

Guang Zhou and Dan Harmon

## BMS 拓扑和电流测量方法

混合动力汽车 (HEV) 和电动汽车 (EV) 在整个全球汽车市场中的份额继续扩大。这些汽车的电池管理系统 (BMS) 承担着重要的任务：使电池在安全工作区 (SOA) 内运行，监测配电情况以及跟踪荷电状态 (SoC)。在典型的 HEV 和 EV 中，同时存在高电压子系统和低电压子系统。高电压子系统具有几百伏的工作电压，直接与公用电网或高电压直流电源相连。低电压子系统通常在 48V 和 12V 电压下运行。

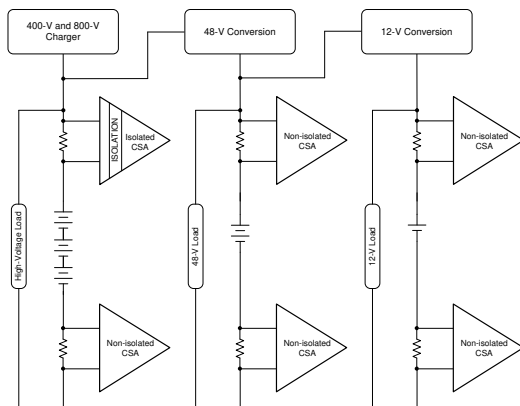


图 1. BMS 中的电流检测拓扑

高电压电池的电池组顶部测量需要隔离式解决方案。磁性解决方案可实现所需的隔离，但通常无法支持整个电流范围。TI 提供基于分流器的隔离式电流检测解决方案，例如 [AMC3301-Q1](#)。HEV/EV 中基于分流器和基于霍尔传感器的隔离式电流检测解决方案比较应用简报中汇总了其他隔离式电流检测技术的示例。48V 或 12V 电池系统电池组顶部或电池组底部的实现通常不需要隔离。

本文档重点介绍了非隔离式、基于分流器的电流检测放大器 (CSA) (也称为电流分流监测器 (CSM))，以及适用于 12V 至 48V BMS 子系统电池组底部或电池组顶部的数字功率监测器 (DPM)。基于分流器的非隔离式电流检测具有简单、低成本、出色线性度和精度的优点。基于分流器的电流检测的一个缺点是，对分流电阻器在最大电流电平下的功率损耗有要求。

### HEV 或 EV 充电器中的电流检测放大器

电池阵是任何 HEV 或 EV 的重要组件。可充电电池主要有两种类型：已有 100 多年历史的铅酸电池和自 20

世纪 80 年代才投入实际使用的锂离子电池。铅酸电池和锂离子电池都遵循特定的恒压恒流充电曲线。CSA 在确保电池保持在 SOA 内方面起着重要的作用。

在许多系统中，牵引逆变器的工作电流和充电电流可能大于 1000A。但是，当车辆熄火时，这些 BMS 系统还必须能够测量等于或小于 1A 的电流，因为许多系统仍在继续运行，例如免钥匙进入或车辆与外界的通信。BMS 系统必须在运行和车辆熄火期间尽可能精确地监测配电情况，以提供系统的总体运行状况和安全信息。荷电状态 (SoC) 与 HEV 或 EV 中电池包的电量监测等效，与行驶里程相关。电流检测是确定 SoC 的重要方法之一。除了对电池进行精密监测外，大多数汽车 BMS 系统还需要具有宽松精度要求的冗余测量，以实现系统级功能安全目标。

牵引电机电流 (>1000A) 和车外通信电流 (<1A) 之间的极端差带来了数十倍频程的高精度双向 (充电与车辆运行) 电流测量挑战。

### 确定分流电阻器的阻值

过去，使用基于分流器的拓扑来测量高电流一直富有挑战性。不过，由于有了超低电阻分流器，该方法现已可行。典型的模拟电流检测放大器具有介于 20V/V 和 200V/V 的固定增益，并由 5V 电源供电。此 5V 电源决定了最大输出电压 (忽略相对于电源的摆幅限制)，当我们除以两个增益极值时，可得到 250mV 至 25mV 的满量程输入电压范围。假设双向最大电流测量为  $\pm 1000A$ ，可以计算出最大分流电阻值为  $125\mu\Omega$  至  $12.5\mu\Omega$ 。正如 TI 精密实验室 - 电流检测放大器视频中所述，放大器失调电压将主导低电流范围内的偏移量误差。如果我们使用失调电压为  $25\mu V$  的超精密 [INA240-Q1](#)，则两个分流电阻器的误差分别为 20% 和 200%。表 1 总结了这些计算以及这些分流器在 1000A 时的功率损耗。

表 1.  $\pm 1000A$  BMS 应用中的 INA240-Q1 分流电阻器阻值、偏移量误差和功率损耗计算

增益选项	INA240A1 : 20V/V	INA240A4 : 200V/V
满量程输入	250mV	25mV
最大分流电阻	$125\mu\Omega$	$12.5\mu\Omega$
1A 时的偏移量误差	20%	200%
1000A 时的 $P_{DIS}$	125W	12.5W

## 解决数十倍频程难题

在这种情况下，需要超精密、低失调电压解决方案。TI 的 DPM 是专用于测量电流的模数转换器 (ADC)。大多数器件也可以监测总线电压，还可以计算功率。满量程输入范围根据典型 ADC 按比例缩小，以适应分流电阻器上典型的小信号压降。INA229-Q1 (SPI 接口) 和 INA228-Q1 (I<sup>2</sup>C 接口) 是 20 位 DPM， $V_{\text{OFFSET}} = 1\mu\text{V}$ ，具有  $\pm 163.84\text{mV}$  满量程输入范围。定义满量程输入范围后，最大分流电阻值的计算就非常简单，只需将满量程输入除以最大电流即可： $163.84\text{mV} \div 1000\text{A} = 163.84\mu\Omega$ 。使用更常见的  $100\mu\Omega$  分流电阻器来计算 1A 时的 1% 误差。

最后的误差校验是为了验证集成式 ADC 能够测出小于偏移量误差级别的信号电平。INA228-Q1 和 INA229-Q1 具有一个 20 位  $\Delta$ - $\Sigma$  转换器，其中一位是符号位。将  $163.84\text{mV}$  的满量程输入除以 19 位分辨率，可得到  $312.5\text{nV}$ /最低有效位 (LSB)。这对应于  $100\mu\Omega$  分流电阻器上的  $3.1\text{mA}$  电流，远低于 1A 的目标最小电流电平。

如果需要精确测量更低的电流电平，则可能需要进行系统校准。零漂移器件可实现单点校准，并通过在整个温度范围内提供稳定的性能，使这种具有挑战性的设计成为可能。

对于 HEV 和 EV BMS 子系统电流检测，INA229-Q1 或 INA228-Q1 是具有 85V 共模规格和  $\pm 1\mu\text{V}$  超低失调电压的 48V 或 12V 系统中任何电池组底部实现或电池组顶部实现的理想选择。业界通用数字接口可以利用现有的通信总线进一步简化设计。具有 80V 共模电压范围的 INA240-Q1 可用于 48V 系统电池组顶部测量，适用于冗余实现或需要更小总动态范围的应用。所有这三种器件均采用 TI 专有的零漂移技术制造，可在需要时启用单点温度校准，从而解决电流精度较低的问题。

## 汽车器件建议

除 INA229-Q1 和 INA228-Q1 之外，TI 还提供其他数字输出电流、电压和功率监测器。表 2 和表 3 汇总了一些示例产品和相关技术文档。

表 2. 备选器件建议

器件	数字接口	说明
INA239-Q1	SPI	85V、双向、零漂移、16 位、低侧或高侧、SPI 电流/电压/功率监测器
INA238-Q1	I <sup>2</sup> C、SMBUS	85V、双向、零漂移、16 位、低侧或高侧、I <sup>2</sup> C 电流/电压/功率监测器
INA226-Q1	I <sup>2</sup> C、SMBUS	36V、双向、零漂移、16 位、低侧或高侧、I <sup>2</sup> C 电流/电压/功率监测器

表 3. 相关技术手册

文献编号	文献标题
SBAA325	在 HEV/EV 低电压 BMS 子系统中使用 INA226-Q1 进行电流检测
SBOA170	集成式电流检测模数转换器

## 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