参考文献

Application Note

多路复用器应用中的保护技术

Bryan Marshall

摘要

TI 提供多种超低泄漏电流多路复用器，可用于各种精密应用。然而，在使用高性能多路复用器的应用中，要实现如此低的泄漏电流，必须采用保护技术，避免 PCB 寄生效应和环境因素引入不可忽略的泄漏电流，进而影响敏感电路的测量结果。本应用手册介绍了泄漏电流可能给精密应用带来的问题，以及保护技术对于确保充分发挥多路复用器性能的重要意义。

内容

1 什么是保护技术？ 2
2 保护技术最佳实践 3
3 泄漏电流如何影响精密应用的性能？ 4
4 适用于精密、低泄漏应用的多路复用器建议 5

插图清单

图 1-1. PCB 泄漏电流来源模型 2
图 1-2. 布线保护 2
图 2-1. PCB 盒式保护结构 3
图 2-2. 小间距下的保护设计 3
图 2-3. 大间距下的保护设计 3
图 2-4. 保护生成电路 4
图 3-1. 多路复用器的导通泄漏电流 5

表格清单

表 2-1. 建议的保护生成运算放大器 4
表 3-1. 多路复用器性能对比 4
表 3-2. 多路复用器引起的失调电压误差 5
表 4-1. 推荐的精密多路复用器系列 5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

English Document: SCDA042
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 什么是保护技术？

保护技术是一种 PCB 布局技术，可屏蔽敏感网络，使其免受寄生电路元件或外部因素的影响，避免这些因素产生噪声或泄漏电流，进而影响应用性能。泄漏电流可能来自多种来源。对于精度要求极高的应用，需要考虑所有潜在的泄漏电流来源。相邻布线的寄生效应及可能的环境影响请见图 1-1（顶视图）。

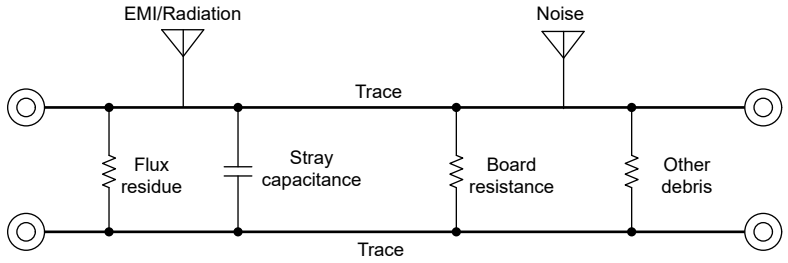


图 1-1. PCB 泄漏电流来源模型

如上图所示，漏电路径可能由多种因素形成，包括电路板上的助焊剂残留、碎屑（导致表面泄漏）、电气干扰，以及导体（此处指布线）之间的电路板固有电阻和介电材料。前两种因素可以通过保持制造工艺和操作环境清洁，或将敏感布线布设在 PCB 内层来消除。但第三种和第四种因素可能影响任何 PCB；如果设计中未采用适当的保护措施，就可能产生大量泄漏电流。

以布线之间的电阻为例。假设 PCB 上两条布线之间的电势差仅为 5V，且布线间电阻估计为 GΩ 量级，那么仅这一电势差就可能产生 nA 量级的泄漏电流。因此可以想象，随着电路板上的电压显著升高，相关网络中的泄漏电流也会随之增大。因此，采用保护方案对于抑制泄漏电流至关重要。

保护技术通过设置与敏感网络电势相同的有源导体，并用这些导体包围敏感网络，来营造泄漏电流极低的环境。当保护环与敏感网络处于相同电势时，布线与其紧邻区域之间的电压差会非常小，从而大幅降低杂散泄漏电流流入 PCB 的这一区域的可能性。图 1-2 展示了一种典型的保护方案。



图 1-2. 布线保护

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 保护技术最佳实践

为尽可能降低泄漏电流，应遵循以下保技术护最佳实践。如前所述，首先需要防范的是表面污染，因为表面污染往往会导致杂散泄漏电流。为降低碎屑或污染物形成漏电路径、影响敏感网络的可能性，最好将敏感网络布设在 PCB 内层。进一步而言，建议在整个网络周围构建一个“盒式”保护结构。也就是说，除了在与敏感网络相同的层上进行传统保护外，还要在其上和其下的层设置屏蔽结构，并使其与保护布线处于相同电势。这种配置会产生类似于屏蔽电缆的效果，可对敏感网络进行 360° 屏蔽。图 2-1 展示了相应的结构示意图。

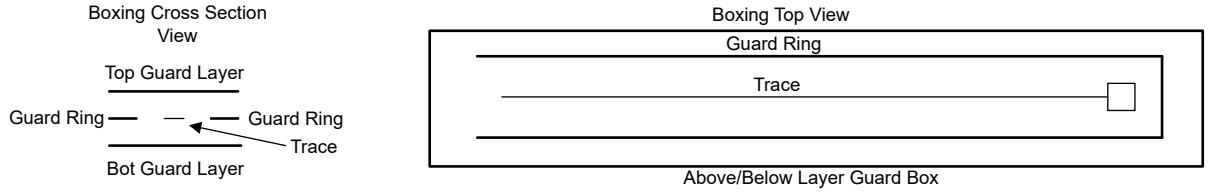


图 2-1. PCB 盒式保护结构

随着封装尺寸不断缩小，部分封装的间距也使得在布线周围设置完整的保护环变得更加困难。为解决这一问题，设计人员需要尽可能将保护环和保护布线布设在靠近引脚的位置，同时确保相邻保护布线之间留有一定间距（请参阅图 2-2）。



图 2-2. 小间距下的保护设计

不过，如果需要实现完整的保护，TI 也提供采用 SOIC 封装、更便于进行保护设计的器件。这类器件的间距较大，因此可以在每个器件的引脚周围设置完整的保护结构。其中一个示例就是使用 MUX36S16DWR，如图 2-3 所示。

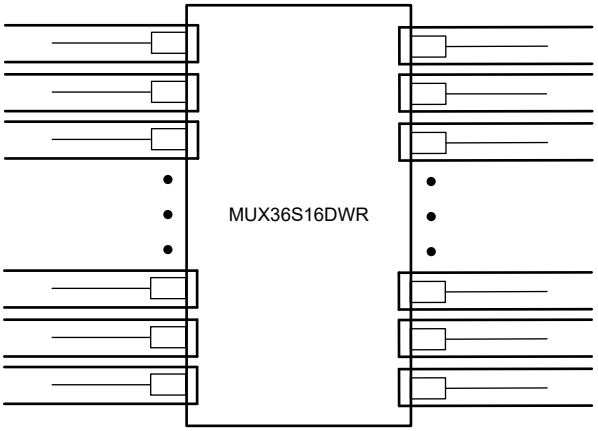


图 2-3. 大间距下的保护设计

English Document: SCDA042
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

最后，设计还必须确保合理生成保护电压。也就是说，保护电压应尽可能接近敏感网络的电压，以达到最佳保护效果。为此，需要加入精密缓冲器，以适当驱动保护结构。图 2-4 展示了一个示例拓扑结构。

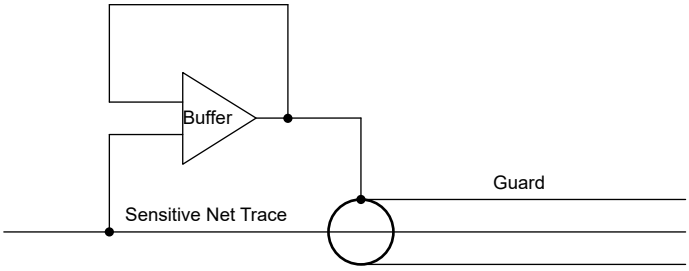


图 2-4. 保护生成电路

建议在该拓扑结构中使用精密缓冲器，以减少运算放大器本身产生的额外泄漏电流，并使保护电压尽可能接近敏感网络的电压。表 2-1 列出了一些适用于该应用的推荐运算放大器。

表 2-1. 建议的保护生成运算放大器

器件	电压范围	失调电压
OPA397	5.5V	60uV
OPAx197	36V	25μV
OPA593	85V	10 μV
OPA455	150V	3.4mV

3 泄漏电流如何影响精密应用的性能？

在高精度应用中使用多路复用器时，其产生的泄漏电流可能导致不良结果。如表 3-1 所示，有两款不同的多路复用器可供选择。

表 3-1. 多路复用器性能对比

多路复用器	泄漏电流性能 (25C/125°C)	导通电阻 (25C/125°C)
TMUX1108	3pA/950pA	2.5Ω/4.9Ω
TMUX1308	1nA/800nA	75Ω/270Ω

这些器件具有泄漏电流和电阻特性，可能会影响应用性能；如果未采取适当的保护措施，还可能引入误差。这些泄漏电流引入的误差约为方程式 1 所示的数值。

$$V_{ERROR} = (R_{ON} + R_{SOURCE}) \times I_{LEAK} \quad (1)$$

English Document: SCDA042
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

为进一步说明这一点，图 3-1 展示了多路复用器导通泄漏电流的模型。

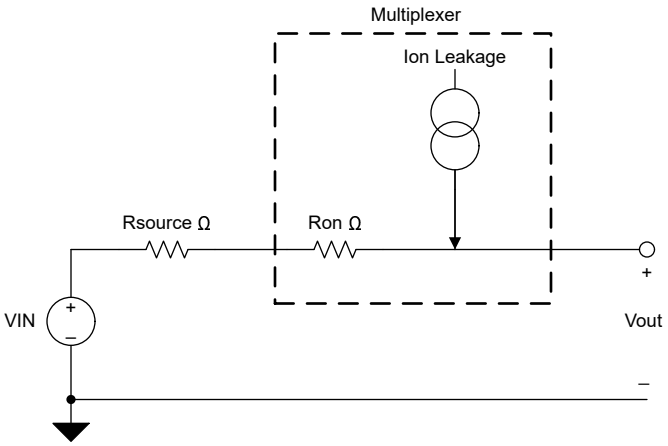


图 3-1. 多路复用器的导通泄漏电流

当多路复用器连接到高阻抗节点时，泄漏电流会沿电阻较小的路径流动，即经过导通电阻和源电阻，从而产生失调误差，影响输出端的测量结果。继续以上述多路复用器为例，如果未充分考虑保护措施和器件选型，泄漏电流造成的影响可能相当大（以下计算假设 R_{source} 可忽略不计）。

表 3-2. 多路复用器引起的失调电压误差

多路复用器	泄漏电流性能 (25°C/125°C)	导通电阻 (25°C/125°C)	失调电压误差 (25°C/125°C)
TMUX1108	3pA/950pA	2.5Ω/4.9Ω	7.5pV/4.6nV
TMUX1308	1nA/800nA	75Ω/270Ω	75nV/216μV

上述示例表明，仅多路复用器的选型不同，就可能导致泄漏电流引起的失调电压误差存在显著差异。需要注意的是，只有采用合理的布局并实施保护措施，才能实现低泄漏电流性能。

4 适用于精密、低泄漏应用的多路复用器建议

虽然保护技术对确定某些应用的泄漏性能具有至关重要的作用，但要实现如此低的泄漏水平，需要先选用高精度器件。如表 4-1 所示，TI 提供了多个适用于此类应用的多路复用器系列。

表 4-1. 推荐的精密多路复用器系列

器件	配置	电压范围	导通泄漏电流 (25°C)	导通电阻 (25°C)
TMUX1108/09	8:1x1/4:1x2	5V，±2.5V	3pA	2.5Ω
TMUX1111/2/3	1：1x4	5V	3pA	2.5Ω
TMUX1121/2/3	1：1x2	5V	3pA	1.9Ω
TMUX6111/2/3	1：1x4	17V，±17V	10pA	125Ω
TMUX6121/2/3	1：1x2	17V，±17V	10pA	120Ω
MUX36D08	8：1x2	36V，±18V	10pA	125Ω
MUX36S16	16：1x1	36V，±18V	10pA	125Ω
TMUX7219	2：1x1	44V，±22V	40pA	2.1Ω
TMUX7208/09	8:1x1/4:1x2	44V，±22V	40pA	4Ω
TMUX7211/2/3	1：1x4	44V，±22V	100pA	1.7Ω
TMUX8108/09	8:1x1/4:1x2	100V，±50V	40pA	38Ω
TMUX8211/2/3	1：1x4	100V，±50V	10pA	5Ω

English Document: SCDA042
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

重要通知和免责声明

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出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 销售条款)、TI 通用质量指南 或 ti.com 上其他适用条款或 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。 除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月