

高精度低侧电流测量

Dennis Hudgins, 电流感测产品



对于大部分应用，都是通过感测电阻两端的压降测量电流。测量电流时，通常会将电阻放在电路中的两个位置。第一个位置是放在电源与负载之间。这种测量方法称为高侧感测。通常放置感测电阻的第二个位置是放在负载和接地端之间。这种电流感测方法称为低侧电流感测。这两种用于感测负载中电流的方法如图 1 所示。

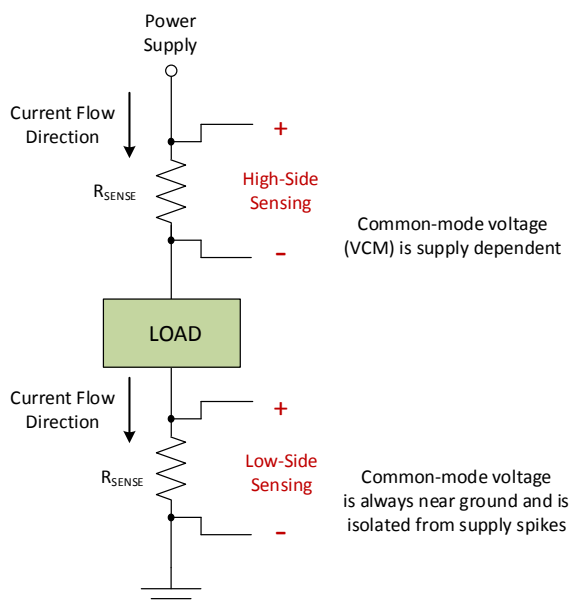


图 1. 电流感测方法

两种测量方法各有利弊。低侧电流测量的优点之一是共模电压，即测量输入端的平均电压接近于零。这样更便于设计应用电路，也便于选择适合这种测量的器件。由于电流感测电路测得的电压接近于地，因此在处理非常高的电压时、或者在电源电压可能易于出现尖峰或浪涌的应用中，优先选择这种方法测量电流。由于低侧电流感测能够抗高压尖峰干扰，并能监测高压系统中的电流，因此广泛应用于很多汽车、工业和电信应用中。低侧电流感测的主要缺点是采用电源接地端和负载/系统接地端时，感测电阻两端的压降会有所不同。如果其他电路以电源接地端为基准，可能会出现这个问题。为最大限度地避免此问题，存在交互的所有电路均应以同一接地端为基准。降低电流感测电阻值有助于尽量减小接地漂移。

设计电路或选择用于电流测量的器件时，低侧电流感测是最简单的方法。由于输入端的共模电压低，因此可使用差分放大器拓扑。图 2 给出了采用运算放大器（运放）的经典差分放大器拓扑。

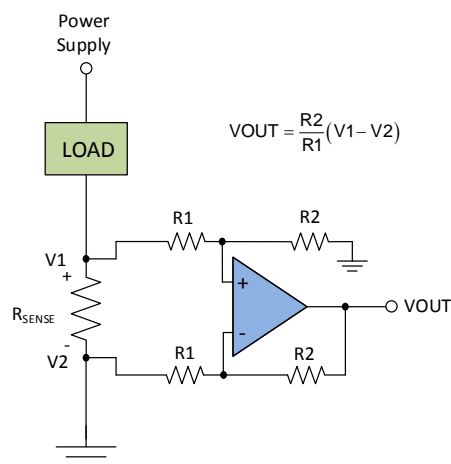


图 2. 用于低侧感测的运算放大器配置

使用运放进行电流感测时，要确保运算正确，需要满足多项性能要求。首先，通过信号电源工作时，运算放大器需要支持对地的共模输入电压。由于差分放大器通常会提高差分输入信号的增益，因此务必摆动到运放的轨规范范围内，以确保信号正常传递到输出端。由于上述原因，通常会优先使用轨到轨输入和输出运算放大器进行电流感测。由于在差分放大器配置中并未指定运算放大器，因此难以判断在实际应用中会达到何种性能。如果在运放周围增加电阻，建立电流感测电路，则转换率、带宽、输入电流、共模抑制以及漂移等参数性能都会下降。参数性能下降程度将取决于放大器的闭环增益以及增益设置电阻的值。采用分立解决方案时，需要考虑图 2 中 R1 和 R2 的匹配和容差，因为这些元件的变化将直接影响电路的增益误差。

采用分立电流感测放大器时要考虑的另一因素是 PCB 布局。需要将 R1 和 R2 放在尽可能靠近运算放大器和电流感测电阻的位置。将这些元件放在靠近运放的位置后，运算放大器同相输入端出现噪声拾取的可能性会降低。由于很多电流感测放大器都与 DC/DC 转换器配合使用，因此需要仔细考虑整个电流感测电路的放置位

置，以免 DC/DC 电源发出辐射噪声。差分放大器增益可通过图 2 所示的等式进行计算。但增益增大或减小都会影响解决方案的稳定性和带宽。如果应用中存在容性负载，需要特别考虑运放的稳定性，以免出现振荡或严重的输出振铃现象。

若要克服分立实现方案的缺陷，一种有效方式是采用图 3 中所示的电流感测放大器。

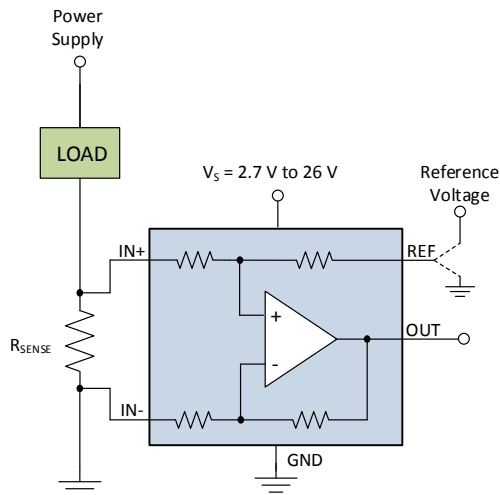


图 3. 采用 INA199 电流感测放大器进行低侧电流感测

电流感测放大器集成了增益设置电阻，从而可减少分立实现方案存在的诸多布局问题。内部电阻设计用于减少不匹配情况，从而可优化增益误差规范。电流感测放大器经过预先配置，可满足多种不同的增益要求。例如，INA199 的增益可为 50、100 和 200 V/V。带宽和容性负载稳定性使用数据表中指定的最大容性负载针对各个增益设置进行了优化。集成增益设置电阻可降低噪声灵敏度、减小 PCB 占用面积，并可简化布局。集成这些电阻并不一定意味着会增大封装尺寸。INA199 可采用 2 mm x 1.25 mm SC70 6 引线封装和 1.8 mm x 1.4 mm 超薄四方扁平无引线 (UQFN) 封装。

INA199 的电流测量精度要高于成本效益高的分立运放设计可达到的精度。该器件在 -40°C 至 105°C 温度范围内的最大增益误差为 1.5%。INA199 的偏移小于 150 μV ，漂移低于 0.5 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

INA199 还具有 REF 引脚。施加到 REF 引脚上的电压会增大输出端电压。如果下游器件需要转换电流信号电平，可使用该引脚。

备选器件建议

对于对性能要求较高的应用，INA210-215 系列器件具有较低的偏移（最大 35 μV ）和增益误差（最大 1%）。如果需要使用数字接口实现高精度电流监测，INA226 具有最大 10 μV 的偏移以及 0.1% 的增益误差。如果需要小型数字电流监测，可选择采用小型 1.68 mm x 1.43 mm 封装的 INA231，它非常适合便携式应用或空间受限的其他应用。如果需要通过引脚可绑定的增益设置进行电压输出电流监测，可采用 INA225。

表 1. 备选器件建议

器件	优化参数	性能平衡
INA210 - INA215	精度	成本稍高
INA225	可编程增益	封装尺寸
INA231	数字接口、小尺寸	成本
INA226	数字接口，高精度	封装尺寸、成本

表 2. 相关技术报告

SBOA161	《适用于三相系统的低漂移低侧电流测量》
SBOA167	《集成电流感测信号路径》
SBOA165	《高压电源轨的精密电流测量》

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理授予您任何 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