

Application Brief

HEV/EV 应用中的高压测量



Jose Maroto

许多不同的 HEV/EV 系统和子系统都需要测量高压，例如电池接线盒 (BJB)、车载充电器 (OBC) DC/DC 转换器、牵引逆变器 and 高压配电箱 (PDB) 等。

汽车市场尤其是 HEV/EV 应用中最常见的其中一个问题是尽可能开发较为精确、紧凑且经济高效的系统，这通常意味着硬件设计人员需要减小元件尺寸，甚至选择引脚数更少的器件，同时保持高性能水平。这不仅适用于模拟元件，还适用于处理元件，例如我们的 C2000™ 实时 MCU，也会受到影响。实际上，所选的处理元件及其在系统中的放置也会影响系统设计，使硬件设计人员考虑并决定隔离位置以及要使用的放大元件类型。

图 1 显示了使用 C2000 器件中集成的 ADC 转换器在 HEV/EV 中进行高压测量的典型电路。

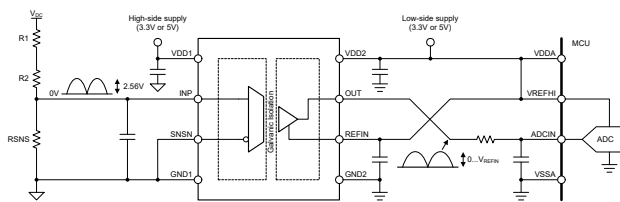


图 1. 高压测量电路示例

在设计高压测量电路时，电阻分压器通常是要考虑的第一个元件。它的主要功能是将总线电压降至适合测量链中的下一个元件放大器的水平。根据电阻器的工作电压，设计人员需要使用多个串联的电阻器，形成一个如示例中所示的电阻梯。

电阻器

传统的分立式方法通常涉及使用体积庞大且价格昂贵的高压厚膜电阻器或一长串标准的盒装公式电阻器，这是一个更经济高效的选项，但需要在电路板上留出很多空间。然而，这些电阻器通常具有显著的缺点，包括成本高昂、体积庞大以及潜在的精度误差。

作为测量链中的第一个元件，并且鉴于信号稍后被放大，尽可能减小该级的误差至关重要。电阻分压器可以占到测量链中总误差的三分之二，这主要是由于容差、温度漂移、电阻器不匹配和老化所致。新的 RES60A-Q1 系列使设计人员能够克服这些挑战。

RES60A-Q1 是一款高压匹配电阻分压器，其 HVIN 和 LVIN 引脚之间最高支持 1400V，可提供高精度、低漂移和各种标称比率 (210:1、310:1、410:1、500:1、610:1、1000:1)，从而在老化和温度范围内精确按比例降低电压。

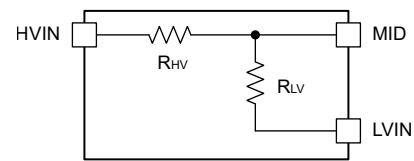


图 2. RES60A-Q1

RES60A-Q1 系列器件提供高压功能，支持设计人员将这些器件直接连接到高压总线。通过使用多个具有不同标称比率的 RES60A-Q1 器件，设计人员可以测量高压总线并将其按比例降低至多个更低电压，从而无需分立式电阻分压器。

当 RES60A-Q1 器件按比例降低总线电压后，需要缓冲信号，以便以适当的方式驱动 ADC。此外，由于所选的拓扑的原因，需要进行电隔离。在这种情况下，适合使用电压检测放大器，因为它可提供必要的缓冲和隔离。

放大器

为了尽可能实现最精确的测量，硬件设计人员现在必须考虑多种因素。增益误差、失调电压误差、温度漂移、非线性和输入阻抗等关键参数至关重要，需要仔细考虑。

此外，几个其他重要参数可以为设计人员带来巨大的好处。其中包括提供的隔离类型 (基本或增强型)、放大器输入类型 (AC 或 DC)、输出配置 (差分或单端) 以及放大器提供的集成度。通过仔细评估这些因素，设计人员可以优化其设计，并为其特定应用选择最合适的放大器。

AMC0311D-Q1 是一款高精度隔离式电压放大器，它具有多种功能，包括 2V 输入、差分输出和高达 5KV_{RMS} (V_{ISO} 持续 60s) 的增强型隔离。此外，它还提供固定增益、大于 1GΩ 的高输入阻抗以及出色的精度和极低的误差：±0.25% 增益误差和 ±0.8mV 偏移误

差以及 $\pm 50\text{ppm}$ 增益漂移和 $\pm 10\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 偏移漂移 (全部指定为最大值)。

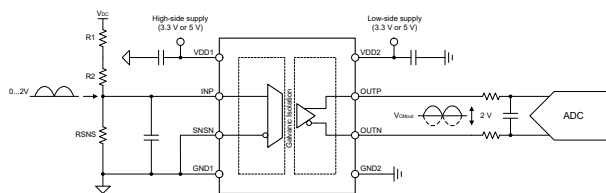


图 3. AMC0311D-Q1

如果处理元件只有单端输入 ADC 或缺少足够的输入引脚, 硬件设计人员可以考虑添加一个额外的运算放大器级, 将差分输出信号转换为单端信号, 从而通过单个引脚向处理元件提供测量结果。

OPA388-Q1 是一款高精度轨到轨输入和输出 (RRIO) 放大器, 具有高带宽 (10MHz)、零交叉和零漂移 ($\pm 0.005\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) 功能, 强烈推荐用于此类功能。

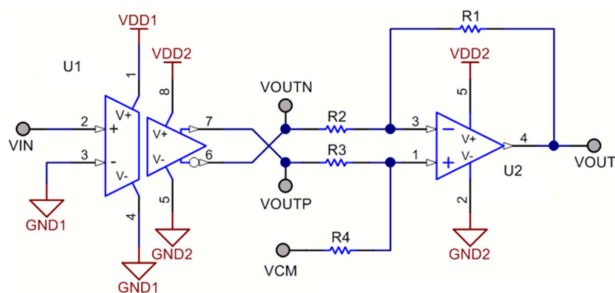


图 4. 差分至单端转换示例

然而, AMC0311S-Q1 现在提供与 AMC0311D-Q1 类似的优势, 包括 $\pm 0.25\%$ 增益误差和 $\pm 1\text{mV}$ 偏移误差以及 $\pm 50\text{ppm}$ 增益漂移和 $\pm 30\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 偏移漂移 (全部指定为最大值), 但它具有单端输出配置的额外优势, 无需使用上述第二个放大器级。

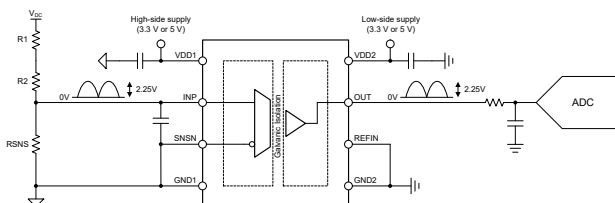


图 5. AMC0311S-Q1

设计更精确、更紧凑的系统的重要性确实正在成为 HEV/EV 的一种趋势, 因此, 设计人员可以实现的集成度越高越好。

我们的最新产品开发和产品系列中新增的放大器使设计人员能够克服最严格的限制, 并满足最严苛的系统集成度。

AMC3330-Q1 是一款 $\pm 1\text{V}$ 输入、增强型隔离放大器, 额定值为 $4.25\text{KV}_{\text{RMS}}$ (V_{ISO} 持续 60s), 专为利用差分输出进行精密测量而设计。它提供高精度, 具有 0.2% 增益误差、 $\pm 0.3\text{mV}$ 偏移误差以及低漂移、 $\pm 45\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 增益漂移、 $\pm 4\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 偏移漂移 (全部指定为最大值)。此外, 该器件还具有集成的隔离式 DC-DC 转换器, 实现在低侧由 3.3V 或 5V 电源供电进行单个电源操作。

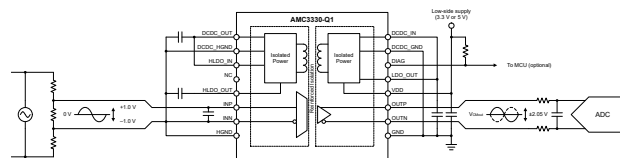


图 6. AMC3330-Q1

AMC3330-Q1 与先前讨论的 RES60A-Q1 匹配电阻器器件相结合可准确执行测量功能, 并为应用的次级侧或低压域提供隔离式 DC-DC 电源。

另一方面, AMC0381D-Q1 是一款精密高压 DC 放大器, 具有多种特性, 包括固定增益、高达 5KV_{RMS} 的增强型电隔离 (V_{ISO} 持续 60s) 以及差分输出。该器件可提供高精度, 输入阻抗高, 误差和漂移低。具体而言, 它提供 $\pm 0.25\%$ 衰减和 $\pm 1.5\text{mV}$ 偏移误差以及 $\pm 40\text{ppm}$ 衰减和 $\pm 20\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 偏移漂移 (全部指定为最大值)。此外, 该器件还具有集成的电阻分压器, 可直接连接至输入范围选项为 600V、1000V 或 1600V 的高压 DC 电源。

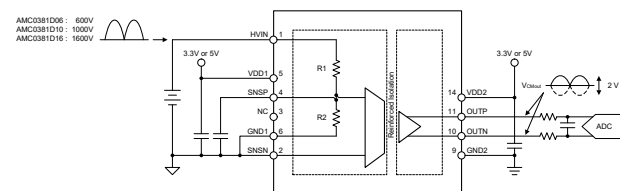


图 7. AMC0381D-Q1

图 1 展示了使用我们产品系列中具有集成式模数转换器 (ADC) 的 C2000 器件的典型电压测量电路, 但是, 还有其他基于 $\Delta-\Sigma$ 调制器的有用拓扑可以为设计带来额外的好处, 例如更高的抗噪性能。另一文档中介绍了此主题。

数字隔离器

我们的 C2000 器件提供各种通信接口, SPI 和 CAN 可能是 HEV/EV 应用中最常用的接口。为了验证不同电压域中的处理元件之间的信号可靠传输, 对这些通信总线进行适当隔离至关重要。

隔离器是一种具有高压隔离栅的电子器件, 它作为发送器 (Tx) 将信号从隔离栅的一侧传输到隔离栅的另一

侧，而在另一侧它作为接收器 (Rx) 恢复信号并将其转换为数字电平。

ISO6741-Q1 是一款高性能四通道 (3/1) 数字隔离器，专为成本敏感型应用而设计。它需要高达 $5000V_{RMS}$ 的隔离额定值，适合隔离 SPI 通信总线。

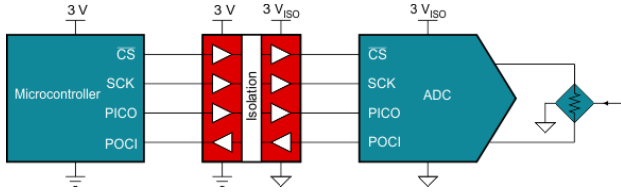


图 8. 使用数字隔离器的 SPI 总线隔离示例

如果位于不同电源域中的多个 C2000 器件通过 CAN 总线相互通信，设计人员还需要隔离总线。

ISO1042-Q1 是一款电隔离 CAN 收发器，支持 CAN FD 模式 (5Mbps)，可承受 $5000V_{RMS}$ 的电压，并提供 $\pm 30V$ 共模范围和 $\pm 70V$ DC 总线故障保护。

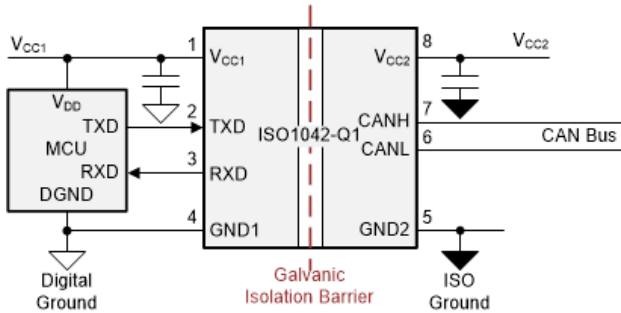


图 9. ISO1042-Q1

隔离式电源

在高压域中进行测量时，设计人员通常需要隔离式电源来偏置次级侧的其余元件。我们最新的产品组合新增产品提供高度集成的器件，它们具有各种优点和设计灵活性更高，非常适合替代传统反激式转换器。

UCC33421-Q1 是一款具有集成变压器的新 DC-DC 电源模块，可提供 1.5W 输出功率，同时提供 $5KV_{RMS}$ 隔离额定值，支持低 EMI 并提供出色的负载调整 (0.5%)。该器件需要少量的外部元件，可创建非常紧凑且高功率密度的系统解决方案。

集成模块偏置电源接受 4.5V 至 5.5V 的输入电压范围，并提供 5.0V 稳压输出，可选择高达 5.5V 的余量，使设计人员能够在系统中轻松实现隔离式负载点 (POL)。

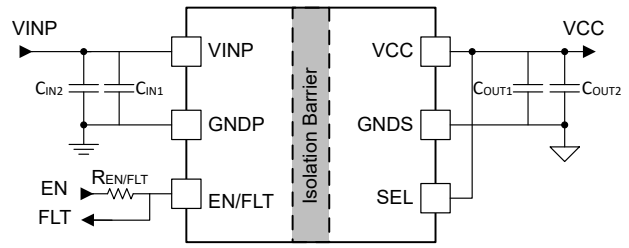


图 10. 简化版应用

此系列还包括具有较低输入和输出电压 (3.3V) 的选项以及 $3KV_{RMS}$ 隔离额定值变体，例如 **UCC33420-Q1**。

商标

C2000™ is a trademark of Texas Instruments.

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、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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司