

TAS25xx Smart AMP Anti-Clipper 模块的音效调试

Peter Wei/Susan Xue/Anjin Du

Huawei Application Team

Abstract

TAS25xx 系列 Smart AMP 放大器，广泛的应用在手机平板项目之中。由于 Smart AMP 算法的高增益，在某些特定的场景下，保护模块会产生少量的数字域削波失真。在市场上其他的 Smart AMP 算法，一般只能通过更改保护模块的 AGC 门限进行压制，效果存在比较大的限制。

TAS25xx 系列 Smart AMP 算法，设计了独立的 Anti Clipper 模块，能够确保消除数字域削波失真。结合 3 段 DRC，能够实现最小的音质损失。本文将基于数字域削波产生的机理，介绍 Anti Clipper 模块和 DRC 模块的联合使用，提供调试者一个明确的调试思路。

Contents

1	SmartPA 算法中的数字削波失真	Error! Bookmark not defined.
1.1	数字削波失真的产生	Error! Bookmark not defined.
1.2	判断和定位数字削波失真问题	Error! Bookmark not defined.
2	Anti-Clipper 调试模块的作用及参数说明	Error! Bookmark not defined.
3	单独使用 Anti Clipper 模块的限制	Error! Bookmark not defined.
2.1	Anti Clipper 模块的互调失真	Error! Bookmark not defined.
2.2	Anti Clipper 对音量的影响	Error! Bookmark not defined.
4	Anti Clipper 的实际设置	Error! Bookmark not defined.
5	三段 DRC 模块和 Anti Clipper 模块的联合使用	Error! Bookmark not defined.
2.1	DRC 分频点的判定	Error! Bookmark not defined.
2.2	DRC 压缩幅度的判定	Error! Bookmark not defined.
2.3	DRC 时间常数的判定	Error! Bookmark not defined.
6	附录:.....	Error! Bookmark not defined.

Charts

Figure 1	出现数字削波时输出数据频谱	2
Figure 2	Anti Clipper 的调试界面	3
Figure 3	CL 参数含义	3
Figure 4	AGC 的线性增益和非线性增益	4
Figure 5	Modulation 失真的产生	5
Figure 6	Anti Clipper 常用设置	Error! Bookmark not defined.
Figure 7	扬声器电压振幅频率响应曲线	6

Figure 8 DRC Headroom	7
Figure 9 三段 DRC 调试界面	8
Figure 10 DRC 分频器	Error! Bookmark not defined.
Figure 11 DRC 增益	Error! Bookmark not defined.

1. SmartPA 算法中的数字削波失真

1.1 数字削波失真的产生

SmartPA 算法的核心是，在振幅和温度安全的前提下，尽可能高增益的放大信号。也就是在输出信号不足以触发振幅和温度保护的时候，增益会非常高。

而对于 DSP 等数字引擎来说，处理的数据有宽度的限制，因此如果较高的信号输入，被加以很高的增益，势必会导致信号的数字削波，从而引起较明显的削波。从对音乐主观的感受上来说，存在“破音”的现象。

1.2 判断和定位数字削波失真问题

因为 SmartPA 多被应用在 Mini Speaker 场景上，而 Mini Speaker 因为物理特性的限制，在某些频点也会出现类似于削波的非线性失真。因此，如何判断和区分数字削波和扬声器非线性失真带来的“破音”，就显得非常重要。

在一般手机平台，出于 Debug 的需要，一般都提供了抓取音频数据的接口。当遇到“破音”问题时，我们可以通过抓取 SmartPA 算法输入和输出的数据，使用 Cool Edit 等工具进行分析：

- 比较输入输出数据，使用失真能量分布分析，在信号幅度增高的地方，如果输出信号谐波相对比输入信号存在明显增加，那么很可能发生了输入削波失真；

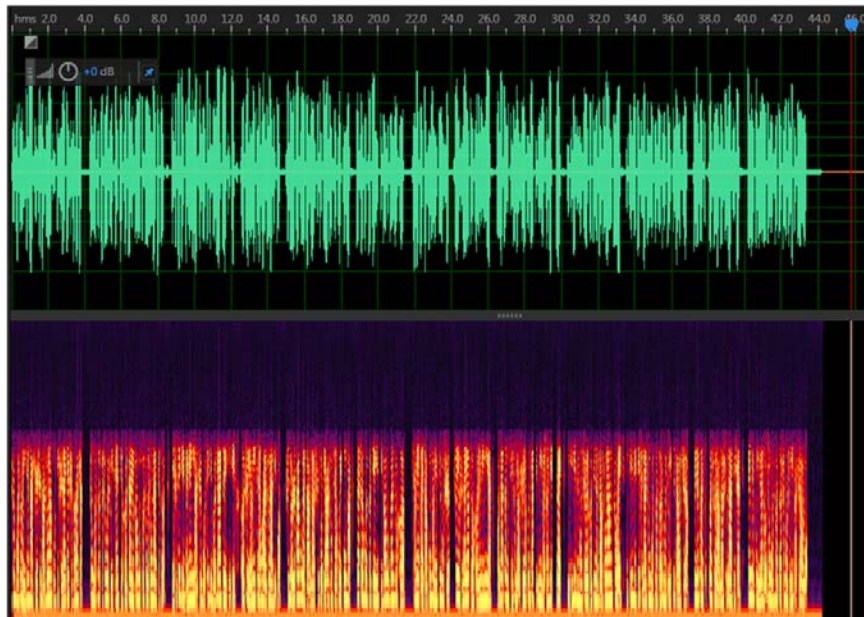


图 1，出现数字削波时输出数据频谱

- 使用耳机等已知的低失真设备，通过主观聆听的方式，比较输入输出数据，也可以判断是否在输出数据中已经存在削波失真。

2. Anti-Clipper 调试模块的作用及参数说明

为了解决上述的数字削波问题，TI 的 SmartPA 在振幅和温度保护的基础上加入了 Anti-Clipper 调试模块。算法预判，当输入信号加增益后会导致数字削波，且由于建模模型和反馈条件不足够触发振幅和温度保护的时候，Anti-Clipper 将会被触发，降低增益，使得输出的峰值低于 Full Scale。

Anti-Clipper 可被理解为一个峰值检测（Peak Detect）AGC。由于存在预测机制，因此 AGC Attack Time 可以被视为极短且不可调整。下面综合调试界面参数，对 Anti-Clipper 各部分参数进行简单说明。

Anti-Clipper 调试界面，位于 PPC3 调试界面的“Audio Processing -> Smart Amp -> Protection Tuning -> Advance Tuning”位置。

所设定的三个参数的解释如下：

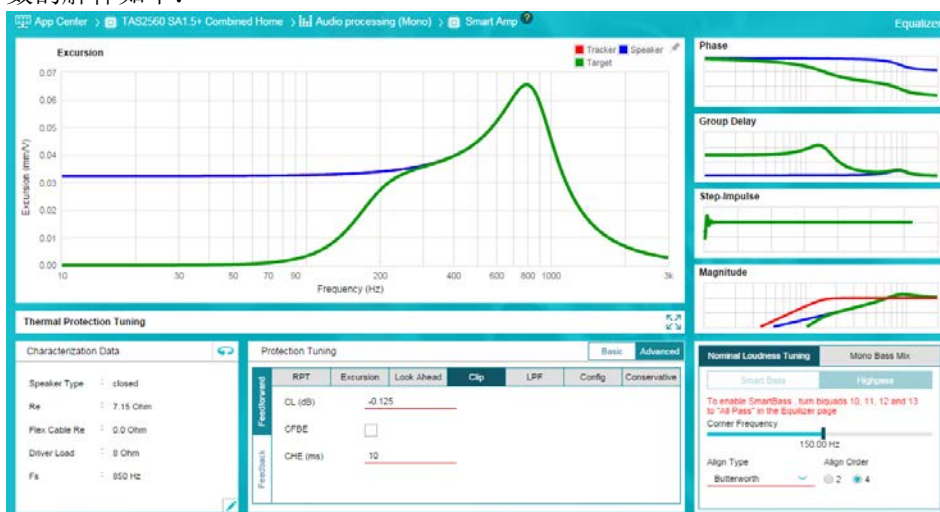


图 2，Anti Clipper 的调试界面

- CL(dB) 即 Clipping Level，也就是 AGC 的 Attack Threshold，是输出信号最终的峰值。dB 数值参考输出数据的 Full Scale，等同于输出数据的 dBFS。30dB 即表示 30dBFS，-10dB 即表示-10dBFS
 - 可设定的有效范围为 30dB (fs) ~-90db (fs)；
 - CL=0dB，表示输出信号被预测会达到 0dBFS，AGC 即会被触发，并且将信号限制小于 0dBFS。
 - 如果需要完全关闭 Anti-Clipper，可以设置 CL 为 30dB。此时任何数据均不会触发 Anti-Clipper；
 - 由于基于预测机制，输出幅度将一直小于设定的 dBFS 值。

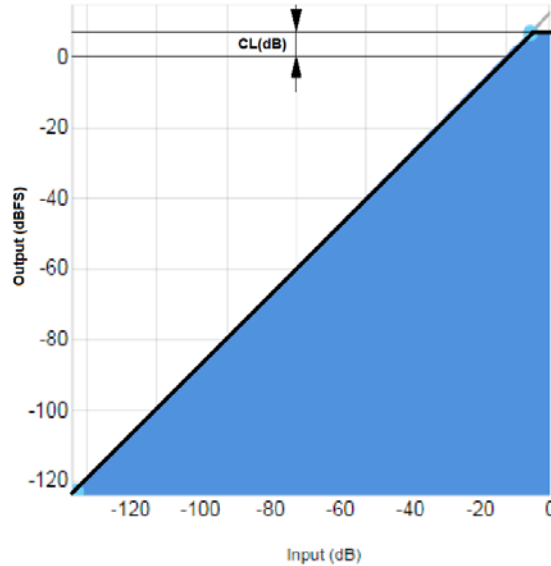


图 3, CL 参数含义

- CFBE 即 Clipping Frequency Band Enable, 即 Anti-Clipper 抑制的信号频率范围。
 - CFBE 不勾选使能时, Anti-Clipper 只对三段保护的 High Band 高频信号进行压缩限幅。由于 Excursion Protection AGC 会根据建模参数对 Low Band 和 Middle Band 信号进行压缩限制, 因此某些电压/振幅比较高的扬声器, 会根据模型, 将输出信号限制在比较低的幅度以下, 因此在某些场景中, Excursion Protection AGC 即可使得 Low Band 和 Middle Band 信号不会发生削波失真, 所以只需要对 High Band 信号进行抑制, 即可防止全频带削波。
 - CFBE 勾选使能时, 表示 Anti-Clipper 对全频带信号都会进行压缩限幅。针对某些电压/振幅比较低的扬声器, 根据模型限制振幅后, 输出信号仍然较高, 超出 0dBFS, 会在数字域产生削波失真, 因此在这些场景中, 需要对全频带信号进行抑制, 防止全频带削波。
- CHE(ms) 即 Anti-Clipper 的 Release Time 时间参数。
 - Anti Clipper 由于能够绝对防止削波的发生, 因此它的 Attack Time<3ms, 固定不可调整;
 - Release Time 是 AGC 的释放时间, 更长的 Release Time 能够减少音频 Modulation 失真的出现, 但是由于 AGC Gain 一直会处于较低水平, 因此音量会显著下降。
 - 当 CFBE 没有使能时, 由于 Anti-Clipper 只对高频信号有效, 而高频信号时间参数较短, 因此一般会设置较短的 Release Time, 例如 10ms;
 - 当 CFBE 被是能时, 由于时间常数较长的低频信号也会引起 Anti-Clipper 的动作, 因此需要设置较长的 Release Time, 例如 50ms~100ms;

3. 单独使用 Anti Clipper 模块的限制

由于 CL(dB)和 CFBE 参数跟系统模型相关, 因此相对固定, 根据系统需要设定后, 一般不需要调试。所以, 一般调音时, 仅仅通过改变 CHE(ms)参数来细调音质。而由于 Anti Clipper 具有 AGC 的特性, 存在以下的限制:

- CHE(ms)较短时, 会产生互调失真;

- CHE(ms)较长时，会影响音量。

3.1 Anti Clipper 模块的互调失真

由于 AGC 的特性，在未满足 Attack Level 触发条件时，放大呈线性。而一旦 AGC 被触发，即会大幅度减小增益，直至 Attack Level 触发条件被取消。

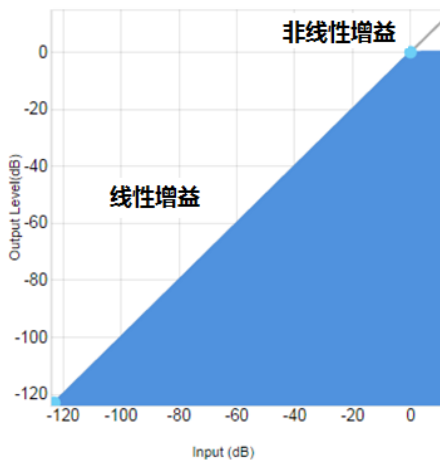


图 4，AGC 的线性增益和非线性增益

由于音乐信号是由不同的频段信号混合产生的，因此如果其中的低频信号触发 AGC，而 AGC 的 Attack 和 Release 周期小于这个低频信号的周期，这时候由于在低频信号的峰值会触发 AGC 进入非线性增益区，而低频信号的其他区域由于低于 AGC 触发条件，导致 AGC 增益释放。这时候会调制产生 Release Time 为周期的新的频率，我们称之为 Modulation Distortion，即 AGC 的调制失真。

为了避免 AGC 的调制失真，可以将 Release Time 设置高于触发 AGC 信号的频率周期。由于 Release 周期，增益会被逐步释放，因此，Release Time 一般需要数倍高于信号周期。而这个倍数关系，跟 AGC 降低的 dB 数相关，降低的增益越大，Release Time 则需要更长。

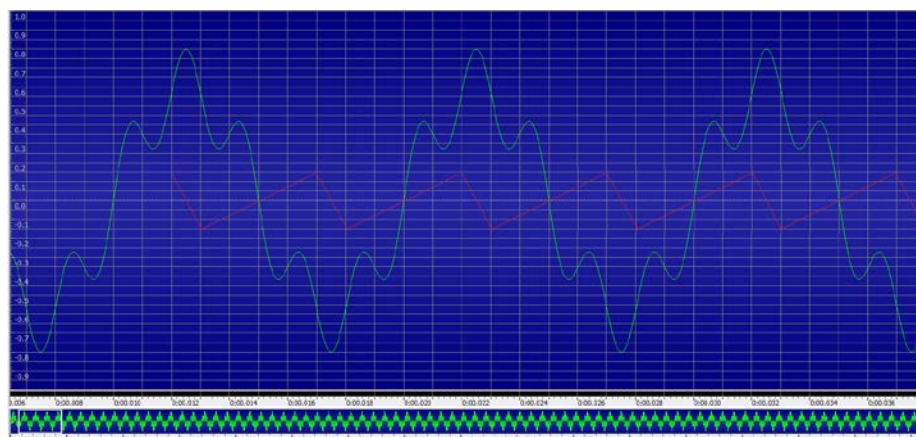


图 5，Modulation 失真的产生

3.2 Anti Clipper 对音量的影响

设置了较长的 AGC Release Time，虽然可以解决调制失真，但是由于 AGC 被触发后，系统增益的降低，而较长的 Release Time 会使得这个比较低的增益保持较长的时间，因此会导致输出信号幅度的减小，使得音量明显的降低。

4. Anti Clipper 的实际设置

在了解了 Anti Clipper 的含义和对音质的影响后，我们可以对其进行设置。

Anti Clipper 的设置较为简单，将 CL(dB)设置成 0dB，并且勾选 CFBE 即可防止全频段信号产生数字削波。

而 CHE(ms)可以在 20ms 或者 10ms 自由选择。由于时间较短，不会对音量有大幅度的影响，但是播放低频成分丰富并且连续的音乐，会出现明显的调制失真。

例如播放大提琴音乐，会出现声音颤抖的问题。

	RPT	Excursion	Look Ahead	Clip	LPF	Config	Conservative
Feedback	CL (dB)	0					
	CFBE	<input checked="" type="checkbox"/>					
	CHE (ms)	20					

图 6, Anti Clipper 常用设置

5. 三段 DRC 模块和 Anti Clipper 模块的联合使用

消除 Anti Clipper 的负面影响方法为：

- 在保持有效值的基础上，降低输入保护模块的信号峰值，使得即使 Anti Clipper 被触发时，减小压缩增益范围变小，从而降低声音波动的幅度；
- 调整峰值信号被压缩后释放时间，使得能够触发增益变化的低频信号释放时间长于其周期，消除失真；

因此，从以下三个方面对 DRC 的调试即可保证极低的音质损失下使用 Anti Clipper 功能。

- 分辨导致调制失真的信号频段，针对这个频段设置独立的 DRC，进行压制；
- 针对不同的频段设置合适的 DRC 压缩门限，限制输出到 Anti Clipper 的信号幅度；
- 调整合适的时间常数，平滑峰值并且保证 DRC 模块本身的低失真。

5.1. DRC 分频点的判定

由于 Anti Clipper 是在振幅保护压制的基础上防止削波的产生，因此需要综合扬声器模型中的振幅曲线设置合适的 DRC 分频门限。

根据上文的分析，导致 Anti-Clipper 互调失真的是周期长度长于或近似于 Anti-Clipper 释放时间的信号，因此，DRC 需要抑制的是低频信号。

如下图的扬声器的振幅频响曲线，由于 600Hz~1000Hz 范围，由于振幅电压比值较高，因此振幅保护模块的会大幅降低这个频段的增益。所以 DRC 的带宽可以被设定为这个振幅峰值的拐点频率。

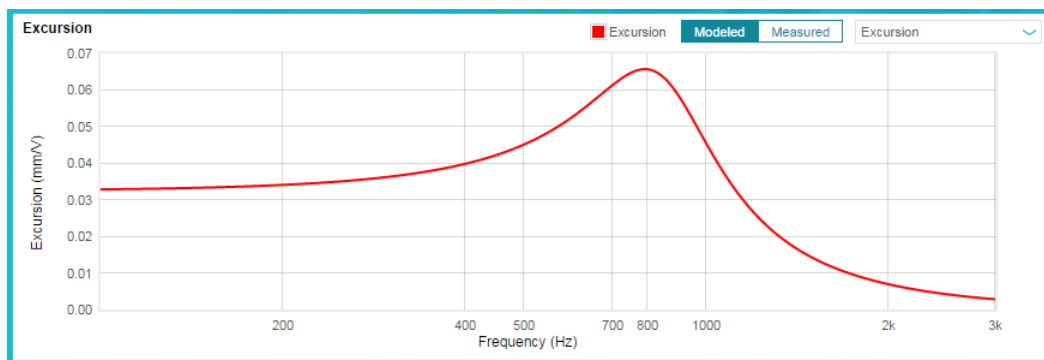


图 7，扬声器电压振幅频率响应曲线

5.2. DRC 压缩幅度的判定

DRC 输入信号幅度为：

$$\text{AMP} = 0\text{dBFS} - 30\text{dB} + \text{Gain (digital)} + \text{Gain (eq)}$$

其中，0dBFS 为输入 Smart AMP 算法模块的峰值，-30dB 为算法 Headroom Creator 固定增益。DRC 输出峰值的到 0dBFS 的距离，被称为 DRC Headroom。

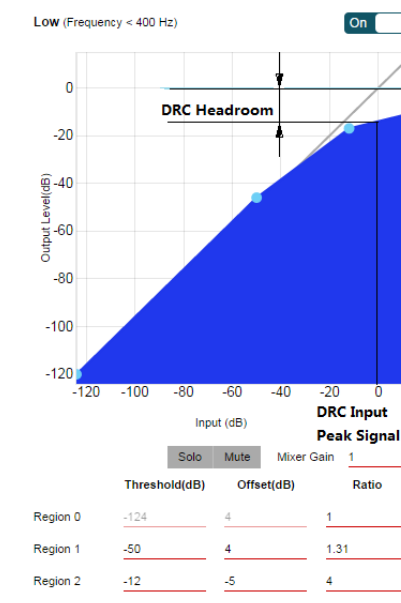


图 8，DRC Headroom

因此，DRC 的 Headroom 和输入信号的差值，就是 DRC 对信号的压缩幅度。当 DRC 的频带设置完毕后，从 0dB 开始逐步增加 DRC 的压缩幅度，直至互调失真消失，即为 DRC 压缩的优化值。

5.3. DRC 时间常数的判定

DRC 的 Energy Time+Release Time 应该大幅度高于 Anti Clipper 的 Release Time，这样才能保证不会出现新的调制失真。

DRC 的 Attack Time 则跟音质相关，更短的 Attack Time 可以加快 DRC 压缩信号的速度，降低信号超过门限的幅度；而缓慢的 DRC 则可以避免低频瞬态信号被压缩时产生可闻的谐波失真。例如鼓声由于 DRC 的加入，突发时声音变脆的问题。

经过上述的对 DRC 参数的调整，单独使用 Anti Clipper 时产生的调制失真将被消除。调试者可以尝试不同的音乐确认其效果。

附录：

PPC3 DRC 调试界面的介绍

由于正文说到，主要导致调制失真的是低频信号，因此简单的调试 DRC 的低段，即可达到抑制 Anti Clipper 失真的目的。但是由于 DRC 调试参数复杂，调试者对其他频段的参数配合普遍会产生较多的疑问，因此结合 PPC3 DRC 调试界面，在这里做一定的介绍。



图 9，三段 DRC 调试界面

DRC 调试界面的介绍

其中，Crossover 面板提供了设置每个 DRC 频带的配置：

- 每个滤波器响应可以在林氏，巴特沃茨，贝塞尔，切比雪夫等滤波器类型中选择；
- 低通滤波器，带通滤波器以及高通滤波器的截至频率，定义了各段 DRC 的分频点，均可配置。

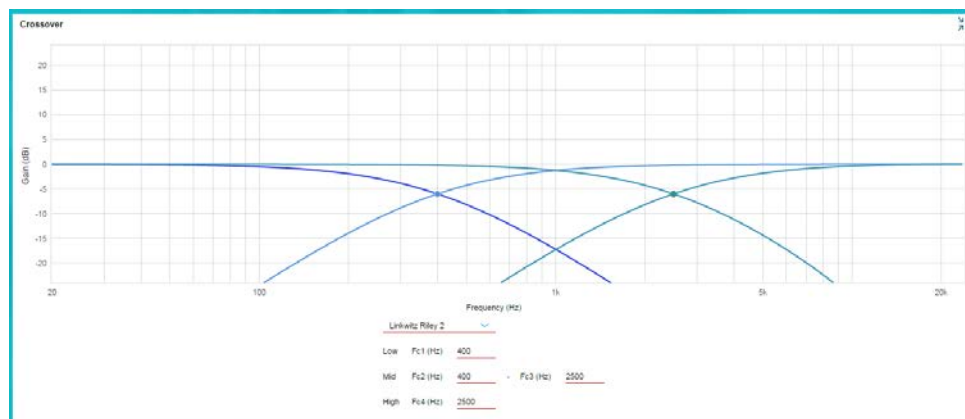


图 10, DRC 分频器

常用的 Crossover 参数设定及考虑因素:

- 的分频点在绝大多数的应用中应该保持连续的, 即低通滤波器的截至频率等于带通滤波器的低端截至频率, 高通滤波器的截止频率等于带通滤波器的高端截至频率;
- 由于滤波器的滚降特性, 边带衰减为-12dB/oct, 为了使得 DRC 在其频段内压缩过的信号高于相邻频段滤波器衰减后的信号, 中两个频点间隔应尽量分开, 一般大于 4 倍频关系;
- 而滤波器的响应一般设置成为林氏滤波器, 以获得平坦的交叉响应。

由于 Anti Clipper 固定了低段的分频, 高段的分频可以选择高于低段分频点 4 倍以上。如果高频不需要进行压制, 也可将分频点设为高于信号通带。

各段 DRC 分别提供了三段 (3 Level) 增益配置:

- Region 0, Region 1 和 Region2 提供了两个折点, 折点的定义由触发阈值 (Threshold) 定义;
- 每个折点的分段区域均可独立配置增益偏移 (offset) 及增益斜率, 根据输入信号的大小调整增益变化, 当信号变大时缓慢降低增益, 从而实现对动态的压缩;
- 每一段 DRC 都可以灵活使能或者关闭, 当 DRC 被关闭时, 该频段视为直通, 信号不做压缩。

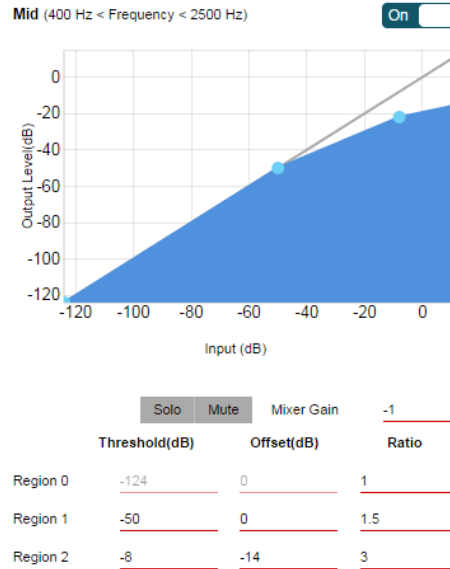


图 11, DRC 增益

常用的分段 DRC 参数设定及考虑因素:

- Region 0 为对小信号提供的增益, Threshold 和 Offset 不可设置; Ratio 如果需要压制小信号时的噪声, (例如高频段的白噪声) 可以将 Ratio 设置小于 1, 这样对于小信号的增益较低, 对噪声提供一定的抑制, 除此之外一般设置为 1。
- Region 1 和 Region 2 段的设置, 主要遵循听觉的适配。由于不同的 Threshold 和 Ratio 设置, 主要改变的是信号从小到大增益减小的速度, 越快的减小对信号抑制作用越有效, 且音量改变较小, 但是损失的动态越大; 而越慢的减小对动态损失越少, 但是带来的问题却是相应频段的音量会更多的损失, 所以需要综合权衡考虑。调试方法是, 播放需要设定频段信息丰富, 且动态较大的音乐, 改变参数, 观察需要压制的效果是否达到, 相应频段音量和动态的变化。

Anti Clipper 的设置过程, 低段 DRC 已经设定好, 因此, 中段和高段的 DRC 一般考虑的是均衡大信号频响的需求, 防止大信号频响, 低频和中高频严重的失衡, 根据大信号频响的客观测试, 和动态听感的实际情况设置即可。由于中频段触发 Anti Clipper 能量持续的时间一般较短, 而且幅度较低频会低不少, 因此即使触发 Anti Clipper, 也不会带来任何可闻的失真, 所以 DRC 的设置一般不考虑这个因素。

每个频段的 DRC 均提供了独立的时间参数的配置:

- Attack Time, DRC 启动时间, 这个时间内 DRC 的增益逐步逼近上一级 Region 设定斜率;
- Release Time, DRC 释放时间, 这个时间内 DRC 的增益逐步从设定斜率释放至下一级 Region 斜率;
- Energy Time, DRC 增益保持不变的时间;

Anti Clipper 调试过程中低段 DRC 时间参数已经设置, 而中高频段的时间参数一般不会对声音有大的影响。1ms~0.1ms 的 Attack Time, 和 10ms~50ms 的 Release Time+ Energy Time, 都是常用的设定值范围。

IMPORTANT NOTICE FOR TI DESIGN INFORMATION AND RESOURCES

Texas Instruments Incorporated ("TI") technical, application or other design advice, services or information, including, but not limited to, reference designs and materials relating to evaluation modules, (collectively, "TI Resources") are intended to assist designers who are developing applications that incorporate TI products; by downloading, accessing or using any particular TI Resource in any way, you (individually or, if you are acting on behalf of a company, your company) agree to use it solely for this purpose and subject to the terms of this Notice.

TI's provision of TI Resources does not expand or otherwise alter TI's applicable published warranties or warranty disclaimers for TI products, and no additional obligations or liabilities arise from TI providing such TI Resources. TI reserves the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its TI Resources.

You understand and agree that you remain responsible for using your independent analysis, evaluation and judgment in designing your applications and that you have full and exclusive responsibility to assure the safety of your applications and compliance of your applications (and of all TI products used in or for your applications) with all applicable regulations, laws and other applicable requirements. You represent that, with respect to your applications, you have all the necessary expertise to create and implement safeguards that (1) anticipate dangerous consequences of failures, (2) monitor failures and their consequences, and (3) lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate actions. You agree that prior to using or distributing any applications that include TI products, you will thoroughly test such applications and the functionality of such TI products as used in such applications. TI has not conducted any testing other than that specifically described in the published documentation for a particular TI Resource.

You are authorized to use, copy and modify any individual TI Resource only in connection with the development of applications that include the TI product(s) identified in such TI Resource. NO OTHER LICENSE, EXPRESS OR IMPLIED, BY ESTOPPEL OR OTHERWISE TO ANY OTHER TI INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT, AND NO LICENSE TO ANY TECHNOLOGY OR INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT OF TI OR ANY THIRD PARTY IS GRANTED HEREIN, including but not limited to any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information regarding or referencing third-party products or services does not constitute a license to use such products or services, or a warranty or endorsement thereof. Use of TI Resources may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

TI RESOURCES ARE PROVIDED "AS IS" AND WITH ALL FAULTS. TI DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES OR REPRESENTATIONS, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING TI RESOURCES OR USE THEREOF, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ACCURACY OR COMPLETENESS, TITLE, ANY EPIDEMIC FAILURE WARRANTY AND ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF ANY THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

TI SHALL NOT BE LIABLE FOR AND SHALL NOT DEFEND OR INDEMNIFY YOU AGAINST ANY CLAIM, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY INFRINGEMENT CLAIM THAT RELATES TO OR IS BASED ON ANY COMBINATION OF PRODUCTS EVEN IF DESCRIBED IN TI RESOURCES OR OTHERWISE. IN NO EVENT SHALL TI BE LIABLE FOR ANY ACTUAL, DIRECT, SPECIAL, COLLATERAL, INDIRECT, PUNITIVE, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES IN CONNECTION WITH OR ARISING OUT OF TI RESOURCES OR USE THEREOF, AND REGARDLESS OF WHETHER TI HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

You agree to fully indemnify TI and its representatives against any damages, costs, losses, and/or liabilities arising out of your non-compliance with the terms and provisions of this Notice.

This Notice applies to TI Resources. Additional terms apply to the use and purchase of certain types of materials, TI products and services. These include; without limitation, TI's standard terms for semiconductor products (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>), [evaluation modules](#), and [samples](http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm) (<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>).

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated