

模拟音频链路噪声与音频 ADC 信噪比需求分析

Hao Wang

ABSTRACT

模拟音频设备在生活中十分广泛，比如智能音响、手机等，设计时为了达到更好的音效，会尽可能降低模拟音频系统中的噪声。而在模拟音频设计时，环境、模拟麦克风以及音频ADC的噪声都会对系统产生影响，本文将介绍模拟音频链路设计中各部分噪声分析，并且说明如何根据实际应用选择满足信噪比(SNR)需求的音频ADC。

Contents

1	信号与噪声比例	2
2	模拟音频设计	3
3	模拟麦克风噪声	3
4	音频 ADC 噪声与信噪比 SNR 需求	4
5	总结	5
	参考文献	5

Figures

图 1	实际应用中的信号与噪声	2
图 2	模拟音频系统示意图	3
图 3	TLV320AIC3101 输入噪声与 PGA 增益曲线	5

Tables

表 1	不同比例信号与噪声的信噪比 SNR 和噪声百分比	2
表 2	不同场景的声压值及人体感受	3
表 3	不同比例 $V_{Noise_ADC}/V_{Noise_mic}$ 时的 ΔSNR	4

1 信号与噪声比例

在实际应用中，信号与噪声往往是同时存在的，如图1所示。如果信号的幅值远大于噪声，那么信号受噪声的影响比较小；反之，如果信号的幅值远小于于噪声，那么信号会被噪声严重干扰甚至无法分辨。

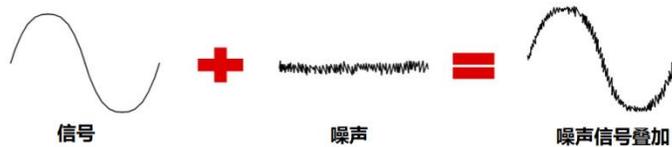


图 1 实际应用中的信号与噪声

信号与噪声的相对大小有信噪比(SNR) 和百分比两种表达方式，式1是信噪比 (SNR) 的计算公式：

$$SNR = 20\log_{10} \frac{V_{signal}}{V_{noise}} \quad (1)$$

式2是信号与噪声的叠加计算公式，式3是噪声与信号的百分比计算公式：

$$V_{total} = \sqrt{V_{signal}^2 + V_{noise}^2} \quad (2)$$

$$D_{noise/signal} = \frac{V_{total} - V_{signal}}{V_{signal}} \times 100\% \quad (3)$$

表1列举出了信号与噪声比例从1:1到8:1的信噪比和噪声与信号百分比：

表 1 不同比例信号与噪声的信噪比 SNR 和噪声百分比

信号	噪声	SNR/dB	噪声/信号
1	1	0.00	41.42%
2	1	6.02	11.80%
3	1	9.54	5.41%
4	1	12.04	3.08%
5	1	13.98	1.98%
6	1	15.56	1.38%
7	1	16.90	1.02%
8	1	18.06	0.78%

不同的应用对于信噪比(SNR)有着不同的要求。比如运放调理电路，一般噪声不大于信号的三分之一即可，因为此时噪声相比于信号最多只有5.41%，而5.41%的误差在工程中是可以接受的；对于音频信号，信噪比(SNR)为6dB时正常人耳可以很好得识别信号^[1]。

2 模拟音频设计

模拟音频信号链路用模拟麦克风将环境中的声音转换为电信号，然后再由音频ADC将模拟麦克风电信号采集转换成数字信号，流程如图2所示。所以应用场景、模拟麦克风以及音频ADC对于音频设计非常重要，接下来将分别介绍。

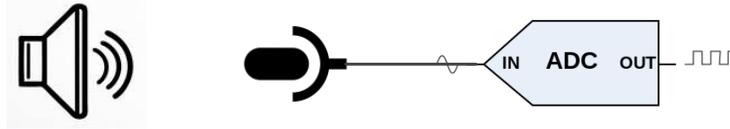


图 2 模拟音频系统示意图

3 模拟麦克风噪声

模拟音频设计时首先需要确认具体的应用场景，因为不同应用场景的声压级不一样，表2列举出了一些场景所对应的声压级以及人体感受。

表 2 不同场景的声压值及人体感受

声音	声压级/dBSPL	人体感受
一般正常人的听阈	0	几乎听不到声音
设计良好的消声室背景噪声	10	非常安静
幽静的疗养院或者乡间别墅	20	安静
安静的客房、图书馆、剧场	30	安静
安静的小区、公园	40	较安静
通常办公室	50	一般
客厅内正常交谈、会议	60	较吵闹
教师讲课声、电话铃声	70	吵闹
闹钟声、城市街道交通噪声	80	损坏听力神经
大型车间、高声叫喊	90	危害健康
拖拉机、火车、KTV、夜总会	100	严重危害健康
风铲、铆钉枪、摇滚乐、喇叭	110	长时间致聋
大型酒吧、迪士高	120	长时间致聋
喷气式发动机	130	耳膜破裂、耳聋
火箭发射、痛阈	140	耳聋、致人死亡

当应用场景确定后(本文假设为40dBSPL)，为保证应用场景中的声音不受模拟麦克风的影响，根据之前的分析，模拟麦克风的等效输入噪声(EIN_{mic})需小于应用场景声压级6dB。

$$EIN_{mic} = 40\text{dB} - 6\text{dB} = 34\text{dB}$$

所以模拟麦克风的信噪比 SNR_{mic} 至少为：

$$SNR_{mic} = 94\text{dB} - 34\text{dB} = 60\text{dB}$$

假设模拟麦克风的灵敏度 $Sensitivity = -38\text{dBV}$ ，那么麦克风的输出噪声 $V_{Noise_{mic}}$ 为：

$$V_{Noise_{mic}} = 10^{\frac{Sensitivity}{20}} \times 10^{\frac{SNR}{20}} = 10^{\frac{-38}{20}} \times 10^{\frac{60}{20}} \text{V} = 12.6 \mu\text{V}$$

4 音频 ADC 噪声与信噪比 SNR 需求

音频ADC自身会有输入噪声 V_{Noise_ADC} ，并且这个输入噪声会叠加到模拟麦克风的输出信号中，从而使得整个信号的信噪比有所降低。相比于模拟麦克风输出端，叠加音频ADC输入噪声后信噪比损失 ΔSNR 为：

$$\Delta SNR = 20\log_{10} \frac{V_{Signal_mic}}{\sqrt{V_{Noise_mic}^2 + V_{Noise_ADC}^2}} - 20\log_{10} \frac{V_{Signal_mic}}{V_{Noise_mic}} = -20\log_{10} \sqrt{1 + \left(\frac{V_{Noise_ADC}}{V_{Noise_mic}}\right)^2}$$

表3列举出了不同比例 $V_{Noise_ADC}/V_{Noise_mic}$ 时的 ΔSNR 的结果：

表 3 不同比例 $V_{Noise_ADC}/V_{Noise_mic}$ 时的 ΔSNR

$V_{Noise_ADC}/V_{Noise_mic}$	ΔSNR
1	-3.01 dB
1/2	-0.97 dB
1/3	-0.46 dB
1/4	-0.26 dB

对于音频应用，通常约-1dB的信噪比损失是可以接受的，所以此时音频ADC的输入噪声 V_{Noise_ADC} 为模拟麦克风输出噪声的1/2：

$$V_{Noise_ADC} = \frac{V_{Noise_mic}}{2} = \frac{12.6\mu V}{2} = 6.3\mu V$$

音频ADC在数据手册中很少标明输入噪声，但是可以根据音频ADC的满量程输入电压 V_{full_scale} 计算出满足需求的最小信噪比 SNR_{ADC} ，然后和数据手册中的指标来判断选用的音频ADC是否满足需求。

$$SNR_{ADC} = 20\log_{10} \frac{V_{full_scale}}{V_{Noise_ADC}}$$

音频ADC可能会有单端输入和差分输入，所以在判断音频ADC满量程输入电压 V_{full_scale} 时需要先确认模拟麦克风的输出类型。音频ADC以TLV320ADC5140^[2]为例，如果模拟麦克风为单端输出，那么 $V_{full_scale} = 1V$ ；如果模拟麦克风为差分输出，那么 $V_{full_scale} = 2V$ 。本文以差分模拟麦克风为例，音频ADC的信噪比 SNR_{ADC} 必须至少为：

$$SNR_{ADC} = 20\log_{10} \frac{V_{full_scale}}{V_{Noise_ADC}} = 20\log_{10} \frac{2V}{6.3\mu V} = 110\text{ dB}$$

所以TLV320ADC5140在启用动态范围增强器 (DRE)时119dB(2.5k输入阻抗)或者116dB(10k输入阻抗)是满足应用需求的。

另外有一点需要注意，音频ADC数据手册中的信噪比测试条件中PGA增益一般为1，实际使用时PGA增益可能大于1。如果数据手册中给出了输入噪声与PGA增益曲线图，那么也可以根据该曲线图来判断选用的ADC是否满足需求。以TLV320AIC3101^[3]为例，图3是数据手册中输入噪声与PGA增益曲线。从曲线中可以看出，当PGA增益小于15dB，TLV320AIC3101不满足需求；当PGA增益大于15dB，那么TLV320AIC3101就可以满足需求。

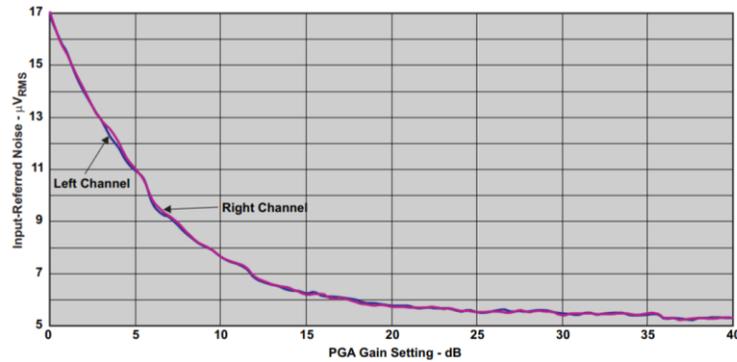


图3 TLV320AIC3101 输入噪声与 PGA 增益曲线

5 总结

对于模拟音频信号链路设计，为了保证较好的音效，模拟麦克风等效输入噪声小于应用场景声压级 6dB，音频 ADC 输入噪声也要小于模拟麦克风输出噪声 6dB。在选用音频 ADC 时，根据模拟麦克风是单端还是差分输出来判断使用时音频 ADC 的满量程电压，并计算出满足需求的信噪比 SNR，从而判断选用的音频 ADC 是否满足需求。

参考文献

- [1] Signal to Noise Ratio – What It Is, and Why You Should Care, <https://www.ziphearing.com/blog/signal-to-noise-ratio-what-it-is-and-why-you-should-care/>
- [2] TLV320ADC5140 Datasheet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv320adc5140.pdf>
- [3] TLV320ADC3101 Datasheet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv320aic3101.pdf>

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 © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司