

Application Note

在电机驱动器的 UCC23513 光兼容隔离式栅极驱动器中实现分立式 DESAT



Jerome Shan, Martin Staebler, Roland Bucksch

Systems Engineering Industrial

摘要

增强型隔离式栅极驱动器是工业电机驱动器三相逆变器中的关键元件，DESAT 是在这些应用中提供过流保护 (OCP) 或短路保护 (SCP) 的常用方法。本应用手册介绍了一种基于 6 引脚光兼容、增强型隔离式栅极驱动器 UCC23513 的成本优化型小尺寸设计，该设计使用隔离式比较器 AMC23C11 实现了分立式 DESAT。与具有集成 DESAT 保护的 16 引脚封装智能栅极驱动器相比，这种组合实现了更小的 PCB 尺寸和更低的成本，并有助于提高紧凑型电机驱动应用的灵活性。该设计还可在配置 DESAT 功能的应用参数方面保持灵活性。

内容

1 引言.....	2
2 具有集成 DESAT 的隔离式栅极驱动器的系统挑战.....	4
3 使用 UCC23513 和 AMC23C11 的系统方法.....	5
3.1 系统概述和主要规格.....	5
3.2 原理图设计.....	6
3.3 参考 PCB 布局.....	10
4 仿真和测试结果.....	10
4.1 仿真电路和结果.....	10
4.2 三相 IGBT 逆变器的测试结果.....	13
5 总结.....	16
6 参考资料.....	17
7 修订历史记录.....	17

插图清单

图 1-1. 三相逆变器中由于接地故障导致的短路.....	2
图 1-2. 外部制动电阻器端子误接线导致的短路.....	2
图 1-3. 具有集成 DESAT 保护功能的 UCC21750.....	3
图 2-1. 封装尺寸比较：SO-6 与 SOIC-16.....	4
图 3-1. 简化的系统框图.....	5
图 3-2. 建议电路的原理图.....	7
图 3-3. 示例布局的顶部和底部.....	10
图 3-4. 智能栅极驱动器 ISO5451 的典型布局.....	10
图 4-1. 仿真电路.....	11
图 4-2. 触发 DESAT 的仿真结果.....	12
图 4-3. 低侧驱动测试的平台.....	13
图 4-4. 低侧驱动测试中的短路保护延迟.....	14
图 4-5. 运行电机测试的平台.....	15
图 4-6. 运行电机测试中的短路保护延迟.....	16

商标

PSpice™, C2000™, and LaunchPad™ are trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

在电机驱动器的三相逆变器中，OCP 和 SCP 非常重要，可以保护系统，以免因异常运行条件而造成损坏。通常通过检测流经负直流总线或三个低侧开关的电流来实施基于分流器的系统级 OCP 或 SCP；尤其是在外形尺寸和系统成本至关重要的许多低功率、紧凑型型号中。这些保护对常见的桥臂击穿和相间短路故障模式有效。但是，当故障电流流经高侧开关时，这两种保护都无法检测到接地短路，如图 1-1 所示。栅极驱动器上的 DESAT 功能有助于保护电源开关，防止受到此故障的影响。事实上，器件级 DESAT 保护对三相逆变器中的所有这些故障模式都有效，因此已广泛应用于许多高功率、高性能型号中。

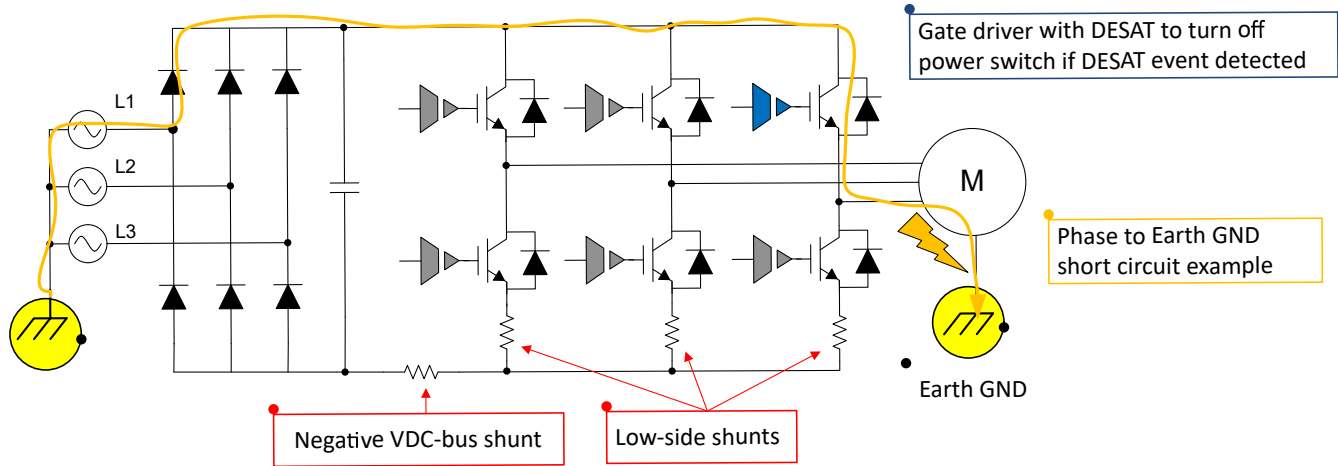


图 1-1. 三相逆变器中由于接地故障导致的短路

许多工业电机驱动器还具有再生制动开关，可将电流分流到负 VDC- 总线，并在再生制动运行期间电压过高时对大容量电容器放电。通常，此制动电阻器需要在外部安装，然后通过驱动器上的特定端子连接到系统。如果用户在连接此电阻器时发生错误，或者错误地使用了电阻非常低的电阻器，则在系统控制器启动制动操作后会发生过流故障，如图 1-2 所示。在这种情况下，栅极驱动器上的 DESAT 功能可以检测到问题并及时保护电源开关。

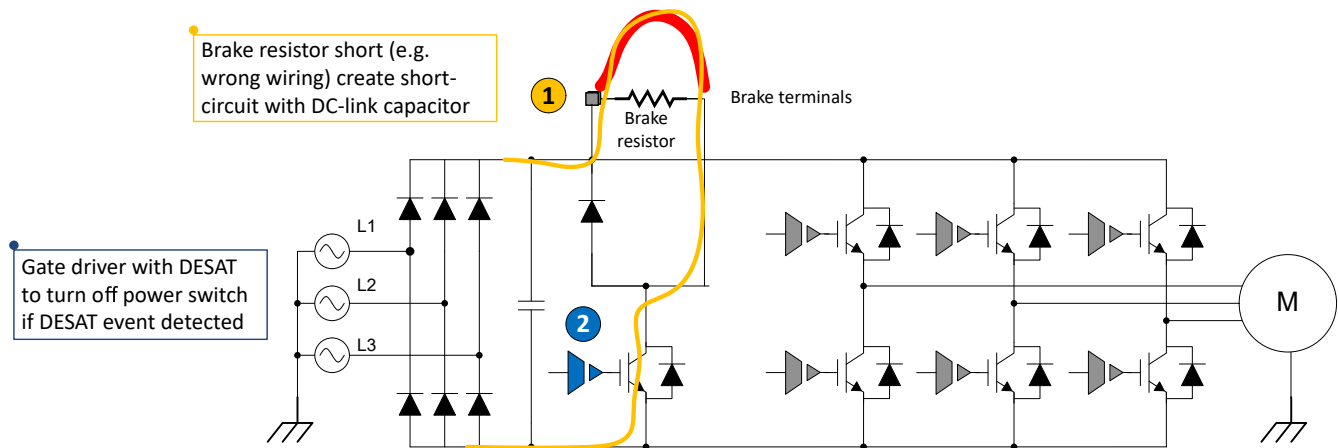


图 1-2. 外部制动电阻器端子误接线导致的短路

保护系统免受这些故障影响的典型方法是使用具有 DESAT 功能的隔离式智能栅极驱动器，例如具有 CMOS 输入的 UCC21750 增强型隔离式栅极驱动器。如图 1-3 所示，DESAT 引脚会在 IGBT 导通时监测 V_{CE} 的压降。此压降上升并达到设定的阈值（这表示发生过流或短路情况）后，栅极驱动器的输出会立即下拉至低电平，并激活故障输出，以便向系统控制器报告故障信息。

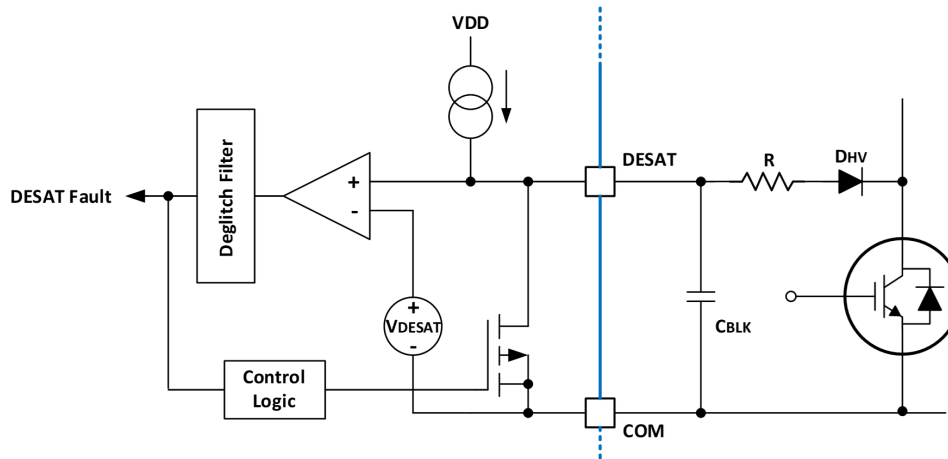


图 1-3. 具有集成 DESAT 保护功能的 UCC21750

2 具有集成 DESAT 的隔离式栅极驱动器的系统挑战

具有集成式 DESAT 功能的增强型、隔离式智能栅极驱动器通常采用 16 引脚 SOIC 封装，其物理尺寸比没有 DESAT 功能且采用扩展型 SO-6 封装的紧凑型栅极驱动器要大得多，如图 2-1 所示。考虑在电源逆变器 PCB 上放置六个此类三相逆变器器件，封装长度将相应地增加。使用更短长度紧凑型器件的设计在 PCB 尺寸方面具有优势。即使是再生制动电源开关，尺寸较小的栅极驱动器也有助于显著减小应用布局面积。但是，出于应用电路简易性和成本原因，此类栅极驱动器会牺牲过流保护功能。

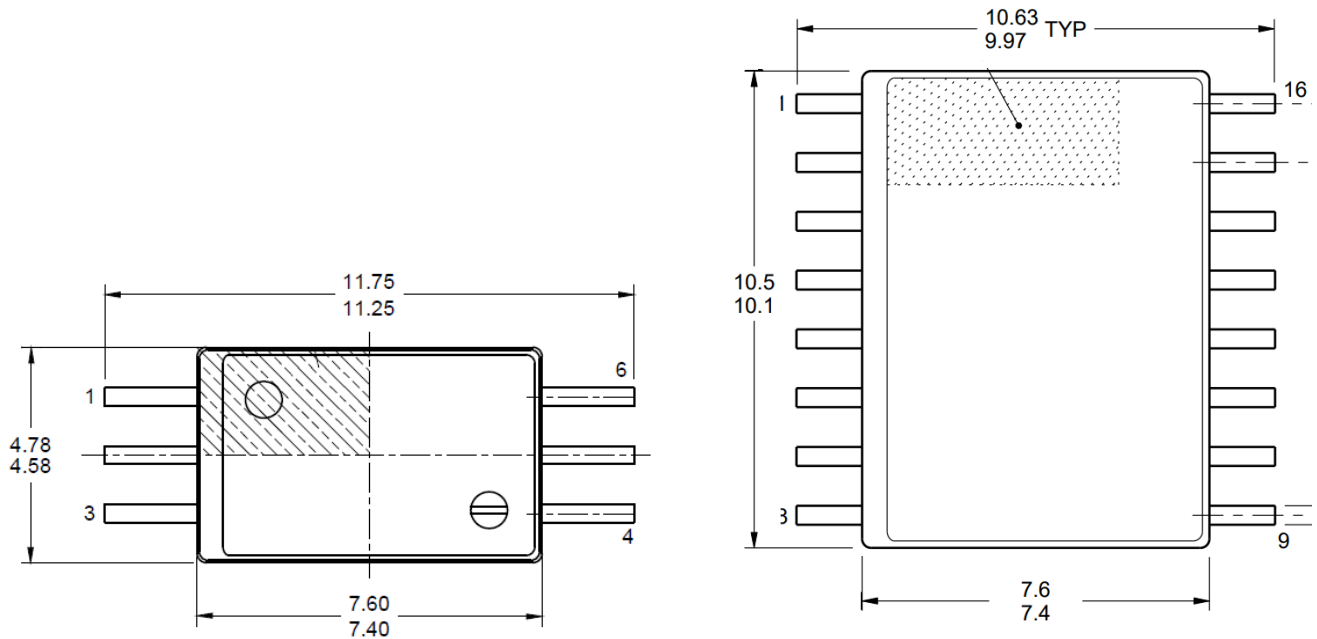


图 2-1. 封装尺寸比较：SO-6 与 SOIC-16

另一种方法是使用尺寸更小但不带 DESAT 功能的紧凑型栅极驱动器，并使用隔离式比较器以分立方式实现 DESAT 功能。

对于仅在三个低侧开关或三个高侧开关上需要 DESAT 功能的电路配置，这种分立式 DESAT 设计让全部六个开关可以使用同一个 6 引脚增强型、隔离式栅极驱动器；因此应避免在一个应用系统中混用简单栅极驱动器与智能栅极驱动器。可以分别向低侧或高侧栅极驱动器添加外部 DESAT 功能。这种分立式 DESAT 实现方案增加了应用设计的灵活性，可以配置 DESAT 电压、DESAT 偏置电流、DESAT 检测消隐时间和 DESAT 输出抗尖峰脉冲滤波的参数，因而有助于提高对 PWM 开关噪声的抗扰度。

3 使用 UCC23513 和 AMC23C11 的系统方法

UCC23513 是一款 4A 拉电流、5A 灌电流、5.7kV_{RMS} 增强型、隔离式、光兼容、单通道栅极驱动器。
AMC23C11 是一款具有可调阈值和锁存功能的快速响应、增强型、隔离式比较器。同时使用这两个器件，我们可以在紧凑型栅极驱动器上实现外部 DESAT，并保持具有增强型隔离的小型电路。

3.1 系统概述和主要规格

图 3-1 显示了建议电路的简化方框图。在这里，我们使用 IGBT 作为电源开关；并且该设计也适用于功率 MOSFET，但做了一些微小的更改。

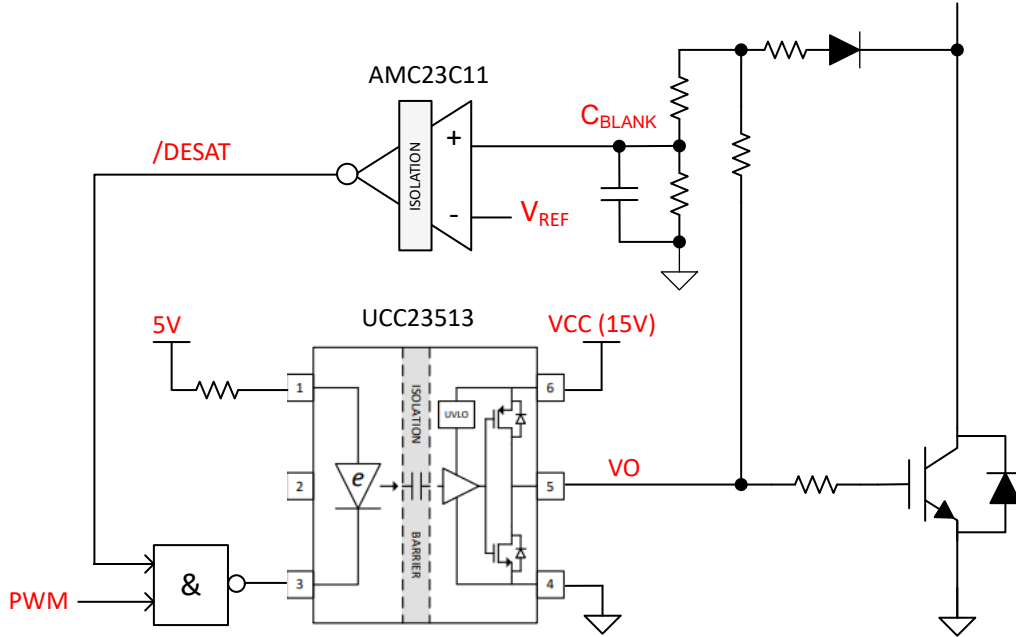


图 3-1. 简化的系统框图

与非门用于实现一项功能，以便仅在 PWM 输入为高电平时监控 V_{CE} 。检测的 V_{CE} 超过 DESAT 阈值 V_{REF} 后，此芯片会禁用栅极驱动器的输入。表 3-1 显示了应用电路的关键参数。

表 3-1. 此设计的关键系统参数

参数	值	注释
增强型、隔离式栅极驱动器	UCC23513 或 UCC23511 ⁽¹⁾	6 引脚 DWY (SO-6) 封装，请参阅图 2-1。支持 8V UVLO 的 B 版本。
隔离式栅极驱动电源， V_{DD}	+15V (IGBT)，+12V (FET)	单极电源
DESAT V_{CE} 阈值电压， $V_{CE(DESAT)}$	8.0 V	可配置。请参阅第 3.2.2 节。
DESAT 偏置电流： $i_{BIAS(DESAT)}$	5.5 mA	可配置。请参阅第 3.2.2 节。
DESAT 消隐滤波器时间常数， t_{BLANK}	0.8 μ s	对 $V_{CE(SAT)}=12.5V$ 有效。可配置。请参阅第 3.2.3 节中的公式 8 和表 3-2。
DESAT 抗尖峰脉冲滤波器延迟， $t_{DEGLITCH}$	0.2 μ s	可配置。请参阅第 3.2.3 节中的公式 10。
支持复位的 DESAT 锁存	启用	可以禁用。
DESAT 反应时间 ⁽²⁾	约 1.1 μ s 至 1.6 μ s	默认配置。请参阅测试结果。

表 3-1. 此设计的关键系统参数 (续)

参数	值	注释
不带连接器的 PCB 尺寸	26 mm x 8.4 mm	

备注

(1) UCC23511 是一款与 UCC23513 采用相同封装的 1.5A 拉电流、2A 灌电流器件。

(2) 在本应用手册中，为了对保护过程进行清晰简明的描述，我们使用“DESAT 反应时间”来表示从检测的电源开关电流达到设定触发水平到电流因 DESAT 保护而开始下降的时间段。

UCC2351x 系列可用于驱动 IGBT、SiC 或 MOSFET 电源开关。UCC23511 和 UCC23513 都采用 7.50mm x 4.68mm 的扩展型 SO-6 封装尺寸，爬电距离和间隙大于 8.5mm。与基于光耦合器的标准栅极驱动器相比，这两款器件在保持引脚对引脚兼容性的同时，显著提高了性能和可靠性。其性能优势包括高 CMTI、低传播延迟和小脉冲宽度失真。输入级是仿真二极管，这与传统 LED 相比，具有长期可靠性和出色的老化特性。

AMC23C11 隔离式比较器采用 8 引脚宽体 SOIC 封装，封装尺寸为 5.85mm x 7.50mm。该器件将 VIN 引脚上的输入电压与阈值进行比较，可在 20mV 至 2V 之间进行调节，并通过内部 100 μ A 基准电流和外部电阻器来设置。当输入电压 VIN 大于基准值 VREF 时，开漏输出主动拉至低电平。当 VIN 降至跳变阈值以下时，器件的行为由 LATCH 引脚确定：

- 当 LATCH 引脚拉至低电平时，器件会设置为透明模式，从而允许输出状态发生变化并跟随输入信号相对于跳变阈值的情况。
- 当 LATCH 引脚拉至高电平时，器件设置为锁存模式。检测到超出范围状况之后，OUT 引脚会拉至低电平并锁存，直至将 LATCH 引脚拉至低电平，持续至少 4 μ s，以便解除此锁存。

AMC23C11 中的隔离栅对电磁干扰具有很高的抗扰性，并经过认证，可提供高达 5kV_{RMS} 的增强型电隔离。

3.2 原理图设计

图 3-2 显示了使用 15V 单极电源来驱动 IGBT 的设计原理图。通过一些微小的更改，此设计可以适用于功率 MOSFET 驱动或双极电源应用的 12V 电源设计。有关更多详细信息，请参阅参考设计 TIDA-00448。

电阻器 R9 至 R14 和高压二极管 D1 用于检测导通期间 IGBT 的实际 V_{CE} ，并根据隔离式比较器 AMC23C11 的基准电压 VREF 对其进行调整。R10 和 R11 并联来分散功率损耗。

与 R14 并联的电容器 C14 会设置消隐时间，以避免 IGBT 导通期间出现误触发。添加了 5.1V 齐纳二极管 D2 选项，用于抑制可能因 IGBT 开关而引起的高压尖峰。请注意，D2 的内部电容将与 C14 并联，并影响消隐时间。在我们的测试中，我们没有组装此 D2。建议使用具有低内部电容的快速开关二极管 D1，以避免误触发 DESAT 并尽可能缩短所需的消隐时间。

低压侧使用 3.3V 电源来直接连接 C2000™ 和 Sitara MCU 等常用 MCU 的 I/O 电平。在 LATCH 未激活的情况下，R6 和 C11 为比较器的输出设置抗尖峰脉冲延迟（默认值为 0.2 μ s）。

3.2.1 电路原理图

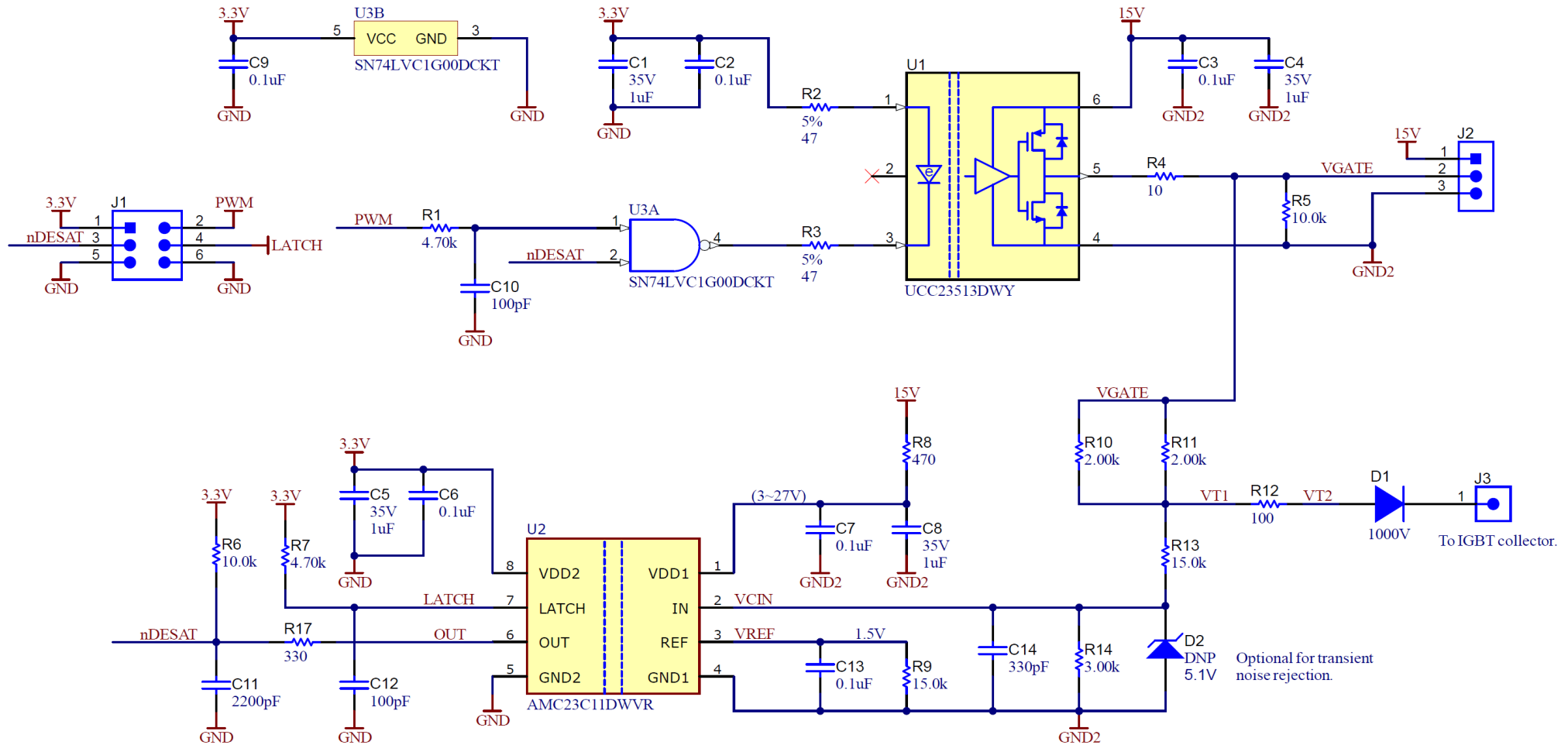


图 3-2. 建议电路的原理图

3.2.2 配置 $V_{CE(DESAT)}$ 阈值和 DESAT 偏置电流

电阻器 R9 至 R14 可用于调节 $V_{CE(DESAT)}$ 阈值和 DESAT 偏置电流 $i_{BIAS(DESAT)}$ 。以下公式经过简化，可用于快速估算不同 DESAT 阈值和 DESAT 偏置电流配置下的相应值。

隔离比较器 AMC23C11 具有基准电压 V_{REF} ，该电压由内部 $100\ \mu\text{A}$ 电流源和外部电阻器 R9 来设置。根据方程式 1 计算 R9 阻值，在此设计中将 V_{REF} 设置为 1.5V。在这里选择 1.5V，以便使 AMC23C11 在高迟滞模式下运行^[1]。

$$R9 = \frac{V_{REF}}{100\ \mu\text{A}} = 15\ \text{k}\Omega \quad (1)$$

R10 和 R11 确定 DESAT 偏置电流，根据方程式 2 计算得出：

$$R10 = R11 = 2 \times \frac{V_{DD} - V_{CE(DESAT)} - V_{FW(D1)} - R12 \times i_{BIAS(DESAT)}}{i_{BIAS(DESAT)} + i_{R13R14(DESAT)}} \quad (2)$$

Here:

- V_{DD} 是 UCC23513 的电源电压；在本例中为 15V，用于 IGBT 驱动；
- $V_{CE(DESAT)}$ 是期望的 DESAT 阈值；在本设计中默认为 8V；
- $V_{FW(D1)}$ 是高压二极管 D1 的正向电压；假设为 0.5V；
- R12 通常设置为 $100\ \Omega$ ^[9]；
- $i_{R13R14(DESAT)}$ 是流经 R13 和 R14 的电流。设为 0.5mA。设置得较低可能会降低抗噪性。
- $i_{BIAS(DESAT)}$ 是 IGBT 的 V_{CE} 达到 $V_{CE(DESAT)}$ 时的 DESAT 偏置电流。在此设计中设置为 5.5mA。

因此，对于此设计，R10 和 R11 可以计算为 $2\ \text{k}\Omega$ 。

正常 IGBT 运行时需要选择 R10 和 R11 的额定功率，此时 $V_{CE(DESAT)}$ 明显较小。假设 $R12 \ll R10$ ，根据方程式 3 计算简化的最大功率损耗：

$$P_{R10, MAX} = P_{R11, MAX} = \frac{(V_{DD} - V_{FW(D1)} - R12 \times i_{BIAS(DESAT)} - V_{CE(SAT)})^2}{R10} \times PWM_{DUTY, MAX} \quad (3)$$

在表 3-1 的默认设置下且典型 $V_{CE(SAT)}$ 为 1.5V 时，即使在 1000% PWM 占空比下， $P_{R10(MAX)}$ 和 $P_{R11(MAX)}$ 的最大功率损耗约为 69.8mW。

根据方程式 4 和方程式 5 计算 R13 和 R14：

$$R13 = \frac{V_{REF}}{i_{R13R14(DESAT)}} \quad (4)$$

$$R14 = \frac{V_{DD} - (i_{BIAS(DESAT)} + i_{R13R14(DESAT)}) \times R10 \div 2}{i_{R13R14(DESAT)}} - R13 \quad (5)$$

代入参数的值，我们可以得到的 R13 为 $3\ \text{k}\Omega$ ，R14 为 $15\ \text{k}\Omega$ 。

3.2.3 DESAT 消隐时间

为了防止在 IGBT 导通事件时出现误触发，必须监测 DESAT 的消隐时间 t_{BLANK} 。电容器 C14 和电阻器 R10 至 R14 会使 V_{CE} 检测信号延迟到达隔离式比较器的输入 $VCIN$ 。通过 C14 的充电时间以及分压器 R13 和 R14 的等效电阻 R_{EQ} 来控制延迟：

$$R_{EQ} \approx R13 // R14 = 3\ \text{k}\Omega // 15\ \text{k}\Omega = 2.5\ \text{k}\Omega \quad (6)$$

选择 330pF 的 C14，则 RC 滤波器的时间常数为：

$$T_{au} = R_{EQ} \times C14 = 2.5\ \text{k}\Omega \times 330\ \text{pF} = 0.82\ \mu\text{s} \quad (7)$$

实际消隐时间取决于在过流事件中配置的 $V_{CE(DESAT)}$ 稳态阈值与 IGBT 的实际 $V_{CE(SAT)}$ 电压的比率，可根据 [方程式 8](#) 计算其近似值。

$$t_{BLA)NK} = -\ln\left(1 - \frac{V_{CE(DESAT)}}{V_{CE(SAT)}}\right) \times R_{EQ} \times C14 \quad (8)$$

因此，重要的是根据系统中使用的各个 IGBT 来调整稳态 $V_{CE(DESAT)}$ 阈值和消隐时间常数。请参阅下表，了解在 $V_{CE(DESAT)}$ 稳态阈值默认设置为 8V 时的部分消隐时间值：

表 3-2. 默认 $V_{CE(DESAT)}$ 设置下的有效消隐时间

IGBT $V_{CE(SAT)}$ [V]	≥ 14.5	12.5	11	10	9	8.5
t_{BLANK} [μ S]	0.7	0.9	1.1	1.4	1.9	2.4

小心

由于有效消隐时间会明显大于已配置的消隐时间常数，因此应避免在过流条件下将稳态阈值 $V_{CE(DESAT)}$ 配置得太接近 IGBT 的实际 $V_{CE(SAT)}$ 。

3.2.4 DESAT 抗尖峰脉冲滤波器

R17 和 C11 构成 nDESAT 输出信号的抗尖峰脉冲滤波器，其时间常数为：

$$\tau = 330 \Omega \times 2200 \text{ pF} = 726 \text{ ns} \quad (9)$$

如果后面是一个最小低电平输入为 0.8V 的 TTL 逻辑 IC，则抗尖峰脉冲时间仅为 0.2 μ s：

$$t_{DEGLITCH} = -\ln\left(1 - \frac{0.8V}{3.3V}\right) \times \tau = 202 \text{ ns} \quad (10)$$

在这个设计中，考虑到隔离比较器的 OUT 引脚上的内部电阻与 R17 串联，所以测试的抗尖峰脉冲时间大约为 340ns 至 380ns。有关详细信息，请参阅第 4 部分的测试结果。

3.3 参考 PCB 布局

在一个四层 PCB 上，为这个电路设计了一个参考布局，其有效区域为 26mm x 8.4mm。

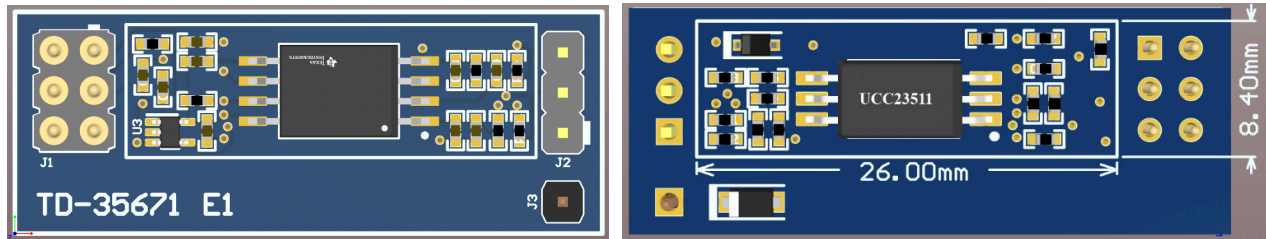


图 3-3. 示例布局的顶部和底部

通过精心的布局设计，将栅极驱动器和比较器放置在 PCB 的另一侧，与 16 引脚智能栅极驱动器相比，可凭借其更小的封装长度实现更小的外形尺寸。相比之下，ISO5451（采用 SOIC 16 封装具有 CMOS 输入的智能栅极驱动器）的一种典型布局在 PCB 上的有效区域为 20.83mm x 12.95mm^[10]，如图 3-4 所示，这比图 3-3 中的 UCC23513 和 AMC23C11 的建议设计增加了约 23.5%。

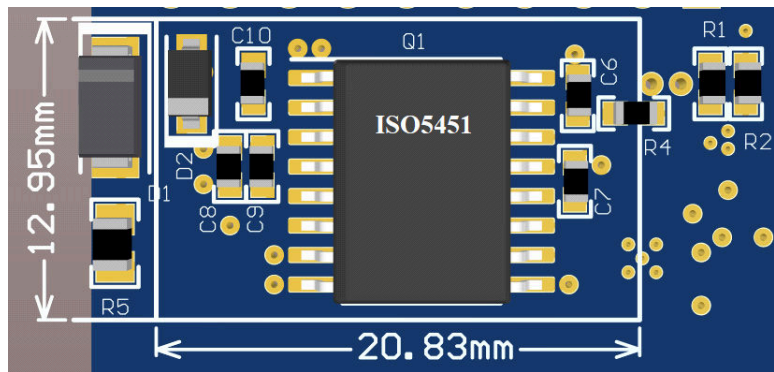


图 3-4. 智能栅极驱动器 ISO5451 的典型布局

4 仿真和测试结果

4.1 仿真电路和结果

在 PSpice™ for TI 中已经对驱动主动制动电路的低侧 IGBT 的电路进行了仿真。图 4-1 显示了该仿真的原理图。

因为 ti.com 上尚未提供 AMC23C11 的模型，所以该仿真使用 AMC23C14 的 PSpice™ 仿真模型。对于本应用手册中讨论的 DESAT 实现，可以忽略原理图中连接到 OUT2（引脚 7）的电路，并且 AMC23C14 显示与 AMC23C11 相同的行为，LATCH 输入（引脚 7）连接到低电平。

4.1.1 仿真电路

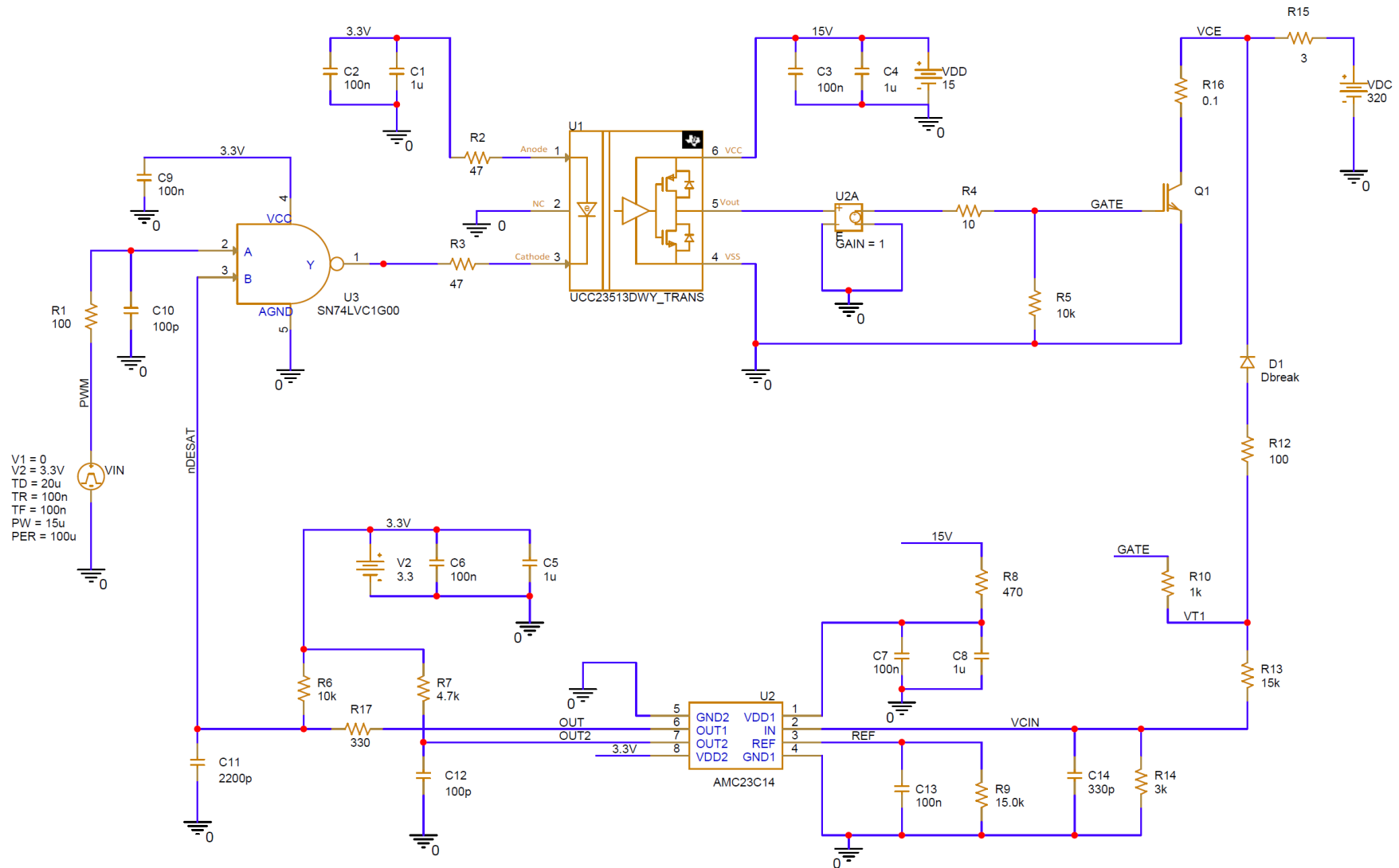


图 4-1. 仿真电路

4.1.2 仿真结果

在此仿真中，输入 PWM 信号设置为 10kHz，占空比为 15% 的方波。其他条件设置为常见的应用情况。图 4-2 是对 DESAT 保护情况的仿真结果。

在静态状态下，PWM 输入为低电平，因此与非门输出为高电平。UCC23513 没有输入电流，因此 GATE 上的输出也是低电平。因此，隔离式比较器 AMC23C11 的 VCIN 输入电压拉至零；输出 OUT 和 nDESAT 拉至高电平。

当输入 PWM 信号变为高电平时，只要 nDESAT 仍处于高电平，与非门的输出就会切换为低电平。然后，UCC23513 获得输入电流并在 GATE 上输出高电平。然后 IGBT U4 导通， V_{CE} 下降至 $V_{CE(SAT)}$ 。检测电流从 GATE 流出，经过 R10、R12 和 D1 流向 IGBT U4 的集电极，使 VT1 节点的电压跟随 IGBT 的实际 V_{CE} ，且通过 R13 和 R14 的电阻分压器使 VCIN 电压跟随 VT1 电压。如果 VCIN 未达到 VREF 的阈值，比较器的输出 OUT 和滤波后的输出 nDESAT 将保持高电平。

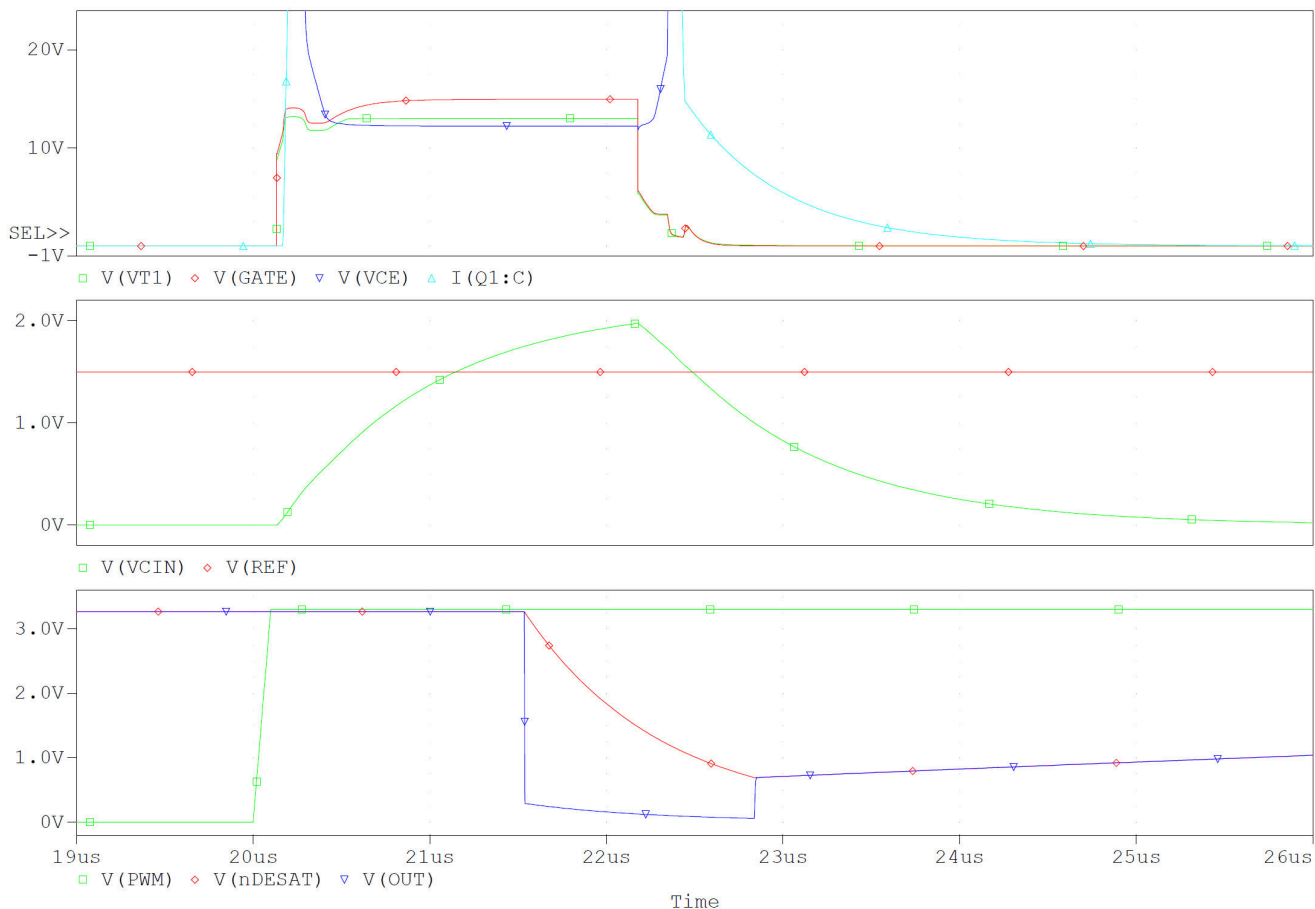


图 4-2. 触发 DESAT 的仿真结果

对于 DESAT 触发过程，如上图所示，当输入 PWM 信号（底部图中的绿色迹线）变为高电平时，IGBT 的 GATE 电压（顶部图中的红色迹线）很快就会上升，IGBT 的 V_{CE} 检测电压 VT1（顶部图中的绿色迹线）也将上升。然后，比较器的输入 VCIN（中间图中的绿色迹线）将开始上升，以便按比例跟随 VT1 电压。

然后 IGBT 的 V_{CE} （顶部图中的蓝色迹线）开始下降。当 V_{CE} 下降至低于 GATE 电压时，VT1 电压开始跟随 V_{CE} 。

在 VCIN 达到由 VREF（中间图中的红线）设置的 1.5V 触发阈值之前，比较器的输出 OUT（底部图中的蓝色迹线）将保持高电平。VCIN 达到触发电平后，比较器的 OUT 将拉至低电平，其内部传播延迟通常为 240ns。nDESAT 的滤波输出（底部图中的红色迹线）也将开始下降。

作为与非门 U3 的输入，nDESAT 触发 U3 的负向阈值后，栅极驱动器 U1 的输入电流会切断，且输出 GATE 将下拉。因此 IGBT 也会关断，且 V_{CE} 将很快上升。此过程是电路的 DESAT 保护。

当下拉 GATE 时，也会下拉 VT1，且 VCIN 将开始下降。当 VCIN 降至低于比较器输入的阈值时，OUT 将再次上升。AMC23C14 就是这种情况。

当引脚 7 (LATCH 输入) 连接到低电平时，AMC23C11 的行为与上述过程完全相同。当 LATCH 引脚拉至高电平时，比较器 OUT 引脚上的输出低电平将锁存；直至 LATCH 引脚拉至低电平并持续至少 $4 \mu s$ 来解除锁存状态。

4.2 三相 IGBT 逆变器的测试结果

在建议电路的样板上对 DESAT 保护进行了测试。我们测试了两种情形：样板用作 (1) 低侧制动 IGBT 的栅极驱动器，以及 (2) 三相电机驱动逆变器中的高侧开关 IGBT 的栅极驱动器。

4.2.1 制动 IGBT 测试

图 4-3 显示了低侧制动 IGBT 栅极驱动测试的平台。LAUNCHXL-F28379D 的 C2000™ LaunchPad™ 用作系统控制器来生成一系列 10kHz PWM 脉冲，占空比为 10% (或在每个 $100 \mu s$ 周期内导通时间为 $10 \mu s$)，用以驱动低侧 IGBT。该 LaunchPad 还为 AMC23C11 的 LATCH 输入生成高电平输出，并通过 GPIO 监测 nDESAT 信号。

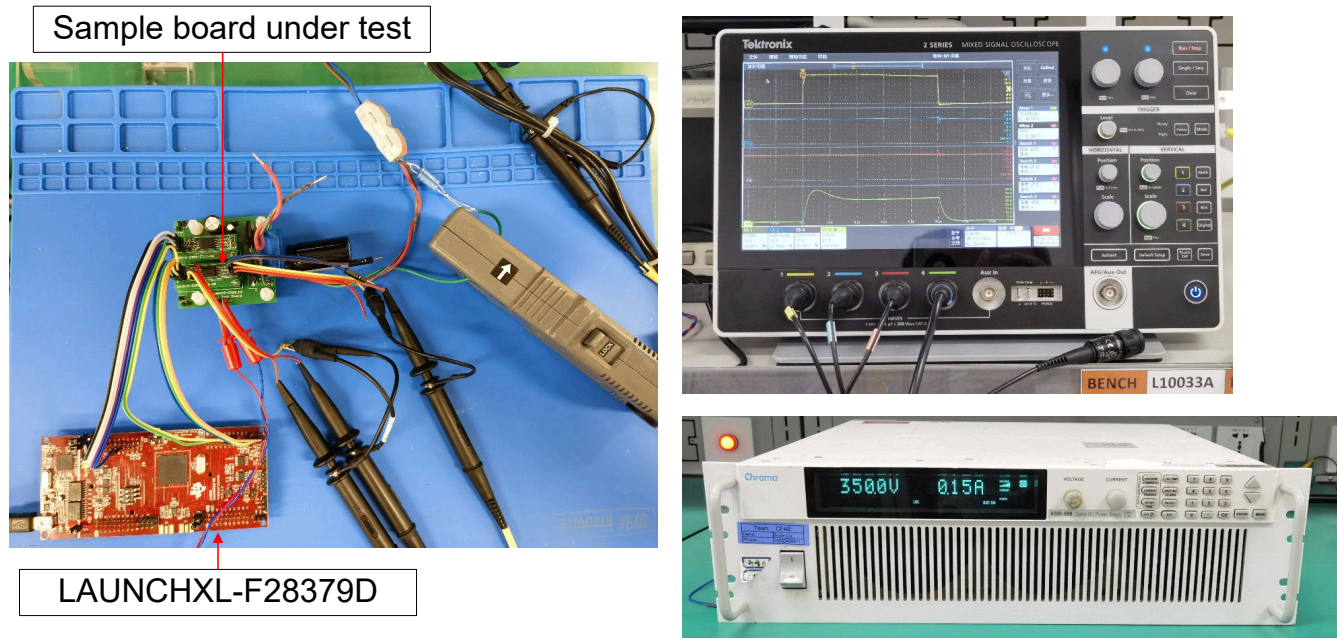


图 4-3. 低侧驱动测试的平台

要测试 OCP 或 SCP 状况，请使用一个 600V、10A 分立式 IGBT，以及并联两个 1.5Ω 、3W 电阻器来模拟制动电阻器。电阻器插入在 IGBT 集电极和 350V DC+ 电源轨之间。图 4-4 显示了测试结果。

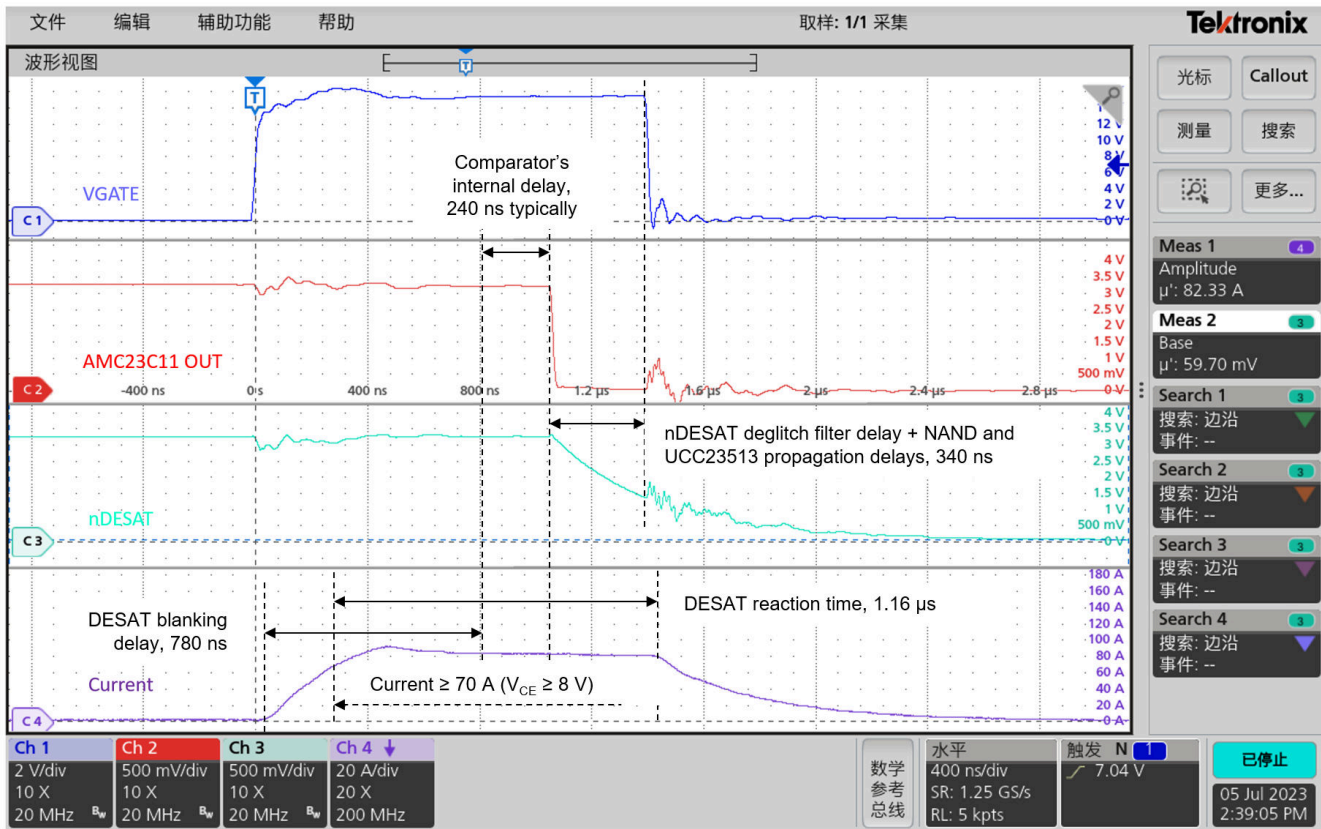


图 4-4. 低侧驱动测试中的短路保护延迟

在此测试中，导通 IGBT 之后 ($t = 0$ s)，集电极电流开始上升，并很快在约 90A ($t = 480$ ns) 时达到饱和。根据待测 IGBT 的数据表，当集电极电流达到 70A 时， V_{CE} 将增加到为电路设置的 8V 触发电平。在大约 780ns 的消隐时间后，隔离式比较器 AMC23C11 检测到 DESAT。然后，通常经过 240ns 的内部延迟后，AMC23C11 的 OUT 会切换至低电平 ($t = 1.04 \mu$ s) 并进行锁存 (当 LATCH 设置为高电平时)。在抗尖峰脉冲滤波器经过大约 340ns 的另一次延迟后，与非门 SN74LVC1G00 的输出切换至高电平并切断 USS23513 的输入电流，使栅极驱动器下拉 VGATE ($t = 1.44 \mu$ s)。DESAT 反应时间 (从 IGBT 的电流达到 70A 到 GATE 变为低电平后电流开始下降的时间) 仅为大约 1.16 μ s。

4.2.2 具有相间短路保护功能的三相逆变器的测试结果

在 TI 参考设计 (TIDA-010025) 的三相逆变器平台上进行了测试，用以检查在驱动 ACIM 电机时的相间短路情况。在这些测试中，U 相高侧 IGBT 的栅极驱动器替换为建议电路的样板：

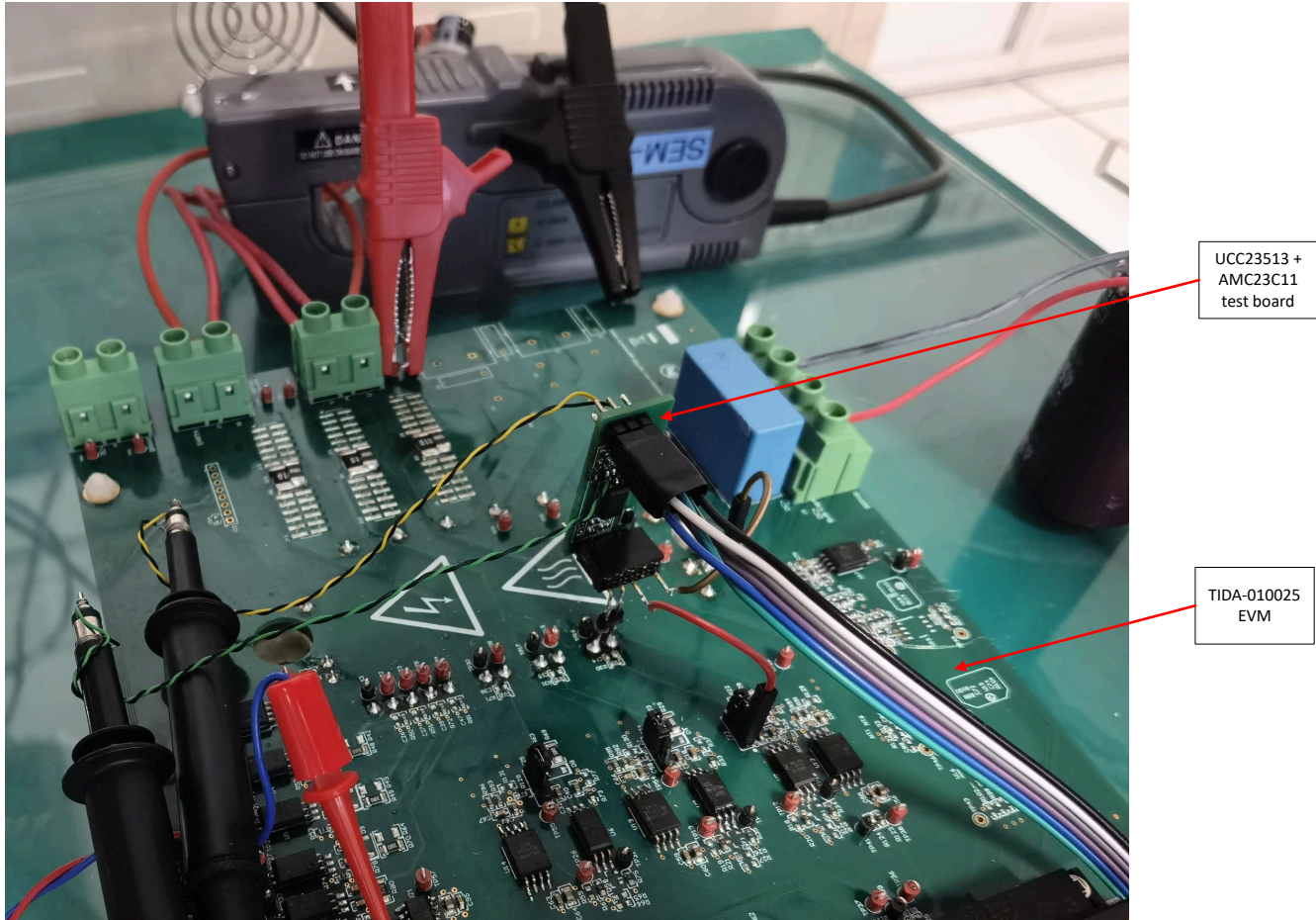


图 4-5. 运行电机测试的平台

TIDA-010025 参考设计在电源板上有一个 1200V、25A PIM 电源模块，该模块在三相逆变器级集成了六个额定值相同的 IGBT。为准备进行测试，我们首先移除了 U 相高侧 IGBT 的原始栅极驱动电阻器，然后将 VGATE 输出、15V 电源和样板的 VCE 检测端子连接到电源板。为避免参考设计的自身硬件 OCP 功能产生影响，我们在全部三个相位中添加了一个与原始 10mΩ 电阻器并联的 5mΩ 分流电阻器，这样我们可以将 OCP 触发电平提高三倍，达到 72A。在检查 IGBT 的输出特性后，我们还对样板进行了一些更改，以便在 $V_{CE(SAT)}$ 升至 2.5V 时达到 DESAT 阈值，这对应于大约 45A 的集电极电流。在这些测试期间，我们首先使电机（空载）运行到 50rps，然后使用连接到电源板端子的断路器将逆变器的 U 相和 W 相短接。图 4-6 是测试结果波形。

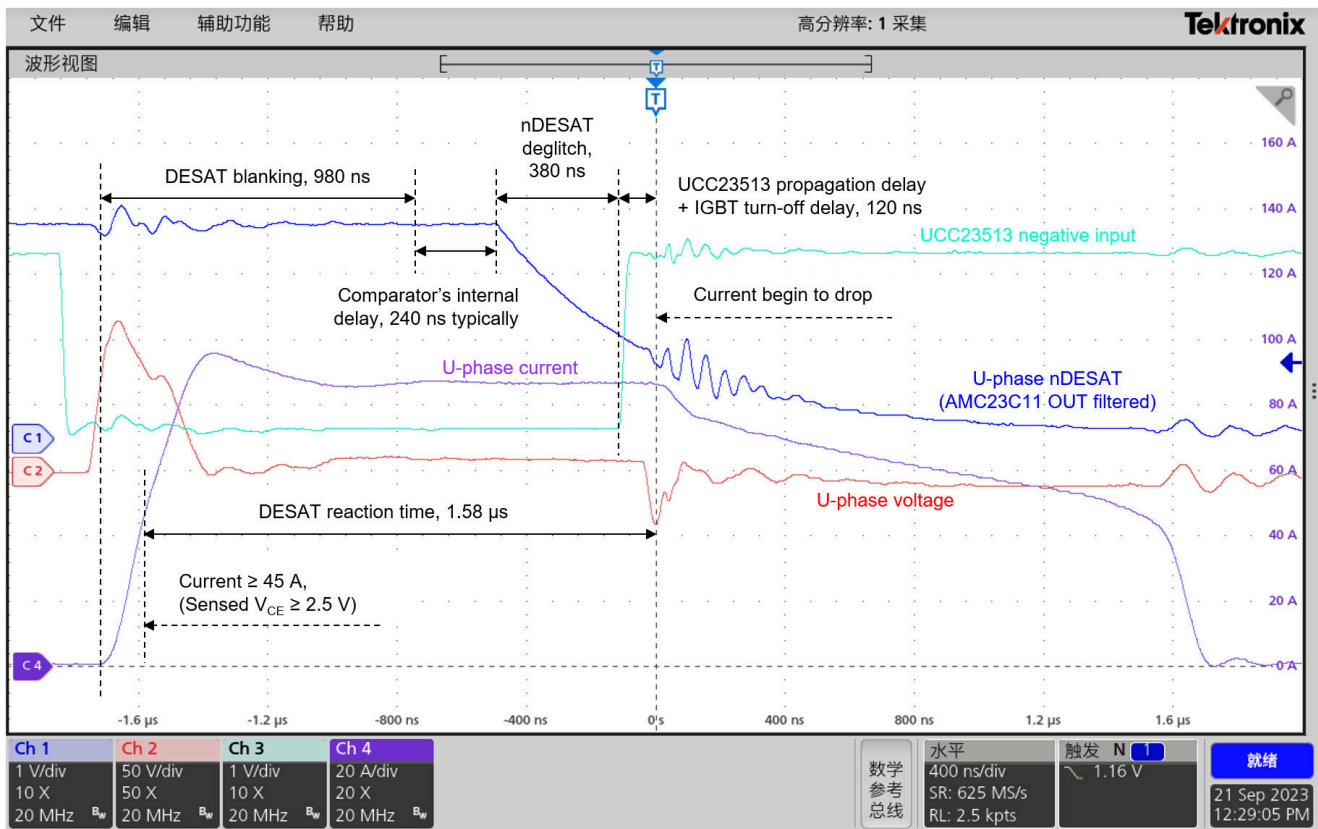


图 4-6. 运行电机测试中的短路保护延迟

打开断路器后，U 相和 W 相会短接，U 相电流开始快速上升。饱和电流很快达到约 95A 的峰值，然后下降一点点，并稳定在大约 86A。在 980ns 的消隐时间后，AMC23C11 检测到 DESAT 状况。经过另一个通常为 240ns 的内部传播延迟后，输出 OUT 引脚切换为低电平。nDESAT 降至与非门输入的负向阈值并切断 UCC23513 的输入电流大约需要 380ns。栅极驱动器经过大约 120ns 的时间后，IGBT 的电流开始下降。DESAT 反应时间总共约为 1.58 μs。

低侧驱动测试的结果有一些差异。两个测试的 IGBT 的特性和应用电路以及 DESAT 阈值调整的差异导致了这些变化。

5 总结

本应用手册验证了紧凑型、隔离式简单栅极驱动器与隔离式比较器组合实现的 DESAT 保护方案。与具有集成 DESAT 的 16 引脚智能栅极驱动器相比，分立式方法可减小设计尺寸。这种方法还增加了配置 DESAT 功能关键参数（例如阈值、偏置电流、消隐时间和抗尖峰脉冲滤波）的灵活性。分立式方法还提供 DESAT 锁存功能，该功能也可由 MCU 复位。

此概念还可推广到双极栅极驱动器电源，同样适用于低侧和高侧栅极驱动器。有关这些应用的更多详细信息，请参阅 TIDA-00448。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI), [AMC23C11](#) : 具有可调阈值和锁存功能的快速响应、增强型隔离式比较器数据表。
- 德州仪器 (TI), [UCC23513](#) : 4A 拉电流、5A 灌电流、5.7kVRMS 光兼容单通道隔离式栅极驱动器数据表。
- 德州仪器 (TI), [UCC23511](#) : 1.5A 拉电流、2A 灌电流、5.7kVRMS 光兼容单通道隔离式栅极驱动器数据表。
- 德州仪器 (TI), [UCC21750](#) : 适用于 SiC/IGBT 并具有主动保护、隔离式模拟检测和高 CMTI 的 10A 拉电流/灌电流增强型隔离式单通道栅极驱动器数据表。
- 德州仪器 (TI), [AMC23C14](#) : 具有可调节阈值的双路、快速响应、增强型隔离式窗口比较器数据表。
- 德州仪器 (TI), [ISO5451](#) : 具有有源保护功能的 5.7kVrms、2.5A/5A 单通道隔离式栅极驱动器数据表。
- 德州仪器 (TI), [PSpice for TI](#) 设计和仿真工具。
- 德州仪器 (TI), [UCC21750](#) : 如何调整 UCC217xx 和 ISO5x5x 中的 DESAT 检测阈值? 常见问题解答。
- 德州仪器 (TI), [TIDA-00448](#) : 采用增强型数字隔离器的灵活型高电流 IGBT 栅极驱动器参考设计。
- 德州仪器 (TI), [TIDA-00638](#) : 具有有源米勒钳位 (用于光伏逆变器) 的隔离式栅极驱动器功率级参考设计。
- 德州仪器 (TI), [TIDA-010025](#) : 适用于 200-480VAC 驱动器且具有光模拟输入栅极驱动器的三相逆变器参考设计。

7 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

日期	修订版本	说明
October 2023	*	初始发行版

重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司