

Application Note

音频转换器中的空闲通道杂散音



Lakshmi Narasimhan Badrinarayanan, Ramsey Foote

摘要

本应用手册阐述了在音频 ADC 输出频谱中所观测到的空闲音现象。这些空闲音是 Δ - Σ ADC 固有的一种行为，有时会在输入处于空闲（或静音）状态下出现。本文档详细介绍了该现象产生的原因，并通过两款不同音频 ADC 的示例，说明了相应的解决方法。

内容

1 简介.....	2
2 详细说明.....	2
2.1 为什么会有空闲音？.....	2
2.2 如何改善音频带内的空闲通道频谱.....	5
3 总结.....	10
4 参考资料.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

在高端音频应用中，音频模数转换器 (ADC) 输入处于空闲状态时的噪声被视为一项重要的性能指标。除了总体信噪比和动态范围之外，还需考虑这种条件下的频谱行为。空闲通道频谱中高于噪声底噪的杂散音会导致不良伪像，尤其是在输出信号先经过数字放大再进行后续处理或通过扬声器放大器播放的情况下。

本应用手册旨在解释此类空闲音产生的原因，并介绍相应的设计方法。

2 详细说明

2.1 为什么会有空闲音？

图 2-1 展示了一个简单的一阶 Δ - Σ 调制器，其输出为 1 位。积分器的输出通过一个比较器 (或 1 位 ADC) 进行量化。该输出通过一个 1 位 DAC 反馈到输入信号。该误差信号作为积分器的输入。

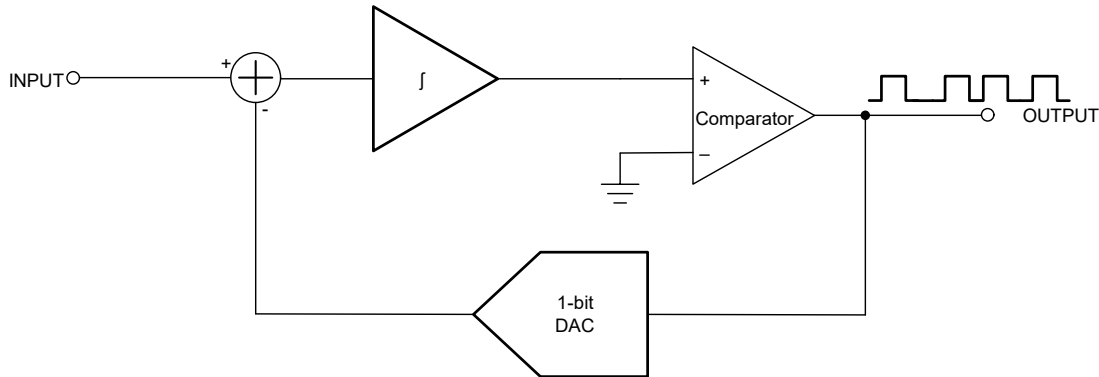


图 2-1. Δ - Σ 调制器

这种转换的速率远高于 ADC 自身的整体采样率。这带来了以下好处：

1. 放宽了抗混叠滤波器的带宽要求，因为滤波器的带宽可以高于 ADC 的奈奎斯特带宽。
2. 由于将比较器输出进行平均/抽取至 ADC 的采样率，噪声得以降低。

在接近空闲的输入 (0V) 条件下，比较器级的输出会呈现重复的 0101... 模式，这会在频率为 $\frac{F_{\text{mod}}}{2}$ 处产生一个尖峰 (F_{mod} 为调制器的采样频率)。当存在非理想特性时，例如：

1. 输入路径中的失调 (由失配引起)
2. F_{mod} 对参考电压的调制

这些尖峰的频率会变为 $\frac{F_{\text{mod}} \pm \Delta f}{2}$ ，其中 Δf 是由这些非理想特性引起的频率变化。当这些尖峰被抽取到输出采样率 F_s 时，会导致在 ADC 的可听频带内出现“空闲音”。

尽管积分噪声仍可能较低且符合规格，但在某些应用中，输出会在后处理之前被放大或送入扬声器放大器，此时高于实际噪声底噪的杂散音仍然是不希望出现的伪像。虽然现代音频 ADC 采用多位 Δ - Σ 调制器以获得更好的噪声性能，但在空闲输入下，重复模式仍然会在音频范围内产生杂散音。

不过，当输入为变化信号时，这些重复模式就不会出现。图 2-2 展示了 TLV320ADC6120 ADC 在以下情况下的 FFT 频谱：(a) 输入空闲时；(b) 输入为 -60dBFS、1kHz 正弦信号时。图 2-3 展示了 PCM4222 ADC 在相同输入条件下的 FFT 频谱。

从图 2-2 和图 2-3 可以清楚地看到，当输入信号幅度低至 -60dBFS 时，这些杂散音就会消失。

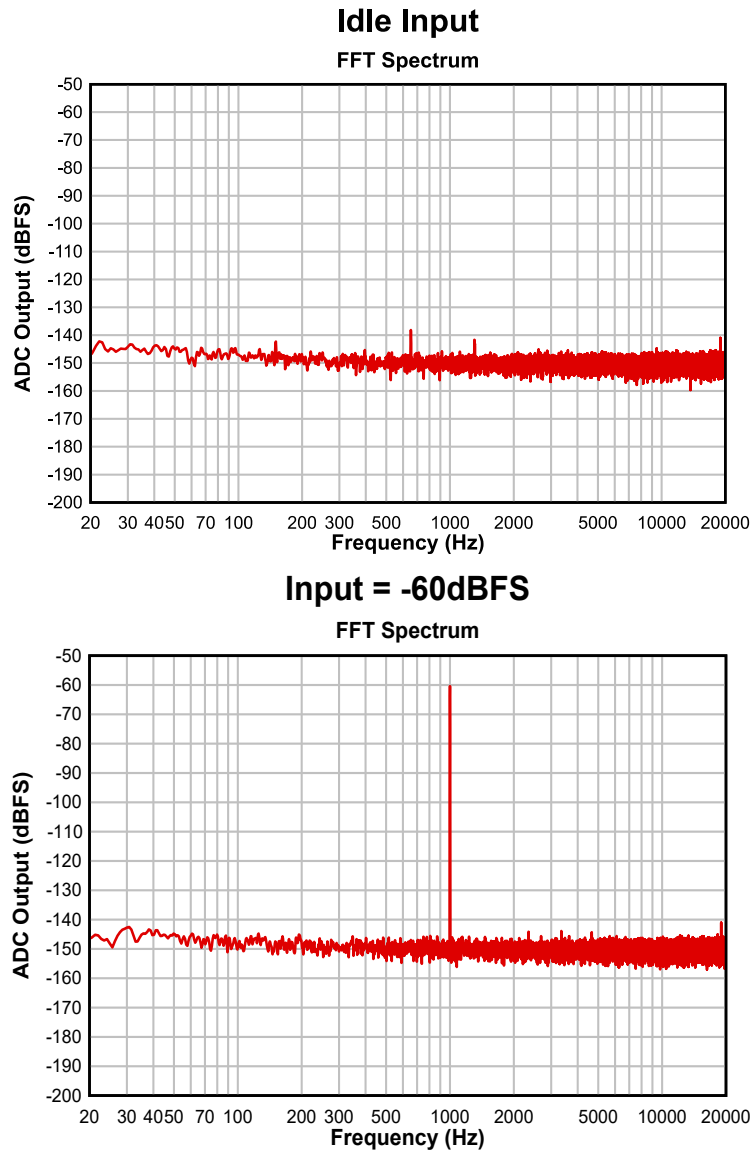


图 2-2. TLV320ADC6120 的 FFT 频谱

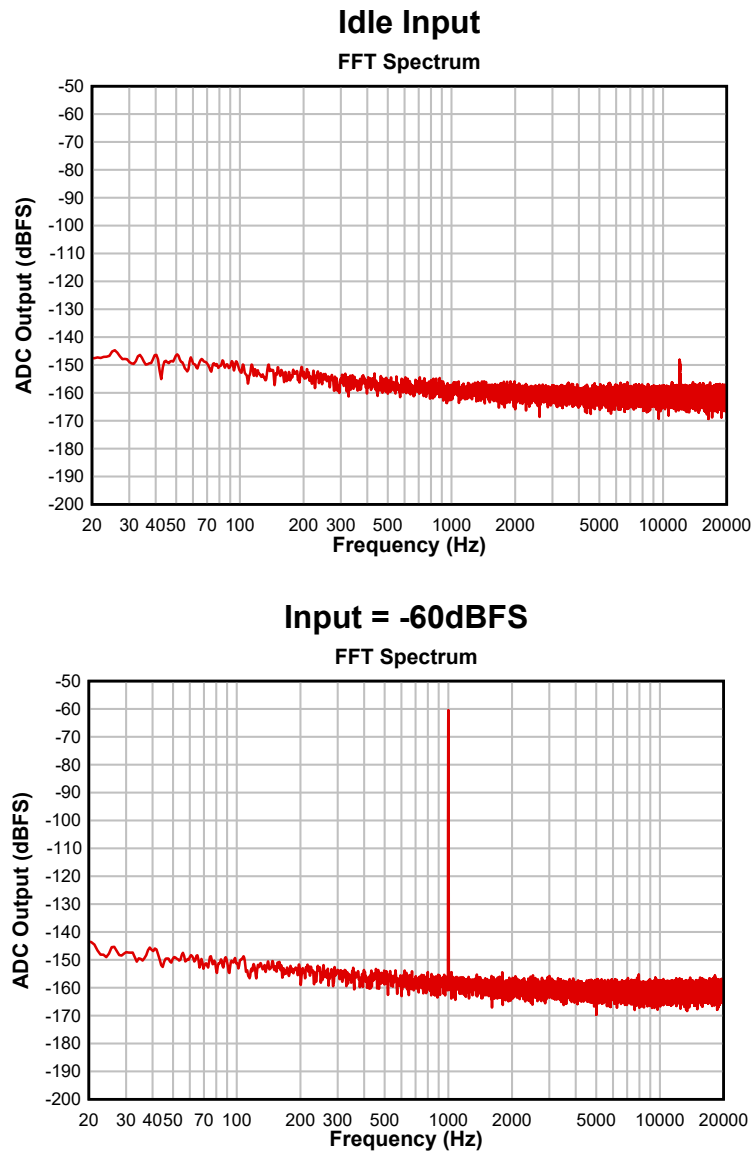


图 2-3. PCM4222 的 FFT 频谱

2.2 如何改善音频带内的空闲通道频谱

如节 2.1 所述，影响重复模式频率的因素之一是输入直流失调电压。因此，当器件内部失调导致空闲音落在目标音频带宽 (20Hz - 20kHz) 内时，用户可以增加一个外部补偿失调电压，将这些杂散音移到最终应用所关注的频带之外。节 2.2.1 说明了如何在 TLV320ADC6120 ADC 上实现这一操作。

另一个针对 PCM4220 和 PCM4222 的解决方案是将 VCC1 和 VCC2 电源电压提高到典型工作电压值 4V 以上。节 2.2.2 展示了该方案对空闲音的影响，以及对器件其他性能参数的影响。节 2.2.2 同时也展示了在 PCM4222 输入端加入直流失调电压的效果

近期发布的 ADC (例如 TAx5xxx 系列) 采用了改进的单元匹配和内部失调注入等技术，从而在音频带内获得了更优的频谱性能。

2.2.1 示例 1 - TLV320ADC6120

图 2-4 展示了 TLV320ADC6120 在直流耦合输入下的测试电路。为了测试输入空闲时的频谱性能，将交流信号设置为 0Vrms，并在 INxP 和 INxM 引脚上施加 1.486V 的直流偏置电压。然后，在输入差分对上施加一个差分失调电压 V_{OS} 。

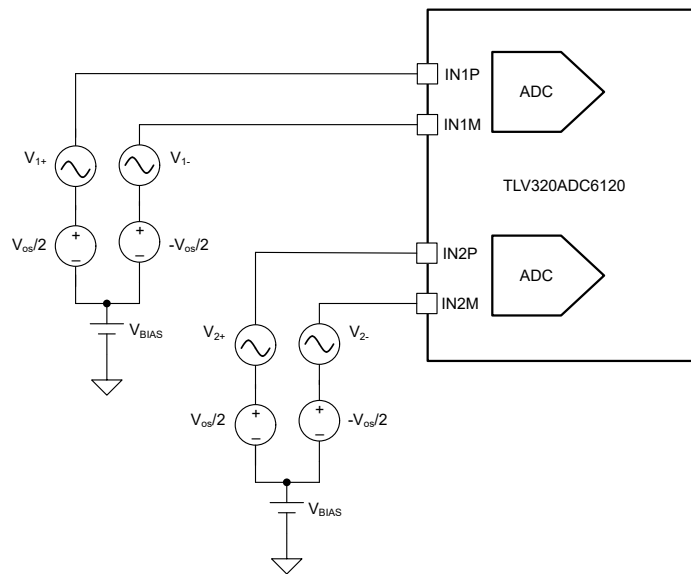


图 2-4. 直流耦合输入的 TLV320ADC6120

图 2-5 展示了当失调电压设置为 0mV、5mV、10mV、15mV 和 20mV 时，ADC 输出的 FFT 频谱。

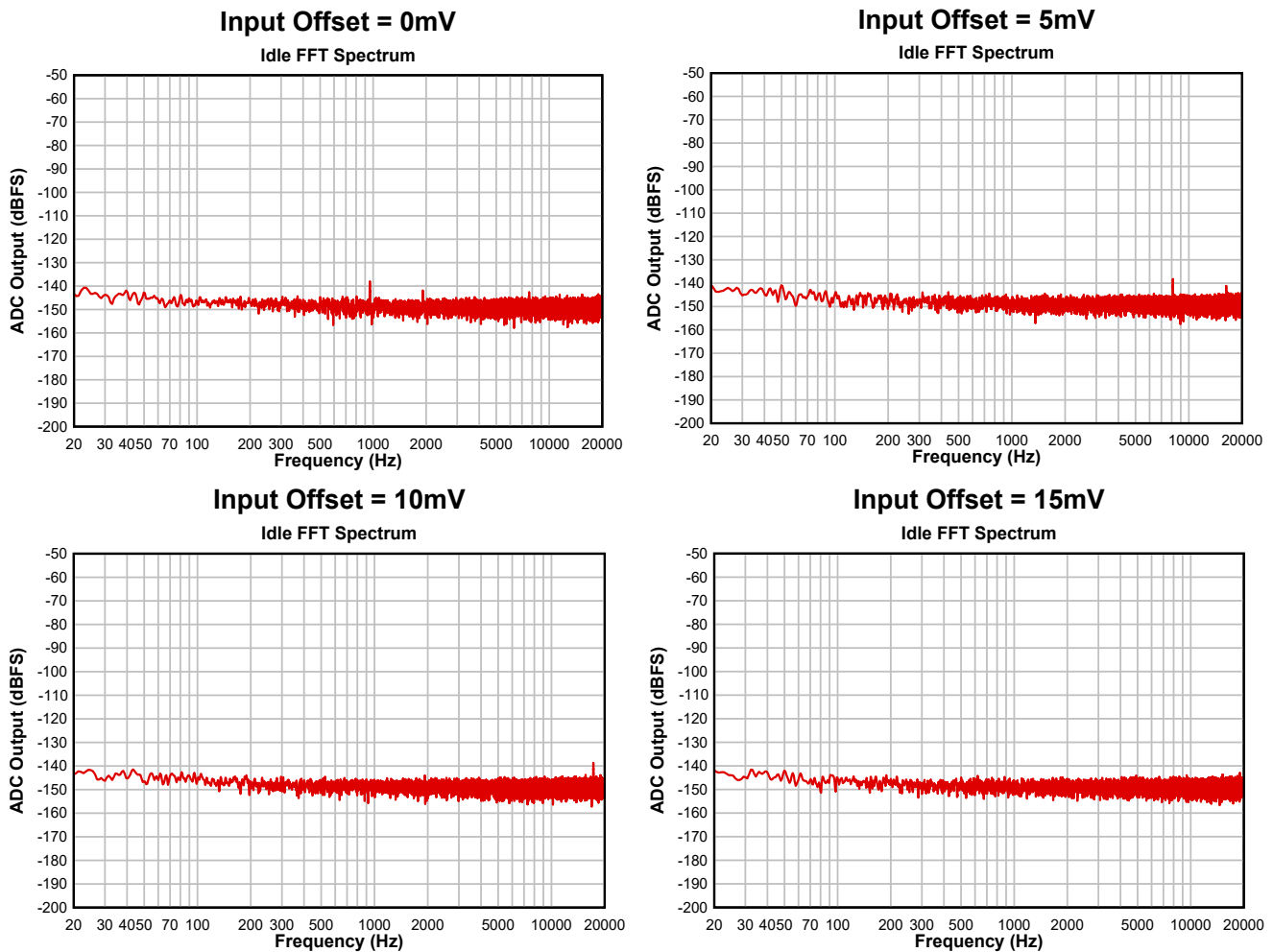


图 2-5. 不同失调电压下的空闲 FFT 频谱

从图中可以看出，当施加失调电压时，空闲通道频谱中的杂散音会向更高频率移动；在 15mV 时，这些杂散音移出了 20Hz - 20kHz 的音频带宽。

需要注意的是，该方案要求输入为直流耦合，因为交流耦合电容会阻断与信号一起加入的任何直流失调电压。根据输入共模容差与高共模抑制比模式：TLV320ADCx120 & PCMx120-Q1 器件（修订版 A）应用手册中的表 7-1，在 10kΩ 负载下，直流耦合输入的 SNR 比禁用 DRE 时的交流耦合输入低约 2dB。

该方案适用于所有可配置为直流耦合输入的 TLV320ADCx120、TLV320ADCx140、PCMx140-Q1 和 PCMx120-Q1 器件。

向 ADC 输入端引入直流偏置电压的一种常用方法是使用由两个 R 电阻构成的分压器，接在电压轨“V_{CC}”上。然后，将分压器的输出用于将 INxP 和 INxM 引脚偏置到 $\frac{V_{CC}}{2}$ 的直流电压。图 2-6 (a) 展示了电阻分压器结构，其中 INxP 和 INxM 均由分压器的中点偏置。

为了在两个引脚之间引入失调电压，在分压器中加入电阻“R_{OS}”。然后，INxP 和 INxM 引脚分别从 ROS 电阻的两侧进行偏置，如 图 2-6 (b) 所示。电阻两端的电压（即所引入的失调电压）按以下公式计算：

$$V_{OS} = \frac{V_{CC} * R_{OS}}{2 * R + R_{OS}} \quad (1)$$

$$\therefore R_{OS} = \frac{2 * V_{OS} * R}{V_{CC} - V_{OS}} \Omega \quad (2)$$

例如，如果在 3.3V 电源轨上使用两个 2.2kΩ 电阻构成分压器，则可以使用约 20.1Ω 的 R_{OS} 在 INxP 和 INxM 引脚之间引入 15mV 的失调电压。

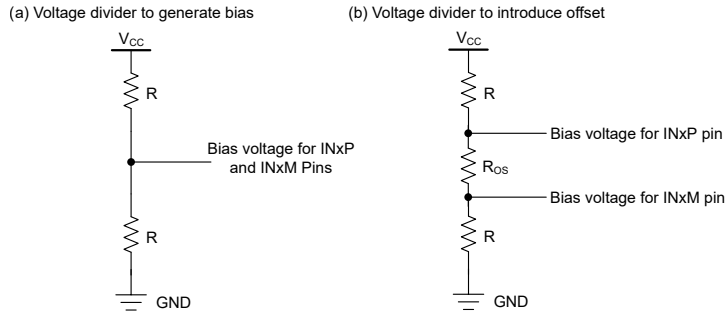


图 2-6. 引入直流失调电压的分压器方案

2.2.2 示例 2 - PCM4222

图 2-7 显示了 PCM4222 在 PCM 或 DSD 模式下的典型连接方式。

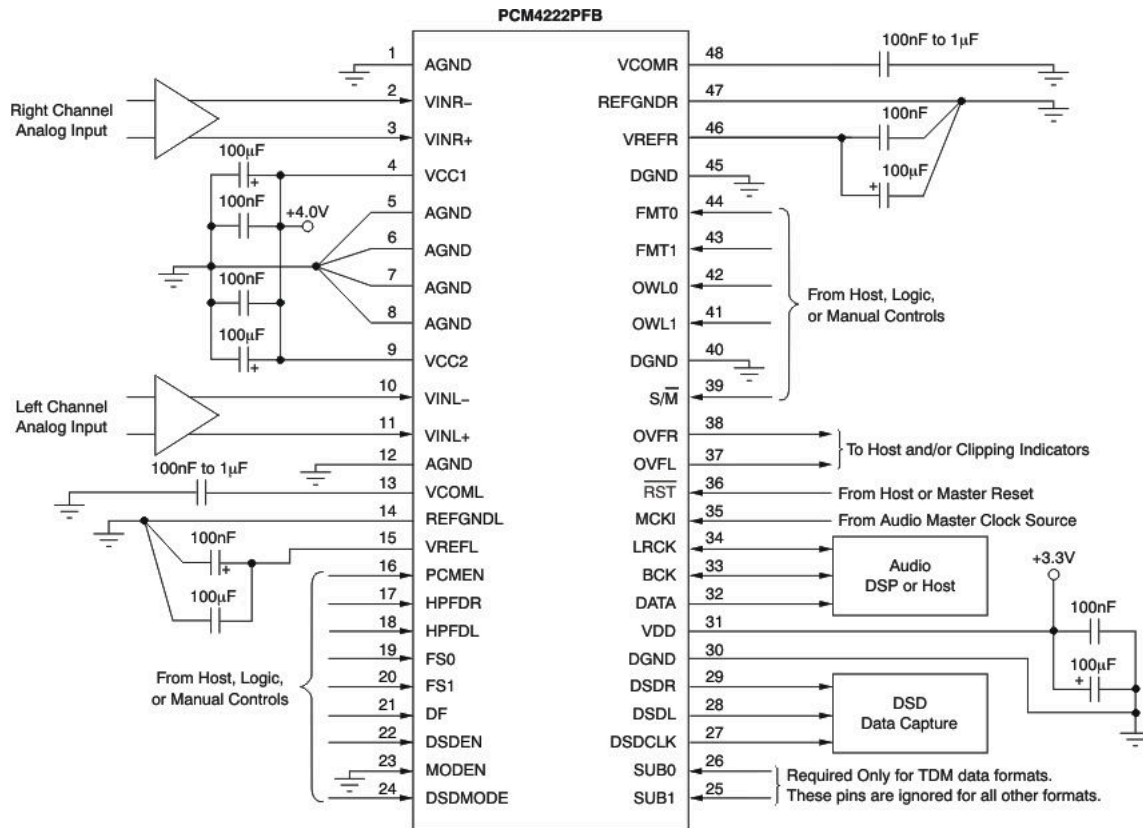


图 2-7. PCM 和 DSD 输出模式的典型连接

图 2-8 展示了输入空闲时，在 0mV 和 5mV 失调电压下的 FFT 频谱。

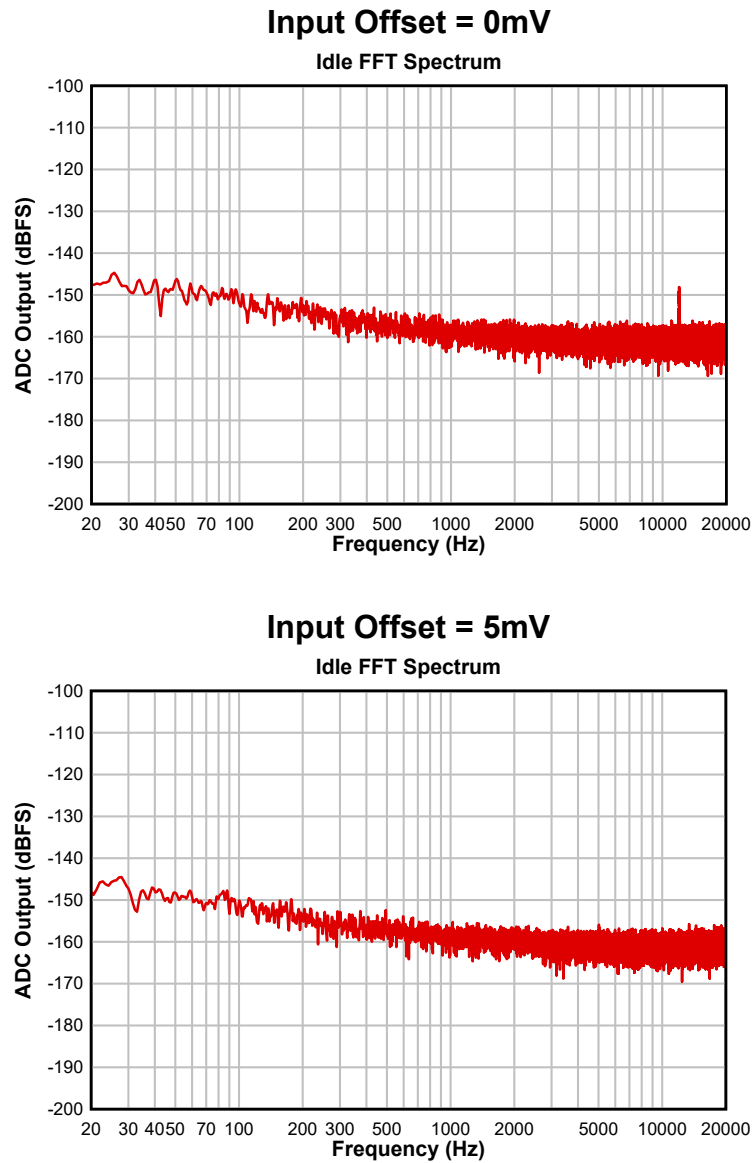


图 2-8. 0mV 和 5mV 失调电压下的 FFT 频谱

解决 PCM4222 空闲通道杂散音的另一种方案是将工作电源电压 VCC1 和 VCC2 的值从 4V 改为 4.35V。频谱性能改善后的 FFT 如 图 2-9 所示。

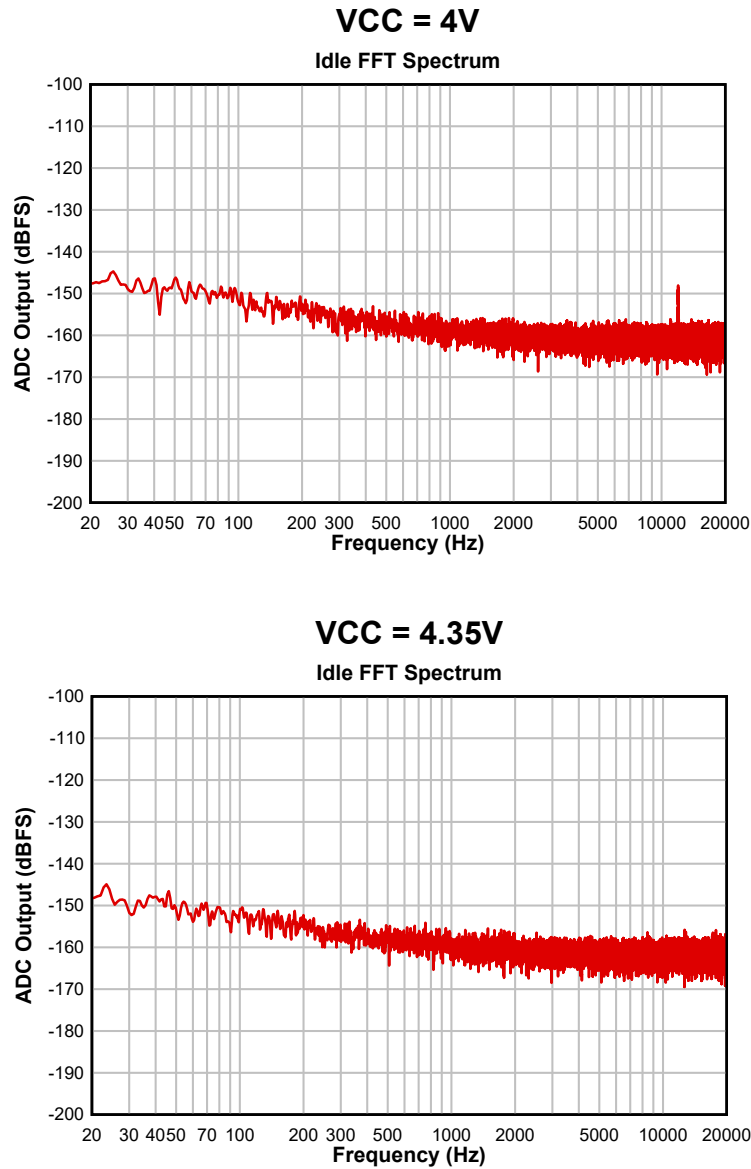


图 2-9. VCC 为 4V 和 4.35V 时的 FFT 频谱

但用户需要注意，在此电源电压值下工作会影响 ADC 的性能。对于本示例中的被测器件，THD+N 从 **-108dB** (4V 时) 变化为 **-104dB** (4.35V 时)。

3 总结

用户通过采用本应用手册中描述的实践方法及示例，可以基于 TI 的音频 ADC 系列进行设计。这些设计能够满足某些音频应用所需的无杂散频谱要求，但会对整体性能产生一定影响。

4 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [TLV320ADC6120 2 通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC](#), 数据表。
2. 德州仪器 (TI), [高性能、双通道、24 位、216kHz 采样、多位 \$\Delta\$ - \$\Sigma\$ A/D](#), 数据表。
3. 德州仪器 (TI), [\[FAQ\] PCM4220 : PCM4220 空闲音 - 音频论坛 - 音频 - TI E2E 支持论坛](#)、常见问题解答

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