

Application Note

TLV320ADCx140、TLV320ADCx120、PCMX120-Q1、PCMX140-Q1 集成模拟抗混叠滤波器和灵活数字滤波器



Diljith Thodi, Tanmay Halder

摘要

模拟抗混叠滤波器会在模数转换器 (ADC) 之前衰减带外高频分量。这些滤波器可防止高频成分再次混叠到目标频带和降低 ADC 的性能。TLV320ADCx140/PCMX140-Q1 系列音频 ADC (TLV320ADC3140、TLV320ADC5140、TLV320ADC6140、PCM3140-Q1、PCM5140-Q1、PCM6140-Q1) 以及 TLV320ADCx120/PCMX120-Q1 (TLV320ADC3120、TLV320ADC5120、TLV320ADC6120、PCM3120-Q1、PCM5120-Q1、PCM6120-Q1) 具有内置的抗混叠滤波器，因此无需外部抗混叠滤波器。本应用手册介绍了 TLV320ADCx140/TLV320ADCx120/PCMX120-Q1/PCMX140-Q1 器件内模数转换过程中包含的抗混叠滤波器。

内容

1 引言.....	2
2 TLV320ADCx140/TLV320ADCx120/PCMX120-Q1/PCMX140-Q1 中固有的抗混叠功能.....	2
3 灵活的数字滤波器.....	4
3.1 多级抽取滤波器.....	4
3.2 可编程双二阶滤波器.....	6
4 参考资料.....	7
5 修订历史记录.....	7

插图清单

图 1-1. 采样造成噪声和干扰信号再次混叠.....	2
图 2-1. 音频信号链方框图.....	2
图 2-2. ADC 调制器的信号传递函数.....	3
图 2-3. 支持的最大信号振幅.....	3
图 3-1. 线性相位抽取滤波器响应.....	4
图 3-2. 低延迟抽取滤波器响应.....	5
图 3-3. 低延迟抽取滤波器的相位偏差.....	5
图 3-4. 超低延迟抽取滤波器响应.....	6
图 3-5. 超低延迟抽取滤波器相位偏差.....	6

表格清单

表 3-1. 抽取滤波器特性.....	4
---------------------	---

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

将模拟信号转换为数字信号的过程包括两个步骤：对输入模拟信号进行采样并将采样的信号量化为数字值。采样步骤将连续时间信号转换为以采样频率为间隔的离散时间样本，而量化步骤则将采样的信号数字化为离散振幅值。理论上，采样定理指出，采样频率 (FS) 可以选择为至少是最大输入信号频率成分 (FB) 的两倍。不过，来自 $N \times FS \pm FB$ ($N = 1, 2, 3$, 以此类推) 的带外信号、干扰或噪声会再次混叠到目标频带，从而与输入信号重叠。图 1-1 显示了这种大于 FS 的带外频率混叠到带内频率 (FB) 的情况。为了限制这些带外频率对带内频率的干扰，这里使用了一个低通滤波器，该滤波器显著减少了模数转换器 (ADC) 输入端之前的带外频率。通过选择高阶低通滤波器，可以显著衰减混叠分量，但是滤波器越高阶，成本也会越高。

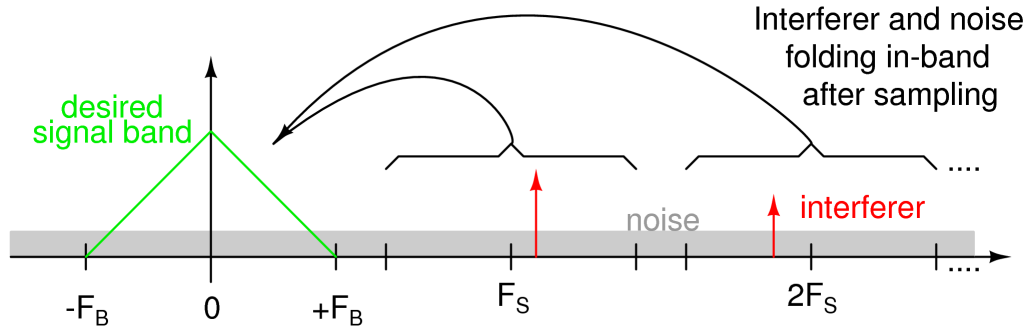


图 1-1. 采样造成噪声和干扰信号再次混叠

2 TLV320ADCx140/TLV320ADCx120/PCMX120-Q1/PCMX140-Q1 中固有的抗混叠功能

TLV320ADCx140/TLV320ADCx120/PCMX120-Q1/PCMX140-Q1 器件使用 Δ - Σ 模数转换器来对输入信号进行数字化处理。该 ADC 结合使用过采样和噪声整形功能来实现高性能。图 2-1 展示了音频信号链的简化方框图。

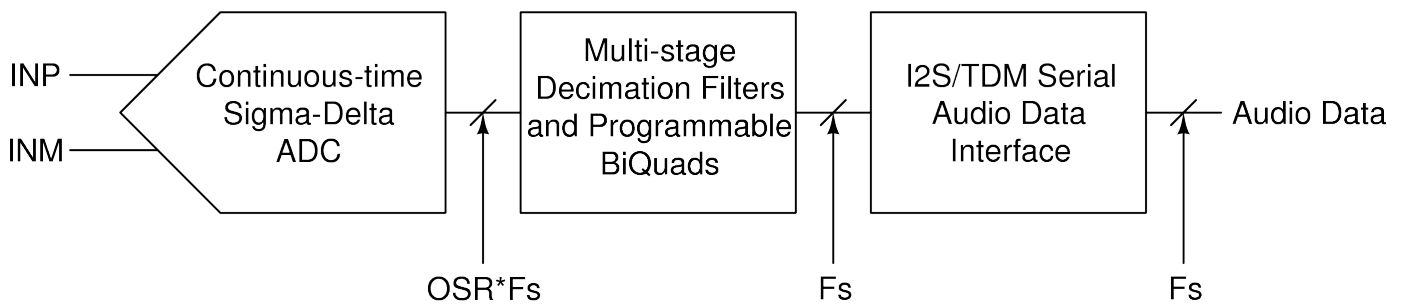


图 2-1. 音频信号链方框图

为了提高转换性能，TLV320ADCx140/TLV320ADCx120/PCMX120-Q1/PCMX140-Q1 不仅会对信号进行过采样来简化抗混叠滤波器设计，而且还以调制器频率 (F_{MOD}) 的倍数在信号传递函数中添加陷波。调制器采样率与输出采样率之比被称为过采样率 (OSR)。可能混叠到带内并破坏目标信号的频带约为 $N \times F_{MOD} \pm 20\text{kHz}$ ($N = 1, 2, 3$, 以此类推)。调制器传递函数中的陷波会严重衰减 (> 100dB) 这些频带。图 2-2 展示了调制器的信号传递函数。对于 48kHz 的所有倍数和约数，调制器的采样频率均设为 6.144MHz。44.1kHz 系列采样率使用 5.644MHz 的调制器采样频率。信号链后方的集成式数字滤波器会在每个抽取级处切断带外噪声，从而提供超过 70dB 的阻带衰减。整体架构无需构建复杂高阶外部模拟抗混叠滤波器所需的板载运算放大器和无源器件，因此有助于降低系统成本和缩小整体解决方案尺寸。

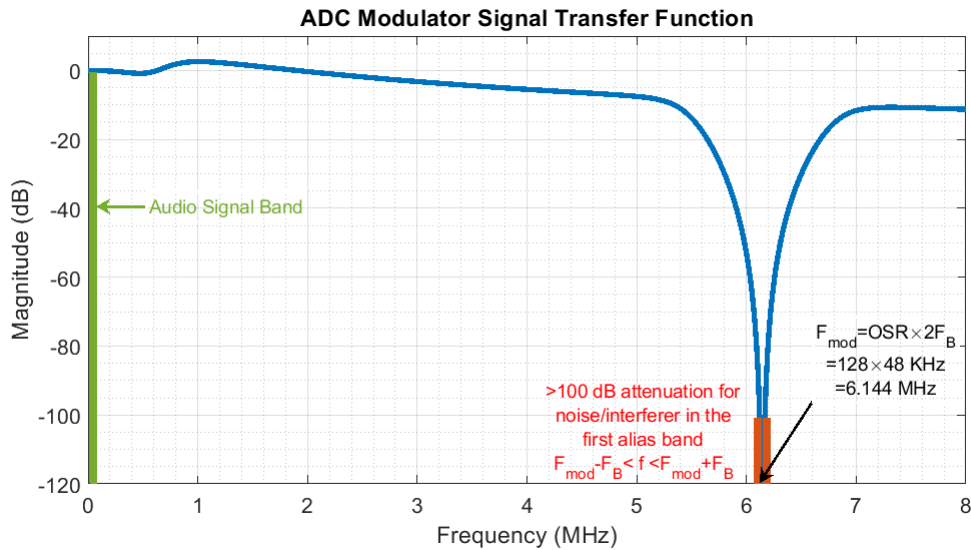


图 2-2. ADC 调制器的信号传递函数

TLV320ADCx140/TLV320ADCx120/PCMx120-Q1/PCMx140-Q1 器件的信号链能够耐受输入端的噪声/干扰信号（通常无需抗混叠滤波器）。不过，该信号链无法承受超过特定限值的噪声/干扰信号。存在满量程信号时，输入端支持的最大集成噪声（整个带宽）为 0.0075V（2Vrms 时为 -48dB_r）。如果不存在信号，则支持的集成噪声值为 0.01V（2Vrms 时为 -46 dB_r）。请注意，这里假设此输入噪声具有等效于二阶高通传递函数的整形频谱。对于特定频率的音调（干扰/信号），图 2-3 展示了各种频率条件下都能够支持音调的振幅，而不会导致调制器饱和。

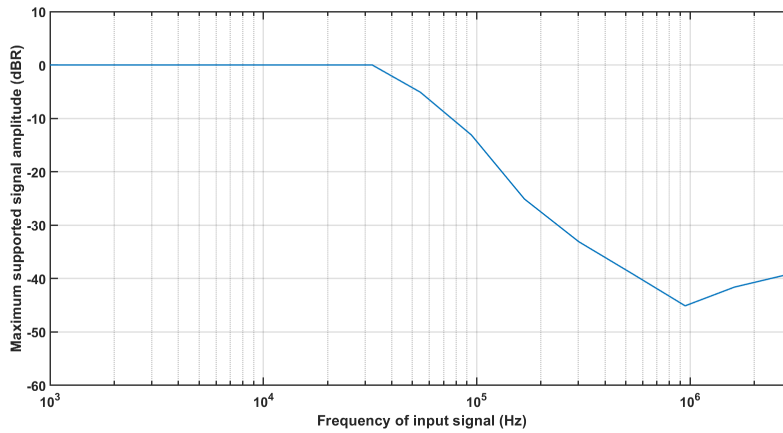


图 2-3. 支持的最大信号振幅

如果存在高带外干扰信号/噪声，建议使用截止频率为 20kHz 的一阶或二阶抗混叠滤波器来抑制带外噪声/干扰信号，并防止信号链出现饱和。

3 灵活的数字滤波器

在 ADC 对模拟信号进行采样并转换为离散信号后，抽取滤波器会衰减带外噪声。除了抽取滤波器外，可编程数字双二阶滤波器可以进一步地对带内信号频率响应进行整形。以下各节介绍了 TLV320ADCx140 /TLV320ADCx120/PCMX120-Q1/PCMX140-Q1 器件提供的抽取滤波器和双二阶滤波器选项。

3.1 多级抽取滤波器

TLV320ADCx140/TLV320ADCx120/PCMX120-Q1/PCMX140-Q1 器件提供了三组不同的抽取滤波器：线性相位、低延迟和超低延迟。表 3-1 展示了三种抽取滤波器选项的可比性能。线性相位滤波器提供了零群延迟偏差。与线性相位滤波器相比，低延迟和超低延迟滤波器提供了更小的群延迟和更高的衰减，但具有更高的群延迟偏差。请参考 [TLV320ADC5140 四通道、768kHz、Burr-Brown 音频 ADC 数据表](#)、[TLV320ADC6140 四通道、768kHz、Burr-Brown 音频 ADC 数据表](#) 和 [TLV320ADC3140 四通道、768kHz、Burr-Brown 音频 ADC 数据表](#) 的线性相位滤波器、低延迟滤波器和超低延迟滤波器部分，以了解受支持采样率的确切滤波器响应。

表 3-1. 抽取滤波器特性

	线性相位	低延迟	超低延迟
群延迟 (以样本数表示)	10 - 20	5-7	3-5
群延迟偏差 (以样本数表示)	0	< 0.1	< 0.5
带外衰减 (dB)	> 72	> 85	> 85

3.1.1 线性相位

线性相位抽取滤波器在频率范围内具有零群延迟偏差。这些滤波器的延迟约为输出采样率条件下 10 至 20 个样本。在所有采样率条件下，线性相位滤波器对应的带外衰减约为 72dB。图 3-1 展示了 48kHz 采样率条件下的线性相位响应。虚线表示最小带外衰减水平，约为 74dB。这意味着，抽取滤波器链会将任何混叠带外噪声分量的强度衰减至少 74dB。线性相位滤波器会为所有频率分量增加相同的延迟，因而不会导致任何相位失真。如果应用中时域波形保证至关重要，例如专业音频录制，则建议使用这些滤波器。

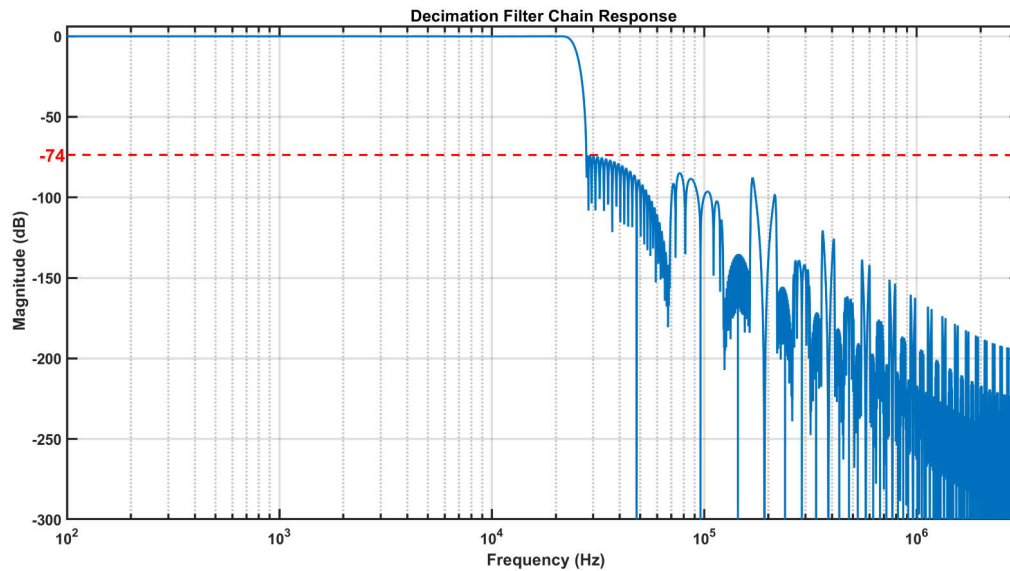


图 3-1. 线性相位抽取滤波器响应

3.1.2 低延迟滤波器

与线性相位滤波器相比，低延迟抽取滤波器具有更小的群延迟（约为输出采样率条件下 5 至 7 个样本），但其群延迟偏差不为零。群延迟偏差通常小于输出采样率时间周期的百分之一。在所有采样率条件下，低延迟滤波器对应的带外衰减大于 85dB。图 3-2 展示了 48kHz 采样率条件下的低延迟响应，以供参考。虚线表示最小带外衰减

水平，约为 86dB。这意味着，低延迟抽取滤波器链会将任何混叠带外噪声分量的强度衰减至少 86dB。低延迟滤波器适用于需要快速模数转换和处理中低频带的应用。图 3-3 展示了 48kHz 低延迟滤波器的相位偏差图。在 DC 至 $0.37 \times f_s$ Hz 条件下，它具有非零（小于 0.3 度但大于 -0.25 度）相位偏差）。如果应用中的目标频带小于 $0.37 \times f_s$ Hz，则可以使用低延迟滤波器，并享受更快的转换性能。

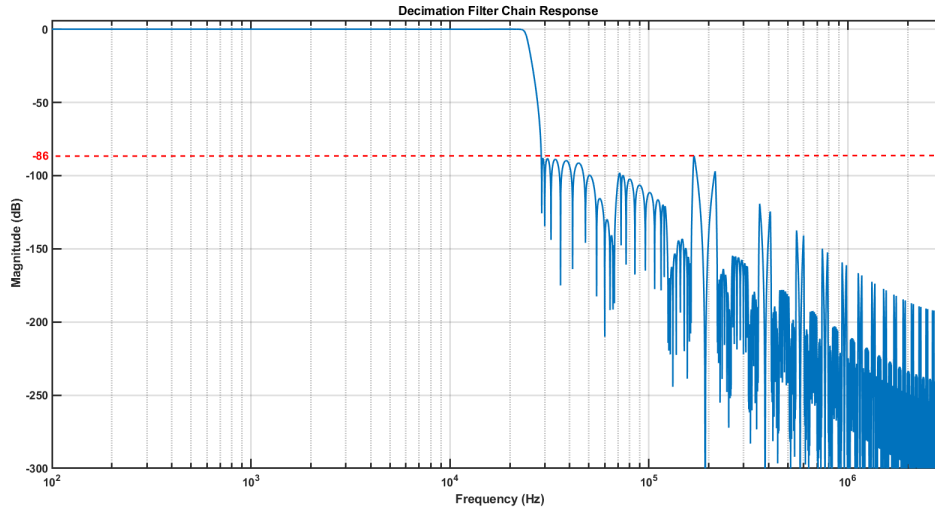


图 3-2. 低延迟抽取滤波器响应

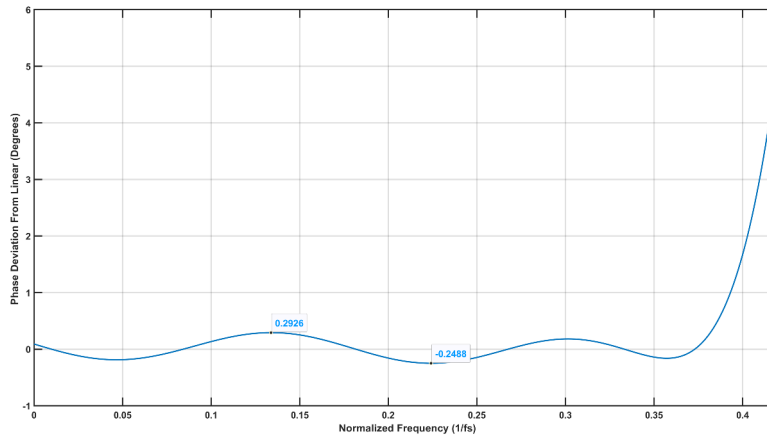


图 3-3. 低延迟抽取滤波器的相位偏差

3.1.3 超低延迟滤波器

与低延迟滤波器相比，超低延迟抽取滤波器具有最小的群延迟（约为输出采样率条件下 3 - 4 个样本），但其群延迟偏差更大。超低延迟滤波器对应的带外衰减大于 85dB。图 3-4 展示了 48kHz 采样率的超低延迟频率响应。超低延迟滤波器的幅度响应与低延迟滤波器近乎相同。超低延迟滤波器具有更低的群延迟，但相位偏差更大。图 3-5 展示了 48kHz 采样率滤波器的相位偏差。对于小于 $0.3 \times f_s$ 的频率，相位偏差并不太大（小于 14.5 度但大于 -10.3 度）。超低延迟滤波器适用于需要极快转换但可以容忍少量相位偏差的应用。

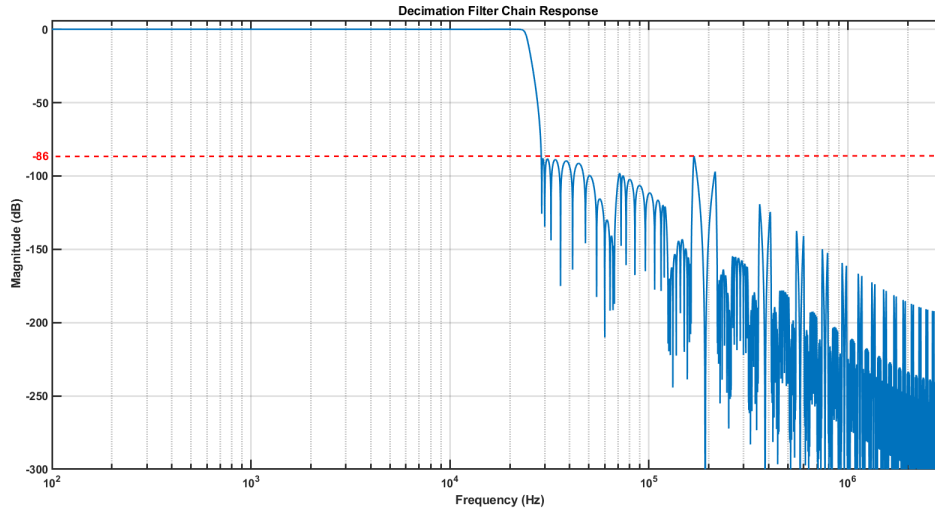


图 3-4. 超低延迟抽取滤波器响应

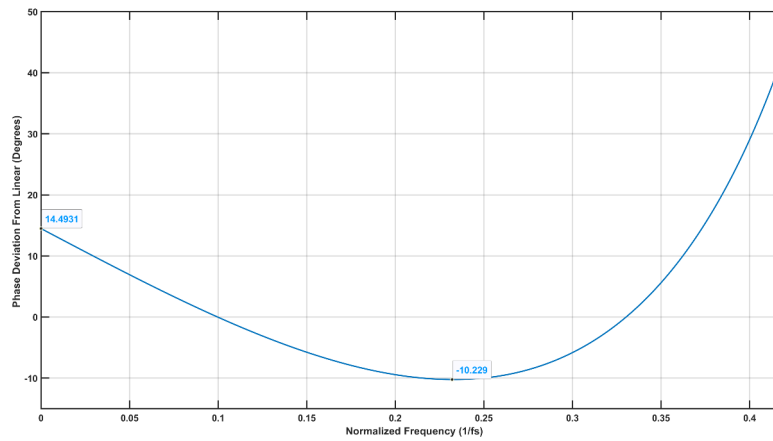


图 3-5. 超低延迟抽取滤波器相位偏差

3.2 可编程双二阶滤波器

除了用于带外衰减的多级抽取滤波器外，TLV320ADCx140/TLV320ADCx120/PCMx120-Q1/PCMx140-Q1 器件还支持数字双二阶滤波器来实现带内频率整形。例如，在噪声消除或均衡应用中，目标信号带宽通常小于数百赫兹。利用可编程数字双二阶滤波器，可以配置滤波器参数，来在进行任何数字处理之前抑制不良音频信号。这些滤波器可用作低通、高通、带通或带阻滤波器。有关双二阶滤波器配置的更多信息，请参阅 [TLV320ADCx140 可编程双二阶滤波器配置和应用](#) 应用手册。

4 参考资料

- 德州仪器 (TI) , [TLV320ADC5140 四通道、768kHz、Burr-Brown 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [TLV320ADC3140 四通道、768kHz、Burr-Brown 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [TLV320ADC6140 四通道、768kHz、Burr-Brown 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [TLV320ADC3120 2 通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [TLV320ADC5120 2 通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [TLV320ADC6120 2 通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [PCM6120-Q1 2 通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [PCM5120-Q1 2 通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [PCM3120-Q1 2 通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [PCM6140-Q1 四通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [PCM5140-Q1 四通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC 数据表](#)。
- 德州仪器 (TI) , [PCM3140-Q1 四通道、768kHz、Burr-Brown™ 音频 ADC 数据表](#)。

5 修订历史记录

Changes from Revision A (April 2022) to Revision B (January 2024) Page

- 通篇添加了 *PCMx140-Q1* 1

Changes from Revision * (December 2019) to Revision A (April 2022) Page

- 通篇添加了 *TLV320ADCx120/PCMx120-Q1* 1
- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式..... 1

重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司