

# 比较 HEV/EV 中基于采样电阻和基于霍尔传感器的隔离式电流检测解决方案



Krunal Maniar

## 引言

与汽油或柴油车辆相比，电动汽车 (EV) 和混合动力汽车 (HEV) 具有更高的燃油效率和更低的排放量，并且使用可再生能源供电，因此其全球市场正以迅猛速度增长。要控制 HEV/EV 动力总成子系统（例如牵引逆变器、车载充电器(OBC)、直流/直流转换器和电池管理系统 (BMS)）的能量流并优化效率，精准的电流测量至关重要。这些高电压子系统必须在通常大于 400V 的高电压下测量大电流。因此，在严苛的汽车环境中进行此类电流测量时需要实现隔离和高性能。

## 不同的隔离式电流测量方法

每个 HEV/EV 应用都具有不同的成本、精度、信号带宽、延迟、测量范围、隔离等级和封装尺寸要求，有多种隔离式电流测量方法可供使用。不过，HEV/EV 子系统中使用的主要方法有两种，一种是基于采样电阻：使用隔离式放大器（图 1）或隔离式调制器（图 2），另一种是基于霍尔传感器：使用开环（图 3）或闭环（图 4）霍尔传感器。

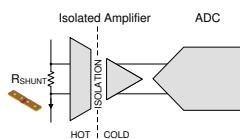


图 1. 隔离式放大器

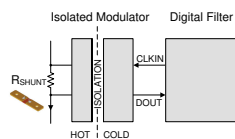


图 2. 隔离式调制器

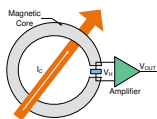


图 3. 开环霍尔传感器

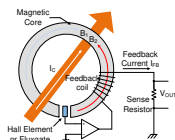


图 4. 闭环霍尔传感器

## 基于采样电阻和基于霍尔传感器方法的比较

过去，设计人员更偏向将基于采样电阻的解决方案用于低电流 (<50A) 测量，将基于霍尔传感器的解决方案用于高电流 (>50A) 测量。但是，由于电流测量精度要求越来越高，汽车供应商逐渐从基于霍尔传感器的方法转而采用基于采样电阻的方法，尤其是在高电流环境中。

汽车供应商甚至趋向于从基于隔离式放大器的解决方案转向基于隔离式调制器的解决方案，以便进一步提高测量精度。

德州仪器 (TI) 提供先进的隔离式放大器和隔离式调制器，配合高精度采样电阻使用，可帮助在整个温度范围内实现非常精确的隔离式电流测量。表 1 显示了在高电流汽车环境中，基于采样电阻和基于霍尔传感器的隔离式电流检测解决方案的基本差异。

表 1. 基于采样电阻和基于霍尔传感器的隔离式电流检测之间的差异

类别	基于采样电阻	基于霍尔传感器
解决方案尺寸	类似	类似
失调电压	超低	中
不同温度下的温漂	低	中
精度	校准后 <0.5%	校准后 <2%
噪声	超低	高
带宽	类似	类似
延迟	类似	类似
非线性度	超低	高
长期稳定性	非常高	中
成本	类似	类似
振动影响	超低	低
功率耗散	低	超低
定制	灵活	有限

## 基于采样电阻和基于霍尔传感器方法的分析

- 霍尔传感器本来就是隔离的，允许采用单模块方法。另一方面，基于采样电阻的解决方案则需要一个隔离式放大器或调制器，以及一个用于高共模电压侧的隔离式电源。
- 基于采样电阻的解决方案具有非常低的初始失调电压，随温度变化的温漂较低并且不易受到外部磁场的影响。
- 与基于霍尔传感器的非线性解决方案相比，基于采样电阻的解决方案在整个电压范围内是线性的，尤其是在过零点处和磁芯饱和区域附近时。
- 基于霍尔传感器的解决方案只能进行一次基本校准，而基于采样电阻的解决方案可在整个温度范围内实现更高的直流精度。由于对外部磁场的敏感度有限，基于采样电阻的解决方案的准确度要高得多，在低电流情况下尤其如此。

- 直列式采样电阻上的压降会导致产生热耗散和功率损耗。但是，随着采样电阻技术的改进，采样电阻变得更轻便、欧姆值更小、精度和漂移性能也得到改善。使用低欧姆值采样电阻可降低热耗散。此外，德州仪器 (TI) 的隔离式放大器和调制器支持非常小的输入电压范围 ( $\pm 50\text{mV}$  和  $\pm 250\text{mV}$ )，并具有出色的总体精度。采样电阻技术的这些改进，加上可以使用具有小输入范围的隔离式器件，可使系统在不影响总体测量精度的情况下实现更低的热耗散。
- 霍尔传感器的工作温度范围一般是有限的 (通常为  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $+85^{\circ}\text{C}$ )，而基于采样电阻的解决方案可支持更高的工作温度范围 (通常为  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $+125^{\circ}\text{C}$ )。
- 基于霍尔传感器的解决方案和基于采样电阻的隔离式放大器解决方案提供类似的信号带宽，通常高达几百千赫兹 (kHz)。不过，隔离式调制器提供一个高速位流输出，支持用户在外部实施和自定义数字滤波。借助此类定制，用户可以开发具有高信号带宽和低延迟的解决方案。

### 牵引逆变器中基于采样电阻的隔离式电流检测

牵引逆变器控制电机，是 HEV/EV 传动系统中的关键元件。牵引逆变器需要在高共模电压下进行准确的电流检测。因此，可以使用两种基于采样电阻的方法之一来实现牵引逆变器中的电流测量。

图 5 展示了热侧 (高共模电压) 采样电阻上的压降通过汽车级增强型隔离式放大器 (如 AMC1301-Q1) 与冷侧隔离。

图 6 展示了第二种基于采样电阻的测量方法，该方法使用汽车级增强型隔离式调制器 (如 AMC1305M25-Q1) 将热侧采样电阻上的压降与冷侧隔离。

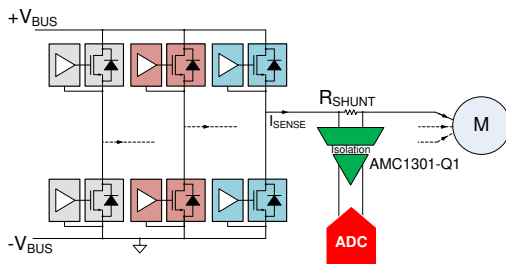


图 5. 使用隔离式放大器进行隔离式电流测量

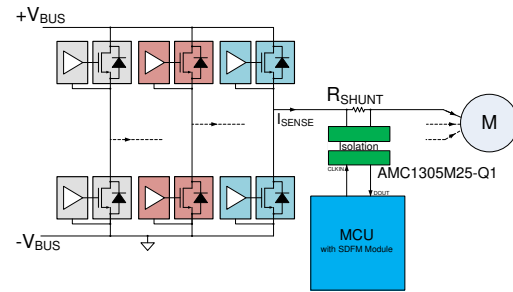


图 6. 使用隔离式调制器进行隔离式电流测量

为了提高测量精度，请使用隔离式调制器，因为该解决方案无需额外的模数转换级，并可以避免因此造成的相关误差。隔离式调制器的高速位流输出由 TI C2000 系列 (具有内置  $\Sigma$ - $\Delta$  滤波器模块 (SDFM)) 等微控制器 (MCU) 进行滤波，或由 FPGA 进行滤波，从而使用户能够对信号带宽和精度进行微调。

### 汽车隔离式器件建议

器件	隔离	说明
AMC1305-Q1	增强型	$\pm 50\text{mV}$ 、 $\pm 250\text{mV}$ 隔离式调制器
AMC1301-Q1	增强型	$\pm 250\text{mV}$ 隔离式放大器
AMC1302-Q1	增强型	$\pm 50\text{mV}$ 隔离式放大器

### 结论

HEV/EV 子系统中的隔离式电流检测有多种测量方法，包括基于采样电阻的方法和基于霍尔传感器的方法。随着经济实惠的高精度采样电阻以及高性能隔离式放大器和调制器的不断发展，基于采样电阻的解决方案已成为基于霍尔传感器的传统解决方案的良好替代方案。

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司