

# 光电耦合器助力用于电动汽车的安全快速直流充电器

作者：博通公司产品经理 Hong Lei Chen

## 摘要

电动汽车（EV）的快速增长推动了对充电基础设施的强劲需求，以延展电动汽车的行驶里程。直流快速充电站可将充电时间从几小时缩短到几分钟。在设计直流快速充电站时，电气安全是关键考量，可通过使用光耦（光电耦合器，optocoupler）来满足安全要求。

## 介绍

电网以交流形态传输电能，车载电池中存储的能量为直流电，因此需要充电器来完成交直流转换。根据充电器是否安装在车内，充电器可分为：车载充电器（OBC）和车外充电站。OBC 接受来自电源的交流电并转换为直流电为电池充电；由于充电器的额定功率有限，所以充电速度很慢。直流充电通常用于非车载充电站。它直接向车辆内部的电池提供经过调节的直流电。由于直流充电设备安装在固定位置、不受尺寸限制，其额定功率可达数百千瓦。直流快速充电方法将充电时间从几小时缩短到几分钟 [1]、[2]。图 1 说明了交流和直流充电方法。在成功推出电动汽车的过程中，直流快速充电是减少或消除里程焦虑的关键设备。

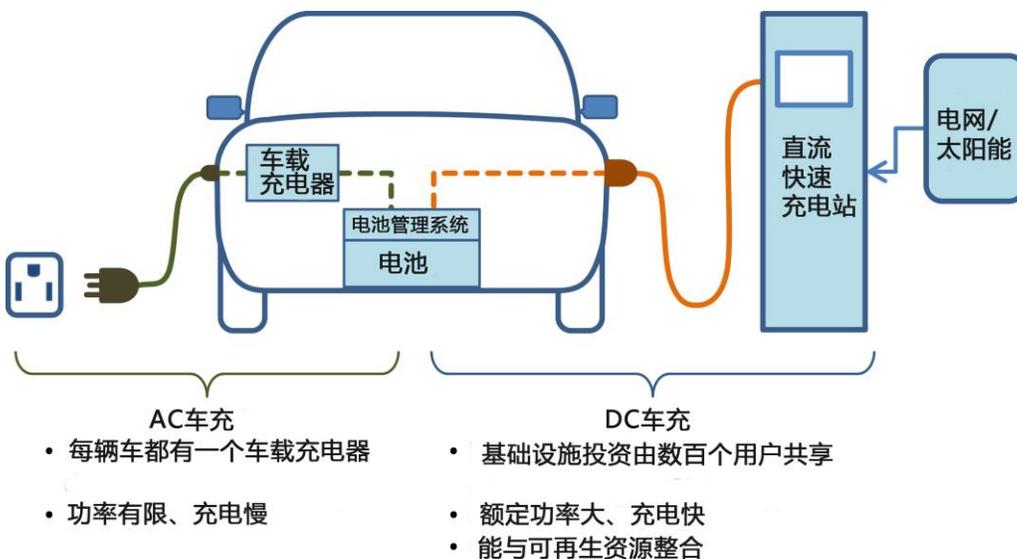


图 1. 交流充电和直流充电 [3, p. 6].

## 设计带安全隔离的充电站

直流快速充电站通常包括如下功能块，如：交流到直流整流器；功率因数校正 (PFC) 级；用于将直流电压调节到适合为车辆电池充电电平的直流到直流 (DC-DC) 转换。能量传输和充电器-车辆通信通过

充电器耦合器接口完成。图 2 显示了直流充电站设计的简化框图。在该图中，功能块中都设计进一个安全隔离屏障。这对于确保设计安全符合监管标准非常重要。

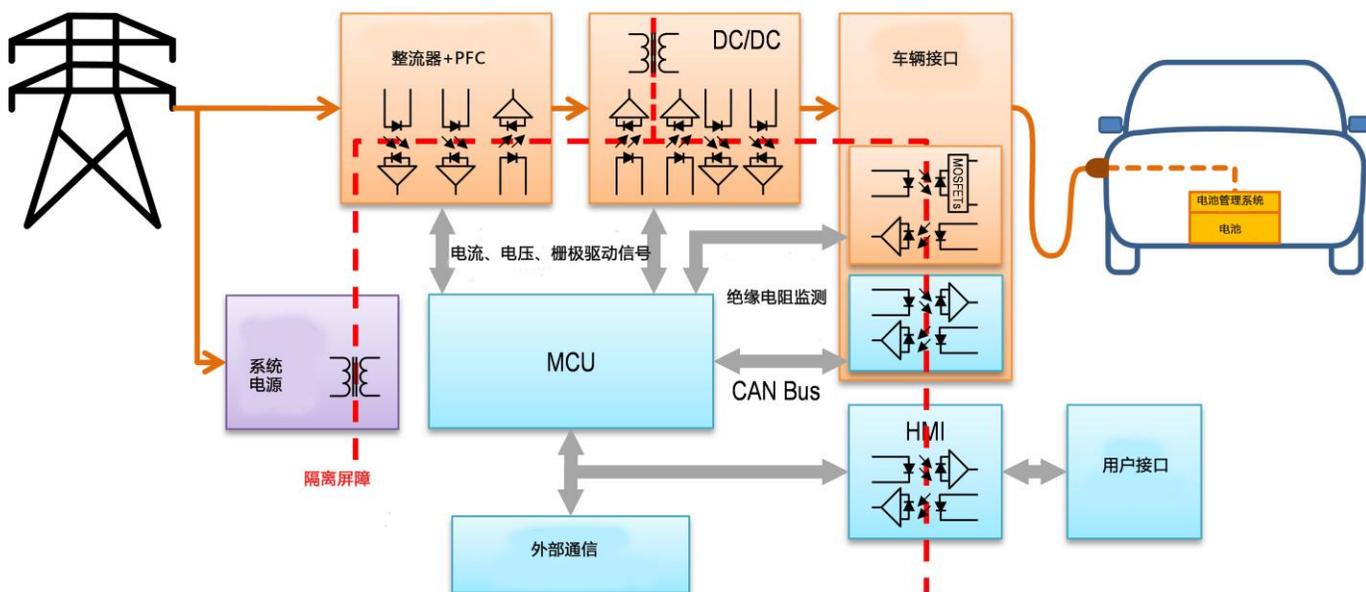


图 2. EV 充电站框图。

### 在 PFC 级使用光耦

功率因数校正 (PFC) 级将输入电流转换为接近与电网电压同相的正弦波形。这是为了减少注入电网的谐波、提高功率因数，以符合各种标准。PFC 级还产生稳定的 DC 输出电压，为下游 DC-DC 转换器供电。图 3 显示了交错式 PFC 级的示例。

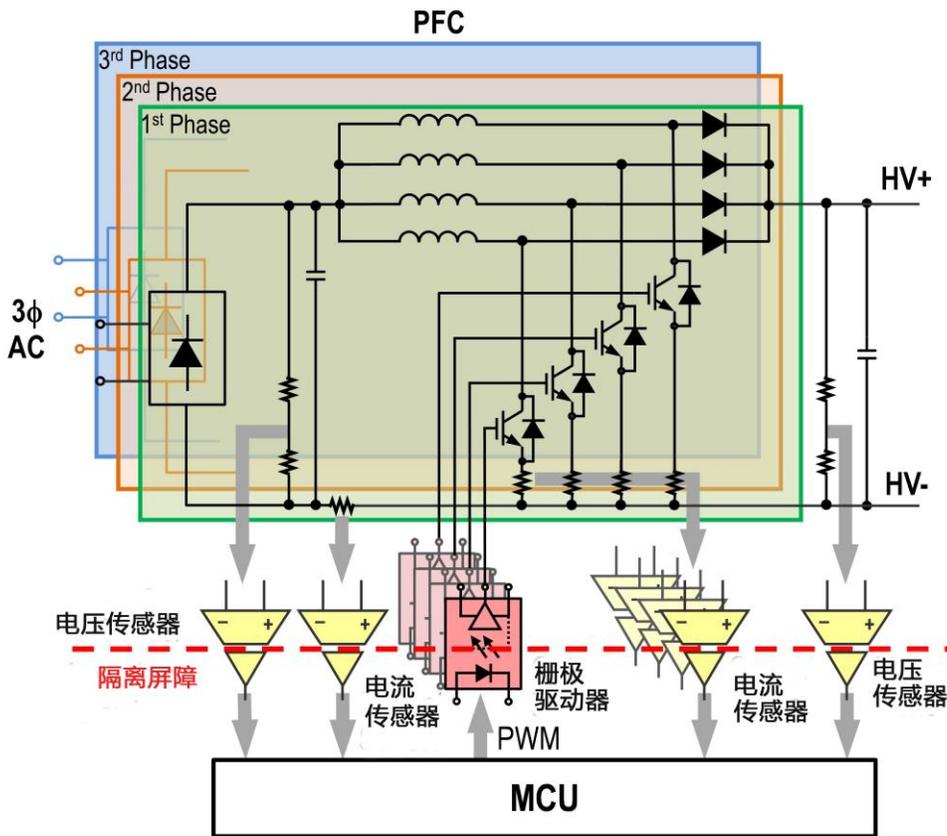


图 3. 在 PFC 级中使用栅极驱动、电流和电压感测光耦。

在该级，MCU（微控制器单元）根据控制算法改变 PWM（脉宽调制）信号以打开和关闭功率 MOSFET 或 IGBT 以及开/关状态的持续时间（占空比）。栅极驱动器用于放大 PWM 信号的电压和电流幅值，以便以所需频率驱动功率开关器件。

图 4 显示了一个栅极驱动电路示例。在该电路中，ACPL-W349 具有 2.5A 输出电流、轨到轨输出电压范围、55 ns 极短的传播延迟时间。该器件采用 SSO-6 小型表贴封装；根据 UL1577 标准，隔离电压额定值为 5000Vrms @ 持续 1 分钟；根据 IEC/EN/DIN EN 60747-5-5 标准，具有 1140Vpeak 的额定隔离电压。这些标准认证可确保控制器和用户端的安全。

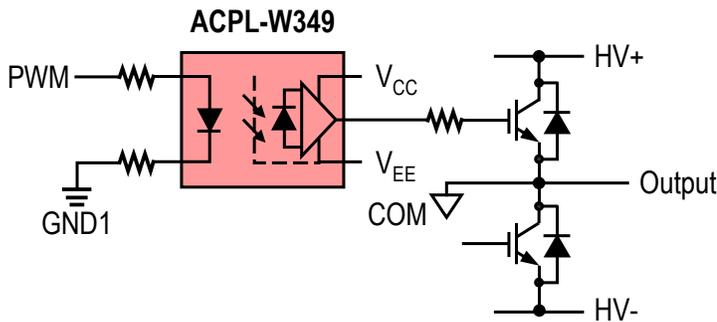


图 4. 简化的栅极驱动光耦应用电路。

在 PFC 级，需要各种电压和电流信号来实现控制算法。它们包括整流输入电压、每个交错相的电流、总电流和直流总线电容器电压。

测量高电压的典型方法是使用电阻分压器将电压降低到适合线性感测芯片测量的电平，再将调制结果发送到 MCU。电流感测电路通常采用精密分流电阻将电流转换为小电压，然后通过一些信号调制器件发送到 MCU。为了将 PFC 和 DC-DC 转换器级等高压域的信号准确传输到低压 MCU 侧，ACPL-C87X 系列和 ACPL-C79X 系列等隔离放大器可方便地执行电压和电流感测功能[4]、[5]。

使用 ACPL-C87X 隔离电压传感器非常简单，如图 5 所示。鉴于 ACPL-C87X 的 VIN 标称输入电压为 2V，要根据  $R1 = (VL1 - VIN) / VIN \times R2$  选择电阻器 R1。缩小的输入电压经 R2 和 C1 形成的抗混叠滤波器过滤，然后由 ACPL-C87X 感测。隔离差分输出电压(VOUT+ - VOUT-)通过后置放大器 U2 转换为单端信号 VOUT。VOUT 与高压侧的线电压成线性比例，且可以安全地连接到系统微控制器。ACPL-C87X 典型增益为 1 时，整体传递函数为  $VOUT = VL1 / (R1/R2 + 1)$ ，简单明了[4]。

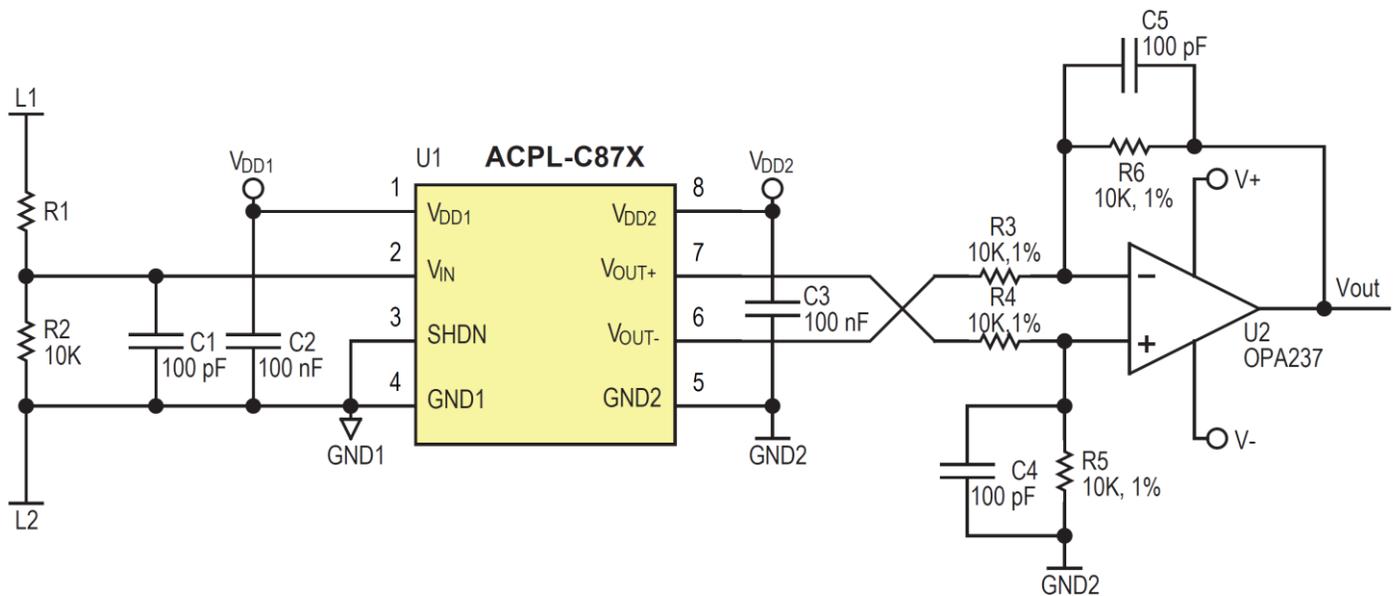


图 5. 带以隔离地为零电位参考输出转换的高压测量。

使用隔离放大器感测电流就像将分流电阻器连接到输入端并通过隔离栅获得差分输出一样简单，如图 6 所示。通过选择合适的分流电阻器，可以测量从小于 1A 到大于 100A 的高电流带宽。在工作中，电流流过分流电阻器，产生的模拟电压降由 ACPL-C79X 感测。在光隔离栅的另一侧产生差分输出电压。该差分输出电压与电流幅值成正比，可以使用运算放大器（如图 5 所示的后置放大器）转换为单端信号，或直接发送到控制器的模数转换器 (ADC) [ 5]。

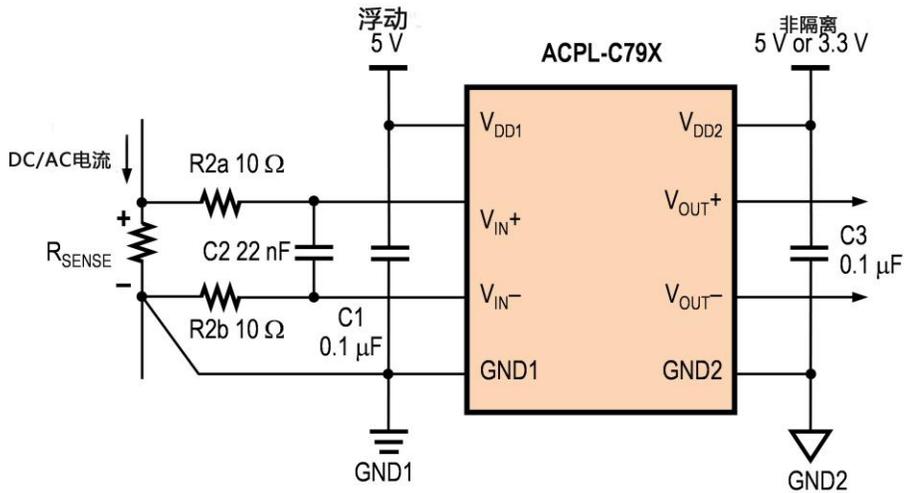


图 6. 典型的电流感测应用电路。

### 在 DC/DC 转换器中使用光耦

如图 7 所示，DC/DC 转换器级跟在 PFC 级之后，提供稳定的 DC 能量以直接传送到电池。需要测量输出电压和电流并反馈给 MCU 进行计算，MCU 会据此调整 PWM 信号。然后，这些 PWM 信号将控制栅极驱动光耦以驱动 IGBT 或 MOSFET。在此级，将根据电源变压器和栅极驱动、电压和电流感测光耦来观察电流隔离屏障。有关栅极驱动、电压和电流感测电路的信息，请参见图 4、图 5 和图 6。

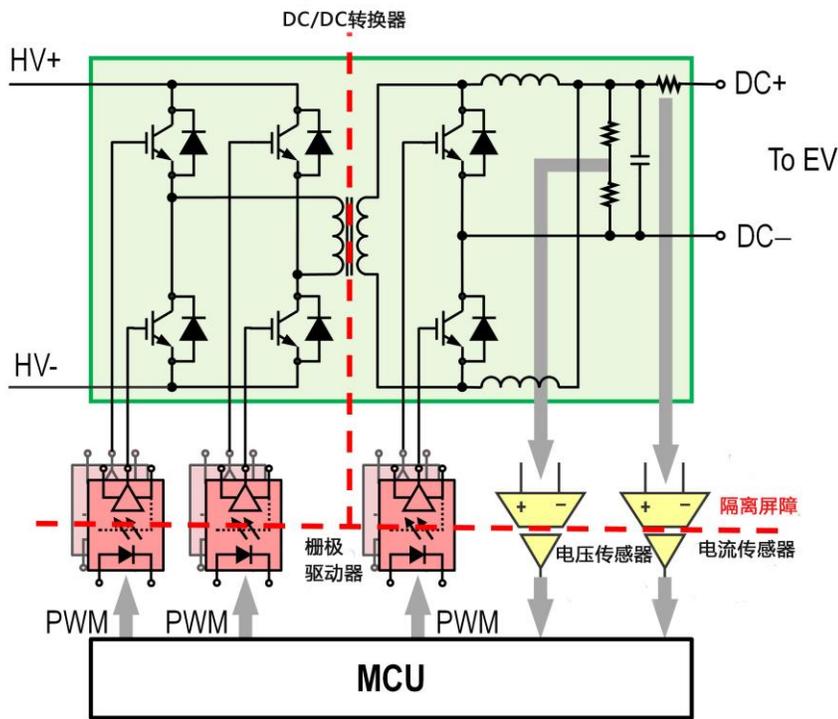


图 7. 简化的 DC/DC 转换器。

### 在充电器-车辆接口中使用光耦

需要先进的控制方案来实现充电站和电动汽车之间的充电控制协议。鉴于 CAN 的高通信可靠性，最流行的插接标准 CHAdeMO（基于 EV 销售的快速充电类型）[6] 选择 CAN（控制器局域网）进行快速充电。CHAdeMO 标准提供了一对 CAN 总线，在耦合器接口分别连接充电器侧和车辆侧。耦合器引脚 8 和 9 分别被指定为 CAN-H 和 CAN-L，[7, p. “技术细节”]可以连接 CAN 收发器。在 CAN 收发器和 CAN 控制器之间添加光隔离可显著提高系统安全性，因为光耦提供了一个安全屏障，可防止任何损坏波及到系统 MCU。这种安排还可以在极其嘈杂的环境中（如高压电池充电系统）实现更可靠的数据通信。图 8 显示了如何使用光耦为快速充电站设计实现隔离式 CAN 总线数字通信。类似的电路适用于需要汽车级零件的车辆侧。

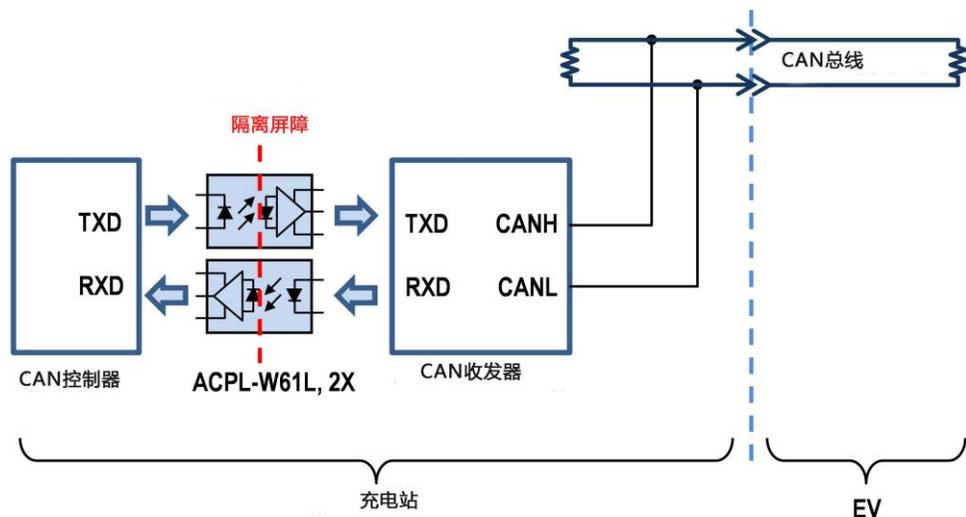


图 8. 隔离式 CAN 总线数字通信。

在图 8 所示的示例电路中，一对 10MBd 快速光耦 ACPL-W61L 用于数据发送和接收。该产品只需 1.6 mA 的极低 LED 电流就能工作，并采用 SSO-6 封装，其尺寸不到传统 DIP-8 封装的一半。虽然采用小封装，根据 UL1577 标准，ACPL-W61L 可承受 5000 Vrms 的高压@持续 1 分钟。该器件设计用于在存在强瞬态噪声的情况下传输信号，可保证 35kV/ $\mu$ s 的共模瞬态抗扰度 [8]。如果有不同的设计需求，也可使用其它光耦代替 ACPL-W61L。其中包括 5MBd 速率 ACPL-W21L [9] 和 25MBb 双通道双向 ACSL-7210 [10]。

作为安全举措之一，需要在电动汽车充电站中包括绝缘电阻监测功能[11]。一种可能的实现方案如图 9 所示。在该电路中，隔离放大器 ACPL-C87X 测量其输入端的电压信号并将输出发送到 MCU。ASSR-601J 由一个 LED 输入侧和两个位于输出侧的分立高压 MOSFET 组成。在应用中，MOSFET 的两个源极节点可用作开关的两个触点。在关闭模式下，它们可承受 1500V 以上的击穿电压。在通过隔离栅发送信号时，ACPL-C87X 和 ASSR-601J 均使用光耦合技术提供电气隔离；这些器件在 1414Vpk 工作电压下，已通过 IEC 60747-5-5 认证 [12]。

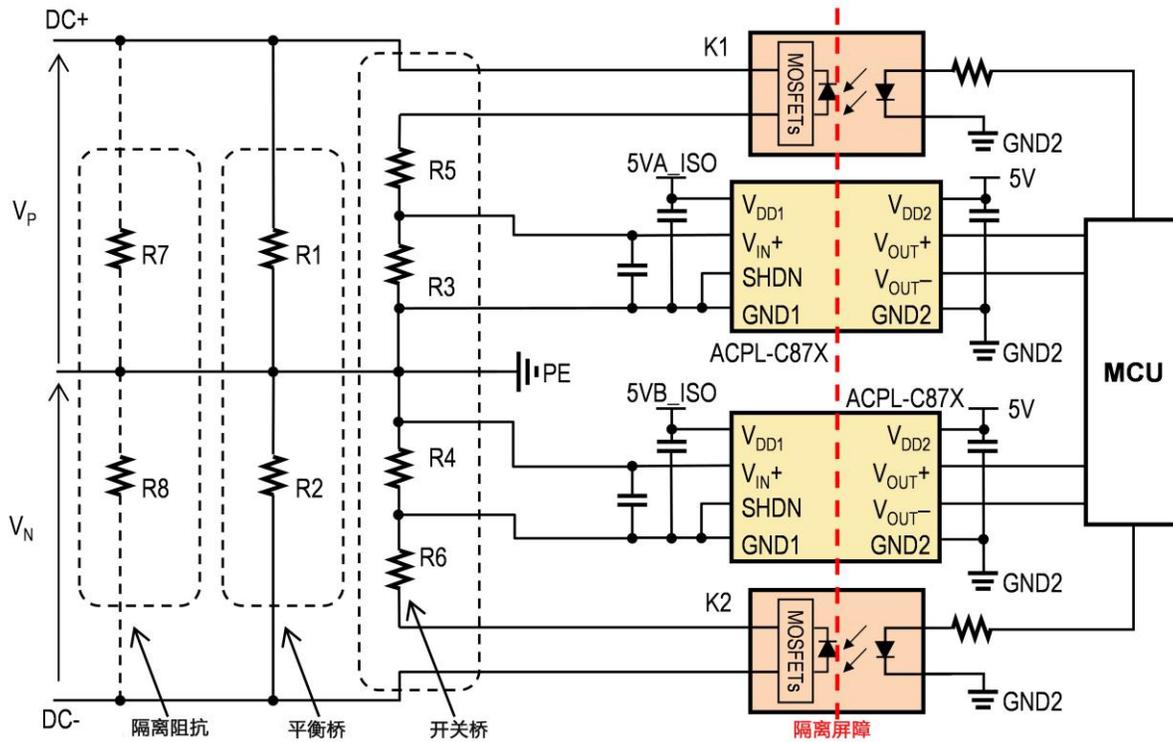


图 9. 绝缘电阻监测电路示例。

## 结论

电动汽车充电基础设施是电动汽车广泛采用的关键。电动汽车充电站，尤其是直流快充，采用复杂的供电系统，在短时间内为车内电池提供巨大电能。在满足安全隔离要求的同时设计高效的直流快速充电器极具挑战性。栅极驱动器、电压传感器、电流传感器光耦和数字光耦等在单个封装中提供安全隔离和相应的电气功能，有助于实现高效系统。