



Hangjie Wang

摘要

随着 EV/HEV 中逆变器技术的持续迭代和升级，客户对逆变器系统的 FuSa（功能安全）和运行可靠性提出了更严格的要求。作为逆变器的核心开关器件，IGBT 电源模块容易发生短路故障，如果没有提前检查故障并直接启动系统，很可能会发生次级短路、过流影响和热失控等次级事故，从而对驱动电路、电池甚至负载电机造成不可逆转的损坏，并可能危及人身安全。因此，隔离式驱动器必须在配置模式下完成 IGBT 模块短路故障的无损检测，从而提前消除潜在故障。本文重点介绍了 TI UCC5880 高性能隔离式栅极驱动器，设计了一种 IGBT 模块短路故障检测方案，并详细说明了方案原理、硬件设计和配置过程，有助于客户安全检测模块短路故障并防止模块损坏后发生二次事故。

内容

1 引言背景.....2

1.1 功能要求.....2

1.2 UCC5880-Q1 的主要特性.....2

1.3 软件配置模式检测过程.....5

1.4 关键配置参数.....5

2 测试结果.....6

3 总结.....7

4 参考资料.....7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 导言背景

在当前 EV/HEV 高功率逆变器应用场景中，IGBT 或 SiC 模块因过流、过压、过热、器件老化等因素而发生短路故障的概率客观存在。传统的驱动器方案仅在系统运行期间通过 Desat 实现短路保护，并且无法在启动前检测模块是否发生故障。故障运行会直接导致次级故障，从而极大地增加系统安全风险。因此，预防性安全检测已成为行业的硬性要求。

1.1 功能要求

为了实现无损 DS 短路检测，功能要求如下：

1. 隔离式驱动器芯片应在配置模式（非开关工作状态）下完成 IGBT 模块短路故障检测；
2. 检测过程是无损的，不会损坏 IGBT 模块、驱动电路和主电路。
3. 检测参数可配置，与具有不同电压和电流电平的 IGBT 电源模块兼容。
4. 检测到短路故障后，立即锁存故障、上传故障信号并禁止系统启动。
5. 该方案具有高集成度，无需添加多个外设，可简化硬件电路设计并确保系统可靠性。

1.2 UCC5880-Q1 的主要特性

TI UCC5880 是一款专为大功率 IGBT 和 SiC MOSFET 设计的高隔离和可配置栅极驱动器。其集成功能完全符合 IGBT 短路故障检测的要求，核心特性如图 1-1 和下方所示：

1. 内置去饱和 (DESAT) 短路检测电路、110ns 超快速故障响应，检测阈值可通过 SPI 配置为 4V 至 14V；
2. 集成式 10 位高精度 ADC，可实时对 DESAT 引脚电压进行采样并提供准确数据以进行故障判断。
3. 支持 SPI 串行配置接口，可在配置模式下设置阈值、消隐时间和其他参数。
4. 完整的自诊断和故障保护功能。
5. 150V/ns 的超高共模瞬态抗扰度 (CMTI) 和出色的电气隔离性能，非常适合高压和高功率逆变器场景。
6. 忽略 INP 输入，以防止配置模式下的未知行为并实现无损检测。

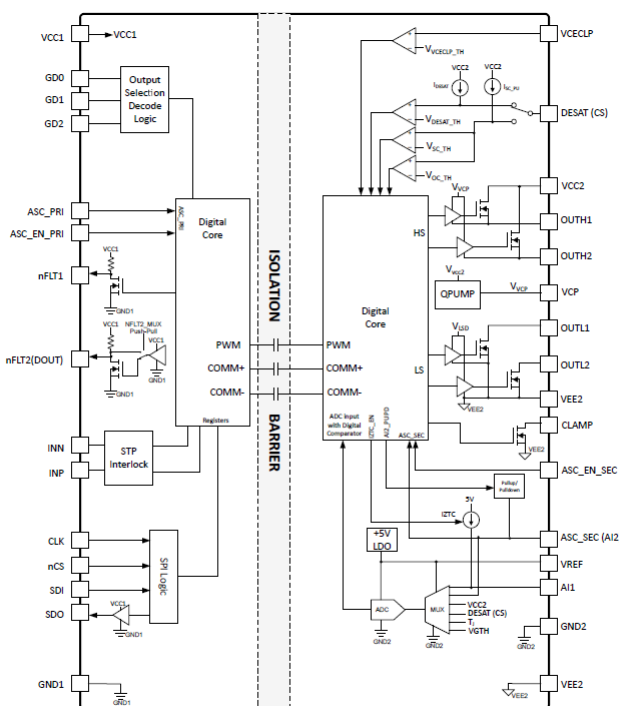


Figure 6-1. Functional Block Diagram

图 1-1. UCC5880-Q1 方框图

当 IGBT 模块处于正常关断状态时，集电极-发射极呈高阻抗，VCE 电压接近母线高电压；当 IGBT 模块发生短路故障时，集电极-发射极处于低阻抗导通状态，VCE 电压接近 0V。

借助 UCC5880 的 DESAT 检测功能，该方案在配置模式下通过 DESAT 环路向 IGBT 集电极施加强检测电流，收集如#none# 所示的集电极-发射极电压信号，并通过芯片的内置 ADC 和比较器将采样的电压与预设的故障阈值进行比较，以判断 IGBT 是否存在短路故障。IGBT 在整个过程中处于关闭状态，没有传导作用，实现无损检测，详细电路如#none# 所示。

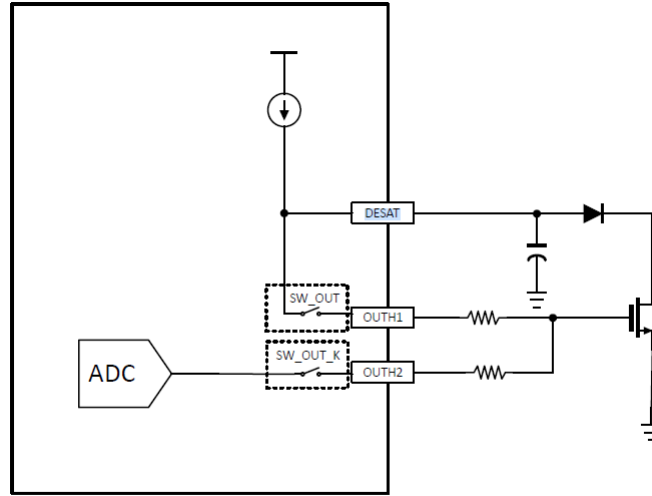


Figure 6-31. VGTH Monitor Effective Circuit

图 1-2. VGTH 监测器有效电路

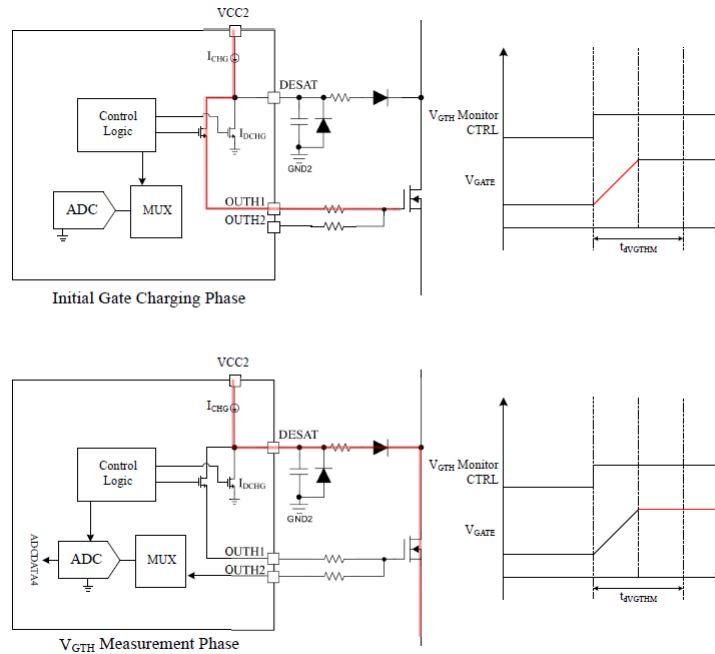


Figure 6-29. VGTH Monitoring Circuit and Process

图 1-3. 监控电路和进度

表 1-1 中显示了 DS 短路和无 DS 短路的情况下的 ADC 读数，图 1-4 中显示了测试波形。

表 1-1. DS 短路和无 DS 短路时的电压采样比较

条目	ADC 值
无 DS 短路	可以使用数据表第 6.3.5.7 节电源开关阈值测量 (VGTH) 中的公式计算 ADC 值
DS 短路	栅极电压将接近 0

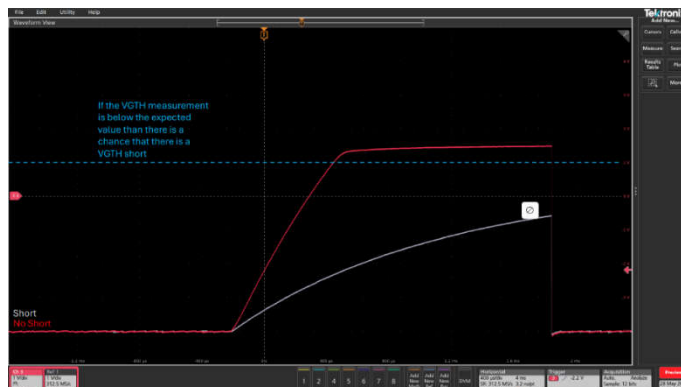


图 1-4. DS 短路和无 DS 短路时的电压采样比较

硬件电路设计

DESAT 检测环路如#none# 所示，UCC5880 DESAT 引脚通过限流电阻器和快速恢复二极管连接到 IGBT 集电极。限流电阻器以微安级控制检测电流，快速恢复二极管隔离反向高电压，滤波电容器抑制干扰以验证稳定的电压采样。ADC 值会因您的系统和模块条件而异，我们建议遵循数据表，以使器件保持在数据表规格范围内。

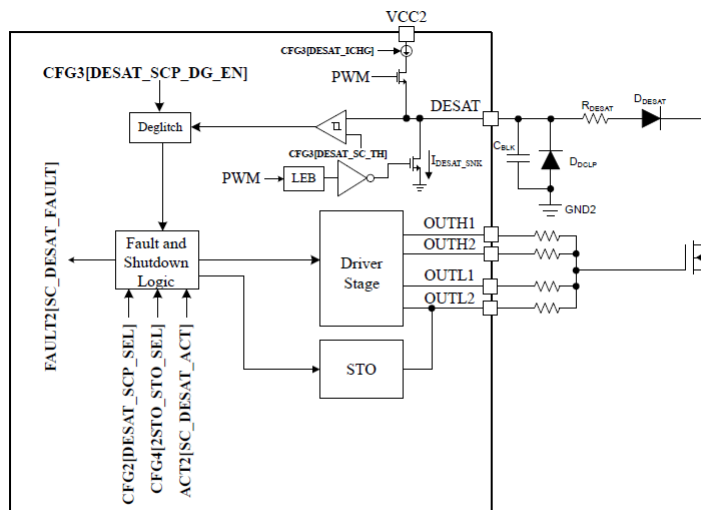


Figure 6-32. Block Diagram for DESAT Function

图 1-5. Desat 功能的方框图

1.3 软件配置模式检测过程

主软件配置如下所示：

1. 系统初始化：主控制 MCU 为 UCC5880 上电并初始化 UCC5880，启用 SPI 通信，将芯片设置为配置模式。
2. 参数配置：通过 SPI 配置 DESAT 检测阈值、ADC 采样参数、故障消隐时间和故障锁存使能。
3. 检测回路启动：UCC5880 打开 DESAT 检测环路、施加强检测电压，并等待电压信号稳定。
4. 电压采样和判断：内置 ADC 对 DESAT 引脚电压进行采样，并将其与预设阈值进行比较：
 - a. 采样电压 $>$ 故障阈值：IGBT 模块正常。
 - b. 采样电压 $\leq$ 故障阈值：IGBT 模块存在短路故障。
5. 故障处理：
 - a. 如果正常，退出配置模式，系统可以正常启动；
 - b. 如果失败，则锁存故障并上传故障信号。
6. 故障复位：如果故障消失，MCU 会通过 SPI 发送复位命令以清除故障锁存并再次执行检测过程。

1.4 关键配置参数

主要配置参数如下所示：

1. DESAT 故障检测阈值：根据 IGBT 型号灵活调整；
2. ADC 采样模式：10 位高精度 DESAT 电压通道采样；
3. 故障消隐时间：过滤干扰信号以避免错误检测；
4. 驱动输出锁存：忽略 INP 输入，以防止配置模式下出现未知行为。
5. 高可靠性：出色的隔离性能和抗干扰能力，尤其适用于严苛的工业和车辆工作条件。

2 测试结果

本节总结了基于 UCC5880-Q1 Iso 栅极驱动器 IC 的 DS 短路故障检测的实验波形。测试波形反映了 UCC5880 可以在预期时间窗口内准确检测漏极-源极短路-电路事件。

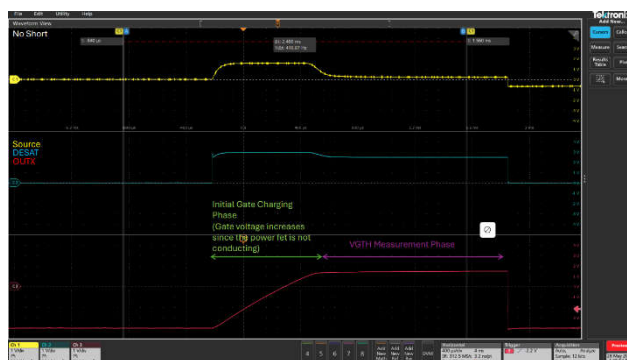


图 2-1. 无 DS 短路测试波形

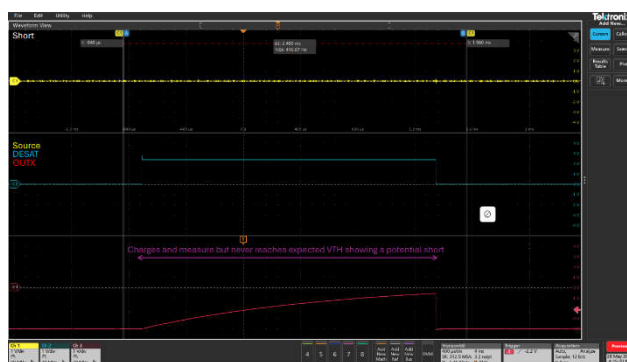


图 2-2. 有 DS 短路测试波形

3 总结

该方案基于 TI UCC5880 隔离式驱动器芯片，在配置模式下实现了对 IGBT 模块短路故障的精确无损检测，可帮助客户实现针对短路故障的预安全检测要求。它从根本上消除了模块故障引起的二次事故，极大地提高了逆变器系统的功能安全性和运行可靠性。

4 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [UCC5880-Q1 具有高级保护功能，适用于汽车应用的隔离式 20A 可调节栅极驱动 IGBT/SiC MOSFET 栅极驱动器](#)，数据表。

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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月