

双向车载充电器中的绝缘监测器件 (IMD) 架构的比较分析



Forest Fu, Josh Wei, Prashant Kumar, Liyu Zou

摘要

车载充电器 (OBC) 的双向功能已成为电动汽车 (EV) 的重要趋势。这种趋势正在推动车联网 (V2X) 应用的发展。针对车辆到负载 (V2L) 和车辆到住宅 (V2H) 实现方案的增强型安全措施对于保护用户免受绝缘故障造成的电击危险至关重要。因此，绝缘监测器件 (IMDS) 已成为双向 OBC 系统中的关键元件。本文档探讨了三种用于监测绝缘情况的常见 IMD 选项：基本架构、双开关架构和有源单开关架构 — 所有选项都使用电桥开关技术。本文档全面分析了每种方法的优势和局限性，并提供对比仿真结果来评估每种方法的性能。此外，本文档还集成了对德州仪器 (TI) 具体器件建议的理论分析，为各种应用场景中的 IMD 电路设计提供了全面的参考指南。

内容

1 简介..... 1

 1.1 背景..... 1

 1.2 系统要求..... 3

 1.3 典型挑战..... 4

2 绝缘监测架构..... 5

 2.1 基本架构..... 5

 2.2 双开关架构..... 6

 2.3 有源单开关架构..... 7

 2.4 架构比较..... 7

3 主要元件..... 7

 3.1 固态继电器..... 7

 3.2 电压传感器..... 9

 3.3 DC 电源..... 10

4 总结..... 10

5 参考..... 10

1 简介

1.1 背景

电动汽车为了提供更远的行驶里程和更强的电源能力而不断发展，电池系统也随之越来越多地采用 800V 或更高的架构。在这些高压 (HV) 系统中，用户安全仍然至关重要。因此，所有 HV 元件都必须通过高电阻路径与保护性接地端保持隔离。绝缘故障可能由多种原因引起；包括线束老化、电源处理元件老化或极端电应力事件，例如 Y 电容器损坏。当发生任何单次绝缘故障时，系统会进入不安全状态。电击不一定直接由阻抗的初始降低引起，但是如果发生人体接触，这种情况会带来潜在的危及生命的风险，因此降低阻抗需要立即发出警告。

隔离式电源系统（包括直流快速充电站）必须遵守适用的安全标准。这些标准因地区而异，如表 1-1 所示。

表 1-1. 不同地区的 IMD 相关标准

区域	标准	范围
欧洲	IEC 61851-23	定义与直流快速充电器通信时 OBC 必须支持的车辆侧监测功能。
欧洲	IEC 61557-8	信息技术系统中使用的 IMDS 的一般要求，汽车 OBC 采用了这些要求
欧洲	ISO 6469-3	全车的安全要求，ECE R100 将其用作参考。
北美	UL 2231-1 UL 2231-2	指定必须与充电器的 IMD 一起使用的车辆侧保护功能。
中国	GB/T 18487.1	IEC 61851-21 和 IEC 61851-23 的中国对应标准。

表 1-1. 不同地区的 IMD 相关标准（续）

区域	标准	范围
中国	GB/T 18487.4	第 4 部分是对电动汽车的放电要求。
日本	JARI JSAE 指南	符合 ISO 6469-3 和 IEC 61557-8，增加了日本的环境限值。
其他地区（澳大利亚 (AS)、新西兰 (NZ)、韩国、印度等）	不同国家对 IEC 61851-23、IEC 61557-8 和 ISO 6469-3 的采用	与欧洲版本的功能范围相同，但气候或标签稍有变化。例如，AS/ NZS 61851-21-1、KS C-IEC 61851-21-1 和 BIS ISO 6469-3。

在 IEC 61557-8 和 GB/T 18487.1 中，警告 ($500\ \Omega/V\text{ d.c.} - 2\text{mA}$) 和故障 ($100\ \Omega/V\text{ d.c.} - 10\text{mA}$) 阈值针对隔离栅电阻设置。IMD 电路监测绝缘电阻，并在绝缘电阻不足的情况下报告故障。如果绝缘电阻不足，电流泄漏可能会升高到允许的限值以上。

图 1-1 显示在充电器侧和车辆侧均安装了绝缘监测器件 (IMD)。两个 IMD 在整个充电过程和车辆运行期间协作监测直流电源电路的隔离栅。

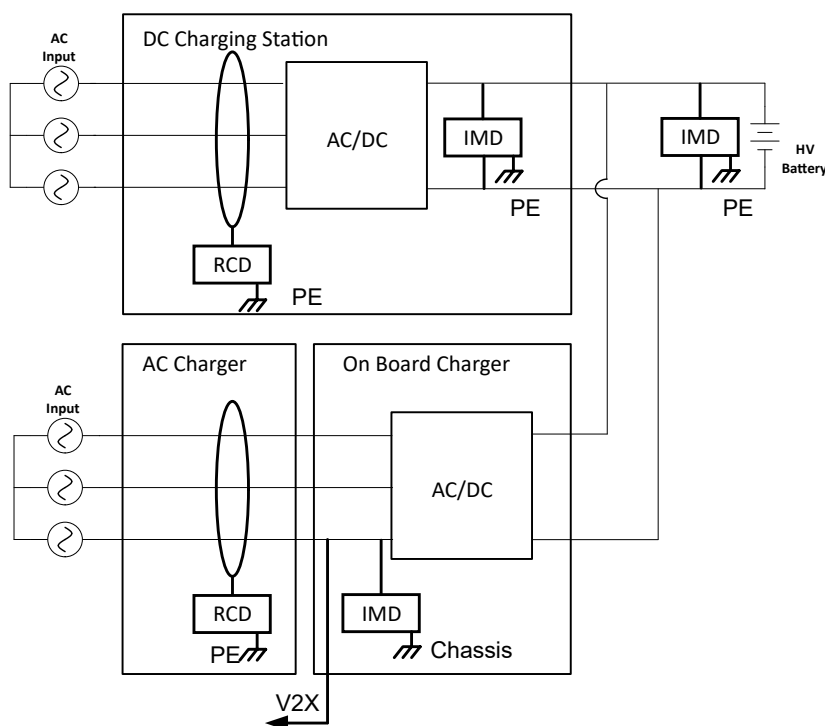


图 1-1. 汽车应用中 IMD 用例

根据 GB/T 18487.1-2023，适用以下顺序和要求：

- 在车辆耦合器建立连接到继电器闭合的时间范围内，充电器完成内部绝缘监测（包括充电电缆）。
- 继电器闭合后，电动汽车在能量传输阶段完成整个充电系统的绝缘监测。

因此，这两个 IMD 电路协同工作，以验证充电端和车辆端的绝缘电阻是否在充电和驾驶过程中均保持在正常范围内。

无论是交流电路正在充电还是直流电路正在快速充电，在这两种情况下交流侧通常都有剩余电流检测 (RCD) 电路。RCD 和 IMD 电路的功能略有不同。RCD 电路通过监测总漏电流来确定绝缘故障，而 IMD 电路则监测绝缘电阻。表 1-2 对 IMD 和 RCD 电路进行了比较。

表 1-2. IMD 和 RCD 电路之间的差异

方法	RCD	IMD
用途	检测相线和中性线之间的不平衡，这表明存在故障至接地路径，并快速断开电源。	验证隔离栅（保护性接地的 HV±）保持在规定的电阻值以上。

表 1-2. IMD 和 RCD 电路之间的差异 (续)

方法	RCD	IMD
原理	测量导线中的电流总和。任何大于设定阈值的剩余电流都会触发器件。 额定电流 < 30mA 直流电流 < 6mA	通过高欧姆路径注入测试电压并读取产生的电流，以此来测量绝缘电阻。 安全：> 500 Ω/V 警告：≅100 Ω/V 至 500 Ω/V 故障：< 100 Ω/V。
地点	通常安装在交流侧的用户可接触负载的上游。 对于直流快速充电器：RCD 可以作为额外的保护器件放置在直流链路上。	- 充电器侧 IMD：充电器高压总线和电源接头之间（包括电缆）。 - 车辆侧 IMD：在高压总线和直流进口之间（盖板电缆、连接器、车载高压总线）。
响应时间	对于 30mA 器件，≤30ms（典型值）。	对于故障检测，≤10s (IEC 61557-8)；许多 OEM 要求 ≤5s。常见的是以 0.5 至 1s 的间隔进行连续监测。
运行模式	检测到剩余电流时发生瞬时跳闸；不执行预充电绝缘检查。	持续监测功率流之前和期间的绝缘电阻。必须进行预充电验证。
选项	电流互感器。	电桥开关。
参考设计	TIDA-010237	TIDA-010232（直流侧），应用手册 《采用有源单开关架构的车载充电器系统中的绝缘监测器件 (IMD) 设计》

现有 IMD 和 RCD 电路涵盖了单向 OBC 的场景。但是，随着电动汽车 (EV) 车载充电器 (OBC) 中出现双向功率流功能，这些系统不仅支持传统的电网到车辆充电，还支持应用中的反向功率流。随着 EV 越来越多地用作移动电源，增强的安全措施对于保护用户免受绝缘故障所引发的潜在电击危险伤害至关重要。因此，对绝缘监测存在下述新要求：

- 在 V2X 配置中，车辆既不连接到直流快速充电器，也不连接到交流充电站，因此不能使用由 RCD 或外部充电器中 IMD 电路提供的绝缘监测功能。
- 当 OBC 在反向功率模式（直流转交流）下运行时，动力总成采用隔离式直流-交流拓扑；因此，位于 BMS 侧的 IMD 只能检测直流侧故障，无法检测转换器交流侧可能发生的绝缘故障。
- 出于这些原因，车载充电器的交流输入侧必须集成绝缘监测设备，以涵盖 V2X 工作场景，如图 1-1 中的红色框所示。

1.2 系统要求

OBC 必须满足许多绝缘监测要求，以便在 V2L 和 V2H 运行期间保持安全。针对这些需求的最新法规是 GB/T 18487.4-2025，*电动汽车传导式充电和放电系统 - 第 4 部分：电动汽车的放电要求*。该标准于 2025 年 4 月 25 日发布，定于 2025 年 11 月 1 日实施。该标准扩展了与安全相关的绝缘监测规则，以前仅限于充电 (GB/T 18487.1/2)，现在涵盖车辆至负载 (V2L)、车辆至家庭 (V2H) 和车辆至电网 (V2X) 放电操作。以下列表简要介绍了 OBC 系统的绝缘监测要求：

- 适用性：
 - 适用于 EV 的所有传导式直流到交流或直流到直流放电功能，通过这些功能可为外部负载、建筑物或电网馈电。
 - 包含独立式和集成式 OBC 架构。IMD 电路必须安装在相线 | 中性线和 PE 之间。
 - 要求车辆符合标称交流输出电压 ≤250V 且直流输出电压 ≤1000V 的要求。
- 精度：
 - 绝缘电阻是 L 到 PE 或 N 到 PE 的最小值。
 - 故障状态：R < 500 Ω/V；安全状态：R > 500 Ω/V。
 - IMD 电路必须能够识别对称和非对称绝缘故障。
- 响应时间：
 - 放电阶段中的实时 IMD。
 - 绝缘监测周期必须小于 10s。
 - 绝缘监控响应时间必须小于 100ms。
- 高电势 (Hi-Pot) 测试：
 - 工作电压介于 300V 和 690V 之间时为 2000VAC 或 2930VDC。
 - 测试 60s，或使用 1.1 倍额定电压测试 1s。
 - 测试期间无故障，漏电流小于 10mA。

除了上述要求外，还有交流侧 IMD 中未明确提及的直流侧 IMD 要求，以及取决于全球不同地区的 OEM 的要求。

- 预放电阶段、闭合后阶段和关断阶段的绝缘监测序列。
- 自诊断：加电自检、定期自检、CAN 报告和故障存储器。

与其他安全设备交互：与交流侧的 RCD 电路交互，或与电池管理系统 (BMS) 或充电器中的 IMD 电路交互。

1.3 典型挑战

与直流型绝缘监测不同，由于车辆中采用交流绝缘，并且工作场景多种多样，因此交流型绝缘监测面临着额外的困难。下列几点概述了主要挑战，并对每项挑战进行了简要分析。

1.3.1 Y 电容器的影响

车载充电器 (OBC) 的交流侧通常包含一个两级 EMI 滤波器，以及一个作为该滤波器关键元件的 Y 型电容器。在 V2L 场景中，外部负载还在负载侧配备了独立的 EMI 滤波器，为该电路进一步增加 Y 电容。由于事先不知道负载的 Y 电容器的值，因此组合电容可能会上升到高达 100nF，这会使绝缘监测设计变得非常复杂。

Y 电容器会以两种方式影响测量，电容器在瞬态周期内引入误差并使稳态读数失真。Y 电容器的影响演示了典型的交流电压检测电路。顶部的波形显示了真实的交流电压。在下部面板中，绿色迹线表示忽略 Y 电容器时检测到的电压；红色迹线表示考虑 Y 电容器的影响时实际检测到的电压。

Y 电容器的影响演示了交流电压检测环路中由 Y 电容器引入的两种不同的误差机制。

- 瞬态误差 (图 1-2)：在测量开始时 ($t = 0.025\text{s}$)，电容器必须通过检测电阻进行充电。在此充电期间内，测得的电压偏离真实值；只有在电压稳定后，读数才会变得准确。
- 稳态误差 (图 1-3)：由于 Y 电容器表现出与频率相关的阻抗，因此检测到的波形相对于实际交流电压发生了相移。检测到的电压比真实电压超前，相位领先随着电容的升高而增加。

Y 电容器的影响

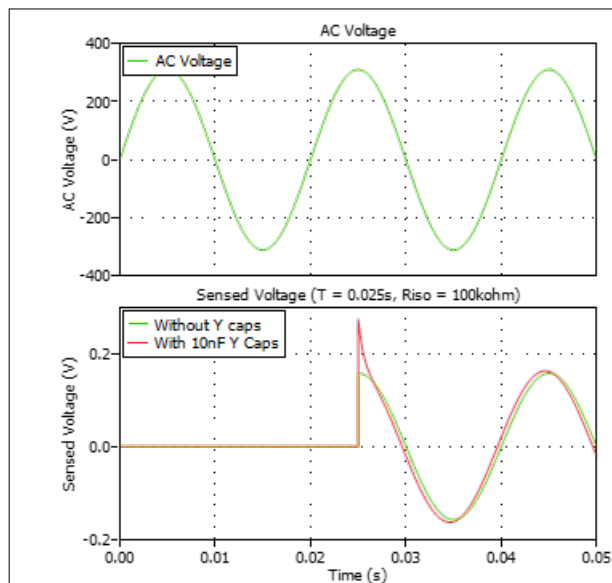


图 1-2. 瞬态误差稳定时间

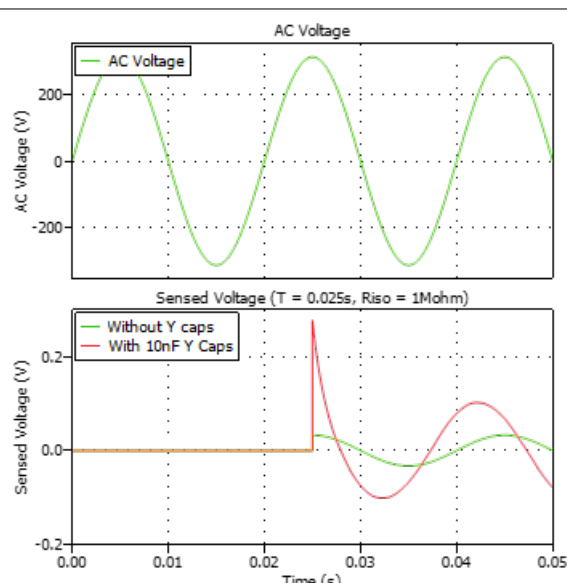


图 1-3. 稳态误差相位延迟

时间常数 ($\tau = R \times C$) 决定了两种效应的严重程度。较大的 τ 会延长充电和放电周期，从而延长稳定时间并放大相位偏差。对于给定的 Y 电容，降低 IMD 测量网络中的电阻 (例如，降低 R) 可降低 τ ，从而提高测量精度。

1.3.2 高电势测试

通常，在车载充电器的交流侧和保护接地之间执行 Hi-Pot 测试。图 1-4 展示了标准的 Hi-Pot 测试设置。根据 GB/T 18487.1-2023，当设备的额定绝缘电压介于 690V 和 800V 之间时，应施加两个 830V DC 的测试电压。Hi-Pot 测试对 IMD 电路提出了两个主要要求：

- 耐受电压：IMD 必须能够承受两个 830V DC 的全部应力，而不会出现性能下降或故障。
- 漏电流限值：在施加电压期间，测得的漏电流必须保持在标准指定的阈值以下。

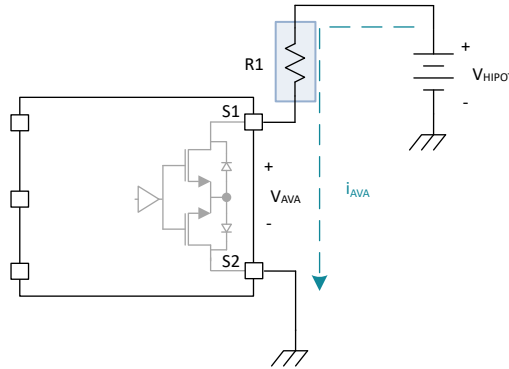


图 1-4. Hi-Pot 测试示意图

1.3.3 宽交流电压范围

如果 IMD 电路不包含专用电压源，则电路必须依靠单独的交流线路电压作为激励。这种依赖会产生两个潜在的困难：

- 电压峰值下的分辨率：准确的绝缘监测需要在波形峰值附近进行测量，该处的信噪比最高。如果在过零点处测量，则检测到的电压基本上为零，运算放大器的输入失调电压在读数中占主导地位，因而导致较大的误差。因此，保证在非常接近交流峰值处进行检测是一项挑战。
- 可变交流振幅：在 V2H 运行中，逆变器的输出必须跟踪电网电压，该电压在很宽的范围内变化。由于判断绝缘失效所用的基准电压来自交流线路，因此可接受漏电流的阈值必须适应瞬时振幅。在这些变化的条件下定义独立于电压的稳健故障标准因此存在挑战性。

2 绝缘监测架构

常见的 IMD 选项有三种（根据不同的绝缘监控要求）：基本架构、双开关架构和有源单开关架构。

2.1 基本架构

图 2-1 显示了基本架构的方框图和等效电路。 R_{isoL} 是相线和 PE 之间的绝缘电阻。 R_{isoN} 是中性线和 PE 之间的绝缘电阻。 R_{stL} 和 R_{inL} 是相线和 PE 之间的电阻分压器。 R_{stN} 和 R_{inN} 是中性线和 PE 之间的电阻分压器。

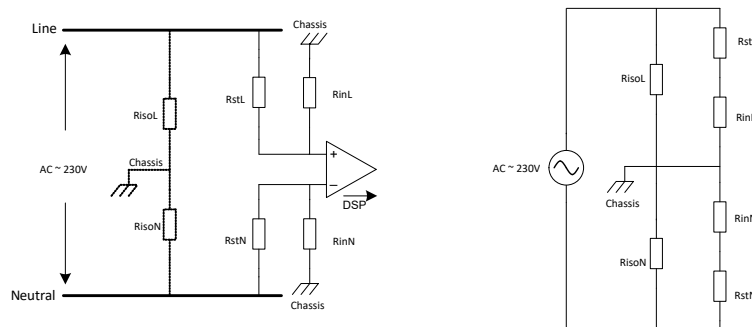


图 2-1. 基本架构的方框图和等效电路

该架构的基本工作原理是两个串联电阻测量两个电压，然后运算放大器将差分电压转换为单端电压。

2.2 双开关架构

图 2-2 显示了双开关架构的方框图和等效电路。双开关架构与基本架构之间的主要区别在于相线和中性线之间使用了两个开关。

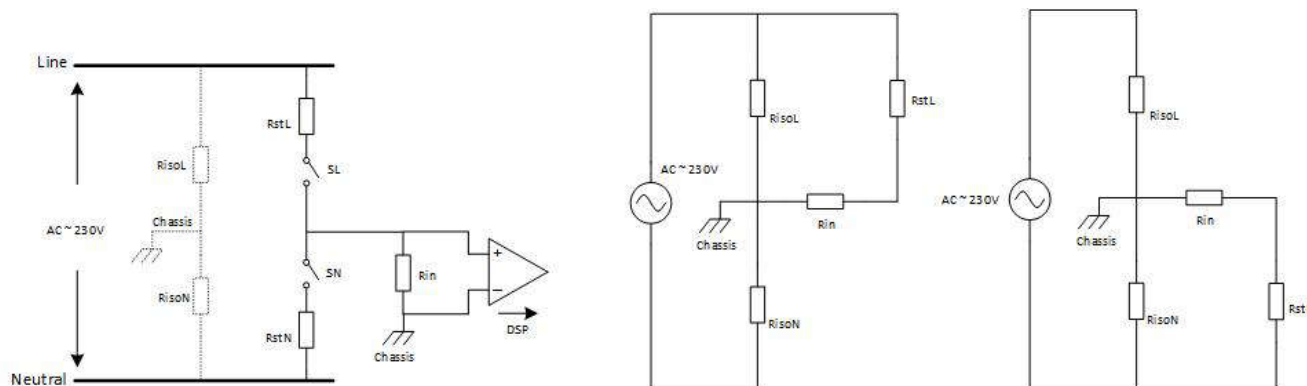


图 2-2. 双开关架构的方框图和等效电路

基本工作原理是交替闭合这两个开关，形成两个不同的等效电路。两个等效电路对应于两个不同的方程，从而求解两个绝缘电阻 R_{isoL} 和 R_{isoN} 的值。TIDA-010232 是基于此架构的参考设计。

2.3 有源单开关架构

图 2-3 显示了有源单开关架构的典型方框图和等效电路。在图中，IMD 电路连接到中性线，该电路也可以放置在相线或底盘中。这种架构的特点是具有一个开关和一个外部偏置电源。

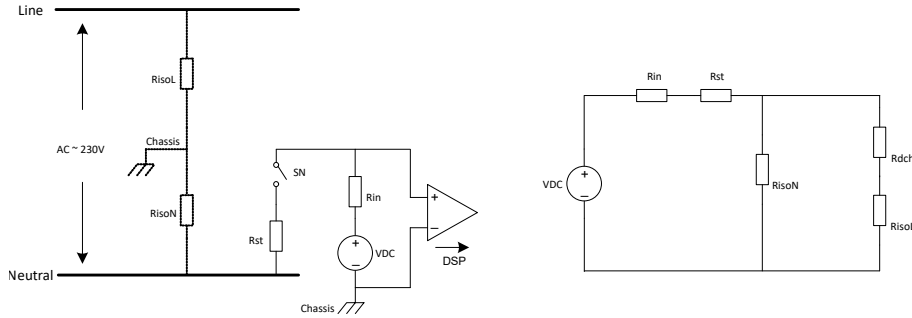


图 2-3. 有源单开关架构的方框图和等效电路

基本工作原理基于 SN 闭合时的等效电路。直流偏置电源是电路的电压源。可以根据电阻分压器来求解系统的有效绝缘电阻。

2.4 架构比较

在前面的分析和等效电路的基础上，表 2-1 总结了三种 IMD 架构的特性。

表 2-1. 架构比较

架构	基本	双开关	有源单开关
元件	运算放大器 × 1	开关 × 2 + 运算放大器 × 1	开关 × 1 + 运算放大器 × 1 + 直流偏置 × 1
精度	低	高	中
软件工作	低	高	中
成本	低	高	中
Y 电容器的影响	高	中	低
特性	对称 非对称故障	否	是
	检测故障位置	是	否
	计算绝缘电阻	否	是
	在没有交流电压的情况下运行	否	是
黄金法则	$(R_{isoP} - R_{isoN}) \uparrow \rightarrow V_{in} \uparrow$	$R_{isoP} \downarrow \rightarrow V_{in} \downarrow, R_{isoN} \downarrow \rightarrow V_{in} \uparrow$	$R_{sys} \uparrow \rightarrow V_{in} \uparrow$

3 主要元件

高压开关和电压检测电路是绝缘监测设备 (IMD) 的两个关键元件。该开关改变了 IMD 的等效网络，因此微控制器 (MCU) 可以确定系统阻抗。常用的开关是机械继电器，但继电器大而沉重，并且长时间运行后往往会出现可靠性丧失。

电压检测一般通过运算放大器或隔离式放大器进行；这种选择决定了可实现的精度和隔离级别。测量路径中的串联电阻也会对检测精度产生重大影响，因此必须适当选择标称值和容差才能满足总体精度规格。

最后，MCU 的放置是一个关键的设计决策。下面的讨论假设 MCU 位于 IMD 的低压侧并且共享车辆底盘接地。该拓扑简化了接地和通信，但对高压前端设计产生了额外的限制。

3.1 固态继电器

固态继电器 (SSR) 使用半导体 FET 构建具有隔离栅的高压开关。与传统的机电继电器相比，SSR 具有许多明显的优势。

- 高可靠性：由于没有移动触点，SSR 不存在磨损、电弧和接触反弹。SSR 的额定寿命通常是机电继电器的 10 - 100 倍，并且 SSR 不受振动、冲击、灰尘和湿度影响，可在很宽广的温度范围内运行。
- 快速开关：与机械继电器在几毫秒内开关并表现出反弹相比，SSR 可达到微秒范围的开关时间且无反弹操作，从而实现更干净的测量电压和更快的故障检测。
- 可预测的电气参数：与可变接触电阻和机械继电器不受控制的泄漏不同，SSR 的导通状态电阻和漏电流规格受到严格限定，在整个生命周期内保持稳定。
- 简单电路：SSR 可以直接由逻辑级信号驱动；SSR 不需要专用驱动器或单独的电源来进行线圈激励，因此可减少元件数量并降低设计复杂性。
- 紧凑尺寸：SSR 在小型封装内集成了电容隔离功能，无需机电继电器典型的笨重线圈、驱动器和辅助电源元件，从而节省了 PCB 面积。

这些优势直接满足车载充电器绝缘监测功能的高周期、安全关键型要求，因此 SSR 是机械继电器的优选替代品。表 3-1 包含 SSR 与传统选项的并排比较。

表 3-1. SSR 与传统选项的比较

规格	TI 固态继电器	PhotoMOS	继电器
关断时间	<400 μ s	<4ms	$\approx$ 10ms
$I_{\text{Avalanche}}$	<1mA	<1mA	x
导通电阻	$\approx$ 300 Ω	$\approx$ 500 Ω	<1 Ω
尺寸	小	小	大
AEC	合格	不合格	合格

TPSI2140-Q1 是德州仪器 (TI) 的单通道、高压固态开关，集成了 MOSFET 功率器件和隔离式栅极驱动接口。图 3-1 中的图显示了 TPSI2140-Q1 器件的方框图。该器件具有 200V 开/关能力，可承受 1mA 雪崩电流长达 60 秒，因此能够进行高电势 (Hi Pot) 测试。该器件适用于双开关和有源单开关架构中的实现场景。

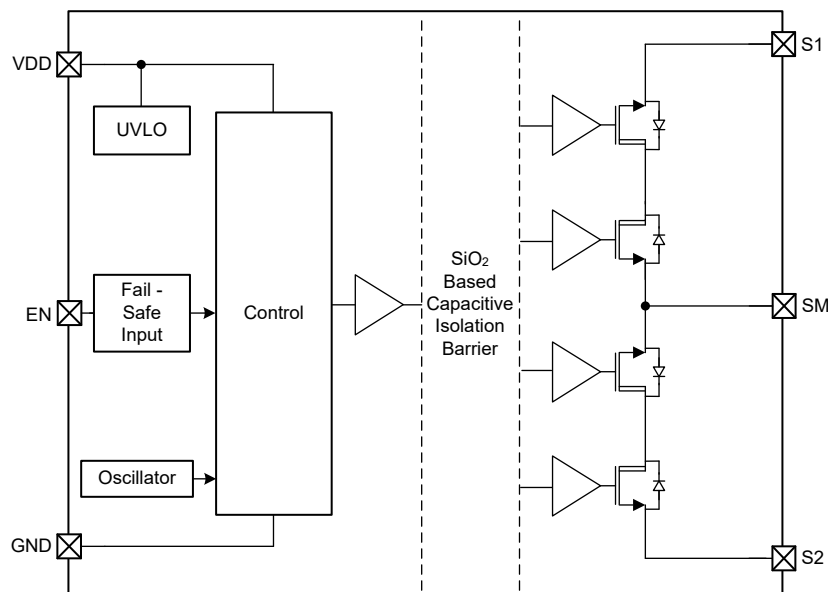


图 3-1. 单向 SSR TPSI2140-Q1 方框图

TPSI2072-Q1 是德州仪器 (TI) 的双通道、高压固态开关，集成了 MOSFET 功率器件和隔离式栅极驱动接口。该器件适合双开关架构中的实现场景。TPSI2072-Q1 的示意图如图 3-2 所示。

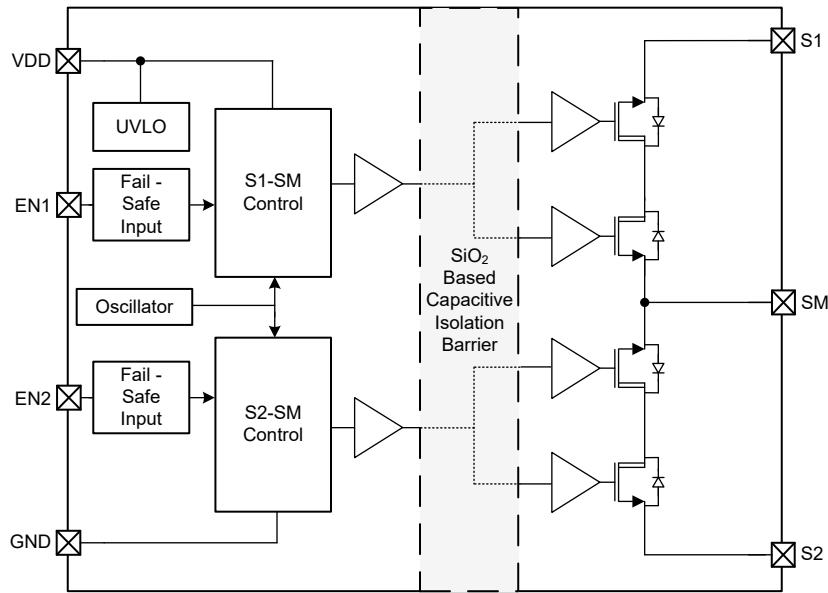


图 3-2. 双向 SSR TPSI2072-Q1 方框图

下面是在 IMD 中使用固态继电器时需要考虑的关键规格：

- 隔离栅：在使用半导体技术方面，TPSI2140-Q1 和 TPSI2072-Q1 器件可在 1000Vrms 交流或 1500V 直流条件下支持隔离超过 26 年。
- 关断电压：如果施加在 SSR 上的外部电压低于关断电压，则只有 1uA 的漏电流从 S1 流向 S2 或从 S2 流向 S1。与传统继电器相比，它们无需担心触点粘滞。
- 雪崩电流：该规格在 Hi-Pot 测试中受到挑战。在 Hi-Pot 测试期间，对 R_{st} 和 SSR 施加 $\approx 2kV$ 到 $3kV$ 的电压。由于 SSR 的关断电压为 1.2kV，需要使用 R_{st} 来限制电流，且不应超过 SSR 的雪崩电流限制。在考虑 Hi-Pot 测试时， R_{st} 选择在可靠性和检测精度方面进行权衡。
- 导通/关断时间：根据节 2 中先前的分析，Y 电容器会显著影响 50Hz 或 60Hz 系统的稳定时间。Y 电容器有助于抑制 OBC 系统中的 EMI，但较大的 Y 电容器会缩短 IMD 的检测窗口。因此，必须仔细选择 Y 电容的值，以便在 EMI 的优势和电路设计期间的 IMD 权衡因素之间实现平衡。
- 导通电阻：当单个继电器对主路径进行分压时，导通电阻会影响检测精度。

3.2 电压传感器

电压传感器提供准确的实时电压信息，为绝缘监测系统的每个功能提供基础：

- 高灵敏度：精密的电压传感器可以解析由几个兆欧级绝缘故障引起的毫伏级变化，从而能够在出现危险电流泄漏之前及早检测到性能下降。
- 快速响应：快速响应的电压传感器可跟踪瞬态电压变化，从而允许 IMD 算法滤除噪声并保持测量精度。

电压传感器电路由一个高压电阻分压器和一个运算放大器构成。电阻分压器是与 SSR 连接的 IMD 电路的关键元件。高压电阻器不仅设置测量标度，还会限制雪崩电流，以满足系统的精度要求。为此，可以使用标准运算放大器，例如 LM2904B-Q1。在功率因数校正 (PFC) 微控制器上实现绝缘监测功能时，必须使用具有单独高压电源的隔离式放大器，以在高压侧和控制侧之间保持适当的隔离。

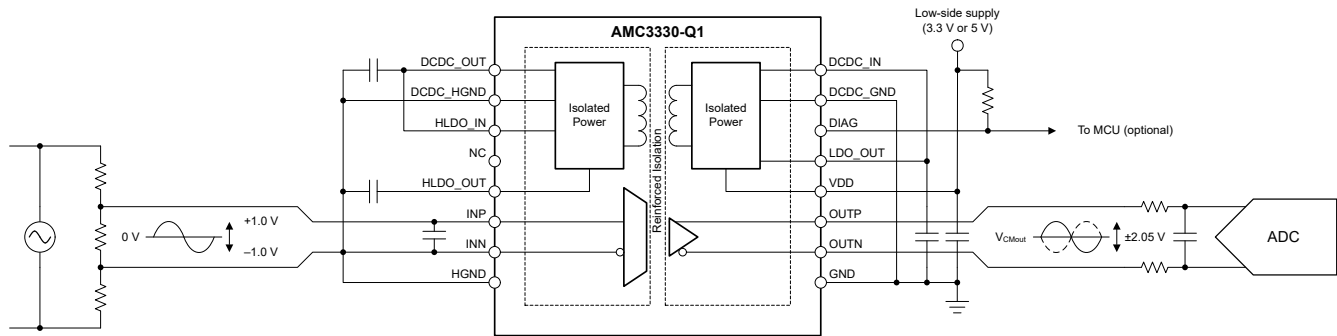


图 3-3. AMC3330-Q1 典型应用

图 3-3 是隔离放大器的方框图。交流电压在 PFC 侧 MCU 的高压侧测得；而 IMD 电路以车辆底盘为基准。使用 AMC3330-Q1 时，无需在高压侧使用单独的隔离式电源，因而简化了设计，同时保持所需的隔离。

3.3 DC 电源

仅在单开关拓扑中需要直流电源。较高的直流电压通常可提高检测精度，因为这种类型的电压降低了交流线路电压对测量的相对影响。通常使用升压转换器从车辆的低压电池（通常为 12V，范围为 8V 至 16V）获得这种较高的电压。

TI 提供的 TPS61170-Q1 升压转换器在 1.2MHz 电压下运行，可提供高达 38V 的电压，并且即使在轻负载下也能保持良好的效率，这使得该器件可能作成经济实惠的方法，为绝缘监测电路生成稳定 VDC。

另一种选择是在变压器上添加一个额外的绕组，为栅极驱动器提供隔离式辅助电源。此替代方案无需使用单独的升压转换器，但此方案会使变压器设计变得复杂，并使电压调节变得更加困难、尤其是在轻负载条件下。

4 总结

随着电动汽车普及速度的加快，具有 V2X 功能的双向车载充电器 (OBC) 变得至关重要。系统级分析表明，交流侧剩余电流器件 (RCD) 和 BMS 中的直流侧绝缘监测器件 (IMD) 都无法满足 V2X 运行的绝缘监测要求。通过研究 OBC 的 V2X 要求和传统 DC-IMD 的基础知识，本文档介绍了三种可行的 AC-IMD 拓扑，并使用所包含的计算评估了这些拓扑的优缺点。

基本架构目前提供了一种成本更低的选项，但该架构的性能有限。双开关架构以目前相对较高的成本提供最高性能。有源单开关架构需要外部电源，但目前性能和成本之间实现了更好的平衡。

通过将这些检测方案与 TI 提供的适当固态继电器器件集成，设计人员可以在启用 V2X 的 OBC 中完美地平衡精度、速度检测、尺寸和可靠性。

5 参考

1. 德州仪器 (TI)，应用手册《采用有源单开关架构的车载充电器系统中的绝缘监测器件 (IMD) 设计》
2. 德州仪器 (TI)，固态继电器如何简化高电压应用中的绝缘监测设计技术白皮书
3. 德州仪器 (TI)，TIDA-010232 参考设计工具
4. 德州仪器 (TI)，TPSI2072-Q1 雪崩额定值为 2mA 的双通道 600V、50mA 汽车类隔离开关，适用于绝缘监测和高压测量数据表
5. 德州仪器 (TI)，TPSI2140-Q1 具有 2mA 雪崩能力的汽车级 1200V、50mA 隔离开关数据表

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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