

麦克风技术规格解析

作者：Jerad Lewis

简介

在 ADI 公司的众多产品中，MEMS 麦克风 IC 的独特之处在于其输入为声压波。因此，这些器件的数据手册中包括的某些技术规格可能不为大家所熟悉，或者虽然熟悉，但其应用方式却比较陌生。本应用笔记解释 MEMS 麦克风数据手册中出现的技术规格和术语，以便帮助设计人员将麦克风正确集成到系统之中。

灵敏度

麦克风的灵敏度是指其输出端对于给定标准声学输入的电气响应。用于麦克风灵敏度测量的标准参考输入信号为 94 dB 声压级 (SPL) 或 1 帕 (Pa, 衡量压力的单位) 的 1 kHz 正弦波。对于固定的声学输入，灵敏度值较高的麦克风的输出水平高于灵敏度值较低的麦克风。麦克风灵敏度 (用 dB 表示) 通常是负值，因此，灵敏度越高，其绝对值越小。

务必注意麦克风灵敏度规格的表示单位。如果两个麦克风的灵敏度不是采用同一单位来规定，则直接比较灵敏度值是不恰当的。模拟麦克风的灵敏度通常用 dBV 来规定，即相对于 1.0 V rms 的 dB 数。数字麦克风的灵敏度通常用 dBFS 来规定，即相对于满量程数字输出 (FS) 的 dB 数。对于数字麦克风，满量程信号是指麦克风能够输出的最高信号水平；对于 ADI 公司 MEMS 麦克风，该水平为 120 dB SPL。有关该信号水平的更完整描述，请参见“最大声学输入”部分。

灵敏度指输入压力与电气输出 (电压或数字字) 的比值。对于模拟麦克风，灵敏度通常用 mV/Pa 来衡量，其结果可通过下式转换为 dB 值：

$$Sensitivity_{dBV} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{Sensitivity_{mV/Pa}}{Output_{REF}} \right)$$

其中 $Output_{REF}$ 为 1 V/Pa (1000 mV/Pa) 参考输出比。

对于数字麦克风，灵敏度表示为 94 dB SPL 输入所产生的输出占满量程输出的百分比。数字麦克风的换算公式为：

$$Sensitivity_{dBFS} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{Sensitivity_{\%FS}}{Output_{REF}} \right)$$

其中 $Output_{REF}$ 为满量程数字输出水平 (1.0)。

较高的灵敏度并不总是意味着麦克风的性能更佳。麦克风的灵敏度越高，则它在典型条件 (如交谈等) 下的输出水平与最大输出水平之间的裕量通常也越小。在近场 (近距离谈话) 应用中，高灵敏度的麦克风可能更容易引起失真，这种失真常常会降低麦克风的整体动态范围。

方向性

方向性描述麦克风的灵敏度随声源空间位置的改变而变化的模式。ADI 公司的所有 MEMS 麦克风都是全向麦克风，即它们对来自所有方向的声音都同样敏感，与麦克风所处的方位无关。图 1 所示为麦克风响应的 2 轴极坐标图。无论麦克风的收音孔位于 x-y 平面、x-z 平面还是 y-z 平面，此图看起来都相同。

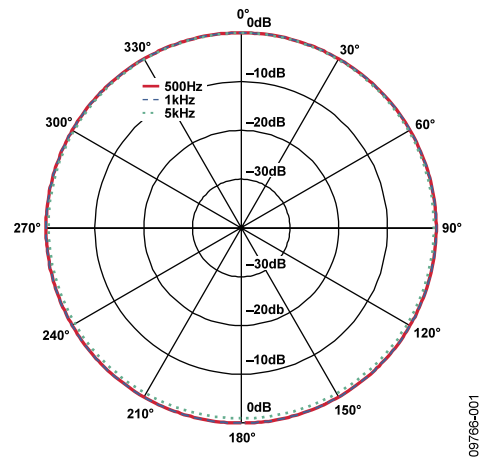


图 1. 全向麦克风响应图

将全向麦克风集成到手机等较大的机壳中后，系统的方向响应可能不是全向的。对于系统设计人员，与定向响应的麦克风相比，利用全向麦克风能够更灵活地设计系统对声学输入的响应。

多个全向麦克风可以组成阵列来产生各种不同的方向模式，以及用于波束成形应用。

信噪比 (SNR)

信噪比 (SNR) 表示参考信号与麦克风输出的噪声水平的比值。这种测量包括麦克风元件和 MEMS 麦克风封装中集成的 ASIC 二者所贡献的噪声。SNR 为噪声水平与标准 1 kHz、94 dB SPL 参考信号的 dB 差。

要计算 SNR, 须在安静、消声环境下测量麦克风的噪声输出。该参数通常表示为 20 kHz 带宽内的 A 加权值 (dBA), 这意味着它包括一个与人耳对不同频率声音的灵敏度相对应的校正系数。当比较不同麦克风的 SNR 时, 必须确保它们采用相同的加权方式和带宽; 在较窄带宽下测得的 SNR 优于在整个 20 kHz 带宽下测得的 SNR。

动态范围

麦克风的动态范围衡量麦克风能够做出线性响应的最大 SPL 与最小 SPL 之差, 它不同于 SNR (相比之下, 音频 ADC 或 DAC 的动态范围与 SNR 通常是等同的)。

麦克风的 SNR 衡量噪底与 94 dB SPL 的参考水平之差, 但在该参考水平以上, 麦克风仍然有相当大的有用信号响应范围。麦克风能够对 94 dB SPL 至最高 120 dB SPL 的声学输入信号做出线性响应。因此, MEMS 麦克风的动态范围等于其 SNR + 26 dB, 其中 26 dB = 120 dB - 94 dB。例如, ADMP404 的 SNR 为 62 dB, 而动态范围为 88 dB。

图 2 显示了声学输入(用 dB SPL 衡量)与麦克风电压输出(用 dBV 衡量)的关系。动态范围和 SNR 显示于这两个刻度轴之间, 以供参考。图 2 利用 -38 dBV 灵敏度和 62 dB SNR 的 ADMP404 来显示这些关系。

图 3 显示了数字麦克风的 dB SPL 输入与 dBFS 输出之间的类似关系。注意, 在此图中, 120 dB SPL 的最大声学输入直接映射到 0 dBFS 输出信号。只要最大声学输入对应 0 dBFS 并且设置为 120 dB SPL, 则数字麦克风始终具有 -26 dB 的灵敏度。这是由灵敏度的定义(在 94 dB SPL 下测量)所决定的, 而不是可以通过改变麦克风 ASIC 的增益进行调整的设计参数。

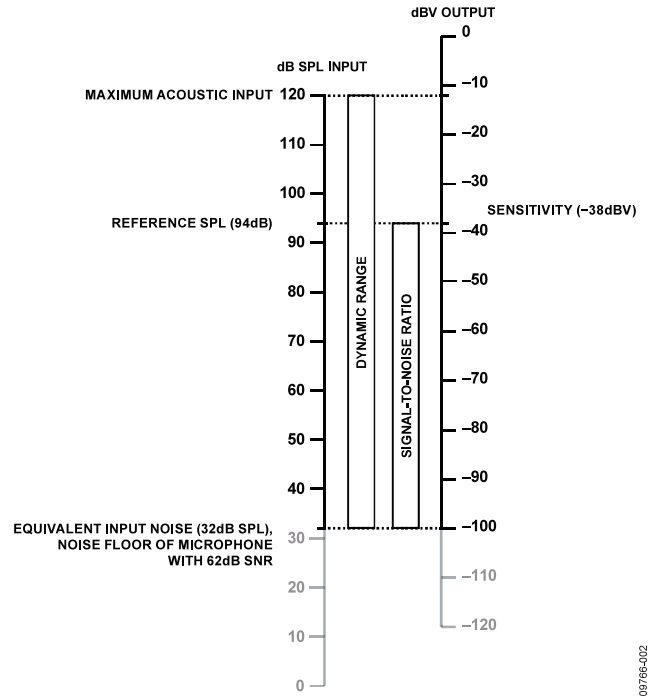


图 2. 模拟麦克风的 dB SPL 输入与 dBV 输出的关系

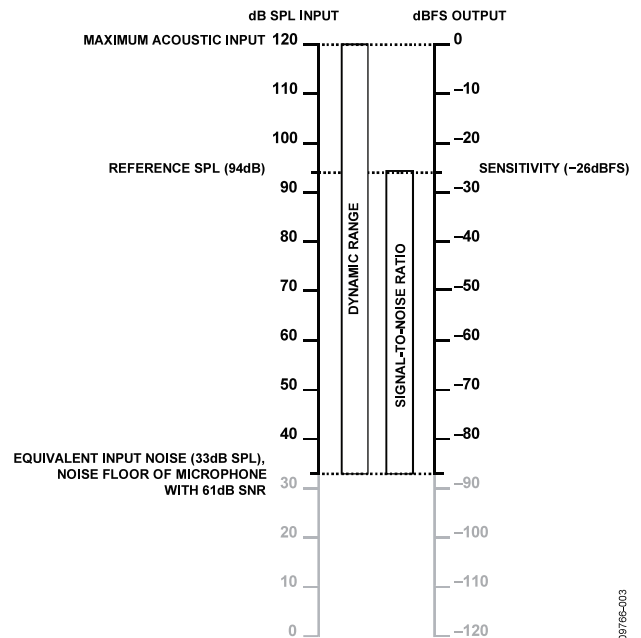


图 3. 数字麦克风的 dB SPL 输入与 dBFS 输出的关系

等效输入噪声 (EIN)

等效输入噪声 (EIN) 是将麦克风的输出噪声水平 (SPL) 表示为一个施加于麦克风输入端的理论外部噪声源。低于 EIN 水平的输入 (SPL) 在麦克风的噪底以下，并且在麦克风能够产生输出的信号动态范围以外。EIN 可以从动态范围或 SNR 参数导出，如下式所示：

$$EIN = \text{最大声学输入} - \text{动态范围}$$

$$EIN = 94 \text{ dB} - \text{SNR}$$

对于一个具有 62 dB SNR 和 120 dB 最大声学输入的麦克风，其 EIN 为 32 dB SPL，这大约是在安静的图书馆中 5 米开外的轻声低语所产生的 SPL。图 2 和图 3 显示了麦克风的 EIN。

频率响应

麦克风的频率响应描述其在整个频谱上的输出水平。频率上限和下限用麦克风响应比 1 kHz 的参考输出水平低 3 dB 时的频率点来描述。1 kHz 的参考水平通常归一化为 0 dB。在这些条件下，ADI 公司的 MEMS 麦克风通常具有统一的 100 Hz 至 15 kHz 频率响应。

频率响应特性还包括通带内偏离平坦响应的限值。这些值表示为 $\pm x$ dB，说明 -3 dB 点之间输出信号与标称 0 dB 电平的最大偏差。

对于 ADI 公司的 MEMS 麦克风，低频 -3 dB 点以下的低频滚降为一阶（6 dB/8 倍频程或 20 dB/10 倍频程），高频 -3 dB 点以上的高频滚降为二阶（-12 dB/8 倍频程或 -40 dB/10 倍频程）。

MEMS 麦克风数据手册用两幅图来显示此频率响应：一幅图显示频率响应模板，另一个幅图显示典型实测频率响应。频率响应模板图显示整个频率范围内麦克风输出的上限和下限，麦克风输出保证位于此模板范围内。典型频率响应图显示麦克风在整个频段内的实际响应。图 4 和图 5 的示例为选自 [ADMP404](#) 数据手册的两幅图。

频率响应较宽且平坦的麦克风有助于系统设计实现自然、清晰的声音。

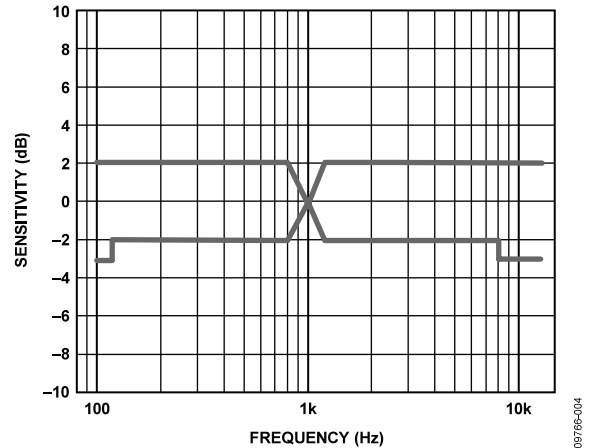


图 4. 频率响应模板

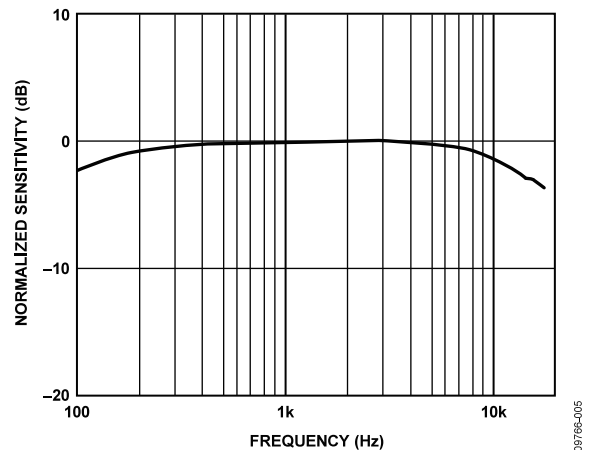


图 5. 典型频率响应 (实测)

总谐波失真 (THD)

总谐波失真 (THD) 衡量在给定纯单音输入信号下输出信号的失真水平，用百分比表示。此百分比为基频以上所有谐波频率的功率之和与基频信号音功率的比值。

$$THD = \frac{\sum_{x=1}^5 \text{Power}(f_{\text{harmonic}_x})}{\text{Power}(f_{\text{fundamental}})}$$

THD 值越高，说明麦克风输出中存在的谐波水平越高。MEMS 麦克风的 THD 利用基波的前五次谐波计算。

此测试的输入信号通常为 105 dB SPL，比 94 dB SPL 参考高 11 dB。与其它参数相比，THD 在较高的输入 SPL 下测量，这是因为随着声学输入信号水平提高，THD 测量结果通常也会提高。根据经验，输入水平每提高 10 dB，THD 会提高 3 倍。因此，如果在 105 dB SPL 时 THD 小于 3%，则在 95 dB SPL 时 THD 将小于 1%。

切勿将此参数与总谐波失真加噪声 (THD + N) 混为一谈，后者不仅衡量谐波水平，而且包括输出中的所有其它噪声贡献。

电源抑制比 (PSRR)

麦克风的电源抑制比 (PSRR) 衡量其抑制电源引脚上的噪声，使之不影响信号输出的能力。PSRR 通过将 217 Hz、100 mV 峰峰值正弦波施加于麦克风的 V_{DD} 引脚来测量。PSRR 测量将给出从麦克风的输出来看，此输入信号衰减了多少 dB。此参数之所以使用 217 Hz 频率，是因为在 GSM 电话应用中，217 Hz 开关频率通常是电源的一个主要噪声源。

MEMS 麦克风的数据手册也会显示 100 Hz 至 10 kHz 频率范围内的 PSRR。这些麦克风具有出色的低频噪声抑制性能（模拟麦克风小于 -70 dBV，数字麦克风小于 -80 dBFS）。如图 6（选自 ADMP404 数据手册）所示，PSRR 在高频时提高到略低于 -50 dB 的水平。

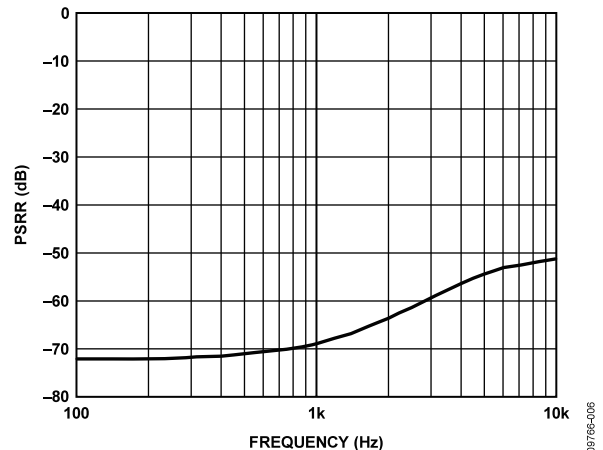


图 6. 典型电源抑制比与频率的关系

最大声学输入

最大声学输入指的是麦克风能够承受的最高声压级 (SPL)。高于此参数的 SPL 会导致输出信号发生严重的非线性失真。最大声学输入用峰值 SPL 来规定，而不是均方根值。

ADI 公司 MEMS 麦克风的最大声学输入为 120 dB，相当于空气中的 20 Pa 声压级。