

Audrey Dearien

摘要

本文档介绍了如何利用 TI 隔离式栅极驱动器诊断和保护功能的优势来设计 HEV/EV 牵引逆变器驱动系统。

内容

1 引言.....	2
2 HEV/EV 概要.....	3
2.1 HEV/EV 架构.....	3
2.2 HEV/EV 牵引逆变器系统架构.....	4
2.3 HEV/EV 牵引逆变器系统性能影响.....	7
3 HEV/EV 牵引逆变器驱动级的设计.....	9
3.1 UCC217xx-Q1 简介.....	9
3.2 使用 UCC217xx-Q1 设计牵引逆变器驱动系统.....	9
3.3 保护特性的说明.....	9
3.4 UCC217xx-Q1 的保护特性.....	10
3.5 UCC217xx-Q1 保护和监控特性描述.....	11
3.6 UCC5870-Q1 简介.....	18
3.7 使用 UCC5870-Q1 设计牵引逆变器驱动系统.....	18
3.8 保护特性的说明.....	19
3.9 UCC5870-Q1 的保护特性.....	19
3.10 UCC5870-Q1 保护和监控特性描述.....	20
4 隔离式偏置电源架构.....	29
5 总结.....	31
6 参考文献.....	32
7 修订历史记录.....	33

1 引言

由于车辆全面电气化以及车辆制造商须遵守严格的安全要求，智能的车辆监控和保护手段必不可少。电子系统和组件必须在车辆的整个生命周期内保持正常工作，以保证安全运行。牵引逆变器对驱动系统至关重要，包括保护和监控辅助电路，以防止系统级失效模式，例如转矩过大和过低、电机意外换向或电机停机。本设计指南介绍了 HEV/EV 架构、牵引逆变器系统的失效模式以及如何使用栅极驱动器和周围电路来增强系统的可靠性。德州仪器 (TI) 的 UCC217xx-Q1 系列增强型隔离式栅极驱动器具有集成的保护和监控功能，可简化大功率牵引逆变器系统的设计。此系列驱动器是根据 TI 功能安全质量管理型流程开发的。上述特性包括快速过流保护或短路保护、隔离式温度和电压检测以及欠压锁定。此外，具有高级功能的 UCC5870-Q1 基本隔离式栅极驱动器包括集成的 SPI 可编程诊断、保护和监控功能，并且是根据 TI 功能安全合规型流程开发的。有关 TI 安全芯片类别的更多信息，请访问 [TI 的功能安全](#) 网页。

2 HEV/EV 概要

本节介绍了 HEV/EV 汽车动力总成系统的主要组成部分。

2.1 HEV/EV 架构

汽车电气化使运输行业发生了革命性变化，并给汽车和半导体行业带来了技术进步。包括混合动力电动汽车 (HEV) 和全电动汽车 (EV) 在内的电气化车辆包含各种电力电子系统，用于调节电网电力、管理电池存储元件并最终驱动车辆。电机用于驱动车辆的车轮或充当发电机，将机械能转化为电能储存在电池中。HEV 结合使用电动机和发电机（作为低功耗起动机和交流发电机，或完全驱动车辆），以及通常为车辆运动提供主要动力的内燃机 (ICE)。另一方面，EV 利用电动机作为车辆运动的主要动力，以及实现再生。

主要的 HEV 架构有串联、并联以及串并联组合，如图 2-1 所示。在串联配置 (a) 中，ICE 通过电动机间接连接到变速器。电力电子三相驱动器通过发电机和电池从 ICE 获取电力。在这种架构中，ICE 针对一定的速度范围进行了优化，从而实现了超小尺寸和更高的效率。就机械复杂性而言，这是非常简单的 HEV 架构，因为没有机械能量耦合。

并联 HEV 配置 (b) 利用机械耦合的 ICE 和电动机组合。在这种架构中，电力驱动主要用作低功耗起动机和交流发电机，因此功率较低。由于工作范围较大，ICE 的效率较低，但电动机的尺寸超小，因为它不需要提供与 ICE 一样多的功率。

串联/并联配置 (c) 结合了之前的两种方法，以实现更高的效率。机械耦合由行星齿轮执行，而 ICE 和电力驱动器结合了牵引力。在这种情况下，可以将电动机和 ICE 设计为在指定的输出范围内运行，以提高它们的效率。

在每种情况下，三相逆变器都用于驱动电动机。逆变器设计因电源输出要求而异，具体取决于架构。逆变器的正确控制直接影响电机的效率和车辆的整体效率。

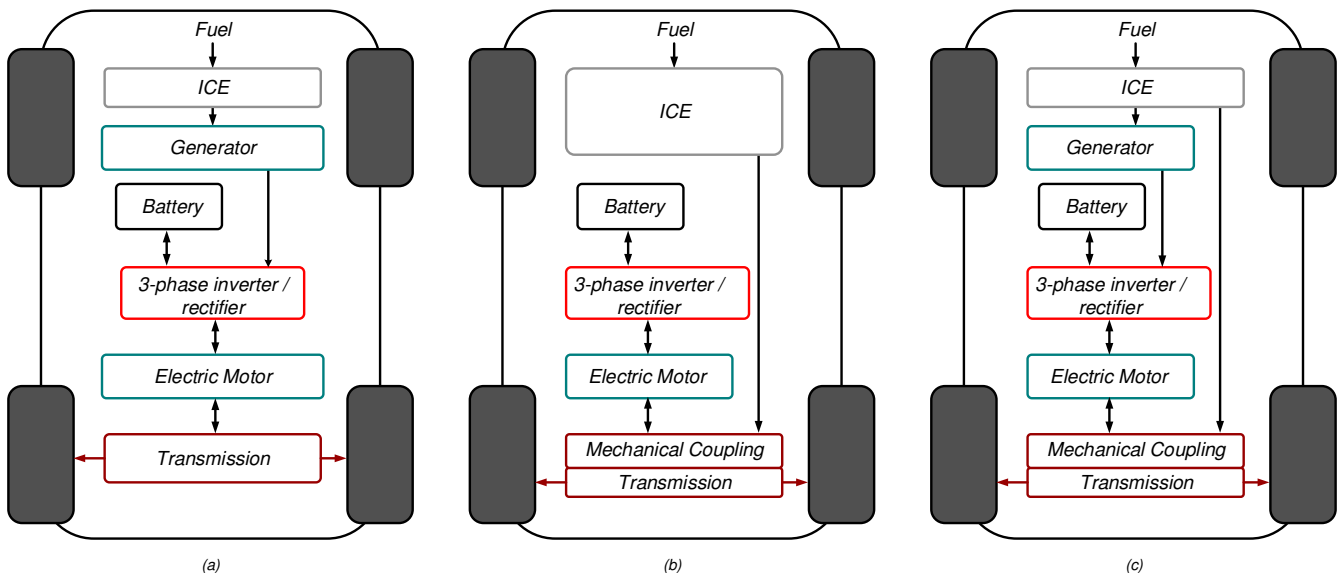


图 2-1. HEV 架构

另一方面，纯电动汽车没有 ICE，仅依靠电池的能量。图 2-2 中显示了一些不同的电动机配置。与 HEV 类似，每种架构都会对逆变器产生不同的功率要求。电动机可以直接连接到轮毂（如配置 (a) 和 (b) 所示），也可以通过差速器连接到轮毂（如 (a) 和 (c) 所示）。直接轮内驱动具有简单性和高效率以及低维护成本的优点，但由于低速要求，通常尺寸必须更大。差速器驱动可实现高功率密度，从而使电机能够以高转速运行，而差速器提供固定的传动比。缺点是机械齿轮需要维护，并有传动损失。

高电压锂离子电池通常用作能量存储单元，以提供最大容量、最小重量和最高效率。与 HEV 和插电式 HEV 相比，若采用当前技术（包括各种电池化学物质和电力电子器件效率），EV 的续航里程仍然有限。高性能 EV 依赖于牵引逆变器的更高功率水平，更大限度缩减电子器件的尺寸以及基于检测信号的复杂控制。

通过提高逆变器的效率和稳健性，车辆的整体效率也会提高。栅极驱动器通过驱动逆变器中的每个开关管来发挥作用，并提供保护和监测以降低失效的可能性。

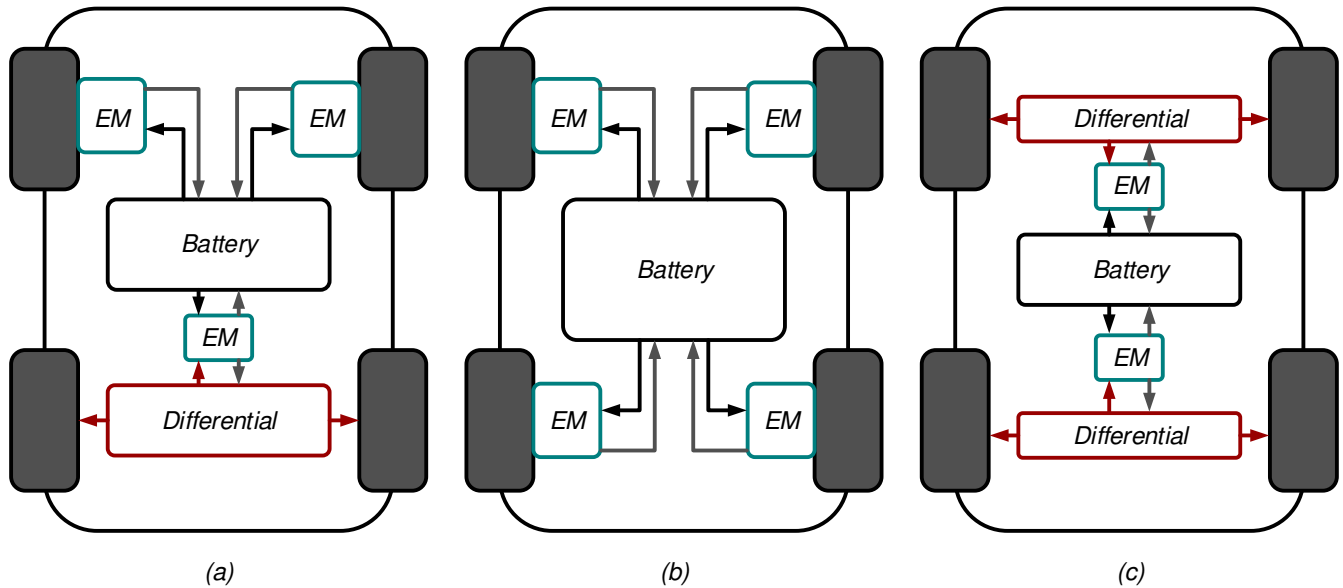


图 2-2. EV 架构

EV 动力总成系统的关键块包括电机、牵引逆变器驱动器、直流/直流转换器、锂离子电池、交流/直流并网车载充电器 (OBC) 和控制器 (MCU 和 PMIC)，如图 2-3 所示。牵引逆变器系统以红色突出显示，在后续章节中进行了详细介绍。仅此系统就包含许多用于实现高安全级别的保护和监控功能。

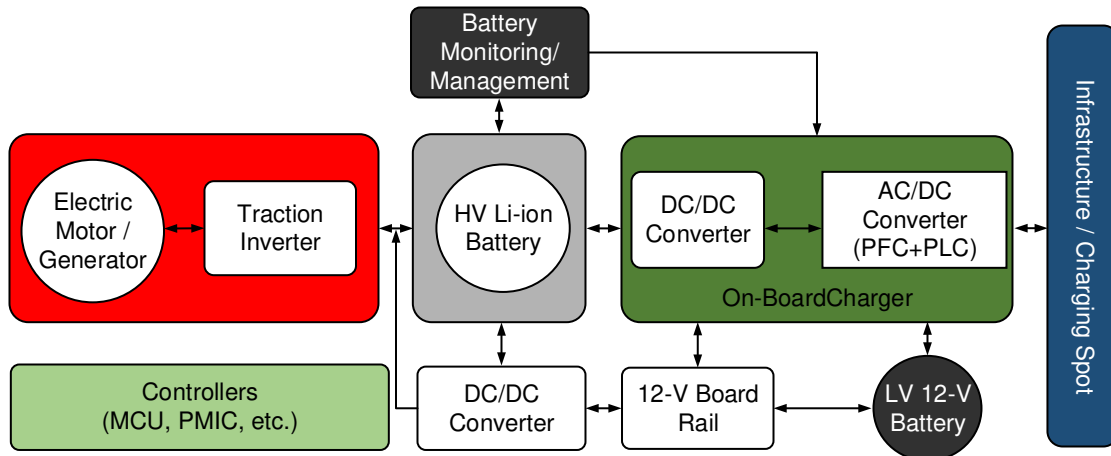


图 2-3. EV 系统中的各个块

2.2 HEV/EV 牵引逆变器系统架构

通过放大牵引逆变器系统，可以发现多个块，包括电源管理 IC (PMIC) 和微控制器 (MCU)、高功率 IGBT 或 SiC MOSFET 电源模块及其温度检测元件、高压 (HV) 电池、直流链路电容器、检测块、各种保护和监测电路以及信号隔离，如图 2-4 所示。大功率开关是逆变器中的关键元件，因为它们控制流向电机的电流以产生运动。因此，通过在整个运行过程中检测开关的温度、电压和电流来对其监控和保护。这些开关通过 MCU 和逆变器桥臂的高侧 (HS) 和低侧 (LS) 隔离式栅极驱动器进行控制。PWM 信号通常使用空间矢量调制 (SVM) 方案生成。当电机运行时，电压、电流和位置信号会被检测并反馈给控制器以修改逆变器的调制。其中一种反馈方法是场定向控制 (FOC)，它使用两相电流和位置来生成适当的调制矢量。为了实现高效的电机控制，需要良好的调制方案、快速反馈和精确检测的信号。

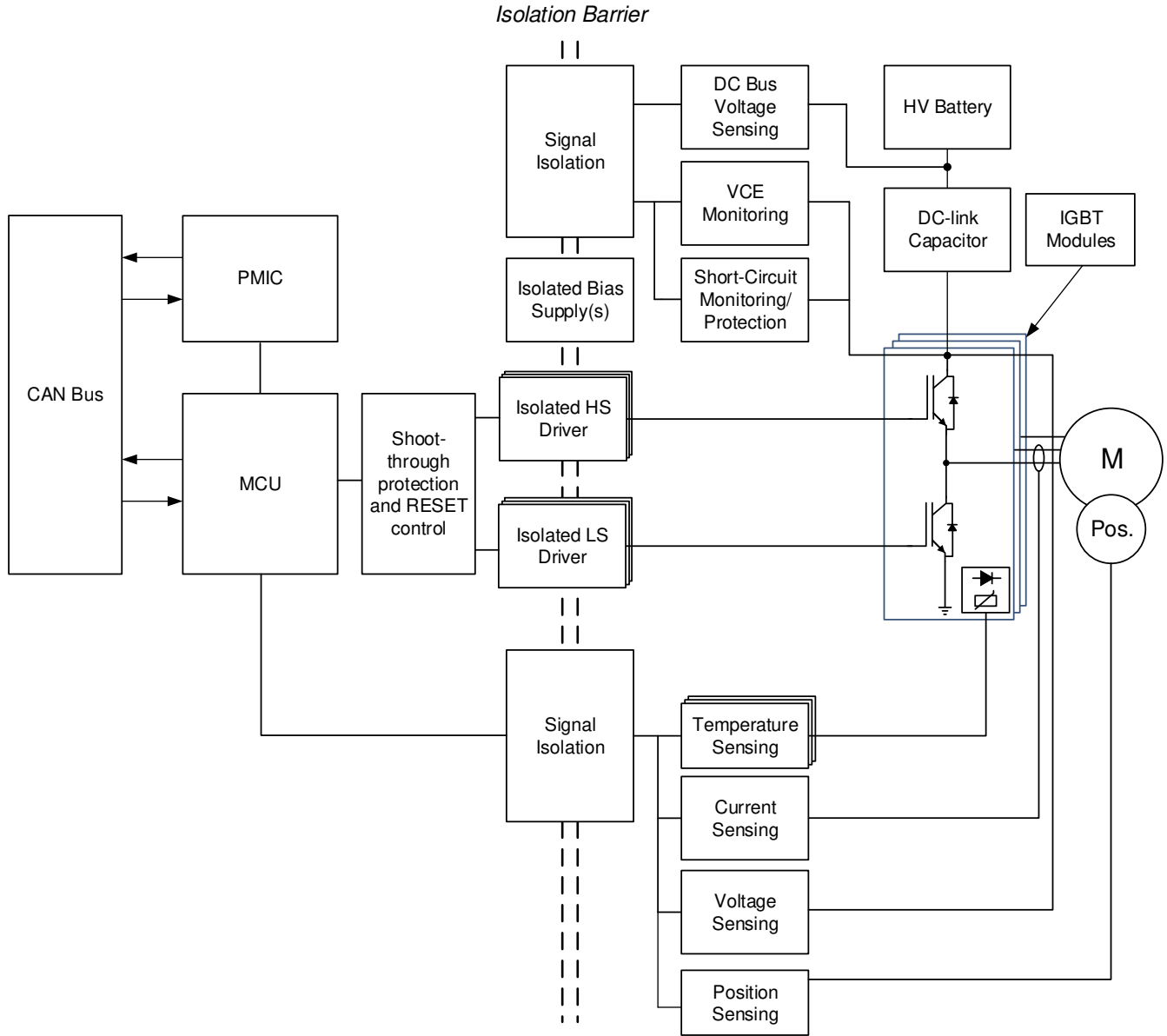


图 2-4. 高压牵引逆变器方框图

详细了解一下逆变器（如图 2-5 所示），它总共六个半导体开关管器件，这些器件共用一个栅极驱动器来放大来自 MCU 的 PWM 信号。逆变器的三个桥臂将直流电池电压转换为三相交流电压和电流以驱动电机。两个电流测量值和一个位置测量值被反馈至 MCU 用于 FOC，该 MCU 利用数学变换为六个开关生成适当的信号来控制 A、B 和 C 相的输出电压。

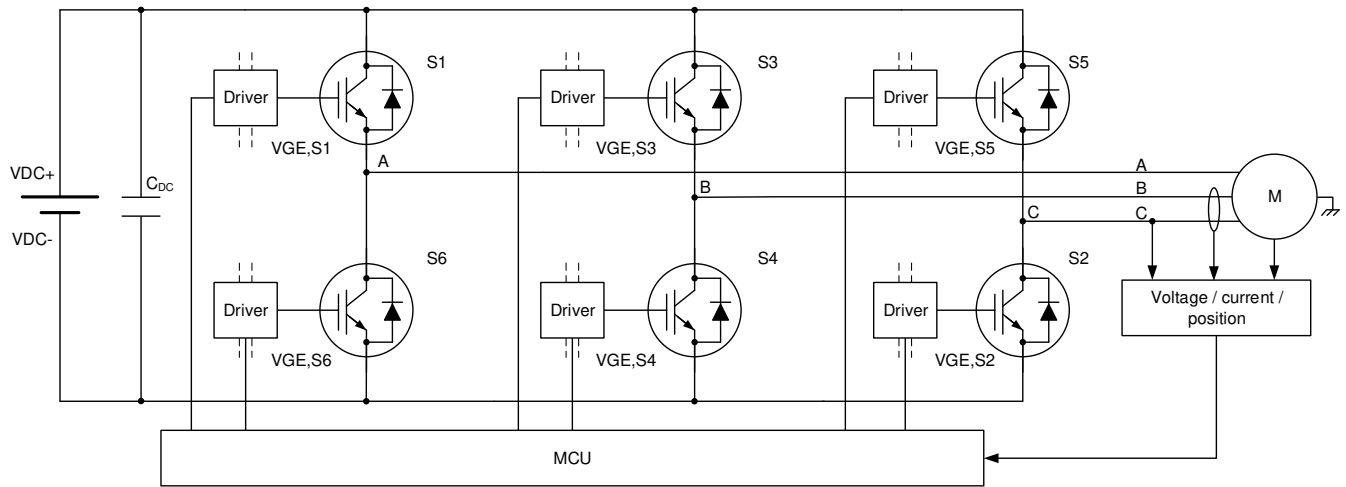


图 2-5. 使用 IGBT 的三相两级逆变器

在矢量调制中，共有八个状态，其中两个是零矢量，其余是有源矢量，用于向电机施加必要的电压以产生适量的扭矩。表 2-1 显示了开关对 S1 和 S6、S3 和 S4 以及 S5 和 S2 的互补状态。

表 2-1. 空间矢量调制状态

矢量	S1	S2	S3	S4	S5	S6
{000}	关闭	打开	关闭	打开	关闭	打开
{100}	打开	打开	关闭	打开	关闭	关闭
{100}	打开	打开	打开	关闭	关闭	关闭
{010}	关闭	打开	打开	关闭	关闭	打开
{011}	关闭	关闭	打开	关闭	打开	打开
{001}	关闭	关闭	关闭	打开	打开	打开
{101}	打开	关闭	关闭	打开	打开	关闭
{111}	打开	关闭	打开	关闭	打开	关闭

有多种实现 SVM 的方法。SVM 方法之间的权衡包括降低开关损耗、更大程度利用总线电压、降低谐波含量同时仍实现精确控制。其中一种方法是七段 SVM，这有利于产生具有低谐波的电压波形，从而减少驱动电机时的失真。门控序列如图 2-6 所示。由于 MCU 控制错误而产生的单个跳过或额外栅极信号或由于失效而导致的栅极驱动器锁存输出可能会导致逆变器输出失真。相脚中互补开关的重叠可能会导致击穿，因此必须始终避免这种情况。如图所示，电机的换向取决于非常特定的门控序列。因此，很难在一次关断栅极驱动器失效的情况下意外地对电机换向。

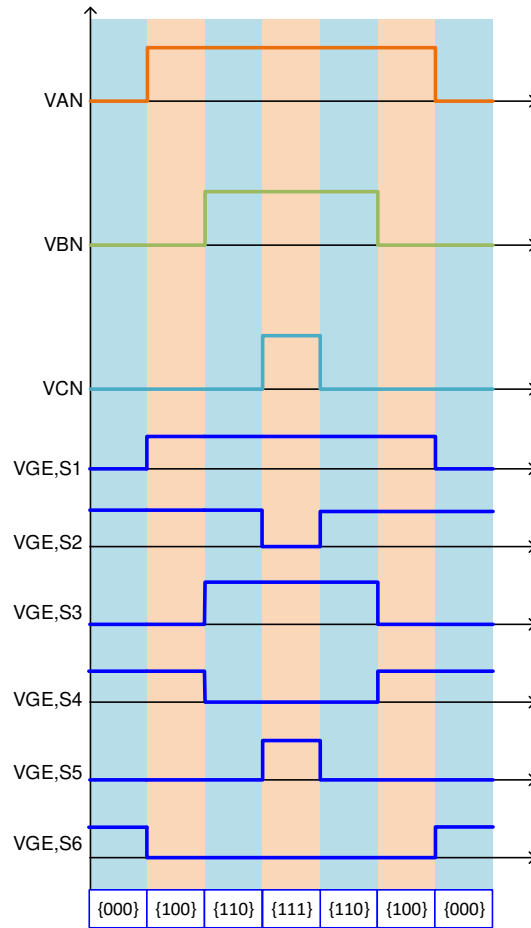


图 2-6. 七段 SVM

除了由 MCU 生成的有效门控序列外，智能驱动系统还包括具有保护和监控功能的栅极驱动器，以保护开关管。以下部分讨论了系统内的各种失效对牵引逆变器系统的影响，以及如何使用栅极驱动器和周边电路来提高系统的可靠性。

2.3 HEV/EV 牵引逆变器系统性能影响

在牵引逆变器的设计和实施过程中，必须考虑所有失效模式，以确保安全高效地运行。表 2-2 中显示了一些可能影响电机性能的机械或电子失效，这些失效与逆变器系统有关。本应用手册将不讨论电机短路或因机械失效而开路等原因，而是更详细地讨论从电力电子产品的有利位置发生的失效以及本节中概述的预防机制。

表 2-2. 牵引逆变器系统事件示例

牵引逆变器系统影响	机械原因	电子器件原因	预防机制
低于扭矩	线圈短路或开路	IGBT 短路或开路	IGBT 保护
		栅极驱动器损坏	自检和诊断
		栅极驱动器输出锁存	
		栅极驱动器逻辑错误	
		隔离失效	
		MCU 失效	MCU 看门狗
		PMIC 失效	PMIC 监测器
超过扭矩	不适用	传感器失效	冗余传感
		MCU 失效	MCU 看门狗
意外的电机换向	不适用	传感器失效	冗余传感
		MCU 失效	MCU 看门狗

表 2-2. 牵引逆变器系统事件示例 (continued)

牵引逆变器系统影响	机械原因	电子器件原因	预防机制
意外的电机关断/无输出	线圈短路或开路	IGBT 短路或开路	IGBT 保护
		直流总线失效	电压监视器
		MCU 失效	MCU 看门狗
		PMIC 失效	PMIC 监测器

如前所述，施加到电机三个绕组上的电压决定了电机的速度和扭矩。各种事件都可能会导致干扰。逆变器中的功率开关器件（从现在开始称为 IGBT）可能会由于机械失效、过热等原因而短路或开路。如果由于过热或机械原因而损坏、具有锁存输出、接收到来自 MCU 的错误信号或遇到隔离栅故障，栅极驱动器本身可能成为失效源。为了涵盖各种潜在失效，栅极驱动器和辅助电路用于监控开关管是否存在短路、适当的栅极电压和其他信号，以保护 IGBT 和栅极驱动器。此外，还包含电路，用于在运行周期后发生潜在失效的情况下对关键功能执行自检。除了栅极驱动电路外，MCU 或 PMIC 还应具有冗余监控电路，以防止控制器失效或电源失效。

以下各节介绍了 UCC217xx-Q1 和 UCC5870-Q1 驱动器，它们的集成保护和诊断功能，以及它们如何简化牵引逆变器系统的设计。必要时还描述了外部电路，以帮助执行自检和诊断。

3 HEV/EV 牵引逆变器驱动级的设计

本节将讨论如何使用 UCC217xx-Q1 和 UCC5870-Q1 器件设计 HEV/EV 牵引逆变器系统，以提供可靠运行所需的保护和诊断。

3.1 UCC217xx-Q1 简介

UCC21732-Q1 是一款电隔离单通道栅极驱动器，设计用于高达 1700V 的 SiC MOSFET 和 IGBT，具有先进的保护功能、出色的动态性能和稳健性。UCC21732-Q1 具有高达 ±10A 的峰值拉电流和灌电流。输入侧通过 SiO₂ 电容隔离技术与输出侧相隔离，支持高达 1.5kVRMS 的工作电压、12.8kV_{PK} 的浪涌抗扰度，隔离栅寿命超过 40 年，并提供低器件间偏移和大于 150V/ns 的共模噪声抗扰度 (CMTI)。UCC217xx-Q1 系列器件包括先进的保护特性，如快速过流和短路检测、分流电流检测支持、故障报告、有源米勒钳位、输入和输出侧电源 UVLO (用于优化 SiC 和 IGBT 开关行为) 和稳健性。可以利用隔离式模拟至 PWM 传感器更轻松地进行温度或电压感测，从而进一步提高驱动器的多功能性并简化系统设计工作量、尺寸和成本。这些电路的优势以及用于增强系统级可靠性的辅助电路如下所示。

3.2 使用 UCC217xx-Q1 设计牵引逆变器驱动系统

图 3-1 中显示了 UCC21732-Q1 以及逆变器系统中所需的各种监控和保护模块。有四个类别用于描述各个块：自检、诊断、保护和驱动器功能。自检模块表示用于确保另一个关键模块正常工作的电路。诊断模块用于将关键信息反馈回 MCU，以确定监控功率级性能和/或行为。保护块用于防止 IGBT 失效。最后，驱动器功能块包括基本的栅极驱动器功能。

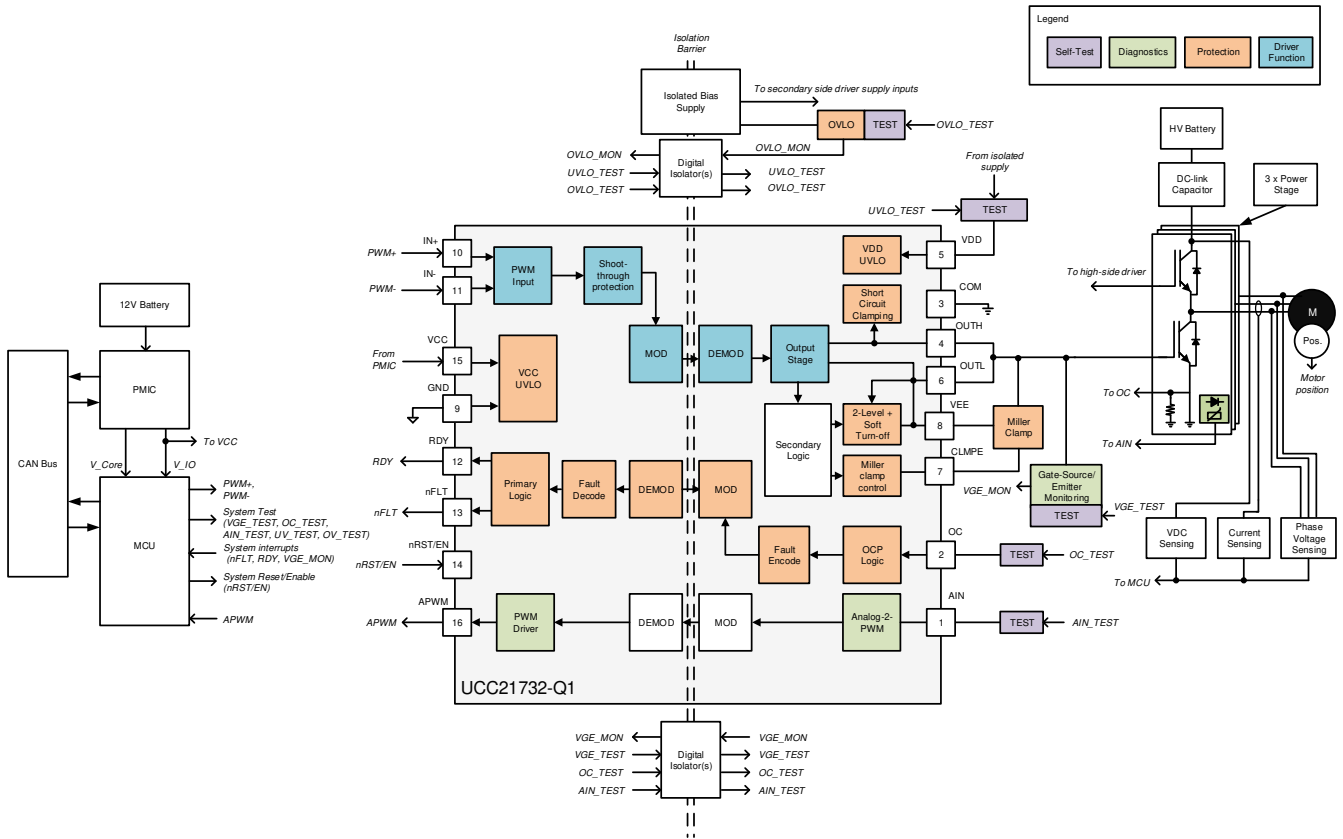


图 3-1. 采用 UCC217xx-Q1 的牵引逆变器系统方框图

3.3 保护特性的说明

本节介绍了 UCC217xx-Q1 集成保护和诊断功能以及有助于牵引逆变器系统可靠运行的非集成功能。

3.4 UCC217xx-Q1 的保护特性

如表 2-2 所示，可使用栅极驱动器周围的集成和辅助电路来防止各种失效对系统的影响。表 3-1 显示了这些系统影响和潜在失效，以及可用于防止这些影响和潜在故障的栅极驱动器电路的集成和辅助电路。

系统模块中的潜在失效位置如图 3-2 所示，分为 (F1) PMIC 失效、(F2) MCU 失效、(F3) 驱动器失效或 (F4) 电机/机械失效。

表 3-1. 使用 UCC217xx-Q1 的保护和诊断特性

系统影响	驱动器和/或逆变器相关失效	潜在失效位置	UCC217xx-Q1 集成特性	外部电路特性
扭矩干扰	驱动器电源过压或欠压	F1	UVLO + 中断信号	OVLO + 中断信号
意外换向	栅极驱动器脉冲宽度偏移	F2 或 F3	低延迟电容隔离栅和成熟的工艺	不适用
意外的电机关断/扭矩干扰	开关管短路	F2 或 F4	DESAT/OC 检测和中断	DESAT (UCC21750) 或 OC (UCC21732/10) 自检 UVLO/OVLO 自检
意外的电机关断/扭矩干扰	栅极对地短路或 VDD	F2 或 F3	不适用	VGE 监控并与带中断的 PWM 进行比较
电机意外关断	栅极信号错误或 dv/dt 检测电流导致的开关管击穿	F2	抗击穿逻辑和米勒钳位 (内部或外部)	不适用
扭矩干扰	开关管过压	F2	两级关断和/或软关断	VCE/VDS 监控
扭矩干扰	开关管过热	F1、F2 或 F4	具有集成偏置电流的集成隔离式检测	不适用
扭矩干扰	开关管栅极氧化物击穿	F2 或 F4	短路钳位至 VDD	不适用
扭矩干扰	输入电源悬空时开关管误导通	F1 或 F2	有源下拉	不适用
扭矩干扰/电机意外关闭	电源系统直流总线过压/欠压	F1 或 F4	集成隔离传感	不适用

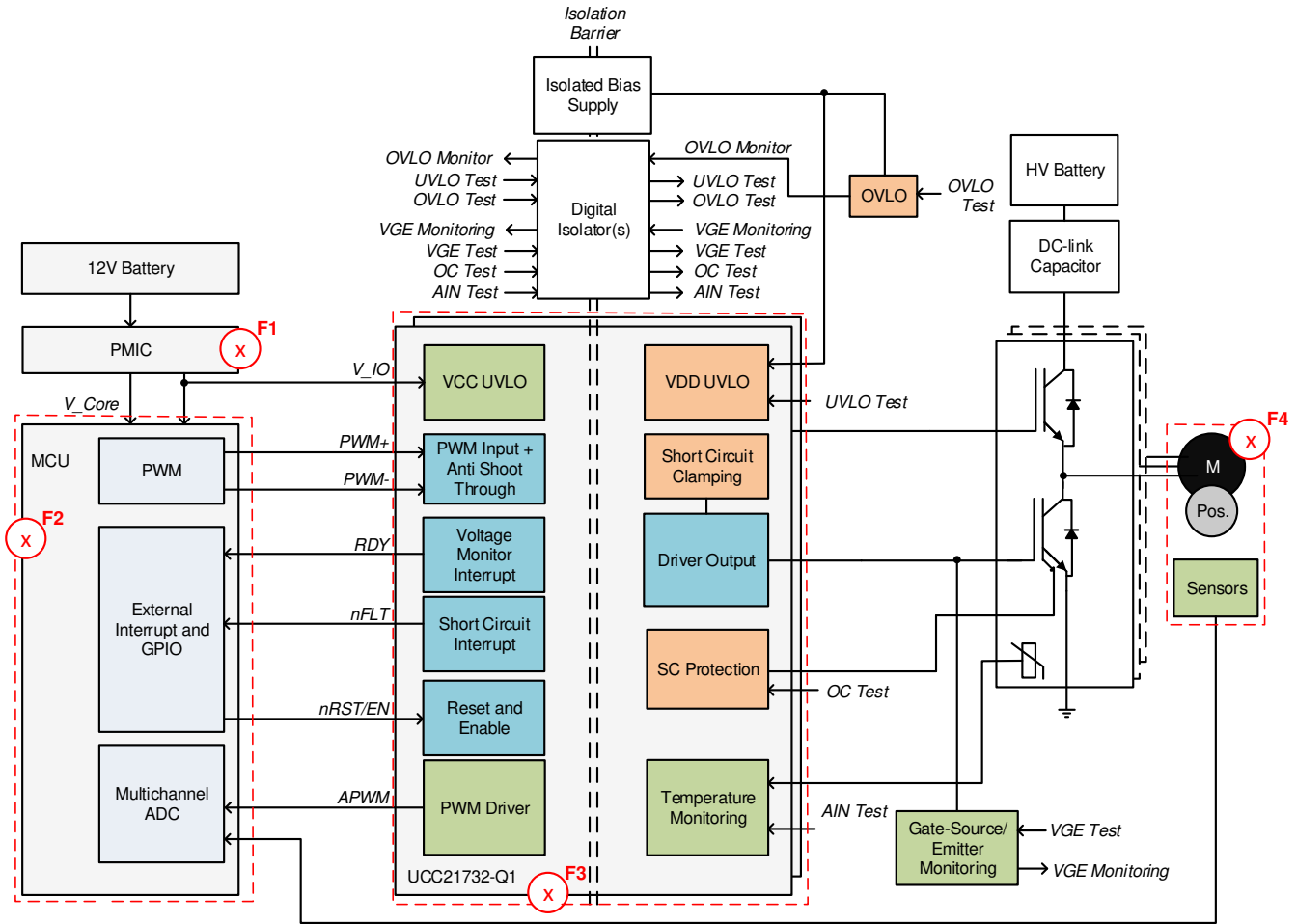


图 3-2. 可能的牵引逆变器系统级失效和使用 UCC21732-Q1 的保护电路

3.5 UCC217xx-Q1 保护和监控特性描述

本节介绍了如何使用 UCC217xx-Q1 实现监控和保护电路。

3.5.1 初级侧和次级侧 UVLO 和 OVLO

欠压和过压锁定 (UVLO 和 OVLO) 用于保护驱动器 IC 以及监控用于驱动次级侧开关管的电压。UVLO 集成到 UCC217xx-Q1 中，分别用于初级和次级侧电源 VCC 和 VDD。这些用于在偏置电源出现失效时保护系统。如果 VCC 或 VDD 降至 UVLO 阈值以下，则将输出拉低。此外，如果出现 UVLO 故障，RDY 引脚将变为高电平。对于 VCC，阈值为 2.7V，具有 0.2V 的迟滞带。VDD UVLO 阈值为 12V，以 COM 为基准，具有 0.8V 迟滞。除了偏置失效之外，VDD 侧 UVLO 还有助于保护开关管。根据高功率 IGBT 和 SiC MOSFET 的 I-V 特性，如果器件以 12V 电压驱动，则导通损耗更小，可以防止器件过早饱和。这样，UVLO 可用于防止电源电压下降对 FET 造成损坏。

此外，还实现了过压锁定 (OVLO) 功能，以防止开关管在超出器件额定值的电压过高的情况下被驱动，这可能导致栅极氧化物击穿或寿命缩短。驱动器 IC 的电压不应超过最大额定值，因为这可能会导致驱动器失效和不确定的驱动器输出状态。使用外部电路来实现 OVLO，以保护驱动器和电源器件免受次级侧电源 VDD 上的偏置电源失效的影响。对 VDD 进行分压，并将其与齐纳二极管生成的固定电压基准进行比较。当分压电压降至齐纳电压以下时，比较器输出将切换并通过隔离栅发送到 MCU。

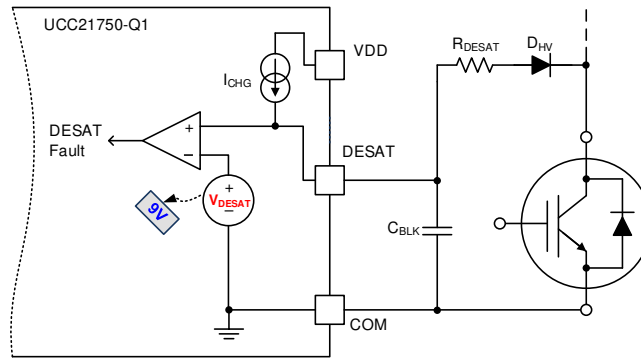


图 3-5. DESAT 保护 (UCC21750)

用于 OC 或 DESAT 检测的自检电路通过外部电路驱动，该外部电路由 MCU 通过数字隔离器控制，如图 3-6 所示。数字隔离器用于驱动 NMOS FET 的栅极，以在 DESAT /OC 引脚上启用故障。NMOS FET 导通并导致上部 PMOS FET 导通，从而允许 VDD 提供的电流将引脚上的电压增加到阈值电压以上。此时，nFLT 将触发。在自检期间，输入 IN+ 必须为高电平才能触发 nFLT。如果触发了 nFLT，那么短路检测可正常进行。更多有关此电路设计和实现的信息，请阅读具有热敏二极管和检测 FET 的 SIC/IGBT 隔离式栅极驱动器参考设计。

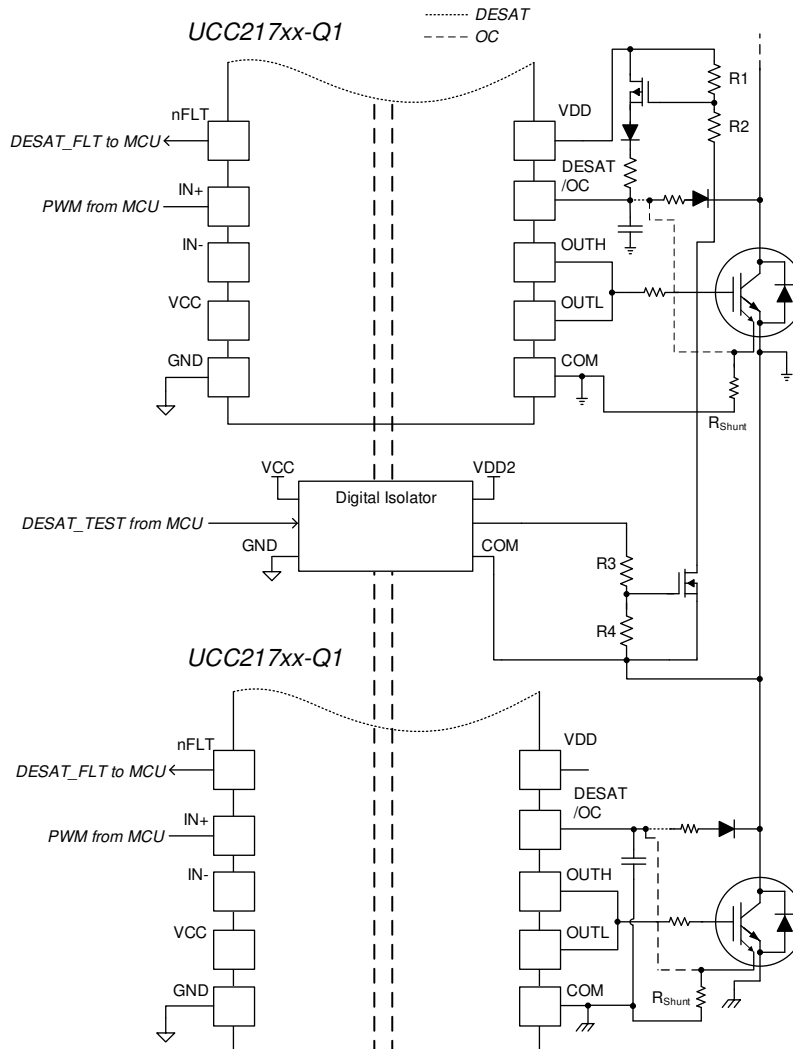


图 3-6. DESAT/OC 检测自检电路

3.5.3 2 级和软关断

如上一节所述，短路检测会发回故障指示并触发驱动器关闭 IGBT 或 SiC MOSFET。驱动器启动 2 级关断或软关断以安全关断 IGBT 或 MOSFET，从而防止由于高瞬态电流而导致器件上出现较大的电压过冲。

如 图 3-7 所示的 2 级关断会在关断转换期间将栅极拉至 9V 的中电平电压来降低关断瞬变，从而减少流经器件的通道电流。这可以显著降低故障事件期间的能量耗散。在施加第二个电压电平一段时间后，驱动器最终使用软下拉电流将栅极下拉至 VEE，从而平稳过渡到关断状态。

软关断（如图 3-8 所示）会在整个关断转换过程中使用软下拉电流，而不是施加指定的栅极电压。400mA 的电流会导致器件以比硬关断时更慢的速率转换，从而减少电压过冲，同时更大程度地减少能量耗散。

逆变器不仅可以防止开关管损坏，还可以防止向电机绕组施加高电压，这也会缩短电机本身的寿命。

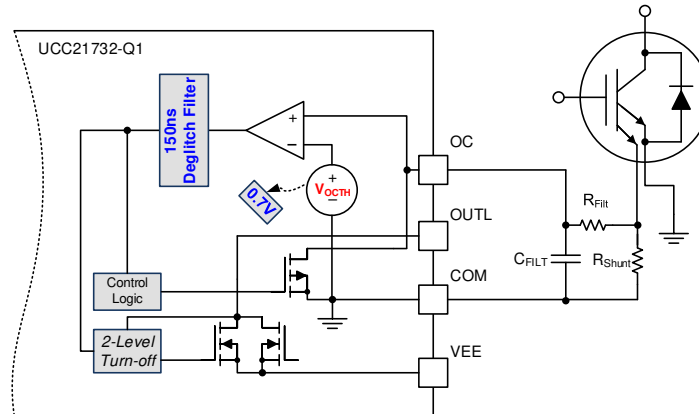


图 3-7. 2 级关断模块 (UCC21732-Q1)

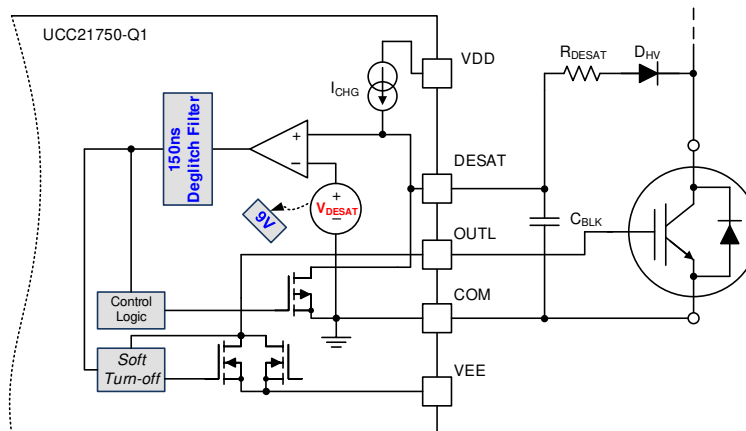


图 3-8. 软关断模块 (UCC21750-Q1、UCC21710-Q1)

3.5.4 开关管栅极电压 (V_{GE}/V_{GS}) 监控

栅极电压监控（如图 3-9 所示）用于确保当 IN+ 被拉至高电平时，栅极电压达到 VDD 电平。这非常重要，可确保高效驱动器件以减少开关损耗，并使其保持在适当的电压电平以减少传导损耗。栅极电压与 VDD 进行比较，并使用一个小分压器来计算栅极电阻 $R_{G,tot}$ 引起的栅极压降。使用数字隔离器将比较器的输出发送回 MCU。如果出现故障，还应检查次级偏置电源。此功能还可用于在检测到 DESAT 或 OC 时监测 V_{GE} ，以确保在驱动器拉低栅极时正确关断。

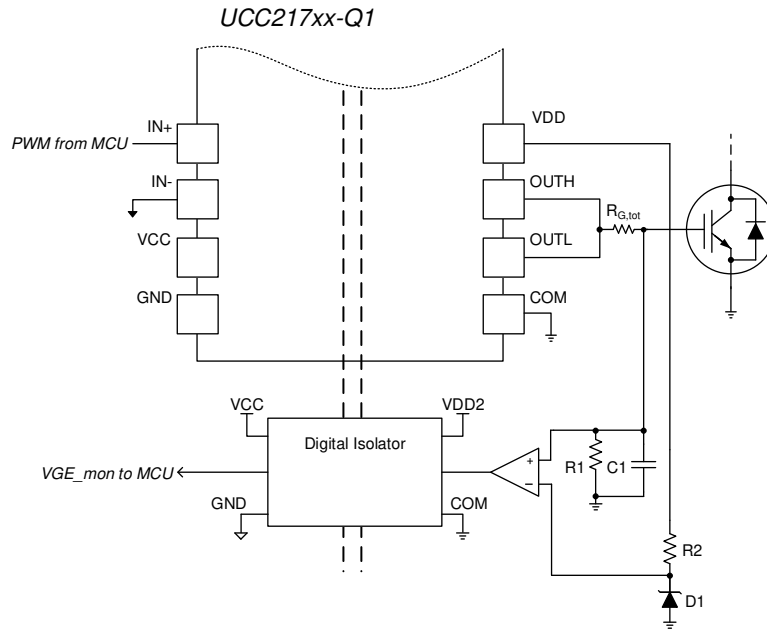


图 3-9. V_{GE} 监控电路

3.5.5 开关管防击穿

UCC217xx 中集成了防击穿电路，以防止 IN+ 和 IN- 重叠。这允许两个单通道驱动器被互锁，如图 3-10 所示，其中上部器件的 IN+ 连接到下部器件的 IN-，反之亦然。这样可以防止上下开关同时导通，从而导致短路和器件过热。

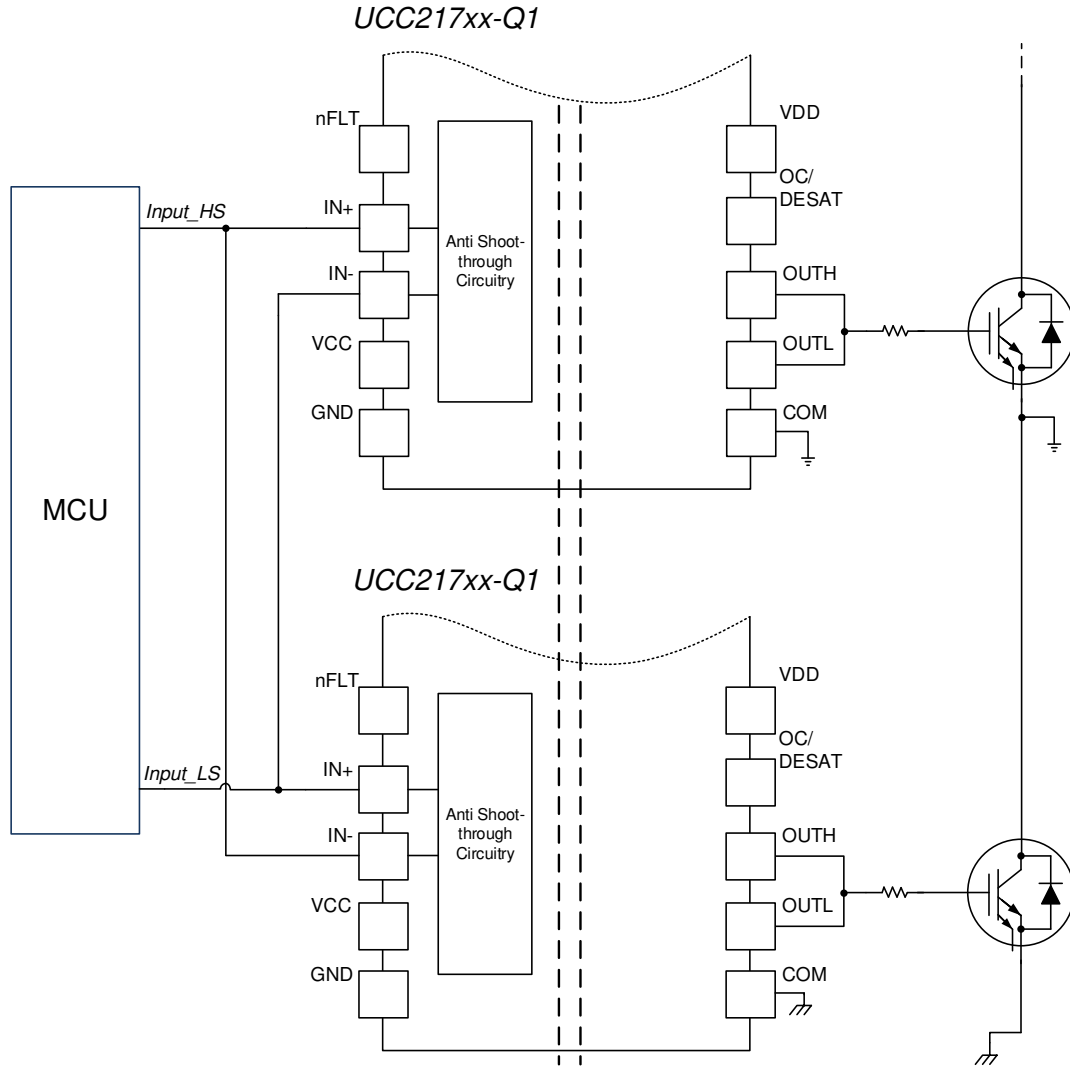


图 3-10. 集成式防击穿和互锁电路

3.5.6 集成式内部或外部米勒钳位

米勒钳位可以是外部的，也可以是内部的，具体取决于 UCC217xx 型号。图 3-11 中显示了 UCC21732-Q1 以及由 CLMPE 引脚驱动的外部米勒钳位。当 OUTL 低于 2V 时，钳位会打开，以在高 dv/dt 瞬态期间重新定向米勒电容器 C_{GC} 产生的任何电流，从而确保器件在关断状态期间保持关断状态。

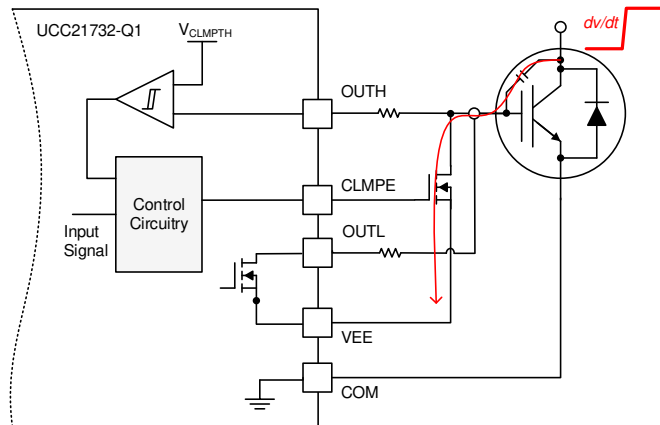


图 3-11. 外部有源米勒钳位

3.5.7 隔离式模拟至 PWM 通道

UCC217xx-Q1 的集成隔离式模拟至 PWM 通道可用于监控 AIN 至 COM 引脚范围内的任何电压，包括直流总线电压和相电流。AIN 引脚还集成了电流源以偏置温度传感器，可与开关模块的内部温度传感器结合使用。图 3-12 显示了用于监控 IGBT 模块温度的内部电路和外部连接。温度对于确定模块的运行状况和使用寿命以及监测误操作非常重要。

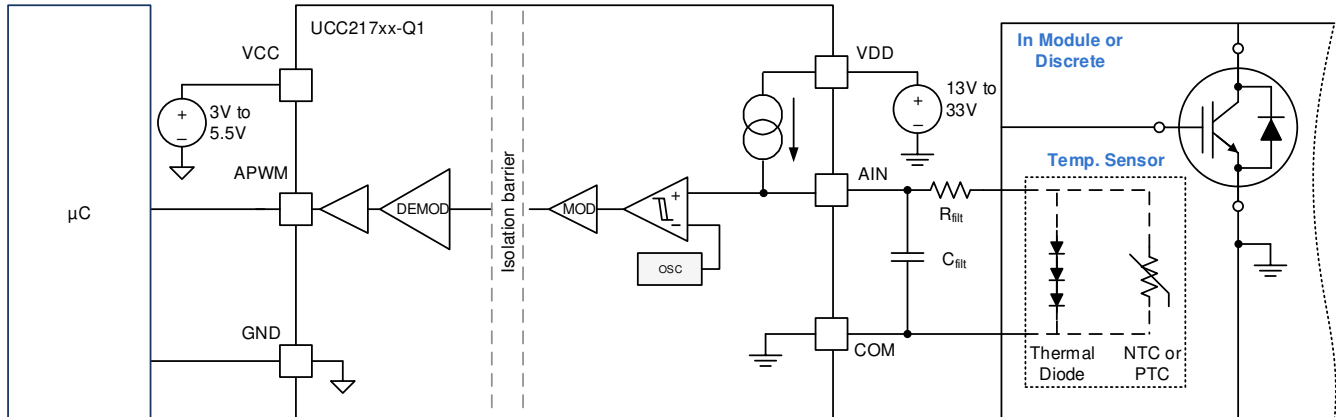


图 3-12. 隔离式模拟至 PWM 信号块

3.5.8 短路钳位

在短路事件期间，由于 dv/dt 较高，从栅极到漏极/集电极的米勒电容可以向 OUTH/OUTL 引脚提供电流，并可能提高 OUTH/OUTL 电压。钳位特性将 OUTH/OUTL 引脚电压钳位到略高于 VDD 的位置，以防止栅极过压和电势击穿。从 OUTH/OUTL 到 VDD 的内部二极管执行此功能，如图 3-13 所示。

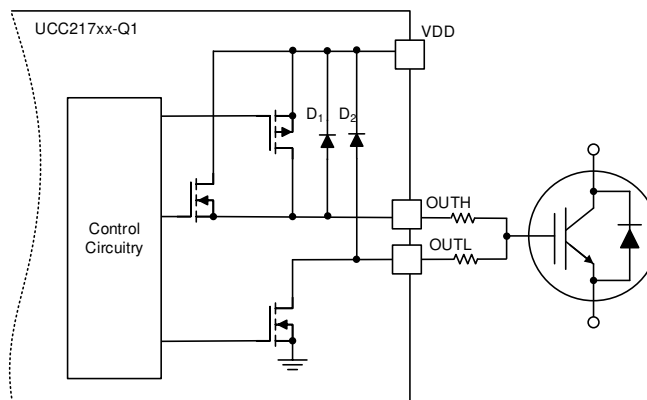


图 3-13. 短路钳位块

3.5.9 有源下拉

有源下拉可确保在未连接 VDD 时 OUTH/OUTL 被钳位至 VEE。当 VDD 断开时，OUTH/OUTL 引脚为高阻抗，下拉特性可防止器件电源断开时错误导通。这是按图 3-14 所示实现的。

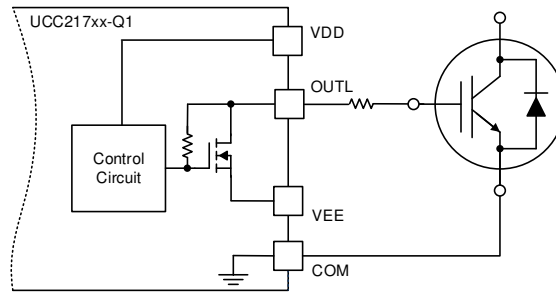


图 3-14. 有源下拉模块

3.6 UCC5870-Q1 简介

UCC5870-Q1 器件是一款 TI 功能安全合规型隔离式单通道栅极驱动器，旨在驱动 EV/HEV 应用中的高功率 SiC MOSFET 和 IGBT。输入侧通过 **SiO₂ 电容隔离技术** 与输出侧相隔离，支持高达 1kVRMS 的工作电压，隔离栅寿命超过 40 年，并提供低器件间偏移和大于 100V/ns 的共模噪声抗扰度 (CMTI)。

UCC5870-Q1 是一款受平台支持的器件。凭借 SPI 可编程消隐时间、抗尖峰脉冲、阈值、功能使能和故障处理的灵活性，UCC5870-Q1 能够支持各种不同应用中使用的 IGBT 或 SiC 功率晶体管。UCC5870-Q1 集成了大多数牵引逆变器应用所需的所有保护特性。此外，15A 栅极驱动能力消除了对外部升压电路的需求，从而减小了整体解决方案的尺寸。集成式米勒钳位电路可在瞬态事件期间使栅极保持关断状态，并可配置为使用内部 4A 下拉电流或驱动外部 n 沟道 MOSFET。UCC5870-Q1 集成了功率晶体管的所有保护特性，它支持 DESAT 和基于电阻器的过流保护；内置了负温度系数功率晶体管温度传感器监测器，用于向主机发出警报并防止因开关中的过热情况而造成损坏；集成了一个基于齐纳击穿钳位的功能来减少栅极驱动，从而减少由于电感反冲而在关断期间出现过压尖峰时的过冲能量；集成了实时栅极监测功能，可确保与功率晶体管正确连接，并向主机发出栅极驱动器路径故障警报。

UCC5870-Q1 内置一个 10 位 ADC，用于提供有关开关管温度、栅极驱动器温度或必须在栅极驱动器次级（高压）侧监测的任何电压的信息。有六个输入 (AIX) 可用于使用 ADC 测量电压。这样可以方便地获取有关直流链路电压的信息，或在运行期间测量功率晶体管的 VCE/VDS 电压。ADC 采用“中心模式”运行以确保低噪声测量，也可以在传统的“边沿模式”下使用，以在 PWM 周期内实现尽可能多的测量。除了通过 SPI 读回 ADC 信息外，DOUT 功能还提供一个反馈信号，即可以在初级侧实时监控、由用户选择的一个 AIX 电压。

UCC5870-Q1 集成了许多安全诊断功能，使设计人员能够更轻松地完成 ASIL 等级系统。这款栅极驱动器 IC 本身具有针对所有保护特性的诊断功能以及针对电路的潜在故障检测功能。使用开漏输出指示故障，使用 SPI 回读可以轻松确定具体故障。除了所有安全诊断功能外，该 IC 还集成了初级侧和次级侧“主动短路”电路，为系统设计人员提供了一条次级路径，用于在电机控制器失效情形中控制牵引逆变器的零矢量状态。

3.7 使用 UCC5870-Q1 设计牵引逆变器驱动系统

牵引逆变器系统中的 UCC5870-Q1 方框图如图 3-15 所示。图例指定了自检、诊断、保护和驱动器功能块。与 UCC217xx-Q1 系列驱动器相比，UCC5870-Q1 集成了更多诊断功能，因此不再需要外部模块。虽然这有利于减小系统尺寸和减少 BOM，但也需要额外的自监控功能来确保正确的行为。因此，UCC5870-Q1 还具有内置监控功能和用户指令测试功能，以确保关键保护和监控电路的功能。这样做是为了防止潜在失效，即保护机制无法检测到的失效。

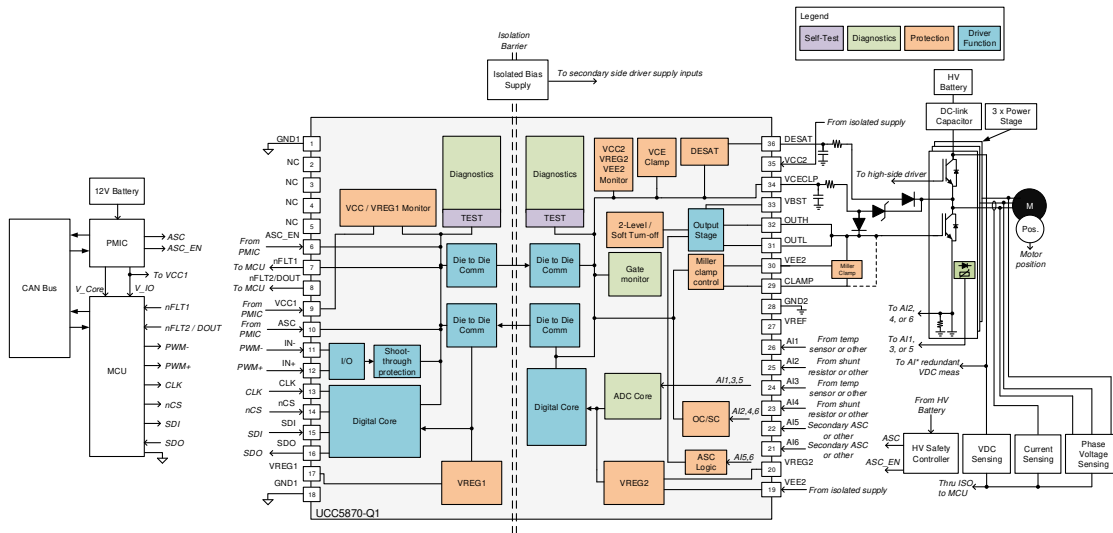


图 3-15. 采用 UCC5870-Q1 的牵引逆变器系统方框图

3.8 保护特性的说明

本节介绍了 UCC5870-Q1 集成保护和诊断功能，这些功能有助于牵引逆变器系统可靠运行。

3.9 UCC5870-Q1 的保护特性

如 UCC217xx-Q1 系列的表 3-1 中所示，通过栅极驱动器集成功能可降低潜在和单点失效的风险。其中概述了集成电路和辅助电路都是更好地覆盖失效模式的方法。表 3-2 显示了与栅极驱动器相关的潜在失效模式，潜在系统影响和 UCC5870-Q1 集成特性。在这种情况下，用于缓解失效模式的每个关键栅极驱动器功能都集成到驱动器中，而不是外部实现。

图 3-16 显示了失效位置的系统块可视化，其中 (F1) 是 PMIC 失效，(F2) 是 MCU 失效，(F3) 是驱动器失效，(F4) 是电机/机械失效。

表 3-2. 使用 UCC5870-Q1 的保护和诊断特性

系统影响	驱动器和/或逆变器相关失效	潜在失效位置	UCC5870-Q1 集成特性	外部电路特性
扭矩干扰	驱动器电源过压或欠压	F1	UVLO、OVLO + 中断信号	不适用
意外换向	栅极驱动器脉冲宽度偏移	F2 或 F3	低延迟电容隔离栅和成熟的过程时钟和数据传输监控 发生 MCU 失效时的 ASC 输出控制	不适用
意外的电机关断/扭矩干扰	开关管短路	F2 或 F4	DESAT/OC 检测和中断 DESAT/OC 自检	不适用
意外的电机关断/扭矩干扰	栅极对地短路或 VDD	F2 或 F3	VGE 监控并与带中断的 PWM 进行比较	不适用
电机意外关断	栅极信号错误或 dv/dt 检测电流导致的开关管击穿	F2	抗击穿逻辑和米勒钳位 (内部或外部)	不适用
扭矩干扰	开关管过压	F2	两级关断和/或软关断 使用 ADC VCE 钳位的 VCE/MDS 监控	不适用
扭矩干扰	开关管过热	F1、F2 或 F4	具有偏置电流的集成 ADC	不适用
扭矩干扰	开关管栅极氧化物击穿	F2 或 F4	短路钳位	不适用
扭矩干扰	输入电源悬空时开关管误导通	F1 或 F2	有源下拉	不适用

表 3-2. 使用 UCC5870-Q1 的保护和诊断特性 (continued)

系统影响	驱动器和/或逆变器相关失效	潜在失效位置	UCC5870-Q1 集成特性	外部电路特性
扭矩干扰/电机意外关闭	电源系统直流总线过压/欠压	F1 或 F4	集成 ADC	不适用

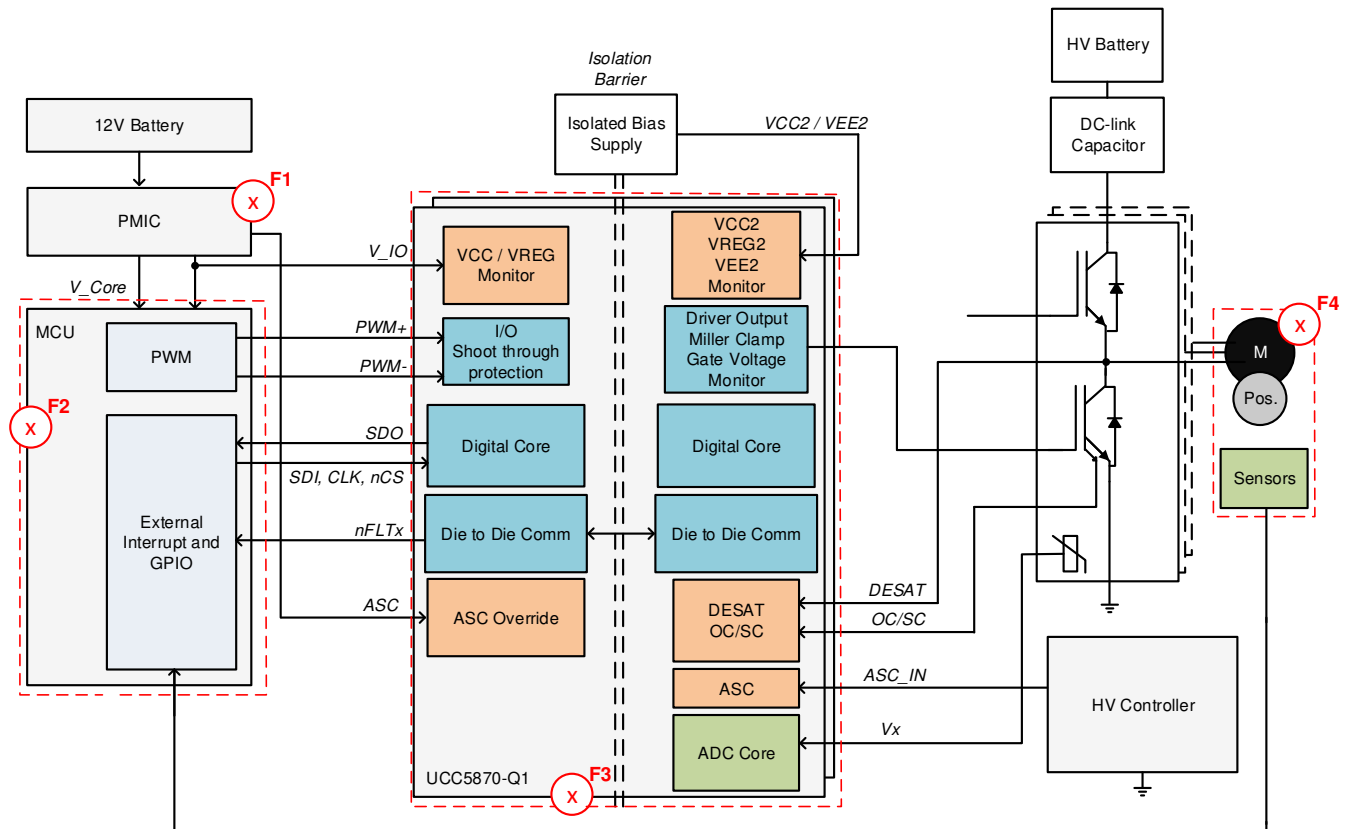


图 3-16. 可能的牵引逆变器系统级失效和使用 UCC5870-Q1 的保护电路

3.10 UCC5870-Q1 保护和监控特性描述

本节介绍了如何使用 UCC5870-Q1 实现监控和保护电路。

3.10.1 初级侧和次级侧 UVLO 和 OVLO

为所有三个栅极驱动器电源（即初级侧的 VCC1 和次级侧的 VCC2 和 VEE2）实现了 UVLO 和 OVLO 功能。VCC1 UVLO 可确保为所需的逻辑接口连接有效电源。VCC2 和 VEE2 的 UVLO/OVLO 可确保根据所使用的晶体管类型（SiC MOSFET 或 IGBT）提供有效的电源。UVLO 功能可防止 IGBT/MOSFET 过热损坏在 OVLO 实施时受到欠驱动，从而防止在导通时因过压而出现栅极氧化物降解（寿命缩短）。

UCC5870-Q1 模拟内置自检 (ABIST) 功能会在上电过程中对所有监控 VCC1、VCC2 和 VEE2 的欠压比较器以及内部稳压器自动运行诊断。在测试过程中，模拟了过压和欠压条件，而实际电压轨保持不变，并且无法观察到干扰。此例程中的失效将设置故障。

3.10.2 可编程去饱和 (DESAT) 检测和过流 (OC)

DESAT 保护可防止功率晶体管在发生短路故障时损坏，短路故障可能是由不正确的控制信号或机械短路造成的。DESAT 输入通过外部电阻器和二极管网络监视 V_{CEsat} (IGBT)/ V_{DSon} (MOSFET)，如图 3-17 所示。DESAT 引脚的配置与 UCC21750-Q1 相同。但是，SPI 编程可实现阈值、消隐时间、充电电流和抗尖峰脉冲滤波器的可编程性，以便更好地满足系统要求。发生故障时，它将在一个由控制器读取的状态寄存器中被指示并且也可触发 nFLT1 输出。在 DESAT 故障期间，驱动器输出的关断可在通过 SPI 配置的正常软关断 (STO) 或两级关断 (2LTO) 之间进行选择。DESAT 的各种配置可根据开关类型和功率级别实现高级别的系统优化。这只能增强保护级别和缓解失效的能力。

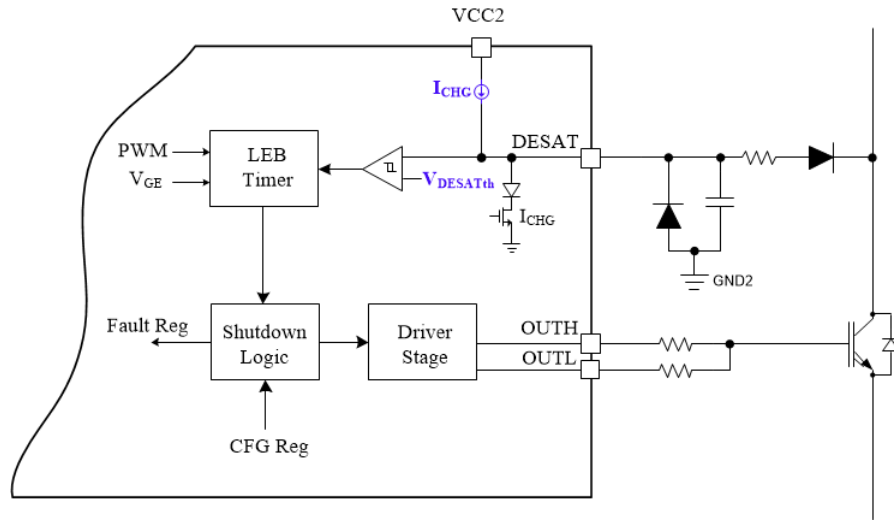


图 3-17. DESAT 电路配置

对于基于分流电阻器的 OCP 和 SCP，通过三个 AIX 输入 (AI2、AI4、AI6) 支持过流和短路保护 (OCP 和 SCP)，如图 3-18 所示。基于分流电阻器的 OCP/SCP 保护适用于具有集成电流检测 FET 的功率晶体管，类似于可与 UCC21710-Q1 或 UCC21732-Q1 搭配使用的配置。镜像功率晶体管电流被馈入一个电阻器，并且在 AIX 输入上监控电压。一旦 AIX 输入端的电压超过使用配置寄存器设置的阈值，就会在状态寄存器中指示故障。如果未屏蔽，nFLTx 被拉至低电平，驱动器输出进入配置寄存器定义的状态；这可以配置为正常关断、STO 或 2LTO。OCP 和 SCP 均使用消隐时间来防止转换期间意外触发错误保护，也可选择消隐时间。OCP 和 SCP、抗尖峰脉冲时序、消隐时间以及报告和驱动器操作的阈值均可通过 SPI 编程。

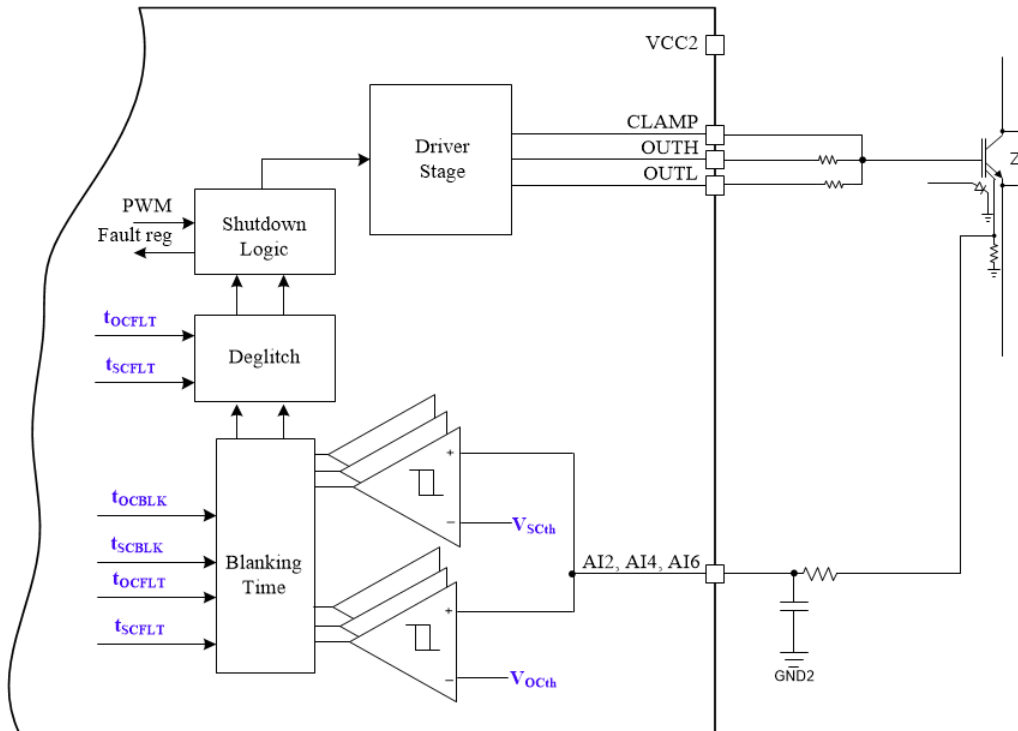


图 3-18. OC 电路配置

3.10.3 可调 2 级或软关断

如前几节所述，DESAT 和 OCP/SCP 会发回故障指示并触发驱动器关闭 IGBT 或 SiC MOSFET。驱动器启动 2 级关断或软关断以安全关断 IGBT 或 MOSFET，从而防止由于高瞬态电流而导致器件上出现较大的电压过冲。

两级关断 (2LTOFF) 功能可在某些故障条件下限制关断期间的晶体管电流。当触发 2LTOFF 时，功率晶体管的栅极受控以使晶体管在线性区域中运行，在此区域中，通道电流由栅极端子上的电压电平控制。通过以下方式降低功率晶体管电流：在 t_{2LTOFF} 内将栅极电压控制为中间电压或平坦电压 (V_{2LTOFF})，然后降低栅极以关闭功率晶体管。当 2LTOFF 处于运行状态时，OUTL 会灌入电流，以便将开关管的栅极电容器放电至平坦电压。平坦电压电平和持续时间是可配置的。在保持平坦电压达到编程时间后，栅极通过软关断电流完全放电，或通过 OUTL 驱动器正常拉低。可以在配置寄存器中启用软关断电流并选择电平。

软关断 (STO) 功能是另一种保护功率晶体管不受因寄生环路电感在 VCE 上引起的电压尖峰所致的 OV 损坏的方法。STO 会减慢关断过程以限制 di/dt 速率，并限制环路电感引起的电压尖峰。在 STO 期间，OUTL 驱动强度会降低到使用 SPI 编程的阈值。STO 功能针对 SC/OC 和/或 DESAT 故障启用。

逆变器不仅可以防止开关管损坏，还可以防止向电机绕组施加高电压，这也会缩短电机本身的寿命。

3.10.4 有源高压钳位

有源高压钳位功能可保护功率晶体管在开关转换（特别是关断）期间免受过压损坏，同时降低用于保护功率 FET 的外部 TVS 钳位二极管的功率耗散。UCC5870-Q1 具有指定的输入引脚 V_{CECLP} ，可在关断期间监控电压。当 FET 的 VCE 增加到足以打开外部 TVS 二极管时， V_{CECLP} 输入处的 RC 网络会充电。一旦 V_{CECLP} 上的电压达到钳位阈值 ($V_{CECLPth}$)，OUTL 驱动强度就会从正常下拉强（可能 $>15A$ ）变为 I_{STO} （软关断）设置，以减缓关断并减少电压过冲。高压钳位在预定义的时间 t_{VCECLP_HLD} 内保持有效。OV 条件会报告给状态寄存器，如果未屏蔽，nFLT1 会拉低。电路实现如图 3-19 所示。

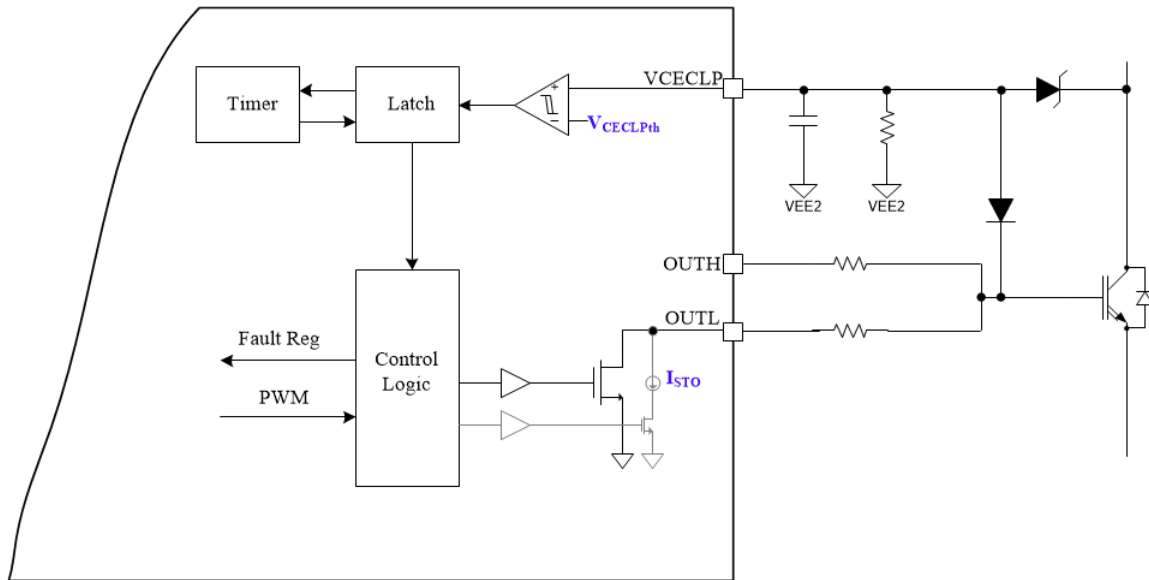


图 3-19. 集成有源高压钳位配置

3.10.5 开关管栅极电压 (VGE/VGS) 监控

V_{GTH} 监视器功能用于测量上电期间功率晶体管的栅极阈值电压，如图 3-20 所示。监控功率晶体管的栅极电压以检查 PWM 信号通道的完整性，这有助于检测由于隔离栅故障或机械连接损坏而导致的任何通信失效。栅极电压与输入 PWM (IN+) 信号进行比较，若其中两个信号不匹配，会导致栅极电压监视器故障条件。在这种条件下，A 状态位被置位，驱动器输出被强制进入配置寄存器定义的状态。如果未屏蔽，nFLT1 会拉低。与 OUTH 相关的消隐时间用于防止在驱动器转换期间错误报告栅极电压监视器故障。在 2LTOFF 转换期间，为了防止转换期间出现错误的栅极监视器故障，消隐时间在 2LTOFF 平台计时器到期后才开始。或者，也可以在 STO 和 2LTOFF 期间禁用栅极监视器故障。消隐时间可通过 SPI 调节。此外，栅极监控功能可完全禁用。

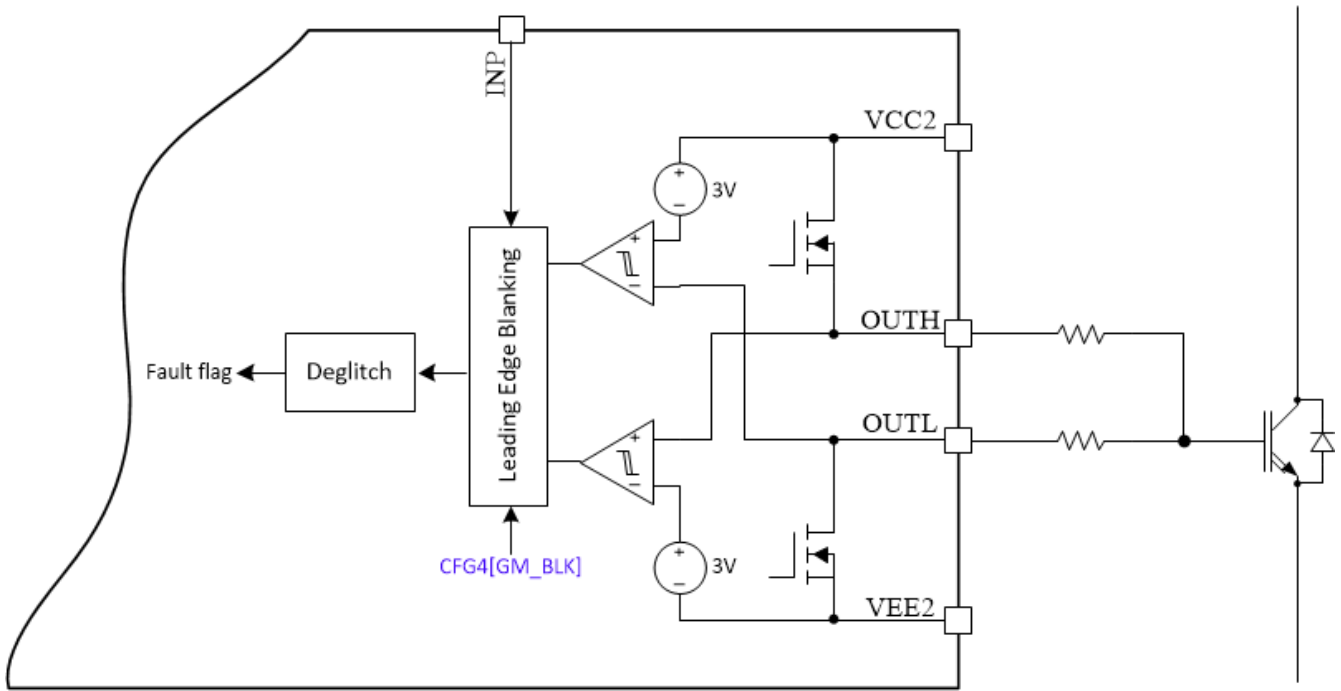


图 3-20. 栅极电压监视器

3.10.6 栅极阈值电压监控器

作为诊断功能，栅极阈值电压监控器将测量的阈值电压反馈给 MCU，以判断功率晶体管的运行状况，如图 3-21 和图 3-22 中所述。这有助于确定系统寿命以及稍后发生失效的可能性。栅极阈值电压监控器会测量 SiC MOSFET 或 IGBT 的实际阈值电压。启用时，DESAT 和 OUTH 之间的开关打开，恒流源为功率晶体管的栅极电容充电，从而使栅极电压逐渐上升。一旦晶体管通道开始导通，栅极电压自然保持在阈值电压电平，因为功率晶体管处于二极管配置中。在消隐时间 $t_{dV_{GTH}}$ 之后，集成 ADC 对栅极电压进行采样，并将测量结果报告给 ADC 数据寄存器。

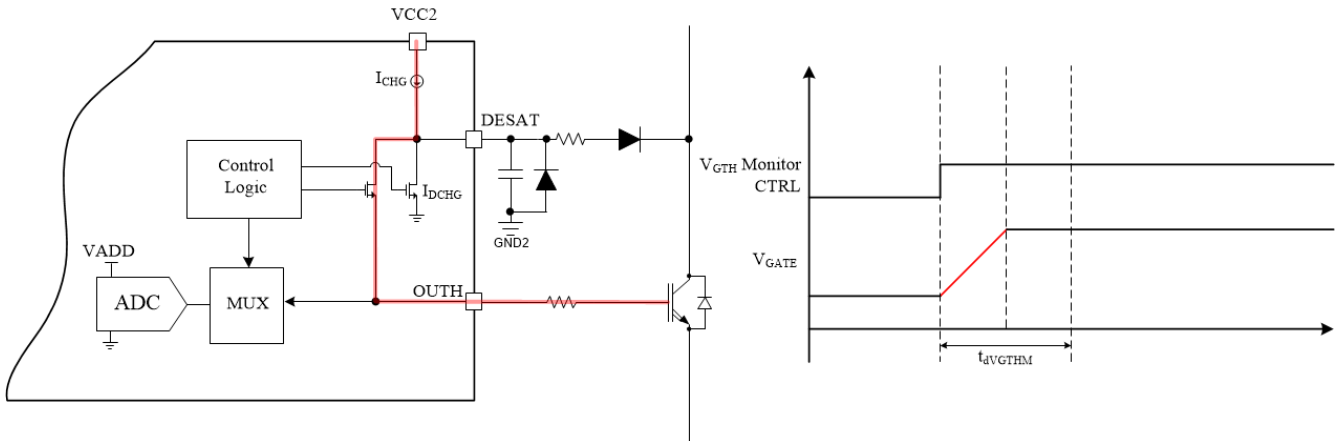


图 3-21. 栅极电容器充电时的栅极电压阈值监控

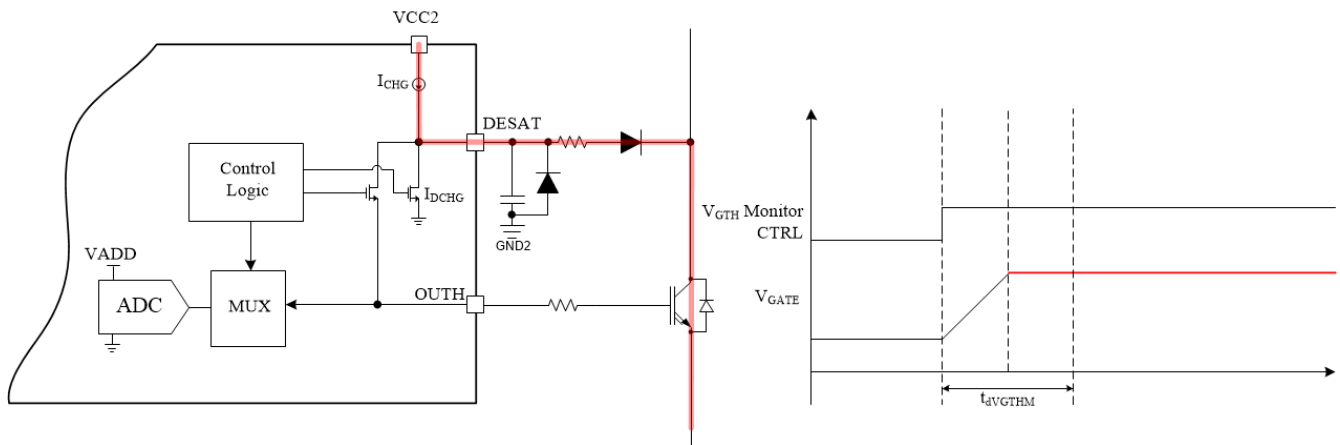


图 3-22. 功率晶体管采用二极管配置时的栅极电压阈值监控

3.10.7 开关管防击穿

击穿保护 (STP) 功能可针对 MCU 发出的错误 PWM 命令导致的击穿情况提供额外的保护层。驱动器的输出使用 IN+ 和提供给 IN- 输入的互补 PWM 信号来设置驱动器的输出状态，如图 3-23 所示。IN+ 和 IN- 输入均为可编程的抗尖峰脉冲。此外，仅当抗尖峰脉冲 IN+ 为高电平时，驱动器的输出才会变为高电平，并且在抗尖峰脉冲 IN- 为低电平后，驱动器的死区时间处于可编程状态。如果 IN+ 和 IN- 同时为高电平，则检测到直通条件，并将其报告给状态寄存器，如果未屏蔽，则 nFLT1 输出拉低。驱动器的输出被强制进入配置设置定义的状态。通过将死区时间设置为 0 并将 IN- 输入连接为低电平来禁用 STP 功能，因此输出仅遵循 IN+。

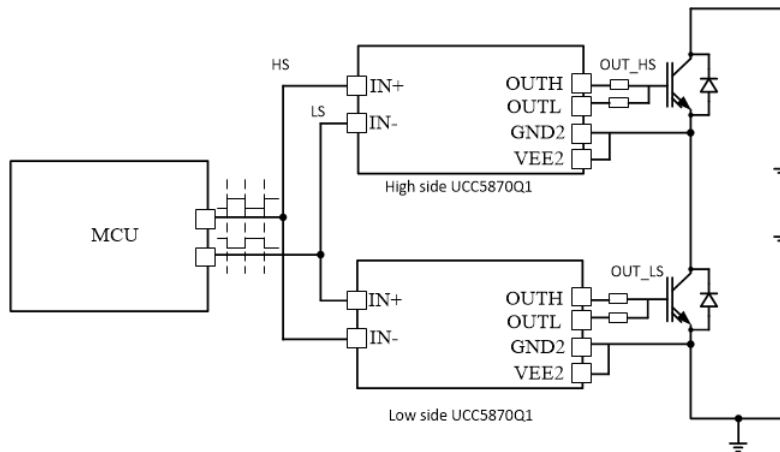


图 3-23. 击穿保护

3.10.8 主动短路 (ASC)

无论 PWM 输入如何，主动短路 (ASC) 功能都允许系统强制设置功率晶体管的状态。ASC 接口位于初级侧和次级侧，具体取决于安全控制器的架构。如果主 MCU 由于故障或其他原因而不可用，次级控制电路会将 ASC_EN 输入驱动为高电平，以强制 UCC5870-Q1 的输出处于由 ASC 输入定义的状态，在图 3-24 中表示为 HV 控制器。

从系统的角度来看，ASC 功能的实现是控制逆变器输出为零矢量。可通过两种方法生成零矢量：主 MCU 或次级控制电路。ASC 函数通常在发生系统故障时触发。如果故障不是 MCU 故障，MCU 可以通过 SPI 接口进行诊断，并根据故障类型生成合适的零矢量。如果 MCU 中发生故障，则次级控制电路会将 ASC_EN 引脚拉至高电平并在 ASC 引脚上处于适当状态。在 ASC_EN 引脚被拉为高电平时，驱动器输出遵循 ASC 引脚上的状态。对于初级侧，两个专用输入可用于 ASC 控制。ASC 控制也可在次级侧使用 AI5 和 AI6 输入。该驱动器使用 SPI 通过辅助 ASC 功能进行配置。在此配置中，AI5 作为 ASC_EN 运行，AI6 是 ASC 输入。初级和次级 ASC 接口如图 3-24 所示。

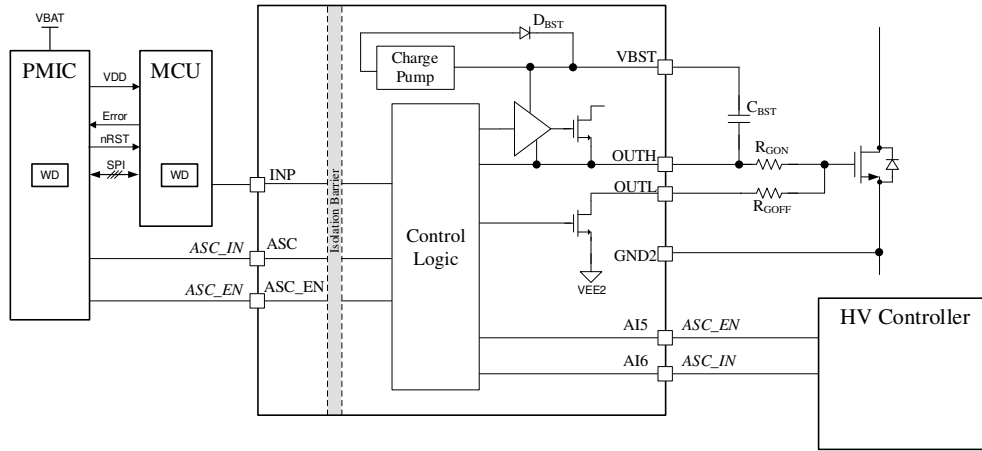


图 3-24. ASC 初级侧和次级侧接口

3.10.9 集成式内部或外部米勒钳位

有源米勒钳位 (CLAMP) 用于防止功率晶体管由于米勒电容检测电流而误导通。有源米勒钳位在功率晶体管栅极端子和 VEE2 之间添加了一条低阻抗路径，以将外部 FET 的栅极拉至 VEE2，从而绕过任何外部栅极电阻器。当 OUTH 引脚电压低于 V_{CLPth} (可使用 SPI 编程选择的阈值电压) 时，米勒钳位将接合。图 3-25 中显示了集成式内部米勒钳位。如果需要更高的下拉强度，也可以将 CLAMP 引脚配置为驱动外部米勒钳位 FET，如图 3-26 所示。外部米勒钳位 FET 还能够优化钳位的位置，使其非常靠近功率晶体管的栅极。通过使用 SPI 配置输出并对布局进行少量更改，可以轻松测试这两个选项。

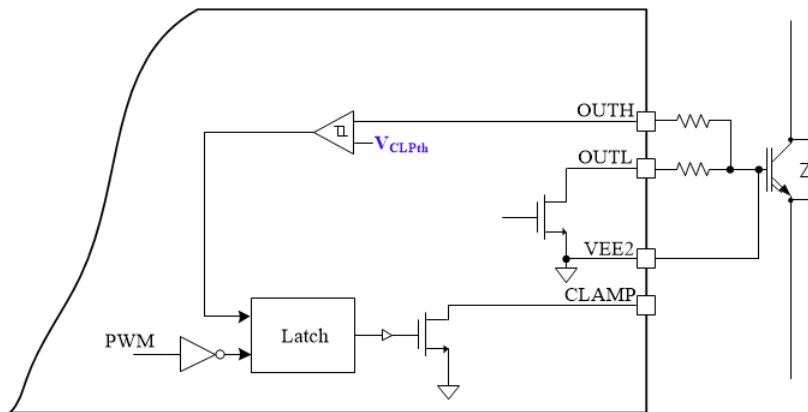


图 3-25. 集成式内部米勒钳位

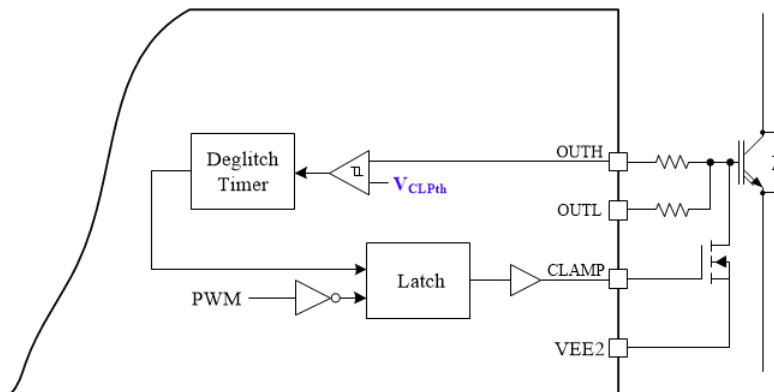


图 3-26. 用于外部米勒钳位的集成驱动器

3.10.10 隔离式模数转换器

隔离式 ADC 可用于多种用途，如图 3-27 所示。前面已经提到过 OCP/SCP 保护和 ASC 配置。除此之外，还可以通过配置指定的 AIX 通道以偏置外部温度传感器来监控电源模块的温度。后续部分中描述了这个做法。ADC 实现高级别系统失效模式覆盖的其他潜在用途是通过电阻分压器进行直流链路电压监控以及其他直流电平。10 位 ADC 的满量程电压范围为 0V 至 3.6V，总误差为 1.5%。根据精度要求，可选择基准电压作为外部电压或内部电压。内部电压基准具有 5% 的容差。ADC 转换与 INP 信号对齐，以确保更大限度地降低开关瞬态产生的噪声耦合。所有数据都存储在寄存器的 ADC 数据中，可通过 SPI 读取。有三种采样模式可确保尽可能减少测量中的开关噪声：居中对齐、边缘和混合模式。

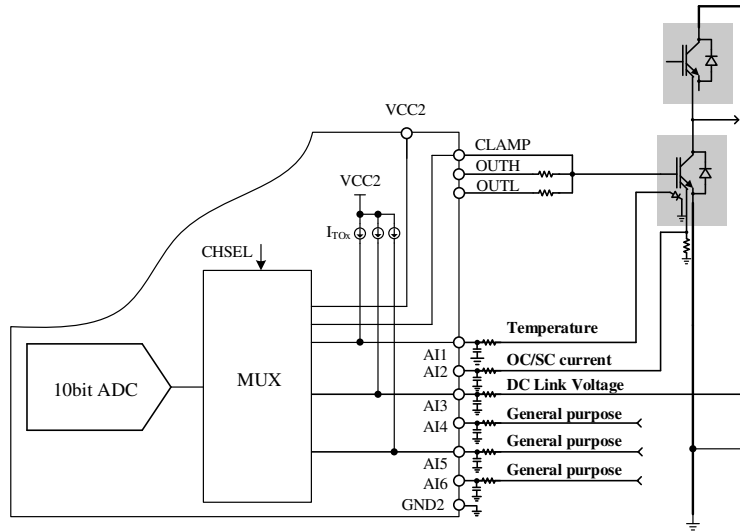


图 3-27. ADC 实现示例

3.10.10.1 功率晶体管的温度监控

UCC5870-Q1 指定三个 AIX 输入 (AI1、AI3、AI5) 来支持热敏二极管检测，从而实现最多三个共用同一接地基准的功率晶体管。图 3-28 所示为包含单个热敏二极管测量值的示例。温度保护适用于带有集成温度检测二极管的功率晶体管，以监控结温，这可以指示控制器停止运行逆变器或作为失效模式。AIX 输入提供一个偏置集成二极管的电流，并且电压在 AIX 输入端被监控。偏置电流可通过一个或所有可用 AI 引脚上的 SPI 启用。温度测量值被反馈到 ADC 数据寄存器，并且一个故障也可被配置为热关断 (TSD) 或者热警告 (TWN)。在记录故障之前，故障必须在设定的抗尖峰脉冲时间内存在。可以启用/禁用 AIX 引脚以进行温度监控。

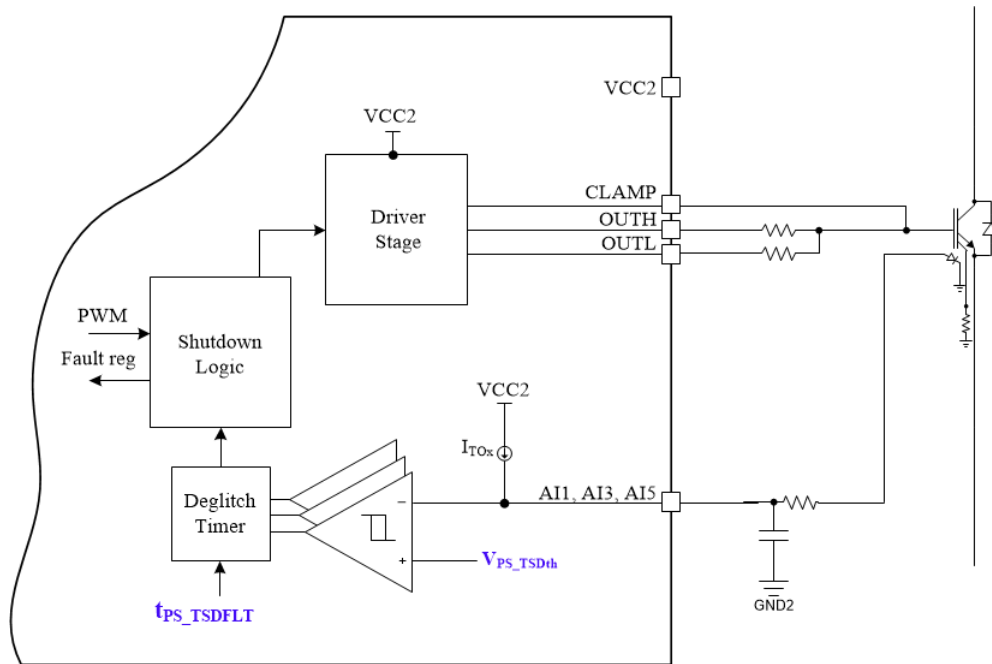


图 3-28. 开关管温度监控

3.10.11 短路钳位

集成二极管可在短路情况下保护 OUTH 和钳位输出。在开关管短路情况下，短路钳位功能会将驱动器输出 (OUTH) 和有源米勒钳位 (CLAMP) 输出上的电压钳位到略高于 VCC2 的水平。钳位栅极电压会限制短路电流，并防止 IGBT/MOSFET 栅极发生过电压击穿或性能下降。

3.10.12 有源和无源下拉

当 VCC2 未上电时，外部开关管的栅极通过无源和有源下拉电路保持关断状态。无源下拉连续泄放通过电阻器给功率晶体管的栅极充电。如果在上电期间由于 VCC2 斜升导致 OUTL 突然上升，有源下拉功能会将 IGBT/MOSFET 栅极拉至低电平状态。

3.10.13 驱动器 IC 的热关断和温度警告

驱动器 IC 还集成了热监控功能，可防止过热情况下出现失效。驱动器的初级侧和次级侧均利用热警告和关断比较器来帮助减轻高温造成的损坏。在初级侧检测到热警告时，状态将置位，如果未屏蔽，则会报告故障。如果在初级侧检测到过热事件，器件将转换到驱动器输出保持低电平的 RESET 状态。器件冷却后，必须重新配置 UCC5870-Q1。如果在次级侧检测到热警告，状态将被置位，如果未屏蔽，则报告故障。在次级侧检测到热关断时，驱动器将被禁用，状态将被置位，如果未屏蔽，则报告故障。一旦驱动器冷却并清除故障，必须重新配置 UCC5870-Q1。

3.10.14 时钟监控器和 CRC

UCC5870-Q1 集成了时钟监控器功能，可在运行期间识别时钟故障。时钟监控器检测内部振荡器失效，例如：振荡器时钟卡在高电平或卡在低电平以及时钟频率超出范围。在释放上电复位之后，在上电事件期间会启用时钟监控器。初级侧和次级侧上的时钟都受到监控。如果初级侧发生时钟故障，状态将置位；如果未屏蔽，故障输出将拉低。初级侧时钟监控器对栅极驱动器输出状态没有影响。如果次级侧发生时钟故障，状态将置位，驱动器输出将强制进入用户设置配置确定的状态；如果未屏蔽，故障输出将拉低。

时钟监控电路还集成了用于检查监控电路完整性的诊断功能。诊断功能在启动过程中自动运行。此外，可以通过写入初级侧或次级侧的相应控制位来生成模拟时钟监控器故障。启用后，诊断功能会模拟导致时钟监视器故障的时钟失效。在此自检期间，实际振荡器频率不会改变。

此外，UCC5870-Q1 使用循环冗余校验 (CRC) 来确保器件配置的数据完整性，同时确保驱动器输出处于运行状态，SPI 通信 (已发送和已接收) 以及存储修整信息的内部非易失性存储器，从而确保器件的性能。

3.10.15 SPI 和寄存器数据保护

SPI 输入和输出数据完整性以及寄存器数据内容受到监控。这是为了确保正确的数据通信和存储，以设置驱动器参数和功能。

当 UCC5870-Q1 转换到运行状态时，配置和控制寄存器的内容受 CRC 引擎保护。使用适当的配置位启用配置 CRC。数据表中概述了受 CRC 保护的各种寄存器。CRC 故障检测每 $t_{CRC CFG}$ (通常为 1ms) 执行一次。如果计算出的配置寄存器 CRC 校验和与进入运行状态时计算出的 CRC 校验和不匹配，则会设置状态位，如果未屏蔽，nFLT1 输出会变为低电平。此外，对于次级侧 CRC 失效，驱动器输出强制进入配置寄存器中预定义的状态。还提供 CRC 校验诊断。可以命令一个控制寄存器来在初级侧或次级侧引起一个 CRC 错误。

检查 SPI 传输的 CRC 会随着 SPI 流量的接收/发送而持续更新。每接收到 16 位更新一次 CRC。在这组命令中，配置会更新并与该命令进行比较。

随着 SPI 数据帧的接收，会持续计算 SDI CRC 校验和数据。一旦 MCU 写入到 CRC 数据传输 (TX) 位，这便会触发 CRC TX 位中的数据与内部计算出的 CRC 的比较。比较完成后，CRC 计算逻辑被复位。当 CRC TX 数据和内部计算的 CRC 之间存在不匹配时，状态位会置位，如果未屏蔽，nFLT1 输出拉低，并根据预配置的寄存器设置来设置输出。

随着在 SDO 按时钟输出数据，系统会持续计算 SDO CRC 校验和。产生的 CRC 存储在 CRC 接收 (RX) 数据位中。每当芯片选择 nCS 从低电平转换为高电平时，这些位都会更新。读取 CRC RX 位时，CRC 计算逻辑被复位。

每次上电后，UCC5870-Q1 都会在初级侧和次级侧的内部非易失性存储器上执行 TRIM CRC 检查。如果计算出的 CRC 校验和与存储在内部 TRIM 存储器中的 CRC 校验和不匹配，则会设置状态位，如果未屏蔽，nFLT1 输出会变为低电平。此外，对于次级侧 CRC 失效，驱动器输出会强制进入预定义状态。

4 隔离式偏置电源架构

汽车牵引逆变器系统中有关栅极驱动器的另一个重要考虑因素是偏置电源架构。偏置电源可提供用于驱动每个 IGBT 或 SiC MOSFET 的隔离式电源。为了使逆变器保持正常运行，必须保证一个或多个隔离式电源具有可靠性。栅极驱动器偏置电源的架构因所需的可靠性级别而异。偏置电源可以在多个驱动器之间共享（集中式）、单独提供给每个驱动器（分布式）或部分共享（半分布式）。

集中式偏置电源架构具有元件数少、成本低和通用控制等优势。但是，该架构的变压器可能体积庞大，会受到共模电流的影响，当在六个驱动器之间共享时，可能会导致复杂的 PCB 布线，并且本身不包含任何冗余。

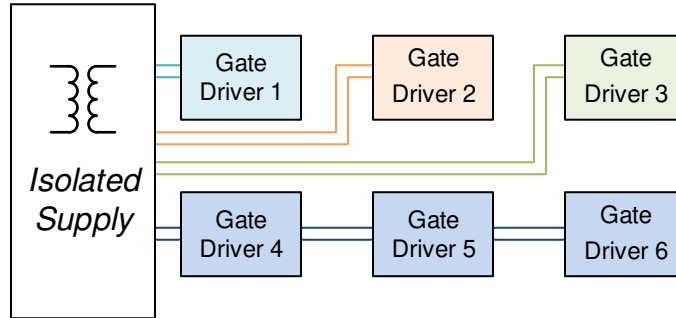


图 4-1. 集中式偏置电源架构

半分布式电源由多个变压器组成，可为各种驱动器组产生偏置。例如，每个高侧驱动器可由单独的变压器供电，而所有低侧驱动器均可共享。此架构的优势在于变压器结构和 PCB 布局简单，能够为每个偏置电源提供更高的电源质量、电源变压器的重量分布以及简单控制。缺点包括元件数量更多、成本更高并且仍然缺乏冗余。

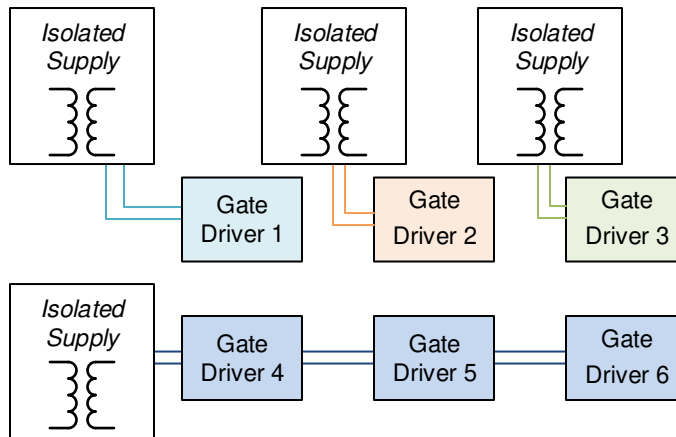


图 4-2. 半分布式偏置电源架构

最后，分布式电源架构为每个栅极驱动器提供单独的偏置电源。虽然它需要更多的元件，导致成本更高，但其优点包括高冗余度、简化的布局和重量分布以及更好的供电质量。

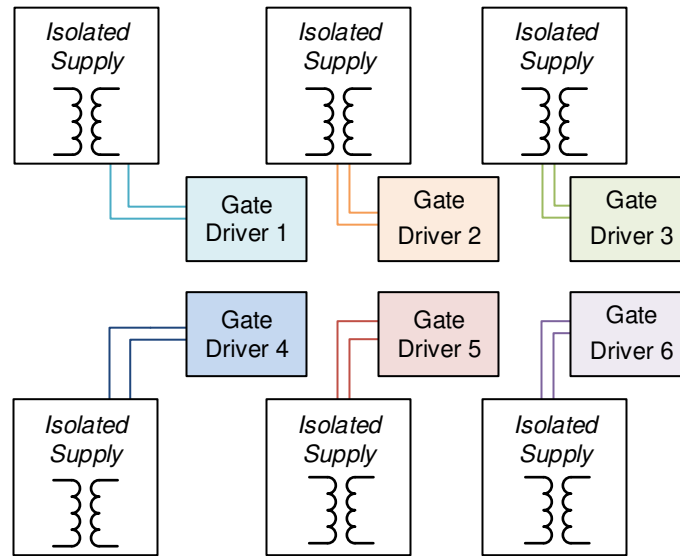


图 4-3. 分布式偏置电源架构

更多有关偏置电源的信息，请参阅 TI 的 [高电压控制器](#) 产品系列和适用于 HEV/EV 牵引逆变器的偏置电源 [参考设计](#)。

5 总结

随着性能和安全法规的完善，电动汽车中电子器件的复杂性不断增加。牵引逆变器包含电动汽车中的一些关键元件，这些元件会直接影响电机的驱动。本文介绍了 UCC217xx-Q1 和 UCC5870-Q1 驱动器的集成保护和监控特性，可简化系统并增强性能。

如需更多信息，请参阅包含设计帮助和技术文档的 [UCC21732-Q1](#)、[UCC21750-Q1](#)、[UCC21710-Q1](#) 和 [UCC5870-Q1](#) 产品文件夹，并访问 [电源管理 E2E 论坛](#) 获取问题答案。

6 参考文献

1. 具有 3 种 IGBT/SiC 偏置电源解决方案的 HEV/EV 牵引逆变器功率级参考设计
2. 驱动和保护 SiC 和 IGBT 电源模块和晶体管的 UCC217xx 系列
3. 了解用于碳化硅 MOSFET 的短路保护方法
4. 具有热敏二极管和检测 FET 的 SiC/IGBT 隔离式栅极驱动器参考设计
5. J. Drobnik and P. Jain, "Electric and hybrid vehicle power electronics efficiency, testing and reliability," 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Barcelona, 2013, pp. 1-12.
6. Haizhong Ye, Y. Yang and A. Emadi, "Traction inverters in hybrid electric vehicles," 2012 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Dearborn, MI, 2012, pp. 1-6.
7. S. Jain and L. Kumar, "Fundamentals of Power Electronics Controlled Electric Propulsion," in *Power Electronics Handbook*, M. H. Rashid, Ed. United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 1023-1065.

7 修订历史记录

Changes from Revision B (May 2020) to Revision C (October 2022)

Page

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式..... 2

Changes from Revision * (April 2020) to Revision A (October 2022)

Page

- 通篇添加了更多详细信息..... [2](#)
-

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司