

# 集成电流感测信号路径

Scott Hill, 电流感测产品



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。

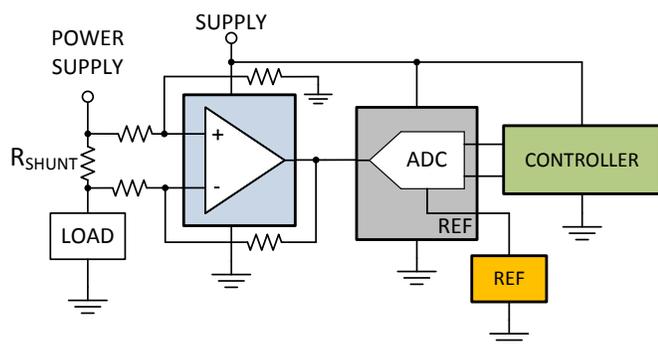


图 1. 电流传感信号路径

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 是一款专用电流感测放大器，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。

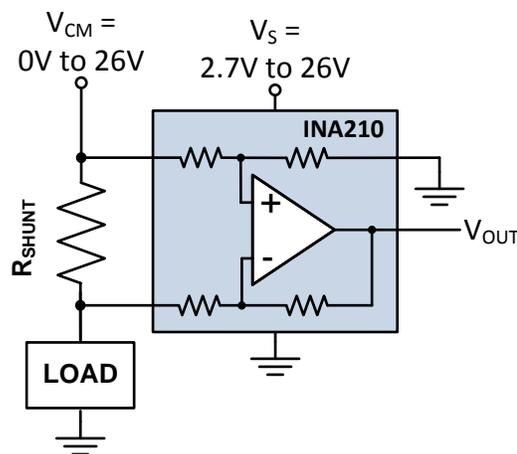


图 2. INA210: 电流感测放大器

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 2V 至 5V 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 $\mu$ V。

The INA226 是一款专为双向电流感测应用设计的专用 ADC。与典型 ADC 不同，此 16 位转换器的满量程输入范围为 +/-80mV，因此无需通过放大输入信号来最大程度地提高 ADC 的满量程输入范围。INA226 能够根据器件的最大输入偏移电压 (10 $\mu$ V) 和 LSB (2.5 $\mu$ V) 精确测量较小的分流电压。与满量程输入范围为 2.5V 的同类标准的 16 位 ADC 相比，INA226 的分辨率高出 15 倍。由于 INA226 具备专业化特性，该器件非常适合直接监测电流感测电阻两端的压降，如图 3 所示。

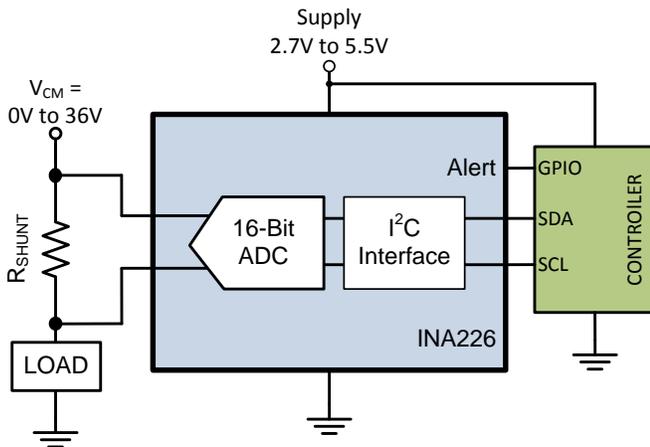


图 3. 数字电流/功率监测

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 仍可发挥专用电流感测放大器的优势。对于实现过流检测的应用，INA301 集成有比较器，可在 1 $\mu$ s 内执行片上过流检测。对于性能要求较低的应用，使用 INA219 能够发挥专用电流感测 ADC 的优势。

表 1. 备选器件建议

器件	优化参数	性能平衡
INA199	成本低	V <sub>OS</sub> 和增益误差较高
INA301	信号带宽，板载比较器	封装较大：微型小外形尺寸 (MSOP)-8 封装
INA219	较小封装数字监测，成本较低	V <sub>OS</sub> 和增益误差较高

表 2. 相关 TI 技术报告

SBOA162	测量电流以检测超限条件
SBOA165	《高压电源轨的精密电流测量》
SBOA160	《高精度、低漂移直列式电机电流测量》
SBOA161	《适用于三相系统的低漂移低侧电流测量》

## 有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等许可包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无屡发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司