

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

AN-15-0017

作者：Chufei Feng, Liang Yu, Hongchao Zhu



基于NSI67x0的模拟采样设计说明

摘 要

随着电机驱动器对性能和安全功能的要求不断提高，且尺寸要求不断减小，对于芯片的集成度提出了更高的要求。NSI67x0 智能栅极驱动器系列，凭借其集成的保护功能与模拟信号采样，为应对这一发展趋势提供了解决方案。这份应用报告提供了NSI67x0 的应用框图和实测波形。NSI67x0所集成的高精度模数转换通道不仅能减少物料清单（BOM）数量、缩小电路板尺寸，还能简化设计流程。为客户系统高可靠运行保驾护航。

目 录

1. 基本信息	2
1.1. 内部ESD结构说明	2
1.2. 典型应用电路	2
2. AIN-APWM模拟采样功能	3
2.1. 功能描述	3
2.2. AIN-APWM实测波形	4
3. 测量功率管模块结温应用说明	6
3.1. NTC特性介绍	6
3.2. 方法一 内部恒流源直接测量	6
3.3. 方法二 外部搭建电压源测量	7
3.4. 方法三 软件查表法	8
3.5. 误差计算	9
4. PCB推荐布局	10
5. 修订历史	11

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

1. 基本信息

1.1. 内部ESD结构说明

内部ESD结构如图所示，控制侧的所有引脚均有到GND1的ESD保护二极管为蓝色表示，除了FLT与RDY引脚为开漏输出以外，其他引脚均有到VCC1的ESD保护二极管为绿色表示。VCC1和GND1之间为主ESD二极管，为红色表示。驱动侧的所有引脚均有到VCC2和VEE2的ESD保护二极管，其中OUTH到VCC2, OUTL到VEE2以及CLAMP到VEE2为功率mosfet的体二极管，用黄色表示。

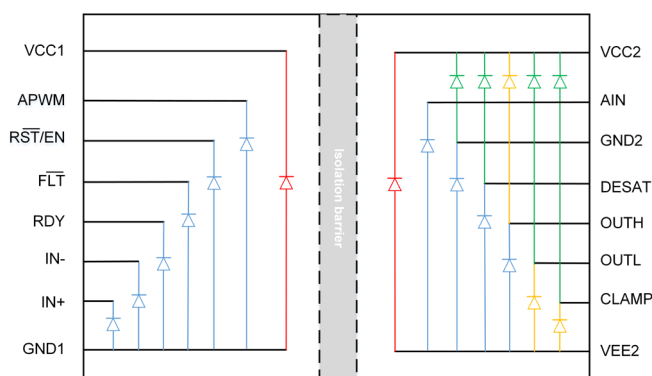


图1.1 内部ESD结构

1.2. 典型应用电路

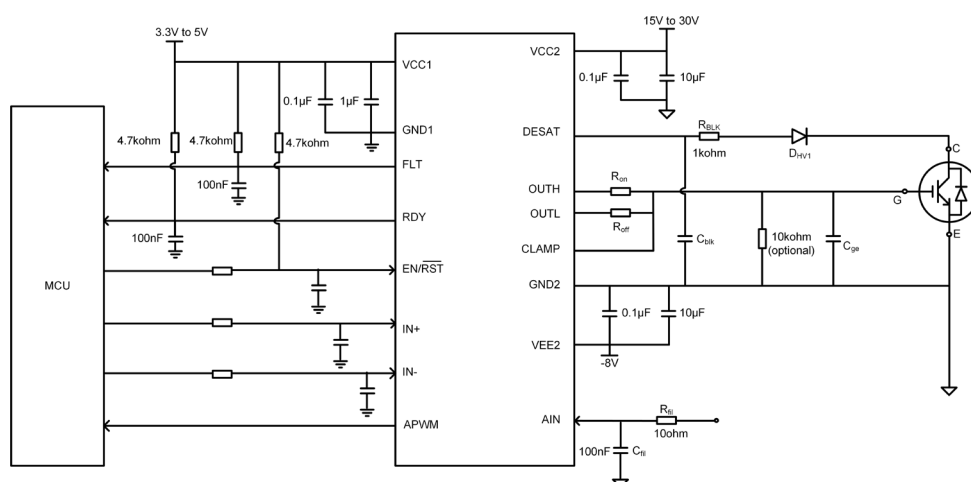


图1.2 典型应用电路

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

2.AIN-APWM模拟采样功能

2.1.功能描述

NSI67x0系列智能栅极驱动器具有一个隔离式的模拟通道，无需额外器件即可实现对信号的隔离检测。模拟输入（AIN）引脚可接收 0.3V至 4.6 V的信号，该信号通过比较器和锯齿波形转换为PWM信号。然后，这个 PWM 信号经过编码传输到控制侧，在APWM引脚输出一个频率为 10 kHz的方波信号，其占空比在 8% 至 94% 之间随AIN电压线性变化，在电压范围两边存在迟滞区间。在0.2V-0.3V之间，占空比会在94%-98%随机变化。在4.6V-4.8V之间，占空比会在2%-8%随机变化。由于AIN 的输入范围是 0.3 V至 4.6 V，对于以 0 V为中心或参考 0 V的输入信号，需要增加直流偏置并对信号进行衰减或放大，以便充分利用整个输入范围。AIN引脚漏电流小于20nA，在精度计算时可以忽略不计。

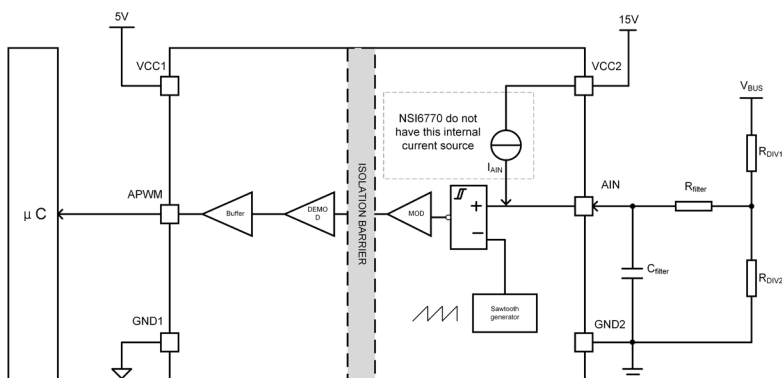


图2.1 AIN-APWM应用框图

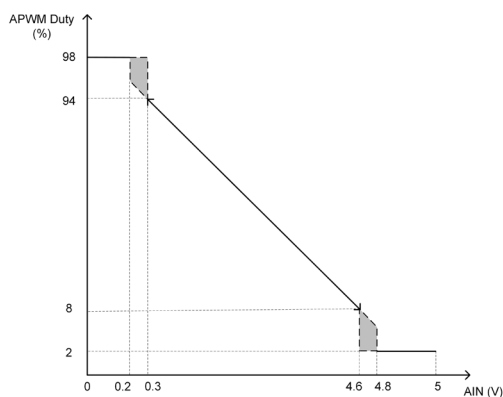


图2.2 APWM占空比 vs AIN电压值

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

2.2.AIN-APWM实测波形

通过在 AIN 引脚上测试从 0.3V到 4.6 V的阶跃响应输入，并捕获显示 PWM 占空比从 94% 下降到 8% 的 APWM 引脚输出波形，来确定隔离模拟通道的响应时间，该响应时间小于100us，即1个APWM的周期。

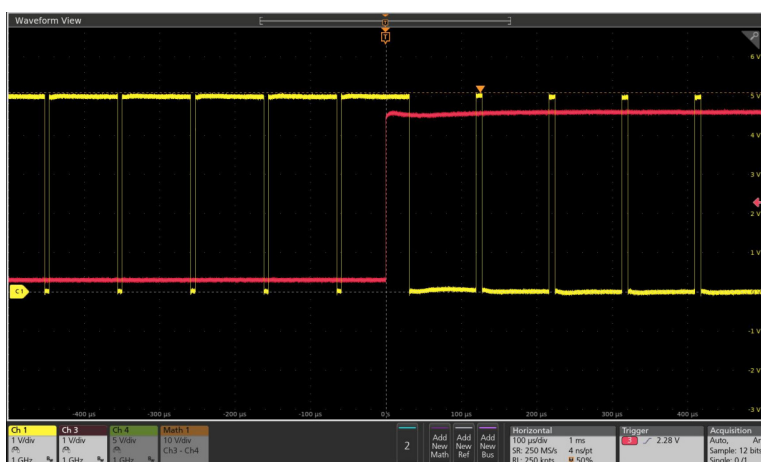


图2.3 APWM对于阶跃信号的输出响应

PWM占空比可由MCU直接测量，也可通过RC滤波器以去除高频载波信号后再测量。展示模拟信号输入到 MCU 时的响应时间。由于输入与输出呈反比关系，该信号进行了取反操作。

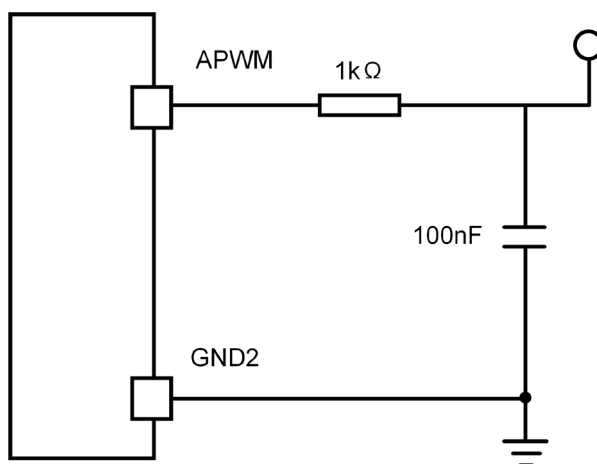


图2.4 RC滤波参数

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

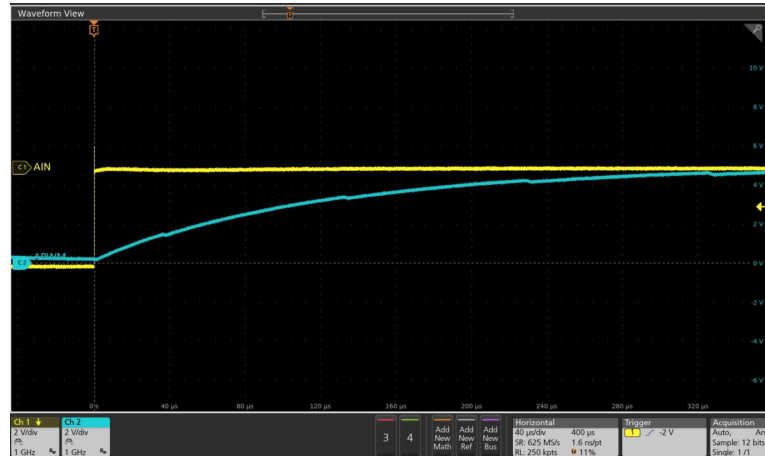


图2.5 RC滤波后的APWM对于阶跃信号的输出响应

使用高精度的台式电源在 AIN 引脚施加直流输入，测量 APWM 输出端占空比并与理论值比较。测试结果表明，APWM占空比的绝对误差极小,可实现精确测量。

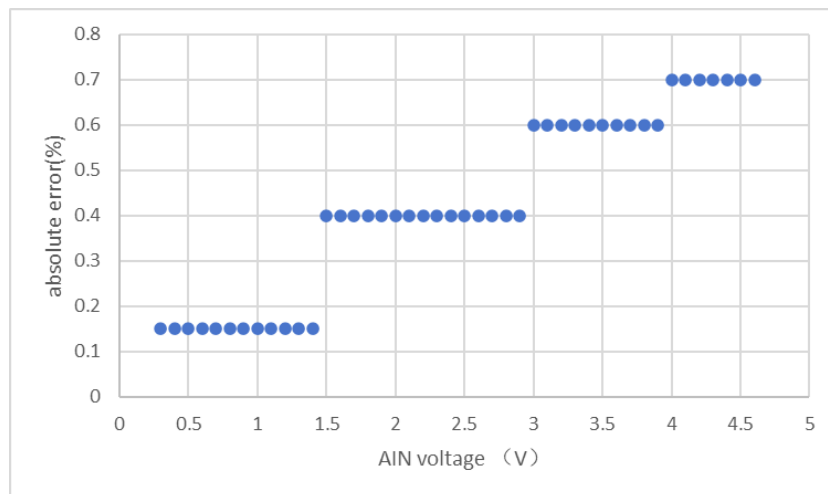


图2.6 APWM通道的绝对误差

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

3.测量功率管模块结温应用说明

3.1.NTC特性介绍

在电力电子应用中，功率管模块的结温是其重要的参数之一，市面上许多功率管厂家都会在模块内部靠近硅片的位置安装一个NTC热敏电阻作为温度传感器使用。通过NSI67x0系列集成的AIN-APWM功能测量功率管模块结温，便是其常见的应用之一。但是，功率管模块内部集成的NTC电阻往往具有非线性特点，在低温下会有几百kΩ，而在高温下只有几十Ω，给测量带来了极大的困难。如果要实现高精度的测量通常需要有高精度的器件配合复杂的校正算法。这里纳芯微提供几种常用的测量方法供参考。

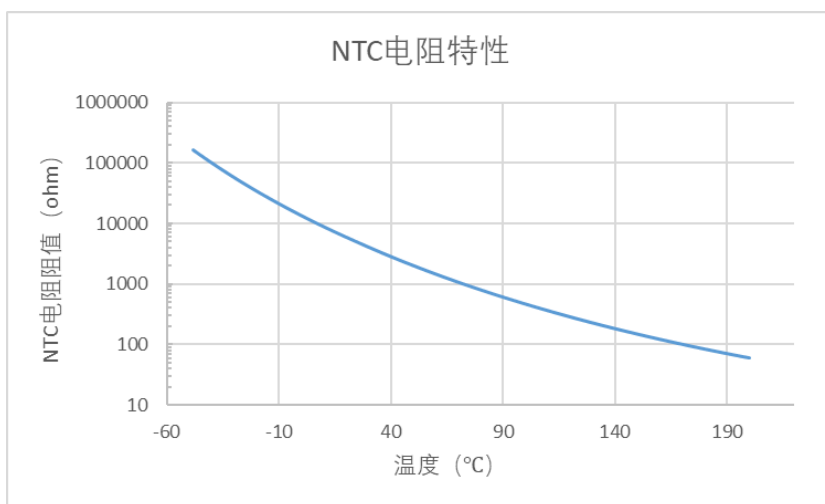


图3.1 市面上某模块NTC阻值特性

3.2.方法一 内部恒流源直接测量

NSI6730系列AIN引脚内部自带一个200uA的恒流源，线性范围为0.3v-4.6v。直接将电流源接在NTC电阻上，显然会在高低温条件下会超出量程范围。因此，需要通过串联R1来增加高温下的被测阻值，并联R2来减小低温下的被测阻值。为了减小误差以及电阻温漂的影响，尽可能选用千分之一精度的电阻。AIN引脚的电压计算公式如下：

$$V_{AIN} = I_{AIN} \times \left(\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{NTC}}} + R_1 \right)$$

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

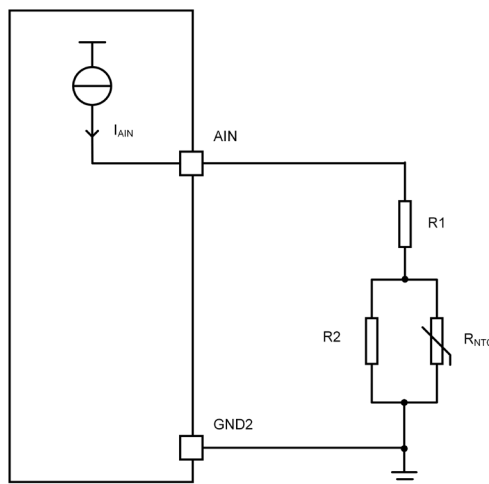


图3.2 内部恒流源直接测量电路原理图

采用该测量方法，具有成本低，电路结构简单，外围器件少便于采样精度计算等特点。缺点则是受限于内部电流源精度，测量精度较差。

3.3.方法二 外部搭建电压源测量

如果要使用外部搭建电压源测量的方法，优先推荐使用纳芯微NSI6770系列，AIN引脚内部无电流源的版本，去除电流源带来的影响以提高采样精度。NSI6770系列专为该应用场景打造。采用此方法时需要外部构建一个高精度的电压源，推荐使用精密基准构建一个外部5v电压源，具体电路原理图如下。

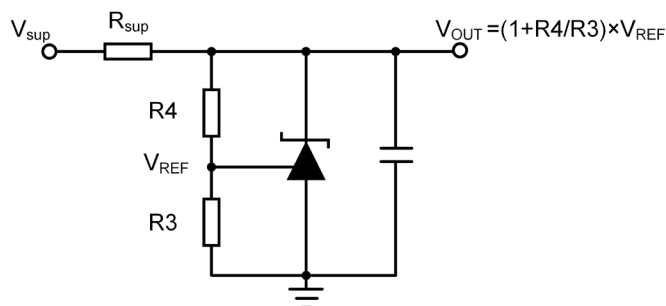


图3.3 采用精密基准搭建5v电压源

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

通过选取合适的R1和R2，充分利用AIN采样的线性区间。需要注意的是，R1的阻值不宜选的太小，选的太小会导致损耗增加，加热NTC，影响测试结果。也不宜选的太大，R1电阻太大，会影响高温时的采样精度。因此需要根据所选用的功率管模块内部的NTC电阻特性，匹配合适的电阻阻值。

以英飞凌某功率模块为例，NTC热导率为145K/W。假设测到120摄氏度时允许1K的温度偏差，则内部NTC的功率损耗不能超过 $P_{MAX}=6.9\text{mW}$ 。若此时NTC电阻阻值为 90Ω ，则电流必须要小于8.76mA。因此R1电阻值必须大于480ohm。

$$I_{MAX} = \sqrt{\frac{P_{MAX}}{R_{120}}}$$

$$R1 \approx \frac{5}{I_{MAX}} - R_{120} \quad (R2 \gg R_{120})$$

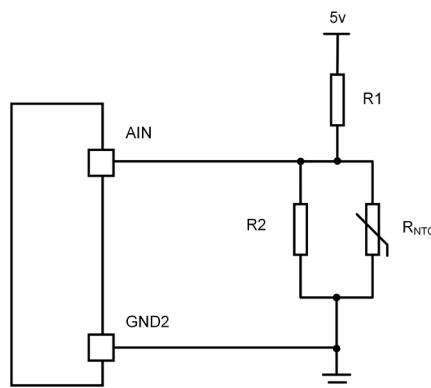


图3.4 电压源测量电路原理图

采用此方法时，需要外部搭建高精度电压源，成本会有所提高，但是相对于电流源直接采样，拥有更高的精度，是一种兼顾成本和精度的折中方案。

3.4.方法三 软件查表法

基于方法一和方法二中提及的NTC电阻采样电路，配合软件查表法可以进一步提高采样精度。具体实施方案如下。

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

根据功率管厂家给出的NTC阻值和温度的关系，结合所使用的AIN采样电路结构，可以计算得到AIN电压值和温度的关系，通过AIN电压值和APWM占空比的转化公式，进而整理得到APWM占空比和温度的关系表，将该表输入至MCU。实际应用中可以通过查表法配合多项式插值进一步提高算法精度。当MCU读到占空比时，可以通过查表得到所属区间，再通过多项式差值法，求得对应温度。

出厂前需要对AIN电压值进行单点或多点校正，得到校正系数后，在后续测量过程中，将测量结果乘以校正系数进行校正。

关于校正系数计算说明，首先选择室温25℃作为参考点。将高精度温度计与设备放置在同一恒温环境，记录此时标准温度计的温度值 T_{ref} 。使用示波器测量实际的APWM占空比 D_{ref} 。通过公式计算修正系数。如果高低温误差较大。也可以进行分段校正。

$$\text{校正系数} = \frac{\text{理论占空比}}{D_{ref}}$$

3.5.误差计算

在确定了一个合适的采样电路之后，便需要对于该采样电路的误差进行计算。这一步非常重要，一个合理的误差分析有利于判断采样结果的可信度以及评估系统的容错能力。

采样方法二为例，计算误差主要考虑的因素有，NTC阻值的偏差，电压源的偏差，串并联电阻精度偏差以及AIN-APWM占空比转化的偏差。每一个因素都可视为一个随机误差，彼此之间相互独立，且满足正态分布。因此根据统计学误差分析，适用“方和根法”来计算合成误差。具体公式如下，

$$\sigma_{\text{总}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots + \sigma_n^2}$$

其中， σ_i 为第*i*项的随机误差的标准差

$\sigma_{\text{总}}$ 为合成后的总随机误差

以25℃时的正向偏差温度为例，首先将25℃时的所有参数都选为典型值得到这个温度下AIN电压的典型值，再通过公式计算得到APWM占空比的典型值。当考虑NTC阻值偏小带来的影响时，将其余变量选取典型值参与计算。将所得AIN采样电压值通过公式转换成APWM占空比，再与典型值相减得到正向占空比偏差。将25℃时的占空比典型值减去24℃时的占空比典型值得到每摄氏度对应的占空比变化。将正向占空比偏差除以每摄氏度对应的占空比变化即可得到，25℃时受NTC阻值偏小带来的正向偏差温度。同理，电压源偏小，R1阻值偏大，R2阻值偏小，占空比转换偏小都会导致温度正向偏差。依次求解，最终将所有正向偏差温度根据方和根法求解得到最终的正向偏差温度。循环上述操作步骤即可得到全温度范围的偏差。

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

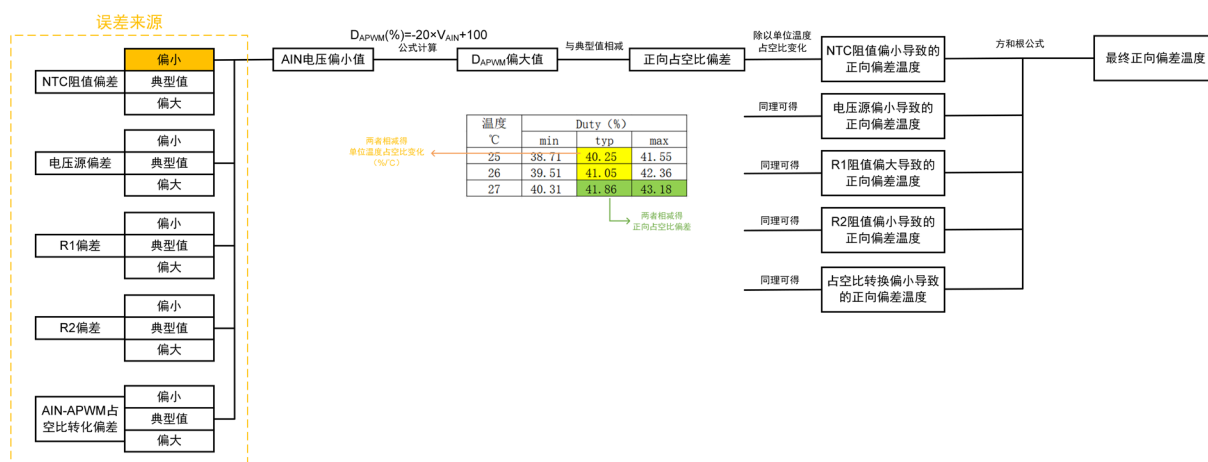


图3.5 误差计算流程图

4.PCB推荐布局

- 1, 旁路电容应靠近 NSI67x0 放置, 分别连接在 VCC1 与 GND1、VCC2 与 GND2 以及 VEE2 与 GND2 之间。
- 2, 输入侧的电源的去耦电容建议通过单点接地以避免寄生电感上的电压尖峰可能会影响内部控制逻辑。
- 3, NSI67x0对外部功率晶体管栅极进行充放电的开关电流较大, 这会导致电磁干扰 (EMI) 和振铃问题。应通过减小环路面积并将 NSI67x0 靠近功率晶体管放置, 来尽量降低此环路的寄生电感。
- 4, VEE2 引脚和 VCC2 引脚可以通过大面积铺铜以实现散热。如果系统有多层 VEE2 或 VCC2, 则使用多个尺寸合适的过孔进行连接。
- 5, 为确保初级侧和次级侧之间的隔离性能, 芯片下方的空间不应有平面层、走线、焊盘或过孔。

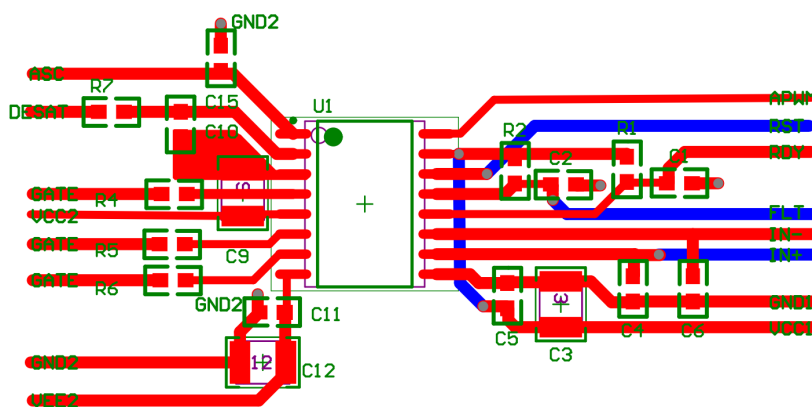


图4.1 推荐布局

基于NSI67x0的模拟采样设计说明

5.修订历史

版本	描述	作者	日期
1.0	创建应用笔记	Chufei Feng, Liang Yu, Hongchao Zhu	2025/11/5

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