

# 在电机驱动器中使用隔离比较器进行故障检测

Krunal Maniar

Product marketing engineer  
Texas Instruments

## 引言

**电机驱动**是一种电气系统，可为电机提供变频输出，以驱动工业负载（如供暖和空调、通风、泵、压缩机和电梯）以及工厂自动化负载（如传送带、采矿和造纸厂设备）。

工业环境中的电机驱动会遇到高温和高湿、交流电源线波动和机械过载等条件。用户要求更高的效率和可靠性。绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 等功率半导体器件的开关速度不断提高，更多地采用宽带隙技术，如碳化硅 (SiC) 和氮化镓 (GaN)，可实现更快的开关速度。鉴于对更高开关速度和更高系统可靠性的需求日益增加，现代电机驱动系统必须同时检测和防止多个故障事件，以更大限度地减少工业设备停机时间。

在本文中，我将讨论不同故障事件的优先级及其产生的影响，以及如何检测它们以防止损坏电机驱动电路。

## 电机驱动器简介

如图 1 所示，电机驱动系统从交流电源获取电力，将其整流为直流电压，然后通过复杂的反馈控制算法根据负载需求将直流电压转换回具有可变幅度和频率的交流电压。

电机驱动系统通常具有两个电压域：“高压”域和“低压”域。微控制器或数字信号处理器，通常位于低压域，接收来自三相 IGBT 功率级的反馈信号（电压、电流、温度等），并生成用于控制功率开关晶体管和其他高侧电源电路的脉宽调制信号。此类系统需要实现弹性且可靠的电隔离，以将高压电路与低压电路隔离开来。隔离架构可实现电机驱动系统的可靠运行，通过断开高压和低压电路之间的接地回路来防止成本高昂的电路受损，并帮助保护操作人员免受高压影响。

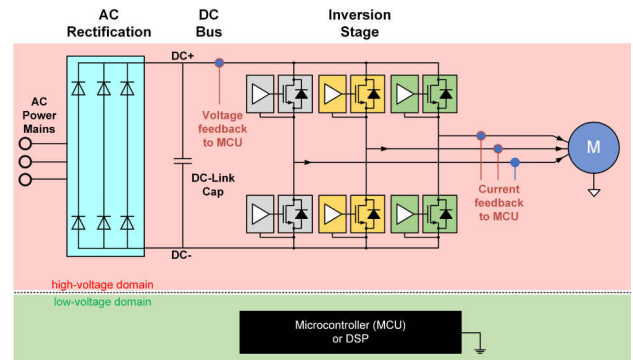


图 1. 交流输入电机驱动的方框图

## 了解电机驱动器中的故障事件

电机驱动器容易出现多种电气故障事件。如图 2 所示，当相邻的功率开关晶体管 1 和 2 同时意外导通时，会发生击穿故障。发生此故障的原因有多种：电磁干扰、控制开关晶体管的微控制器出现故障，或者只是开关晶体管磨损。此故障会使直流链路电容器短路，并可能导致灾难性故障，从而导致过热、火灾甚至爆炸。因此，必须检测击穿故障并采取纠正措施，例如非常快速地关断功率开关晶体管。

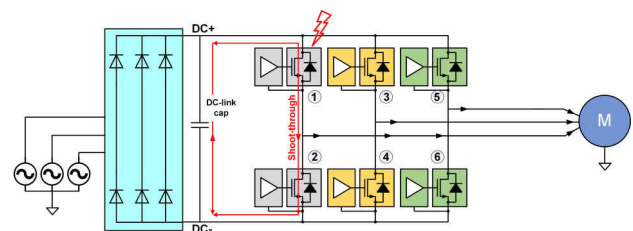


图 2. 电机驱动器中的击穿故障。

如图 3 所示，当电机电缆、电机外壳或电机绕组接地短路时，就会发生接地故障。这种接地短路可能是由于长时间的温度或电压过应力条件导致绝缘中的电介质强度下降而发生的。旧电机和电缆更容易受到接地故障事件的影响，这会使操作人员面临触电风险。因此，接地故障需要检测和纠正措施，例如重绕或更换电机。

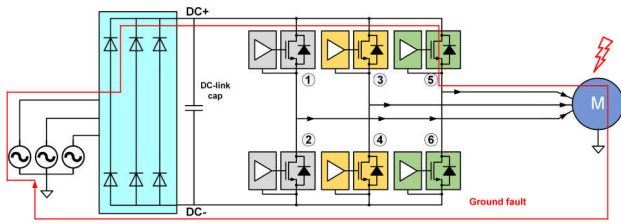


图3. 电机驱动器中的接地故障。

如图4所示，当定子两相的两个绕组之间出现绝缘击穿时，就会发生相间短路故障。此类相间短路可能是由于长时间的温度或电压过应力条件导致绝缘中的电介质强度下降而发生的。这种短路会导致定子电流大幅增加，从而可能损坏功率级中的IGBT。旧电机和电缆更容易受到相间短路的影响。和接地故障一样，需要对相间故障进行检测并采取纠正措施，例如重绕或更换电机。

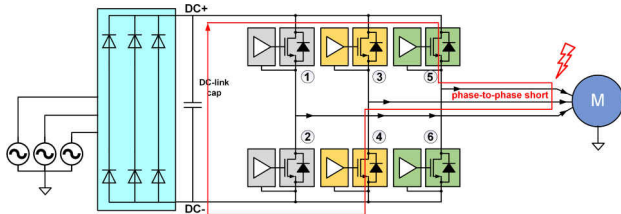


图4. 电机驱动器中的相间短路。

发生过压的原因有多种：断开期间从电机到直流链路导轨的反向注入、交流电源异常电路负载的调节不良、接线错误和绝缘故障。过压会导致电压过应力和电流过大，从而损坏直流链路电容器和IGBT，降低电气绝缘性能，并缩短电机驱动系统的使用寿命。通过中断或减少击穿、接地故障和相间短路以及避免瞬态过压情况来限制经由IGBT的热能非常重要。

### 在电机驱动器中实现可靠的检测和保护

设计人员必须采用多级可靠检测和保护，以防止损坏电机驱动电路。IGBT等功率开关晶体管的耐受时间相对较短（小于10μs），并且会迅速过热并因电流过大而损坏。

限流保险丝和断路器提供出色的过流保护，但反应时间较短且需要用户干预。在故障事件期间，它们通常是用于保护的最后补救手段。

为了进行检测并快速保护电机驱动器免受这些故障条件的影响，专门制定了一种解决方案，可用于检测电机驱动器内关键电气路径的电流和电压。测得的电流和电压由主微

控制器接收，后者用于控制高侧电源电路，例如电源开关晶体管和断路器。为了抑制过流或过压故障，主机微控制器要么关闭或修改功率晶体管的开关特性，要么使断路器跳闸。

图5展示了德州仪器(TI) AMC23C14系列低延迟增强型隔离式比较器在短路电流、过流、欠流、过压、欠压和过热故障检测场景中的应用。这些器件集成了可调节的比较器阈值功能，包括用于电源的高侧低压差稳压器，采用8引脚小外形集成电路封装，具有低于0.5μs的响应时间。

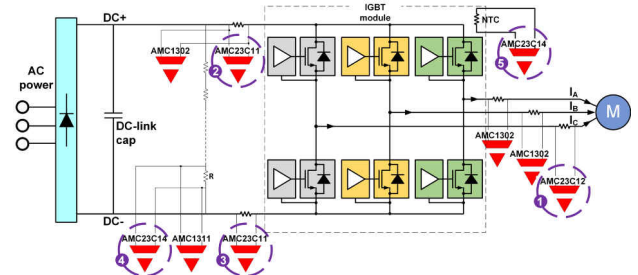


图5. 电机驱动器中的超快故障检测。

接下来，将回顾AMC23C14系列隔离式比较器在电机驱动器中的几个用例。

### 用例 1：双向同相过流检测

图6展示了AMC23C12如何用于双向同相过流检测。

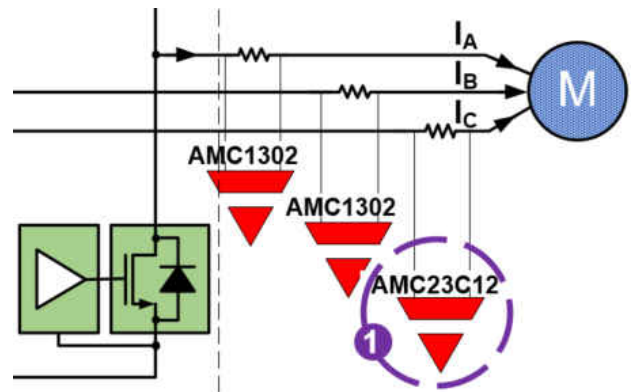


图6. 双向同相过流检测。

在完全可正常工作的三相交流电机驱动系统中，流向交流电机的三相电流之和应为零，无论制动或运行条件如何（即  $I_A + I_B + I_C = 0$ ）。

根据测得的两相电流计算中低端电机驱动器的第三相电流有助于降低成本。我建议监测第三相的电流以检测任何可能发生的电气故障事件。虽然您可以将电流传感器放置在

带有隔离放大器或隔离调制器的第三相上，但您也可以使用增强型隔离窗口比较器 **AMC23C12** 来实现简单性、成本效益和满足需要的解决方案尺寸。AMC23C12 通过集成窗口比较器提供双向过流检测。

如图 6 的位置 1 所示，分流电阻器会产生一个电压降，而 AMC23C12 增强型窗口比较器可感测该电压降。

AMC23C12 具有开漏输出 OUT，当输入电压超过基准引脚上电压的预定义阈值时，它会主动拉至低电平以进行过流检测。图 7 显示了一个过流事件输出波形。

对于过流和短路检测，您可以使用 AMC23C14 双窗口比较器。

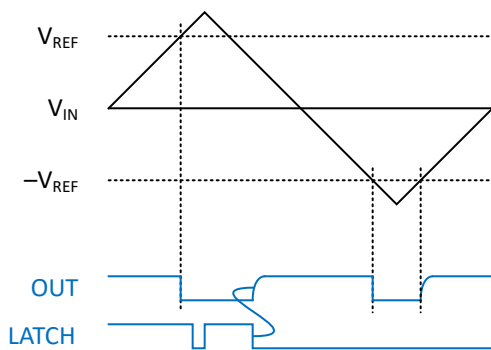


图 7. AMC23C12 输出波形。

### 用例 2: DC+ 过流检测

如图 8 的位置 2 所示，**AMC23C11** 非常适合 DC+ 过流检测。

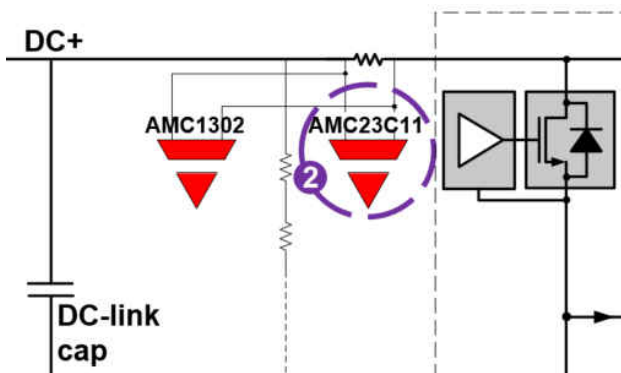


图 8. DC+ 过流检测。

图 9 显示了一个过流事件输出波形。与 AMC23C12 一样，AMC23C11 具有开漏输出 OUT，当输入电压超过基准引脚上电压的预定义阈值时，它会主动拉至低电平。AMC23C11 还支持具有 LATCH 输入引脚的锁存模式，该

引脚仅在锁存器清除后才清除输出。如果需要同时进行过流和短路检测，可以使用 AMC23C14 分别设置过流和短路检测的两个阈值电平。

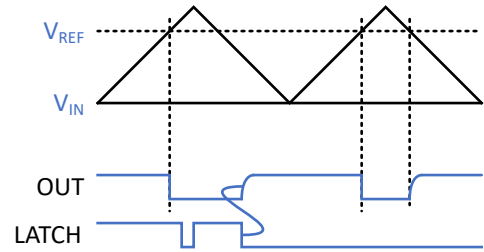


图 9. AMC23C11 输出波形。

### 用例 3: DC- 过流和短路检测

与用例 2 中介绍的细节类似，您也可以使用 AMC23C11 来检测直流线路上的过流情况。如果需要同时检测过流和短路，可以使用 AMC23C14 分别设置过流和短路检测的两个阈值电平。

### 用例 4: 直流链路 (DC+ 到 DC-) 过压和欠压检测

直流链路电压应处于可确保电机驱动器正常运行的规定范围内。AMC23C14 是检测过压和欠压情况的理想之选。

如图 10 的位置 4 所示，电阻分压器网络的底部电阻会产生一个电压降，该电压降由 AMC23C14 双增强型窗口比较器进行检测。

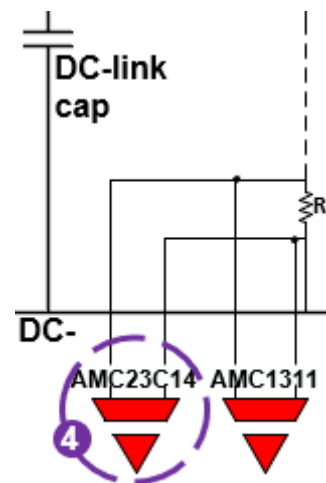


图 10. 直流链路过压和欠压检测。

AMC23C14 具有两个开漏输出，OUT1 和 OUT2，为每个窗口比较器分配一个。当输入电压超过基准引脚电压的预

定义阈值时，OUT1 会主动拉至低电平，以进行欠压检测。当输入电压超过由内部 300mV 基准定义的阈值时，OUT2 会主动拉至低电平，以进行过压检测。图 11 显示了用于过压和欠压事件的 OUT1 和 OUT2 输出。如果您只需要进行过压检测，可以使用 AMC23C11。

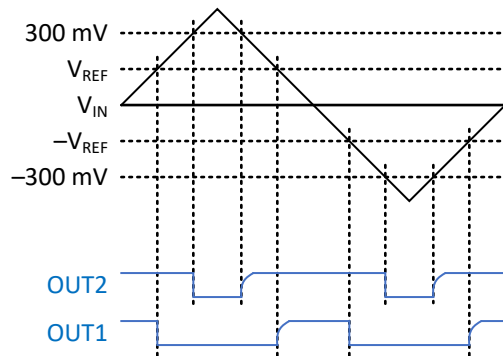


图 11. AMC23C14 输出波形。

### 用例 5: IGBT 模块过热检测

如图 12 所示，负温度系数热敏电阻 (NTC) 通常放置在 IGBT 模块内部，用于检测长期过载情况。这些 NTC 端子路由至主电源板，其中 AMC23C14 可用于过热检测。

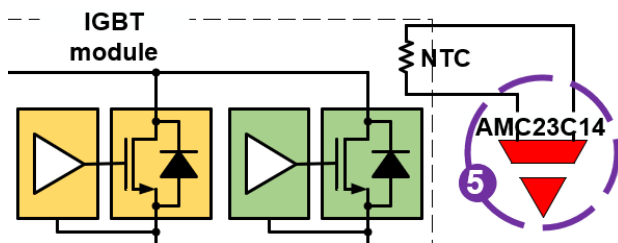


图 12. IGBT 模块过热检测。

图 13 显示了过热事件的输出波形，在该波形中，当输入电压超过内部 300mV 基准定义的阈值时，OUT2 会拉至高电平。AMC23C14 的基准引脚连接到可以偏置 NTC 的 100μA 电流源。

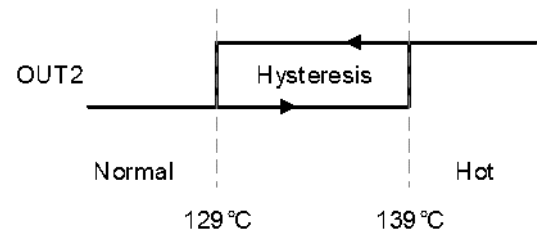


图 13. AMC23C14 输出波形。

随着提高系统可靠性和采用更快的开关器件的需求激增，AMC23C14 系列低延迟增强型隔离式比较器解决了电机驱动器中准确和快速检测的关键需求

**重要声明:** 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

© 2022 Texas Instruments Incorporated

 TEXAS  
INSTRUMENTS

ZHCT359

## 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