

设计要点

超精准电流检测放大器大幅度地提升了效率 并扩展了动态范围 – 设计要点 423

Jon Munson

引言

在许多电子系统中，准确的电流测量是必不可少的。电流通常是通过放大其在一个小值电阻两端产生的电压来测量的。对于那些需要一个大动态测量范围的系统，必须增大检测电阻或改善放大器的精度。增大检测电阻器的阻值会产生不利的影响，就是功耗将增加。更好的选择是提高检测放大器的精度。

放大器的精度在很大程度上取决于放大器的输入失调电压。一直以来，市面上的电流检测放大器所提供的输入失调电压性能大约为几百 μV 甚至几千 μV 。当采用此类器件时，实现一个 8 至 10 位的实际动态范围有可能需要消耗 1W 的功率(在满工作电流条件下)。LTC[®]6102 超精准电流检测放大器把输入误差降至微小的 $10\mu\text{V}$ 。这一大幅度的性能提升将直接转化为测量动态范围的扩大(即使在降低检测电阻器功耗的情况下也能达到 16 位)，从而极大地扩展了电流检测设计可选方案的范围。

精度的提升换取了效率的改善

LTC6102 很容易连接，如图 1 所示。

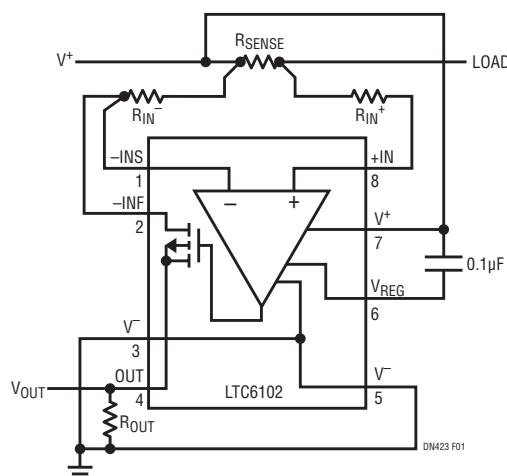


图 1：采用 LTC6102 的超精准电流检测

输入电压由检测电阻器产生，放大器的电压增益由输入和输出电阻器来设定。总换算公式即为：

$$V_{\text{OUT}} = I_{\text{LOAD}} \left(R_{\text{SENSE}} \cdot \frac{R_{\text{OUT}}}{R_{\text{IN}^-}} \right)$$

小负载电流条件下的准确度主要由输入失调电压 V_{OS} 来设定。因 V_{OS} 而引起的电流测量误差 I_{OFFSET} 由下式得出：

$$I_{\text{OFFSET}} = \frac{V_{\text{OS}}}{R_{\text{SENSE}}}$$

可见，对于一个给定的电流失调准确度要求，当 V_{OS} 很低时，可以相应地减小 R_{SENSE} (在许多应用中可减小至 $\text{m}\Omega$ 以下)。

在大多数应用中，应选择电路增益，以使 V_{OS} 在模数转换(ADC)采集系统中转化为约 1LSB(最低有效位)。动态范围是由 ADC 所能处理的最大信号幅度以及 R_{SENSE} 电阻器的允许功耗来决定。

我们来比较两个 8 位检测放大器解决方案，一个采用的是 $V_{\text{OS}} = 500\mu\text{V}$ 的典型放大器，另一个采用的是 LTC6102(其 $V_{\text{OS}}=10\mu\text{V}$)。两者的分辨率均为 20mA。失调较高的那个器件需要一个至少 $25\text{m}\Omega$ 的检测电阻器，而 LTC6102 则仅需 $500\mu\Omega$ 。在 5A 电流条件下(对于本例而言，这几乎就是全标度电流)，当采用失调较高的那个器件时， R_{SENSE} 功耗为 625mW，而采用 LTC6102 时则只有 13mW，功耗降幅达 98%。

印刷自己特有的检测电阻器

利用 LTC6102 所提供的超低检测电阻能力，可以把印刷电路金属箔片本身用作实际的检测元件。采用一盎司铜的电路板具有 $500\mu\Omega/\text{square}$ 的标称表面电阻率。该数值将随着铜箔厚度的增加和减少而分别成比

L、LTC、LT 和 LTM 是凌力尔特公司的注册商标。
所有其他商标均为其各自拥有者的产权。

例地下降和上升。一根宽度为 W、长度为 L (采用任何相同的单位) 的印制线具有以下电阻：

$$R_{SENSE} \approx 500\mu\Omega \cdot \frac{L}{W}$$

电阻器的长度就是沿著印制线的开尔文 (Kelvin) 抽头之间的间隔。一盎司铜箔每密耳 (mil) 印制线宽度通常能够传输高达约 100mA 的电流 (即 : 4A/mm)，这限制了电阻器结构的最小尺寸。另一个限制因素是可重复性，因此面积越大越好。归根结底，铜箔的厚度容限和温度系数将限制印刷电阻器所能拥有的准确度。

图 2 示出了前文所述的 5A 电路实例的印刷结构。在该布局中，L/W 因子被设定为 1 (因为 $R_{SENSE} = 500\mu\Omega$)，而尺寸则主要由印刷电路蚀刻工艺的准确度来确定。

采用铜箔作为检测电阻意味著电路的尺寸调整几乎与绝对温度成比例，在室温条件下约为 $+0.4\%/\text{^\circ C}$ 。在通过监视电流来提供过载保护的应用中，利用温度系数可能很方便，因为在较高的温度条件下，一个固定的保护门限将自动地对应于较低的电流。为了获得稳定的测量结果，可以采用一种软件校准和温度校正方法，也可采用一个基于铜的电阻器 R_{IN^-} 来对温度系数进行补偿，例如一个具已知电阻特性的小表面贴装电感器 ($>10\Omega$ 的产品市面上有售，比如：Vishay IMC 系列)。

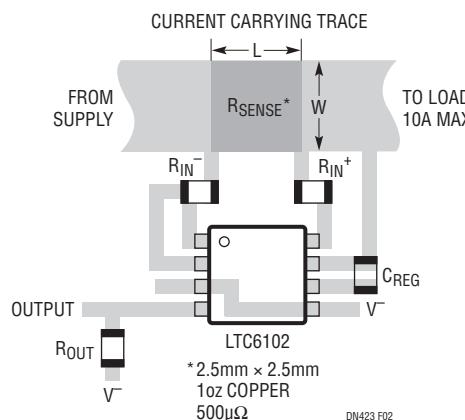


图 2：采用印刷检测电阻的 LTC6102 布局

设计提示和细节

如果您不印刷自己特有的检测电阻器，而是需要现售元件的准确度，那么一定要指定四线式 (Kelvin) 检测电阻器，以获得最佳的结果。这种电阻器的设计使得电阻在检测抽头之间得到精确的校准，从而消除了由负载通路中的焊接电阻所造成的误差。

当对微伏 (μV) 级信号进行准确测量时，因不同金属互连所导致的杂散热电偶效应的实际发生可能性将有所增加。图 1 示出了采用一个通常与 R_{IN^-} 相等的 R_{IN^+} 时的情形。增设该电阻器的目的是给两个放大器输入提供相同的冶金条件，以最大限度地减轻热电偶效应，并实现 DC 偏置电流失衡的最小化。

应选择合适的 R_{IN^-} 数值，以在峰值测量电流 I_{PEAK} 条件下传导约 $500\mu\text{A}$ 的电流。 R_{IN^-} 上的电压降与 R_{SENSE} 上的电压降相等，于是：

$$R_{IN^-} \geq \frac{|I_{PEAK} \cdot R_{SENSE}}{0.0005}$$

总体电路的增益准确度主要由所使用电阻器的质量来确定。这使得设计师能够在每种特定的应用中进行成本与性能折衷方案的优化。

为了最大限度地减小 LTC6102 反馈环路中的铜损误差，使反相检测输入 (-INS) 和反相反馈接线 (-INF) 保持分离，这样就能够形成至 R_{IN^-} 的开尔文连接。在图 2 所示的推荐布局中也可以看到该接线。

图 2 示出了连接至 R_{SENSE} 的负载侧 V^+ 接线，而图 1 则示出了至电源侧的对应接线。不管在哪一种配置中，LTC6102 都将正常工作。差异之处是图 2 所示的接线还将包括测量负载电流中的 LTC6102 静态电源电流 (典型值为 $300\mu\text{A}$)。支持 4V 至 100V 的电源电压。

结论

LTC6102 是业界精度最高的电流检测放大器。出色的准确度实现了 R_{SENSE} 电阻值的大幅下降，从而改善了效率、动态范围和电流处理能力。

产品手册下载

<http://www.linear.com.cn>

如要获得更多资料或技术支持，请与我们的销售部或当地分销商联络，也可浏览我们的网址：
www.linear.com.cn 或电邮到 info@linear.com.cn