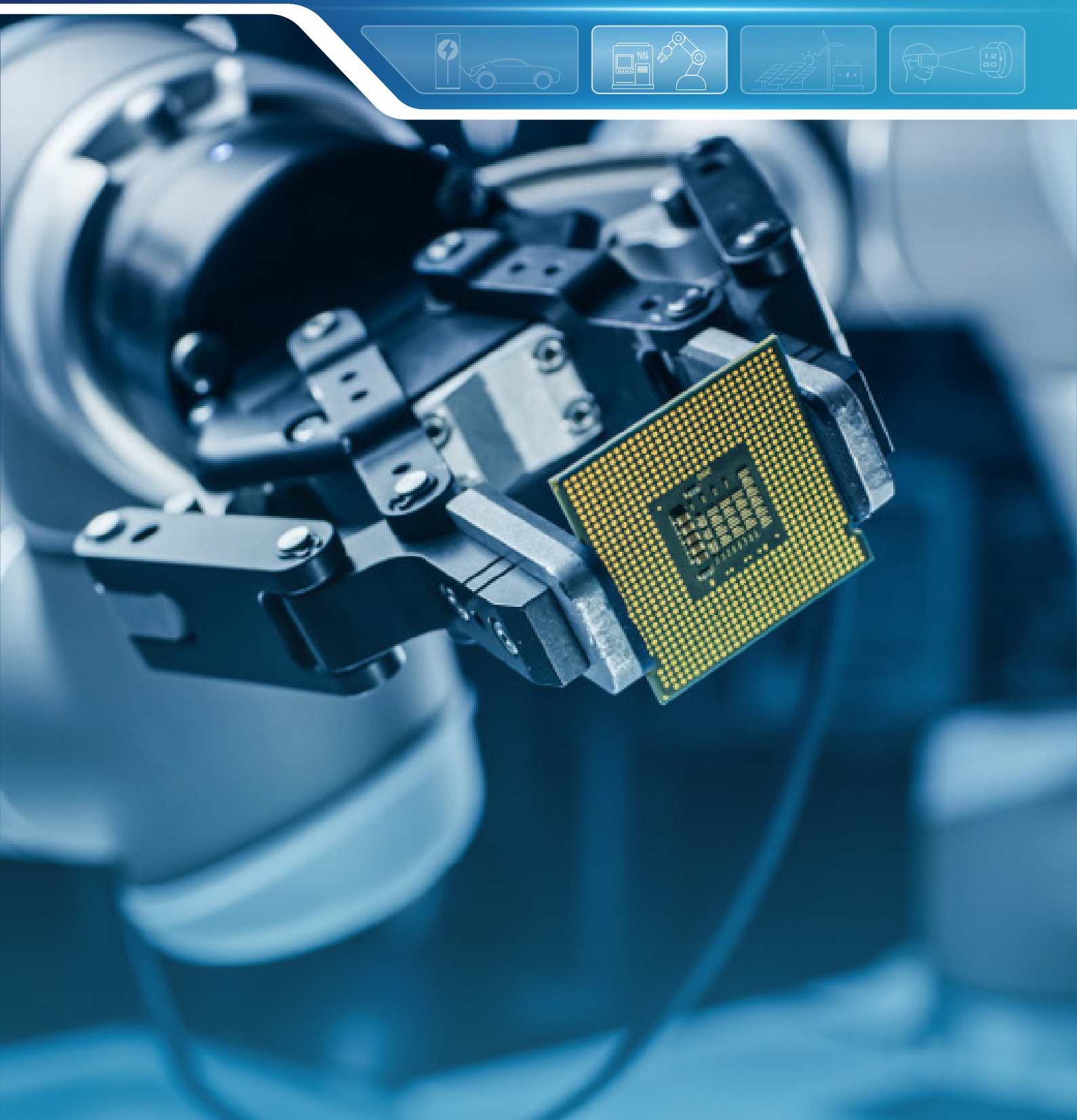


使用高可靠性隔离放大器NSI1400x 进行电流采样电路设计

AN-13-0002

作者: Jiahua Xu, Michelle Zhao



使用高可靠性隔离放大器NSI1400x 进行电流采样电路设计

摘要

在高压工业应用场景中，隔离采样技术能够保护低压电路免受高压电源电路故障的影响，同时确保不同电压域之间维持通信，从而显著提高系统可靠性。

NSI1400是一款基于纳芯微电容隔离技术的高性能隔离放大器，其输出与输入相互隔离。该产品已广泛应用于分流电流监测、电机驱动、不间断电源、光伏逆变器等多个领域。为了帮助客户简化设计流程，本应用指南介绍了如何根据客户的电流采样需求使用NSI1400。

目录

1. 典型应用电路	2
2. 输入调理电路	2
2.1. 采用开关电容电路的模拟输入	3
2.2. 抗混叠原理	3
2.3. 输入滤波器设计	4
3. 电源电路	5
4. PCB布局	6
5. 修订历史	7

使用高可靠性隔离放大器NSI1400x 进行电流采样电路设计

1. 典型应用电路

NSI1400隔离放大器非常适合用于高压应用场景中的分流电阻式电流采样，比如电机驱动。典型的应用电路如图 1所示。

分流电阻 R_{sense} 两端的电压通过RC滤波器（ R_{FLT} 和 C_{FLT} ）施加到NSI1400的差分输入端。为了实现输入开关电容电路的电荷缓冲（参见2.1节“采用开关电容电路的模拟输入”了解更多详细信息），必须增加大于330pF的滤波电容，并确保其位置尽可能靠近NSI1400，以提升在高噪声应用场景中的性能。

隔离放大器的差分输出通过基于运算放大器的电路转换为单端模拟输出。建议在OUTP和OUTN引脚上添加大于1kΩ的电阻，以防止输出过流。模数转换器（ADC）通常在后端接收这个单端模拟输出信号，并将其转换为数字信号，以便控制器进行处理。

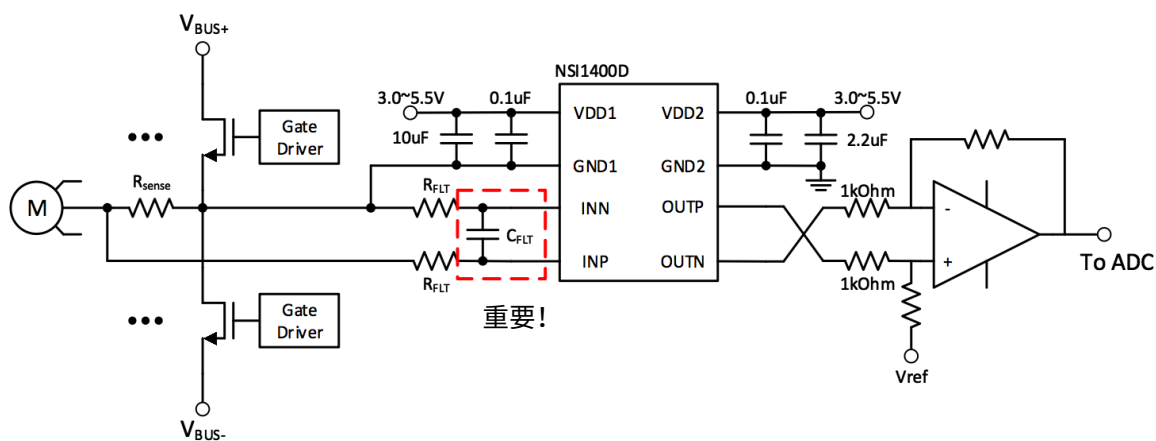


图 1. 相电流采样典型应用电路

2. 输入调理电路

在NSI1400的应用中，如果输出误差（比如，增益误差或输入失调电压）异常地超出数据表规定的规格，这可能归咎于输入调理电路设计不当。本节将根据NSI1400的开关电容模拟输入电路和抗混叠原理，介绍NSI1400应用的推荐输入调理电路。

使用高可靠性隔离放大器NSI1400x 进行电流采样电路设计

2.1. 采用开关电容电路的模拟输入

作为NSI1200/NSI1300的迭代升级产品，NSI1400在输入架构方面进行了优化，旨在减少由输入偏置电流引起的采样误差。然而，这种架构变化对输入滤波电容的选择提出了新的要求（建议大于330pF）。如果设计不当，可能会导致采样误差增加。为了更好地帮助客户理解，下面将详细解释NSI1400的输入架构。NSI1400的模拟输入是基于二阶 Σ - Δ 调制器的开关电容电路。模拟输入的等效电路如图2所示。内部电容 C_{IND} 通过周期性开关动作以12MHz的内部时钟频率 f_{CLK} 连续充放电，实现输入信号数字化。在充电阶段，S1闭合，S2断开， C_{IND} 充电至输入差分电压。在放电阶段，S1断开，S2闭合， C_{IND} 放电至GND1+0.9V的电压水平。根据等效电路，可以按下面的公式计算输入电阻 R_{IND} ：

$$R_{IND} = 1 / (f_{CLK} * C_{IND})$$

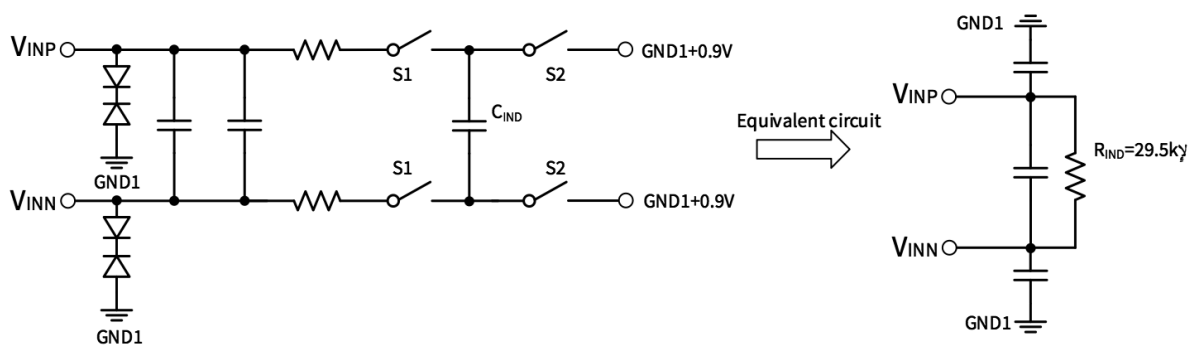


图 2. 模拟输入的等效电路

当电容性负载切换到输入端时，由于电荷重新分配，输入信号幅度会暂时下降。输入源尝试纠正这种情形，同时由于较长输入线路表现出类似电感的特性，这个过程中可能会出现过度振铃现象。为了解决这个问题，每个输入端增加外部电容器可以帮助提供采样过程中产生的电流尖峰。选用容量大于330pF的外部电容器（图1所示 C_{FLT} ，也作为滤波电容）是提高瞬态电荷供应能力的一种方法。输入电容器应尽可能靠近NSI1400放置，以抑制振荡并确保采样精度。

2.2. 抗混叠原理

采样系统能够以高精度处理的最高频率信号称为其奈奎斯特极限。采样率必须大于或等于输入信号最高频率的两倍。如果输入信号频率超过奈奎斯特频率，通带中会产生冗余或有害信号，这种现象称为混叠。图3阐明了信号混叠机制。例如，采样率 f_s 为1MHz，采样信号带宽为 f_s 的一半，即500kHz（奈奎斯特频率）。在采样过程中，频率为 f_{in} ($f_{in} > f_s/2$) 的输入信号会镜像至通带中，成为频率为 $f_s - f_{in}$ 的错误混叠信号。在实际应用场景中，通常设置更高的采样率，以提供一定的裕量并减少滤波需求。

使用高可靠性隔离放大器 NSI1400x 进行电流采样电路设计

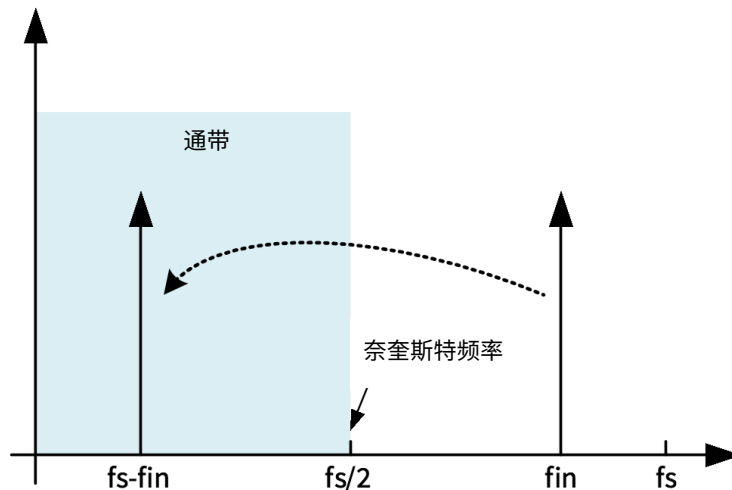


图 3. 信号混叠机制

除了满足输入信号频率低于奈奎斯特极限的要求，采样系统的输入信号通常包含频率超过奈奎斯特频率的高频噪声。这些噪声会混叠到通带成为干扰信号。因此，需要在采样系统输入端设置抗混叠滤波器，从而在采样前滤除高频噪声，避免噪声混叠。选择的滤波器应考虑截止频率可以消除采样输入的高频噪声或至少将其衰减至不会对采样信号产生明显影响的程度。

NSI1400是一个采样频率为12MHz的采样系统。为了防止混叠到通带内的高频噪声，抗混叠滤波器的截止频率不超过6MHz。

2.3. 输入滤波器设计

NSI1400的输入调理滤波器设计考虑了电荷缓冲需求、抗混叠、输入信号频率和系统带宽等因素，如图1所示。

为了满足输入开关电容电路的电荷缓冲需求，滤波电容器的容量需大于330pF。表1列出了在不同输入滤波电容条件下，NSI1400的增益误差测量结果。根据规格书指标，增益误差在±0.3%以内。因此，需要选择容量大于330pF的滤波电容器，而容量大于1nF的滤波电容器更佳。

表 1. NSI1400样片在不同输入滤波电容下的增益误差

输入滤波电容	无滤波器	330pF	1nF	10nF
NSI1400的增益误差 (%)	× -0.9	√ 0.2	√ <0.1	√ <0.1

使用高可靠性隔离放大器NSI1400x 进行电流采样电路设计

针对存在高频干扰应用的抗混叠需求，抗混叠滤波器的截止频率不超过6MHz，如第2.2节所示。

位于INN和INP引脚之间的电容器用于滤除差分噪声，称为差分电容器 C_{diff} 。位于INN/INP引脚与GND1之间的电容器用于滤除共模噪声，称为共模电容器 C_{cm} 。为了减少不同输入引脚的共模电容误差影响，建议 C_{diff} 值至少是 C_{cm} 值的10倍。这可以防止由于元件容差导致共模噪声被转换为差分噪声。如果系统的共模噪声在可接受范围内，则无需设置 C_{cm} 。客户可以根据自身需求调整滤波器的设计。共模噪声滤波器和差分噪声滤波器的截止频率如下所示：

$$f_{CM} = \frac{1}{2\pi R_{FLT} C_{CM}}$$

$$f_{DIFF} = \frac{1}{2\pi (R_{FLTP} + R_{FLTN}) (C_{DIFF} + \frac{1}{2} C_{CM})}$$

3. 电源电路

对于工作环境恶劣的应用（如电机控制）或需要改进的电源电路（如前端电源的较长布线），应特别注意NSI1400电源引脚的设计。建议根据客户系统的供电电压波形，将一个1-10 μ F的稳压电容与邻近的0.1 μ F旁路电容并联，以降低总体ESR并提高滤波效果。1-10 μ F电容器用于滤除低频噪声，0.1 μ F电容器用于滤除高频噪声。客户还可以将原电容器的值从0.1 μ F增加到1 μ F以上，以提高滤波效果，同时无需修改PCB设计。

在电机控制等应用中，隔离栅极驱动电源通常可以复用，与齐纳二极管一起向NSI1400供电。图4为一个典型的电源电路，其中+15V为栅极驱动电源，D1为齐纳二极管（典型值为5.1V），R1为限流电阻，C1为去耦电容。当齐纳二极管电源电路无法提供NSI1400所需的电源电流 I_{DD1} 时，可能会出现VDD1欠压触发输出失效保护机制，以及限流电阻消耗过多功率的情况。因此，应注意限流电阻和齐纳二极管的选型。

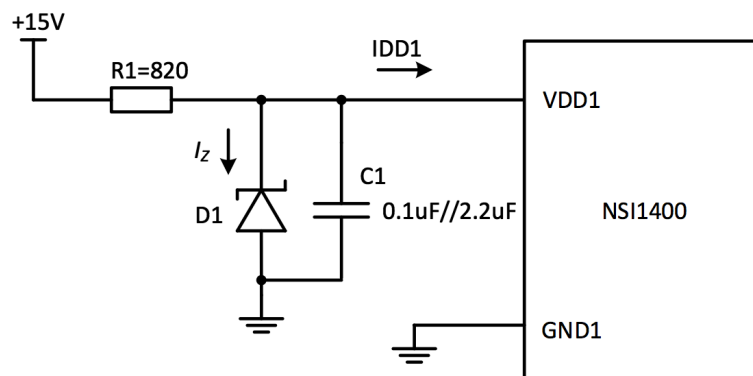


图 4. 电机控制应用中NSI1400的典型电源电路

使用高可靠性隔离放大器NSI1400x 进行电流采样电路设计

限流电阻选型应考虑以下三个方面：NSI1400的最大供电电流、齐纳二极管的最小击穿电流以及R1的耗散功率。NSI1400在5.5V最大供电电压和+125°C高温条件工作时，IDD1的最大值为7.2mA。

对于齐纳二极管，通用型5.1V齐纳二极管（如1N4733A）的最小击穿电流 I_Z 为1mA，即当反向电流大于1mA时，齐纳二极管能产生稳定的5.1V电压。因此，流经R1的电流不应小于 $I_{VDD1} + I_Z = 8.2\text{mA}$ 。

综上所述，当工作电压为5.1V时，限流电阻R1的选型要求如下：

$$R_1 \leq \frac{5.1 - 5.1}{0.0082} = 1207\Omega$$

通常推荐采用1206或1210封装的电阻。

如果不便更换限流电阻，可以根据击穿特性曲线更换齐纳二极管。选择击穿电流较小或在击穿电流不足时电压超过3.3V的齐纳二极管，这可以确保NSI1400仍能正常工作。

4.PCB布局

就PCB布局而言，优化性能的关键指导原则或考虑因素如下：

- 将输入滤波电容器尽可能靠近INP和INN引脚设置，以实现最佳性能。
- NSI1400需要在VDD1和GND1之间、VDD2和GND2之间各设置一个0.1 μF 的旁路电容器。电容器位置应尽可能靠近VDD引脚。如需实现更佳的滤波效果，可再增加一个1-10 μF 的电容器。
- 建议使用开尔文连接法连接分流电阻与NSI1400。由于采用开尔文连接法，任何走线和引线的电压降都不会影响测量电压。
- 将分流电阻靠近INP和INN输入设置，并确保两条连接线路布局对称且彼此并行靠近，连接到NSI1400的输入端。这样可以最大限度减少连接的环路面积，并降低杂散磁场干扰测量信号的可能性。

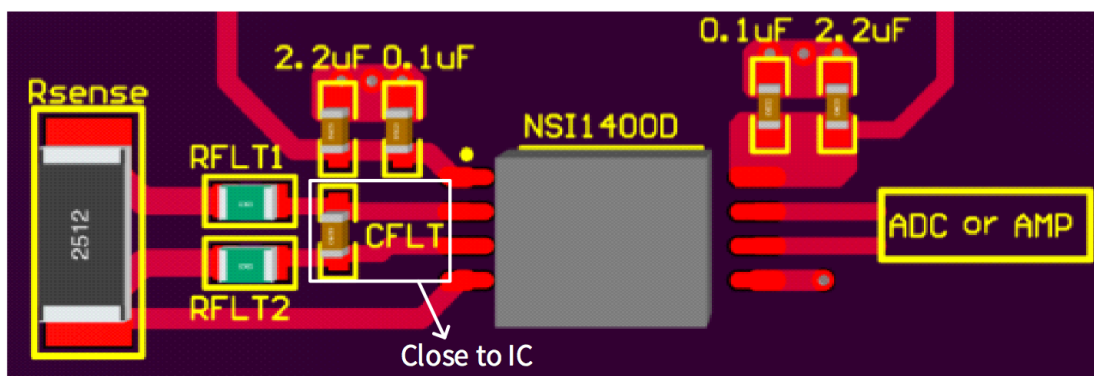


图5. NSI1400 PCB布局示例

使用高可靠性隔离放大器NSI1400x 进行电流采样电路设计

5. 修订历史

版本	描述	作者	日期
1.0	初始版本	Jiahua Xu, Michelle Zhao	2023/12/22

销售联系方式: sales@novosns.com; 获取更多信息: www.novosns.com

重要声明

本文件中提供的信息不作为任何明示或暗示的担保或授权，包括但不限于对信息准确性、完整性，产品适销性、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陈述或保证。

客户应对其使用纳芯微的产品和应用自行负责，并确保应用的安全性。客户认可并同意：尽管任何应用的相关信息或支持仍可能由纳芯微提供，但将在产品及其产品应用中遵守纳芯微产品相关的所有法律、法规和相关要求。

本文件中提供的资源仅供经过技术培训的开发人员使用。纳芯微保留对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其他更改的权利。纳芯微仅授权客户将此资源用于开发所设计的整合了纳芯微产品的相关应用，不视为纳芯微以明示或暗示的方式授予任何知识产权许可。严禁为任何其他用途使用此资源，或对此资源进行未经授权的复制或展示。如因使用此资源而产生任何索赔、损害、成本、损失和债务等，纳芯微对此不承担任何责任。

有关应用、产品、技术的进一步信息，请与纳芯微电子联系（www.novosns.com）。

苏州纳芯微电子股份有限公司版权所有