

Application Note

TAS2781、TAS2783 音频增强



Supriyo Palit

Low-Power Audio

摘要

TAS2781 和 TAS2783 是具有扬声器保护功能的数字输入 D 类智能音频放大器。TAS2783 还支持具有 SoundWire 设备类音频 (SDCA) 的 MIPI Alliance SoundWire 接口。片上低延迟数字信号处理器 (DSP) 支持高级音频增强和扬声器保护算法。高级音频增强算法提高了音频质量和清晰度，减少了噪声，并提供了丰富的低音和动态播放。本文档介绍了 TAS2781 和 TAS2783 放大器中的各种音频增强算法。

内容

1 引言.....	2
2 音量控制.....	2
3 均衡器.....	3
3.1 动态均衡.....	3
4 动态范围压缩器 (DRC).....	4
5 心理声学低音.....	9
6 敲击噪声抑制器.....	10
7 修订历史记录.....	11

插图清单

图 1-1. 音频增强信号链.....	2
图 2-1. 音量软步进.....	2
图 2-2. 音量控制.....	3
图 3-1. 静态均衡器的均衡器和高通滤波器控制.....	3
图 3-2. 动态均衡功能.....	4
图 3-3. 动态均衡控制.....	4
图 4-1. 基本 DRC 功能.....	4
图 4-2. 压缩器.....	5
图 4-3. 扩展器.....	5
图 4-4. 噪声门.....	6
图 4-5. DRC 图示例.....	6
图 4-6. 时间常数控制.....	6
图 4-7. 起音、释音时间波形.....	7
图 4-8. 三频带 DRC.....	7
图 4-9. DRC 区域控制.....	8
图 5-1. 心理声学低音效果.....	9
图 5-2. 心理声学低音控制.....	9
图 6-1. 敲击噪声特性.....	10
图 6-2. 敲击噪声抑制器控制.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

TAS2781 和 TAS2783 器件是单声道数字输入 D 类音频放大器，专门针对将高功率有效驱动到小型扬声器进行了优化。D 类放大器在 18V 电源电压下可向 4 Ω 负载提供 25W 的连续功率，且 THD+N 小于 1%。宽输入电压范围和高输出功率使该放大器具有出色的通用性，能够与电池电源或线路供电系统配合使用。片上低延迟 DSP 支持德州仪器 (TI) 的 SmartAmp 扬声器保护和音频增强算法。集成的扬声器电压和电流检测功能可对扬声器进行实时监测，从而在改变峰值声压级 (SPL) 的同时保持扬声器不受损坏。Y 桥电源架构可通过在内部选择电源来实现理想余量，从而提高放大器效率。TAS2783 放大器支持采用 SDCA 的 MIPI SoundWire v1.2。

TAS2781 和 TAS2783 器件内的音频增强算法包含音量控制、均衡器滤波器、动态压缩器以及一些专用功能，如心理声学低音增强器、敲击噪声抑制器和姿势控制。

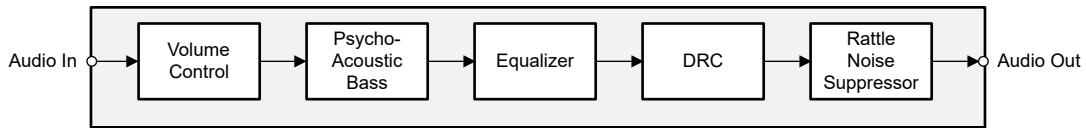


图 1-1. 音频增强信号链

音量控制用于增大或减小声音输出的强度。支持软斜坡特性，可实现实时更新而不会产生任何可闻失真。

均衡器滤波器主要用于提供平坦的扬声器响应以及扩展低音响应。

动态范围压缩器用于压缩响亮信号并提供一致的响度。这些压缩器使用基于 RMS 的信号电平跟踪来控制泵入扬声器的功率。压缩器可应用于不同的音频频段，并可独立配置。

心理声学低音增强器通过产生谐波来改善低音感知。消除了低音频率以提高扬声器的效率，但由于心理声学的基本效应缺失，低音感知保持不变。

敲击噪声抑制器是一种专用算法，可抑制扬声器在接近谐振频率时因严重的敲击噪声而产生的机械噪声。

2 音量控制

音量控制块对输入信号施加增益，同时还为进一步的音频处理提供了余量。音量增益的目的是在所有音乐流派和电影中始终保持响亮的声音。当与动态范围压缩器配合使用时，此控制装置能让轻柔的音乐声音变得响亮 - 这在嘈杂环境中播放音频（尤其是在小型扬声器中）时尤为重要。音量控制还支持软步进。采用平滑的时间曲线来改变音量，以消除任何失真。

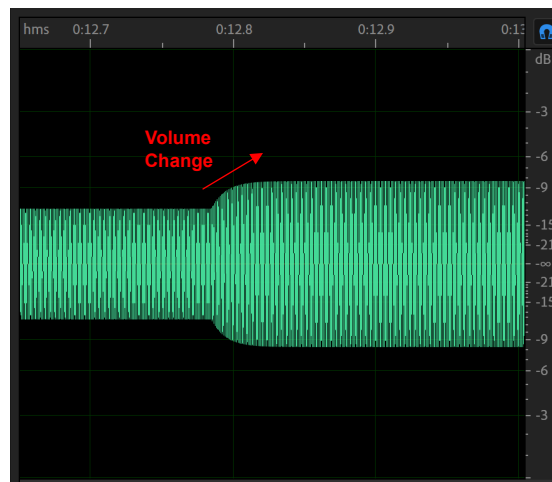


图 2-1. 音量软步进

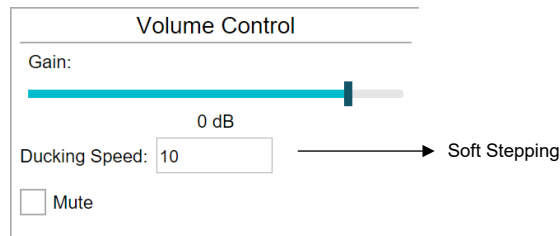


图 2-2. 音量控制

3 均衡器

均衡器滤波器用于使扬声器响应变得平坦，同时补偿任何非线性失真，如扬声器异响。

均衡器滤波器由多个支持以下功能的双二阶滤波器组成：

- 扬声器频率响应补偿
- 扩展扬声器的低音响应
- 衰减产生高 THD 的频率
- 去除可能因过度偏移而导致扬声器损坏的直流信号或极低频信号

静态滤波器链由一个 10 双二阶均衡器滤波器模块和一个高通滤波器模块组成。

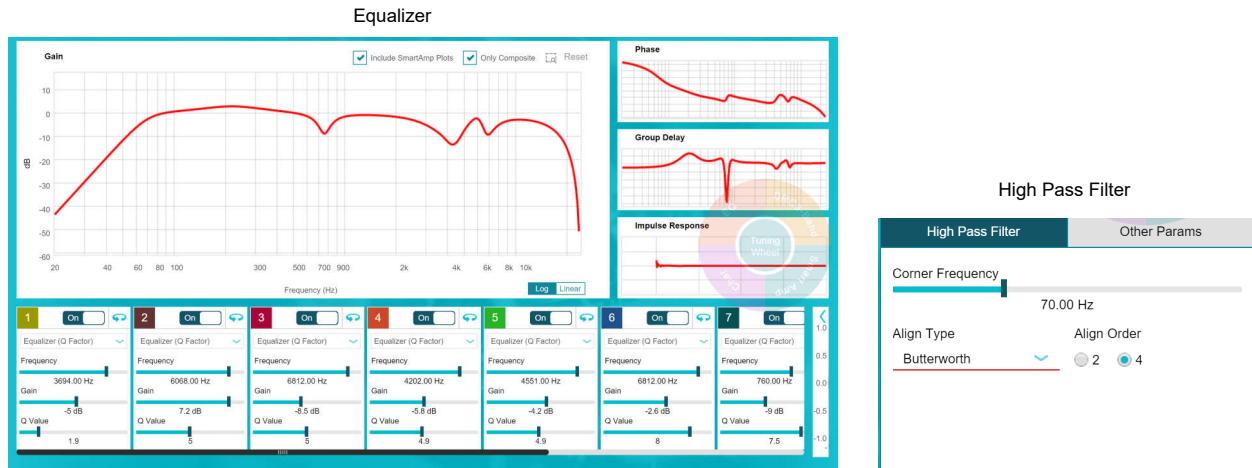


图 3-1. 静态均衡器的均衡器和高通滤波器控制

高通滤波器模块可去除直流信号。转角频率、滤波器阶数和滤波器类型都是可编程的。

均衡器滤波器由 10 个双二阶滤波器组成。每个滤波器都可以使用不同的滤波器类型（高通、低通、均衡器等）和不同的参数选项（转角频率、带宽、增益、Q 因子等）进行编程。

3.1 动态均衡

均衡信号链还支持动态均衡。动态均衡特性只对大电平信号进行衰减以防止失真，而小信号则不做任何信号电平调整即可通过。扬声器中的大多数非线性失真（如异响、嘶嘶声和摇摆模式）只有在信号电平较大时才能观察到。无需在小信号电平上进行任何滤波。这样既能提高音频信号的整体响度，又能防止音频失真。仅当某一频率下的信号电平超过特定阈值时，才会在该频率下应用均衡。动态均衡器启动后，信号就会在所需范围内衰减，使信号电平始终保持在目标阈值电平。有两个动态均衡器可用，每个均衡器都在不同的可编程频率点上。通常，低频动态均衡器用于控制扬声器谐振区域附近的异响失真。高频动态均衡器用于在发声区域附近进行摇摆模式或嘶嘶声控制。

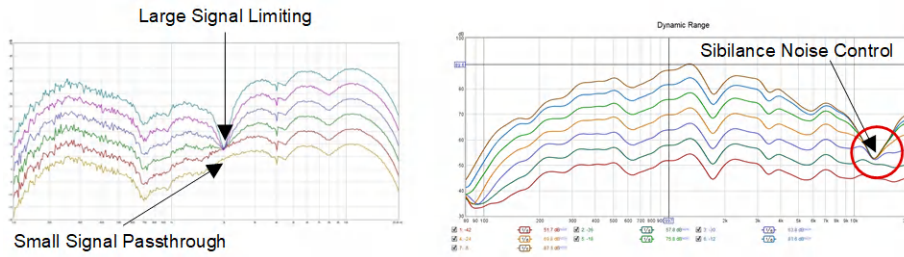


图 3-2. 动态均衡功能

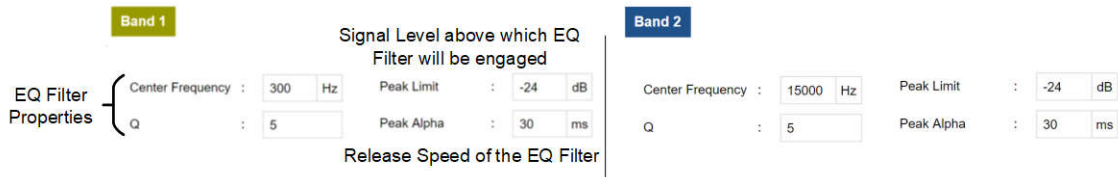


图 3-3. 动态均衡控制

4 动态范围压缩器 (DRC)

音频信号的动态范围是最响亮信号与最安静信号的比值。对于扬声器，额定功率和峰值偏移限制了最大输出信号，本底噪声则决定了最小输出信号。因此，必须在信号处理器中使用控制装置来调整音频信号的电平，使其与扬声器的动态范围相匹配。通常，扬声器的动态范围有限，因此动态范围会被压缩（或整体缩小）。为了提高响度，动态范围压缩器通过放大软信号来进一步缩小动态范围。

动态范围压缩器根据频率内容和信号电平来改变音频信号。压缩器有一个位于主信号路径中的增益控制元件，还有一条侧链，其中包含一个检测器和一个增益计算器。检测器跟踪信号电平，增益计算器则根据信号电平改变主信号路径的增益。侧链活动由五个主要参数控制：阈值、偏移、比率、起音和释音。如果信号电平高于阈值，则使用比率和偏移参数更改增益。比率决定了斜率，而偏移则决定了信号电平高于阈值时的增益起点。使用起音和释音控制装置，可以及时控制增益的改变。斜率是比率参数的倒数。

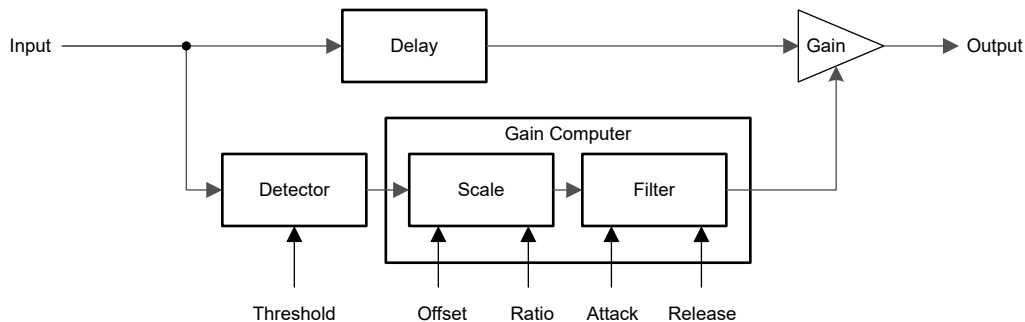


图 4-1. 基本 DRC 功能

压缩器通过动态降低最响亮信号的音量来缩小动态范围，也就是说，压缩器能让响亮的声音变得更小。压缩器通过降低阈值以上信号的增益，使信号电平的增加幅度变小，从而实现这一点。压缩器的比率参数始终大于 1（即斜率 < 1 ）。

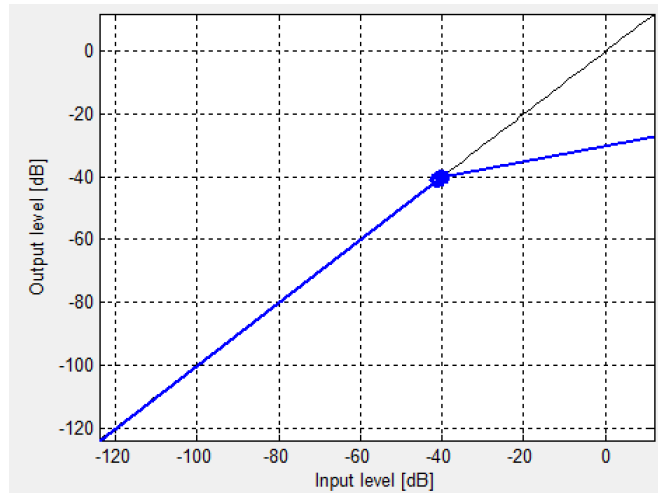


图 4-2. 压缩器

相反，扩展器会增加通过的信号的动力学范围，并且会让声音的安静部分变得更安静。扩展器通过降低阈值以下信号的增益，使信号电平的降低幅度变大，从而实现这一点。扩展器的常见用途是降噪 - 随着声音变得更安静且更接近本底噪声，扩展器会进一步减少信号，从而改善降噪效果。扩展器的比率参数始终小于 1 (即斜率 > 1)。

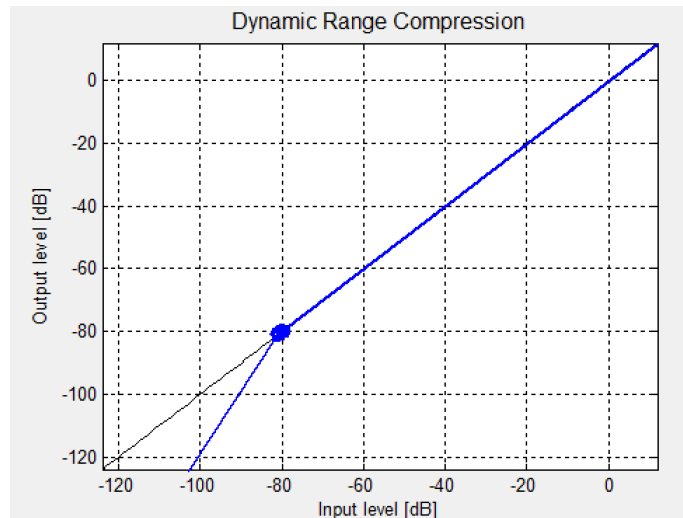


图 4-3. 扩展器

通常，信号在低电平时扩展（以降噪），但在高电平时压缩（以防止放大器削波）。

动态范围压缩器还支持噪声门特性。与扩展器不同的是，当信号低于某个阈值时，噪声门会对音频信号施加固定增益（即衰减）。这超出了针对低信号电平施加的典型扩展增益。噪声门通常用于消除更响亮声音之间的背景噪声。

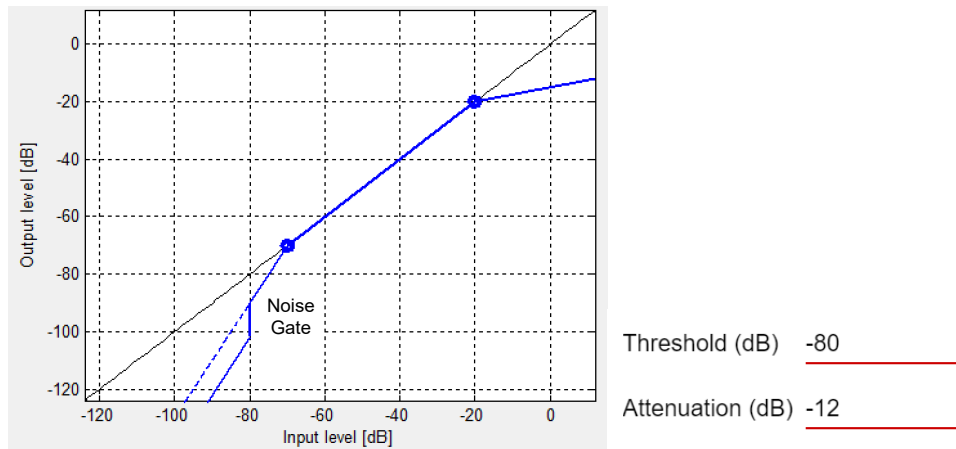


图 4-4. 噪声门

阈值是增益调整的起点。当输入低于压缩器的阈值或高于扩展器的阈值时，动态处理器通常不会启动。当输入高于阈值（压缩）或低于阈值（扩展）时，侧链会自行置为有效并减小音量。

检测器阈值基于 RMS 能量。基于 RMS 能量的检测器会根据扬声器的功率处理能力维持动态范围。平均时间常数用于确定输入信号的 RMS。这称为能量时间常数。

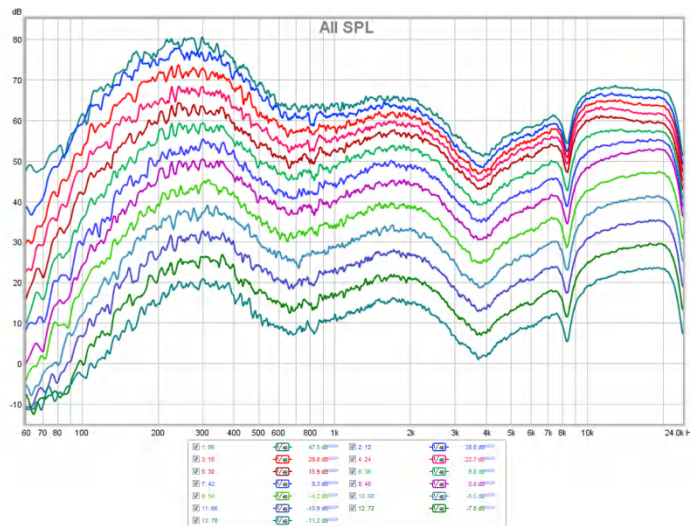


图 4-5. DRC 图示例

压缩器对高于阈值的侧链输入电平增加做出反应所需的时间称为起音，也就是说，这决定了增益调低的速度。相反，当侧链输入电平降至阈值以下时，重新调高增益的时间称为释音。起音和释音都由一个时间常数定义，使得输出端具有恒定的每秒 dB 增益变化。

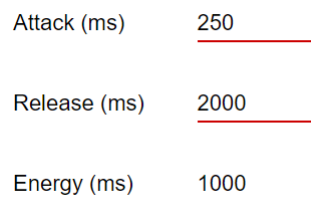


图 4-6. 时间常数控制

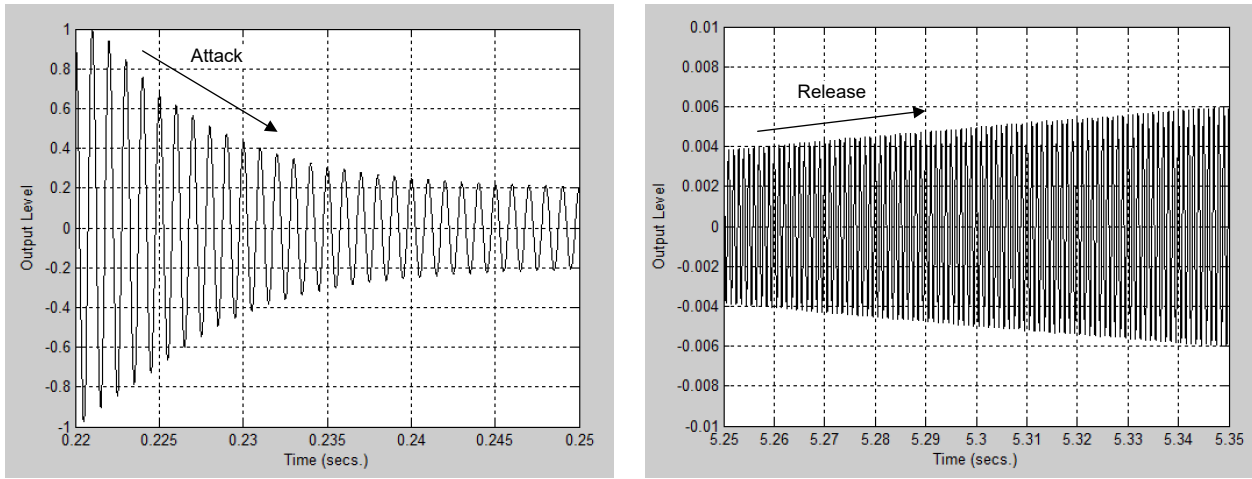


图 4-7. 起音、释音时间波形

有三个动态范围压缩器可供选择 -- 每个压缩器均可编程为覆盖一定的音频范围。三个动态压缩器 (称为三频带 DRC) 均可独立编程, 通过三频带连接的分频网络覆盖 20Hz 至 20kHz 的整个音频范围。这些 DRC 使用基于 RMS 的检测器。

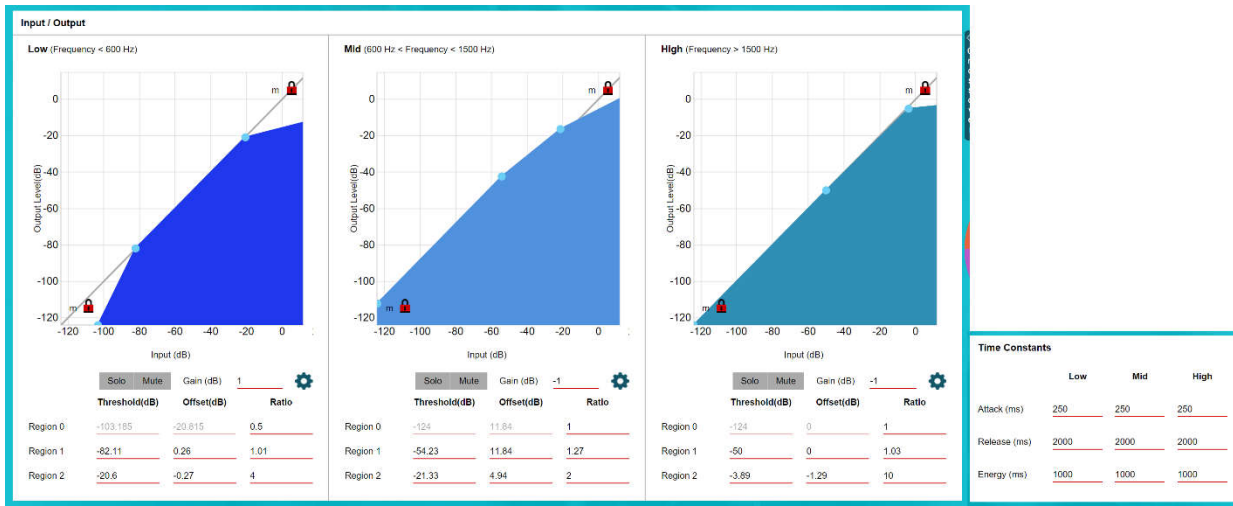


图 4-8. 三频带 DRC

每个压缩器都有三个信号电平控制区域 (低信号区域、中信号区域和高信号区域), 每个区域的阈值、偏移和比率 (压缩或扩展) 都可进行编程。所有区域的起音和释音都相同。将侧链输入电平与每个阈值进行比较, 以确定信号区域和相应的比率, 并由增益计算器用于在主信号路径中施加增益。

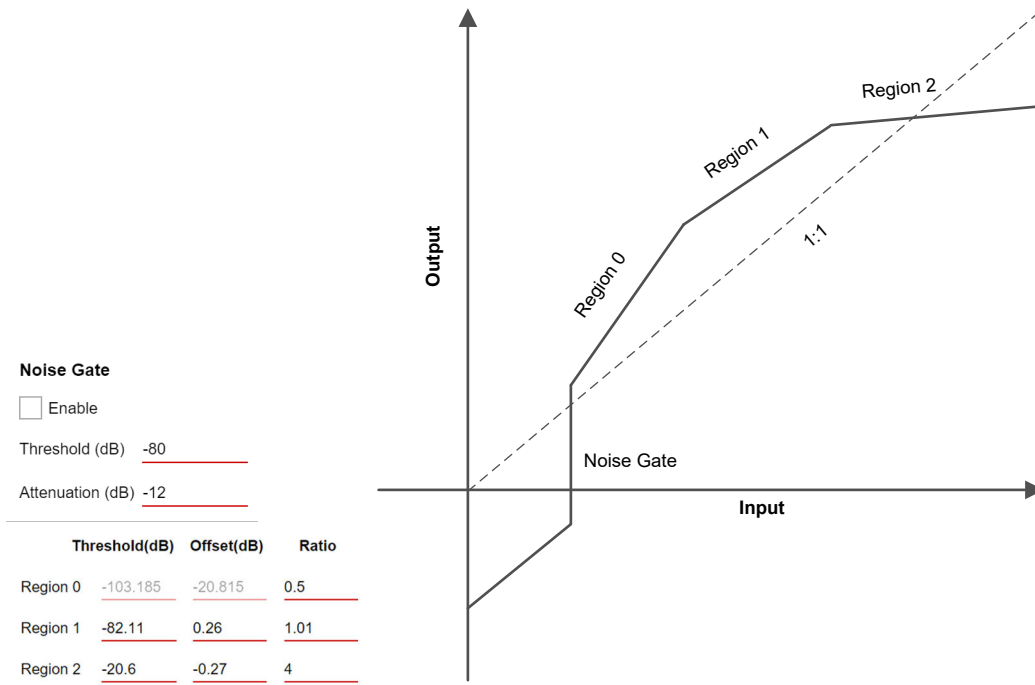


图 4-9. DRC 区域控制

5 心理声学低音

心理声学低音模块通过产生谐波，在小型扬声器上模拟深沉的低音。这不仅改善了小型扬声器的低音响应，还提高了功效。可通过均衡器滤波器衰减和去除低音基频，但由于谐波的存在，仍可感知到低音。这有助于在较低功率级别下保持相同的低音水平，或在给定功率级别下保持较高的感知低音，因为与低频声音相比，扬声器产生高频声音的效率更高。

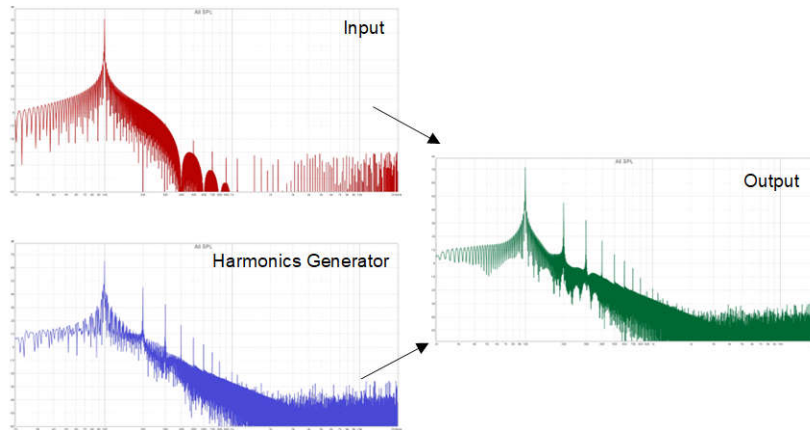


图 5-1. 心理声学低音效果

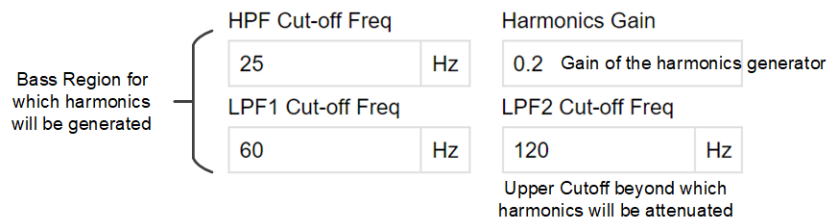


图 5-2. 心理声学低音控制

6 敲击噪声抑制器

敲击噪声抑制器是一种特殊用途的频率敏感型压缩器，可降低敲击噪声。当扬声器在接近其谐振频率被大力驱动时，振膜的机械运动会产生空气湍流通过发射端口，从而产生高频敲击噪声。压缩器的阈值取决于产生敲击噪声的信号电平。如果在接近谐振频率的低信号电平下产生敲击噪声，则必须降低阈值，反之亦然。只需抑制接近谐振频率的音频信号，因此应在接近谐振频率的区域应用压缩器。压缩器通常用作限制器，使信号电平接近阈值限制。侧链检测器还会分析谐振区域和高频区域的能级。检测器通过分析能级来确定敲击噪声的严重程度，并仅在高频能量超过谐振能量没有达到一定水平时，才启动压缩器。谐振区域、高频区域和电平都可以编程。

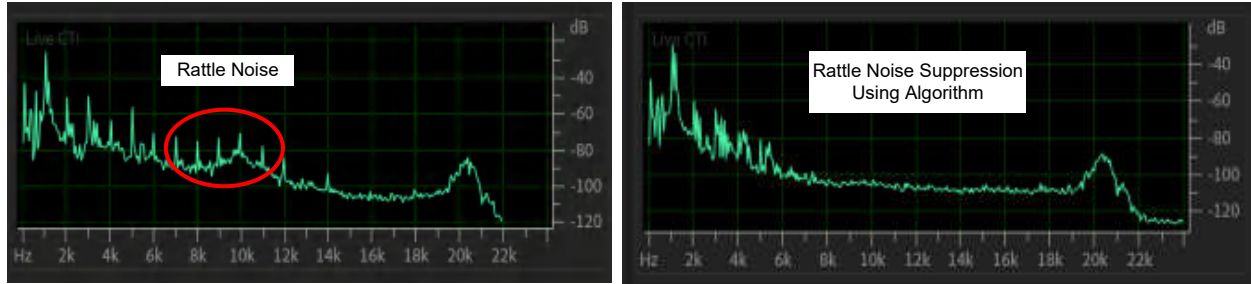


图 6-1. 敲击噪声特性

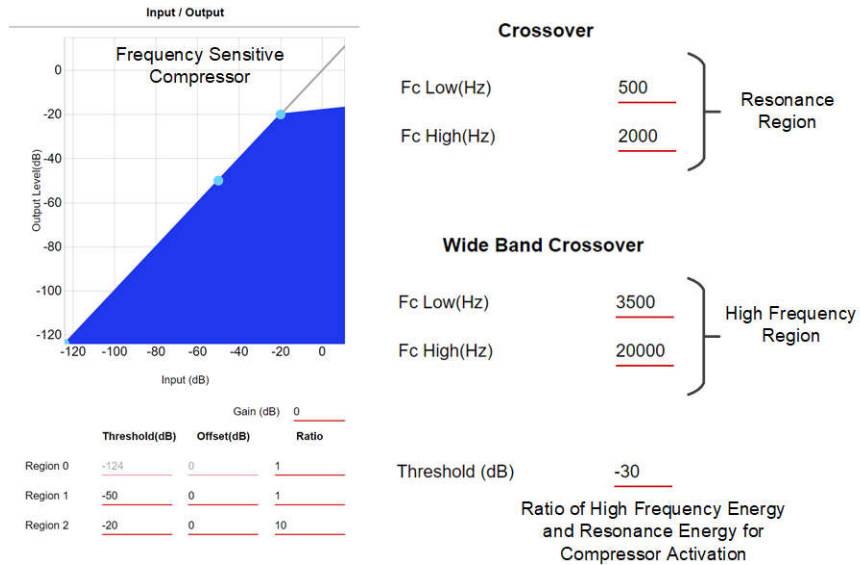


图 6-2. 敲击噪声抑制器控制

7 修订历史记录

Changes from Revision * (August 2022) to Revision A (April 2024)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 新增了“动态均衡”主题.....	3

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