

Scott Hill

Current Sensing Products

电流测量在电子系统中用于提供验证器件是否在可接受裕度范围内工作的反馈并用于检测潜在的故障条件。通过分析系统的电流水平，可以诊断意外的或非预期的工作模式，从而可以进行相应调整以提高可靠性或保护系统元件免受损坏。

电流是一种难以直接测量的信号。然而，可以采用多种测量方法测量流动电流的效应。电流流过导线时会产生磁场，而磁场能够通过磁传感器（例如霍尔传感器和磁通门传感器）进行检测。此外，还可以通过测量电流流过电阻时产生的电压来测量电流。这种类型的电阻称为电流感测电阻或分流电阻。

对于低于 100 伏的电压轨上最高 100 安培的电流，通常首选分流电阻进行测量。与磁解决方案相比，分流电阻测量方案通常物理尺寸更小、精度更高并且测量具有温度稳定性。

为对系统的电流信息进行评估和分析，必须将其数字化并发送到系统控制器。用于测量并转换在分流电阻上产生的信号的方法有多种。最常见的方法是采用模拟前端将电流感测电阻的差分信号转换为单端信号。然后，将单端信号连接到与微控制器相连的模数转换器 (ADC)。图 1 显示了电流感测信号链。

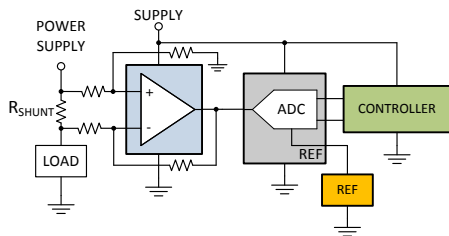


图 1. 电流传感信号路径

为优化电流感测信号链，必须针对电流范围和 ADC 的满量程输入范围适当地选择分流电阻值和放大器增益。选择分流电阻时，要基于测量精度与分流电阻功耗之间的折衷进行考虑。电阻值越大，电流流过分流电阻时产生的差分电压就越大。由于放大器偏移电压固定不变，因此测量误差会比较小。然而，分流电阻上的信号越大，其功耗 ($P = I^2R$) 就越大。分流电阻越小，分流电阻两端的压降就越小，从而功耗也就越低，但由于放大器的固定偏移误差在信号中所占百分比比较大，因此会增大测量误差。

选择放大器增益时，要确保放大器的输出信号在满量程输入电流水平时不会超过 ADC 的满量程输入范围。

INA210 是一款专用电流检测放大器，集成有外部增益设置电阻，如图 2 所示。与通常采用外部增益设置电阻相比，将这些增益电阻内置到器件中可以提高匹配度和温漂稳定性。器件采用 QFN 封装，可节省空间，显著降低运算放大器和外部增益电阻对电路板空间的要求。通常提供多款具有不同固定增益水平的电流感测放大器，从而可以根据输入电流和 ADC 满量程输入范围更好地优化与分流电阻值的配对。

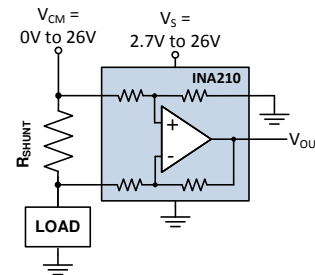


图 2. INA210：电流检测放大器

图 1 所示为运算放大器测量分流电阻两端的差分电压并将放大的信号发送到单端 ADC。全差分输入 ADC 可以直接监测分流电阻两端的差分电压。使用典型 ADC 的其中一个缺点是会降低所用的输入范围。分流电阻两端的信号会很小，以限制该元件的功耗要求。此外，若 ADC 分辨率较低，也会影响小信号的测量精度。

ADC 基准也是另一个误差源，在此信号路径中必须进行评估。典型 ADC 的输入范围会基于转换器基准电压。实际基准电压范围因器件而异，但通常在 2 V 至 5 V 范围内。LSB (最低有效位) 基于转换器的满量程范围和分辨率。例如，满量程输入范围为 2.5V 的 16 位转换器，LSB 值约为 $38 \mu\text{V}$ 。

INA226 是一款专为双向电流检测应用设计的专用 ADC。与典型 ADC 不同，这款 16 位转换器具有 $\pm 80\text{mV}$ 的满量程输入范围，无需放大输入信号即可尽可能扩大 ADC 的满量程输入范围。INA226 能够根据器件的最大输入失调电压 ($10 \mu\text{V}$) 和 LSB ($2.5 \mu\text{V}$) 精确测量较小的分流电压。INA226 的分辨率是等效标准 16 位 ADC 的 15 倍，其满量程输入范围为 2.5V。INA226 的专业化使得该器件非常适合直接监控电流检测电阻上的压降，如图 3 所示。

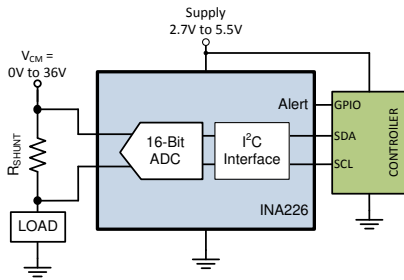


图 3. 数字电流/功率监测

除了能够直接测量电流流过分流电阻时分流电阻两端产生的电压，INA226 还可以测量共模电压。INA226 具有输入多路复用器，支持 ADC 输入电路在差分分流电压测量和单端总线电压测量之间进行切换。

系统中的电流感测电阻值可以编程到 INA226 的配置寄存器中。基于该电流感测电阻值和测量的分流电压，可通过片上计算将分流电压转换回电流，并且可直接读取相应的系统功率水平。在片上执行这些计算可减少转换该信息通常需要的处理器资源。

备选器件建议

对于性能要求较低的应用，使用 INA199 仍可以利用专用电流检测放大器的优点。对于实现过流检测的应用，INA301 采用了集成比较器，可实现用时短至 $1\ \mu\text{s}$ 的片上过流检测。对于性能要求较低的应用，使用 INA219 能够利用专用的电流检测 ADC。

表 1. 备选器件建议

器件	优化参数	性能权衡
INA199	成本低	V_{OS} 和增益误差较高
INA301	信号带宽，板载比较器	较大的封装：MSOP-8
INA219	较小封装数字监测，成本较低	V_{OS} 和增益误差较高
INA190	更精确	不适用

表 2. 相关的 TI 应用简报

SBOA162	《测量电流以检测超出范围的情况》
SBOA165	《高压电源轨上的精密电流测量》
SBOA160	《高精度、低漂移直列式电机电流测量》
SBOA161	用于三相系统的低漂移低侧电流测量

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.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。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

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