

## Application Brief

## 运算放大器助力电动汽车未来充电技术发展



Jaswin Jabbal and Esteban Garcia

## 引言

不断壮大的电动汽车 (EV) 市场为半导体技术提供了广阔的应用前景，这些技术不仅可以提升车辆性能，还能确保消费者的安全。随着汽车行业采用创新的电子解决方案，例如车载充电器 (OBC) 和直流快速充电，电动汽车的充电能力得到了优化提升。在模拟信号链技术领域，汽车充电系统的性能通过电压调节、电流检测以及安全控制等多种方法进行评估。尽管这些系统中的架构包含多个元件，但本应用简报将介绍一个尤为重要的 IC：运算放大器。

## 直流快速充电

直流快速充电表示通过为车辆功率级提供高压交流电源（高达 800V）来向电动汽车输送峰值电力。功率级会首先将该交流电转换为 800V 的直流电。这种高压直流电用于为车辆的电池充电。然后，使用直流/直流转换器将电压降低到约 400V，从而绕过车载充电器为电动汽车的电池充电。

为了确保系统的效率，功率级的输入和输出都会受到监测。在直流快速充电应用中，运算放大器用于监测交流/直流和直流/直流功率级内的电压/电流，以调节向车辆电池提供的电压。如果检测到这两个电压之间存在不一致，系统将通过电源数字处理单元进行校正。使用运算放大器监测此类系统有两种关键方法。

一种方法是可以实现电阻分压器来降低高侧电压轨的电压。在这种情况下，放大器（本例中为 OPA4991-Q1）会读取相对于其输入的适当电压值，然后将其传输给电源数字处理单元。虽然通过该方法监测电压轨具有成本效益，但由于电阻分压器的存在，这种方法通常会消耗较高的功率。

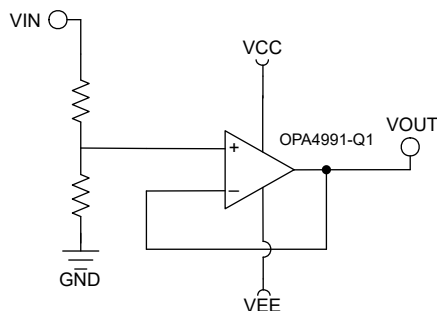


图 1. 使用 OPA4991-Q1 进行分压

另一种方法是可以使用隔离式放大器来直接监测高压电池轨，例如使用 TI 的 AMC1301-Q1 精密隔离式放大器。在这里，隔离式放大器会将相对于输入的较高电压降到 3.3V 的差分输出。然后，TLV9001-Q1 等低压放大器接收该差分信号并生成单端信号，以监测电压。在这种情况下，放大器在模数转换器 (ADC) 之前充当信号调节器。将差分输出 (隔离式) 放大器连接到单端输入 ADC 提供了有关将差分输出放大器连接到单端输入 ADC 的更多信息。

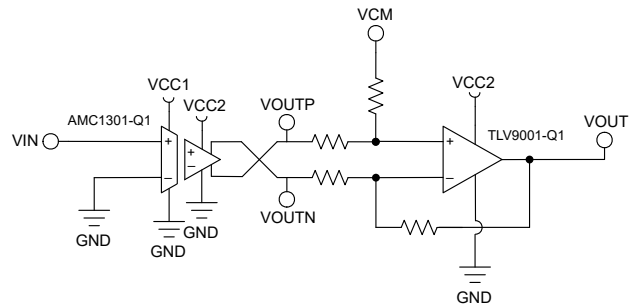


图 2. 使用 AMC1301-Q1 和 TLV9001-Q1 进行差分至单端转换

## 车载充电系统

电动汽车中的车载充电系统 (OBC) 是外部充电电源与车内驱动动力总成的电池组之间的中间系统。OBC 提供了多种优势，包括能够通过集成转换器使用交流电源，并通过保护电池寿命提供更大的便利。

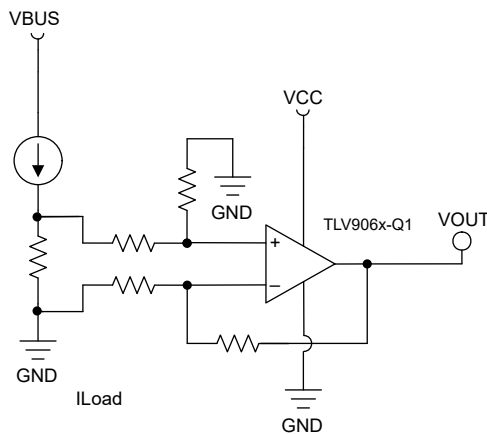
OBC 可以有效地将交流电源的电压和电流转换为直流电源，从而为电池充电。由于 OBC 系统中交流/直流转换器的输出范围为 250VDC 至 900VDC，因此可以使用非隔离式运算放大器来直接检测系统的电流。

在 OBC 中有三种不同的电流检测方法：直列式、逆变器桥臂电流检测和直流链路单一分流器，每种方法都有其优势和挑战，如表 1 所示。

**表 1. OBC 中的电流检测**

电流检测类型	优势	挑战	精度
直列式分流器	<ul style="list-style-type: none"> <li>直接、连续的相电流检测</li> <li>能够检测相间短路和相位与接地之间的短路</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放大器需要使用具有高共模抑制比的高共模输入电压</li> </ul>	高
逆变器桥臂电流检测	<ul style="list-style-type: none"> <li>由于使用共模输入电压较低的放大器，因此系统成本较低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>无法检测相位与接地之间的短路</li> </ul>	中
直流母线单分流器	<ul style="list-style-type: none"> <li>由于使用一个放大器来测量电流，因此系统成本较低</li> <li>能够测量电源电流</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放大器需要高带宽和压摆率</li> </ul>	低

直列式分流器电流检测功能让您可以直接监测每个桥臂的相位。由于共模电压等于直流母线电压（通常大于 100V），因此需要使用具有高共模输入电压范围的放大器；因此，通常优先选择隔离式放大器。如直流快速充电应用中所述，当与单端输入 ADC 连接时，差分到单端转换通常需要一个运算放大器（如 [TLV9001-Q1](#)），以保持其完整的动态范围并抵消任何引入的误差。


**图 3. 使用 TLV906x-Q1 进行低侧电流检测**

## 电动汽车通信控制器

监测每个逆变器桥臂采用低侧电流检测拓扑，由于每个桥臂的共模电压接近于零，因此无需隔离式放大器即可实现该拓扑。实现低侧电流检测有三种方法：单分流器、双分流器或三分流器拓扑。单分流器测量技术对带宽要求较高，而三分流器解决方案则需要速度较低的通用放大器，比如 [TLV9061-Q1](#)，因为您可以单独监测每个桥臂。在 OBC 系统中，为了精确地进行电流检测，关键要求是确保稳定时间尽可能短，因此该应用推荐使用 10MHz 单位增益带宽放大器（1μs 稳定时间）[TLV9061-Q1](#)，以便能够快速响应电流变化。

OBC 还能够双向运行，这意味着电力可以在车辆与外部设备之间进行双向传输。双向充电允许车载充电器将储存的直流电转换为可供使用的交流电，然后输送到电网、其他车辆或其他电子设备。此外，单相充电器的载流能力较低（与三相 OBC 相反），这一规格会影响充电速度。这一关于[低侧双向电流检测](#)的指南为如何使用低压放大器构建电路提供了参考。TI 的 [TLV906x-Q1](#) 系列放大器可通过两种方式实现低侧双向电流检测。一种方法是采用[双通道、空间优化的解决方案](#)，其中一个通道用于电压读取，另一个通道专用作基准缓冲器。另一种方法是使用具有两个单通道放大器的成本优化设计，其中 [TLV9001-Q1](#) 可用作基准缓冲器，与速度更快的 [TLV9061-Q1](#) 配合使用。

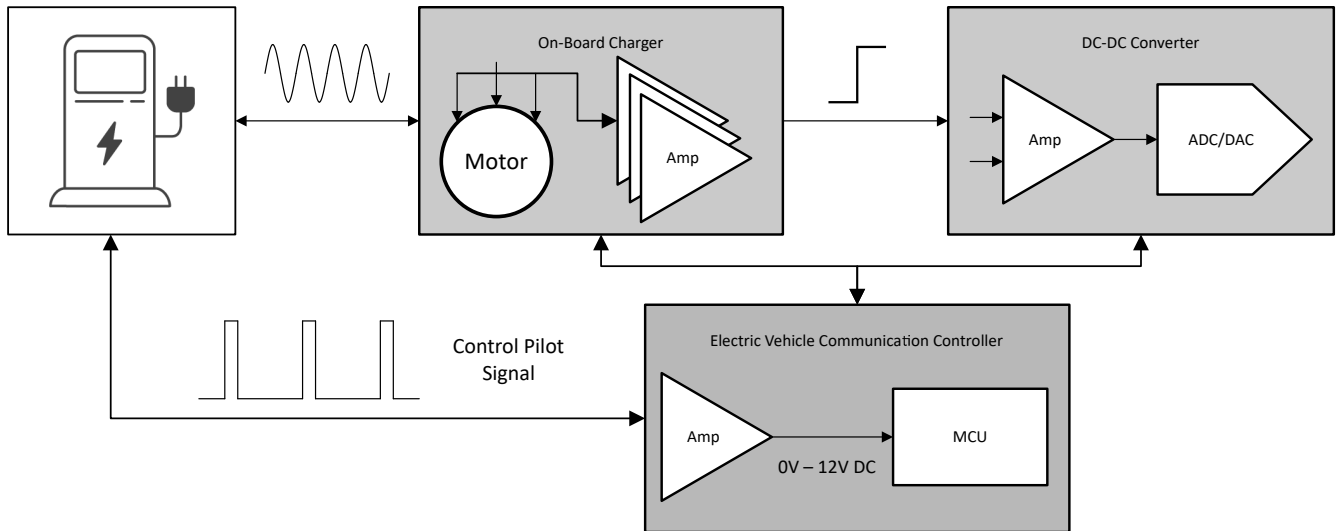


图 4. 放大器在不同充电模式中的应用

实现所有这些充电阶段的前提是首先确保服务设备已正确连接到车辆。现代电动汽车使用电动汽车通信控制器 (EVCC)。EVCC 充当外部充电设备与车辆内部元件 (比如车载充电器和直流/直流转换器) 之间的枢纽, 通过监测各元件的状态, 确保充电操作的正常进行。EVCC 提供了与车辆充电状态相关的多项关键功能。例如, 控制器会将控制引导 (数字通信) 信号转换为连接状态, 并使用控制器局域网 (CAN)、电力线通信 (PLC) 和 ISO15118 (智能充电) 来确定连接状态和运行条件。这些状态包括: 确定充电器是否在给定时间连接到车辆, 当前状态下是否允许充电, 以及检测短路等错误。无论采用哪种充电级别和充电模式, EVCC 始终与外部设备保持持续通信。

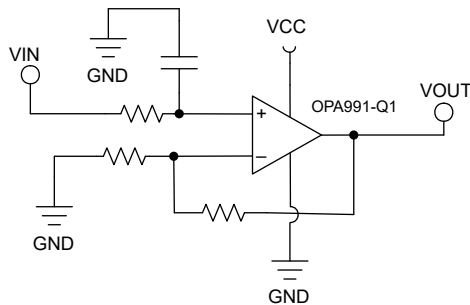


图 5. 使用 OPA991-Q1 进行 PWM 到直流转换

具有轨到轨输入和输出架构的 40V 运算放大器 **OPA991-Q1** 可以在 EVCC 中用作信号调节器。如图 5 所示，在非反相拓扑中，运算放大器通常用作低通滤波器，以将 1kHz 脉宽调制 (PWM) 信号转换为直流电压。放大器负责转换来自电动汽车供电设备 (EVSE) (例如充电站及其相关元件) 的控制引导信号，并将此信息发送到微控制器单元进行处理。放大器的输出电压取决于 PWM 的占空比 (-12V 至 +12V)，并馈送到 MCU 以表示六个不同的连接阶段：无连接、已连接、准备充电、通风连接、接地短路和错误检测。

## 结语

随着车辆中电子元件数量的增加，汽车系统中实现监控功能的机会也将增多。运算放大器能够继续提供所需的检测能力，以维持量产电动汽车中存在的高压系统，如直流快速充电和车载充电器等应用中所述。

随着市场对更快充电速度和更高功率密度的需求日益增长，汽车行业将需要集成大量的 IC；运算放大器在设计充电方案时发挥着关键作用，通过确保各项关键规格的稳健性能，有助于提高这些系统的效率。随着充电元件的不断改进，设计人员在未来的电路板布局布线中可以考虑采用 TI 的通用解决方案。

## 商标

所有商标均为其各自所有者所有。

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司