

Scott Hill

Current Sensing Products

在不同的系统中，用来测量电流的信号链路径通常都是一致的。无论是在计算机、汽车还是电机中测量电流，几乎在所有设备中都可以找到常用的功能块。

连接现实世界元素（光、温度或本例中的电流等）的接口需要使用传感器，以便将信号转换为更易于测量的比例值（电压或电流）。使用磁场感应来检测电流效应的传感器有多种。这些传感器对于检测很大的电流或在需要进行隔离式测量时非常有效。测量电流时最常用的传感器是电流检测或分流电阻器。将测量电流的电阻器串联，即可在电流流过电阻器时产生成比例的差分电压。

信号路径中其余功能块的选择则是基于系统将会如何使用该测量电流信息。这类常用且可在大多数应用中找到功能块有多个，如图 1 所示。这些功能块包括用于放大来自传感器的微弱信号的模拟前端 (AFE)、用于将来自传感器的放大信号数字化的模数转换器 (ADC)，以及对传感器信息进行分析以便系统对所测量的电流电平进行相应响应的处理器。

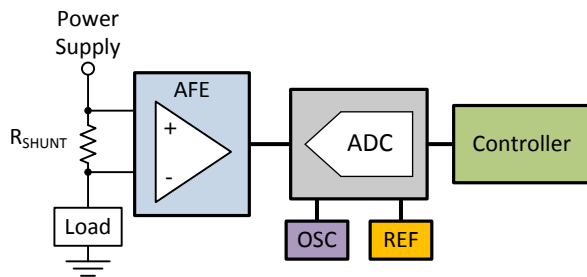


图 1. 电流检测信号链

对 AFE 的一项要求是允许直接连接到在检测电阻器上形成的差分信号。AFE 的单端输出可简化连接到后续 ADC 的接口。差分放大器配置中的运算放大器通常便是用于满足该功能要求。专用电流检测放大器（例如 INA210）采用了集成增益设置元件，而且专为该类型的应用而设计。INA210 能够准确测量非常微弱的信号，从而降低检测电阻器的功率耗散要求。

下一个信号链功能块是 ADC，它用于将放大的传感器信号数字化。该器件可能需要额外的外部元件（基准、振荡器）以实现更精确的测量功能。与 AFE 类似，ADC 功能块也具有各种选项。您可以选择独立转换器搭配板载基准和振荡器的实施方式，也可以选择采用板载 ADC 通道的处理器。

集成和分立 ADC 块各有优势和限制。对于集成到处理器中的 ADC 而言，一个明显的优势是板上的元件更少。板载 ADC 通道具有现成的指令集，相比独立的 ADC，它对于额外写入支持软件的要求进一步降低。不过，数字控制器的器件工艺节点针对精密模拟的优化程度通常较低，这限制了板载转换器的性能。分立式模数转换器的一个优势就是，允许根据优化的性能属性（如分辨率、噪声或转换速度）选择器件。

该信号链有一种变体，即使用 ADC 直接在电流检测电阻器上进行测量，从而完全无需电流检测放大器。标准转换器将会在取代 AFE 并直接测量分流电压方面面临挑战。其中一个挑战便是 ADC 的高满标量程。在不对检测电阻器的压降进行放大的情况下，将无法充分利用 ADC 的满量程，或者需要电阻器上产生较大的压降。较大的压降将导致检测电阻器上产生较大的功率耗散。有些 ADC 具有经修改的输入范围，旨在直接测量较微弱的信号，从而直接测量分流电压。这类器件中通常集成了内部可编程增益放大器 (PGA)，以利用 ADC 的满标量程。

这些微弱信号转换器的一个限制是它们的共模输入电压范围有限。这些 ADC 的输入电压范围受到其电源电压的限制，该电压的范围通常为 3V 至 5.5V，具体取决于所支持的核心处理器电压。图 2 中所示的 INA226 是特定于电流检测的模数转换器，可解决该共模限制问题。该器件具有 16 位 $\Delta-\Sigma$ 内核，可监测高达 36V 的共模电压轨上的小差分分流电压，同时由范围为 2.7V 至 5.5V 的电源电压进行供电。

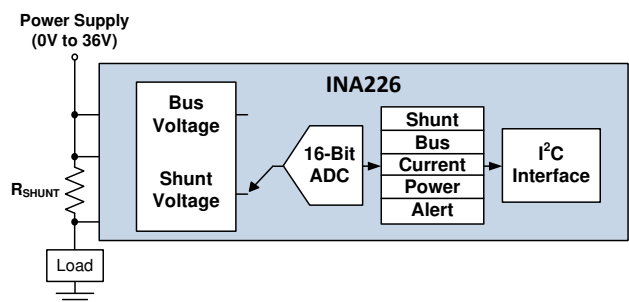


图 2. INA226 电流、电压、功率检测精密 ADC

INA226 与具有可修改小输入范围的 ADC 类似，具有大约 80mV 的满量程输入范围，能够直接在电流检测电阻器两端进行测量。INA226 能够通过 2.5 μV 的 LSB 步长和 10 μV 的最大输入失调电压准确测出小电

流变化。0.1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 温漂可确保较高的测量精度，在高达 125 $^\circ\text{C}$ 的温度下，仅额外产生 12.5 μV 的偏移量。凭借 0.1% 的最大增益误差，还能在满量程信号电平下保持较高的测量精度。

INA226 不但能够准确测量小分流电压，该元件还具有可用于电流检测应用的附加功能。该器件有一个内部寄存器，用户可以使用 PCB 上电流检测电阻器的特定阻值对其进行编程。通过该电流检测电阻器的阻值，INA226 可以在每次转换时直接将测量的分流电压转换为相应的电流值，并将其存储到附加的输出寄存器中。INA226 还有一个内部多路复用器，因此可以从差分输入测量切换到单端电压配置，从而直接测量共模电压。利用电压测量以及之前测量的分流电压和相应的电流计算，器件能够计算功率。器件存储该功率计算结果，并通过双线串行总线向处理器提供该值以及分流电压、电流和共模电压信息。

除了片上电流和功率计算之外，INA226 还具有一个可编程警报寄存器，因此可比较每个转换值与定义的限值，从而确定是否发生了超出范围的情况。用户可以对该警报监视器进行配置，用以测量超出范围的情况（如过流、过压或过功率）。该器件还具有可编程信号取平均值功能，以进一步提高测量精度。

INA226 经过优化，支持精密电流测量。该器件包含的其他功能支持该电流测量功能中所需的信号管理和监测，从而减轻系统处理器的负担。

备选器件建议

对于性能要求较低的应用，使用 INA234 仍可以利用专用电流检测模数转换器的优点。对于测量的电流低于 15A 的附加精密测量功能，INA260 可提供与 INA226 类似的功能，同时还在封装中采用了 2m Ω 集成电流检测精密电阻器。对于需要超高共模电压的应用，AMC1305 提供板载隔离，并且能够支持高达 1.5kV 直流的工作电压以及处理高达 7kV 的峰值瞬态。对于具有较低 AFE 性能要求的应用，使用 INA210 可利用专用电流检测放大器的优点。

表 1. 备选器件建议

器件	优化参数	性能权衡
INA234	成本更低	V_{OS} 和增益误差更高， V_{CM} 范围更低
INA260	系统级增益误差和偏移更低	更大型封装：TSSOP-16
AMC1305	隔离式测量，信号带宽更高	成本更高， V_{OS} 和增益误差更高
INA210	成本更低	V_{OS} 和增益误差更高

表 2. 相关技术手册

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
SBOA167	集成电流检测信号路径
SBOA170	集成电流检测电阻器

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