

# 片上薄膜电阻器可实现高性能音频电路

Tyler Noyes、John Caldwell、Alexander Davis



## 简介

高性能电路设计需要在信号路径中仔细选择有源和无源元件。设计人员通常认为使用高性能的集成电路能够确保形成高性能的系统。但是，如果选择无源元件只是为了最大程度地降低成本，那么这会显著降低系统的性能。在需要小尺寸、低失真或者出色匹配的音频产品中，与分立式电阻器相比，片上薄膜电阻器 (TFR) 能够提供更出色的性能。

## 现代放大器架构

TFR 的构成方式是：首先在基板（例如，硅片）上沉积一层电阻材料（通常为金属合金）薄膜。然后，使用平版印刷将电阻层划分为多个已知电阻区域（通常称为链路）。为了使两个电阻器密切匹配，可以将每个电阻器分解为多个并行连接的链路。包含每个电阻器的电阻链路以互相交叉的方式放置在晶圆上，可有效地允许两个电阻器在该晶圆上占据相同的位置。这可确保晶圆上薄膜电阻材料的任何变化都会对两个电阻器产生相同的影响。图 1 显示了该流程的示例。

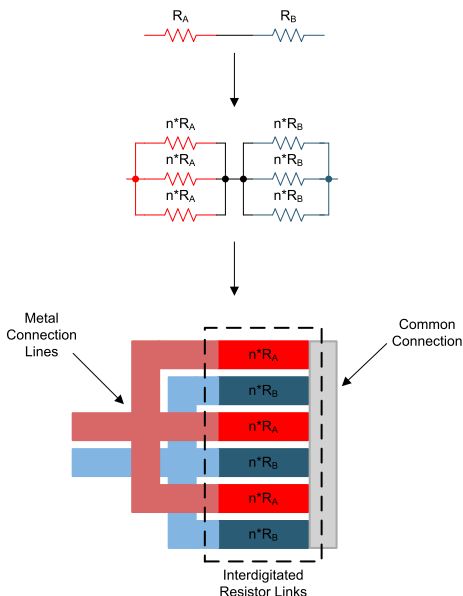


图 1. 实现匹配值的 TFR 网络

现代半导体布局技巧与芯片上所提取寄生效应的仿真相结合，允许该流程生产能够高度匹配的电阻器阵列，无需进行激光修整。例如，INA1620 集成了一个具有四个薄膜电阻器阵列的双路运算放大器 (Op Amp)。每个阵列都包含两个作为分压器进行连接的  $1\text{k}\Omega$  电阻器。这些电阻器的匹配误差都通常低于  $0.005\%$ 。

## 使用集成薄膜电阻提高差分放大器电路的 CMRR

TFR 提供的出色匹配在许多音频电路中都很实用。线路接收器、麦克风前置放大器和音频数模转换器 (DAC) 输出电路均受益于密切匹配的电阻器。提高共模抑制比 (CMRR) 是集成的 TFR 所提供的优势之一。典型音频 DAC 输出电路（如图 2 所示）的 CMRR 取决于电阻器在 DAC 输出电路中的匹配程度。

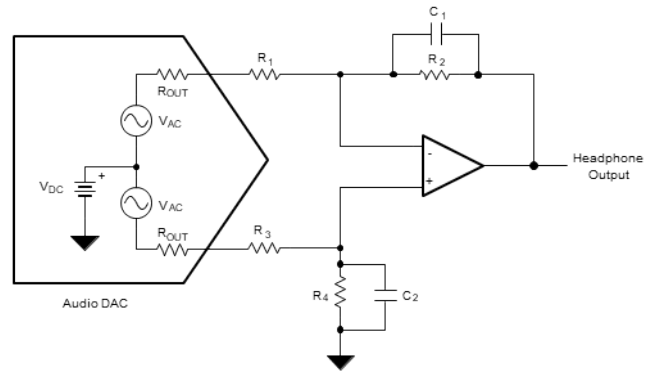


图 2. 音频 DAC 输出电路

已使用 INA1620 和 OPA1622 针对该配置测量了 CMRR。结果如图 3 中所示。

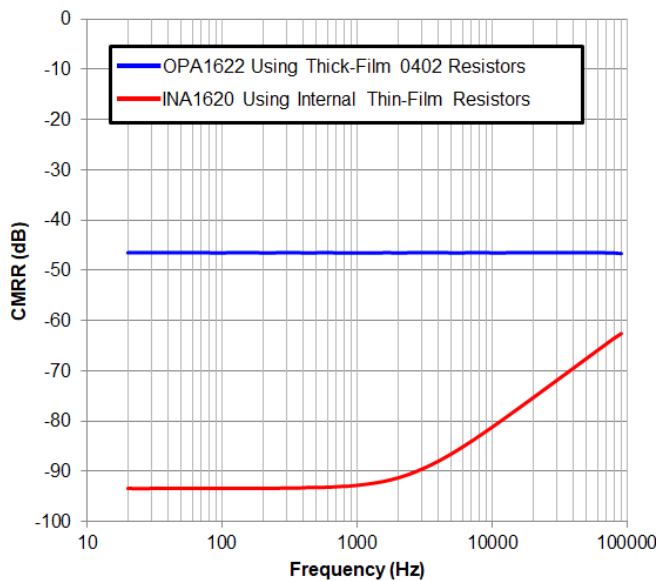


图 3. CMRR 与频率间的关系

CMRR 的绝对值越高，放大器便能更好地抑制共模信号。由于薄膜工艺能够产生容差非常高的电阻器，因此可通过标准的电阻器容差值显著提高 CMRR。请参阅表 1 以了解电阻器容差如何影响 CMRR。该测试中使用的 INA1620 表现出接近 93dB 的 CMRR，此值对应的电阻器匹配度是 0.001%。INA1620 最坏情况下的电阻器匹配度为 0.02%，此值对应的 CMRR 是 74dB。有关 CMRR 如何影响差分放大器的更多信息，请参阅。

表 1. 基于电阻器容差的最坏情况下的 CMRR

电阻器容差	最坏情况下的 CMRR (dB)
10.000%	14
5.000%	20
1.000%	34
0.010%	74
0.001%	94

### 使用集成 TFR 来改善失真

谐波失真是指增加了会降低音频质量的不需要的频率。分立式组件对失真造成的负面影响很容易被忽略；大多数工程师通常重点关注的是放大器。在设计良好的失真特性时，考虑音频电路周边的分立式组件十分重要。

由于薄膜电阻器和厚膜电阻器在制造工艺上的差异，它们的特性大不相同。薄膜电阻器是使用真空沉积工艺构建的，此工艺考虑到了更低的温度系数和更低的噪声。使用图 2 中相同的器件和配置，针对这两种器件测量了 THD+N。测试结果如图 4 中所示。厚膜电阻器表现出的失真比薄膜电阻器高出 6dB。这表明电阻器可在电路中对 THD+N 产生更大的影响。

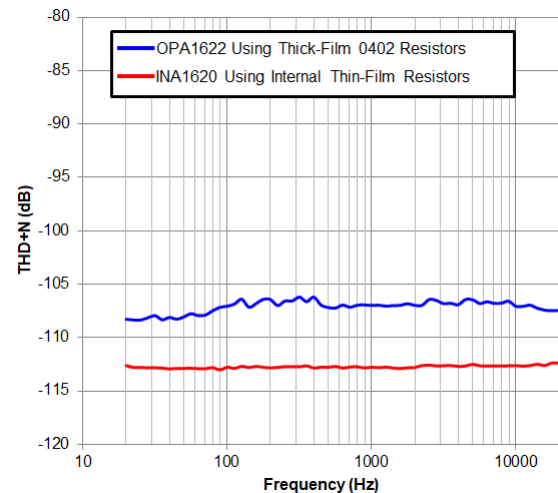


图 4. THD+N 与频率间的关系

### 其他资源

表 2. 具有集成薄膜电阻器的 TI 音频放大器

器件	说明
INA1620	耳机放大器：双极输入 2.8nV/√Hz，-119dB THD+N，32MHz GBW，0.004% 的集成电阻器匹配度
INA1650	差分线路接收器：-104.7dBu 本底噪声，-120dB THD+N，91dB CMRR，1MΩ 差分输入阻抗

表 3. 相关文档

文献编号	文章名称
SBOT041	EMI 增强型运算放大器可降低不精确性
SBOA274	差分放大器（减法器）电路

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。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 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、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。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、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司