

# ICS 印制板设计指南

编制人: Rookie、Scout

日期: 2024 年 7 月 30 日

## 简介

随着系统功率密度的提升, 集成式电流传感芯片(下称 ICS)在电流检测领域也迎来了大面积的应用。在诸如光伏、汽车、电源管理等领域, 小电流检测也逐渐被 ICS 所取代。由于近几年 ICS 迎来了爆发式的增长, 系统在使用 ICS 产品进行 PCB 设计时, 也暴露出了一些问题。

本文主要针对 ICS 系列产品, 在 PCB Layout 中应当注意的事项做阐述, 以供设计参考。本文分为五个主要部分:

- 一、外围器件的选择、摆放与设计;
- 二、信号远距离传输误差的减小与精度的提升;
- 三、原边与次边铺铜隔离距离的设计及其带来的影响;
- 四、ICS 印制板的热设计与散热处理。

## 一、外围器件的选择、摆放与设计

由于系统级应用的多样化, ICS 系列产品的供电形式也多种多样。目前市场上主流的 ICS 应用设计, 供电一般选用与处理器供电共用 LDO 的方式。但是考虑到 EMC 兼容性设计与电源稳定性设计, 一般的 LDO 会随 MCU 摆放在与原边电流相隔较远的地方, 以减少电磁耦合对 MCU 的影响。更有设计直接将原边电流板与处理器分别放置在两块 PCB 板材上, 没通过接插线的方式连接。此时, 由于 ICS 芯片距离 LDO 供电较远, 所以一般会设置去耦电容与续流电容并联(有些客户也会增加 TVS 并联, 增加其抗脉冲能力), 以保证其可以正常工作。

传统的 ICS 系列传感芯片, Vcc 引脚的极限耐压一般为 6V-7V 的水平, 而复杂的电磁环境(例如开关噪声), 则会使得其输入回路上叠加巨大的电压毛刺。该毛刺带来的影响主要在以下两个方面:

1. 快速的脉冲叠加导致 Vcc 毛刺的 Slew Rate 过大, 形成冲击式电压烧毁 Vcc 引脚;
2. 由于 LDO 的距离较远, 冗长的走线带来的寄生电感, 使得该能量只能通过近端电容与芯片的 Vcc 引脚上的泄放回路释放

本文推荐在使用 ICS 设计时, 去耦电容应尽可能近的接近输入电压引脚, 以避免电容与芯片之间存在过长

的走线而影响泄放效果。此外, 在选用 TVS 时, 在满足正常使用条件的前提下, 应尽量选用开启电压小且寄生电容小的器件, 以增强快速高压的抑制能力。例如, 在传统的电流检测 ICS 中, 正常工作电压范围为 4.5V-5.5V, 极限工作耐压为 6.5V, 则最好应选用最低开启电压大于 5.5V 且小于 6.5V 的器件(例如 6V)。

除了在输入端口的电容外。输出端口电容的选取与贴装在信号传输时也显得尤为重要。为了减小阶跃信号的过冲现象, 以及减小输出噪声(自身噪声与耦合噪声)对于采样精度的影响, ICS 系列产品在使用时一般习惯在输出端口增加不同大小的电容。但是, 由于电流传感芯片需要一个快速的响应, 在原边激励快速增大时, 次边输出端电压也需要快速抬升, 给到 MCU 一个过流信号, 以保护后端电路不被烧毁。所以此时, 在输出端口源电流与灌电流一定的情况下, 输出电容太大, 充电时间越长将会导致响应速度变慢。

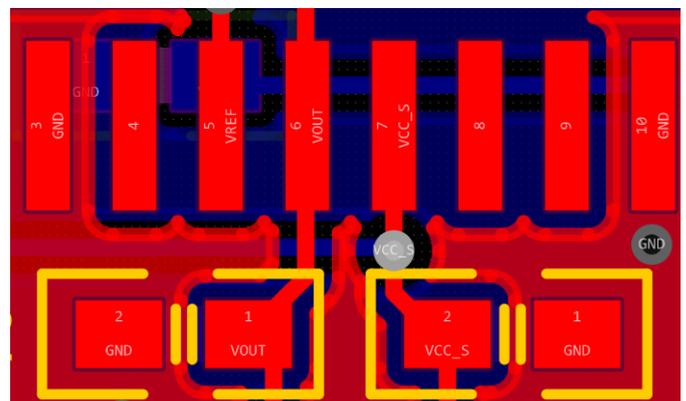


图 1: 输入与输出引脚电容放置示意图

## 二、信号远距离传输误差的减小与精度的提升

上文提到, 在不同的系统中, 原边与次边一般存在较长的传输线。而长线传输在精度以及信号损耗上存在很大的劣势, 所以此时布线的设定就显得尤为关键。具体影响可以如下分析:

首先, 由于 ICS 输出为模拟量, 所以在信号的远距离传输时, 需要避免电磁噪声的耦合, 应采用安静走线的方式, 将输出信号从引脚走线至采样端。

其次，无论是比例输出的 ICS 系列产品，亦或是差分输出的 ICS 系列产品，在传输信号时，均可以通过差分走线的方式将  $V_{out}$  与  $V_{ref}$ （或者  $N \cdot V_{cc}$ ）采样至输入端，以避免相位误差。

由于 MCU 的成本与采样端口的数量相关，所以为了减少成本，一般会采用差分放大器的设计，将输出信号与零点参考的差分值转换成对地的单端电压。此时，放大器的布局，应尽量放置在接近 MCU 的地方，以减小误差。

由于系统板子设计时，模拟地与信号地上均有很多元器件共用，所以 GND 在采样端与芯片端就会存在一定的压降。此时，使用 kelvin 的接线方式，将 GND 在芯片端单独引出，用作测试时的参考低电平，则能有效的校准该误差。

在比例式的 ICS 系列产品中，由于  $V_{out}$  与  $V_{cc}$  的供电电压存在比例关系，所以初始的零点电压则与供电电压强相关联。一般来讲，系统级设计会采用所有 5V（或 3.3V）供电的器件共用同一个 LDO 供电的方式。此时由于 LDO 的负载很大，且因为 LDO 的负载调整率的原因， $V_{cc}$  的实际电压一般会偏差几十 mV 的大小，进而影响到输出电压。所以，在 ICS 系列产品的使用时，应实时采样  $V_{cc}$  的实际电压，以校准因负载调整率导致供电不准确而产生的精度损失。

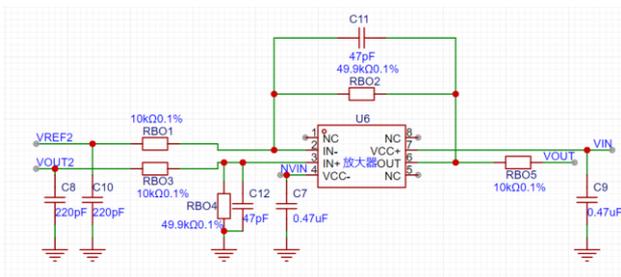


图 2：差分放大器采样设计参考图

### 三、原边与次边铺铜隔离距离的设计及其带来的影响

随着国家与社会对安规性能的要求的提升，系统商在大功率的系统设计时，对其安规性能也愈发地看重。由于 ICS 芯片原边为主电流回路，直接与电流系统相连，所以其设计满足安规要求也愈发地关键。

在系统安全性设计时，其实主要分为如下几个方面：

(1) 由于 ICS 小型化，所以在外部爬电距离上能优化的指标其实少之又少。一般来讲，内部由于存在塑封料（一般为环氧树脂，隔离性能  $\geq 25\text{kV/mm}$ ）的隔离，在隔离耐压的性能上其实并不会存在多大异常，而裸露在外的金属引脚，则变成了最为容易爬电的短板。所以，注意引脚间的隔离就成了 PCB 与结构设计中的重点。根据 UL62368-1 中规定的实验，在印制板设计时，应充分考虑原边与次边的绝缘间距对产品的影响，实际设计值应大于 ICS 系列产品保证的绝缘性能。

(2) 除了绝缘性能会受到原边与次边距离的影响以外，对于交流的系统，干扰耦合问题也是需要考虑的一大因素。在许多像逆变器、变频器等交流应用中，由于交流电压、交流功率过大，总会出现原边强干扰信号耦合至次边的情况出现。此时测试精度由于干扰的注入，则会大打折扣。为避免该问题的出现，一般会将原边与次边进行隔离。一是将原边走线（铺铜）与次边走线（铺铜）间距拉大，减小平行电容效应；二是将原边与次边之间掏空，隔绝噪声耦合效应。

(3) 雷击浪涌测试作为必要的安规测试，印制板的隔离距离也会对测试结果造成显著的影响。由于雷击浪涌测试时会产生瞬态的大阶跃信号，所以电磁干扰也会随之向四周辐射。若 PCB 绝缘间距过短，就会因耦合效应在次边产生强大的脉冲冲击，此时电压会以很高的 slew rate（一般会远大于芯片规格书中提及的耐受度）爬升至超过芯片引脚的极限指标，从而使得芯片被烧毁。因此，相对安全的绝缘间距的设计，能有效的提升系统抵抗雷击浪涌的能力。

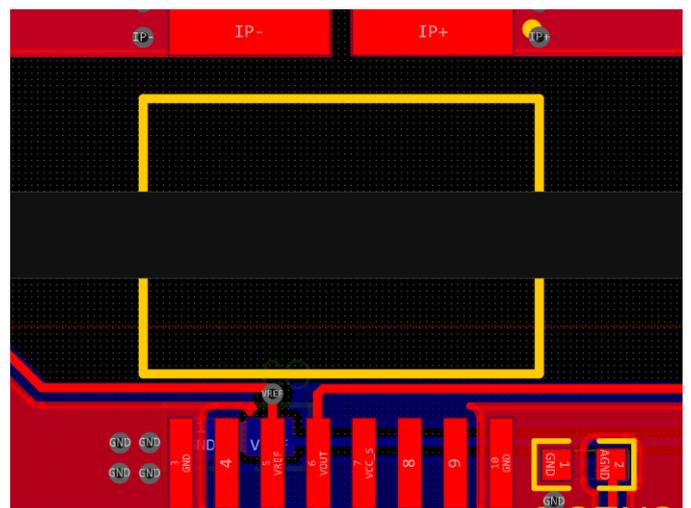


图 3：原边次边隔离设计参考图

#### 四、ICS 印制板的热设计与散热处理

伴随着功率系统集成化程度越来越高，热管理与热设计在功率系统设计中也变得越来越高。ICS 作为主电流回路上的重要组成部分，其温度管理也成为越来越突出的设计因素。在主电流回路面积减小的趋势下，如何散热主要有以下几个措施：

##### 1. 做好气流管理

散热气流尽可能地通过 ICS 产品表面，不断带走其热量，良好的风道设计可以使得 ICS 具有更低的温度，从而可以达到更大的测试范围。

##### 2. 做好主电流回路铜面积及厚度的热仿真

使用仿真软件计算好理想温升时，极限电流条件下的铺铜面积以及铜厚。在小型化需求日益旺盛的今天，铺铜的面积逐渐减小，则铜厚应等比例增加。

例如，在 100A 温升 10°C 下，需要 172.3mm 宽、1oz 厚的外层铺铜厚度，而当宽度减小一倍，则需要 2oz 的铺铜厚度。具体结果如下：

电流:	100	安培
铜厚:	1	oz/in.^2
温升:	10	C
外层线宽:	172.3	mm

电流:	100	安培
铜厚:	2	oz/in.^2
温升:	10	C
外层线宽:	86.15	mm

上述条件为单一层走线（铺铜）时应计算的载流导体数据，而系统商往往会使用多层同时走线（铺铜）的方式来进一步缩小占板面积。而此时多层板之间的连接过孔布置则需要尤其关注。首先，在过孔放置数量上，应进行载流孔仿真，下图是单过孔温升 10°C 在 1oz 铜厚 0.2mm 孔径下的仿真结果。

孔径:	0.2	mm
孔壁铜厚:	1	oz/in.^2
温升:	10	C
电流:	1.815	安培

此外，过孔的摆放位置及分布也会对温度表现产生较大的影响。由于 ICS 器件一般为表贴器件，其电流会优先通过阻抗低的表层铺铜，过孔摆放时，应尽可能的接近表贴位置，向左右以及前方均匀铺开，以达到最好的均流效果。

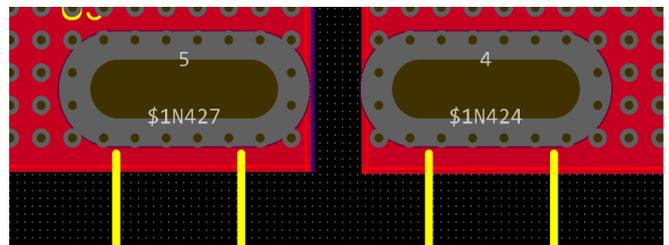


图 4：过孔摆布图参考图

## 重要声明和免责声明

本文件中所述的产品应用信息及其他类似内容，可能会被更新内容所替代，Matrixsens 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。

本应用手册可供专业技术人员采用 Matrixsens 产品进行选型应用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 Matrixsens 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。本应用手册如有变更，恕不另行通知。Matrixsens 对您使用本应用手册的授权仅限于开发资源所涉及 Matrixsens 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示本应用手册，也不提供其它 Matrixsens 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用本应用手册而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，Matrixsens 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 Matrixsens 及其代表造成的损失。