

## Application Note

## 简化负输出电源设计中的电流检测设计



Bill Xu, Pithadia Sanjay, and Wendy Wang

## 摘要

在医疗系统或工业系统中，设计人员通常需要监控系统电流以防发生故障，以及监控系统电源状态或控制系统电流。市场上的电流检测放大器种类繁多，但其中大多数都用于检测正输出电源应用中的电流，不能直接用于负输出电源设计。本应用手册介绍了使用 TI 设计来检测负输出电源电流的四种方法。

## 内容

1 电流检测.....	2
2 负电源电流检测的主要挑战.....	2
3 建议的负电源电流检测设计.....	2
3.1 霍尔电流传感器.....	2
3.2 基于电流检测的隔离式放大器.....	2
3.3 基于电流检测的隔离式 ADC.....	3
3.4 基于电流检测的差分放大器.....	4
4 总结.....	4
5 参考资料.....	5
6 修订历史记录.....	6

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 电流检测

在医疗系统或工业系统中，设计人员通常需要监控系统电流以防发生故障，以及监控系统电源状态或电流控制。市场上的电流检测设计种类繁多，但其中大多数检测设计都用于检测正输出电源应用中的电流，不能直接用于负输出电源设计。本应用手册介绍了使用 TI 设计来检测负输出电源电流的四种方法。

## 2 负电源电流检测的主要挑战

测量负电源的电流并不像测量正电源的电流那样简单，因为市场上大多数电流检测放大器的共模输入电压都高于 -22V。对于工业中的 -24V 或 -48V 负电源应用，市场上几乎没有能够满足 -24V 或 -48V 共模输入电压规格的电流检测放大器。通过将电流检测放大器的接地引脚悬空，设计人员可以使输入共模电压处于电流检测放大器的范围内，但输出电压电势为负电压，超出了大多数 ADC 的范围。设计人员执行后处理会不方便。

## 3 建议的负电源电流检测设计

TI 有四种设计，可轻松测量负电源的电流。每种设计都各有优势。设计人员可以针对特定规格和应用选择一种设计，例如成本、性能、安全性和封装。

### 3.1 霍尔电流传感器

霍尔电流传感器是负电流检测的理想设计。设计人员可以直接将霍尔电流传感器与负电源串联，因为霍尔电流传感器通常采用电隔离，并且能够监控直流或交流电流。TI 设计并生产了十多款高性能霍尔电流传感器，可满足大多数行业应用的需求。TMCS1108 是一款电隔离霍尔效应电流传感器，能够测量直流或交流电流，并具有高精度、出色的线性度、温度稳定性、低成本和小型封装的特点。0A 至大约 20A 输入电流范围以及 80kHz 带宽和四个灵敏度选项 (50mV/A、100mV/A、200mV/A 和 400mV/A) 可以满足大量应用的要求。典型电路如图 3-1 所示。该电路非常简单明了。

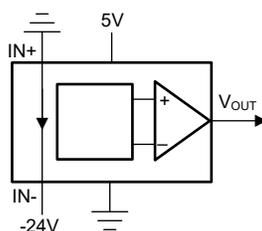


图 3-1. 基于负电源电流检测的霍尔电流传感器

公式 1 所示为输入电流和输出电压之间的函数。其中， $V_o$  是霍尔电流传感器的输出电压， $I_L$  是负载电流， $G$  是霍尔电流传感器的增益。

$$V_o = G \times I_L \quad (1)$$

霍尔电流传感器的一个缺点是存在输入失调电流误差。这可能会在某些情况下引入一些误差，尤其是输入电流小于 100mA 的情况下。

### 3.2 基于电流检测的隔离式放大器

第二种测量负电源电流的设计是使用隔离式放大器。图 3-2 显示了典型电路。TI 发布了多款隔离式放大器来满足市场对电压或电流检测的要求。AMC1202 是一款用于电流检测的隔离式放大器，具有  $\pm 50\text{mV}$  输入范围和 1000V 工作隔离电压。该隔离栅可将系统中以不同共模电压电平运行的各器件隔开，并保护电压较低的器件免受高电压冲击。利用这一特性，设计人员可以测量高共模电压轨上的检测电阻。

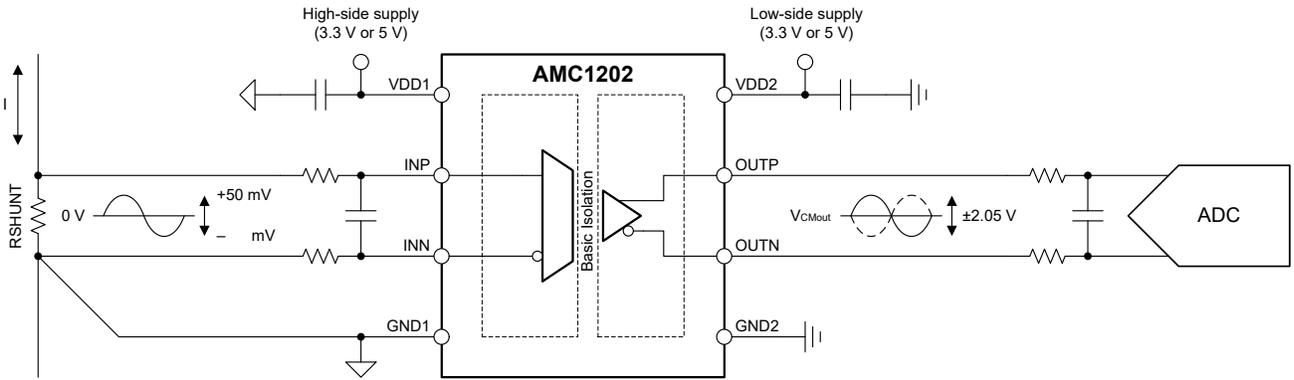


图 3-2. 基于负电源电流检测的隔离式放大器

AMC1202 的增益为 41。假设检测电阻为  $R_s$ ，AMC1202 的输出电压为  $V_o$ 。则负电源的电流为：

$$I_L = \frac{V_o}{41 \times R_s} \quad (2)$$

AMC1202 的高侧电路需要使用隔离电源供电。TI 具有多种紧凑尺寸的隔离电源，可满足此应用的需求。在这些模块中，[UCC12040](#) 是性能良好、尺寸小且成本低的器件之一。

### 3.3 基于电流检测的隔离式 ADC

第三种设计基于隔离式 ADC，请参见图 3-3。TI 已发布多款隔离式 ADC 来满足市场对于在高共模电压下安全测量高电压或电流的要求。[AMC131M01](#) 是满足负电源电流检测要求的理想器件之一。[AMC131M01](#) 的优势在于它集成了隔离式电源，从而简化了设计、降低了成本并减小了总 PCB 面积。客户无需再添加另一隔离电源。[AMC131M01](#) 还具有集成式可编程增益放大器 (PGA)，可提供 1、2、4、8、16、32、64 和 128 的增益。内部基准电压为 1.2V。假设 ADC 结果为  $D$ ，PGA 的增益为  $G$ ，检测电阻为  $R$ 。则负载电流  $I$  为：

$$I_L = \frac{D \times 1.2}{16666216 \times G \times R_{Shunt}} \quad (3)$$

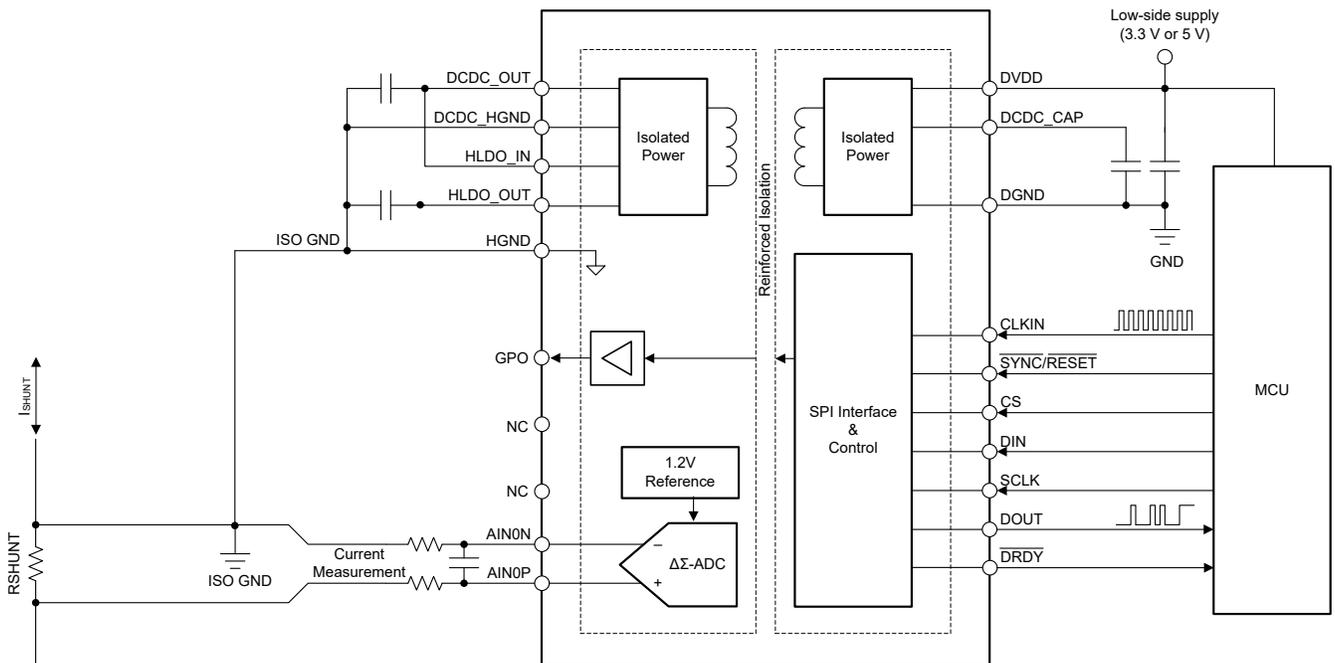


图 3-3. 基于负电源电流检测的隔离式 ADC

### 3.4 基于电流检测的差分放大器

要检测负电源的电流，设计人员可能首先考虑电流检测放大器，因为这些器件得益于性能出色、封装紧凑、成本低且易于采购，而广泛用于电流检测。但是，市场上的电流检测放大器几乎没有任何一款可以承受低于  $-22\text{V}$  的共模输入电压。

本文建议使用 [INA145](#) 或 [INA146](#) 差分放大器来检测负电源的负载电流。[INA145](#) 和 [INA146](#) 由两级放大器构成。第一级是差分放大器，用于去除共模输入电压，但会放大差分电压。第二级是同相放大器，用于再次放大差分电压，因为差分电压非常小。有关详细信息，请参阅图 4。[INA145](#) 和 [INA146](#) 的共模输入电压范围分别为  $\pm 30\text{V}$  和  $\pm 100\text{V}$ 。这可以满足大多数负电源负载电流检测应用。

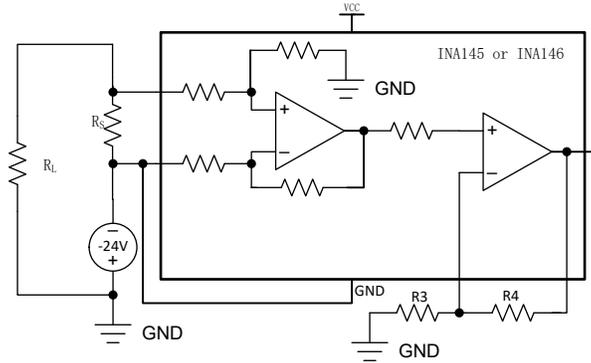


图 3-4. 基于负电源电流检测的差分放大器

建议设计人员不要使用精密放大器和电阻器来构建差分放大器，因为共模抑制与外部电阻器的精度有关。即使使用了  $0.1\%$  的电阻器，设计人员也很难通过外部电阻器获得出色的共模抑制。对于 [INA145](#) 和 [INA146](#)，片上精密电阻器实现了出色的共模抑制，这些电阻器经过激光修整，可实现精确的增益和高共模抑制。注意：为使 [INA145](#) 或 [INA146](#) 正常运行，内部放大器同相输入端的电压必须处于线性工作范围内。该电压由引脚 3 和引脚 1 之间简单的  $1:1$  ([INA145](#)) 或  $10:1$  ([INA146](#)) 分压器决定。该电压必须介于  $V^-$  和  $(V^+) - 1\text{V}$  之间。图 3-4 展示了 [INA145](#) 的负电源连接到  $-24\text{V}$ 。

假设检测电阻器为  $R_s$ ，负载电流为  $I_s$ ，反馈电阻器为  $R_4$ ，输入电阻器为  $R_3$ ，且输出电压为  $V_o$ ，则监测电流的输出电压如公式 4 所示。

$$V_o = I_s \times R_s \times \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \quad (4)$$

## 4 总结

本应用手册介绍了四种监控负电源负载电流的方法。每种方法都有优势。在实际应用中，设计人员可以根据性能限制、安全性、PCB 面积、成本等因素，为特定应用选择任何方法。表 4-1 显示了可供设计人员参考的不同设计特性，以便设计人员能够为特定应用选择适合的设计。

表 4-1. 四种电流检测方法比较表

项目	霍尔传感器	隔离式放大器	隔离式 ADC	INA145/6
精密	好	较好	最好	较好
共模电压范围	70V 至大约 400V	800V 至大约 2000V	500V 至大约 1500V	$\pm 30\text{V}$ 或 $\pm 100\text{V}$
设计难度	简单	中	中	简单
封装	中	大	最大	最小
成本	低	高成本	最高成本	最低

## 5 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [AMC1202 精密、±50mV 输入、基础型隔离式放大器](#) 数据表。
2. 德州仪器 (TI), [UCC12040 高密度、低 EMI、3kVRMS 基础型隔离式直流/直流模块](#) 数据表。
3. 德州仪器 (TI), [AMC131M01 具有集成直流/直流转换器的单通道、64kSPS、同步采样、24 位增强型隔离式  \$\Delta\$ - \$\Sigma\$  ADC](#) 数据表。
4. 德州仪器 (TI), [AMC131M01 具有集成直流/直流转换器的单通道、64kSPS、同步采样、24 位增强型隔离式  \$\Delta\$ - \$\Sigma\$  ADC](#) 数据表。
5. 德州仪器 (TI), [INA146 高压可编程增益差分放大器](#) 数据表。
6. 德州仪器 (TI), [INA145 可编程增益差分放大器](#) 数据表。

## 6 修订历史记录

<b>Changes from Revision * (May 2024) to Revision A (October 2024)</b>	<b>Page</b>
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 添加了其他参考文献.....	5

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司