

很多系统利用电流感测来验证系统是否在标称条件下运行，以及系统或负载功耗是否正常，功耗异常即表明系统出现故障。高侧感测放大器是一款功率超低、尺寸超小且精度超高的电流传感器，这种配置非常适用于功率或空间受限的系统。鉴于这类系统的散热和布局要求，大型或复杂的解决方案都无法满足 PC 电源单元 (PCU)、商用直流/直流和流量变送器系统的需求。

高侧或低侧？

设计电流感测电路时要考虑的第一个问题是：采用高侧还是低侧感测？虽然这两种方法都能在正常运行情况下检测电流，但如需检测系统与接地之间是否短路，通常优先选择高侧传感器，否则需设立一个低侧传感器支路。此外，多个高侧电流传感器可用于准确监控独立负载，而不会出现可能影响多个低侧电流传感器的接地参考误差。

在高侧电流感测中，运算放大器配置为差分放大器，用于测量分流电阻器两端的压降。采用这种设计时，需注意放大器的输入共模 (V_{cm}) 范围。当放大器由系统电源或总线电压供电时，放大器的 V_{cm} 扩展到高压增益电路的正电源轨有助于避免输入信号限制。此外，放大器的输出应非常接近负电源轨，从而在低输入电流下保持高精度。图 1 所示为一种典型配置

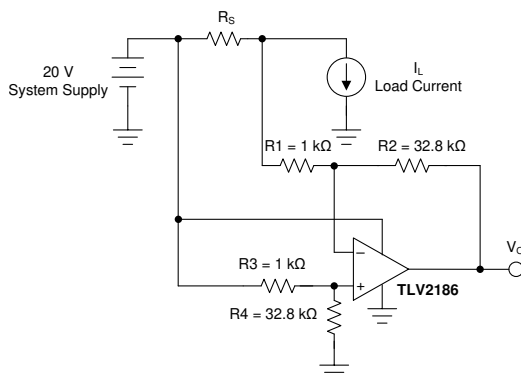


图 1. 高侧电流感测电路

在此设计中，TLV2186 配置为用于高侧电流感测的差分放大器。之所以选择该器件，是因为它具有轨至轨输入和输出、低功耗以及超低的失调电压 ($10\mu V$) 和温漂 ($0.1\mu V/C$)，并通过零漂移架构提高系统精度。

设计高侧电流感测电路

设计的第一步是根据系统最大电流消耗期间的允许压降，确定分流电阻器 (R_S) 的阻值。压降应足够小，以

保持负载所需的系统电压，并确保分流电阻器具有低耗散功率。但压降也不能太小，因为放大器和反馈电阻器中的误差源会限制系统精度。在此示例中，最大负载电流为 2A，并且选择的反馈电阻器可实现 100mV 的最大压降，这相当于最大负载电流下的耗散功率为 200mW。在图 1 中，分流电阻器设为 $50m\Omega$ 。

$$R_S = \frac{V_S}{I_L} = \frac{0.1 V}{2 A} \quad (1)$$

接下来，必须根据分流器两端的压降和 ADC 的输入范围来确定系统的增益。此处使用 0V 至 3.3V 的输入范围，因为它是分立式 ADC 和集成到微控制器中的那些 ADC 的通用输入范围。使用方程式 2 计算系统增益，在此示例中为 33V/V。

$$\text{Gain} = \frac{V_{O\text{MAX}}}{V_S} = \frac{3.3 V}{0.1 V} = 33 \frac{V}{V} \quad (2)$$

最后选择电阻器来设置系统增益。电阻器的阻值应足够大，以便其功耗不会消耗电源或导致系统发热，但要足够低，以便流经反馈网络的放大器的输入偏置电流不会引入系统误差，尤其是在低负载电流下。建议保持并联反馈电阻器的阻值小于 $10k\Omega$ (即 $R1 \parallel R2$ 和 $R3 \parallel R4 < 10k\Omega$)。在此设计中，使用了 $1k\Omega$ 和 $32.8k\Omega$ ，它们是标准 0.1% 电阻值。

系统建模和验证

为验证该系统，当输入电流从 0A 增至 2A 时，使用 TINA-TI 对系统输出电压进行建模和仿真。

图 2 显示了系统输出电压与负载电流间的关系，虽然它在整个电流范围内看起来呈线性，但图 3 表明对于非常低的电流，输出电压被限制在约 12mV。这是放大器的输出电压范围受限造成的。

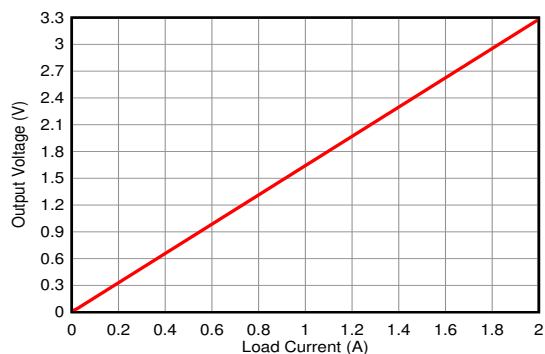


图 2. TLV2186 输出电压与负载电流间的关系

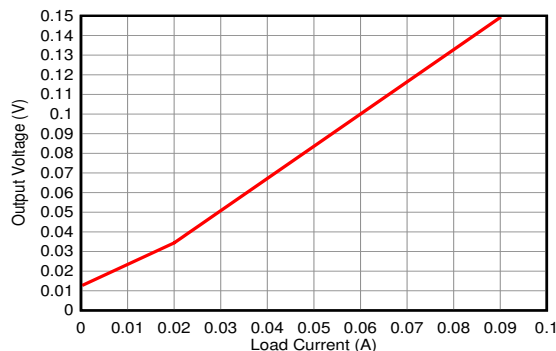


图 3. TLV2186 输出电压与低负载电流间的关系

如果系统需要真正的轨至轨输出，以便在整个输入电流范围内保持精度，则可以使用小型负电荷泵，例如 [LM7705](#) 可用于为放大器生成一个小负电源轨。这允许输出在零电流时一直延伸到 0V，并防止放大器将输出“猛灌”到可能因内部架构而引入额外误差源的电源轨。采用这种配置时，新的系统输出范围如图 4 所示。

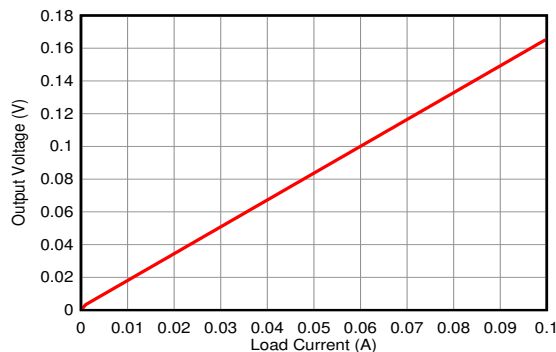


图 4. TLV2186 具有负电源轨的输出电压

总之，TLV2186 可在功率或空间受限的系统中用于高侧电流感测。轨至轨输入和输出与低失调电压、低温漂和低输入偏置电流等特性相结合，使放大器能够在整个电流范围内准确测量负载电流，并在整个温度范围内保持高精度。更多有关高侧电流感测的信息，包括在设计此类系统时要考虑的其他误差源（例如共模抑制），请参阅《[模拟工程师电路设计指导手册](#)》。表 1 显示了推荐用于高侧电流感测的其他放大器。

表 1. 备选器件建议

器件	电源电压范围 (V)	带宽 (MHz)	输入失调电压 (μV)	输入偏置电流 (pA)	静态电流 (mA)
LPV811	1.6 至 5.5	0.008	60	0.1	0.00045
OPA333	1.8 至 5.5	0.35	2	70	0.017
OPA388	2.5 至 5.5	10	0.25	30	1.7
OPA191	4.5 至 36	2.5	5	5	0.14

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