参考文献

Application Brief

使用 SiC 或 GaN 开关所需的低侧电流分流测量方法快速检测过流故障

随着汽车的电气化水平迅速提高，更多先进系统被集成到车辆中。这些电气化车辆包含敏感的 GaN 和 SiC 开关，易受过流情况影响。因此，有必要实施电流监测电路，此电路必须对峰值过流情况做出反应，在许多情况下需要在不到 1μs 的时间内执行关断以防止开关损坏。图 1 展示了如何使用基于高速放大器和比较器的电流分流监测电路以超短延迟时间满足这一需求。

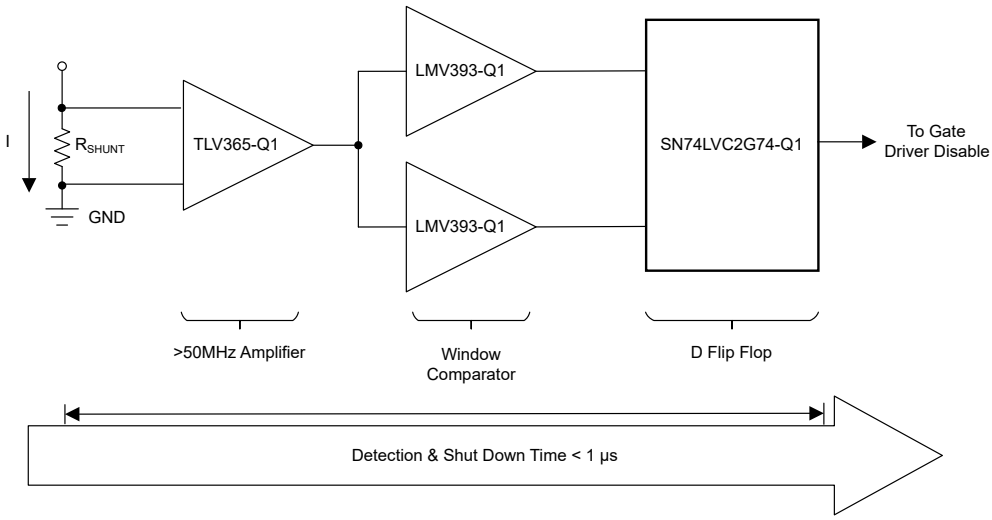

图 1. 典型电流检测电路

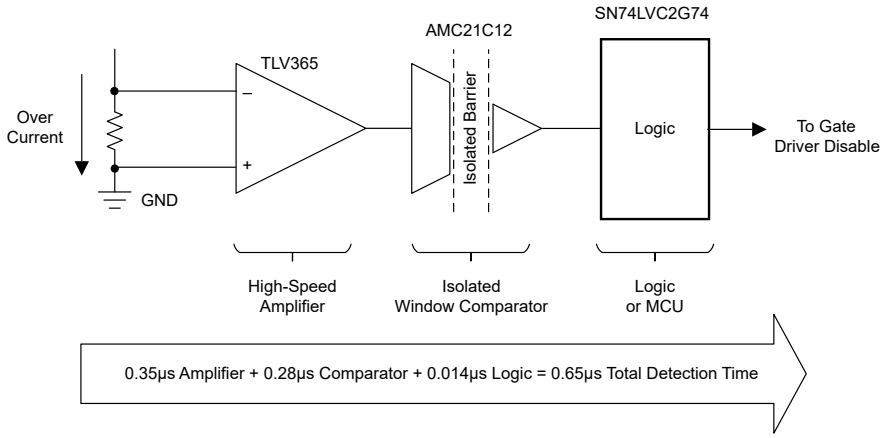

图 2. 带隔离功能的典型电流检测电路

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

什么是高速放大器以及为何使用它？

电路的传播延迟因所选元件的不同而存在显著差异。例如，如果直流/直流转换器使用平均电流控制进行功率因数校正，则可以使用速度较慢的放大器。但是，如果需要检测峰值电流，或者系统需要在不到 1μs 的时间内做出反应并关断，则需要使用高带宽放大器。在图 3 中，峰值检测和平均值检测的电流波形叠加在了一起。之所以需要使用更高带宽的放大器进行峰值检测，是因为瞬态电流尖峰发生得非常快，在测量平均电流时，这些尖峰无法被检测到。

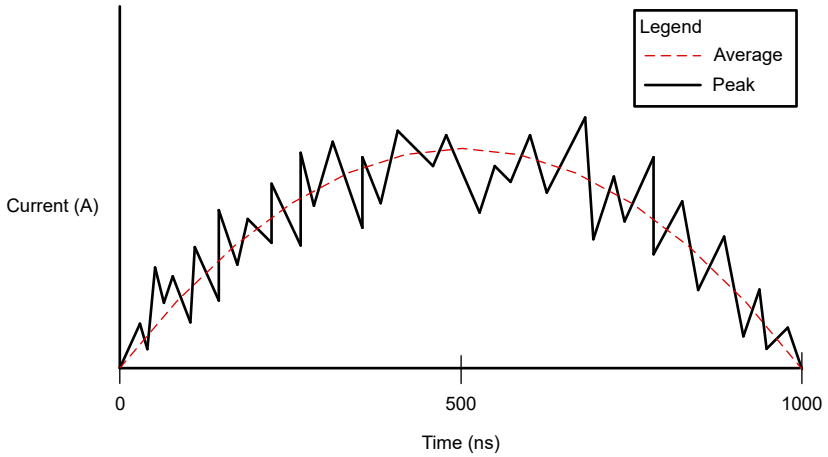

图 3. 平均电流波形与峰值电流波形

车载充电器、直流/直流转换器和牵引逆变器的新型实施方案利用了氮化镓和碳化硅开关带来的更低功耗和更快开关频率。许多 GaN 开关容易因幅度超过 54A 且持续时间短至 1μs 的电流尖峰而发生故障。图 4 比较了 10MHz 和 50MHz 运算放大器的上升时间，表明高带宽 50MHz 运算放大器将传播延迟降低了 0.8μs。因此，有足够的时间来检测和响应过流情况。

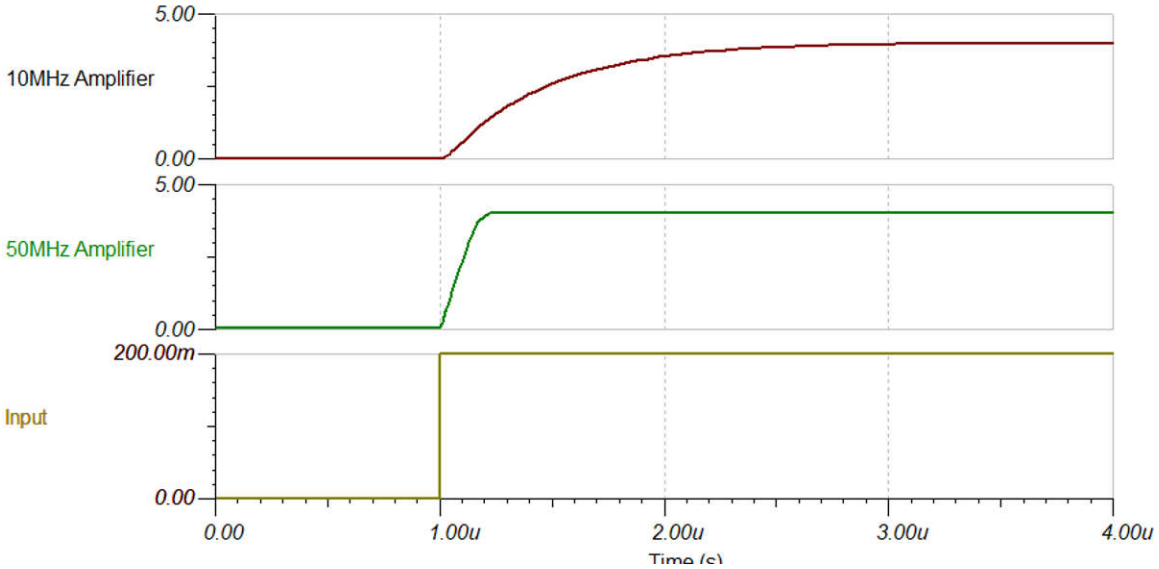

图 4. 10MHz 理想上升时间与 50MHz 理想上升时间

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

为了在不到 1μs 的时间内实现检测和关断，应将总响应时间的 35% 分配给放大级。如果放大器需要 1V/V 的增益，则放大器所需的带宽为 1MHz；但是，大多数基于分流器的电流监测电路都需要 50V/V 等级的增益，以降低分流电阻器的功耗。为了实现这一等级的增益，需要使用最低 50MHz 的放大器，如方程式 1 所示。

$$T_{response} = 35\% \times 1\mu s = 0.35\mu s$$

$$Bandwidth_{(Hz)} = \frac{0.35^{[1]}}{T_{response}} = \frac{0.35^{[1]}}{0.35\mu s} = 1MHz$$

$$GBW = Gain \times Bandwidth = 50\frac{V}{V} \times 1MHz = 50MHz \quad (1)$$

[1] 0.35 是用于近似计算带宽的常数值。
这个值与电容器从 10% 充电到 90% 所需的时间有关。
有关更多详细信息，请参阅*运算放大器压摆率 - TI 高精度实验室* 视频。

德州仪器 (TI) 提供各种放大器以满足不同的系统要求。图 5 展示了几款放大器随带宽增加的上升时间变化图，表 1 为上升时间比较表。

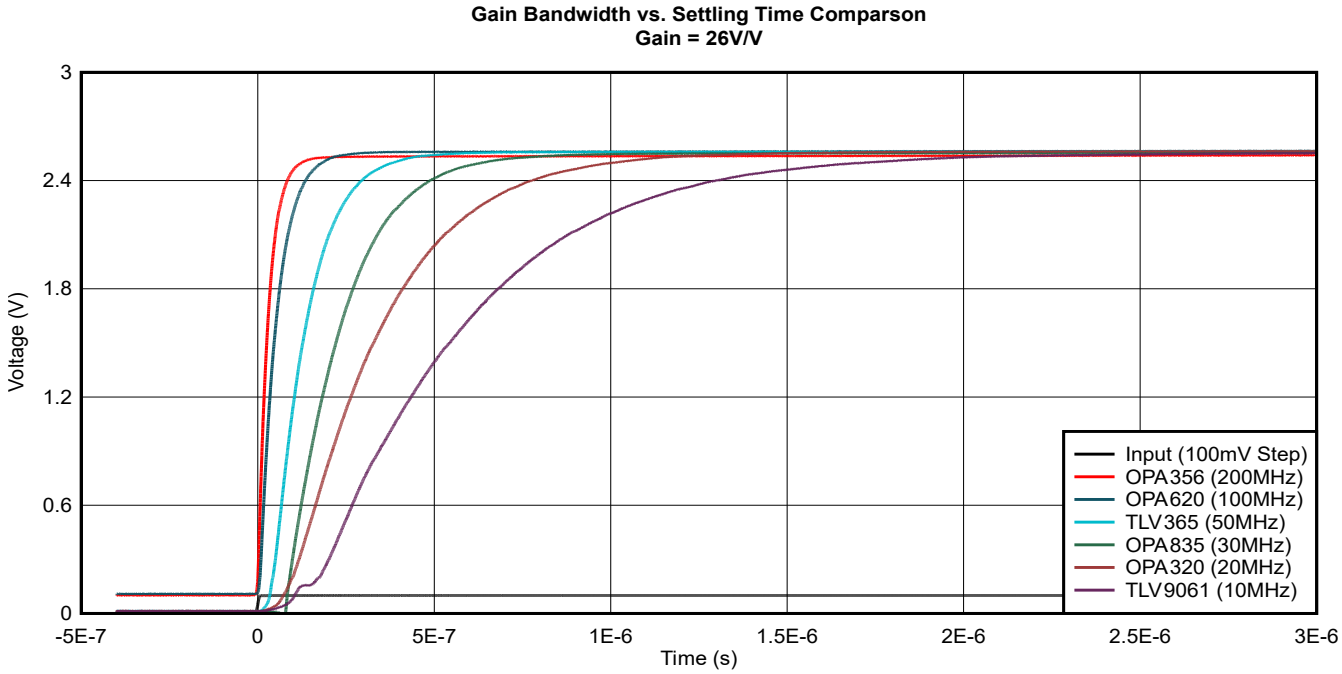

图 5. 多款 TI 放大器的上升时间

表 1. 上升时间比较表

器件	增益带宽	上升时间变化
TLV9061	10MHz	2000ns
OPA320	20MHz	1100ns
OPA835	30MHz	715ns
TLV365	50MHz	475ns
OPA620	100MHz	225ns
OPA355	200MHz	150ns

一些设计人员选择级联两个或更多个具有不同放大级的低带宽放大器，以较低的成本实现相同的放大效果。使用多个低带宽放大器会增加额外的传播延迟，并且需要在电路板上留出更多空间。过去，高带宽放大器被视为更昂

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

贵的备选产品；然而，凭借 TI 先进的制造能力，这些新款器件的价格更具竞争力，与使用多个低带宽放大器相当。

单分流器与多分流器电流检测

另一种减小布板空间并有可能降低成本的方法是在系统中采用单个分流器，而不是多个分流器。如果系统中会进行多次平均电流测量，利用更高带宽的放大器并将这些测量过程连接起来可以减少所需的放大器数量。然而，在某些情况下需要采用多分流器配置。例如，如果需要测量三相牵引逆变器中的各个电流相位，则可以采用多个高带宽放大器来更快测量峰值电流。图 6 和图 7 展示了单分流器牵引逆变器和多分流器牵引逆变器的典型设置。

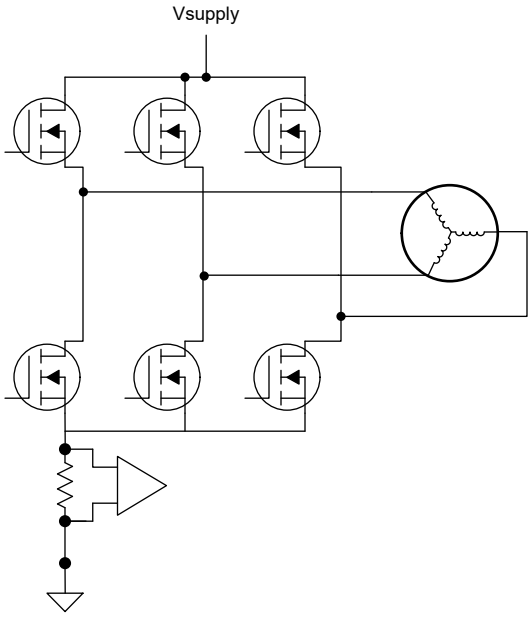

图 6. 单分流器实施方案：三个相位连接在一起

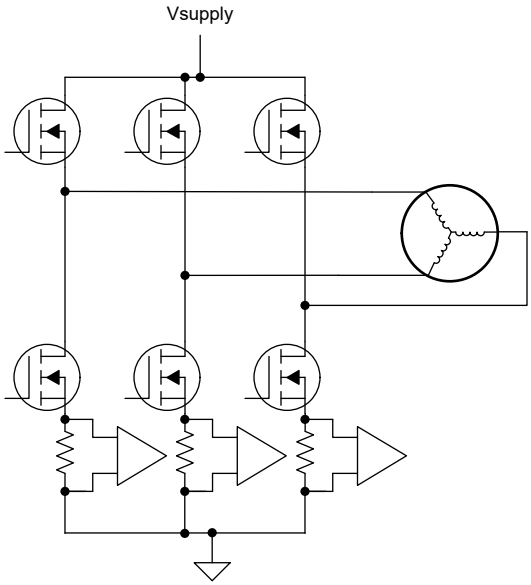

图 7. 多分流器实施方案：单独测量每个相电流

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

结语

随着电气化汽车系统中采用更高效的 GaN 和 SiC 开关，在不到 1μs 的时间内检测和响应汽车中的过流情况变得越来越重要。在设计系统时，选择合适的放大器有助于节省布板空间和成本并减少延迟时间。请查看 TI 广泛的汽车级高速放大器产品系列，其中有多种带宽和精度可供选择。

表 2. 推荐用于汽车电流检测应用的器件

器件	通道计数	电源电压范围 (V)	增益带宽积 (MHz)	压摆率 (V/μs)	最小稳定增益 (V/V)
TLV365-Q1	1	2.2-5.5	50	27	1
OPA607-Q1	1	2.2-5.5	50	24	> 6
OPA2607-Q1	2	2.2-5.5	50	24	> 6
OPA620-Q1	1	2.2-5.5	100	190	1
OPA354A-Q1	1	2.2-5.5	100	150	1
OPA2354A-Q1	2	2.2-5.5	100	150	1
OPA4354-Q1	4	2.2-5.5	100	150	1
OPA2863-Q1	2	2.7-12.6	50	105	1

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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