

# 无线电流检测电路检测电阻浮空

作者: Kris Lokere

共享



## 简介

测量流经检测电阻的电流似乎很简单。放大电压，用ADC读取，就可以知道电流是多少；但如果检测电阻上的电压与系统地电压相差很远，检测就会变得比较困难。典型解决方案是在模拟域或数字域消除该电压差。但这里介绍一种不同的方法——无线。

模拟电流检测IC是紧凑型解决方案，但其可承受的电压差受限于半导体工艺。很难找到额定电压超过100V的器件。如果检测电阻共模电压迅速变化或在系统地电压上下摆动，这些电路便无法精确测量。

数字隔离技术（磁或光学）体积有点大，但能以高精度工作，并且通常可以承受数千伏电压。这些电路需要隔离电源，但有时可以将它集成在隔离器中。如果检测电阻与主系统在物理上隔开，那么可能还要使用长导线或电缆。

无线电流检测电路克服了上述诸多限制。让整个电路随同检测电阻的共模电压浮空，并在空中无线传输测量数据，电压限制也就无从谈起。检测电阻可以位于任何地方，无需布置电缆。如果电路功耗非常低，那么甚至不需要隔离电源，一个小电池便能让它运行多年。

## 设计概览

图1显示了设计的框图。该电流检测电路基于斩波稳定运算放大器 LTC2063，其用来放大检测电阻上的压降。低功耗SAR ADC AD7988 将值数字化，并通过一个SPI接口报告结果。LTP5901-IPM是无线电模块，不仅包含无线电，而且含有自动形成IP网格网络所需的组网固件。此外，LTP5901-IPM内置微处理器以读取AD7988 ADC SPI端口。LTC3335是一款低功耗DC-DC电源，其将电池电压转换为恒定输出电压。LTC3335还含有库仑计，用以报告从电池获取的累计电荷。

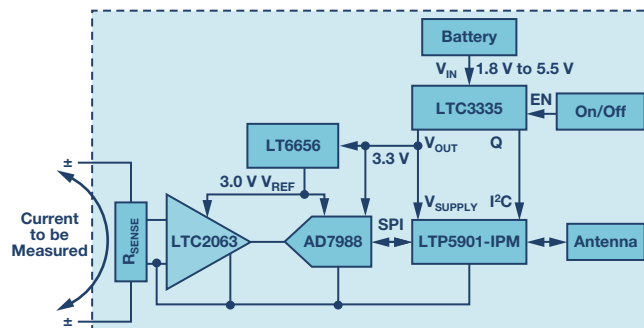


图1. 低功耗无线电流检测电路由一个低功耗斩波运算放大器（用以放大检测电压）组成，利用低功耗ADC和基准电压源进行数字化处理，连接到SmartMesh IP无线电模块。电池输出到低功耗DC-DC转换器得到恒定电源，同时记录从电池获取的电荷。

## 信号链

LTC2063是一款超低功耗斩波稳定运算放大器，其最大电源电流为2μA，特别适合电池供电应用。失调电压小于10 μV，因此它可以测量非常小的压降而不会丧失精度。图2显示LTC2063配置用来放大10 mΩ检测电阻上的电压并进行电平转换。选择适当的增益，使检测电阻的±10 mV满量程输入（对应于±1 A电流）映射到接近输出端的满量程范围，其以1.5 V为中心。这一放大信号被输入至16位SAR ADC。选择AD7988是因为其极低的待机电流和良好的直流精度。采样速率较低时，ADC在两次转换之间自动关断，1 kSPS时的平均功耗低至10 μA。LT6656用于偏置放大器、电平转换电阻和ADC基准输入。LT6656基准电压源功耗小于1 μA，可驱动高达5 mA负载，压差很低，因此即使采用3.3 V系统电源供电，它也很容易输出精密3 V电压。

此信号链中有三个大致相等的失调误差源，相对于±10 mV满量程输入，它们共同贡献大约0.5%的误差。这包括LTC2063和AD7988的失调电压，以及电平转换电阻的不匹配（推荐使用0.1%电阻）。单点校准可在很大程度上消除该失调。增益误差一般以可用检测电阻的不精确性为主，它往往比LT6656基准电压源的0.05%、10 ppm/°C规格还要差。

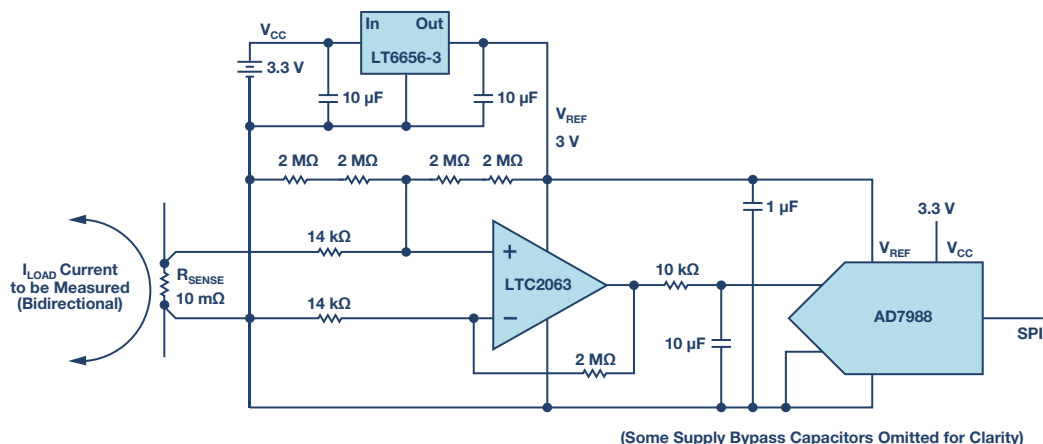


图2. 电流检测电路随同检测电阻电压浮空。斩波运算放大器LTC2063放大检测电压, 把它偏置到AD7988 ADC的中间轨。LT6656-3提供精密3 V基准电压源。

## 电源管理

LTC3335是一款集成库仑计的纳安功耗降压-升压转换器。它配置用来从1.8V到5.5V的输入电源产生3.3V稳压输出。这使得该电路可以利用两节碱性原电池的电源供电。对于占空比型无线应用，负载电流的变化范围很容易达到1  $\mu$ A至20 mA，取决于无线电是处于工作模式还是睡眠模式。LTC3335在空载时的静态功耗仅680 nA，因此当无线电和信号链处于睡眠模式时，整个电路的运行功耗非常低。另外，LTC3335可以输出多达50 mA的电流，在无线电发射/接收期间可轻松提供足够的功率，故适合各种信号链电路。

LTC3335还内置一个库仑计，非常方便。切换时，它会记录从电池获取的总电荷。此信息可通过I2C接口读出，用来预测何时需要更换电池。

## 无线组网

LTP5901-IPM是一个完整的无线电模块，包括无线电收发器、嵌入式微处理器和SmartMesh IP组网软件。LTP5901-IPM在本应用中执行两个功能：无线组网和管理（进程）。当网络管理器附近有多个SmartMesh IP终端上电时，这些终端会自动识别彼此，形成一个无线网络网络。整个网络自动进行时间同步，这意味着每台无线电仅在非常短的特定时间间隔内上电。因此，各节点不仅是传感器信息源，而且充当路由节点，用以将数据从其他节点传递到管理器。这样就形成一个高可靠性、低功耗网格网络，从各节点到管理器有多条路径可走，不过所有节点（包括路由节点）的工作功耗都非常低。

LTP5901-IPM包括一个运行组网软件的ARM® Cortex®M3微处理器内核。此外，用户可以写入应用固件以完成特定于用户应用的任务。在本例中，LTP5901-IPM内部的微处理器读取电流测量ADC (AD7988)的SPI端口和库仑计(LTC3335)的I<sup>2</sup>C端口。微处理器还能将

斩波运算放大器(LTC2063)置于关断模式,使其功耗从2  $\mu$ A进一步降低至200 nA。在测量间隔时间极长的使用场合中,这可以节省更多功耗。

## 总功耗

完整应用电路的总功耗取决于多种因素，包括信号链多长时间获取一次读数、节点在网络中如何配置等等。对于一个每秒报告一次的终端，测量电路的典型功耗低于5  $\mu\text{A}$ ，无线电的典型功耗可能为40  $\mu\text{A}$ ，很小的电池即可让它工作数年。

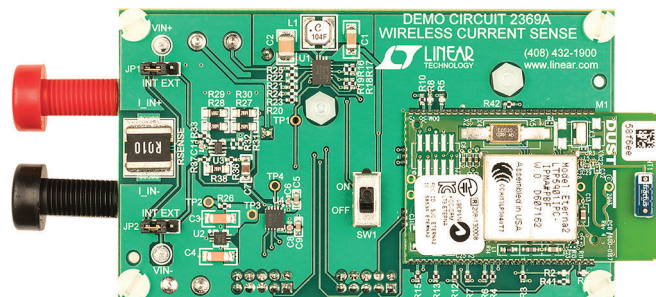


图3. 在小型PCB上实现的一个完整无线电流检测电路。唯一的物理连接是待测电流的香蕉插座。无线电模块如右图所示。电路由连接到板背面的两节AAA电池供电。

## 结论

Linear Technology和ADI公司信号链、电源管理、无线组网产品的结合,使得我们可以设计真正的无线电流检测电路。图3显示了一个实现示例。新型超低功耗斩波运算放大器LTC2063可以精确读取检测电阻上的小压降。包括微功耗ADC和基准电压源在内的整个电路随同检测电阻的共模电压浮空。只要一个小电池,纳安功耗LTC3335开关稳压器便可为该电路供电数年之久,同时利用内置库仑计报告电池累计使用率。LTP5901-IPM无线模块管理整个应用,自动连接到一个高可靠性SmartMesh IP网络。

Kris Lokere是信号链产品战略应用经理，其随着Linear Technology合并而加入ADI。Kris喜欢运用多条产品线技术进行系统架构设计。过去20年间，他一直负责设计运算放大器，组建工程团队以及管理产品线策略。他拥有多项专利，并获得鲁汶大学电子工程硕士学位和巴布森学院工商管理硕士学位。



Kris Lokere