应电压控制在最低水平。图 3-5 以曲线形式直观呈现，当通过 UCC5710x 中的 DESAT 保护检测到短路时，输出端如何实现缓慢关断的过程。图中包含与 DESAT 保护相关的其他概念性时序特性： t_{DESLEB} （前沿消隐时间，用于防止 SiC MOSFET 导通瞬态引起误触发）、 t_{DESFIL} （抗尖峰脉冲滤波时间，防止 SiC MOSFET 导通时因噪声导致误触发）、 $t_{DES2OUT}$ （达到 DESAT 阈值与输出端下降至 90% 之间的时间）、 $t_{DES2FLT}$ （达到 DESAT 阈值与 \overline{FLT} 下降之间的时间）。

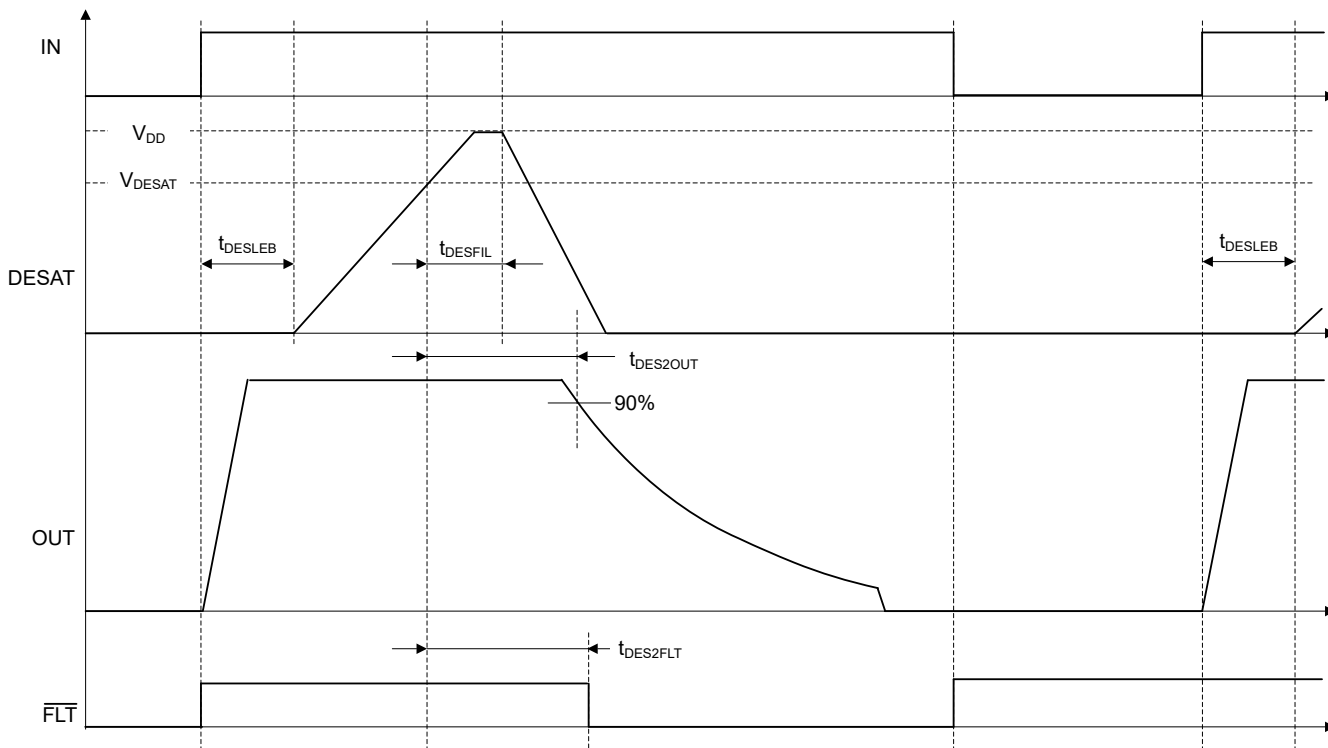


图 3-5. 软关断

4 PFC CCM 升压低侧栅极驱动器示例

在功率因数校正 (PFC) 连续导通模式 (CCM) 升压应用中，SiC MOSFET 可带来显著优势。SiC MOSFET 具备低导通损耗和低开关损耗的特性，使其在 1kW 以上的应用中能够实现更高效率和更高功率密度。SiC 技术可实现更高的开关频率，从而为减小磁性元件体积和降低成本创造可能。本应用手册以 3kW PFC CCM 升压电路为例，阐述低侧栅极驱动器的设计考量因素。表 4-1 中列出了目标设计参数。

表 4-1. 设计参数

设计参数	示例值
PFC 输入电压范围	185-265Vac, 60Hz
PFC 标称输出电压	400VDC
最大稳定状态输出功率	3000W
SiC MOSFET 正偏置电源	+20V
SiC MOSFET 负偏置电源	-5V
开关频率	60kHz
开关压摆率	20V/ns
短路检测	是
最高环境温度	100°C

本示例中选用的 SiC MOSFET 额定参数如下：650V 最大 V_{DS} 、35A 持续 I_D 额定值 ($T_c = 100^\circ\text{C}$ 时)、73nC 的总 Q_G 以及 $V_{GS} = 20\text{V}$ 时的 $45\text{m}\Omega$ 典型 $R_{DS(on)}$ 。图 4-1 展示了典型 PFC CCM 升压应用所需的元件。

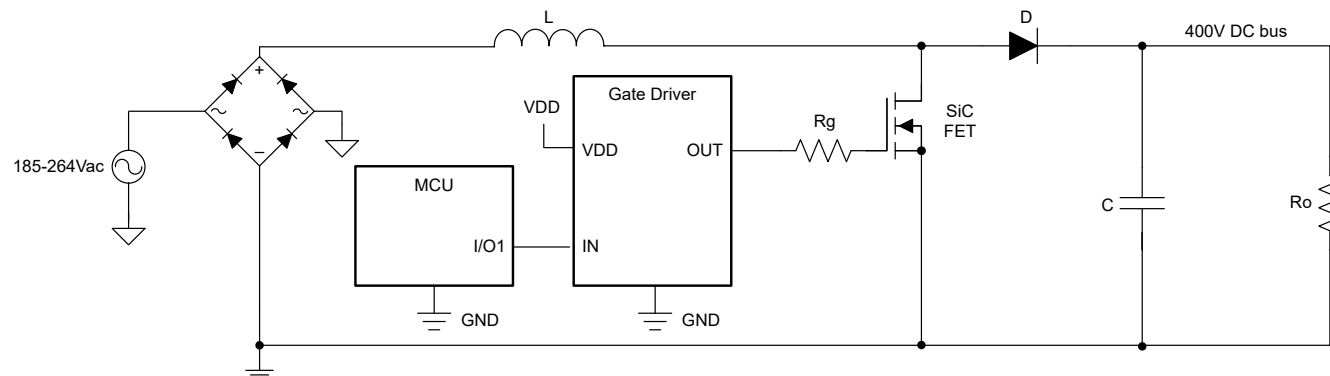


图 4-1. 栅极驱动器在 PFC 系统中的典型应用

4.1 栅极驱动器要求

为 SiC MOSFET 选择合适的栅极驱动器时，需重点考虑偏置电压额定值、峰值电流能力、保护功能、栅极电阻器及功耗等参数。

为了最大限度地降低导通损耗，偏置电压设定为 20V；同时设定 -5V 的负偏置，以防止瞬态信号导致的误导通。由上述电压差值可知，栅极驱动器的 V_{DD} 要求至少为 25V。

为了最大限度地降低开关损耗，栅极驱动器还必须能够提供所需的峰值电流以实现目标开关速度。系统对开关速度的要求通常通过压摆率来表示。在本示例的 PFC 电路中，设计要求明确规定：在 400V 直流母线电压下，SiC MOSFET 的导通电压压摆率需达到 20V/ns 或更高。这意味着 SiC MOSFET 导通期间 V_{DS} 的完整摆幅变化需要在 20ns ($= 400V/20\frac{V}{ns}$) 或更短时间内完成。在 V_{DS} 摆幅期间，SiC MOSFET 的密勒电荷（对于所选的 SiC MOSFET， Q_{GD} 参数为 27nC）由栅极驱动器的峰值电流充电；峰值电流需要在 20ns 或更短的时间内为 Q_{GD} 充电。由此可算出，所需峰值电流至少为 1.35A ($= 27nC/20ns$)。

UVLO 是一项关键保护功能，可在电源故障情况下最大限度地减少 SiC MOSFET 的损坏。如果故障导致 V_{GS} 降至不安全的水平，那么 SiC MOSFET 可能会出现传导损耗。这会降低 SiC MOSFET 的效率，增加发热并缩短其寿命。在该应用场景中，采用具有高 UVLO 额定值的栅极驱动器颇具优势。

具备某种形式的短路检测功能，是 SiC MOSFET 的另一项重要保护特性。由于 SiC MOSFET 并不存在像 IGBT 中饱和区到有源区那样清晰的线性区到饱和区过渡，因此若不对 DESAT 保护这类单电压阈值检测方式进行大幅改进，就无法实现精准保护。OCP 是更理想的选择，它使用分流电阻器来测量电流。

4.2 栅极驱动器选择

在此应用中，最好使用 UCC57132B。UCC57132B 是一款 30V 低侧栅极驱动器，具有 3A 拉电流/灌电流峰值额定值、OCP 和故障报告功能。UCC57132B 还支持负偏置输入，可检测 OCP 并提供故障指示，且具有 13.5V（典型值）的高 UVLO 阈值。

在将 UCC57132B 集成到系统中时，偏置电源的旁路电容是需重点考虑的关键元件。为提高防噪性能，这些旁路电容需尽可能靠近 UCC57132B 的 V_{DD}/V_{EE} 引脚与 GND 引脚。TI 建议至少并联两个旁路电容，第一个电容为 0.1μF，第二个电容为 1μF 或更大（0.1μF 电容需比较大容量的电容更靠近 IC）。在 IN 引脚上添加一个小型旁路电容器或 RC 滤波器，有助于提高输入 PWM 信号的防噪性能。

OCP 引脚的阈值为 500mV，可利用该阈值计算分流电阻器的阻值。SiC MOSFET 在 $T_c = 100^\circ\text{C}$ 时的最大持续 I_D 额定值为 35A，设计时需预留余量；据此可计算得出分流电阻器，取值为 $25m\Omega$ ($= 500mV/20A$)。在 OCP 引脚附近添加一个小型 RC 滤波器，可帮助抑制导致 OCP 误触发的噪声。

故障信号恢复时间由 EN/\overline{FLT} 引脚上的 RC 滤波器使用方程式 4 计算得出。 R_{ENU} 是指 EN/\overline{FLT} 引脚的内部上拉电阻， V_{ENH} 指使能信号的上升阈值。这两个参数值均可在 UCC57132B 数据表中找到（ $R_{ENU} = 2M\Omega$ 和 $V_{ENH} = 2.2V$ ）。当 $R_{FLTC} = 5k\Omega$ 且 $C_{FLTC} = 100pF$ 时，经计算故障恢复时间 $t_{FLTC} = 58ns$ 。

$$t_{FLTC} = -\left(\frac{R_{FLTC} \times R_{ENU}}{R_{FLTC} + R_{ENU}}\right) \times C_{FLTC} \times \ln\left(1 - \frac{V_{ENH}}{V_{DD}}\right) \quad (4)$$

增加外部栅极电阻器具有多项优势。栅极电阻器可限制输出的导通与关断时间，降低 EMI，并承担部分与栅极电荷相关的功耗。UCC57132B 不具备可分别控制导通与关断时间的分立式输出功能，但可通过阻断二极管来模拟分立式输出。栅极电阻器的选型需通过台架试验验证，但初始选型可参考：导通电阻取 2.2Ω ，关断电阻取 1.1Ω （通过并联两个 2.2Ω 电阻器并配合阻断二极管，可实现该关断电阻效果）。

图 4-2 列出了 UCC57132B 的设计参数值。需通过细致测试验证元件参数的合理性，并根据测试结果进行必要调整。

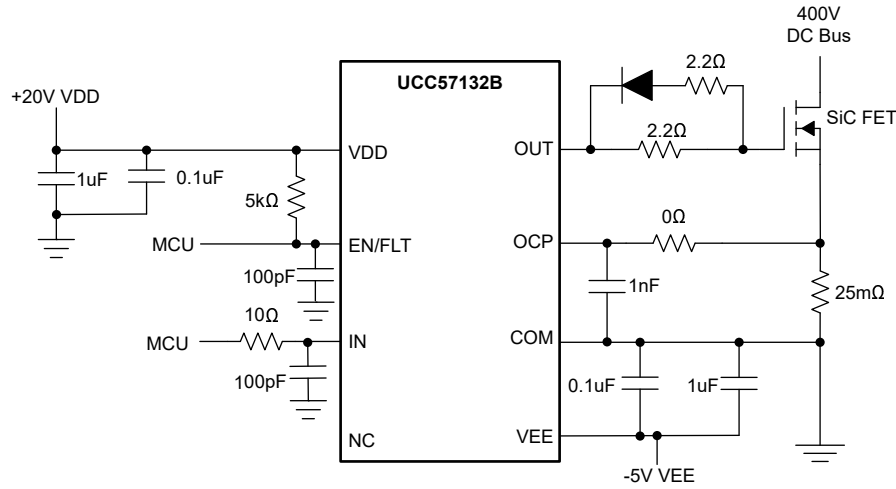


图 4-2. UCC57132B 设计参数值

4.3 栅极驱动器功耗

需确认所选栅极驱动器的功耗是否在规格范围内。低侧栅极驱动器中的总功耗 (P_{tot}) 可分为两个部分：直流损耗和开关损耗。直流损耗 (P_{DC}) 取决于栅极驱动器为内部电路提供偏置所需的静态电流。开关损耗 (P_{SW}) 取决于电源开关的栅极电荷、偏置电压、开关频率和内部/外部栅极电阻。

可根据栅极驱动器数据手册中的热规格参数及预估环境温度，计算出驱动器的最大允许功耗 (P_{max})。可以将 P_{max} 与计算出的 P_{tot} 进行比较，以确保栅极驱动器在规格范围内。方程式 5 和方程式 6 用于估算 UCC57132B 的最大功率耗散。

$$P_{max} = \frac{T_J - T_A}{R_{\theta JA}} \quad (5)$$

$$P_{max} = \frac{150^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}}{126.6 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}} = 395\text{mW} \quad (6)$$

UCC57132B 的最大 VDD 静态电流为 1.3mA，最大 VEE 静态电流为 1.1mA。当 VDD 电源为 +20V、VEE 电源为 -5V 时，其直流损耗为 31.5mW ($= (1.3\text{mA} \times 20\text{V}) + (-1.1\text{mA} \times -5\text{V})$)。

开关损耗可使用方程式 7 和方程式 8 进行估算。 $R_{OH(eff)}$ 表示输出导通期间输出结构的有效上拉电阻 (1Ω)；这一特性源于 UCC57132B 输出级的混合上拉结构，其中包含一个与上拉 PMOS 并联的上拉 NMOS。该参数与数据手册中的 R_{OH} 参数不同，后者仅代表上拉 PMOS (如果需要高估，可以使用 R_{OH} 代替 $R_{OH(eff)}$)。 R_{OL} 指下拉 NMOS 的典型电阻，可在数据手册中查询 (1Ω)。 $R_{GATE(H)}$ 是指导通外部栅极电阻， $R_{GATE(L)}$ 是指关断外部栅极电阻。 $R_{GATE(I)}$ 是指所选 SiC MOSFET 的固有栅极电阻 (2Ω)。

$$P_{SW} = Q_g \times (V_{DD} - V_{EE}) \times f_{sw} \times \frac{1}{2} \left(\frac{R_{OH(eff)}}{R_{OH(eff)} + R_{GATE(H)} + R_{GATE(I)}} + \frac{R_{OL}}{R_{OL} + R_{GATE(L)} + R_{GATE(I)}} \right) \quad (7)$$

$$P_{SW} = 73\text{nC} \times (20\text{V} - (-5\text{V})) \times 60\text{kHz} \times \frac{1}{2} \left(\frac{1\Omega}{1\Omega + 2.2\Omega + 2\Omega} + \frac{1\Omega}{1\Omega + 1.1\Omega + 2\Omega} \right) = 23.9\text{mW} \quad (8)$$

封装中耗散的总功率估算值通过方程式 9 和方程式 10 进行计算。

$$P_{tot} = P_{DC} + P_{SW} \quad (9)$$

$$P_{tot} = 31.5\text{mW} + 23.9\text{mW} = 55.4\text{mW} \quad (10)$$

对于初始设计而言，计算得出的 P_{tot} 远小于 UCC57132B 的估算 P_{max} ，确保器件在规格范围内。在整个设计阶段，必须完成进一步的热分析，以验证是否具备足够的散热能力。有关热分析的更多信息，请阅读 [半导体和 IC 封装热指标](#) 应用手册。

5 总结

本应用手册详细介绍了德州仪器 (TI) 针对碳化硅 (SiC) 开关的非隔离式低侧栅极驱动器设计。TI 栅极驱动器能够控制 SiC 电源开关，并提供所需的必要保护功能，助力工业和汽车系统实现更高功率密度与更小尺寸的设计目标。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI), [了解用于碳化硅 MOSFET 的短路保护](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [高 UVLO 为何对于 IGBT 和 SiC MOSFET 电源开关的安全运行而言很重要?](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [适用于栅极驱动器的外部栅极电阻器设计指南](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [如何使用低侧栅极驱动器 \(双极性驱动 \) 通过负偏置驱动 SiC FET 或 IGBT ?](#) E2E™ 设计支持论坛。
- 德州仪器 (TI), [SiC 栅极驱动器基础知识](#) 电子书。
- 德州仪器 (TI), [栅极驱动器的功率损耗和热性能考量因素](#) 视频。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月