

Room EQ Wizard Help File

REW帮助手册

REW帮助手册中文版说明

目 录

目 录.....	I
欢迎来到REW.....	- 1 -
系统与硬件要求.....	- 1 -
Windows XP、Vista、7、8或8.1.....	- 1 -
Linux安装.....	- 1 -
软件诊断.....	- 2 -
免责声明.....	- 2 -
致谢.....	- 3 -
开始使用REW (Getting Started with REW).....	- 4 -
REW如何进行测量(How REW makes Measurements).....	- 4 -
需要的设备(Equipment Needed).....	- 5 -
连接(Connections).....	- 7 -
均衡器连接(Equaliser Connections).....	- 8 -
声压计量程(SPL Meter Range).....	- 8 -
REW概览(REW Overview).....	- 9 -
信号与测量(Signals and Measurements).....	- 10 -
“这些东东到底是个啥？”("What does all this stuff mean anyway?").....	- 10 -
信号、采样率和分辨率(Signals, Sample Rate and Resolution).....	- 10 -
削波(Clipping).....	- 10 -
观察信号(Viewing Signals).....	- 11 -
实时分析仪(RTA).....	- 11 -
系统和传递函数(Systems and Transfer Functions).....	- 12 -
脉冲响应(Impulse Response).....	- 13 -
对脉冲响应加窗(Windowing the Impulse Response).....	- 14 -
瀑布图(Water falls).....	- 15 -
REW概述(REW Overview).....	- 16 -
测量前的设置(Getting set up for measuring).....	- 19 -
选择音频输入和输出(Choosing Audio Input and Output).....	- 19 -
校准音频接口(Calibrating the Interface).....	- 21 -
检查电平(Check Levels).....	- 24 -
检查电平步骤(Check Levels Procedure).....	- 24 -
关于音量控制的注意事项(Notes on Volume Controls).....	- 24 -
设置输入音量的故障排除(Trouble-shooting Setting Input Volume).....	- 25 -
校准声压级读数(Calibrating the SPL reading).....	- 26 -
SPL校准步骤(SPL Calibration Procedure).....	- 26 -
SPL校准注释(SPL Calibration notes).....	- 27 -
进行测量(Making Measurements).....	- 28 -
进行测量(Making a Measurement).....	- 28 -
测量余量(Measurement Headroom).....	- 31 -
使用时间参考测量(Measuring with a timing reference).....	- 32 -
使用文件回放进行测量(Measuring with file playback).....	- 33 -
测量数量(Number of measurements).....	- 34 -
离线测量(Offline Measurements).....	- 36 -
生成扫频信号(Generating the Sweep Signal).....	- 36 -

导入扫频录音(Importing Sweep Recordings).....	- 37 -
阻抗测量(Impedance Measurement).....	- 38 -
校准阻抗测量装置(Calibrating the Impedance Rig).....	- 38 -
进行阻抗测量(Making an Impedance Measurement).....	- 40 -
输入通道对调(Input Channel Swapped).....	- 42 -
阻抗测量质量(Impedance Measurement Quality).....	- 42 -
Thiele-Small参数.....	- 43 -
测量示例(An Example Run).....	- 43 -
电阻抗模型(Electrical impedance model).....	- 46 -
机械阻抗模型(Mechanical impedance model).....	- 47 -
简化模型(Simplified Model).....	- 47 -
技巧和提示(Hints and Tips).....	- 48 -
测量面板(Measurements Panel).....	- 49 -
折叠(Collapse).....	- 49 -
测量控制(Measurement Controls).....	- 49 -
更改校准文件(Change Cal).....	- 50 -
脉冲响应(Impulse Responses).....	- 51 -
什么是脉冲响应(What is an Impulse Response)?	- 51 -
脉冲响应时间窗(Impulse Response Windows).....	- 52 -
最小相位(Minimum Phase).....	- 54 -
最小相位和时间延时(Minimum Phase and Time Delay).....	- 54 -
最小相位和可逆性(Minimum Phase and Invertibility).....	- 54 -
识别最小相位区域(Identifying Minimum Phase Regions).....	- 55 -
房间内非最小相位行为的常见原因.....	- 56 -
(A Common Cause of non-minimum Phase Behaviour in Rooms).....	- 56 -
矩形房间中的轴向模式(Axial modes in a rectangular room).....	- 57 -
为什么不能用EQ修复所有的声学问题? (Why Can't I Fix All Acoustic Problems with EQ)..	- 60 -
EQ是做什么的? (What Does EQ do?).....	- 60 -
应用EQ的限制是什么? (What are the limits of applying EQ?).....	- 60 -
最小相位和所有这些(Minimum phase and all that).....	- 61 -
查看时间信号的价值(The value of looking at time signals).....	- 62 -
EQ是否有帮助? (Does EQ help or not).....	- 62 -
声压计(SPL meter).....	- 63 -
计权声压级(Meter Weighting).....	- 63 -
声压计显示(Meter Display).....	- 63 -
声压计输入选择(Meter Input Selection).....	- 64 -
校准声压计读数(Calibrating the SPL Reading).....	- 64 -
SPL数据记录(SPL Data logging).....	- 65 -
声压级记录器控制(SPL Logger Controls).....	- 65 -
信号发生器(Signal Generator).....	- 67 -
RMS信号电平(RMS Signal Level).....	- 68 -
波形预览 (Waveform Preview).....	- 69 -
输出 (Output).....	- 69 -
保护 (Protections).....	- 70 -
将信号保存到WAV文件 (Saving signals to WAV files).....	- 70 -
正弦波(Sine Wave).....	- 70 -
方波 (Square Wave).....	- 72 -

骤发音 (Tone Burst).....	- 73 -
CEA-2010骤发音(CEA-2010 Burst).....	- 73 -
J-检测 (J-test).....	- 75 -
双音 (Dual Tone).....	- 75 -
三音 (Triple Tone).....	- 76 -
多音 (Multitone).....	- 76 -
随机粉红噪声和白噪声 (Pink & White Random Noise).....	- 77 -
周期性粉红噪声和白噪声 (Pink and White Periodic Noise).....	- 78 -
线性扫频, 对数扫频 (Linear Sweep, Log Sweep).....	- 79 -
测量扫频 (Measurement Sweep).....	- 80 -
示波器 (Scope).....	- 81 -
通道设置 (Channel settings).....	- 82 -
游标 (Cursors).....	- 82 -
触发设置 (Trigger settings).....	- 83 -
电平表 (Level Meters).....	- 84 -
图像面板 (Graph Panel).....	- 85 -
声压级和相位图 (SPL and Phase Graph).....	- 89 -
最小相位/过量相位 (Minimum Phase/Excess Phase).....	- 89 -
话筒/声压计校准 (Mic/Meter Cal).....	- 89 -
声卡校准 (Soundcard Cal).....	- 90 -
图像度量 (Graph metrics).....	- 90 -
声压级和相位控制 (SPL and Phase Controls).....	- 90 -
全声压级图 (All SPL Graph).....	- 95 -
全声压级图像控件 (All SPL Controls).....	- 95 -
失真图 (Distortion Graph).....	- 99 -
失真图像控制 (Distortion Controls).....	- 100 -
失真示例-声卡测量(Distortion Examples - soundcard measurements).....	- 101 -
失真示例-扬声器测量(Distortion Examples - speaker measurements).....	- 106 -
脉冲图(Impulse Graph).....	- 109 -
最小相位脉冲(Minimum Phase Impulse).....	- 110 -
脉冲响应包络(Impulse Response Envelope).....	- 110 -
阶跃响应(Step Response).....	- 111 -
失真分量(Distortion Components).....	- 111 -
脉冲控制(Impulse Controls).....	- 112 -
经滤波脉冲响应图(Filtered IR Graph).....	- 115 -
施罗德积分(Schroeder Integral).....	- 115 -
图像度量(Graph metrics).....	- 116 -
经滤波脉冲响应控制(Filtered IR Controls).....	- 116 -
群延时图(Group Delay Graph).....	- 119 -
群延时控制(Group Delay Controls).....	- 119 -
RT60图(RT60 Graph).....	- 121 -
RT60解释(RT60 Explanation).....	- 121 -
RT60计算(RT60 Calculation).....	- 121 -
RT60及相关参数(RT60 and related parameters).....	- 122 -
RT60控制(RT60 Controls).....	- 123 -
RT60衰减图(RT60 Decay Graph).....	- 125 -
频域RT60估算(Frequency Domain RT60 Estimation).....	- 125 -

经典RT60估算(Classical RT60 Estimation).....	- 125 -
一种估算RT60的频域方法(A Frequency Domain Approach to RT60 Estimation).....	- 126 -
选择性比较(Selectivity comparison).....	- 128 -
准确度比较(Accuracy comparison).....	- 133 -
实现(Implementation).....	- 136 -
清晰度图(Clarify Graph).....	- 138 -
控件(Controls).....	- 138 -
色谱衰减图(Spectral Decay Graph).....	- 140 -
衰减控制(Decay Controls).....	- 140 -
瀑布图(Waterfall Graph).....	- 142 -
瀑布图是如何生成的? (How a Waterfall Plot is Generated).....	- 142 -
瀑布图控制(Waterfall Controls).....	- 146 -
透视设置(Perspective settings).....	- 147 -
瀑布图控件-音频文件(Waterfall Controls - Audio Files).....	- 149 -
瀑布图控制-步进式正弦波测量(Waterfall Controls - Stepped Sine Measurements).....	- 149 -
色谱图(Spectrogram Graph).....	- 151 -
色谱图控制-扫频测量(Spectrogram Controls - Sweep Measurements).....	- 152 -
色谱图控制-步进正弦波测量(Spectrogram Controls - Stepped Sine Measurements).....	- 158 -
捕获图像(Captured Graph).....	- 159 -
多曲线窗口(Overlays Window).....	- 160 -
分离曲线(Separate).....	- 161 -
图像控制(Graph Controls).....	- 161 -
实时分析仪窗口(RTA Window).....	- 163 -
处理WAV文件(Processing WAV files).....	- 164 -
校准输入电平(Calibrating the input level).....	- 164 -
频谱/RTA控制(Spectrum/RTA controls).....	- 165 -
失真设置(Distortion settings).....	- 167 -
外观控制(Appearance controls).....	- 169 -
失真测量(Distortion measurements).....	- 172 -
步进正弦失真(Stepped sine distortion).....	- 174 -
均衡器窗口(EQ Window).....	- 177 -
滤波器调整(Filter Adjust).....	- 177 -
EQ滤波器面板(EQ Filters Panel).....	- 179 -
瀑布图(Waterfall).....	- 179 -
脉冲(Impulse).....	- 181 -
均衡器设置(EQ Settings).....	- 181 -
模态分析(Modal Analysis).....	- 184 -
零极点图(Pole-Zero Plot).....	- 186 -
EQ滤波器面板(EQ Filters Panel).....	- 188 -
房间模拟器(Room Simulator).....	- 190 -
房间面板(Room Panel).....	- 190 -
响应面板(Response Panel).....	- 192 -
预设(Presets).....	- 192 -
控制(Controls).....	- 192 -
生成测量(Generated measurements).....	- 194 -
导入测量数据(Importing Measurement Data).....	- 196 -
声卡首选项(Soundcard Preferences).....	- 198 -

校准文件首选项(Cal files Preferences).....	- 203 -
通信首选项(Comms Preferences).....	- 205 -
房间曲线首选项(House Curve Preferences).....	- 206 -
分析首选项(Analysis Preferences).....	- 208 -
均衡器首选项(Equaliser Preferences).....	- 211 -
视图首选项(View Preferences).....	- 212 -
键盘快捷键(Keyboard Shortcuts).....	- 215 -
文件菜单(File Menu).....	- 222 -
工具菜单 (Tools Menu).....	- 229 -
首选项菜单(Preferences Menu).....	- 233 -
图像菜单(Graph Menu).....	- 234 -
帮助菜单(Help Menu).....	- 235 -

欢迎来到REW

REW (Room EQ Wizard)是一款用于测量房间响应和改善房间模态共振的Java应用程序。它具备信号发生器、声压级测量、频率响应和脉冲响应测量、生成相位图、群延时图、谱衰减图、瀑布图、色谱图和能量-时间曲线、实时分析仪 (RTA) 图、计算混响时间、显示均衡器响应等功能，并可自动调整参量均衡器的设置，以抵消房间模式的影响，调整均衡器响应以匹配目标。

REW使用对数正弦扫频信号进行测量。这比手动测量要更快更准确，在共振时发生削波的几率更低，与使用MLS（最大长度序列）信号相比，对系统非线性度不太敏感，因此可分析房间脉冲响应，这一点也是许多其它附加功能的基础。当使用实时分析仪(RTA)时，REW可以生成周期粉红噪声序列，相比随机粉红噪声，周期粉红噪声具有更好的低频分析力，且不需要长时间的平均。

REW软件的主页是www.roomeqwizard.com。

关于软件使用技巧，提示和帮助，请访问REW论坛www.avnirvana.com。

系统与硬件要求

- REW可运行于Windows XP/7/8/8.1/10、macOS 10.11或更高版本和Linux
- 最低屏幕分辨率: 1024x768
- 最低内存(RAM): 建议2 GB、4 GB或更多
- 如果尚未安装Java 8运行时，Windows安装程序将自动下载私有Java运行时供REW使用
- MacOS版本软件在安装包中具有REW使用的私有Java运行时，不需要单独安装Java
- 对于Linux版本REW，需要单独安装一个Java 8运行时。不要安装无头版本(Headless Version)，否则会缺失音频I/O。
- RS232串行通信 (仅用于与TAG McLaren Audio AV32R DP和AV192R AV处理器通信) 仅在Windows 32位系统上可用。Windows支持Midi通信 (用于在Behringer BFD Pro DSP1124P和FBQ2496均衡器上设置滤波器)。macOS也应该支持Midi。

Windows XP、Vista、7、8或8.1

在Windows XP、Vista、7、8或8.1上安装REW时，您可能会遇到一些晦涩的错误信息：

"程序无法启动，因为您的计算机中缺少api-ms-win-core-timezone-l1-1-0.dll。尝试重新安装程序以修复此问题。"

这是由于Java运行时使用了Windows Universal C运行时中的组件，而这些组件在旧的Windows安装中不存在。如要修复它，请参阅Microsoft知识库文章KB2999226：

<https://support.microsoft.com/en-us/help/2999226/update-for-universal-c-runtime-in-windows>。

Linux安装

- 在尝试安装REW之前安装Java 8，例如：

```
Sudo apt-get install openjdk-8-jre
```

- 下载安装文件后，设置权限以允许它运行并安装它，如下所示 (示例适用于5.19):

```
Chmod 777
```

```
REW_linux_5_19.sh
```

```
sudo./REW_linux_5_19.sh
```

- 通过运行启动REW

```
Roomeqwizard
```

软件诊断

REW将诊断日志保存在用户的主目录中，位置可在Help（帮助）→About REW（关于REW）窗口中查看。日志包含最近10次启动的信息，包括可能已经生成的任何错误消息或警告。在macOS上，日志位于user - library文件夹中，默认情况下该文件夹不再显示在Finder中。要显示它，请浏览到~/Library/Logs或在Finder中打开您的主文件夹（Shift Command+H），选择视图> 显示视图选项，然后选中复选框以显示库文件夹。

REW会在日志文件夹中保存进行中的每个测量的临时副本。正常关闭软件会删除这些临时副本。如果REW没有正常关闭，它将在启动时提示存在临时文件并可加载。

Windows系统上REW的启动首选项存储在此注册表项中：

```
HKEY_CURRENT_USER \ Software \ JavaSoft \ Prefs \ room eq wizard
```

在macOS上，启动首选项存储于：

```
~/Library/Preferences/com.apple.java.util.prefs.plist
```

在一个名为roomeqwizard的key文件下。

首选项可以通过两种方式删除，一是在删除首选项中 →选择删除首选项并关闭，二是运行REW卸载程序。

免责声明

本软件按“原样”提供，没有任何明示或暗示的担保，包括但不限于适销性、特定用途适用性和非侵权性的担保。在任何情况下，作者都不对任何索赔、损害或其他责任负责，无论是合同诉讼、侵权行为还是其他行为，不论在软件之外或与之相关，或在软件的使用与其它操作中。

致谢

REW使用JTransfoRMS纯Java FFT库，见JTransfoRMS

使用Martin Roth的JAsioHost以支持ASIO接口，见JAsioHost

REW的安装程序是使用Install4J多平台安装程序生成器构建的，见Ej-TechnoloGles

感谢Gerrit Grunwald的钢铁系列组件提供的想法和元素，见Harmonic Code

REW使用Hola多播DNS服务发现库，见Hola

REW使用Java WebSocket客户端，见Java WebSocket

版权所有©2004-2020 John Mulcahy All Rights Reserved

您对软件的反馈意见，可发送到feedback@roomeqwizard.com

开始使用REW (Getting Started with REW)

REW软件可用于测量声学系统的传递函数，显示其频率、相位、与脉冲响应，以及根据这些结果导出的各种量。如果这句话让你摸不着头脑，建议你花几分钟时间阅读[信号与测量\(Signals and Measurements\)](#)章节，其中解释了测量的基本概念。即使您已经熟悉测量的相关术语，快速浏览一遍也可能会有所帮助。

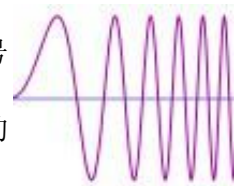
REW如何进行测量(How REW makes Measurements)

REW使用对数正弦扫频方法，下面将详细解释。如果你已经了解或不感兴趣，你可以[跳过解释](#)。通过阅读[SWEN MÜLLER和PAULO MASSARANI论文《使用扫频信号进行传递函数测量》\(Transfer-Function Measurement with Sweeps\)](#)，您可以了解很多关于对数扫频方法和各种替代方法的知识。

为了进行测量，我们需要一个声源（全频音箱或超低频音箱）和一支话筒（一些具有内置话筒的声压计，可以用来代替话筒）。将一个对数扫频信号发送到声源，信号会从低频开始，逐步稳定地扫向高频。对数扫频特点是频率每增加一倍的扫频时间是相同的，比如从40-80Hz，从4kHz-8kHz，和从20-40Hz所需的扫频时间是一样的。测量话筒用于拾取扫频声音，包括直接从声源传播至话筒的声音和房间界面反弹的所有初次反射声及多次反射声。



扫频完成后，分析开始。计算机将计算扫频声音的各个频率的相位和幅度，这一过程被称为“快速傅里叶变换 (FFT)”。通过比较话筒接收到的信号与信号发生器发出的信号的振幅和相位，可以计算出每个频率是如何受到被测扬声器及其所在的房间的影响，这被称为该房间从声源位置到话筒位置的“传递函数”。注意：不同的声源位置或不同的话筒位置具有不同的传递函数。换句话说，我们的测量只对一个特定的声源和话筒位置有效。计算出传递函数后，我们可以使用“逆FFT”从频率的振幅和相位信息转换得到一个时域信号，可反映任何信号从声源传输到话筒时随时间发生的变化，这种信号随时间的变化被称为“脉冲响应”，如同它的计算数据来源——传递函数一样，它只对一个特定的声源和话筒位置有效。



脉冲响应可以理解为假设我们在声源位置发出一个短促且强烈的冲击声，在话筒位置所录制到的信号。“短促”的含义是指在我们用于分析的采样率下持续1个采样的时间，对于48 kHz的采样率，仅为1/48000秒，或百万分之21秒)。你可能会问为什么不直接使用这种录制冲击声的办法？其中一个困难便是如何发出这个冲击声，因为它持续时间太短了，需要极大声才能清晰记录下冲击声发出之后的房间响应，否则房间背景噪音就会在冲击声之后很快占据主导。这样的强烈的冲击声我们无法用音箱发出，而需要像发令枪或气球这样的工具。我们需要一个话筒，来收集这个强烈的冲击声以及它在房间中逐渐衰减的反射声。你可能会发现你的家人和邻居并不那么喜欢你反复开枪来测量房间的响应。即使他们不反对，你的测量结果也不如使用扫频信号好。技术上来说，你可以通过扫频的方法获得更高的信噪比。信噪比由背景噪声和测试信号的能量决定，这又取决于信号的强度和持续时间。冲击声持续时间极短，只有几百万分之一秒，所以要获得一定的能量，它需要非常大声。而扫频信号可以持续几秒钟，所以在适中的音量时，它的总能量也可以达到冲击声的一百万倍。



得到脉冲响应之后，可以对其进行计算分析，了解房间的表现如何。最简单的分析是FFT（快速傅里叶变换），显示声源和话筒位置之间的频率响应。我们还能对这个分析过程加以控制，选择对脉冲响应的哪一部分做FFT分析，决定我们所看到的房间响应是其哪一个阶段。脉冲响应的早期部分对应于从声源到话筒的直达声，即它们之间传播路径最短的声音。从房间表面反弹的声音必须经过更长的路径才能到达话筒，这需要更长的时间，因此脉冲响应的后期部分包含了房间的影响。对脉冲响应加“时间窗”，便

可专注分析脉冲的初始部分，从而得到不受、或少受房间影响的直达声频率响应。而如果将时间窗加到脉冲响应的后期部分，则能分析房间对于系统频率响应的影响。能区分直达声和后期反射声的影响，是脉冲分析法和实时分析法(RTA)的重要区别，后者只能显示声源和房间的组合响应。

基于脉冲响应分析，还能得到诸如“瀑布图(Waterfall)”和混响时间(RT60)等信息。瀑布图是通过沿着脉冲响应逐步移动时间窗，并记录不断改变的频率响应，将频率响应绘制为随时间变化的三维图像；房间的RT60数据，即各个频段的声音衰减60dB（相当于声压值减小1,000倍）所需的时间。

需要的设备(Equipment Needed)

- 首要需求是一个捕获测试信号的方法，有如下几个选项：
 - ◆ 带有校准文件的USB测量话筒。这种话筒可用于低频或全频段测量。如果其校准文件具有REW能识别的灵敏度数据，则测量系统可以视为一个经校准的声压计。

建议使用miniDSP UMIK-1话筒，它具有REW支持的校准文件格式，请参见www.minidsp.com 或 Amazon。
 - ◆ 第二个选项是选用线路电平模拟输出的声压计。Radio Shack (RS) 声压计可用于室内声学低频段的测量工作，无论是模拟还是数字显示版本。与RS相比，Galaxy CM-140声压计对C计权曲线有更好的显示，且在低音频率以上的表现也更好，其价格也更高。



- ◆ 最后一个选项是模拟（测量）话筒，但大多数话筒需要前置放大器来达到线路电平，或为话筒提供幻象电源。对于全频段测量，必须校准话筒响应以获得准确的结果。理想情况下，仍然需要声压计来提供参声压级参考值，以此来校准REW的声压计读数。
- 架设话筒或声压计（后文统一用“话筒”来指代）的三脚架。话筒位置的细微差别会导致测量结果的巨大变化，想要得到可重复的结果，需要采取在一定时间内稳定架设话筒的方式。对于低频测量（低于几百Hz），可以将话筒方向指向正前方。这避免了测量不同的音箱时都要去移动它，对于声压计来说也更加便于观察其屏幕。如果要将话筒指向上方的话，请使用“90degree（90度）”的话筒校准文件。要对更高的频率进行测量，最好将话筒直接指向正在测量的扬声器，这时应使用“0degree（0度）”话筒校准文件。在这两种情况下，话筒都应该放在通常听音位置的耳朵高度上。
- 如果您使用的是USB测量话筒，您的电脑的耳机输出可以作为REW的测试信号输出口，而不需要外置的音频接口（声卡）。如果您使用的是声压计或带前置放大器的话筒，则需准备一个带线路输入和线路或耳机输出的音频接口，内置或外置的均可。**注意：老式的PC和笔记本电脑上的话筒输入接口不能用于测量**，因为它们的增益太高，且大多数底噪较高、频宽有限。

可以使用话筒电平/线路电平一体化的输入口。电脑内置声卡或低价格的音频接口通常是足够用于测量的，使用Loopback（环路）连接进行一次参考测量，可以将音频接口本身的响应从测量结果中排除。

- 从声压计或话筒前置放大器输出连接到音频接口的线缆（如果您使用USB话筒则不需要），以及从音频接口的输出连接到AV处理器或均衡器上的输入线缆。线材长度要足够，一般要满足从电脑连接到测量点（测量时的话筒位置），以及从电脑到AV处理器或均衡器的距离。如果您的音频接口有唱机式的莲花(RCA)连接器，则您可能需要莲花对莲花的连接线，如果接口是3.5毫米 (1/8") 插座，则需要一条3.5mm立体声插头转两个莲花插头的信号线（有人称其为Y型转换线）或立体声音频适配器，参考下图：



如果您使用公对公的Y型适配器或转换线，则需要两个RCA插座到RCA插座适配器（也称为RCA唱机插头耦合器，见下图），以便使用RCA线缆来连接声压计和AV处理器。RCA Y型线可以有多种配置：M->2M，M->2F，F->2F，F->2M（M为公，F为母），选择适用的线材将会令测量工作得心应手。



如果连接到BFD Pro DSP1124P或FBQ2496，需要单声道1/4"插头转莲花插座适配器，如下图所示：

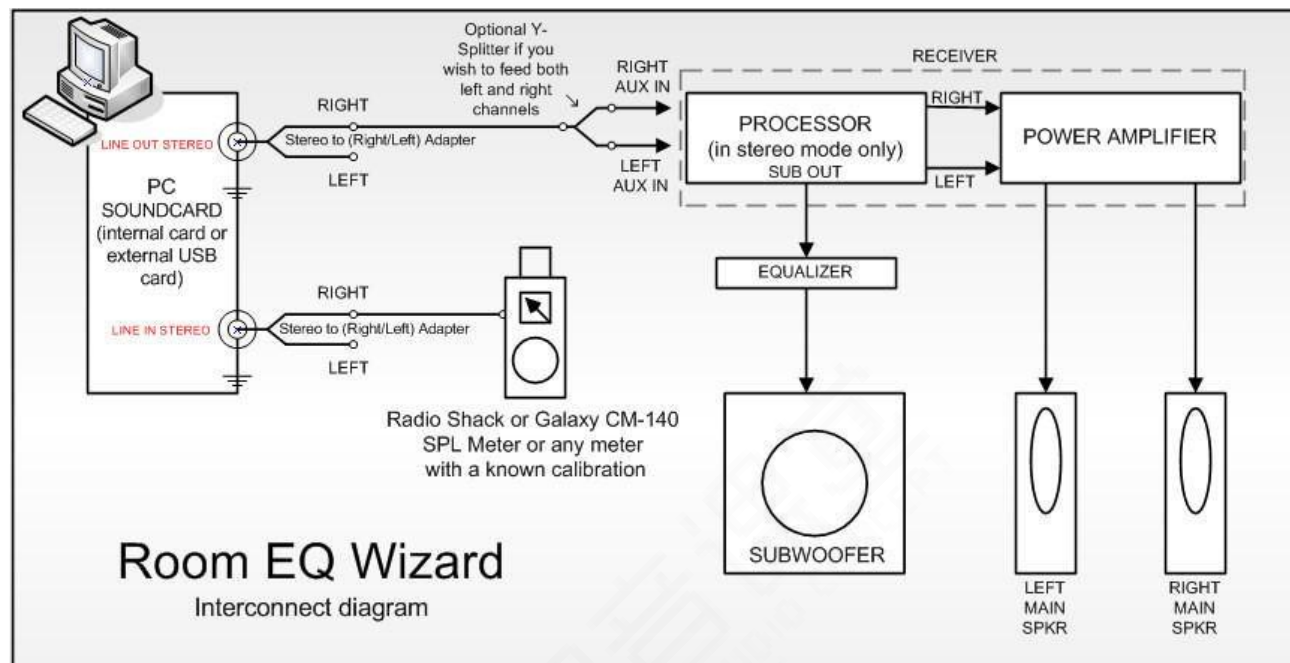


- 如果使用REW的RS232或Midi通信功能来设置均衡器，则需要一台与均衡器/处理器进行联机的线缆。



连接(Connections)

使用声压计时测量的设备连接如下图所示。如果您使用的是USB话筒，则不需要连接到电脑音频接口，只需将话筒连接到计算机上的USB端口即可。



- 当不使用USB话筒时，音频接口的一个输入通道用于接入测量话筒或声压计的声压信号，该信号来自声压计或话筒前置放大器的模拟输出。默认情况下是使用右声道(Right)输入，但实际上可以使用任一输入。软件中的[声卡首选项\(Soundcard Preference\)](#)可设定要使用哪一个输入。
- 接口的一个输出通道（通常是右通道）连接到AV处理器上的输入通道或均衡器的输入。连接到AV处理器后，您可以进行测量，了解主扬声器和超低音箱的响应，并查看超低音箱和主扬声器之间的干涉。您的AV处理器的低音管理设置的影响会包含在测量。将测量信号分别连接到模拟输入的左声道和右声道，便可分别测量相应的主扬声器和超低音箱响应。关闭或断开主扬声器或超低音箱，便能将它们从测量中排除。如果您的计算机和AV处理器都支持HDMI音频，您也可以使用HDMI连接来传输音频。需要在Preference>Output Device（首选项-> 输出设备）下选择HDMI音频驱动程序作为输出设备。
- 其他输入和输出通道在基本测量中不需要连接。音频接口本身的响应可以通过将输出直接连接到输入端进行参考测量，并对声卡的响应做补偿校准，以避免其影响随后的房间响应测量。当然，也可以使用从音频接口的其他输出做环路连接(Loopback)到其他输入作为REW的时间参考，以自动补偿音频接口和操作系统进行测量时的时间延时。REW需要时间参考来比较测量之间的相位或时间延时，或者为多通道扬声器系统进行正确的扬声器演示设置。要做环路连接，您可能需要一个额外的RCA唱机插头耦合器将信号接回到输入口。REW是否使用一个通道作为时间参考可在Measure（测量）对话框中的选择控制。当输入是通过USB话筒而不是音频接口时，可以使用声学时间参考。如果使用声学时间参考，REW将在输出上会生成时间参考信号，该信号专门用作参考，在其发出后才会继续发出测量扫频信号。时间参考信号是高频段扫频信号，能精确定时，因此超低音箱不能用作参考通道。与参考扬声器和话筒的距离相比，其它扬声器到话筒的距离会有所差别，测量将会显示由此造成的延时-如果参

考扬声器更远，则延时将是负的。**注意：**多次扫频不能与声学时间参考一起使用。

均衡器连接(Equaliser Connections)

如果使用均衡器 (如BFD Pro DSP1124P或FBQ2496) 来优化超低音箱的响应，则应将其连接在AV处理器的LFE/Sub输出和超低音箱的低电平输入之间。对于BFD Pro，应按下后面板上的操作电平(Operating Level)开关来选择为-10 dBV。



如果所用的AV处理器输入具有防削波功能（如果检测到太信号，会自动降低其灵敏度），则应该关闭该功能，因为它可能会改变测量电平。理想情况下，输入的灵敏度应该设置为0.5V，当然这不是绝对的。

TAG McLaren AV32R DP和AV192R能将测试信号输入路由到任何扬声器输出，通过每个扬声器通道中的TMREQ滤波器菜单内选择测试信号(Test Signal)来实现，这对于切换测量不同的扬声器非常方便。它们似乎是唯一具有这种功能的AV处理器，其他处理器可能有5.1或7.1模拟输入，可用于类似的操作，但是在某些设备中低音通道不能选择测量信号，使得测量主音箱和超低音箱之间的干涉不那么方便。

声压计量程(SPL Meter Range)

如果您使用声压计作为输入，仪表的量程应设置为通常用于扬声器电平校准的值，并且在使用REW过程中不得更改。如果您使用的是Radio Shack声压计，且将系统校准在75dB（Dolby™推荐的标准声压级），请将声压计量程选择为80dB。应将声压计设置为C计权和“慢速”响应，并在REW软件中的Preference>Cal file（首选项->校准文件）选项中，选择C-weighted SPL Meter（C计权声压计）。

REW概览(REW Overview)

在连接好所需要的设备之后，我们可以看看REW是如何开始测量并分析测量结果的，详情请参阅[REW概览\(REW Overview\)](#)



信号与测量(Signals and Measurements)

“这些东东到底是个啥？”("What does all this stuff mean anyway?")

为了理解REW所进行的测量，我们先来学习一下测量本身是怎么一回事。本节概述了信号和测量的基础知识，并解释了REW中的各种图表是如何生成的，以及它们与被测系统有什么联系。

信号、采样率和分辨率(Signals, Sample Rate and Resolution)

首先要理解的是什么是信号，至少理解在声学测量背景下所讨论的信号。我们感兴趣的信号是通过话筒或声压计拾取的声音。声压通过话筒或声压计产生电信号，并将被声卡捕获。声卡在其输入端测量电平，每次测量可认为是对信号做**采样**，采样动作的频率由**采样率(Sample Rate)**决定，REW支持44.1kHz或48kHz的采样率，这意味着声卡每秒捕获其输入的电平44100或48000次。以48kHz采样来表示一个长度为3秒钟的信号，则会得到 $3 \times 48000 = 144000$ 个样本值序列。特定采样速率下可以捕获的最高频率是采样频率的一半，因为在信号的一个周期至少两个样本才能重现它。在48kHz采样率，这意味着可以捕获的最高频率是24kHz。高于采样率一半的频率会导致**混叠**，它们看起来频率比实际要低。例如，在48kHz采样时，25kHz信号看起来像是23kHz。为了防止这种情况，声卡的输入具有抗混叠滤波器，试图阻止高于可捕获频率的信号，但是它们并不完全有效，所以我们总是需要考虑我们正在尝试捕获的信号的频率内容。

用于测量的声卡的**分辨率**通常为16位或24位。16位分辨率与CD光盘一致，也是REW支持的分辨率。具有16位分辨率意味着单个测量值的范围可以从-32768到 + 32767（用15个二进制数字表示的数值，第16位二进制数字表示符号）。然而，我们并不直接使用这些数值来表示信号，而是用信号与最大数值的接近程度来表示它们，这种表示方法更为便捷，被称为**满刻度(Full Scale)**并缩写为**FS**。满刻度值为-32768和+32767。最小非零测量值为1，相当于满刻度的 $1/32768$ ，用百分比表示约为0.003%。声卡会将任何小于该值的内容视为零。满刻度值将对应于声卡输入处的特定电压，通常约为1伏。

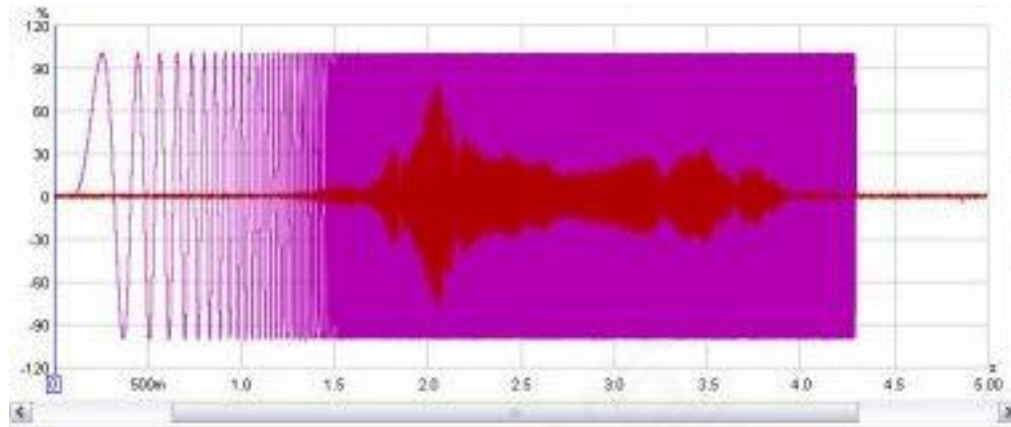
分辨率更高（如24位）的声卡通常具有相同的最大输入电压（约1伏），但可以使用更广泛的数值来衡量电压。对于24位声卡，满刻度测量值为-8388608和+8388607。这么多数字仍然只是为了表示1伏的电压（通常情况下），最大的输入电压并没有改变，但24位声卡具有更高的分辨率，它可以衡量到的最小值是满刻度的 $1/8388608$ ，百分比表示为0.000012%。更高分辨率的好处正是可以表示更小的信号。满刻度值通常被视作为对应于1，低于满刻度的所有值都作为相对于1的比例，因此满刻度的一半即为0.5，以此类推。

削波(Clipping)

如果信号大于满刻度值，声卡就无法记录它--无论输入端实际发生了什么，测量值都不能高于满刻度。当信号超出输入端可测量的范围，我们称之为削波。削波在输入信号中表现为部分被“削平”。如果削波是发生在声卡输入端，就会达到声卡满刻度的+100%或-100%，REW会警报提示，但有时信号在到达声卡之前就发生削波（例如，在话筒前置放大器中将增益设置过高）。在这种情况下，测量值可能并未达到声卡的满刻度电平，但信号仍然存在削波。测量时必须避免削波，因为一旦发生削波，声卡拾获的信号不再代表输入端实际发生的事情，这就破坏了测量。

观察信号(Viewing Signals)

查看信号的一种方法是根据时间绘制测量值。REW可将捕获的信号绘制成图表，信号强度会显示为满刻度的百分比(% FS)，达到100%FS的信号是声卡可以捕获的最大信号。下面显示了REW示波器的界面，显示由REW生成的扫频信号和由话筒捕获的信号。

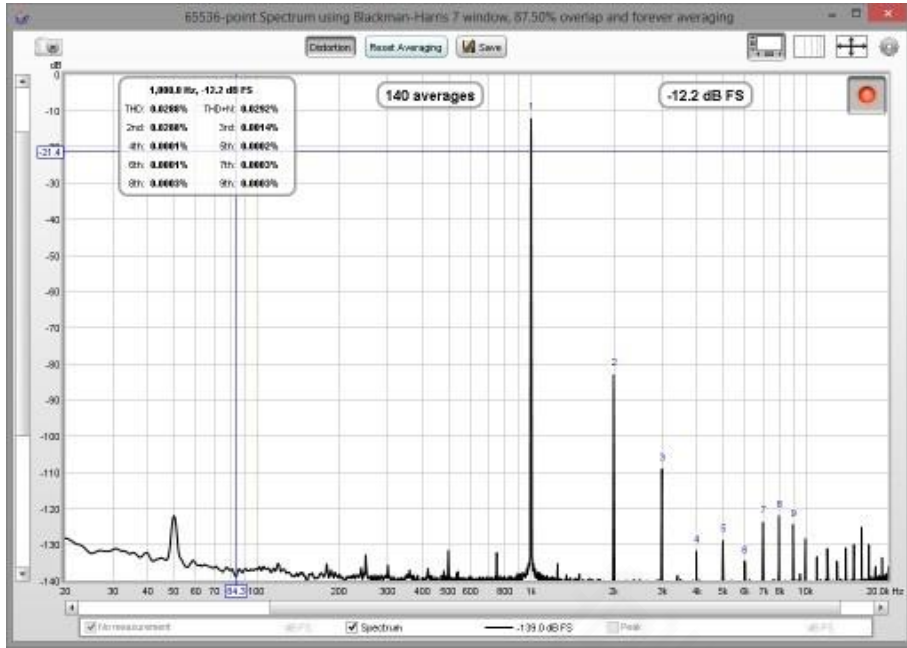


我们通常感兴趣的不仅仅是样本值，一般还会关心信号的频率构成。构成信号的频率成分被称为其**频谱(Spectrum)**，我们可以用**快速傅里叶变换(FFT)**得到频谱。FFT计算出一组余弦波的振幅和相位，当这些余弦波加在一起时，会得到与测量值相同的时间信号。这些余弦波的振幅和相位是表示时间信号的不同方式，体现了构成信号的频率，而不是其单独的测量值。振幅很容易理解，较大的振幅意味着较大的余弦波。相位表示测量序列中第一个样本时余弦波的起始值。零度相位意味着起始值为振幅 * $\cos(0)$ = 振幅。90度的相位意味着起始值为振幅 * $\cos(90)$ = 0。人们通常对振幅更感兴趣，但不应该完全忘记相位——它们包含了原始时间波形信息的号一半。

当使用FFT计算频谱时，其结果具有均匀的频率间隔，频率间隔可从直流(0Hz)到采样率的一半（可以正确表示的最大值），具体取决于用于FFT分析的信号长度。当信号长度是2的幂时，例如16k (16,384)、32k (32768) 或64k (65536)，FFT计算是最有效的。要从48kHz采样的信号中计算64k FFT，我们需要65536/48000秒的信号，即1.365秒。频率间隔为24000/65536 = 0.366Hz。如果FFT是从16k样本中产生的，则频率之间将相隔1.465Hz。用于生成FFT的样本越少，频率间隔越大，频率分辨率越低。要得到较高的频率分辨率，就需要分析更长时间周期的信号。

实时分析仪(RTA)

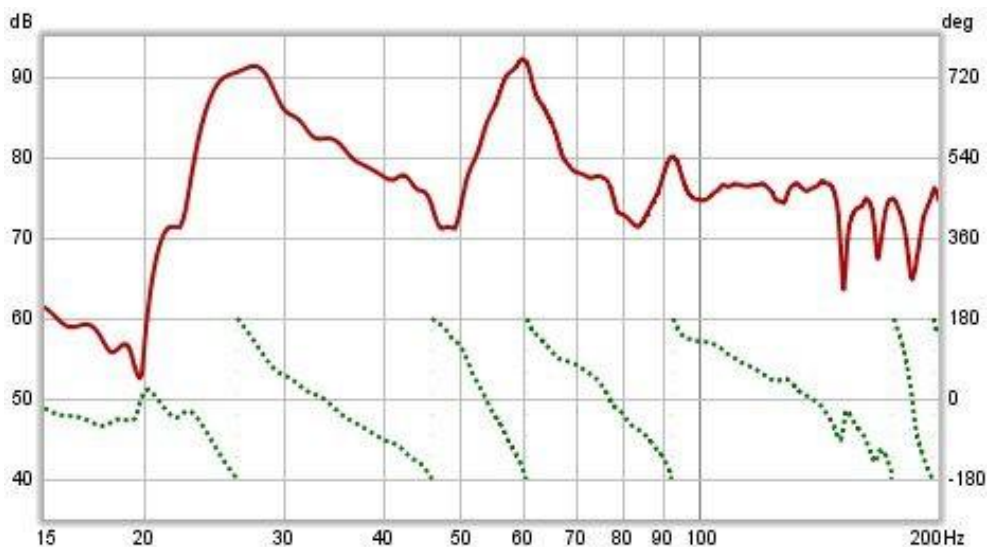
查看时间信号频谱的一种常见方式是使用实时分析器或RTA。RTA显示了组成它所分析的信号的频率振幅图。尽管FFT计算出的是在均匀间隔的频率上的信号，RTA按照指定的分数倍频程的将这些频率分组。倍频程是频率的加倍，所以从100Hz到200Hz的频率跨度是一个倍频程。从1kHz到2kHz的跨度也是如此——分数倍频程包含的实际频率数值越大，频率也就越高。对于1/3倍频程RTA，在20Hz时其频率跨度约为4.6Hz，但在20kHz时为4.6kHz。对于1/24倍频程RTA，其频率跨度为1/3倍频程的1/8。为了得到某一分数倍频程带宽的振幅总体值，可能会用到该带宽之内的许多单个频率FFT。下面是REW RTA的图像，显示1kHz音调及其失真谐波的频谱。



系统和传递函数(Systems and Transfer Functions)

查看信号的频谱有其用途，但我们也对设备改变信号频谱的方式很感兴趣。系统改变通过其中的信号频谱的方式被称为系统的**传递函数(Transfer Function)**。传递函数有两个分量，**频率响应(Frequency Response)**和**相位响应(Phase Response)**。频率响应（幅度响应）显示系统如何改变信号振幅，相位响应则显示频率的相位如何改变。对系统的完整描述需要这两种响应，截然不同的两个系统可以有相同的频率（幅度）响应，但我们或许可以通过相位响应的差异来区分它们。

需要注意的一点是，不要将系统的频率响应与其输出的频谱混为一谈。信号的频谱展示了该信号所包含的频率，而传递函数（频率响应）告诉我们系统对信号频谱的改变。像REW这类的测量软件的经常被用于测量传递函数，REW的**SPL & Phase（声压级与相位）**图表显示了传递函数的频率（幅度）和相位响应。频率响应的幅度显示为**SPL**曲线。下图是来自一个房间测量的结果，可见其幅度响应图（上方曲线，左侧数轴）和相位响应图（下方曲线，右侧数轴），该测量的频率跨度约200Hz。



脉冲响应(Impulse Response)

传递函数通过幅度和相位响应向我们展示了系统如何影响通过它的信号频谱。它描述了这个系统的特征，准确地说是**频域特征**，但是信号本身呢？我们如何描述信号的单个样本是如何被系统改变的，也就是**时域特征**？系统改变信号样本的方式称为**脉冲响应**，我们将解释这样命名的原因。脉冲响应(IR)本身是一个信号，由一系列样本组成。输入到系统的信号在通过时与IR重叠，沿着它逐样本滑动。当信号首次出现时，其第一个样本与脉冲响应的第一个样本对齐。系统对于第一个样本的输出是第一个IR采样值乘以第一个信号采样值：

$$\text{输出 [1]} = \text{输入 [1]} * \text{IR[1]}$$

一个采样间隔后，输入与IR有2个采样重叠。 此时间段的输出为第2输入样本乘以第一个IR样本，再加上第一个输入样本乘以第二个IR样本：

$$\text{输出 [2]} = \text{输入 [2]} * \text{IR[1]} + \text{输入 [1]} * \text{IR[2]}$$

另一个样本周期后，输入与IR重叠3个样本，输出为

$$\text{输出[3]} = \text{输入[3]} * \text{IR[1]} + \text{输入[2]} * \text{IR[2]} + \text{输入[1]} * \text{IR[3]}$$

随着输入样本的不断出现，这一过程会按照这个方式持续下去。将输入信号样本与IR样本相乘的过程称为**卷积(convolution)**。脉冲响应具有相当短的持续时间，对于一台设备一般远小于一秒钟，而一个居家尺寸的房间的声学脉冲响应长度可能会有1-2秒，因此，最终每个时间周期的输出由脉冲响应长度乘以输入信号的长度，该时间周期内的输出由每个单独的乘积相加而得到。

那么为什么称之为脉冲响应呢？

如果输入信号是一个满刻度的样本，我们会得到什么输出？我们将脉冲响应的一个样本值定义为1，其后的其它样本全都为0？初始输出样本将为

$$\text{输出 [1]} = \text{输入 [1]} * \text{IR[1]} = \text{IR[1]}$$

下一个输出样本将是

$$\text{输出 [2]} = \text{输入 [2]} * \text{IR[1]} + \text{输入 [1]} * \text{IR[2]} = 0 * \text{IR[1]} + 1 * \text{IR[2]} = \text{IR[2]}$$

第三个样本将是

$$\text{输出 [3]} = \text{输入 [3]} * \text{IR[1]} + \text{输入 [2]} * \text{IR[2]} + \text{输入 [1]} * \text{IR[3]} = 0 * \text{IR[1]} + 0 * \text{IR[2]} + 1 * \text{IR[3]} = \text{IR[3]}$$

等等。输出将依次包括IR的每个样本。只有一个满刻度样本其后全部为零的输入称为**脉冲**，因此系统在馈送该输入时的输出称为脉冲响应。

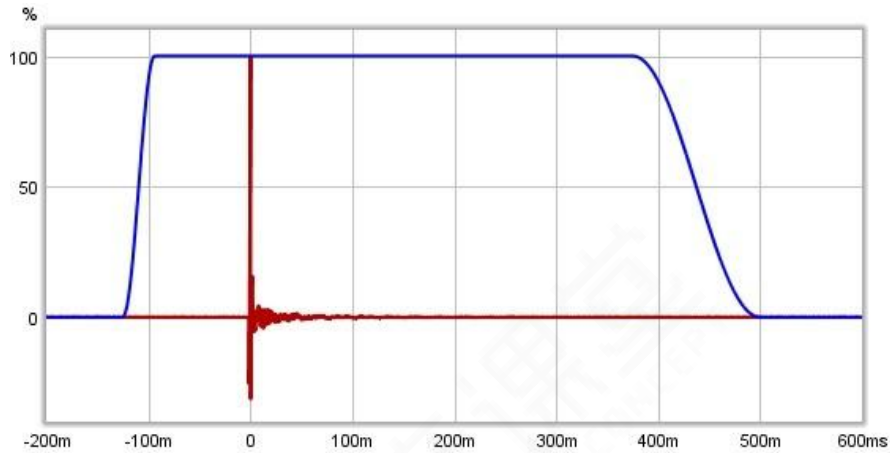
传递函数脉冲响应的关系

由于传递函数和脉冲响应都是同一系统的描述，我们会很自然地认为它们具有相关性，实际上正是如此。传递函数是脉冲响应的FFT（快速傅里叶变换），脉冲响应是传递函数的IFFT（快速傅里叶逆变换）。

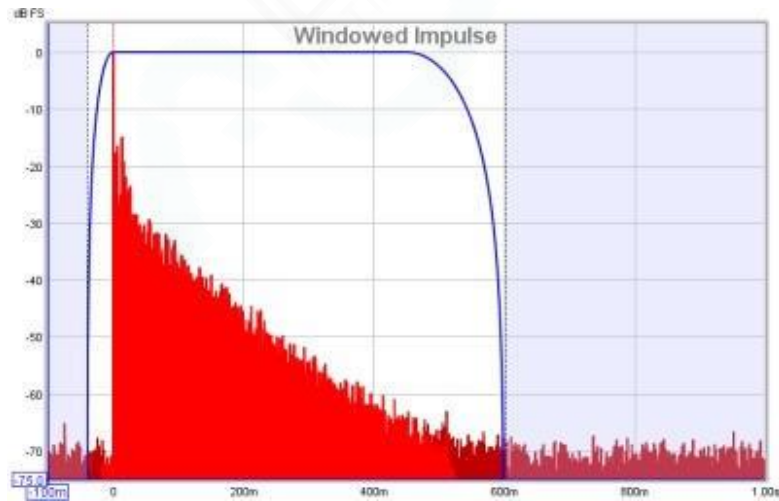
它们都是同一个系统的视图，一个在频域，另一个在时域。传递函数就是脉冲响应的频谱。

查看脉冲响应

REW脉冲图显示脉冲响应。它将脉冲值表示为为 % FS或dBFS。 dBFS刻度能更好地表示宽动态范围的信号，它并不直接绘制脉冲的值，而是对该数值取其以10为底的对数再乘以20。dB刻度的最高处为0 dBFS，对应100% FS。50% FS的相当于 $20 * \log(0.5) = -6$ dBFS。10%FS为 $20 * \log(0.1) = -20$ dBFS。采用dBFS刻度是有好处的，比如查看一个信号的脉冲响应较低的部分，以及信号何时衰减到小于测量底噪。下面的图片显示了同样的脉冲响应，Y轴分别以 % FS和dBFS而绘制的响应图像。在第二幅图像中，我们可以看到脉冲衰减到测量的底噪所花费的时间比从 % FS图中看到的要长。



对脉冲响应加窗(Windowing the Impulse Response)



有时，我们想要测量的对象可能是一个设备，比如扬声器，但是在测量一个扩声系统时，我们实际上测量的是整个系统，包括从产生激励信号直至拾取分析信号的设备之间的信号链上的所有设备和环境，比如放大器、话筒、声卡和最重要的房间本身。我们实际测得的系统响应包含了所有这些元素，所以想要关注其中的一部分，就需要消除我们不感兴趣的部分对测量的影响。

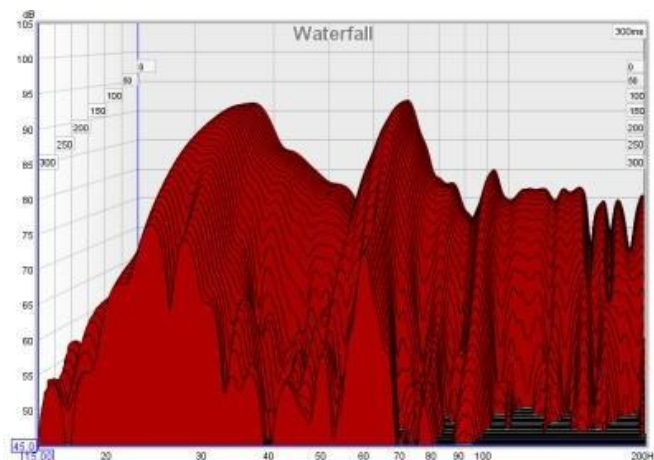
声卡的响应可以通过单独测量来校准，话筒的响应也是如此。而去除房间的影响就则不那么容易。虽然有时候我们可能对房间本身的响应感兴趣，比如我们可能会研究房间中某个特定听音位置的声音特性。但是，假如我们只关心扬声器的特性，房间的影响就可能令扬声器的细节特性变得模糊难辨。

从待测扬声器到测量话筒之间，一般存在一条直线传播路径，这是扬声器至话筒的最短路径，因此需要的传播时间最短。扬声器发出的声音向多个方向辐射，因此除了从直线路径到达话筒的声音之外，声音还会经房间界面反弹。这些界面反射声在到达话筒之前需走过更长的路径，因此需要更长时间才能到达。如果扬声器发出的信号是一个脉冲，我们预计首先能看到这个脉冲声的经直达路径到达话筒，然后是经过反射路径到达话筒。反射声的到达需经过更长的路径，因而在时间上会更晚一些，“晚点”最少的声音是经最近的界面反射的声音-- 例如，如果最近的界面在3英尺之外，从该界面反射到话筒至少需要3毫秒的时间，这个反射声就会比直达声晚到达。(实际中，通常需要比这更长一点时间，因为反射路径距离一般会大于3英尺)。

如果我们只观察脉冲响应的前几毫秒，我们会看到与初始到达相对应的部分，它直接来自扬声器，而没有房间的影响。以这种方式观察脉冲响应的一小部分被称为**加窗响应**（上文中的几幅脉冲响应图中，蓝色曲线表示了时间窗）。如果我们只对算脉冲响应加窗部分做FFT运算，就可以得到直达声的传递函数，这就是扬声器本身的传递函数。然而，这有一个缺陷，如果我们按照特定长度的时间窗截取一段信号，按时间窗截取后的信号长度会决定我们能分析的频率下限。如果我们有整整一秒钟的信号，我们可以得到频率响应可低至1Hz。如果我们只有1/10秒，我们只能得到10Hz的频率响应。一般来说，如果我们分析的信号长度是T秒，最低频率是1/T。所以如果我们的窗只有3毫秒长，频率响应下限为1/0.003=333Hz。如果要观察不受房间影响的直达声低频响应，则测量话筒要尽可能远离界面。要在REW中调整时间窗设置，请单击**IR windows (脉冲响应时间窗)**按钮。REW默认设置所使用的时间窗长于0.5秒，因此能看到房间对测量的影响。

瀑布图(Water falls)

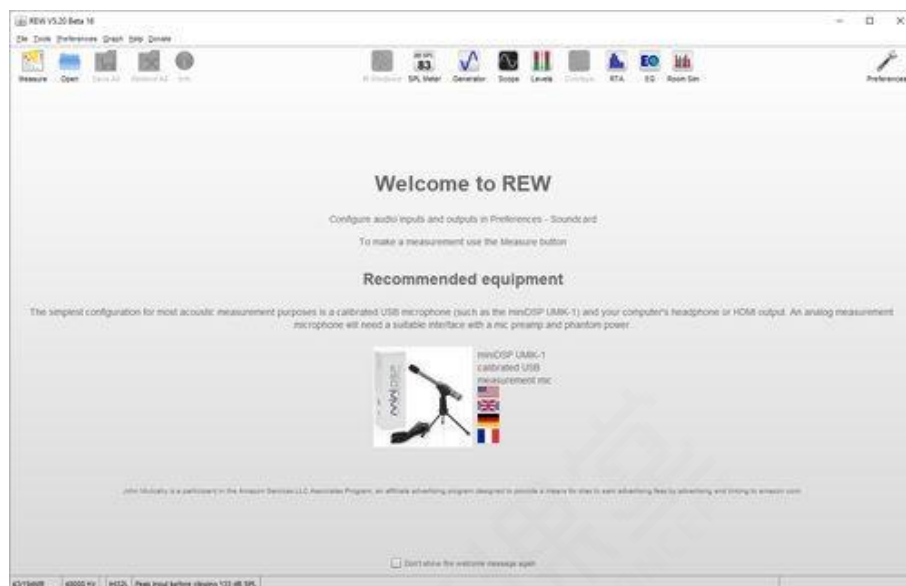
声压级与相位图(SPL & Phase)和脉冲响应图对于研究传递函数是最有用的，而另一种图表包含关于房间的重要信息，它向我们揭示房间对于在其中播放的声音都做了些什么，这就是**瀑布图**。瀑布图表现的是局部脉冲响应的频谱是如何随着时间的推移而变化的。首先，它对脉冲响应的起始部分加时间窗（对于房间声学脉冲响应，时间窗长度通常为数百毫秒），并对加窗部分做FFT，得到瀑布图的第一个切片。然后，我们沿着脉冲响应时间轴稍微移动窗的位置，并再一次做FFT，产生瀑布图的第二个切片。将窗口再往前移动一点会得到第三个切片，然后是第四个切片，依此类推。瀑布图的越晚出现的切片，扬声器的响应对这个切片的影响就越小，而房间的影响则会更大。房间在其**模态谐振**频率处会产生最强的频率响应。在该频率，声音在房间界面之间来回反弹并会得以增强，产生一个稳定的、衰减缓慢的声音。这些频率在瀑布图中向“山脊”一样突出，最严重的模态谐振频率具有最高的脊，衰减时间最长。



以上只是对信号和测量概念的简单而快速的介绍。如果你坚持看到了这里，恭喜你！现在你对REW所能进行的测量有了更好的理解。

REW概述(REW Overview)

启动REW软件时，它看起来是这样的：



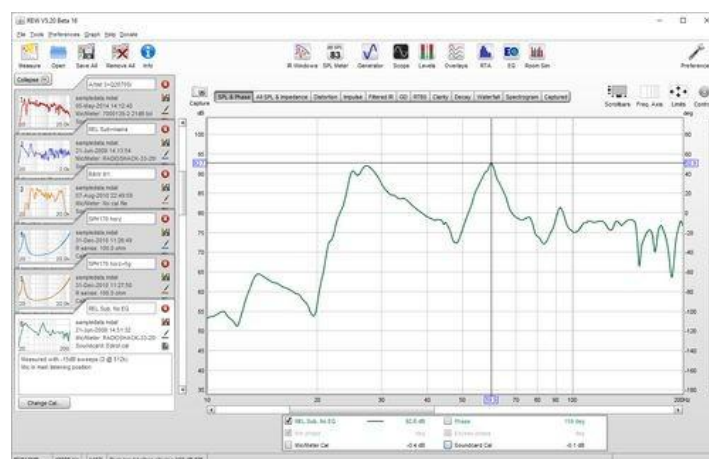
主窗口是空白的，直到我们进行测量或加载一些现有的测量。声压计(SPL meter)、信号发生器(Generator)、示波器(Scope)和电平表(Levels)可以在不加载任何测量的情况下使用，



RTA窗口，EQ窗口和房间模拟器，也是如此。



在运行或加载一些测量后，主窗口看起来像这样：



运行或加载的测量会显示在左侧的收纳面板中。当前选中的测量的底色为白色，其它未选中的为灰色。右侧是当前选中测量的图像区域。

现在，所有工具栏按钮都处于可用状态，它们被分为3组，第一组是与测量相关的按钮：



通过这一组按钮，可以运行新的测量(Measure)，打开现有的测量文件(Open)，将所有当前的测量保存为一个测量文件(Save All，文件后缀为.mdat)，删除所有当前测量(Remove All)，以及显示当前测量的附加信息面板(Info)。

第二组是工具按钮：



点击IR Windows（脉冲响应时间窗）按钮，将打开时间窗设置页面，在此可改变应用于当前测量的时间窗设定，包括时间窗的类型和长度。其后的按钮依次是声压计(SPL meter)、信号发生器(Generator)、示波器(Scope)和电平表(Levels)。点击多曲线(Overlays)按钮，会打开一个曲线绘制图，可以在同一个图像中绘制多个测量或所有测量的曲线。最后三个按钮是实时分析仪(RTA)、均衡器(EQ窗口，可用于模拟EQ对当前测量的影响)和房间模拟器(Room Sim)。

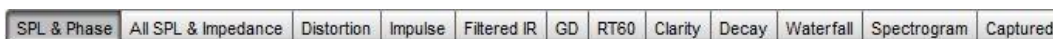
最后一个工具栏按钮可打开首选项(Preferences)面板



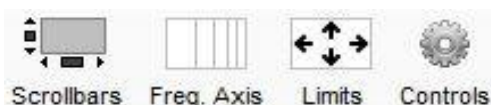
在图像区域中，有一个按钮可将当前曲线捕获(Capture)为图像。



还有用于图像类别的选择器：



以及一些图像控制按钮：和按钮来打开/关闭图像区域的滚动条，在对数和线性之间切换频率轴，设置图像限制并显示图像控件菜单。



滚动条(Scrollbars)按钮用于打开/关闭图像区侧边的滚动条，频率轴(Freq. Axis)用于在对数频率轴和线

性频率轴之间切换，边界(Limits)按钮可以定义图像区轴线的数值范围，控制(Controls)按钮将会打开图像控制菜单。

图像下方是一个图例区域，其后方的数值显示光标位置处的读数。



如果对曲线进行了平滑(Smooth)，则在曲线名称和光标读数之间会显示平滑的分数倍频程数值（上图中的1/48，即应用了1/48倍频程的平滑）。

REW运行的第一步是设置音频输入和输出并校准声卡，我们在下一节继续讲解。

测量前的设置(Getting set up for measuring)

当使用REW进行测量时，最好退出任何其他应用程序，断开与互联网的连接并禁用任何无线网络。来自无线连接可能对音频输入带来干扰，其他应用会增加的电脑计算负荷，病毒库更新等操作则可能导致生成或捕获的音频信号中断，这些都可能造成错误的测量结果。

要对一个房间做测量，所需的初始步骤是：

1. 选择音频输入和输出
2. 校准音频接口 (使用USB话筒时不适用)
3. 检查电平
4. 校准声压级读数(使用包含REW所兼容的灵敏度数据的USB话筒时不需要校准)

这些校准和电平检查通常只需进行一次。如果第一次运行REW，最好按顺序阅读本帮助文档的各个章节，而不建议直接跳到单独的设置步骤，然而，如果您的电脑已经使用其他声学测量软件并做过测量设置，则可以直接跳到[进行测量](#)。

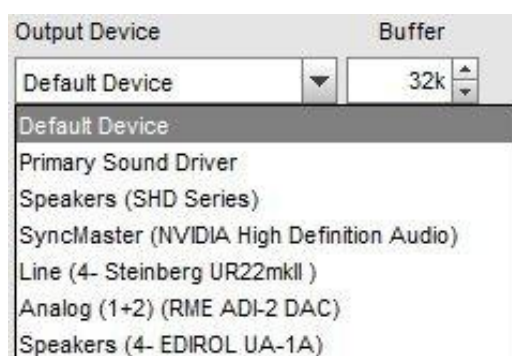
选择音频输入和输出(Choosing Audio Input and Output)

在Windows平台上，REW可以使用Java音频驱动程序或ASIO驱动程序，在其他平台上仅支持Java驱动程序。如果使用Java驱动程序，REW默认使用已在操作系统中设置为默认的音频输入和输出。当您连接或断开音频设备时，这些默认设置可能会发生变化，并且当使用默认设置时，REW无法确定设备的具体功能，例如其支持的比特深度或采样率，因此强烈建议在[声卡首选项\(Soundcard Preferences\)](#)面板中选择将要用于测量的设备、输入和输出，不要将选择为默认(Default)。单击工具栏中的首选项(Preferences)按钮以显示面板。设备列表显示REW检测到的所有音频接口，当选择接口后，输入和输出列表显示该接口上的可用输入/输出。如果它们安装了ASIO驱动程序，则ASIO设备也会出现在列表中，不论设备是否已连接。当音频接口连接时，可以在采样率下拉菜单中选择其支持的采样率。

注1:如果在REW启动后接入一个USB音频接口，它可能需要1分钟才能出现在设备列表中 -- 这是Java运行时环境的一个特性。

注2:如果正在使用ASIO4All，并且在ASIO4All控制面板中进行了更改以选择其他设备或输入/输出。REW将需要重新加载ASIO4All驱动程序，然后才能显示新的可用通道。要做到这一点，请使用ASIO控制面板(ASIO Control Panel)右侧的重新加载(Reload)按钮。

使用Java驱动程序时，列表可能包括内部和外部设备以及操作系统提供的默认驱动程序。



如有可能，请直接选择要选用的音频接口本身，而不是操作系统提供的“优先声音捕获驱动程序(Primary Sound Capture Driver)”，“主要声音驱动程序(Primary Sound Driver)”，“Java音频引擎(Java Sound Audio Engine)”或类似的选项。REW需要直接访问接口上的控件才能做自动检测并调整电平，如果选择了操作系统驱动程序就无法实现。Java声音音频引擎在播放期间也容易出现弹出和卡顿，可能会影响测量。

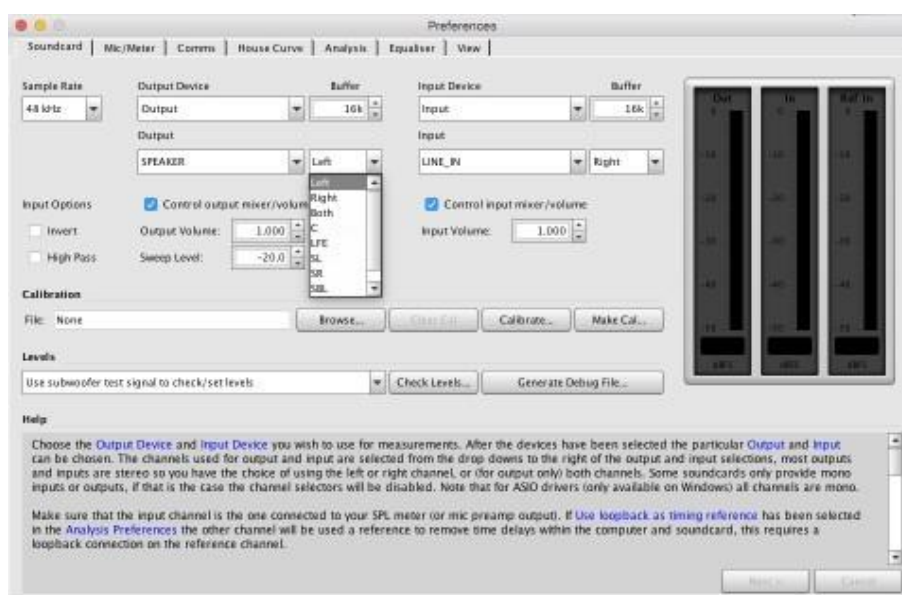
选择了设备之后，就可以选择输入和输出通道。使用Java驱动程序时，输入通常标记为“线路输入(Line In)”或“话筒(Microphone)”，输出为“扬声器(Speaker)”或“线路输出(Line Out)”。然而，对于USB音频接口，这些通道名称可能不同。例如，输入可能被标记为“数字音频接口(Digital Audio Interface)”。ASIO设备对可用的输入和输出有更具体的命名，每个单声道都会单独列出。

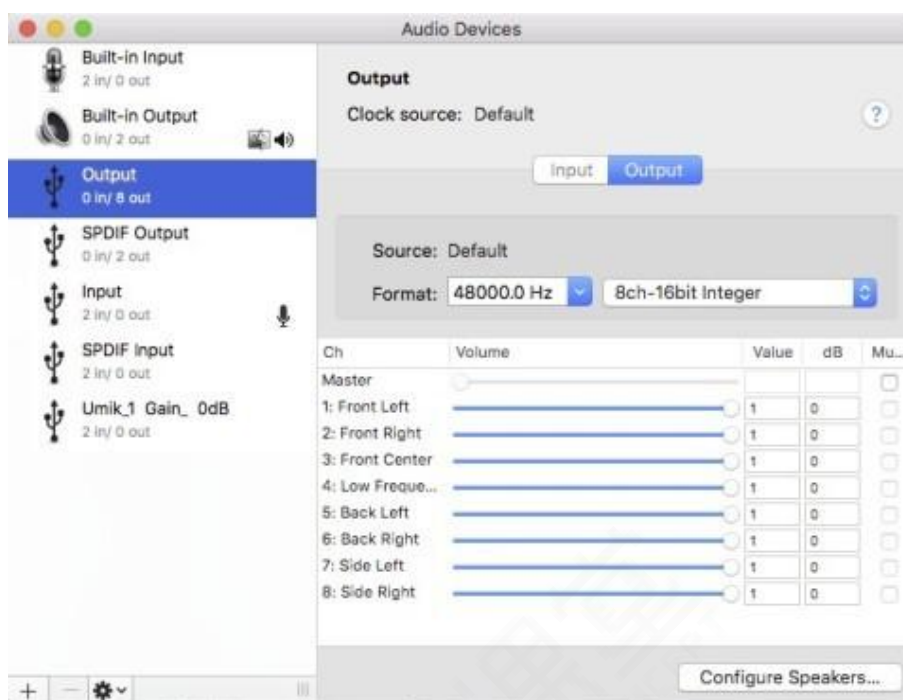
如果使用的USB话筒包含灵敏度数值，REW需要读取输入音量设置以正确显示SPL，为此必须选择对应的设备和输入，而不能被将其保留在“默认设备(Default Device)”。

故障排除提示：如需阻止REW访问接口音量控件，请取消勾选**控制输入混音台/音量(Control input mixer/volume)**和**控制输出混音台/音量(Control output mixer/volume)**复选框。然后，使用操作系统音量控制或者音频接口的控制面板进行电平控制设置。

多通道输出

使用Java驱动程序时，可以在设定一个输入或输出后，再多选择一个通道。Java驱动通常提供立体声输入和输出，因此测量输入可以是左声道或右声道，输出可以是左声道、右声道，或同时选择两个通道（选择Left+Right）。在Windows上，Java驱动程序 (Java 8 update 202) 目前仅支持立体声输出，即使连接的音频接口支持多通道，例如，提供多通道PCM音频的HDMI输出。在macOS和Linux上，配置为多通道的设备的所有通道可用。下图显示从macOS上的多通道声卡有8个输出通道可供选择，音频设置界面中可见该声卡配置为8通道、48kHz采样率和16Bit量化精度。请注意，macOS对此声卡的通道顺序定义不太正常，在列表中后置环绕通道位于侧环绕通道之前。REW按Left（左）、Right（右）、C（中）、LFE（低音）、SL（侧环绕左）、SR（侧环绕右）、SBL（左后环绕）、SBR（右后环绕）的顺序标记通道。但在此声卡上选择SL（侧环绕左），REW就会将测量信号发送到音频接口上标记为左后环绕的通道连接器上，而在声卡的选择左后(SBL)，则软件会将信号在标记为左通道的连接器产生输出。通道旁边的奇偶序号可以单独选择，任何非常规的通道分配都可以在输出通道映射(Output Chanel Mapping)中配置控制。





采样率选择

当使用ASIO驱动器时，采样率最高可达384 kHz（需要音频接口支持）。Java驱动程序采样率可达192 kHz，但音频设备往往只支持44.1 kHz和48 kHz，具体取决于操作系统和设备。确保在操作系统中配置的输入和输出设备的采样率，与REW中选定的采样率一致，否则操作系统将在所选采样率和输入输出设备实际运行的采样率之间重新采样。

最好使用44.1 kHz或48 kHz进行声学测量，除非测量目的特别需要20 kHz以上的结果（例如，研究高音扬声器共振）。更高的采样速率会增加内存使用，降低处理速度，但却不会提高测量精度。

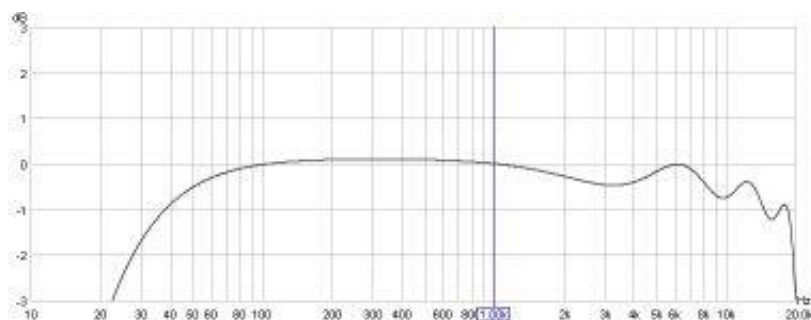
校准音频接口(Calibrating the Interface)

当使用USB测量话筒作为输入时，此步骤不适用，请直接跳到[检查电平\(Check levels\)](#)。

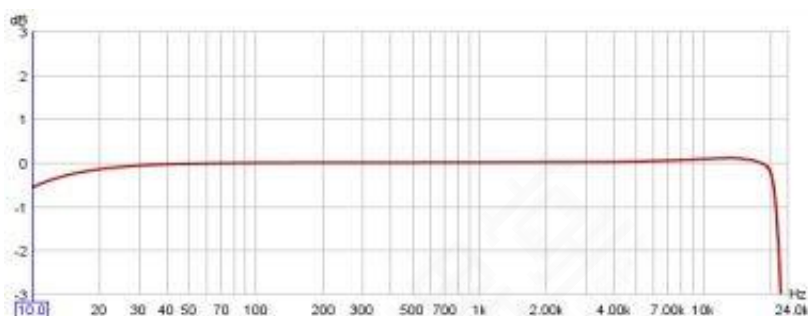
在选择好音频输入和输出后，REW就可以对音频接口的频率响应进行校准测量了。这能检查声卡配置是否正确，特别是为了确保监听(Monitoring)功能没有开启——否则输入信号会被路由回输出，测量结果将无效。声卡校准的意义在于可从测量中去除声卡的响应。

1. 将音频接口的线路或耳机输出直接连接到其线路输入，连接到将用于进行测量的通道，也就是在**输入通道(Input Channel)**控制中选择的通道。
2. 在声卡首选项(Soundcard Preference)面板上，按下**校准声卡(Calibrate Soundcard)**按钮，并按照底部帮助(Help)面板中的引导操作
3. 测量结果应该相当平坦（在大部分频段内偏差小于1dB），并在最低和最高的频率出现滚降，在高端通常会有一些起伏。如果结果显示20Hz和20kHz之间的偏差过大，将显示警告消息，提示当前配置不适合进行测量。以下是一台笔记本电脑内置声卡的有效测量结果，该声卡在20Hz以下快速滚降（图表垂直刻度为1dB/格）：

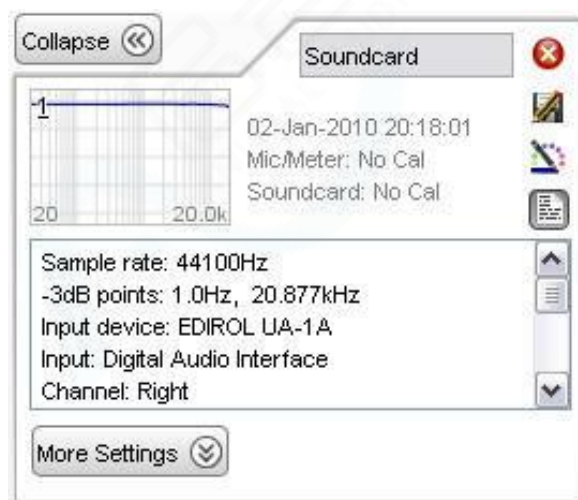
测量前的设置(Getting set up for measuring)



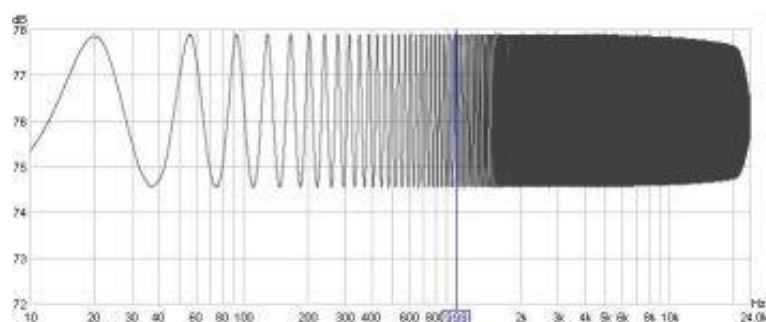
这是对另一个笔记本电脑声卡的测量，显示更好的低频响应和更平滑的高频响应：



4. 测量结果的一些信息会显示在注释中：



5. 如果测量看起来像这样：



这可能是由于从线路输入到输出的反馈回路导致的。如果音频接口具有录音监听功能，就可

能会发生这种情况——例如，输入通道可能有一个监听(Monitoring)功能，必须关闭该功能才能获得正确的结果，或者对于某些声卡需要选择的无监听录音(Record without Monitoring)设置。还有一些音频接口具有的混音台功能，如果测量通道没有静音就会发生反馈。此外，如果在Windows Recording属性中为测量输入通道选择了监听此设备(Listen to this device)，也会发生反馈。

6. 获得声卡测量结果后，需要将其保存为校准文件。在首选项(Preferences)面板的声卡(Soundcard)选项卡中，按下**制作校准文件(Make cal file...)**按钮，然后设置文件的名称和保存位置。保存该文件，然后自动重新加载为校准文件，用于该声卡的所有后续测量。下次启动时，将自动加载该文件。
7. 校准文件将应用于其加载后进行的所有新测量。要应用或删除已有声卡校准文件，请使用测量面板中点击**更改校准文件(Change Cal)**按钮。



8. 拔掉输出-输入的环路连接，并将测量话筒或声压计接到声卡输入，将声卡输出连接到AV处理器或均衡器

注意，在首选项Preferences面板的声卡Soundcard标签页中进行的声卡校准测量，使用的是全频段扫频信号，其高频上限为所设置的采样率的一半，这与软件中到扫频信号频率设置是独立的，并且声卡校准文件不适用于此类音频接口测量。

还要注意，声卡校准文件仅对测量校准文件时设置的采样率有效，如果采样率改变，则应在新的采样率下重新制作校准文件。

下一步则是进行检查电平(Check levels)。

检查电平(Check Levels)

REW测量通常在大约75 dB SPL的声压级下进行。这不算太大声，大多数AV接收机驱动音箱都能轻松达到这一声压级。使用非常大声的测试信号可能会损坏您的扬声器和耳朵。不要使用比你长时间舒适听音声压更大的测试信号。要控制REW测量信号的大小，可以调整校准粉红噪声信号的电平或AV处理器的音量，以便在测量点（通常是你耳朵高度的主要听音位置）您的声压计显示约为75 dB。然后，继续播放校准信号，通过调整音频接口的输入音量、声压计或话筒前置放大器的增益，直到获得较好的电平。

如果使用的是USB话筒，输入音量控制可以保持在统一增益(0dB)设置，在话筒首次插入时的默认设置就是如此。如果声卡首选项页面中的**控制输入混音器/音量(Control Input Mixer/Volume)**被勾选，REW就会自动设置。

检查电平步骤(Check Levels Procedure)

打开**声卡首选项**面板，在**电平(Levels)**下拉菜单中，选择使用超低音箱或是主音箱来检查电平，REW会据此判断使用超低频段校准信号还是全频校准信号。如果您已将音频接口的输出连接到超低音箱或超低音箱的均衡器，请选择**使用超低音箱检查/设置电平(Use Subwoofer to check/set levels)**。如果音频接口输出连接到AV处理器输入，则既可以使用超低音箱，也可以使用主音箱作电平检查。

按下**检查电平(Check Levels)**按钮，并按照软件的引导操作。测试信号默认的均方根值(RMS)电平为-12 dBFS。如果连接到AV处理器，则将AV处理器的音量从低开始逐渐增加，直到声压计读数约为75 dB。具体的音量数值并不重要。如果声卡直接连接到均衡器（如BFD），请使用**扫频电平(Sweep Levels)**控制以更改生成的信号的电平。无论是采用何种方式达到理想电平后，最终确定的扫频电平都应被用于后续测量，且AV处理器音量设置在测量过程中应保持不变。

此时如果输入电平低，不要通过提高测试信号来获取更大的输入电平。输入电平应该通过输入路径上的音量控制来设置，而不是通过提高输出音量，使用过大的测试信号可能会损坏扬声器和耳朵。

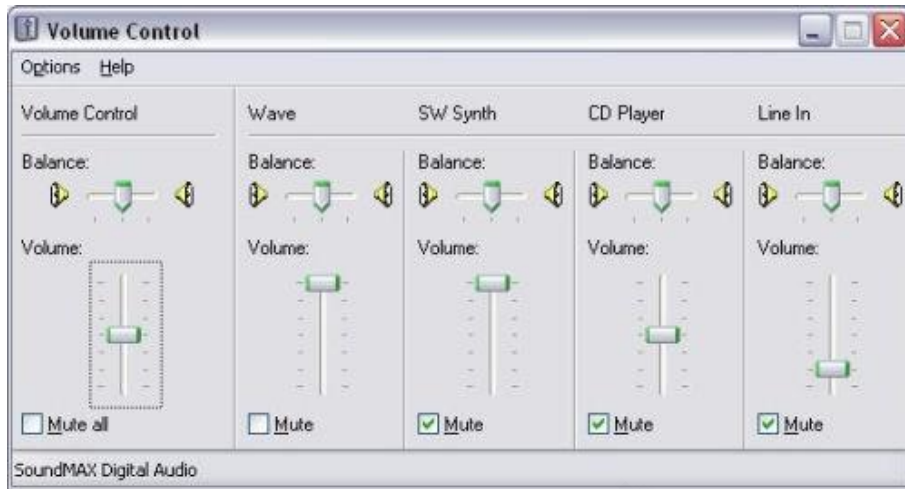
关于音量控制的注意事项(Notes on Volume Controls)

输出音量控制可能对行输出的电平没有影响，却会影响耳机输出或PC的扬声器输出——此时应切换到真正的线路输出作为测量信号，电脑的输出音量应该静音，以防止从电脑的内置扬声器出声音。

如果在REW中选择了输出设备和输出，且**控制输入混音器/音量(Control Input Mixer/Volume)**复选框被勾选，则需要知晓以下相关的注意事项。

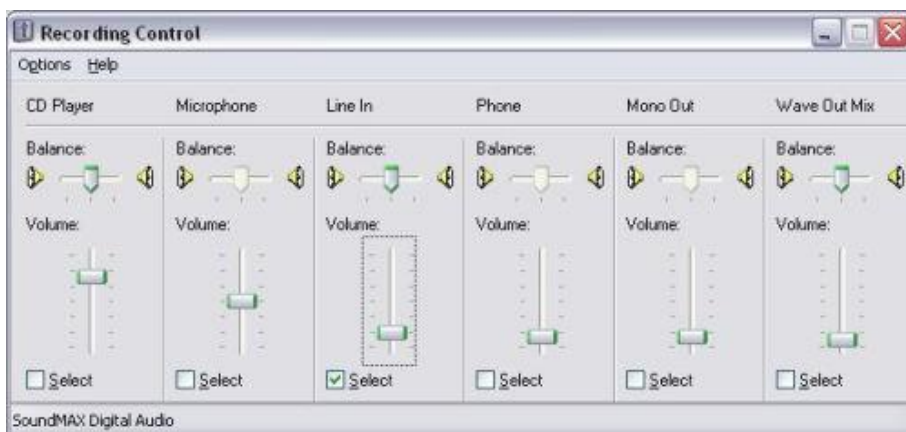
- REW将音频接口的输出音量设置为半刻度(Half Scale)。
- REW中音量的控制范围为0-1，但声卡的音量控制通常是对数的。如果您使用REW的音量微调器的上下箭头来调节音量，单次调节的步进所对应的电平约为0.5dB，而声卡自身的音量控制的分辨率通常更低，因此相比之下，REW中的微调器中做调整时，可能对电平的影响不太明显。
- REW软件之外的音量设置的变化（例如在Windows混音器中）会自动检测并反映在REW的控制中。
- 如果有播放混音器控制，则应将测量话筒或声压计的输入通道静音，否则，话筒或声压计拾取的信号直接发送给输出端时，会产生反馈回路。下图是一个Windows xp系统中播放混音器

设置的例子，只有Wave输入是未静音的，其音量是满刻度的；输出音量是半刻度的。



设置输入音量的故障排除(Trouble-shooting Setting Input Volume)

- 一些音频接口不具备输入音量控制（例如一些USB声卡）。如果使用声压计或测量话筒配前置放大器，当声压检测信号播放时，输入信号RMS电平在-30至-12 dB范围内，则应该一切正常。如果电平低于-30dB，请尝试减小声压计量程以提高电平，但要注意避免声压计过载。如果电平高于-12dB，请尝试增加声压计量程以降低电平。
- 如果使用的是USB测量话筒，信号可能会低得多，低于-50 dB，这是正常的。
- 某些音频接口不允许程序访问其输入音量控制，此时REW可能找不到音量控制，或者无法更改它。遇到这种情况，您可以使用音频接口混音器中的控制或操作系统音频电平控制面板进行调整。
- 对于某些音频接口，REW可能无法通过其设备和输入选择器直接选择所需的输入通道-例如，在Audigy 2声卡中，需要通过Creative Surround Mixer中的Basic选项卡的Recording面板中选择Analog Mix，并在输入源面板并静音除线路输入(Line in)之外的所有源。如果无法通过REW的设备和输入选择器选择所需的输入，输入设置不正确，请将输入设备设置为**默认设备(Default Device)**，并通过音频接口的混音器或操作系统音频电平控制进行输入选择和音量调整。下图显示了一个合适的Windows XP音量控制界面，其中勾选了Line In输入。



检查电平之后，下一步就是校准声压级读数(calibrate the SPL reading)。

校准声压级读数(Calibrating the SPL reading)

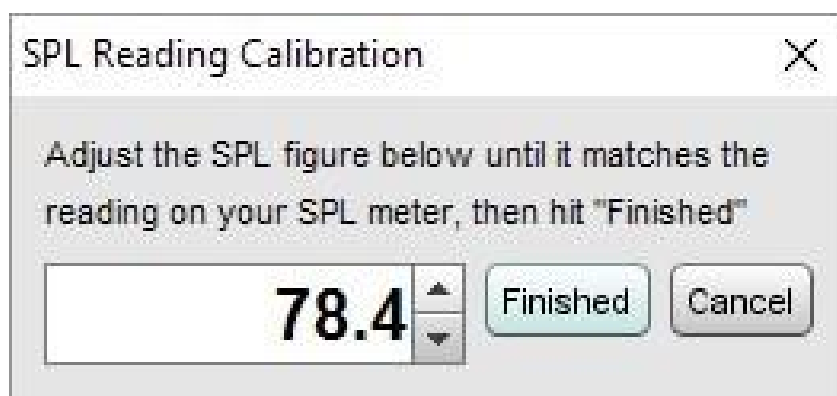
校准声压级读数是通过在全频音箱或超低音箱播放校准信号时，在声压计中输入校准读数，为REW提供绝对的声压级参考。也可以使用话筒校准器来校准声压级。如果您使用的USB测量话筒的校准文件包含了话筒灵敏度信息，则不需要此校准步骤。

SPL校准步骤(SPL Calibration Procedure)

1. 在首选项(Preferences)面板中选择**校准文件(Cal Files)**标签页
2. 如果您是使用声压计用作拾音：
 - ◆ 将声压计设置为C计权，然后在对应的输入通道勾选**输入设备是C计权声压计(Input device is a C weighted SPL meter)**。
 - ◆ 设置声压计量程以适应中前文中提及的电平校准（对于Radio Shack声压计建议设在80dB）
3. 如果您使用的是测量话筒，请不要勾选**输入设备是C计权声压计(Input device is a C weighted SPL meter)**
4. 在工具栏中点击**声压计(SPL Meter)**图标按钮，打开REW声压计面板，然后点击**校准(Calibrate)**按钮
5. 在出现的对话框中，选择是使用REW内生成超低音箱校准信号(Use REW subwoofer cal signal)或全频音箱校准信号(Use REW speaker cal signal)又或是您提供的外部测试信号(Use an external signal)，在下拉框中进行适当的选择，然后单击**OK**。



6. 在校准读数对话框中输入外部声压计显示的读数，注意不是此时REW声压计的读数！然后点击**完成(Finished)**退出该窗口。



SPL校准注释(SPL Calibration notes)

- 如果您使用的USB测量话筒的校准文件包含灵敏度数据，则不需要做以上声压计校准步骤，REW将显示以下消息:。



无需校准：无需声压级校准，REW已经基于您的USB话筒的灵敏度数据自动校准声压级

- 如果在多个模拟话筒或音频接口之间切换，有一种方法可以在话筒校准文件中加入灵敏度数据。在校准文件的开头添加一行，例如：

Sensitivity -12.34 dBFS

如此设置之后，当话筒由94 dB SPL声音驱动时，REW的dBFS输入电平会替换为-12.34。当使用该校准文件时，REW将使用灵敏度数据来计算声压级校准偏移。但是，请注意，此校准数据将仅对测量时使用的特定声卡增益和输入音量设置有效。

- 校准过程结束时，会弹出一条提示，显示使用当前输入电平设置可以测量的最大声压级。如果需要测量更高的SPL，必须降低输入灵敏度并重新校准。可以降低声卡输入音量设置，或者降低前置放大器增益，或者增加声压计的量程)
- 如果在校准声压级读数之前尝试测量，则会显示警告，提示测量结果不能反映实际的声压级。声压级读数显示为红色，直到声压级校准程序完成。
- REW会记住校准设置，因此下一次启动软件时通常不需要重复这个过程。但是，在开始一组新的测量之前，检查REW声压计读数与您的外部声压计或校准器相对应。
- 如果输入音量设置被更改，则需要重复校准过程。
- 如果切换另一个输入设备，且之前没有做过校准，则需要对该设备重新做校准。如果该设备此前已校准过，REW将自动调整校准设置以适应该设备
- 如果信号发生器已在您单击校准之前正在播放信号，则点击**校准**将继续播放相同的信号


现在，REW已经准备好进行测量了。

进行测量(Making Measurements)

在选择好音频输入和输出，做好声卡校准，电平检查和声压级校准，REW已准备好进行响应测量。

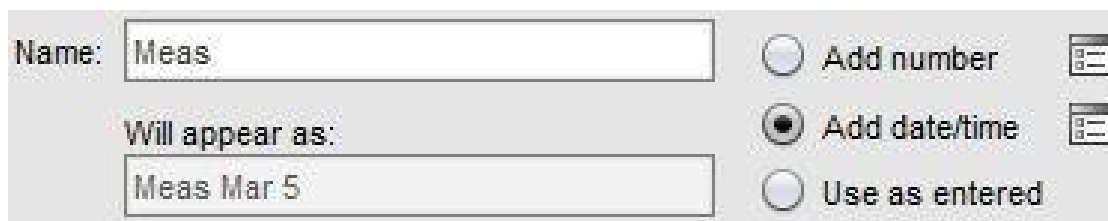
系统连接应如[开始使用REW\(Getting Started with REW\)](#)章节中的描述那样。如果测量信号连接到AV处理器，请在AV处理器中选择声卡输出所连接到的对应输入。

进行测量(Making a Measurement)

- 按测量(Measure)按钮 ，或使用快捷键Ctrl + M，调出测量面板

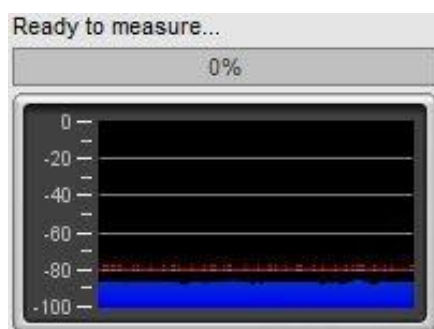


- 确保测量面板顶部的声压级/阻抗(SPL/Impedance)选择器选定为SPL（有关测量阻抗的信息，请参见[阻抗测量](#)）
- 输入测量的名称(Name)，在名称的右侧可选择保存测量时自动添加数字或日期/时间附加到名称中。如果测量的名称留空，则保存是仅会使用数字或日期/时间。在名称输入框的下方，将显示保存测量时的名称示例。在注释(Notes)框中可以输入测量相关的备注信息。名称和注释也可以随后在测量面板中更改。



- 起始频率和终止频率分别设置您希望看到频率响应的最低频率和最高频率。扫频信号将从起始频率的一半开始，到终止频率的两倍（终止频率的上限是声卡采样率的一半），以在设定频段内提供准确的测量

- **电平(Level)**控制生成的扫频信号均方根值(RMS)电平。最大值为-3 dBFS或其对应的dBu、dBV或伏特值。注意：如果在**视图首选项(Preference-View)**中勾选了**满刻度正弦波RMS为0 dBFS(Fullscale sine RMS is 0dBFS)**，则电平最大值为0 dBFS。电平设为最大值，意味着信号的峰值置于数字满刻度。电平的默认值为-12 dBFS，此控制通常在检查电平过程已经预设好。如果您打算比较几个音箱的测量结果，或者一只音箱的多次测量，请确保它们以相同的扫频电平进行测量的。
- **电平**控制下方的图像，显示了测量进度和输入电平。



- 在测量面板的右手边，可以对测量方法进行设定。长度(Lenth)控制扫频信号的长度，即信号序列中的样本数。默认值为**256k**，适用于大多数用途。将样本数除以音频接口的采样率会给出扫频持续时间(以秒为单位)，显示在右侧。而扫频的总体持续时间还包括扫频之前和之后的静默时间。

如果输入通道和输出通道在同一设备上，他们则共享同一个时钟，此时将扫频信号设置得更长可提供更高的信噪比(S/N)。当输入和输出在不同的设备上时，较长的扫频时间可能会带来问题，例如当使用USB测量话筒时，因为它们的采样时钟速率会有所不同。在长时间扫频中，累积的时钟速率的差异变得明显，可能导致脉冲响应形状的严重失真并影响相位响应。这可以通过**声学时间参考(Acoustic Time Reference)**和分析选项卡(Analysis)中的**根据声学参考调整时钟(Adjust Clock with Acoustics Ref)**来加以校正。如果将环回连接用作时间参考，在分析选项卡(Analysis)中勾选**使用环路调整时钟(Adjust Clock with Loopback)**。

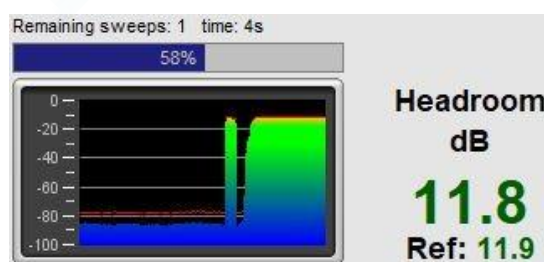
扫频长度每增加一倍，测量信噪比就提高了近3 dB。但是，每次扫频后执行处理所需的时间将增加一倍以上。如果运行REW的计算机内存空间较小或CPU速度较低，则建议将扫频长度设为128k，与默认的256k相比，测量的速度将会快很多，代价则是信噪比降低约3dB。如果使用1M的扫频长度，建议电脑至少具备4 GB内存和快速CPU；如果使用4M扫频长度，建议至少具备8 GB内存。内存不足或CPU速度不够的计算机，可能出现无效测量或内存不足报错。

- REW能够对多次扫频测量进行平均，尽管最佳结果通常是单次、较长的扫频获得的，而不是多次、较短的扫频。当不使用时间参考或使用环路作为时间参考时，可进行多次扫频。如果输入通道和输出通道是不同的设备，请勿使用多次扫频（例如，如果输入是USB测量话筒）。如果**重复次数(Repetitions)**大于1，REW使用同步预平均，每次测量均按照选定的重复次数捕获信号，并对结果进行平均，以减少噪声和干扰的影响。重复次数每增加一倍，预平均可以将信噪比提高近3 dB。如果测量环境存在干扰声，无论是电子噪声还是声学噪声，平均就能发挥作用，因为噪声通常不会在平均中连续地增加，因此在平均过程中会被抑制。

警告:一些音频接口不能在连续扫频之间保持采样同步，这产生中断的测量，脉冲响应中具有


多个电平接近、紧密间隔峰值，每次扫频出现1个峰值。如果输入和输出是在不同的设备上，也可能发生这种情况。如果多次扫频的频率响应与单次扫频的响应明显不同，请坚持单次扫频的结果。

- 可以为测量选择**时间参考(Timing Reference)**，详见 [使用时间参考测量\(Measuring with a Time Reference\)](#)，获取有关设置的更多信息。
- REW具有两个扫频测量保护机制。勾选输入**严重削波时中断测量(Abort if heavy input clipping occurs)**，程序会在输入块超过30%的样本发生削波时中止测量。勾选**超出声压级限制时中断测量(Abort above SPL limit)**，则会在声压级超出设定限制时，中止测量。请注意，如果声压级限制高于输入削波前的可测量范围，它将不会提供任何保护，因为在这种情况下，第一个保护机制会被先触发。
- **回放(Playback)**选择扫频信号来自REW软件，或是由信号发生器事先生成并保存的测量扫频文件。一般选择来自REW(From REW)的扫频，如需了解从文件播放的更多信息，请参阅[使用文件回放用于测量\(Measuring with file playback\)](#)。
- 如果选择了从REW播放扫频信号，可以在延时文本框中设置扫频开始前的延时时间，最高可达60秒。
- 回放控制的下方，可设置测量的采样率，输出和输入。如果测量使用了时间参考，则其参考输出和参考输入也可以在此配置。
- 按下**检查电平(Check levels)**按钮，会产生几秒钟的粉噪声信号，该信号频段取决于为测量选择的频率范围，可检查输入电平是否过高或过低。点击**取消(Cancel)**，则会停止正在播放的粉噪信号，否则它将在3秒后自动停止。已测量的RMS电平显示在测量面板上，如果电平过高或过低，则会发出警告
- 点击**开始(Start)**进行测量。如果已设置了延时，则显示扫频开始前的倒计时。
- 当扫频开始时，测量面板上会显示进度以及测量的动态余量，如果使用了时间参考，则会显示参考信号的动态余量



测量结果会显示在绘图区中，测量的相关信息显示在[测量面板](#)中。如需要对测量重命名，可以通过测量面板顶部的文本框中输入新名称。



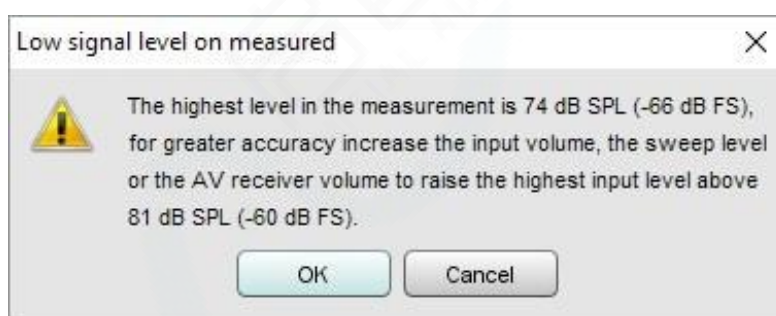
可以在备注区输入与每个测量相关的备注，如果备注区被隐藏了，可单击备注按钮，使其出现。



关于查看测量数据的各种方式的详细操作，以及对多次测量的做平均，请参阅[图像面板\(Graph Panel\)](#)。

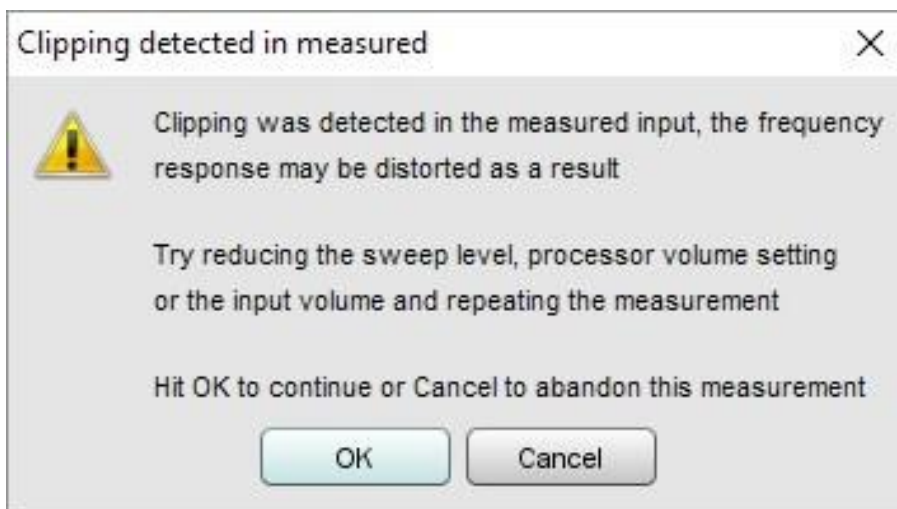
测量余量(Measurement Headroom)

测量面板上的余量(Headroom)数值显示了输入离削波相差多少，也就是在削波发生之前扫频信号电平还能增加多少。如果余量小于6dB该数值为红色，提示输入接近削波；余量在6—40 dB之间，数值显示为绿色（对于USB测量话筒，余量在6—60 dB之间的为绿色）。如果余量数值过高，则会显示一条消息提示增大测量电平。由于增加扫频电平或AV处理器音量将提高测量的信噪比，因此可提高脉冲和频率响应的准确性。请注意，当你提高测量电平之后，后续的测量将处于更高的声压级，声压级曲线在SPL绘图区中会比改变之前的测量更高。



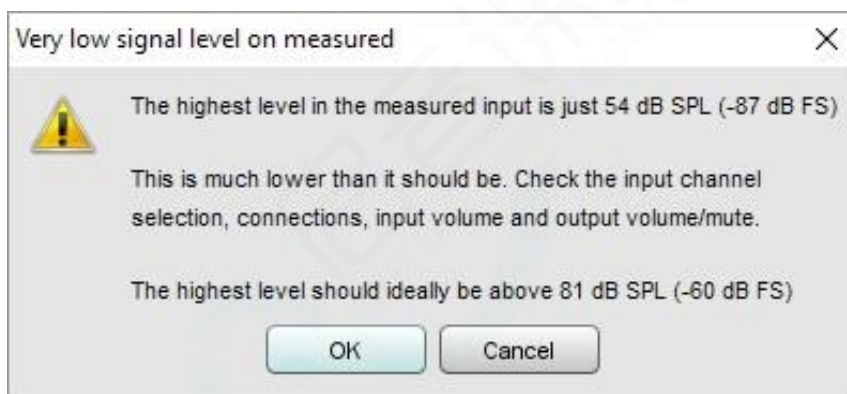
测量信号过低！当前测量最高值为74dB SPL(-66dBFS)，
为了更高的精确度，请增加输入增益、扫频电平或者AV处理器的音量，
将测量的最大值调整至81dB SPL(-60dBFS)以上。

如果房间的谐振非常大，输入信号电平可能会超出输入通道的动态范围并导致削波。如果出现这种情况，软件将显示警告，因为输入削波将导致频率响应出现错误。应降低扫频电平、AV处理器音量或输入增益，并重新测量。请注意，进行更改后，后续测量将处于较低的声压级，其SPL曲线在绘图区会低于调整之前的其它曲线。



测量发生削波！测量输入信号检测到削波，频率响应可能会出现失真。请尝试降低扫频电平、处理器音量或输入增益，并重新测量。点击OK以继续，点击Cancel放弃本次测量。

如果信号电平特别低，则可能存在连接问题：



测量信号电平极低！测量的最高值仅为54dB SPL(-87dB FS)，远低于其正常值。请检查输入通道选择、连接、输入音量和输出音量及静音设置。测量的理想电平最高值应高于81dB SPL(-60dB FS)。

测量通道的响应后，您可以随即进行**EQ调整(Adjusting EQ)**，或继续进行其他测量。

请注意，房间的一些共振问题仅在测量一只音箱时会出现，而当左右音箱同时开启时却测不到这些频率的共振——这是因为两只音箱在房间中的分布位置可以防止一些共振被激发（特别是在音箱呈对称分布的宽度方向上的奇数阶宽度模式，不会被左右音箱发出相同的声音内容激发）。这些共振通常可以不做校正，为了识别这些共振，可将单个通道的测量结果与两个通道同时驱动的测量结果进行比较。在AV32R DP或AV192R上通过设置**重复信号(Repeat Sig)**，在TMREQ滤波器菜单中并选择要重复测试信号的通道并选择**YES**；对于其他处理器上，可将声卡左右接口输出同时连接到AV处理器的两个输入，或者使用Y型线将一个输出同时连接至两个输入)。

使用时间参考测量(Measuring with a timing reference)

REW可以在测量时使用时间参考，在测量面板中进行相关设置。时间参考设置决定REW是使用音频接口的环路信号作为时间参考，或使用声学时间参考，或无参考。使用时间参考，REW可消除计算机和音

频接口造成的可变传输延时，以便不同的测量具有相同的参考时间。**时间偏移(Time Offset)**可以设置相对于时间参考的偏移量，并分析偏移后的响应。例如，如果使用了环回连接作为时间参考，则可以用时间偏移去除声音在空气中传播造成的延时（即所谓飞行时间，**Time of Flight**）。时间偏移可以手动设置，也可以设置为脉冲响应延时估算(**Estimate IR Delay**)功能提供的计算延时值。

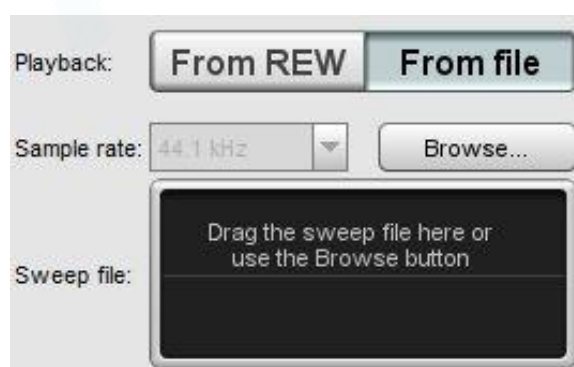
如果选择环路信号作为时间参量，则必须在音频接口上从输出环回连接到参考输入通道，测量值就是相对于该环路信号时间基准的。通常这意味着测量信号的延时，大致对应声音从被测扬声器传播到测量话筒所需的时间，这个延时可以在随后的测量中使用**时间偏移(Time Offset)**来去除。

如果使用声学时间参考(**Acoustic Time Reference**)，REW将在选定作为参考的输出通道上生成一个时基信号(**Timing Signal**)，该信号将先于测量扫频信号之前发生，并被当做时间参考。时基信号的电平可通过**参考电平微调(Ref level trim)**控制，它的数值是相对于测量扫频电平的。测量时需要将其适当调高或调低，这取决于用作时间参考的扬声器比待测扬声器更远还是更近。时基信号依赖于高频扫频信号以精确定时，因此超低音箱不能用作时间参考通道。被测扬声器与参考扬声器到达测量话筒的距离差，将会产生对应的信号延时 — 如果参考扬声器更远，延时值将是负的，通过**时间偏移(Timing Offset)**可以去除这些延时。当使用声学时间参考时，同一测量点所做的多次测量具有相同的时间参考，因此可在**ALL SPL（所有声压级）**图像中，对所测的曲线做算术处理。**注意：**使用声学时间参考时不能使用多次扫频。

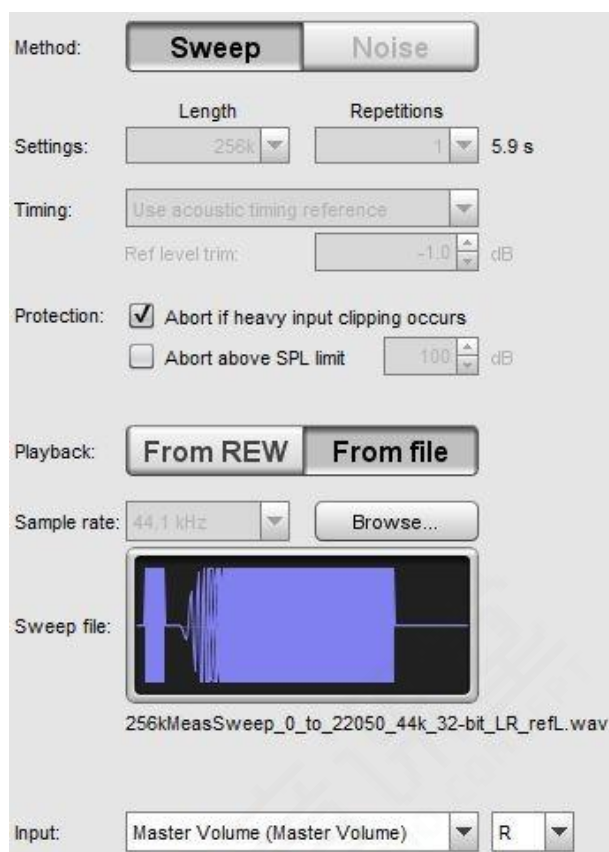
如果使用时间参考，REW可以计算被测系统相对于时间参考的延时，并在测量信息面板中显示为**系统延时(System delay)**，单位为毫秒(ms)，并在括号中显示其等效距离，单位为英尺和米。**系统延时(System delay)**的下方显示的是**时间偏移(Timing Offset)**。对于全频扬声器，延时的估算取决于脉冲响应峰值的位置。超低音箱由于其有限的带宽，脉冲响应的峰值较宽，因此采用脉冲响应的起始位置计算延时。脉冲响应的起始点不像峰值那样精确，因此超低音箱的延时值不能准确测量。

使用文件回放进行测量(Measuring with file playback)

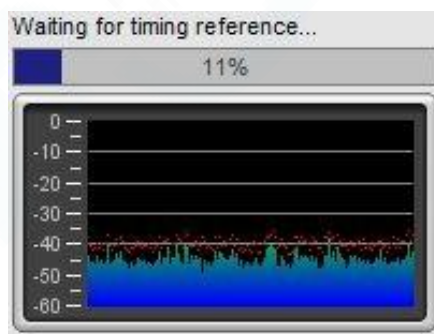
有些时候，可能无法将测量扫频信号接入到待测系统。如果待测系统支持文件播放，则可以通过回放扫频文件来测量。



用于回放的测量扫频文件必须由REW信号发生器生成并保存。该扫频文件必须包含声学时间参考信号，REW使用该时基信号将输入信号与待测系统上的回放信号同步。待测系统所播放的扫频信号副本会被加载到REW中，软件借此配置正确的测量频率范围、扫频设置和采样率，因为扫频信号副本中包含了这些信息。



加载文件后，按**Start**（开始），REW便开始记录一段环境噪声并暂停，显示正在**等待时间参考 (Waiting for timing reference)**。



这时，在被测系统中播放扫频文件，一旦REW检测到时间参考，它将捕获扫频并生成测量。

测量数量(Number of measurements)

REW可以同时加载多达199个测量值，具体可以在**首选项(Preferences)**的**视图(View)**页面的最大测量数量中设置，默认值为30。如果捕获新测量时达到了最大数量，则会发出提示，需要移除第一次测量，为新测量腾出空间：



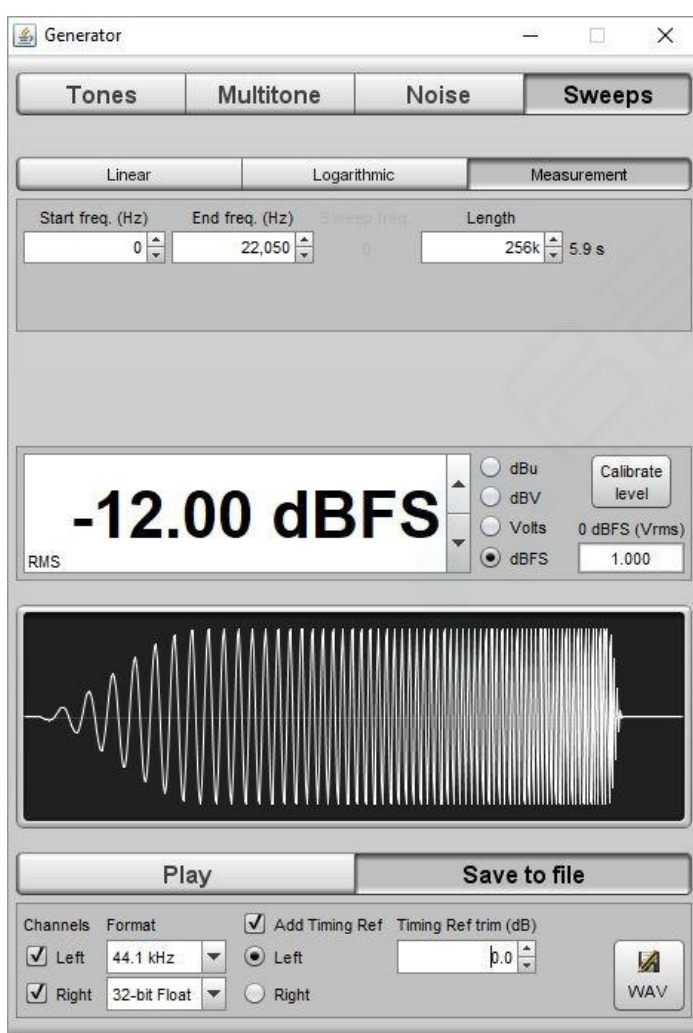
无空余位置！无空余位置捕获当前测量“Artist 3+Q2070Si”，如果继续将删除“Artist 3+Q2070Si” tab 1的测量（此测量尚未保存）。点击Cancel将会保留原测量。

离线测量(Offline Measurements)

有时，受条件限制我们不能将计算机连接到被测音响系统，也无法使用文件回放的方法做测量。这时，REW的测量扫频信号可以通过系统回放，并且通过其他方式录制系统的响应，然后导入扫频信号和录制下的响应到REW以生成新的测量。这通过文件(**File**)菜单下的**导入扫频录音(Import Sweep Recording)**功能来实现。

生成扫频信号(Generating the Sweep Signal)

第一步是生成扫频测量信号，这个测量信号将用于被测系统重放，以便记录其响应。扫频信号从REW的**信号发生器(Signal Generator)**生成。

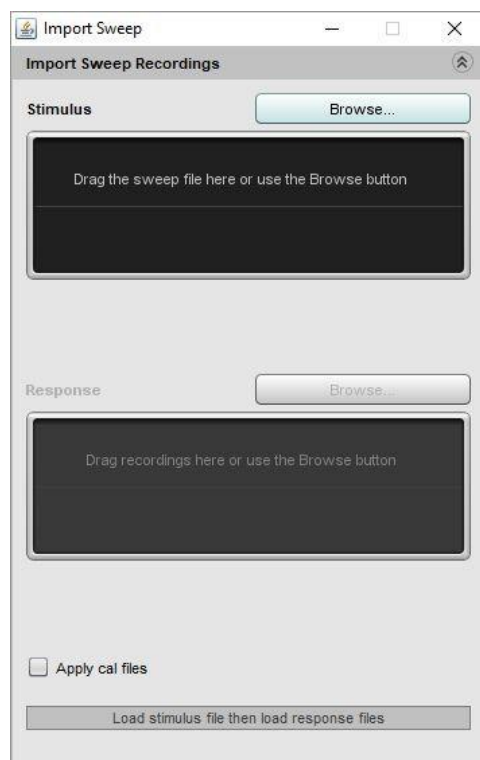


做离线测量建议使用时间参考信号。设置扫频和时间参考信号电平（通常为0dB），选择生成扫频信号的采样率——其采样率应该与录制系统响应的采样率相同，或是录制采样率的整数倍或整分数倍。

如果被测系统支持32位浮点处理，可将wav文件的精度选择为32bit Float，如果不支持则可尝试24bit。

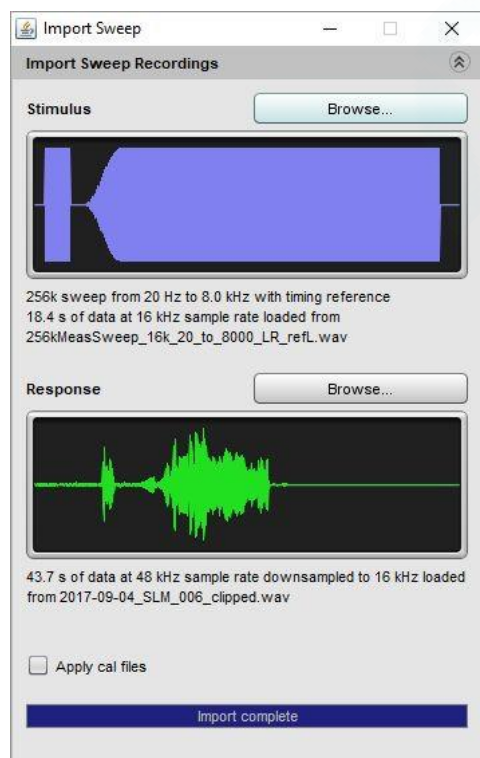
导入扫频录音(Importing Sweep Recordings)

在文件菜单中点击**导入扫频录音(Import Sweep Recording)**，调出导入对话框(快捷键Ctrl + Shift + N)。



首先加载作为测量激励信号的扫频文件，浏览到文件位置或将其拖动到激励信号(**Stimulus**)窗口。软件将提示你选择导入哪个声道，1是左声道，2是右声道。如果此前在REW 校准文件(cal files)首选项中指定的测量话筒和声卡的校准文件，并希望将之应用于您正在导入的文件（例如，您已经在REW中加载了用于录制系统响应的测量话筒的校准文件），请勾选**应用校准文件(Apply Cal Files)**。完成后，该窗口将显示导入信号的波形。

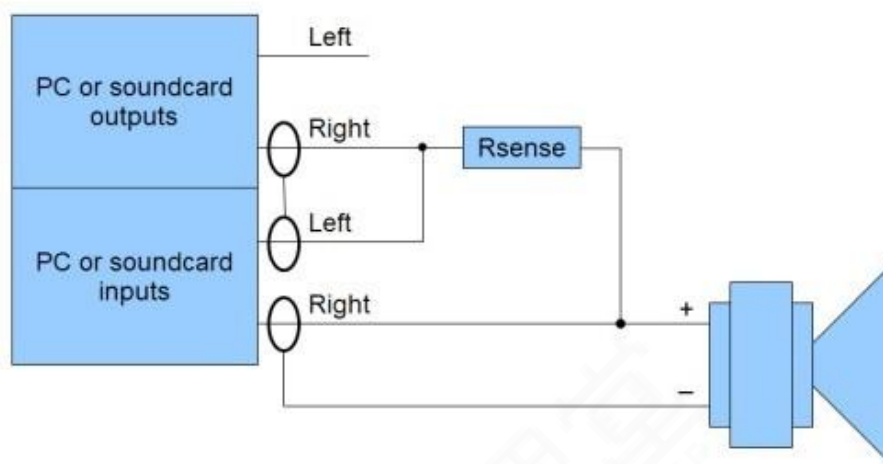
第二步，加载录制的响应文件。您可以浏览到文件位置或将该文件拖到响应(**Response**)窗口中。如果您有多个响应录音，则可以将它们一次性全部拖到此处，每一个响应录音文件都会生成一个独立的测量。如果录音采样率是测量扫频信号采样率的整数倍或整分数，则录音在处理前将被重新采样以匹配之前的扫频采样率。



随后，REW会根据录音文件生成一个新的测量，并且可以像对其它测量一样进行处理。测量名称默认为响应录音的文件名，测量注释包含激励信号的文件名。

阻抗测量(Impedance Measurement)

REW可以通过声卡的两个输入来测量高达几百欧姆的阻抗。驱动单元的阻抗测量可用于计算Thiele-Small参数，阻抗测量的通用接线图如下所示：



图中的感测电阻(R_{sense})，必须使用**无感电阻(non-inductive)**，用于测量流入负载的电流，计算公式为 $(V_{left} - V_{right})/R_{sense}$ 。感测电阻器应具有足以应对短路负载的额定功率，并具有较低的温度系数。负载两端的电压为 V_{right} ，因此其阻抗=电压/电流 = $R_{sense} * V_{right}/(V_{left} - V_{right})$ 。请注意，在完成校准过程之前，阻抗测量的精度仅能接近输入的感测电阻值的精度。

负载与声卡的输入阻抗和测试引线的阻抗之间可视为并联电路。在校准之前，通过在计算中使用感测电阻和声卡输入电阻的并联等效来部分校正这些影响，声卡输入电阻值可在对话框中输入。

使用耳机输出（更好的选择是使用高品质的耳机放大器或高功率耳机输出的设备）来驱动负载，选用 100Ω 的感测电阻，可以获得良好的测量结果。如果使用线路输出，感测电阻通常需要更大，因为线路输出阻抗更高且驱动能力有限，可以尝试使用 $1\text{ k}\Omega$ 感测电阻。但这样做的结果是更高的测量噪声，结果更容易受到背景噪声的影响。如果用于驱动负载的设备可以处理较低阻抗的负载，选用较低感测电阻将改善测量结果，比如可以尝试 47Ω 。

另一种方法是通过功率放大器驱动负载，这可以提供最低的噪声水平和最准确的结果，**但是必须非常小心，因为功率放大器能够输出的电平很容易损坏声卡输入**。如果使用功率放大器，感测电阻可以低得多，尝试 33Ω 或更小，但是声卡输入应该通连接电阻分压器，提供大约 20dB 的衰减，最好连接背对背的齐纳二极管对输入提供保护，以将输入电压降低到小于 5V 。

连接到负载的声卡输入通道必须与在REW声卡设置中选择的输入相同。在上图中，使用的是右输入通道。当然也可以使用左通道，不过需要按照上图左右对调接线。如果左、右通道接反，阻抗测量得到曲线就会产生向上的偏移，偏移量约为感测电阻的值。

阻抗测量使用的扫频信号，建议长度在 10s 以上，以获得良好的信噪比。

校准阻抗测量装置(Calibrating the Impedance Rig)

为了获得最准确的结果，必须校准阻抗测量装置。校准可以消除声卡输入通道之间增益差异、通道频率

响应差异以及测试引线阻抗的影响。完整的校准步骤需要进行三次校准测量，初略的校准则至少应该进行第一步校准测量（开路校准）。REW自动将每次测量的校准数据保存在REW日志文件中。

开路校准(Open Circuit Calibration)

第一步是在断开负载的情况下校准测量装置。整套测量装置都要连接好，只是在测试引线处将负载断开。此测量可补偿输入通道之间的增益差异。

- 点击**测量(Measure)**按钮或按快捷键Ctrl + M，调出测量面板，选择**阻抗(Impedance)**模式并点击**开路校准(Open circuit cal)**按钮。如果还没有做过阻抗校准，则按钮文本为红色。在开始测量之前，断开负载端的测试引线。



- 点击**开始(Start)**，进行校准测量。测量结果将显示测量通道（通常是右通道）与参考通道相比的电平差，读数为100Ω以为二者的电平比为100%，99Ω即为99%，以此类推。如果两个通道之间的差异过大（超过5%），则测量结果会被弃用，因为可能存在连接错误或输入通道增益设置差异过大，请重新检查连接后再次校准。
- 开路校准后，输入通道之间的增益差异将得到纠正。

短路校准(Short Circuit Calibration)

第二步是在测试导线短路的情况下校准测量装置。整套测量装置都要连接好，只是在负载端将引线短路。该测量可补偿引线的串联阻抗，特别有助于提高高频精度。如果不进行短路校准测量，可测量引线电阻可以在Rleads文本框中输入。如果进行了短路校准，就不再需要填入引线电阻，Rleads文本框是隐藏的。

- 点击**测量(Measure)**按钮或按快捷键Ctrl + M，调出测量面板，选择**阻抗(Impedance)**模式并点击**短路校准(Short circuit cal)**按钮。在开始测量之前，在负载端将测试引线连接起来。
- 点击**开始(Start)**，进行校准测量。
- 短路校准完成后，测试引线的串联阻抗得到校准。


参考电阻校准(Reference Resistor Calibration)

第三步，也是最后一步，是对已知参考电阻进行测量。参考电阻必须是无感的，并且其精确值必须是已知的，参考电阻的误差将直接转化为阻抗测量误差，因为后续的测量结果都是基于此运算得到的。参考电阻应该与待测设备的阻抗值范围大致相当，对于扬声器阻抗测量，建议参考电阻为 100Ω 或更低。参考电阻测量可补偿输入通道之间的频率响应差异，尤其是会提高在极端频率的准确性。这个校准测量完成后，Rinput框是隐藏的，因为不再需要填入数值。

- 点击测量(Measure)按钮或按快捷键Ctrl + M，调出测量面板，选择**阻抗(Impedance)**模式并点击**参考校准(Reference cal)**按钮。在开始测量之前，将参考电阻连接到测试引线。
- 点击**开始(Start)**，进行校准测量。
- 参考电阻测量结束后，校准步骤全部完成。

校准数据将保存在REW日志文件夹中，并在REW启动时自动加载。如果测试引线发生变化（例如，换成更长或更短的引线）或采样率发生变化，则应重复校准步骤。

进行阻抗测量(Making an Impedance Measurement)

- 点击测量按钮  (或Ctrl + M)调出测量面板并选择**阻抗(Impedance)**模式



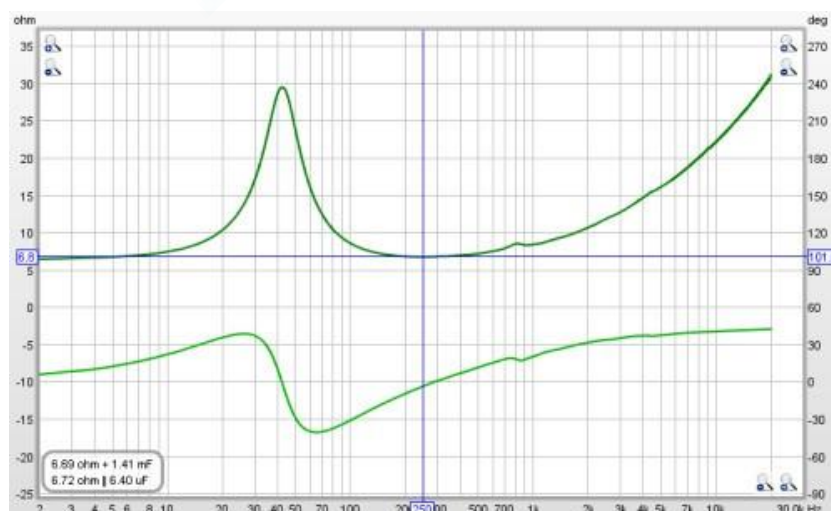
- 输入**准确**的感测电阻器的阻值。阻值必须使用高品质的、校准过的万用表或阻抗电桥精确测量，或使用非常高精度的电阻（0.1% 或更高）。感测电阻值的任何误差都直接影响测量结果。
- 设置**起始频率(Start Freq)**和**终止频率(End Freq)**为您希望测量的频率响应的最低频率和最高频率。如果测量一个驱动单元以获得其Thiele-Small参数，测量频率可高至20 kHz。扫频信号频率范围将从起始频率的一半到终止频率的两倍（上限为声卡采样率的一半），以便在选

定的频率范围内做精确的测量。

- **电平(Level)**控制生成的扫频信号RMS电平。最大值为-3 dBFS或其对应的dBu、dBV或V数值（如果在**视图首选项**中勾选了“**满刻度正弦信号RMS值为0 dBFS**”，则电平的最大值为0 dBFS）。使用最大值将信号的峰值置于数字满刻度，一些声卡可能会在最大电平时失真。如果您使用的是功率放大器，请当心功放过高的输出电平。扬声器阻抗通常最好在约100 mV-200 mV的路端电压下测量，实际的输出电压取决于感测电阻值。对于一个100Ω检测电阻和一个8Ω扬声器单元，100 mV的路端电压大约需要1.35 V的输出电压。
- 测量面板右侧的**设置(Settings)**选项可设定测量方法。**长度(Lenth)**控制扫频信号的长度，即信号序列中的样本数，默认值为256k。将样本数除以音频接口的采样率会给出扫频持续时间（以秒为单位），显示在右侧。而扫频的总体持续时间还包括扫频之前和之后的静默时间。
- 如果重复次数(Repetitions)大于1，REW使用同步预平均，每次测量均按照选定的重复次数捕获信号，并对结果进行平均，以减少噪声和干扰的影响。重复次数每增加一倍，预平均可以将信噪比提高近3 dB。如果测量环境存在干扰声，无论是电子噪声还是声学噪声，平均就能发挥作用，因为噪声通常不会在平均中连续地增加，因此在平均过程中会被抑制。**如果使用多次扫频，输出和输入必须是同一设备。**
- 点击**检查电平(Check levels)**按钮，会产生几秒钟的粉噪声信号，该信号频段取决于为测量选择的频率范围，可检查输入电平是否过高或过低。点击**取消(Cancel)**，则会停止正在播放的粉噪信号，否则它将在3秒后自动停止。已测量的RMS电平显示在测量面板上，如果电平过高或过低，则会发出警告
- 点击**开始(Start)**进行测量。测量面板上会显示进度以及测量的动态余量。

测量结果将显示在绘图区中，测量的相关信息显示在测量面板中。测量的默认名称是进行测量的日期和时间，可以在测量面板顶部的文本框中对其重命名。

鼠标光标在阻抗/相位(Impedance&Phase)图的绘图区时，绘图区左下角会显示光标所在位置阻抗值的等效串联电阻+电感，或电阻+电容，和并联电阻||电感，或并联电阻||电容。这在对电感器或电容器进行测量以检查其值时非常有用。对于电容测量，在总阻抗降至几百欧以下的频率，该值最准确。



有关查看测量数据的各种方式的详细信息和多次测量的平均值，请参阅[图像面板\(Graph Panel\)](#)。

输入通道对调(Input Channel Swapped)

如果输入通道被错误地对调接线，阻抗测量值将过高，接近感测电阻的值。可以拿一个电阻（小于100Ω）做验证测量，以检查所有东西是否接线正确。通道对调也会使相位偏移大约180度。

阻抗测量质量(Impedance Measurement Quality)

测量噪声的主要来源是测量过程中的声学噪音和振动。扬声器类似于话筒，会拾取声音和振动，产生微小的电压成为负载电压的一部分。为了最大限度地减少这种影响，使用长扫频、低感测电阻值、避免嘈杂环境并隔离扬声器振动。使用功率放大器来驱动扬声器，其驱动阻抗非常低，可降低噪声的影响，因此可使用更低阻值的感测电阻。

REW提供了一个**噪声滤波器(Noise Filter)**选项，其工作原理是捕获的扫频施加一个与扫频同步的带通滤波器，以减少噪声的影响。将该滤波器设定为**高(High)**在大多数情况下是合适的，但是它可能对非常尖锐的共振有轻微的平滑效果。如果观察到这种情况，尝试将其设置为**中(Medium)**或**低(Low)**，或关闭滤波器。使用噪声滤波器时，扫频持续时间应至少为10秒，如果选择了较短的扫频，将显示警告。更长的扫频可提高测量信噪比，不论是否使用噪声滤波器。

Thiele-Small参数

Thiele-Small参数窗口可通过测量扬声器单元阻抗来计算其TS参数。共有3种测量方法：密闭箱体法(sealed box)，附加质量法(added mass)和双重附加质量法(dual added mass)。双重附加质量方法源自Jeff Candy和Claus Futtrup的论文《换能器参数估算的附加质量测量技术》(An Added-Mass Measurement Technique for Transducer Parameter Estimation, JAES卷65期12页1005-1016; 2017年12月刊)。该方法能得出最准确的结果，当然，测量结果准确性也取决于测量的质量。

每种方法都需要“自由空气(Free air)”测量，扬声器单元应具备刚性支撑，没有任何挡板，并垂直安装以使锥体在水平方向辐射，如同被安装在典型的音箱中一样。后续的测量步骤会在锥体上附加质量，或将单元置于密封（气密）箱体中（理想情况下，箱体容积应略小于预估的 V_{as} ）。

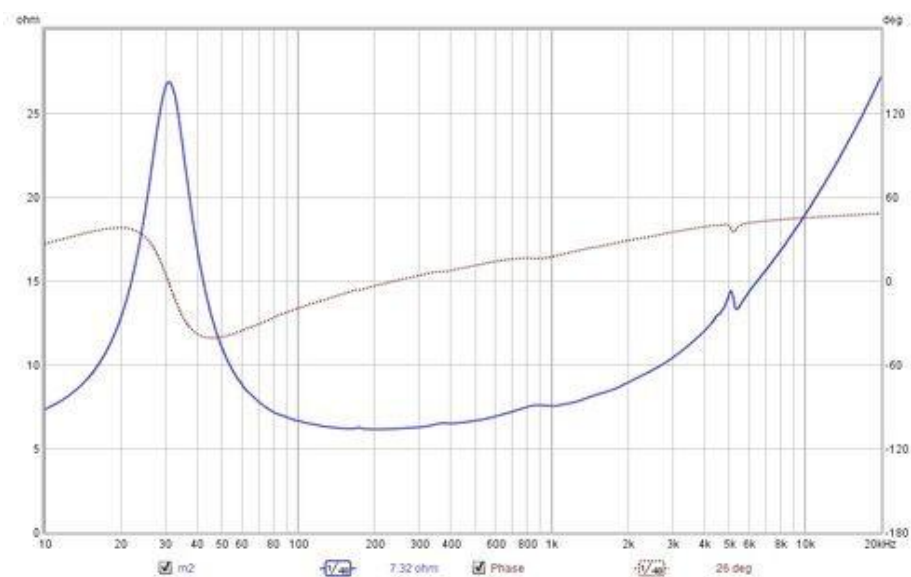
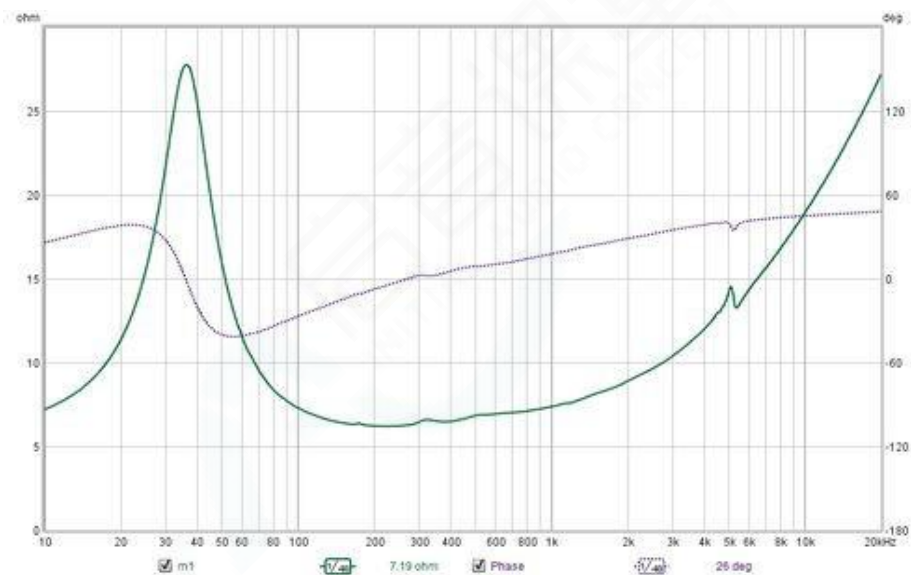
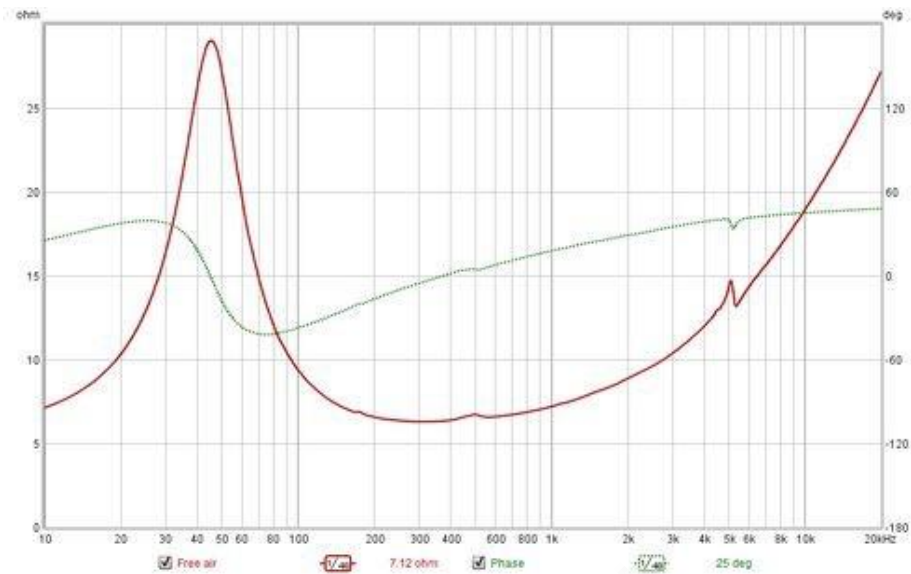
对于单附加质量法测量，附加的质量应该大约是预估的 M_{ms} 数值的一半。对于双重附加质量法，要先进行一次测量，附加质量大约等于预估的 M_{ms} ，然后将附加质量减半，再进行自由空气测量。以中等电平信号对单元做预处理，有助于被测扬声器进入更稳定的性能状态。预处理亦可减小扬声器单元长期存放和缺乏使用造成的悬挂系统记忆效应，使其悬挂系统更接近实用状态。高质量的测量要求在安静的环境中进行，扬声器单元类似与话筒，可拾取噪音和振动，影响测量结果。测量频率可高至20kHz，以便准确地模拟音圈的有损电感，在测量之前应进行**阻抗校准**。

附加质量测量法要求提供所加的质量的精确数值，从而得到准确的结果，测量质量的刻度越准确越好。建议将要附加的总质量分成4块，质量大致相等，在音圈附近的圆锥体周围等距放置，并牢固地附着在锥盆上。蓝丁胶可作为不错的附加质量，如果需要较大的质量，可以在蓝丁胶中裹入螺母。不要将质量放置在锥盆的外边缘附近，这将对锥盆的性能产生不利影响。对于双重附加质量法，进行第二次测量时，轻轻移除掉其中相对的两块质量，在锥盆上留下相对称的两块质量。

对于密闭箱体测量法，可进行**泄漏损失补偿(Compensate for leakage losses)**和**空气负载补偿(Compensate for Air Load)**，勾选对应的复选框即可应用，它们分别考虑了密闭箱体的泄漏损失（在结果显示为QL）和密闭箱带来的空气质量负载。这些补偿使用了Claus Futtrup在他的技术文档中描述的Carrion-Isbert方法，可参考<http://www.cfuttrup.com/>网站中驱动器参数计算器(Driver Parameter Calculator)程序。

测量示例(An Example Run)

以下图表显示了一个中低音驱动单元的TS参数计算过程。第一幅图显示了在自由空气中进行的阻抗测量，然后做附加质量测量。首先会对自由空气测量得到的阻抗结果做最小二乘拟合电路模型，以确定模型参数。再对二次测量结果做最小二乘拟合，以确定修正的运动参数，然后计算TS参数。



要计算TS参数，需要选择相关测量并输入所需的以下数值：

- 音圈的直流电阻 (RDC)，单位为 Ω 。精确测量低电阻并不容易，但是REW使用的阻抗模型可以补偿不精确的直流电阻；
- 有效面积，单位为平方厘米，大多数扬声器参数表会提供有效面积数值，但如果没有该参数，REW可以根据有效直径计算出该数值，有效直径一般是锥盆的直径加上折环的一部分（通常是1/3到1/2），只需点击有效面积框左侧的计算器图标便能得到计算结果；
- 空气温度，以摄氏度为单位；
- 空气压力，以毫巴为单位；
- 附加质量的数值，以克为单位，或密闭箱体的容积，以升为单位。

输入以上数值后，点击**Calculate Parameters**（计算参数），得到结果如下。

The screenshot shows the 'Thiele-Small Parameters' window. It is divided into several sections for data entry and calculation.

Measurement method: Dual added mass

Free Air Measurement: 1: Free air

Added mass measurements: 2: m1, 3: m2

Manually Entered Values: Voice Coil DC Resistance (ohm): 5.721, Effective Area (cm²): 104.0, Air Temperature (Celsius): 20, Air Pressure (mB): 1013.25

Motional Impedance (Ritter 3PC): R₀ (ohm): 27.95, C_{MES} (uF): 303.7, L₀ (mH): 38.845, β: 0.0926, ω₀: 430.7

Blocked Impedance (T-F): dR (ohm): 0.062, L_{EB} (uH): 31.1, L_E (mH): 0.773, R_{SS} (ohm): 100000.00, K_E (S-H): 0.0702

Simplified Model Parameters: R_E 5.783 ohm, L_E 134.5 uH, R_{ES} 23.13 ohm, R₂ 9.88 ohm, C_{MES} 303.7 uF, L₂ 196.9 uH, L_{CES} 41.32 mH, R₃ 1.54 ohm, L₃ 361.0 uH

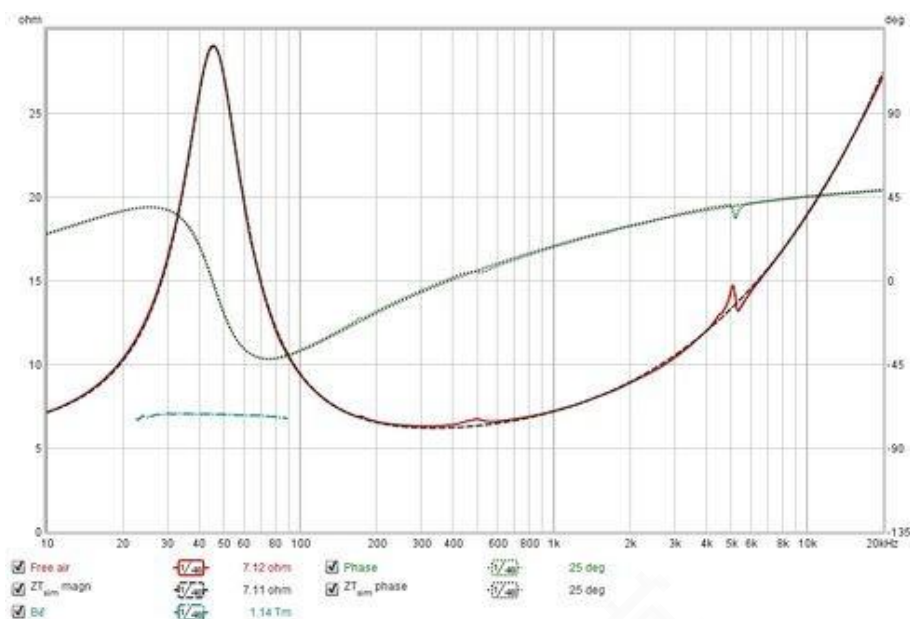
Calculate Parameters and **Write Parameters to File** buttons are visible.

Secondary measurement: Air temperature 20.0 C, pressure 1,013.25 mB giving density 1.2041 kg/m³, c 343.2 m/s

窗口底部的第一列结果显示扬声器电阻 R_E ，一般比直流电阻高一点； Z_{min} 为阻抗峰值之后的最小阻抗值， f_{min} 则是 Z_{min} 所对应的频率， f_3 为阻抗值上升为 Z_{min} 的 $\sqrt{2}$ 倍时所对应的频率， $L_E(f_3)$ 是 f_3 频率处的电感值； D_d 为有效直径， S_d 为有效面积。第二列显示谐振频率 f_s ；力品质因数(QMS)、电品质因数(QES)和总品质因数以及FTS数值(f_s/QTS)。这些参数只需要选择单次测量就能计算出，不需要二次测量。LP值和第三列中MMS，CMS，RMS，VAS， $B\ell$ 和Eta(效率)数值需要额外的测量值来计算。

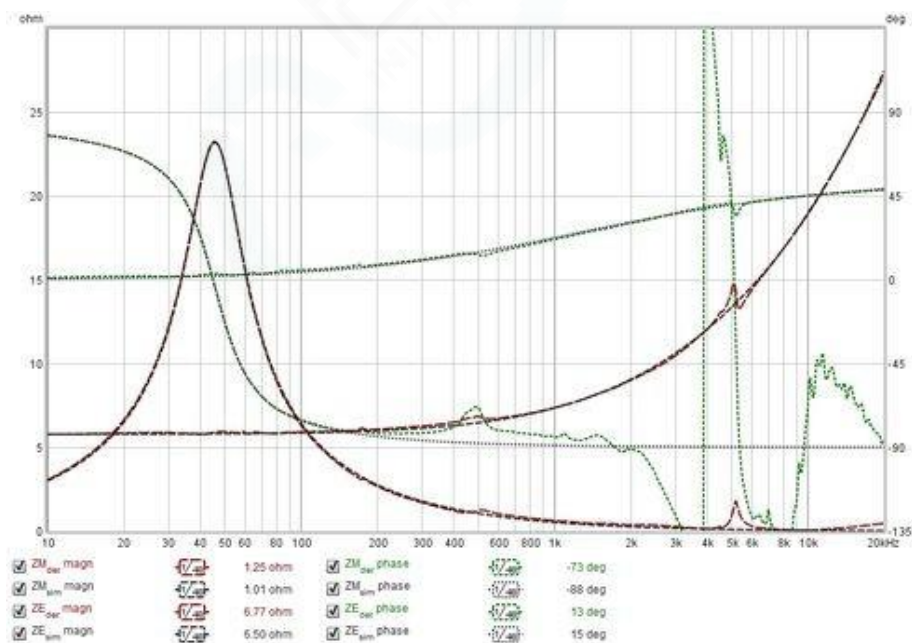
在计算结果显示区单击鼠标右键，可将结果复制到剪贴板；点击**Write Parameters to File**（将参数写入文件）按钮可将结果写入文本文件中。写入文件时，值、标签等之间的分隔符在File（文件）→Export（导出）菜单中定义。

下图显示了模拟的阻抗曲线和在自由空气条件下的实测阻抗曲线。



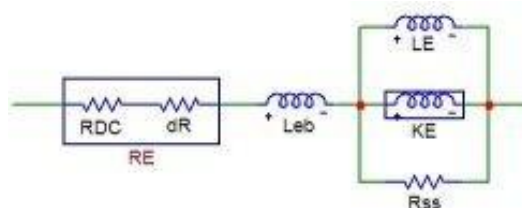
双重附加质量测量可计算得到 Bf 曲线（图中青色曲线），如果测量正确，该曲线应该在谐振频率附近向水平轴靠近。

当TS参数被计算出之后，图表区除了显示总阻抗曲线之外，还能显示衍生的和仿真的动生和钳定阻抗的幅度/相位曲线，以及由双重附加质量法测得的 ZM^* 的幅度和相位。仿真曲线是使用模型参数值产生的，衍生曲线是通过从测量值中减去模型值产生的（例如，衍生动生阻抗是通过从总测量阻抗中减去模型约束阻抗而得到的）。



电阻抗模型(Electrical impedance model)

REW采用的驱动器电阻抗组件模型，是基于Knud Thorborg和Claus Futtrup的论文《包含半电感的电动传感器模型和缩短交流磁化的方法》（JAES卷59期9页612-627；2011年9月）。下图显示了电阻抗模型的组成。



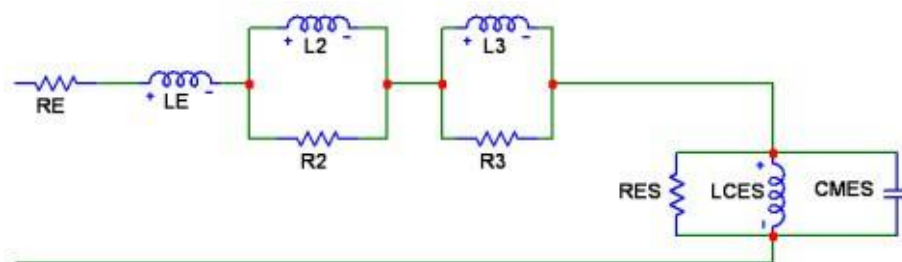
该模型以驱动单元电阻 R_E 开始，也就是直流电阻 R_{DC} ，REW还增加了一个额外的电阻 dR ，可用于校正实际 R_E 和测量电阻之间的差异，差异的原因可能是测量误差或音圈温度不同。其后是一个串联的电感 L_{EB} ，再往后是一个并联的电感组合，由电感 L_E 、半电感 K_E 和一个电阻 R_{SS} 构成。 L_E 表示位于磁隙内的音圈部分的电感。 L_{EB} 表示音圈在磁隙之外的部分的电感。半电感 K_E 是随角频率的平方根变化的阻抗。它模拟了芯柱中的涡流效应和集肤深度的影响。 L_E 和 K_E 的并联组合，可能模拟线圈在低频表现为传统电感器而在高频表现为半电感器的过渡。 R_{SS} 组件模拟磁路系统中导电材料的效应。此处REW的参数值可以根据需要修改，所做的修改对模型阻抗和相位曲线的影响可以显示在图表中，但是经计算得到的TS参数不会被改变。

机械阻抗模型(Mechanical impedance model)

机械阻抗模型包含的组件，可以反映随频率变化的顺性。它采用的粘弹性的对数模型，来自Knudsen和Jensen的论文“Low-Frequency Loudspeaker Models That Include Suspension Creep”，JAES卷41期1/2页。3-18; 1993年2月，增加了延时谱功能，如Agerkvist和Ritter在《使用延时谱模拟扬声器悬架的粘弹性》中所述，该文发布于第129届AES大会（2010年11月），论文编号: 8217。

简化模型(Simplified Model)

由于许多电路模拟器不支持随频率变化的元件值，REW还使用了更为简化的模型，该模型包含两个电感并联模块（下图中 R_2-L_2 和 R_3-L_3 ），将这两个模块串联以计算替代约束阻抗模型的值。而常规的 R_{ES} 、 C_{MES} 、 L_{CES} 用于模拟计算动生阻抗，不考虑随频率变化的阻尼和顺性。这些零部件的值显示在简化模型框(Simplified Model Parameters)中。下图显示了简化模型的构成。



测量扬声器直流电阻

低电阻的精确测量是具有挑战性的，使用经校准的、量程适合的LCR仪表，可得到良好的结果。如果您无法获得校准的LCR仪表，另一种方法是准确测量较高值（如 50Ω ）的电阻再推算，可购买一个非常高精度的电阻（如Vishay金属箔电阻），将直流电源、参考电阻和扬声器相连，形成分压器。普通万用表即可精确测量电压，测量扬声器两端的电压和参考电阻两端的电压，便能计算扬声器的电阻。

扬声器电阻=(参考电阻)*(扬声器电压)/(参考电阻电压)。

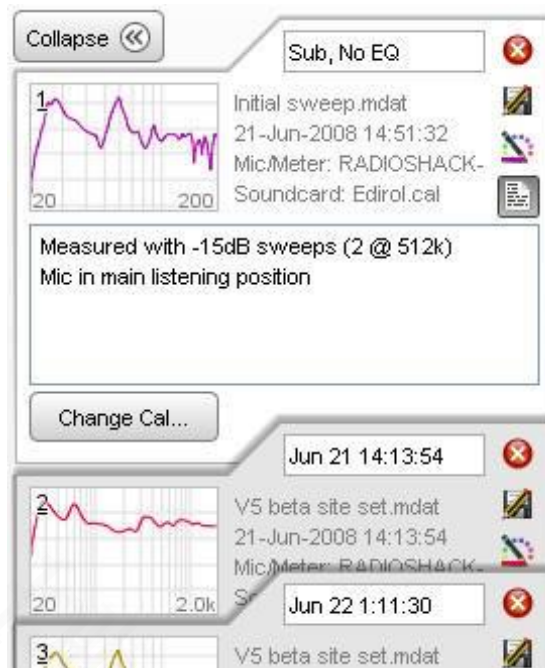
技巧和提示(Hints and Tips)

以下是使用REW的一些技巧和提示：

- REW的mdat文件可以通过双击或将拖拽至REW窗口以打开文件；
- .wav或.aiff格式的脉冲响应文件可以拖拽到REW窗口以导入文件；
- 可以使用Alt+UP和Alt+DOWN按键来浏览测量列表，也可以使用ALT+1或2或3..直至9，直接选择前9个测量中的任何一个；
- 选择一个测量，然后按住鼠标左键，将测量向上或向下拖动到您想要的位置，可以在列表中向上或向下移动测量；
- 可以使用Ctrl + RIGHT和Ctrl + LEFT按键导航到下一个或上一个图表，或者Ctrl+1或2或3...直至9，直接导航到对应序号的图表；
- 将光标移到图例中曲线的名称上，对应的曲线将在图表区突出显示；
- 如果测量的名称在测量面板上以蓝色显示，则表示该测量在加载后被修改过；
- 使用Ctrl+Shift+3，可应用1/3倍频程平滑，重复操作即移除平滑。Ctrl+Shift+数字，应用可变的倍频程平滑；
- 如果意外删除了测量，使用File（文件）菜单中的Restore Last Removed选项，以还原测量；
- 在多曲线图表(Overlay Graph)的图例区域中单击鼠标右键，可以清除或选择图标中所有曲线；
- 在图表区按下鼠标右键并拖拽可以移动图像；
- 鼠标滚轮可用于放大或缩小图像；
- 按住鼠标右键，再按下左键，拖动鼠标便能实现可变缩放；
- 按住Ctrl键，按鼠标右键并拖动鼠标来测量图像上的点之间的距离；
- 图像控制快捷键：箭头键可移动图表区的光标；shift+箭头键可移动图像；x和shift+x分别控制x轴上放大/缩小，y和shift+y控制y轴的放大/缩小；
- 大多数操作都有键盘快捷键，见[快捷键列表](#)章节
- 可以用空格键来代替鼠标按键，控制当前突出显示的曲线的显示/隐藏；
- 为了给图表区腾出更多空间（例如在较低的屏幕分辨率下），使用测量面板上方的**展开/折叠 (Expand/Collapse)**按钮来控制它们占用的宽度，使用图像区上方的按钮关闭图像滚动条。您也可以取消选中工具栏和图像按钮下方的标签以获得更大的垂直空间，在[视图首选项\(View Preferences\)](#)中进行相关设置。您还可以在视图首选项中取消选中工具栏，以隐藏工具栏（工具栏中的所有工具都可在菜单项中找到，也可以使用键盘[快捷键](#)快速访问）。

测量面板(Measurements Panel)

测量面板显示已进行或加载的测量及相关信息。面板上的选项卡用于选择单个测量，它们包括频率响应的缩略图。缩略图旁边的文本显示测量从加载或保存到的文件的名称（如果已保存）、进行测量的日期和时间以及使用的话筒/声压计和声卡校准文件（将鼠标悬停在该文本区域上以显示全部文本内容）。单击选定测量并拖拽，可在测量列表表中将其向上或向下拖到的新位置，以更改列表中测量的顺序。



折叠(Collapse)

测量面板可以变窄，为图像提供更多屏幕空间，单击折叠(Collapse)按钮以缩小面板。



测量控制(Measurement Controls)

测量面板顶部的文本框用于更改测量的名称。名称的长度受限于框的宽度。如果输入空白名称，则将自动应用**No description**（无描述）作为测量名称。对于新测量或具有未保存更改的测量，名称以蓝色显示，否则为黑色。



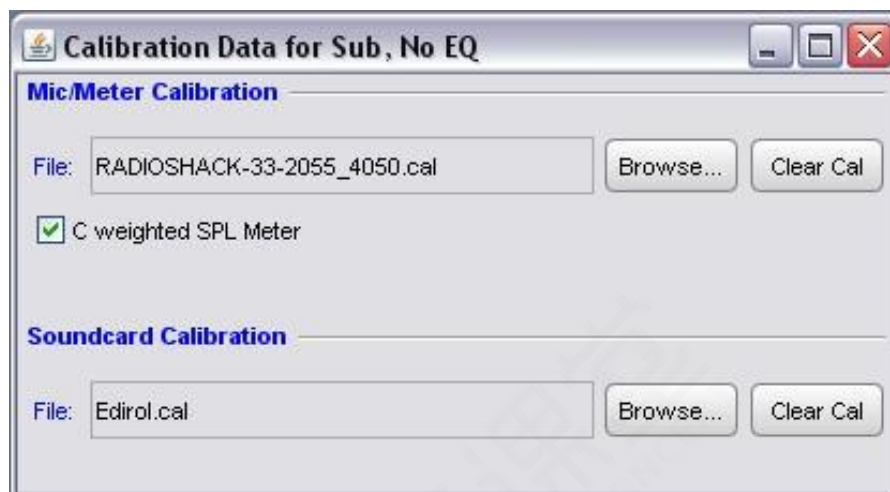
名称框旁边的按钮从上自下分别是：删除测量（从REW软件中删除，已保存的测量文件不受影响），保存测量，设置跟曲线颜色，展开或折叠注释区。曲线颜色可以重置为[视图首选项](#)中的默认设定。

在注释区可输入与测量相关的注释信息，它将与测量一起保存。在备注区域中单击鼠标右键会弹出剪切/复制/粘贴(Cut/Copy/Paste)菜单。



更改校准文件(Change Cal)

点击**更改校准文件(Change Cal)**按钮会弹出一个对话框，用于加载、更新或清除话筒、声压计或声卡的校准文件，或者选择是否使用C计权声压计进行测量。请注意，更改校准数据或C计权设置将清除任何已经生成的瀑布图、衰减图或色谱图，因为它们显示的图像不再有效。其它受到校准文件更改所影响的图像将会重新生成。



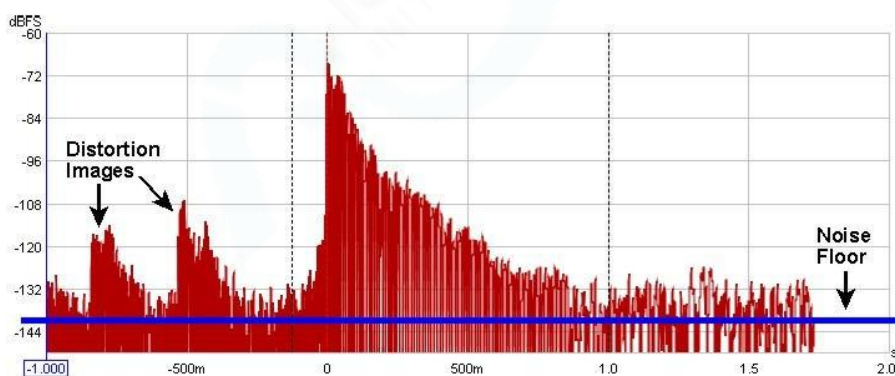
脉冲响应(Impulse Responses)

脉冲响应是声学分析的重要组成部分。脉冲响应测量包含很多关于房间的信息，和声音在房间内的再现方式。它可以提示我们应该采取什么样的改进措施，以及验证这些措施是否被正确应用，是否达到了最佳效果。本节将说明什么是脉冲响应，如何从脉冲响应中提取信息，以及REW如何测量和分析这些响应。

什么是脉冲响应(What is an Impulse Response)?

在深度认识并利用脉冲响应之前，我们需要先了解什么是脉冲响应。如果你在一个房间中制造一个极其响亮且短促的爆破音——比如在房间里打发令枪，同时将房间中的声音记录下来，实际上你就得到了这个房间的脉冲响应。之所以要测量脉冲响应，是因为脉冲响应可以描述扬声器系统和其所在房间在测量话筒位置的行为表现。而在测量方法上，我们一般会采用比在房间里开枪更加文雅的方式。脉冲信号具有一个较为隐蔽的重要属性，就是如果把它分解成单独的正弦波，会发现它包含所有的频率且振幅相同。这听起来有点不可思议，然而却是事实。这意味着我们可以通过确定脉冲响应的频率分量来计算系统的频率响应。REW通过脉冲响应的傅立叶变换，实际上是从中分解出各个频率分量，将频率分量的幅度绘制成图像便得到了系统的频率响应。

当一个脉冲响应是通过扫频正弦波测得的，房间的线性响应就能很方便地与非线性响应分离出来。在时间=0的初始峰值之前的响应部分是由于系统的失真造成的——靠近观察，这些失真响应看起来像是主脉冲响应在水平轴上被压缩过的副本——每一个副本都代表着谐波失真，首先是二次谐波，随着时间轴往负的方向推移，随后是三次谐波、四次谐波等等。初始峰值及在时间=0后的后续衰减是去除系统失真的响应。



在一个具有完全吸收边界的无限带宽的完美系统中，脉冲响应看起来像是在时间0的单个尖峰，在其它时刻没有响应。如果测量声卡的环路响应，则可能得到这样的理想结果。在一个真实的系统中，有限的带宽会使响应分散，特别是在测量超低音箱时，因为它的带宽非常有限。

来自房间边界的反射有时会叠加到初始响应，具体的叠加方式取决于反射面与测量点的距离。例如，如果测量话筒距离扬声器10英尺，并且来自墙壁的声音反射必须经过15英尺才能到达话筒，该反射将在初始峰值后大约5毫秒产生一个尖峰（峰的形状由反射的性质决定），因为声音需要大约5毫秒才能走完额外的5英尺。

当测量全频扬声器的响应时，可更容易识别到发射，测量超低频音箱则很难识别反射，因为全频系统带宽较宽，能保持脉冲的峰值很窄，放大时间轴后便能清晰看到它们。采用线性y轴刻度（将Y轴设为%FS，而不是dBFS）有助于定位峰值，将ETC平滑设置为0也会使峰值更容易显现。

脉冲响应时间窗(Impulse Response Windows)

在捕获扫频后，对其进行FFT处理以生成系统脉冲响应和相应的频率响应。
REW提供对FFT处理的时间窗设置，通过点击工具栏中的IR Windows按钮调出时间窗设置页面。在此可设置用于分析频率响应的脉冲响应的左右窗口的位置和宽度。



IR Windows

在脉冲图(Impulse Graph)中，通过勾选图例区Window（时间窗）和Windowed（加窗）选项，则可分别在图像区看到时间窗的形状，及其覆盖的脉冲响应片段。时间窗的参考位置通常是脉冲响应峰值。

IR Wi...
—
□
×

Artist 3+Q2070Si

Left: Tukey 0.25 ▼

Right: Tukey 0.25 ▼

Left Window (ms): 125 ▲▼

Window Ref Time (ms): 0.0 ▲▼

Right Window (ms): 500 ▲▼

Frequency Resolution: 1.60 Hz

Add frequency dependent window

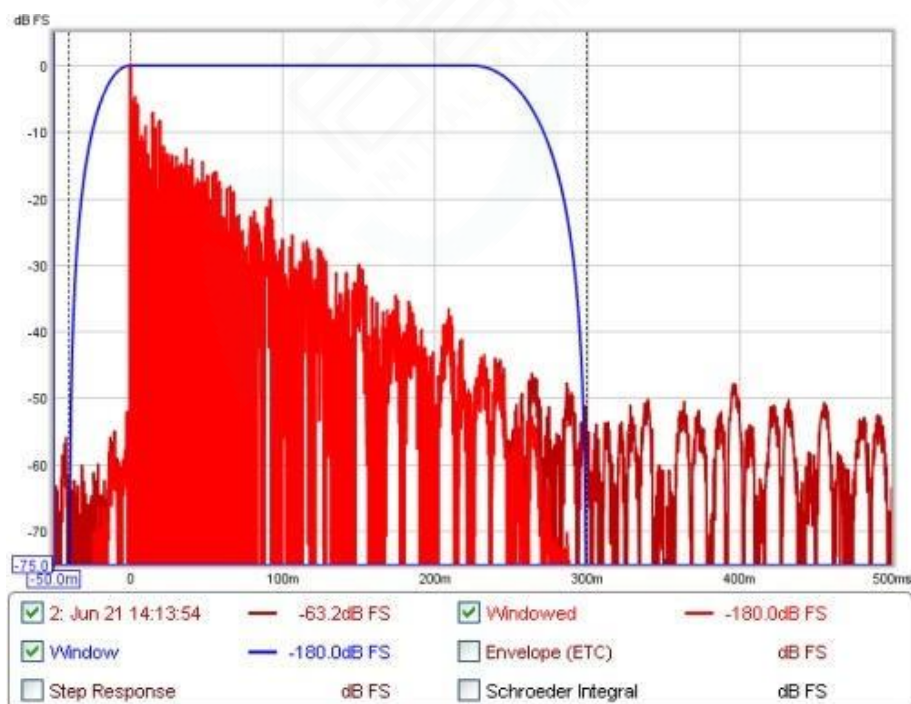
Width in cycles 15 ▲▼

Width in octaves 1 / 20.8

Apply Windows

Apply Windows To All

Apply Windows To All, Keep Ref Time



时间窗的默认设置通常是合适的。在较小的房间里，可能需要使用较短的右窗(Right Window)持续时间，大约300-500ms。如果频率响应图出现较大干扰和锯齿状，请尝试减少右窗时间，然后点击Apply Window（应用时间窗），重新计算频率响应。在非常大的房间里，可以将时间窗设得更长，以提高频率分辨率。

左窗时间和右窗时间相加得到总的时间窗长度，改时间窗长度决定了频率分辨率，显示在应用窗口按钮上方。时间窗持续时间越长，分辨率越高。可以分别为左窗和右窗选择各自的窗口形状。

除了设置左窗和右窗之外，还可以应用频变高斯时间窗(Frequency-dependent Gaussian Window)。所谓频变时间窗(FDW, Frequency Dependent Window)，是其窗口宽度随频率反向变化，频率越大（越高），时间窗越小（越窄）。频变时间窗的宽度可以设为周期数(Number of cycles)或分数倍频程(Octave fraction)。如果宽度用周期数表示，那么某一特定频率下的时间窗长度（窗口的半振幅点之间的时间跨度）将是周期数乘以该频率的周期，例如，周期数为15的频变窗在1 kHz处的时间窗长度为 $15 \times (1/1000) = 0.015\text{s}$ ，即15ms。与周期数对应的分数倍频程，其作用类似于按照该分数倍频程做平滑(Smoothing)。二者之间的区别在于，频变窗在越高的频率，能够越有效地排除晚到的反射声的影响，而平滑(Smoothing)仅仅是简单的平均处理。频变时间窗更接近人耳从音箱获取高频直达声的方式。

如果勾选了**添加频变时间窗(Adding frequency dependent window)**，REW将首先应用常规时间窗（左窗和右窗设定），而后再应用频变时间窗。频变时间窗以参考时间为中心，为了获得最佳结果，时间参考一般是脉冲的峰值位置。

最小相位(Minimum Phase)

在关于均衡(EQ)应用的讨论中，尤其是在使用均衡来改善房间声学响应时，经常会谈论到“最小相位”。这个概念一般出现在关于EQ是否可以成功地用于解决某些声学响应问题的讨论时。那么什么是“最小相位”，我们为什么要关心它？

关于最小相位系统的构成，有严格的数学和系统论定义，但我在此不再重复定义。在声学测量的背景下，最小相位的系统具有两个重要特点：通过它的信号的具有最低时间延时，并且具有可逆性。

最小相位和时间延时(Minimum Phase and Time Delay)

“最低时间延时”关心的是系统在呈现所测的频率(SPL)响应的同时，其输出信号的各频率分量的延时量。我们可以直接在系统的群延时图中看到其延时特性。给定一个测量的频率响应，我们不能仅仅从SPL响应中判断被测系统是否具有“最小延时”特性。如果整个系统中的某个环节有时间延时，例如声音从扬声器传播到话筒所花费的时间，该延时将使系统表现为非最小相位（从术语的严格定义来说就是如此），而这个时间的延时不会影响其SPL响应。

时间延时导致随频率增加的相位偏移。例如，仅1ms的延时将导致100Hz处36°的相移，而10kHz的相移则达到3600°，因为1ms是100Hz信号10ms周期的1/10，但是10kHz信号0.1ms周期的10倍，一个周期即为360°。时间延时引起的相移与频率呈线性关系，依然以1ms为例，它在100Hz会造成36°的相移，而在两倍的频率会造成两倍的相移，在三倍的频率处会造成三倍的相移。如果频率轴是线性刻度，时间延时的相位图看起来像随着频率的增加而下降一条直线，它下降的幅度取决于延时的大小。

固定的时间延时使得理解相位响应变得困难，好在我们可以将整体的传播延时去除，并且这样的操作不会对应用均衡器造成任何问题。然而，仅仅消除时间延时及其相关效应还不足以使系统达到最小相位，还有更多工作要做。

最小相位和可逆性(Minimum Phase and Invertibility)

最小相位系统是可逆的，这意味着我们可以为系统设计一个滤波器，当它将产生平坦的幅度响应的同时，相位响应也得到校正。这对于我们应用EQ来说显然是一个很好的属性。如果我们将EQ应用于非最小相位系统，或者更具体地说，在非最小相位的区域，EQ就不会产生我们想要的结果——虽然有可能实现平坦的幅度响应，但是相位响应无法得到校正。因为这在原理上行不通。

系统响应呈现非最小相位的一个例子，是测量时的反射声信号和直达声信号一样大，甚至更大。如果房间存在多个不同反射面但反射路径相等时会造成反射声叠加，而曲面导致的声聚焦也会造成反射声的叠加。当直达声信号与反射声信号的振幅旗鼓相当时，我们会发现直达声和反射声有规律地在一定的频率间隔处相位相差180°。当直达声和反射声信号组合，结果是这些频率处的零振幅，这是在声学测量中经常遇到的梳状滤波效应的极端例子。

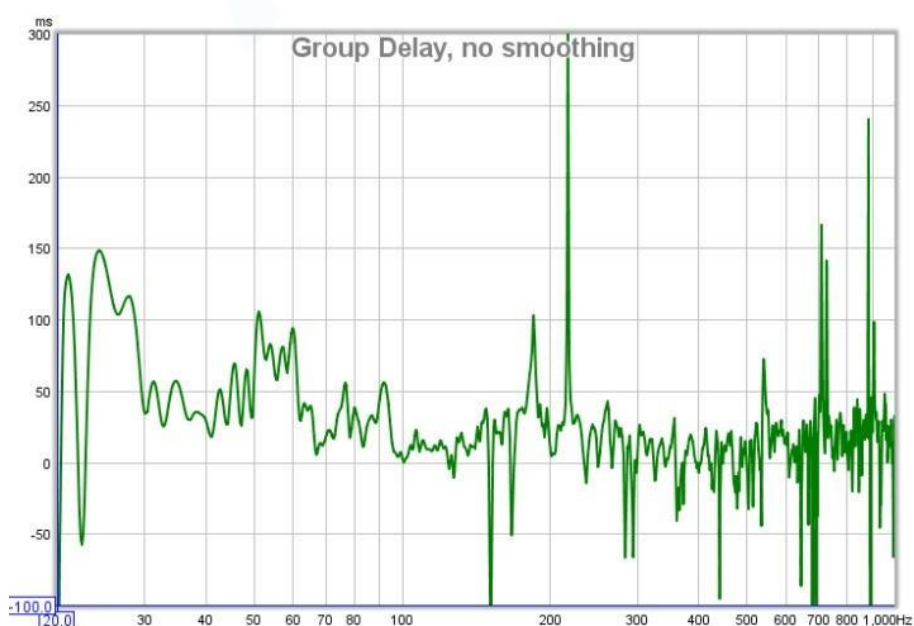
这种振幅的抵消不能通过任何EQ来恢复，因为EQ会同时影响直达声和反射声，因此二者仍会抵消。如果系统响应中有完全抵消的频段，则是不可逆的（不能用最小相位滤波器校正，译注），则该系统是非最小相位。如果反射声大于直达声，问题同样棘手，虽然不再有完全抵消的问题，但我们最终会遇到这种情况：即必须将EQ的量不断增大，以对抗更大的反射，这会让系统很快损失掉动态范围。

识别最小相位区域(Identifying Minimum Phase Regions)

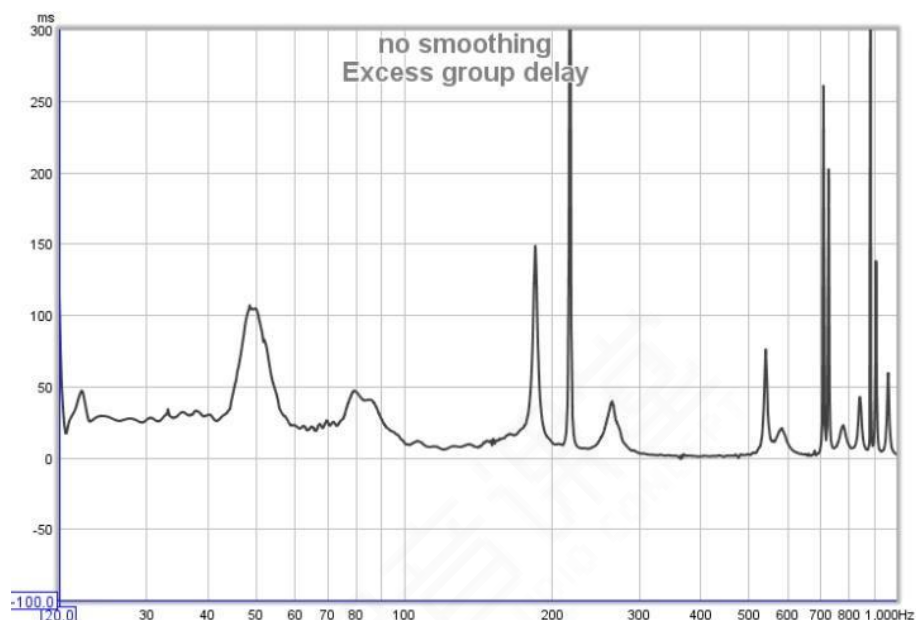
房间的声学响应是一个混合相位系统，这意味着有一些最小相位区域和一些非最小相位的区域。最小相位区域往往处于较低的频率，但我们不能简单地说响应在低于某个特定截止点以下是最小相位。从缠绕(Wrapped)相位响应中无法识别最小相位区域，特别是在测量中的时间延时还未被去除时。在线性频率轴上展开的(Unwrapped)相位响应能提供更多的线索，但通常其相位偏移值的跨度大，以至于使用起来不切实际。即使去除了测量中的任何时间延时，仅凭相位响应仍然不能让我们轻松识别最小相位区域。然而，还有一个简单的方法。以下是在一个房间中测量全频扬声器+超低扬声器的结果：



有人可能会大胆猜测，低于房间临界频率的很大程度上是最小相位，而在高于房间临界频率的则可能是非最小相位。但是为了避免猜测，我们可以看看群延时。群延时图向我们展示了每个频率被延时的程度——从数学上来说，它是展开相位图的斜率。因此，在相位线性下降的区域对应于恒定群延时区域（也就是该频率区域的时间延时是恒定的）。以下是测量的群延时图：



这让我们更接近事实，我们可以推测群延时剧烈波动的地方不是最小相位，但是它仍然不能让我们轻易地识别最小相位区域。为此，我们需要将测量结果与具有相同幅度响应、且是最小相位的系统响应进行比较，并查看测量的过量群延时(**Excess Group Delay**)。最小相位响应是根据测量的幅度响应计算得到的，这样做的依据是最小相位系统的幅度响应和相位响应之间固有的数学关系。通过分析实测相位和最小相位之间的差异，得到过量相位(**Excess Phase**)，再计算过量相位的斜率便能得到过量群延时，如下图：



这幅图对我们来说就非常友好了。过量群延时图中的平坦区域就是最小相位区域。我们可以看到，即使在非常低的频率，也有非最小相位区域，例如在大约44到56Hz之间。这些区域通常对应于幅度响应中尖锐的凹陷区域，如果试图用EQ提升这些区域，其结果往往不尽人意。另一方面，低频峰值通常在最小相位区域，图中在28Hz和60Hz峰值区域相当平坦，这对于尝试将EQ应用在这些频率来说是个好兆头。通常，幅度响应中的峰值是通过均衡可校正的（从技术上讲，它们是由于响应的极点造成的，均衡器可以放置零来取消极点）。

图中可见，在较高频率还存在最小相位区域，例如300-500Hz，这一频段的幅度响应起伏很大，而由于是最小相位区域，此处可施加EQ改善响应。但是，我们需要记住，该测量只对话筒位置有效，随着频率的增加，话筒位置的移动可能造成响应更大的变化。在初始测量位置看起来很好的EQ，可能会在其它位置会测出更差的结果，所以要考虑好听众会在哪些位置听音。在模态范围（房间模式）之外应避免使用窄带宽EQ，频率越高EQ调整应越宽，以避免EQ仅在非常小的听众区域适用。

除此之外，过量群延时图还清楚地显示超低音箱和主音箱之间存在时间差，超低的延时约为25ms，而从总群延时图来看，这一点并不明显。可见过量群延时图对于扬声器之间的时间对齐也很有用。

房间内非最小相位行为的常见原因

(A Common Cause of non-minimum Phase Behaviour in Rooms)

如果多个最小相位系统级联（串联连接），整个系统保持最小相位，因为系统总的传递函数就是的单个传递函数相乘，这保留了最小相位特性。根据前文关于可逆性的阐述，最小相位系统在任何地方都不会有零振幅，将非零值相乘不会产生零值。然而，将多个最小相位系统做加法，得到的典型系统响应并不是

最小相位。相加的系统的响应只有频率在幅度上相等而相位上相反，它们的总和将为零。我们以房间响应为例，我们测量到的房间响应可视为声音在房间中传播并从多个表面反射而产生的许多不同响应的总和。即使在最低频率也是如此，下面一小节我们详细说明。

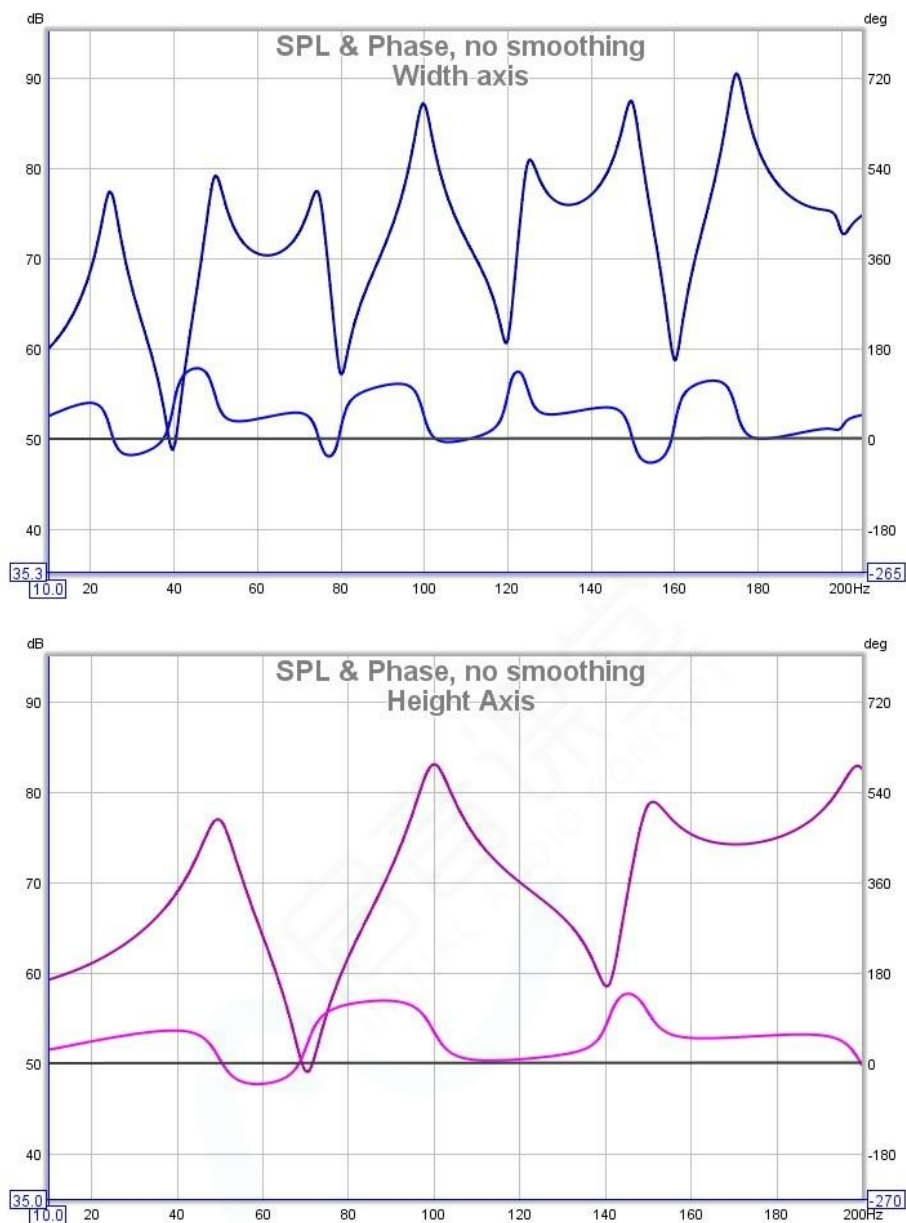
矩形房间中的轴向模式(Axial modes in a rectangular room)

为了提供一个简单的例子来说明房间内声音的总和如何表现为非最小相位（即使在低频亦是如此），我们可以分析一个完美的矩形房间里的轴向模式。这样的结果很容易模拟（此处使用了REW提供的简易模态模拟工具），因此我们能开展较为可控的响应研究。下面我们来观察一个尺寸为7.00x6.86x3.43m的矩形房间响应，由尺寸可知每24.5Hz会出现长度模式，每25Hz出现宽度模式，每50Hz出现高度模式。声源靠着前墙，离左墙0.25米，离地面0.15米。话筒距离后墙1.5米，距离左墙4.28米，距离地板1米。房间表面在所有频率下都有0.20的统一吸声系数。

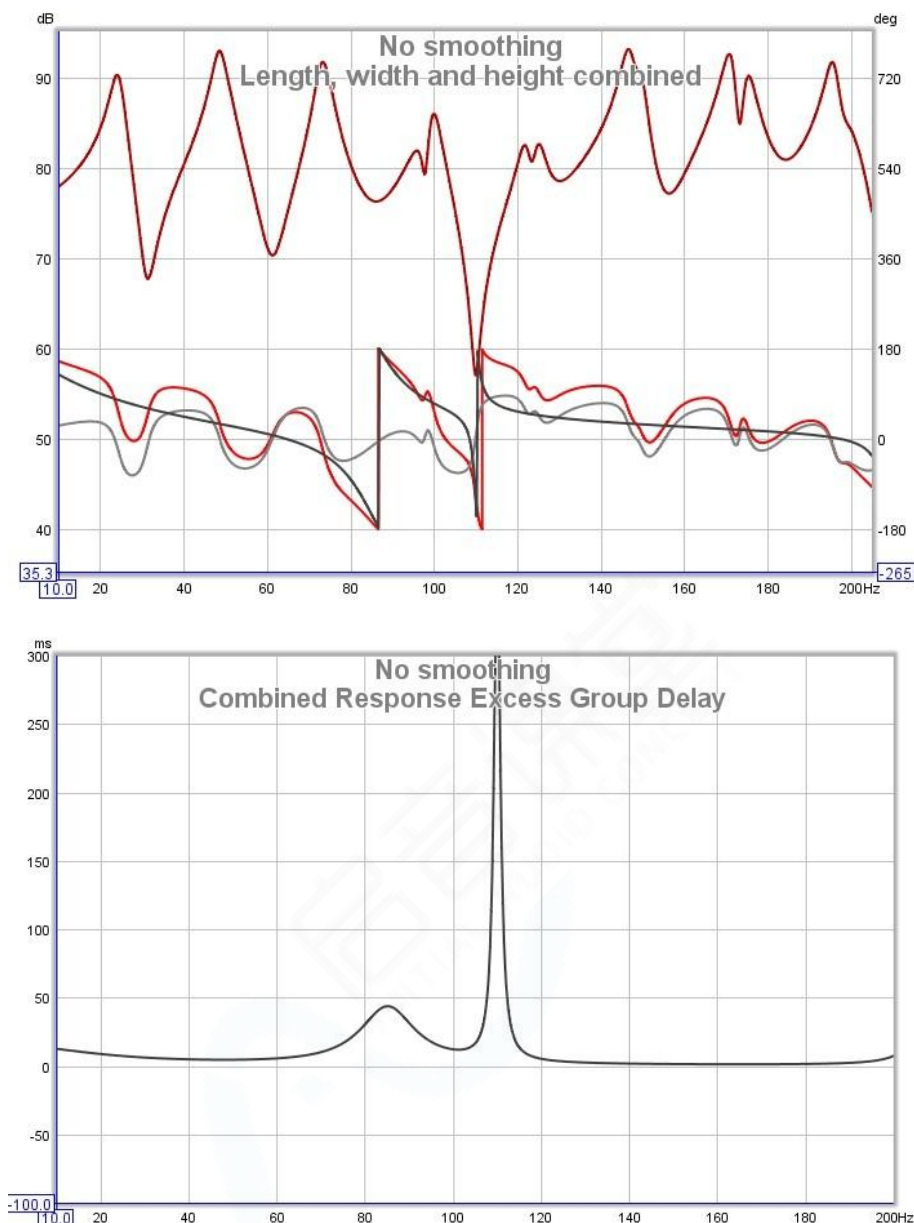
下方第一组图分别显示了每个轴的声压级响应和相位响应。所有都是完美的最小相位，因此过量相位曲线（黑色线）是平的，并保持在零。线性频率轴用于更清楚地分辨模态效应，因为模态效应在频率上是线性分布的。



最小相位(Minimum Phase)



下面看看他们的组合响应，图中灰色线显示最小相位，黑色为过量相位，后面是过量群延时图:



从过量相位曲线中能看出，组合的响应不再是整个频段的完全最小相位，而是在70-120Hz区域中急剧偏离。在110Hz时，在相位响应中出现急剧下降的地方，过量群延时则对应出现急剧峰值。试图在这个频率施加EQ以拉平响应的做法是愚蠢的。在非最小相位的区域做均衡通常达不到我们期望的结果。以EQ功能的角度来看，最好不要管这个频率。呈现非最小相位的频率区域也很可能随着位置的变化而变化，并且很容易受到房间内变化的影响，对于最小相位频率区域的响应，构成该频率处的总响应的任何信号变化，可能极大地改变该频率区的表现。从好的方面来说，无论房间是最小相位响应或非最小相位响应，房间内的宽频带声学处理都是有效的措施。

注意事项：在REW的EQ窗口中，预测EQ结果是将选用的滤波器加载到测量的脉冲响应而获得的，已经包含了非最小相位行为的影响，因此，它能准确地描绘在应用EQ后，同一测量点所能测得的结果。

为什么不能用EQ修复所有的声学问题？ (Why Can't I Fix All Acoustic Problems with EQ)

我们来讨论一个重要的问题：为什么EQ不足以解决声学问题？有很多产品声称能够纠正房间的反应，那么为什么还有人自讨麻烦去做房间声学处理，制作低频陷阱、吸收体这些装置呢？EQ是房间的技术拯救手段，对吗？

这些都是重要的问题，理解这些问题的答案对更好地理解声学有很大帮助。以下关于这些问题的回答可能有点技术性，但在大部分解释很通俗易懂的。要回答上述问题，我们将触及另外两个问题：

为什么相位很重要？

为什么我应该看时域信号，而不仅仅是频率响应？

EQ是做什么的？(What Does EQ do?)

作为起点，我们先看看均衡器能为我们做些什么。均衡器的基本功能是改变频率响应。我们试图用它来使响应中的所有频率相等——这解释了为什么它叫均衡器！有些时候，某些均衡器被描述为工作在频域，或工作在时域，或同时作用于时域和频域。事实上，所有的均衡器，无一例外，会同时作用于频域和时域。

应用EQ的限制是什么？(What are the limits of applying EQ?)

位置，位置，位置

在我们开始调整均衡器来改变频率响应之前，我们需要看到这个待调整的反应，所以我们需要进行测量。这就带来了第一个限制。测量是在单个位置进行的，而该测量的频率响应仅在该位置有效，将话筒移动到其他位置并进行再一次测量将产生不同的频率响应。不同位置的测量有可能相差不大，但通常更有可能是相差甚远。我们在扬声器系统的信号路径上设置的均衡器，对房间的任意位置都会发挥相同的作用。房间的反应随不同的位置而不同，而EQ则始终不变，毫无疑问，均衡器只有在频率响应与我们设置均衡器时依照的频率响应相同的地方才有好结果。看到一些EQ产品的花哨广告，你可能认为某些聪明绝顶的大神已经找到了解决这个问题方法，这种想法情有可原，但事实是并没有大神。你能做的最好的事情，就是在你要校正的区域，测量许多位置的频率响应，找出这些响应的共同问题，并由此得到一个折衷的EQ设置。这样的EQ令大多数区域有所改善，且应在其它区域不造成太大问题。这不失为一种办法，但不是灵丹妙药。

如果我只在一个地方听呢？

所以如果EQ只适合一个位置，而我恰好只坐在这个位置，有什么问题么？也有问题，因为很小的动作就会产生很大的差异。在高频，声音的波长非常短，20kHz波长只有17毫米，大约5/8"。高频频率响应在很短的距离内可能变化很大，所以即使你只坐在一个地方，岿然不动，你所能期待的就是将均衡器的工作频率设置到数千Hz。考虑到身体的合理的运动，这个数字很可能就要降到数百Hz。

为什么不能用 EQ 修复所有的声学问题？

分辨率(Resolution)

所以我们准备做出一些妥协。选择一个最佳位置，将EQ只设在数百Hz的低频部分，这是实际上会有很大帮助，而且在其它位置也适用。于是我们摆出均衡器，并开始调整。我们遇到的下一个问题，是调整的结果似乎总是不准确。假设频率响应在100Hz处出现6dB的“凹谷”，于是我们在100Hz做6dB的提升并调整其带宽，使其带宽与我们看到的凹谷匹配。但是频率响应几乎没有改变，尤其是在凹谷的中间。除了什么问题？问题可能是测量的分辨率。例如，如果您使用了1/3倍频程RTA（实时分析仪）来测量响应，那么100Hz的频率条实际上跨越了大约89Hz到112Hz的范围。6dB的凹谷可能是由于在这23Hz范围内更大幅度且非常窄的下降。你必须做一个高分辨率的测量来看看发生了什么，RTA不能胜任这项工作。

动态余量(Headroom)

我们抛开RTA，开始进行高分辨率测量。发现曲线看起来更糟糕，有很大的波峰和一些巨大的、狭窄的凹谷。我们在RTA里时看到的100Hz处6dB凹谷，实际上是位于98Hz的17dB深谷。没关系，均衡器能做高达24dB的提升。带着这样的EQ设置去聆听，会发现声音出现巨大的失真。我们已经用完了动态余量，随时可能发生削波。拉低音量或许可以避免削波，但是稍微偏离最佳位置，声音还是会变得更糟糕。响应中狭窄的凹谷对位置非常敏感，即使在非常低的频率下也是如此。对位置的敏感和系统对动态余量的要求，意味着我们不能用EQ来解决它们。我们最好能有节制地EQ，将其用来处理宽而浅的凹谷，或者拉平凸起的高峰。

最小相位和所有这些(Minimum phase and all that)

现在我们知道了均衡器最重要的局限。于是我们通过移动房间中的一些物体，增加一些吸收体，改善了频率响应中糟糕的凹谷。又经过艰苦卓绝的EQ调整后，终于使频率响应看起来比较平坦了。但声音听起来还是很糟糕。那么现在又是怎么回事呢？

接下来的讨论，技术性会更强，但值得坚持下去。除少数特例，均衡器是最小相位设备（有一些是线性相位，但这对我们面临的问题没有帮助）。当我们调整均衡器上的频率响应时，我们也会改变相位响应，这是测量中经常被忽视的一部分。

我们需要做一个简短的知识扩展，看看为什么我们要关心相位。

为什么相位很重要？

测量软件测量它所连接的系统的传递函数。传递函数有两个部分，即我们熟知的频率响应（幅度响应），和不那么熟悉的相位响应。

两个系统可以有相同的幅度响应，但实际上对通过它们的信号有完全不同的影响——不同之处在于它们的相位响应。为了说明相位差异的影响，我们看一个简单的例子：考察两类非常不同的测量信号——脉冲信号和周期噪声。这两个信号都有完全平坦的频率响应，从频率响应来看，我们无法区分它们。而在时域，我们很容易看出这是两个不同的信号，但是对信号做FFT得到频率响应时，这种差异消失了吗？这一切都隐藏在相位响应中。脉冲信号在所有频率都具有零相位。周期噪声具有随机相位。正如仅仅看频率响应不能告诉我们信号是什么样子，仅仅看传递函数的幅度响应不能告诉我们系统对通过它的信号做了什么，我们必须同时观察相位响应。

回到我们的现实问题，我们的系统已经具备平坦的幅度响应，仍然听起来不尽人意，答案可能在于相位

响应。房间响应在很大程度上不是最小相位，对这句话的技术解释可能无助于我们理解所面临问题，但这句话的结论是：我们虽然可以对幅度响应做我们想做的事情（在前文讨论的范围内），但是相位响应超出了均衡器的能力。我们在用EQ调整幅度响应时所做的任何调整，都会对相位响应产生相应的效果，我们对幅度响应的调整是为了校正房间的幅度响应，而对于相位可能就未必起到恰当的校正作用了。这就是我们说房间响应是非最小相位的意义，房间对信号相位的影响，是我们无法在EQ中做镜像补偿来校正的。只校正幅度响应而不管相位响应，意味着无法将信号还原成它未受房间影响之前的样子，不管我们花多少时间摆弄均衡器都无济于事，因为这个问题超出了均衡器能力极限。

查看时间信号的价值(The value of looking at time signals)

对这个事情的思考让我想起前文提及的一个问题，即不仅仅要关注幅度响应，还要重视时域信号的价值。幅度响应只是系统对通过它的信号所做处理的一半描述，相位响应是另一半。试图通过单独查看幅度响应来理解系统，就像试图通过只阅读偶数页来理解一本书。要真正理解系统响应，你必须同时看幅度和相位。然而，问题在于，幅度响应很容易理解，但是相位响应不会轻易告诉你它的秘密。为了正确应用相位响应，我们还不得不了解由其衍生的其它量，例如群延时或相位延时。事情似乎变得更复杂，好在还有另一个选择。

对于被测系统，有两种呈现方式：即频域上的传递函数（幅度和相位响应），或时域的脉冲响应。它们是对同一个系统的两个视角，传递函数是脉冲响应的FFT（快速傅里叶变换），脉冲响应是传递函数的反向FFT（快速傅里叶逆变换）。为了研究系统的行为以及它对信号的作用，我们可以同时从两个视角去观察。脉冲响应有一个好处，即它捕获了一个信号的所有信息，这使得它比传递函数略胜一筹，尽管它不如频率响应那么直观。它能提供一些在传递函数中不太容易发现的信息，例如早期反射或房间模式的缓慢衰减。这些优点值得我们花些时间熟悉脉冲响应和它的一些衍生量，例如脉冲响应包络，即ETC（时间能量曲线）。

EQ是否有帮助？(Does EQ help or not)

基于已经阐述的均衡器的限制，以及上文揭示的非最小相位问题，我们可能会怀疑均衡器是否有好处。当然，均衡器并非一无是处。房间的非最小相位行为与响应中的凹谷相关。这意味使用EQ并不能有效解决这个问题，当然这个问题我们原本就难有作为，不能归咎于EQ，所以情况并没有变得更糟。从好的方面来看，响应的峰值一般表现为最小相位，这是最小相位均衡器可以处理的区域。我们可以借助均衡器来驯服峰值，峰值所在的频率越低，可能获得的结果越好，这是对我们的声学处理的一个很好的补充工具，因为对低频的声学处理是非常困难的（我们很难跟尺寸大的低频作斗争）。总而言之，在处理声学问题时，EQ依然是很趁手的工具，但只能用于解决一小部分问题。

声压计(SPL meter)

REW声压计是一种集成式的、可记录的声级计，根据输入通道的RMS电平显示声压级、等效声压级或声暴露级。它提供A、C和Z三种计权方式，快速或慢速指数滤波器，抑制风噪声的高通滤波器，并可记录最小，最大和未计权的峰值声级。

声压计可将声卡和话筒校准文件纳入计算，并相应地校正其读数。当与校准话筒和SPL校准器一起使用时，能够达到IEC规定的0等级性能。请注意，校准文件包含的最大提升量受限于[分析首选项\(Analysis Preference\)](#)中的相关设置，以防止过度提高本底噪声。声压计录制的的数据，可以生成日志文件、绘制成图表并保存到文本文件中。

声压计读数可在声压级(SPL)、时间平均等效声级(L_{eq})和声暴露级(L_E)之间切换，通过读数窗口下方的按钮做选择。可为SPL读数选择应用不同的滤波器时间常数，F为快速响应(时间常数为125ms)，S为慢速响应(时间常数为1s)，通过F/S按钮切换。一般情况下，“慢速”设置是适用的。当HP按钮被按下，会加入一个高通滤波器，消除约8Hz以下的频率内容。



计权声压级(Meter Weighting)

SPL测量使用计权曲线来塑造它们接收到的信号，并强调那些感兴趣的频率区域以适应特定的应用需求。A和C计权曲线如下图所示。



C-计权给出了最宽阔的响应（除了“平直”、“零”或“Z”计权之外），其-3dB衰减点在31.5Hz和8kHz。A计权具有更明显的低频滚降。它是以耳朵对低声压级声音（约40dB SPL）的灵敏度为模型的。A计权具有与C计权相同的高频滚降形状，但是二者的曲线在高频不对齐，因为它们被按照1kHz=0dB做过调整，相对于C计权，A计权曲线向上移动了一点。

声压计显示(Meter Display)

声压级读数区显示当前选择的测量类型、声压级读数和过载(OVER)指示器，如果输入信号超出声卡动

态范围，过载指示器将亮起。过载指示器可通过在读数区单击或点击**Reset ALL（全部重置）**按钮进行重置。当选择声压级(SPL)时，读数区显示其单位dB，括号中的字母(A、C或Z)为选中的计权方式，F表示快速，S表示慢速。

当测量等效声级(L_{eq})时，它根据所选的计权显示为 L_{Aeq} 、 L_{Ceq} 或 L_{Zeq} 。测量声暴露级(SEL)时，根据所选计权显示为 L_{AE} 、 L_{CE} 和 L_{ZE} 。计算等效声级和声暴露级数值的时间显示在仪表底部的Elapsed Time（运行时间）中。请注意，等效声级对于测量超低频的声压级非常有用，由于低频信号波动较大，因此比较难测量，此时可采用处理器或合并放大机的内部校准信号。等效声级显示最后一次按下**Reset ALL（全部重置）**之后的时间平均结果。开启测试信号，按下**全部重置**，等待读数稳定下来，就能获得准确的声压级读数。

声压计窗口可根据需要调整大小，主读数区的数字大小会自动缩放以适应可用空间。声压级面板也可以设置为全屏。



在主要控制按钮一栏的下方是一个电平表，以dBFS显示当前声卡输入电平，红色条表示峰值，而数字和彩色条显示RMS电平。



电平表的下方是一个**MinMax（最小值最大值）**按钮，控制在读数区是否显示声压级最小值、最大值和峰值，还有一个**RESET ALL（全部重置）**，用以重置运行时间、最小值、最大值和峰值，等效声级、声暴露级和过载指示器。**Calibrate（校准）**按钮可开始执行校准步骤，而记录按钮（红色圆点）用于打开或关闭声压计。选择MinMax后，相关数值将显示在主读数旁边。



声压计输入选择(Meter Input Selection)

在[声卡首选项](#)中，可以选择用于声压级测量的声卡输入通道。具体设置方法在[开始使用REW](#)章节中有详细说明。

校准声压计读数(Calibrating the SPL Reading)

只有在完成声压计校准之后，我们才能读到有意义的声压级数值。点击**Calibrate（校准）**，可借助外部的声压计或者声压级校准仪对REW的声压计读数做校准。如果声压计未经校准，则按钮上的文本和声压级读数为红色。如果在REW声卡首选项中声卡输入被更改，或者更改了输入电平，则有必要重新校准声压计读数。

SPL数据记录(SPL Data logging)

Logger（记录器）按钮将打开声压级记录器图像窗口。声压级记录器图像右上角的记录按钮（红色圆点）可开始或停止SPL数据记录。当记录器正在运行时，声压计开/关、校准、计权、滤波器时间常数和高通滤波器按钮被禁用。记录器将按照当前选择的计权和滤波器时间常数来记录声压级最小值和最大值、未计权和未校准的峰值、等效声级和声暴露级。声压级记录器图像区上方的**Save**（保存）按钮用于将记录数据保存到文本文件中，在**File**（文件）菜单下的**Set Text Delimiter**（设置文本分隔符）选项中可设置文本的保存方式。点击**Open**（打开）按钮，可加载以保存的声压级记录数据。

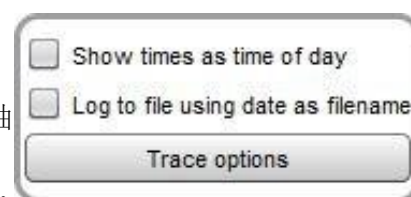
声压级记录器控制(SPL Logger Controls)

声压级记录器图像区的控制面板具有以下控制：

勾选**Show times as time of a day**（以一天的时间显示时间），则时间轴刻度为一天的自然时间，否则会显示自记录开始以来的运行时间。勾选

Log to file using date as filename（使用日期作为文件名记录到文件），

当记录器运行时，其记录的数据自动保存到REW logs目录中的文件（目录位置显示在**关于REW**对话框）。文件将遵循SPL-年-月-日.txt的格式命名，例如SPL-2016-Apr-24.txt。如果同一日期已经存在记录文件，则会在文件名中附加一个序号，例如SPL-2016-Apr-24-1.txt，SPL-2016-Apr-24-2.txt等。如果记录时间跨过午夜，将使用新日期创建新文件。请注意，如果记录持续很长时间，文件可能会变得非常大，文件尺寸大约以每分钟18kB的速度增长。如果选择了**Log to file**（记录到文件）选项，请注意检查REW记录文件目录，以删除不再需要的文件。



按下**Trace Options**（曲线选项）按钮会弹出一个对话框，此处可更改图像中曲线的颜色和线型。如果进行了更改，它将应用于该图像区显示的所有测量。曲线也可以隐藏，这将从图像和图像图例中删除它们。

记录数据的格式如下所示，在本例中，文本分隔符为逗号，声压计设置为Z计权。

REW V5.19保存的SPL记录数据

注意：包括最后一分钟和最后10分钟的Leq

Soundcard cal:

Mic/meter cal:

SPL cal offset:

104.85347938537598 dB

High Pass Filter:off

Date:16-Jul-2018 17:43:10

Start:1531762990157

Log length:7061 entries over

1311.6s

Log interval:0.18575963718820862s

Time[s], LZS, lzsin, LZSMax, LZpeak, LZeq, LZE, LZeq1m, LZeq10m

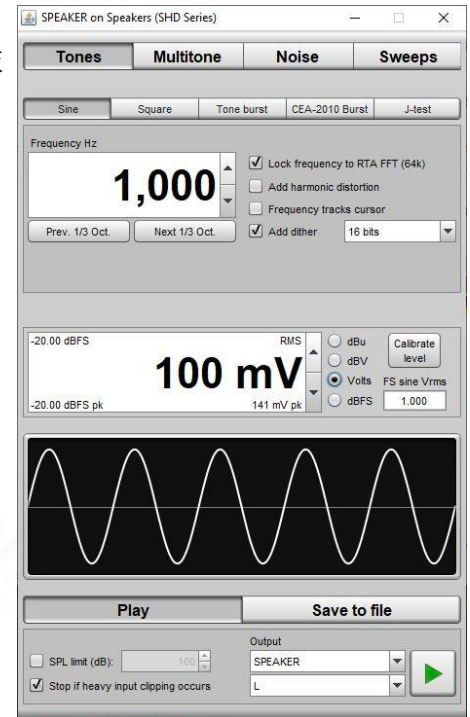
声压计(SPL meter)

0.186	84.7	84.7	84.7	95.1	84.6	77.3	84.6	84.6	17:43:10.186
,	,	,	,	,	,	,	,	,	
0.372	84.7	84.6	84.7	96.1	84.7	80.4	84.7	84.7	17:43:10.372
,	,	,	,	,	,	,	,	,	
0.557	84.6	84.6	84.7	96.1	84.5	82.0	84.5	84.5	17:43:10.557
,	,	,	,	,	,	,	,	,	
0.743	84.7	84.5	84.7	96.1	84.6	83.3	84.6	84.6	17:43:10.743
,	,	,	,	,	,	,	,	,	
0.929	84.7	84.5	84.7	96.1	84.6	84.3	84.6	84.6	17:43:10.929
,	,	,	,	,	,	,	,	,	

信号发生器(Signal Generator)

REW的信号发生器将包括四种型号类型：**Tones**（音调），**Multitone**（多音调），**Noise**（噪声）和**Sweep**（扫频）。在这四大类别下，依次提供以下信号类型：

- Sine Waves（正弦波）
 - ◆ 可选加入谐波失真
- Square Waves（方波）
 - ◆ 可变占空比
- Tone Burst（骤发音）
 - ◆ 0.5到100个循环的加窗骤发音调
 - ◆ 骤发音循环
- CEA-2010 Burst（CEA-2010 Burst骤发音）
 - ◆ 6.5周期Hann-窗口骤发音
 - ◆ 骤发音循环
- J-Test（抖动测试）
 - ◆ 抖动测试信号，主要成分为1/4采样率
- Dual tone（双音）
 - ◆ 用于SMPTE，DIN，CCIF和用户自定义测试
- Triple tone（三音）
 - ◆ Borberly，Cordell，Klingenberg和自定义
- Quad tone（四音）
 - ◆ Klingenberg和自定义
- Multitone（多音）
 - ◆ 线性、八度、十倍频和“无间谐波失真”间隔
- Pink and White Random Noise（随机粉红噪声和白噪声）
 - ◆ 全频段（频谱低于10Hz）
 - ◆ 自定义滤波器（仅适用粉红噪声）
 - ◆ 扬声器校准
 - ◆ 超低音箱校准
 - ◆ CTA-2034滤波
- Pink and White Periodic Noise（周期粉红噪声和白噪声）
 - ◆ 匹配RTA FFT长度
 - ◆ 全频段（频谱低于10Hz）
 - ◆ 自定义滤波器（仅适用粉红噪声）
 - ◆ 扬声器校准
 - ◆ 超低音箱校准
 - ◆ CTA-2034滤波

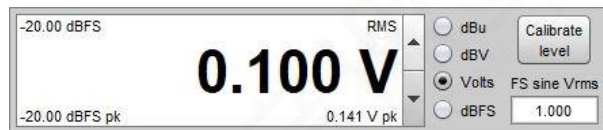


- Sine Sweeps (正弦扫频)
 - ◆ 线性扫频
 - ◆ 对数扫频 (同步, 谐波具有与基波相同的相位)
 - ◆ 循环重复扫频

- Measurement Sweep 测量扫频
 - ◆ REW对数测量扫频

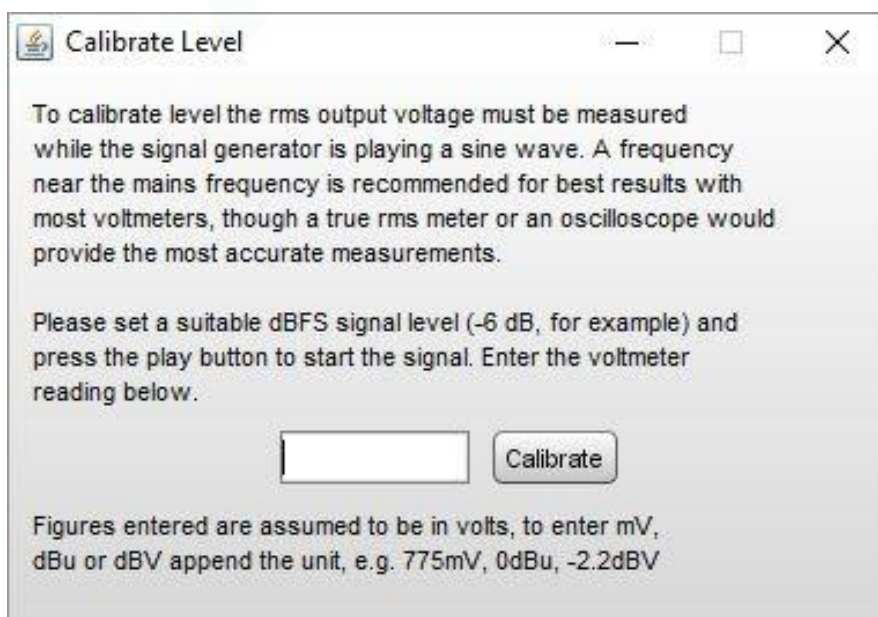
RMS信号电平(RMS Signal Level)

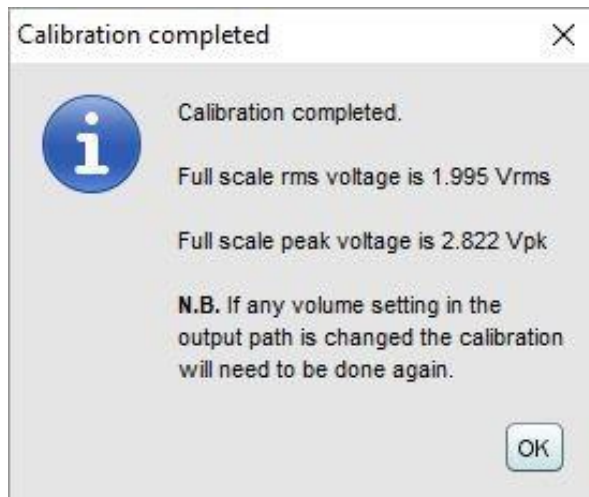
REW可设置上述各类信号的RMS电平, 以数字满刻度为参考, 设置精度为0.01dB。可选电平单位有dBFS、dBU、dBV和Volts。RMS电平显示窗旁边的上下箭头按钮, 以0.1dB为步进更改数值, 也可以在电平框中输入任何想要的值。该值将根据所选单位进行转换, 例如, 在电平输入控制中输入775mV, 而选择单位为dBU, 该数值自动转换为0dBU, 选择单位为dBV, 则自动换算为-2.2dBV。在dBFS以外的单位模式中, dBFS值会显示在电平控制窗的左上方。



[View setting for full scale sine \(满刻度正弦波视图设置\)](#) 选项用于决定将峰值达到数字满刻度的正弦波的RMS电平分配为0 dBFS (AES定义) 或-3.01 dBFS (数学上更正确)。

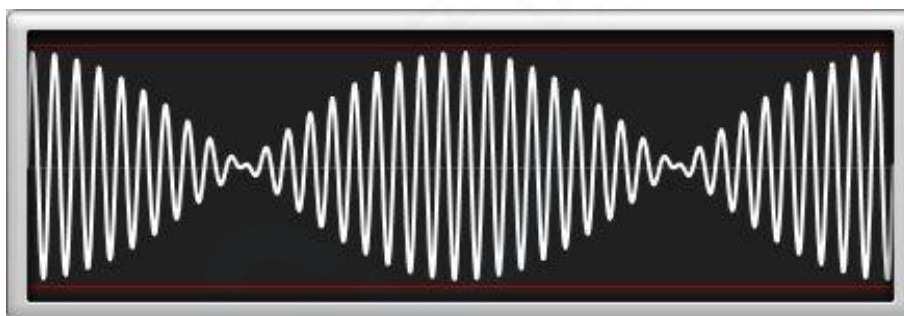
点击Calibrate level (校准电平) 按钮, 可以对输出电平进行校准。要校准电平, 应播放正弦波信号, 并使用万能表或示波器测量产生的RMS电压, 然后将数值输入校准对话框。万能表往往在市电频率附近的测量结果最为准确。输入电压读数后, 将显示相应的满刻度电压 (RMS值和峰值)。如果所用设备的输出大小是已知的 (应考虑任何音量控制设置), 可以直接将数值输入到**FS sine VRMS**下面的文本框中。





波形预览 (Waveform Preview)

在电平控制下方显示的是信号波形的预览。预览会根据输出的大小自动缩放，如果输出接近数字满刻度，满刻度限制将在显示窗口顶部和底部显示为红线。

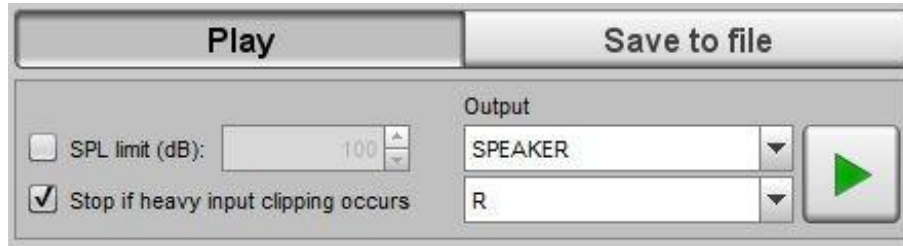


超过数字满刻度的信号会导致波形显示变为红色并显示警告。



输出 (Output)

在前面的[开始使用REW](#)章节，已经阐述了如何设置音频输出设备。在信号发生器的播放面板中，可以指定信号的输出通道。使用Java驱动程序时，也可以选择任一通道作为信号输出通道，也可为立体声信号指定两个输出通道。如果采用了环路连接作为时间参考（通过测量对话框上的时间参考选择），信号发生器的输出将被发送到选定的输出和时间参考输出。

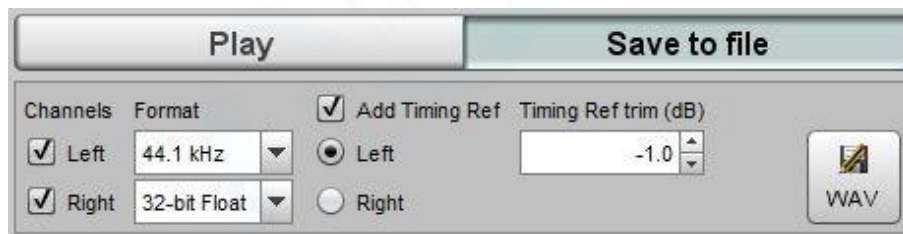


保护 (Protections)

信号发生器有两种保护机制，以避免产生过大的电平。**SPL limit（声压级限制）**框中可设置声压级上限，如果输入声压级超过设置的上限信号发生器就会停止。勾选**Stop if heavy input clipping occurs（输入严重削波时停止）**，如果超过30%输入信号样本高于削波阈值，信号发生器将会停止。**注意**，只有REW输入在运行是，这些保护机制才能起作用，这意味着声压计、电平表或RTA必须处于使用状态。

将信号保存到WAV文件 (Saving signals to WAV files)

信号可以保存到一个立体声波形文件中，选定信号可以保存到立体声的一个或两个声道。不同类型信号的保存选项有所差别，比如，对于正弦波可设定文件持续时间，而对于骤发音调可设置重复次数。文件中的信号电平按照信号发生器的RMS电平设置。面板中可选择采样率和位深。如果保存测量扫频，建议勾选包含时间参考的选项。测量扫频文件在测试信号开始前加入了2-3秒的16位抖动(dither)，以便回放设备锁定到信号源。请注意，REW测量扫频信号可能会因软件版本有所差异，因此请始终用分析捕获响应的REW版本来生成扫频。



正弦波(Sine Wave)



可以生成的正弦波频率范围从1.0Hz开始，直至声卡采样率的一半，例如，对于以48kHz工作的声卡，扫频上限为24kHz。通过在频率框中输入一个值来控制信号频率，或者使用其右侧的上下箭头来调整，在

200Hz以下，调整步进为0.5Hz，在200Hz以上，调整步进为1Hz。如果勾选了Lock Frequency to RTA FFT（将频率锁定到RTA FFT）选项，则当型号发生器正常运行时，已生成的实际频率将显示在频率框的右上角，这通常与输入的频率数值略有不同。**Prev. 1/3 Oct**（前1/3倍频程）和**Next 1/3 Oct**（后1/3倍频程），可将信号频率移动到相邻的1/3倍频程的中心频率。

锁定频率到RTA FFT (Lock frequency to RTA FFT)

当勾选**Lock Frequency to RTA FFT**（将频率锁定到RTA FFT）时，发生器频率将根据当前RTA FFT长度调整到最近FFT间隔中心（意味着信号在FFT长度内是周期性的）。因此可以给RTA图应用矩形FFT窗，以实现最大的频谱分辨率。FFT长度会显示在括号中。当信号发生器运行时，产生的确切频率显示在频率显示的右上角。

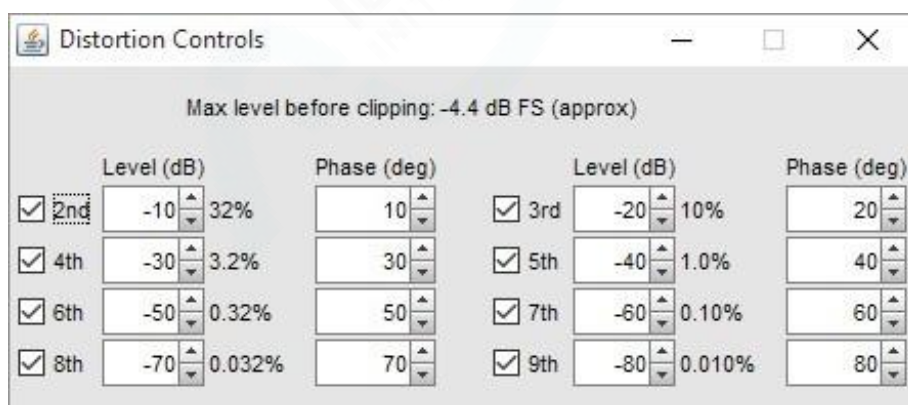


频率跟随光标 (Frequency Tracks Cursor)

勾选**Frequency Tracks Cursor**（频率跟随光标）选项，信号发生器的频率就能跟随图像区光标所在位置的频率，并将随着光标频率的移动而改变——变化是平滑的，不会发生相位不连续。

添加谐波失真 (Add Harmonic Distortion)

当勾选**Add Harmonic Distortion**（添加谐波失真）复选框时，会弹出一个窗口，用于控制从2次谐波直至9次谐波的电平和相位。通过复选框可启用或禁用每个单独的谐波。其电平是相对于基波电平而言的，以dB为单位，对应的等效百分比值显示在右侧。谐波控制区上方显示了当前谐波设置在输出削波前的最大可用信号电平。请注意，软件只会生成在当前采样率支持的频率范围内的谐波。信号预览将包括任何设置失真成分。

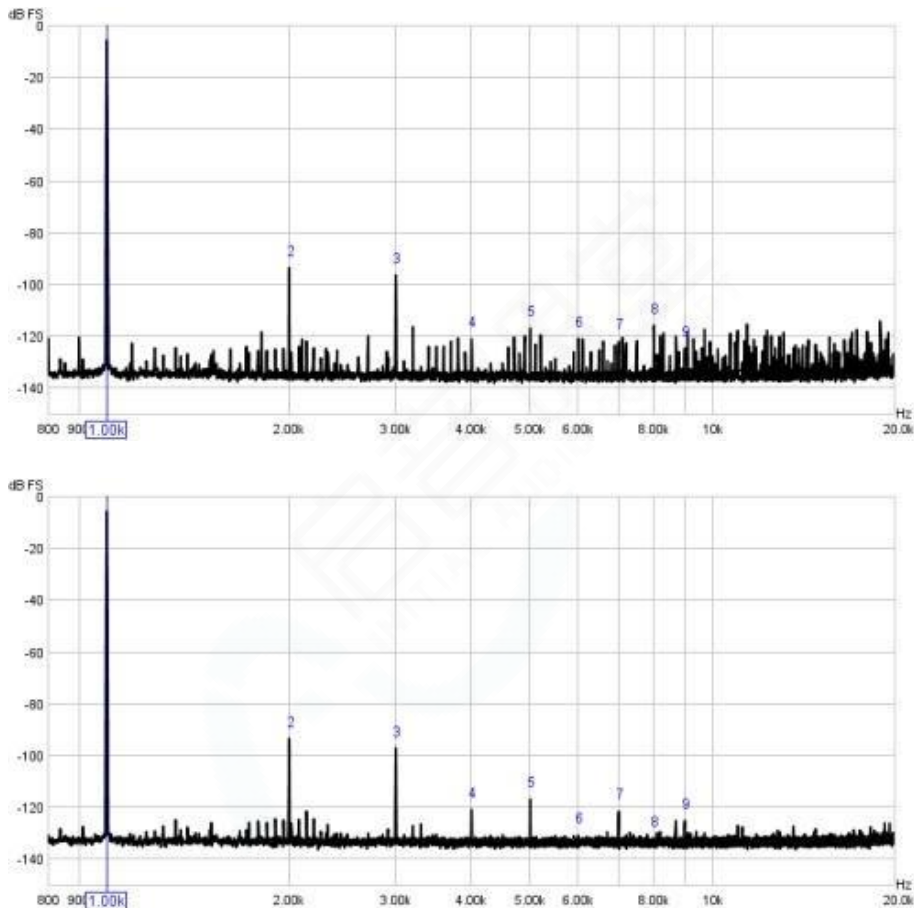


谐波对话框也可以用来合成基波和谐波信号，例如合成近似方波（叠加奇次谐波）或下图中的极性测试信号，它仅使用了基波和大小0dB、相位为-90°的二次谐波。

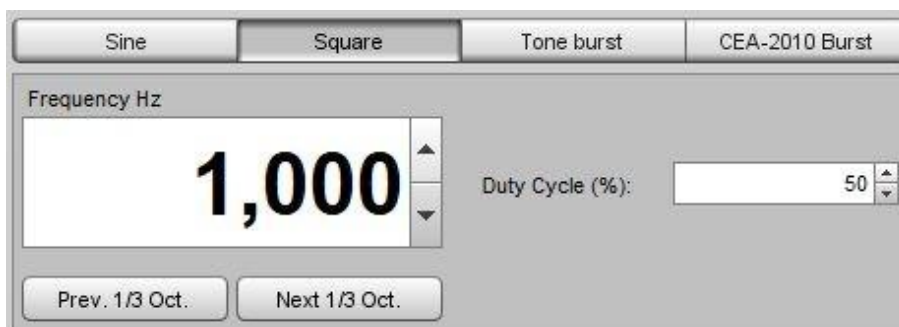


添加抖动 (Add Dither)

勾选**Add Dither**（添加抖动）复选框，信号发生器将在输出中加入2 lsb pk-pk三角抖动以去除量化噪声尖峰。添加抖动的级别由复选框右侧的样本宽度选择器控制。**特别注意，使用Java驱动程序时，Windows上的音频数据限制为16位精度。**如果要对电子设备（如接收器、处理器或均衡器）进行非常精确的失真测量，添加抖动是有益的。在进行声学测量时通常不需要，因为它所去除的量化人工噪声远低于声学环境噪音。下图显示了在声卡的环路测试，抖动选项在-6dBFS下播放1 kHz音调的效果。第一幅图没有添加抖动，第二幅图有抖动。抖动的添加清除了-120 dBFS以下明显的大部分噪声，特别是在高频时，使得真正的谐波失真更加明显。

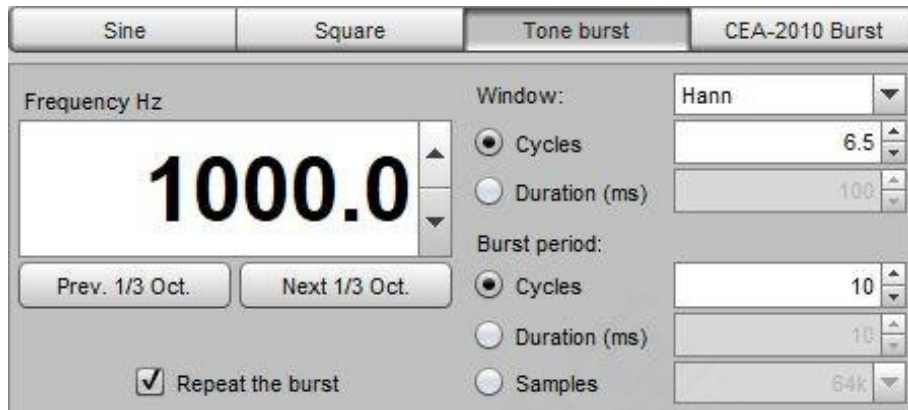


方波 (Square Wave)



发生器生成的方波占空比在1%—99%之间可调，以1%为步进。实际产生的信号频率会被适当调整，以确保周期中有偶数个样本，从而使50%占空比方波的频谱只有奇次谐波。当信号发生器运行时，已经生成的实际频率显示在频率框的右上角，在较高频率，这可能与输入的频率值有明显偏差。

骤发音 (Tone Burst)



骤发音会在指定频率产生指定周期数的加窗骤发音调。

勾选**Repeat the burst**（重复骤发音）复选框，骤发音将在指定长度内重复。该长度可以用周期数(Cycles)、持续时间(Duration,ms)，或样本数的形式设定。如果使用矩形RTA窗口，选择与RTA FFT长度相同的样本数量，就能得到稳定的信号频谱显示。**Prev. 1/3 Oct**（前1/3倍频程）和**Next 1/3 Oct**（后1/3倍频程），可将信号频率移动到相邻的1/3倍频程的中心频率。

CEA-2010骤发音(CEA-2010 Burst)

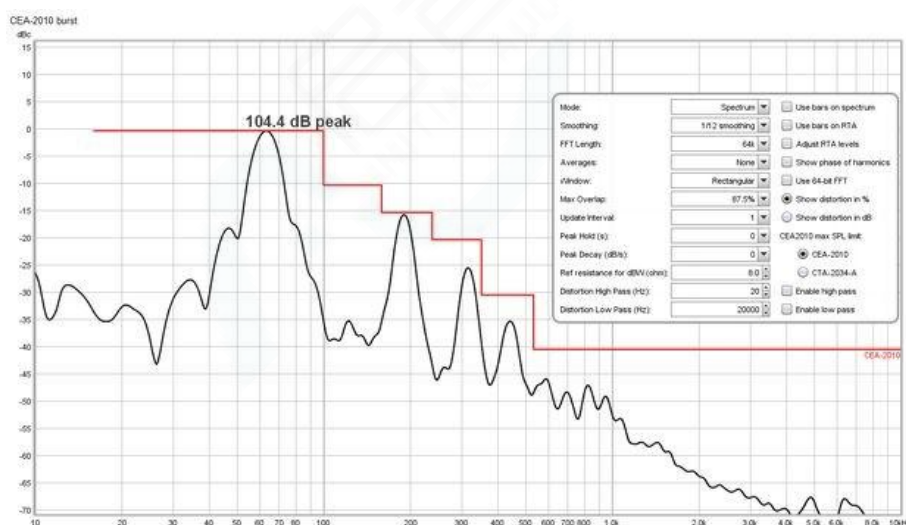


CEA-2010骤发音发生器可在指定频率产生6.5个周期的加Hann窗的骤发音。该信号用于测试超低音箱的最大功率输出，通过在频谱模式下使用RTA来观察信号播放时产生的失真分量的等级，通常测试63，50、40、31.5、25和20Hz。该信号也用于测试扬声器在CTA-2034-A条件下的最大声压级，在20Hz到5kHz频率范围，以1/3倍频程中心频率做测量。CEA-2010对失真分量的限制如下表所示，表中f0是测试信号频率。

起始频率 (Hz)	结束频率 (Hz)	极限 (dB)	备注
16	$1.59 * f_0$	0	基频
$1.59 * f_0$	$2.52 * f_0$	-10 (32%)	2次谐波
$2.52 * f_0$	$3.78 * f_0$	-15 (18%)	3次谐波
$3.78 * f_0$	$5.61 * f_0$	-20 (10%)	4次和5次谐波
$5.61 * f_0$	$8.50 * f_0$	-30 (3.2%)	6-8次谐波
$8.50 * f_0$	10 k	-40 (1%)	高次谐波

勾选**Repeat the burst (重复骤发音)**复选框，骤发音将以不小于1秒的间隔重复，（实际间隔与RTA块长度对齐）。**Prev. 1/3 Oct (前1/3倍频程)**和**Next 1/3 Oct (后1/3倍频程)**，可将信号频率移动到相邻的1/3倍频程的中心频率。

基波的最高电平会高于谐波的限制电平，也是该测试频率下的最大输出水平。按照CEA-2010规范，限制的参考电平是测试频率3 Hz内的最大电平，而CTA-2034-A则规定为测试频率1/3倍频程范围内的最大电平。当CEA骤发信号正在播放时，将RTA置于频谱模式，则RTA中将显示测试频率的极限，同时显示峰值电平的曲线。如果电平超出限制，峰值线将显示为红色。



如果CEA-2010信号的RTA数据保存为测量值，则其峰值曲线和限制曲线将显示在SPL&Phase图中。CEA-2010测试频率和峰值电平数值将被记录在测量注释中。

对于44.1kHz或48kHz采样率，推荐的RTA设置为：

Mode:	Spectrum	<input type="checkbox"/> Use Bars on Spectrum
Smoothing:	Smooth 1/12	<input type="checkbox"/> Use Bars on RTA
FFT Length:	65536	<input type="checkbox"/> Adjust RTA Levels
Averages:	None	
Window:	Rectangular	
Max Overlap:	93.75%	
Update Interval:	1	

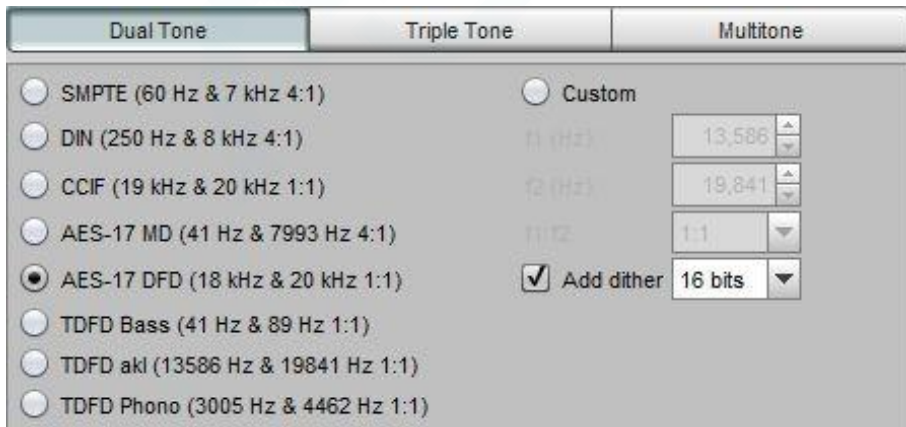
对于88.2kHz或96kHz，使用128k(131,072)的FFT长度。有关测量步骤的详细信息，请参考CEA-2010或CTA-2034-A标准，或在互联网上搜索指南。

J-检测 (J-test)



抖动测试(Jitter Test)信号包含一个频率为四分之一采样率、振幅为1/2满刻度电平的方波，调制一个频率为1/192采样率、在24位等级0和-1 lsb之间交替的方波。这个信号不是通过扬声器重放的，它是非常高电平和高频率的，可能会损毁高音扬声器。请注意，windows上的Java驱动程序仅支持16位数据，操作系统在输入上添加抖动(dither)，因此分析Windows上的信号需要ASIO驱动程序。

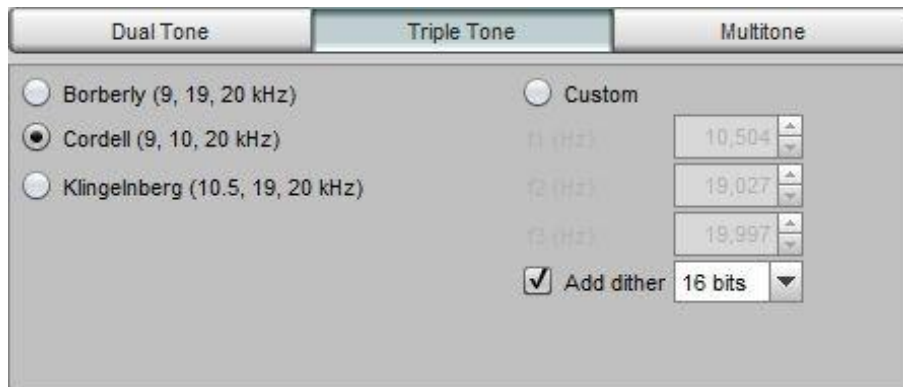
双音 (Dual Tone)



双音发生器是为了方便互调失真测量。它具有AES17-2015，SMPTE，DIN，CCIF和TDFD信号的预设，并允许以1:1或4:1的比率生成自定义信号。请注意，要获得有效的互调失真测量，自定义信号的f2必须高于f1。组合信号的RMS电平为信号发生器的实际RMS电平，但是双音信号比单音信号具有更高的峰值因数，1:1信号的削波电平将比正弦波低3 dB（峰值因数6 dB），而4:1信号的削波电平要比正弦波低1.7 dB（峰值因数4.7 dB）。

当使用双音信号时，RTA可以显示互调失真的数值和各种互调分量的电平。

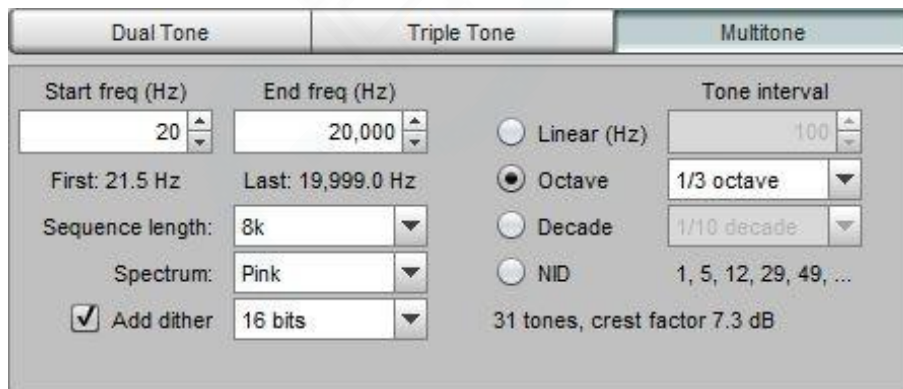
三音 (Triple Tone)



三音发生器为互调失真测量提供了额外的激励频率。它包含根据Borberly, Cordell和Klingenberg制作的预设, 并可生成自定义信号。所有音调具有相同的电平。组合信号的RMS电平为信号发生器RMS电平, 但是三音信号比单音具有更高的峰值因数, 因此该信号将比正弦波提前4.8 dB削波 (峰值因数7.8 dB)。关于这些信号的讨论见Klingenberg, Arndt的论文 *Non-linear distortion revisited*, 发表于第29届Tonmeistertagung, VDT国际会议, 2016年11月。

当使用三音信号时, RTA可以显示总失真+噪声(TD + N)百分比数值。

多音 (Multitone)



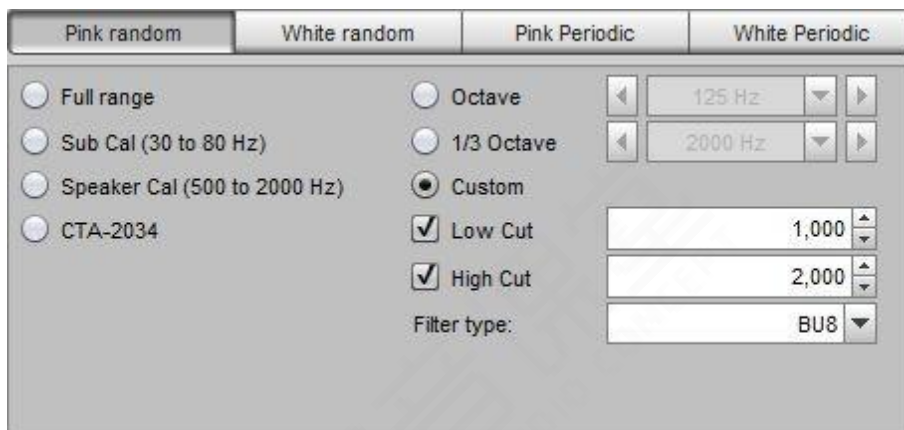
多音发生器在定义的频率跨度上产生多个音调。音调之间的间隔可选择线性(Linear)、对数或NID序列。选择对数间隔需指定间隔的分数倍频程(Octave)或分数十倍频(Decade)。NID (无简谐波失真, No Interharmonic Distortion) 序列是指序列中的音调, 均不对应于其它音调的低次谐波或简谐波产物。分数倍频程间隔使用推荐列表中的频率。在所有情况下, 音调都被放置在所选序列长度的FFT的间隔(bin)中心, 因此, 可以使用矩形窗、以不小于该序列长度的FFT来观察待测系统的行为。

调整多音序列中音调的相位, 以最小化信号的峰值因数。对于线性间隔音调, 其音调序列的峰值因数通常低于5dB。对数间隔和NID音调的峰值因数可能有12dB或更大。峰值因数会显示在面板上。请注意, 这是由软件生成的信号的峰值因数, 经数字-模拟转换期间, 峰值因数可能会增加。削波前的最大RMS电平为3减去峰值因数, 例如, 对于9dB峰值因数, 最大RMS电平为-6 dBFS (视图选项中需勾选**满刻度正弦RMS为0 dBFS**, 否则要再低3 dB)。然而为了避免后续设备削波, 最大RMS电平可能会设置为更低的值。

多音序列的频谱特性可选为白色（等振幅）或粉红（每十倍频衰减10dB）。粉红频谱序列通常具有低得多的峰值因数，推荐用于扬声器测试。白色频谱是测试电子设备的标准，它在高频的能量比粉红噪声多得多，在高电平时可能会损坏高音扬声器，因而不建议用于扬声器测量。

当使用多音信号时，RTA可以显示总失真 + 噪声 (TD + N) 的百分比数值。如果FFT长度是信号长度的两倍以上，还能显示信噪比 (SNR)数值。

随机粉红噪声和白噪声 (Pink & White Random Noise)



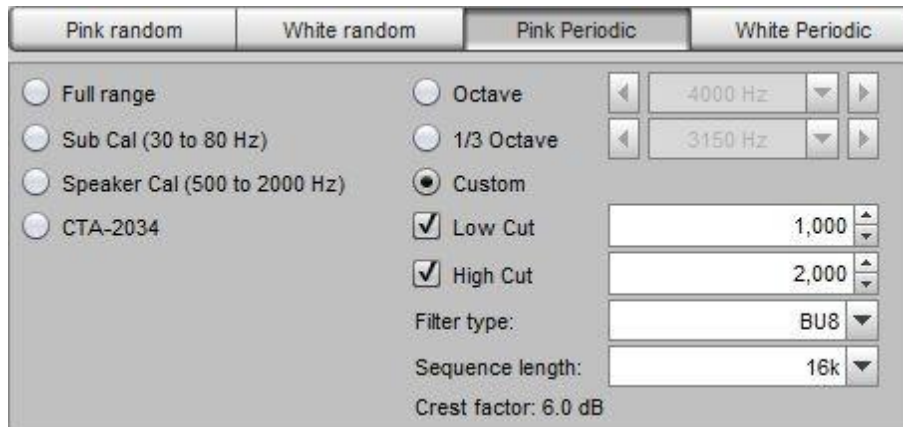
粉红噪声是由白噪声经滤波得到的。白噪声通过一系列一阶滤波器的计权总和产生的-10dB/十倍频滤波器，便得到了粉红噪声。该方法由Paul Kellet大约在1999提出。在44.1kHz采样率下，该方法在9.2Hz以上规定的精度在0.05dB以内。

选择Full range（全频段），滤波后得到的粉噪被直接输出，具备最宽的带宽和最大的低频内容。Speaker Cal（扬声器校正）选项采用2阶滤波器（40 dB/十倍频，12 dB/倍频程），选择频率范围在500Hz和2 kHz之间，以1 kHz为中心的信号。Sub Cal（超低频校正）选项应用30Hz-80Hz的滤波器。两者基本符合THX测试信号建议。CTA-2034滤波根据ANSI/CEA-2034-A家用扬声器的标准测量方法进行了波形修整。Octave（倍频程）和1/3 Octave（1/3倍频程）选项可分别生成指定中心频率、对应带宽的信号。Custom（自定义）滤波可任意设置滤波器的低频和高频截止频率，带宽不小于1/3倍频程。滤波器类型为Butterworth高通和低通，可选择2阶(12 dB/倍频程) 至8阶(48 dB/倍频程) 的滤波器阶数。

REW自动调整各种选项和滤波器设置的信号电平，以便信号RMS值反映RMS电平设置。请注意，由于粉红噪声具有随机变化，在RMS电平高于-12 dBFS时，就可能发生部分峰值削波（如果在视图首选项中选择了满刻度正弦为0 dBFS，则粉噪的RMS电平不应高于-9dBFS）。

白噪声在高频能量比粉红噪声多得多，可能会损坏高音扬声器，不建议用于扬声器测量。

周期性粉红噪声和白噪声 (Pink and White Periodic Noise)

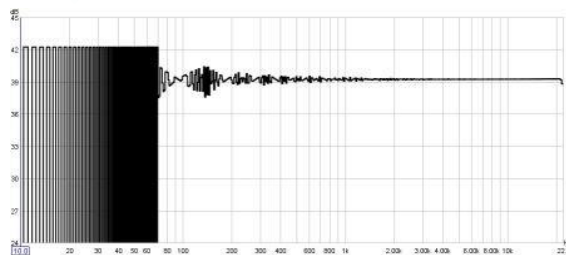


周期噪声 (Periodic Noise,PN) 序列非常适合用于实时分析仪 (RTA)和频谱分析。它们包含分析仪可以解析的每个频率，其序列长度与分析仪的FFT长度相匹配。其最大的好处是不需要任何平均或加窗就能产生所需的频谱形状，因此，相对于使用随机噪声进行测试，使用周期噪声时分析仪对系统变化的响应要快得多，这使得它们非常适合用于EQ的实时调整。REW生成的周期噪声序列被优化为在全频段的峰值因数（峰值电平与RMS电平的比率）不超过6 dB，带宽较窄的序列峰值因数应小于6.5 dB。根据相关规定，CTA-2034滤波噪声的峰值因数为12 dB。使用RTA测量时建议使周期粉红噪声，使用频谱分析仪测量建议使用周期白噪声。

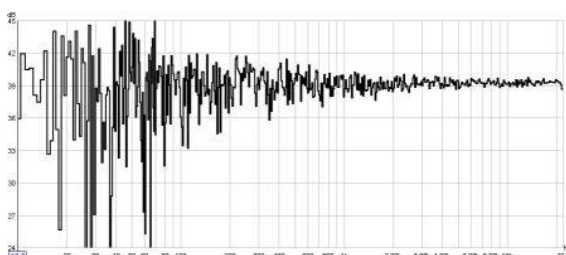
Sequence Length（序列长度）必须设置为与分析器使用的FFT长度相同。如果它比分析仪FFT短，分析仪显示中将会有缺口，因为周期噪声缺失了分析仪正在寻找的一些频率。如果设置得更长，额外的频率将造成显示噪音，需要更多的平均才能改善。选择[REW RTA](#)，噪声序列长度将自动设置为与FFT长度相同。

下图三幅图对比了周期噪声长度设置不当和设置正确的环路测量结果。RTA的FFT长度为65536(64K)，显示带宽为1/48倍频程。

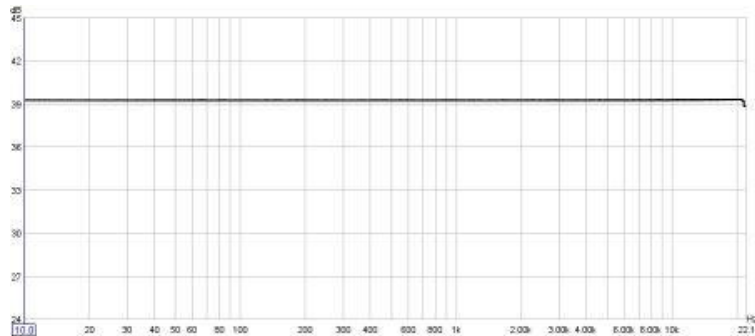
噪声序列长度32768，短于FFT



噪声序列长度131072，长于FFT (没有平均)



噪声序列长度65536，匹配FFT



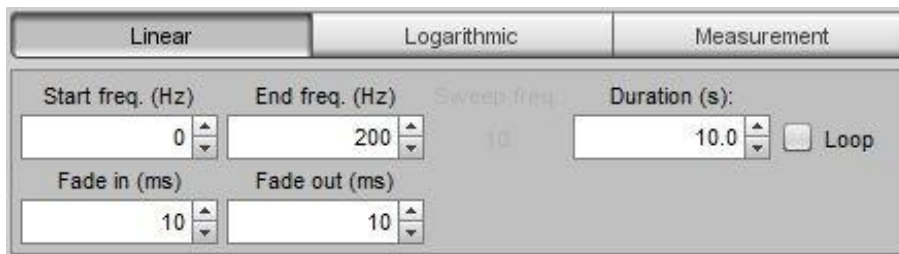
勾选**Full range**（全频段）选项将生成全频段的信号，频率范围从设定FFT长度的最低频率到采样率一半，具有最宽的带宽和最大的低频内容。生成的全频段噪声在10 Hz以下具有的平坦频谱（如同随机粉红噪声），以避免在非常低的频率产生过多的能量。**Speaker Cal**（扬声器校正）选项产生从500Hz到2 kHz、以1 kHz为中心的噪声信号。**Sub Cal**（超低音箱校正）会产生30Hz至80Hz的噪音。**CTA-2034**滤波根据ANSI/CEA-2034-A标准家用扬声器测量方法进行了波形修整，并具有12 dB的峰值因数。**Octave**（倍频程）和**1/3 Octave**（1/3倍频程）选项可分别生成指定中心频率、对应带宽的信号。**Custom**（自定义）滤波可任意设置滤波器的低频和高频截止频率，带宽不小于10%。**Sub cal**和**Spkr cal**信号应用了砖墙滤波器。其它信号滤波器可选择从2阶（12 dB/倍频程）到8阶（48 dB/倍频程）的Butterworth高通和低通滤波器，或者砖墙滤波器。

REW自动调整各种选项和滤波器设置的信号电平，以便RMS值反映RMS电平设置。RMS电平达到或超过-6 dBFS时，峰值将会削波。

粉红周期噪声序列可以保存为wave文件，并用于生成测试文件或光盘，以便在待测系统上播放。确保所选采样率与要制作的光盘格式一致，例如，如果要做成CD，应使用44.1kHz，而制作DVD应使用48kHz。测量系统时，分析仪的采样率和FFT长度必须与测试文件或光盘使用的相同。

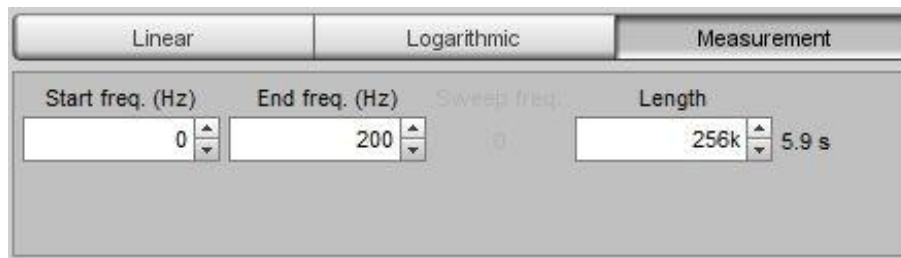
白噪声在高频能量比粉红噪声多得多，可能会损坏高音扬声器，不建议用于扬声器测量。

线性扫频，对数扫频 (Linear Sweep, Log Sweep)



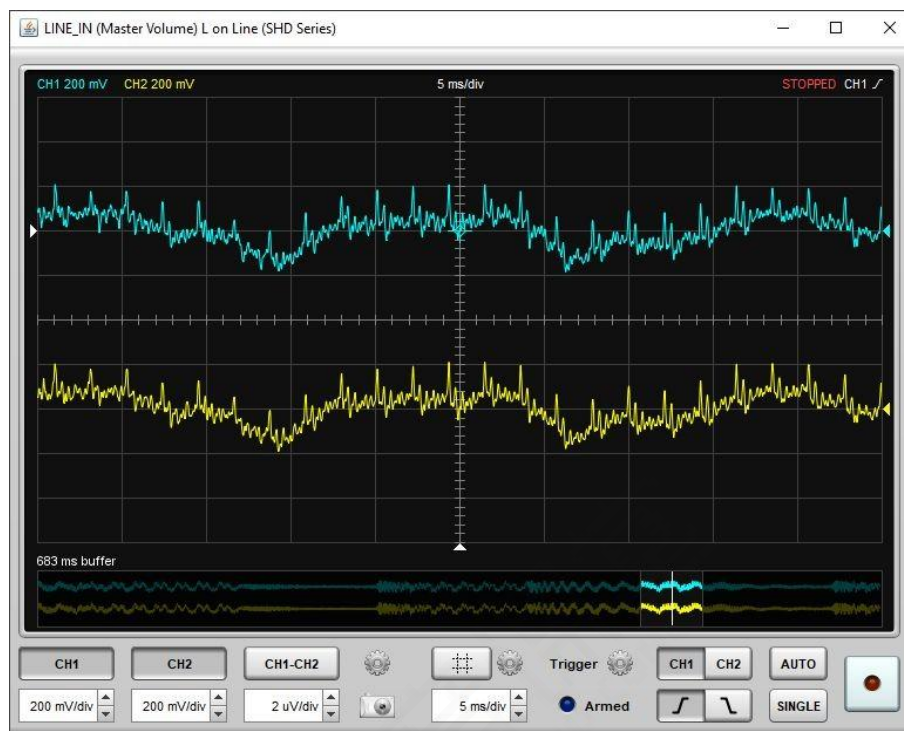
信号发生器可以根据指定的开始频率、结束频率、持续时间生成线性扫频或对数扫频。扫频持续时间可达60秒。如果选中**Loop**（循环）框，扫频将连续重复。可为扫频设置淡入和淡出时间（设置为0相当于无淡入淡出）。播放扫频时，面板上会显示当前的扫频频率。

测量扫频 (Measurement Sweep)



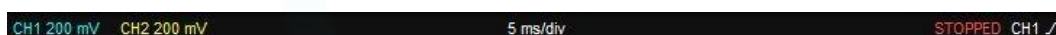
测量扫频信号是REW在测量系统响应时使用的信号。它由对数扫频组成，从起始频率的一半到结束频率的两倍（总限制为声卡采样率的一半），以在选定频段内提供准确的测量。如果起始频率低于20Hz，则信号从DC到10Hz的线性扫频开始，然后是从10Hz直到结束频率的对数扫频。Length（长度）控制扫频持续时间。REW自动选择此信号以进行扫频测量。测量扫频可以保存到WAV文件用于[离线测量](#)。请注意，由不同REW版本生成的测量扫频信号可能有所差别，因此务必使用相同REW版本来生成扫频并分析捕获的响应。

示波器 (Scope)

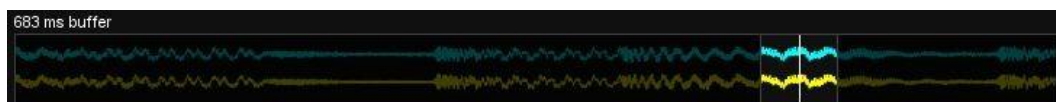


Scope（示波器）在功能上相当于一个带附加数学通道的双通道示波器。它提供测量和参考通道上音频数据的实时视图。通道具有颜色编码，**CH1**（测量通道）为蓝色，**CH2**（参考通道）为黄色，数学通道为绿色。**REW**以8k个样本块为单位捕获输入数据，由于按照固定数量样本块接收数据，使得它的工作方式与硬件示波器略有不同。

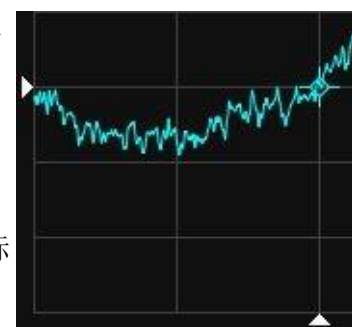
屏幕顶部显示当前选定的通道、其电压幅度、时基和触发设置。



屏幕底部显示捕获缓冲区，当前显示的部分以高亮显示。触发器的位置显示为一条白线。当示波器停止时，可以拖动高亮显示的部分以便其在主显示区中显示。为了更精细的显示控制，可以通过单击和拖拽主显示区以移动它。



触发器电平和位置由显示屏左侧和底部的白色三角形显示。可以点击它们并拖拽以调整其位置。触发器位置通过十字瞄准线符号显示在曲线上。

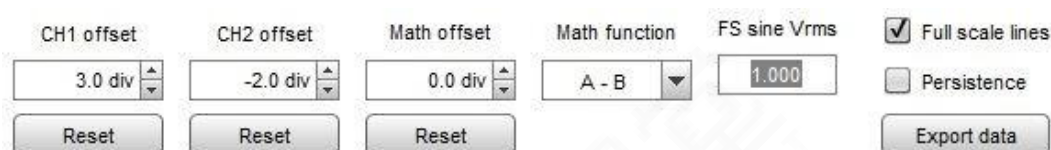


控制面板中包含了每个通道的通道选择器和电压刻度控制、屏幕捕获按钮、打开和关闭光标的按钮、时基控制、触发控制和一个启动/停止按钮。当光标位于显示区域时，也可以使用鼠标滚轮调整时基。



通道设置 (Channel settings)

通道选择旁边是用于通道设置的按钮（齿轮图标），包括通道偏移、数学函数、输入缩放、满刻度线、持续性和数据导出。偏移值(offset)可以使用**Reset**（复位）按钮重置为0。每个曲线的零伏位置以一个三角形显示在显示区右侧，三角形的颜色与曲线颜色一致。偏移值可以在通道设置中控制，也可单击并拖拽偏移指示器来调整偏移量。勾选**Full scale lines**（满刻度线）选项，显示区会出现两条虚线，用于表示对应通道的满刻度正电压和负电压值。持续性设置模仿模拟示波器的持续性，最后10次扫描逐渐淡出。

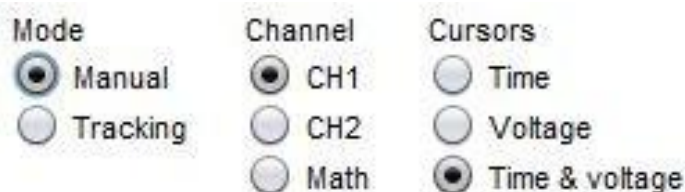


Export data（导出数据）功能可将示波器的数据和设置导出为文本文件，导出格式在File-Export（文件-导出）选项中选择文本分隔符格式。下图显示了导出为.csv的文件加载到电子表格中。请注意，数据以捕获的采样率导出为标准化浮点样本值，其中1.0是满刻度。对应于1V的样本值包含在标题信息中。

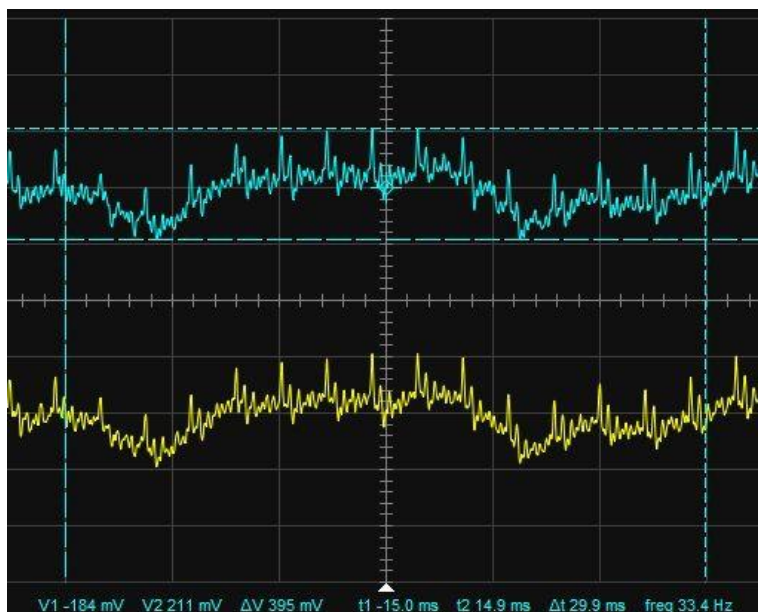
光标 (Cursors)

光标按钮用于显示或隐藏示波器光标。点击按钮旁边的设置图标（齿轮图标）会弹出一个菜单，以控制光标操作。有两种光标模式(Mode)，分别是**手动(Manual)**和**曲线(Tracking)**，在这两种模式下，光标的读数显示在图表下方。时间是相对于触发位置的，即触发位置的 $t = 0$ 。

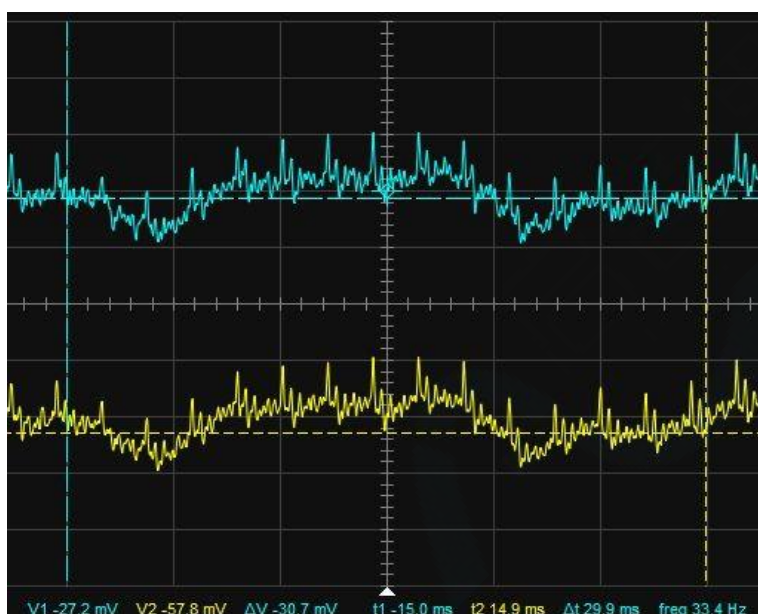
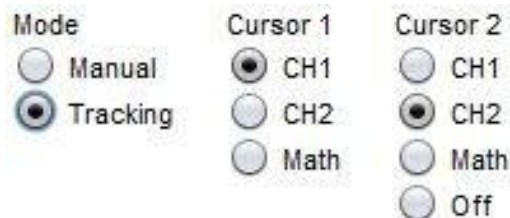
手动模式提供两个时间光标和两个电压光标，在设置中可选择显示时间光标(Time)或电压光标(Voltage)，或同时显示。通道选择用于指定电压光标所引用的通道。光标以所选通道的颜色绘制。每对光标都有一个主光标（1号光标，长虚线）和一个辅助光标（2号光标，短虚线）。移动主光标时，辅助光标也随之移动，辅助光标则可以独立移动。通过单击和拖动可移动光标。



	A	B	C	D
1	Scope data saved by REW V5.20 Beta 12			
2	Trigger channel:	CH1		
3	Trigger edge:	Rising		
4	Trigger position:	2 div		
5	Trigger index:	30767.54		
6	Trigger level:	0.6 div		
7	Trigger hysteresis:	0.1 div		
8	Trigger holdoff:	0 s		
9	Trigger mode:	Manual		
10	Timebase:	0.02 s/div		
11	Sample rate:	48000		
12	One volt:	0.707107		
13	Date:	09-Jun-2019 19:07:13		
14	CH1 scale:	0.2 V/div		
15	CH1 offset:	3 div		
16	CH2 scale:	0.2 V/div		
17	CH2 offset:	0 div		
18	Math scale:	1 V/div		
19	Math offset:	-3 div		
20	Time	CH1	CH2	CH1+CH2
21	0	0	0	0
22	2.08E-05	3.05E-05	0	3.05E-05
23	4.17E-05	0	3.05E-05	3.05E-05
24	6.25E-05	0	-3.05E-05	-3.05E-05

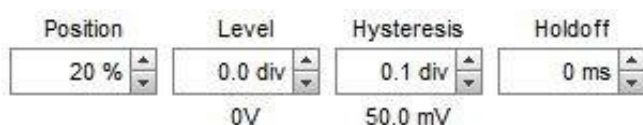


曲线模式(Tracking)提供两个可以调整的时间游标和两个曲线所选通道的电压游标。两个游标可以根据设置显示来自同一通道或不同通道的读数。



触发设置 (Trigger settings)

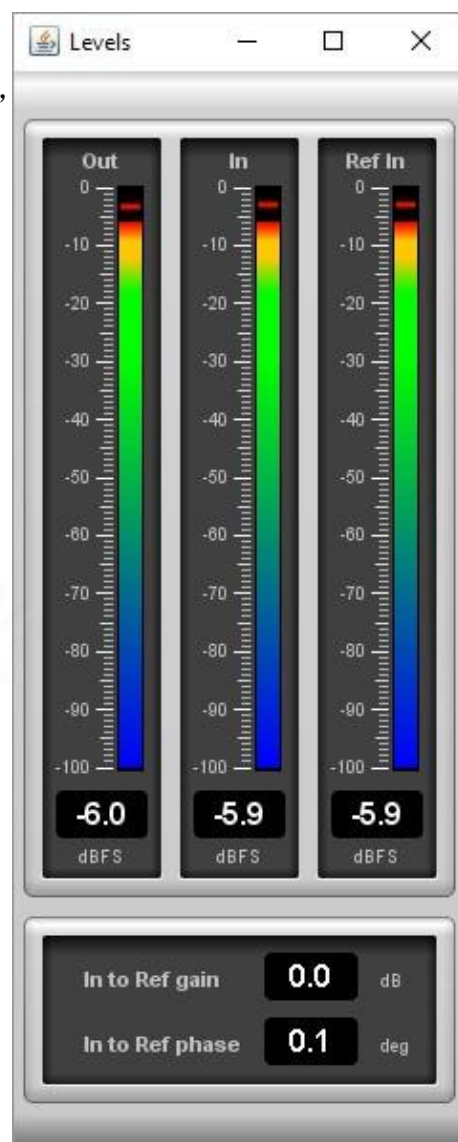
示波器可以在通道1或通道2上触发，根据信号的上升边沿或下降边沿。可以在触发设置菜单中调整触发电平(Level)、触发迟滞(Hysteresis)和触发释抑(Holdoff)。可以通过点击和拖动触发指示器进行调整。拖动触发电平时，可以使用鼠标滚轮调整触发迟滞。点击**AUTO**开启**自动触发模式**，此时在显示范围内如果检测不到触发器，示波器将自动扫描。点击**SINGLE**开启**单次触发模式**，此时示波器会等待一个触发器，并在一次扫描后停止捕获。



电平表 (Level Meters)

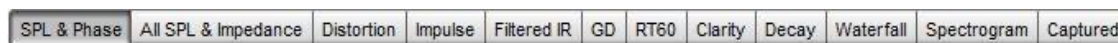
电平表将RMS电平显示为彩色条和仪表底部的数值，峰值显示为红线，峰值读数显示在仪表顶部。电平为相对于数字满刻度的电平，单位是dBFS。

如果信号发生器正在播放正弦波，则面板下方显示信号发生器频率下测量输入相对于参考输入的增益和相位，如果两个通道都馈送相同的信号，这可能有助于检查通道间增益和相位差别。



图像面板 (Graph Panel)

图像面板显示当前选定测量的绘图。通过图像区域顶部的按钮选图像类别。



图像类别包括:

[SPL&Phase \(声压级与相位\)](#)

[All SPL&Impedance \(全部声压级与阻抗\)](#)

[Distortion \(失真\)](#)

[Impulse \(脉冲\)](#)

[Filtered IR \(加窗脉冲\)](#)

[GD \(群延时\)](#)

[RT60 \(混响时间\)](#)

[Clarity \(清晰度\)](#)

[Decay \(衰减\)](#)

[Waterfall \(瀑布图\)](#)

[Spectrogram \(色谱图\)](#)

[Captured \(已捕捉\)](#)

图像中的曲线外观，会受到[视图首选项\(View Preferences\)](#)中的设置影响。

通过图例面板中曲线名称左侧的选择按钮可打开或关闭每个曲线。曲线名称与曲线本身的颜色相同，而曲线的线条样式显示在名称和当前光标读数值之间。如果曲线已应用平滑，则将显示平滑的倍频程分数（下方示例中为1/48倍频程）。

将鼠标光标移动到图例中的曲线名称上将突出显示该曲线，淡化其它曲线以使其便于观察。

<input checked="" type="checkbox"/> Zaphod	$1/48$	81.1dB	<input checked="" type="checkbox"/> Phase	$1/48$	73deg
<input checked="" type="checkbox"/> Min phase	$1/48$	-85deg	<input checked="" type="checkbox"/> Excess phase	$1/48$	158deg
<input checked="" type="checkbox"/> Mic/Meter Cal	—	-5.8dB	<input checked="" type="checkbox"/> Soundcard Cal	-0.1dB

捕获图像按钮

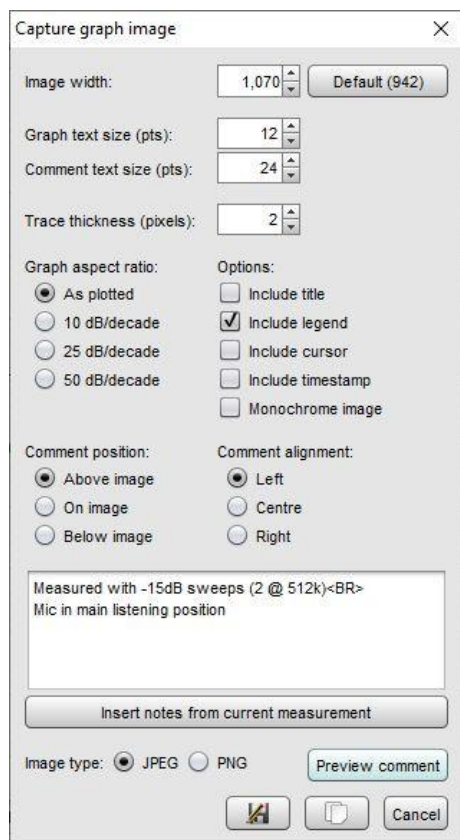


Capture

图像区域左上角的此按钮可将当前画面捕获为图像（亦可使用快捷键Alt + C）。点击按钮将弹出一个对话框来设置图像的所需宽度，点击**Default (默认)**，将图像设置为与当前图像相同的宽度。还可以选择图像中曲线的宽度，REW默认值为2像素。勾选**Include title (包含标题)**，则选中的图像类别将显示在图像顶部。勾选**Include legend (包含图例)**，捕获的图像会包含图例信息。勾选**Include cursor (包含光标)**，捕获的图像会包含光标线和读数。勾选**Include timestamp (包含时间戳)**，捕获的图像将会在右下角显示捕获的日期和时间。勾选**Monochrome image (单色图像)**，捕获图像中的曲线不再以颜色区分，而是做多以四种不同的线条样式绘制曲线，分别是实线、虚点、虚线或虚点线。

Graph aspect ratio (图像纵横比) 仅适用于具有水平对数频率轴和垂直dB轴的图。它调整捕获的图像的垂直大小，使频率轴上的十倍频（如20至200Hz）和dB轴上指定值具有相同的高度/宽度，可选的dB

值包括与10、25或50 dB，这些是符合IEC263的选项。这确保了频率响应数据的一致视觉外观，并有助于避免曲线看起来过于平坦，或曲线斜率在视觉上变得更陡峭或更平缓。



在备注文本框中可以输入文本备注信息，**Comment position**（备注位置）可选择备注信息在捕获图像中的位置，包括在图像上方、图像中或下方。备注信息位于图像上方或下方时，可以使用HTML 4.01标记设置文本的样式，并可**设置备注对齐**（左、中、右）。勾选**Insert notes from current measurement**（从当前测量插入备注），可将当前测量包含的注释作为备注添加到导出图像中。**Preview comment**（预览备注）按钮可以用于导出前检查备注格式。添加于图像中(On image)的注释文本将居中显示。可选择将图像保存为JPEG或PNG格式，或复制到剪贴板。

滚动条按钮 (Scrollbars Button)



Scrollbars

滚动条按钮可打开/关闭图像区域的滚动条，隐藏滚动条可为图像区提供更多空间。软件下次启动时会记住该设置。如果滚动条关闭，则在图像区域中按住鼠标右键仍然可以移动图像。

频率轴按钮 (Frequency Axis Button)



Freq. Axis

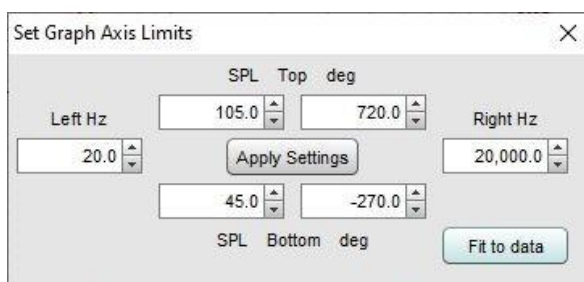
Freq Axis（频率轴）按钮可在对数刻度和线性刻度之间切换频率轴。此功能也可通过[图像\(Graph\)](#)菜单中的命令或对应[快捷键](#)来激活。

图像边界按钮 (Graph Limits Button)



Limits

通过图像边界按钮，可自定义所需的顶部、左侧、底部和右侧图像边界。点击按钮将弹出一个对话框，在其中输入值，数值在输入时即时生效，也可单击**Apply Settings**（应用设置）按钮来快速应用设置。



图像控件按钮 (Graph Controls Button)



图像控件按钮将显示当前选定图像类型的控件选项菜单（如果有）。

水平轴缩放按钮 (Horizontal Axis Zoom Buttons)



当鼠标指针位于图像区域内时，将显示水平轴缩放按钮，它们将以光标位置为中心放大或缩小约2倍，你也可以用[键盘快捷键](#)来缩放。

垂直轴缩放按钮 (Vertical Axis Zoom Buttons)



当鼠标指针位于图像区域内时，纵轴缩放按钮会出现，它们会在Y轴上放大和缩小。你也可以用[键盘快捷键](#)来缩放。

可变缩放 (Variable Zoom)

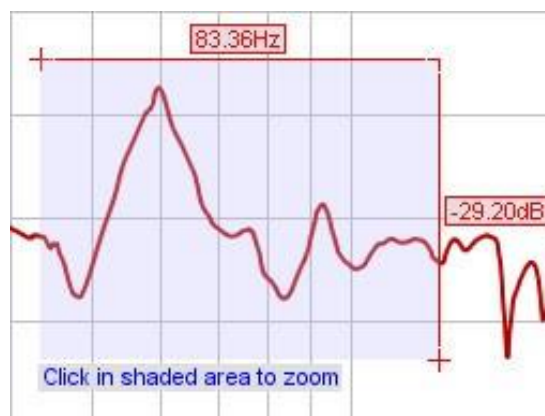
按住鼠标中键，或者先按住鼠标右键，同时再按住左键，移动鼠标进行可变的图像缩放。

当可变缩放处于可用状态时，图像区将显示一个十字将其拆分为不同象限，根据鼠标移动方向来进行水平和垂直缩放。缩放量取决于鼠标指针从开始位置拖动的距离。



缩放到区域 (Zoom to Area)

按住Ctrl键后再按鼠标右键，然后拖动鼠标，可绘制一个缩放框。请注意，在Mac上，可能需要同时按下Ctrl和fn键，或者按住Ctrl并在触控板上拖动两个手指。框的外部显示了区域尺寸跨度的读数，如要缩放到阴影区域，请在框内单击。如果阴影区域太小而可能无法放大，会有信息提示指定尺寸太小而无法缩放，并告知可缩放的限制条件。



用键盘缩放 (Zoom with Keyboard)

要放大水平轴，请按Shift + x，要缩小按X。要放大垂直轴，请按Shift + y，要缩小按Y。缩放以光标位置为中心。您可能需要先点图像区再做缩放

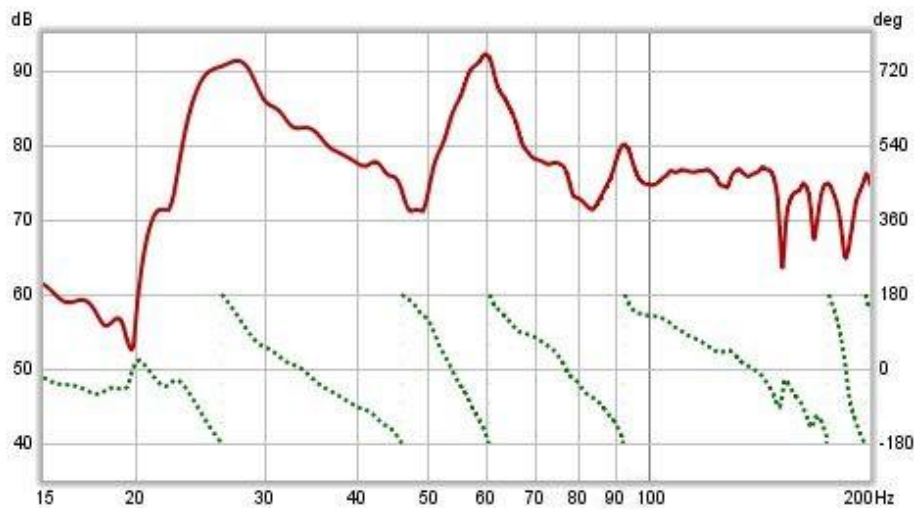
撤消缩放 (Undo Zoom)

要撤消最后一次“变量缩放”或“缩放到区域”，请按**Ctrl + Z**或选择图像(Graph)菜单中的[撤消缩放\(Undo Zoom\)](#)条目。这将使图像轴恢复到上次按下鼠标右键或鼠标中键时的设置。即使您没有缩放，也可以使用此撤消功能，当轴设置符合您的偏好时，只需按鼠标右键，然后您就可以通过按**Ctrl + Z**返回这些最后一次右键是的设置（撤销任何后续移动或控制更改）。

箭头键 (Arrow Keys)

箭头键可用于以单像素步进移动图像光标。您可能需要先点击图像区。按住**Shift**键同时按箭头键，可移动图像而不是光标。

声压级和相位图 (SPL and Phase Graph)



声压级和相位图（在阻抗测量时为阻抗和相位）显示了测量的幅度和相位响应。幅度响应曲线使用测量的名称来命名，相位响应使用虚线绘制，其刻度为右侧y轴。左侧y轴单位可以设置为dB SPL、BFS、dBr、dB V/V、dBu、dBV、dBW、Volts、Watts，对于阻抗曲线则为 Ω 。dBr和dB V/V值实际上是一个传递函数视图，显示输入相对于输出的dBFS电平 (dBr) 或电压电平 (dB V/V)。dBW和Watts（瓦特）的值是使用RTA外观设置(RTA Appearance Setting)中的参考阻抗值和测量电压计算得到的。

对于步进电平测量，图表将显示输入电平与信号发生器电平的关系图，并显示输入电平与信号发生器电平之比的线性图。

请注意，为了获得有效的相位信息，有必要从脉冲响应中去除任何时间延时。时间延时导致随频率而增加的相移——例如，仅1 ms的延时会导致100Hz处36°的相移，但10kHz处为3,600°的相移，因为1 ms为100Hz信号周期10 ms的1/10，同时是10kHz信号周期0.1 ms的10倍的，每个周期是360°。测量的时间延时可以通过使用改变时间轴的零位置来调整，具体可采用**Offset t = 0**（时间偏移）控制，或使用**Estimate IR delay**（估算脉冲响应延时延时）控制，[后文](#)将详细阐述这两种方法。

除了测量的相位之外，图像中还可以生成幅度响应的最小相位，从而绘制最小相位图和过量相位图，后文将有进一步阐述。图像区还能显示测量使用的任何话筒、声压计(mic/meter)或声卡(soundcard)校准数据。在测量面板中点击**Change Cal...**（更改校准文件）按钮，可以更改或删除校准数据。

最小相位/过量相位 (Minimum Phase/Excess Phase)

如果已经应用**Generate Minimum Phase**（生成最小相位），基于响应生成了最小相位，则最小相位曲线和过量相位曲线将处于激活状态。它们显示最小相位响应以及测量相位和最小相位之间的差异（“过量”的含义）。请注意，如果要得到良好的结果，最小相位响应测量带宽最好超过被测系统的带宽，且最好进行全频段测量。有关最小相位、过量相位和群延时的更多信息，请参见[最小相位](#)。

话筒/声压计校准 (Mic/Meter Cal)

Mic/Meter Cal（话筒/声压计校准）曲线显示此测量的话筒校准文件的频率响应。在[Cal file](#)（校准文件）

首选项中，可为新建的测量配置校准文件。如果选择了**C Weighted SPL Meter (C计权声压计)**，则该曲线将显示C计权的效果（独立于校准文件之外）。如果没有话筒/声压计校准数据，则不会显示该曲线。曲线绘制于图像中间位置。

声卡校准 (Soundcard Cal)

声卡校准曲线(Soundcard Cal)显示声卡相对于其1kHz电平的测量频率响应（需在**声卡首选项**中导入声卡校准曲线文件）。如果尚未加载校准文件，则不会显示该曲线。该曲线显示于图像的中间位置。在**图像**菜单中选择平滑选项，或**使用快捷键**，可对曲线进行分数倍频程平滑。平滑会被应用于声压级、相位和群延时曲线。这主要用于全频测量，因为反射会导致严重的梳状滤波，这使得很难看到响应的潜在趋势。平滑很少用于低频测量，因为它会掩盖响应的真实形状。应用平滑后，图例区的曲线旁会出现一个平滑指示器。

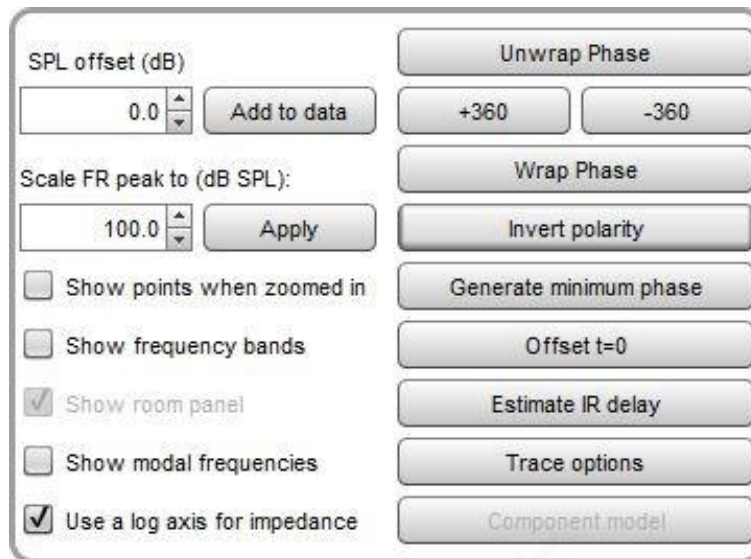
图像度量 (Graph metrics)

按住**shift**键，然后用鼠标左键按住并拖动来选择频率范围，则会显示所选范围的最佳拟合线，上面和下面的参考线分别显示**+ 3 dB**和**-3 dB**。该拟合线的斜率以**dB/倍频程**为单位显示在读数区（如果频率轴是对数的），以及数据相对于最佳拟合线和声压级跨度，声压级的最大值、最小值和平均值。选择区域后，可以用鼠标拖动区域的开始或结束的边缘位置来调整频率范围，也可以移动整个频率区域。



声压级和相位控制 (SPL and Phase Controls)

声压级和相位图的控制面板具有以下控件：



相位曲线通常以 $+180/-180^\circ$ 为限缠绕显示。这是因为相位在 360° 范围内是循环的（ $+$ 在 90° 与 -270° 之间也是一个循环）。然而相位曲线也能以展开（非缠绕）的方式来显示，这就是**Unwrap Phase（展开相位）**按钮的作用。认识展开相位的一个困难是知道正确的零相位在哪里，另一个困难观察展开相位值变得非常大的曲线部分。展开相位可按照 360° 的倍数做偏移，以便使其在光标频率下的范围在 -180° 至 $+180^\circ$ 内。**+360**和**-360**按钮也能以 360° 为步进移动相位曲线。

缠绕相位(Wrap Phase)按钮将相位曲线更改为常规的缠绕相位视图，曲线每次跨过 180 和 -180° 界线时，会用一条垂直线将断开的曲线连接起来。

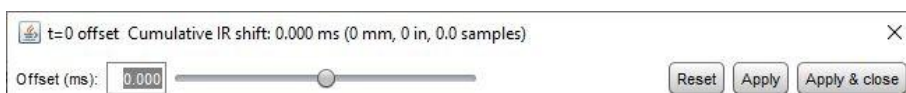
反极性(Invert Polarity)按钮用于反转测量的极性，使相位值偏移 180° 。

生成最小相位(Generate minimum phase)按钮，将使用当前脉冲响应窗设置生成测量的最小相位版本。然后，最小相位曲线显示的是一个幅度响应与实测系统相同，但具有最小相位偏移的系统的相位响应，而过量相位曲线显示测量相位和最小相位之间的差异。使用该功能还可生成最小相位脉冲图和最小群延时图，及过量群延时图，可以在各自的图像类别中查看。

注意事项：脉冲响应窗(IR Window)设置很重要，因为最小相位响应来自测量的幅度响应，而幅度响应会受到脉冲响应窗设置的影响。如果随后更改时间窗设置，应再次点击**生成最小相位**以反映新设置。还要注意，左侧时间窗的形状（在峰值之前应用的时间窗）影响最小相位结果，矩形窗(Rectangular window)将产生具有较低相移的响应，例如Hann窗。

如果被测量的系统本质上是**最小相位系统**（比如大多数分频器就是最小相位的），则最小相位响应与测量响应中去除延时后的相位响应相同。房间测量的结果一般不是最小相位，除了在某些频率范围，主要是部分低频区域。有关最小相位和过量相位和群延时的更多信息，请参见[最小相位](#)。

偏移 t = 0(Offset t=0)可以移动脉冲响应的时间零点的位置，并实时预览偏移对相位的影响。在点击**Apply（应用）**或**Apply&Close（应用和关闭）**之前，测量本身不会因此改变。点击滑块旋钮后，可以用左箭头键和右箭头键对偏移量进行微调。如果测量使用了时间参考，系统延时值（可在测量信息面板中查看）也会随时间偏移量产生相同的改变。应用于脉冲响应的累计时间偏移会显示在对话框顶部。



估算脉冲响应延时(Estimate IR delay)通过将测量相位与最小相位进行比较，估算测量中的延时值。算出延时值后，可以点击显示在面板上的**Shift IR (移动脉冲响应)**将该延时值从脉冲响应中去除。请注意，移动脉冲响应将清除任何已经生成的色谱图，因为该图将不再有效。

生成最小相位，估算脉冲响应延时和**偏移t = 0**控件，也会出现在脉冲的图像控制面板。

曲线偏移(SPL offset)值可改变曲线位置，但不会改变测量数据，因此图例值不会改变。如果点击**添加到数据(Add to data)**按钮，将当前偏移值应用到测量数据，图例读数将相应更新。

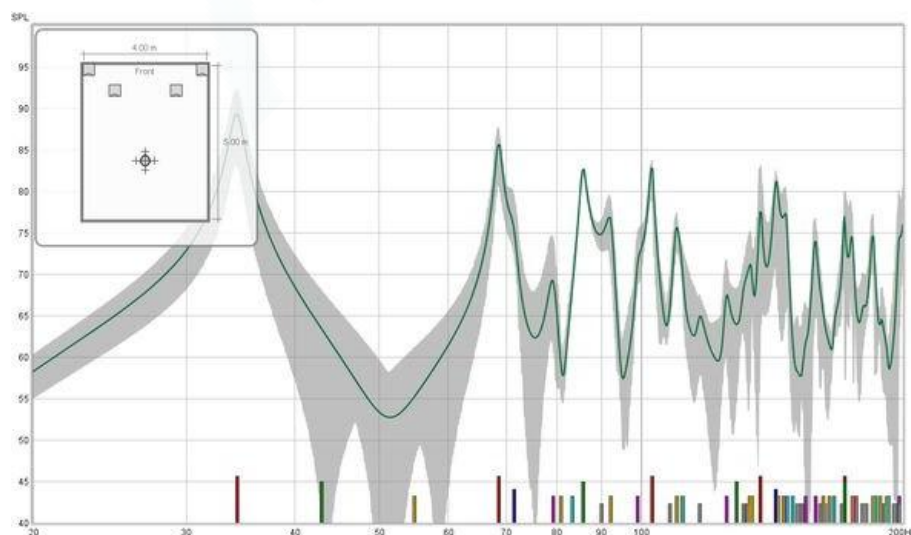
指定频率响应峰值(Scale FR peak)用于调整SPL偏移，以获得所需的频率响应中的最大SPL值。例如，这对于调整导入脉冲响应的电平可能是有用的。

放大时显示点(Show points when zoomed in)选项，可在放大倍数足够高时，将构成声压级和相位响应曲线的散点显示在图中，以便区分它们。

勾选**显示频带(Show frequency bands)**，图像区上方将出现彩色的频率条，从左至右分别是：

- 次声(Infrasound): 低于20 Hz
- 超低音(Sub bass): 20至60Hz
- 低音(Bass): 60至250Hz
- 低中音(Low midrange): 250至500Hz
- 中频(Midrange): 500Hz至2 kHz
- 上高频(Upper midrange): 2kHz至4 kHz
- 现场感(Presence): 4kHz至6 kHz
- 光泽(Brilliance): 6kHz至20 kHz

显示房间面板(Show room panel)选项仅适用于由房间模拟器生成的测量。如果选择此选项，将显示用于生成模拟响应的房间平面图。

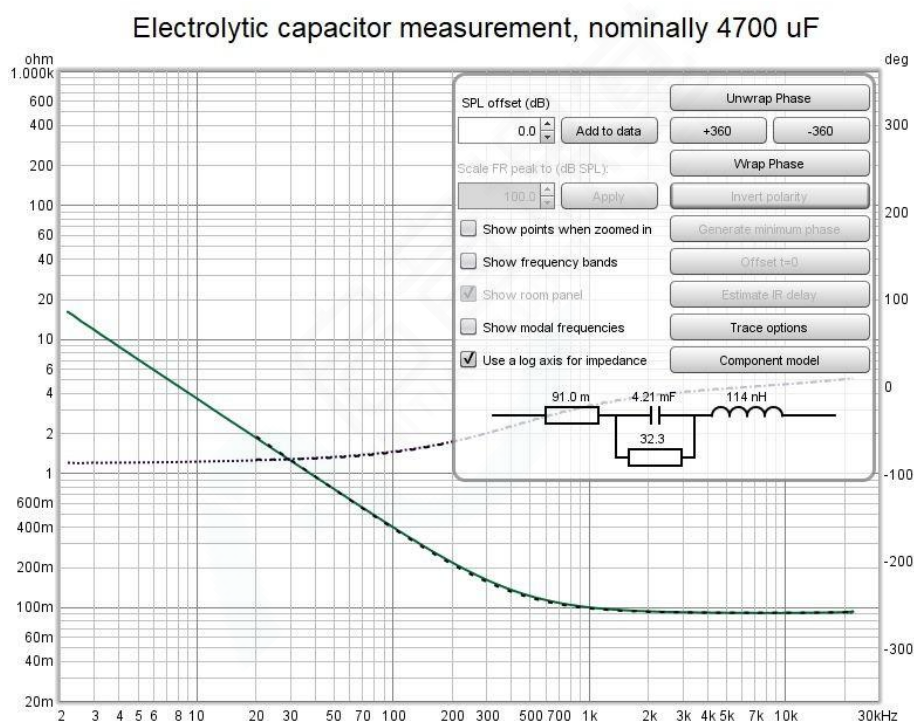


如果选择了**显示模态频率(Show modal frequency)**，则会根据房间尺寸将其理论模态频率绘制在图像中，房间尺寸是在EQ窗口的模态分析中定义，对于由房间模拟器生成的响应则在房间模拟器中定义房间尺寸。

绘制阻抗时，轴的跨度从0到1 k Ω 。如果需要更大的阻抗范围，勾选**对阻抗使用对数轴(Use log axis for impedance)**复选框，可将数轴切换到对数刻度，其显示范围可高达1 M Ω 。如果选择了该选项，则不论在何种图像中，阻抗曲线都将使用对数轴的绘制。

点击**曲线选项(Trace Options)**按钮，会弹出一个对话框，可更改图像曲线的颜色和线型。如果进行了更改，它将用于图像中显示的所有测量。可以隐藏曲线，被隐藏的曲线将从图像和图例显示中移除。

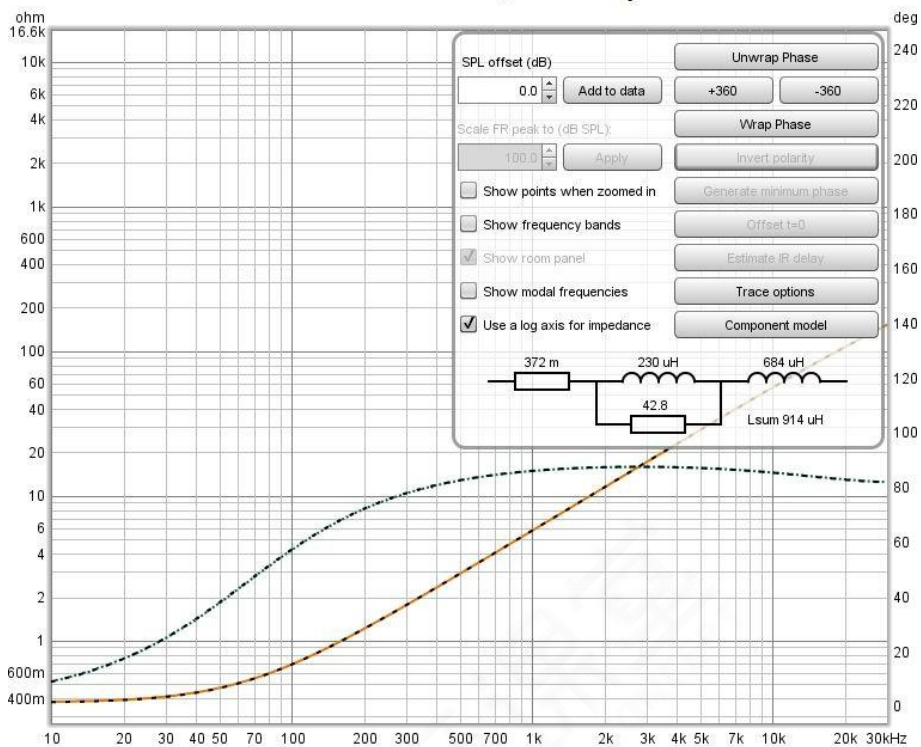
元件模型(Component model)功能，仅适用于电感器或电容器的阻抗测量。如果20Hz（或是更高的测量起始频率）的相位低于-60°，REW将测量识别为电容器，而如果测量截止频率的相位高于45°，则识别为电感器。对于这类测量，点击该按钮，将在10Hz至20 kHz（电感），或100Hz至20 kHz（电容）范围内进行曲线拟合，以导出等效电路元件值（如果测量的频率范围更窄，则拟合的频率范围也相应变窄）。按钮下方将显示其等效电路。等效电路阻抗和相位显示为虚线，叠加显示在测量曲线旁。测量元件时，应确保元件引线长度接近在电路中的实际长度，否则测量中包含引线电阻和电感会偏大，因为元件引线在使用中常会被剪短。



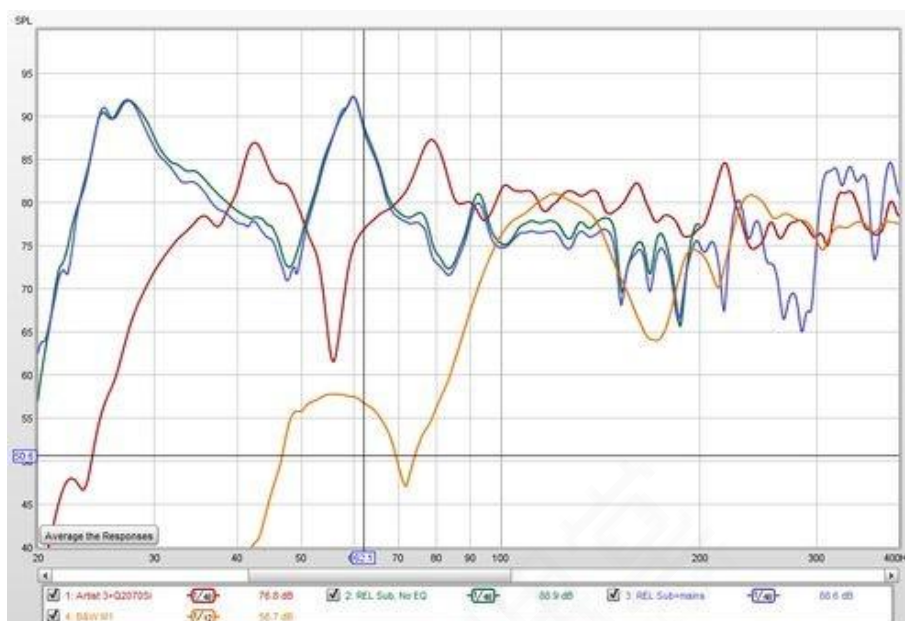
对于一个电容器，其等效电路是电阻器 (ESR)、具有并联电阻器（泄漏）的电容器和电感器（在音频频率下可能非常小，如果小于1 nH则不显示）的串联组合。

对于电感器，等效电路是LR2模型，包含一个串联电阻器、一个串联电感器和一个电阻器+电感器并联组合。

Inductor measurement, nominally 0.9 mH



全声压级图 (All SPL Graph)



全声压级图(All SPL graph)显示已进行的所有测量（声压级和/或阻抗测量）的曲线。它可以生成所有选定曲线的平均值或对曲线执行算术运算，以生成新的曲线。

点击**平均响应(Average the response)**按钮，将计算此时所选择的曲线的声压级RMS平均值。平均算法不考虑相位，测量被视为不相关的。平均计算的频率范围是所选曲线的交叠频率区域，例如，如果一个曲线的测量截止到200Hz，另一个到500Hz和第三个到1000Hz，它们的平均计算范围将截止到200Hz（三者中最低的）。

全声压级图像控件 (All SPL Controls)

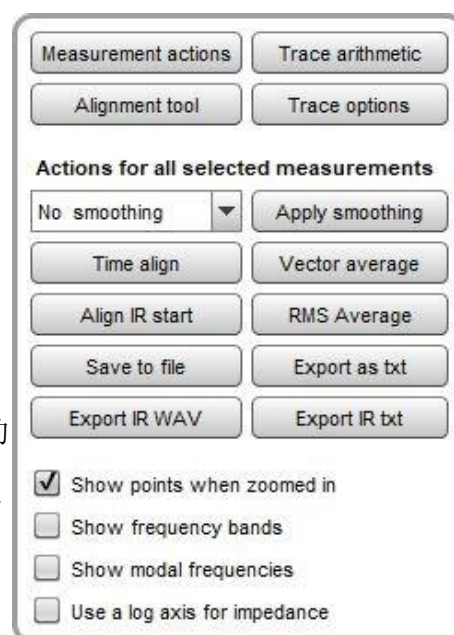
全声压级图像的控制面板具有以下控件:

控件分为四组:

- **测量操作(Measurement Actions)**按钮，适用于单个测量
- **对齐工具(Alignment tool)**按钮，对齐工具控件
- **曲线算术(Trace arithmetic)**按钮，用于进行曲线运算

所有选定测量的操作(Actions for all selected measurement)，适用于图例中当前所选的所有测量值的操作，具体包括:

- **应用平滑(Apply smoothing)**，可更改所有当前选定曲线的分数倍频程平滑设置。
- **时间对齐(Time align)**，这将所有当前选择的测量值进行时间对齐。如果测量使用了时间参考（如环路参考或声学时间参考），其脉冲响应会根据测量延时做偏移，包括测量延时计算后应用的任何脉冲时间偏移(Time offset)。如果测



量没有使用时间参考，则会按照估算脉冲响应延时(estimated IR delay)做偏移。时间对齐只能应用于具有脉冲响应的测量。

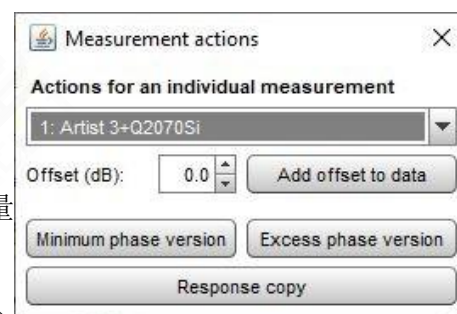
- **对齐脉冲响应起始点(Align IR start)**，它将对齐当前所选测量的脉冲响应起始时间。
- **向量平均(Vector average)**，它在考虑幅度和相位的情况下对当前选定的曲线进行平均。它只能应用于具有脉冲响应的测量。
- **均方根平均值(RMS average)**，它计算所选曲线的声压级RMS平均值。不考虑相位因素，测量被视为不相关的。其功能与**平均响应(Average the response)**按钮一致。
- **保存到文件(Save to file)**，将当前选定的测量值保存到mdat文件中。
- **导出为文本(Save as txt)**，将当前选定的测量值导出为文本文件。
- **导出脉冲响应波形(Export IR WAV)**，它将当前选定测量脉冲响应保存为WAV文件。
- **导出脉冲响应文本(Export IR txt)**，它将当前选定测量脉冲响应保存为文本文件。

测量操作(Measurement Actions)

测量操作对话框具有以下控件：

对于选定的测量，可执行的操作：

- 设定幅度偏移值(Offset)，短暂调整其曲线显示；点击**添加偏移值数据(Add offset to data)**，则会永久调整其测量数据
- 为选定测量生成其**最小相位版本**，以便后续计算——最小相位版本相当于一个幅度响应与校准数据与原测量响应相同，但是具有最小相位脉冲响应的测量副本
- 为选定测量生成其**过量相位版本**，该相位将用于后续计算——它是由原始测量值除以最小相位版本测量值得到的。
- 点击**复制响应(Response copy)**会得到一个新的测量值，该测量值与选定的原测量值具有相同的频率响应、相同的脉冲响应和校准数据。但不包括原始测量中的失真、均衡器设置等。

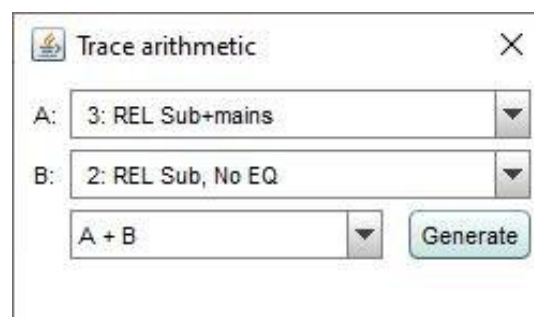


曲线运算(Trace Arithmetic)

曲线运算控制可对选定的一对曲线做加、减、乘、除、相干平均（即向量平均）和合并运算。如果两条备选的曲线都有脉冲响应，运算结果也会有脉冲响应，但是二者的采样率必须相同或呈整数倍关系。例如，44.1kHz和11.025kHz的曲线可以通过算术运算进行组合，运算结果的采样率将是二者中采样率较高者。这就可能对已经被采样到较低采样率的限制频带测量进行运算操作。

如果两条曲线的采样率不相容（非整数倍关系），或者其中一条没有脉冲响应，计算结果将不具有脉冲响应。如果两条曲线都具有幅度和相位数据，则计算结果也会同时具有幅度和相位数据，否则，结果将只有幅度数据，两条曲线将被视为不相干。

算术运算结果的频率跨度将从被选曲线的最低开始频率到最高结束频率，在它们的频率范围之外的曲线被视为零值（除法运算中的除数是例外，除法运算将频率范围之外的值视为单位值）。如果曲线在测量



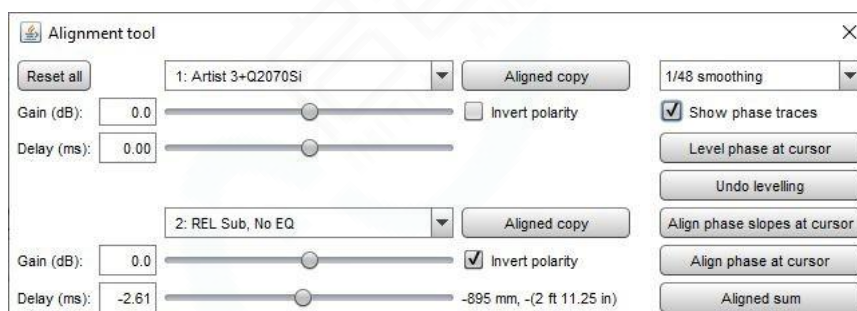
频带之外具有显著电平，则归零设置将在频域和时域中产生振荡，为了获得最佳结果，应使用跨越整个频率范围的曲线。

曲线运算备注 (Trace arithmetic notes):

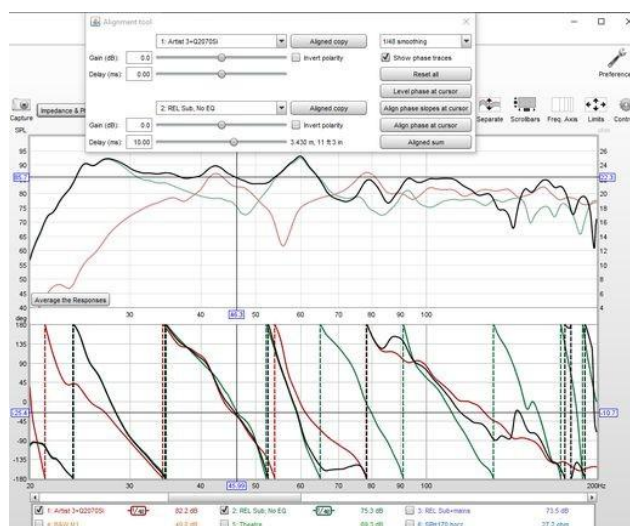
- 为获得有意义的结果，脉冲响应或相位数据的测量应在组合之前进行适当的时间对齐。一个例外是合并操作，REW将自动在合并频率上对齐幅度和相位，根据相位匹配的要求调整曲线B时间延时。调整的数值会显示在新生成的测量的备注中。
- 当前应用的脉冲响应时间窗设置将应用于每条曲线。结果使用与曲线A相同的时间窗设置，除非操作是将B合并到A，在这种情况下，使用曲线B（低频部分）的时间窗设置。运算将排除任何频变设置，将FDW（频变时间窗）应用于计算结果将相当于两次应用了时间窗，因为它在运算前已经被应用于计算数据一次。
- 具有兼容脉冲响应的测量的运算结果将应用A测量的平滑设置，而在计算时则使用未平滑的数据。其他测量使用他们在计算过程中已经应用的任何平滑，结果被视为未平滑（如果数据是96 PPO，结果则是1/48倍频程平滑）。

对齐工具 (Alignment Tool)

对齐工具可为选中的一对测量进行增益、极性和延时调整，并提供随着参数的改变而更新的实时预览（预览使用96 PPO的记录间隔数据，因此与最终结果可能略有不同）。



勾选显示相位曲线(Show phase traces)选项，全声压级图像区将被分割，声压级曲线在上方，相位曲线在下方，包括两个被选曲线和一条对齐叠加曲线。



对齐的副本(Aligned copy)按钮可生成应用了对齐增益、延时和极性的选定测量的副本。**对齐叠加(Aligned sum)**使用对齐设置的求和结果生成新的测量。

对准相位至光标(Level phase to cursor)按钮，计算在相位曲线图表中使第一个测量相位曲线对准到光标所在频率附近水平线所需的延时。两个测量具有相同的延时，因此对齐它们所需的相对延时不受影响。以这种方式移动相位曲线使它们更容易对齐。延时仅用于更新相位曲线，如果应用**对齐的副本**或**对齐叠加**，则不再应用该延时。**撤销对准(Undo Leveling)**，会从两个测量中删除对准延时。

对齐光标处相位斜率(Align phase slopes at cursor)功能，可计算测量B所需的延时，使得测量B的相位曲线斜率在光标频率处与测量A一致，因而它们在该频率附近具有大致相同的群延时。请注意，两条相位曲线可能仍然相距很远，特别是当一个测量值与另一个测量值反相时。在这种情况下，反转其中一个测量值将使相位曲线更接近。

对齐光标处相位(Align phase at cursor)按钮，可计算测量B所需的延时，使得相位图中测量B的相位曲线在光标频率处尽可能接近测量A的相位。请注意，通过反转其中一个测量值极性再对齐相位，或手动调整延时可能实现更好的整体对齐。

其他控件(Other Controls)

点击**曲线选项(Trace Options)**按钮，会弹出一个对话框，其中可更改图像曲线的线型。

放大时显示点(Show points when zoomed in)选项，可在放大倍数足够高时，将构成声压级和相位响应曲线的散点显示在图中，以便区分它们。

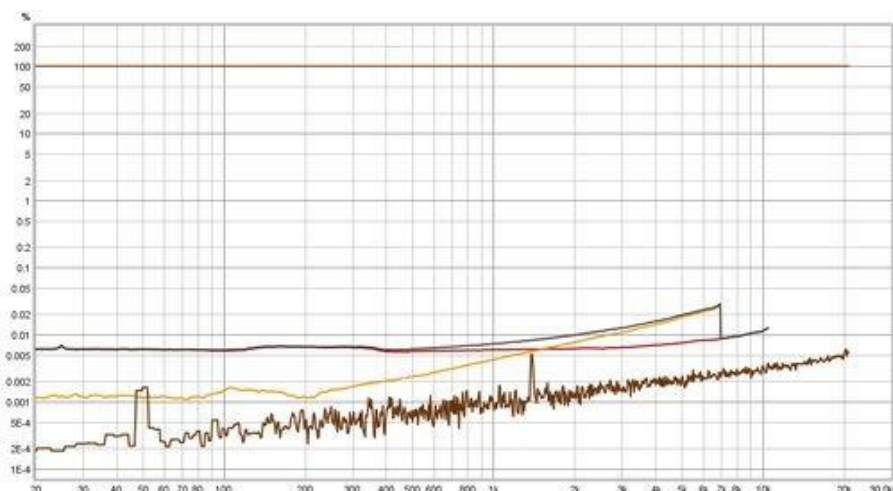
勾选**显示频带(Show frequency bands)**，图像区上方将出现彩色的频率条，从左至右分别是：

- 次声(Infrasound): 低于20 Hz
- 超低音(Sub bass): 20至60Hz
- 低音(Bass): 60至250Hz
- 低中音(Low midrange): 250至500Hz
- 中频(Midrange): 500Hz至2 kHz
- 上高频(Upper midrange): 2kHz至4 kHz
- 现场感(Presence): 4kHz至6 kHz
- 光泽(Brilliance): 6kHz至20 kHz

如果选择了**显示模态频率(Show modal frequency)**，则会根据房间尺寸将其理论模态频率绘制在图像底部，房间尺寸在EQ窗口的**模态分析**中定义。

绘制阻抗时，轴的跨度从0到1 kΩ。如果需要更大的阻抗范围，勾选**对阻抗使用对数轴(Use log axis for impedance)**复选框，可将数轴切换到对数刻度，其显示范围可高至1 MΩ。如果选择了该选项，则不论在何种图像中，阻抗曲线都将使用对数轴的绘制。

失真图 (Distortion Graph)



失真图可显示测量的基频响应(其响应中的线性部分)，谐波失真成分（高达第九次谐波），总谐波失真 (THD)以及在测量运行之前捕获的本底噪声。

这些图来自脉冲响应分析或步进式正弦波测量(Stepped sine measurements)。脉冲响应采用对数扫频将系统响应中的失真与其线性部分分离开来，失真成分出现在负时间，主脉冲在其后。通过分析失真部分的频率含量，可以生成谐波失真图。扫频的时间越长，失真分量就越容易被分离。当测量具有较高失真的系统时，使用长扫频设置（例如1M或更长），在较短的扫频长度下，谐波可能会相互影响，产生误导性结果。可以使用RTA和信号发生器在感兴趣的频率进行单点验证(Spot check)。如果观察到差异，考虑进行步进式正弦波测量。对数扫频失真测量的本底噪声随频率升高。使用扫频测量时为了得到更低的本底噪声，可使用多次扫频，但请注意，这需要输入和输出在同一设备上才能获得可靠的结果。

虽然比对数扫频慢得多，但步进式正弦波测量可以比扫频更准确地测量低失真水平，特别是在高频和高次谐波时。步进式正弦波失真测量可显示高达九次谐波的失真分量、THD和本底噪声（这几项与扫频导出的结果相同），此外还包括THD + N（总谐波失真加噪声和非谐波失真），并可单独显示N（噪声和非谐波失真）。请注意，本底噪声图显示了在没有测量信号播放时的噪声频谱成分。N和THD + N中的“噪声”是所有非谐波失真与测量频宽内每个频率点的噪声水平的叠加。因此，它比本底噪声图要高得多。对于步进式电平测量，x轴单位可以是dB SPL, dBFS, dBu, dBV, dBW, V或W，显示信号发生器或输入信号电平。

谐波图只能生成测量带宽内的频率。例如，如果测量到20 kHz，则对于10 kHz至多只能显示其二次谐波，因为10 kHz的二次谐波是20 kHz。类似地，对于6.67 kHz只能生成其三次谐波(20/3)。失真图的上限是奈奎斯特频率（即采样率的一半）的95%。例如，在44.1 kHz采样时，失真图上限为 $0.95 \times 44.1 / 2 = 20.95$ kHz。

失真图的频率下限为10Hz或测量开始频率，以较高者为准。10Hz是测量扫频的对数部分的下限。低于10Hz的起始频率部分采用初始线性扫频（以避免在非常低的频率扫频持续时间过长），这意味着该初始扫频区域不能用于生成失真数据。请注意，起始频率为20 Hz或更高的扫频可能会显示低频时失真上升，这是由于带宽限制脉冲响应采用的时间窗固有的时域振铃与失真谐波重叠。为了避免这种情况，尽可能使用低于20 Hz的起始频率和更长的扫频。

总谐波失真(THD)是根据可用谐波得到的。可以选择在THD计算中使用的最高谐波，图例中的曲线名称显示总谐波失真包含了哪些谐波。在更高的频率下，THD图将包含更少的谐波，因为高频的可用谐波较

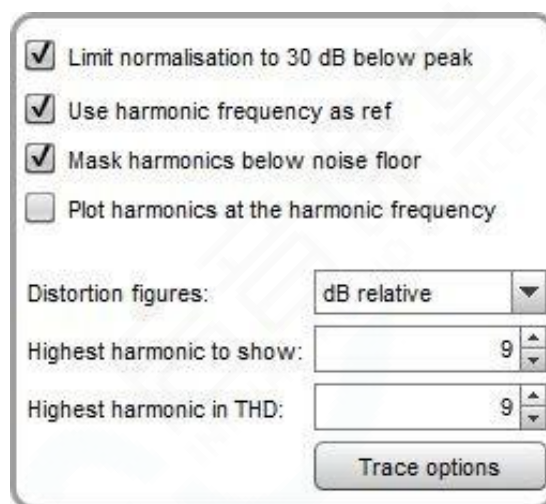
少。

基频图（测量的线性部分）和失真谐波图不考虑话筒/声压计或声卡校准校正的影响。这是为了避免校正产生失真电平的误导性视图的影响。例如，话筒/声压计和声卡校准校正提高了测量的最低频率，以他们在低频的滚降，但是将这些校正添加到失真图中会使失真在低频时出现上升，因此要排除它们的影响。

从扫频测量得到的基频图和谐波图被平滑到1/24倍频程，这是不可调整的。可以将失真数据导出到文本文件。通过文件 → 导出 → 导出失真数据为文本(File → Export → Distortion data as text)菜单和选项。

失真图像控制 (Distortion Controls)

失真图像的控制面板具有以下控件:



默认情况下，该图显示基波和谐波的绝对水平。y轴可以设置为显示dB SPL、dBFS、dBU、dBV、dBW、Volts、Watts、dBr或百分比。dBW和Watts（瓦特）的值是使用RTA外观设置(RTA Appearance Setting)中的参考阻抗值和测量电压计算得到的。如果y轴设置为百分比或dBr，则将谐波除以基波以显示其相对电平，且基波在0 dB或100%处显示为一条平直的线。基波的图例值将继续显示其绝对电平，谐波和THD的读数将取决于失真数值(Distortion figures)设置。如果被测系统的响应在高频有滚降（通常情况下都是如此），对图像做归一化(Normalising)处理将导致失真曲线在高频上升。如果勾选了使用谐波频率作为参考(Use harmonic frequency as ref, 见下一节)选项，这种问题会被进一步放大。勾选限定归一化在峰值以下30dB以内(Limit normalisation to 30dB below peak)，这将设定对基波做归一化处理的下限，从而控制对基波电平的过度提升。例如，如果基波的峰值为95 dB，则应用归一化的最小电平为65 dB。

归一化模式下的谐波和THD图默认使用每个频率的基波电平作为其参考-例如，1 kHz下每个谐波的失真数字将取决于1 kHz下的基波水平。如果选择使用谐波频率作为参考(Use harmonic frequency as ref)，将以谐波的频率作为参考。例如，在1 kHz时，二次谐波数值将取决于2 kHz基波的电平，三次谐波将取决于3 kHz的基波水平，依此类推。这一做法是Steve F. Temme于1993年3月在第94届AES会议上发表的文章“如何绘制失真测量图(How to graph distortion measurements)”中所建议的。如果被测量系统的响应是平的，这对结果没有影响，但是当响应不是平的时候（大多数声学测量都不太平直），它可以从失真数值中消除扬声器基频响应的影响。举个例子，假设扬声器响应是平坦的，只在2 kHz有个6 dB峰值。2 kHz是1 kHz的二次谐波，因此当使用激励频率作为参考来显示1 kHz的二次谐波电平时，谐波电

平会因基波响应的峰值而提高6 dB。同样，667Hz的三次谐波电平也会被提高6 dB。如果使用谐波频率作为参考，失真数值将不会显示这种提升。使用谐波频率作为参考也提供了一个更有意义的失真视角，特别在低于系统低频滚降的频率，否则失真电平会随着基波电平的下降而提高。请注意，当绘图未归一化时，此选项不会影响曲线，但仍将影响图例中的数值（如果失真数值设置了显示为相对于基波的百分比或dB）。

隐蔽低于底噪的谐波(Mask harmonics below noise floor)，会将低于底噪以下的谐波以灰色显示（在谐波的频率）。如果所有谐波都低于底噪，则THD曲线也会变灰。在对扫频测量应用掩蔽时，REW考虑到了扫频测量区分位于底噪之下的谐波频率的有限能力，这些谐波当中，二次谐波的变化幅度可能达到3dB，而九次谐波变化幅度则会达到近10dB。

绘制谐波频率的谐波图(Plot harmonics at the harmonic frequency)，会改变扫频测量失真的谐波的绘制方式为谐波频率处绘制谐波，而不是在基波频率处绘制失真。例如，1 kHz的二次谐波失真为2kHz，其谐波失真会旨在2 kHz处。这使得更容易将谐波电平与谐波频率下的基波电平相关联，也有助于区分外部噪声的影响，由于噪声会影响其发生频率的所有谐波。THD曲线不受该控制的影响，它将继续显示与其基波频率下的谐波电平相对应的THD值。当在谐波频率上绘制谐波时，谐波频率将被用作参考，不管是否勾选了**使用谐波频率作为参考(Use harmonic frequency as ref)**。

失真数值(Distortion figures)，用于选择显示在图例上的谐波失真电平的单位。可选项包括：**依Y轴(As Y Axis)**，它使用选定的y轴单位显示电平；**相对分贝(dB relative)**，显示谐波低于基波的相对dB值；**百分比(Percent)**，它显示谐波电平相对于基波的百分比。采用的基波电平参考频率取决于**使用谐波频率作为参考(Use harmonic frequency as ref)**选项的设置(见上文)。

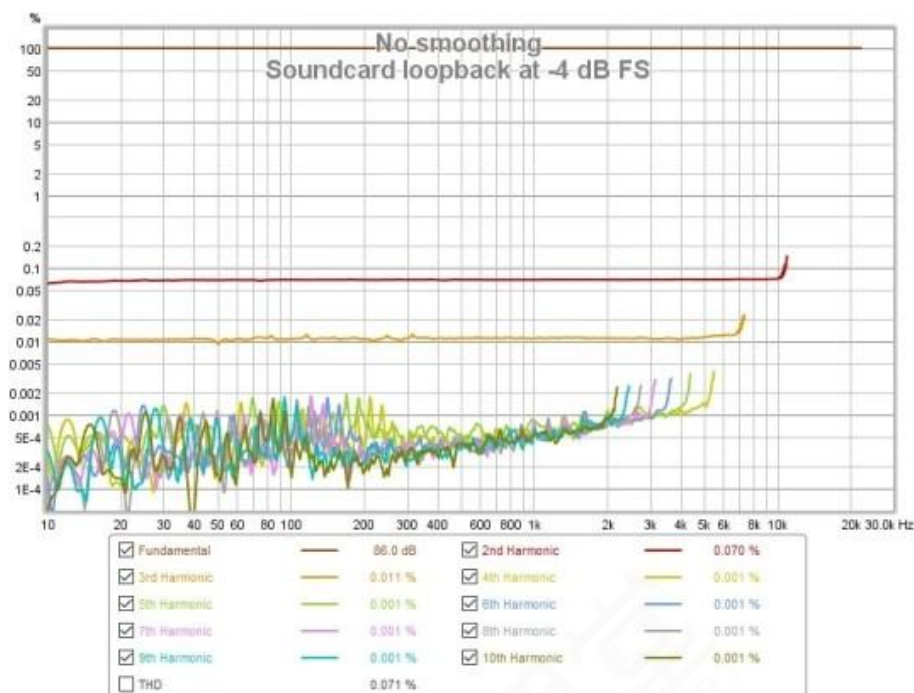
要显示的最高谐波(Highest harmonic to show)选项，可隐藏不感兴趣的高次谐波。例如，当设置为3时，只有二次和三次谐波曲线会出现在图像和图例中。用于计算THD的谐波阶次上限取决于**THD中的最高谐波(Highest harmonic in THD)**设定，该设定可在计算THD时排除高次谐波。如果一些高次谐波低于底噪，因此不希望被考虑到THD计算中，即可在此设定。

点击**曲线选项(Trace Options)**按钮，会弹出一个对话框，其中可更改图像曲线的线型。如果进行了更改，它将应用于图像中显示的所有测量。也可以隐藏曲线，隐藏的曲线将会在图像和图例中被删除。

失真示例-声卡测量(Distortion Examples - soundcard measurements)

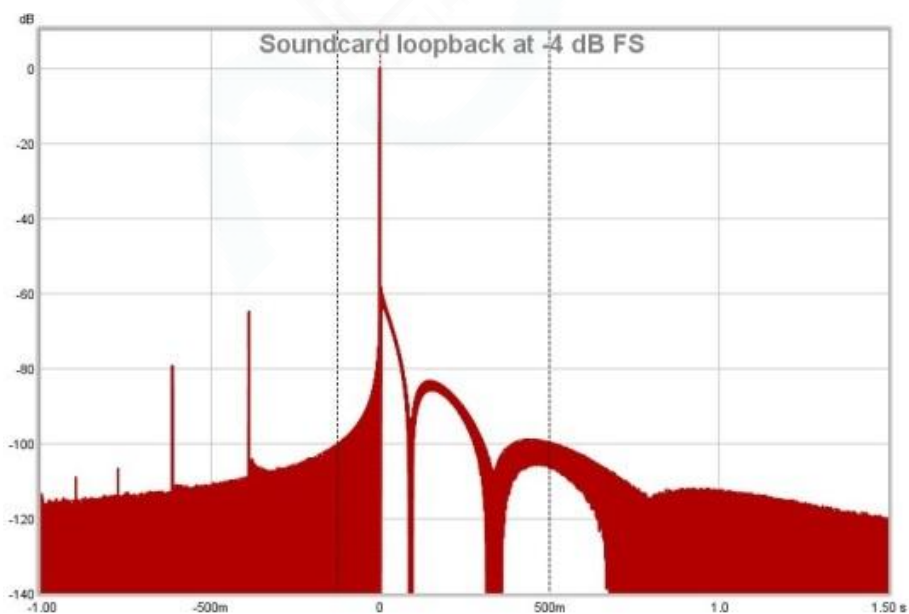
下图是通过声卡的环路测量得到的失真图，采用了较高的扫频电平（-4 dBFS，测量增益设置具有2dB的动态余量）。图例中的读数为光标在1 kHz处的显示。

失真图 (Distortion Graph)



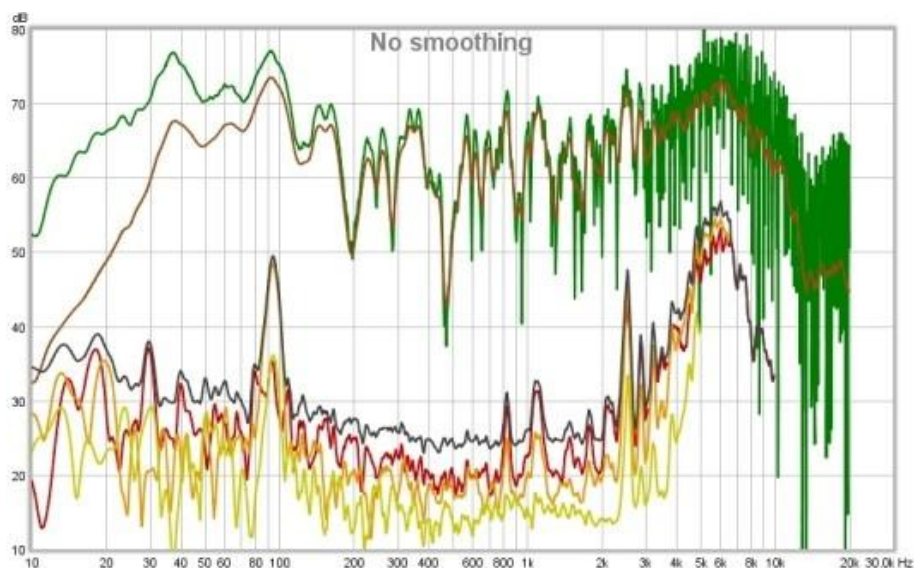
THD曲线未显示，因为它与占主导地位的二次谐波曲线(红色，0.07%)基本重叠。三次谐波（橙色）要低得多，在0.01%左右。而更高次谐波基本在底噪之下。

下图是该测量的脉冲响应图，图中可见谐波失真峰值位于脉冲主峰的左侧。左边的第一个峰是二次谐波，下一个是三次谐波，依此类推。

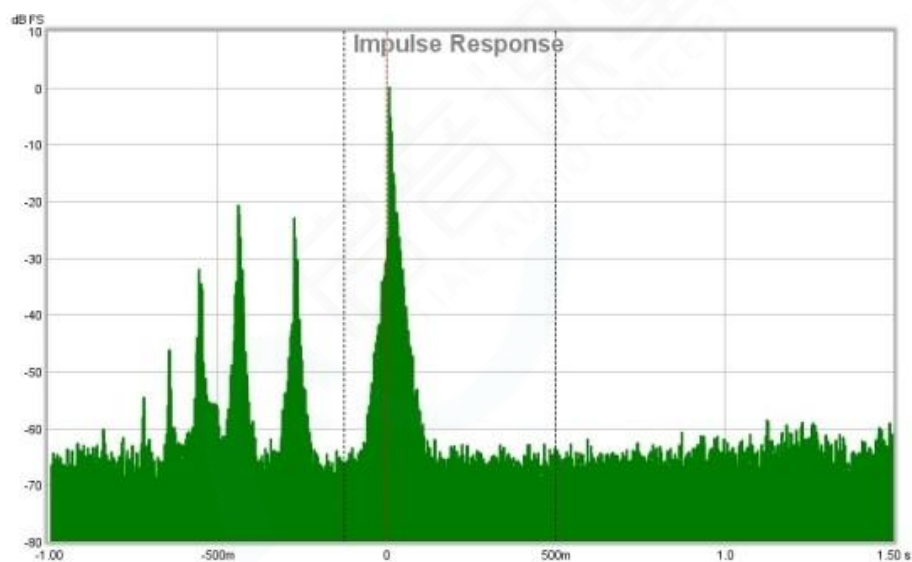


第二个例子是一个房间测量。下图显示了二次（红色）、三次（橙色）和四次（黄色）谐波曲线，以及THD曲线（黑色）。更高次谐波低于底噪。测量结果显示，在94Hz时，三次谐波失真急剧上升，所有失真分量从大约2kHz向上急剧上升。通过不同信号电平下的进一步测量，确定这种失真是由用于测量的声压计引入的。

失真图 (Distortion Graph)

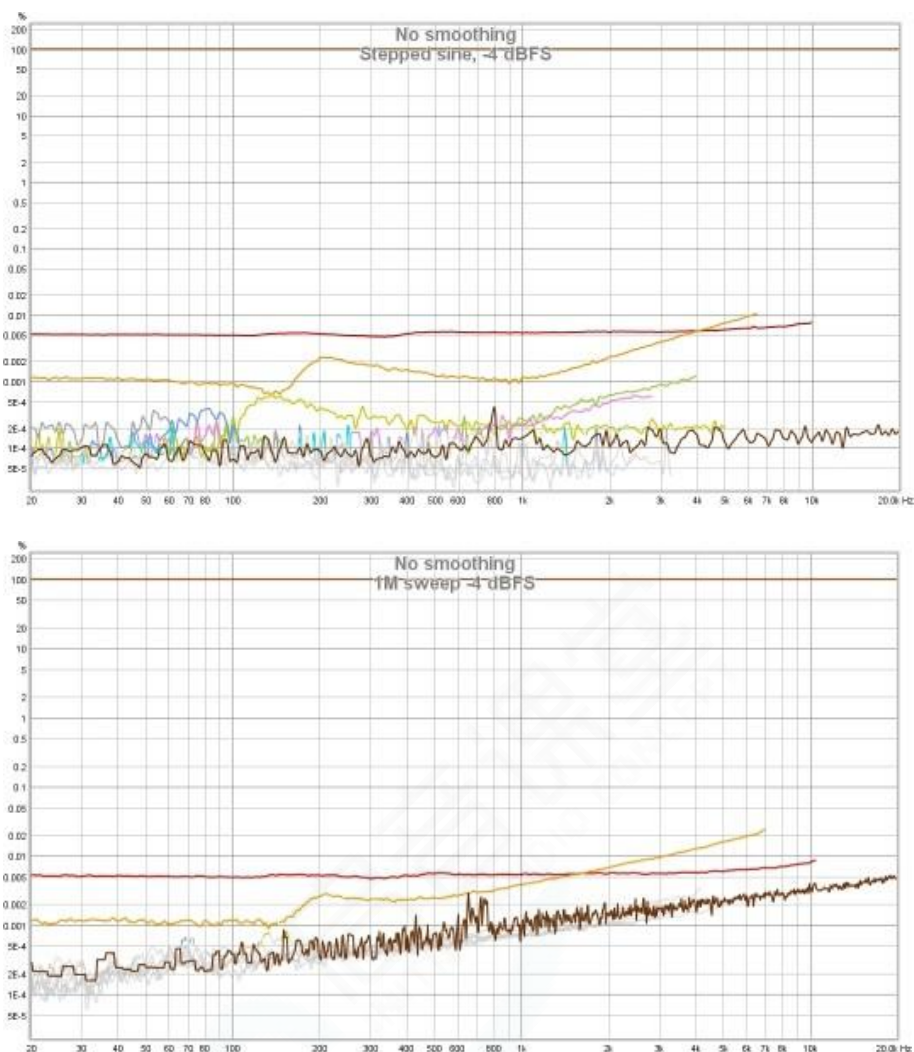


下图是该室内测量的脉冲响应，主峰左侧的失真峰清晰可见。

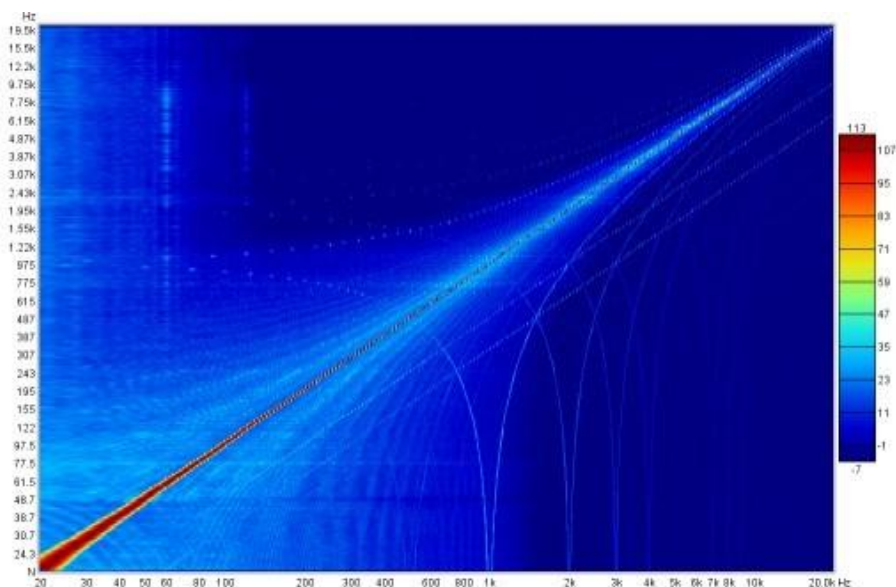


下面两幅图显示了用不同的激励信号做声卡环路测量：**-4 dBFS**的步进式正弦波波(64k FFT, 24 ppo)和**1M**对数扫频测量。请注意，当用扫频测量时，底噪会随频率升高，除了二次和三次谐波之外，所有谐波都位于底噪以下。此外，在**100Hz**以上的频率，扫频测量比步进式正弦波波测量的三次谐波更高。步进式正弦波波测量得到的**4次、5次和7次**谐波成分高于底噪（深棕色曲线）。当测量低失真电平时，采用步进式正弦波波更为精确。

失真图 (Distortion Graph)

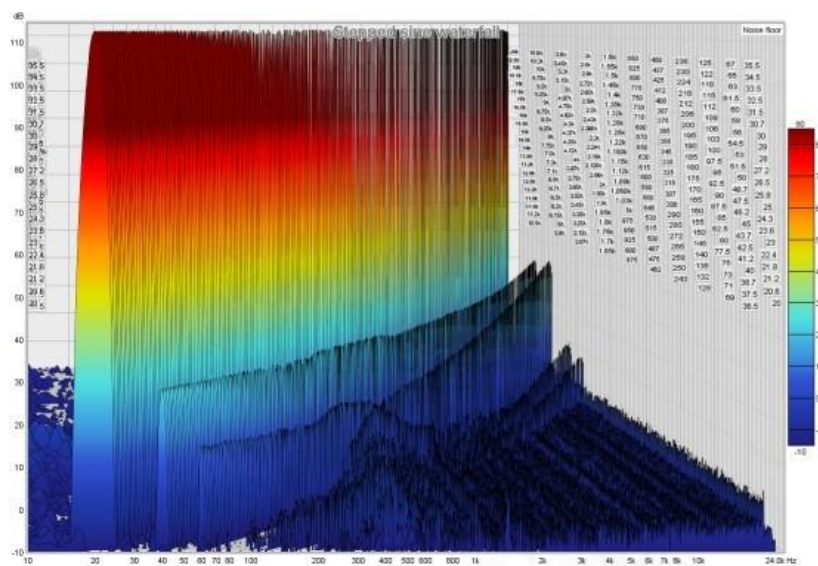


通过查看在每个测试频率下捕获的频谱数据的瀑布图(waterfall)或色谱图(spectrogram), 可以获得对失真行为的进一步洞察。请注意, 这两种视图只能为步进式正弦波测量生成, 且须勾选在**每个频率捕获频谱数据(Capture spectrum data at each frequency)**选项。这是上述步进式正弦波测量的色谱图。

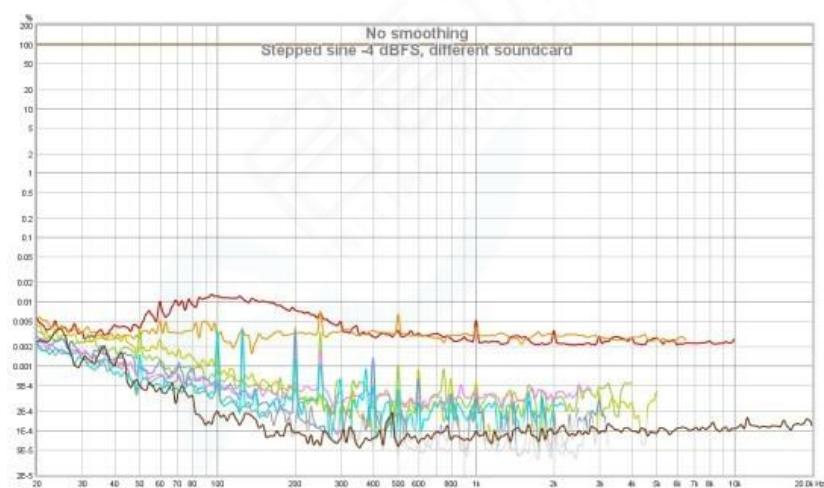


失真图 (Distortion Graph)

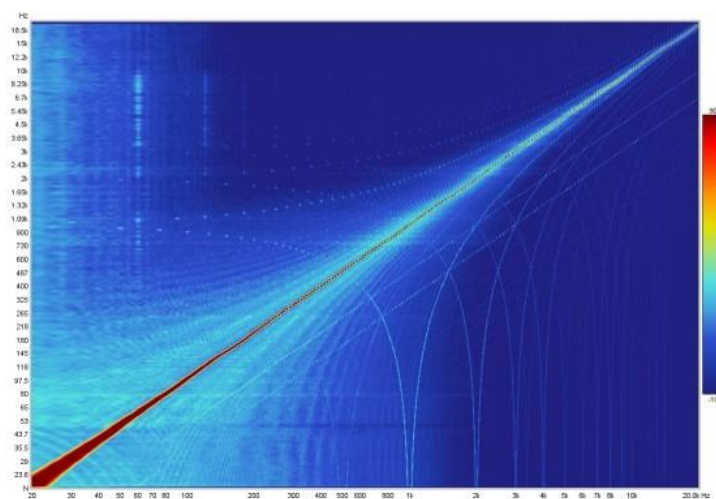
这里是它的瀑布图。



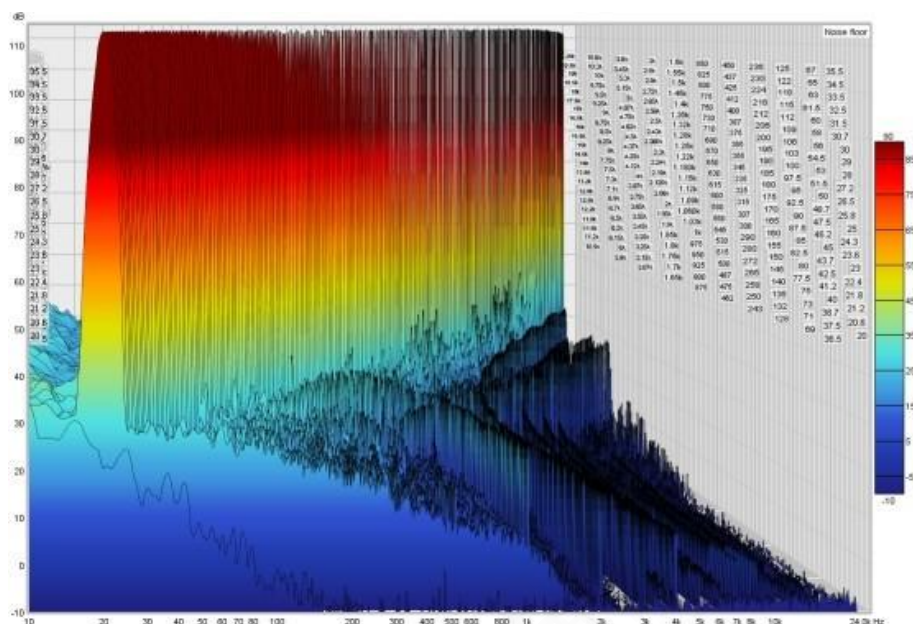
这是另一个声卡的步进式正弦波测量，表面上看起来与上面的性能相似。



然而，它的色谱图清楚地表明，它的表现要差的多，存在1 kHz USB帧速率谐波的互调产物。



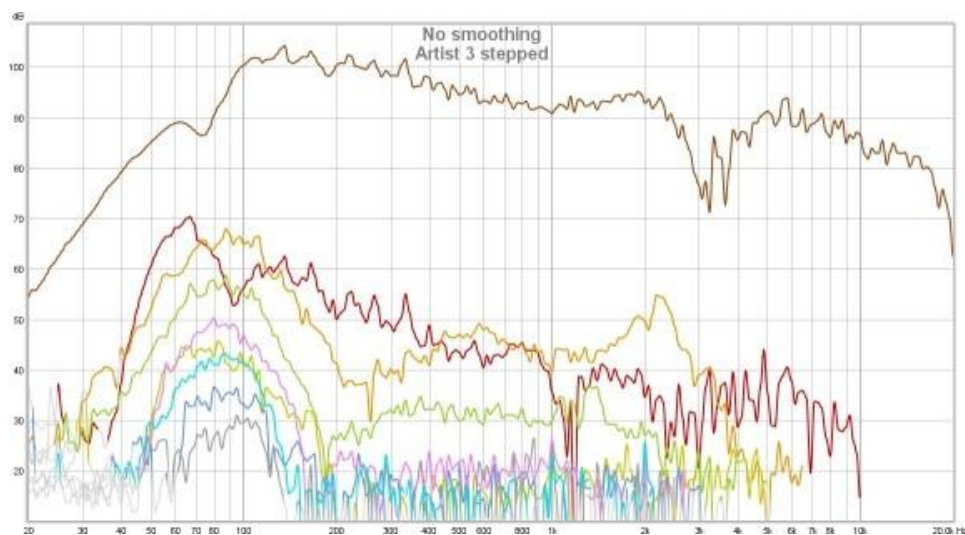
它的瀑布图也能揭示这个问题:



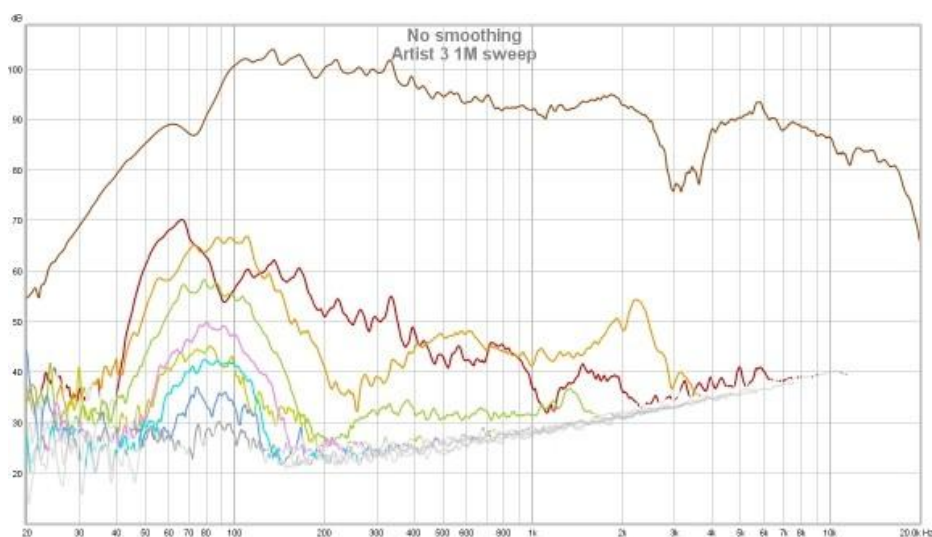
失真示例-扬声器测量(Distortion Examples - speaker measurements)

扬声器测量，特别是那些在普通室内而非消声室中进行的测量，给测量结果的解读带来了额外的挑战。电子元件的失真结果通常显示为相对于基波值的百分比。如果对扬声器测量结果也使用百分比来绘制会使结果难以理解，这是由于扬声器的频率响应通常都不太规则。使用谐波频率作为参考（参见[失真图像控制](#)章节）会有所帮助，但不能称为一个完美的解决方案。我个人的偏好是在没有归一化的情况下查看失真结果，这有助于使响应不规则性的效果变得明显，并强调失真分量的声学水平，这有助于决定它们在哪里可能是可听的，在哪里不是。当以声压级查看失真图时，失真曲线图例仍然可以配置为显示百分比，由[失真数值](#)选项控制。

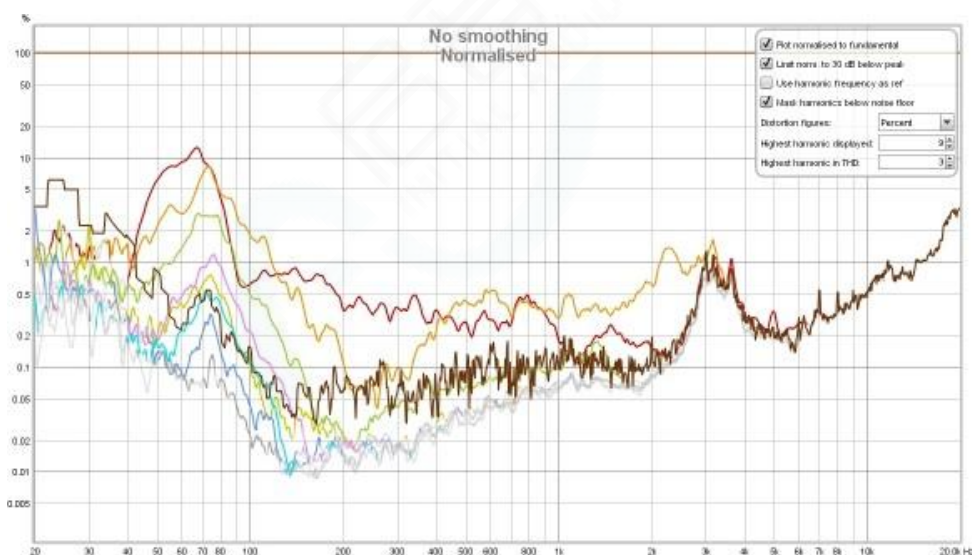
这是一只小型桌面音箱的测量(Adam Artist 3)， 话筒(UMIK-1)距离音箱仅15厘米，因此测量的声压级相对较高，测量时在听音位置（音箱前70厘米处）的声压级约为85 dB。



失真图 (Distortion Graph)



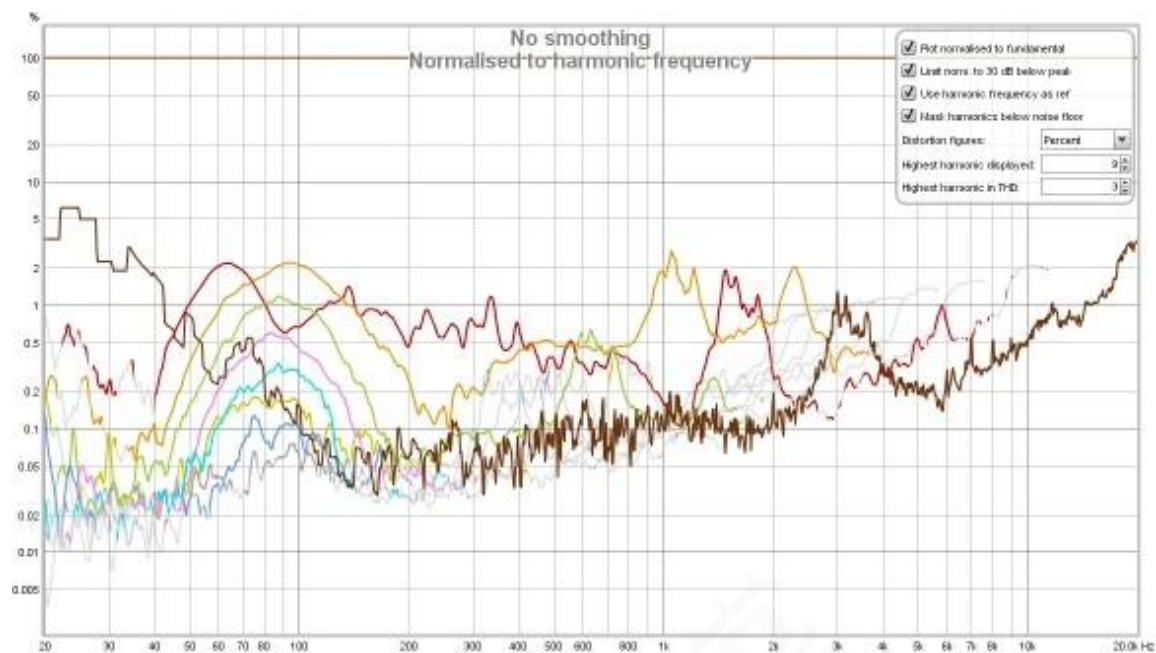
以80 Hz左右为中心的奇次谐波的峰看起来是轻度削波。在3kHz以上，扬声器的带状高音扬声器开始工作时，采用扫频测量显示失真水平下降到底噪以下，而步进式正弦波测量则依然能清晰地呈现高频失真。由于这是一个近场测量，因而房间的影响降低了，但是频率响应的崎岖不平仍然会使归一化后的视图很难理解。下图是归一化的响应，未使用谐波频率作为参考。图中显示了底噪（深棕色），以帮助说明归一化中由于频响在某些频率的凹谷，造成了在该频率对底噪的提升。



很明显，在3 kHz左右的二次谐波失真的峰值只是底噪被提升，因此可以忽略，然而，如果没有底噪曲线，这一点对我们来说并不是显而易见的。在低频，由于扬声器响应的滚降，低频失真显示出比应有的水平要高得多，这意味着它在较低的电平处被归一化。高达10%的二次谐波可能会引起顾虑，但当我们认识到这是归一化的人工副作用时，就会没那么担心它。

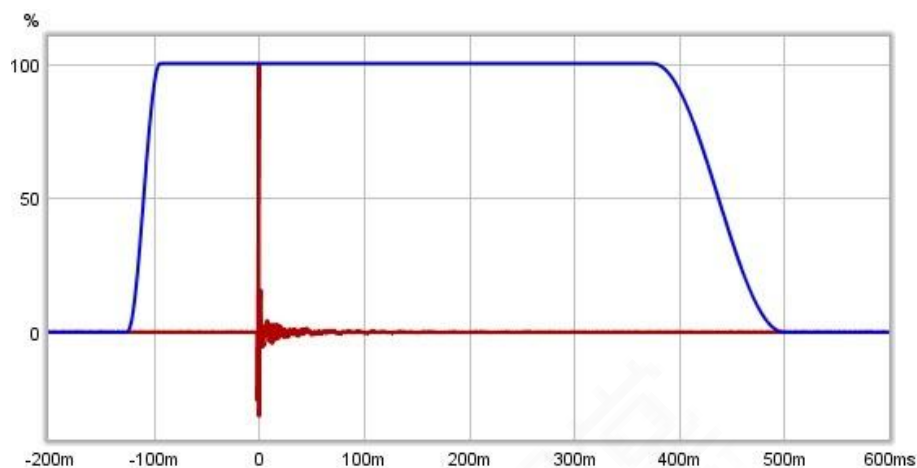
归一化在低频的副作用，可以通过使用谐波频率的基波电平作为归一化参考来改善。由此我们得到了下图，低频表现被更准确地描绘出来。然而，在1kHz以上的二次和三次谐波中出现了新的峰值，这是由于3 kHz处频率响应凹陷的结果。这种凹陷可能是由于在近场测量位置中/低音和高音扬声器之间的分频点耦合不良。因此，此处的失真峰值不太可能是真实存在的。没有做归一化的视图没那么容易被误解。

失真图 (Distortion Graph)

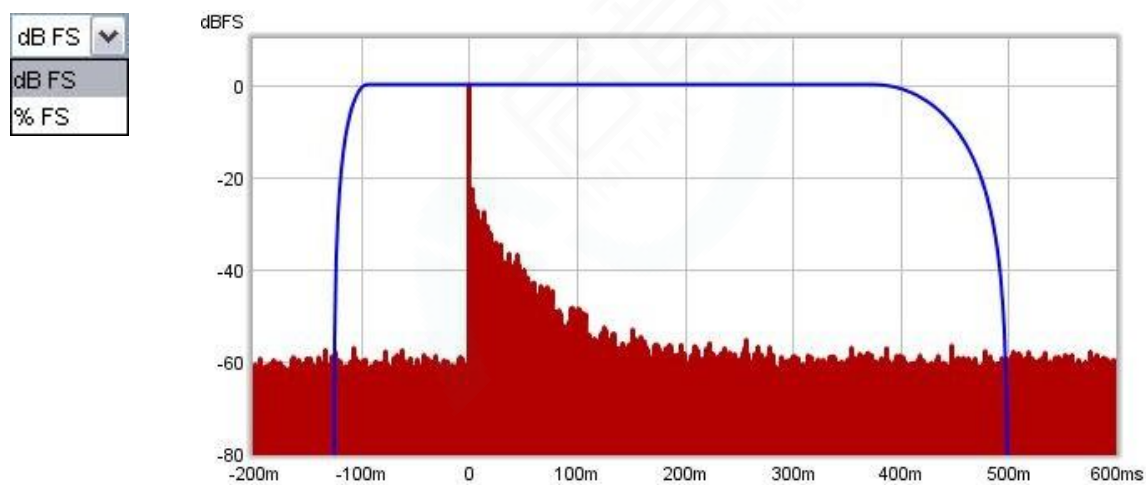


脉冲图(Impulse Graph)

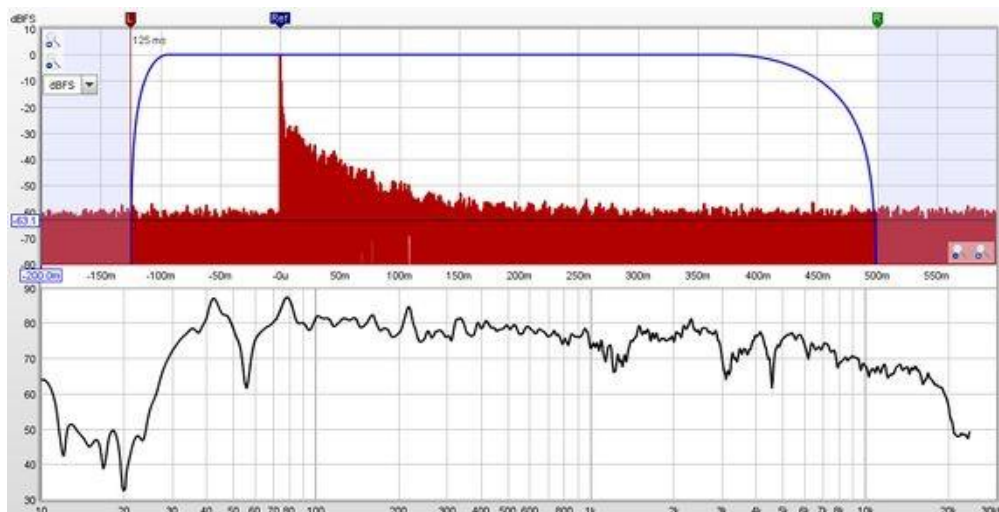
脉冲图显示当前测量的脉冲响应。它还可以显示左右时间窗以及时间窗对于频率响应计算数据的影响，最小相位脉冲，脉冲响应包络(ETC)和阶跃响应等。



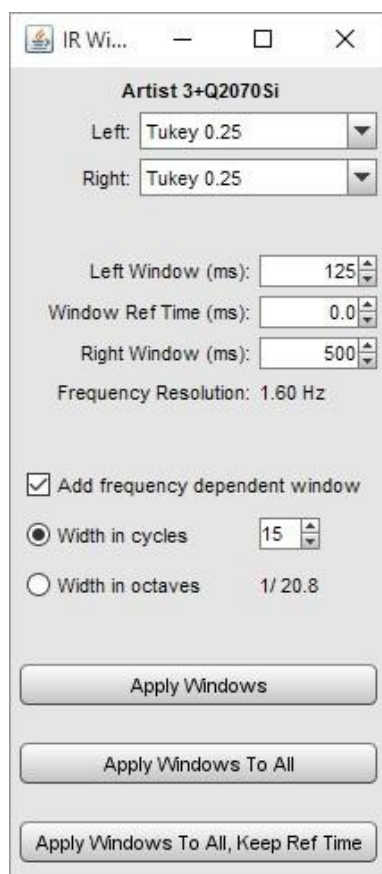
脉冲响应的Y轴可以选择为 %FS或dBFS (FS = 满刻度)，当鼠标光标位于图像区域内时，左上角会出现单位切换的下拉菜单。dBFS刻度相当于脉冲的“平方对数”视图。



图像上方的指标显示脉冲响应时间窗和时间窗参考位置的范围。可以单击并拖动指示器来更改时间窗设置，当释放鼠标按钮时，将应用新的设置。更改时间窗设置时，窗口之外的区域将显示为阴影，直到应用设置后恢复正常。当拖动时间窗指示器时，脉冲响应图的下方会出现新的时间窗设置对声压级响应的效果预览。最好将y轴设置为dB来调整时间窗，这样就更容易看到响应在什么位置衰减到噪音中。



每次测量后，会自动设置左侧时间窗宽度。对于全频段测量（以及截止频率低至1kHz的测量），宽度为125ms，低于该频率，则会出现由于使用有限扫频范围而增强预振铃效果。要更改测量的时间窗设置，请单击**脉冲响应时间窗(IR Windows)**按钮：



测量得到的脉冲响应，是整个系统的响应，包括话筒、声压计和声卡。话筒、声压计和声卡校准文件仅应用于计算频率响应，它们不包括在脉冲响应。

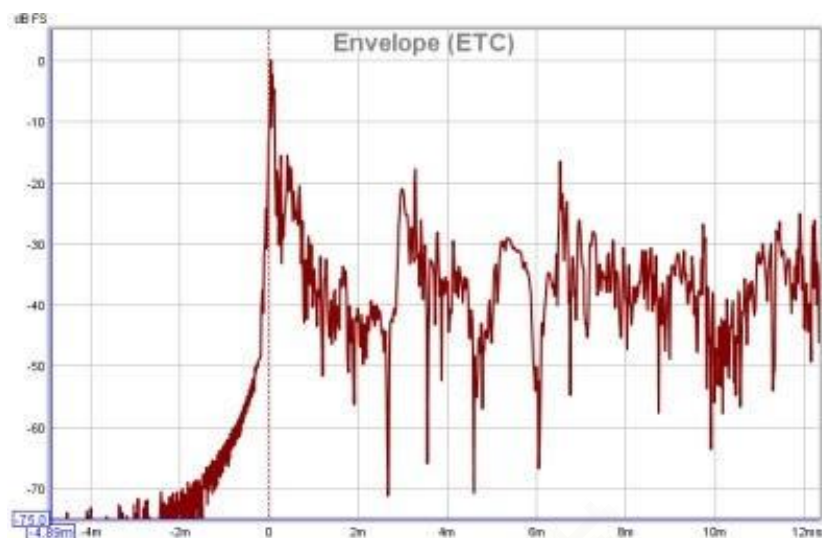
最小相位脉冲(Minimum Phase Impulse)

如果此前已经应用生成**最小相位(Generate minimum phase)**功能，对当前测量生成了幅度响应的最小相位版本，则最小相位脉冲曲线就会被激活。请注意，如果要生成最小相位响应，则需要进行全频段测量，因为良好的结果依赖于超出系统带宽的测量。

脉冲响应包络(Impulse Response Envelope)

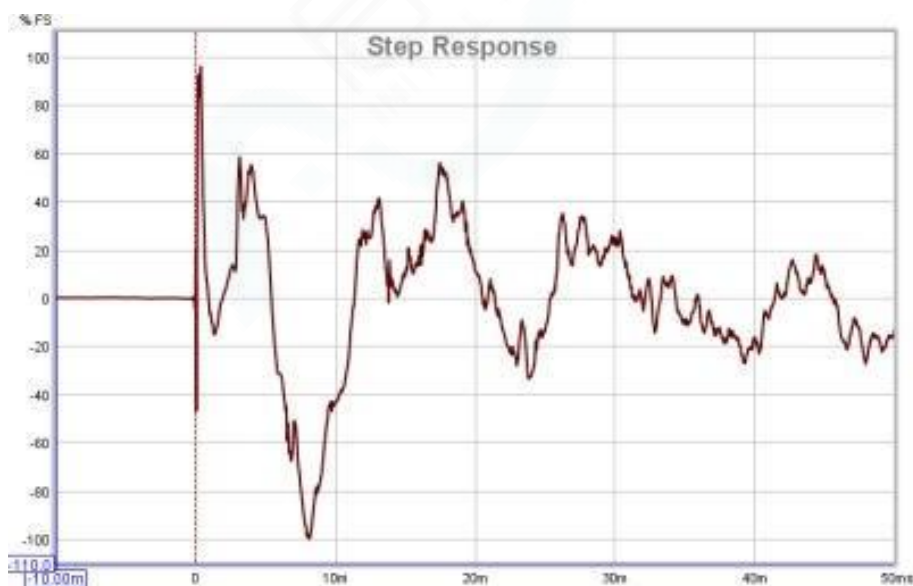
脉冲的包络线，也称为能量-时间曲线，即ETC(Energy Time Curve)，可用于识别反射并查看脉冲响应的整体形状。下图显示了包络线，初始峰值后的尖峰是由于来自房间表面的反射，第一个尖峰发生在初

始峰值后3.25ms，表明反射声到达话筒的路径比直达声多出额外的1.11m（3.7英尺）。



阶跃响应(Step Response)

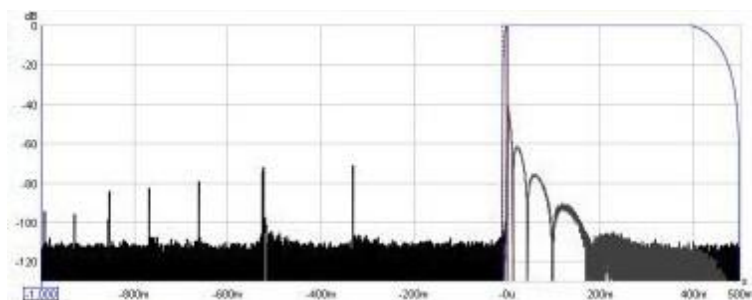
阶跃响应显示如果输入信号跳到某个固定电平并保持在那里将产生的输出。它是加时间窗后的脉冲响应的积分。如果测量输入链中有电平偏移，阶跃响应将随着时间的推移显示整体上升或下降，而不是趋于归零。



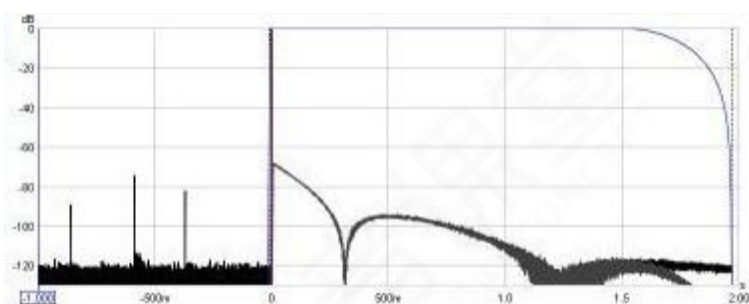
失真分量(Distortion Components)

对数扫频分析法的一个特性是，各种谐波失真分量在负时刻以附加脉冲的形式出现，随着失真阶数的增加间距减小。例如，下图显示了一个笔记本电脑声卡环路测量中失真分量到八次谐波的峰值：

脉冲图(Impulse Graph)

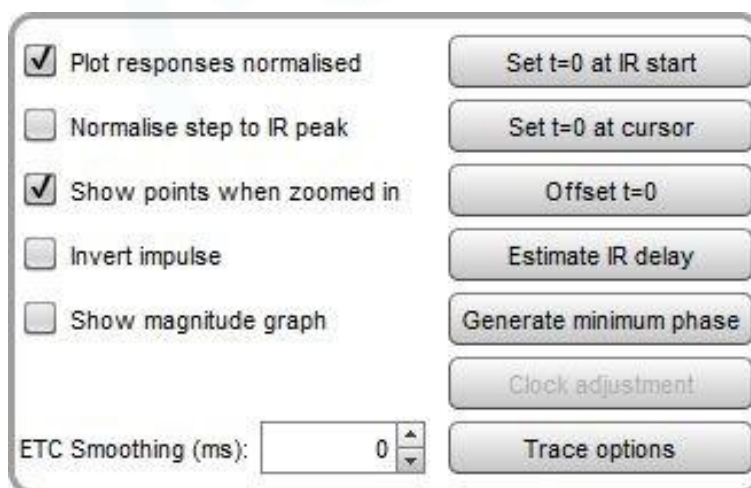


下图是对USB声卡的一个类似测量，其采样率为44.1kHz而不是48kHz，这限制了我们在脉冲前1s内最高只能观察到六次谐波，然而，只有二次、三次和五次谐波峰值是明显的，四次谐波峰值略高于底噪，几乎看不见（比上图笔记本电脑声卡低约10dB）。脉冲扩展的波瓣是由于该声卡的更低的-3dB截止频率，为1.0Hz，而上图中的笔记本电脑声卡是22.1Hz。注意，该图中的时间轴右侧跨度为2.0s，而上图为0.5s。



脉冲控制(Impulse Controls)

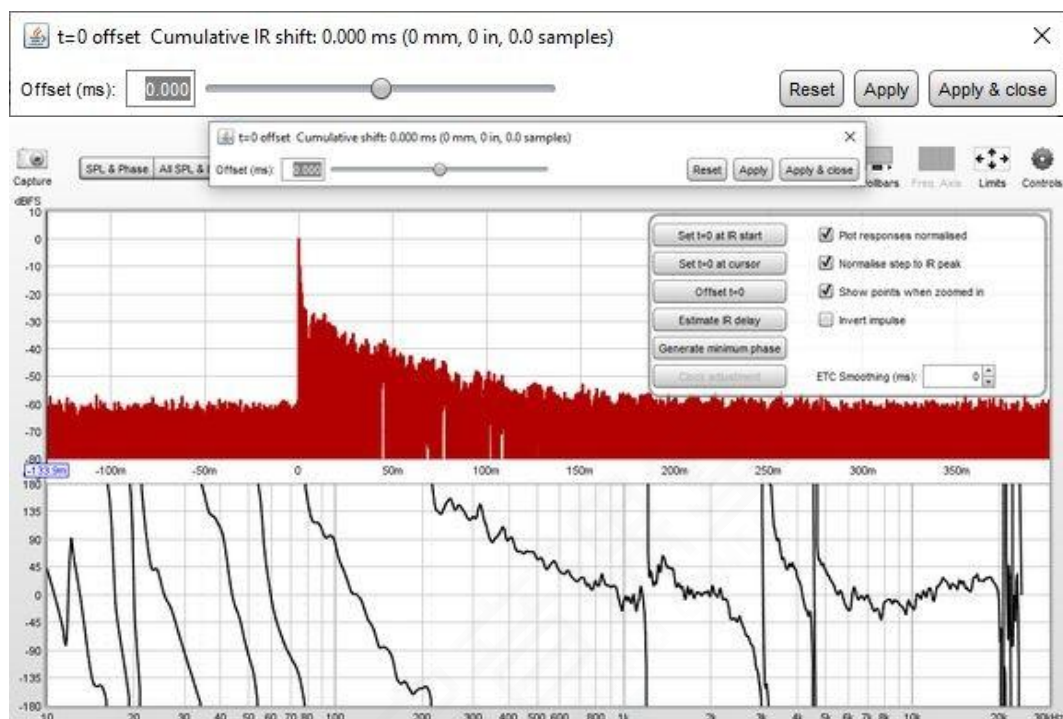
脉冲图的控制面板具有以下控件：



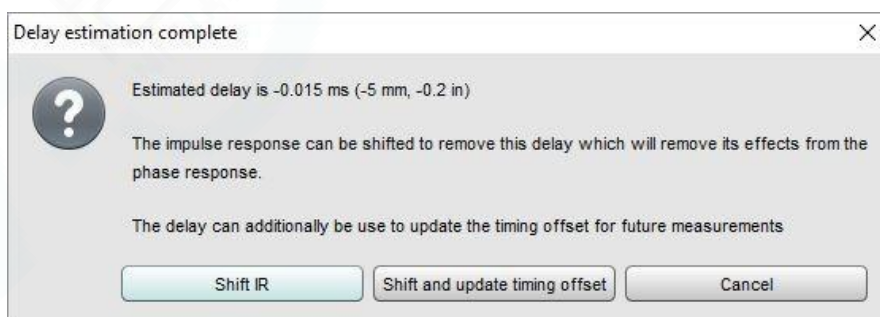
在脉冲起始处设置 $t=0$ (Set t=0 at IR start)按钮，将零位与脉冲开始的时间对齐（脉冲高出底噪时）。在控制面板显示时，可以使用Alt + y快捷键激活该功能。

在光标处设置 $t = 0$ (Set t=0 at cursor)按钮，将时间零位与当前光标位置对齐。在控制面板显示时，可以使用Alt + z快捷键激活该功能。

偏移 t = 0(Offset t=0)可以移动脉冲响应的时间零点的位置，并实时预览偏移对相位的影响。在点击**Apply**（应用）或**Apply&Close**（应用和关闭）之前，测量本身不会因此改变。点击滑块旋钮后，可以用左箭头键和右箭头键对偏移量进行微调。如果测量使用了时间参考，系统延时值（可在测量信息面板中查看）也会随时间偏移量产生相同的改变。应用于脉冲响应的累计时间偏移会显示在对话框顶部。



估算脉冲响应延时(Estimate IR delay)通过将测量相位与最小相位进行比较，估算测量中的延时值。算出延时值后，可以点击显示在面板上的**Shift IR（移动脉冲响应）**将该延时值从脉冲响应中去除，而点击**Shift and update timing offset（移动脉冲并更新时间偏移）**则可后续测量应用同样的时间偏移。

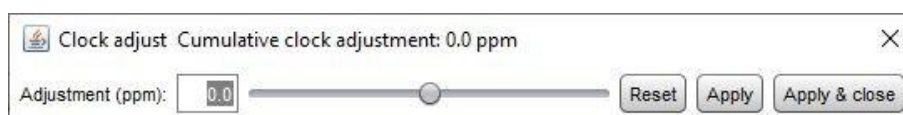


生成最小相位(Generate minimum phase)按钮，将使用当前脉冲响应窗设置生成测量的最小相位版本。然后，最小相位曲线显示的是一个幅度响应与实测系统相同，但具有最小相位偏移的系统的相位响应。请注意，如果要获得良好最小相位响应的结果，测量带宽应超出被测量系统的带宽，最好进行全频带测量。此控制还会激活声压级与相位视图中的最小相位和过量相位曲线，以及群延时图的最小群延时和过量相位群延时曲线。

注意事项：脉冲响应时间窗设置是非常重要的，因为最小相位响应是从测量的频率（幅度）响应计算得到，而频率响应则会受到脉冲响应窗设置的影响。如果时间窗设置有更改，则应再次点击**生成最小相位**，以反映新的时间窗设置。还要注意，左侧时间窗的形状（在峰值之前应用的时间窗）影响最小相位结果，比如相对于**Hann**时间窗，矩形时间窗产生的相移更低。

如果被测系统本质上是**最小相位**（例如，大多数分频器）则最小相位响应与从测量中去除时间延时后的相位一致。房间测量通常不是**最小相位**，只有低频在某些位置上表现为**最小相位**特性。有关**最小相位**、**过量相位**和**群延时**的更多信息，请参见[最小相位](#)。

对REW V5.20 beta 2或更高版本中，可对扫频测量做**时钟调整(Clock adjustment)**。它用于补偿输出设备和输入设备的时钟速率之间的差异。当输出和输入设备不同时，它们的时钟差异可能相当大，足以扭曲脉冲响应的形状，特别是在使用较长时间的扫频时。时钟速率差异会影响相位响应，但不会影响幅度。调整的单位是百万分之几，ppm。当调整时钟速率时，实时预览显示了调整对脉冲响应和相位的影响。在点击**Apply (应用)**或**Apply&Close (应用和关闭)**之前，测量本身不会被改变。点击滑块按钮后，可以用左右箭头键进行微调。滑块控制的范围为-500至+500ppm，但可以在点击**应用**按钮之后，根据需要进一步调整。累计时钟调整显示在对话框的顶部和测量信息对话框中。请注意，时钟调整是一项计算量较大的任务，因此显示更新不是实时的。

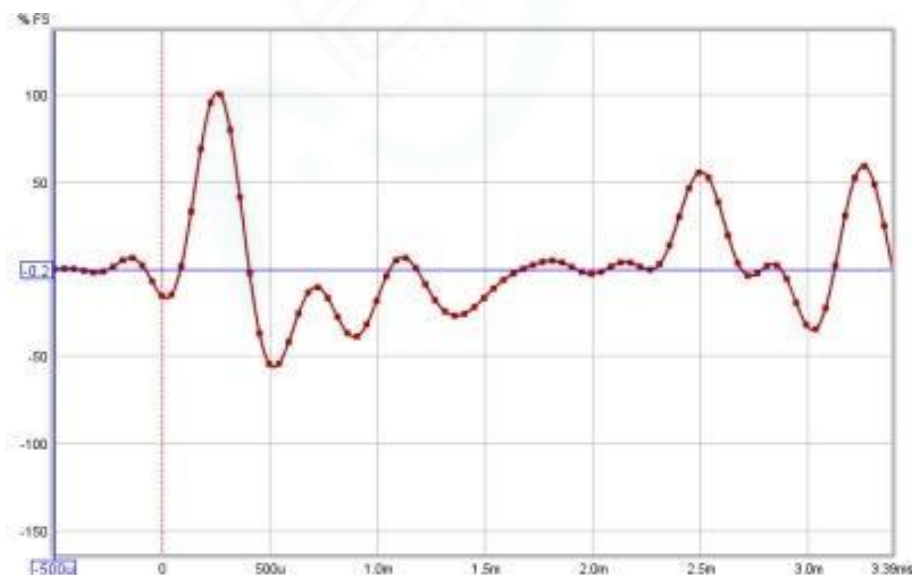


点击**曲线选项(Trace Options)**按钮，会弹出一个对话框，其中可更改图像曲线的线型。如果进行了更改，它将应用于图像中显示的所有测量。也可以隐藏曲线，隐藏的曲线将会在图像和图例中被删除。

绘制归一化的脉冲响应(Plot responses normalised)，用以控制是否对脉冲响应按照其峰值做归一化。当勾选该选项时，峰值将绘制为100%或0 dBFS。

根据脉冲峰值对阶跃响应归一化(Normalize step to IR peak)，控制是否将阶跃响应按照脉冲峰值做归一化。

放大时显示点(Show points when zoomed in)选项，可在放大倍数足够高时，将构成脉冲响应曲线的散点显示在图中，以便区分它们。



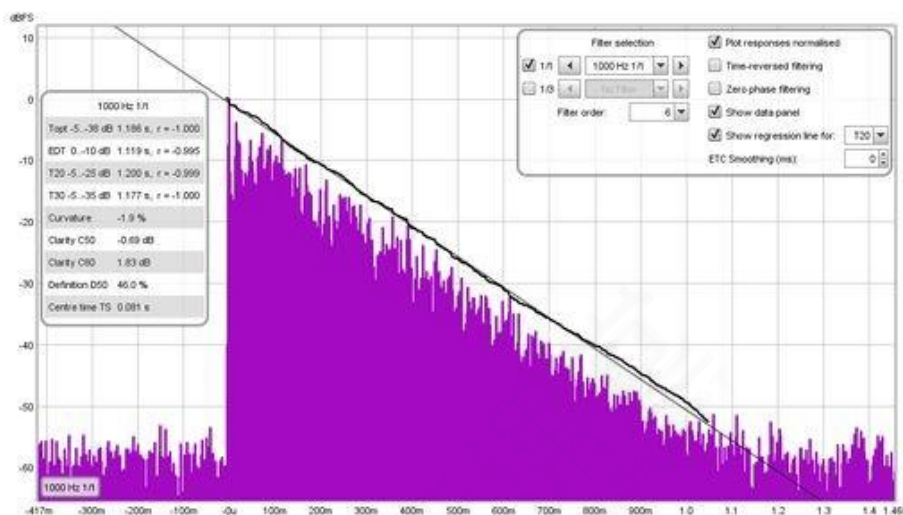
反转脉冲响应(Invert impulse)选项，可以对脉冲做反极性处理。请注意，当Y轴设置为dBFS时，反转脉冲响应对其显示没有影响。如果您使用的声卡输入极性是反的，则可以通过[声卡首选项](#)输入通道控制中的**反转(Invert)**复选框来设置极性。

勾选**显示幅度图(Show magnitude graph)**，则声压级响应图会显示在脉冲图下方。该视图与使用图像顶部的指示器调整脉冲响应窗时显示的视图相同。

ETC平滑用于使用微调器中指定的持续时间，移动平均滤波器平滑包络曲线(ETC)。

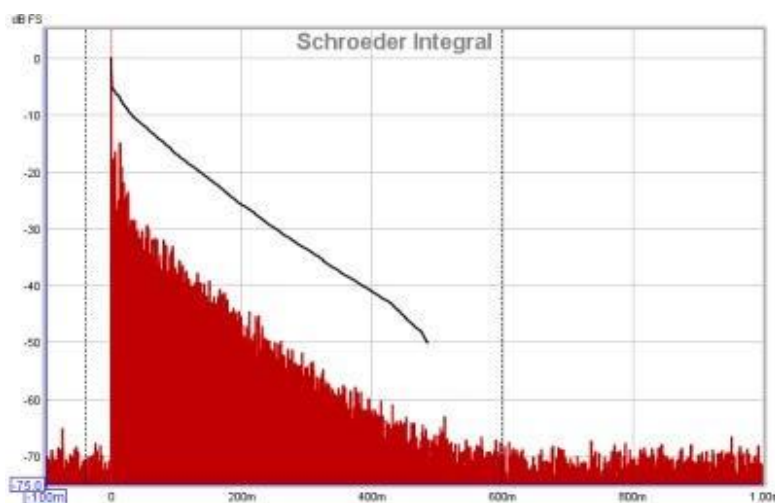
经滤波脉冲响应图(Filtered IR Graph)

经滤波脉冲响应图可对测量结果应用倍频程或1/3倍频程滤波器，倍频程滤波器是巴特沃斯(Butterworth)带通滤波器，在图像控件中可选择其阶数。该图主要用于查看不同频段的衰减行为，并根据ISO 3382分析结果。除了经滤波的脉冲响应本身，该图还包括脉冲响应包络线(ETC)和施罗德积分曲线，以及基于施罗德积分的RT60估算。



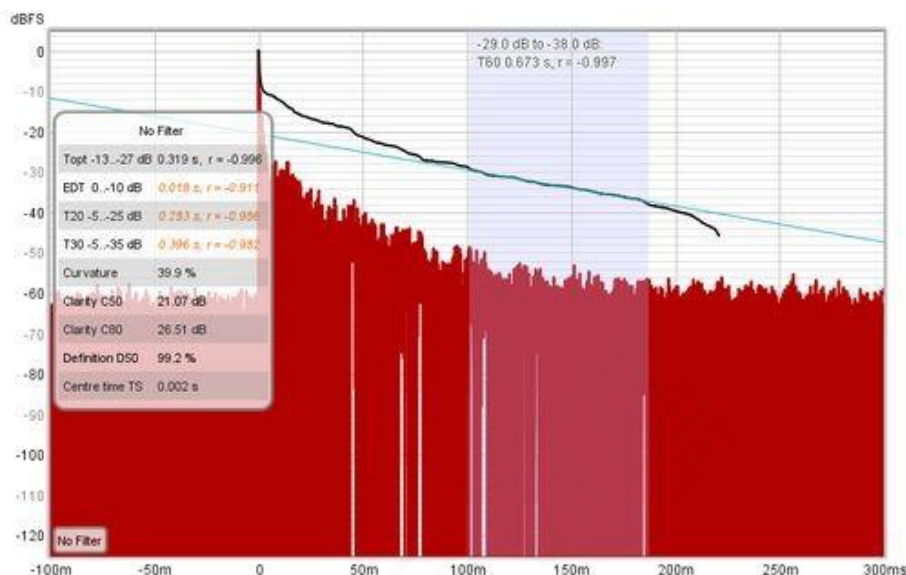
施罗德积分(Schroeder Integral)

施罗德积分是通过平方脉冲响应并逆向积分获得的曲线，理想情况下从响应衰落至噪声的点开始并应用校正（积分的起始值），校正起始点是基于施罗德曲线下降的速率在整个响应中保持不变的假设。REW使用迭代法来估计积分的最佳起点，基于A. Lundeby、T.E. Vigran、H. Bietz和M. Vorländer的论文《室内声学测量中的不确定性》中所阐述的Lundeby法(Uncertainties of Measurements in Room Acoustics, *Acustica*, vol. 81, pp. 344–355 (1995))。该曲线的斜率用于衡量脉冲响应衰减的速度，并得出“RT60”的数值，即声音衰减60dB所需的时间。图上显示的曲线是基于当前所应用的滤波器（如果有设置滤波器的话）。当计算倍频程或1/3倍频程RT60的衰减数据时，脉冲首先经过对应带宽和中心频率的滤波器，而后再对各个频段做施罗德积分，在进行各频段的RT60计算。



图像度量(Graph metrics)

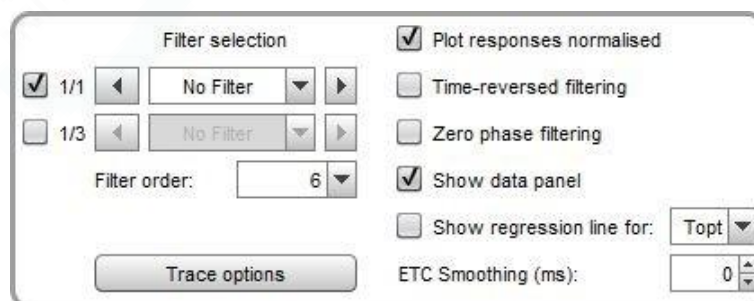
如果通过按住shift键，然后使用鼠标左键按住并拖动来选择施罗德积分范围，则会显示所选范围的衰减线，并显示相应的T60值。通过拖动区域的起点或终点，可以在选择之后调整范围，也可以移动整个范围。Y轴必须设置为dBFS。



经滤波脉冲响应控制(Filtered IR Controls)

经滤波的脉冲响应图的控制面板具有以下控件：

1/1和**1/3**复选框用于选择倍频程和1/3倍频程滤波器，选择后将启用相应的控件集。所需的滤波器频率可以直接从下拉列表中选择，或者使用两侧的步进按钮调整。滤波器在选择后应用于脉冲响应，图像左下角的标签显示当前滤波器设置。**滤波器将处于激活状态**，除非选择了“无滤波器(No Filter)”或取消滤波器选中框。所有图像中的测量名称都显示其所应用的滤波器的指示，例如“**audixent [250Hz 1/3]**”。滤波器是Butterworth 带通滤波器，其阶数由面板中选择的**滤波器阶数(Filter order)**控制。可以选择从6到48的阶数，默认为6。请注意，较高的滤波器阶数相应地具有较高的群延时，如果RT60值较低，则可能影响RT60估计值（例如，在高度处理的空间中快速衰减）。使用**时间反向滤波**可以避免这个潜在的问题。



绘制归一化的脉冲响应(**Plot responses normalised**)，用以控制是否对脉冲响应按照其峰值做归一化。当勾选该选项时，峰值将绘制为100%或0 dBFS。

时间反向滤波(Time reversed filtering)，控制在时间上向后应用倍频程带滤波器，这减少了滤波器自身对测量衰减的影响。当在低频下使用1/3倍频程滤波器时，滤波器衰减时间可能是显著的，例如，对于100Hz做1/3倍频程6阶滤波器，会超过200ms。应用反向滤波器可将这种衰减减少至不到50 ms，但它也会对响应产生一定其他影响，比如使用时间反向滤波器的早期衰减时间(EDT)数值可能无效。请注意，此控件独立于RT60图像上的时间反向滤波控制，此处的调整并不影响RT60图像中的相关设置，但

它会以RT60的最后一次设置作为初始设置。

零相位滤波(Zero phase filtering)会对数据做两种不同路径的滤波，一个向前，一个向后，以得到总体零相移的响应。这在对比反射峰的位置时可能会有用，在经滤波脉冲响应中及其派生的ETC图像中，可确保峰值的时间不会受到滤波器的相位响应影响而移动。用于向后和向前路径的滤波器阶数是设定阶数的2/3，结合带宽调整，其响应可接近于指定阶数的单路径滤波器的响应。请注意，该控制独立于RT60图表上的零相位滤波控制，并且不影响RT60的零相位滤波控制，但它会以RT60图像中的最后一次设置作为初始设置。

显示数据面板(Show data panel)功能，可在图像区显示一个包含衰减值的的面板。RT60数值包括计算它们的衰减范围和“r”值——回归系数，及其测量数据与直线对应的程度。值为-1表示完美匹配，小于-0.98的值表示相应的衰减可能不可靠。不可靠的数值显示为橙色斜体。

Topt -5..-49 dB	0.466 s, r = -0.998
EDT 0..-10 dB	0.343 s, r = -0.997
T20 -5..-25 dB	0.405 s, r = -0.997
T30 -5..-35 dB	0.443 s, r = -0.997
Curvature	9.3 %
Clarity C50	9.11 dB
Clarity C80	13.97 dB
Definition D50	89.1 %
Centre time TS	0.020 s

面板中包含的参数有：

EDT

早期衰减时间，基于施罗德曲线在0 dB和-10 dB之间的斜率。

T20

20dB衰减时间，基于施罗德曲线在-5 dB和-25 dB之间的斜率。

T30

30dB衰减时间，基于施罗德曲线在-5 dB和-35 dB之间的斜率。

优化衰减时间 (Topt)

基于施罗德曲线在可变范围内的斜率的“最优”衰减时间，可变范围的选择以能产生最佳线性拟合为准。如果早期衰减时间比T30短得多，则Topt计算使用基于EDT和T30线相交的起点，否则使用-5 dB。REW以1dB的步进测试每个终点到施罗德曲线的终点，并选择一个具有最佳线性拟合的终点。

曲率 (Curvature)

(T30/T20 - 1) 的计算结果以百分比表示，提供了衰减曲线斜率如何变化的参考。从0到5% 的是典型值，高于10% 是可疑的，可能表明房间有两阶段衰减曲线。如果曲率为负，则应谨慎对待结果，因为它们可能存在错误。

清晰度-C50

早/晚期能量比，以dB为单位，使用前50 ms的声能作为“早期”部分。C50最常被用作言语清晰度的指标。

清晰度-C80

早/晚期能量比，以dB为单位，使用前80 ms的声能作为“早期”部分。C80最常用作音乐清晰度的指标。

Definition D50

早期能量/总能量比的百分比，使用前50 ms的声能作为“早期”部分

Center Time TS (中心时间)

平方脉冲响应的“重力中心”的时间

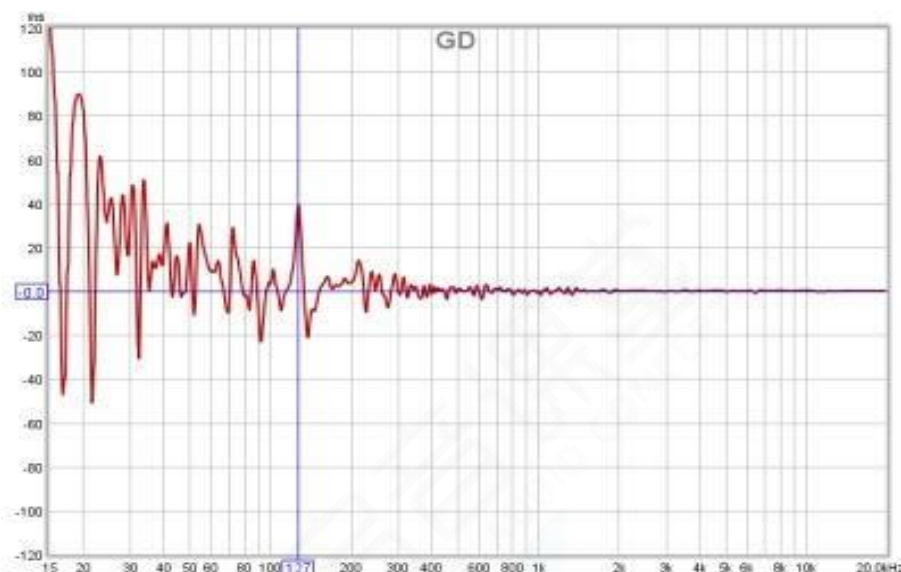
图像中还可以显示“回归线”，这是通过在特定衰减范围内对施罗德曲线进行最小二乘线性回归而获得的线。**显示回归线(Show Regression Line)**旁的复选框用于控制其显示或隐藏。

ETC平滑(ETC Smoothing)，使用指定持续时间的移动平均滤波器对包络曲线(ETC)做平滑。

点击**曲线选项(Trace Options)**按钮，会弹出一个对话框，其中可更改图像曲线的线型。如果进行了更改，它将应用于图像中显示的所有测量。也可以隐藏曲线，隐藏的曲线将会在图像和图例中被删除。

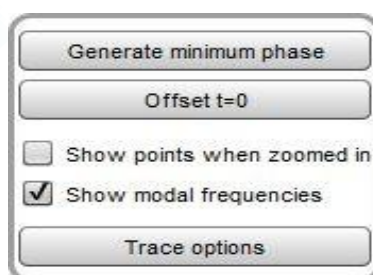
群延时图(Group Delay Graph)

群延时是根据相位曲线的斜率计算得到的。请注意，如果对测量应用了平滑，则平滑也会被应用于相位和群延时曲线。可以通过**图像(Graph)**菜单或快捷键来应用或删除平滑。频率响应中的峰和谷通常会伴随着群延时相应中的峰和谷。群延时会包含测量中的任何延时，比如由于电脑或声卡中的时间延迟、设备中的处理延时，以及声音从声源传输到话筒所花费的时间而导致的延时。电脑或声卡中的延时可以通过**分析首选项**中使用**环路作为时间参考**或使用**声学时间参考**选项以去除。如果群延时整体贴近于测量上限频率的水平，则该数值通常对应于总测量延时。



群延时控制(Group Delay Controls)

群延时图的控制面板具有以下控件:



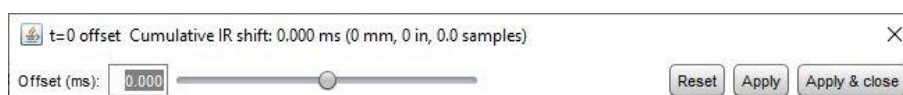
生成最小相位(Generate Minimum Phase)，将使用当前脉冲响时间窗设置生成测量的最小相位版本。这会激活最小群延时和过量群延时曲线，过量群延时反映的是实测群延时和一个与被测系统幅度响应相同但具有最小相移的系统的群延时之间的差别。请注意，要得到良好的最小相位响应测量结果，测量带宽应超出被测量系统的带宽，最好进行全频段测量。此控制也会激活声压级与相位图中的最小相位与过量相位，以及脉冲图中的最小相位脉冲。

注意事项：脉冲响应时间窗设置是非常重要的，因为最小相位响应是从测量的频率（幅度）响应计算得到，而频率响应则会受到脉冲响应窗设置的影响。如果时间窗设置有更改，则应再次点击**生成最小相位**，以反映新的时间窗设置。还要注意，左侧时间窗的形状（在峰值之前应用的时间窗）影响最小相位结

果，比如相对于Hann时间窗，矩形时间窗产生的相移更低。

如果被测系统本质上是最小相位（例如，大多数分频器）则最小相位响应与从测量中去除时间延时后的相位一致。房间测量通常不是最小相位，只有低频在某些位置上表现为最小相位特性。有关最小相位、过量相位和群延时的更多信息，请参见[最小相位](#)。

偏移 t = 0 (Offset t=0)可以移动脉冲响应的时间零点的位置，并实时预览偏移对相位的影响。在点击**Apply**（应用）或**Apply&Close**（应用和关闭）之前，测量本身不会因此改变。点击滑块旋钮后，可以用左箭头键和右箭头键对偏移量进行微调。如果测量使用了时间参考，系统延时值（可在测量信息面板中查看）也会随时间偏移量产生相同的改变。应用于脉冲响应的累计时间偏移会显示在对话框顶部。



放大时显示点 (Show points when zoomed in)选项，可在放大倍数足够高时，将构成测量相位和最小相位曲线的散点显示在图中，以便区分它们。

如果选择了**显示模态频率 (Show modal frequency)**，则会根据房间尺寸将其理论模态频率绘制在图像底部，房间尺寸在EQ窗口的**模态分析**中定义。

点击**曲线选项 (Trace Options)**按钮，会弹出一个对话框，其中可更改图像曲线的线型。如果进行了更改，它将应用于图像中显示的所有测量。也可以隐藏曲线，隐藏的曲线将会在图像和图例中被删除。

RT60图(RT60 Graph)

RT60图中显示每个倍频程或1/3倍频程中心频率的RT60混响时间曲线，早期衰减时间(EDT)曲线，中心时间(TS)曲线，以及与60dB衰减时间相关的T20，T30和REW的Topt和T60M。有关这些参数以及相关清晰度、定义和中心时间参数的描述，请参见下文。

RT60解释(RT60 Explanation)

RT60是指声音在具有漫射声场的空间中衰减60分贝所需的时间，漫射声场这意味着这是一个足够大的空间，使来源经不同表面的反射声到达话筒的声压接近。家用的房间通常太小，无法在低频下接近漫射场，因为它们在该频段的特性受模态共振的支配。因此，小房间的RT60在低于几百Hz以下通常没有意义。对于居家尺寸的房间，建议使用RT60衰减图，瀑布图，色谱图和衰减图来观察其中低频的衰减。

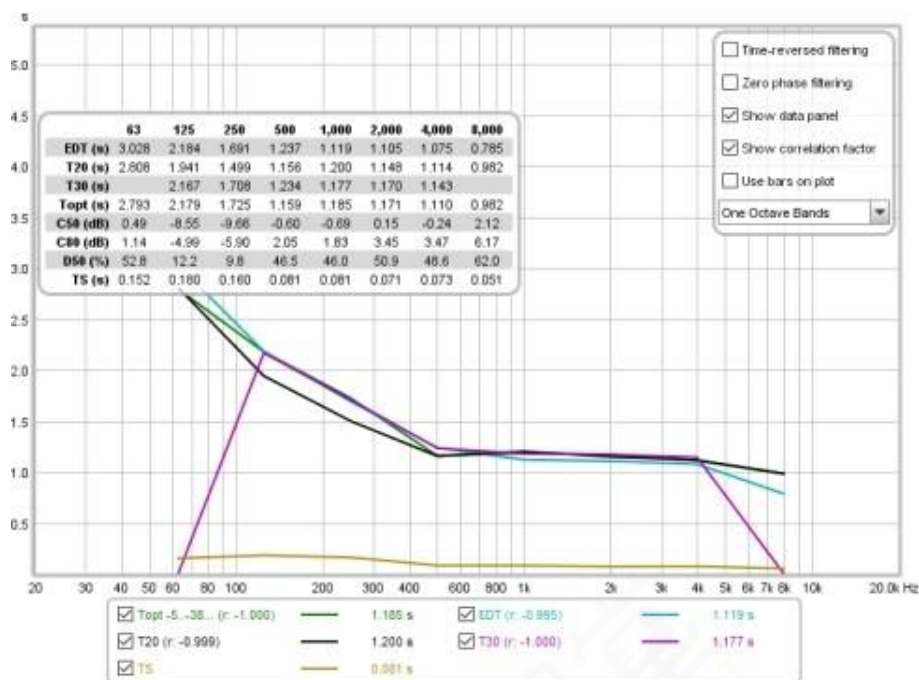
RT60计算(RT60 Calculation)

RT60值是通过施罗德曲线的斜率来计算的，施罗德曲线则是对脉冲能量(平方值)由前向后做逆向积分得到(从末端开始和向脉冲开始起始处移动)。绘图的垂直轴以dB为单位。不同的RT60测量(例如T20，T30，REW的Topt)是通过计算不同衰减范围内施罗德曲线的最佳拟合线的斜率得出的(详见下文)。在漫射场中，声音衰减至底噪水平之前的衰减曲线，绘制在以dB为垂直刻度的图中是相当线性的。

获得RT60的一个经典方法是通过测量T20和T30来计算，T20和T30测量的起点是施罗德曲线在其峰值以后下降5dB的地方。这种方法在测量较大空间的RT60时运行良好，特别是如果用于测量的声源是全向的。在居家尺寸房间中使用普通指向特性的扬声器作为声源来测量，施罗德曲线的初始下降相当尖锐(早期衰减时间相当短)，这意味着-5 dB点位于早期衰减区域而不是漫射场区域。这将导致由T20和T30数据计算的RT60值偏低。如果EDT比T30 RT60短得多，REW的Topt RT60计算则会在EDT和T30回归线相交区域寻找一个起点，以确定位于漫射场区域内的点。然后，它以1dB的步进测试每个可能的终点，并给出具有最佳线性拟合的回归线的终点。这将生成一个更可靠的RT60数值。

RT60结果以倍频程或1/3倍频程频宽绘制，提供声音衰减速率随频率变化的视图。根据ISO3382，RT60图在1/3倍频程时最低中心频率为50Hz，在1倍频程时为63Hz。对于容积小于50立方米(1,800立方英尺)的家用听音室和录音棚，推荐的RT60值为0.3 s。对于稍大一些的房间，如果容积不超过200立方米(7,000立方英尺)，建议混响时间为0.4至0.6。在这两种情况下，RT60值在整个频率范围内应相当均匀，尽管在低频通常更高。

重要事项：如果您在大空间(大于家用房间尺寸)进行RT60测量，请在分析首选项(Analysis preferences)中进行更改**IR裁剪(IR truncation)**设置，以确保足够的IR长度，使衰减达到底噪。也可能需要使用更长的扫频，比如使用256k扫频，则在应用任何裁剪之前，峰值之后大约有6秒的IR数据。



RT60及相关参数(RT60 and related parameters)

计算的参数有:

EDT

早期衰减时间，基于施罗德曲线在0 dB和-10 dB之间的斜率。这不是RT60值，而是指示测量位置的初始声音衰减的速率，它比RT60更依赖于测量位置。快速的早期衰减（低EDT数值），一般比EDT值较高的位置清晰度更好。

T20

RT60衰减时间，基于施罗德曲线在-5 dB和-25 dB之间的斜率。

T30

RT60衰减时间，基于施罗德曲线在-5 dB和-35 dB之间的斜率。

优化衰减时间 (Topt)

基于施罗德曲线在可变范围内的斜率的“最优”衰减时间，可变范围的选择以能产生最佳线性拟合为准。如果早期衰减时间比T30短得多，则Topt计算使用基于EDT和T30线相交的起点，否则使用-5 dB。REW以1dB的步进测试每个终点到施罗德曲线的终点，并选择一个具有最佳线性拟合的终点。

清晰度-C50

早/晚期能量比，以dB为单位，使用前50 ms的声能作为“早期”部分。C50最常被用作言语清晰度的指标。

清晰度-C80

早/晚期能量比，以dB为单位，使用前80 ms的声能作为“早期”部分。C80最常用作音乐清晰度的指标。

Definition D50

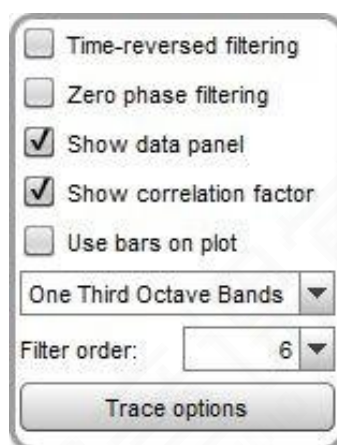
早期能量/总能量比的百分比，使用前50 ms的声能作为“早期”部分

Center Time TS (中心时间)

平方脉冲响应的“重力中心”的时间

RT60控制(RT60 Controls)

RT60图像的控制面板具有以下控件:



时间反向滤波(Time reversed filtering)，控制在时间上向后应用倍频程带滤波器，这减少了滤波器自身对测量衰减的影响。当在低频下使用1/3倍频程滤波器时，滤波器衰减时间可能是显著的，例如，对于100Hz做1/3倍频程6阶滤波器，会超过200ms。应用反向滤波器可将这种衰减减少至不到50 ms，但它也会对响应产生一定其他影响，比如使用时间反向滤波器的早期衰减时间(EDT)数值可能无效。

零相位滤波(Zero phase filtering)会对数据应用两种不同路径的四阶带通滤波，一个向前，一个向后，以得到总体零相移的响应。这减少了滤波器衰减时间的影响，类似于（虽然没有那么多）时间反向滤波，但不会显著改变早期衰减时间。用于向后和向前路径的滤波器阶数是设定阶数的2/3，结合带宽调整，其响应可接近于指定阶数的单路径滤波器的响应。

显示数据面板(Show data panel)功能，可在图像区显示一个包含衰减值的面板。不可靠的数值显示为橙色斜体。

	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
EDT (s)	3.028	2.184	1.691	1.237	1.119	1.105	1.075	0.785
T20 (s)	2.808	1.941	1.499	1.156	1.200	1.148	1.114	0.982
T30 (s)		2.167	1.708	1.234	1.177	1.170	1.143	
Topt (s)	2.793	2.179	1.725	1.159	1.185	1.171	1.110	0.982
C50 (dB)	0.49	-8.55	-9.66	-0.60	-0.69	0.15	-0.24	2.12
C80 (dB)	1.14	-4.99	-5.90	2.05	1.83	3.45	3.47	6.17
D50 (%)	52.8	12.2	9.8	46.5	46.0	50.9	48.6	62.0
TS (s)	0.152	0.180	0.160	0.081	0.081	0.071	0.073	0.051

勾选**显示相关因子(Show correlation factor)**复选框，图像的图例名称会显示各衰减测量的拟合线质量。各衰减参数后显示的“r”值是回归系数，它表示数据与拟合线对应的程度。值为-1表示完美匹配，小于-

0.99的值表示响应的衰减可能不可靠。潜在的不可靠值显示为斜体。

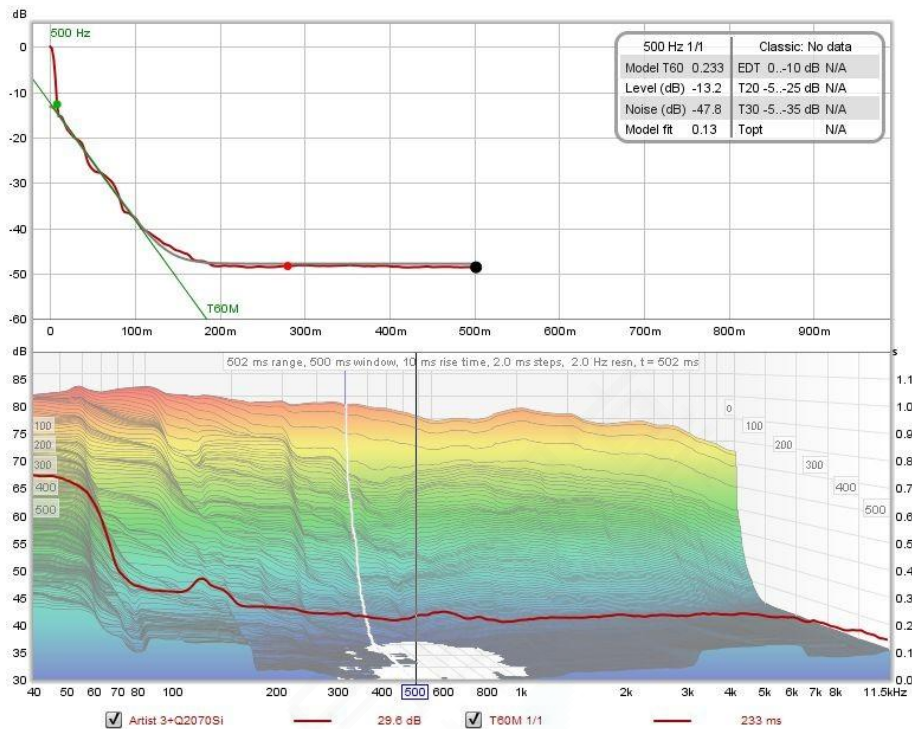
绘制条形图(Use bars on plot)选项，决定RT60数值绘制为条形或者线曲线。条形图是以制定滤波器带宽的中心频率绘制的，曲线则是将各个滤波器的中心频率值相连接得到的。

当前测量的参数值（RT60和清晰度）可以导出为文本。在文件(File) → 导出(Export) → **RT60数据作为文本(RT60 as text)**菜单选项中操作。

点击**曲线选项(Trace Options)**按钮，会弹出一个对话框，其中可更改曲线的颜色和线型。如果进行了更改，它将应用于图像中显示的所有测量。也可以隐藏曲线，隐藏的曲线将会在图像和图例中被删除。

RT60衰减图(RT60 Decay Graph)

REW的RT60衰减图提供了一种分析混响时间表现的方法，相比于一般的分析方法，它具有更高的频率分辨率和更窄的分数倍频程带宽，即使在低频亦是如此。这得益于频域分析方法。



频域RT60估算(Frequency Domain RT60 Estimation)

REW的RT60衰减图采用频域方法来估算RT60，而不是更常见的时域方法。

- 经典的RT60估算
- 一种估计RT60的频域方法
- 选择性比较
- 准确度比较
- 实现

经典RT60估算(Classical RT60 Estimation)

混响时间通常是通过时域处理来确定的。通过计算施罗德积分的斜率来得到各种RT60值，施罗德积分是对能量（脉冲响应平方值）的逆向积分（从末端开始并向开始端移动）。然后通过计算不同衰减范围内施罗德积分的最佳拟合线，导出不同的RT60测量值（例如T20，T30，REW的Topt）。

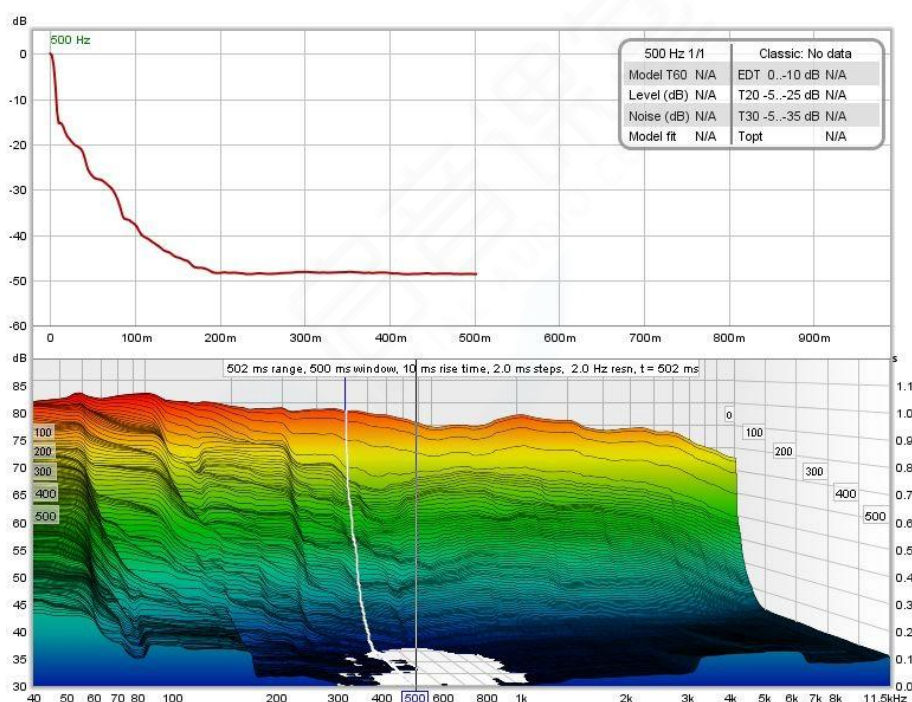
这种方法有一些局限性。测量的底噪会影响施罗德积分的形状，使其弯曲。有一些措施可以减少这种影响，比如估计底噪的电平，改变积分开始的位置和其采用的初始值。此外，倍频程滤波器具有群延时，这可能影响混响时间的计算，特别是在低频时。滤波器通常也具有较差的频率区分度，因为它们的阶数通常很低（一般为6阶），以避免加剧群延时问题。因此，强共振频率对响应的附近区域具有掩蔽作用。

一种估算RT60的频域方法(A Frequency Domain Approach to RT60 Estimation)

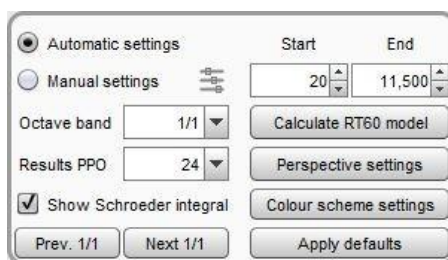
混响时间也可以通过频域处理来估算，方法是分析一组短时傅里叶变换图(STFT)的切片的衰减。这一方法通常用于生成瀑布图或色谱图。STFT的一系列切片可以使用砖墙滤波器在频域中进行倍频程滤波，这种滤波器不会产生关联的时域群延时。然后，频率辨别由STFT所设定的时间窗的特性决定，决定因素通常是时间窗左侧的宽度和形状（也就是时间窗上升时间）。在频域中的处理可使用更窄的倍频程带滤波器更直接地呈现结果，能够区分出单个共振频率，而不会对混响时间估算产生负面影响。

施罗德积分不适用于频域处理。STFT切片捕获混响衰减和噪声，混响时间可以通过将指数衰减加噪声函数拟合到由每个时间步长的切片值形成的数据序列来估算。拟合过程必须考虑左时间窗对数据序列的影响，特别是当其宽度大于切片间隔时。它还必须包容数据的非单调性质。

以下是生成STFT数据后(通过在下方图像左下角按**生成**按钮)且在计算RT60模型之前，得到的RT60衰减图的示例。上方图像区显示了下方图像中光标位置频率的衰减曲线。



下方图像区的控制面板中有一个计算RT60模型(Calculate RT60 Model)的按钮。



面板左侧是STFT数据的控件。选择**自动设置(Automatic settings)**时，REW将自动确定用于STFT绘图的上升时间、时间窗宽度和时间跨度。**手动设置(Manual settings)**可手动更改这些设置，点击选项右侧的按钮即可设置。**倍频程带宽(Octave band)**决定应用于STFT数据的倍频程带通滤波器的宽度，而结

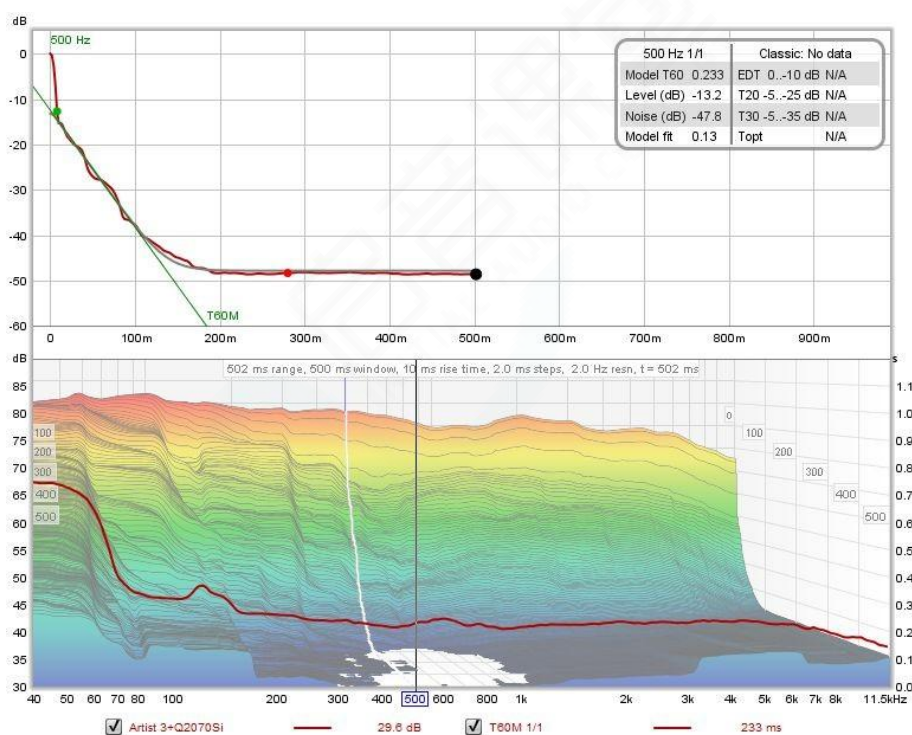
果PPO(Results PPO, 结果中每倍频程包含的点), 确定REW计算模型的频率分辨率 (最多96 PPO)。

显示施罗德积分(Show Schroeder integral), 将最近的经典RT60计算结果的施罗德积分与衰减曲线一起显示。Prev.1/1和Next1/1按钮将光标移动到上一个或下一个倍频程中心频率。

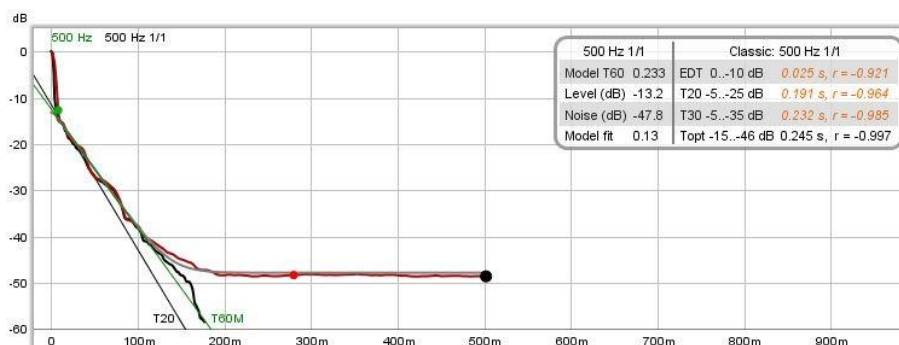
在面板的右侧是计算模型拟合的频率范围, 以及运行计算RT60模型(Calculate RT60 model)的按钮。点击透视设置(Perspective settings)按钮, 将弹出一个对话框来控制STFT数据的呈现方式, 而颜色方案设置(Colour scheme settings)则弹出一个对话框来控制颜色方案。

为每个频率计算模型后, 模型结果(T60M)将显示为STFT图像上的曲线, 其刻度为图右侧的时间轴。可以在图例中选择或取消选择T60M曲线, 以显示或隐藏它。在图像上区中, 模型结果显示为灰色曲线, 回归线对应于以蓝色显示的RT60值。数据面板显示T60时间、模型曲线的起始电平、噪声电平和模型拟合误差(值越低, 拟合越好)。

衰减曲线上显示了三个点: 绿色和红色表示用于模型拟合范围的起始和结束, 黑色点之后的区域是REW认为数据无效的区域。

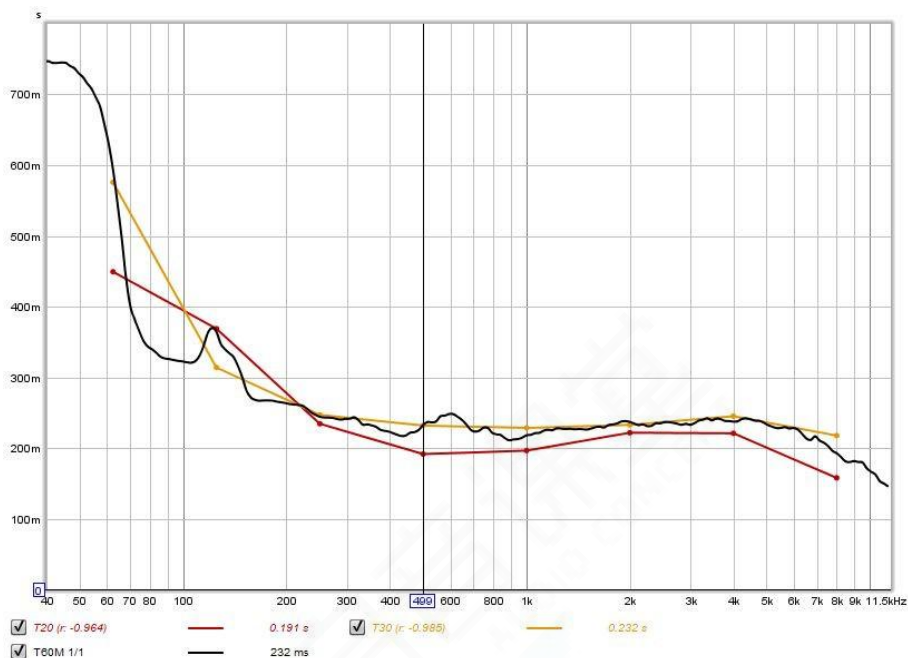


如果为测量生成经典的RT60结果(在RT60图中), 这些数值将会显示, 还能选择是否显示施罗德积分及其回归线。



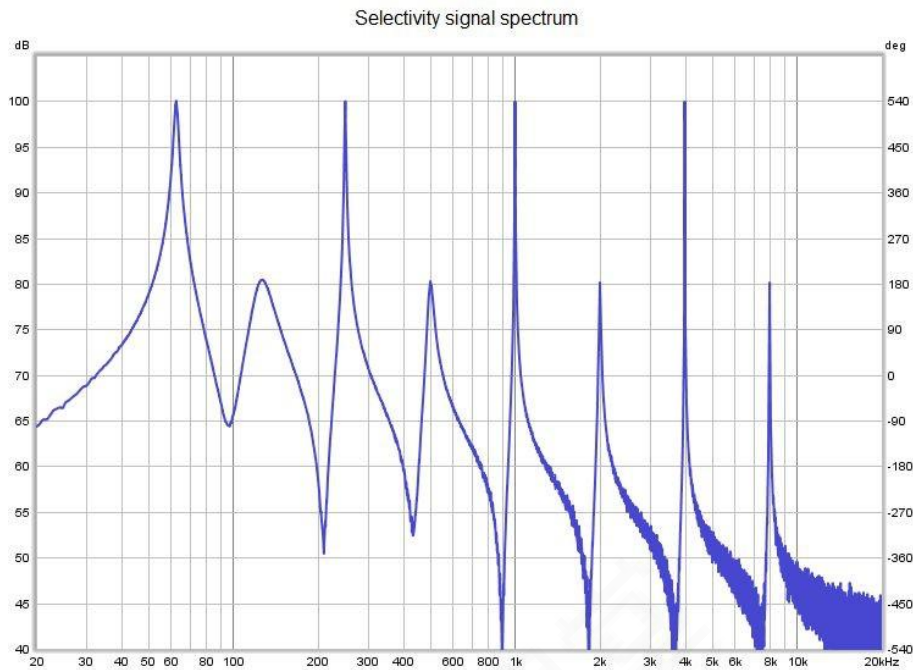
在本例中，经典T20 RT60值低于模型值。这在早期衰减明显的响应中很常见，在经过高度声学处理的空间中可能会出现这种情况。施罗德积分上的-5 dB点是T20和T30值的起点，仍然在早期衰减内，因此导致结果产生偏差。

完成模型计算后，其结果也可以在RT60图像上查看，以便与经典测量值进行比较。

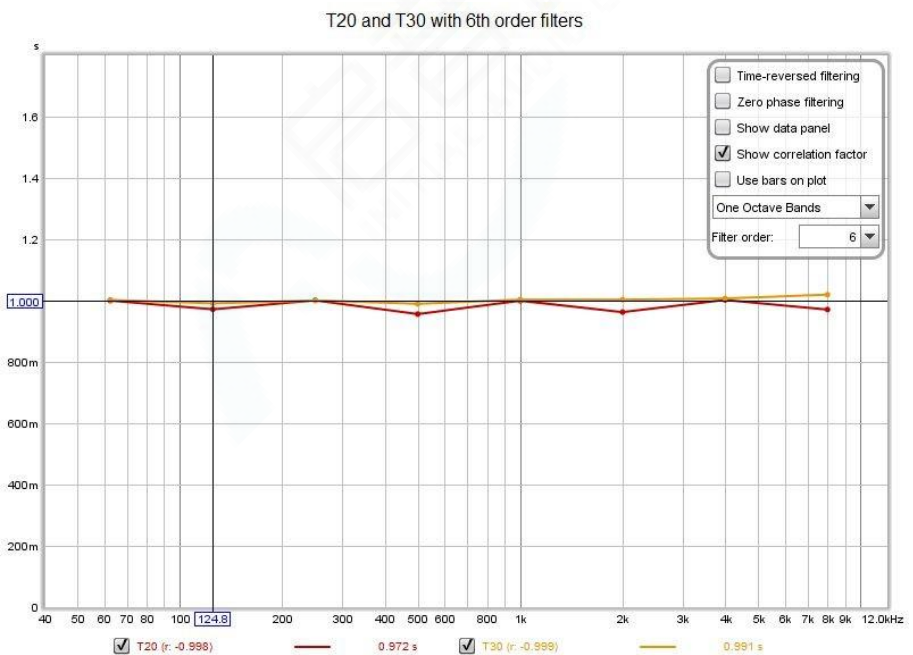


选择性比较(Selectivity comparison)

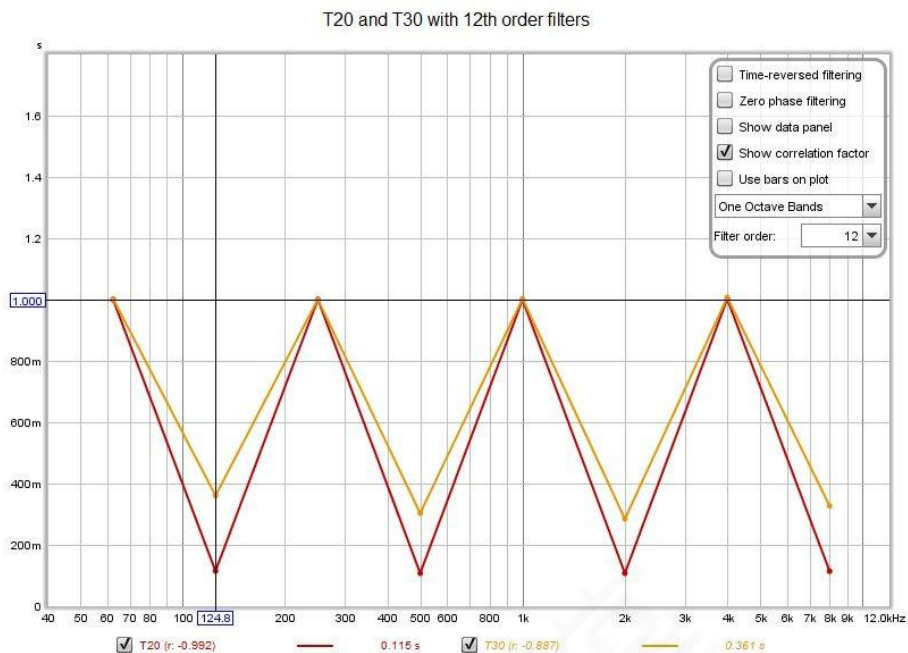
为了测试经典法和频域法的选择性，我们生成了一个合成测试信号，该信号包含一个倍频程中心频率的等振幅指数衰减余弦，并添加了相对于余弦振幅 -60 dB的噪声。余弦60 dB衰减率在1.000 s和0.100 s之间交替。下图是该测试信号的频谱。



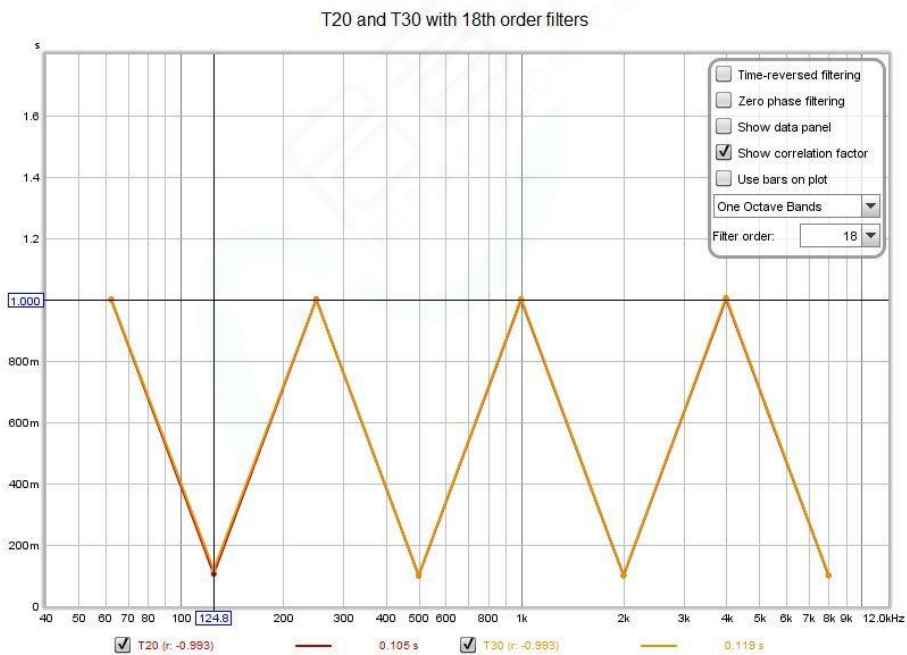
在这两种方法中，信号都将经过倍频程带滤波器。我们将首先看看经典法，从常用的6阶滤波器开始。



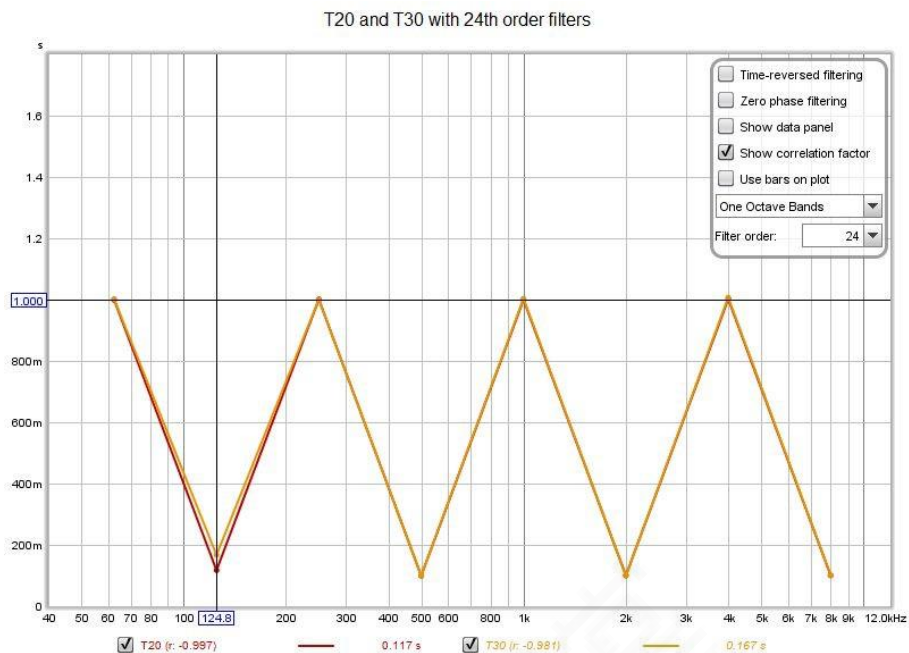
使用6阶滤波器，0.100 s的衰减根本无法分辨。接下来我们将尝试12阶滤波器。



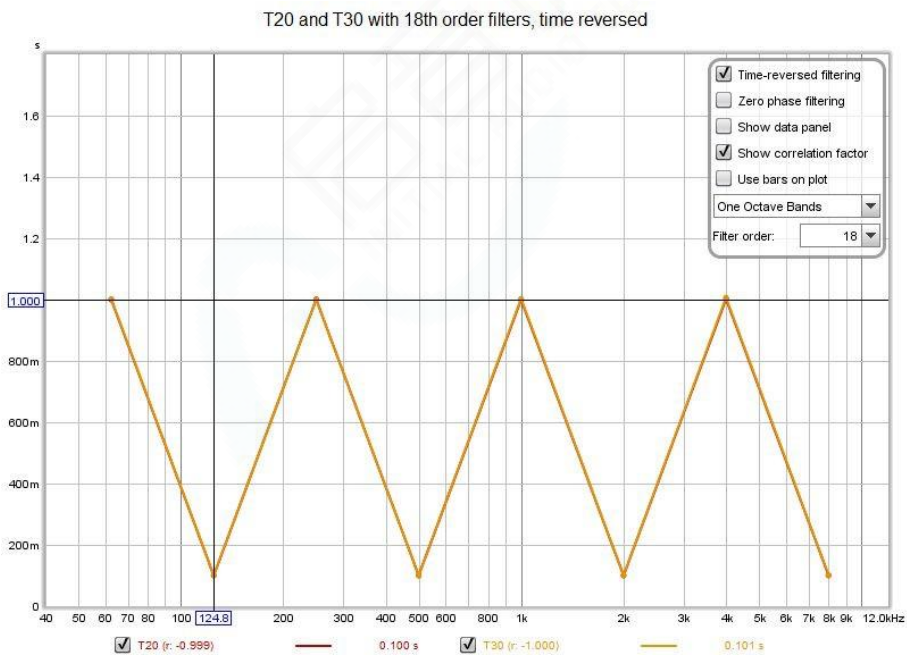
12阶滤波器开始识别到0.100s的衰减，但结果并不完美。再尝试一下18阶滤波器。



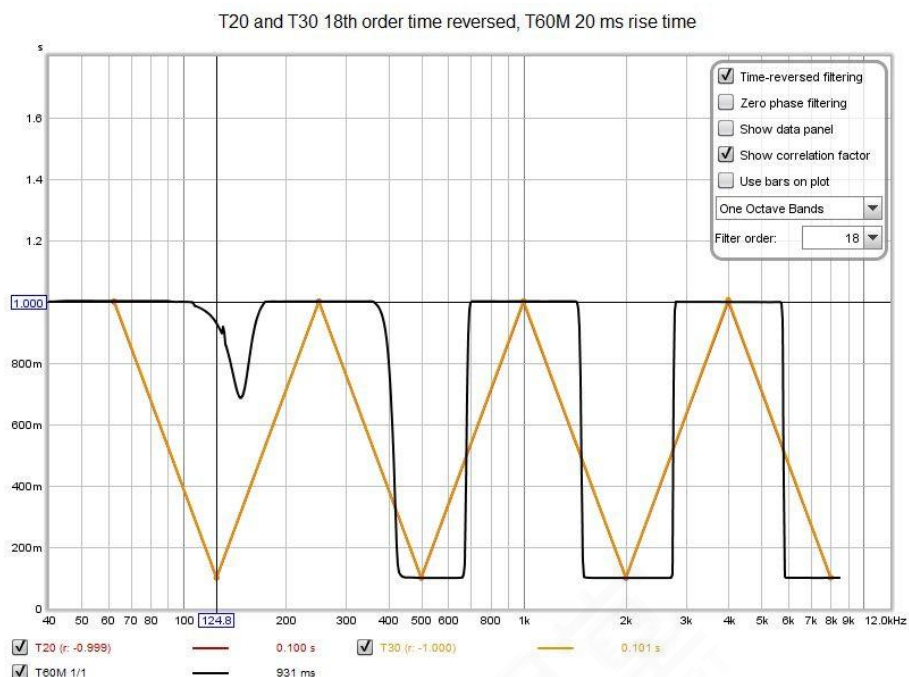
除了最低的125Hz 0.100 s衰减之外，18阶滤波器已经完成了这个任务，T30仍然比T20稍差。随着滤波器阶数增加，滤波器群延时开始增大并会使结果发生偏差，进一步增加滤波器阶数会使结果变得更差而不是更好。



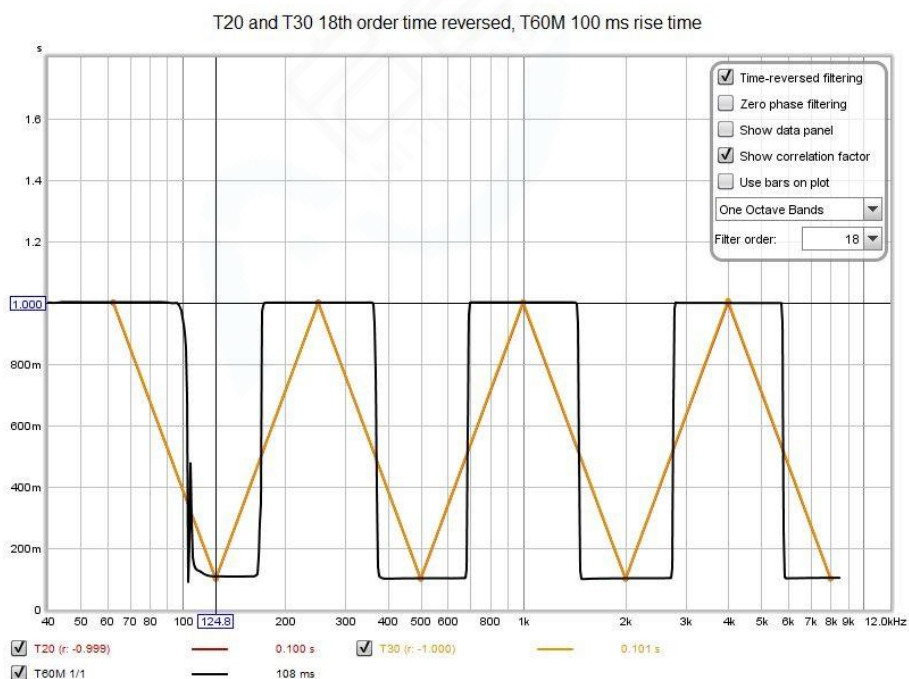
使用18阶滤波器和时间逆向滤波器(Time reversed filtering), 可以获得完美的结果。



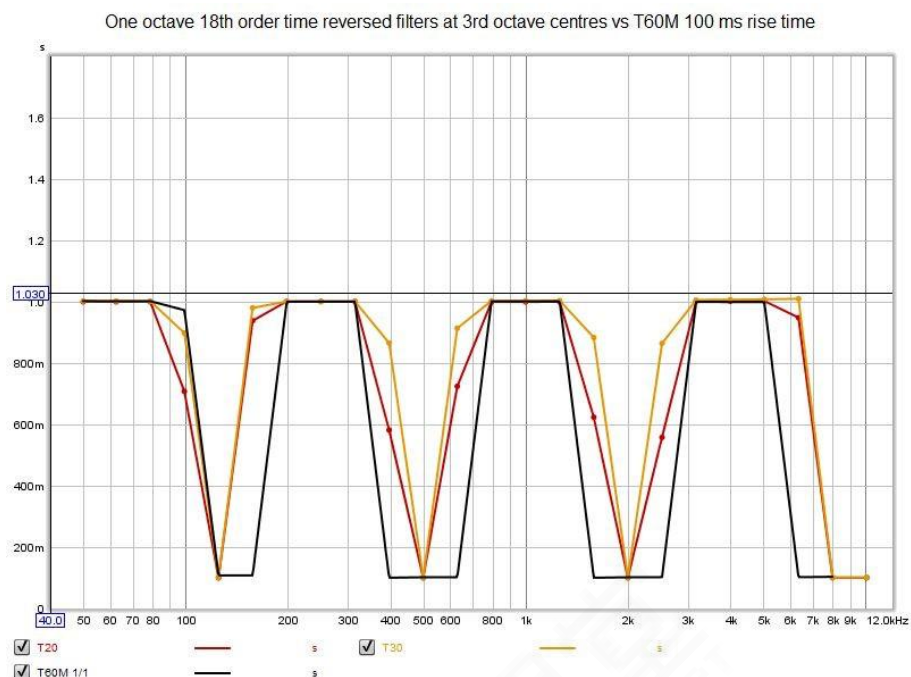
频域结果取决于所使用的时间窗设置。默认情况下, REW为该信号选择20毫秒的上升时间, 给出以下结果(以96 PPO计算, 而不仅仅是在倍频程中心)。



将上升时间提高至100毫秒，可改进T60M的表现，尽管在125Hz倍频带中心频率它仍然不能与18阶时间逆向滤波器的经典方法完全匹配。

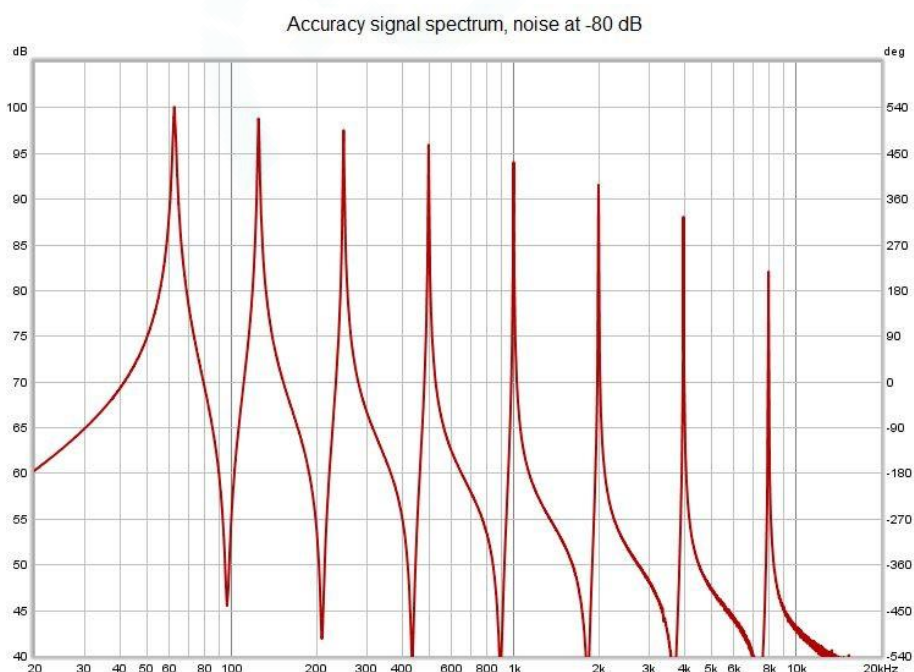


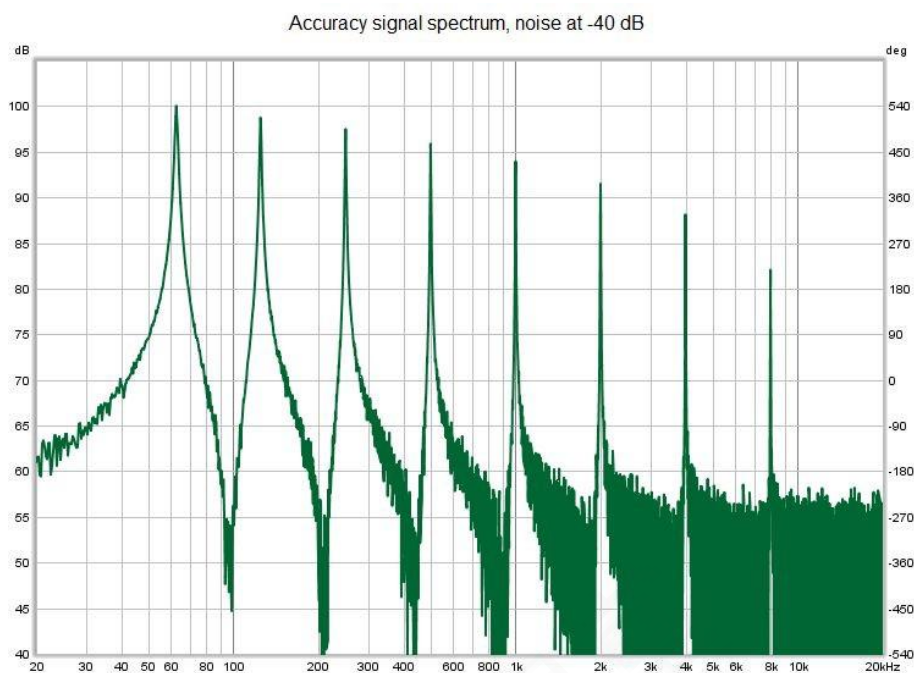
T60M上升时间的进一步增加会提高选择性，但会降低RT60计算的准确性，这是由于使用的时间窗比衰减时间更长对衰减数据的影响。尽管如此，它相对于另一种方法，具有更好的表现，特别是比较两种方法分析非倍频程中心的行为。下图使用1倍频程带宽、T20和T30的使用18阶时间逆向滤波器，同时也评估了1/3倍频程中心频率的结果。T60M表现要更好。



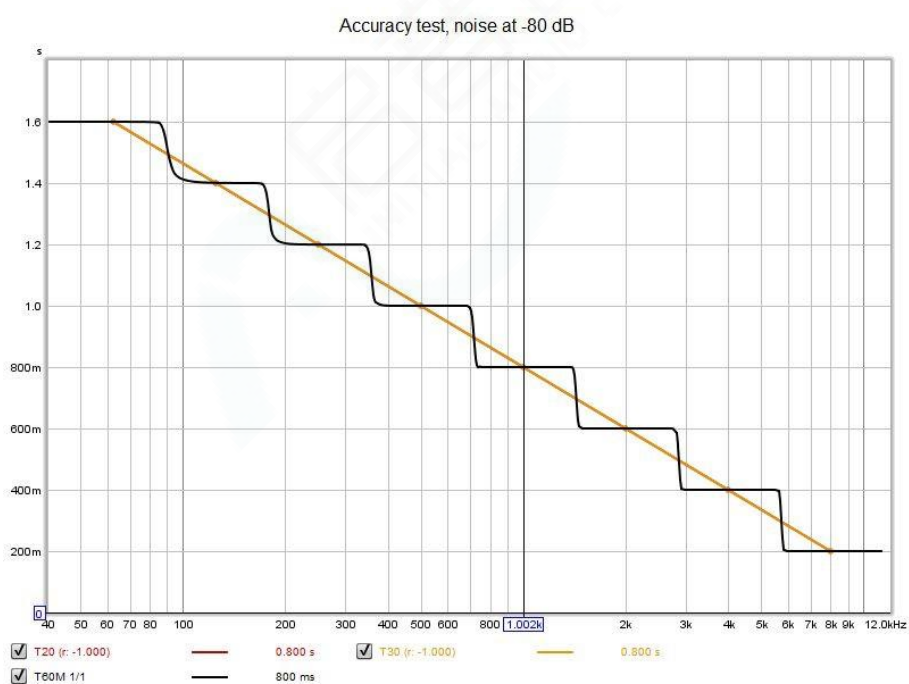
准确度比较(Accuracy comparison)

我们再来对比一下准确度，为此我们生成了另一种合成测试信号。该信号同样包含一个倍频程中心频率的等振幅指数衰减余弦，但是60 dB的衰减时间从63Hz时的1.600 s到8 kHz时的0.200 s，以0.2s为步进。添加的噪声电平分为两个等级，-80 dB作为干净的信号参考，-40dB作为存在噪声的情况下测试表现，这两个电平都是相对于余弦振幅而言的。下图是该测试信号的频谱。

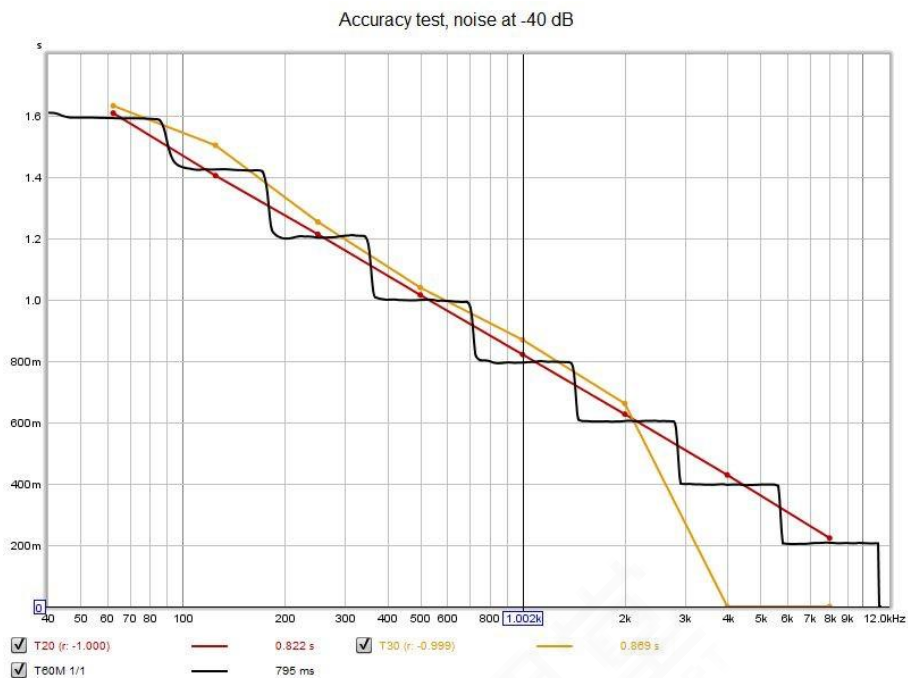




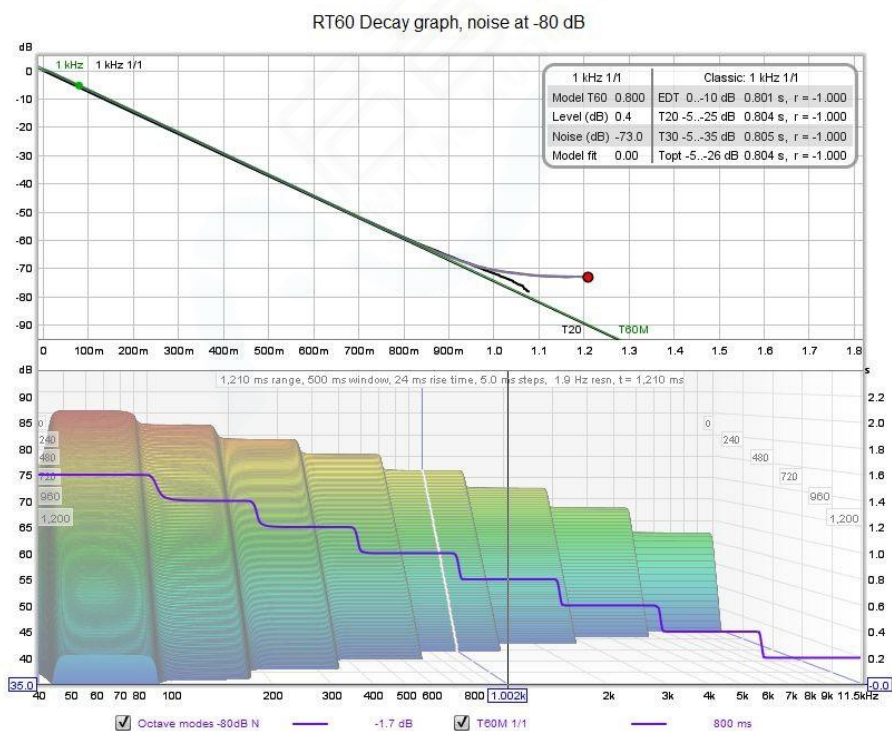
噪声在-80 dB时，信号对于经典方法和新方法都没有难度。

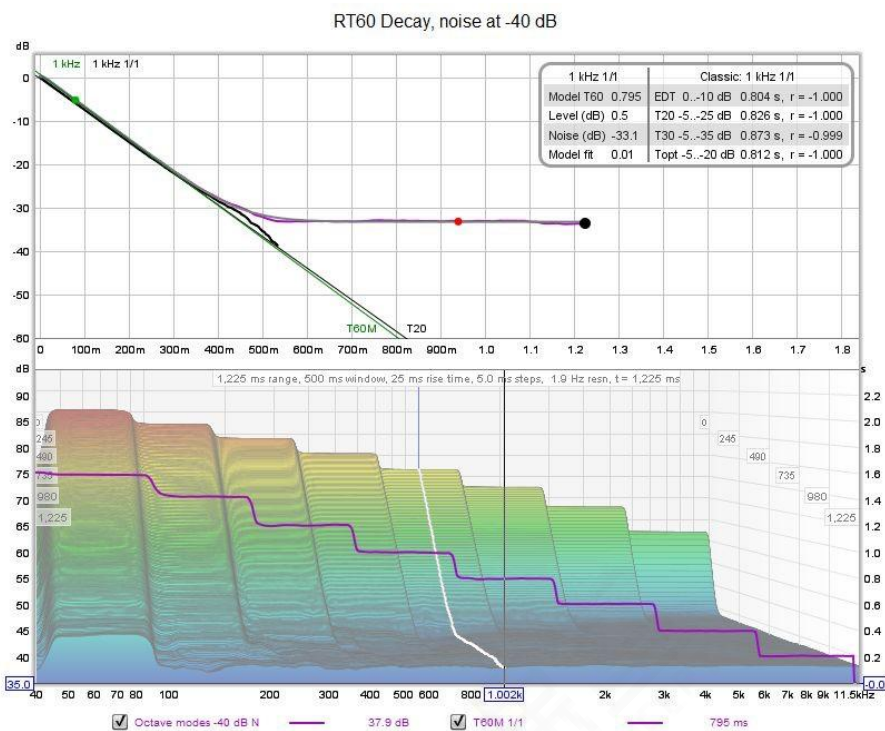


对于经典方法来说，噪声为-40 dB的信号更具挑战性，虽然这种方法能成功检测到底噪（使用Lundeby方法）。滤波器阶数的差异可以忽略不计，18阶滤波器可实现轻微的改进。下图中的结果是使用了18阶滤波器。T60M频域方法在该信号下的表现明显优于经典方法。



以下是这两种情况下的RT60衰减图的示例。





实现(Implementation)

以下是REW实施RT60衰减分析的一些技术细节。

衰减数据

衰减数据来自一系列傅里叶变换，称为切片(Slices)。第一个切片使用脉冲响应的峰值作为参考点，后续切片在时间上按照固定间隔移动切片。切片覆盖的总时间跨度由“范围(Range)”设置确定。每个切片是加窗处理的结果，其左侧为宽度等于上升时间的Hann时间窗，右侧为宽度等于“时间窗”设定的Hann时间窗。请注意，由于低频段所需的FFT时间窗宽度较宽，这会导致频域方法在高频的底噪通常高于经典方法。使用更窄的时间窗和更短的上升时间，可得到具有较低噪声的高频衰减数据。也可以考虑采用频变时间窗 (FDW) 方法，但是FDW通常是对称时间窗，这将导致在低频过长的上升时间。

自动设置(Automatic)通过在250、500和1000Hz下使用1倍频程6阶滤波器进行常规T20分析来导出时间范围。使用最长的T20值作为时间范围，其最小值为500ms。切片间隔将自动设置，以在该范围内提供约250个切片，最大切片间隔为100ms。上升时间设置为范围的2%，最大值为400ms。

每个切片的数据经低通滤波至1/48倍频程，然后以每倍频程96点采样，以得到对数间隔数据集。随后，倍频程带滤波被应用于对数间隔数据的幅度平方，采用在整个带宽范围内一致的内核，在带宽的两端，其内核振幅是0.5。

RT60分析

分析采用每个切片在一个频率上的值形成的数据序列来计算RT60。对数据的初始扫频会检查数据末端附近是否有急剧的滚降或上升，如存在这种情况，则该数据将被排除在分析之外。

该分析包括对数据拟合衰减指数加噪声函数。方程是：

$$F(t) = \text{level} * \exp(-6 * \log(10) * t/t60) + \text{noise}$$

三个模型参数：电平(level)、t60和噪声(noise)通过最小化由切片时间的函数值和衰减数据之间的差异形成的误差函数来确定。REW使用dB衰减数据与模型函数的dB值之差的均方值，由误差缩放函数加权，该函数对低于-20 dB的值赋予较少的权重。模型参数的初始估算基于衰减数据在-10到-20 dB范围内的最小二乘线拟合。

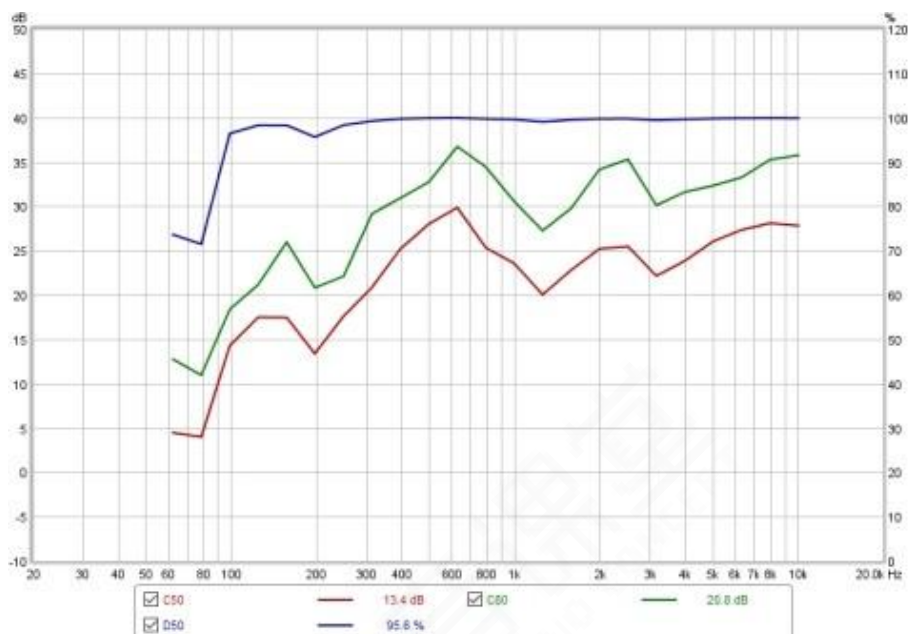
模型误差由衰减数据的一个子集来评估。模型拟合的标称起点是衰减曲线上的-5 dB点，但不早于衰减开始建立后的10 ms，并且不超过衰减曲线的-10dB点的总限制。应该记住，与施罗德积分不同，衰减数据通常不是单调的，所以“-5 dB点”是指响应中经过-5 dB的最后一点。REW将Lundebay方法应用于衰减幅度数据平方，以估算底噪以及底噪与RT60衰减线的交点，然后，将拟合终点指数(fit end index)设置为衰减曲线中该交点的两倍。如果Lundebay方法没有找到良好的结果，则拟合终点就是有效数据的结尾。

REW使用UNCMIN的一个Java端口（由Steve Verrill提供）来寻找最优的模型参数。UNCMIN是一个无约束的优化器，在模型函数中使用之前，通过修改最小化向量条目来施加约束。该约束过程是参数值从优化空间到函数空间转换的一部分。最小值空间中的参数是模型值中的电平和噪声dB值的缩放等价。最小化器(minimiser)中对应t60的参数是T60值的缩放对等。这一过程会基于初始估算对值设置限制。

在低频良好的选择性通常要求大于切片间隔的上升时间。在评估模型拟合误差之前，必须考虑左时间窗对衰减数据的影响。左时间窗与衰减数据卷积，但不是与每个切片本身的衰减值卷积，而是与连续切片的衰减值之间的差异卷积，因为时间窗的作用对象正是衰减的差异。

清晰度图(Clarity Graph)

该图表显示了每个倍频程或1/3倍频程滤波器中心频率处的C50、C80和D50清晰度和清晰度曲线。有关这些参数的描述，请参见下文。



控件(Controls)

清晰度图的控制面板具有以下控件：



频段选择器选择倍频程或1/3倍频程滤波结果。滤波器设置是在[RT60图表](#)中定义的。

勾选**使用条形图绘制(Use bars on plot)**，将使用条形来绘制图像，条形的宽度为选定的滤波器带宽。未勾选此选项，图像以线条绘制，线条由连接滤波器的中心频率值得到。

点击**曲线选项(Trace Options)**按钮，会弹出一个对话框，其中可更改曲线的颜色和线型。如果进行了更改，它将应用于图像中显示的所有测量。也可以隐藏曲线，隐藏的曲线将会在图像和图例中被删除。

可用的清晰度指标是：

清晰度(Clarity)-C50

以dB为单位的早期/晚期能量比，使用前50 ms的声能作为“早期”部分。C50最常被用作言语清晰度的指标。

清晰度(Clarity)-C80

以dB为单位的早期/晚期能量比，使用前80 ms的声能作为“早期”部分。C80最常用作音乐清晰度的指

标。

定义度(Definition)-D50

早期与总能量比的百分比，使用前50 ms的声能作为“早期”部分。

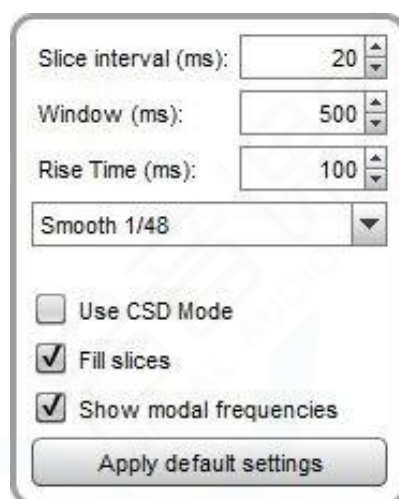
当前测量值的参数值 (RT60和clarity) 可以保存为文本文件。在文件(File)→ 导出(Export) →**RT60数据作为文本(RT60data as text)**菜单下实现该操作。

色谱衰减图(Spectral Decay Graph)

该图表显示了从10Hz到测量扫频结束的频率范围内的光谱衰减曲线。该图使用每倍频程96点的对数间隔数据，应用了1/48oct平滑。通过将脉冲响应时间窗向右移动切片间隔来生成谱衰减图，以生成每个后续切片。该图像会使用两个时间窗，一个左侧时间窗用于在分析区域开始之前的数据，另一个右侧时间窗跨越选定的时间窗宽度。左侧时间窗的默认类型是Hann，右侧时间窗类型是Tukey 0.25，在[分析首选项](#)下的脉冲衰减时间窗类型窗口中可选择其它时间窗类型。时间窗的初始参考点（左时间窗结束/右时间窗开始）是脉冲响应的峰值。

要生成衰减图，请单击图像区域左下角的**生成(Generate)**按钮。

衰减控制(Decay Controls)



切片间隔(Slice interval)，用于设置切片之间的时间间隔，**时间窗(Window)**设置用于生成切片的脉冲响应的宽度。相应的频率分辨率会显示在右侧。

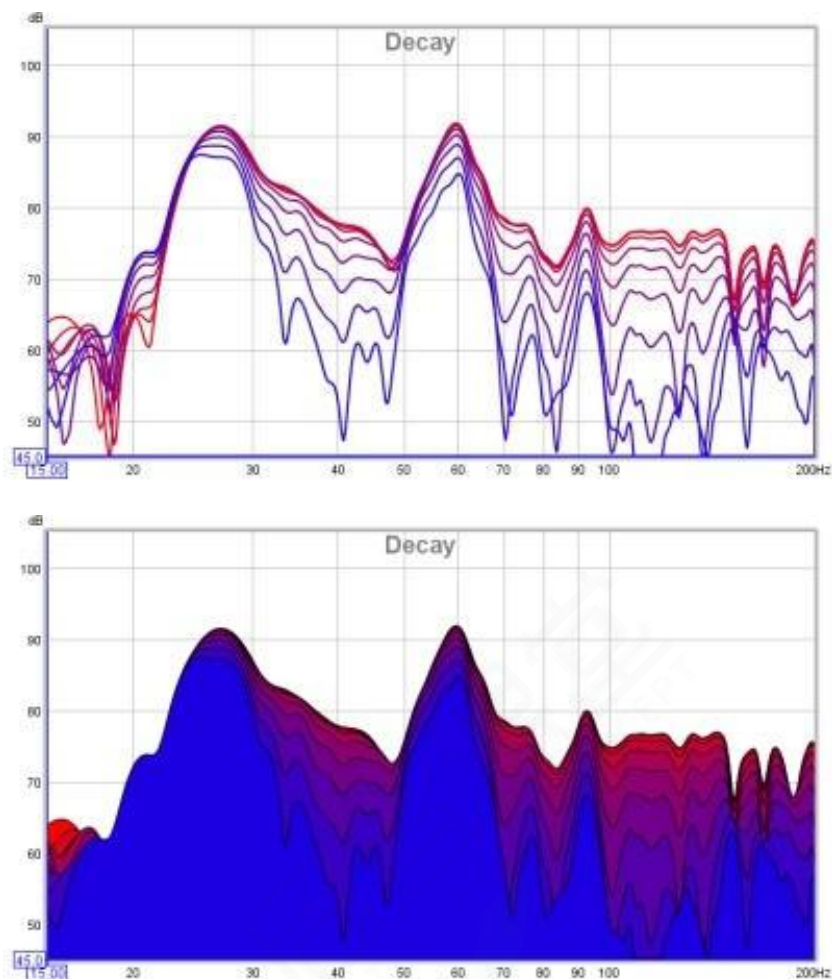
上升时间(Rise Time)设置左侧时间窗的宽度。较短的设置会导致更大的时间分辨率，但使频率变化不那么容易看到。默认设置为100 ms，旨在分析房间共振。当用全频段测量检查驱动单元或箱体共振时，可使用更短的上升时间，1.0ms或更低，时间跨度和时间窗设置约为10ms。CSD模式对这一类测量比较有用——其脉冲响应的尾部可能有噪声，使得靠后的切片分析变得模糊。

平滑(Smooth)可对切片应用平滑，精度从1/48倍频程（最小值和推荐值）至1/3倍频程可调。

使用CSD模式(Use CSD mode)，如果靠后的衰减切片被测量中噪声所污染，则应勾选此选项。它通常用于检查驱动单元或箱体共振。CSD模式将时间窗的右端固定在一个固定点，仅移动左侧窗。然而，这确实意味着随着切片的进行，靠后的切片频率分辨率会降低，并且切片可分析的频率下限会提高，因为每个时间窗的总宽度比前一个切片略短。

勾选**填充切片(Fill Slice)**，则每个切片的曲线将被填充，否则切片默认绘制为常规曲线。下图显示了填充切片后的视图。

色谱衰减图(Spectral Decay Graph)

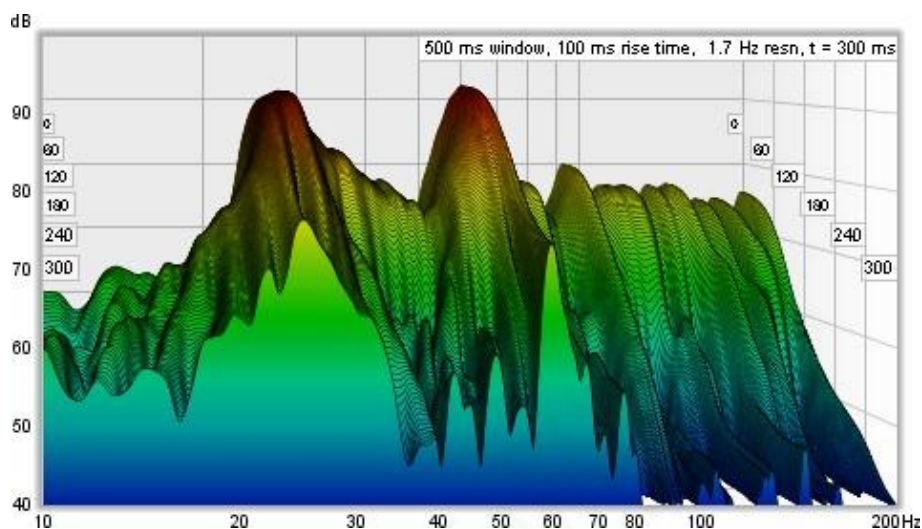


如果选择了**显示模态频率(Show modal frequency)**，则会根据房间尺寸将其理论模态频率绘制在图像底部，房间尺寸在EQ窗口的模态分析中定义。

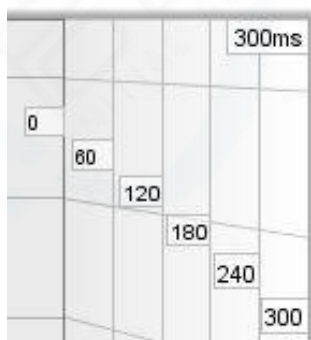
下次REW运行时会记住此前的控制设置。点击**应用默认设置(Apply default settings)**按钮，将控制设置恢复为默认值。

瀑布图(Waterfall Graph)

此图表显示了从10Hz到测量结束频率范围内的瀑布图。它既可以用来查看扫频测量的结果，也可以分析导入的音频文件或步进正弦波测量在每个频率捕获的频谱数据。瀑布图以每倍频程96点的对数间隔绘制数据。在绘图区左下角请单击**生成(Generate)**按，即可生成瀑布图。



绘图区两侧的数值标签显示时间轴。



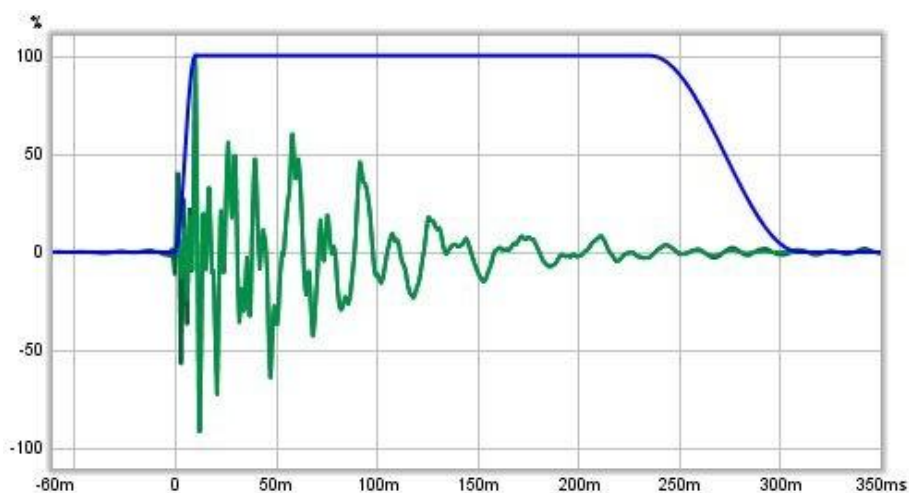
瀑布图是如何生成的？(How a Waterfall Plot is Generated)

要了解瀑布图反映了什么，以及它的样貌如何受到相关控件的影响，我们有必要首先了解一下瀑布图是如何生成的。

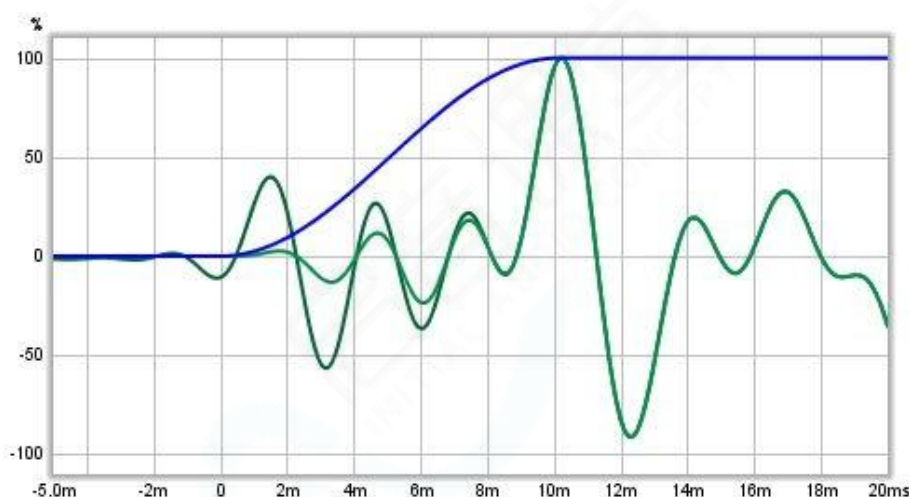
瀑布图的每个切片显示了脉冲响应的位于时间窗中的部分的频率内容。“加窗”的含义就是将脉冲响应的某一部分的每个样本值与时间窗的值相乘。时间窗由左时间窗和右时间窗构成，我们可以设置时间窗的形状（通过[分析首选项](#)中的时间窗类型选择）。

下图是一个示例，显示了测量到的原始脉冲（绿色），时间窗形状（蓝色）和时间窗响应。

瀑布图(Waterfall Graph)



这是时间窗起始部分的放大视图，可以看到加窗对曲线的影响（浅绿色）。

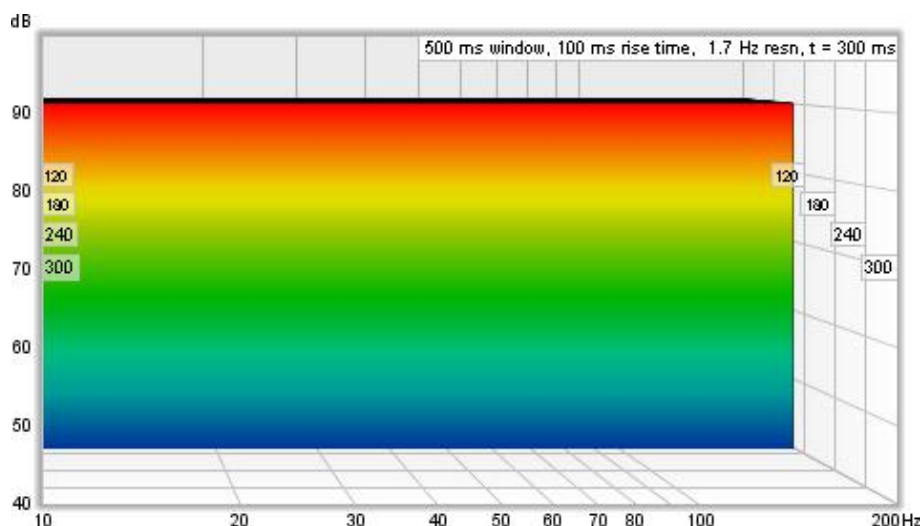


当软件获得了脉冲响应的第一次加窗部分的频率内容之后，便将之绘制为瀑布图的第一个切片。然后沿着脉冲响应移动时间窗，并重复该过程得到下一个切片。时间窗移动的次数由瀑布图的时间跨度和要绘制的切片数量决定。因此，最后一个切片数据对应脉冲响应尾部，该部分相对于第一个切片的要晚一些，具体由时间范围确定，比如说总的时间范围为300 ms，假设生成51个切片，则时间窗需要移位50次（第一个切片没有移位），此时，每个切片是由时间窗沿脉冲移动6ms（300/50）后获得的数据。

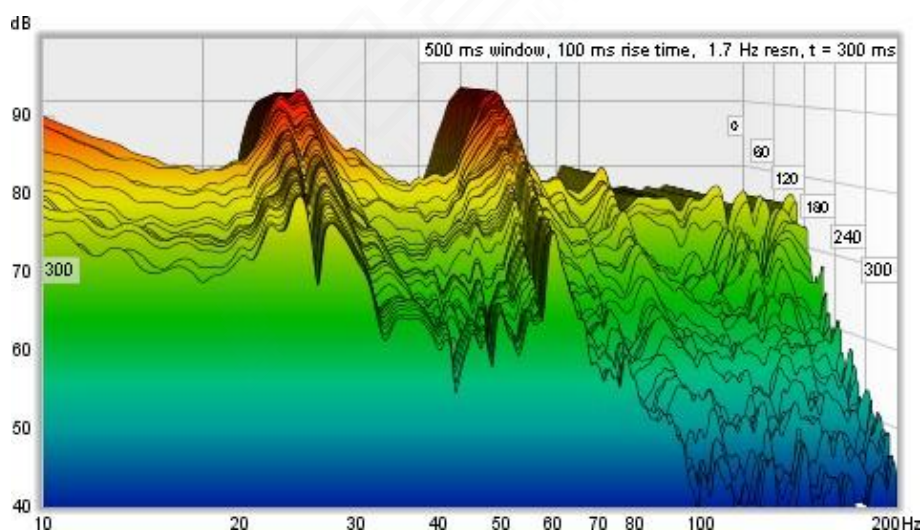
时间窗可分为左右两侧。在上图中，左侧时间窗类型是一个Hann窗，结束于脉冲的峰值。右侧时间窗类型是Tukey 0.25（这意味着对于它的窗口宽度的75%是平的，而剩下的25%是一个Hann窗）。时间窗的总宽度（左侧加右侧）决定了瀑布图的每个切片的频率分辨率。而时间窗的形状，尤其是左侧窗的形状和宽度，会影响响应随时间淡出的方式。

为了理解这一点，想象一个矩形时间窗和一个完美脉冲，其中一个样本为100%，所有其他样本为零。只要值为100%的样本在时间窗跨度内，频率响应将是一条平坦的线。一旦时间窗的左边缘经过100%样本，此刻及其随后切片中的所有样本中没有数据（样本值都将为零），所以“瀑布”突然一落到底并消失。下图是一个用100 ms左侧矩形窗绘制的瀑布图的例子。

瀑布图(Waterfall Graph)

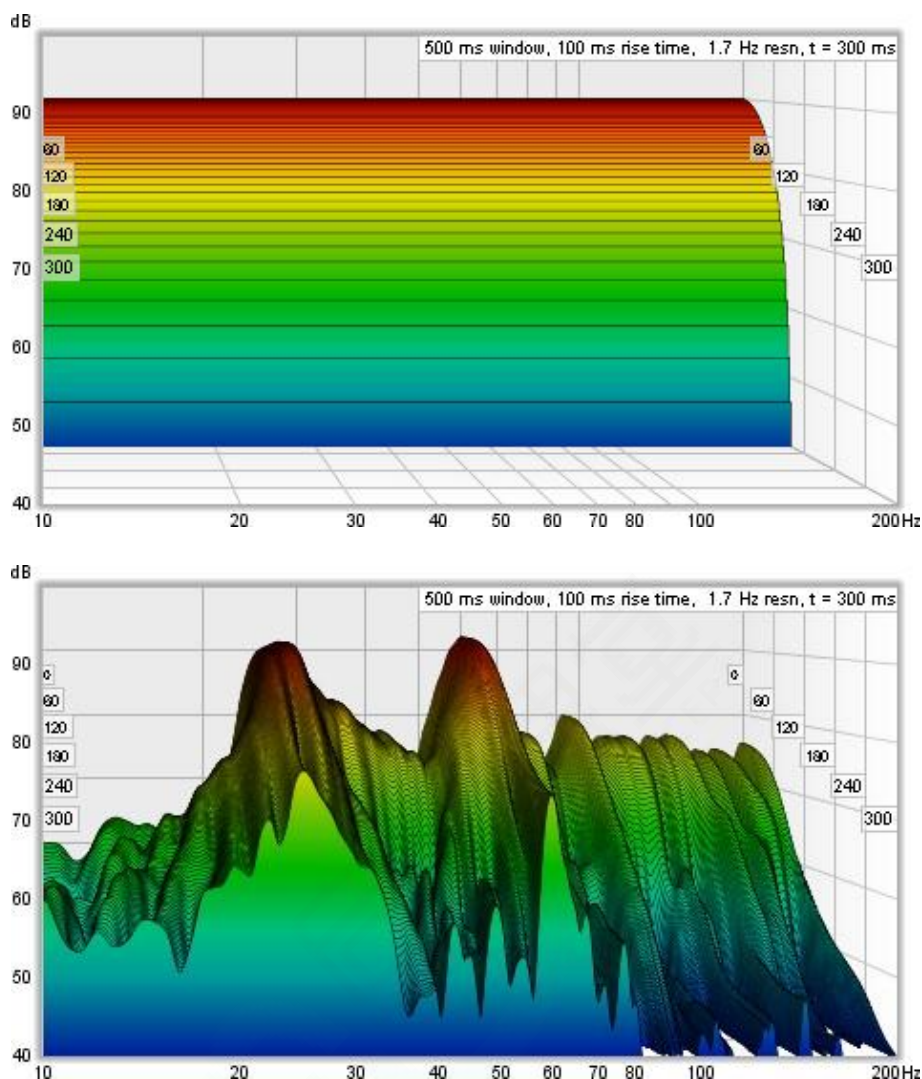


从时域角度来说，该瀑布图是完美脉冲响应的忠实表现。一般而言，对于任何响应，矩形时间窗具备最佳的时间分辨率，但这是有代价的。代价在于频域表现，即瀑布图切片中频率响应的形状。一个实际的脉冲响应，其能量随时间的推移而分散，使用矩形时间窗在时间窗数据的左侧边缘造成一个陡峭的切割。这个陡峭的切割会在频率响应中引起波纹，使实际的频率内容模糊不清。瀑布图也有一个初始阶段，其时间长度等于左侧窗的宽度，这一阶段内的切片几乎相同，因而会呈现为一段平坦的响应。下图是一个100ms矩形左侧时间窗的例子，虽然该测量数据与本章节的第一副图的测量数据完全一致，但看上去却明显不同，而这种差异的原因仅仅是更改了左侧时间窗的形状。



为了避免矩形时间窗边缘的陡峭的切割的破坏性影响，我们使用更平缓的时间窗平滑地衰减样本，但是这样一来，脉冲响应中的极速变化在瀑布图中就得不到很好的体现，因为它会在时间窗中“逗留”一会儿，直到整个时间窗完全经过这一时刻，它才会完全消失。下图是分别给前文提到的完美脉冲和示例测量脉冲，应用100ms的左侧Hann时间窗。

瀑布图(Waterfall Graph)



REW的扫频测量瀑布图旨在检查房间的共振。为了在响应中更轻易地辨认出共振，使用了一个较宽的左侧时间窗。通过上升时间(Rise Time)来独立设置左侧时间窗宽度。此时，更改时间窗(Window)设置只会改变右侧时间窗，这意味着此处时间窗(Window)设置只控制瀑布图的频率分辨率-更长的设置得到更高的分辨率-而不会改变瀑布图的时域行为。还有一些控件可以选择瀑布图应该有多少个切片，并选择要应用于每个切片的平滑。

标准的瀑布图模式，是沿着脉冲响应滑动时间窗。此外，瀑布图还有一个**CSD（累积谱衰减）**模式，它将时间窗的右端锚定在一个固定点，只移动左侧。某些时候，脉冲响应数据在被检查区域后很快下降到底噪，这时CSD模式会很有用，比如检查箱体或高音单元中时间跨度很短的共振问题。在这些情况下使用CSD模式，可以防止后面的切片包含越来越多的底噪。然而，这确实意味着随着切片的进展，频率分辨率降低，这就会导致可产生的频率下限上升，因为每个时间窗的总宽度比前一个切片略短。还要注意，在CSD模式下，时间范围(Time Range)大于时间窗宽度是没有意义的，因为时间窗具有固定的右端点，沿着等于时间窗宽度的时间间隔步进后达到零宽度，因此后续切片将没有数据。在CSD模式下，时间窗宽度应大于时间范围。CSD模式不要求测量具有良好的信噪比，且在整个感兴趣的时间范围内不能保持固定的频率分辨率。

瀑布图控制(Waterfall Controls)

总切片数(Total slices)设定使用多少个切片来生成瀑布图。较少的切片数意味着更快的处理和较低的内存使用，但不太容易看清响应如何随着时间的推移而变化。绘图中的实际切片数可能比设定的切片总数少20%，以允许切片间隔为整数样本数，从而加快处理速度。

时间窗(Window)设置用于生成瀑布图的脉冲响应的宽度，此控件设置右侧时间窗宽度。相应的频率分辨率显示在时间窗设置的右侧。较长的时间窗设置提供更高的频率分辨率。

时间范围(Time range)用于设定脉冲响应时间窗从其开始位置移动多远以生成瀑布图。

上升时间(Rise Time)设置左侧时间窗的宽度。较短的设置提供了更好的时间分辨率，但使频率变化不那么容易看到。默认设置为100 ms，适用于分析房间共振。当用全频段激励信号测量检查驱动单元或箱体谐振时，可使用更短的上升时间，比如1.0毫秒或更低，时间跨度和时间窗设置约为10毫秒。CSD模式对于这种测量可能更有用，脉冲响应的后面部分可能有噪声，这些噪声会模糊后面的切片的表现。“上升时间”这一术语可以追溯到80年代末和MLSSA。在MLSSA中，它指的是通过将窗函数与单位阶跃（本质上就是所选窗函数的阶跃响应）卷积形成的左侧窗的10%-90%上升时间。时间窗的实际宽度要大得多，这取决于时间窗类型-例如，汉恩(Hann)时间窗大约是上升时间的两倍，而布莱克曼-哈里斯窗则大约是上升时间的3倍。在REW中，该术语用于指代左侧窗的总宽度，这在某种程度上是误用术语，我们这样做的目的是为了保持在CSD模式下的术语通用，同时这种定义提供了一个更清晰的指示，以显示脉冲响应的哪些部分位于所选时间窗的内部，哪些位于时间窗外部。要获得与MLSSA类型软件中定义类似的结果，在REW可将上升时间设置为两倍长。

使用CSD模式(Use CSD mode)适用于瀑布图的后期切片在测量中被噪声污染的情况。它通常用于检查驱动单元或箱体共振。CSD模式将时间窗的右端固定在一个固定点，仅移动左侧。然而，这就意味着随着切片的进展，频率分辨率降低，可产生的频率下限上升，因为每个时间窗的总宽度比前一个切片略短。在CSD模式下，时间窗宽度应该大于时间范围，否则，在达到时间窗宽度后的时间范围内，时间窗宽度将为零。

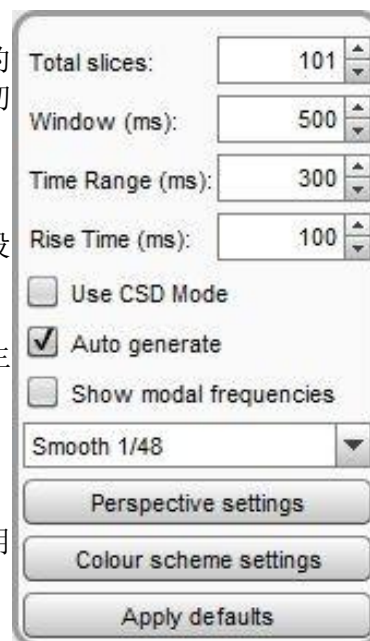
勾选**自动生成(Auto generate)**，将会自动重新生成瀑布图，否则，需要点下**生成(Generate)**按钮才会生成瀑布图。

如果选择了**显示模态频率(Show modal frequency)**，则会根据房间尺寸将其理论模态频率绘制在图像底部，房间尺寸在EQ窗口的模态分析中定义。

平滑(Smooth)用于对瀑布图切片做平滑处理。数值可以从1/48倍频程（最小值和推荐值），增加到高达1/3倍频程。

通过右键单击控制面板，可以在测量之间复制和粘贴设置。

下次REW运行时记住这些控制设置。**应用默认值(Apply default)**按钮将控件恢复为其默认值。

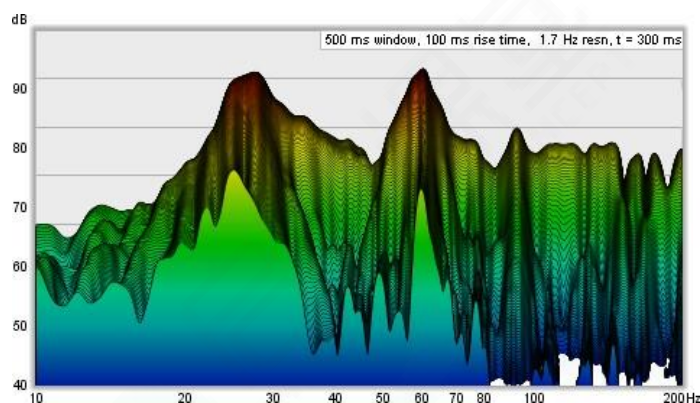


透视设置(Perspective settings)



切片(Slice)滑块选择哪个切片位于绘图的前面-当滑块值减少时，绘图一次向前移动一个切片。曲线值显示最前面切片的SPL图，该切片的相应时间显示在图表的右上角。

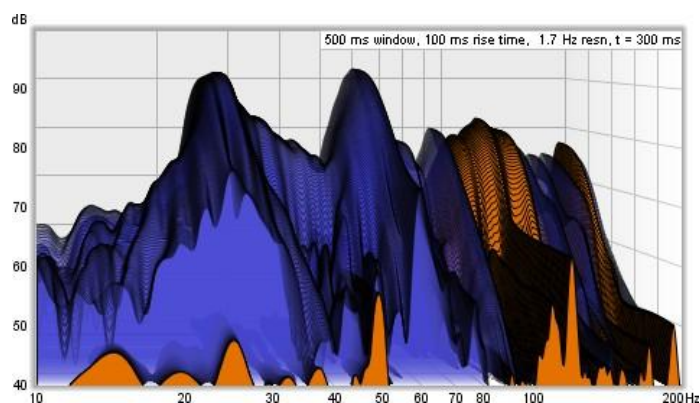
X、Y和Z滑块会改变绘图的视角，分别控制向左/向右、向上/向下和向前/向后移动。勾选滑块旁边的复选框可在该轴中禁用透视。禁用**X**轴可以更容易地看到峰值或凹谷的频率。禁用**Z**轴将关闭所有透视效果，这使得绘图像被填充的光谱衰减一样。下图中的瀑布图与前文瀑布图相同，只是关闭了**X**轴透视效果。



勾选**仅显示前切片(Only show front slice)**，将只显示瀑布图最靠前的切片。

显示时间轴标签(Show time axis labels)，控制是否在绘图区两侧显示相应的时间值标记。**显示设置标签(Show setting label)**，控制是否在绘图区右上角显示绘图设置（时间窗宽度、上升时间、频率分辨率和最前面切片的时间）。

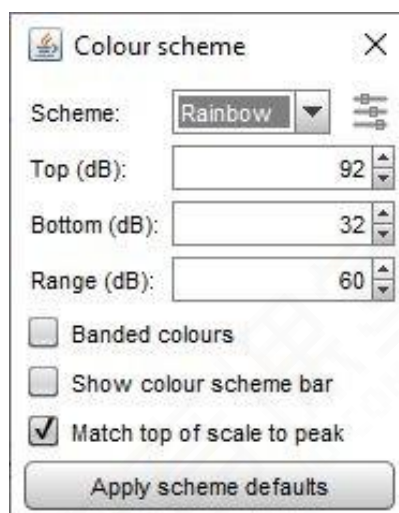
瀑布图允许在当前测量值上叠加显示另一个测量值。叠加图像依切片逐片生成，先绘制当前测量的瀑布图切片，然后是叠加测量的切片，然后是当前测量的下一个切片，依此类推。为了实现这一点，当前测量的瀑布图必须与叠加测量具有相同的时间范围，和相同的采样率。将叠加的瀑布图颜色方案设置为“None（无）”，更易于将其与原测量相区分。**注意**，在测量可被选于叠加显示之前，需要先为其生成瀑布图。



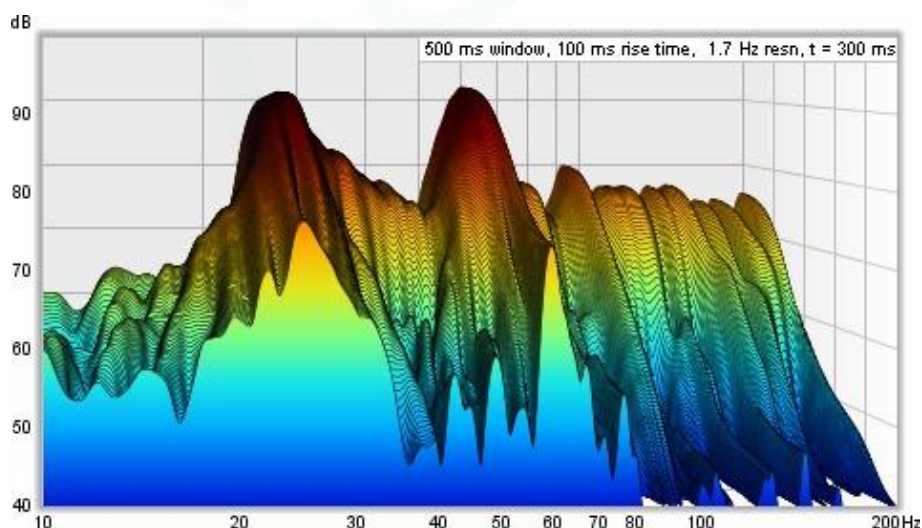
在**叠加(Overlay)**下拉菜单中，可选择要叠加显示的测量。尚未生成过瀑布图的测量在选择列表中以灰色显示。要为测量生成瀑布图，请将其选为当前测量并点击**生成(Generate)**按钮。

透明度(Transparency)可以应用于主图(Main plot)、叠加图(Overlay)或两者(Both)。当透明度设置为0%时，两个图都是实心的。在上面的图像中，主图以75%的透明度绘制，以便同时观察叠加图。透明度模式可以在主图/叠加图/两者(Main plot/Overlay/Both)之间切换，以便于在图像之间进行比较。

颜色方案设置(Colour scheme settings)



生成瀑布图时，可以用测量的颜色来填充切片，也可以选择随SPL变化的颜色来填充切片。**颜色方案(Colour Scheme)**设置为“无(None)”，会以测量的颜色来填充切片。也可以尝试选择其它颜色方案，下面是使用热力图(Heat)方案的示例：



上端(Top)，**下端(Bottom)**和**范围(Range)**控制颜色与瀑布图数据中的值对应的方式。任何高于上端的值都以配色条顶部的颜色绘制，任何低于下端的值都以配色条底部的颜色绘制。如果更改了上端设置，下端的数值将自动调整，以保持相同的范围。如果下端设置被改变，范围将自动调整以保持相同的上端。如果范围改变，下端将自动调整，以保持相同的上端。

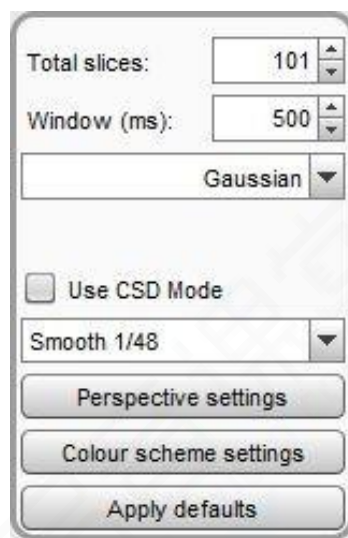
勾选**带状颜色(Banded colours)**，色彩之间的过渡变成离散式，而不再是连续渐变的。此时，整个绘图

的声压级范围被划分10次，用11种颜色来表示。

显示配色条(Show colour scheme bar)，决定是否在绘图区右侧显示SPL范围与颜色对应的刻度条。

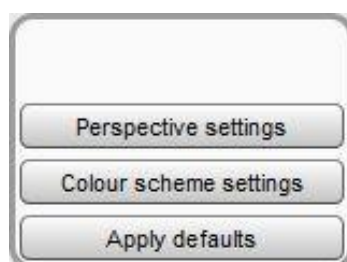
勾选**配色条上端匹配到峰值(Match top of scale to peak)**，可自动调整配色条上端(Top)数值，使其对应于测量数据中的峰值。

瀑布图控件-音频文件(Waterfall Controls - Audio Files)



对于导入的音频文件，控件项目略有不同。没有时间范围(Time Range)控件，以导入文件的整个时间范围生成瀑布图。没有上升时间控制。一个单独的、居中的时间窗用于生成瀑布图，使用的时间窗类型从控件中选择。

瀑布图控制-步进式正弦波测量(Waterfall Controls - Stepped Sine Measurements)



对于步进式正弦波测量(Stepped sine measurements)，其控件有所减少，包含一些仅用于步进式正弦波数据的额外透视选项。步进式正弦波测量瀑布图中的每个切片显示测试频率的频谱数据。

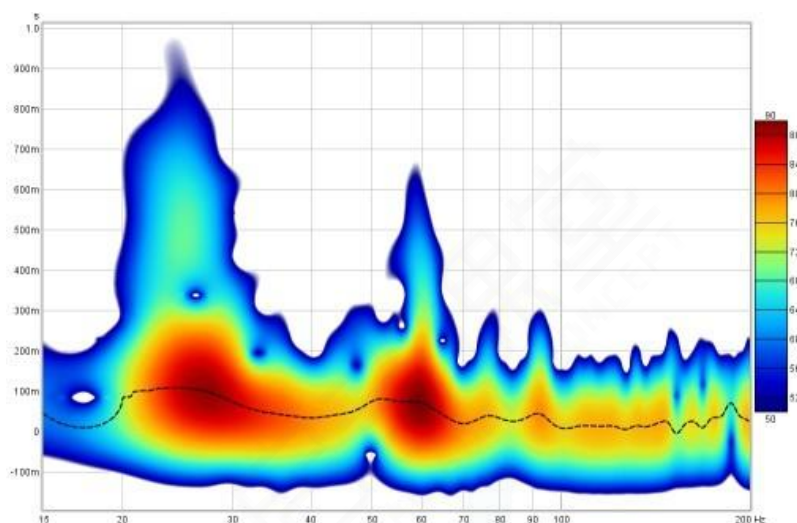
切片(Slice)和X、Y、Z透视控件的工作方式与扫频测量相同。

仅显示**靠前切片(Only show front slice)**隐藏除最前端之外的所有切片，可以使用**切片滑块**来选择切片，这是查看单个测试频率的频谱的便捷方式。当前切片的测试频率显示在图表的右上角以及左侧和右侧标

色谱图(Spectrogram Graph)

该图显示了从10Hz到测量结束频率的区域的色谱图。它可用于绘制扫频测量的结果、导入音频文件的频率内容或步进式正弦波测量（开启在每个测量频率捕获频谱数据）。

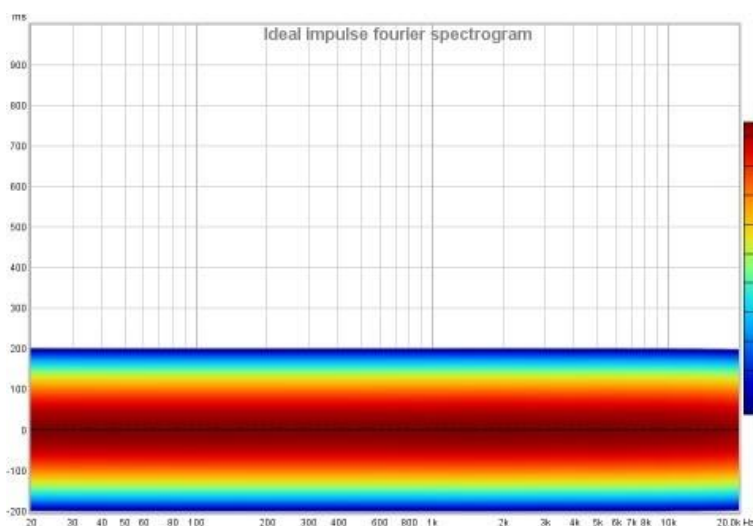
色谱图如同从上方俯瞰一个瀑布图，用颜色表示电平（声压级）。图表右侧的配色条，显示了颜色与电平的对应关系。绘图的纵轴可以显示时间，数值自下而上增加，也可以显示为频率（此时横轴则为时间）。当绘制扫频测量时，时间起始值早于脉冲的峰值，以便观察完整的响应。响应衰减较慢的频率区域显示为沿时间轴的条纹。虚线是**峰值能量时间曲线**，它显示了图中的每个频率的峰值位置。这可以突出峰值能量到达时间随频率的变化，理想的峰值能量时间曲线将是所有频率具有相同时间值的直线。



色谱图(Spectrogram graph)的生成方式与频谱衰减图(Spectral Decay)类似，将脉冲响应时间窗向右移动一部分时间范围以生成每个后续切片。在图像控件中可选择时间窗类型。该绘图采用每倍频程96点的对数间隔数据。

要生成色谱图，请单击绘图区左下角的**生成(Generate)**按钮，或按下快捷键Alt+G，图例面板中显示光标所在位置的数值。

理想的色谱图在时间刻度范围的底部迅速衰减。下面是以一个从声卡环路测量生成的色谱图示例（**傅里叶模式**）。

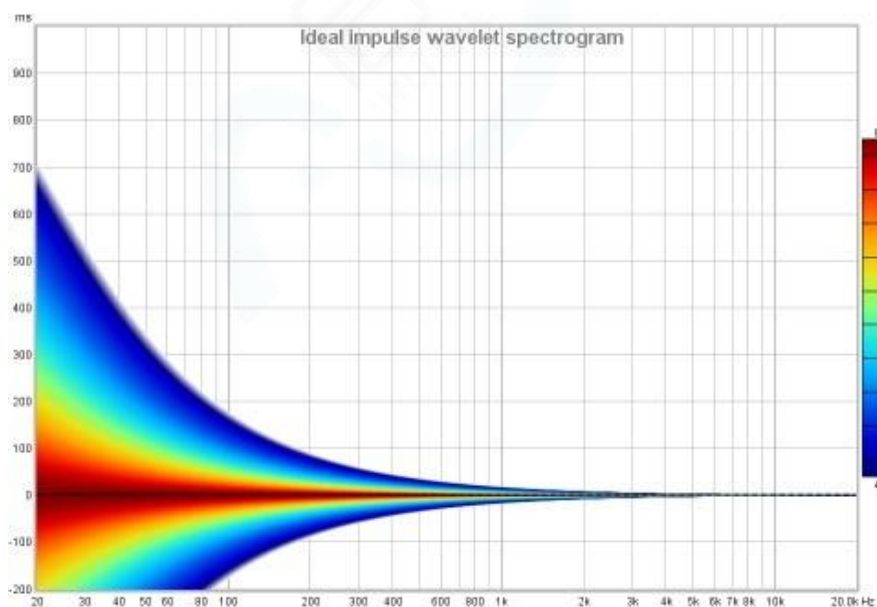


色谱图控制-扫频测量(Spectrogram Controls - Sweep Measurements)

模式(Mode)选择将生成的色谱图的类型，包括**傅里叶模式(Fourier)**和**小波(Wavelet)**模式。

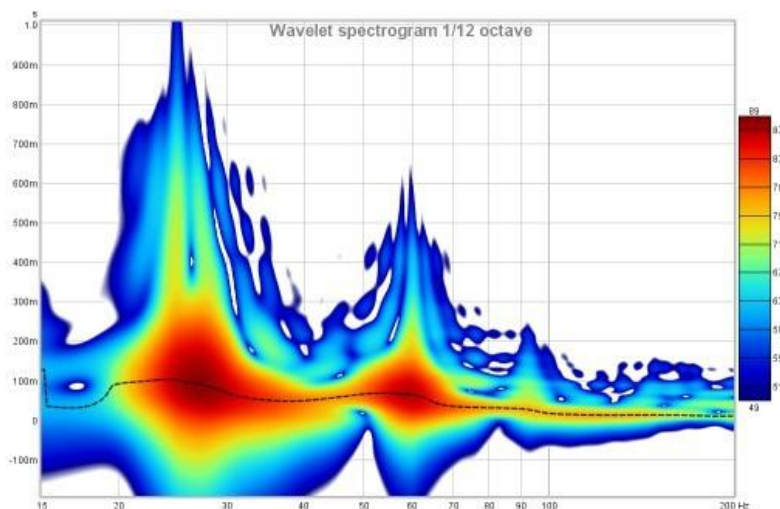
在傅里叶模式下，绘图使用固定宽度时间窗，这意味着绘图在所有频率下具有相同的时间分辨率。如果绘图跨越很宽的频率范围，这通常意味着时间分辨率在高频下太低或在低频下太高。例如，100ms时间窗得到10Hz的频率分辨率。在低频率下是一个相当大的分数倍频程（在20Hz为1/1.4倍频程），在高频下则是一个非常非常小的分数倍频程（在20kHz为1/1386倍频程）。对于时间-频率图，如果时间和频率分辨率之间的制衡可以随频率变化，将会更有用，为此应该使用恒定的分数倍频程作为频率分辨率，而不是恒定的Hz数。这样才能在高频时得到更高的时间分辨率，在低频时得到更低的时间分辨率。小波变换可以实现这一点，具体来说就是常数Q连续小波变换(CWT)。常数Q小波变换在数学上等同于使用频变时间窗来产生色谱图，这就是REW所采用的方法。这种方法比典型的CWT计算更快，但是可能会在响应的某些部分产生一些人工假象，这些人工假象会延伸到接近采样率一半的频率，使用更高的采样速率能使这些假象超出我们感兴趣的音频范围。

下图是一个1/6倍频程的**小波色谱图**，根据上图相同的声卡环路测量结果生成。图像随着频率的增加而变窄，反映了小波图的时间分辨率的提高。

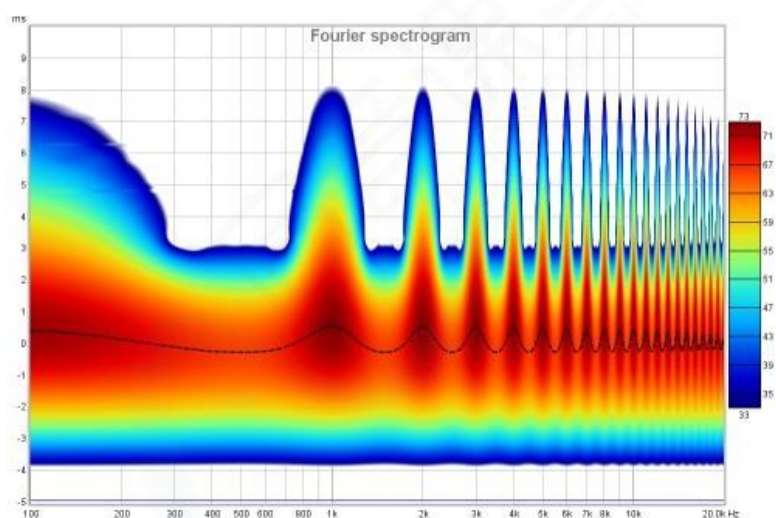


下图是根据本节第一幅色谱图的测量结果生成的1/12倍频程**小波图**色谱图。

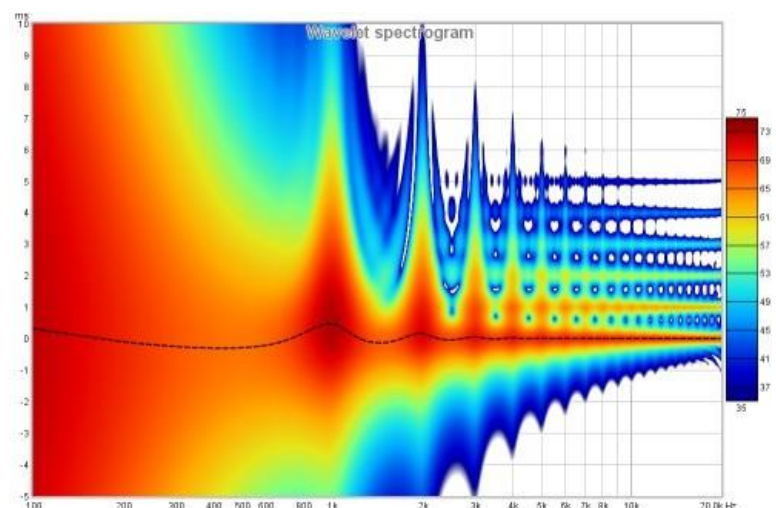
色谱图(Spectrogram Graph)



当观察响应中的反射时，傅里叶模式和小波模式之间的差异可以更清晰地体现。下面的响应图中，包含一系列相隔1ms的反射。在傅里叶色谱图中，使用10 ms时间窗，在峰值后具有10 ms的时间跨度，反射对频率响应和衰减的影响清晰可见，峰值按照1 kHz间隔分布。然而，反射本身并不能体现。



小波图也能显示频率响应和衰减效应，而由于其其在高频具有更高的时间分辨率，反射本身也清晰可见，显示为一个个水平条状色带。



在小波模式下，不再具备时间窗控制，取而代之的是频率分辨率控制，其数值可选择在1倍频程和1/24倍频程之间。

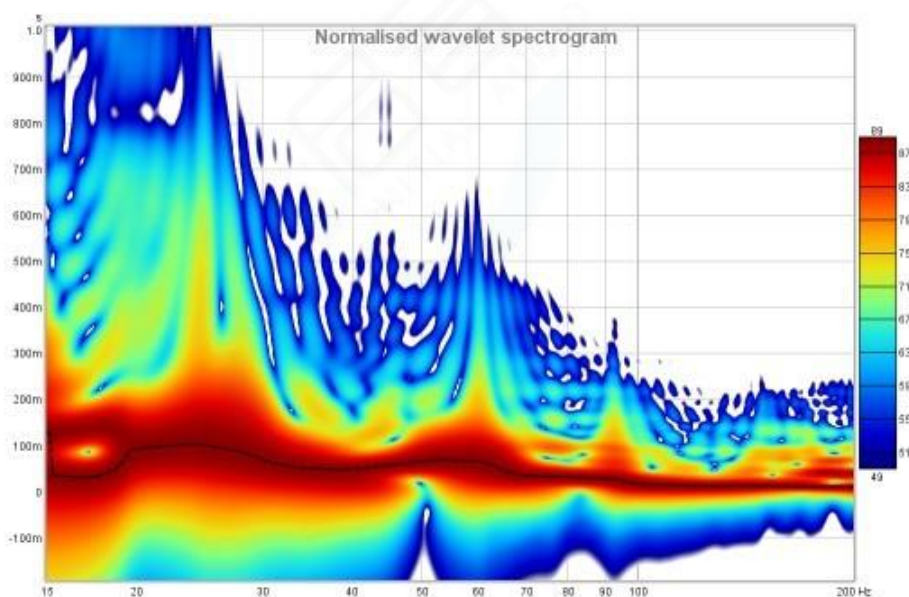
窗类型(Window Type)控件选择用于傅里叶频谱图的每个切片的时间窗类型，海宁窗(Hann)非常适合查看导入的音频文件的内容，高斯窗(Gaussian)为扫频测量提供了更优的时间/频率的折中。

峰值前跨度(Span before peak)和**峰值后跨度(Span after peak)**控件决定在扫频测量脉冲响应峰值周围将产生多少谱图数据。对于导入的音频文件没有跨度控件，将以音频文件的整个长度作为跨度生成频谱图。

振幅(Amplitude)控件提供了线性和对数刻度之间的选择。对数刻度单位为dB SPL和dBFS，线性刻度为 % peak和 % FS。以线性峰值百分比(% peak)刻度显示的小波图可以更容易地看到时域变化。查看导入的音频文件时，满刻度分贝(dBFS)和满刻度百分比(% FS)刻度可能很有用。

频率轴(Frequency axis)决定频率是沿X轴还是沿Y轴。音频数据的典型色谱图通常以Y轴（纵轴）为频率，而将X轴（横轴）设为频率则更容易与瀑布图进行视觉比较。

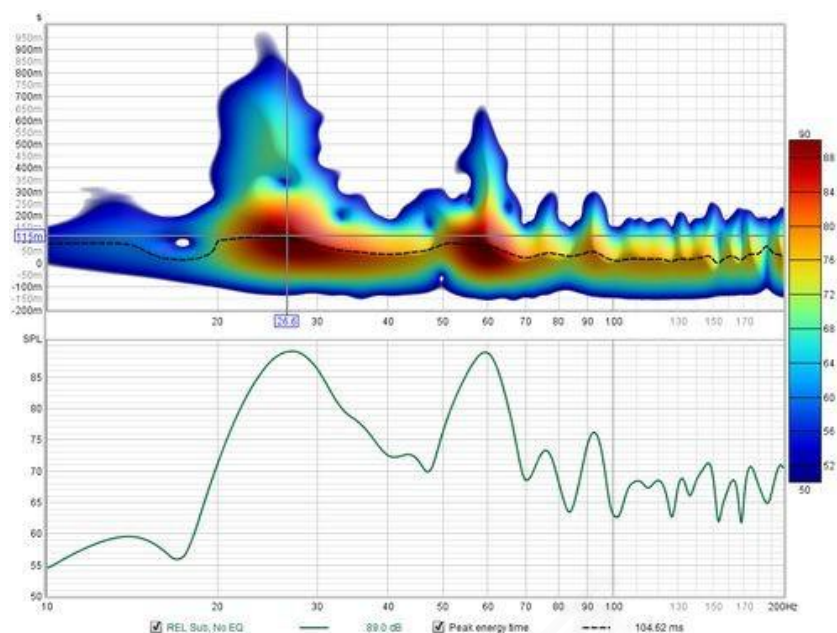
在每个频率按峰值归一化(Normalise to peak at each frequency)，将缩放（提升）每个频率的绘图，使其具有相同的峰值。这在检查能量衰减或驱动单元之间的时间对齐时非常有用，因为它会消除电平差异。请注意，使用了归一化的3D增强视图可能会沿着频率轴的出现一些伪象。



勾选**设置更改时自动生成(Auto generate on settings change)**，如果设置被更改，将自动重新生成色谱图，否则只有在点击**生成(Generate)**按钮时才会生成新的图像。

勾选**显示光标处切片(Show slice at cursor)**，绘图区将被分割，上方显示色谱图，其下方显示色谱图中光标所在的Y轴位置的声压级曲线图。该图将显示随频率变化或随时间变化的声压级，具体取决于频率是在X轴还是Y轴上。

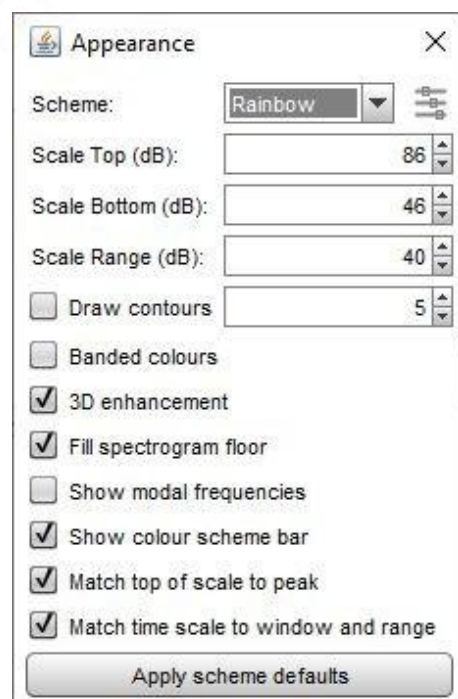
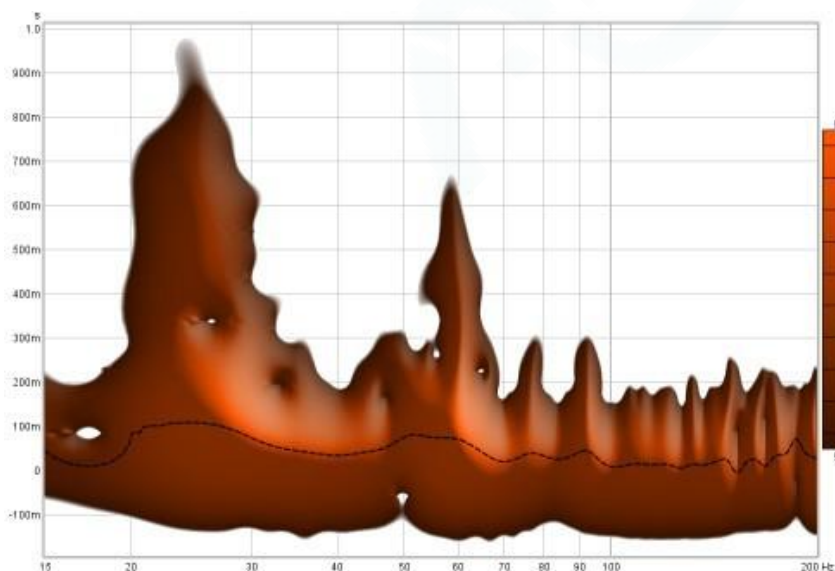
色谱图(Spectrogram Graph)



在控制面板中右键单击，可以在测量之间复制和粘贴设置。

点击外观设置(**Appearance settings**)按钮将打开一个对话框，其中包含控制色谱图外观的设置。

颜色方案(**Scheme**)可以改变的绘图的色彩风格，上图使用的是“热力图(Heat)”方案，下图使用了“铜色(Copper)”方案，并开启了3D增强(3D enhancement)。



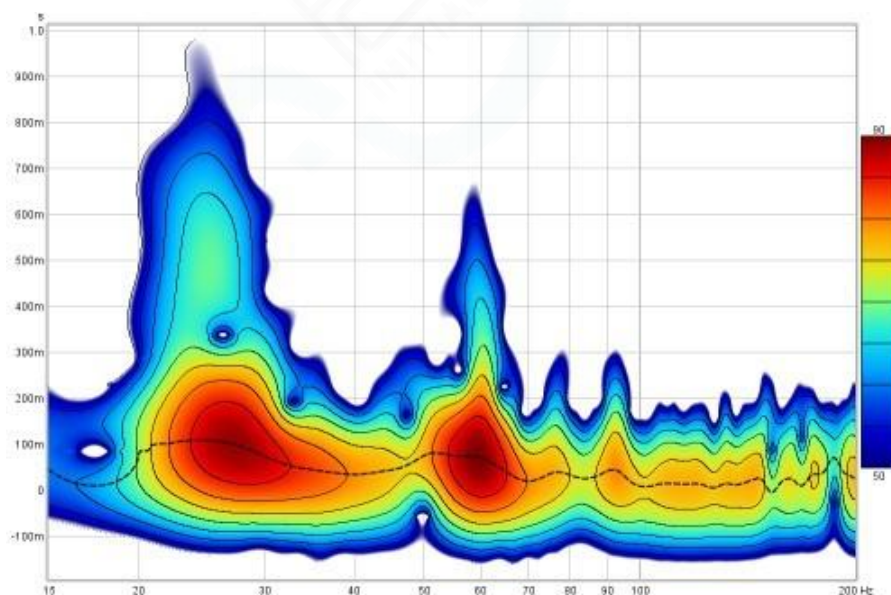
其中一个配色方案是基于Dave Green的立体螺旋(cubehelix)颜色算法，请参阅 <https://www.mrao.cam.ac.uk/~dag/CUBEHELIX/>。它基于RGB颜色立方体对角线周围的螺旋路径，考虑到感知的颜色强度，以创建一种感知上具有单调增加亮度的方案。可以通过下图的设置面板，配置 cubehelix 方案以更改其外观，该面板通过单击颜色方案选择器右侧的图标来激活：

Start hue (deg):	<input type="text" value="270"/>
Rotation (deg):	<input type="text" value="-360"/>
Hue factor:	<input type="text" value="1.5"/>
Min grey:	<input type="text" value="0.00"/>
Max grey:	<input type="text" value="1.00"/>
<input type="button" value="Reset to defaults"/>	

开始色调(Start hue)是图像底部的色调 (以度为单位)。**旋转(Rotation)**是螺旋绕立方体对角线移动多少度, 将旋转设置为零会产生一个具有单一色调的方案。旋转可以是正值或负值。**色调因子(Hue factor)**是应用于颜色的缩放比例, 该参数设置为1.0可确保感知一致性, 更高的数值会产生更丰富多彩的方案。初始方案覆盖了从黑色到白色的整个跨度, 但是**最小灰度(Min grey)**和**最大灰度(Max grey)**控件可以设置从黑色以上的级别开始, 使开始色调可见, 并在白色之前结束, 在刻度的上方留出一些颜色。

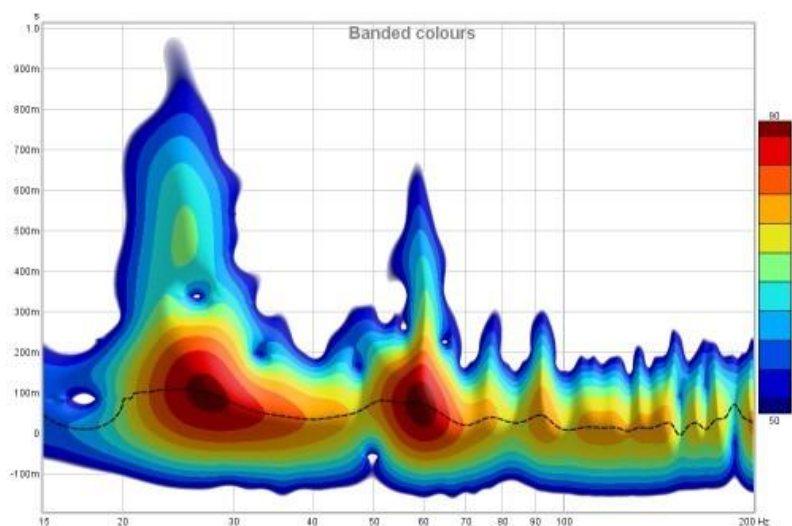
刻度上端(Scale Top), **刻度下端(Scale Bottom)**和**刻度范围(Scale Range)**控制调整绘图颜色与色谱图数据中的值对应的方式。任何高于上端的值都以配色条顶部的颜色绘制, 任何低于下端的值都以配色条底部的颜色绘制。如果更改了上端设置, 下端的数值将自动调整, 以保持相同的范围。如果下端设置被改变, 范围将自动调整以保持相同的上端。如果范围改变, 下端将自动调整, 以保持相同的上端。

绘制轮廓线(Draw contours), 在设定的的dB间隔处添加轮廓线。

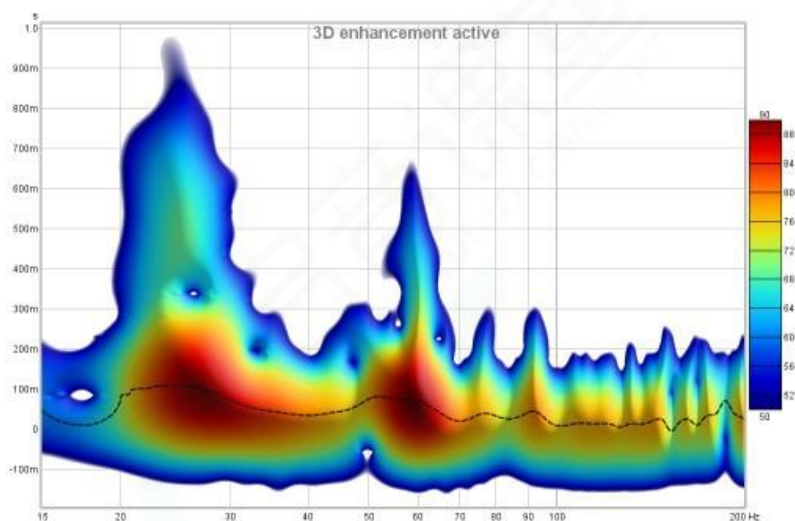


勾选**带状颜色(Banded colours)**, 色彩之间的过渡变成离散式, 而不再是连续渐变的。此时, 整个绘图的声压级范围被划分10次, 用11种颜色来表示。

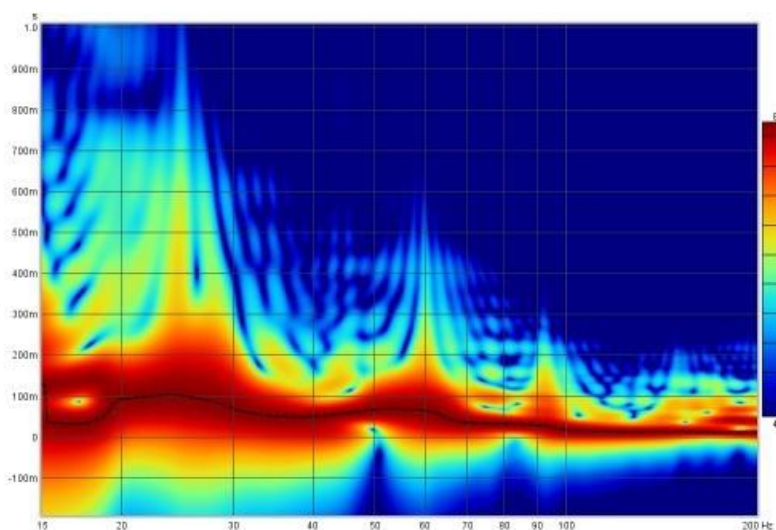
色谱图(Spectrogram Graph)



3D增强(3D enhancement)可增强图像的视觉立体感。



填充色谱图底色(Fill spectrogram floor), 使用配色条底部的颜色填充色谱图背景。当背景被填满时, 网格被绘制在色谱图的上层, 可以使用图像菜单中的“显示/隐藏网格”(Show/Hide Grid) 切换或使用Ctrl + Shift + G快捷方式来显示/隐藏它。



如果选择了**显示模态频率(Show modal frequency)**，则会根据房间尺寸将其理论模态频率绘制在图像底部，房间尺寸在EQ窗口的[模态分析](#)中定义。

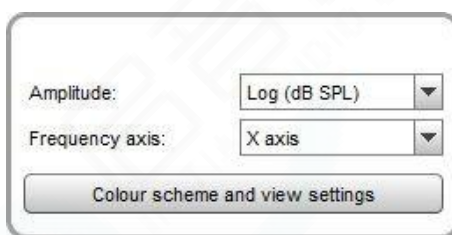
显示配色条(Show colour scheme bar)，决定是否在绘图区右侧显示SPL范围与颜色对应的刻度条。

勾选**配色条上端匹配到峰值(Match top of scale to peak)**，可自动调整配色条上端(Top)数值，使其对应于测量数据中的峰值。

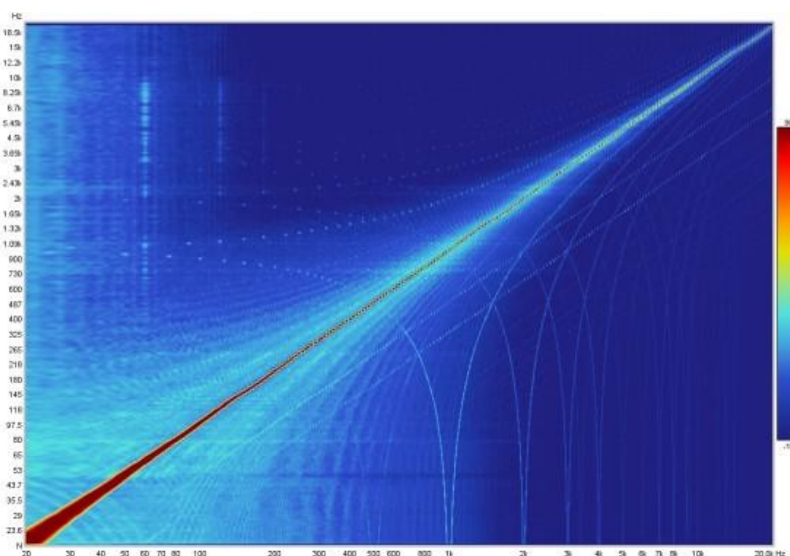
将时间刻度与时间窗和范围匹配(Match time scale to window and range)，可调整时间轴刻度范围，使其在零之前的按照时间窗宽度为起始点（例如时间窗设置为300 ms，则时间刻度的起点是-300 ms），并包含完整的时间窗范围（例如，对于1000ms的时间范围，时间刻度的结束点为1000 ms），以便图像显示所有生成的数据。

这些控制设置会被REW记住，并在下次运行程序时会自动应用这些设置。点击**应用默认设置(Apply Default Settings)**，会将设置还原到默认值。

色谱图控制-步进正弦波测量(Spectrogram Controls - Stepped Sine Measurements)

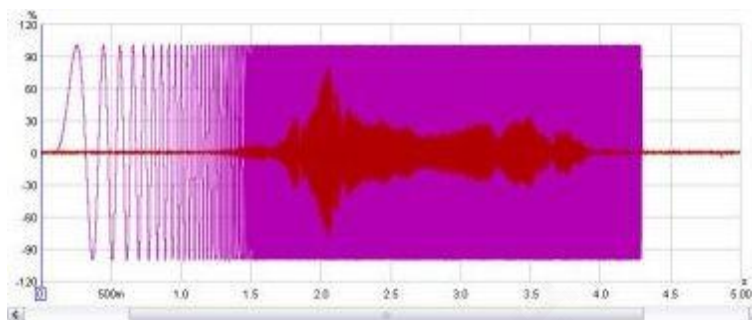


步进正弦波测量的图像控件项目较少，可选择振幅(Amplitude)、频率轴(Frequency axis)、配色方案(Colour scheme)和SPL范围。步进正弦测量的时间轴的等价物是捕获频谱数据的测试频率，这些频率沿轴显示。当选择步进正弦波测量时，轴会自动缩放以显示测量中的所有测试频率，但随后可以使用轴缩放按钮放大或缩小。请注意，色谱图只能对勾选了**在每个频率捕获频谱数据(Capture spectrum data at each frequency)**选项的步进正弦波测量生成。

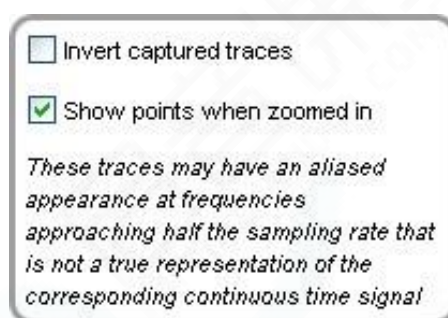


捕获图像(Captured Graph)

此图显示了生成的扫频测试信号和通过声卡获取的原始系统响应，有助于故障排除。该图像不是实时显示，而是在每次扫频测量完成后更新图像。仅显示最后一次测量的信号。Y轴是数字满刻度的百分比。生成的扫频被归一化显示，其峰值为100%。如果捕获的曲线达到 + 100或-100%，说明它正在削波，应降低扫频信号电平或AV处理器音量。



捕获图像的控件



反转捕获曲线(Invert captured traces)，可将捕获的曲线极性反转，以便在声卡输入型号极性相反时更容易与测试激励信号进行比较。反转极性的另一个更彻底的操作方式，是在偏好设置中的声卡选项卡中，勾选输入通道的**反转(Invert)**复选框。勾选**放大时显示点(Show points when zoomed in)**，则会水平轴放大到一定程度时，区分单个时间样本。

多曲线窗口(Overlays Window)

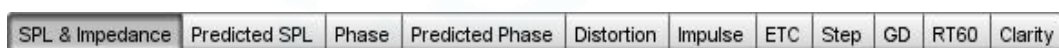


多曲线窗口(Overlays)可同时显示当前加载的所有测量的图像。通过点击REW主窗口工具栏中的“多曲线(Overlays)按钮进入该窗口。



Overlays

点击图像区顶部的按钮，可选择图像类别。



可选的图像类别有:

所有声压级(All SPL)

所有测量的SPL曲线

预测声压级(Predicted SPL)

在均衡器窗口中对测量设置并应用EQ滤波器后的预测声压级曲线。

相位(Phase)

所有测量的相位曲线

预测相位(Predicted phase)

在均衡器窗口中对测量设置并应用EQ滤波器后的预测相位曲线。

失真(Distortion)

每次测量的失真曲线，显示在图像控制中选择的失真测量，可以是THD，直到10次谐波的可用谐波，或者基波

脉冲(Impulse)

所有测量的脉冲响应

时间能量曲线(ETC)

所有脉冲响应包络曲线

阶跃(Step)

所有测量的阶跃响应

群延时(GD)

所有测量的群延时曲线

混响时间(RT60)

所有测量的RT60曲线

清晰度(Clarity)

所有测量清晰度(Clarity)/定义度(Definition)曲线

分离曲线(Separate)

多曲线图的基本控件可在主图像面板帮助中找到说明，但多曲线窗口有一个额外的按钮：

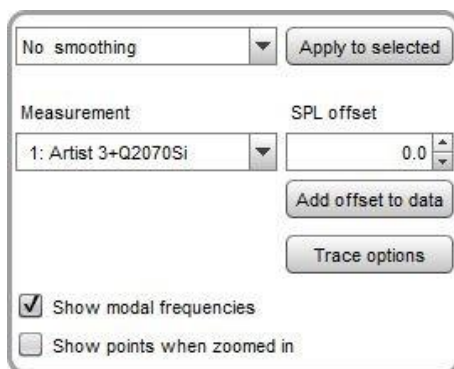


分离曲线图像选择器右侧的按钮将每个曲线从前面的曲线向下偏移，以便在曲线处于相似电平时更容易区分各个特征。当该按钮被按下时，可用其旁边的滑块调整分离量。

**图像控制(Graph Controls)**

所有声压级(All SPL)的图像控制中，可对当前所有选定的曲线做平滑(smoothing)，偏移任何一条曲线，以及选择是否绘制数据点。曲线偏移(SPL offset)会移动图像位置，但不会改变测量数据，因此图例中的读数不会改变。如果点击**将偏移应用到数据(Add offset to data)**，则会改变测量数据，图例读数将相应更新。勾选**放大时显示点(Show points when zoomed in)**，当图像放大到一定程度时，构成测量相位响应的单个数据点会显示在曲线上，以便对它们进行区分 (这可能只是图像的一部分)。

点击**曲线选项(Trace options)**按钮，会弹出一个对话框，可更改图像曲线的线型。



预测SPL、相位、预测相位和群延时图像也具有平滑控制。相位和预测相位多曲线图，可以控制缠绕或展开当前选定的相位曲线。相位、脉冲、阶跃和群延时图像均可选择在放大时显示数据点(Show points when zoomed in)。所有这些图像类别都具有曲线选项(Trace options)控件。

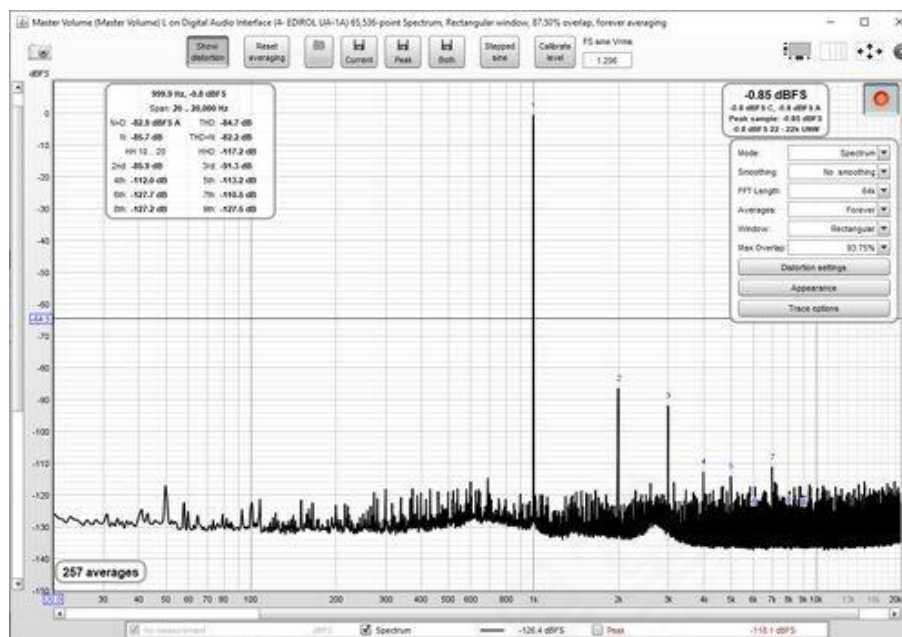
图例区(Legend area)

右键单击多曲线窗口的图例区，会显示一个小菜单，其中可选择所有曲线(Select All)、清除所有选中曲线(Clear selections)，切换选中曲线(Toggle selections)，还可以从特定文件选择曲线(Select traces from file)或者清除曲线(Clear traces from file)。




将光标悬停在图例面板中的某个测量值的名称上，将会弹出一个显示测量注释的工具提示。

实时分析仪窗口(RTA Window)



实时分析仪(RTA)窗口，能够实时生成频谱图，随着输入信号改变的实时更新分析图像。在REW主窗口工具栏中的点击RTA按钮，便可进入实时分析仪窗口。



点击图像区右上角的记录(Record)  按钮，便可激活RTA分析，它将持续分析输入样本的块，并显示每个样本块的频谱。如果将RTA的更新间隔设置为超过1秒，记录按钮下将显示进度百分比数值。

实时分析仪可以在没有测试激励信号的情况下使用，例如查看背景噪声的频率成分，但更常见的用法是，将RTA与REW的信号发生器或外部发生器等信号源一起使用。如果信号发生器正在播放粉红噪声信号（或者更好的是，粉红周期性噪声），RTA图像将显示房间的频率响应，并可以在更改EQ设置时的立刻体现其结果。

如果用发生器播放正弦波测试信号，则可在RTA图像中观察信号的频率及其谐波的电平，并计算失真百分比。如果使用双音发生器，则可以测量互调失真。

RTA图像会显示当前选中的测量作为参考，并同时显示RTA或频谱。可以选择显示峰值曲线，点击重置平均(Reset Average)按钮，可刷新峰值曲线。如果应用了反向C计权补偿(Inverse C compensation)，则在曲线值之后显示标记C。如果已加载话筒/声压计校准文件或声卡校准文件，则它们将应用于结果。

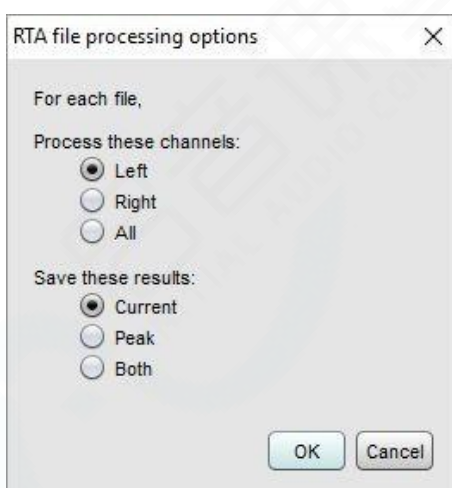


当前输入RMS值显示在记录按钮的左侧，单位和Y轴的单位设置一致，可选的单位包括dB SPL、dBFS、dBU、dBV、dBW、伏特(volts)或瓦特(watts)为单位。该数值不包括信号中的任何直流内容。A计权和C计权数值显示在未计权RMS数值下方。最后一个RTA块中的峰值采样值(Peak sample)以dBFS单位显示。其下方是带内(in-band) (22.4Hz至22.4 kHz)，对于高于44.1 kHz的采样率，和带外(out-band) (> 22.4 kHz) 未计权RMS电平。如果在输入中检测到削波，则RMS值将变为红色。如果图像模式设为一个倍频程RTA，噪声标准和噪声评级数值将显示在RMS值下方。

Y轴具备一个dBc单位选项，当失真面板激活时，该选项将输入的峰值电平设置为0 dBc，或者将基波的峰值设置为0dBc。还有一个伏特/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 的单位选项用于显示振幅频谱密度，这只有在使用频谱(Spectrum)视图时才有意义。

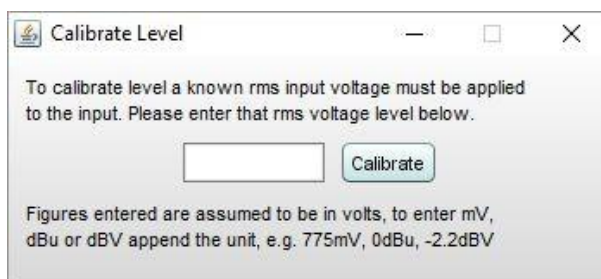
处理WAV文件(Processing WAV files)

RTA可用于分析wav文件 (单独或分组)，方法是将文件拖拽到RTA窗口，或单击打开WAV(Open wav)按钮 (快捷方式Alt + O) 选择要处理的wav文件。然后会出现下面的对话框，询问每个文件将如何处理，在处理结束时，根据保存的设定，可将当前(Current)、峰值(Peak)或两者(Both)的结果保存为测量值。



校准输入电平(Calibrating the input level)

当RTA运行时，点击图像区上方的校准电平(Calibrate level)按钮。给输入馈送一个已知RMS电平的信号，并在校准对话框中输入该RMS电平值。

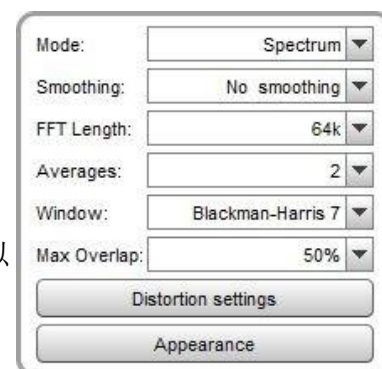


输入该值后，将弹出确认提示，说明输入在数字满刻度削波前可以接受的最大峰值和RMS输入电压。如果输入信号路径上的任何音量控制设置被改变，将需要再次校准。如果输入灵敏度已知 (包括任何音量

控制设置的影响)，则可以FS sine Vrms文本框中输入满刻度正弦波RMS电压值。

频谱/RTA控制(Spectrum/RTA controls)

图像控件如下所示。



模式(Mode)可以设置为频谱(Spectrum)，以便将其用作一个频谱分析仪，也可设置为从1倍频程到1/48倍频程的RTA。频谱(Spectrum)和RTA模式之间的区别在于如何呈现信息。在频谱模式下，信号的频率内容被分成以Hz为单位的、宽度相同的径(bins)。例如，使用64k FFT长度和48 kHz采样速率，径(bin)宽度为0.732Hz。图像将显示每个径(bin)中的能量。在RTA模式中，带宽度是分数倍频程，如果以Hz为单位表示其宽度，则其宽度随频率变化。例如，1倍频程RTA在100Hz的频率窗口宽度为70.7Hz（从70.7Hz到141.4Hz），而在1kHz宽度为707Hz（从707Hz到1.414 kHz）。RTA图显示了每个径内所有频率的组合能量，这更接近我们的耳朵感知声音的方式。不同的绘图模式意味着具有特定频率内容的信号在图上看起来会有所不同。最著名的例子是白噪声和粉红噪声。白噪声在每个频率下具有相同的能量。在显示每个频率下能量的频谱图(Spectrum)中，白噪声被绘制为水平线。而在RTA图上，它显示为随频率增加而上升的线，因为每个RTA 的频率径随频率上升变得更宽，包含更多的频率，因此具有更多的能量。频率每加倍，频率径宽度加倍，所以能量也加倍，这在用来显示电平的对数视图上会增加3 dB。白噪声听起来嘶嘶作响，我们能感知到它在更高的频率下有更多的能量。

粉红噪声的能量随着频率的加倍而下降3 dB。在频谱图上，它是一条以每倍频程3 dB速率下降的线，在RTA图上，它是一条水平线，因为信号中的能量以与频率窗口加宽相同的速率下降。我们认为粉红色噪声具有均匀的能量频率分布。

单音是一种特殊的情况，不论在哪一种绘图模式下，都会显示出一致的电平，因为它们的能量只在一个频率上，所以在频谱图中它们显示为垂直线，在RTA图中，它们通常按照频率窗口宽度显示为条形图，RTA图中条的高度与频谱图中线的高度相同，因为所有的能量都在一个频率上。

在频谱模式下，可以根据平滑(Smoothing)设定对曲线平滑。平滑不适用于RTA模式。

FFT长度(FFT Length)

FFT长度决定分析仪的基本频率分辨率，即采样率除以FFT长度。最短的FFT是8,192（通常缩写为8k），这也是馈送到分析仪的输入数据块的长度。对于48kHz采样的数据，8k FFT的频率分辨率约为6Hz。随着FFT长度的增加，分析器开始交叠(Overlap)其FFT，为每个输入数据块计算一个新的FFT。对于16kFFT长度，交叠率为50%，32k为75%，64k为87.5%，128k为93.75%。交叠(Overlap)可确保在给数据应用窗函数时不会遗漏频谱细节。在较大的FFT长度时，可设置**最大交叠率(Max Overlap)**，限制交叠率的上限，从而减小计算机的处理负载。

平均(Averaging)

RTA图像可设置为显示实时输入分析结果，也可设置为显示多次测量的平均结果，计入平均的测量次数在**平均(Averages)**下拉窗口中设置。选择平均的数值决定有多少个测量值被平均以产生结果，随着新的测量值不断加入，最旧的测量值将不断从平均器中去除。**指数(Exponential)**平均模式，为最近的输入提供更大的权重。选择框中显示的数值是当添加新测量值时保留的旧值的比例，该数字越高，显示的平均程度越高。**持续(Forever)**平均模式，则会以最后一次重置平均为开始，以相等的权重对所有测量值进行

平均。在刚开始运行RTA或改变FFT长度之后，平均不会立即开始，要等到平均器接收到完整的FFT长度的数据，在加上输入和输出缓冲器的时间长度后，平均才开始。

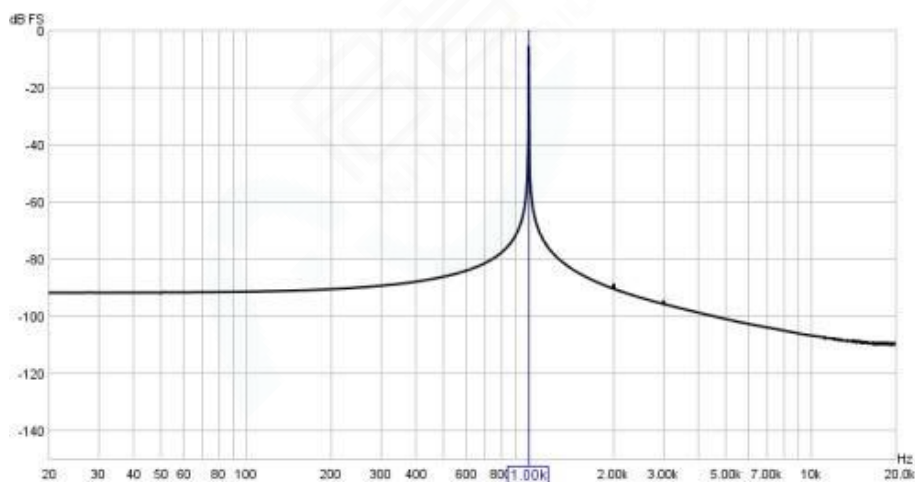
图像区上方的**重置平均(Reset averaging)**按钮，可以重新启动平均过程 (键盘快捷键Alt + R)。当用粉红噪声测量或当被测信号中有噪声时，需要进行平均。请注意，如果使用粉红色噪声作为激励信号测量响应时，使用REW中的**周期性噪声信号**可获得最佳结果。如果被测系统无法直接连接到运行REW的PC，可以从REW信号发生器中导出波形文件，制作一个测试信号光盘。

保存当前(Save Current)按钮可将绘图区当前显示的测量结果保存为一个测量值 (键盘快捷键Alt + S)，保存后可在测量值面板中查看保存结果。分析仪的当前模式会跟随测量被保存，如果分析仪处于频率模式，则保存的测量值也按照频谱模式显示，而如果保存时为RTA模式，则会显示RTA结果。保存的测量值可作为后续频谱或RTA测量的参考。如果失真数据可用，则会被复制到测量的注释区域。

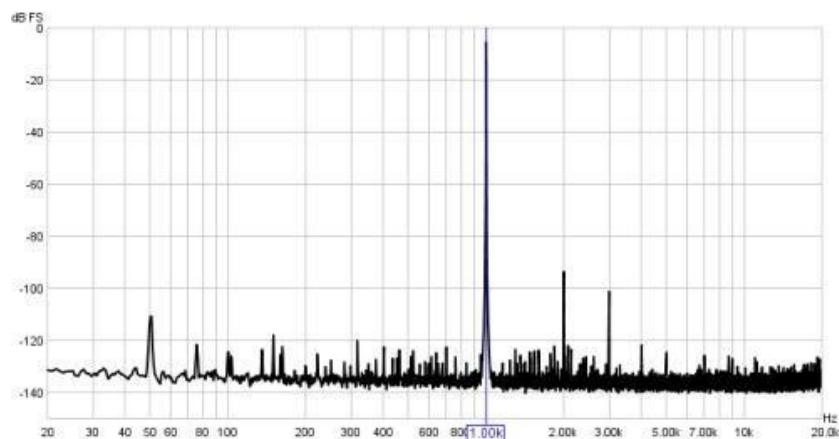
保存峰值(Save Peak)和**二者同时保存(Save Both)**的方式与之类似。

窗函数(Window)

FFT分辨率也会受窗函数设置的影响。矩形窗(Rectangular)可得到最佳的频率分辨率，但仅当所分析的信号在FFT长度内是周期性的或如果正在测量**周期性噪声信号**时才适用。矩形窗应始终与REW的周期性噪声激励信号一起使用。大多数其他信号，例如REW发生器的正弦波或CD上的测试音调或随机噪声，通常在FFT长度内不是周期性的。当分析这种音调时使用矩形窗口会产生频谱泄漏，使得解析频率细节变得困难。下图显示了给外部发生器的**1kHz音调**应用矩形窗的例子。



下图是用汉宁窗(Hann)分析的相同音调。



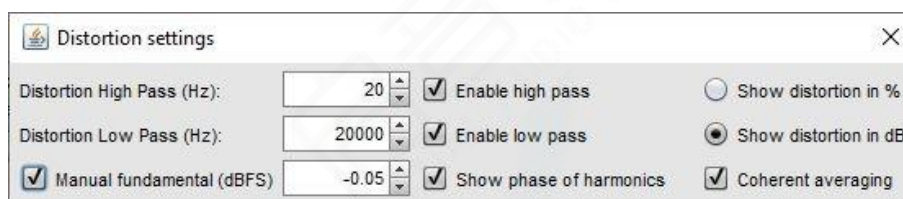
汉宁窗能解析出音调的谐波。然而，应用时间窗的一个代价是会出现信号的一些溢出(Spreading)，这会降低频率分辨率。要使用REW信号发生器的矩形窗口，请使用发生器的**锁定频率到FFT(Lock frequency to FFT)**选项。

汉宁窗(Hann)适合大多数测量，在分辨率和肩部高度(shoulder height)之间提供良好的平衡。如果需要解决解析高的动态范围（非常小的信号接近非常大的信号），可使用布莱克曼-哈里斯4或7(Blackman-Harris)窗。如果要精确测量频谱峰值振幅，可使用平顶窗(Flat-top)，这将提供0.01 dB的振幅精度，无论所测量的音调相对于FFT径(FFT bin)的落在哪里。如使用其他窗函数，仅在音调恰好位于FFT径中心时才能准确显示频谱振幅。如果音调落在两个径之间，振幅会偏低，最大误差发生在音调位于两个FFT径之间。矩形窗(Rectangular)的最大误差为3.92dB，汉宁窗(Hann)为1.42dB，布莱克曼-哈里斯4(Blackman-Harris 4)窗为0.83dB，布莱克曼-哈里斯7(Blackman-Harris 7)为0.4dB。

最大交叠(Max Overlap)

频谱/RTA图像可以根据输入捕获的音频数据块更新，将选定长度的FFT序列进行一定的交叠。当FFT长度较大时，这会显著增加计算机处理负载。可以通过最大交叠(Max Overlap)来限制交叠率，以此减少处理器负载。

失真设置(Distortion settings)



失真高通和低通(Distortion High Pass and Low Pass)

失真高通和低通用于设置计算总谐波失真(THD)和总谐波失真+噪声(THD + N)的最低和最高频率。它们仅在启用**高通(Enable high pass)**和**启用低通(Enable low pass)**框被勾选，并且**失真(Distortion)**按钮开启时才会起作用。两者都可以单独启用。当它们启用时，从计算中排除的频率部分在绘图中变为灰色，且THD和THD + N读数会显示计算的频率范围。

手动基波(Manual fundamental)

当基波频率被陷波滤波器衰减时，可以手动输入基波电平的值以用于谐波失真计算。电平值以dBFS为单位，并且应该考虑在陷波器之后引入的任何增益。应测量陷波滤波器本身和测量偏移，测量的dB值能反映其被衰减的dB值，而后才能导出为文本并作为校准文件加载，谐波电平才能根据滤波器的衰减加以校正。图像曲线显示的基波电平通常是错误的，这是由于陷波器中心频率的变化而导致的，但这一电平值并不会被使用，除非**手动基波复选框(Manual fundamental)**被选中。

失真显示单位(Units for distortion display)

失真比的显示单位可以是百分比(percentage)，或者dB。

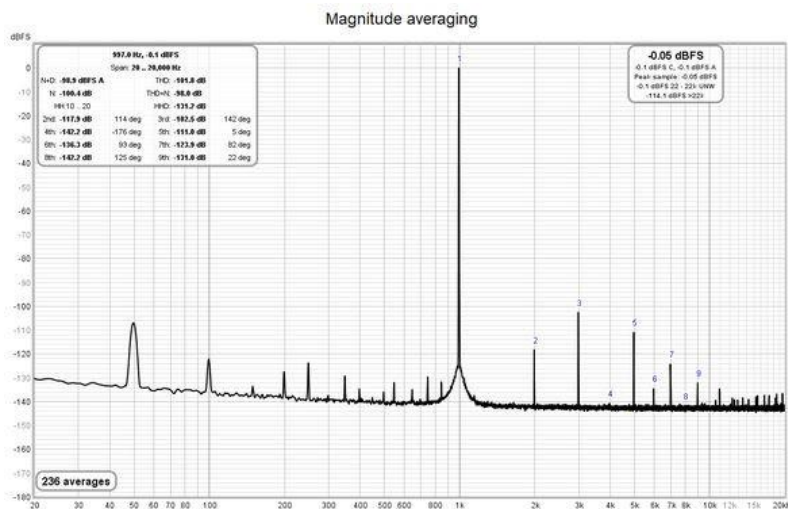
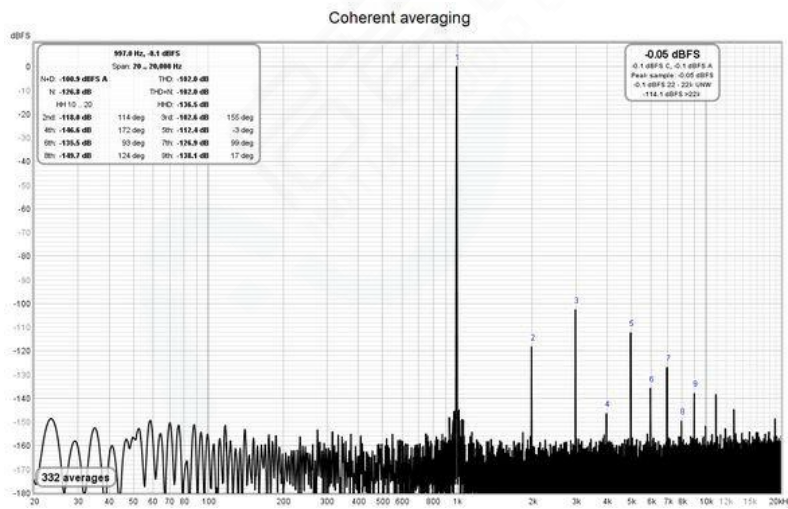
显示谐波的相位(Show phase of harmonics)

如果勾选此选项，则失真数据面板将包含每个谐波相对于基波的相位。

1,000.0 Hz, -9.9 dB FS			
THD: 33.3%	THD+N: 31.6%		
2nd: 31.6%	10 deg	3rd: 10.0%	20 deg
4th: 3.16%	30 deg	5th: 1.00%	40 deg
6th: 0.317%	50 deg	7th: 0.100%	60 deg
8th: 0.0318%	70 deg	9th: 0.0102%	80 deg

相干平均(Coherent averaging)

此选项仅适用于谐波失真测量。如果勾选了此选项，则FFT数据在平均之前会根据基波的相位进行相位对齐，与幅度平均相比，这可以大大降低底噪，且不需要太长的FFT — 事实上较短的FFT，如64k，能更快地进行平均，且更快地降低本底噪声。平均数量每增加一倍，噪声水平就会下降约3 dB。电网电源频率分量将与任何其他与基波无谐波关系的噪声一起被抑制，因此此选项是仅适用于检查谐波电平。由于相干平均对噪声的有抑制作用，失真面板中其它与噪声相关的值不受相干平均的影响。请注意，如果谐波电平是变化的，相干平均将收敛到它们的平均电平，而幅度平均将收敛到它们的RMS电平。



外观控制(Appearance controls)

更新间隔(Update Interval)

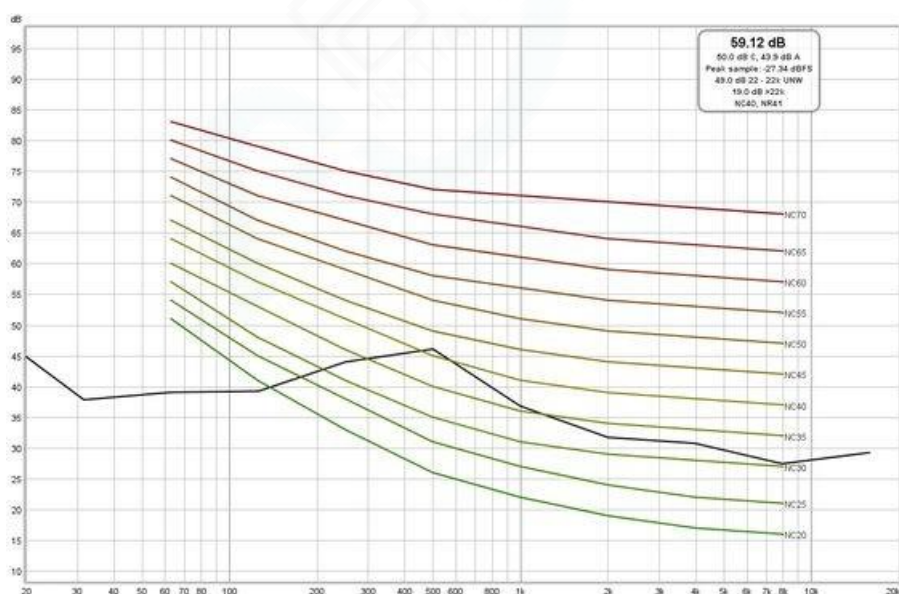
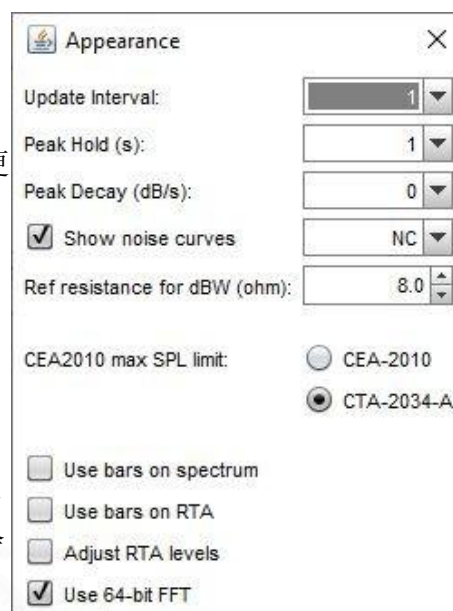
默认情况下，频谱/RTA图会根据从输入中捕获的每个音频数据块更新图像。这会导致显著的处理负载，特别是当RTA的时间窗非常大或FFT长度很大时。可以通过较少更新绘图来减少处理负载，这是由更新间隔(update interval)控制设置的。更新间隔1为每个数据块重绘曲线，间隔为4则仅为每4个数据块更新一次曲线。

峰值保持和峰值衰减(Peak Hold and Peak Decay)

峰值保持和峰值衰减控制分别设置峰值保持的时间（以秒为单位）以及峰值衰减的速度（以分贝每秒为单位）。如果峰值保持设置为0，则峰值完全不被保持。如果峰值衰减设置为0，则峰值曲线不会衰减。

显示噪声曲线(Show noise curves)

如果勾选了显示噪声曲线(Show noise curves)，当图像模式为RTA 1倍频程，且Y轴显示单位为dB时，所选噪声曲线将绘制在图表上。噪声曲线的选项是包括偏好噪声标准 (PNC)、平衡噪声标准 (NCB)、噪声标准 (NC) 和噪声评级 (NR)。注意，如果应用了调整RTA级别(Adjust RTA levels)，噪声曲线将按照与RTA曲线相同的偏移量偏移，但这不会改变噪声标准结果。



dBW参考电阻(Ref resistance for dBW)

瓦特和dBW值是根据电压以及一个假设的参考负载电阻来计算的，此控制设置该电阻的值。

CEA2010最大声压级限制(CEA2010 max SPL limit)

当使用CEA2010瞬发测试信号时，通过此选项启用失真加噪声的阈值。该阈值可以依据CEA-2010有源超低音箱标准测量方法，或CTA-2034-A家用扬声器标准测量方法。

线形或条形(Lines or bars)

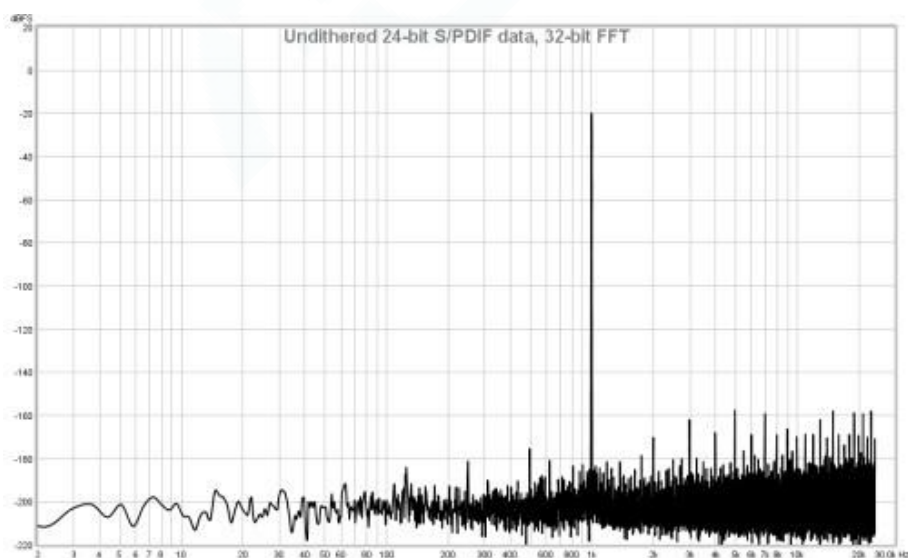
在频谱/RTA模式中，绘图可以连接FFT径的中心频点绘制为一条线，也可按照FFT径或RTA分数倍频程宽度绘制为条形图，这由**使用条形于频谱(Use bars on spectrum)**和**使用条形于RTA(Use bars on RTA)**选项来决定。

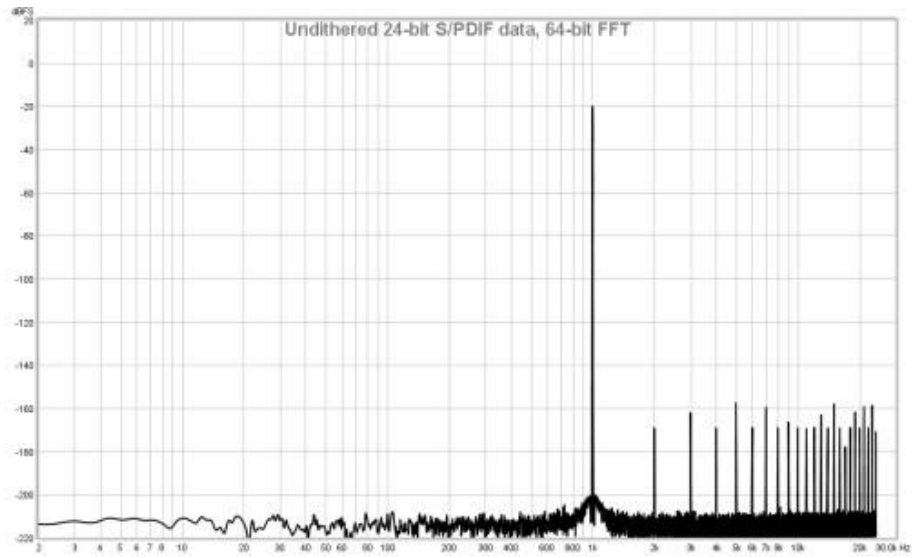
调整RTA电平(Adjust RTA Levels)

RTA图显示了每个分数倍频程带宽内的能量。随着RTA分辨率的增加，从1倍频程到1/48倍频程，分数倍频程带宽减少，对于宽带测试信号，如粉红噪声，每个分数倍频程带宽内的能量相应减少。虽然RTA正确地显示了每个倍频程分数内的实际电平，但是当使用粉红噪声运行RTA用于调整扬声器位置或均衡器设置时，RTA分辨率变化导致的曲线电平的变化可能会很尴尬。**调整RTA电平(Adjust RTA Levels)**选项，可对RTA电平进行偏置，以补偿分辨率变化时的带宽变化，以及给定扫频电平下的扫频测量和粉红周期噪声RTA测量之间的差异，使得测量结果具有同样的电平，便于RTA图和扫频图之间的直接比较。虽然这种方式会导致其显示的电平不是每个分数倍频程的真正声压级，但这样更方便使用。**注意：**此选项应仅与宽频带测试信号一起使用，如粉红噪声或粉红周期噪声。

使用64位FFT(Use 64-bit FFT)

如果选择此选项，RTA将使用64位FFT来处理输入数据，而不是32位。这在分析纯数字24位数据路径以查看低于-160 dBFS的表现时非常有用。当数据路径上的任何点具有模拟连接的信号时，或者当处理16位数据时，该处理没有可见的效果，在这些情况下，噪声和量化效果远远高过32位处理的数值极限。下面的示例图中，显示了64位FFT在分析来自S/PDIF环路连接上的无抖动(undithered)和抖动(dithered)24位数据时产生的差异，测量激励信号为REW信号发生器生成的1 kHz正弦波，电平为-20 dBFS。请注意，在抖动24bit数据中，二次谐波有的-173dBFS的峰，看起来是S/PDIF环路连接 (通过Windows 10) 内数据处理的假象。图中纵轴刻度间隔为20 dB，底部刻度为-220 dBFS。





失真测量(Distortion measurements)

当失真面板(Distortion Panel)选择按钮被按下(键盘快捷键Alt + D)，分析仪会计算并显示输入信号的谐波失真或互调失真数值，包括总谐波失真(THD)、噪声N(噪声和非谐波失真)，总谐波失真加噪声(THD + N)，高次谐波失真(HHD，从10次到最多50次谐波的高次谐波失真)以及2次至9次谐波的相对电平。

谐波失真(Harmonic distortion)

谐波失真结果仅在被测系统由单频率的正弦波驱动时有效。如果REW信号发生器正在播放正弦信号，则将发生器频率用作输入的基波频率，否则会使用最高峰来确定基频。基波频率及其电平会被显示。

当计算基波和谐波的功率时，在适用于RTA窗选择的标称频率的相关跨度内的FFT径(FFT bins)中的能量被求和，然后根据窗的等效噪声带宽进行校正。为了获得准确的结果，窗函数应该有较低的旁瓣。按照旁瓣电平降低的顺序，较好的选项有：Dolph-Chebyshev 150(旁瓣低于150 dB)，Blackman-Harris 7(旁瓣低于180 dB)，Dolph-Chebyshev 200(旁瓣低于200 dB)和Cosine sum 9-235(旁瓣低于235 dB)。不推荐汉宁(Hann)、布莱克曼-哈里斯4(Blackman-Harris 4)和平顶(Flat-Top)。如果使用REW信号发生器作为激励信号源，勾选锁定频率至RTA FFT选项，可使用矩形窗(Rectangular)。

在信号发生器中，应该按照系统正在使用的位宽(bit width)启用抖动(dither)，在REW主窗口的左下角可查看正在使用的位宽。在Windows上使用Java驱动程序，仅支持16位，使用ASIO驱动程序可支持24位。在macOS上支持24位，请确保在音频Midi设置中将设备配置为以24位运行。

总谐波失真(THD)数值是基于最高达50次谐波或其显示的谐波数量，根据这些谐波功率求和结果得到其相对于基波功率的相对大小。一项独立的高次谐波失真数值(HHD)是基于10次谐波至最高50次谐波的功率求和计算出来的。总谐波失真(THD)数值包含了高次谐波失真(HHD)的贡献。单个谐波数值也是由它们相对于基波功率的功率计算出来的。总谐波失真加噪声(THD + N)数值，是由输入功率减去基波功率与总输入功率之比计算出来的(请注意，基于此定义，THD+N可能比THD数值更小)。注意总谐波失真加噪声(THD + N)的倒数是信纳比(SINAD)。噪声(N)数值是由THD + N减去THD与总输入功率之比得到的。

失真计算中使用的数据上限是奈奎斯特频率的95%(即采样速率一半的95%)或由失真低通频率设定(滤波器启用时)。数据下限是第一个FFT径(排除直流)，或由失真高通频率设定(滤波器启用时)。

下面的示例显示了1 kHz正弦波输入时的数据。谐波的位置显示在频谱或RTA图上。失真高通和失真低通分别设置为20Hz和20kHz，因此结果基于从20 Hz到20 kHz的数据。

999.9 Hz, -0.9 dBFS	
Span: 20 .. 20,000 Hz	
N+D: -81.9 dBFS A	THD: 0.0069 %
N: 0.0050 %	THD+N: 0.0085 %
HH 10 .. 20	HHD: 0.00013 %
2nd: 0.0060 %	3rd: 0.0033 %
4th: 0.00027 %	5th: 0.00050 %
6th: 0.000015 %	7th: 0.00046 %
8th: 0.000041 %	9th: 0.000020 %

在THD数值旁边，显示了A-计权噪声加失真(N + D)数值，单位为当前Y轴单位。该数值结合最大输入电平(失真优于-40 dB)数值，可得到动态范围。依据AES17-2015，要得到有意义的噪声加失真(N + D)结果，系统应以低于最大输入电平60 dB的997Hz正弦波驱动。

互调失真(Intermodulation distortion)

互调失真结果仅在使用REW双音测试信号激励被测系统系统时有效。信号可以从发生器实时生成，或者保存为文件中并在被测系统上回放。如果从文件播放测试信号，REW发生器仍需选择为相同的信号(双

音)，以便软件知道应该计算什么。

发生器预置的双音信号包括SMPTE、DIN、CCIF和AES17-2015互调测量信号，并提供定制(Custom)选项，由用户设定一对振幅比为1:1或4:1的频率。在视图偏好中勾选了**满刻度正弦RMS为0 dBFS(Full scale sine rms is 0 dBFS)**选项时，1:1的信号比将在电平为-3.0 dBFS开始削波，4:1的信号比将在-1.8 dBFS时削波。

在信号发生器中，应该按照系统正在使用的位宽(bit width)启用抖动(dither)，在REW主窗口的左下角可查看正在使用的位宽。在Windows上使用Java驱动程序，仅支持16位，使用ASIO驱动程序可支持24位。在macOS上支持24位，请确保在音频Midi设置中将设备配置为以24位运行。

了获得准确的结果，RTA窗函数应该有较低的旁瓣。按照旁瓣电平降低的顺序，较好的选项有：Dolph-Chebyshev 150（旁瓣低于150 dB），Blackman-Harris 7（旁瓣低于180 dB），Dolph-Chebyshev 200（旁瓣低于200 dB）和Cosine sum 9-235（旁瓣低于235 dB）。不推荐汉宁(Hann)、布莱克曼-哈里斯4(Blackman-Harris 4)和平顶(Flat-Top)。

IMD _{AES} : 0.0099%		TD+N: 0.010%	
ref: f1		ref: f1+f2	
f1: 18,000Hz		f2: 20,000Hz	
DFD2: 0.0034%		DFD3: 0.0051%	
d2L: 0.0034%		d2H:	
d3L: 0.0026%		d3H: 0.0026%	
d4L: 0.00030%		d4H:	
d5L: 0.00012%		d5H:	

CCIF数值是由 $f_2 - f_1$ 频率的电平计算得到的，也称为二阶差频失真或DFD2。面板中显示了基于 $2 * f_1 - f_2$ (18 kHz) 和 $2 * f_2 - f_1$ (21 kHz) 电平的三阶差频失真数值DFD3。DFD数值的参考电平是 F_1 和 f_2 的电平之和。还显示了IMD_{pwr}值，它是IMD分量的RMS值与 f_1 、 f_2 加IMD分量的RMS之和的比值。

使用TDFD信号测量时，IMDTDFD数值由2阶和3阶分量的RMS之和计算得到，其百分比的参考电平是 f_1 和 f_2 电平之和。对于TDFD Phono和TDFD akl，计算中使用了频率d2L ($f_2 - f_1$) 和d3L ($2 * f_1 - f_2$)，对于TDFD Bass，使用了频率d2H ($f_2 + f_1$) 和d3H ($2 * f_2 - f_1$)。

使用AES17 DFD信号时，IMDAES数值基于 $f_2 - f_1$ (2 kHz)、 $2 * f_1 - f_2$ (16 kHz) 和 $2 * f_2 - f_1$ (22 kHz)的电平计算得到，IMDAES百分比的参考电平是 f_1 (18 kHz)的电平。根据AES17-2015规范，在所有计算中，以被测分量频率为中心的500Hz带宽上测量电平。失真参数还会显示DFD2和DFD3。

使用AES17 MD测量信号时，IMDAES数值是由二阶分量(d2)的RMS总和计算得到，百分比数值的参考电平是 f_2 的电平。REW显示整体IMD数值以及整合的二阶分量值(MD2 = d2L + d2H)和三阶分量值(MD3 = d3L + d3H)。

对于AES17 MD之外的其它信号，当其频率比 $f_2/f_1 > 7$ 时（包括SMPTE和DIN），IMDDIN数值是根由二阶(d2) 和三阶(d3)分量的RMS总和计算的，百分比的参考电平是 f_2 的电平。REW显示整体IMD数值以及整合的二阶分量值(MD2 = d2L + d2H)和三阶分量值(MD3 = d3L + d3H)。

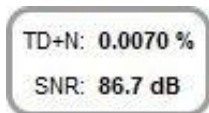
在所有情况下，REW还显示总失真+噪声(TD+N)百分比。该数值是噪声+失真功率与多音信号功率之比的平方根。

分量	频率	分量	频率
D2L	F2-f1	D2L	F2-f1
D2H	F2 + f1	D2H	F2 + f1
D3L	2 * f1 - f2	D3L	F2-2 * f1
D3H	2 * f2 - f1	D3H	F2 + 2 * f1
D3L	3 * f1 - 2 * f2	D4L	F2-3 * f1
D3H	3 * f2 - 2 * f1	D4H	F2 + 3 * f1
D3L	4 * f1 - 3 * f2	D5L	F2-4 * f1
D3H	4 * f2 - 3 * f1	D5H	F2 + 4 * f1

多音总失真 (Multitone Total Distortion)

当使用REW多音测试信号激励被测系统时，RTA显示总失真+噪声(TD + N)的数值。该数值是噪声和失真分量的功率与音调功率之比的平方根。信号发生器和信号捕获必须通过具有同步采样时钟的相同设备以相同的采样速率运行，以获得正确的结果。对于这个计算的RTA窗类型必须设置为矩形窗，如果窗类型没有选定，软件会选择矩形窗。

如果FFT是信号长度的两倍或更多倍，软件会显示信噪比数值，此时，音调信号将只占用偶数径，而奇数径中的任何内容将是噪音。噪声电平数值通过对奇数FFT径RMS值求和并乘以 $\sqrt{2}$ 获得，信噪比(SNR)是总RMS电平与未加权噪声电平的比率。

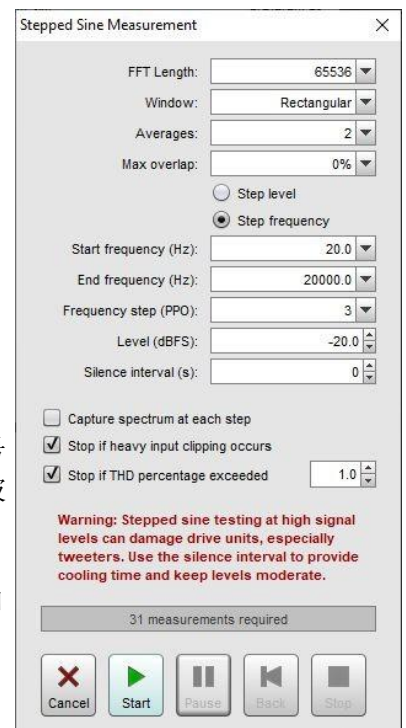


步进正弦失真(Stepped sine distortion)

当步进正弦波测量(Stepped sine distortion)按钮被按下时，会出现一个对话框，以配置和运行步进式正弦波失真测量，可选择按电平或按频率步进。

REW的信号发生器用于产生测量频率。**注意**，软件将采用当前应用的信号发生器设置，抖动选项开启时则加入抖动(Dither)，默认情况下该选项是被选中的，这是推荐设置。频率可以在选定的范围内以每倍频程1到96点的间隔步进，电平的最小步进可低至0.1 dBFS。为了避免扇形损失效应(scalloping loss effects)，测试频率使用最接近的FFT径频率，确保基波和所有谐波的峰值都被捕捉在图像中。

随着每次步进，所有失真数据都被捕获，当所有点都被捕获时，将生成新的测量值。当测量进行时，基波(棕色)、二次谐波(红色)、三次谐波



(橙色)和总谐波失真电平会显示在RTA图上。如果**停止(Stop)**按钮被按下,将根据从测量开始到按下停止键时所收集的数据生成测量。步进式正弦波测量通常需要一段时间, **暂停(Pause)**按钮可暂停测量,关闭信号发生器。再次按下则回复测量。**后退(Back)**按钮会移除测量的最后一个点并重新测量它。**后退**可以在测量运行或暂停时使用。点击**取消(Cancel)**会放弃测量。

当按频率步进,且**捕获每次步进频谱(Capture spectrum at each step)**被勾选时,将会为每一次步进测量生成一份**96点**对数间隔每倍频程(**96PPO**)的频谱数据副本。该频谱数据副本可以在瀑布图或光谱图中观察,或导出为一个文本文件。请注意,导出的频谱数据不应用于计算失真电平,因为它没有足够的频率分辨率来准确计算每个谐波中的能量。

勾选**在输入严重削波时停止测量(Stop measurement if heavy input clipping occurs)**,如果输入数据块中有超过**30%**的样本削波,则测量将停止。这对应于比削波阈值高出约**2 dB**的输入电平。

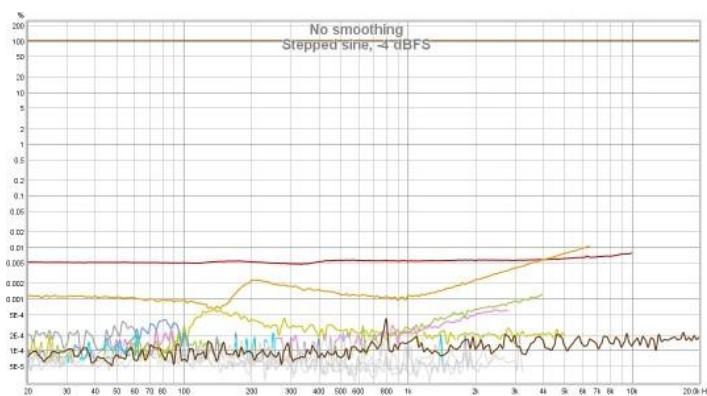
勾选**当总谐波失真百分比超出限制时停止测量(Stop if THD percentage exceeded)**选项,会在总谐波(THD)失真超出设定的限值时,停止测量。要应用此选项,THD必须首先降到限值以下,以允许步进式电平测量从低电平开始,此时THD数值可能很高,仅仅是由信号电平非常低时的噪声引起的。

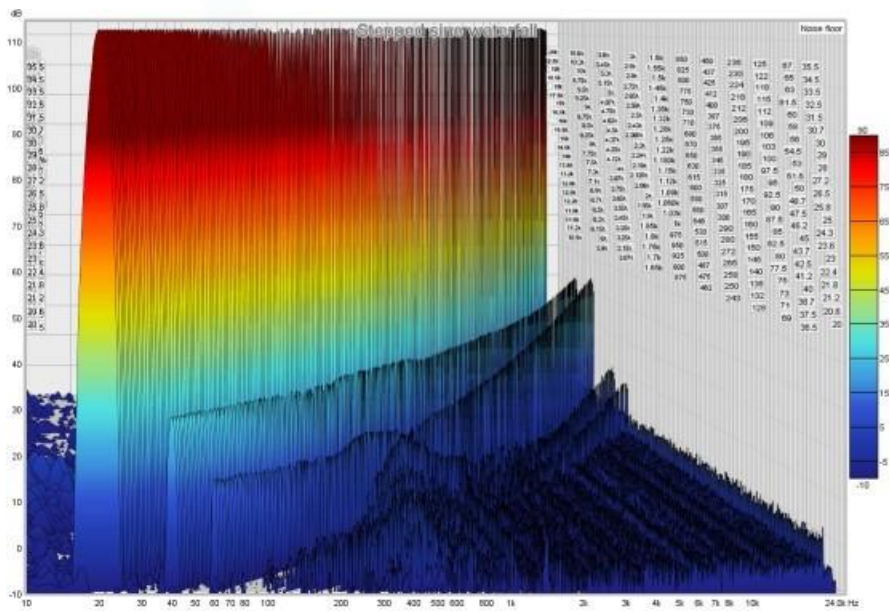
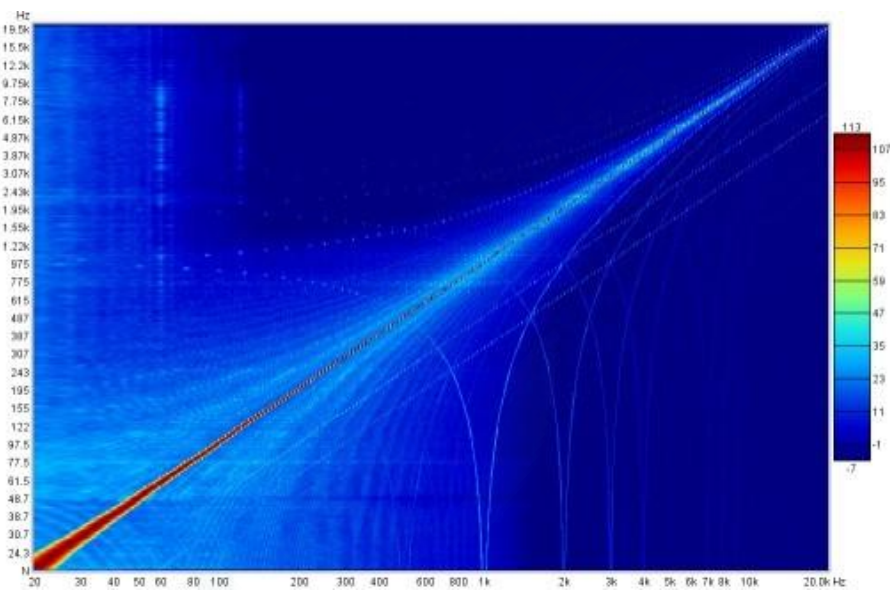
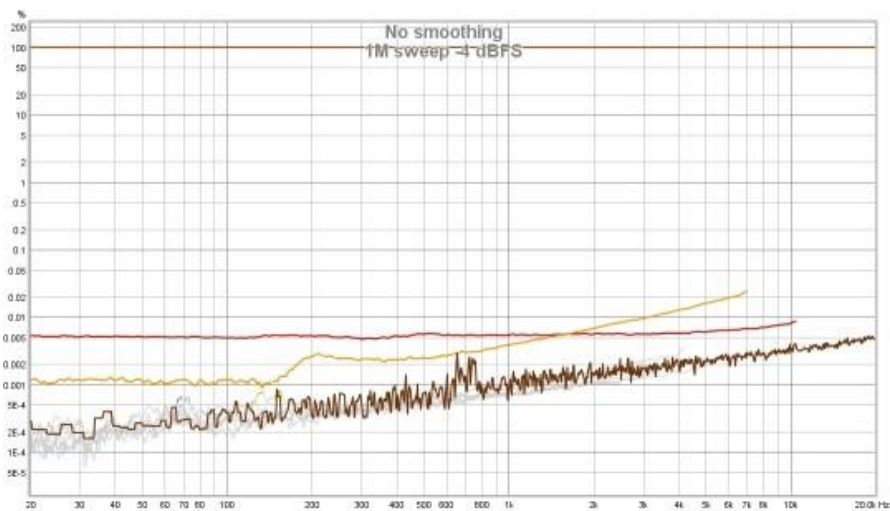
当按频率步进时,最低起始频率取决于FFT长度和采样速率。例如,对于**8192点FFT**和**44.1 kHz**采样速率,最低起始频率约为**60Hz**,对于**32768点**的FFT和**44.1kHz**的采样率,最低起始频率约为**15Hz**。RTA窗口的扩展效应将掩盖低于最小值频率下的二次谐波电平,并妨碍失真的有效读数。测量频率将会依据所选FFT长度来决定,将会与FFT径的频率一致,这样可以防止窗扇形损耗(**scalloping loss**)影响基波或谐波的振幅。

在每次测量开始时,会捕获底噪并可选择性地用于屏蔽低于底噪的失真结果,参见[失真图像帮助\(distortion graph help\)](#)。

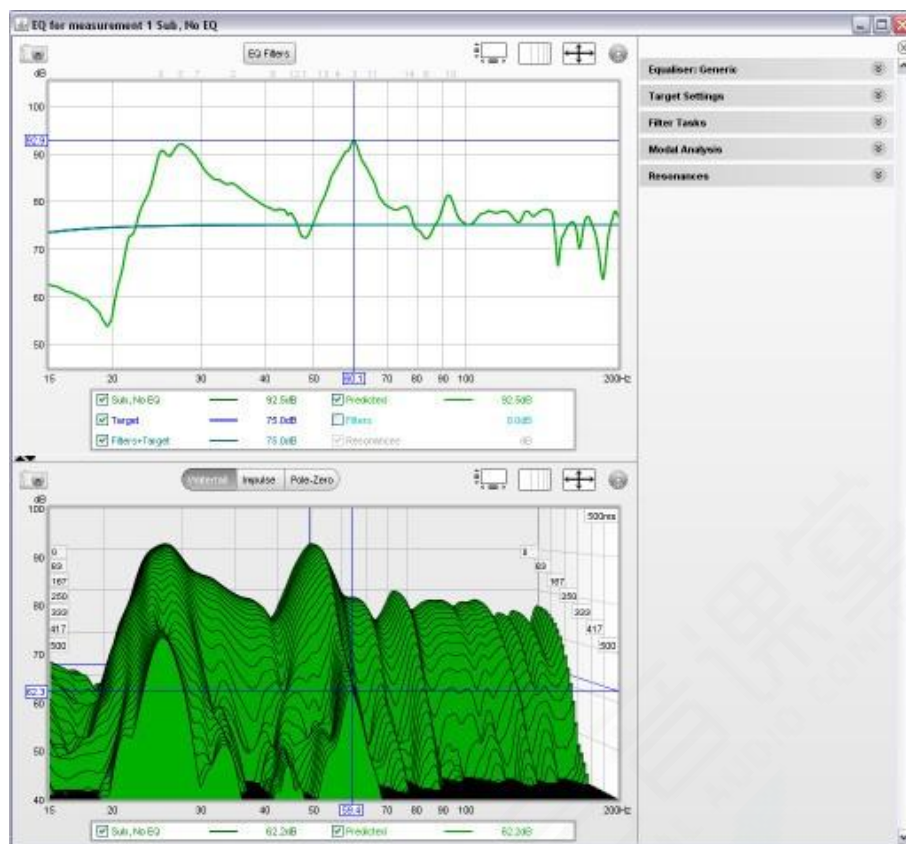
进度条显示完成测量剩余的大致时间。当使用**ASIO**驱动程序时,步进式正弦波测量更快,因为输入和输出缓冲区比使用**Java**驱动程序时小,因此当改变频率时,缓冲区刷新所需的时间更少。可以在失真图上查看失真结果。请注意,与对数扫频失真测量一样,步进式正弦波失真结果**未应用校准文件**,但校准文件会被包含在测量的**SPL**结果中。

虽然比对数扫频慢得多,但步进式正弦波测量能捕获噪声**N**(噪声和非谐波失真)和总谐波失真+噪声(**THD + N**,两者都不适用于对数扫频),并且可以比扫频更准确地测量低失真电平,特别是在高频和高次谐波。这使得它非常适合测量电子元件的失真。下图显示了声卡环路测量对比,分别采用输出电平为**-12 dBFS**的步进式正弦波(**64k FFT, 24 ppo**),和重复**8次1M**对数扫频。注意,用扫频测量时谐波电平随频率的升高。这反映的是设备底噪的上升(可在RTA模式下查看其RTA图像来验证),扫频测量不能像步进式正弦波测量那样很好地将失真与噪声区分开来。





均衡器窗口(EQ Window)



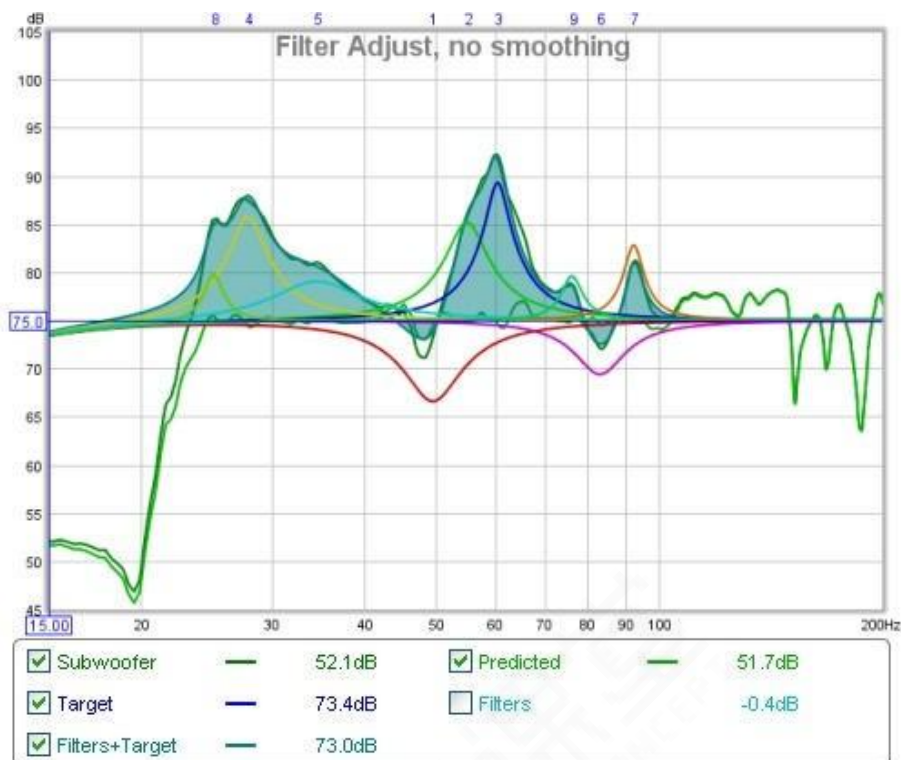
EQ窗口用于确定要应用于响应的EQ滤波器，并查看这些滤波器对频域和时域行为的影响。它总是显示当前在主REW窗口中选择的响应，可以在REW主窗口或通过按ALT + 测量编号（比如，Alt + 3将选择第三个测量值）或使用ALT + 上箭头(UP)和ALT + 下箭头(DOWN)来切换测量。


窗口有3个主要区域：显示频率响应的滤波器调整的图像区，显示脉冲响应和瀑布图的第二个图像区，以及右侧的面板，其中包含与EQ功能和模态分析相关的各种设置。可以使用滚动条顶部的按钮隐藏/显示右侧面板。



滤波器调整(Filter Adjust)

滤波器调整图显示了当前选定测量的实测响应、预测响应（均衡后）、目标响应、滤波器响应，以及滤波器响应+目标响应。该图与所有具有频率轴的图一样，可选择性显示定义的任何滤波器的位置，并在与其中心频率对应位置的上边沿显示滤波器的编号。



当前选定的测量的频率响应用，以其保存的测量名称标记。预测响应(Predicted)显示应用与该测量的滤波器的预测效果。目标曲线(Target)显示测量的目标频率响应，包括任何所需的房间曲线(House Curve)的响应形状。如果已载入房间曲线，则符号  将显示在曲线读数旁边。目标响应(Target)包含了为适用于该测量所选的扬声器类型的低音管理曲线，在目标设置(Target Settings)中对此进行设置。滤波器(Filters)曲线显示设置的滤波器的组合频率响应，也可设定为同时显示每个滤波器单独的响应（参见下文的滤波器调整控制）。滤波器+目标(Filters+Target)曲线显示叠加在目标响应上的滤波器的频率响应。将滤波器响应设定为反向绘制，调整滤波器使该曲线与测量响应匹配，得到的结果就是预测响应与目标响应匹配。

滤波器调整控制(Filter Adjust Controls)

滤波器调整图像的控制面板具有以下控制:



平滑选择器的操作方式与其他图表上的操作方式相同。勾选**反向滤波器响应(Invert filter responses)**，滤波器的响应将被绘制为反转。这在用滤波器校正响应中的峰值是非常有用，将滤波器的形状调整至与峰值形状匹配，得到的最终响应将是平坦的。**填充滤波器响应(Fill filter responses)**将填充滤波器整体响应。**显示每个滤波器(Show each filter)**将以不同的颜色分别绘制各个滤波器响应形状。**填充每个滤波器**

(Fill each filter)填充每个滤波器的响应。**显示滤波器编号(Show filter numbers)**控制是否在图像顶部显示每个滤波器的编号，**显示模态频率(Show modal frequencies)**控制在“模态分析(Modal Analysis)”面板中输入的房间尺寸相对应的模式位置是否显示在图像的底部。

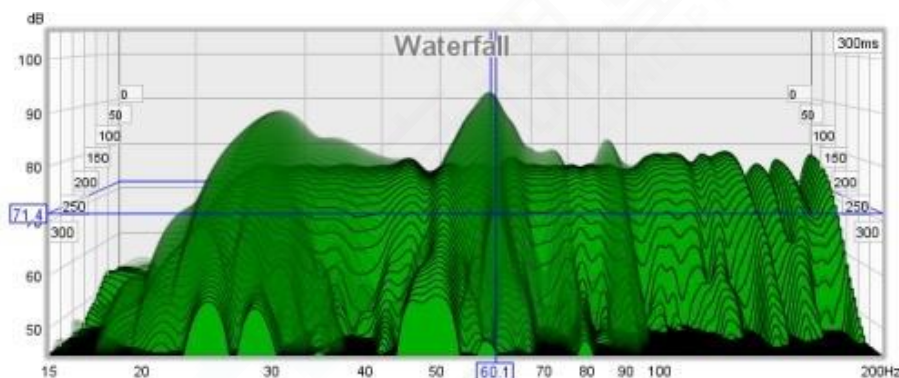
EQ滤波器面板(EQ Filters Panel)

通过单击EQ窗口顶部的按钮来打开EQ滤波器面板。

EQ Filters

瀑布图(Waterfall)

瀑布图可显示选定测量的瀑布图，也可显示将当前滤波器应用于测量的预测结果的瀑布图。可以将预测瀑布图设置为在调整滤波器时自动更新（参阅后文的瀑布图控制）。



瀑布图控制(Waterfall Controls)

Slice	<input type="range" value="51"/>	51	Total slices:	<input type="text" value="51"/>
<input checked="" type="checkbox"/> X	<input type="range" value="16"/>	16	Time Range (ms):	<input type="text" value="300"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Y	<input type="range" value="50"/>	50	Window (ms):	<input type="text" value="500"/> 2.0 Hz
<input checked="" type="checkbox"/> Z	<input type="range" value="150"/>	150	Rise Time (ms):	<input type="text" value="100"/>
Main transparent			Smooth 1/48	
Transparency (%)		<input type="text" value="75"/>	<input type="checkbox"/> Use CSD Mode	
<input checked="" type="checkbox"/> Predicted Waterfall Live Update			<input type="button" value="Apply Default Settings"/>	

切片(Slice)滑块选择哪个切片位于绘图的最前面，当滑块值减少时，绘图一次向前移动一个切片。曲线值显示最前面切片의 SPL数值，该切片的相应时间显示在图表的右上角。

该**X**、**Y**和**Z**滑块改变绘图的视角，分别控制向左/向右、向上/向下和向前/向后移动。滑块旁边的复选框用于控制在轴中是否透视。禁用**X**轴透视可以更容易地看到峰值或凹谷的频率。禁用**Z**轴将关闭所有透视效果。

预测响应瀑布图可以叠加显示在当前测量瀑布图上。叠加显示按切片逐片生成，先绘制当前测量的瀑布图的一个切片，然后绘制叠加显示的瀑布图的一个切片，然后是当前测量的下一个切片，依此类推。

透明度(Transparency)可以应用于主图、预测叠加图或两者同时。当透明度设置为0% 时，两个图像都显示为实心。透明度模式可以在**主图(Main)**、**叠加图(Overlay)**以及**两者同时(Both)**之间切换，以便于在图像之间进行比较。

如果勾选了**预测瀑布图实时更新(Predicted Waterfall Live Update)**，则每当滤波器的有调整时，瀑布图会随之重新生成。更新过程可能需要几秒钟时间，具体取决于计算机速度和测量的频率跨度。

总切片数(Total Slices)用于确定使用多少个切片来生成瀑布图。较少的切片意味着更快的处理，但不太容易看到响应如何随着时间的推移而变化。

时间范围(Time Range)控制确定脉冲响应时间窗从其开始位置移动多远以生成瀑布图。

窗(Window)控制决定用于生成瀑布图的脉冲响应加窗部分的宽度，此控制仅设置右侧窗的宽度。相应的频率分辨率显示在窗设置的右侧。较长的窗口设置提供更好的频率分辨率。

上升时间(Rise Time)设置左侧时间窗的宽度。较短的设置提供了更好的时间分辨率，但使频率变化不那么容易看到。默认设置为**100 ms**，适用于分析房间共振。当用全频段激励信号测量检查驱动单元或箱体谐振时，可使用更短的上升时间，比如**1.0毫秒**或更低，时间跨度和时间窗设置约为**10毫秒**。**CSD**模式对于这种测量可能更有用，脉冲响应的后面部分可能有噪声，这些噪声会模糊后面的切片的表现。

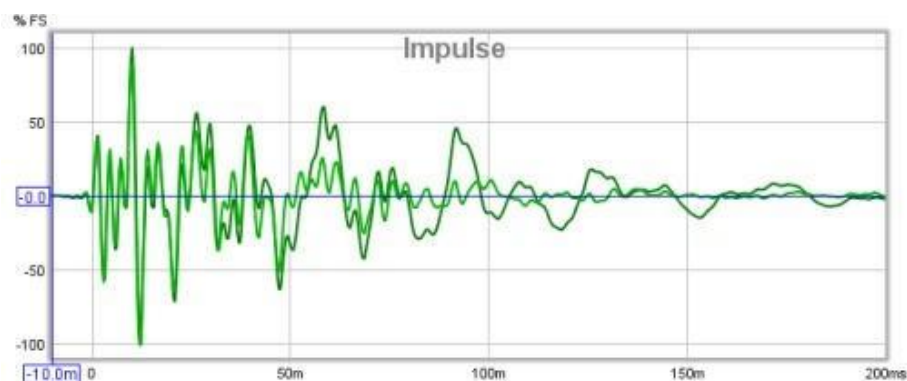
平滑(Smooth)决定用于瀑布图切片的平滑带宽，推荐设置为**1/48**倍频程（最小值），最高值为**1/3**倍频程。

使用CSD模式(Use CSD mode)，如果瀑布图的后期切片在测量中被噪声污染，则应勾选改选项。它通常用于检查驱动单元或箱体共振。**CSD**模式将窗口的右端固定在一个固定点，仅移动左侧。然而，这就意味着随着切片的进展，频率分辨率会降低，可生成的频率响应下限会上升，因为每个窗口的总宽度比前一个切片略短。

这些控制设置会被REW记住，并在下次运行程序时会自动应用这些设置。点击**应用默认设置(Apply Default Settings)**，会将设置还原到默认值。

脉冲(Impulse)

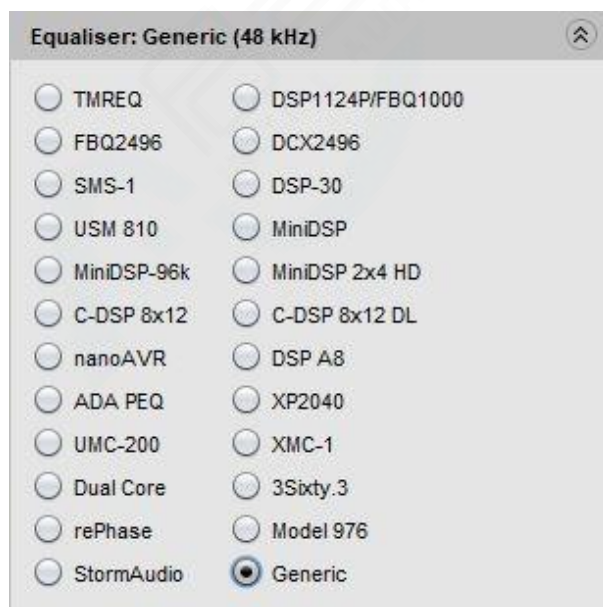
脉冲图显示了测量脉冲响应和将当前滤波器应用于测量的预测结果。



均衡器设置(EQ Settings)

图像区右侧的区域包含一组可折叠面板，其中包含一些影响EQ功能的设置。

均衡器面板(Equaliser Panel)



均衡器面板用于选择将应用于当前测量的均衡器类型。更改均衡器类型将更新滤波器面板，并将相应设置应用于选定的均衡器。在可能的情况下，将保留已经定义的滤波器，但必要时将调整参数值，以符合所选均衡器的范围和分辨率。当前选择的均衡器显示在面板标题和EQ滤波器面板中。

目标设置(Target Settings)

目标设置面板用于告诉REW您希望响应看起来像什么，因此它知道在应用EQ时要实现的目标。首先选择**目标类型(Target type)**用于设定所测量的扬声器的种类。如果选择全频音箱（**Fullrange speaker**，一般是用作主音箱“大”音箱），则目标是平直的，在低频有可配置的低频滚降频率（**低频截止频率**）和斜率（**低切斜率**）。将低频频率(LF Cutoff)设置为0会使目标响应保持平坦直至0Hz。

如果选择低音受限音箱（**Bass limited speaker**，一般是用作辅助音箱的“小”音箱），目标设置包括低音管理滤波器的效果，**低音管理斜率(Bass management slope)**设置低音管理滤波器的陡峭程度，**低音管理截止(Bass management cutoff)**设置的音箱的低频截止频率，在家庭影院系统中通常为80Hz。

超低音箱(Subwoofer)目标与之类似，除了高频有衰减，并且有一个可配置的低频滚落频率和斜率。对于全频音箱，低频截止频率(LF Cutoff)可能为40Hz，对于超低频音箱则可能为20-30Hz。您通常可以从测量结果中看到它在哪个频率开始滚降，并调整目标的对应设置，直到它们匹配。

超低音箱的低音管理斜率通常为24dB/倍频程，低音受限音箱的低音管理斜率为12dB/倍频程，然而，这里对音箱12dB/倍频程斜率是因为音箱本身预计有大约12dB/倍频程的声音滚降，因此，滤波器和音箱本身滚降的综合结果是约24dB/倍频程。在这些情况下，24dB设置可能与测量的响应更好地匹配。

还有一个**扬声器驱动器(Speaker driver)**目标类型，用于单个驱动单元的测量。可以配置高达8阶的低通和高通分频滤波器以形成目标曲线。

选中**添加房间曲线(Add room curve)**选项，目标曲线将包含在监听位置的典型房间效应，如果需要，也可以做低频的提升。**高频衰减(HF Fall)**用于反映高频部分向下倾斜趋势，这是大多数听音位置音箱测量正常情况，是房间的吸收效应和音箱本身响应的综合结果。**低频提升(LF Rise)**可将能量上升倾斜趋势应用到低频，使得目标曲线的低频电平更高，以满足主观的听音偏好。目标曲线将按照选定的斜率从低频提升起始频率(LF Rise start)开始上升，直至低频提升截止频率(LF Rise end)结束。类似地，目标曲线将按选定的斜率从高频衰减起始频率(HF Fall Start)开始下降。通过**添加房间曲线(Add room curve)**复选框，可以打开和关闭房间曲线效果。该功能对于**扬声器驱动器(Speaker driver)**目标类型不可用。

最后，**目标电平(Target Level)**控制可向上或向下移动整个目标响应，直到它相对于您的测量值位于正确的位置。当目标设置得当后，高出目标曲线的峰可能就是你要加以处理的，目标曲线通常会或多或少地穿过实测曲线之间。**根据响应计算目标电平(Calculate target level from response)**会自动调整目标

响应的电平，以便在适合目标类型的频率范围内与测量值实现良好的匹配。这样会更方便，但也不要放弃手动调整目标电平的方法。

用于新测量的默认目标类型、低音管理斜率、截止频率、低频提升和高频衰减，可在[均衡器首选项](#)中设定。

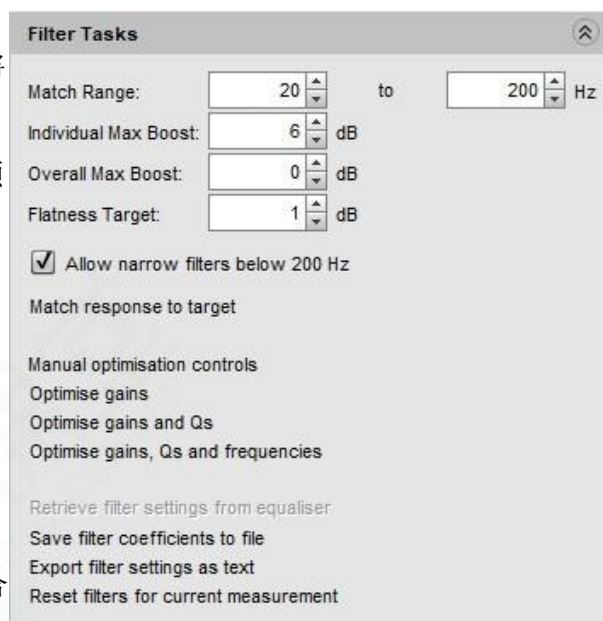
滤波器任务(Filter Tasks)

滤波器任务(Filter Tasks)面板用于控制REW的自动滤波器调整功能。REW可以自动分配和调整滤波器设置，以将预测的响应与目标响应相匹配。

匹配范围(Match Range)定义REW尝试匹配目标响应的频率范围，REW将在该频率范围内分配滤波器。REW可以在整个频段的任何位置应用滤波器，但通常最好将滤波器限制在低频（小于200Hz左右），除非你要补偿扬声器的一些总体特性（比如，可能是音箱中频段有凹谷，或者高频太多），这种用法是将EQ作为音色控制。

单滤波器最大提升(Individual Max Boost)设置任何单个滤波器的最大提升幅度。如果将其设置为0，则REW不会做任何提升滤波器。

总体最大提升(Overall Max Boost)设置所有滤波器的综合效果的最大提升幅度。如果将其设置为0，则滤波器整体上不会提升信号，但单个滤波器可能仍然有提升。如果滤波器整体上有提升效应，则所需的动态余量(headroom)将显示在EQ滤波器(EQ Filters)面板中。



除了受增益幅度限制之外，提升滤波器还受到Q值限制，以避免无意操作产生人工共振。升压滤波器的Q值不允许超过会导致滤波器60dB衰减时间超过约500 ms的值（实际Q限制值取决于滤波器的增益）。

平直目标(Flatness Target)控制REW尝试将预测响应与目标响应匹配的紧密程度。平直目标数值越低，需要的滤波器越多。

允许200Hz以下的窄滤波器(Allow narrow filters below 200 Hz)决定目标匹配是否使用足够窄的滤波器来对抗低频时的模态共振。当给一个房间响应做EQ时，应该勾选此选项，但最好不要将其用于给音响设备做EQ（例如给耳机做EQ时）。如果未勾选此选项，则滤波器的最大Q值为5.0。

点击**将响应与目标匹配(Match Response to Target)**按钮，将启动REW的自动滤波器分配和调整过程。REW分配滤波器来匹配预测的响应到目标响应，从定义的匹配范围内实测响应与目标响应相差最近的频点开始。分配滤波器后，REW调整滤波器的设置以获得最接近的匹配。在运行目标匹配之前，最好对响应曲线应用“可变”平滑(Variable smoothing)。

为了获得最佳匹配效果，首先要确保正确选择了目标响应的形状，使其符合当前所优化的扬声器的类型，并且要设置目标电平，以避免REW使用滤波器来纠正电平差异——均衡器不是音量控制!

请注意，默认情况下，REW不会将滤波器分配在测量曲线的低频首次低过目标曲线的频率之下，或者在高频首次低过目标曲线之上，以防止对音箱自然的频率滚降做提升。如果您希望提升低端或高端响应，可以通过手动设置滤波器来实现，但要注意不应超出低音扬声器的冲程限制或安全余量，同时不要超出

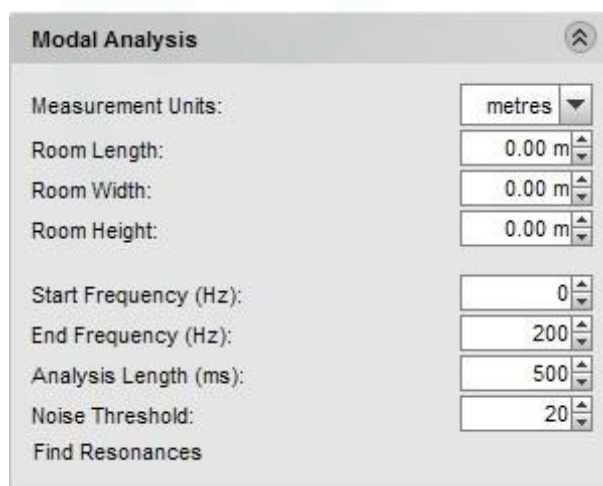
高音扬声器的功率处理限制。

滤波器任务面板还包括一组用于优化当前滤波器设置的控制。请注意，只有位于**匹配范围(MatchRange)**内的滤波器会被调整。**优化增益(Optimise gains)**将调整所有自动(Auto)的PK滤波器和模态(Modal)滤波器的增益，以最佳匹配目标响应。**优化增益和Q值(Optimise gains and Qs)**将调整所有自动(Auto)的PK滤波器增益和Q值，以及模态(Modal)滤波器的增益。**优化增益、Q值和频率(Optimise gains, Qs and frequencies)**将调整所有自动(Auto)的PK滤波器增益和Q值和中心频率，以及模态(Modal)滤波器的增益——它相当于**将响应与目标匹配**，只是去除了滤波器的自动分配。中心频率将被调整到其当前设置的10%以内，并保持在匹配范围内。

如果REW能从均衡器中读取，**从均衡器检索滤波器设置(Retrieve filter settings from equaliser)**按钮将启用，选择它将直接从均衡器或从均衡器导出的文件中读取设置，具体取决于均衡器类型。**将滤波器设置发送到均衡器(Send filter settings to equaliser)**，可将当前滤波器设置传送到支持该功能的均衡器。**将滤波器系数保存到文件(Save filter coefficients to file)**，按选定的采样速率将当前滤波器的双二阶系数(biquad coefficients)保存为均衡器可以导入的文件格式。**将滤波器设置导出为文本(Export filter settings as text)**，将生成包含滤波器类型和设置的文本文件。**为当前测量重置滤波器(Reset filters for current measurement)**，将清除所有滤波器。

模态分析(Modal Analysis)

REW可以分析测量响应的低频部分，分析模态共振。该分析过程由**模态分析面板**中的设置来控制。为了确定模态特征，需要对脉冲响应截取片段做参数分析，以辨别其包含的频率、幅度和共振特性的衰减速率。这种分析不受FFT的频率分辨率的限制，能够确定每个模式参数的精确值。然而，结果的准确性取决于测量的信噪比。测量信噪比越好，结果越好。为了获得模态分析的最高测量质量，将扫频结束频率设置为与最高分析频率相匹配，使用最长扫频并调整电平，使捕获信号的峰值在-6到-12dB左右。



模态分析面板包括房间尺寸的选择。这些尺寸用于计算房间在200Hz以下的理论模态频率，其结果可以绘制在声压级&相位、群延时、频谱衰减、瀑布图和频谱图上。如果其中某一尺寸设置为零，则不会绘制相应的模态频率；如果所有尺寸均为零，则不会绘制模态频率。用于表示各模态频率的颜色与[房间模拟器\(Room Simulator\)](#)中一致。

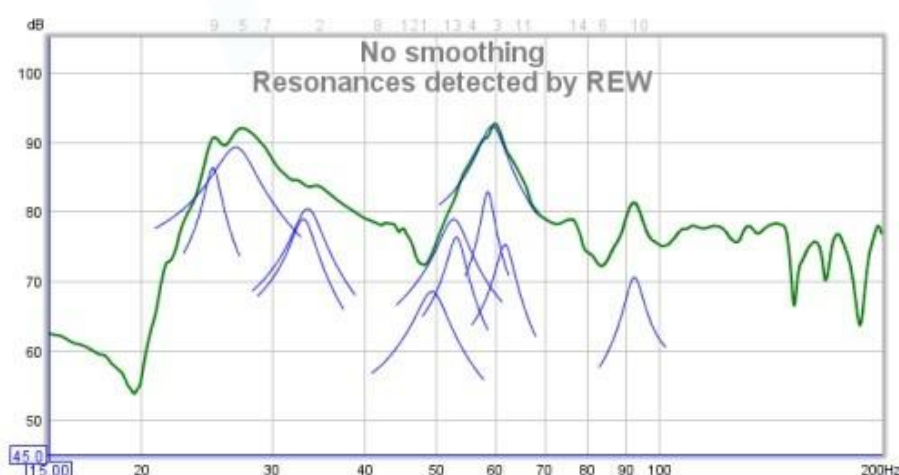
面板中的**起始频率(Start Frequency)**和**截止频率(End Frequency)**可以设定分析共振的频率范围（如果测量的频率范围更小窄，则会受限于测量频率），**分析长度(Analysis Length)**决定被分析的脉冲响应持

续时间、**噪声阈值(Noise threshold)**设定用于过滤掉测量中的噪声带来的寄生共振的阈值。将分析截止频率保持在100 - 200Hz左右可获得最佳结果。分析长度默认情况下为500 ms，测量中噪声较大时可减小分析长度，而测量信噪比较好时（本底噪声低于脉冲峰值60dB以下），则可以增加该长度。

分析长度的微小改变，10-20毫秒左右，可以帮助确定识别的模式共振是否准确。如果在不同分析长度下得到一致的共振频率、振幅和衰减时间，则表明数据可靠。点击**寻找共振(Find Resonances)**，分析过程便开始了，通常需要几秒钟，分析结束后，结果会显示在**共振(Resonances)**面板中。

共振(Resonances)面板中的控制，可以根据T60衰减时间及振幅对分析结果进行筛选。通过点击表格中的列标题，可以按频率、SPL (峰值dB) 或T60衰减时间对列表进行排序。点击表格中的共振将在滤波器调整图上显示其形状，可以通过点击和拖动或使用Ctrl + 点击或Shift + 点击来选择多个共振。**清除选择(Clear Selection)**清除所做的任何选择。

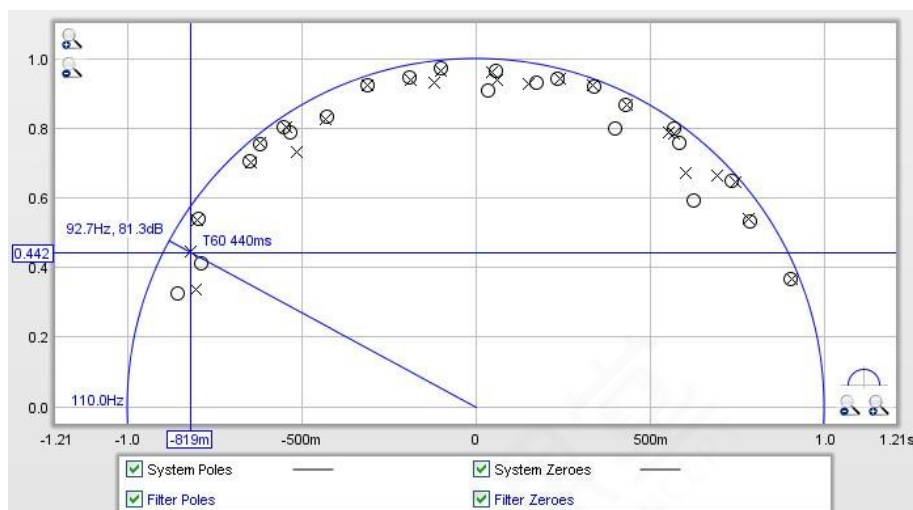
Resonances		
Min T60 (ms):	300	
Max T60 (ms):	3000	
Min SPL (dB):	65	
Clear Selection		
Freq Hz	Peak dB	T60 ms
25.0	80.9	2,497
27.0	87.3	609
30.6	67.3	923
45.6	69.5	528
51.0	79.4	341
60.7	95.7	447
61.4	90.9	549
77.2	70.1	461
92.6	75.2	374
148.1	69.0	373
184.9	70.1	1,649



如果针对某一具体的共振进行EQ处理，可将滤波器类型选定为“模态(Modal)”，并将目标T60值设为REW确定的T60时间。模态滤波器是普通参量均衡滤波器，其Q或带宽随着增益的改变而调整，以确保它们在均衡器分辨率允许的情况下尽可能接近指定的T60值。

零极点图(Pole-Zero Plot)

REW提供了一个零极点图，作为查看模态分析结果的替代方法。对于很多人来说，这可能是一种完全不熟悉的观察方式，但是在分析共振和滤波器时，它确实有一些优点。然而，跳过这一部分内容对你来说也不会有多大损失。



零极点图是复数的图像，沿水平轴为实部，沿垂直轴为虚部。图中有一个半径为一个单位的圆（称为“单位圆”），它与频率响应的频率轴相对应。该图显示的频率上限略高于模态分析的截止频率，图中上端频率跨度(Upper Frequency Span)仅显示在单位圆的左侧，靠近点(-1,0)。当我们绕着单位圆的上半部分移动时，频率从右侧的零增加到左侧图中的频率上限。圆的下半部分对应于负频率，但是对于我们看到的信号，下半部分总是上半部分的镜像，可以忽略。

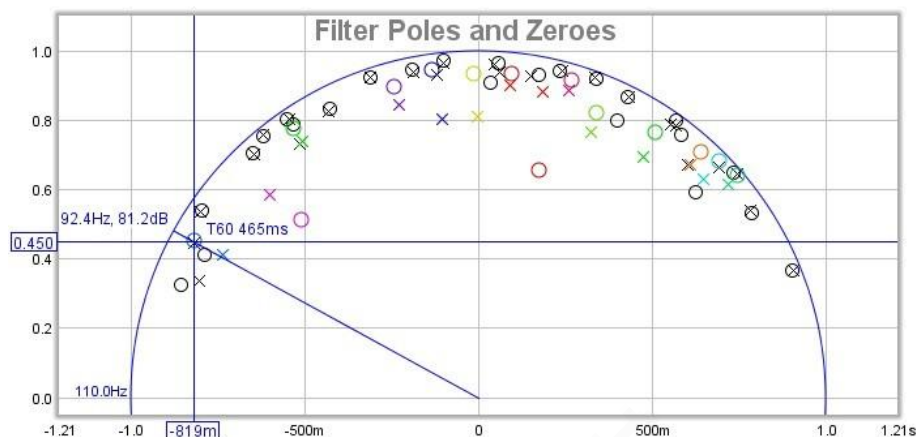
零极点图中，十字表示极，圆圈表示零。极点代表响应变得无限，零点代表响应归零。极点越接近单位圆，它就越向上拉动频率响应。相反，零将响应拉向零。极点和零点位置重叠，则完全相互抵消，极点和零点彼此靠近，则部分抵消彼此的影响。如果绘图中有许多重叠的极/零对，则可以通过提升噪声阈值来减少。极点不应该出现在单位圆之外，否则就意味着系统不稳定。零点位于单位圆之外，则可能意味着响应不是最小相位，但是该分析可能并不是从脉冲的零时开始的，所以此视图并不算判定响应是否是最小相位的最佳方法。判定最小相位的正确的方法是使用过量群延时图(Excess Group Delay)，可在[最小相位](#)章节中找到相关的说明。

每个模态共振都有一个相应的极点（实际上是一对，第二个是轴下方的镜像）。极点的频率可以从(0,0)点通过极点画一条与单位圆相交的线来观察，在上图中，极点频率约为92.7Hz。REW会显示频率值，以及该频率下的声压级（上图中81.3dB）。极点越接近单位圆，其T60衰减时间就越长。REW显示了光标位置对应的T60时间，在上面的例子中是440ms。如果在共振面板中选择了某一共振点，其极点将在图中突出显示。该绘图可以放大以获得更近的视图，单击X轴缩放按钮上方的半圆形按钮，将重置轴范围以显示单位圆的上半部分。

滤波器也有极点和零点，参量EQ滤波器有一对极点和一对零点（上半圆中一个极点和一个零点，另一个在下面）。滤波器的极点和零点的位置随着滤波器设置（频率、Q/带宽和增益）的调整而变化。如果调整滤波器的设置，使其零点直接超过谐振极点，则它完全抵消了该谐振在时域和频域中的影响。查看滤波器零点相对于响应极点的位置，是观察零极点图的有用方法。在“模态”滤波器类型的情况下，REW进行调整，使滤波器的零点与单位圆保持一定距离，并使之与目标T60时间相匹配。

不同滤波器的极点和零点将以不同的颜色绘制，其在零极点图中的颜色对应于滤波器面板和滤波器调整

界面中的绘图颜色。下图显示了一组滤波器的零点和极点，不同的颜色对应于不同的滤波器。衰减型滤波器（负增益）的零点相对于极点，更接近单位圆；提升型滤波器则相反，其极点比零点更接近单位圆。



零极点图控制(Pole-Zero Controls)

显示光标注释(Show cursor annotations)，控制REW是否从原点通过光标位置绘制一条线到单位圆，并标记其频率、声压级和T60值。如果勾选了**显示500ms T60边界(Show 500ms T60 boundary)**或**显示1000ms T60边界(Show 1000ms T60 boundary)**，REW按照对应的T60值绘制圆，在这些圆之外的任何极点的T60值都大于圆上的值。如果勾选了**仅显示共振极点(Show Resonance Poles Only)**零极点图将只显示共振面板中显示的共振极点，否则它将显示分析所找到的所有极点。

- Show cursor annotations
- Show 500ms T60 boundary
- Show 1000ms T60 boundary
- Show Resonance Poles Only

EQ滤波器面板(EQ Filters Panel)

通过单击EQ窗口顶部的“EQ滤波器(EQ Filters)”按钮，可打开滤波器面板。

EQ Filters

该面板显示当前测量的滤波器设置。通过面板顶部的按钮，可对滤波器设置进行排序、加载、保存或删除，并指定排序方向和关键词。面板右侧是滤波器组所需的动态余量，如果滤波器组具有整体增益，则该数字应大于零。在EQ窗口右侧的折叠菜单中，可选择均衡器类型。

Generic	Control	Type	Frequency	Gain	Q	Hz	Target T60	Mode T60	Filter T60
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	24.90	-9.8	11.200	2.2	1,739	563	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	27.30	-10.7	7.200	3.8	1,074	313	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	29.40	-6.3	6.300	4.7	677	328	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	34.60	-6.2	4.100	8.4	372	182	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	41.50	-4.0	4.000	10.4	267	168	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	45.10	-4.8	10.600	4.3	681	392	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	47.90	11.4	3.400	14.1	81	301	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	51.60	-3.6	9.300	5.5	488	322	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	55.60	-10.0	6.700	8.3	471	149	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	60.00	-13.1	8.700	6.9	678	150	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	64.40	-5.1	9.300	6.9	426	237	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	76.10	-5.1	13.300	5.7	515	267	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	83.20	5.2	5.000	16.6	98	178	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	PK	92.30	-8.4	12.500	7.4	483	184	
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							
<input checked="" type="checkbox"/>	Auto	None							

每个滤波器具有：

- 用于选择/取消选择的复选框
- 标识号和彩色线，用于显示单个滤波器的响应
- “控制(Control)”选择，设为自动(Auto)，则REW软件能自动调整该滤波器。设为“手动(Manual)”，则仅允许用户手动调整
- “类型(Type)”选择，对于TMREQ和通用(Generic)均衡器，包含以下选项：
 - ◆ PK，峰值型(参量)滤波器
 - ◆ LP，斜率为12dB/倍频程的低通滤波器 ($Q = 0.7071$)
 - ◆ HP，斜率为12dB/倍频程的高通滤波器 ($Q = 0.7071$)
 - ◆ LS，低频搁架式滤波器 ($S = 0.9$)
 - ◆ HS，高频搁架式滤波器 ($S = 0.9$)
 - ◆ NO，陷波滤波器

◆ Modal, 模态滤波器

对于通用(Generic)均衡器和DCX2496均衡器, 还具不同斜率的搁架式滤波器可选,

- ◆ LS 6dB, 6dB/倍频程低频搁架式滤波器 ($S = 0.5$)
- ◆ HS 6dB, 6dB/倍频程高频搁架式滤波器 ($S = 0.5$)
- ◆ LS 12dB, 12dB/倍频程低频搁架式滤波器 ($S = 1.0$)
- ◆ HS 12dB, 12dB/倍频程高频搁架式滤波器($S = 1.0$)

通用(Generic)均衡器设置还具有

- ◆ LPQ, 可调Q值的12dB/倍频程低通滤波器
- ◆ HPQ, 可调Q值的12dB/倍频程高通滤波器

对于大多数其他均衡器, 可用的滤波器类型仅有峰值型(PK)和模态(Modal), 而峰值型滤波器的标签可能会有所不同。 miniDSP均衡器支持的滤波器类型和通用均衡器一致。

- 中心频率/转角频率、增益、Q值或带宽、目标T60控制, 这些参数将根据所选择的均衡器和滤波器的类型的适用性来显示。在峰值型滤波器的Q值控制旁边, 会以Hz为单位显示滤波器带宽。
- 滤波器右侧的一系列T60标签, 显示滤波器要匹配的房间模式的60dB衰减时间和滤波器本身的60dB衰减时间 (以毫秒为单位), 这是在消除特定的模态共振的衰减后将剩余的衰减。 这些对应于滤波器的零和极点的位置。

DSP1124P有一个额外的显示, 显示的形式是必须在该单元上输入一个1/3倍频程中心频率, 在此基础上做微调, 范围从-9到 + 10。

DSP1124P	Control	Type	Frequency	Gain	BW/60	Hz	Target T60	Mode T60	Filter T60
<input checked="" type="checkbox"/> 1	Auto	PA	25.00	25	-10	4	2.4	1,859	525

模态滤波器也是一种峰值滤波器, 其带宽或Q由REW自动调整以匹配目标T60时间, 它用于精确地对抗T60时间已知的模态共振。 为了匹配特定的T60时间, 滤波器的带宽或Q必须随着其增益或中心频率的变化而改变。 REW根据所选的均衡器类型, 自动调整与目标T60最匹配的带宽或Q值。

Generic	Control	Type	Frequency	Gain	Q	Hz	Target T60	Mode T60	Filter T60
<input checked="" type="checkbox"/> 1	Auto	Modal	24.90	-9.8	11.202	2.2	1,739	1,739	563

房间模拟器(Room Simulator)

房间模拟器可以模拟矩形房间内的多个声源在多个位置的响应，并生成频率响应曲线。其原理是基于波动方程刚性边界解的频域方法，针对有损边界进行了修正。模拟结果与时域中的虚拟源方法(Image Source Method)获得的结果相当 (Allen和Berkley 1978)。可以在房间的平面视图和立面视图中拖拽来更改声源和监听位置。

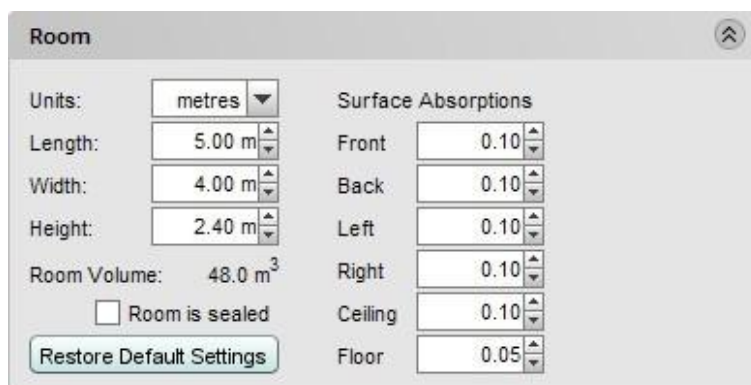
首次打开时，房间模拟器窗口看起来像这样：



左侧面板显示了房间的视图，包含用于定义房间尺寸和表面吸音系数的控制栏。右手边显示了在主监听位置和它周围的附加位置的频率响应、显示模态共振的控制按钮、计算响应的位置选择、要建模的声源选择和管理。可以调整整个窗口的大小，也拖动左右面板之间的分隔线，以调整每个子面板的比例。点击分隔线顶部的小三角形，可以将任何一个子面板完全折叠。

房间面板(Room Panel)

房间的尺寸和属性在房间面板顶部的控制中进行配置。通过单击面板右上角的箭头按钮，可以折叠该模块。



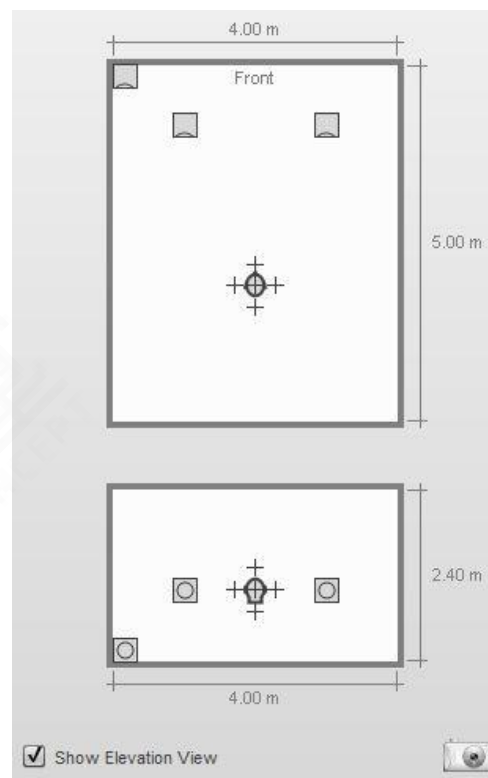
单位(Units)，决定尺寸的显示单位为公制还是英制。无论选择什么单位，尺寸控制都接受公制或英制单位输入，例如2.5m、250cm、2500mm、8.2ft、8ft 2in、8'2"、8f2i、8f2和98in都是有效输入。如果输入条目是不带任何单位的数字，则默认其为选定的单位。

如果房间是封闭的，请勾选**封闭房间(Room is sealed)**复选框，这会提升最低频率下的响应。

表面吸声(Surface Absorptions)定义声音投射到界面表面时的吸声方式。吸收与入射角度或频率无关。吸声系数越高，该表面吸收的声音越多，这会降低房间的模式共振。

在房间控制面板的下方是房间的视图，包括平面图和立面图。

人头形状的小图标代表主要听音位置，其周围的小十字显示了选用的附加点听音位置，根据这些听音位置可生成频率响应。在右侧图例中，主要听音位置的左、右、前、后、上和下方的附加点都被选中。在视图面板的左下角，取消选择**显示立面视图(Show Elevation View)**，会将立面视图隐藏。点击右下角的相机图标可以捕捉房间面板的图像。

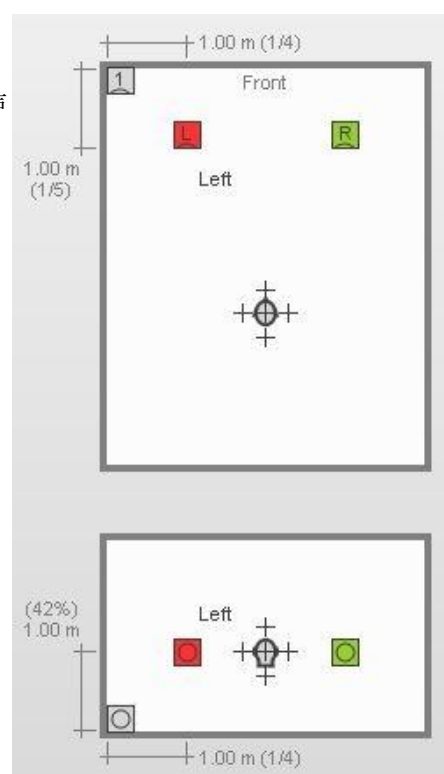


将鼠标光标移动到声源上可选择声源。声源将高亮显示，可以通过鼠标左键拖拽或使用键盘方向键移动声源，方向键可以更精细地调整位置。如果在鼠标拖拽时按住**shift**键，则将移动限制为水平或垂直。声源轮廓可能会与房间边界重叠，在较大的房间尺寸下，声学中心的位置不受影响。可以通过右键单击声源或选择声源后按**R**键（顺时针旋转）或**L**键（逆时针旋转）来旋转声源。

请注意，旋转声源不会改变其响应，所有声源都被视为全指向。类似的方式也可以移动主听音位置，或者任何附加的听音位置。

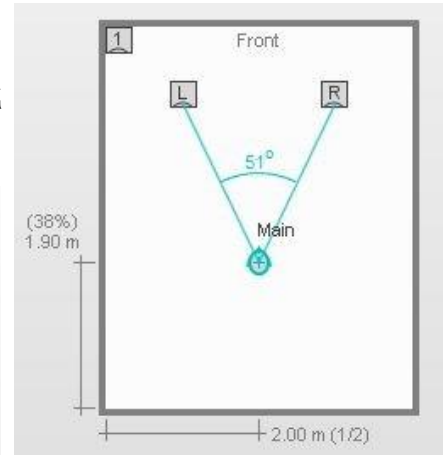
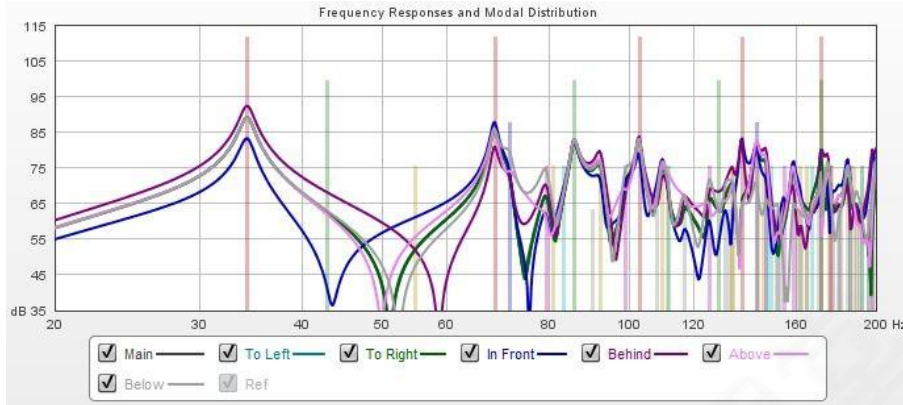
当声源或听音位置高亮显示时，将显示其位置。当声源高亮显示时，显示的尺寸是其声学中心距离各个边界的距离，声学中心位于声源正面的中心；在频率响应图像中，该声源对于听音位置频率响应的个体贡献也会突出显示。

当模拟包括左右扬声器时，高亮显示头部位置将显示它们与头部位置之间的角度。



响应面板(Response Panel)

响应面板会显示主听音位置，及其周围的附加位置的频率响应。可将当前的主听音位置响应保存为参考曲线(Ref)，以便在更改设置时将该曲线作为参考。房间的模态分布也显示在响应面板上，不同轴向的模式频率使用不同颜色编码的线条来表示。



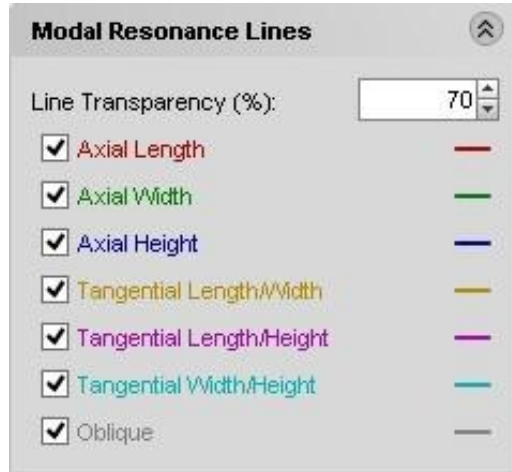
预设(Presets)

图像和图例下方的按钮，可以将五组房间模拟器配置保存到预设中并调用。每个预设都包含房间尺寸和吸声系数、声源选择和位置以及听音位置选择。下次启动时会记住预设。输入的任何注释将与预设一起保存。预设按钮的右侧的Set reference按钮，可将当前主听音位置的响应设置为参考曲线。其下方的相机按钮，用于捕获响应图像，包括输入的任何注释。



控制(Controls)

模态谐振线(Modal Resonance Lines)控制标识了不同方向的模态频率的线条颜色，并能调整透明度。未勾选的线条不会显示在响应图像中。

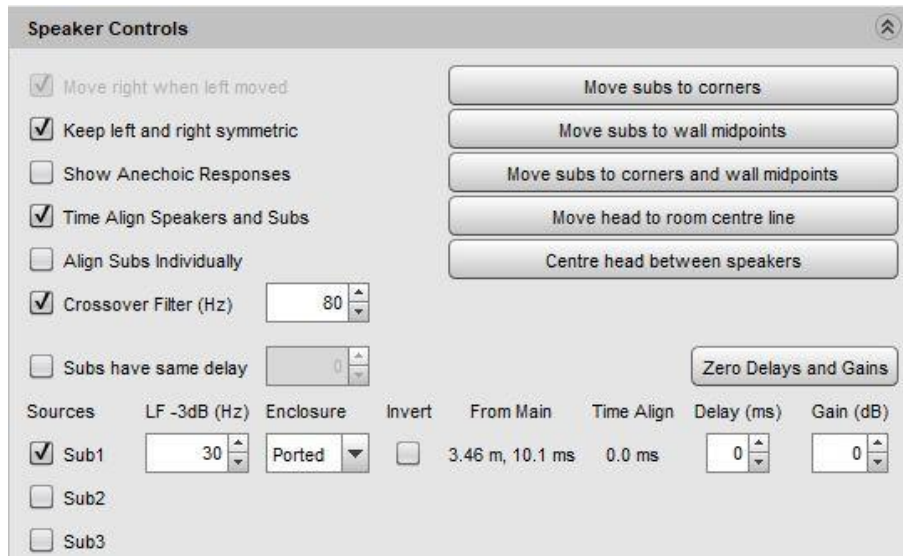


颜色	模式
红色	轴向长度
绿色	轴向宽度
蓝色	轴向高度
橙色	切向（长、宽）
洋红色	切向（长、高）
青色	切向（宽、高）
灰色	斜向

话筒位置(Microphone Positions)控制，设置附加听音位置与主听音位置的距离。也可以通过拖动房间视图上的十字来调整它们。



扬声器控制(Speaker Controls)可选择多个信号源，包括最多8个超低音箱。可以给每只超低音箱单独设置延时值，如果勾选了**超低音箱延时相同(Subs have same delay)**复选框，则所有超低音箱的延时相同，具体数值由复选框右侧的延时值设定。每个声源的低频下限频率可以独立配置，下限频率时声源开始滚降的频率，它不是低频管理频率，低频管理频率由**分频滤波器(Crossover Filter)**控制。显示的房间响应是所有选定的声源贡献的总和。



在控制面板右侧，通过按下适当的按钮，超低音箱可以重新定位到角落或墙壁中点，头部可以移动到房间宽度的中心或全频音箱的中心。按钮依次为：

- **Move subs to corners** 移动超低音箱至墙角
- **Move subs to wall midpoints** 移动超低音箱至墙边中点
- **Move subs to corners and wall midpoints** 移动超低音箱至墙角和墙边中点
- **Move head to room centre line** 移动头形图标至房间中线
- **Centre head between speakers** 将头形图标关于音箱居中

控制面板的左侧则是一些移动选项。

勾选**右侧跟随左侧移动(Move right when left moved)**，则左侧音箱移动时右侧音箱也会移动，以保持他们之间的相对关系。此时右侧音箱可独立移动。勾选**保持左右对称(Keep left and right symmetric)**，则移动左、右音箱中的一只，另一只会跟随移动，以保持它们与前壁的高度和距离相同，并与侧壁的距离相等。

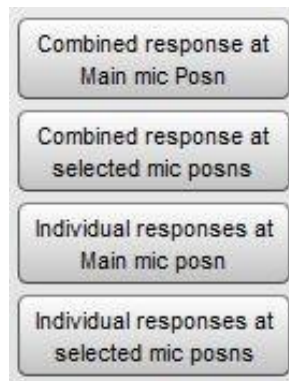
勾选**显示无回声响应>Show Anechoic Response)**，则会忽略房间的影响，只留下声源本身的响应。勾选将全频音箱和超低音箱时间同步(**Time Align speakers and subs**)，可以在主听音位置对齐声源的到达时间。如果系统中包含多超低音箱，勾选单独对齐每只超低音箱(**Align Subs individually**)，可以观察到单独对齐每个超低音箱的效果。值得注意的是，如果有多个超低音箱对称分布，为了尽可能减小模态激励，最好**不要**单独对齐超低音箱延时。

音箱控制面板的下半部分中，距离主听音位(**From Main**)的下方，显示了到每个声源至主听音位的飞行距离和时间。每个声源的延时(**Delay**)和增益(**Gain**)都可以单独调整。

请注意，**REW**的模拟算法会自动按照主听音位置对声源做电平匹配，并保持所有的超低音箱电平一致——如果超低音箱对称排列，这样做可以最小化模态激励，并减小座位与座位之间的变化，这是非常必要的。

生成测量(Generated measurements)

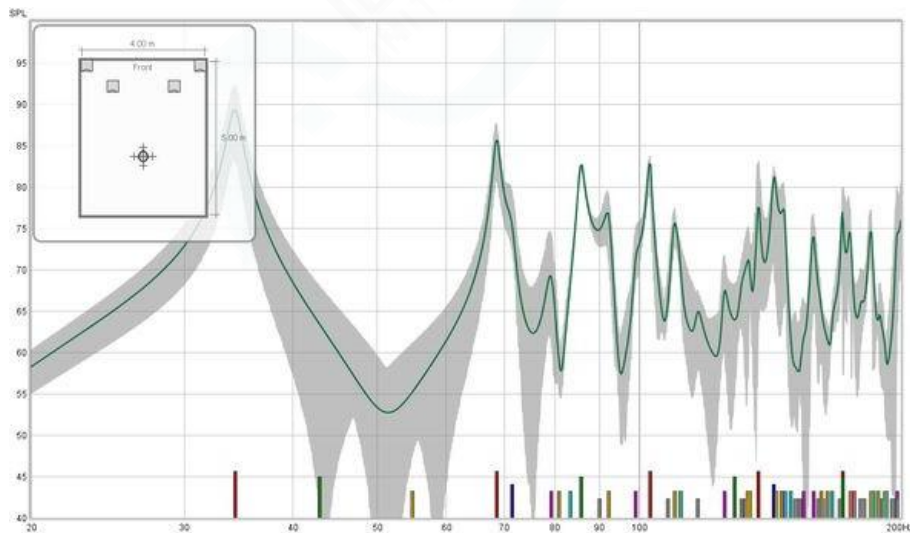
在控制面板的右侧有几个按钮，它们是用来从模拟响应中生成测量值。



点击在**主话筒位置的综合响应(Combined response at Main mic posn)**按钮，可以生成当前处于激活状态的选定声源在主话筒位置的综合响应。点击在**选定话筒位置的综合响应(Combined response at selected mic posns)**按钮，可以生成当前处于激活状态的选定声源在选定的话筒位置的模拟响应的平均结果，并生成一个浅色的衬底显示单个响应的整体跨度。

点击在**主话筒位置的单个响应(Individual responses at Main mic posn)**按钮，将会生成一组测量，每一个声源在主话筒位置的模拟响应会分别生成一个测量。点击在**选定话筒位置的单个响应(Individual responses at selected mic posns)**按钮，将会生成一组测量，每一个声源在选定的话筒位置的平均模拟结果会生成一个测量，并生成一个浅色的衬底显示单个响应的整体跨度。

生成的测量值包括房间尺寸以及音箱和话筒位置，用于生成测量的房间配置平面图可显示在声压级与相位图中。图像控制中的**显示房间面板(Show room panel)**可控制其显示或隐藏。该视图具备与房间模拟器视图相同的高亮显示功能，然而，在此视图中不能调整物体的位置。



导入测量数据(Importing Measurement Data)

REW可以从其它应用程序中导入频率响应和阻抗测量数据，包括ETF5测量系统 (<http://www.acoustisoft.com>)。支持大多数ETF5导出格式，以及通用的逗号、空格或制表符分隔的文本文件。请注意，当使用ETF5进行测量时，最好选择SPL校准选项，以允许通道之间的电平比较。

ETF*.pcm格式脉冲

全频段的ETF测量支持将脉冲响应导出为pcm原始数据格式，使用文件 → 将脉冲写入为 *.pcm选项 (File — Write Impulse as *.pcm)。使用REW的文件 → 导入脉冲响应(File—Import Impulse Response)命令加载这些文件。REW能够根据导入的脉冲响应数据生成光谱衰减和瀑布图(这在导入频率响应文本文件时是不支持的)。REW从文件中加载前128k样本 (在48k采样时约2.73s)。

WAV或AIFF脉冲响应

文件 → 导入脉冲响应(File—Import Impulse Response)命令还可加载保存为.wav和.aiff格式的脉冲响应文件。REW会加载文件中的前256k个样本(在48k采样时约5.46秒)，如果文件内容短于1秒，则响应将用零填充到1秒。

频率响应和阻抗文本文件

文件 → 导入频率响应(File—Import Frequency Response)和文件 → 导入阻抗测量(File—Import Impedance Measurement)命令支持导入扩展名为.txt, .frd, .dat, .zma的文本文件。扩展名为.zma的数据总是被视为阻抗测量，其它扩展名的文件如果在导入频率响应命令下导入将被视为SPL数据，如果在导入阻抗测量命令下导入，则被视为阻抗数据。REW接受以下格式：

- 通用的逗号、制表符、空格或分号分隔的文件
 - ◆ 数据必须以频率、幅度（SPL或阻抗）和可选的相位（以度为单位）表示，每行一组值
 - ◆ 样本可以是任意频率间隔，但是靠后的行必须比之前的频率更高，且必须至少有5个数据条目
 - ◆ 只导入以数字开头的行，忽略其他行
 - ◆ 在逗号分隔的文件中，逗号后面必须至少有一个空格
 - ◆ 数值前的空格将被忽略
 - ◆ 如果要在数据行添加注释，请在最后一个值后加上制表符、逗号或空格
- ETF5中房间低频响应窗口下导出的数据
- ETF5导出Bode响应选项
- 对数频率响应窗口的ETF5导出数据选项
 - ◆ 在采样点之间使用三次样条插值

逗号分隔的文件格式

以下是不带相位的逗号分隔的SPL数据的有效格式示例：

```
SPL measurements acquired by
REW V3.08 Source: D:\REW\test
files\testfile.txt Format:
Comma delimited data
Dated: 05-Mar-2005 17:53:56
Channel: Left, Bass limited 80Hz

20.0, 65.01
21.0, 65.77
22.0, 67.50
23.0, 67.93
```

```

24.0, 68.22
25.0, 67.88
26.0, 67.92
27.0, 68.31, 可添加注释
28.0, 69.14
29.0, 69.16
30.0, 69.29

```

如果在您的设定中使用逗号作为十进制分隔符，为了清晰起见，最好使用制表符、空格或分号作为分隔符。

以空格分隔的文件格式

下面是一组以空格分隔的阻抗数据，带有相位

```

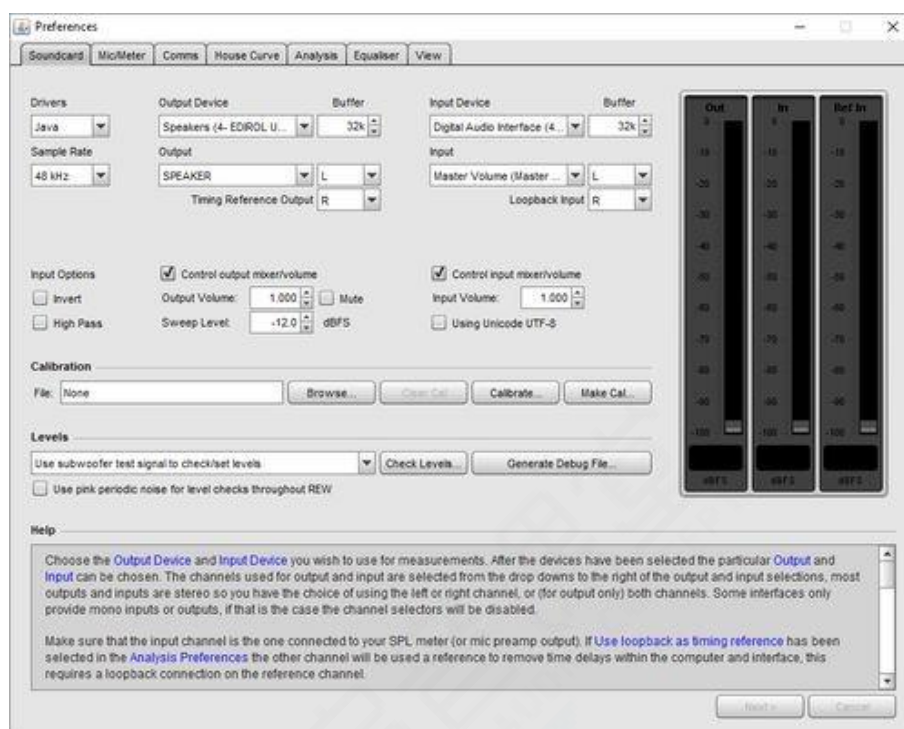
* Measurement data saved by REW V5.00
* Source: Line (ESI MAYA44 Audio), no input selected, Right channel, volume: no
  control
* Format: 1M Log Swept Sine, 1 sweep at -30,0 dBFS
* Dated: 31-Dec-2010 11:26:49
* Sense Resistor: 100.0
* Lead resistance: 0.000
* Calibration factor: 1.0028
* Note: horizontal
* Measurement: SPH170 horz
* Frequency Step: 0.36621094 Hz
* Start Frequency: 1.8310547 Hz
*
* Freq(Hz) Z(Ohms) Phase(degrees)

1.831 6.423 5.392
2.197 6.444 6.426
2.563 6.481 7.302
2.930 6.522 8.049
3.296 6.558 8.714
3.662 6.586 9.368
4.028 6.609 10.076
4.395 6.632 10.864
4.761 6.664 11.706
5.127 6.705 12.549
5.493 6.753 13.346
5.859 6.803 14.082
6.226 6.851 14.777
6.592 6.896 15.467
6.958 6.939 16.180
7.324 6.985 16.919
7.690 7.034 17.669
8.057 7.089 18.409
8.423 7.147 19.126
8.789 7.207 19.822
9.155 7.269 20.505
9.521 7.332 21.181
9.888 7.398 21.851

```

声卡首选项(Soundcard Preferences)

声卡首选项面板用于配置测量的音频输入和输出，校准音频接口并设置正确的测量电平。



面板上的各种控制如下:

驱动程序(Drivers)

在Windows平台上，可选的音频接口驱动程序有Java和ASIO。Java驱动程序支持44.1、48、88.2、96和192 kHz采样速率和16位数据。在macOS和Linux上，如果音频接口能提供24位数据，则会使用24位数据。Java驱动程序支持选择不同的设备上输入和输出在，并允许从REW进行音量控制。

ASIO驱动程序支持高达384 kHz采样率和多种格式，具体取决于驱动程序。ASIO驱动程序仅允许使用同一个ASIO设备输入和输出的，REW无法控制电平。但如ASIO4All这类伪ASIO驱动程序，在设备的WDM驱动程序下创建了一个ASIO的外衣，允许在不同的ASIO设备之间使用输入和输出。

采样率(Sample Rate)

使用Java驱动程序，采样率可以设置为44.1、48、88.2、96或192 kHz，默认值为48kHz。要防止操作系统中的重采样，请确保音频接口的配置与REW中选择的采样速率相同。使用ASIO驱动程序，提供的采样率选择将由使用的音频接口决定，最大采样率为384 kHz。请注意，输入和输出设备列表仅包括那些支持所选采样率的设备，如果您的设备没有出现在列表中，请尝试更改采样率。

输入和输出 (Java驱动程序)

输入和输出设备列表显示了Java发现的物理接口以及一些OS虚拟设备，这些设备表示支持所选定的采样率。输入和输出列表取决于所选定的输入设备和输出设备。**默认设备(Default Device)**设置告诉REW获取在操作系统中设置的默认值 (在Windows下的“声音和音频设备”或macOS下的“音频和Midi设置”中)。选择默认设备后，REW将音频输入和输出及其相关音量控制的所有控制权留给您，使用音频接口的控制界面或OS提供的控制来设置音量，并根据需要选择输入和输出。注意，当使用包含灵敏度的校准文件的USB话筒时，REW需要读取输入音量设置以正确显示声压级，为了实现这个目的，输入设备和话

筒的输入都必须被选择 (不能被保留为“默认设备”)。

输出通道(Output Channel) (Java驱动程序)

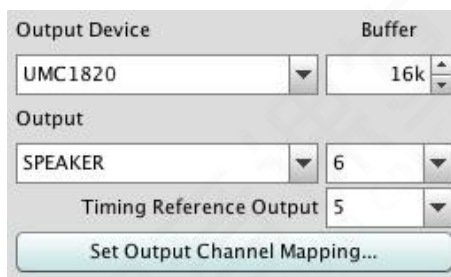
REW可以将其测试信号设置在其中一个或两个输出通道上。如果有两个以上的可用输出通道，则可以同时驱动第一个和第二个----具体通道设置可以使用**Output Channel Mapping (输出通道映射)**对话框(见下文)。输出通道的选择也可以直接在测量设置界面(measurement)或信号发射器界面(signal generator)进行设置。

时间参考输出通道(Timing Reference Output Channel) (Java驱动程序)

使用时间参考时，输出通道将是此处选择的通道。也可以直接在测量设置界面(measurement)上进行选择。

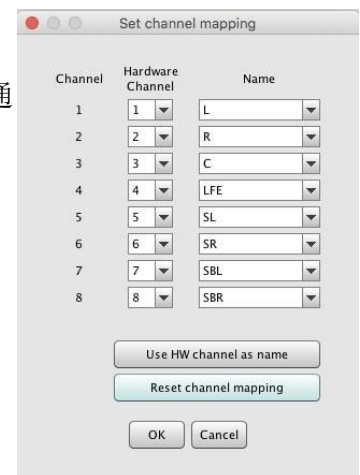
输出映射(Output Mapping) (Java驱动程序)

在某些平台上，Java支持多通道输出----目前Windows不支持此功能。如果平台支持多通道，并且当前有2个以上的输出通道，则输出通道映射按钮显示如下：



该按钮会弹出一个对话框，最多可选择8个通道进行测量：

8个通道中的每一个都可以分配给任意可用的硬件输出。它们可以用环绕声道命名，或者按硬件通道编号或输出编号 (1到8) 命名。



输入通道(Input Channel) (Java驱动程序)

REW仅使用一个接口通道来捕获声压计或话筒前置放大器的输出，即输入通道界面会告诉REW您已连接到哪个通道。默认值是右声道。如果已在**分析偏好(Analysis Preferences)**中使用环路作为时间参考(**Use loopback as timing reference**)，另一个通道将被用作参考通道，以消除计算机和音频接口内的延时，这需要在参考通道上的环回连接。如果音频接口 (或输入链路中的其他东西) 使输入信号反相，请选择**反相(Invert)**复选框以恢复其正确的极性。如果输入具有直流偏置，请检查**高通(High Pass)**使REW自动应用2 Hz的高通滤波器。

环回输入通道(Loopback Input Channel) (Java驱动程序)

当输入为立体声时，环回默认设置为不用于测量的通道。如果多个输入通道可用，可在此处配置用于环回的输入通道。

音量控制(Volume Controls) (Java驱动程序)

只有当您选择了特定的输入和输出设备，选中了允许REW控制输出混音/音量Control output mixer/volume和控制输入混音/音量Control input mixer/volume的复选框，并且REW能够从操作系统获得所选设备的控制，输入和输出的音量控制才能被启用。在这些条件下，REW将音量控制设置为上次用于测量的音量，并选择所选输入。这些控制并未在macOS上启用，macOS仅可以调整特定的dB增量，这个值根据具体设备及其音量范围而变化。在macOS下，使用Audio MIDI Setup音频MIDI设置来控制音量设置。

扫频电平(Sweep Level)

扫频电平界面设置RMS值，REW将根据这个值生成测量扫频信号，相对于数字满刻度。可能的最高值是-3 dBFS，除非视图首选项(View preference)的满刻度正弦RMS为0 dBFS(Full scale sine rms is 0 dBFS)已选定，在这种情况下，最大值为0 dBFS。使用最大值将信号的峰值置于数字满刻度。一个典型的设置是-12 dBFS (默认值)。也可以直接在测量面板(measurement panel)上进行此选择。

输出缓冲区、输入缓冲区(Output Buffer, Input Buffer) (Java驱动程序)

输出缓冲区(Output Buffer)和输入缓冲区(Input Buffer)界面设置使用音频接口时缓冲区的大小。默认设置为32k (意味着缓冲区大小为32,768对音频样本)。如果您在信号发生器输出中偶尔遇到故障或中断，请尝试增加重放缓冲区的大小，但请注意，这可能还有其他原因，例如无线网卡的干扰。类似地，如果捕获的音频信号 (如“Scope graph”面板中所示) 偶尔会丢失，请尝试增加输入的缓冲区。使用较大的缓冲区将增加延时 (开始和停止重放和录制时的延时)，但应该是没有坏处的。如果您在音频输入或输出方面没有遇到任何问题，您可能希望减少缓冲区大小，以最大限度地减少延时。

校准界面(Calibration Panel)

校准(Calibration)面板的界面用于校准音频接口。

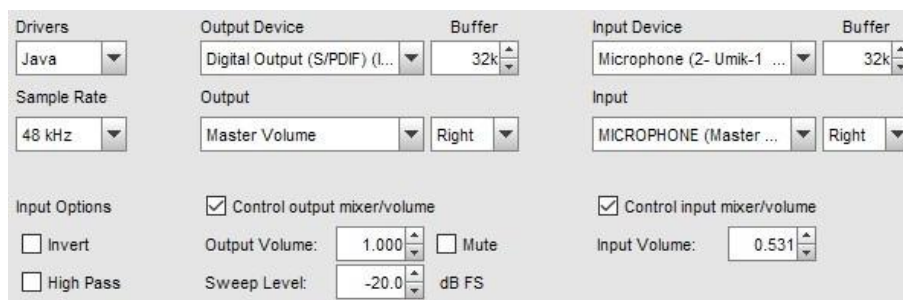
浏览...(Browse...)按钮用于选择校准文件，这是一个纯文本文件，默认情况下具有扩展名.Cal，虽然也接受其他扩展名。文件格式如下。清除校准(Clear Cal)清除校准数据，所有后续测量将不会对其应用任何校准，并且REW不会在下次启动时加载任何先前指定的校准文件。校准...(Calibrate...)通过外部环回连接开始测量接口响应的过程。制作校准文件...(Make cal file...)用于将测量保存为校准文件-这应该仅与环回测量的结果一起使用，仅在检查测量是否有效后使用。测量数据保存为文本文件，SPL以1kHz为0dB进行偏置。该文件在启动时自动加载并应用于后续测量。

电平界面(Levels Panel)

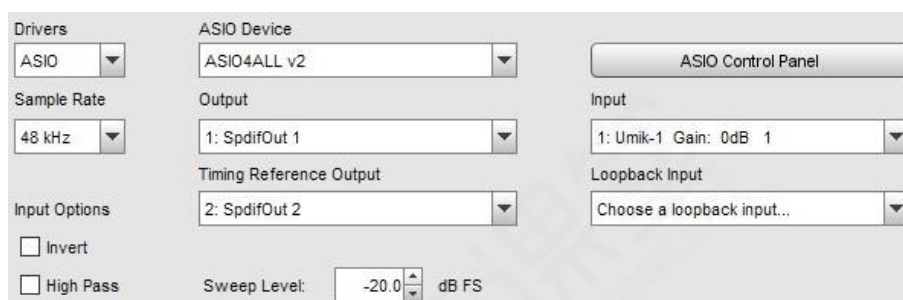
电平界面用于设置测量的输出和输入电平。可以设置为超低音箱或全频音箱，在界面的下拉菜单中选择。检查电平...Check Levels...按钮按下后，是开启和验证电平的过程。生成纠错文件...Generate Debug File...按钮按下后，会生成一个文本文件，其中包含Java能够识别的所有音频设备和控制内容的信息。如果在使用REW过程中，配置音频接口时出现问题，请提供此文件的副本以及问题的描述。在REW中使用周期粉红噪声进行电平检查(Use pink periodic noise for level checks throughout REW), 决定REW是使用随机粉红噪声还是周期粉红噪声进行电平检查。周期粉红噪声在低频时提供更稳定的读数，但听起来与随机粉红噪声大不相同。

示例输入和输出设置(Example Input and Output Settings)

以下是一些示例设置，首先使用Java驱动程序、PC的内置音频接口和USB话筒。REW已设置且控制电平，并使用右声道进行输入。



以下是使用ASIO驱动程序的一些设置，在本例中是ASIO4All (它提供了一个针对Windows音频驱动程序的ASIO外衣)。请注意，如果没有使用时间参考，则没有必要选择时间参考输出。ASIO控制界面(ASIO Control Panel)按钮启动音频接口的ASIO控制面板。



FlexASIO

如果FlexASIO ASIO驱动程序正在使用，**ASIO控制面板**按钮将显示一个对话框，该对话框提供了一个图像界面来生成和更新FlexASIO配置文件，FlexASIO.toml。



REW对配置文件的处理只支持后端和缓冲尺寸采样(Buffer Size Samples)选项。该[输入]和[输出]部分将仅包含选定的输入和输出设备名称，它们将不包含FlexASIO支持的任何其他选项。当对话框关闭时，将更新配置文件，然后重新加载FlexASIO驱动程序，以更新可用的输入和输出。

声卡校准文件格式(Soundcard Calibration File Format)

校准文件是一个纯文本文件，默认情况下具有扩展名.Cal，虽然也接受其他的扩展名。它应该包含接口在给定频率下的实际增益 (和可选相位) 响应，然后从后续测量中减去这些增益。校准文件中的值可以用空格、制表符或逗号分隔。

- 每一行校准数据必须含有一个频率值和一个增益值，还有一个相位值是可选的
- 频率以Hz为单位，增益以dB为单位，相位以度为单位
- 校准点可以是任意频率间距，但是每行数据必须比前一行的频率更高，并且必须至少有2个

频率及增益数据组

- 只加载以数字开头的行，忽略其他行
- 在逗号分隔的文件中，逗号后面必须至少有一个空格
- 数值前的空格将被忽略
- 生成数据的采样速率可以通过以下行开头来指示：“采样率:” (没有引号)，后跟以Hz为单位的采样率。REW在加载文件时会检查这一点，如果采样率与当前音频接口设置不匹配，将发出警告----以不同采样率生成的校准文件不会提供准确的校正。

以下是有效文件格式的示例部分:

```
* Soundcard Calibration data saved by Room EQ Wizard V5.00
* Source: EDIROL UA-1A, Digital Audio Interface, Right channel, volume: no
  control
* Format: 256k Log Swept Sine, 1 sweep
* Dated: 21-Nov-2010 21:47:56
* Sample Rate: 44100
*
2.019 -1.424 53.471
2.219 -1.238 49.420
2.419 -1.062 45.118
2.619 -0.929 41.888
2.819 -0.823 39.056
3.019 -0.740 36.590
3.219 -0.668 34.409
3.419 -0.607 32.468
3.619 -0.557 30.736
3.819 -0.513 29.177
4.019 -0.475 27.777
4.219 -0.443 26.495
```

加载校准文件后，它将应用于所有后续测量。加载校准文件不会影响任何已经测量的数据，也不会影响导入的任何测量数据。更新图像显示以显示校准曲线，偏移位于当前目标级别。

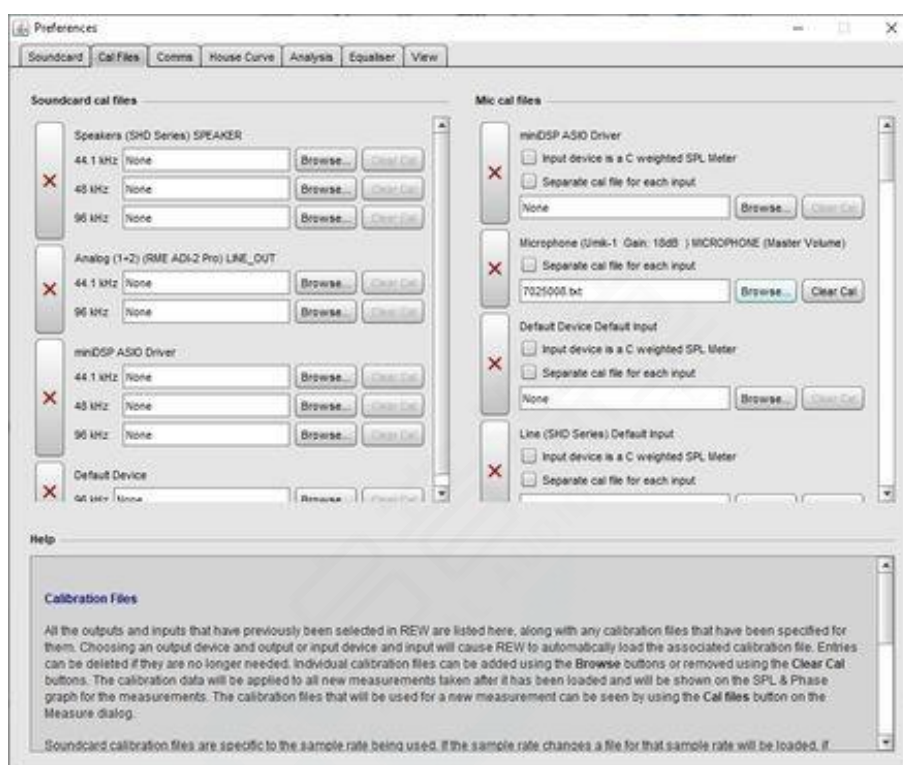
在校准点之间使用线性插值。在校准数据范围之外，行为取决于是否选择了C计权补偿。如果选择了C计权补偿，则C计权曲线数字将用于校准数据中高于或低于频率范围的频率。如果没有，文件中最低频率的校准值也将应用于所有较低频率，文件中最高频率的校准值将应用于所有较高频率。

校准文件名和路径在下次启动时将被记住，文件将在启动REW时自动加载。软件会给出确认文件加载的消息。

要停止应用校准数据，请使用**清除校准...(Clear Cal...)**按钮。**有用的提示:**要在进行测量后应用或删除声卡校准文件，只需根据需要加载或清除校准数据，然后按**应用窗口(Apply Windows)**按钮，在脉冲响应窗口(IR Windows)界面中重新计算频率响应。

校准文件首选项(Cal files Preferences)

校准文件首选项列出以前在REW中选择的所有输出和输入以及为它们指定的所有校准文件。选择输出设备和输出或输入设备和输入将导致REW自动加载相关的校准文件。如果不再需要该记录，则可以将其删除。可以使用**浏览(Browse)**按钮添加单独的校准文件或使用**清除校准(Clear Cal)**按钮删除。校准数据将在加载后应用于所有新的测量，并将显示在测量的声压级和相位图上。可以通过**测量(Measure)**对话框上的**测量文件(Cal File)**按钮，查看将用于新测量的校准文件。



声卡校准文件仅限于正在使用的采样率。如果采样率更改，将加载该采样率的校准文件（如果可用）。

话筒校准有一个C计权选项。选择**输入设备是C计权声压计(Input device is a C Weighted SPL Meter)**，如果您使用C计权声压计作为REW的输入，则测量将被校正以消除C计权特性的低频和高温滚降。如果还加载了校准文件，则仅在校准文件覆盖的频率范围之外应用校正。

话筒校准文件可以应用于设备上的所有输入，或者，如果为**每个输入单独设定校准文件(Separate cal file for each input)**被选中，则可以为设备的每个输入通道指定单独的校准文件。例如，MiniDSP EARS耳机测量系统的左声道与右声道具有单独的校准文件。请注意，大多数USB话筒都是单声道设备，在左右两个通道上提供相同的数据，设备的单个校准文件适用于这些设备。

要应用或删除现有测量的校准文件，在**测量(Measurement)**界面中请使用**更改校准...(Change Cal...)**按钮。

要根据外部声压计校准REW声压计读数，在**声压计(SPL Meter)**界面中请使用**校准(Calibrate)**按钮。

校准文件格式

校准文件是一个纯文本文件，默认情况下具有扩展名.cal，也接受其他扩展名。它应该包含仪表或话筒

在给定频率下的实际增益 (和可选相位) 响应, 然后从后续测量中减去这些增益。校准文件中的值可以用空格、制表符或逗号分隔。通常, 这些值相对于某个参考频率 (例如1kHz) 的电平, 因此那里的增益值为0.0。

- 每一行校准数据必须有一个频率值和一个增益值, 一个相位值是可选的
- 频率以Hz为单位, 增益以dB为单位, 相位以度为单位
- 校准点可以是任意频率间距, 但是每条线必须比之前的频率更高, 并且必须至少有2个频率, 增益数据对
- 只加载以数字开头的行, 其他行加载忽略
- 在逗号分隔的文件中, 在忽略值之前, 逗号空格后面必须至少有一个空格
- 数值前的空格将被忽略

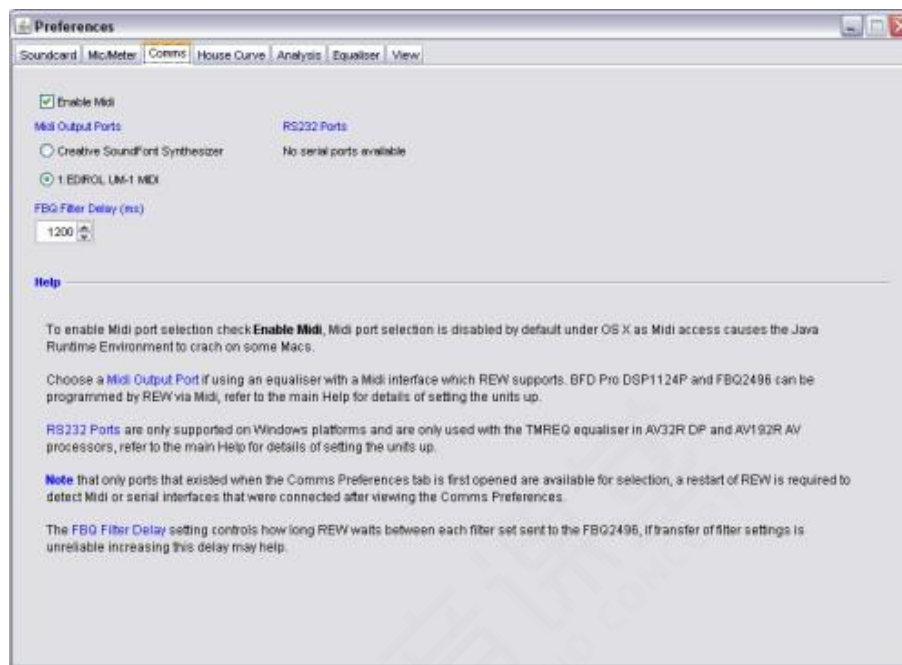
以下是有效文件格式的示例部分:

声压计校准数据

20	-15.38
50	-3.69
100	-1.34
200	-0.62
500	-0.26
1000	0.0
2000	1.80
5000	3.95
10000	-0.71
20000	-6.28

通信首选项(Comms Preferences)

通信首选项面板用于选择Midi和RS232接口，以便与均衡器进行通信。



勾选**启用Midi(Enable Midi)**，来开启Midi端口。macOS下，系统默认禁用Midi端口，因为Midi通讯会导致某些mac上的Java运行时环境崩溃。

如果使用REW支持的Midi接口的均衡器，则可选择**一个Midi输出端口(Midi Output Port)**与其通讯。BFD Pro DSP1124P和FBQ2496可由REW通过Midi进行编程，请参阅BFD通信设置相关章节，了解详细信息。

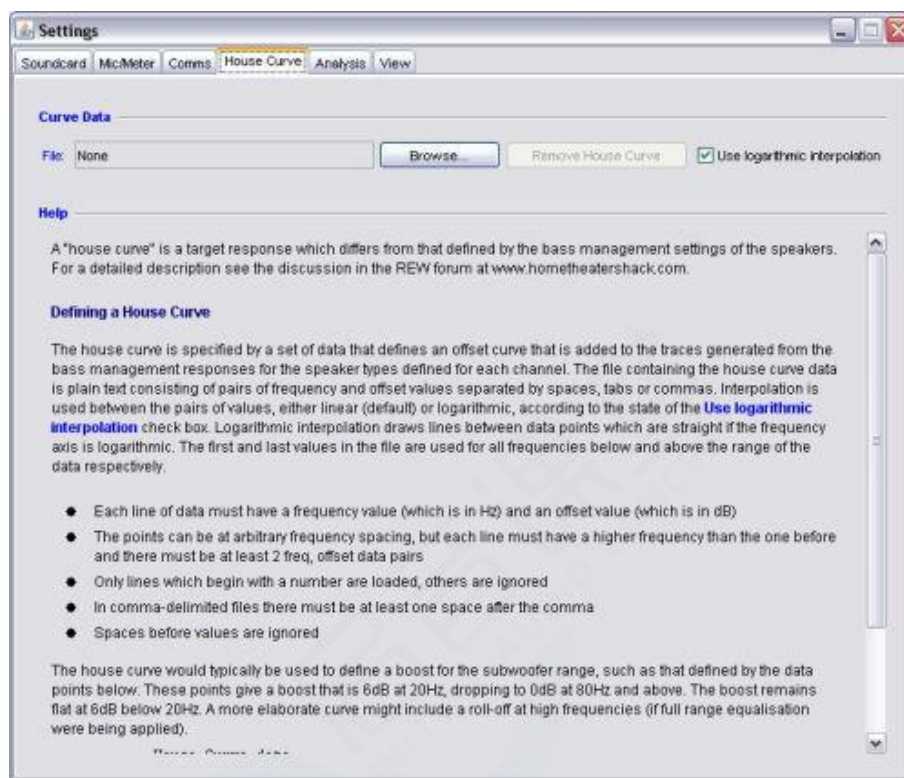
RS232端口仅在Windows上受支持，并且仅与AV32R DP和AV192R AV处理器中的TMREQ均衡器一起使用。请参阅AVP通信的相关章节，了解细节信息。

注意！仅在通信首选项选项卡首次打开时存在的端口可供选择，在其后连接的Midi或串行接口，需要重新启动REW并进入通信首选项，才能检测到并选择新接入的端口。

FBQ滤波器延时(FBQ Filter Delay)设置控制发送到FBQ2496的每个滤波器集之间，REW等待多长时间。如果滤波器参数的传输不稳定，增加此延时值可能会有所帮助。

房间曲线首选项(House Curve Preferences)

所谓“房间曲线(House Curve)”，实际上是一个目标响应曲线，与低音管理设置所定义的扬声器响应不同。房间曲线首选项允许加载包含房间曲线数据的文件，或删除已加载的曲线。下次启动时会记住该选择。



定义房间曲线

房间曲线是由一组偏移量数据定义的曲线，该曲线会被添加到每个通道的扬声器类型的低音管理响应产生的曲线中。包含房间曲线数据的文件是纯文本，由成对的频率和偏移值组成，由空格、制表符或逗号分隔。在数值之间将进行插值，默认是线性插值，如果勾选了**使用对数插值(Use logarithmic interpolation)**，则为对数插值。如果频率轴是对数的，对数插值在数据点之间绘制直线。文件中的第一个和最后一个值分别应用于低于和高于数据范围的所有频率。

- 每一行数据必须有一个频率值 (以Hz为单位) 和一个偏移值 (以dB为单位)
- 频率点之间可以是任意频率间距，但是每一行的频率必须比上一行更高。必须至少有2行数据，即至少两组频率、偏移数据
- 软件只加载以数字开头的行，其它行会被忽略
- 在逗号分隔的文件中，逗号后必须至少有一个空格
- 数值前的空格会被忽略

房间曲线通常用于定义超低音箱频段的提升，例如下面的数据点所定义的，这些点在20Hz时得到6dB的提升，在80Hz及以上时下降到0dB。提升量在低于20Hz以下保持为6dB。更精细的房间曲线可包括高频滚降 (如果应用了全频段均衡)。

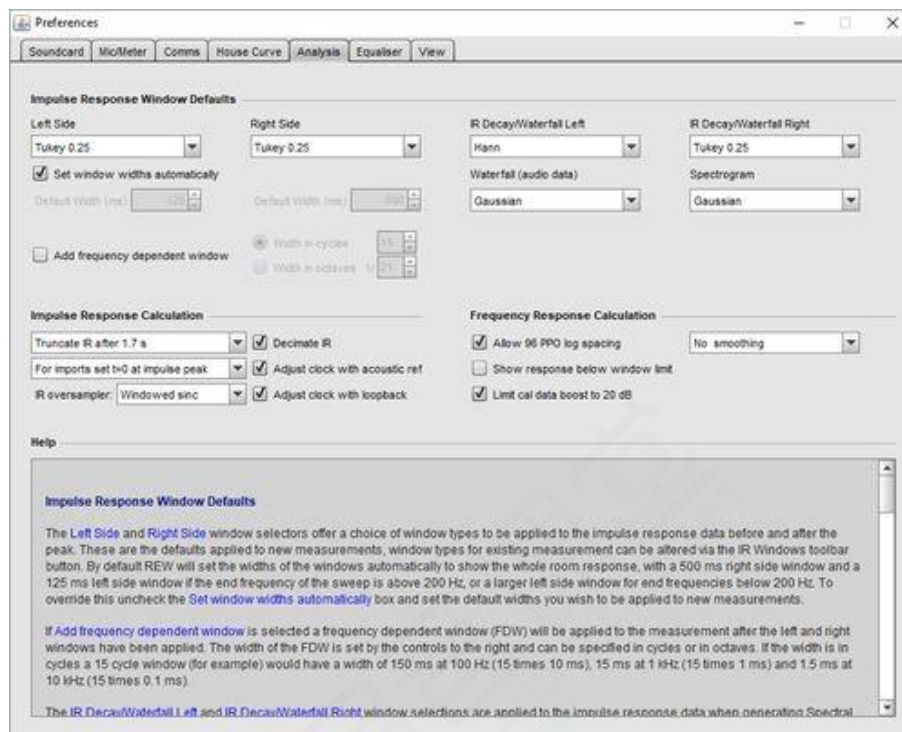
房间曲线数据**20 6.0****80 0.0**

加载房间曲线后，在“滤波器调整”图像中的目标曲线值旁边将显示 **HOUSE** 符号。



分析首选项(Analysis Preferences)

分析首选项的设置会改变REW的计算方式。



脉冲响应时间窗默认值(Impulse Response Window Defaults)

左侧窗(Left Side)和右侧窗(Right Side)选择器分别选择要应用于脉冲响应数据峰值前和峰值后的窗口类型。这些设置将是应用于后续新测量的默认值，可以通过脉冲响应的时间窗工具栏按钮更改现有测量的窗口类型。默认情况下，REW自动设置时间的宽度以显示整个房间响应，如果扫频的结束频率高于200Hz，则会使用125 ms左侧窗和500 ms右侧窗；结束频率低于200Hz时，则使用更大的左侧窗口。如果不想使用该自动设置功能，请取消选中**自动设置时间窗宽度(Set window widths automatically)**，并手动设置想要应用于新测量的默认宽度。

勾选**添加频变时间窗(Add frequency dependant window)**，会对测量应用左-右窗之后，再应用一个跟随频率而变化的时间窗(frequency dependant window,FDW)。FDW的宽度由右侧的控制设置，可以以周期或倍频程的形式指定。举个例子，如果时间窗宽度为15周期，在100Hz的宽度为150 ms (15x10ms)，1kHz时宽度为15 ms (15x1 ms)，而10 kHz时为1.5 ms (15x0.1 ms)。

脉冲响应衰减/瀑布图左侧窗(IR Decay/Waterfall Left)和**脉冲响应衰减/瀑布图右侧窗(IR Decay/Waterfall Right)**，选择生成频谱衰减图和瀑布图时应用于脉冲响应数据的时间窗。

瀑布图 (音频数据)[Waterfall(audio data)]，选择基于导入的音频数据生成瀑布图时应用的窗口类型。此处是默认设置，对于任一特定测量，其窗口类型可以通过图像控制中的选择器进行更改。

色谱图(Spectrogram)选择生成傅里叶谱图时应用于响应数据窗口。此处是默认设置，对于任一特定测量，其窗口类型可以通过图像控制中的选择器进行更改。

脉冲响应计算(Impulse Response Calculation)

在REW做了测量后，它可以截断脉冲响应以保留重要信息，同时最大限度地减少测量文件所需的存储空间。在峰值之前保留1秒的长度，并且默认情况下，在峰值之后保留1.7秒的长度（采样率不同时间长度会略有不同，在48kHz采样率为1.7秒，在44.1kHz（及其倍数）大约为2秒）。在某些情况下，保留脉冲响应可能是有用的，例如在非常大的空间中测得的非常长的脉冲响应。REW提供了不同的截断长度选项：4.4秒、9.9秒或保留整个脉冲响应。此时，你可能还需要使用更长的扫频信号（使用256k扫频，在峰值之后有大约6秒的脉冲响应数据可用）。请注意，保留整个脉冲响应将生成更大的测量文件，特别是使用了长扫频测量。如果保留整个脉冲响应，则峰值将位于脉冲响应的中心。

对于导入的脉冲响应， $t = 0$ 位置可以设置为输入数据中的脉冲峰值位置(at impulse peak)或第一个样本(at first sample)。

当REW生成脉冲响应时，会以过采样的方式提供用于图像渲染的数据。脉冲响应过采样器(IR oversampler)设定会决定生成过采样数据的方法。加窗sinc(Windowed sinc)使用限定频带的内插器，FFT时移(FFT time shift)使用基于FFT的时移属性实现的分数延时，不使用(None)则会禁用IR过采样（在此时，原始采样点之间采用Hermite插值用于生成图像）。加窗sinc(Windowed sinc)是默认设置。

抽取脉冲响应(Decimate IR)用于控制REW是否降低脉冲响应的采样率以匹配测量的频率范围。选择此选项可大大减少低频测量脉冲响应大小，并加快处理速度。

按声学参考调整时钟(Adjust clock with acoustic ref)，决定使用声学时间参考时，REW是否补偿输入和输出之间的时钟速率差异。如果勾选此选项，则在扫频结束时播放额外的时间参考信号，两个时间参考信号之间的时间将被用于计算匹配输入和输出的时钟速率所需的调整。

按环路信号调整时钟(Adjust clock with loopback)，决定在使用环回作为时间参考时，REW是否补偿输入和输出之间的时钟速率差异。如果选择此选项，将分析环回信号以计算匹配输入和输出设备时钟速率所需的调整。要应用此时钟校正，扫频必须从1 kHz以下开始，到10 kHz以上结束。

频率响应计算(Frequency Response Calculation)

允许96点每倍频程记录间距(Allow 96 PPO log spacing)，决定是否允许REW以每倍频程96点的速度将频率响应从线性间隔数据转换为对数间隔数据。计算频率响应的FFT产生的数据在频率上是线性间隔的，即从每个值到下一个值有一个固定的频率步进。对于响应的高频部分，这意味着有非常多的点，使用大量的内存，但对显示的数据没有任何贡献。选中此选项时（默认情况下为打开），REW将自动判断能否减少内存的使用（扫频截至频率超过300Hz时通常如此），来决定是否将频率响应转换为更有效的对数间隔，即在响应的每个倍频程记录96个数据点。作为转换过程的一个步骤，REW首先对数据应用1/48倍频程平滑滤波器，以从响应中去除任何高频梳状滤波。该转换将应用于后续的新测量或者对脉冲响应加载了时间窗后。通过单击工具栏中的“信息(info)”按钮调出“测量信息(measurement info)”窗口，可以看到测量是对数间隔还是线性间隔。

注意：如果脉冲峰值远离脉冲零时，会阻止96 PPO的转化，其中“远”是指峰值到零时的偏移对应于测量结束频率处超过90度相移的时间。这是为了防止在高频时混叠的相位数据会导致不正确的群延时数据。

显示低于时间窗限制的响应(Show response below window limit)，用于决定REW是否显示低于当前脉冲响应时间窗频率分辨率的响应。例如，如果时间窗宽度为10 ms，低于100Hz的频率将无效，且通常不会显示。在某些情况下，用户可能需要查看频率分辨率以下的数据，勾选该选项即可查看，但响应会以虚线绘制，以提示这些数据是位于频率分辨率以下的。使用右窗口宽度计算最小有效频率(Use

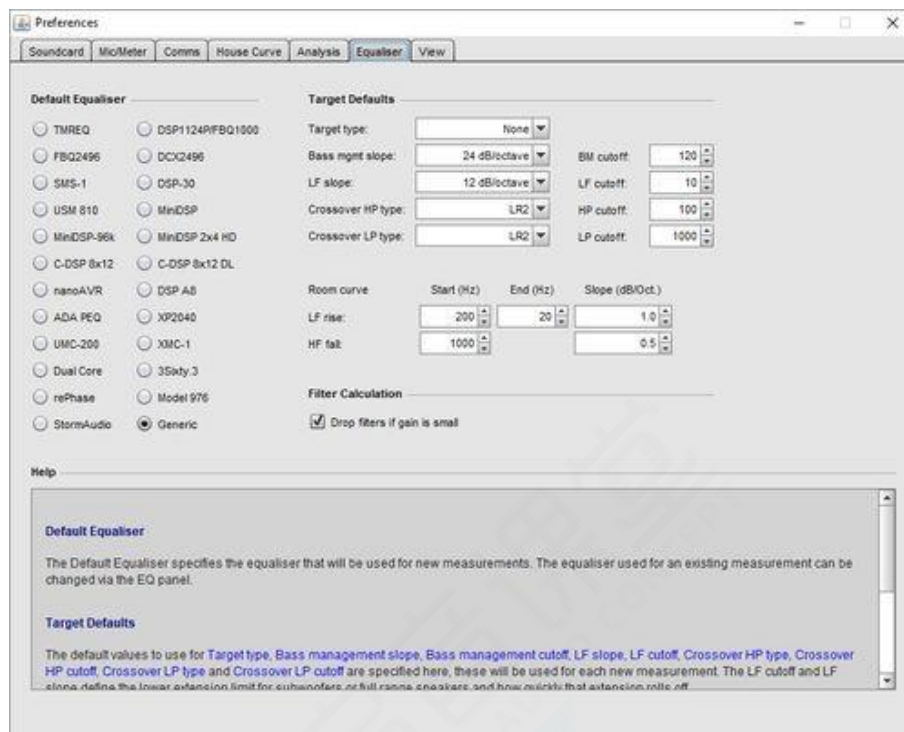
right window width for min valid frequency), 决定使用总窗口宽度还是仅右窗宽度用于计算最小频率。当参考时间处于或接近IR峰值时, 右侧窗的长度往往是决定性因素。

位于此模块右侧的**平滑(Smoothing)**下拉菜单中, 可选择要应用于新SPL测量的默认平滑。

将**校准数据提升限制为20 dB(Limit cal data boost to 20dB)**选项, 可将用于补偿校准数据衰减的总增益限制为20 dB。这可以防止话筒/声压计和声卡的组合响应低于20 dB以上的区域过度提升本地噪声。此设置会影响频率响应、RTA曲线和声压计读数, 在执行曲线运算时亦会受此影响。

均衡器首选项(Equaliser Preferences)

均衡器首选项会改变REW执行EQ滤波器计算的方式。



默认均衡器(Default Equaliser)

默认均衡器指定将用于新测量的均衡器。可通过EQ面板更改用于现有测量的均衡器。

目标默认值(Target Defaults)

此处设定目标的默认值，包括目标类型、低频管理斜率、低频管理截止频率、低频斜率、低频截止频率、分频高通类型(Crossover HP type)、分频高通频率(HP cutoff)、分频低通类型(Crossover LP type)、分频低通频率(LP cutoff)，这些设置改动后将会应用于后续的新测量。**低频截止频率(LF cutoff)**和**低频斜率(LF slope)**定义了超低音箱或全频扬声器的频率延伸下限，以及频率下限滚降的速率。

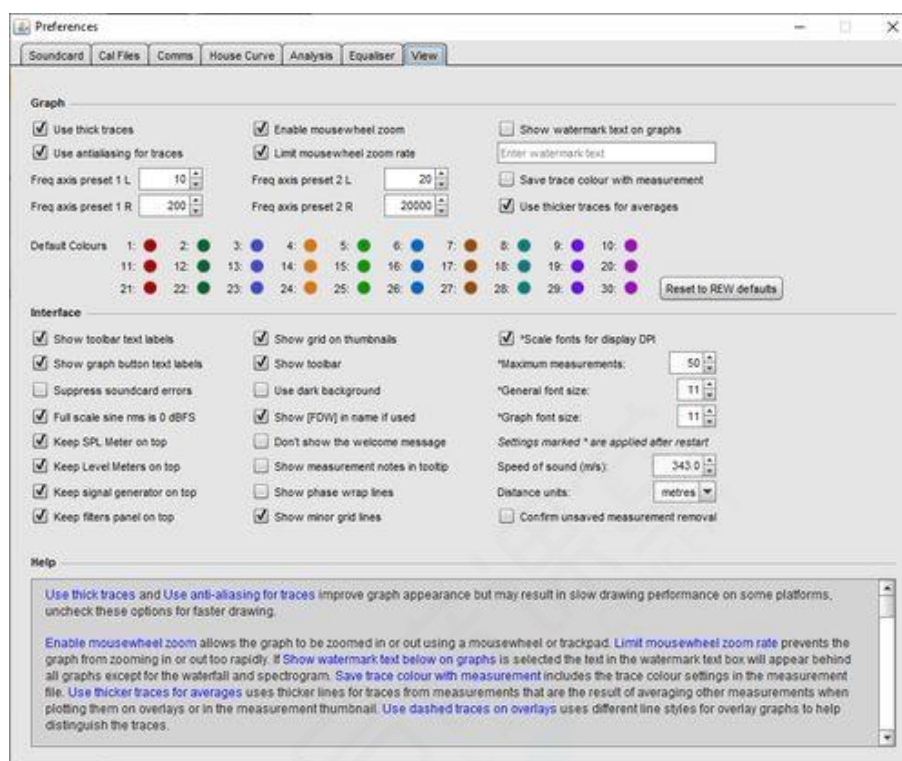
房间曲线(Room curve)设置定义将叠加在目标曲线上的房间响应默认值，包括**低频提升(LF rise)**设置和**高频衰减(HF fall)**设置，该设置在改动后会应用在后续的新测量中。目标曲线将在设定的低频提升起始频率处，按照设定的斜率上升，直到设定的提升结束频率。对低频做提升一般是出于主观上的喜好。类似地，目标曲线将在设定的高频衰减频率以上下降，高频的下降通常符合在真实听音位置进行测量的正常衰减现象。

滤波器计算(Filter Calculation)

勾选弃用增益较小的滤波器(Drop Filters if gain is small)选项，REW在自动均衡优化的最后一步，将弃用增益小于平坦度目标的一半的滤波器，这些滤波器的类型将被设置为“无(None)”。

视图首选项(View Preferences)

视图首选项控制REW的外观。



使用粗曲线(**Use thick traces**)和曲线抗锯齿(**Use antialiasing**)可以改善曲线的外观，但在某些系统平台上可能导致绘图速度下降，去选这些选项可加快绘图速度。

启用鼠标滚轮缩放(**Enable mousewheel zoom**)，允许使用鼠标滚轮或触控板放大或缩小图像。限制鼠标滚轮缩放速率(**Limit mousewheel zoom rate**)可防止图像放大或缩小过快。在图像上显示水印文本(**Show watermark text on graphs**)选项，决定是否在图像中显示其下方文本框中的水印文本（瀑布图和色谱图除外）。随测量保存曲线颜色(**Save trace colour with measurement**)，可在保存测量文件中包括其曲线颜色设置。为平均值使用较粗的曲线(**Use thicker traces for averages**)，将会在多曲线图像(Overlays)或者测量值缩略图中使用较粗的线条来绘制基于其它测量平均得到的测量结果。在多曲线图像中使用虚线(**Use dashed traces on overlays**)，将在多曲线图像中使用不同的线型来帮助区分不同的曲线。

频率轴预设(**Freq axis preset**)1和2是出现在图表上的按钮，通过预设按钮在两个频率范围之间快速切换。

默认颜色(**Default Colours**)设置曲线默认颜色，也可重置为REW默认值。将鼠标悬停在颜色按钮上时，会显示该颜色的R、G、B值。默认的颜色设置会被REW记住，并在下次启动时保持设置。

更改默认颜色不会改变已加载的任何测量值的曲线颜色。要更改现有测量的颜色，请使用测量面板上的曲线颜色按钮，或在颜色选择器面板中点击将所有曲线颜色设置为默认值(**Set all trace colours to defaults**)。

界面(Interface)

显示工具栏按钮下的文本(Show toolbar text labels)，取消选中该选项，可隐藏工具栏文字标签。图像按钮下的文本可以通过取消选中**显示图像按钮文本标签(Show graph button text labels)**以隐藏。在**缩略图上显示网格(Show grid on thumbnails)**选项用于控制是否显示测量缩略图中的网格。

显示工具栏(Show toolbar)用于控制工具栏是否显示在菜单下方。在低分辨率屏幕上隐藏工具栏，可以获得更大主图像区。

测量值数量上限(Maximum measurements)，决定可以在REW中加载的最大测量数量。对此数值的更改，需要重启REW软件才能生效。请注意，如果该数值设置较高，REW可能会耗尽内存，如果发生这种情况，则可以在安装期间更改REW启动时的内存请求量，或者在REW程序目录中使用-Xmx选项更改vmoptions文件，默认情况下REW使用-Xmx1024m。更改该文件需要管理员权限，可将其复制到用户可访问的目录，进行编辑后再使用管理员权限将其复制到原目录下。

根据显示器DPI缩放字体(Scale fonts for display DPI)控制是否根据屏幕分辨率（以每英寸点数为单位）调整字体大小。只有当分辨率超过96 DPI时，字体才会缩放。此选项在macOS上不存在，macOS中的缩放是自动的。在Windows系统中，需要开启高DPI缩放替代(High DPI scaling override)并设置为应用程序(Application)，此设置才能生效。可以通过右键单击REW快捷方式，选择属性，然后选择兼容性选项卡，然后单击更改高DPI设置按钮进行设置。

一般字体大小(General font size)是REW的基本字体大小（以点为单位）。**图像字体大小(Graph font size)**是用于图像轴的字体大小。这些设置需要重启REW软件后才生效。

阻断声卡报错(Suppress soundcard errors)，可以停止REW在启动时出现无法访问声卡的报错或警告。如果REW仅仅是用于分析测量值而没有连接声卡用于测量，勾选此选项或许会有帮助。

使用深色背景(Use dark background)将颜色方案从浅色更改为深色。重新启动REW可更新所有组件的颜色。

满刻度正弦RMS为0 dBFS，该选项决定满刻度正弦波的RMS电平显示为0 dBFS还是-3.01 dBFS。如果勾选此选项，则RMS电平值可能大于0 dBFS。某些信号类型（例如，满刻度方波）的RMS电平为 + 3.01 dBFS。

在应用了频变时间窗的测量名中显示 **[FDW](Show [FDW] in name if used)**，勾选此选项，则会在应用了频变时间窗的测量名称中包含 **[FDW]**。

距离单位(Distance unit)，选择距离的单位是米或是英尺。

删除未保存的测量需要确认(Confirm unsaved measurement removal)，如果您试图删除自上次修改以来尚未保存的测量值，REW将要求确认。此设置也可以从删除确认对话框中更改。

声速(Speed of sound)设定，会影响距离-时间换算、计算模态共振等。默认值为343.0 m/s（20 °C干燥空气中的声速近似值）。

使用macOS文件对话框(Use macOS file dialogs)，会将文件选择对话框更改为更类似于macOS系统的文件选择器的格式，但请注意，macOS选择器没有REW用来显示mdat、req、校准数据和图像文件的预览面板。

不显示欢迎消息(Don't show the welcome message)，控制REW在启动时是否显示欢迎消息。

保持声压计在上方(Keep SPL Meter on top)、**保持电平表在上方(Keep SPL Meters on top)**和**保持信号发生器在上方(Keep signal generator on top)**，分别控制这些窗口是否停留在其他窗口之上。

显示相位缠绕线(Show phase wrap lines)，将会以虚线连接相位曲线的缠绕点。

在缩略图中显示测量电平(Show measurement level on thumbnails)，会在测量的缩略图中显示测量时的信号电平。

使用AZERTY键盘(Using AZERTY keyboard)，是macOS上提供的一个选项，用于解决快捷键映射不正确的Java错误 (JDK- 8019498)。

键盘快捷键(Keyboard Shortcuts)

注意：在macOS上使用快捷方式，**Cmd**相当于**Ctrl**，**Option**相当于**Alt**。

按功能分组	
按键	功能
F1	显示帮助
F2	显示选定项目的帮助
Ctrl + M	测量响应
Ctrl + N	显示信息面板
Ctrl + S	保存测量
Ctrl + O	打开测量文件
Ctrl + Shift + S	保存所有测量
Ctrl + Alt + O	打开滤波器设置文件
Ctrl + Alt + S	保存滤波器
Ctrl + Alt + R	导出RT60数据
Ctrl + I	导入测量数据
Ctrl + Alt + I	导入阻抗测量
Ctrl + Shift + I	导入脉冲响应
Ctrl + Shift + U	导入音频数据
Ctrl + Shift + N	导入扫频记录
Ctrl + Backspace	删除当前测量
Ctrl + Shift + Backspace	删除所有测量
Ctrl + Shift + K	显示房间模拟器
Ctrl + Shift + L	显示电平表
Ctrl + Shift + M	显示声压计
Ctrl + Shift + O	显示声压级记录器
Ctrl + Shift + P	显示TS参数窗口
Ctrl + Shift + Q	显示均衡器面板

Ctrl + Shift + R	显示信号发生器
Ctrl + Shift + C	显示示波器
Ctrl + Shift + T	显示RTA
Ctrl + Shift + V	显示多曲线窗口
Ctrl + Shift + W	显示脉冲响应时间窗面板
Ctrl + Shift + E	显示首选项
Ctrl + F	从设备读取滤波器设置
Ctrl + Shift + F	将滤波器设置发送到设备
Ctrl + Delete	为当前测量重置滤波器
Ctrl + Left	选择上一个图像组
Ctrl + Right	选择下一个图像组
Ctrl + 1	选择第一个图像组
Ctrl + 2	选择第二个图像组
Ctrl + 3	选择第三个图像组
Ctrl + 4	选择第四个图像组
Ctrl + 5	选择第五个图像组
Ctrl + 6	选择第六个图像组
Ctrl + 7	选择第七个图像组
Ctrl + 8	选择第八个图像组
Ctrl + 9	选择第九个图像组
Ctrl + Shift + G	显示网格
Ctrl + Shift + A	频率轴对数/线性
Ctrl + Z	撤消缩放
Ctrl + Alt + F	图像匹配数据
Ctrl + Shift + 1	应用1/1倍频程平滑
Ctrl + Shift + 2	应用1/2倍频程平滑
Ctrl + Shift + 3	应用1/3倍频程平滑
Ctrl + Shift + 6	应用1/6倍频程平滑

Ctrl + Shift + 7	应用1/12倍频程平滑
Ctrl + Shift + 8	应用1/24倍频程平滑
Ctrl + Shift + 9	应用1/48倍频程平滑
Ctrl + Shift + X	应用可变平滑
Ctrl + Shift + Y	应用心理声学平滑
Ctrl + Shift + Z	应用ERB平滑
Ctrl + Shift + 0	去除平滑 (请参见下面的注释)
Ctrl + Shift + J	将图像另存为JPEG
← → ↑ ↓	移动图像光标
Shift + ← → ↑ ↓	移动图像
X	水平缩小
Shift + x	水平放大
Y	垂直缩小
Shift + y	垂直放大
Alt + 1	选择测量1
Alt + 2	选择测量2
Alt + 3	选择测量3
Alt + 4	选择测量4
Alt + 5	选择测量5
Alt + 6	选择测量6
Alt + 7	选择测量7
Alt + 8	选择测量8
Alt + 9	选择测量9
Alt + UP	选择上一个的测量
Alt + DOWN	选择下一个测量
Alt + A	平均全声压级图中的响应
Alt + B	在RTA窗口中保存两者(峰值和当前值)
Alt + C	显示图像捕获对话框

Alt + D	在RTA窗口中切换失真显示按钮
Alt + G	生成衰减图或瀑布图
Alt + N	在RTA窗口中打开步进式正弦波对话框
Alt + O	在RTA窗口中打开WAV文件
Alt + P	在RTA窗口中保存峰值
Alt + R	在RTA窗口重置平均
Alt + S	在RTA窗口中保存当前
Alt + T	启动/停止RTA
Alt + Z	脉冲图中的光标处设置t = 0

注意：在macOS上使用快捷方式，**Cmd**相当于**Ctrl**，**Option**相当于**Alt**。

根据按键顺序排列	
按键	功能
Alt + 1	选择测量1
Alt + 2	选择测量2
Alt + 3	选择测量3
Alt + 4	选择测量4
Alt + 5	选择测量5
Alt + 6	选择测量6
Alt + 7	选择测量7
Alt + 8	选择测量8
Alt + 9	选择测量9
Alt + UP	选择上一个测量
Alt + DOWN	选择下一个测量
Alt + A	平均全声压级图中的响应
Alt + B	在RTA窗口中保存两者
Alt + C	显示图像捕获对话框
Alt + D	在RTA窗口中切换失真按钮
Alt + G	生成衰减图或瀑布图

Alt + N	在RTA窗口中打开步进式正弦波对话框
Alt + O	在RTA窗口中打开WAV文件
Alt + P	在RTA窗口中保存峰值
Alt + R	在RTA窗口重置平均
Alt + S	在RTA窗口中保存当前
Alt + T	启动/停止RTA
Alt + Z	脉冲图中的光标处设置t = 0
Ctrl + LEFT	选择上一个图像组
Ctrl + RIGHT	选择下一个图像组
Ctrl + 1	选择第一个图像组
Ctrl + 2	选择第二个图像组
Ctrl + 3	选择第三个图像组
Ctrl + 4	选择第四个图像组
Ctrl + 5	选择第五个图像组
Ctrl + 6	选择第六个图像组
Ctrl + 7	选择第七个图像组
Ctrl + 8	选择第八个图像组
Ctrl + 9	选择第九个图像组
Ctrl + F	从设备导入滤波器设置
Ctrl + I	导入测量数据
Ctrl + M	测量响应
Ctrl + N	显示信息面板
Ctrl + O	打开测量
Ctrl + S	保存测量
Ctrl + Z	撤消缩放
Ctrl + Alt + F	图像匹配数据
Ctrl + Alt + I	导入阻抗测量
Ctrl + Alt + O	打开滤波器文件

Ctrl + Alt + R	导出RT60数据
Ctrl + Alt + S	保存滤波器
Ctrl + Backspace	删除当前测量
Ctrl + Delete	为当前测量重置滤波器
Ctrl + Shift + 0	去除平滑 (请参见下面的注释)
Ctrl + Shift + 1	应用1/1倍频程平滑
Ctrl + Shift + 2	应用1/2倍频程平滑
Ctrl + Shift + 3	应用1/3倍频程平滑
Ctrl + Shift + 6	应用1/6倍频程平滑
Ctrl + Shift + 7	应用1/12倍频程平滑
Ctrl + Shift + 8	应用1/24倍频程平滑
Ctrl + Shift + 9	应用1/28倍频程平滑
Ctrl + Shift + A	频率轴对数/线性
Ctrl + Shift + C	显示范围
Ctrl + Shift + E	显示首选项
Ctrl + Shift + F	将滤波器设置发送到设备
Ctrl + Shift + G	显示网格
Ctrl + Shift + I	导入.pcm脉冲响应
Ctrl + Shift + J	将图像另存为JPEG
Ctrl + Shift + K	显示房间模拟器
Ctrl + Shift + L	显示电平表
Ctrl + Shift + M	显示声压计
Ctrl + Shift + N	导入扫频记录
Ctrl + Shift + O	显示声压级记录器
Ctrl + Shift + P	显示TS参数窗口
Ctrl + Shift + Q	显示均衡器面板
Ctrl + Shift + R	显示信号发生器
Ctrl + Shift + S	保存所有测量

Ctrl + Shift + T	显示RTA
Ctrl + Shift + U	导入音频数据
Ctrl + Shift + V	显示多曲线窗口
Ctrl + Shift + W	显示脉冲响应窗口面板
Ctrl + Shift + X	应用变量平滑
Ctrl + Shift + Y	应用心理声学平滑
Ctrl + Shift + Z	应用ERB平滑
Ctrl + Shift + Backspace	删除所有测量
← → ↑ ↓	移动图像光标
Shift + ← → ↑ ↓	移动图像
X	水平缩小
Shift + x	水平放大
Y	垂直缩小
Shift + y	垂直放大

请注意，在Windows Vista和Windows 7中，Ctrl+Shift+0在默认情况下，该快捷方式指定为切换输入语言，请参见[Http://support.microsoft.com/kb/967893](http://support.microsoft.com/kb/967893)。要去除平滑，请使用图像菜单条目或图像控制中的平滑框，或者再次按平滑快捷方式：例如，按Ctrl+Shift+3将数据平滑到1/3倍频程，再次按下它将去除平滑。

在Vista和Windows 7上，可以通过以下步骤删除快捷键分配：单击开始，然后单击控制面板。双击“区域和语言”。单击键盘和语言，然后单击更改键盘。单击“高级键盘设置”，在输入语言之间进行选择，然后单击“更改按键顺序”。对于“切换输入语言”和“切换键盘布局”，选择“未指定”，单击“确定”。然后单击“应用”，然后单击“确定”。

在Windows 8上，操作顺序是控制面板 → 语言 → 高级设置 → 更改语言栏热键。在高级按键设置选项卡上，选择输入语言之间的操作，然后单击更改按键顺序，然后在弹出对话框的切换键盘布局列中选择“不分配”。单击应用，然后单击OK。

文件菜单(File Menu)

保存测量(Save measurement) Ctrl + S

以二进制格式保存当前测量值，扩展名为“.mdat”。文件路径会被记住，以便下次出现该对话时快速索引文件。

打开测量(Open measurement) Ctrl + O

从.mdat文件加载测量。文件路径会被记住，以便下次出现该对话时快速索引文件。也可以直接将.mdat文件拖拽到REW主窗口来打开。

保存所有测量(Save all measurements) Ctrl + Shift + S

将所有测量值的数据保存在扩展名为“.mdat”的单个文件中。可以给文件添加注释，注释信息将在下次打开文件时显示。文件路径会被记住，以便下次出现该对话时快速索引文件。

删除加载自...的测量值 Remove measurements loaded from...

删除列表中从某个文件路径加载的所有测量。

保存滤波器(Save filters) Ctrl + Alt + S

以二进制格式保存当前测量值的EQ滤波器设置，扩展名为“.req”，可以给滤波器文件添加注释，注释信息会在下次打开时显示。文件路径会被记住，以便下次出现该对话时快速索引文件。

打开滤波器(Open filters) Ctrl + Alt + O

为当前测量值加载一组.req滤波器，将显示保存.req时的注释信息。如果.req文件有多个滤波器组，会弹出一个选择框来选择要加载滤波器的组合。也可以直接将.req文件拖拽到EQ窗口或EQ滤波器窗口来打开它们。

导入频率响应(Import frequency response) Ctrl + I

导入频率响应数据，包括声压计(SPL)响应和阻抗响应（后缀名为.zma），用于导入来自其他应用程序或加载以文本格式保存的频率响应数据。见[导入测量数据](#)章节，了解详细信息。文件路径会被记住，以便下次出现该对话时快速索引文件。

导入阻抗测量(Import impedance measurement) Ctrl + Alt + I

从其他应用程序导入以文本格式保存的阻抗测量数据。见[导入测量数据](#)章节，了解详细信息。文件路径会被记住，以便下次出现该对话时快速索引文件。

导入脉冲响应(Import impulse response) Ctrl + Shift + I

从WAV文件、AIFF文件、TXT文件或.pcm文件（原始数据）中导入脉冲响应。.pcm文件(原始数据)可由ETF软件的全频测量记过生成，通过文件 → 将脉冲写入为 *.pcm选项实现。生成.pcm文件时必须为手动指定采样率，因为文件本身不包含采样率信息（ETF在导出响应后出现的弹出窗口中会显示采样率）。TXT文件可以是REW导出的IR文本、COMSOL模型文件或IR文件，格式为2列，时间单位为ms，文件开头为“%”注释行。WAV和AIFF文件可以是单声道、立体声或多声道，加载文件时选择要导入的声道。支持具有16、24或32位带符号的PCM样本和32位或64位浮点样本的文件。仅前1,024,576个样本会被导入。如需调整频率响应的SPL偏移以达到所需的SPL峰值，可以在脉冲图组控制中的缩放响应(Scale Response)功能实现。在分析首选项中，可以设置导入的脉冲t = 0位于第一个数据样本或脉冲响应的峰值。导入文件路径会被记住，以便下次出现该对话时快速索引文件。也可以直接将WAV, AIFF和.pcm文件拖拽到REW主窗口来打开。**注意，话筒/声压计校准、声卡校准和C计权补偿不会被应用于导入脉冲响应。**

导入音频数据(Import audio data) Ctrl + Shift + U

从WAV或AIFF文件导入音频数据。支持具有16、24或32位带符号的PCM样本和32位或64位浮点样本的文件。仅导入前60s（近似）。文件路径会被记住，以便下次出现该对话时快速索引文件。

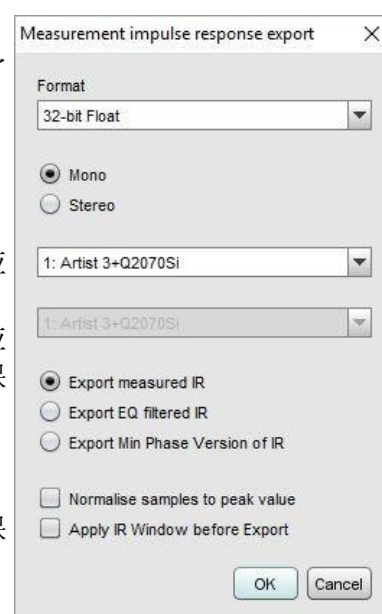
导入扫频录制(Import sweep recordings) Ctrl + Shift + N

可从WAV或AIFF文件导入扫频激励和录制的响应，从而进行离线测量。支持具有16、24或32位带符号的PCM样本和32位或64位浮点样本的文件。扫频激励文件必须通过V5.19 beta 7或更高版本的REW信号发生器的测量扫频来生成并保存。文件路径会被记住，以便下次出现该对话时快速索引文件。



将脉冲响应导出为WAV(Export impulse response as WAV)

导出测得的脉冲响应为WAV格式，可写成单声道或立体声数据。导出的文件的最短持续时间为1秒。该对话框提供选项来选择导出测量的IR、应用了EQ滤波器的IR或IR的最小相位版本。可以选择对响应进行归一化(Normalise)，以便峰值为单位值(0 dBFS)。还有一个选项，决定导出响应之前是否应用当前脉冲响应的时间窗设置。样本格式可以选择为16、24或32位带符号的PCM或32位浮点。如果使用数据的应用程序可以接受浮点格式，则推荐使用浮点，特别在没对响应做归一化时。如果没有应用脉冲响应时间窗，则导出响应的峰值发生在起始样本后1秒。如果应用了脉冲响应时间窗，导出的起始样本为时间窗内的第一个样本，峰值位置取决于脉冲响应时间窗设置。这种方法对于使用时间参考捕获的脉冲响应，可以在导出时保持其相对的时间参考：保持当前响应的时间窗参考时间(Ref Time)和左侧窗(Left Window)时间不变，如果不希望时间窗改变脉冲数据，则使用矩形窗(rectangular)。如此，导出的脉冲响应在左侧窗的开始处开始，相当于导出脉冲和当前脉冲的绝对起始位置一样，所以当前脉冲的相对参考时间将被保留下来。



将所有脉冲响应导出为WAV(Export all impulse responses as WAV)

以WAV格式导出所有当前测量脉冲响应。

导出滤波器脉冲响应为WAV(Export filters impulse response as WAV)

将当前测量的滤波器脉冲响应导出为WAV格式，写入为单声道或立体声数据，脉冲响应从文件中的第一个样本开始。响应长度为128k样本 (131,072)。导出对话框中可选择采样率、样本格式以及是否将响应标准化，以便峰值为单位值 (0 dBFS)。如果使用该数据的应用程序可以接受浮点格式，建议使用32位浮点，特别是如果响应没有归一化。导出为立体声时，选定的第一个响应放置在左声道中，第二个放置在右声道中。

将滤波器设置导出为文本(Export filter settings as text)

以纯文本格式导出当前测量值的EQ滤波器设置。该文件包括用于测量的扬声器设置和目标电平。此文件格式仅为提供一点便利，REW无法从文本文件加载滤波器设置。请使用.req格式以保存和加载滤波器设置。下次出现对话框时会记住导出文件的路径。格式的示例如下所示。

```

Filter

Settings

file Room EQ

V4.00
Dated: 07-Jan-2007 17:20:32

Notes:Example filter settings

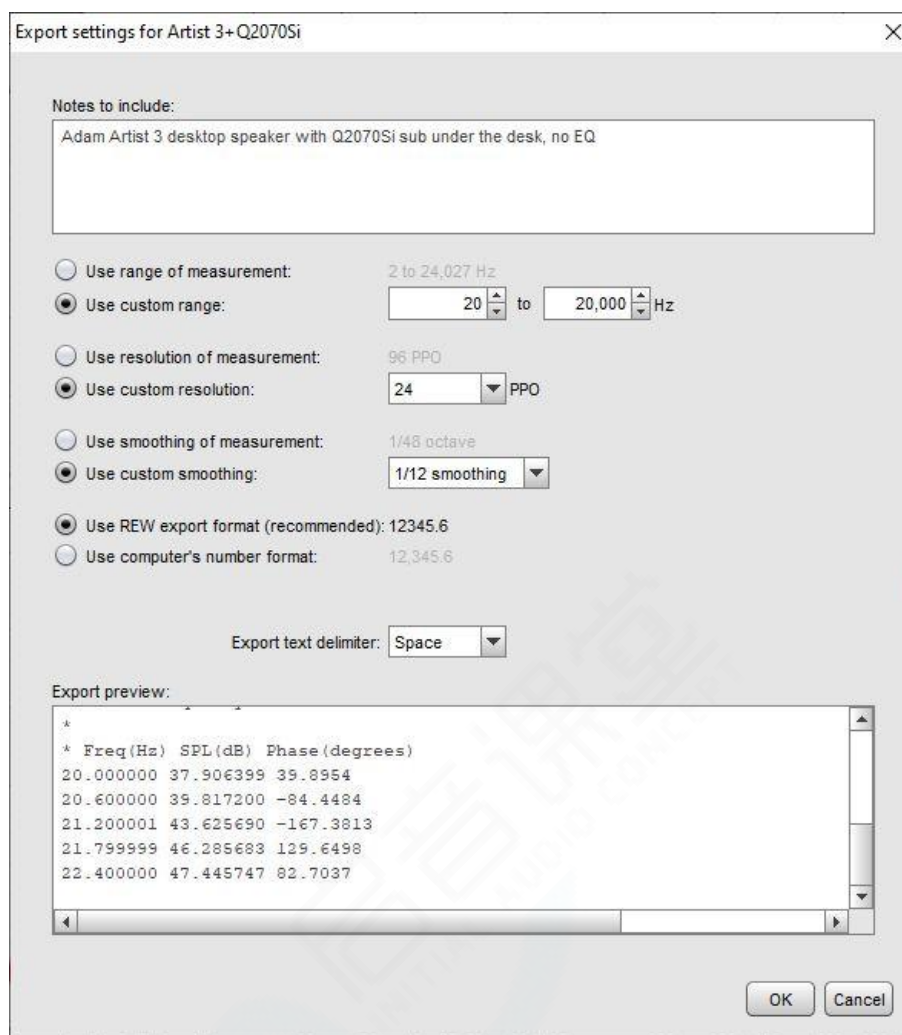
Equaliser:
DSP1124P
sampledata.t
xt

Bass limited 80Hz 12dB/Octave
Target level: 75.0dB
Filter 1: ON PA Fc 129.1Hz ( 125 +2 ) Gain -18.5dB BW/60 4.0
Filter 2: ON PA Fc 36.8Hz ( 40 -7 ) Gain -15.5dB BW/60 10.0
Filter 3: ON PA Fc 99.1Hz ( 100 -1 ) Gain -3.5dB BW/60 1.0
Filter 4: ON None
Filter 5: ON None
Filter 6: ON None
Filter 7: ON None
Filter 8: ON None
Filter 9: ON None
Filter 10: ON None
Filter 11: ON None
Filter 12: ON None

```

将测量导出为文本 (Export measurement as text)

将当前的测量数据导出为文本文件。该文件包含测量设置。可以使用导入测量数据重新加载这些文本文件。下次出现对话框时会记住该文件的路径。选择菜单项后，将出现一个导出设置对话框，其中可输入注释并控制导出功能。



使用测量的频率范围(Use range of measurement)，则按照测量的频率范围来导出；使用自定义范围(Use customer range)，则可以自行设定导出的频率范围，如果所设的起止频率超出测量的频率范围，则只会导出二者重叠的范围。使用测量分辨率(Use resolution of measurement)，会以测量分辨率导出数据。如果在软件的分析首选项中勾选了**允许96点每倍频程对数间隔(Allow 96 PPO log spacing)**，则测量的分辨率为96PPO对数间隔，否则其分辨率为线性间隔的FFT分辨率。线性间隔导出的文件尺寸会很大，通常超过1 MB。如果选择了自定义导出分辨率(对数间隔)，REW会选择尽可能接近所设定的开始频率作为开始频率，以此确保导出的频率包括标称倍频程中心(如20Hz, 40Hz等)。使用对数导出时应设置平滑，如果为所选输出分辨率选择的平滑不足，对话框将发出警告。导出可以使用当前应用于测量的任何平滑，或者从对话框中选择任何其它平滑(该设定不会改变REW中测量的平滑，仅对导出的数据进行平滑处理)。默认情况下，REW的导出数字格式使用点作为小数分隔符且不作数字分组，以后续的数据包导入。而勾选**使用计算机的数字格式(Use computer's number format)**，将意味着将使用运行REW的计算机的数字格式。对话框的下方还可以选择导出值之间的分隔符(Export text delimiter)，这与导出菜单中提供的选项相同。对话框还显示了导出数据的预览，包括数据的前几行。该格式与.FRD格式兼容。注释行以 * 开头，数据栏第一列为频率，其后是SPL值(单位为dB)，最后是相位值(单位为度，如果测量没有相位信息，则为0.0)。

将所有测量导出为文本(Export all measurements as text)

将所有加载的测量数据作为文本文件导出到选定的目录中。文件名使用测量标题。导出设置对话框与导出单个测量的对话框相同，设置将应用于所有文件。输入的注释将出现在所有导出文件中，随后是每个测量的个别注释。

将测量导出为MLSSA.frq (Export measurement as MLSSA .frq)

将测量导出为MLSSA.frq格式。下次出现对话框时会记住该文件的路径。

将失真数据导出为文本 (Export distortion data as text)

将当前测量的失真数据导出为文本文件。将弹出如下对话框来控制导出的内容和格式

Distortion Data Export

Measurement: Artist 3+Q2070Si

Selected Items All Data

Fundamental THD H2 H3 H4 H5 H6 H7 H8 H9 H10

THD Freq. Span: 10 to 11,916 Hz Set end frequency for highest harmonic

Start Frequency: 10 End Frequency: 11,916

Points per Octave: 24 Distortion Format: Percent

Data Rows: 246

Export text delimiter: Space

Use REW export number format: 12345.6

Use computer's number format: 12,345.6

Note:

Preview:

* Freq(Hz)	Fundamental (dB)	THD (%)
10.000	0.000	4.50
10.293	0.000	6.24
10.596	0.000	7.60
10.906	0.000	8.02
11.225	0.000	8.58
11.554	0.000	10.4
11.892	0.000	13.6
12.241	0.000	17.3
12.599	0.000	20.4

OK Cancel

文件格式的示例如下所示。注释行以 * 开头。数据栏的第一列是频率（对于步进正弦测量，第一列是步进电平，即信号发生器电平）；然后基波声压级（如果选择了导出基波），以dB为单位；然后是选择要输出的失真测量结果。如果失真数据按照基波做了归一化，则基本数据将为0 dB。请注意，如果输出的结束频率没有配置为自动调整以适应所选的最高谐波，则每个数据列上的谐波数量将随着频率的增加而减少，最终只留下二次谐波和总谐波失真值(THD)。

```
* Distortion data saved by REW V5.01
* Dated: 16-Sep-2012 18:52:27
* Measurement: Sep 16 18:52:27
* Frequency Step: 3 ppo
* Freq(Hz) Fundamental (dB) THD (%) H2 (%) H3 (%) H4 (%) H5 (%) H6 (%) H7 (%) H8 (%) H9 (%)
H10 (%)
20.000 76.068 0.016 0.014 0.002 0.001 0.004 0.003 0.001 0.002 0.002 0.001
25.198 76.133 0.011 0.008 0.000 0.001 0.001 0.006 0.001 0.001 0.001 0.003
31.748 76.181 0.015 0.013 0.002 0.002 0.002 0.001 0.002 0.005 0.001 0.001
40.000 76.215 0.014 0.013 0.001 0.003 0.001 0.002 0.002 0.001 0.003 0.001
```

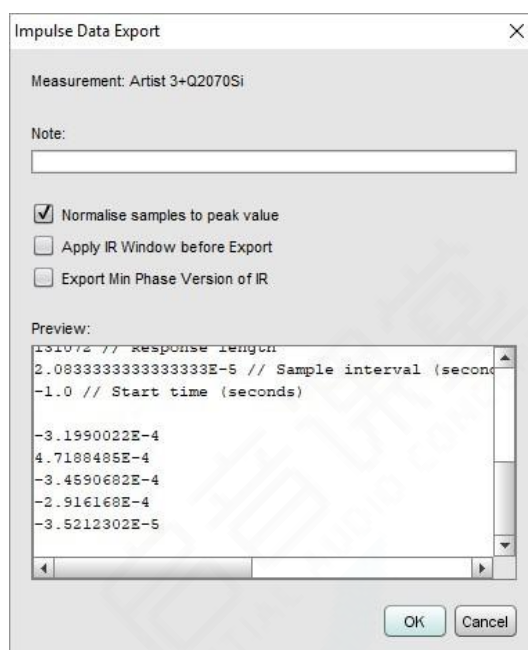
将失真频谱数据导出为文本 (Export distortion spectrum data as text)

如果运行了包含频谱数据的步进式正弦波测量，此选项将当前测量的失真频谱数据导出为文本文件。导

出在步进正弦测量中每个测试频率捕获的频谱和底噪的数据。频谱数据以对数间隔，每个数据点的频率包含在每行的开头。数据头包括测量中的频率步长。 请注意，导出的频谱数据不应用于尝试和计算失真水平，因为它没有足够的频率分辨率来准确计算每个谐波中的能量。

将脉冲响应导出为文本 (Export impulse response as text)

将当前测量的脉冲响应数据导出为文本文件。在弹出对话框中可以添加注释(Note)，此处添加的注释将会显示在导出预览中，并在下次加载数据是显示。导出文件包含扬声器设置、目标级别和测量设置。下次出现对话时会记住导出文件的路径。



格式的示例如下所示：

```
Impulse Response data saved by
REW V5.19 IR is normalised
IR window has not been
applied IR is not the
min phase version
Source: Microphone (Umik-1 Gain: 0dB ), MICROPHONE (Master Volume), Right channel,
volume: 0.550 Dated: 05-May-2014 14:12:40
Measurement: Artist 3+Q2070Si
Excitation: 256k Log Swept Sine, 1 sweep at -
12.0 dB FS Response measured over: 2.2 to
24,000.0 Hz

4.33353241533041E-4 // Peak value before
normalisation 48000 // Peak index
131072 // Response length
2.0833333333333333E-5 // Sample interval (seconds)
-1.0 // Start time (seconds)

-
3.1
990
```

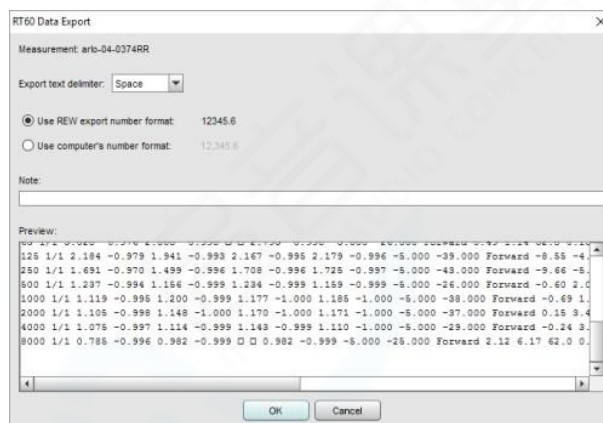
022
E-4
4.7
188
485
E-4
-3.4590682E-4
-2.916168E-4
-3.5212302E-5

将所有脉冲响应导出为文本 (Export all impulse responses as text)

将所有加载测量的脉冲响应导出为选定目录中的文本文件。文件名使用测量标题。显示的设置对话框与导出单个脉冲响应相同，设置将应用于所有文件。

将RT60数据导出为文本 (Export RT60 data as text)

将当前测量的RT60数据导出为文本文件。可以在导出对话框中添加注释。该文件包括倍频程和1/3倍频程结果（如果有生成的话）。下次出现对话时会记住该文件的路径。将显示一个对话框来控制导出的格式



导出 → 设置文本分隔符 (Export → Set text delimiter)

此处设置在将测量导出为文本文件时，一行数据中各个数值之间的分隔符，选项包括空格(Space)、逗号(Comma)、制表符(Tab)和分号(Semicolon)。

删除当前测量 Ctrl + Backspace

删除当前测量。对于未保存的测量可以使用还原上次删除(Restore last removed)来恢复。

删除所有测量 Ctrl + Shift + Backspace

删除所有测量。无法恢复未保存的测量值！

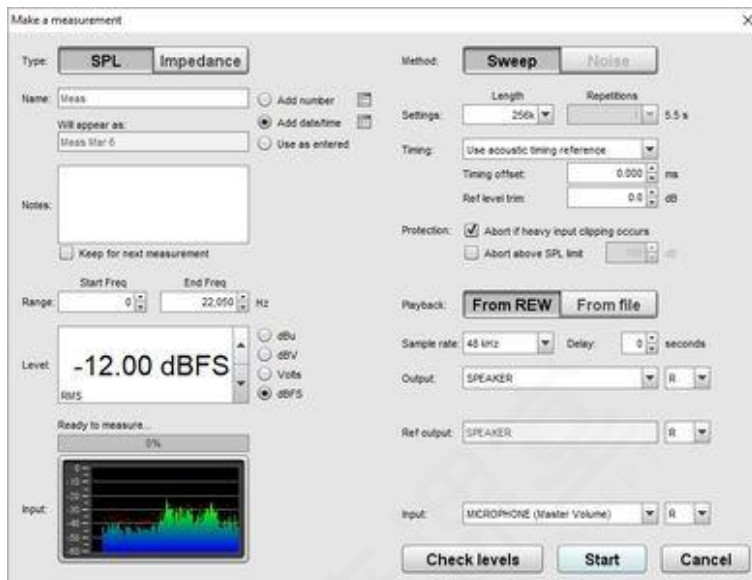
还原上次删除 (Restore Last Removed)

恢复上次删除的测量，将其放在测量列表的末尾。请注意，这仅适用于被删除的单个测量，对于删除所有测量无效(Remove All Measurements)。

工具菜单 (Tools Menu)

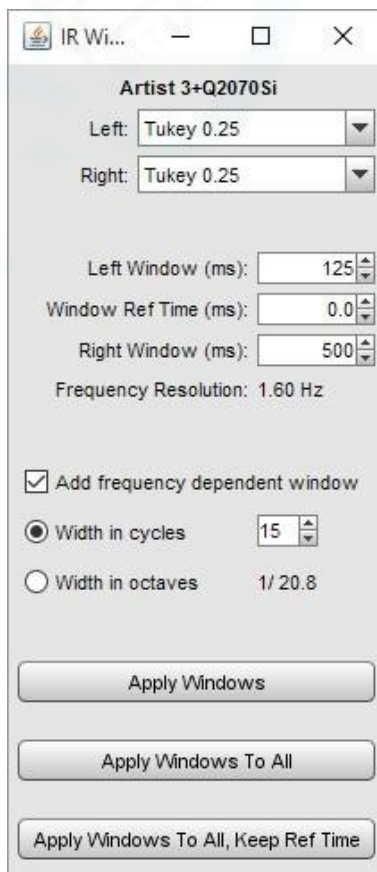
测量(Measure) Ctrl + M

进行新的测量，调出测量对话框



脉冲响应时间窗(IR Window) Ctrl + Shift + W

显示脉冲响应时间窗(IR Window)对话框



声压计(SPL meter) Ctrl + Shift + M

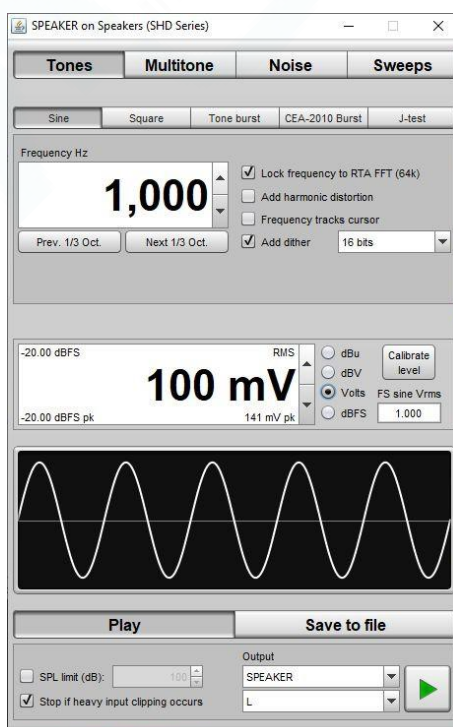
显示声压计

**声级记录仪(SPL logger) Ctrl + Shift + O**

显示声压级记录仪(SPL Logger)窗口

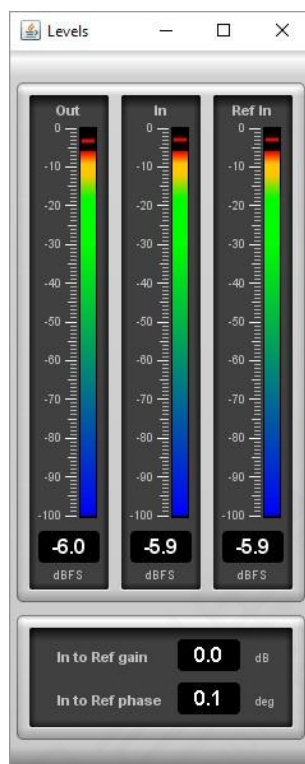
信号发生器(Generator) Ctrl + Shift + R

显示信号发生器



电平表(Level) Ctrl + Shift + L

显示电平表

**均衡器(EQ) Ctrl + Shift + Q**

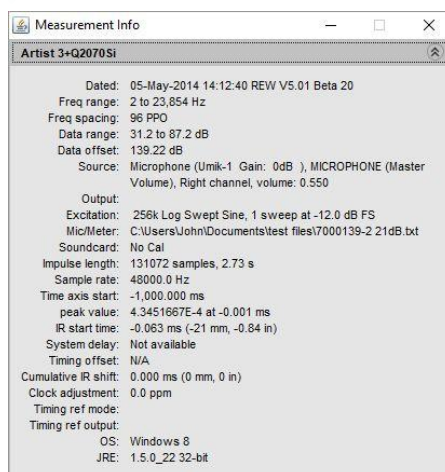
显示EQ窗口

多曲线(Overlays) Ctrl + Shift + V

显示多曲线(Overlays)窗口

信息(Info) Ctrl + N

显示测量信息(Measurement info)窗口

**实时分析仪(RTA) Ctrl + Shift + T**

显示RTA窗口

Thiele-Small参数 Ctrl + Shift + P

显示Thiele-Small参数窗口

房间模拟器(Room Sim) Ctrl + Shift + K

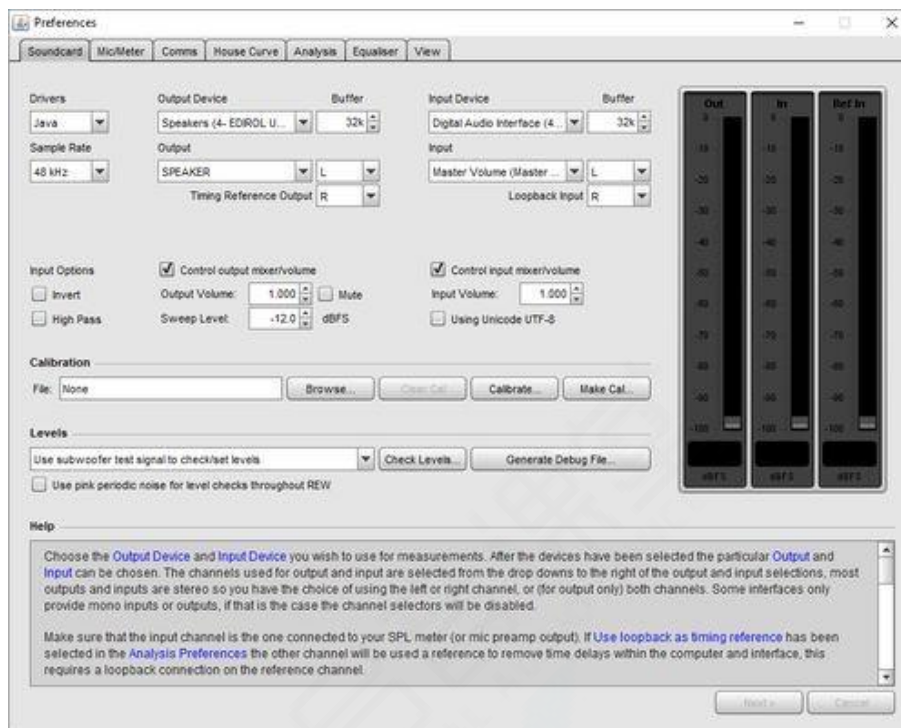
显示房间模拟器窗口



首选项菜单(Preferences Menu)

首选项(Preferences)

调出首选项面板。有关详细信息，请参阅各个首选项选项卡上的帮助面板。



删除首选项并关闭>Delete Preferences and Shut Down)

此命令删除所有REW保存的首选项设置并关闭REW。当REW下次启动时，它将恢复到刚安装时的“干净”状态。如果希望从系统中删除REW及所有首选项，请在卸载REW之前使用此命令。Windows上的首选项存储在HKEY_CURRENT_USER \ Software \ JavaSoft \ Prefs \ room eq wizard的注册表中。在macOS上，它位于用户主目录中的Library \ Preferences下一个名为roomeqwizard节点的.com.apple.java.util.prefs文件中。

将窗口大小设置为1024x720 (Set window size to 1024x720)

此命令将主REW窗口的大小调整为指定的大小。请注意，操作系统可能会指定的窗口尺寸稍作调整。

图像菜单(Graph Menu)

显示/隐藏网格(Show/Hide Grid) Ctrl + Shift + G

使用此菜单项或关联的快捷键打开/关闭隐藏网格。

频率轴对数/线性(Frequency Axis Log/Linear) Ctrl + Shift + A

在对数显示和线性显示之间切换频率轴。工具栏上的按钮提供相同的功能。



Freq. Axis

撤消缩放 (Undo Zoom) Ctrl + Z

恢复上次在图表区域中使用指针按下鼠标中键或鼠标右键时使用的图像轴设置。主要的应用程序是撤消最后一个可变缩放或缩放到区域操作，但它也可用于撤消平移或自上次在图像区域中按下鼠标右键后更改轴设置的任何其他操作。

图像匹配数据(Fit graph to data) Ctrl + Alt + F

设置图像轴以显示数据的完整频率跨度。图像边界中的**匹配数据(Fit to data)**按钮具有相同的效果。

1/1倍频程平滑 Ctrl + Shift + 1

1/2倍频程平滑 Ctrl + Shift + 2

1/3倍频程平滑 Ctrl + Shift + 3

1/6倍频程平滑 Ctrl + Shift + 6

1/12倍频程平滑 Ctrl + Shift + 7

1/24倍频程平滑 Ctrl + Shift + 8

1/48倍频程平滑 Ctrl + Shift + 9

可变平滑 Ctrl + Shift + X

心理声学平滑 Ctrl + Shift + Y

ERB平滑 Ctrl + Shift + Z

对当前通道应用平滑滤波器。重复该操作会去除平滑。可变平滑在低于100Hz应用1/48倍频程，高于10kHz应用1/3倍频程，并在100Hz - 10kHz之间则采用1/48-1/3倍频程之间变化，在1 kHz时达到1/6倍频程。对于要做均衡的响应，建议先使用变量平滑。心理声学平滑在100Hz以下使用1/3倍频程，在1 kHz以上使用1/6倍频程，在100Hz和1 kHz之间从1/3倍频程变化到1/6倍频程。它还通过使用立方平均值（立方值平均值的立方根）对峰值应用更多加权，以产生更接近感知频率响应的图像。ERB平滑使用与耳朵的等效矩形带宽(Equivalent Rectangular Bandwidth)相对应的可变平滑带宽，即 $(107.77f + 24.673)$ Hz，其中f以kHz为单位。在低频率，将作较大的平滑，在50Hz约1倍频程，在100Hz约1/2倍频程，在200Hz约1/3倍频程，高于1kHz约1/6倍频程。

去除当前测量的平滑(Remove Smoothing for Current Measurement) Ctrl + Shift + 0

将平滑设置为“无(None)”。请注意，在windows Vista和Windows 7中Ctrl + Shift + 0快捷方式在默认情况下，指定为切换输入语言，请参见[Http://support.microsoft.com/kb/967893](http://support.microsoft.com/kb/967893)。要去除平滑，请使用图像菜单条目或图像控制中的平滑框，或者再次按平滑快捷方式-例如，按Ctrl + Shift + 3将数据平滑到1/3倍频程，再次按下它将去除平滑。

帮助菜单(Help Menu)



显示帮助(Show Help) F1

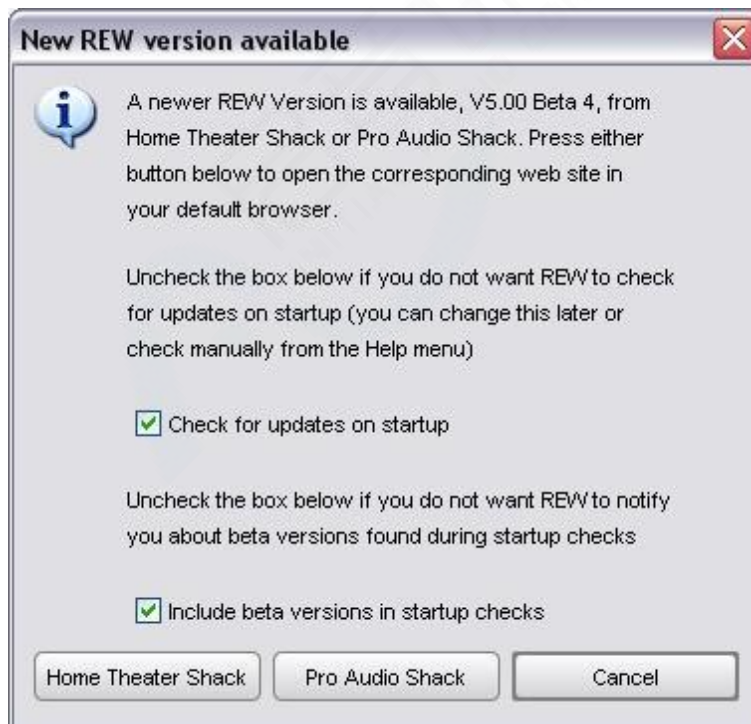
调出帮助窗口。

显示指定项目的帮助(Show Help on Item) F2

调出指定项目相关的帮助，该模式下鼠标光标旁有一个“？”，此时用单击鼠标，即可指定要调出帮助的项目。

在启动时检查更新 (Check for Updates on startup)

如果选择此选项，REW将在每次启动时检查更新的版本。



立即检查更新(Check for Updates Now)

强制手动检查新版本。

关于REW (在macOS下的应用菜单中)

显示“关于”对话框。

