

ADI 公司底部收音孔 MEMS 麦克风的贴装和连接建议

作者：Alex Khenkin

简介

ADI 公司底部收音孔 MEMS 麦克风是高性能声学传感器，能够提供扩展的宽带频率响应。虽然麦克风的响应在工作范围内变化极小，但将麦克风放入器件外壳中时，其响应可能会发生改变。本应用笔记提供一些贴装建议，以便最大程度地减小封装对最终产品内麦克风性能的影响。另外还探讨了电气连接、编解码器接口和各方面性能。

本应用笔记讨论如下内容：

- 机械设计考虑：印刷电路板 (PCB) 贴装、垫圈和垫片的使用、避免谐振。
- 电气连接：模拟连接、数字数据格式、编解码器接口。
- 支持应用的各方面性能。

目录

简介.....	1	休眠模式.....	6
修订历史.....	2	推荐导线长度.....	6
机械设计考虑.....	3	电气连接：模拟 MEMS 麦克风.....	7
声音路径设计.....	3	模拟 MEMS 麦克风连接到编解码器或运算放大器增益级.....	7
PCB 厚度和柔性 PCB 的使用.....	3	模拟输出 MEMS 麦克风连接到差分输入.....	7
PCB 收音孔尺寸.....	3	性能.....	8
避免谐振.....	4	低振动敏感度.....	8
电气连接：PDM 输出的数字 MEMS 麦克风.....	5	扩展的频率响应.....	8
支持 PDM 数据格式的 ADI 公司编解码器.....	5	频率幅度和相位响应可重复性.....	8
两个麦克风连接到一条数据线.....	5	灵敏度与温度的关系.....	9
多麦克风应用中禁用一个麦克风以便省电.....	6		

修订历史

2010 年 11 月—修订版 0 至修订版 A

更改产品标题和“简介”部分.....	1
更改“机械设计考虑”部分、“声音路径设计”部分、“PCB厚度和柔性PCB的使用”部分、“PCB收音孔尺寸”部分.....	3
更改“避免谐振”部分.....	4
“电气连接”部分更改为“电气连接：PDM输出的数字MEMS麦克风”部分.....	5
删除“评估板”部分、图6、图7和表1；重新排序.....	5
更改“两个麦克风连接到一条数据线”部分.....	5

增加“多麦克风应用中禁用一个麦克风以便省电”部分和“休眠模式”部分.....	6
删除“PCB焊盘图形布局”部分和图10.....	6
增加“电气连接：模拟MEMS麦克风”部分和图10.....	7
更改“低振动敏感度”部分、“扩展的频率响应”部分、“频率幅度和相位响应可重复性”部分和图11.....	8
增加图12.....	8
增加“灵敏度与温度的关系”部分和图13.....	9

2010 年 4 月—修订版 0：初始版

机械设计考虑

ADI 公司底部收音孔 MEMS 麦克风可以通过回流焊直接焊接到 PCB 上。PCB 上需要开一个孔，以便将声音传入麦克风封装。此外，容纳 PCB 和麦克风的外罩也必须有一个开口，以便使麦克风与外部环境相通。

PCB 与外罩一起构成声学电路的一部分，可能会影响麦克风的频率响应。本应用笔记将提供一些建议，帮助用户确保实现麦克风的最佳音频性能。

声音路径设计

麦克风需要一条使声音通过底部收音孔进入封装的路径。由于 ADI 公司 MEMS 麦克风的平坦频率响应、麦克风封装的小尺寸及其相关特性，声音路径的确切几何形状不会显著影响麦克风的响应。声学中的所有尺寸参考都是相对于声音波长而言，因此下面的频率与波长换算公式非常有用：

$$\lambda = c/f$$

其中：

λ 是波长 (m)。

c 是声速，约为 340 m/s。

f 是频率 (Hz)。

例如，在 10 kHz 时，波长为 34 mm（见图 1）。

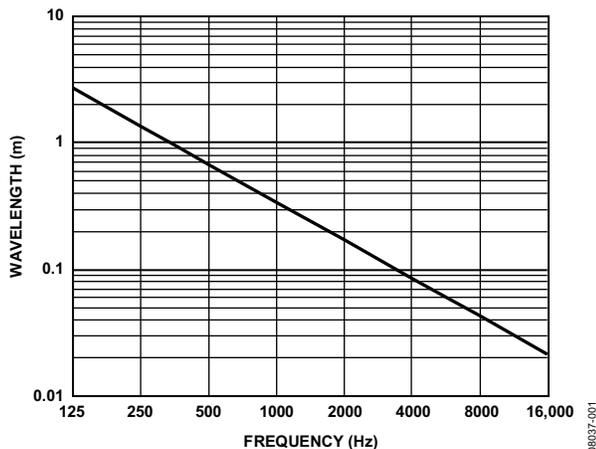


图 1. 声音波长与频率的关系

PCB 厚度和柔性 PCB 的使用

ADI 公司 MEMS 麦克风的性能不受 PCB 厚度影响。麦克风可以贴装在柔性 PCB 上，相关指南请参阅麦克风数据手册 (<http://www.analog.com/zh/mic>) 和应用笔记 AN-1068。装有麦克风的柔性 PCB 可以通过粘接层直接粘贴到器件外罩。这种安装方法能够在收音孔周围提供可靠的密封，同时提供最短的声音路径，可以实现良好的声音质量。

PCB 收音孔尺寸

只要 PCB 收音孔直径不小于 0.25 mm (0.010 英寸)，ADI 公司 MEMS 麦克风的响应就不受 PCB 收音孔尺寸影响。收音孔直径典型值为 0.5 mm 到 1 mm (0.020 英寸到 0.040 英寸)。麦克风封装中的孔应与 PCB 中的孔对齐。只要这些孔没有被部分或完全遮挡，对齐的精确程度就不会影响麦克风的性能。

避免谐振

一种能够影响声音质量的声学结构是亥姆霍兹谐振器，其尺寸甚至远小于声音波长。它由一个较宽的内腔部分和一个通往外部的窄孔组成。例如，当麦克风 PCB 与器件外壳之间使用一个宽垫片时（见图 2），就有可能形成亥姆霍兹谐振器。

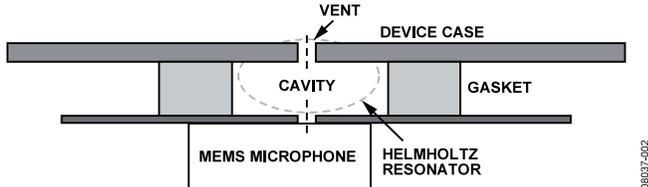


图 2. 亥姆霍兹谐振器示例

这种结构可能会导致高频响应尖峰，除非产品设计人员刻意追求这种尖峰，否则应当避免。为了避免这种谐振，垫片应尽可能小，或者将电路板直接贴着器件外壳放置。当由于工业设计限制，需要较长的声学路径时，有效路径直径尺寸应接近或小于器件外壳开口（见图 3）。器件外壳可以开多个小孔，而不是只开一个出口。

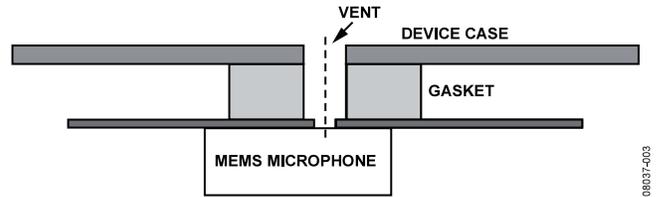


图 3. 推荐垫片设计示例

器件外壳与垫片之间以及 PCB 与垫片之间必须密封良好。垫片材料的刚度对整体麦克风性能的影响可忽略不计。垫片材料可以是橡胶、硅树脂、氯丁橡胶或闭孔泡沫等。

可以使用下式计算亥姆霍兹谐振频率：

$$f_b = \frac{c \times D}{4\sqrt{\pi \times V \times (L + \sqrt{\pi} \times D / 2)}}$$

其中：

f_b 是谐振频率 (Hz)。

c 是声速，约为 340 m/s。

D 是开孔直径 (mm)。

V 是空腔体积 (mm³)。

L 是开孔长度 (mm)。

由于垫片壁的非刚性、泄漏和其它因素影响，计算所得谐振频率可能与实测结果不同。上式主要用于估算谐振在频域中的可能位置，而不是精准地确定谐振频率值。

电气连接：PDM 输出的数字 MEMS 麦克风

支持 PDM 数据格式的 ADI 公司编解码器

ADMP421 输出数据为脉冲密度调制 (PDM) 数字格式。ADI 公司的 ADAU1361 和 ADAU1761 编解码器具有支持 PDM 格式的数字麦克风输入，如图 4 所示。有关数字麦克风接口的更多信息，请参阅相应的数据手册。

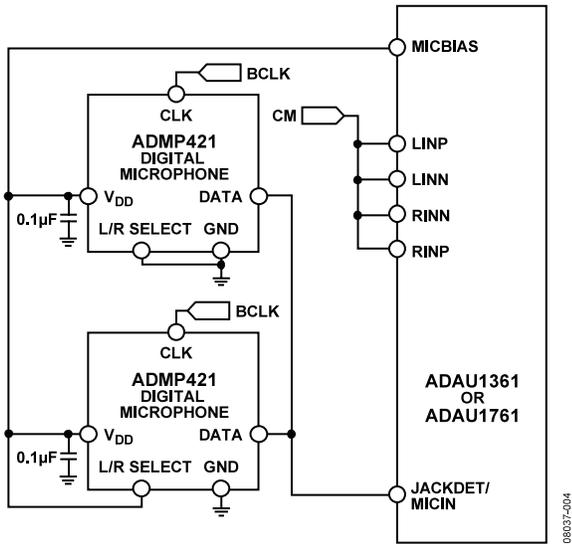


图 4. ADAU1361 和 ADAU1761 与两个 ADMP421 麦克风的接口框图

当将 ADMP421 连接到 JACKDET/MICIN 引脚时，必须设置寄存器 R2（地址 0x4008）的 JDFUNC[1:0] 位，以使能麦克风输入并禁用插孔检测功能。ADAU1361 必须工作在主机模式，并且将 BCLK 输入到数字麦克风的输入时钟。

数字麦克风信号旁路录音路径混频器和 ADC，直接路由到抽取滤波器。数字麦克风和 ADC 共用抽取滤波器，因此二者不能同时使用。数字麦克风输入选择位 INSEL 可以在寄存器 R19（ADC 控制寄存器，地址 0x4019）中设置。

图 5 显示了数字麦克风的信号路由。此外，对于 ADAU1761，要使数字麦克风正常工作，还必须置位寄存器 R62（DSP 运行寄存器，地址 0x40F6）内的 DSPRUN 位。

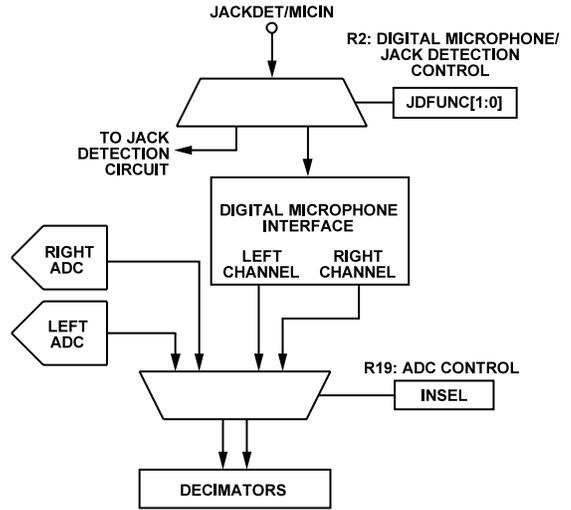


图 5. 数字麦克风信号路由框图

两个麦克风连接到一条数据线

如图 4 所示，两个麦克风可以连接到一条 DATA 线上，以实现立体声操作。这种方式之所以可能，是因为 DATA 输出在每个时钟周期的半个周期中处于高阻态。L/R SELECT 引脚控制左右输出通道的麦克风分配，如表 1 所示。

表 1. L/R SELECT 引脚分配

L/R SELECT 连接到	所选模式
逻辑低电平 (GND)	右声道麦克风 (DATA1)
逻辑高电平 (V _{DD})	左声道麦克风 (DATA2)

当时钟处于低电平状态时，DATA1 输出位有效。当时钟处于高电平状态时，DATA2 输出位有效。这意味着，右声道 (DATA1) 位必须在时钟低到高跃迁时读取，左声道 (DATA2) 位必须在时钟高到低跃迁时读取。图 6 所示为建议的双麦克风连接原理图。根据两个麦克风之间的距离和 V_{DD} 走线的长度，每个麦克风可能需要一个独立的 0.1 μF V_{DD} 旁路电容。

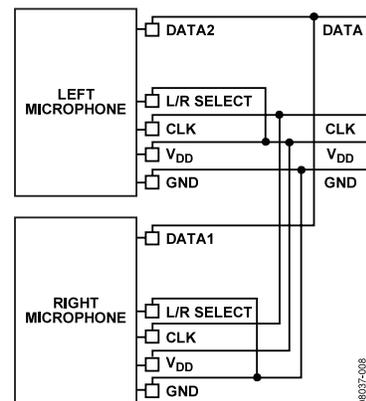


图 6. 两个 ADMP421 麦克风连接到一条 DATA 线

多麦克风应用中禁用一个麦克风以便省电

ADMP421 在两个或更多麦克风共享同一时钟和 / 或数据线的系统中可以实现独特的省电特性。当电源 (V_{DD}) 引脚处于 0 V 或悬空时，麦克风能够同时在时钟和数据引脚上呈现高阻抗。禁用的麦克风不构成其它活动麦克风的负载，不耗电。

休眠模式

当时钟关闭或时钟频率降至 1 kHz 以下时，麦克风进入休眠模式。在这种模式下，麦克风数据输出处于高阻态。休眠模式下的功耗小于 50 μ A。

推荐导线长度

对于产品评估，ADMP421 可以使用最长 6 英寸 (15 cm) 的导线直接连接到编解码器。如果需要更长的导线，建议在编解码器的时钟输出端使用一个 100 Ω 电阻，以最大程度地减小时钟信号的过冲或振铃。某些情况下，当导线过长时，可能需要一个时钟缓冲器来防止性能下降。图 7 是简单时钟缓冲器的原理图示例。

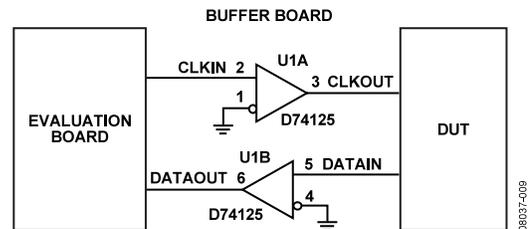


图 7. ADMP421 缓冲器原理图示例

电气连接：模拟 MEMS 麦克风

模拟 MEMS 麦克风连接到编解码器或运算放大器增益级

ADI 公司的模拟输出 MEMS 麦克风可以连接到专用编解码器的麦克风输入（参见图 8），或者连接到高输入阻抗增益级（参见图 9）。建议靠近麦克风电源引脚放置的一个 0.1 μF 陶瓷电容用于测试，并利用它来给麦克风充分去耦，使其免受电源上的噪声影响。麦克风输出端需要一个隔直电容。

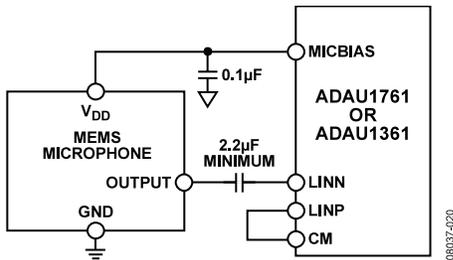


图 8. ADI 公司 MEMS 麦克风连接到 ADI 公司编解码器 ADAU1761 或 ADAU1361

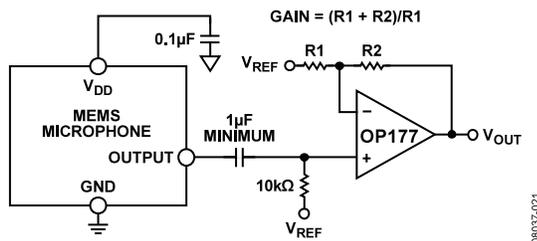


图 9. ADI 公司 MEMS 麦克风连接到运算放大器 OP177

模拟输出 MEMS 麦克风连接到差分输入

在电磁干扰环境下，电路板上的低电平单端信号布线可能会将声频噪声注入信号链中。使用平衡信号路径可以显著减少噪声拾取，哪怕麦克风本身是单端输出，但这种简单的解决办法常被忽视。

平衡线路的关键特性是两条导线相对于地的阻抗相等¹。使用一条具有适当阻抗端接的参考导线可以实现平衡线路。例如，假设 ADI 公司的一个 MEMS 麦克风的输出阻抗为 200 Ω，那么在麦克风的地参考点上增加一个 200 Ω 电阻，并且与信号线并行铺设一条参考走线，就可以创建一条平衡信号路径（见图 10）。虽然由于电阻值容差和其它因素的限制，不能创建完美平衡的线路条件，但实践证明，这种低成本电路能够降低实际应用中的 RFI 噪声。

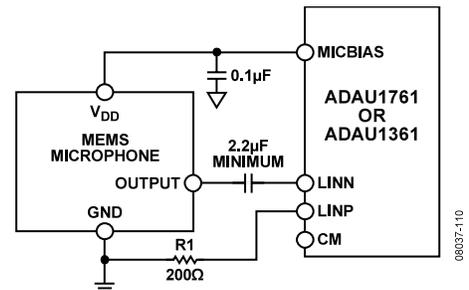


图 10. 单端模拟输出 MEMS 麦克风连接到差分输入

¹ Bill Whitlock, “音频系统内的平衡线路：事实，假象和变压器 (Balanced Lines in Audio Systems: Fact, Fiction, and Transformers)”，美国音频工程协会第 97 次大会论文，美国加利福尼亚州旧金山，1994 年 11 月 10-13 日；1995 年 3 月 9 日修订。

性能

低振动敏感度

ADI 公司 MEMS 麦克风薄膜的表面密度 (单位面积的质量) 非常低, 因此麦克风对振动不敏感。薄膜的表面密度等于薄膜的材料密度乘以厚度。因此, 轴向振动产生的等效声压为:

$$P_a = \rho \times t \times a$$

其中:

P_a 是等效声压 (Pa);

ρ 是薄膜材料密度 (kg/m^3);

t 是薄膜厚度 (m);

a 是振动加速度 (m/s^2)。

与典型的驻极体电容麦克风 (ECM) 相比, MEMS 麦克风薄膜的表面密度低得多, 因此它所产生的振动信号也低得多。表 2 列出了几类麦克风的轴向振动敏感度, 以供参考。计算所得的等效声压级与现有的实验数据非常吻合。

表 2. 各种电容麦克风的振动敏感度和轴向加速度

麦克风、薄膜材料、厚度	1 m/s ² 时的声压级 (dB)	1 G 时的声压级 (dB)
Bruel & Kjaer ½" 麦克风, 金属, 4 μm	65	85
典型 ECM, 聚酯, 10 μm	57	77
ADI 公司 MEMS, p-Si, 0.9 μm	40	60

MEMS 麦克风的低机械振动敏感度使它能在许多应用中提供更好的性能。例如, 对于需要消除回声的扩音器中的麦克风, 低振动敏感度至关重要。麦克风拾取的振动信号可能会显著影响回声消除算法的性能。这种降低寄生拾取的能力仅适用于机械振动。当振动在麦克风所在位置产生声音时, 麦克风对该声音的拾取由其声学敏感度决定。

扩展的频率响应

ADI 公司的 MEMS 麦克风具有统一的扩展的频率响应, 非常适合宽带语音和音乐捕捉等应用。与具有高频谐振尖峰的麦克风不同, 在 MEMS 麦克风收音孔上添加声阻材料不会改善其响应, 因此不需要添加。一般也不需要其它信号处理, 如低通或陷波滤波等。

频率幅度和相位响应可重复性

ADI 公司的 MEMS 麦克风由于半导体制造工艺的高重复性, 不同器件的频率响应差别很小。这种响应一致性使得波束形成等多麦克风应用成为可能, 而且不需要对麦克风进行额外的测试和匹配。图 11 显示了 40 个随机选择的 ADMP421 麦克风的幅度响应重叠情况。由于这些小型 MEMS 麦克风具有最小相位特性, 因此其相位响应与幅度响应直接相关, 并且同样匹配良好 (见图 12)。注意, 这些响应归一化到 1 kHz。

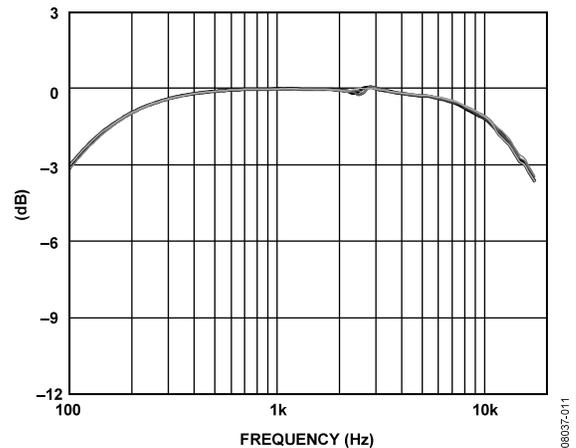


图 11. 多个 ADMP421 麦克风的幅度频率响应

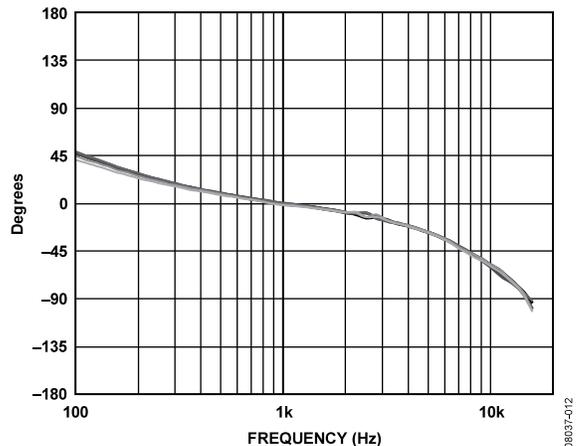


图 12. 多个 ADMP421 麦克风的相位频率响应

灵敏度与温度的关系

ADI 公司 MEMS 麦克风的灵敏度在整个温度范围内变化非常小，最多只有零点几个 dB（见图 13）。这一特性能够提高多麦克风设计的性能，特别是在电源等内部热源导致麦克风之间出现温度差异的情况下。

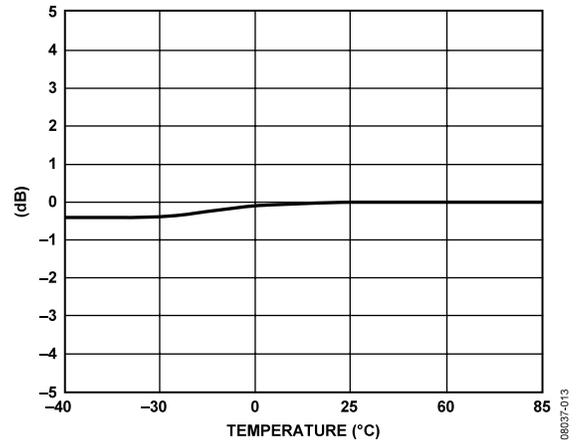


图 13. ADMP421 灵敏度与温度的关系（典型值）

注释

注释

注释