*Application Note*

# *具有光耦兼容输入和 DESAT 的 UCC23711 隔离式 IGBT/SiC FET 栅极驱动器设计指南*

*Martin Staebler, Yufeng Zhang*


## 摘要

在工业机器人和伺服驱动器的工业驱动设计中，稳健性是硬性要求。本应用手册提供了 UCC23711 隔离式单通道栅极驱动器的电路设计指南，专为开发高可靠性三相 IGBT 逆变器的工程师量身定制。除了对 UCC23711 关键参数的基础概述之外，本指南还深入探讨了如何在元件容差限制下优化输入电阻器配置，展示了去饱和 (DESAT) 保护的实现方式以及 DESAT 保护时间的配置方法。此外，本指南还介绍了通过有源米勒钳位和可配置栅极驱动峰值拉电流和灌电流设置实现的栅极驱动优化，同时还介绍了单极和双极性栅极驱动电源配置中的电源去耦与功耗注意事项。主要设计参数均基于三相 IGBT 逆变器原型在 550V 直流总线电压下的实测数据完成验证，提供有关输入电流阈值和迟滞、传播延迟、IGBT 开关压摆率、具有软关断的故障响应时序和栅极驱动电源电流的详细性能数据。


## 内容


**1 简介**.....2
**2 适用于 SiC 和 IGBT 的光输入隔离式保护栅极驱动器**.....3
**3 UCC23711 的三相 IGBT 逆变器设计指南**.....4
3.1 概述.....4
3.2 UCC23711 输入电流电阻器配置.....5
3.3 UCC23711 栅极驱动导通和关断峰值电流.....5
3.4 UCC23711 有源米勒钳位.....6
3.5 UCC23711 电源去耦和要求.....6
3.6 DESAT 电路配置.....7
3.7 UCC23711 故障 (FLT) 反馈.....8
**4 系统测试结果**.....9
4.1 受测三相 IGBT 逆变器.....9
4.2 UCC23711 输入电流阈值和迟滞.....10
4.3 UCC23711 传播延迟.....10
4.4 U 相导通和关断压摆率.....11
4.5 UCC23711 米勒钳位和单极 15V 电源.....12
4.6 UCC23711 DESAT 响应和软关断.....13
4.7 增加 DESAT 充电电流.....14
4.8 UCC23711 VDD UVLO 阈值和栅极驱动输出.....14
4.9 UCC23711 栅极驱动器功耗.....15
**5 总结**.....16
**6 参考资料**.....16


## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。


Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

# 1 简介

绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 栅极驱动器是 110VAC 至 690VAC 输入三相 IGBT 逆变器中的关键组件，适用于变速驱动器、伺服驱动器和工业机器人等应用。对于热侧受控型三相功率级，栅极驱动器相对于控制 MCU 通常为非隔离或功能隔离。对于冷侧受控的三相功率级，栅极驱动器相对于控制 MCU 通常为增强型隔离，如下图所示。增强型隔离式功率级的一个优势是，单个 MCU 可以实现电机控制、应用和工业通信。

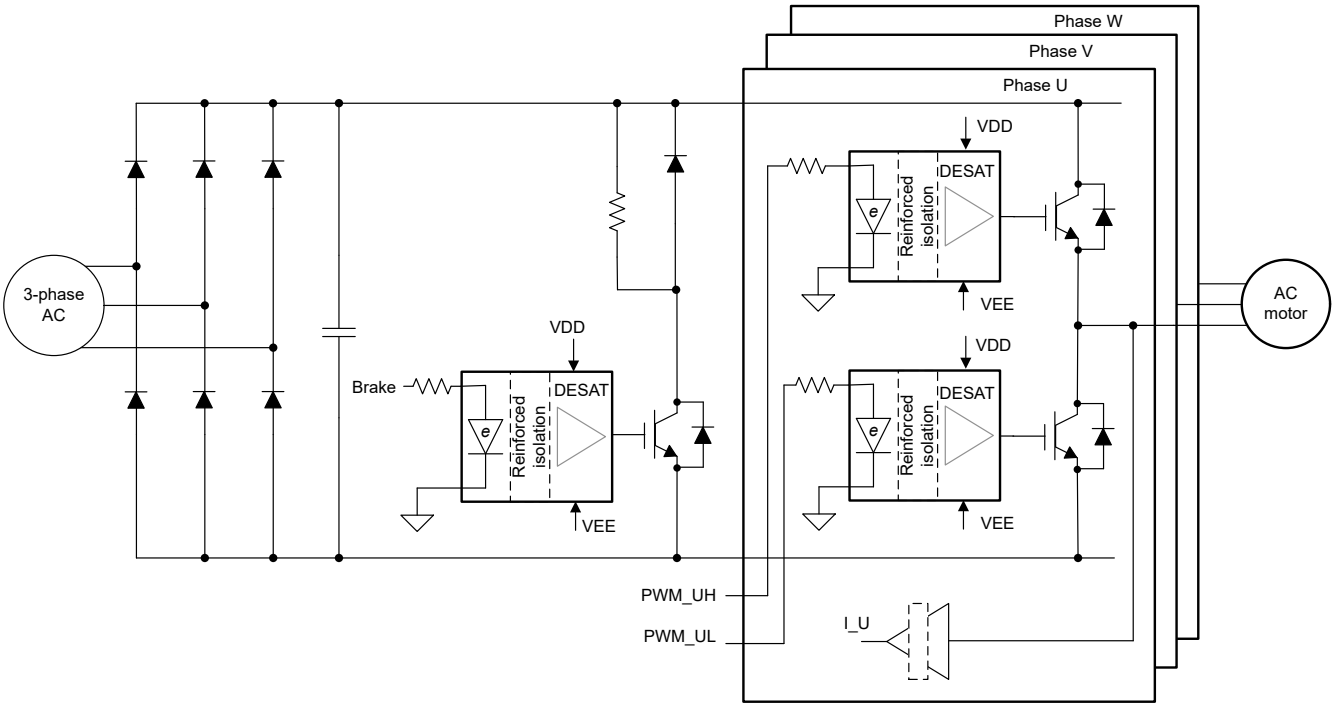



**图 1-1. 增强型隔离式三相 IGBT 功率级的简化方框图**

增强型隔离式 IGBT 栅极驱动器的选型取决于许多系统参数，例如 CMOS 输入或光耦兼容输入（电流输入）、自举电源、单极或双极栅极驱动器电源、欠压关断、IGBT 导通和关断时间、短路检测和过流事件情况下的 IGBT 软关断、PWM 死区时间、隔离规格和共模瞬态抗扰度、功能安全（安全转矩关断）等。



English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

## 2 适用于 SiC 和 IGBT 的光输入隔离式保护栅极驱动器

UCC23711 和 UCC23710 是电隔离单通道栅极驱动器，专为 SiC MOSFET 和 IGBT 而设计，工作电压高达 1500VDC。输入侧通过 SiO2 隔离技术与输出侧相隔离，支持高达 1.5kVPK 的工作电压、10kVPK 的浪涌抗扰度和大于 300V/ns 的共模瞬态抗扰度。UCC23711 和 UCC23710 具有高达 ±5A 的峰值拉电流和灌电流。两款器件均包含过流保护和软关断、有源米勒钳位、故障诊断和输出侧电源 UVLO，用于优化 SiC 和 IGBT 开关行为和稳健性。

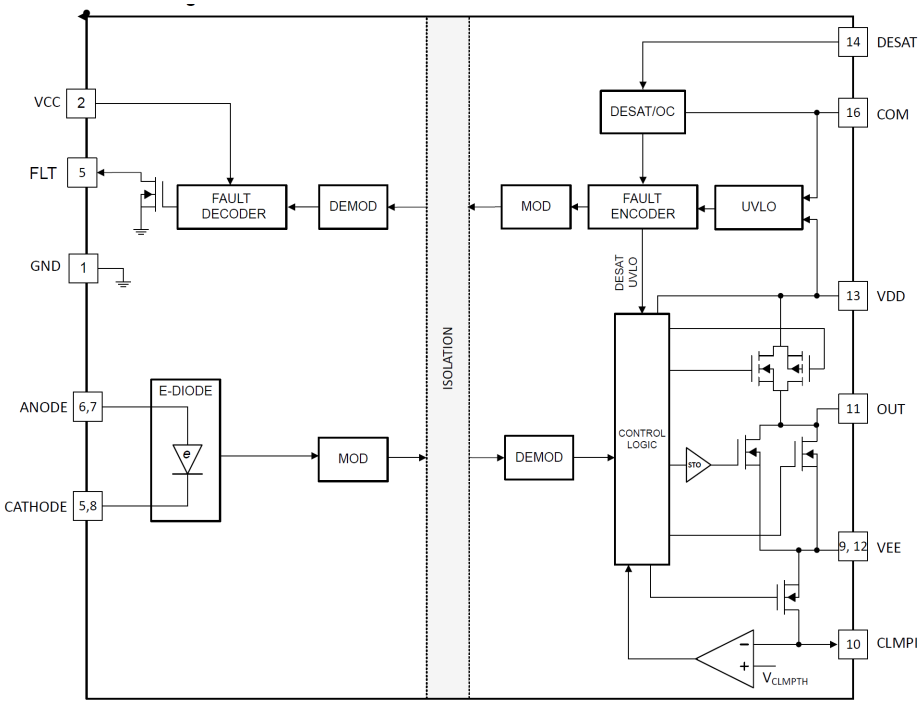



**图 2-1. UCC23711 的方框图**

UCC23711 和 UCC23710 还具有最先进的去饱和 (DESAT) 检测功能，检测时间短，并具有向低压侧 MCU 报告故障的功能。发生 DESAT 故障时，器件会触发软关断，从而最大限度地减少短路能量并降低功率开关上的过冲电压。UCC23711 的 DESAT 阈值为 6.5V，UCC23710 的阈值为 9V，可支持各种功率开关。DESAT 功能有助于保护机器人和伺服驱动器等应用的三相逆变器，防止其受到半桥直通、电机相间短路或一相对大地 GND 短路等短路的影响。

UCC23711 和 UCC23710 传播延迟低（最大值 100ns），脉冲/器件间偏差 30ns（最大值），有助于缩短三相逆变器死区时间，提升功率效率。


English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

# 3 UCC23711 的三相 IGBT 逆变器设计指南

## 3.1 概述

下图显示了用于 UCC23711 测试和验证的 UCC23711 (U1) 栅极驱动器和 1200V IGBT 电源模块 (Q1) 的原理图。

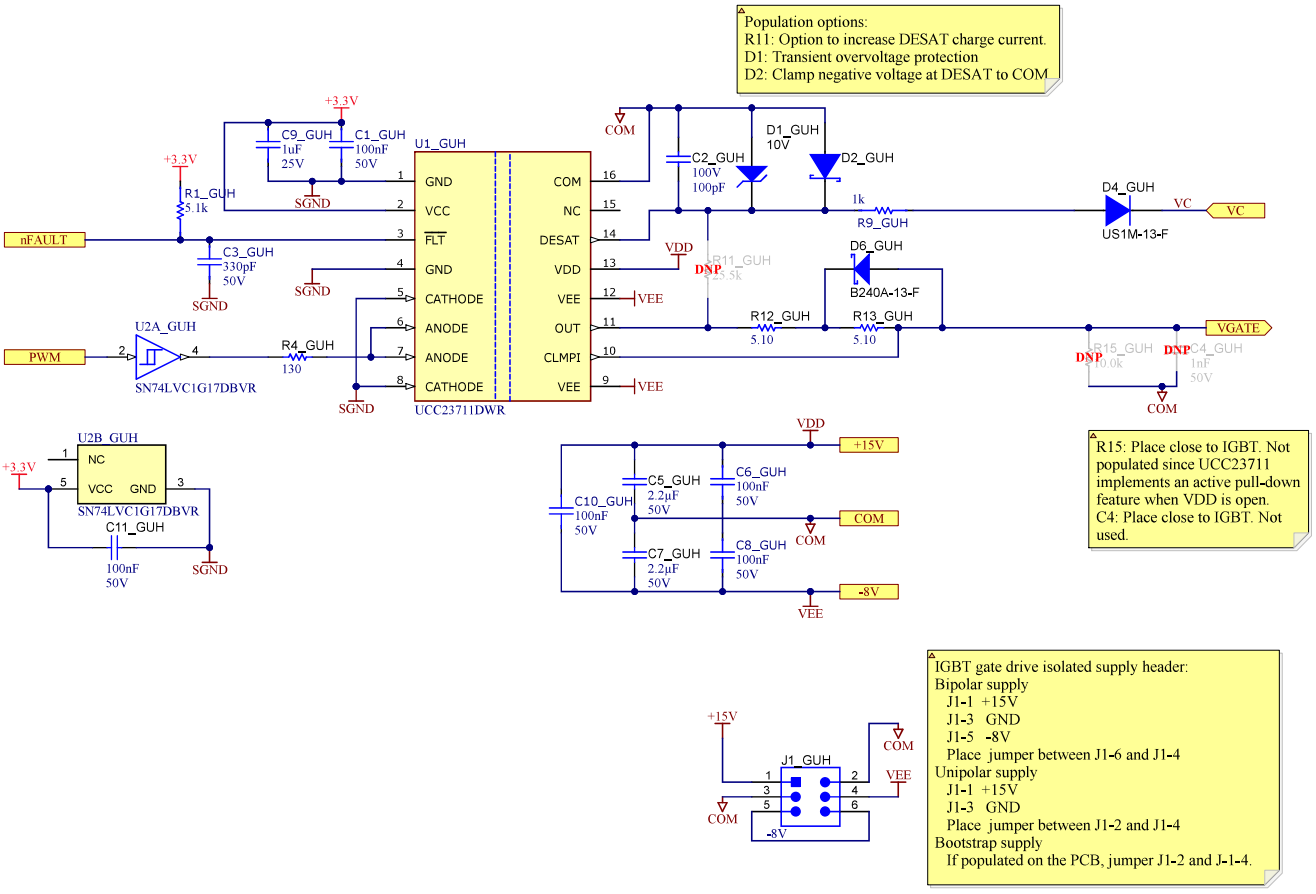



图 3-1. UCC23711 原理图 U 相上管栅极驱动器示例

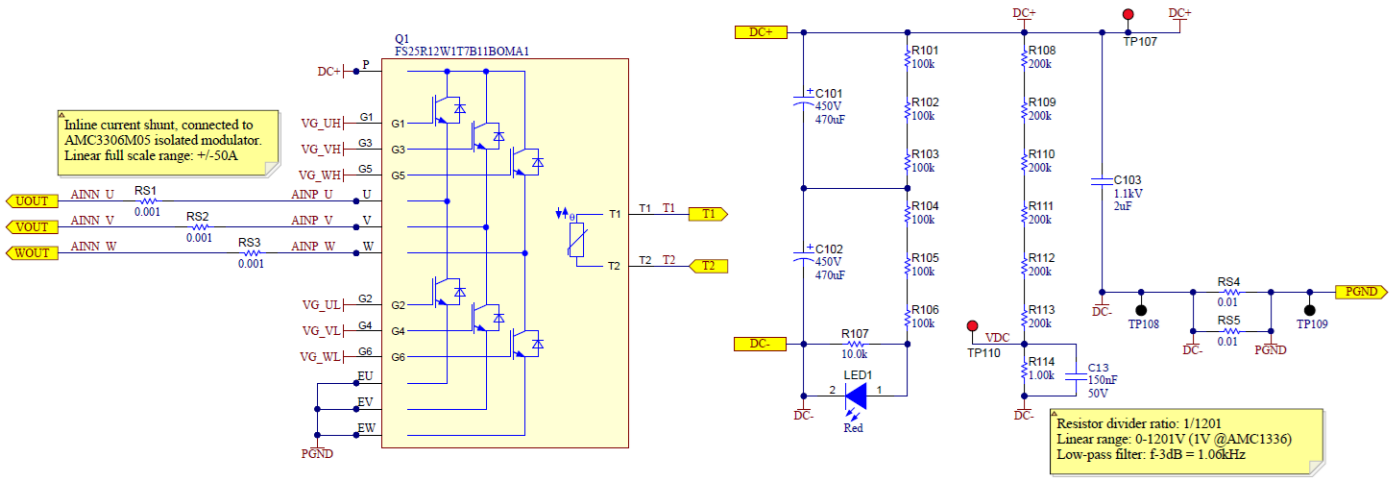



图 3-2. IGBT 模块和直流母线原理图



English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

本场景采用 1200V 六单元 IGBT 电源模块 Q1，拓扑为三相半桥，无制动 IGBT，内置 NTC。该 IGBT 模块支持 25A 连续电流，并使用 50A 峰值电流进行测试。25°C、15V VGE 和 25A 电流下，集电极发射极饱和电压典型值为 1.6V。栅极阈值电压典型值为 5.8V，在 600V 且 VGE = ±15V 条件下，栅极电荷为 0.395μC，内部栅极电阻器典型值为 0Ω。使用具有 15V 和 – 8V 电源的双极性电源时，相应的栅极电荷约为 0.3μC，对于单极 15V 电源，相应的栅极电荷约为 0.2μC。栅极电荷会影响偏置电源额定功率和去耦电容。25°C 的导通延迟时间为 35ns，关断延迟时间为 190ns。在设置互补 PWM 死区时间时必须考虑这一点。

本设计选用 UCC23711，原因是其 DESAT 阈值为 6.5V。

## 3.2 UCC23711 输入电流电阻器配置

UCC23711 输入电阻器可以限制正向偏置时流入仿真二极管的电流。建议的正向电流工作范围为 5mA 至 20mA（仿真二极管导通）。阈值电流 $I_{FLH}$ 典型值为 1mA。

UCC23711 在阳极使用单个输入电阻器 R4 运行，从而降低 BOM，同时保证高共模瞬态抗扰度 (CMTI) 最低 300V/ns。阴极直接连接到逻辑地，以实现出色的防噪性能。输入电阻器 R4 选用 130Ω，并使用 SN74LVC1G17 单路施密特触发缓冲器 (U2)，在 3.3V 标称电源下可满足 UCC23711 正向电流的最小、典型和最大值规格要求。请参阅以下表格。

**表 3-1. UCC23711 输入电流容差**

| 参数 | 单位 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 注释 |
|---|---|---|---|---|---|
| $I_F$ | mA | 5.4 | 10.8 | 15.8 | 符合 UCC23711 建议的正向电流规格 |
| $R_{EXT}$ | Ω | 128.7 | 130 | 131.3 | 1% 容差 |
| VCC | V | 3.15 | 3.30 | 3.45 | ±5% 容差 |
| VCC 处的 $VOH_{LVC1G17}$ | V | 2.7 | 3.1 | 3.45 | VCC(MIN)、4mA 下估算的 VOH(MIN) |
| $I_F$=10mA 时的 $V_F$ | V | 1.4 | 1.7 | 2 | UCC23711 数据表，SLVSKN4 — 2025 年 12 月 |

## 3.3 UCC23711 栅极驱动导通和关断峰值电流

栅极驱动输出电阻器 R12、R13 以及与 R13 并联的肖特基二极管 D6，如下图所示。该方案可实现可配置的导通和关断峰值电流。在默认配置 R12 = R13 = 5.1kΩ 且已贴装 D6 的情况下，可针对 +15V 与 -8V 双极性电源（VDD-VEE = 23V），估算 UCC23711 的峰值拉电流和灌电流：

$$I_{OUT,SOURCE} = min\left[5A, \frac{VDD - VEE}{R_{OUTH} + R12 + R13 + R_{Gint}}\right] = 2.1A \quad (1)$$

其中，$R_{Gint}$ =0，是所选 IGBT 的内部栅极电阻，而 $R_{OUTH}$ = 0.7Ω，是 UCC23711 用于拉电流的输出上拉电阻。

$$I_{OUT,SINK} = min\left[5A, \frac{VDD - VEE - V_F(D6)}{R_{OUTL} + R12 + R_{Gint}}\right] = 3.9A \quad (2)$$

其中 $V_F$(D6)= 0.3V、$R_{GINT,IGBT}$ =0 以及 $R_{OUTL}$ = 0.7Ω，为 UCC23711 用于灌电流的输出下拉电阻。


English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

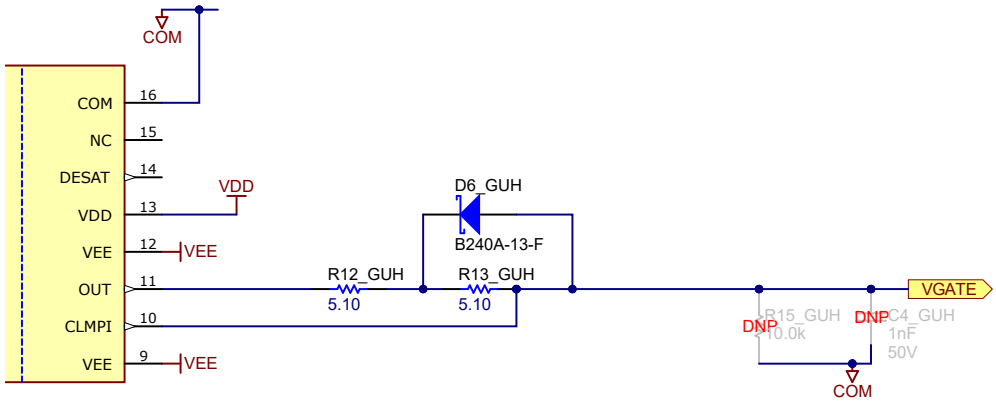



**图 3-3. UCC23711 栅极驱动电路**

估算的峰值电流也受到 PCB 布局和负载电容的影响。栅极驱动器环路中的寄生电感可以减慢峰值栅极驱动电流并导致过冲和下冲。因此，应尽可能减小栅极驱动器到 IGBT 的电流环路面积。

UCC23711 栅极驱动器输出级内置有源下拉功能，以确保在 VDD 开路时栅极驱动器输出引脚被钳位至 VEE。可选的 10k 下拉电阻器 R15 靠近 IGBT 栅极、发射极放置，用于泄放杂散电荷，例如当栅极驱动器和 IGBT 之间的连接出现故障或栅极驱动电源上电时。由于 UCC23711 在 VDD 断电时提供有源下拉功能，因此本测试中 R15 未贴装。

可选择在 IGBT 栅极和发射极附近放置电容器 C4，用于在上管 IGBT 导通期间吸收源自米勒电容的额外电荷。由于额外的电容，IGBT 的有效输入电容为 C4||CGE，达到阈值电压所需的栅极电荷会增加，进而导致导通和关断时间更长。由于 UCC23711 提供有源米勒钳位，本设计中 C4 未贴装。

## 3.4 UCC23711 有源米勒钳位

UCC23711 具有有源米勒钳位功能，可添加额外的低阻抗路径，以防止驱动器处于关断状态时意外导通。IGBT 栅极电位直接连接到 CLMPI 引脚。

## 3.5 UCC23711 电源去耦和要求

### *3.5.1 输入侧*

VCC 相对 GND 的电源电压范围为 3V 至 5.5V，因此支持 UCC23711 故障反馈 (FLT) 与 3.3V 微控制器和 5V 传统微控制器直接连接。100nF 和 1μF 去耦电容器 (C1 和 C9) 放置在靠近 UCC23711 VCC 和 GND 的位置。

### *3.5.2 输出侧*

采用典型 15V 正向 $V_{GE}$，使 IGBT 完全进入饱和状态。对于低功耗 IGBT，栅极驱动器的米勒钳位功能使其能够在单极电压（VEE 连接到 COM）下工作。对于高功率 IGBT，本设计采用 -8V 这类负向 $V_{GE}$，用于维持 IGBT 关断状态，防止其因噪声瞬变而意外导通，尤其在短路故障工况下。

100nF 电容 C10、C6 和 C8 靠近 VDD-VEE、VDD-COM 和 VEE-COM 放置，用于滤除高频噪声。

将电容器 C5 和 C7 选择为 2.2μF 50V 规格，刻意低于 UCC23711 数据表推荐的 10μF 50V MLCC 电容器。原因是所选 IGBT (U1) 的栅极电荷相当低，仅 0.3μC，同时系统目标最高 PWM 开关频率为 16kHz。C5（X7R、0805）在负 10% 的容差和 15V 直流偏置条件下的最小电容大约为 1.2μF；C7（X7R、0805）在 -8V 直流偏置条件下的最小电容约为 1.7μF。C5 两端最大压降为 0.25V（15V 偏置），C7 两端最大压降 0.17V（-8V 偏置），约为 2% 且在 15V 和 -8V 电源的容差范围内。对于具有更高栅极电荷和更严格容差的 IGBT，应分别增大去耦电容器。

### *3.5.3 输出电源电流*

15V 单极电源以及双极性 +15V 和 –8V 电源的功率规格可根据 UCC23711 VDD 静态电流和 IGBT 的栅极电荷进行估算。


Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

UCC23711 VDD 静态电流，在 OUT = 高时为 2.3mA（典型值）和 4mA（最大值），在 OUT = 低时为 2mA（典型值）和 3mA（最大值）。VEE 静态电流，在 OUT = 高时为 -1.8mA（典型值），在 OUT = 低时为 -1.5mA。

在 600V 直流链路以及双极性 15V 和 -8V 电源下，IGBT (Q1) 栅极电荷 $Q_G$ 约为 0.3μC。估算的平均充电电流在 16kHz PWM 下为 4.8mA，在 8kHz PWM 下为 2.4mA。在 16kHz PWM 和 50% 占空比下，VDD 电源电流估算的典型总值为 6.95mA。

对于单极 15V 电源，栅极电荷约为 0.2μC，在 16kHz PWM 和 50% 占空比下估算的总电源电流为 5.35mA。

最大平均电源电流取决于最大 PWM，最大栅极电荷和栅极驱动器电源，并且设计时必须预留充足裕量。

## 3.6 DESAT 电路配置

DESAT 引脚阈值 $V_{DESATTH}$ 以连接到 IGBT 的发射极的 UCC23711 COM 引脚为基准。UCC23711 DESAT 阈值的典型值为 6.5V。当驱动器处于关断状态时，DESAT 引脚由内部 MOSFET 下拉，以防止误触发 DESAT，因此 DESAT 引脚和 COM 引脚之间通常不需要下拉电阻器。

当驱动器处于导通状态时，内部电流源被激活，为外部电容器充电。UCC23711 在栅极驱动器输出（OUT 引脚）切换至导通状态后具有内部前沿消隐时间，以避免在开关瞬态期间因噪声而误触发。当驱动器关断时，内部下拉 MOSFET 会使 DESAT 引脚的电压放电。

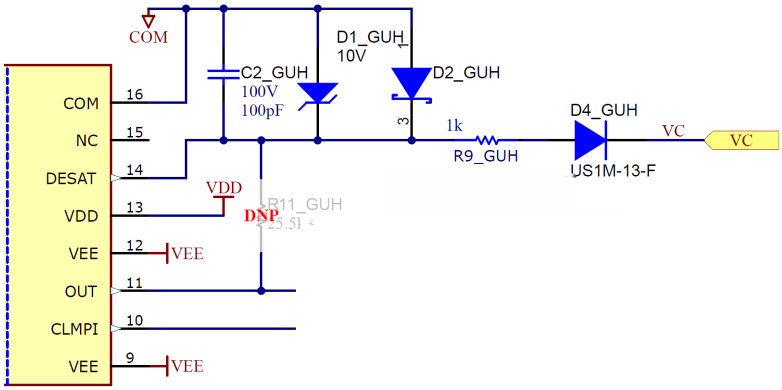



**图 3-4. UCC23711 DESAT 电路**

主要无源器件包括高压阻断二极管 D4、限流电阻器 R9 (1kΩ) 和消隐电容器 C4。1000V、1A 阻断二极管 D4 具有 75ns 的超快反向恢复时间和 10pF 的最小结电容，可减少 IGBT 集电极至发射极电压快速瞬变期间的瞬态充电电流，避免 DESAT 误检测。限流电阻器 R9 还有助于调整 DESAT 检测阈值并与消隐电容器 C4 (100pF) 和 D1 齐纳二极管寄生电容 (65pF) 一起充当低通滤波器，以提高防噪性能。截止频率在 1MHz 附近。

10V 齐纳二极管 D1 可保护 DESAT 引脚，防止其承受高于 VDD 的电压，该器件为可选器件，视系统工况而定。肖特基二极管 D2 至关重要，用于保护 DESAT 引脚，防止其相对于 COM 引脚出现负电压；该负电压由高 dv/dt 开关动作经 D4 结电容耦合产生。

UCC23711 消隐电容器充电电流典型值为 250μA。当需要更高的充电电流或更快的响应时间时，可以通过在 VOUT 引脚与 DESAT 引脚之间添加电阻器 R11 来增加充电电流。必须将快速肖特基二极管 D2 与电阻器 R11 串联，以阻断流向 DESAT 引脚的反向电流，防止 DESAT 引脚相对于 COM 引脚出现负电压。当使用 +15V/-8V 双极性电源时就会出现这种情况。有关更多详细信息，请参阅*如何提高 DESAT 充电电流？*。

有效消隐时间以及器件对过流的响应，取决于过流发生时刻 IGBT 的集射极电压，如下图所示的两种不同时序，具体取决于发生过流的时机。

有效消隐时间以及器件对过流的响应，取决于过流发生时刻 IGBT 的集射极电压，如下图所示的两种不同时序，具体取决于发生过流的时机。


Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

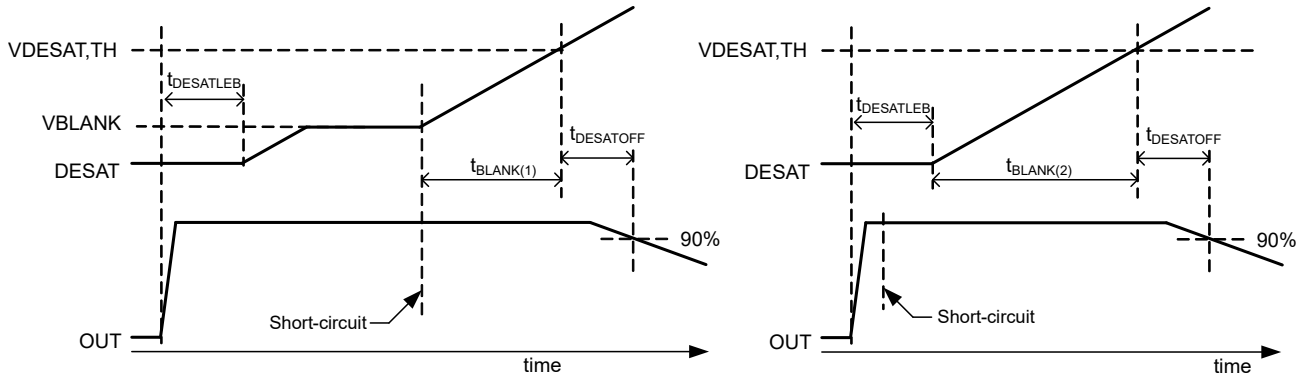



**图 3-5. UCC23711 DESAT 保护时序**

左侧时序示例：过流发生在 IGBT 导通之后。在 IGBT 正常导通且 UCC23711 前沿消隐延迟结束后，会对消隐电容器 C2 进行充电，直至其达到消隐电压：

$$V_{BLANK} = V_{\mathrm{F}}(D4) + \mathrm{R9} \times I_{\mathrm{CHG}} + V_{\mathrm{CE(Sat)}} = 2.15V, \tag{3}$$

其中 VCE (Sat) 是 Q1 IGBT 的典型饱和电压，数值为 1.6V。

由此可按下方程式估算过流发生后的有效消隐时间：

$$t_{BLANK}(1) = \frac{C_{\mathrm{BLANK}} \times I_{\mathrm{CHG}}}{V_{\mathrm{DESAT,TH}} - V_{\mathrm{BLANK}}} \tag{4}$$

其中 $V_{DESAT,TH}$ 是 UCC23711 典型 DESAT 阈值，为 6.5V，$I_{CHG}$ 是充电电流，典型值为 250uA，$C_{BLANK}$ 为消隐总电容，由消隐电容器 C2 与 10V 齐纳二极管 D1 的寄生电容并联组成，$V_{BLANK}$ 为消隐电压，如上所示。

右侧时序示例：IGBT 导通时直接发生短路，此时集射极电压大于 UCC23711 的 DESAT 阈值减去 D4 和 R9 上的压降 $V_F$。

$$V_C \geq V_{\mathrm{DESAT,TH}} - V_{\mathrm{F}}(D4) - \mathrm{R9} \times I_{\mathrm{CHG}}. \tag{5}$$

当 UCC23711 充电电流 $I_{CHG}$ 典型值为 0.250 mA 且 $V_C \geqslant$ 5.45 V 时，可按下方程式估算 UCC23711 栅极驱动输出导通以及前沿消隐时间结束后的有效消隐时间：

$$t_{BLANK}(2) = \frac{C_{\mathrm{BLANK}} \times I_{\mathrm{CHG}}}{V_{\mathrm{DESAT,TH}}} \tag{6}$$

下表列出了两种情况下栅极驱动输出下降到 90% 之前的保护时间估算值（基于有效消隐电容为 C2 = 100pF 和 C (D1)= 60pF 计算）。

**表 3-2. 估算的 DESAT 保护时序**

| 参数 | $t_{DESATLEB}$（典型值） | $t_{BLANK}$（典型值） | $t_{DESATOFF}$（典型值） | $t_{TOTAL}$（典型值） |
|---|---|---|---|---|
| 示例 1 | 不适用 | 2.5us | 0.2us | 2.7us |
| 示例 2 | 0.47us | 4.1us | 0.2us | 4.8us |

## 3.7 UCC23711 故障 (FLT) 反馈

FLT 引脚为开漏输出，低电平有效。检测到 DESAT 故障后，FLT 引脚下拉至 GND。该引脚将持续保持低电平，直至器件复位。要复位器件，必须在 $t_{FLTMUTE}$ 静音时间（典型值 22μs）结束后检测到 PWM 输入由低到高的跳变。静音时间结束之前出现 PWM 输入由低到高的跳变，无法完成复位。



English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

FLT 上拉电阻器 R1 为 5.1kΩ。为了提高防噪性能并避免产生错误的 FLT 信号，添加了一个 330pF 电容器 C3，该电容器提供一个截止频率为 100kHz 的低通滤波器。使用有源 FLT 下拉时，从高电平到低电平的转换速度更快。20mA 的最大输入电流可在不到 55ns 的时间内使 330pF 电容器放电。

# 4 系统测试结果

## 4.1 受测三相 IGBT 逆变器

下图显示了受测三相 IGBT 逆变器的 PCB。TMS320F28379 MCU Launchpad 用于向控制板接口提供三相互补 PWM。一台外部双极性电源输出六路相互隔离的 15V 和 -8V 电源，分别供给六个增强型隔离式栅极驱动器 UCC23711。直流链路电压为 550VDC，相当于经过整流的三相 400VAC 输入电压。

本章中对 UCC23711 栅极驱动器的测试基于 IGBT 六单元模块的 U 相半桥开展，直流母线标称电压 550V。互补 PWM 信号由 TMS320F28379D Launchpad 生成。

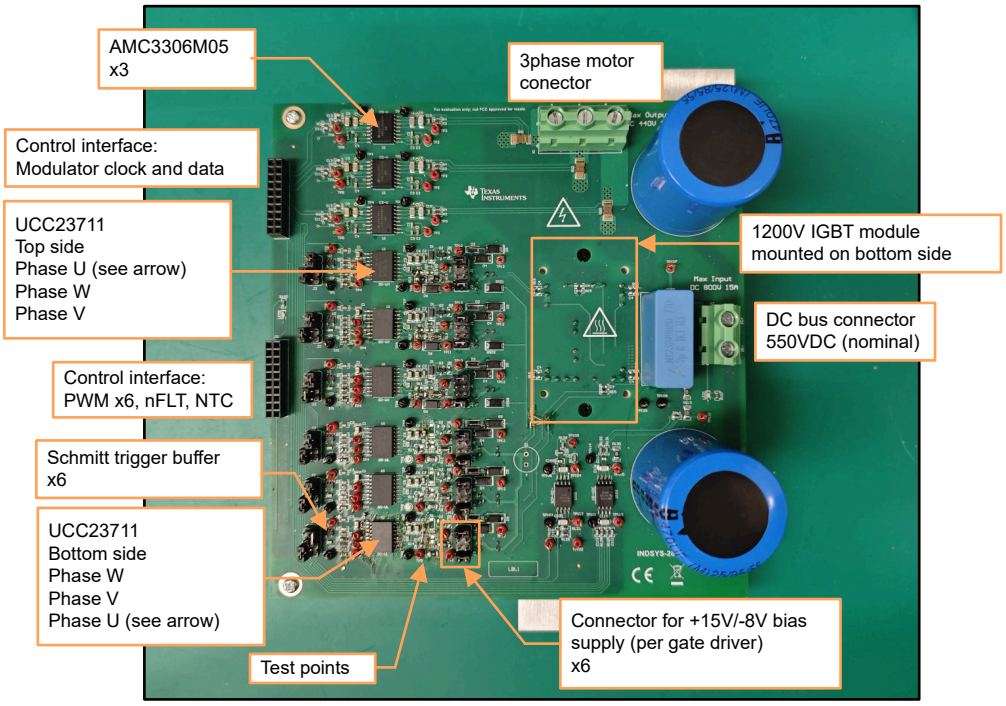



**图 4-1. 采用 UCC23711 的三相 IGBT 逆变器**


English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

## 4.2 UCC23711 输入电流阈值和迟滞

为验证输入阈值与迟滞特性，在施密特触发反相器输出端增加 1μF 电容，将八路缓冲器输出压摆率降至约 150mV/μs，如图 4-2 所示。

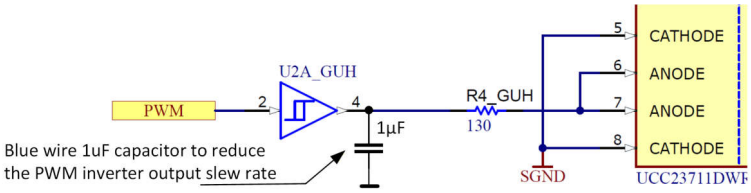



**图 4-2. UCC23711 输入电流阈值测试电路**

图 4-3 显示了输入导通电压和电流。电流阈值是使用限流电阻器 R4 上的压降间接测得。图 4-4 显示了输入关闭。为了提高分辨率以测量关断电流，仅针对该测试将限流电阻器 R4 替换为 680Ω。

关断阈值约为 0.4mA。导通和关断阈值之间的迟滞为 0.4mA。

稳态输入电流约 10.6mA，与表 3-1 中计算值一致。

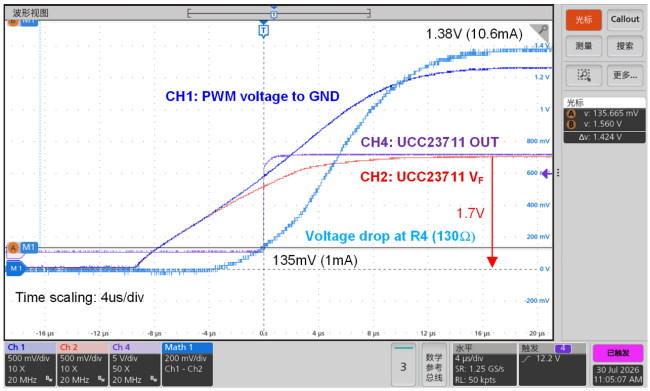



**图 4-3. UCC23711 输入关闭**

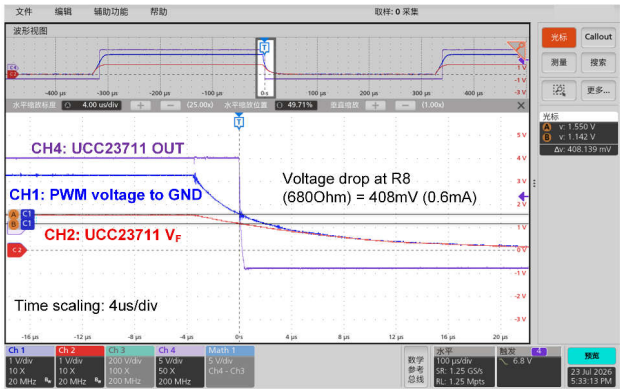



**图 4-4. UCC23711 输入关闭**

## 4.3 UCC23711 传播延迟

图 4-5 和图 4-6 显示了 UCC23711 输入正向电流 $I_F$ 与栅极输出电压之间的传播延迟 $t_{PDLH}$ 和 $t_{PDHL}$。UCC23711 输入电流是通过输入电阻器 R4 = 130Ω 两端的压降间接测得。测得的上升沿延迟 $t_{PDLH}$ 约为 68ns，下降沿延迟约为 64ns。

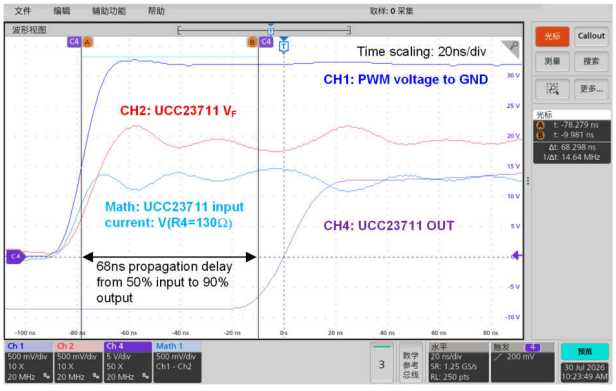



**图 4-5. UCC23711 上升沿延迟**

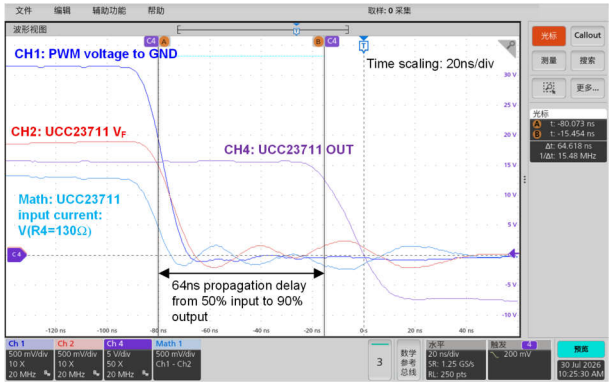



**图 4-6. UCC23711 下降沿延迟**



English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

## 4.4 U 相导通和关断压摆率

下图显示了正 3.5A 时的 U 相开关节点上升沿和下降沿，图 4-9 和图 4-10 显示了负 3.5A 相电流对应的波形。PWM 死区时间设置为 2.5us，直流链路电压设置为 550VDC。

当 IGBT 硬导通时，U 相开关节点电压压摆率约为 5.5V/us。当 IGBT 软关断（零电压开关）时，压摆率由相电流幅值决定。当幅值为 3.5A 时，压摆率介于 1.2V/ns 至 1.3Vns 之间。有效开关节点寄生电容可通过 $C_{SW} = I_U / (dV_U/dt)$ 估算，约为 2.6nF 至 2.9nF。

使用栅极电流限制电阻器 R12 + R13 = 10.2Ω 时，栅极 $V_{GE}$ 从 -8V 充电至 15V 的时间约为 520ns，使用栅极电流限制电阻器 R12 = 5.1Ω 时，从 15V 放电至 -8V 的时间约为 360ns。

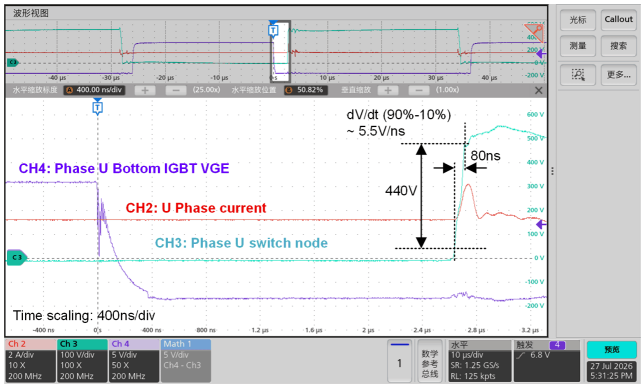



图 4-7. 3.5A 电流下的 U 相上升沿

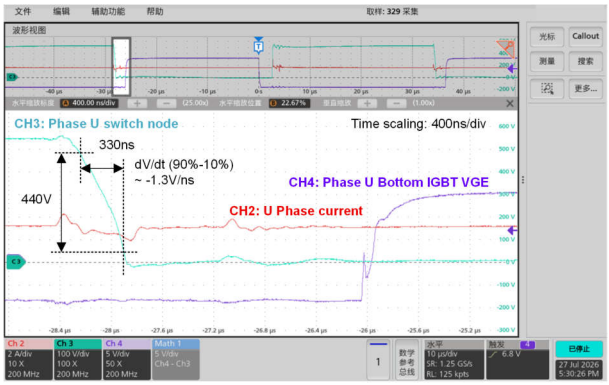



图 4-8. 3.5A 电流下的 U 相下降沿

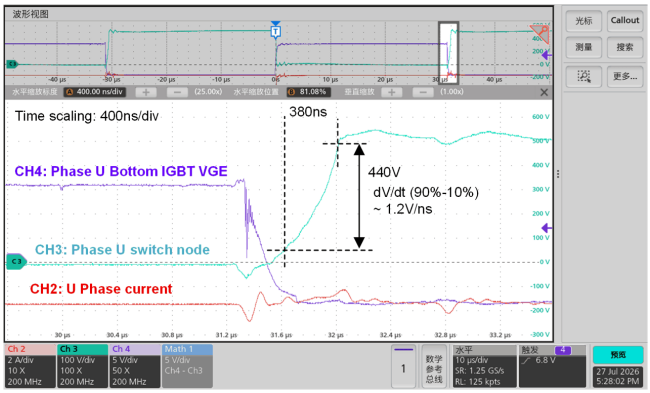



图 4-9. -3.5A 电流下的 U 相上升沿

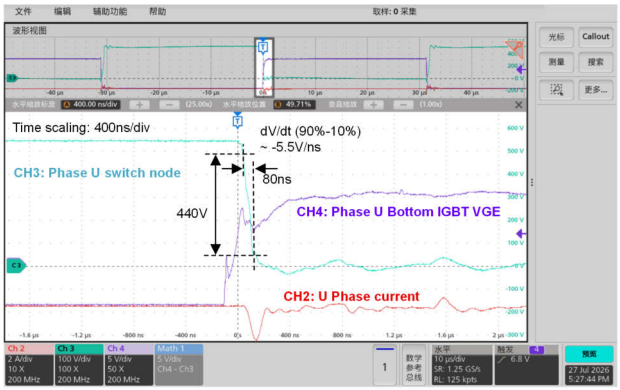



图 4-10. -3.5A 电流下的 U 相下降沿


English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

## 4.5 UCC23711 米勒钳位和单极 15V 电源

当 IGBT 栅极电压 $V_{GE}$ 降至以 VEE 引脚为基准的 2.1V（典型值）的米勒钳位阈值电压 $V_{CLMPTH}$ 以下时，米勒钳位就会启动。米勒钳位启动响应时间通常为 38ns，下拉电阻典型值为 0.8Ω。

图 4-11 显示了栅极驱动器在使用 VEE = -8V 的双极性电源条件下执行关断时米勒钳位的作用。一旦 VGE 小于 VEE + VCLMPTH，米勒钳位就会激活。考虑到存在 38ns 的延迟，可在 VGE = -6V 处观测到压降。

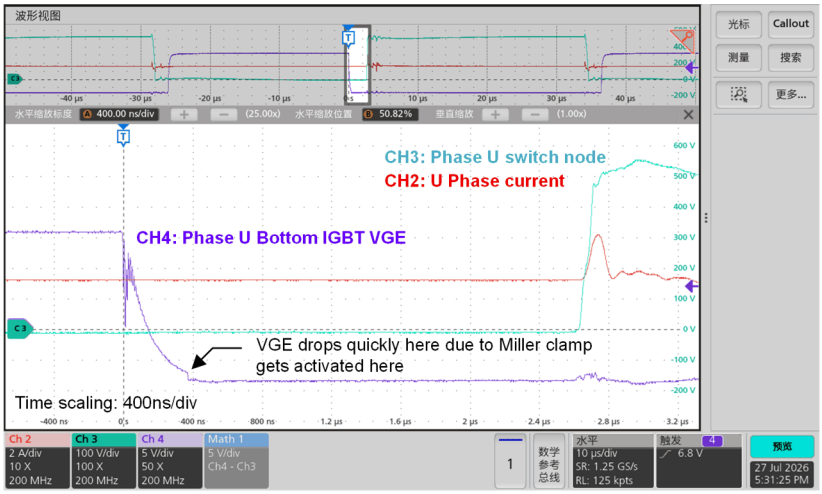



**图 4-11. 双极性电源供电下，下管 IGBT 关断过程米勒钳位对 VGE 的影响**

为了验证米勒钳位，三相逆变器采用单极电源运行，标称直流链路电压为 550V。为了获得相电压的最高压摆率，将输出电流置零。图 4-12 显示了当上管 IGBT 以大约 10V/ns 的压摆率硬导通时，处于关断状态的下管 IGBT 栅极到发射极电压 $V_{GE}$。

当米勒钳位处于活动状态时，即便 $V_{CE}$ 压摆率很高，下管 $V_{GE}$ 最高也只抬升至约 2.4V，持续时间小于 25ns，始终远低于 IGBT 栅极阈值电压 5.8V。

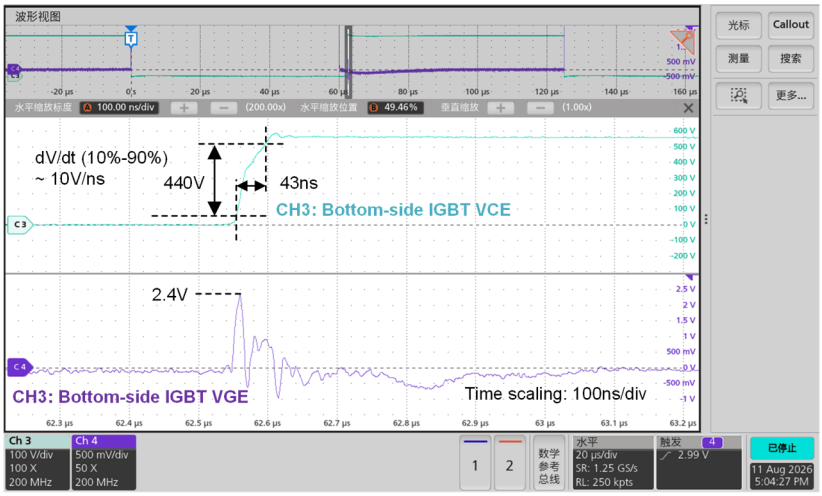



**图 4-12. 采用单极 15V 电源的下管 IGBT $V_{GE}$**



English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

## 4.6 UCC23711 DESAT 响应和软关断

对于 DESAT 测试，低侧 IGBT 在 550V 的完整直流总线电压下导通，因此会在导通瞬间直接形成短路。因为 $V_{CE}$ >> $V_{DESATH,TH}$，因此消隐时间由下式确定：

$$t_{BLANK}(2) = \frac{C_{BLANK} \times I_{CHG}}{V_{DESAT,TH}} \quad (7)$$

下图显示实测消隐时间约为 4.1us，总保护时间（直到栅极驱动器输出降至 90%）为 4.8us。

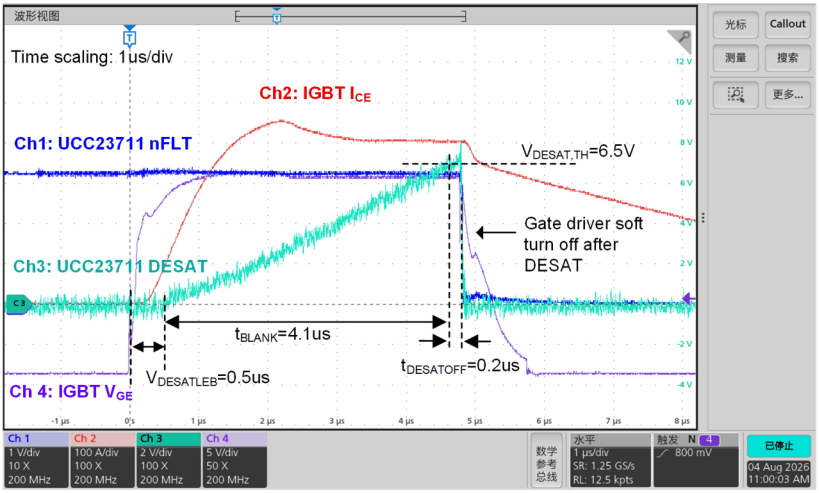



**图 4-13. C4-100pF 和 D1 并联时的 DESAT 时序，R11 未贴装**

有效消隐电容的计算值为 160pF，消隐电容器 C4 = 100pF，剩余的 60pF 寄生电容主要来自齐纳二极管 D1。触发 DESAT 后，栅极驱动器会以 0.25A 的灌电流执行软关断。图 4-14 放大展示了软关断波形。

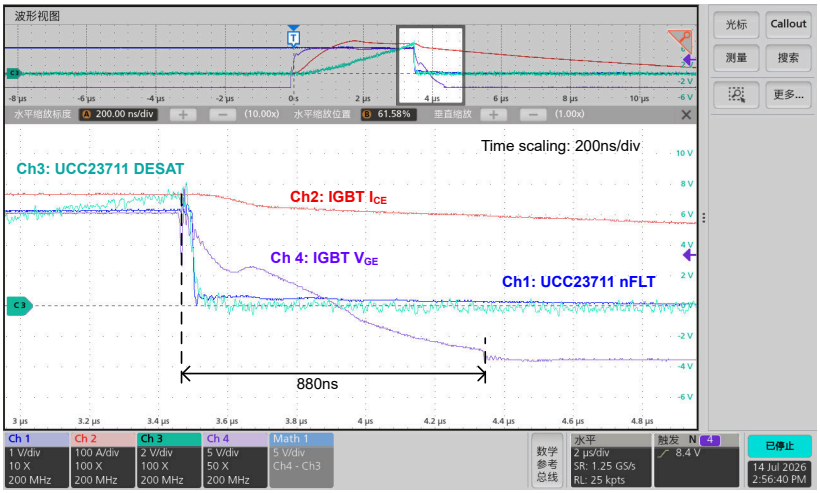



**图 4-14. DESAT 触发后的软关断，C4-100pF 和 D1 并联，R11 未贴装**

软关断期间 UCC23711 的灌电流为 0.25A。IGBT 的 0.3μC 栅极电荷，从 15V 放电到 -8V 耗时约 880ns。这比正常模式下 (360ns) 慢约 2.5 倍，如上图所示。由于米勒钳位被激活，880ns 后 $V_{GE}$ 从大约 -6V 下降到 -8V。


English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

## 4.7 增加 DESAT 充电电流

图 4-15 显示了安装消隐电阻器 R11 = 25.5kΩ 来驱动更高 DESAT 充电电流的 DESAT 时序。消隐电容器 C4 替换为 220pF，以进一步提高瞬态噪声抗扰度。此时有效消隐时间为 2.9μs。有效消隐电容为 220pF (C4)+ 60pF (D1) 时，有效消隐电流 $I_{CHG}$ + $I_{R11}$ 约为 0.6mA。

因此，增加 R11，可在驱动 SiC-FET 时缩短 UCC23711 的 DESAT 保护时间。请参阅*如何提高 DESAT 充电电流？*。

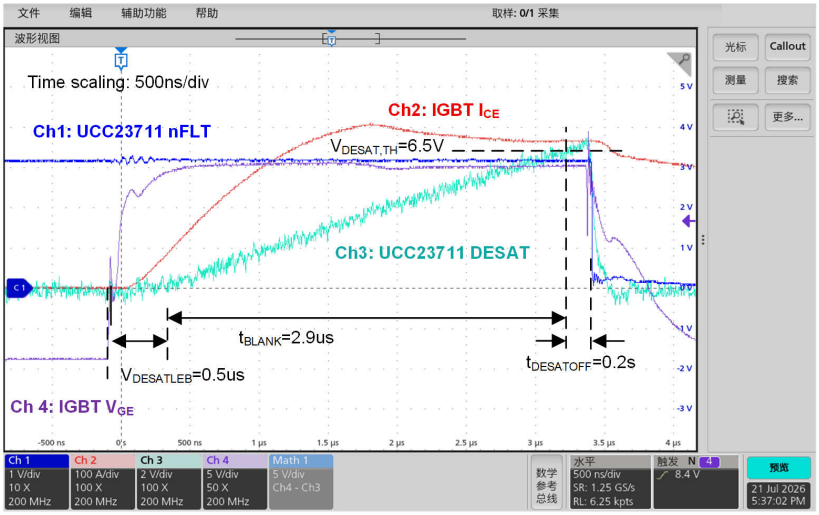



**图 4-15. C4 = 220pF 且 D1 并联时的 DESAT 时序，R11 = 25.5k**

## 4.8 UCC23711 VDD UVLO 阈值和栅极驱动输出

图 4-16 和图 4-17 显示了双极性电源电压 VDD-COM = 15V 和 VEE-COM = -8V 斜升和斜降期间的 UCC23711 栅极驱动输出。

UCC23711 VDD UVLO 阈值是相对于 IGBT 发射极（以 UCC23711 COM 引脚为基准）测得。

VDD 下降沿阈值为 11V，VDD 上升沿阈值为 12V，与 UCC23711 数据表中指定的典型规格相匹配。

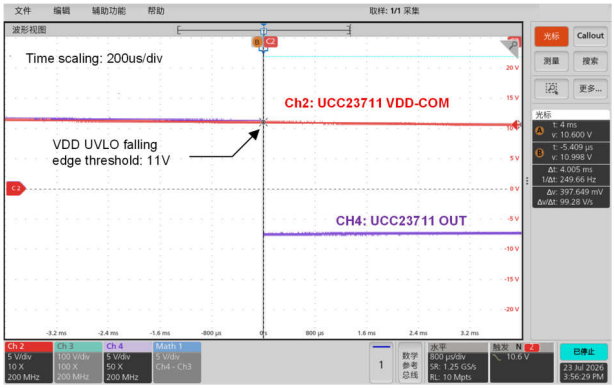



**图 4-16. VDD UVLO 下降沿阈值**

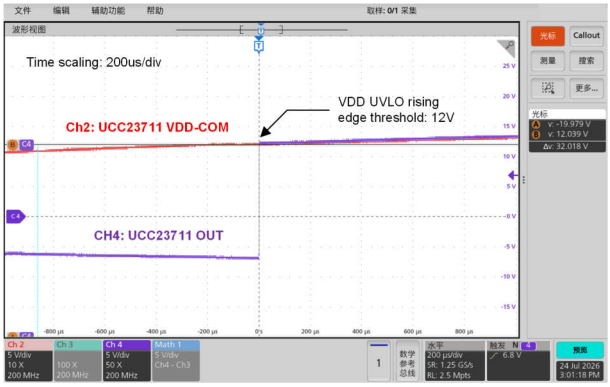



**图 4-17. VDD UVLO 上升沿阈值**



English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

## 4.9 UCC23711 栅极驱动器功耗

表 4-1 展示了 UCC23711 在单极电源 VDD = 15V 下实测的电源电流，表 4-2 则是双极性电源 VDD = 15V 和 VEE = -8V 下实测的电源电流。将一个万用表连接到栅极驱动器电源电路 VDD 和 VEE，以测量驱动 IGBT 模块 Q1 在 0Hz、8kHz 和 16kHz PWM 频率下的电流消耗；15V 单极电源时栅极电荷为 0.2μC，+15V 和 -8V 双极性电源时栅极电荷为 0.3μC。IGBT 栅极到发射极处的可选下拉电阻器 R15 未贴装。实测电源电流与计算值偏差在 5% 以内。

**表 4-1. UCC23711 采用单极电源时的电流消耗**

| PWM | 0Hz | 8kHz | 16kHz |
|---|---|---|---|
| VDD-COM=15V 时的 $I_{VDD}$ | 2mA (2mA) | 3.56mA (3.75mA) | 5.02mA (3.53mA) |

**表 4-2. 使用双极性电源时的 UCC23711 电流消耗**

| PWM | 0Hz | 8kHz | 16kHz |
|---|---|---|---|
| VDD-COM=15V 时的 $I_{VDD}$ | 2mA (2mA) | 4.39mA (4.55mA) | 6.65mA (6.95mA) |
| VEE-COM=-8V 时的 $I_{VEE}$ | -1.57mA (-1.5mA) | -3.83mA (-4.05mA) | -6.1mA (-6.45mA) |

*括号中的数字为计算得出的数字。


English Document: SDAA444
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

## 5 总结

本文档介绍了使用具有可配置 DESAT (6.5V/9V) 的 UCC23711 和 UCC23710 隔离式栅极驱动器来增强三相 IGBT 逆变器稳健性的电路设计指南。其中详细说明了如何针对单极和双极性设置优化输入电阻器配置、峰值输出电流、DESAT 保护、有源米勒钳位和电源去耦。所有设计参数均在 550V 直流总线的三相 IGBT 逆变器原型上通过实测验证。UCC23711 和 UCC23710 栅极驱动器采用二氧化硅隔离技术以及光耦兼容输入，可无缝集成到传统的光耦合器应用中，同时提供较低的传播延迟和较高的 CMTI。

## 6 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，*UCC23711* 产品页面。
2. 德州仪器 (TI)，*UCC23710* 产品页面。
3. 德州仪器 (TI)，*UCC23711DWREVM* 工具页。
4. 德州仪器 (TI)，*为 IGBT 和 SiC 电源模块选择适当的保护方法*，应用说明。
5. 德州仪器 (TI)，*如何提高 DESAT 充电电流？*（E2E 论坛）。
6. 德州仪器 (TI)，*UCC217xx XL 计算器工具*，计算工具。


Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

# 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出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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月