



EASERA SysTune

1.1 版中文手册[®]

中國音響設計網

Developed by

AFMG Ahnert Feistel Media Group

The creators of EASE and EASERA

www.afmg.eu

译者前言

在专业音响技术领域，国内和国外目前还有很大的平均差距。XYCAD 文献译制组成立的愿望就是将国外有用的技术资料进行翻译整理，从而促进国内音响技术的共享和进步。XYCAD 文献译制组的成员都是国内各家公司的从业者，出于对音响技术的热爱，使得大家走到了一起。如果您也愿意加入我们的行列，我们的交流 QQ 群号为：113596147；或者访问我们的论坛 <http://www.xycad.com/bbs>。

随着数字信号处理和计算机技术的发展，像 Smaart、EASERA 之类的声场测试软件的应用已经越来越普及。Systune 是德国 AFMG 小组（声场分析软件 EASE 的开发小组）近年来推出的一款专门针对系统调试和测试用途的测试软件，它的很多功能在工程安装调试中都非常有用。为了方便学习，我们将该软件 1.1 版本的帮助文件译成了中文，仅供您参考。由于我们的水平有限，疏漏错误之处在所难免。本手册的翻译人员如下：

第一部分：胡志刚；

第二部分：徐贵鸿；

第三部分：毛林；

第四部分：韩宝杰；

第五部分：孙运雷；

第六部分：何民威。

校对：李玲玲、杨奇、孙运雷。

XYCAD 文献译制组

2011-6-10

自从 2007 年末面市以来，EASERA SysTune™受到了音响行业的广泛认可。很多用户对软件功能很满意，同时对后续的新功能非常期待。

与此同时，我们收集了来自这个领域的反馈信息，并开始着手一系列的更新，推出了 1.1 版本。它新提供了很多强大功能，比如，用于离线系统调试的虚拟 EQ、改善音乐和语言信号测量结果的 SSA™滤波器，以及 DSP 处理器控制软件等外部软件的接口插件等。另外，还增加了一个能够依照各地区健康规范对声压级进行监测的新模块，并增强了软件的编辑和处理功能，在图形显示功能的用户控制方面也有所改善。

从 SysTune 1.1 版开始，除基本版本外，我们还会提供增强型版本（PRO 版，也就是专业版）。它增加的功能并非日常工作所需，但适用于一些特定场合。其中包括阻抗测量、一些其它形式的噪声标准、简谐波显示、可使用声卡前 8 路以外的通道（1.0 版对 8 路以上的声卡，仅能使用固定的前 8 路进行测量）、以及保留测量录音以便日后分析等功能。

我们希望这此升级能使你的工作更轻松，同时也期待在日后的软件升级时都能得到你的支持。你的建议和想法对我们来说是很重要的，所以，如果，你想和我们分享你的建议和想法，请毫不犹豫地与我们联系。

AFMG 小组

Ahnert Feistel Media Group

德国柏林 Arkona 街 45-49 号

邮编 13189

网站: www.afmg.eu, www.easerasystune.com

Email: support@afmg.eu

ESAERA SysTune™是 AFMG 的最新的產品之一。ESAERA SysTune 并非只是室内声学测量软件 EASERA 的精简版那么简单，它是对 EASERA 软件在实时分析方面的补充和扩展。

特别的是，SysTune 的目标是针对所有需要进行声学测量和系统调试的用户，特别是在现场扩声方面。EASERA SysTune 提供了一些正在申请专利的、激动人心的新功能，当大家都把输入频谱和传输函数等频率图像作为标准显示方式时，SysTune 则凭借其实时脉冲响应显示和分析工具，给音频测量软件树立了一个新的基准。

SysTune 所采用的全世界独一无二的实时去积卷 (RTD™) 引擎，是目前最先进的技术。EASERA SYSTUNE 可以以很高的刷新率实时地处理长达 5-10 秒的脉冲响应数据，这在简化房间声学测量方面开启了一片新天。事实上，SYSTUNE 仅借助于一个参考信号和一个测试话筒，就可以直接测量那些正在使用中的场地的混响时间和语言清晰度参数，对于很多声学工作者来说，这一功能正是他们梦寐以求的。

另一方面，新开发的 TFC™窗 (Time-Frequency-Constant window, 时间-频率-常数窗)，以及加窗 (windowed) 后的传输函数和脉冲响应的同步查看功能，进一步增强了对系统各项测量结果的分析能力。无论对音响系统时域上的延时矫正，还是对频域上的均衡校调，都从未像 SYSTUNE 中如此简单。

EASERA SYSTUNE 另一个前瞻性的新功能，就是它可以同时处理多达 8 路输入信号，从而显示出场地的频谱和传输函数的平均值。尖端的 INTER 库文件、高性能多线程技术和手工编译优化，使得 SYSTUEN 即使在高负荷下也能实时刷新。

我们衷心希望您会喜欢这款新型测量工具。

AFMG 小组

Ahnert Feistel Media Group

德国柏林 Arkona 街 45-49 号

邮编 13189

网站: www.afmg.eu, www.easerasystune.com

Email: support@afmg.eu

SYSTUNE 的功能包括:

- 8 通道, 8kHz-192kHz 采样频率
- 可使用现场声音、粉红噪声、扫频信号或其它激励信号, 抓取实时数据, 并以很高的刷新率实时显示在时域和频域上
- 依靠一个信号通道和一个参考通道 (双通道 FFT), 以实时去卷积 (RTD™) 技术对脉冲响应和整体频率响应进行分析
- 实时脉冲响应、波形振幅、相位和群延迟显示。新开发的 TFC™时频常数窗可以详细分析早期声能到达情况
- 精确的实时摄谱显示, 可用于分析声反馈
- 可对多达 8 通道的输入频谱和频率响应进行平均值测量 (多通道 FFT)
- 最新的频谱选择性积累滤波器 (SSA™), 可以改善对语言和音乐信号的处理
- 虚拟均衡 (Virtual equalizer) 功能可以仿真出 DSP 处理后的效果
- 插件接口 (Plug-in interface) 可以在 SYSTUNE 界面中调用第三方软件 (比如 DSP 处理器编程控制软件)。
- 依照当地有关健康规范对声压级大小进行监视
- (脉冲响应) 数据的测量结果可以直接导入 EASERA 以及 EASERA Pro 中, 进行深入分析或其它后期处理
- 现场测算 RT 和 STI 值
- SPL、LEQ 和 NC 值测量; 历史声级图
- 使用实时脉冲数据, 通过相关性和脉冲响应稳定性显示, 可以快捷地进行扬声器时间差矫正
- 通过指针 (cursors) 和叠加图形 (overlays), 可以方便地对捕获的曲线进行对比
- 内置信号发生器, 可以产生标准 FFT 时长的对数扫频信号 (log-sweep) 和粉红噪声
- 支持 Windows Direct Sound、Wave/MME 以及 ASIO 音频驱动; EASERA Gateway 声卡接口; 多线程, 完全支持多核电脑

Pro 版的 SYSTUNE 增加了如下功能:

- 电流校准和阻抗测量
- 输入频谱的谐波计算

- 噪声标准 RC、RNC 和 NR
- 依据 IEC 60268-16 国际标准，计入 STI 信号和噪声掩蔽效应
- 通过通道映射，可以使用声卡中任意 8 路输入组合方式
- 改变曲线显示属性，诸如颜色、线宽和字体等
- 离线分析录音文件，和现场实时测量效果类似
- 高级虚拟 EQ 具备更多功能
- 对传输函数设置标准参考

设备要求

EASERA SYSTUNE 可以在 Windows 2000、Windows XP、Windows Vista 以及 Windows 7 的操作系统下运行，最小显示分辨率 960*720；建议分辨率 1024*768。不支持 Windows 95、98、NT 和 ME (Millennium)。

CPU 至少 1GHz，可用内存 (RAM) 至少 256MB (不算操作系统本身占用的)，硬盘可用空间至少 1GB 以上。CPU 推荐采用支持 Intel SSE 指令集的产品。

需要声卡一块。EASERA SYSTUNE 支持所有常规声卡，最大 8 路输入，位分辨率最大 32 bit，采样频率最高 192kHz。支持 Windows DirectSound、Wave 以及 ASIO 驱动，如果使用 2 路以上输入，需要采用 ASIO 驱动。1-2 个输入通道时，也可以使用 Direct Sound (MSDirectX) 或 Wave/MME 驱动 (MS windows Audio-API)。另参见 WWW.EASERASYSTUNE.COM 上的 AUDIO DEVICE INFORMATION VIEWER。

精密测量推荐采用 EASERA GATEWAY 高性能声卡。

软件支持

如果对软件的使用上有任何问题，请在本文档中搜索，并参阅相关章节所列出的参考书籍资料。另外，可以登陆我们专门的 EASERA SYSTUNE 网站 www.easerasystune.com，以及 AFMG 国际论坛 www.afmg-network.com，或者访问你所购买 EASERA SYSTUNE 的经销商的网站。

- 全球经销 Renkus-Heinz: www.renkus-heinz.com
- Bosch Security Systems 分销: www.boschsecurity.com
- 德国 AudioOne GmbH 分销: www.audioone.de

- ADA-Foundation gGmbH 的教育版: www.ada-foundation.com
- 版权所有人/生产商: SDA Software Design Ahnert GmbH: www.sda.de

EASERA SYSTUNE 的安装和注册

(内容略)



目 录

1、 简介.....	10
前言	
启动软件	
屏幕布局	
2. 单通道输入的测量.....	12
输入通道的选择	
2.1 时间信号 (TIME SIGNAL)	14
输入通道的校准	
调整视图范围	
2.2 输入频谱测量	
FFT 尺寸的选择	
一段时间内的平均值	
检查校准	
2.3 摄谱图.....	33
同步视图	
存储和调用视图	
3. 利用激励信号进行测量.....	38
3.1 激励信号	
选择一种激励信号	
激活输出通道	
频率响应测量	
3.2 测量信号的捕捉和对比.....	44
OVERLAY 的特性	
激活曲线	
保存, 删除和加载 OVERLAY	
测量结果的平均	
添加光标	
显示谐波	
4. Dual-FFT (双通道快速傅里叶变换) 测量.....	59
设置内部参考	
设置外部参考	
4.1. 测量传输函数.....	61
测量原理	
传输函数的计算	
实时去卷积 (RTD™)	
在 EASERA SysTune 中的传输函数	
4.2. 脉冲响应.....	68
故障排除	
脉冲响应测量	
扬声器之间的时间差矫正	
保存脉冲响应	
电平表	
4.3. 能量时间曲线.....	80
分析反射声	
4.4. 幅度.....	83
传输函数和脉冲响应之间的关系	
传输函数的幅度	
相关性 (Coherence) 和 IR (脉冲响应) 稳定性	
调整增益补偿 (Gain Offset)	
传输函数的平均	
导出图像中的数据	
窗口简介	

SysTune 中的“开窗”	
开窗选项 (windowing options) 和选项窗口 (options window)	
TFC 窗 (TFC Window™)	
加窗数据的处理	
4.5 相位.....	111
相位数据的意义	
利用相位图像进行时间差校正	
相位的平滑和包络	
5. 测量进阶.....	121
5.1 噪声级的测量	
噪声标准 NC (Noise Criteria)	
其它噪声标准 RNC, NR, RC Mark II	
5.2 SPL 和 LEQ 的测量.....	123
SPL 和 LEQ 的监视	
历史图	
健康条例插件	
5.3 采用多个信号通道的测量.....	133
改换声卡和驱动	
状态栏	
多通道测量	
输入通道映射 (Mapping Input Channel)	
5.4 混响时间和语言可懂度.....	140
混响时间 (Reverberation Time)	
语言可懂度	
扩展语言可懂度测量 (Extended Speech Intelligibility Measurements)	
5.5 使用语言和音乐信号进行测量.....	150
简单的噪声抑制工具	
频谱选择性累积 (SSA™) 滤波器	
SSA 滤波器的高级设置	
5.6 虚拟均衡 (Virtual EQ).....	158
使用虚拟均衡	
锁定合成数据包	
高级均衡 (Advanced EQ)	
5.7 插件 (Plug-Ins).....	165
使用 DSP 插件	
标准化插件 (Normalization Plug-In)	
5.8 阻抗.....	169
5.9 离线分析 (Off-Line Analysis)	
6. 其它	
6.1 菜单结构	
6.2 快捷键	
6.3 视口范围和图像格式	
默认视口和当前视口范围	
图像布局	
曲线属性	
6.4 故障排除指南	
测量图像参考	

程序指南

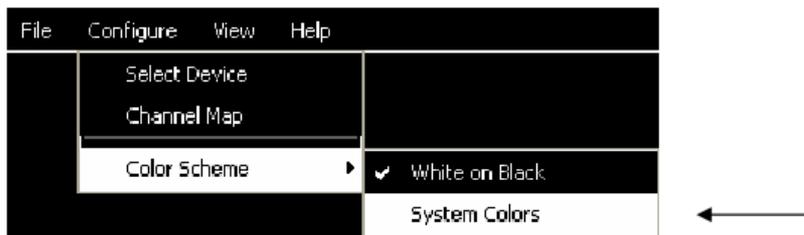
1、简介

前言

SYSTUNE 指南的这一部分里，逐步介绍了软件的所有重要功能以及它们在声学测量中的背景。如果您是首次使用 EASERA SYSTUNE 这类测量软件的话，我们建议您至少浏览一遍这些内容。高级用户在下面的练习中也能有新的收获，因为这个软件在现场音频测量的许多方面，都提供了全新的方式。

下面的章节中，我们假设软件刚刚安装完毕并工作在默认配置方式下。如果之前您已经使用过本软件，请先将配置数据重置，方法是通过 Windows 开始菜单—AFMG—EASERA SYSTUNE—EASERA SYSTUNE (USE DEFAULT SETTINGS) 启动程序。否则某些显示或计算结果可能会和本指南中的结果有所不同。

为了方便印刷，本教程没有使用 SYSTUNE 默认的黑底+高亮色显示的屏幕配色方式，而是使用了操作系统标准配色的屏幕显示。为了和我们教程中保持一致，进入软件中的 CONFIGURE (配置) 菜单下，在其子菜单 COLOR SCHEME (配色) 一项中，选择 SYSTEM COLORS (系统颜色)。



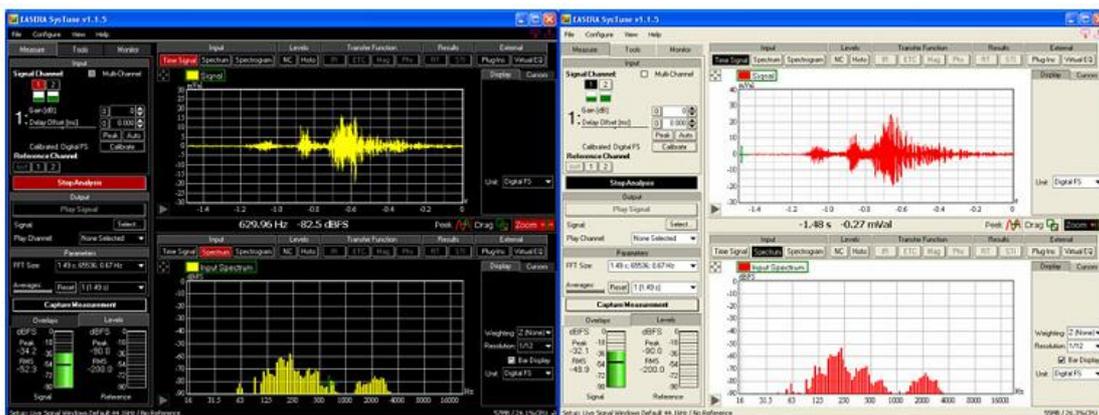
现在我们先统一规定一下本指南中对软件界面功能的叙述方法。我们将按照界面中所用功能的标签的所在位置，一层层地逐级对该项进行描述。比如上面一项操作，整个操作的叙述方式为：CONFIGURE|COLOR SCHEME|SYSTEM COLORS。简单情况下，我们也可以直接引用该功能按钮（或标签）的名称，比如某个窗口的 OK（确认）和 CANCEL（取消）按钮。

启动软件

点击电脑桌面上的 EASERA SYSTUNE 图标，启动该软件。



SYSTUNE 启动后，将显示如下界面：



注意，右图是按系统配色方式进行显示的界面。我是通过 CONFIGURE|COLOR SCHEME|SYSTEM COLORS 来切换成这种便于打印的备选界面配色方式的。

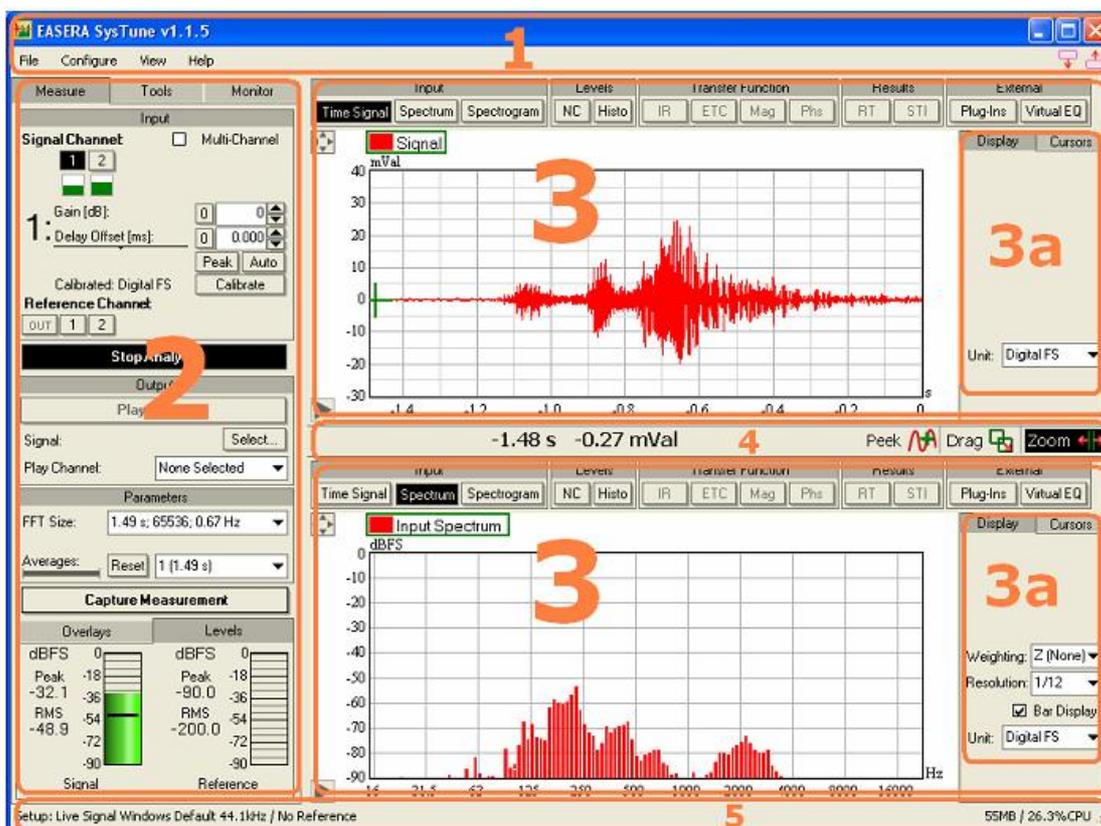
中国音响设计网 屏幕布局

我们先来看一下 SYSTUNE 的整体屏幕布局。SYSTUNE 程序窗口由几个部分组成，每个部分都有其专门的用途：

- 最上方的（1）是窗口标题区，包括程序的名称、版本号，了解程序版本可以有助于获得相应的软件支持。菜单栏的位置固定，可以通过它访问程序全部基本功能参数，比如文件保存和加载、程序选项等。
- 控制区域（2）位于左侧；这里用于选择输入和输出通道、激励信号以及其它测量参数。
- 屏幕右侧（3）垂直划分为上下两个功能相同的部分。每个部分都可以显示一副图像，每个图形区的上方都带有可选菜单；每个图形区右侧（3a）则是用于显示和计算的控制面板。
- 在两个图形区的中间，也就是程序窗口的中央位置，是一个显示当前鼠标坐标的分

栏 (4)，同时也可以用于改变鼠标模式。我们将这个区域称为“鼠标栏”。

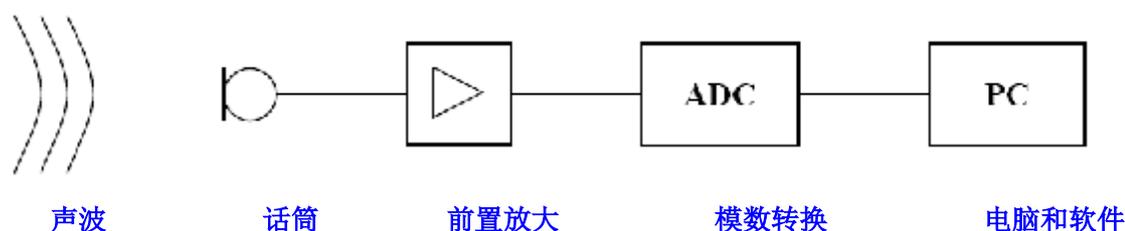
- 状态栏 (5) 位于窗口底部。它显示的是当前测量的详细设置。



2. 单通道输入的测量

最基本的测量方法之一是通过一台电脑和一张声卡就可以监视输入通道信号。这是我们所想要做的第一步。我们将同时在时间和频率范围上观察这个测量系统的输入信号。要拾取一个声音信号并把它转化成数字信号供测试软件使用，需要的基本测量架构

如下：



测试话筒用来记录声压场中的声音信号，同时将声音信号转化成电信号。对绝大部分测试话筒来说，必须增加一台前置放大器，才能使信号达到理想的信噪比。模拟声音信号经过模数转换器（ADC）的转换之后，变成比特数据流就能够被声卡驱动所能接收，

最终可以在软件界面上显示出来。

输入通道的选择

通过SysTune来做个这样的分析，你仅需要一个连接好的外置声卡或你电脑自带的声卡就可以了。当软件启动时，会自动采用WINDOWS操作系统默认的音频回放和记录驱动（关于怎样更改SysTune当前音频驱动，详见5.3章节）。同时，SysTune将会选择声卡的第一个输入通道作为当前默认的输入通道。



在左侧控制面板上标有“Signal Channel”（信号通道）的位置下面，有一排按钮，其中深色的按键表示该通道为当前输入通道。这些按钮上的数字，对应的是声卡上相关的输入通道号。根据你所采用的声卡的不同，这里最多能显示8个输入通道。由于输入通道的最小数值总是2，所以这里至少有2个按钮。

注意：如果声卡设备仅支持单通道输入，WINDOWS操作系统就会自动给这个单通道增加一个映像通道，从而建立一个“准立体声”（quasi-stereo）配置。

通过左击相应数字按钮就可以改变当前输入通道。

这排输入按钮下面，有一排小电平表，分别对应上面的输入通道。这些微型电平表（mini-meter）显示了输入通道的当前电平。它们可以用来同时监视所有输入链路的状态。当电平值处于正常范围内时，这个微型电平表就会以绿色竖条的高低变化显示输入信号的大小。

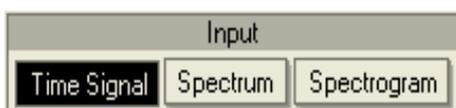


但是，当信号超过模数转换器内部电路所能承受的最大值的时候，输入信号就会在转换过程中产生削波。当微型电平表接近削波电平的时候，它会以黄色显示，告诉你还差1~6dB就到削波电平值了；当显示红色时，信号距离削波值最多只差1dB。为了保证测量系统数据的有效性，请确保信号大小在任何情况下都不超过削波阈值。比较好的做法是：调节增益旋钮，让信号峰值处在黄色范围内

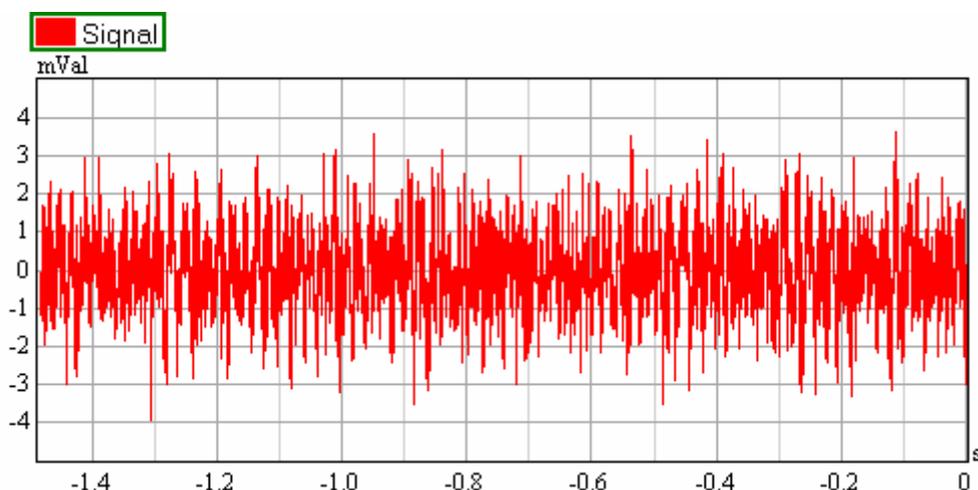
提示：因为削波可能恰好是在很短时间内发生的，比如在信号峰值期间，肉眼可能很难察觉到冒红灯的瞬间。因此，微型电平表的外框会按照“绿-黄-红”三种电平变色阈值的顺序来保留最近一次所达到的最高电平阈值颜色；鼠标单击该电平表，即可将外框状态复位。

2.1 时间信号 (TIME SIGNAL)

现在让我们从软件界面里看看输入信号的状况。在软解的默认启动界面中，上方图形区被设为TIME SIGNAL（时间信号）模式。与TIME SIGNAL模式按钮同在INPUT（输入）分组栏里的，还有SPECTRUM（频谱）按钮和SPECTROGRAM（摄谱）按钮；这组图像模式无需经过额外的参数调整，即可直接应用于任何种类的输入信号。

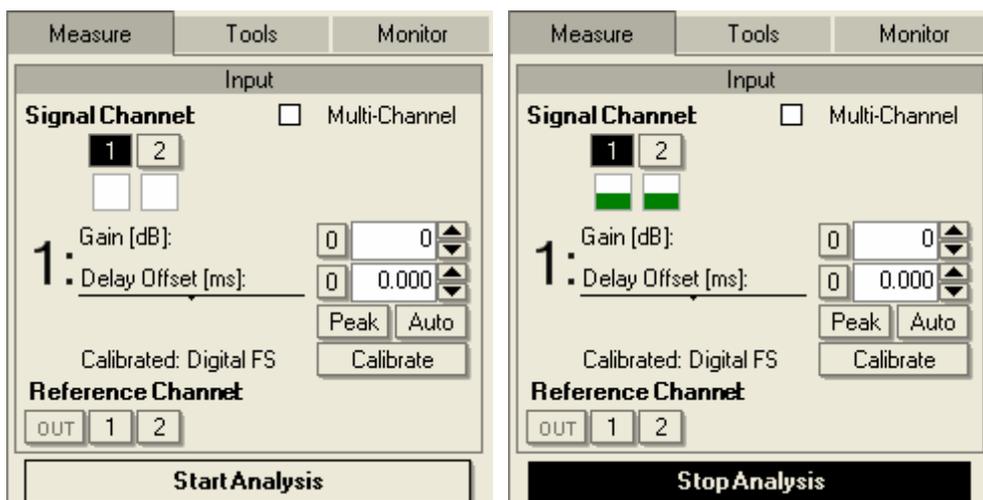


如果在输入端除了噪声以外，没有信号输入，那么图像就将会出现像下面图片所示的波形，并且整个波形从右到左连续不断地移动。



如果图像没有随着时间变化，那就要检查一下你是否启动了实时分析功能，该功能按钮在SYSTUNE软件启动时即默认为“按下”状态。实时分析功能的控制按钮在软件左侧的控制面板上，位于INPUT（输入）功能区的正下方（如下图）。如果第一个大按钮显示为“START ANALYSIS”（启动分析），那就说明SysTune的实时分析功能没有启动。左击该按钮即可重新启动实时分析功能。如果该按钮已经被按下，并显示有“STOP ANALYSIS”（终止分析）字样，那么TIME SIGNAL图像应该正处于持续刷新状态。如

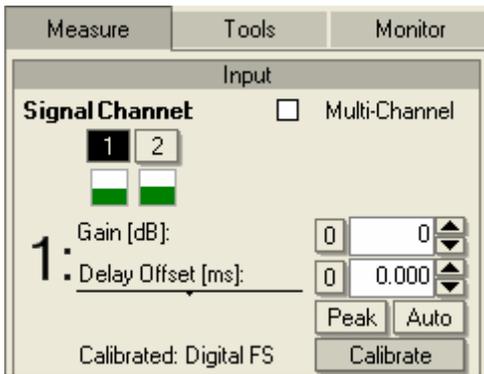
果出现异常情况，请参考本手册最后面的“故障排除指南”。



回到时间信号的图像上，该图像的横轴对应的是已经过去的时间，其最大值对应的是当前的FFT块的尺寸；稍后我们再来详细介绍。纵轴上显示的是数字单位下的信号幅度，也被称作满刻度（Full-scale，简称FS）单位。因为一般来讲EASERA SysTune无法辨别正在使用的是哪个硬件，所以它不能直接显示以帕斯卡（Pa）或伏特（V）等为单位的实际物理值。但是通过简单的校准操作之后，软件即可显示对应的物理值。这里说的“校准”（calibration）是指将软件所能“理解”的数字信号值，跟现实中所测量的物理值对应起来。

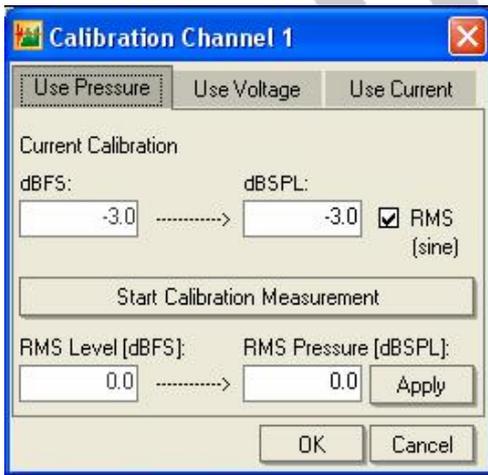
输入通道的校准

现在我们校准一下第一个输入通道。如果此时你已经切换到了另外一个输入通道，想再次激活第一个通道的话，只要点击标有1的输入通道按钮即可。在微型电平表的正下方区域里，显示的是当前所选择的输入通道的有关属性。这个区域里包含对增益（GAIN）和延迟（DELAY）的设置，还有峰值（PEAK）按钮和自动选择（AUTO）按钮，一会我们再来介绍它们；现在我们先来看一下其中的calibrate（校准）功能。左击Calibrate（校准）按钮，启动校准功能。注意，CALIBRATION按钮的左边显示的是当前通道的校准状态。如果当前输入通道尚未进行校准，那么这里将会显示Digital FS（数字满刻度）。



点击 CALIBRATE 按钮，开启校准对话框。该窗口最上面的标题条里，显示的是这个待校准通道所对应的通道序号。

由于我们想用话筒来进行声学测量，所以我们需要告诉SysTune实际声压值（单位为帕斯卡或dB SPL）和数字单位值（满刻度值或叫做dBFS值）之间的关系。这就是第一个标签页USE PRESSURE（意思是以压强单位进行校准）的用途。第二个标签页USE VOLTAGE(表示以电压单位进行校准)则是用来进行电信号测量时的校准。第三个标签页USE CURRENT（以电流单位进行校准）仅对Pro版本的用户开放，这个页面是用于对阻抗的测量校准。我们将在5.8章中对该功能进行介绍。

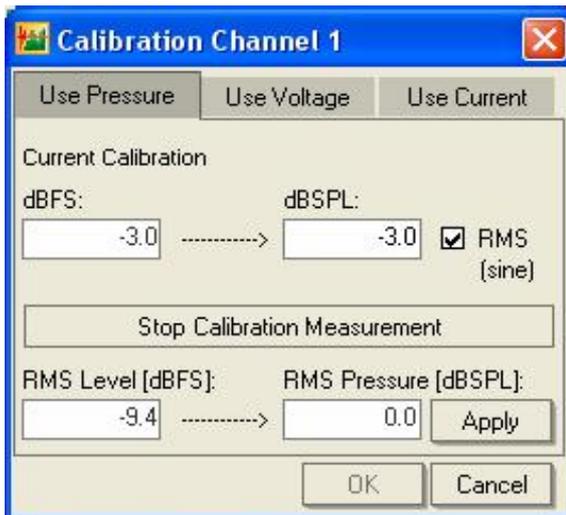


校准对话框的上半部分里，显示的是当前校准比（CURRENT CALIBRATION）。在 dB SPL 文本框中，给出的是对应前面 dBFS 值的某个声压级数值。今后，如果你知道某输入通道的校准比的话，你也可以直接输入到这个文本框里。标有 RMS（SINE）的勾选框可用来切换显示某个正弦信号的峰值或 RMS 值。

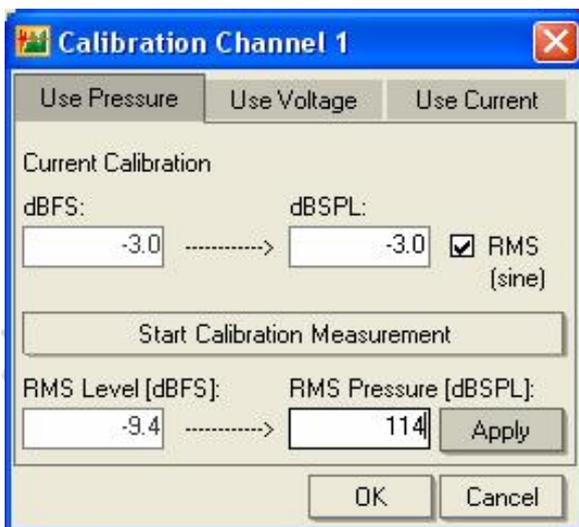
完整的声学测量校准步骤如下：

- 把话筒校准器放在话筒上
- 点击START CALIBRATION MEASUREMENT（启动校准测量）按钮
- 直到 RMS LEVEL[dBFS]对应的值稳定下来以后，再点击 STOP CALIBRATION

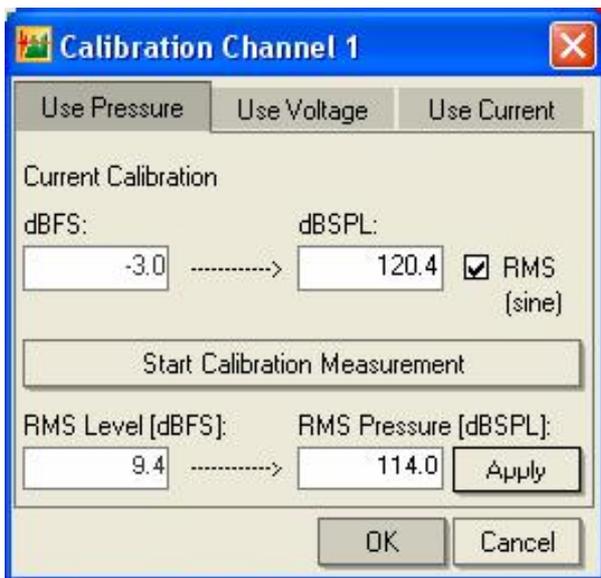
MEASUREMENT（停止校准测量）按钮。



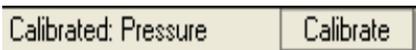
● 最后在标有 RMS PRESSURE [dB SPL]的文本框中输入相应的声压级数值，比如输入 114，然后单击 APPLY（应用）。



窗口上方的 CURRENT CALIBRATION（当前校准比）也会随之改变，如下图所示。点击 OK 确认此次校准，并关闭校准窗口。



测量系统现已校准完毕，控制面板显示当前的校准方式为：Pressure（声压）。

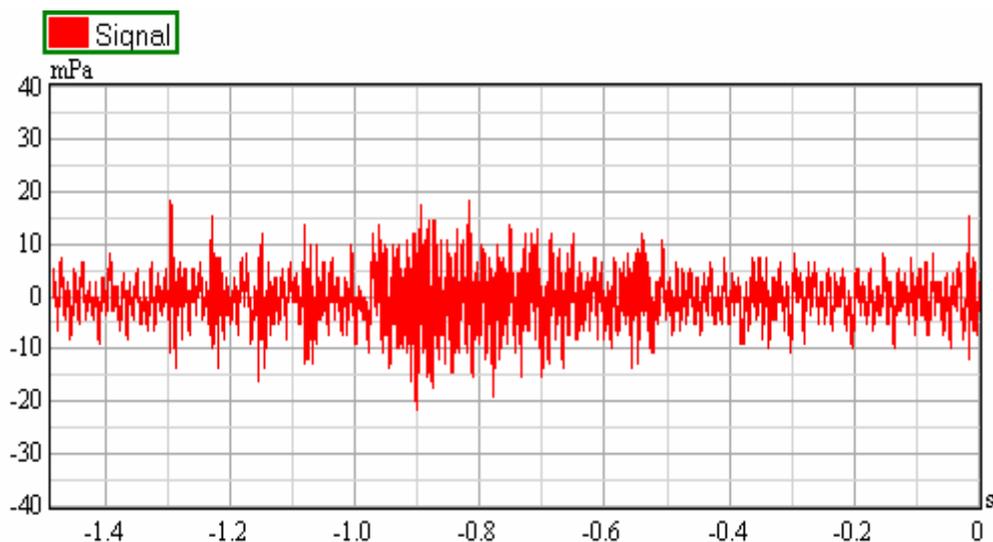


提示：在你依照本教程学习的时候，如果手头上没有声校准器，你可以尝试对着话筒吹口哨，然后输入一个 80dBSPL 的值进行校准，从而继续完成后面（有关对校准后数据处理）的教程。这种“粗校准”的误差在 $\pm 20\text{dB}$ 之内。

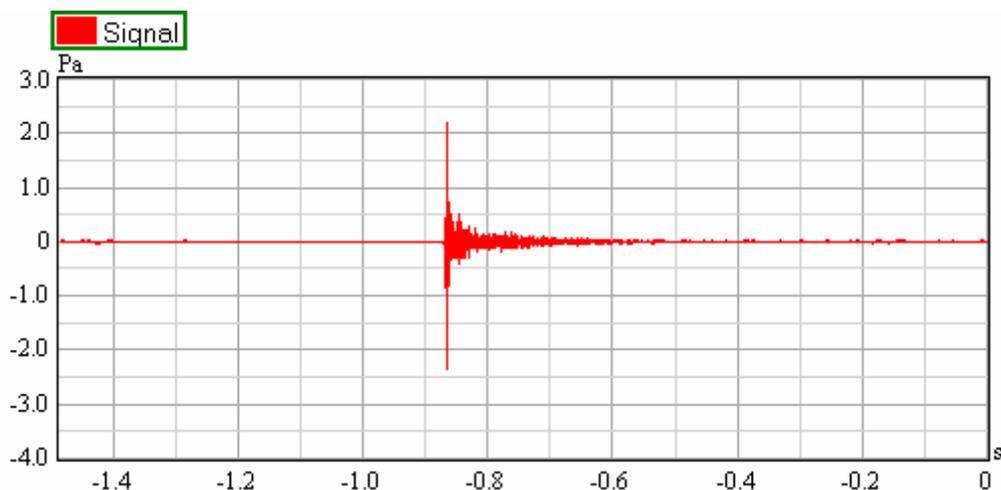
成功校准过我们的测量系统后，我们现在就可以把 TIME SIGNAL（时间信号）图像上的数字单位切换成物理单位。在图像右边的面板中，把 Unit（单位）下拉菜单中的 DIGITAL FS（数字满刻度）改为 PRESSURE（声压），即可改变图像中的计量单位。在采用电压或电流进行校准时，该下拉菜单中的选项会变成 VOLTAGE（电压）或 CURRENT（电流）。



改变单位设置后，TIME SIGNAL(时间信号)图像的纵坐标单位立刻变成了 Pa 或 mPa。



你可以靠近话筒拍手，或者发出其它类似脉冲的噪声来观察图像的变化。你这会儿甚至可以让输入端削波。来观察微型电平表是怎么随着输入信号的改变而做出反应的。



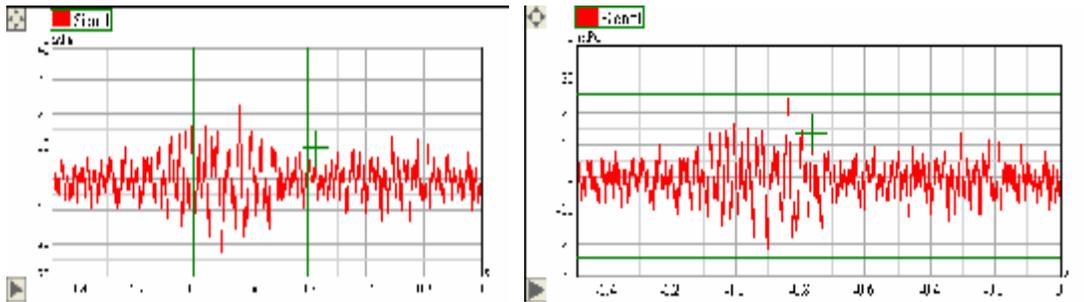
这个时间信号 (TIME SIGNAL) 图里，我们可以发现，当有大信号到来时，垂直坐标轴的刻度范围会自动放大，从而完整显示出该信号的全貌。但是，该信号过后，纵轴上的刻度范围却不会自动缩回到之前的大小。那是因为程序认为后面还可能出现类似幅度的信号，因此对最大坐标刻度范围进行了记忆。双击该图像就可以将其复位。

调整视图范围

现在我们仔细了解一下图像中的刻度值。从鼠标 (状态) 栏中可以看出，默认的鼠标模式就是“缩放” (ZOOM) 模式。



在这种模式下，你可以使用鼠标左键缩放图像的水平范围。方法是在你期望的新视图范围的起始位置按住鼠标左键，并拖拽至新视图范围的终止位置。在鼠标拖动的过程中，程序会通过两条垂线（或称之为缩放标记线）来显示当前的起始和终止值。最后，松开鼠标左键就会出现新的视图窗口。在缩放鼠标模式下，你也可以用鼠标右键在垂直轴向上以类似的方法选择视图范围。



提示：缩放标记线会自动捕捉图像的网格线。如果想选择任意缩放区域，可以在拖拽鼠标的同时按住Alt键不放。

我们再来试验一下鼠标的DRAG（拖拽）模式。首先在鼠标栏中点击标有DRAG的按钮选择鼠标模式，然后左击图像并一直按住不放。此时移动鼠标，就可以自由地改变当前视口，PEEK（标记）模式是适用于所有图像类型的第三种鼠标模式，不过我们会在后面用到PEEK模式的时候，再来介绍它。

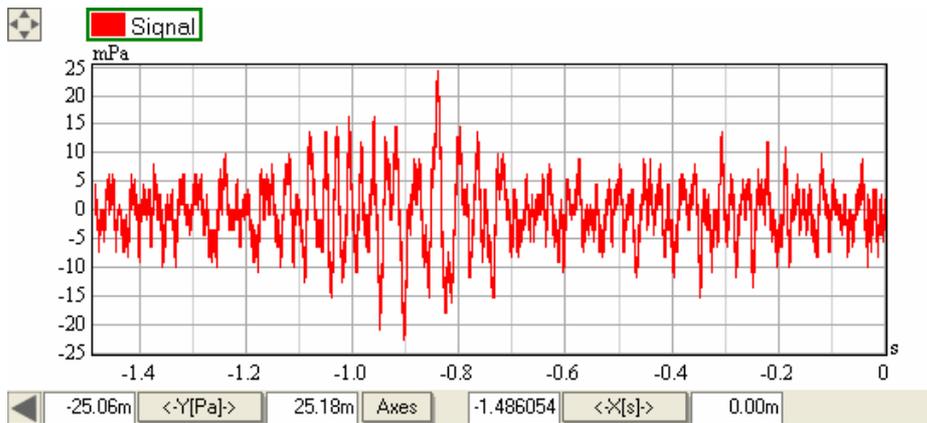
你可以随时双击图像区域，或者左键单击图像左上角的auto-scale（自动刻度）按钮，让图像返回到完整的视图范围。



我们可以通过鼠标改变窗口显示范围，也可以直接输入所需显示范围的数值。要想直接输入范围值，我们先要左击图像左下角的三角形按钮，展开“视图范围区”。



这个操作会使图像的垂直刻度略有改变，从而给“视图范围区”腾出一些显示空间，如下图所示。



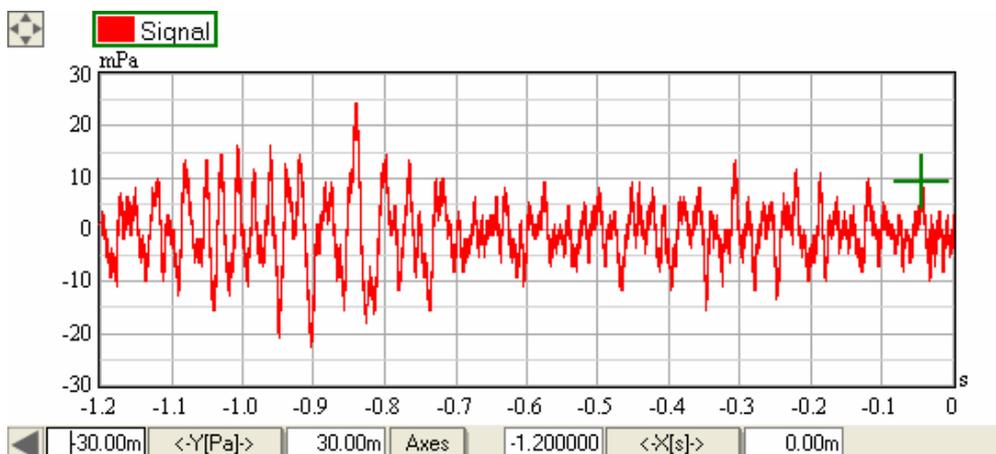
“<-Y[PA]->”按钮两侧的文本框，表示的是Y轴（垂直方向）的上下视图范围。而右边“<-X[S]->”按钮的两侧也各有一个文本框，分别表示X轴（水平方向）的起始和终点值。每个按钮左边的值都表示起始值，而右边都表示终点值。现在，让我们给X轴选择一个1.2秒的时间段，并在Y轴上选择一个+/-30mPa的范围。

提示：你可以键入带有字母的数字值，比如“m”。比如想设置30mPa的值，可以在文本框中输入0.35或者是30m。（此处原文如下：）

Hint: You can enter numerical values using exponent prefixes, such as “m”. A value of 30 mPa can thus be entered either as 0.35 or as 30 m into the text field.

中國音響設計網

下面的图片就是改变视图范围后的结果。当然，由于输入的信号和校准的方式不同，你看到的图像可能和这个图片有点差别。现在让我们回到完整的视图范围。你既可以双击图像区域，也可以通过“<-X[S]->”按钮和“<-Y[PA]->”按钮分别将水平和垂直视图复位成默认的范围值。左击“<-X[S]->”可以让水平范围包含至所有的数据点，同样，左击“<-Y[PA]->”也可以让视图在垂直范围内包含所有数据点。



既然你已经了解了全部内容，现在你就可以用话筒拾取一个信号，然后停止实时分析，缩放图像来观察波形随时间的变化，接着回到完整视图范围，再次进行实时分析。

技术说明：

时间信号（TIME SIGNAL）图像显示的是经过A/D转换后的原始数据。该数据和软件中所有其它数据一样，都是离散的。输入端连续的电压信号按照指定的采样率进行采样。这就意味着在软件里显示的每个采样其实都是一个很短的时间段内的平均值。这个时间段的值等于采样率的倒数，比如48kHz的采样率对应的大约是20微秒或0.02毫秒。比这个时间更短的事件将无法分辨。

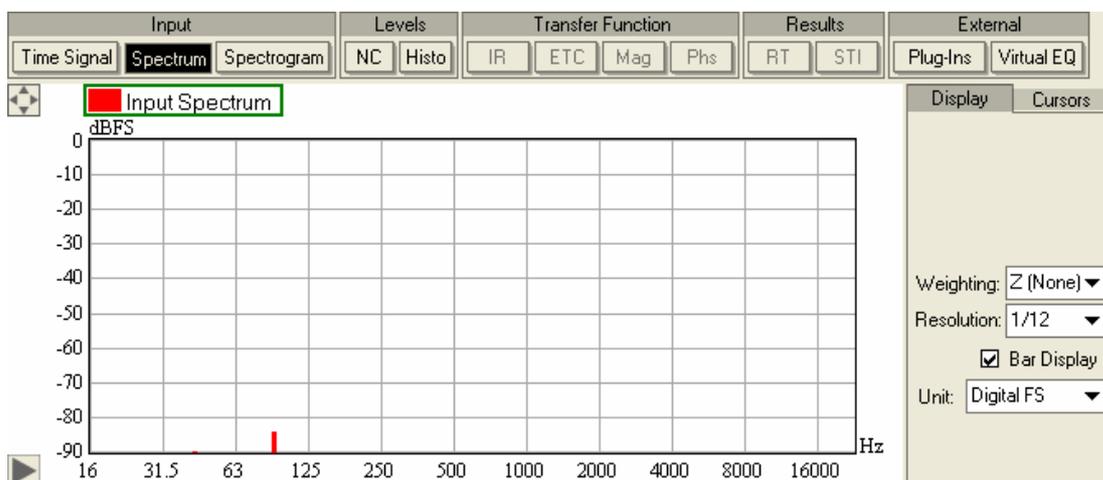
同样，信号幅度数据也是离散的。根据A/D转换器的不同，信号振幅一般会被以16到32比特的幅值间隔进行划分。对于音频测量来说，16比特一般就足够了，它相当于从0到1（或说从零到满刻度）分成大约32000个值，等效于96dB的动态范围。电信号测量时，往往需要更高的分辨率，而普通价位的声卡很少能提供20比特以上的有效分辨率，也就是相当于120dB的动态范围。比特分辨率决定了输入信号电压的微小值或微小变化能否反映在软件里。

总结

在这一节中我们首次使用SysTune进行了一个简单测量。我们选定了一个输入通道，对它进行了校准，并对输入信号的时域图像进行了观察。我们在时间信号图像中所应用的各种查看方式，在SYSTUNE的其它图像中也同样有效。

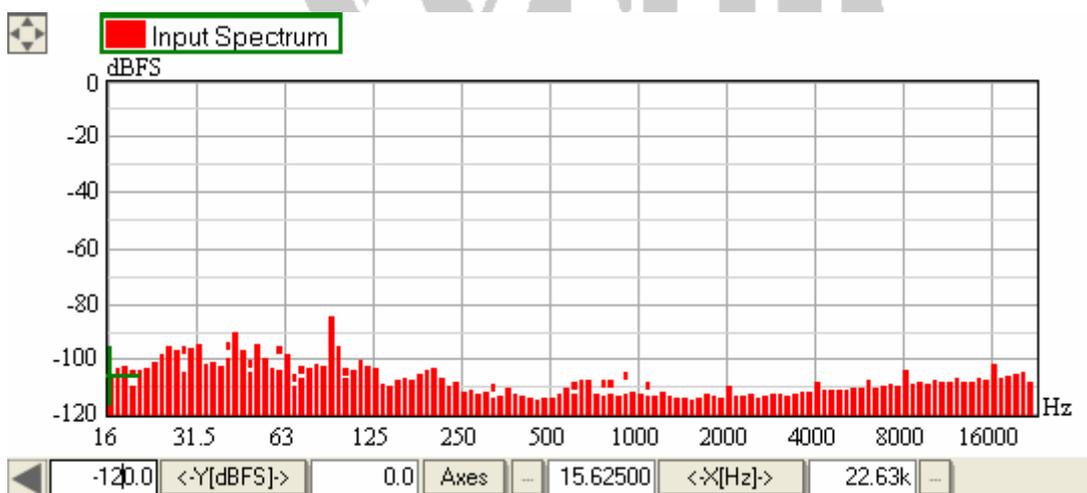
2.2 输入频谱测量

我们刚刚是从时域视图对输入数据进行了观察，现在让我们来看一下同样的数据在频域图像中是如何显示的。在默认设置中，EASERA SysTune 界面的下方图形区显示的是 SPECTRUM（频谱）图像。该图像所显示的频率数据正对应着上面的 TIME SIGNAL 图像中的时域信号数据。

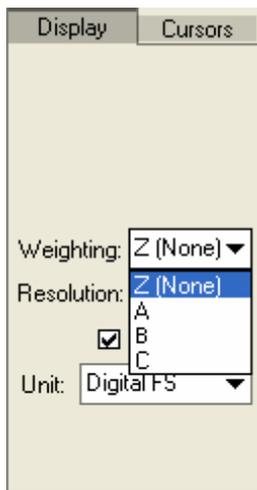


在默认设置下，该图像的显示方式是无计权的1/12倍频程精度的竖条。根据输入信号的动态变化，你还会看到另一条曲线，叫做峰值保持曲线（peak hold curve）。它显示的是频谱曲线短期内的历史值。

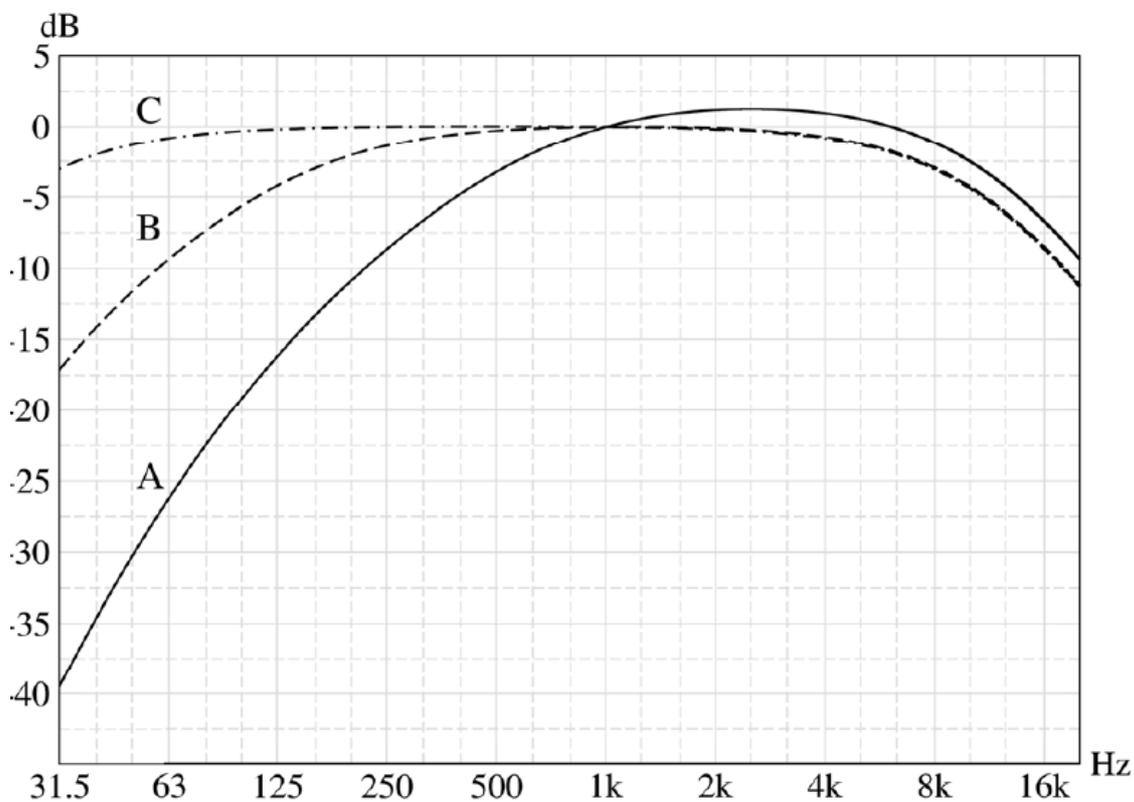
该图像的默认纵轴刻度范围是从-90dB到0dB。如果你的声卡的本底噪音很低，那么这个曲线就会很小，甚至没有。如果你的图像上显示的信号很小或是根本不显示，你可以尝试把纵轴刻度值的范围改成-120dB到0dB，或者也可以提高输入信号的电平。



右面板DISPLAY标签页中的设置选项和之前的时域图像有所不同，我们接下来简单介绍一下。第一个设置的就是把加权函数（WEIGHTING）应用到频率数据上。A、B、C 三种加权函数是根据人的听觉特性对曲线图做不同的修正。

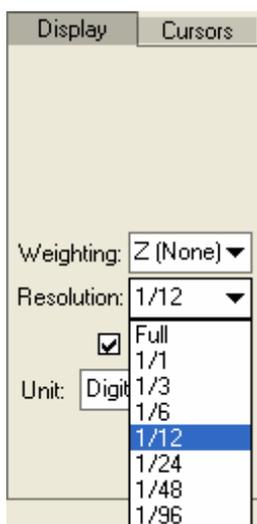


人耳在500HZ到2KHZ的中频范围内的灵敏度最高，而在低频和高频部分的灵敏度相对低一些。因此，测量得到的声压值并不能直接反映出该信号的主观响度。加权后的频谱图能够体现出上述主观效应的影响，它依据A、B、C计权的有关标准（ANSI S1.4（A，B，C）或IEC 61672-1(A，C，Z)对信号加权，从而在图像中显示出相应的主观响度。事实上，针对不同类型的信号，像纯音或噪音，使用不同的加权网络，是有其背景原因的，人耳听觉系统对不同的信号也有不同的主观感受。下面图片显示的就是A、B、C计权函数曲线随频率的变化。



不同的计权函数下的频谱数据是不一样的，“Z (NONE)”设置是无计权的图像（所指的就是0，平或者是线性的）。

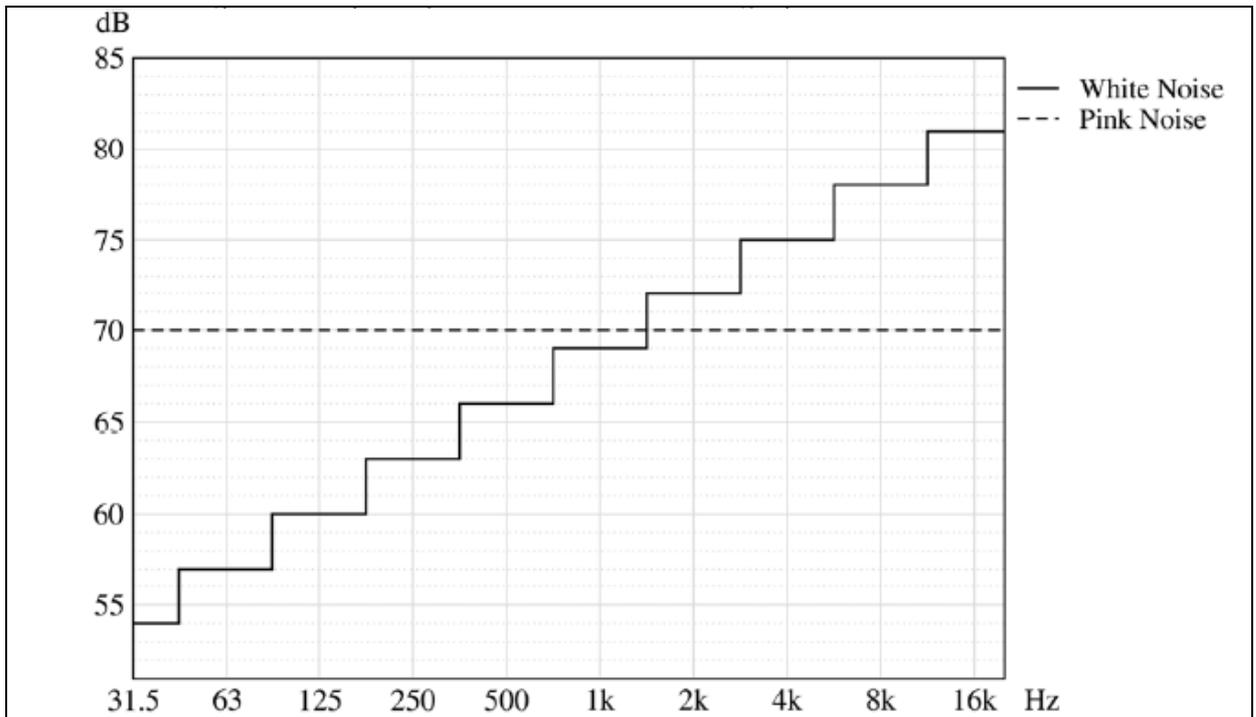
DISPLAY面板的第二个参数是“RESOLUTION”（分辨率），它所控制的是数据被合并显示的频率带宽。



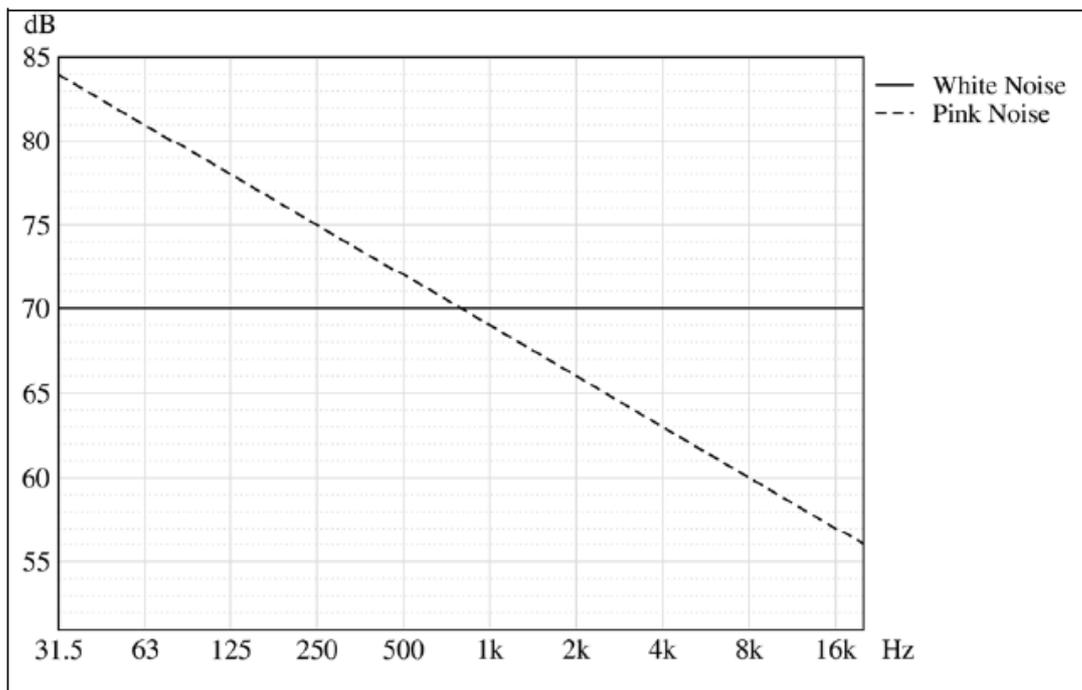
对时间信号进行FFT处理后，所得的频率数据是线性排列的，换句话说就是相邻的频率数据点间隔相等。要把这些数据以1/1或1/12之类的等差倍频程带宽方式进行显示的话，需要把将处于同一带宽范围内的所有数据点合成单一的值，从而获得该频段的信号值大小。FULL（完整）分辨率模式是唯一一种显示原始数据的模式，但我们很少用到它。

技术说明：

粉红噪声的特性，是在等比带宽下的各频段具有平直的曲线。这种视图显示类型就是相当于信号的能量分布。粉红信号也是如此，这种信号的能量密度（power density）每倍频程下降3dB，这一点和对数扫频信号类似。相比之下，那些在等差带宽上有着相等能量的信号，比如白噪声，在等比的频谱图上显示的能量会随频率升高而升高。



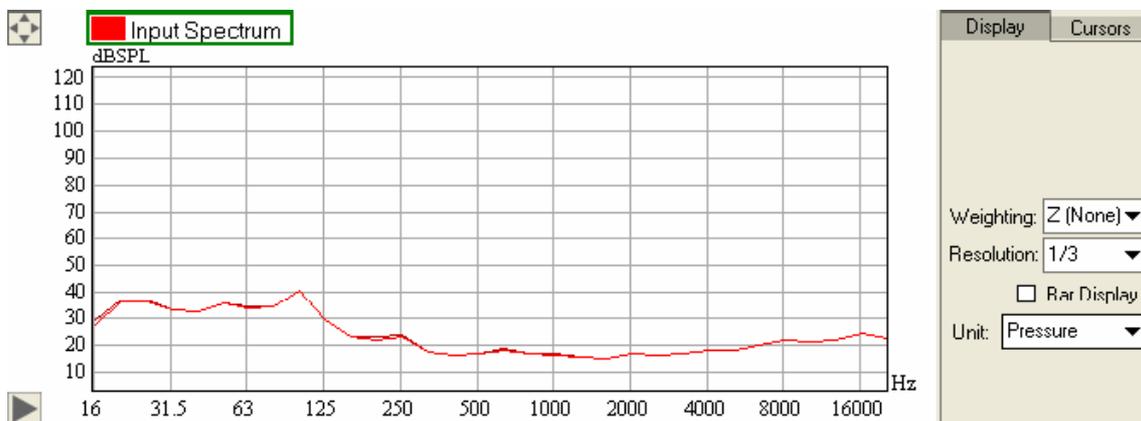
我们在使用FULL分辨率显示的时候，图像会发生改变，因为这时候显示的是能量密度，而不是各段的能量和。这种图中，白噪声在各频率上的曲线是平直的，而粉噪则显示出每倍频程下降3dB的曲线。



最后，SPECTRUM（频谱）图有两种方式显示，一种是条形图，另一种是曲线图。通过BAR DISPLAY（条形图视图）的勾选框可以在两种显示方式之间进行切换。通常条形图显示模式比较常用，不过这种模式不太适合进行详细的分析用途。特别是在进行后面

提到的叠加图 (overlaid curves) 分析的时候, 采用曲线图的模式更加方便。应该注意的是, 在FULL模式下没有条形图显示 (BAR DISPLAY) 的功能选项。

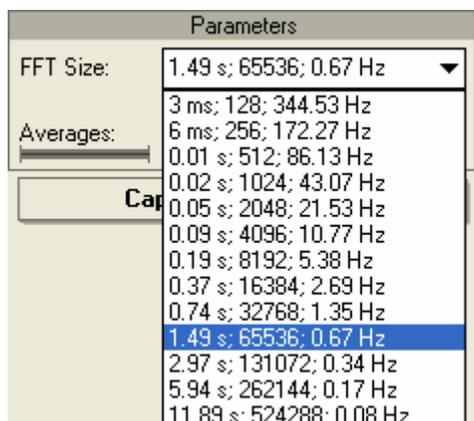
现在, 我们选择一个无加权、1/3倍频程的曲线图模式。由于之前已经对输入通道进行了校准, 所以现在可以把UNIT (单位) 设为PRESSURE。我们做好选择设置后, 就可以看到如下图所示的界面。



此刻显示的曲线也是基于输入通道的原始数据, 只是采用了不同的后期处理参数。原始时域数据被程序连续地采集, 并转换成频域范围上显示的频谱图, 该频谱图的值可以看成是频率的函数。

FFT 尺寸的选择

对频率分辨率而言, FFT尺寸 (FFT size) 是一个很重要的参数。在左边的控制面板中, 标有FFT SIZE的下拉菜单里, 可以选择FFT尺寸的大小。列表中每一项都包含三部分: 分别是FFT尺寸 (秒为单位的时间长度)、样本数量 (根当前采样频率有关) 和频率解析度, 例如: “1.49S; 65536; 0.67HZ”, 这时采样频率就应该是44.1KHZ。



值得注意的是如果时间长度较短, 也就是时间解析度较高的话, 频率解析度就会降

低。那就意味频谱图只能是通过降低频域上的分辨率来解决短时间事件。反过来也一样，如果需要一个很高的频谱分辨率，例如观察谐振现象时，我们则需要有一个比较大的FFT时长，因而所需的时间也更长。

技术说明

和现实世界中的情况一样，在软件里，时域和频域也是有着很紧密的联系。在 SysTune 中，

频谱图是通过快速傅里叶变换（FFT）的方法得到的。这个变换过程能将给定的时域数据转换成频域数据。时间采样数据越多，那么频谱图的数据点密度就越高，分辨率也就越高。

在FFT中，采样长度 Δt 和频率解析度 Δf 的关系是一个等式： $\Delta f = 1 / \Delta t$ 。（可参考有关资料，比如Oppenheim（奥本海姆）和Schafer（谢佛）合著的《离散时间信号处理》（Discrete-Time Signal Processing），1999年版，新泽西州 Prentice-Hall出版社发行）。

在SysTune中，对FFT的时长预先设定好了一系列固定值。如果是特别短的尺寸就没有意义，比如只有4个或8个采样的话，频率解析度会很低。如果时间很长的话也不行，比如一个FFT采样长达好几分钟，这对测量来说是不现实的。

既然每个频率数据都是来自于给定的数据块中所有的时间采样点，那么所得的数据结果也能理解成该数据块内所有时间采样的平均值。如果信号在一个FFT时长内反复变化，所得的频谱图对应的就是该时间段内的平均值。

有关FFT的另外一个要点是，FFT块一般需要进行某种窗函数处理。这是因为对时域信号的变换需要采用循环FFT嵌套的方式，而在FFT块的起始和末点之间任何一个突变都会在频域上引发误差。

给FFT数据块增加一个平顶窗（flat-top window）有利于平滑的过渡，特别是对周期性的、曲线较为平滑的信号而言，比如正弦波，但是加窗的时长和FFT块长度会有所不同。（参见有关资料，比如Fredric J. Harris 发表的《在基于离散傅立叶变换的谐波分析中使用窗函数》（On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform），收录于IEEE文献66卷第一条，1978年1月。）

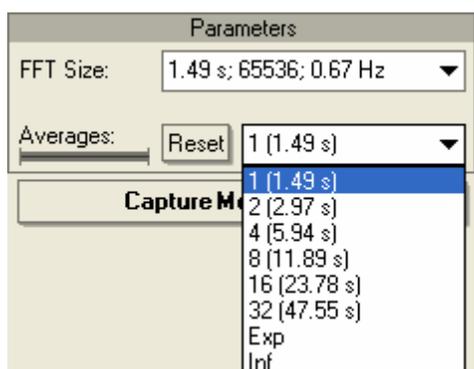
现在让我们看看改变FFT尺寸的效果。选择一个3秒左右的时间长度，然后在话筒上给出一个尖锐的、响亮的脉冲信号。你将会发现频谱图会马上增加，并在FFT块的时间长度内保持该高度，之后才会跌落回原始状态。现在我们切换短的FFT块长度，比如就大约0.2秒吧，再次给个脉冲信号，观看频谱图的上升和衰落。实际使用时，一般不会用到软件所给定的时长之外的其它时长。

我们再来看看频率解析度。当采用0.2秒的FFT尺寸是，相邻数据点的频率间隔约为5HZ。你将会发现频谱图在低频端越来越不平滑。这种频率上的不平滑是因为时间分辨率过高造成的。但不管怎样，在实际运用中很少用到超过5HZ的频率分辨率。

提示：FFT运算会大量占用电脑的处理能力。你的电脑可能不适合短FFT尺寸的测量。如果是这样的话，输入或输出的音频采样数据流可能会流失。当我们使用小的FFT尺寸时，可以检查窗口底部的状态栏。当数据流丢失时，那里会给出警告。一般标准电脑，当样本数量小于1024-512时（采样频率48kHz时），容易出现上述问题。

一段时间内的平均值

INPUT SPECTRUM（输入频谱图）的第二个重要参数是AVERAGES（平均时长）。该选项位于PARAMETERS面板上FFT SIZE区的下方。该列表里显示的是用于求平均的FFT块数量，以及相应的总时间长度。



AVERAGES的数值定义的是FFT块的数量，该数量的FFT块被变换成频域数据后，进行一次平均计算，然后将结果显示为频谱图。参与平均的数据越多，单一时间事件对整体频谱图的影响就越小。同时，平均数每增加一倍，信噪比也会相应地增加3dB。另外一方面，就像FFT块的尺寸一样，一个长的平均时间也会降低时间上的分辨率。你如果用了很长的平均时间，就不能分辨信号中的短期峰值了。

技术说明:

对于频谱数据的测量而言，整体时间才是关键因素。之所以把整体时间分割成更小的FFT块，再进行平均，说到底还是因为计算机性能上的原因，因为大尺寸的FFT块所需要的处理能力太高了。

因此，只要整体时间长度相同，先把FFT尺寸减半，再把平均数值加倍，得到的结果也是相同的。但是这样做会导致频率分辨率以及某些其它数据发生改变，这是因为FFT窗的数量发生了改变，该窗口和每个平均值是一一对应的。

在AVERAGES的下面，有一个小型计时器，它所显示的是从上一次启动测量功能至今的时间，它的显示方式和整体平均时间有关。它能够指示出当前图像中有效数据所占的比例。你可以随时点击旁边的RESET（复位）按钮，来重置测量进程。

提示：假设你在某个地点正在进行频谱分析，现在你正在进行一个很长的平均时间测量，这个时候意想不到的事情发生了，突然有个人关上门了，关门声影响了我们测量，这个时候我们只要按下RESET复位按钮就可以重新测量数据。

在AVERAGES下拉菜单的末尾，你会发现额外的两个选项，即EXP和INF：

■ INF（无穷）会让平均处理一直持续下去，而不是只对某一段有限时间内的数据进行平均。如果最大的平均数值都无法满足信噪比的要求，则可以采用这一项设置。

■ EXP项也可以无时限地运行，但是它会在处理过程中加入指数方式的加权。这会让距离现在时间越远的数据在整体结果中的比重越小。在OPTIONS选项窗口中可以选择该加权函数的斜率。这个功能在查看某些峰值随时间逐渐降低的信号的平均值时非常有用。

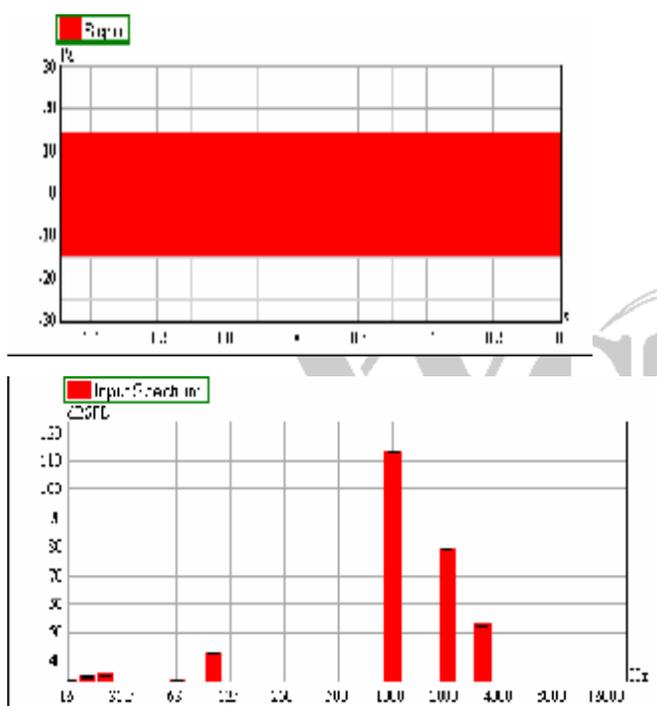
要知道，常规的有限平均方法会出现一个“硬”切除，使得超出平均时间的信号立刻消失掉。

检查校准

到目前为止我们观察的都是输入端的一些随机噪声信号，当然如果感兴趣的话，你

也可以看看正弦信号在SysTune中的图像。最简单的做法就是把稍早些时候用到过的那个话筒校准器放在话筒上。这一次，FFT SIZE可以采取大约1.5秒的时间长度，AVERAGES可以设为1。频率RESOLUTION(分辨率)仍然采用1/3倍频程，同时WEIGHTING(加权计数)仍然设为不加权，这次暂时勾选BAR DISPLAY选项，将图像设为条形图。

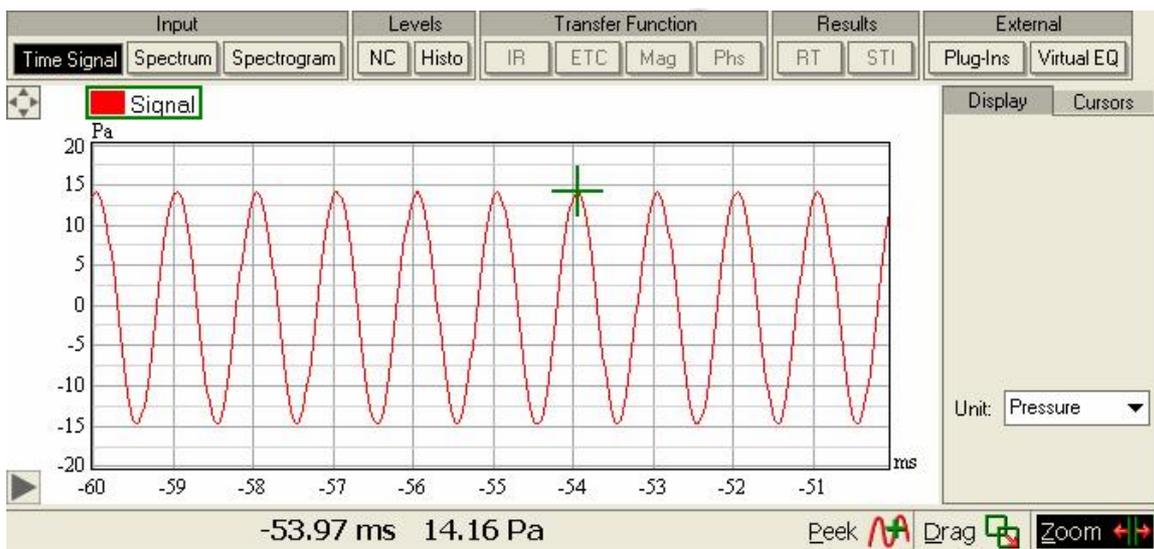
在播放信号后，你会在时间信号图示中看到一个相当大的水平杠，并在频谱图上看到远超过本底噪音的峰值信号条。你可以双击图像，将曲线放满视图。如果之前你已经校准过了输入通道的话，你就可以把上方和下方图形区中的图像单位(UNIT)都设为声压(PRESSURE)。下面的图大概就是你所看到的。



如果输入通道校准无误的话，频谱图上应该在校准信号的频率(此处为1000Hz)上显示一条峰值。该频率条的声压级应该和校准器所设置的校准声压级(此处为114dB SPL)基本一致，相差在0.1dB以内。你可以放大该信号峰值视图，来验证这一点，不过还有一种更简单的方法。可能你已经注意到了，只要你把鼠标移动到图像中，就会有一个绿色的十字光标跟随着鼠标所在的位置，它能精准地附着在当前曲线上。此时这个跟踪十字光标的水平和垂直坐标值会显示在鼠标栏中，位于上下两图形区之间的位置上。值得说明的是该读数总是针对鼠标所悬停的那个图形区。我们小心将鼠标移动并靠近峰值所在的位置。让十字光标停在峰值顶部的位置，再看看鼠标栏中的读数。这时候显示的应该是该峰值的频率和声压级。



为了进一步的分析，可以暂时停止测量(点左边STOP ANALYSIS按钮)，并关掉声级校准器，将上方的TIME SIGNAL图像放大。如果你放大了图像(按下鼠标左键水平拖拽)，你将马上发现之前的粗横条其实是个压扁的正弦波信号。接着，通过鼠标跟踪十字光标，来找出该曲线的最高点，并从鼠标栏中读出数值。



在我们所测试的情况中，我们发现14.2Pa大致等于117dB SPL，这个值乍看之下似乎有错误，因为在之前的频域上测量的是114dB SPL。但是，这里我们需要了解峰值和RMS (root-mean-square均方根) 值的不同， TIME SIGNAL中的最大值就是峰值，而频谱图所显示的是RMS平均值。正弦波的峰值会比RMS值大3dB，这正是我们刚才测得的差值。

提示：把峰值和RMS值的关系默念上几次，因为我们在平时软件测量中经常碰到此类问题。很重要的一点，是要明白程序中有些地方显示的是峰值，而有些地方显示的是RMS值。这些主要取决于需求和用途。如果你没有很清晰的区分峰值和RMS值，那就很可能在测量中导致出现错误的分析和报告。我们在谈论到信号值的时候，应该说清楚所指

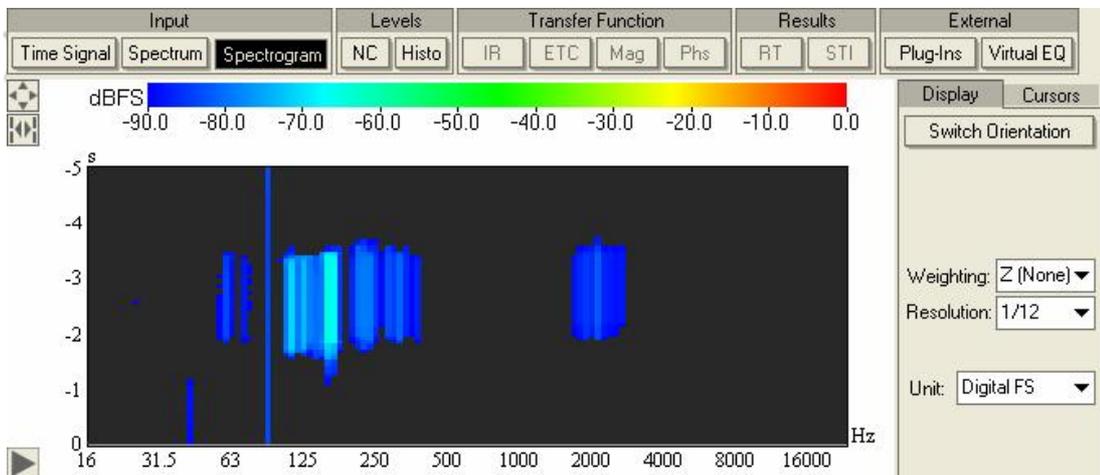
的值是峰值还是平均值。

总结

我们已经介绍了查看（测试）话筒所记录的数据的另外一种方法，那就是SPECTRUM（频谱）图。我们也介绍了不同的显示参数，像加权曲线和分辨率。同时我们也介绍了FFT SIZE和AVERAGES这两项测量参数。在这一方面，我们讨论了时间分辨率和频率分辨率之间的权衡，这两者之间的关系我们在下一节介绍到摄谱图（SPECTROGRAM）时会看得更明白。最后，我们观察了外部正弦波信号发生器信号在时间和频率上的图像，并核实了之前的校准操作。

2.3 摄谱图

SPECTROGRAM（摄谱）图是输入数据的第三种图像类型。将上方图形区从TIME SIGNAL模式切换到SPECTROGRAM模式，来查看摄谱图像。此时看到的不是一条曲线或条形图，而是一幅不断从下往上移动的彩色绘图。虽然乍看之下，它和上一节内容里的频谱图有很大不同。



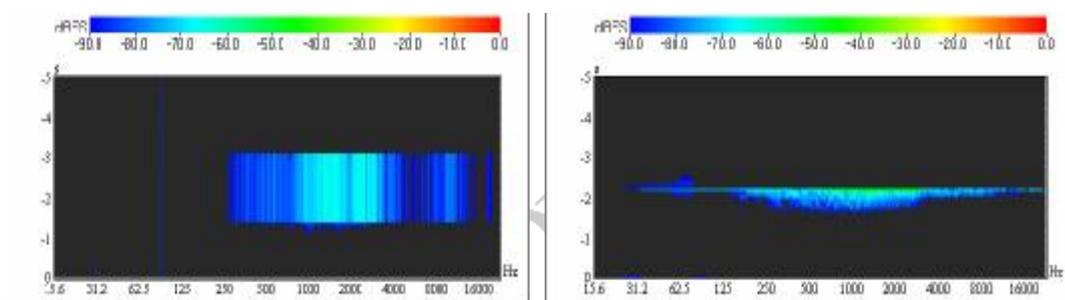
但是你会注意到，该图像的右边，同样也有和之前一样的WEIGHTING（加权）、RESOLUTION（分辨率）和UNIT（单位）的选项。这里请按上图参数进行相同的设置：WEIGHTING设为NONE，RESOLUTION设为1/12，UNIT设为DIGITAL FS。左侧控制面板中的测量参数也设回其原始状态，也就是FFT SIZE设为1.5秒左右，AVERAGES设为1。

上图中的水平轴和频谱图的水平轴一样，显示的都是频率范围。不过，垂直轴不再表示声压级，而是表示已过去的时间，也就是从此刻到过去某个时间点的时间范围。这

里的电平值被渲染成了不同的颜色，不同颜色对应的电平值刻度尺就在摄谱图的正上方。和之前的两种图像相比，这种SPECTROGRAM图像可以看成是一个三维图形，因为它把电平值看成是频率和时间的函数。其实，你可以把摄谱图想象成很多连在一起、并按记录时间的先后顺序依次排列的频谱图。或者，你也可以把纵轴看成类似TIME SIGNAL图像中的时间轴，但现在你可以看到每个时间点的频谱图。

但尽管如此，我们上一节中所做的推理是对的。在时间上和在频率上同时有很高的分辨率，是不可能的。为了表明这一点，我们可以做一个小测试。首先，把RESOLUTION设到1 / 96。而后，我们可以对话筒发出一些类似脉冲的信号，例如拍手。

你将看到信号在频域被精确地界定，但在时域中却拖成一片-----也就是那些固定颜色的细长垂直线条。这种分辨率就相当于我们之前所选择的FFT尺寸大小。



现在，改变FFT的尺寸大小，比如0.05秒，再次拍手。你会看到一个时间上准确，但频率分辨率非常粗糙的信号。特别是在低频部分更加明显，你能看到相同颜色的很长的水平线。

你看到的图像不可能和上图完全一样，实际电平取决于你的声卡以及麦克风的灵敏度等。不过，默认的颜色范围非常广，涵盖了从-90 dBFS到0 dBFS的范围。为了获得更好的色彩分辨率，你可以先在下方的SPECTRUM（频谱）图中确认一下最小和最大电平值。电平值的大小跟所设置的频带宽度有关，在1/12th倍频程时，这个电平范围大概是从-120dBFS到-60 dBFS。要调整色彩刻度以匹配该范围，双击彩色刻度尺，会打开一个类似下面的窗口。



在此窗口中，Min（最小值）代表彩色刻度尺的下限（蓝色），Max（最大值）代表

彩色刻度尺的上限（红色）。注意，如果你把下面的Color Mapping（绘图颜色）从RGB（彩色）改为GRAYSCALE（灰度），则图像会变成黑白色，同时颜色刻度尺对应的下限变为黑色，上限变为白色。现在你可以输入所需的刻度尺上下界限值，按OK键确定。这是图像会立刻按新设置的色彩范围，重新调整摄谱图的显示。

提示：改变颜色范围，在实际使用中是非常有用的。它可以让你把某个电平范围“放大”，从而更清楚地观察信号差异。同样的，您可以选择一个很宽的色彩刻度范围，忽视细节，从而快速地对输入信号的动态范围进行一个整体纵览。grayscale（灰度）可以用来生成黑白色的图像结果。

对频率轴来说，跟视口设置有关的所有功能都是开放的，比如鼠标缩放、手动输入坐标界限、完整视图切换等。而对时间轴而言，视口设置功能目前在摄谱图中是受限的，因为它不允许把零时刻以外的其它值作为起始时间。因此这里无法用鼠标右键来选择特定的时间范围。我们只能手动输入该时间轴的终点坐标值，来改变整体时间段的长短，但无法改变起始点的值。还有一点要注意，出于性能方面的考虑，摄谱图不能将当前视口之外的数据完全予以保留。因此，如果你把视图放大到某个频率范围，则这个范围以外的数据将会丢失。当再次返回到全景视图时，之前未被选中的区域会是一片空白。记住，你可以随时使用左边控制面板上的STOP ANALYSIS（停止分析）按钮来停止摄谱图分析。

SWITCH DIRECTION（方向切换）选项仅适用于摄谱图，它可以交换图像的纵轴和横轴。根据测量需要和可用屏幕区域的不同，你可能希望屏幕区域更多地用于显示时域上的信息，亦或是希望看到更多频域上的数据。摄谱图中，默认的是以水平轴来显示频率。当你把上下图形区分别设为SPECTROGRAM和SPECTRUM时，这种默认设置有利于将摄谱图和频谱图进行对比。

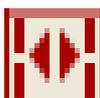
正如我们前面所述，摄谱图的主要目的是观察输入频谱在某段时间内的情况。一方面，当频谱图已经消失了之后，从摄谱图中仍能观察某个声音事件的频谱分布情况。另一方面，摄谱图在频域可以用来调查谐振问题并改善声反馈。

同步视图

您可能已经注意到，在频谱图和摄谱图左上角，现在都出现了另一个图标。



这个名为SYNC（同步）的图标可以将当前的两个图像的横轴刻度范围进行同步，前提是这两个图像的横轴表示的是同一种对象。该功能可用于时域和频域。注意，该功能具有两种状态，也就是说两个图像可以设为同步，也可以不同步。如果开启同步功能，则两个图像中的SYNC按钮都会高亮显示：



想试试的话，可使用鼠标放大摄谱图的频率轴。然后按下同步按钮。结果摄谱图的频率范围将变成跟频谱图相同的频率范围。从现在起，软件将保持两个视图的横轴范围同步。不管你做什么，它们会同时改变，直到你取消SYNC按钮。例如，你可以点击频谱图的自动缩放图标，将其切换到完整视图，然后再放大该视图，你会发现摄谱图的横轴也会随之改变。

存储和调用视图

让我们利用这个机会，多讨论一点关于上方和下方图形区的视图操作。例如，我们现在看到在上方图形区中显示的是频谱图，下方图形区显示的是摄谱图。假设你把视口进行了某些很实用的调整，比如，放大了中频范围以便查找其中的反馈点。那么上下两个图像可能已经设为同步了，则它们都显示了同样的中频范围，比如从250 Hz到4 kHz。

有两种方法可以将这个视口设置保存起来，以便之后再次调用该视口。一种是你可以从FILE菜单选择SAVE VIEW FILE。该命令将打开一个对话框窗口，允许您保存一个格式为.stview的视口文件到你的硬盘。保存之后，你可以随时从FILE菜单上的OPEN VIEW FILE命令来调用该视口。我们来试一下：把当前视口保存成文件，然后更改频率轴的视图范围。重新调用该视口文件后，你会发现，视口范围又恢复到了调节之前的初始状态。调用视口文件的同时，上、下方图形区也将恢复到之前保存的形式。例如，你如果把上方图形区从SPECTRUM改为TIME SIGNAL，则调用视口文件后，上方图形区也会重新切换到SPECTRUM模式。

用来保存和加载视图设置的另一种方法是通过VIEW菜单。注意，在该菜单上方有10条视口预存位，标号从1到10。每一个预存位都可以存储一个特定的视口设置。



把视口设置保存到一个预存位很容易。从VIEW菜单，选择STORE CURRENT VIEW（保存当前视口），然后从次级菜单中选择要保存到哪个预存位。之后，弹出一个对话框，要求你给刚刚保存的视口输入一个名称。在这个例子中，我们用5号预存位，输入名称“Spectrum Mid-Range”。注意，您可以使用菜单命令RENAME VIEW（重命名视口）来给某个已保存的视口设置重新命名。从VIEW菜单选择相应的预存位，即可调用之前保存的视口设置。注意：View菜单的前四条是厂家预设的四个常用视口设置，你可以根据实际需要，用别的视口来替换这四个厂家预设。

在实际操作中，你会发现自己经常需要在不同视图间转换，并且会有一些自己比较常用的视口设置。上述功能将帮助您保存自己常用的预设视口。但是为更加高效率的工作，SysTune 还提供了一系列快速保存和调用视口的快捷键。按 Ctrl + Shift + [N]保存当前视口到第 N 个预存位，其中 N 是一个介于 0 和 9 的数字，其中 0 对应的是第 10 个预存位。使用组合键 Ctrl+ [N]即可迅速调用对应的视口。

提示：最有效的方法就是把你常用的分析或创建报告视口仅保存在前 9 个预存位中。把第 10 个预存位作为临时视口保存位。当你需要暂时切换图像时，就可以迅速返回之前的设置。

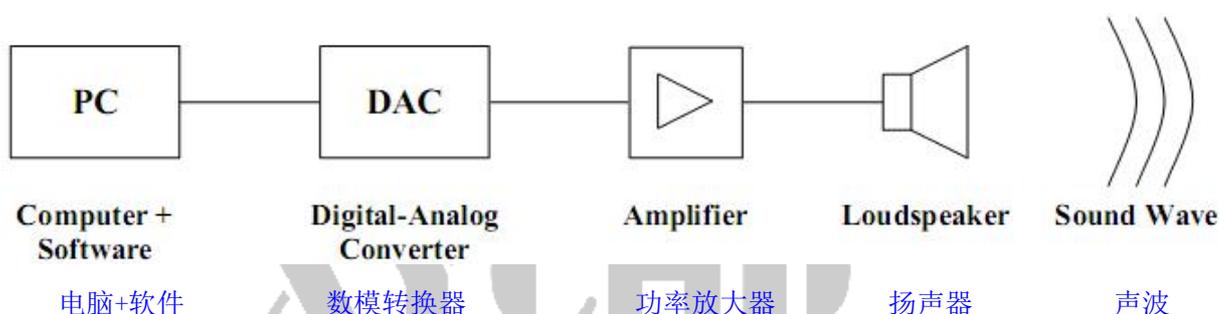
总结

这个部分介绍的是针对输入信号的第三种图像，即摄谱（SPECTROGRAM）图。作为一种三维图像，它是以不同的色彩，来将信号值的大小表示为频率和时间的函数。我们也看到了时间和频率分辨率的关系是多么的密切。

3.利用激励信号进行测量

到目前为止，我们只是在“被动地”测量，也就是说除了话筒校准器产生的正弦波信号之外，我们尚没有真正使用过激励信号。在这一部分里我们将介绍如何使用 EASERA SYSTUNE 内部的激励信号来测量系统的频率响应。

但是在开始测量之前，我们先来了解一下测试系统的基本架构。之前的系统架构都是为了记录某个声音信号，但现在我们是要去产生一个声音信号。要把某个数字信号转换成声音信号，必须像之前搭建输入链路那样，再去搭建一个输出链路。



电脑上的 SYSTUNE 软件将需要播放的信号送给声卡的驱动，然后声卡的数模转换部分 (D/A) 根据该数据流产生出模拟电压信号。最后，电信号经过放大，送入扬声器发出声波。

接下来，将声卡输出通道连接到一个扬声器上，最好使用声卡的第一个输出通道。

重要提示：在通过新搭建的输出链路播放软件信号之前，必须先把功放或扬声器的增益关小。

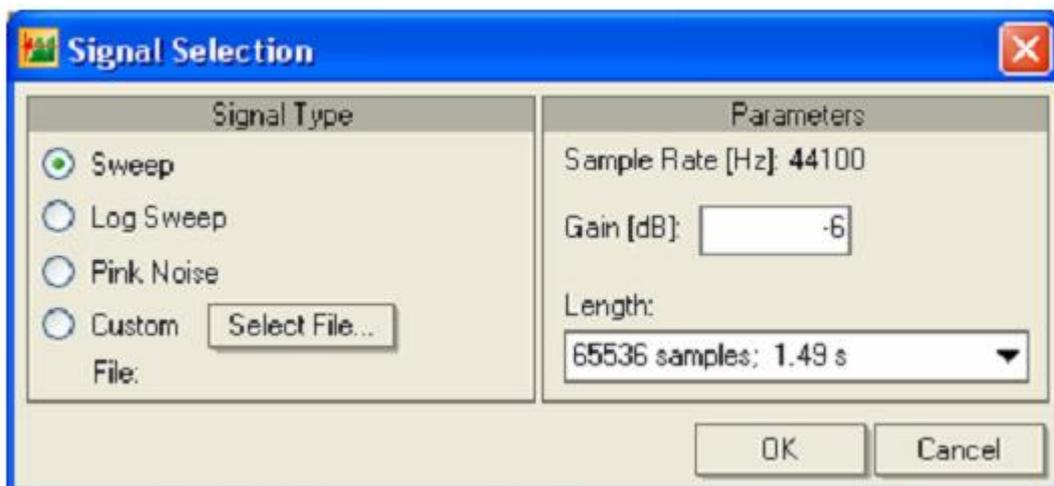
3.1 激励信号

选择一种激励信号

首先，我们需要从 EASERA SYSTUNE 里面选择一种激励信号。从软件界面左边 OUTPUT(输出)功能框里，点击 PLAY SIGNAL (播放) 下方的 SELECT (选择)。(除非你已选择好了信号类型和输出通道，否则你无法播放任何信号。)



这时将弹出 Signal Selection (信号选择) 窗口。



左边 Signal Type 区域里可以选择信号类型：你可以选择 Sweep（线性扫频）、Log Sweep（对数扫频）、Pink Noise（粉噪）或 Custom（自定义的音频信号）。这里简单介绍一下：

- 1 线性扫频是个很常见的信号，有时也称之为啁啾音（chirp）或 TSP 脉冲（time-stretched pulse）。和所有的扫频信号一样，线性扫频信号由一个频率随时间而变化的正弦信号组成。更准确的说，线性扫频信号的频率随时间线性增加，这相当于一个固定的扫频速率（每秒扫过的赫兹数相等）。
- 1 相比之下，对数扫频信号则是扫过每个倍频程带宽所花费的时间相等。线性扫频的优点是高频段的信号能量较高，因而高频信噪比也较高；但这同时也是它的一个缺点，因为它不太适合去激励高灵敏度的高音扬声器单元。对数扫频信号的能量在高频范围内则要低得多，这就是它比线性扫频信号更常用的原因。
- 1 然而，很多时候由于扫频信号本身的结构特性，使它听起来非常容易让人感到厌烦。所以粉噪信号成为普遍的选择，它也能够提供随频率升高而降低的能量，而且它连续、平滑的能量分布使它的听感对于临时听众和旁观者来说更容易接受。
- 1 除了上述三种信号之外，你还可以加载某个音频文件作为自定义的激励信号。点击 SELECT FILE... (选择文件...) 按钮，然后从硬盘中选择需要加载的音频文件即可。注意，受存储空间的限制，该文件的大小不能超过 524288 个采样值。在 48kHz 的采样

率下，该数值相当于 11 秒左右的时长。如果你选择的某个信号文件，其长度超出了该数值，EASERA SYSTUNE 在加载该文件时会自动将其剪切到最大允许值。

从技术角度讲，你可以使用任何种类的自定义信号，但是你要考虑它的特点是否满足你想测量的内容。所选信号要提供足够的频宽，以达到足够的信噪比。如果使用带宽有限的信号或音调信号，比如一些语言或音乐小样，则很可能无法获得待测系统宽带频率响应（或脉冲响应）的有效结果。虽然 EASERA SYSTUNE 中预置的信号带给现场听众的听音感受可能不是那么优美，但它们对测量而言是极为有效的。另外也可以参考第 5.5 章节中有关以语言和音乐作为激励信号的讨论。

提示：如果你对某个自定义信号的频谱没有把握，可以在很高的分辨率下观察它的频率响应。（稍后我们会讨论在 SYSTUNE 里如何进行这一操作），如果在有用的频率范围内发现很宽的凹陷，请不要用这个信号做测量。

如果你电脑硬盘里没有所需激励信号的音频文件，但是有 CD 唱片或者其它外界信号，你也可以直接播放这些信号，并通过 SYSTUNE 的话筒输入观察结果。有关通过外界信号进行传输函数测量的方法，请看下一章。

技术说明：

在音频测量的世界里有着各式各样的工具，其中很多工具都有自己专门的激励信号。除了线性和对数扫频信号以外，还有其它加权方式的扫频信号。时延谱（time delay spectrometry, TDS）使用的是一种线性（或者说是白色的）扫频信号。在 EASERA 中也曾介绍过所谓加权扫频信号（weighted sweeps），可以用于扬声器测量。这类扫频信号在高频部分具有大约 20dB 的衰减，但它衰减的速度不像对数扫频信号那么迅速。最大长度序列（maximum length sequences, MLS）也是一种常见的激励信号。MLS 信号和随机白噪声有些相似，但是 MLS 信号所具有的确定性特征使我们能够快速对其进行处理。这在早先计算能力非常有限的年代里，显得尤其重要。

最适合用于实时测量的信号一般都具有一种自相似性（self-similarity）。也就是说，如果你从中截取一段比该信号短得多的小片段来观察，会发现两者的频谱非常相似。任何扫频信号都不具有这种特性，但是所有典型的噪声信号都具有这种特性。这种自相

似性能允许你选择某个远远短于信号本身时长的时间帧，也就是以很小的 FFT 尺寸来进行测量分析。但是扫频信号也有其优点，尤其表现在测量某些不太稳定的系统时。我们会在介绍传输函数的测量时，再去探讨如何选择合适的激励信号。

在 Signal Selection (信号选择) 窗口的右边，有一个可供调节的 Parameters (参数) 选项区。该区域上方显示的是当前采样率 (Sample Rate)，下方可以调整任何信号输出的增益 (GAIN)。由于 SYSTUNE 软件内没有任何电平控制旋钮或推子，如果你不想调整放大器或者声卡的增益旋钮，那么也可以通过这个增益参数来调整输出信号的电平。在该区域的底部，有个 LENGTH (信号时间长度) 选择框，但它不能用来调整自定义信号，因为自定义信号的时长是由音频文件本身决定的。

就我们此刻的目的而言，首先选择 PINK NOISE (粉噪)，然后将 GAIN (增益) 设为 -6dB，并在 LENGTH (信号时间长度) 下拉菜单中选择 3 秒左右的时长，按 OK 键确认以上设置。回到程序主窗口后，刚刚的设置立即生效。在 SIGNAL (信号) 标签旁边，显示了所选信号的类型和长度。

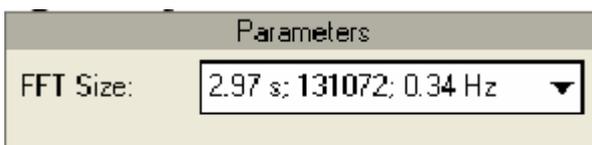


如果你的 FFT SIZE 参数还保留着之前介绍 SPECTROGRAM (摄谱) 部分时所设置的较小值，程序会提示警告如下：



警告：FFT 尺寸和信号时长不相等！

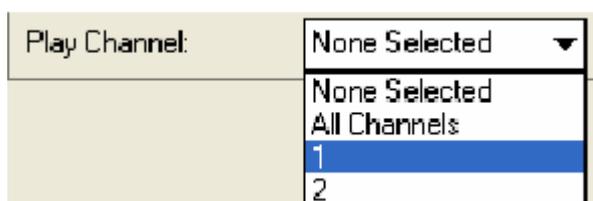
通常，如果采用的是周期性激励信号，则 FFT SIZE (FFT 尺寸) 绝对不能大于该激励信号的周期时长。FFT 尺寸也可以小于激励信号的周期，前提是该激励信号在较小片段内仍能涵盖整个有效频率范围。比如，粉噪信号的 FFT 尺寸就可以小于该粉噪信号时长，但是扫频信号则不能。接下来，我们将 FFT 尺寸设为 3 秒左右长度，正好可以和之前所选择的粉噪信号长度相同。



提示：将当前 FFT 尺寸设为与所选激励信号时长相等的快捷键是 *Ctrl+Shift+F*。

激活输出通道

接下来，需要选择激励信号的输出端口。在刚才选择激励信号类型的功能区的下方，有一个 PLAY CHANNEL（播放通道）下拉菜单。该下拉菜单默认的选项是 NONE SELECTED（未选择），从这里选择我们想采用的输出通道，也就是前面提到的第 1 通道。如果你搞不清楚自己连接的是声卡的哪个输出，或者你想将激励信号同时馈给多只扬声器，那么也可以选择 ALL CHANNELS（所有通道）。



今后，你还可能发现该列表不仅仅能显示声卡输出通道的序号数字。在使用某些声卡驱动程序时，SYSTUNE 还会显示出每个通道的名称。

你可能已经注意到，在 PLAY CHANNEL 标签和输出通道下拉菜单之间，有一个小方块。这也是一个微型电平表，类似于我们之前提到的信号输入区的微型电平表。只不过这里指示的是输出信号。当输出信号接近削波阈值时，它也会像输入部分的微型电平表一样，通过不同的颜色指示给出警告。

频率响应测量

现在我们已经完成了相关的测量设置。再检查一下信号电平设定，点击 PLAY SIGNAL (播放信号) 按钮，开始输出信号。

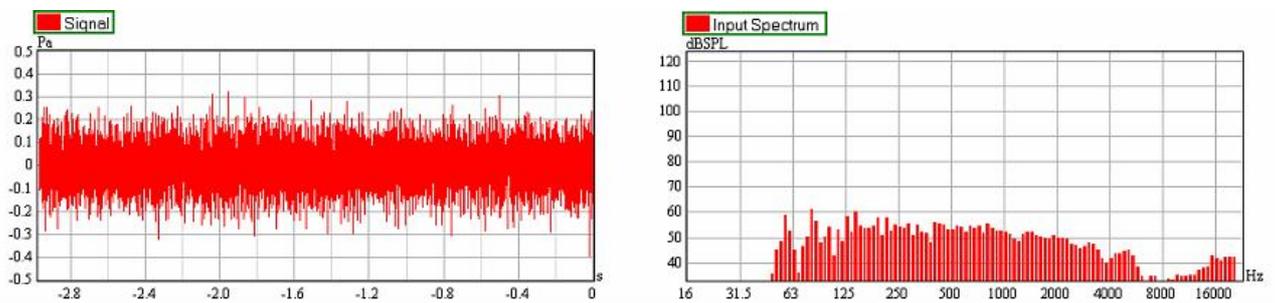


当 SYSTUNE 输出信号时，微型电平表会被激活，显示当前的信号电平。就像输入部分一样，当信号输出电平处于-6dBFS 左右时，电平表显示黄色；当输出电平接近削波时，也就是达到-1dBFS 或更高时，电平表会显示红色。同样地，这个电平表也会记忆最后一次超出阈值的状态，用鼠标点击该电平表即可将颜色复位。



提示：请确保电平表处于绿色安全区域。数字信号振幅大小跟音频硬件以及 D/A 转换器的质量有关。有时候，甚至需要将输出峰值控制在 -6dBFS 以下，才能确保 D/A 转换过程不会引起输出信号失真。特别是使用噪声类信号作为激励信号输出时，更要注意这点。

将上方图形区设为 TIME SIGNAL（时域信号）模式，下方图形区设为 SPECTRUM（频谱）模式。如果系统已经校准过了，你会看到话筒信号大小的显示单位为 Pa 和 dB SPL，如下图所示：



当然，上图和你电脑屏幕上显示的图像不可能完全相同，这跟你的测量设置有关。但是不论如何，SPECTRUM（频谱）图像显示的都是待测系统的实际响应。正如前面所说，这是粉噪信号以这种等比倍频程带宽的模式叠加显示时的一种特性。由于粉噪本身的频谱是平直的，所以你看到的频谱起伏其实是由待测系造成的。如果仅仅需要考察幅值大小的起伏，则无需使用参考通道。你可以移动一下测试话筒或者音箱的位置，看看测量的结果有何影响。你也可以改变延时，均衡或者扬声器增益。但是要记住，如果改变了输入端的增益，你需要重新进行校准。

总结

在本节中，我们第一次涉及到整个测量链路中的输出端。我们选择了激励信号和输出通道，来对待测系统进行激励。最后，我们还对输入端收到的信号图谱进行了简单的观察。

3.2 测量信号的捕捉和对比

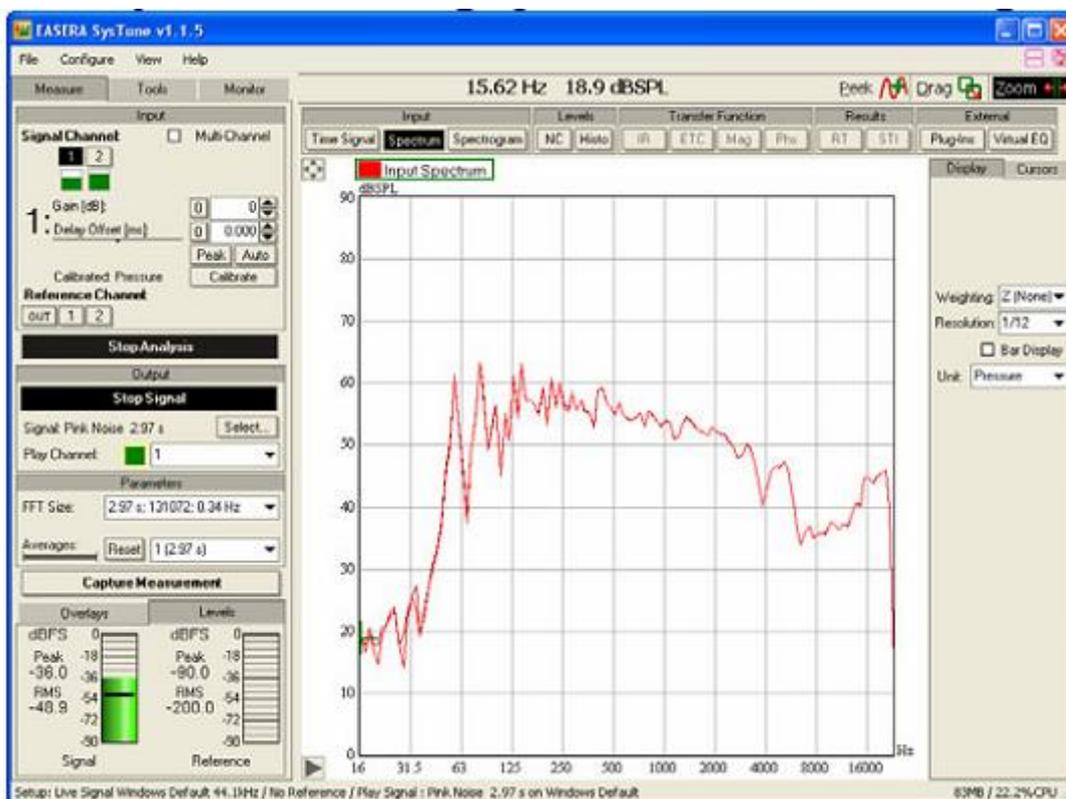
在搭建完待测系统的测量环境后，我们接下来要进行一些测量，并将结果保存和对比。为了便于观察，取消 BAR DISPLAY（条形图显示）选项前的打勾，并将 SPECTRUM（频谱）图像设为全屏。如果频谱图位于下方图形区，可以使用菜单栏最右侧的这个按钮将其最大化：



而该按钮左边的这个按钮可以将上方图形区最大化显示：



当你将某个图形区最大化显示时，程序窗口布局形式变成下图所示：



这个按钮可以对当前显示图像进行切换：



要返回双窗口显示，可以使用这个按钮：

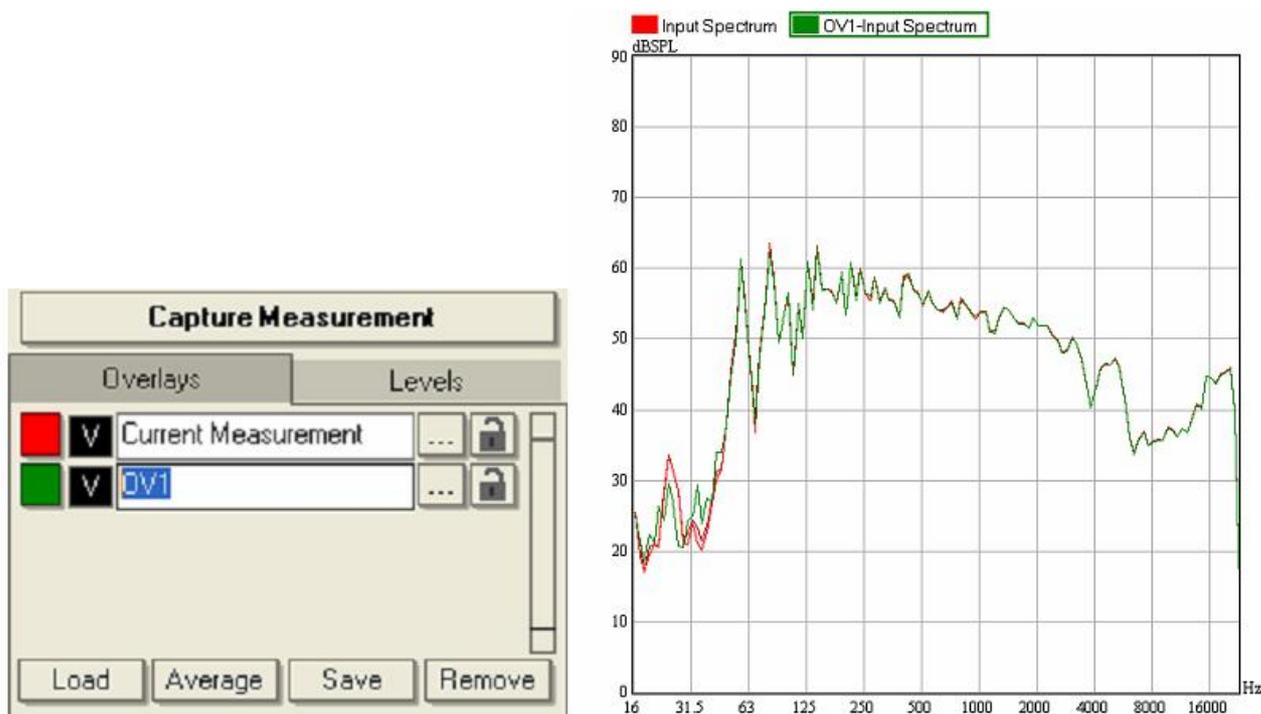


现在让我们捕捉一个测量结果。按一下左边控制面板里 PARAMETERS 区域下方的

CAPTURE MEASUREMENT（捕捉测量结果）按钮。软件会立刻复制当前测量数据，并自动将软件左下方的标签页从 LEVELS（电平）切换为 OVERLAYS（叠加图像），并在 OVERLAYS 列表中创建一个新的数据记录。

Capture Measurement

这个新数据记录会被默认命名为“OV1”，并自动指定一个颜色。之后的 OVERLAY 列表以及图像显示如下：



捕获后的数据会和此刻正在测量的数据一起，叠加显示在同一个图形区里。必要时你也可以查看 CURRENT MEASUREMENT（当前测量值）的峰值保持曲线（peak hold curve）。现在先暂时关闭实时分析功能，稍后我们再做进一步的测量。

提示：你也可以使用“Ctrl+空格键”来快速捕捉测量数据。这个快捷键非常有用，因为你可以将鼠标停留在测量曲线上来观察测量值的变化，以便决定何时进行捕捉。如果你想重新进行一次测量，也就是放弃之前的平均数据，你可以使用快捷键“Ctrl+F5”。它可以自动执行一系列的指令，清空之前的数据、重新对一段新数据进行平均值计算、然后捕捉测量结果。你还可以使用快捷键“Ctrl+Alt+空格”来把最近一次捕捉的 OVERLAY 清除掉。该功能在测量出错时非常有用，比如开错了扬声器，或是某个很大的噪声干扰

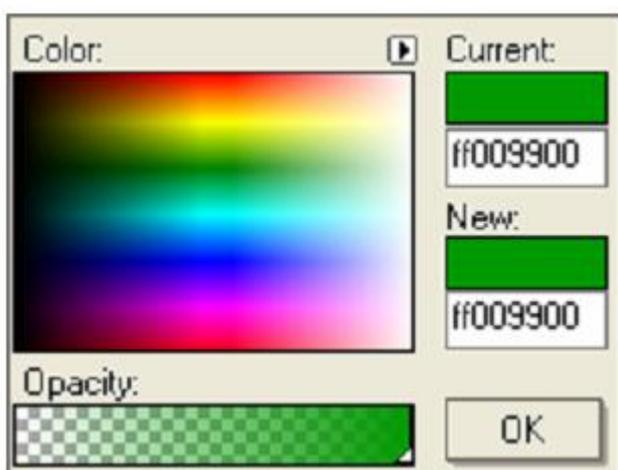
到你的测量时。

OVERLAY 的特性

要给某个 OVERLAY 改名，可以直接点击该 OVERLAY 的名称，并输入新的文字。因为我们接下来还要捕捉一些其它测试话筒位值的数据，所以我们先把这个 OVERLAY 命名为“MIC Pos 1”（话筒位置 1）。

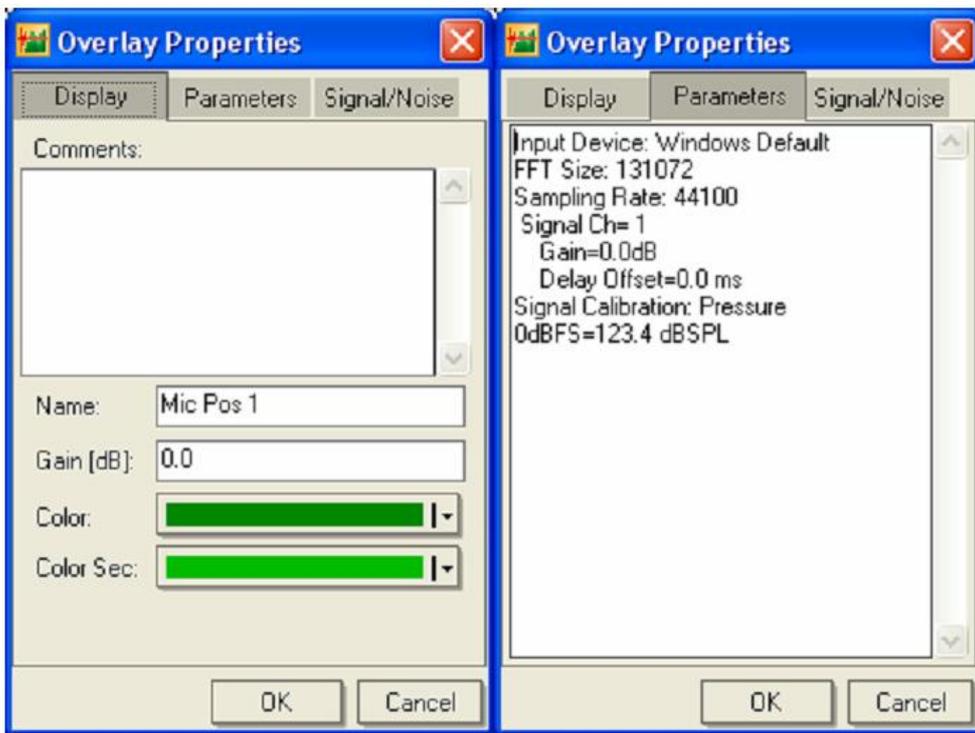
每个 OVERLAY 的文本框的左边，有个标着“V”的按钮，用来显示/隐藏该 OVERLAY。你也可以把 CURRENT MEASUREMENT（当前测量值）隐藏起来。

在最左边还有一个按钮表示的是该 OVERLAY 曲线的颜色，点击该按钮，可以在弹出的小对话框中更改该曲线的颜色。



除了从 Color（颜色）区域中直接选定颜色之外，你也可以直接在 NEW（新颜色）下面的文本框中输入十六进制的色号，并在 Opacity（不透明度）中设置曲线的透明度。点击 OK 按钮即可关闭此窗口。

文本框的右边也有两个按钮。第一个“...”按钮可以打开 OVERLAY PROPERTIES（OVERLAY 属性）窗口。在该窗口的第一个 Display 标签页里，你可以自己输入一些相关信息（Comments），改变 OVERLAY 曲线的名字（Name），或是设置前文所说的 OVERLAY 曲线的颜色（Color）。而标有 Color Sec（辅助颜色）的按钮则是用来设置参考通道中曲线的颜色。我们稍后再介绍它。



第二个标着 Parameters 的标签页里，显示的是软件在捕获该 OVERLAY 时的参数设置情况。第三个标着 Signal/Noise 的标签页用来调节 STI 测量时的有关参数，它只在 Pro 版本的 systune 中才有。在 5.4 章我们会看到详细的介绍。现在我不想对这个窗口中的内容做任何改动，所以直接按 OK 关闭窗口。

回到 OVERLAY 列表，最右边有个小锁形状的按钮，可以将对应的 OVERLAY 锁定，不受开窗 (windowing) 或离线均衡 (off-line equalization) 等后期处理的影响。稍后我们讨论如何分析传输函数的时候，再来详细介绍这个功能。



这个 LOCK (锁定) 按钮取代了 1.0 版 SYSTUNE 中那个带有红色录音符号的按钮，后者原本是用于对某个 OVERLAY 进行覆盖保存的。这个功能依然存在，只要按住 Ctrl 键的同时，左键单击某个 OVERLAY 即可。单击左键。接着就会从分析进程中捕获一个新的数据。这个命令类似于 CAPTURE MEASUREMENT (捕捉测量值)，但是它可以将数据直接保存在被选中的 OVERLAY 中，而不是新建一个 OVERLAY。

提示：如果你有多个测量位置，那么这个功能是非常有用的。在做了一系列的测量之后，如果有一条是错误的，你可以单独地更新这条数据。你也可以先捕捉一系列的空白 (无效数据) OVERLAY，并给它们起上名字，然后再用真实的数据一步步代替它们。顺便说一下，除了按住 Ctrl 键并单击鼠标左键外，你也可以在选中该 OVERLAY 后，按

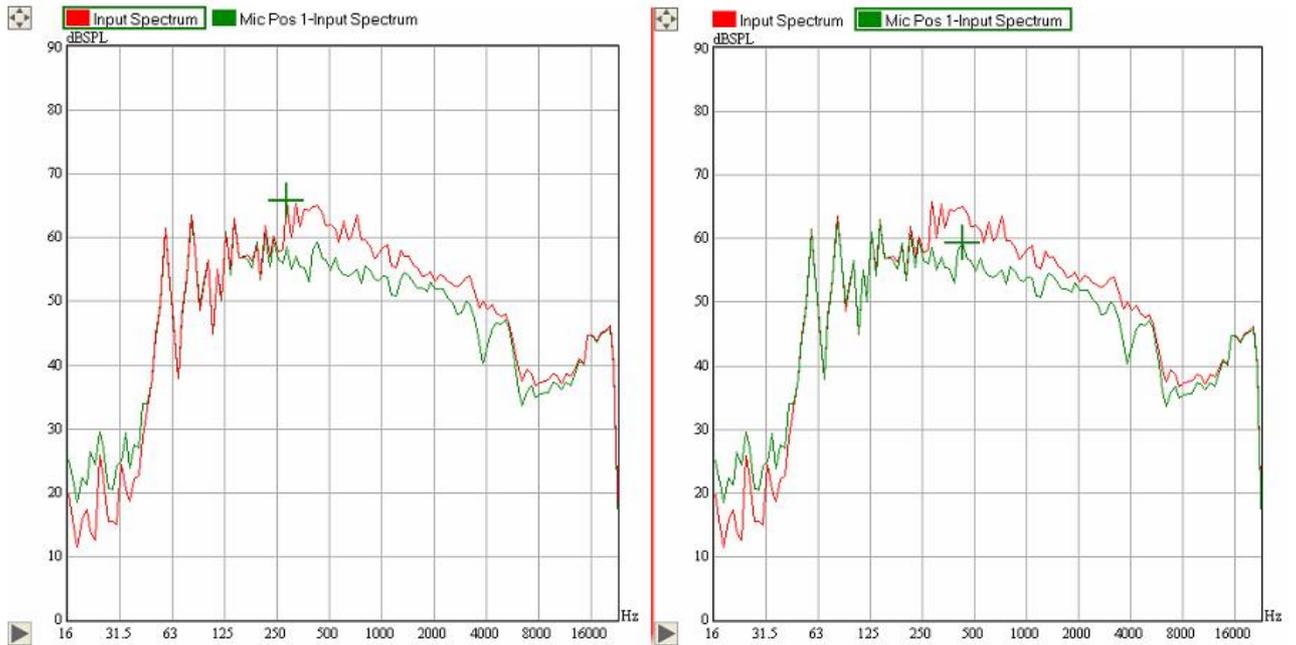
“Ctrl+Shift+空格”来实现当前新数据的替换功能。这样可以不通过鼠标操作，就能实现数据替换。

激活曲线

你也许已经注意到，现在的测量图像中已经包含了一条新增的曲线，而且在原图例标签的旁边，也相应增加了标有该 OVERLAY 名称的图例。不仅如此，新图例外面还带着一个绿色的框。这个绿框不但指明了哪条曲线是当前激活的曲线，同时还有别的用处。首先，激活的曲线一直显示在最前面。你可以直接点击另一个图例标签，切换激活曲线，同样，十字光标总是跟踪激活曲线，这意味着鼠标栏中所显示的坐标值总是对应于激活的 OVERLAY 曲线。

还有一些别的方法来激活曲线，比如说，在 OVERLAY 列表中单击相应的文本框。或者，你也可以使用键盘上的+ 键和- 键，在曲线之间切换。注意，最后这种方法，必须先激活相应的（上方或下方）图形区，才能通过键盘在该图形区的各种曲线之间来回切换。激活一个图形区，只需要直接点击它即可，此时该图形区的最左边会显示一条竖直的红线，表示它可以受键盘命令的控制。

下面这两个图显示的，一个是激活了 CURRENT MEASUREMENT（当前测量值）的 SPECTRUM（频谱）图；另一个是激活了名为“Mic Pos1”的 OVERLAY 曲线的 SPECTRUM（频谱）图。后者所在的图形显示区也已经被激活，所以可以直接受键盘命令的控制。最后，你可以看到跟踪十字光标总是附着在被激活的曲线上。



提示：有时你会测量很多数据，拥挤地显示在屏幕上。在这种情况下，某条曲线会被其它曲线所掩盖。通过逐个激活这些曲线，你可以逐一浏览这些曲线，同时也便于仔细分析。

保存，删除和加载 OVERLAY

很多时候，必须保存测量结果，以便进一步分析、处理或对比。在 OVERLAY 列表的下方，你会发现一排标有 LOAD（加载）、AVERAGE（平均）、SAVE（保存）以及 REMOVE（删除）的按钮。想保存 OVERLAY 列表中的某个数据，只要点击 SAVE，然后选择想要保存成文件的 OVERLAY 即可。保存窗口弹出时，所有尚未保存的曲线都会自动被选中。然后按 OK 键即可保存。



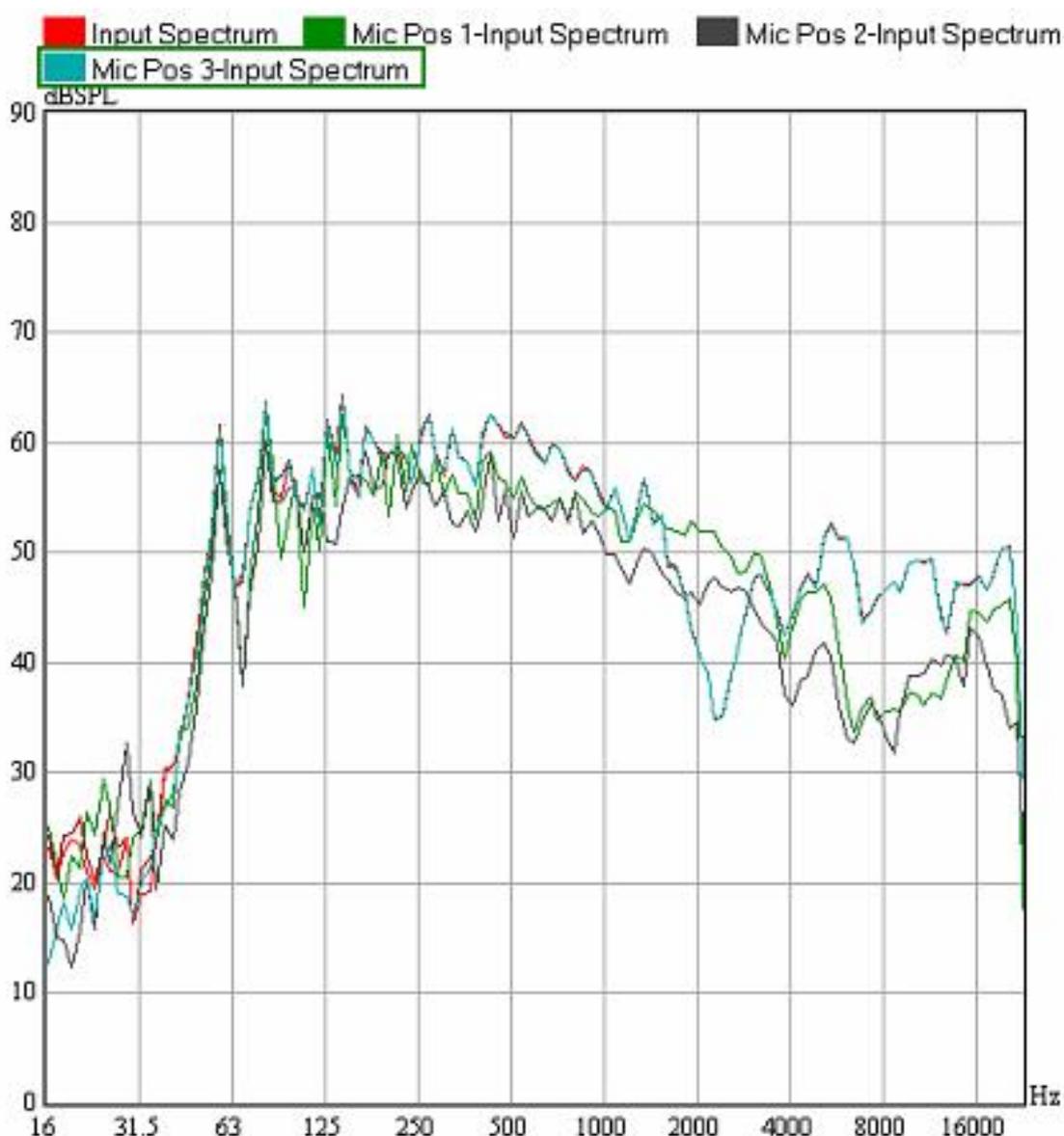
同样的，你也可以对列表中的 OVERLAY 进行清理。点击 REMOVE 按钮，打开需要从内部存储空间中清除掉的测量数据列表。该窗口打开时，会自动选中所有被设为隐藏的 OVERLAY。点 OK 即可将其清除。清除之前，先要确认一下是否已经将有价值的测量数据进行保存了。



将某个已保存的测量数据加载到 OVERLAY 列表中也是如此，点击 LOAD 按钮，从硬盘中选择需要加载的文件即可。

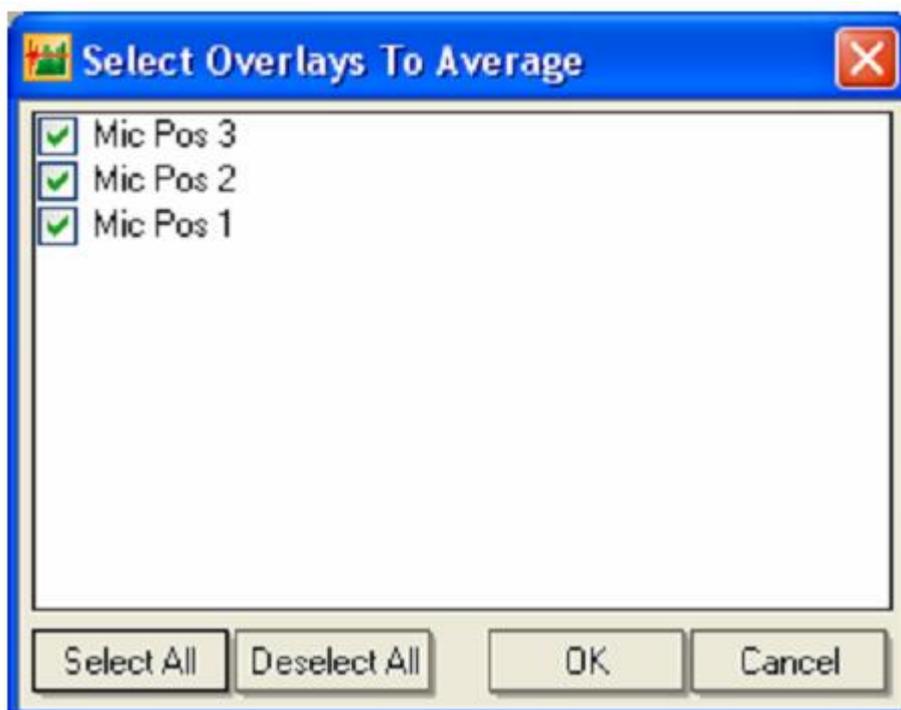
测量结果的平均

AVERAGE 按钮可以用来计算多个 OVERLAY 的平均值。想要有效地使用这一功能，我们应当多进行几次测量。因此，让我们把测量方式稍作调整，比如将测试话筒挪到另外一个位置，再捕捉一个 OVERLAY，并把它改名为“Mic Pos 2”。重复上述步骤，再保存一个名为“Mic Pos 3”的 OVERLAY。注意，最后一次捕获的 OVERLAY 总是显示在列表的最上方。你也可以按自己的喜好给这些曲线指定不同的颜色。最后你会得到一个类似下图的图像显示：

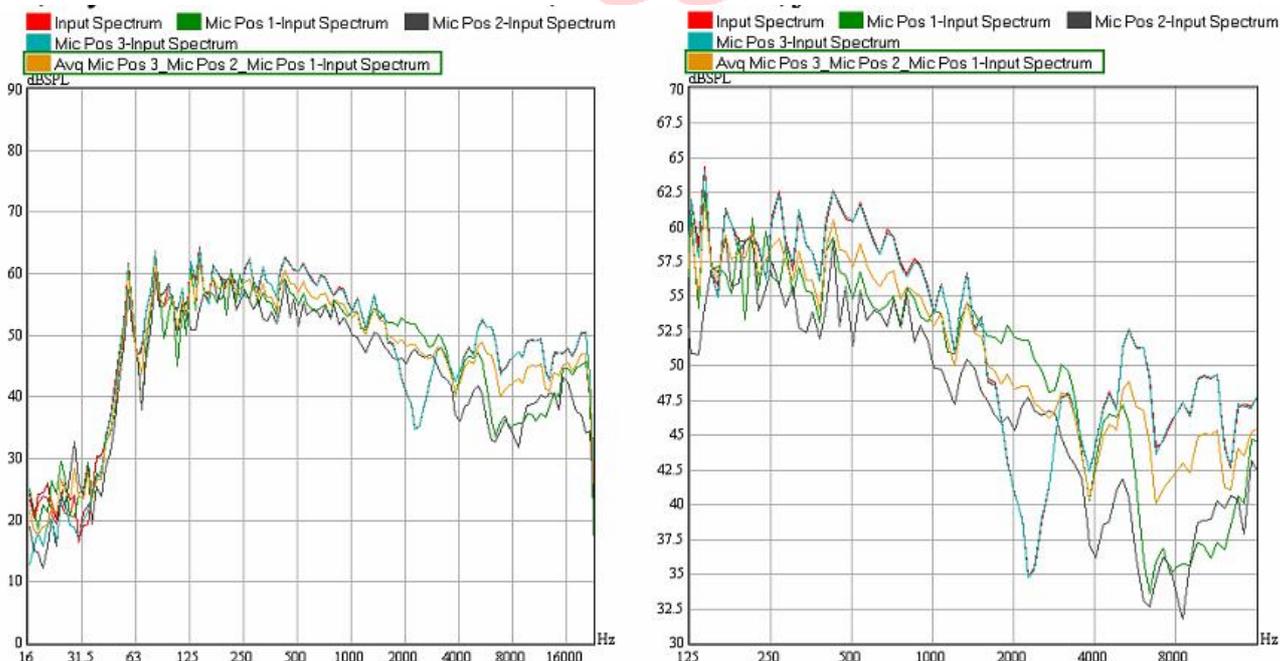


我们现在想要从上述测试话筒位置中获得一个有代表性的频率响应图。点击 AVERAGE 按钮，打开平均对话框，选择全部的三个 OVERLAY 一起进行处理。在按下 OK 键确认后，程序将计算选中的所有测量数据的平均频谱，并将所得结果作为一个新的数

据对象，加入到 OVERLAY 列表中。



之后的 SPECTRUM (频谱) 图会类似下图所示。仔细观察这个平均曲线以及它跟其它曲线的关系。如果你愿意的话，也可以给它改一个名字，并指定另外一种颜色。可以像之前那样将它保存成一个文件，以便日后使用。

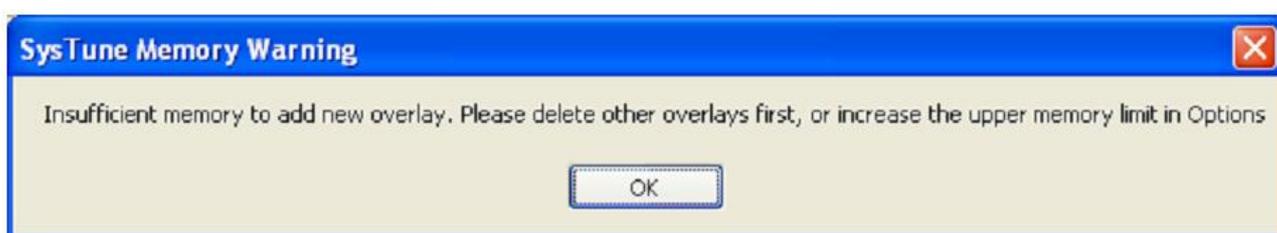


技术说明:

我们刚刚进行的平均计算是一种功率平均，也就是说，每个测量结果的功率谱

(power spectra) 都已经进行过平均了。在对数显示模式下, 该平均值更容易受到任意频率点处的最大曲线值的影响, 从而使结果并非精确地处于所有曲线的中心位置。功率平均是我们最常用的数据平均方法。和功率平均相比, 复平均 (或称为矢量平均) 以及振幅平均 (magnitude-only averaging) 都是以相干信号为前提进行平均, 这类求平均的方法无法用于求取某个房间或某片听音区内的典型频率响应。它们更适用于非常低的频率上, 或是某些电信号链路中。

捕捉、加载和求平均都需要占用计算机内存。当使用大量的 OVERLAY 时, 有可能会弹出下面的信息:



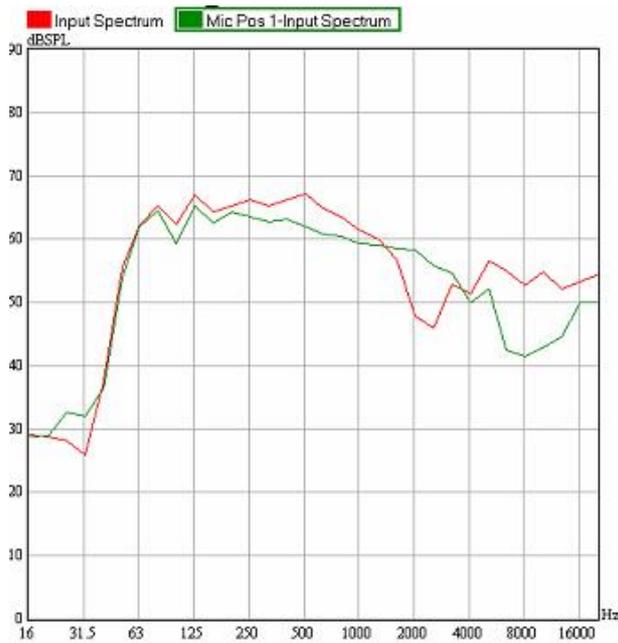
发生这种情况, 意味着下一步操作可能要超出 OVERLAY 的最大的可用内存容量。在这种情况下, 建议你的一部分测量数据保存后清除出列表。系统默认的最大内存值为计算机可用物理内存的 80%, 在 OPTIONS (选项) 窗口中可以修改该限制, 具体修改方法会在后面的某个章节中进行介绍。

为了继续练习接下来的功能, 我们需要清理一下 OVERLAY 列表。为此, 可以将上面的练习中所添加的数据全部清出列表, 除 CURRENT MEASUREMENT (当前测量值) 之外, 只保留一个 OVERLAY 即可。

添加光标

在我们之前介绍鼠标栏 (mouse bar) 的时候, 我们提到它可以显示跟踪十字光标的坐标值, 另外通过其中的工具按钮还可以将鼠标设为 ZOOM (缩放) 模式或 DRAG (拖拽) 模式, 不过我们当时没有介绍第三种鼠标模式, 也就是 PEEK (标记) 模式。在此我们想向您补充介绍该模式的强大功能。为了解释清楚这些特征, 除了当前测量值之外, OVERLAY 列表中只能保留一个 OVERLAY 数据, 并将图形窗口设为最大化的 SPECTRUM (频谱) 图 (如果你忘记怎么设定了, 只要参照上一节内容的第一部分再做一次即可)。我们还需要以无计权的 1/3 倍频程的带宽分辨率来观察频谱图。按上述设置后, 软件界面

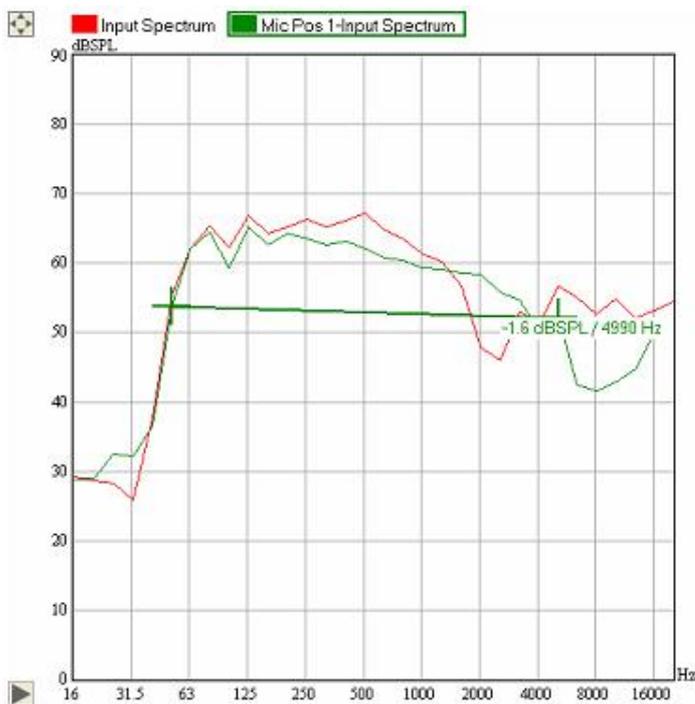
显示如下：



然后，利用鼠标栏里的 Peek 按钮，将鼠标模式设为 PEEK（标记）。在单个图形区最大化显示状态下，鼠标栏的位置也移到了菜单栏的下方。



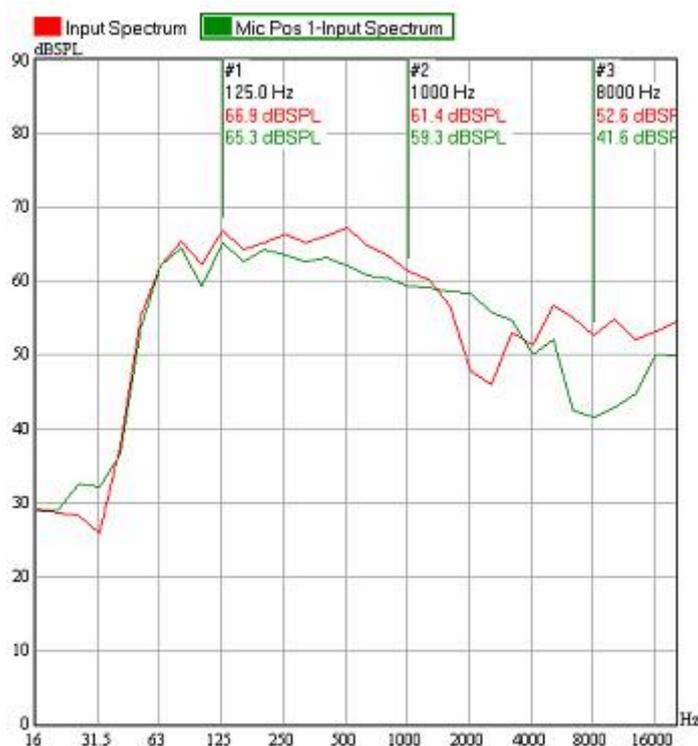
在所有的鼠标模式中，跟踪十字光标都会显示出当前激活曲线的鼠标坐标值。在 PEEK（标记）模式下，当你按住左键拖拽鼠标时，将会显示出拖拽起始点和鼠标当前位置的水平及垂直坐标差。



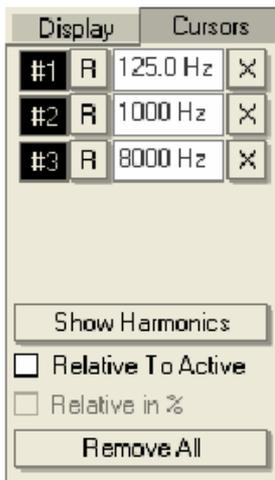
提示：利用 PEEK 功能，你还可以直接读出两组曲线之间的大小差别。只要按住鼠标左键，并通过键盘上的+或-键来切换激活曲线即可。跟踪十字光标会自动从上一条曲线切换到下一条曲线上。注意，这种快捷方式只适用于已激活的图形区，也就是左边带有一条红色垂线的图形区。

使用鼠标右键，点击不同的位置进行评估和比较。每次右击鼠标，都会在图像中放置一个固定的指针标记。该指针在图中显示出该位置的水平坐标值，以及每条曲线在该位置上的垂直幅度值。每个数值的颜色和对应的曲线颜色相同。无论是在实时分析时还是停止分析时，你都可以随时插入指针。

来练习一下，分别在 125Hz、1000Hz 和 8000Hz 位置插入 3 个指针。插入指针后的图像类似下图所示：

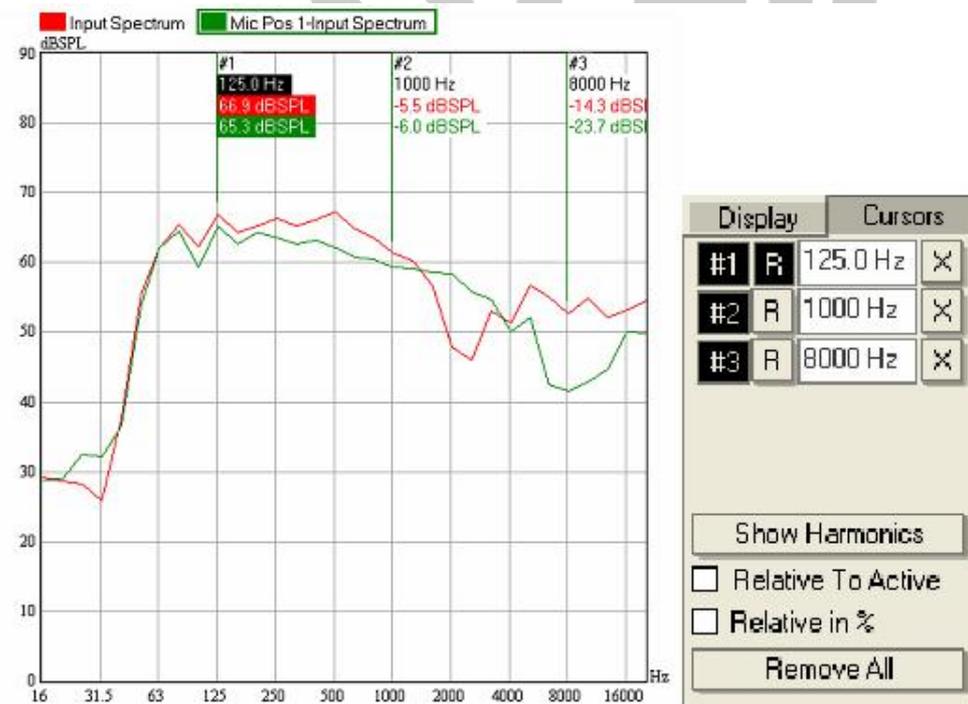


如果插入的指针的频率位置不够准确，也可以很方便地重新插入。把图像右侧的控制面板从 DISPLAY（显示）标签页切换到 CURSORS（指针）标签页，该页中列出了所有已经插入图像中的指针：



点下 REMOVE ALL（全部清除）按钮，可以删除掉列表中所有的指针。如果想单独删除某一个指针，可以点击该指针右侧的×键。如果要隐藏某个指针，可以点击对应的“#加数字”按钮。

但是功能最强大的，还要数 R 这个按钮。它可以将某个指针设为所有其它指针的参考点。这意味着一旦设置某个指针为参考，其它指针显示的都是对应该参考值的相对值。我们暂且将第一个指针设为参考指针，则图像显示如下：



#2 和#3 两个指针的值，从绝对值变成了相对值。注意，所有的相对值的数值之前都带有一个+号或-号。在上图中，作为当前参考指针的#1，它的数值以实心的背景底色进行标示。

提示：不同的指针显示在判断水平方向上的信号大小差别时非常有用。比如说，如果你

将一个正弦波信号馈入系统，那么你可以很方便地从频域上看出相关的谐波值的大小。而在时域图像中，你也可以查看到声压级或电压随时间变化而增大或减小的精确值。

勾选 RELATIVE TO ACTIVE（对应当前激活）项，可以激活另一个重要的功能。前面说的参考指针功能能够显示其它指针相对于所选指针的幅度值之差，也就是说所选的参考指针表示的是一个水平坐标值；而这个 RELATIVE TO ACTIVE 选项则计算的是其它曲线和当前激活曲线的相对值。当选择第一个 OVERLAY 作为参考曲线时，图像显示结果如下：



从图上可以看出，各指针上，红色曲线的绝对值被相对于绿色曲线的差值所取代。同时，作为参考值的绿色曲线的各幅度值，显示方式也从绿字变成了绿底白字。点击另一条曲线的图例标签，改变当前激活曲线，从而参考曲线也随之改变。

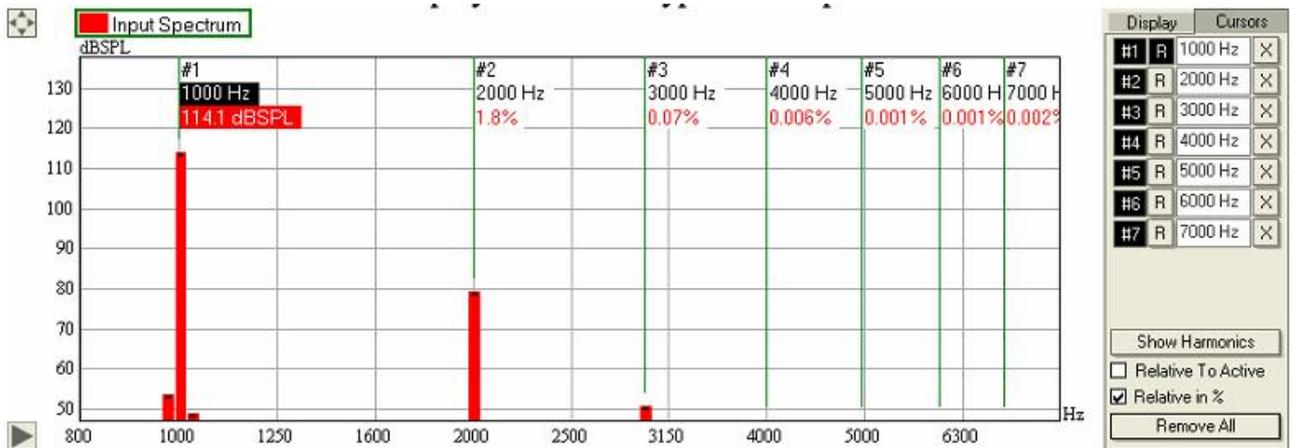
提示：如果你想对多个测量结果进行大小对比，或是参照某个加载文件来对当前测量值进行监视，那么针对激活曲线的指针显示功能会非常实用。你可以同时使用参考指针和参考曲线两种相对值显示。

在本节的最后，我们想再强调一点，那就是 OVERLAY 和指针功能均适用于 EASERA systune 中所有的二维图像。如果你愿意试一试的话，你也可以按上述步骤对所有其它图像进行操作。

显示谐波

在 Pro 版的 SYSTUNE 中，在 INPUT SPECTRUM（输入频谱）图右侧的 CURSORS 标签页里，你还能看到另外两项指针控制功能。点击 SHOW HARMONICS（显示谐波）按钮，会在指针列表中最后一个指针频率值的基础上，自动插入最多 6 个新指针，这些新指针的频率坐标值都是之前最后一个指针的频率坐标值的整数倍（2 至 7 倍）。如果将之前最后一个指针设为参考指针（通过 R 按钮），那么此时显示的就是该频率的高次谐波相对值。另一个 RELATIVE IN % 选项则可以将该显示结果从相对值转换为百分比。

要试验这一功能，首先点击 REMOVE ALL 按钮，将图像中的指针清空，然后在 1000Hz 处放置一个指针。接着，点击 SHOW HARMONICS 按钮，自动插入 2000Hz、3000Hz、4000Hz 等指针。点击指针列表中的 1000Hz 指针左侧的 R 按钮，将其设为参考指针。此时，以 1000Hz 为基频的有关谐波值都会显示出来。参见下图的示例：



总结

本节中，我们看到了 EASERA SYSTUNE 的一些核心功能。我们学到了如何捕捉测量结果并对其进行标注和处理。OVERLAY 图像的概念以及激活曲线的概念也在这里进行了介绍。我们了解了如何将捕获的测量数据保存到硬盘中，如何从硬盘中加载这些数据，以及如何把它们从程序存储空间中清除掉。另外，我们也对一系列测量结果进行了功率平均，从而获得一个典型的频率响应。最后，我们通过鼠标标记模式来对比多条曲线，并在图像中加入指针。

4. Dual-FFT（双通道快速傅里叶变换）测量

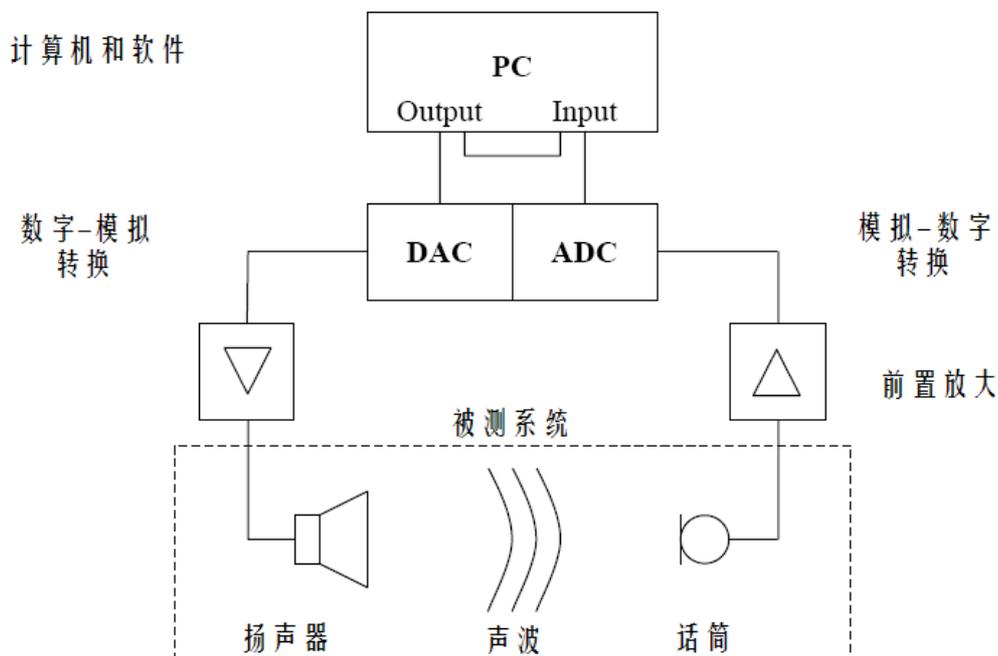
本章主要介绍EASERA SysTune主要测量功能，前面的章节介绍了基本的单通道测量，下面我使用双通道测量，第一个通道称为信号通道，第二个通道称为参考通道，请注意，参考通道可以通过两种方式确定：

- 在软件内部虚拟出一个环回（loopback），从而将输出接口播放的信号同时作为输入参考信号。
- 使用外界的信号，通过声卡的第二个输入口，来提供给软件作为参考信号。

在我们讨论怎样测量脉冲响应和传输函数之前，我们先来复习一下上述两种设置。

设置内部参考

采用内部参考信号时，我们需要把软件作为信号发生器[®]，让所产生的信号通过待测系统后，再返回到软件中。参考通道是纯虚拟的，你可以把它看做一个软件内部从输出返回到输入的一个环路。对于此类测量，参考信号和声卡的物理输出信号是完全一致的。

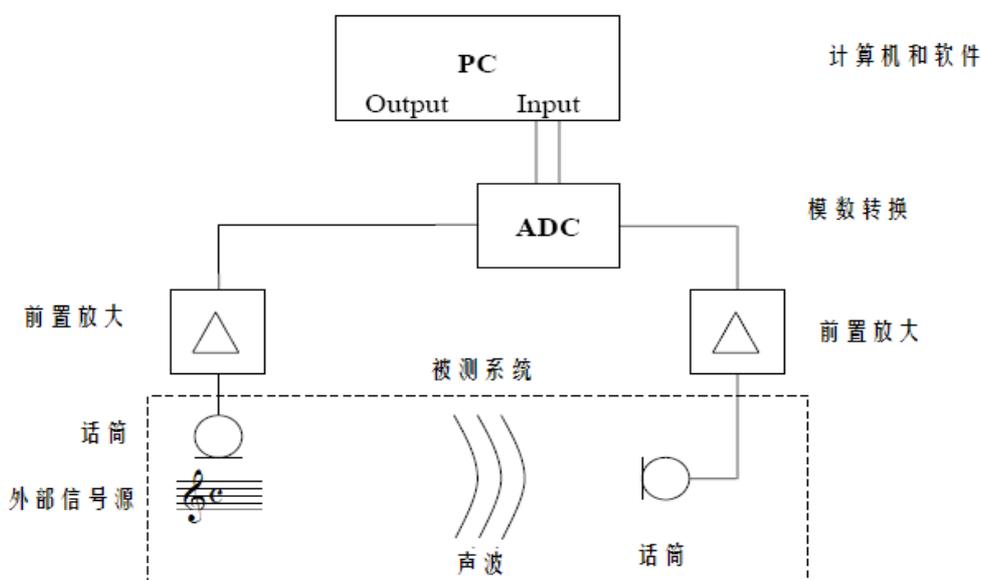
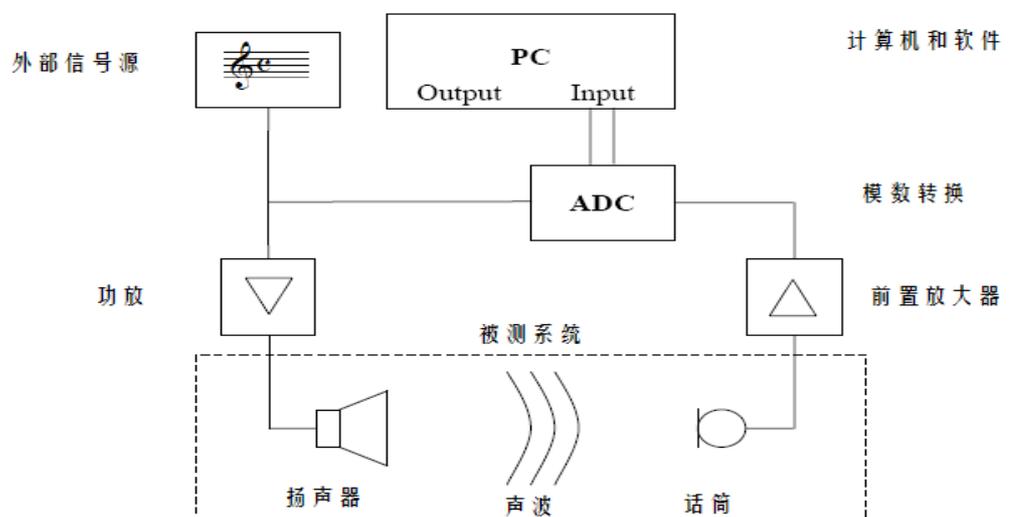


当你的声卡只有单路物理输入通道和输出通道时，这种设置模式对于传输函数的测量非常有用。如果声卡允许多个输入输出通道的话，通常推荐采用电信号的还回链路，也就是直接使用线缆把另一个输入和输出连接在一起。这样带来的一个优点，是能自动

消除由于数模和模数转换带来的延时或者频率方面的影响。当然，前提条件是你的声卡并不属于这个待测系统的一部分。

设置外部参考

作为一个外部的参考，我们使用第二个物理通道输入提供参考信号，这个信号可以是来自一个调音台的电信号，或者来自房间话筒的声学信号。外部参考信号也可以来自声卡的物理输出通道，如果采用这种方式来设置，软件仍然可以用作信号发生器，只不过此时所播发的信号并非直接从软件内部取来作为参考。这时，参考信号需要从外界引入声卡接口。



4.1. 测量传输函数

通过对测量设备的设置，使之具有一个信号通道和一个参考通道，然后我们就可以来测量待测系统的传输函数。但是，在详细介绍测试方法之前，让我们再次澄清一下有关传输函数这个术语。传输函数这个术语有两种常见含义，为了避免混淆产生，特此强调：

- 在一般系统理论中，传输函数是一个相当抽象的概念。它可以是描述某个系统的输出对输入响应关系的任何类型的数学表达式。这具体包括各种方面，如频率和时间等等。

- 在我们的扩声领域中，传输函数这个概念有着更明确的意义，换句话说，它表示的就是待测系统对理想的脉冲类输入信号的频域响应。在时域上，脉冲响应和传输函数是等价的。

在下面章节中，我们将只涉及第二个定义，它是更常用的，不会引起误解。

测量原理

为了便于介绍之前提到的两种架构下的测量，我们需要站在我们特定的立场上，再次简单说明一下什么是脉冲响应和传输函数。首先思考一下，我们要测量的是什么？到目前为止，我们已经多次提过所谓的“待测系统”（system under test, SUT）。

现在我们需要更清楚的定义一下，这里提到的待测系统，特指的是线性时不变系统。其中，对线性系统，可以简单的理解为，一个线性系统，其输入、输出信号是成正比的。



输出可以比输入大，也可以等于或小于输入，但是输入输出信号的大小关系始终是线性的：

$$\text{输出} = \text{输入} \times \text{某个因数}$$

这意味着输出与输入的关系因数跟输入信号的大小无关。同样地，时不变意味着该因数也不会随时间改变而变化。无论何时输入给该系统一个信号，它的因数都是固定不变的值。

为了更好的理解线性系统和时不变系统，下面有几个例子：

- | 一个系统中如果信号会在某个阈值处发生削波，该系统就不是线性系统。
- | 一个系统中，如果带有反馈环路，该系统就不是线性系统。
- | 一个系统如果本底噪声很高，它就不是一个线性系统。
- | 一个带有动态EQ的系统就不是一个时不变系统。
- | 一个大风环境下的扩声系统场地就不是一个时不变系统。
- | 一个不停改变滤波算法的混响器就不是一个时不变系统。

另外说明一点，在声学中，一个系统一般无法仅用单一的某个比例因数来描述。在实际中，上述因数通常是频率的函数。这个函数也就是我们所说的系统的传输函数。还应当强调指出，上述的这个因数可能是一个复数，包括实部和虚部的振幅和相位。传输函数在时域上的等效形式，称为脉冲响应。

技术说明：

在系统理论中，线性时不变系统对输入信号的响应称为卷积。按照传输函数（或脉冲响应）对输入信号求卷积，就可以得到输出信号。因此，卷积可以等效为频域上的复杂乘法，或是等效为时域上的更复杂的卷积积分。

这里要说明的是，在现实中，系统只能近似为线性时不变。你应该意识到，用SysTune实际的测量的精度，取决于待测系统是否近似于线性时不变系统。

传输函数的计算

说了这么多了，我们怎样才能通过测量来得到传输函数？原理很简单：我们利用上面提到的公式，简单变形求得该因数，作为我们的传输函数：

$$\text{因数} = \text{输出} / \text{输入}$$

这样的话，我们只需要将某个输入信号馈入待测系统，然后测量输出信号即可。如果我们能够同时得到输入信号和输出信号，那么马上就可以计算出系统的传输函数。还有一点也是显而易见的，那就是在输入信号所无法覆盖到的频率范围内，我们无法得出待测系统的传输函数，简单地说，我们不能把零作为除数。

我们想说的是，所有这些看似简单的数学计算，都需要在频域内完成。直接推导出脉冲响应（也就是时域里的传输函数）不是不可能，只不过实际实施起来的困难和成本都要高很多。

技术说明：

在系统理论中，根据某个系统的输入和输出信号来求得其传输函数（或脉冲响应）的过程，叫做去卷积（deconvolution）。它相当于在频域上的复杂除法。基于去卷积原理的测量平台，只能测量出输入信号所激励的频率范围内的系统传输函数。

如果激励信号的带宽有限或者仅包含某些单音，导致某些频率成分未能包含其中。那么在那些未被包含的频率上，去卷积运算相当于把零作为除数，而这是不符合除法定义的。

在EASERA SysTune中为了解决这个问题，增加了一个自适应WIENER算法。它的基本原理是给输入信号设置一个阈值，并把小于阈值的数据丢弃。当然，该算法只是解决了部分频率上无意义的算法问题，它仍然无法求得系统在那些频段上的传输函数。

由于时域计算的复杂性，EASERA SysTune是采用在频域内计算传输函数的方法。我们在第一章已经看到，按时间所采集的数据，是通过快速傅立叶变换（FFT）的方式转换为频域数据的。

这里采取的正是同样的方法，只不过进行了两次，即对信号通道和参考通道分别进行FFT处理。这两个通道分别采集了FFT块，进行频谱计算，最后用信号频谱除以参考频谱，以获取传输函数。以传输函数为基础，通过进行反向快速傅里叶变换（iFFT），即可计算出脉冲响应。

技术说明：

上面介绍的去卷积的概念应用于输入和输出的每个FFT块。但重点强调一下，大多数现实系统的输出存在一定程度上的延迟，在进行去卷积运算时需要考虑到这一点。

想象一下，待测信号音频流（待测系统的输出）和参考信号音频流（输入待测系统的）被连续不断地切割成大小相等的FFT块。对于测量信号和参考信号，每个FFT块最初都锁定在相同的时间点。在此之后，进行之前提到的复杂除法运算。在这种情况下，如果输出在相比输入略有延迟，那么很明显，有些采样数据将丢失，无法参与去卷积运算。对应某个输入FFT块的输出FFT块，其最末尾的采样数据将丢失，取而代之的是在开头的位置多出来一些本来属于上一个FFT块的采样数据。随着延迟时间的增大，输入和输出之间的相关性降低。对于大于FFT块尺寸的延迟时间来说，输入FFT和输出FFT的相关性将完全丧失（除非信号是周期性的）。

很明显，想要获得最高的测量精度，必须找到实际的延迟，以补偿两个通道之间的

时间差。只有这样，信号和参考信号的FFT块将以最佳优化相关联。在SysTune中这是一个很简单的处理：首先，你可以借助一个较长的FFT尺寸来测定延迟时间。把这个延迟时间输入软件中，即可任意进行后续的测量，不管采用长或短的FFT大小，都可以保证输入和输出的FFT块同步。

实时去卷积(RTD™)

市面上有各种各样的测量设备或软件，其中绝大部分都可以测量待测系统的脉冲响应和传输函数。然而到目前为止，只有EASERA SysTune可以实时地计算现实环境下的完整脉冲响应。

这一特性体现在两个方面。一方面，SysTune要通过FFT运算来得出信号通道和参考通道的频谱，接着再通过iFFT运算来得出脉冲响应。另一方面，这一处理过程并非只进行一次，而是要在很高的刷新率下持续地进行。

在标准的个人电脑上，想要达成这种功能，必须采用先进的处理器架构，并利用速度最快的编译器来实现。目前多线程处理架构的广泛应用，使得图形用户界面保持响应的同时，还能在后台同步进行这些繁重的计算。

技术说明：

为了实现面向高性能应用的目标，SysTune在开发的过程中应用了大量现代处理器架构的底层功能。具体包括SSE指令集和矢量优化问题等。

为了保证在进行非常消耗处理资源的实时去卷积运算时，软件的图形用户界面（GUI）仍能良好响应，SysTune在很大程度上依赖于多线程编程。这意味着对音频流的处理、数据的传输、结果的计算以及和用户间的交互操作等部分均独立运行，并将运算处理分担给多个处理器。在多核处理器系统中，虽然多线程应用的开发工作难度明显增加，但是此举带来的改善也是很显著的。

在 EASERA SysTune 中的传输函数

在SysTune中，传输函数和脉冲响应的作用表现在几个方面：

在时域里，你可以直接查看脉冲响应。这个功能不但可以用来对各个声源之间的时间差进行矫正，还可以看出系统对输入信号的响应时间。

另外，在时域方面，你还可以查看对数坐标系下的脉冲响应曲线，单位是dB。这条曲线在SysTune中被称为能量-时间曲线（energy time curve, ETC），这条曲线更贴合人耳的主管听觉感受，或者也可以用来查看反射声的情况。

在频域方面，可以查看传输函数的振幅图像（幅频曲线）。这可能是在调试音箱的时候的最有用的一个图像了，因为它能让你直观地看到待测系统对某个信号的实际响应情况。一个调试良好的系统的关键因素之一，就是有一个比较平坦的频率响应。

传输函数另一个方面就是相位，它也是以图像的形式体现的（相位-频率曲线）。相位响应曲线在分析与频率有关的延迟时间时非常有用，这类特性是无法直观地从宽带脉冲响应图像中看出来的。

在脉冲响应的基础上，还能得出一些基本的声学参数，比如混响时间（RT）和语音清晰度（STI）。为了简化测量，上述两方面参数的测量在SysTune中有一定的限制。如果需要进一步的处理数据，则需要更专用的工具，比如EASERA软件。

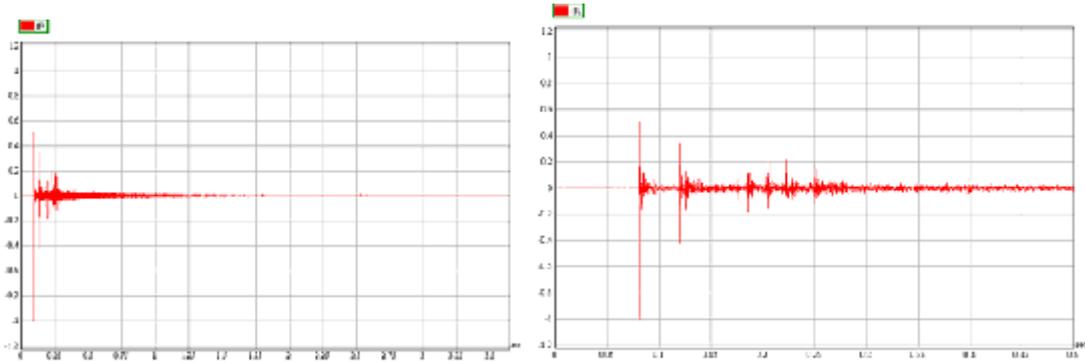
要注意，在现实场所中，无论是传输函数还是脉冲响应函数都不是简单的功能。它们通常会表现出很多细节，并会随着测试话筒的位置（或待测系统输出端任何其它接收设备）和扬声器的位置（或待测系统的任何其他输入源）的不同而不同。

示例

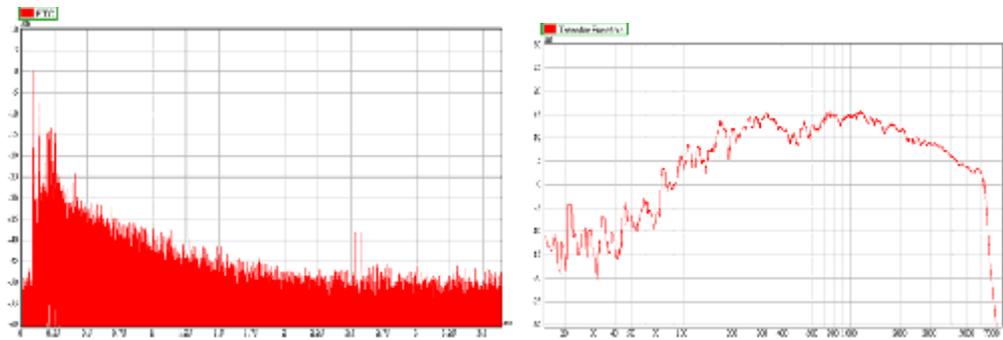
在我们开始使用SysTune的传输函数和脉冲响应测量之前，我们再简单地介绍一下它们的用途。为此，我们可以直接使用软件程序中自带的一个示例文件：

FinalMP2New.etm。

该典型脉冲响应的图像如下所示。



最早的一个峰值是直达声，大概位于80ms时。在接下来的300毫秒有很多峰值，表示来自天花板、地板和某些侧墙的第一次反射声。再往后出现的是统计衰减 (statistical decay)，这是指反射声变得密集而无法区分，也就是所谓的漫反射声场。这部分在下面的ETC图中看得非常明显。

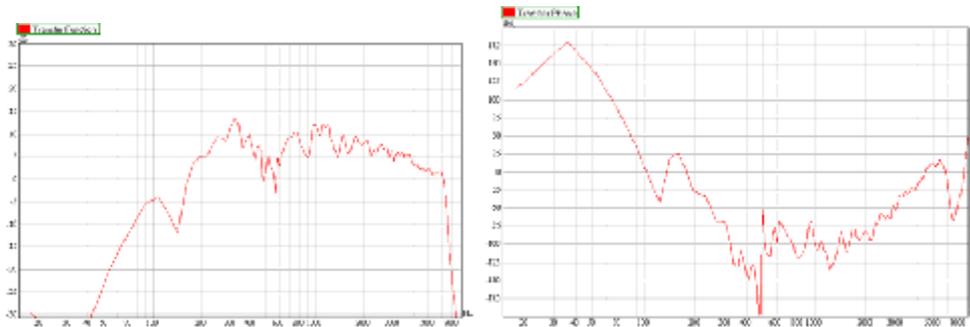


在大约2秒钟往后的部分里，该ETC图像显示的是固有噪声级，这是所有房间的声学测量中的典型现象。这个固有噪声级和房间实际的本底噪声有关。本底噪声越高，就越难以精确地测量直达声、反射声以及末端衰减。此外，后期部分将清楚地显示出各种测量错误（比如此处的两个2.5秒尖峰）以及可能存在的失真效应，因为在后期部分中，没有主脉冲信号的覆盖。

在ETC图像右边的图片，显示的是传输函数的幅频曲线，其平滑度为1/12倍频程。虽然这个频谱图相当于整个脉冲响应，但它所反映的频谱却未必跟我们的主观听觉相对应。原因很简单：我们的耳朵对音调和平衡的主观感受，主要是根据早期到达的声能，而不是针对完整的脉冲响应时间。因此，通过观察脉冲响应中的早期抵达部分声能的频谱，能够获得更接近主观听感的结果。将这一部分内容独立分离出来进行分析的处理方法，叫做加窗 (windowing)。

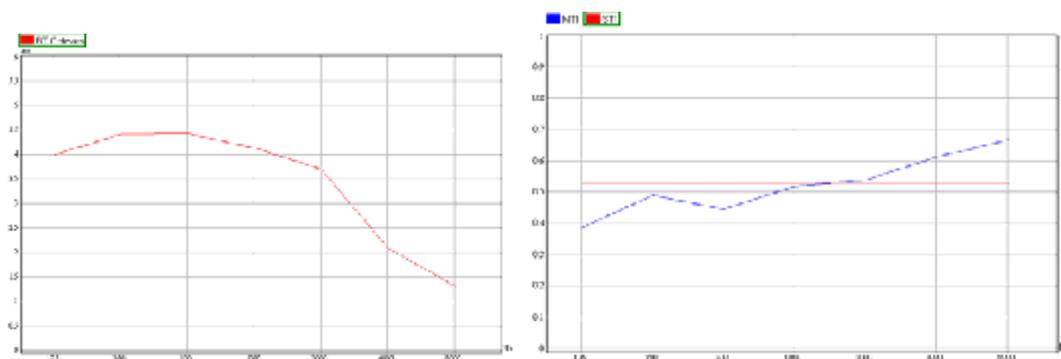
下图所示的，是仅针对脉冲响应中的直达声（第一个峰值）部分的振幅-频率曲线。你会立即发现，在大约500Hz位置，有一个10 dB左右的明显的低谷。听众很可能会听出这个问题，所以我们要想出解决的对策。现在先不要担心在低频部分和高频部分的衰减。

曲线在100Hz以下的衰减是由于我们所采用的窗函数造成的。该窗函数ca. 30ms的窗口尺寸会排除掉大于此波长的频率范围。而7kHz处的滚降则是由于我们采集原始数据所用的测量系统本身造成的，这跟SysTune无关。



在SysTune中还可以查看房间声学脉冲响应的相位-频率曲线，但这个功能通常没什么意义，因为混合了直达声、反射声和扩散声能的脉冲响应，基本上不具备相干性（coherence）。不过，直达声或早期反射声的相位响应则经常用来从频域上分析音箱各单元之间的时间差。上图所示的是一个典型的加窗后的相位图，左边则是对应的加窗后的幅频图像。当一个音响系统包含有覆盖不同频率范围的多个发声源时，比如一个号角和一个低音喇叭，则它们所发出的声音在测量位置处所产生的微小时间差，在相位图像中都能看得很明显。上图中大致可以看出相位曲线在500Hz以下是平滑衰减的，然后在2kHz以上曲线开始上升。这种随频率变化的特性反映的可能是典型的低音单元和高音单元之间没有精确矫正时间差的音箱。

一旦测得一个完整的脉冲响应，SysTune也可以从中得出房间基本的声学参数。它可以算出房间每个倍频程频带的混响时间（RT），左下图所示的就是之前的示例脉冲响应所得的混响时间曲线。对于中到大型的场地，其典型的混响时间值会随着频率的升高而减小，这是由于空气吸声造成的。另外SysTune还可以得出语言清晰度，它能提供语言传递指数（STI）的图像。那条红色的曲线想必大家现在都很感兴趣，它表明了STI的值大约为0.53，这说明语言清晰度还不错。



这两个参数的有关选项可以在SysTune中找到，如需更深入的结果和详细分析设置

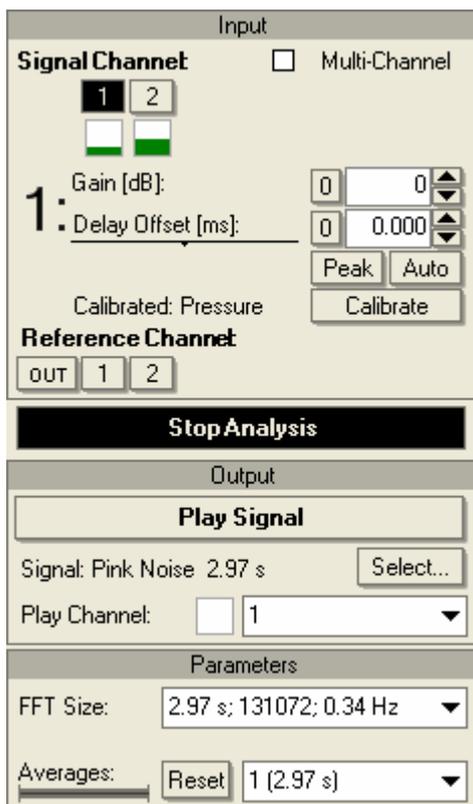
选项请使用其它软件，比如EASERA或EASERA Pro。

小结

本节大致介绍了SysTune中的传输函数测量的理论背景。要确定待测系统的传输函数，需要同时获得该系统的输入信号，以及对输入信号的响应信号，也就是输出信号。因此传输函数的测量一般需要两个通道，分别称为信号通道和参考通道。如果激励信号是预知的，参考通道也可以采用完全虚拟的方式来实现。强调一下，SysTune是目前唯一可以进行完整长度的声学脉冲响应实时测量的软件。最后，我们介绍了所采集的数据在系统调试和房间分析中如何应用的一些例子。

4.2.脉冲响应

为了练习使用传输函数和脉冲响应测量，我们暂且先通过软件内部产生一个激励信号，并同时将该激励信号作为参考信号。在前面的章节中的有关练习里，我们已经设置过输入通道和激励信号。此刻我们暂且保留这些设置，也就是选择输入1作为信号通道（SIGNAL CHANNEL）、把3秒长的-6dB的粉红噪声作为激励信号，并设置输出1作为播放通道（PLAY CHANNEL）。FFT SIZE设为3秒左右，AVERAGES（平均）的数值设为1。完成这些设置后的左侧控制面板如下图所示：



目前，暂且先不去管GAIN、DELAY OFFSET、PEAK以及AUTO这四项设置，我们稍后再来介绍它们的设置方式。在INPUT区域的下方，可以对Reference Channel（参考通道）进行设置。

关于Reference Channel，基本上我们有两种选择：

OUT按钮可以让软件直接将本身产生的激励信号作为参考信号，这也就是之前章节中提到的虚拟环回（virtual loopback）。

如果想采用外界参考信号，也可以选择相应的输入通道按钮，比如上图中的1和2。（输入通道按钮数量取决于所采用的声卡硬件，最多可以有8个。）

按下OUT按钮，将软件输出的粉红噪声直接作为参考信号。这样我们就无需额外连接某一路物理输入链路。

Reference Channel:

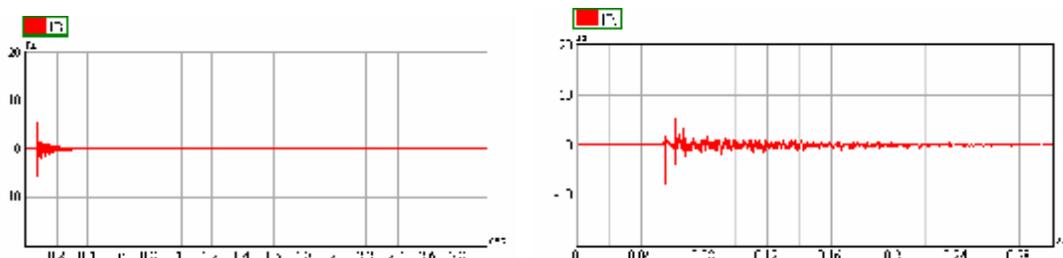


对Reference Channel的设置完成后，主界面的两个图形区上方的按钮排会立刻变成可用状态。在TRANSFER FUNCTION和RESULTS下方的按钮只有设置了参考通道之后才能变成可用状态。



如果你之前还没有启动分析功能，那么现在就可以启动了：点击左侧的START

ANALYSIS（开始分析）按钮。同时，我们还要再播放一个信号，所以检查一下你的输出增益设置在安全范围内。点击PLAY SIGNAL按钮，启动信号输出。然后，将上方图形区（我们假定你现在使用的是上下分离的双视图模式）设为脉冲响应模式，也就是按下该图形区顶部的TRANSFER FUNCTION里的IR按钮。此刻的图像应当类似下图所示：



最后你会看到一幅稳定的图像，其中的主峰值信号对应的是从音箱传到测试话筒的直达声。如果使用了多个扬声器，你可能会看到若干个峰值。同样，根据房间的不同，你会看到一些反射声及其衰减，这在前文中提到过。你可以放大视图，来查看脉冲响应图像的细节，比如右图就是一个放大后的脉冲响应图像。

故障排除

如果你无法看到上述图像，或者遇到其它奇怪的问题，可以参考下述常见问题的解决方法：

- 1 确保输入和输出信号不削波。削波会给脉冲响应带来噪声，几个削波就会完全破坏脉冲响应的结果。查看输入和输出信号的迷你电平表，确保信号范围一直在黄灯或是绿灯范围内。
- 1 如果你看到一个移动的峰值或是一个位置随时间跳变的峰值，请确认所使用的是可靠的声卡。因为这种现象主要是由于声卡输入和输出的时钟不同步造成的。
- 1 如果您没有看到任何峰值，请确保系统的输出总延迟不超过FFT SIZE的大小（我们之前设置的是3秒）。在空气中，3秒对应的声波行程约为1km，所以一般不会是声传播路径上的问题。最大的可能是你的测量链路中的某个位置存在延时方面的设置。
- 1 如果你看到本底噪声非常高，请确认系统是否近似为线性时不变系统（参见本章第一节内容）。
- 1 如果主峰值出现在脉冲响应的末端，有可能是声卡驱动提供给SysTune的内部延迟时间有误。可以尝试重新分析，或者重启软件或电脑，来使声卡驱动复位。确认声卡

有最新的驱动程序更新安装。

- 一般而言，峰值向末端偏移，或是固定在某个跟物理延时无关的位置上，通常都是因为输入和输出之间的时间差造成的。确认声卡驱动程序、调音台或DSP处理器设置中没有设置额外的延时参数。
- 如果看到多个大小和间距相等的峰值，请确保你所选择的FFT SIZE等于或小于信号的播放时长。否则就会看到类似这样的“幽灵回声”（phantom echoes）。
- 如果你使用的不是粉红噪声，而是周期信号，请确保该激励信号重复时间不大于FFT SIZE。否则，FFT块里将只包含激励信号的一部分，从而可能无法测到完整带宽内的准确数据。

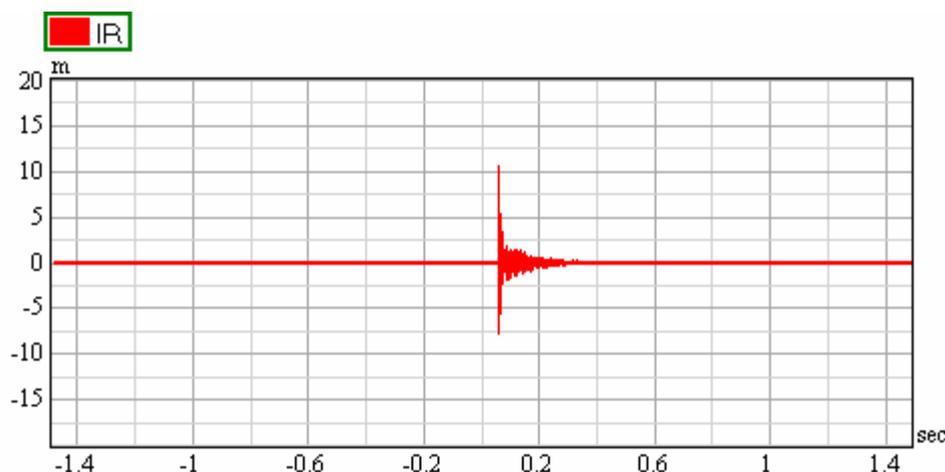
如果上述内容仍然无助于解决问题，请参阅下一章的故障排除中的帮助部分。

脉冲响应测量

现在，我们已经得到了脉冲响应图像，接下来我们将探讨与之相关的各种选项设置。默认情况下，你应该在脉冲响应图像的右边看到一个 DISPLAY 面板，如下图所示。



DISPLAY面板中的第一个选项，WRAP AT HALF LENGTH，勾选它可以将时间轴的0时刻位置放在图像的水平中央。后面我们会看到，这个功能在给脉冲响应图像增加窗函数处理的时候非常有用。不过对于一般的房间分析来说，更常见的是把这个零时刻位置定位在图像的最左边。我们现在可以激活此复选框，则脉冲响应图的形式将变为如下所示：



早先时候我们就强调过要考虑到输入和输出之间的延迟。从这个脉冲响应图中，我们可以看到，这个延迟是的确存在的。它通常包括从扬声器到测试话筒的声程延迟以及系统中的电信号延迟两方面。

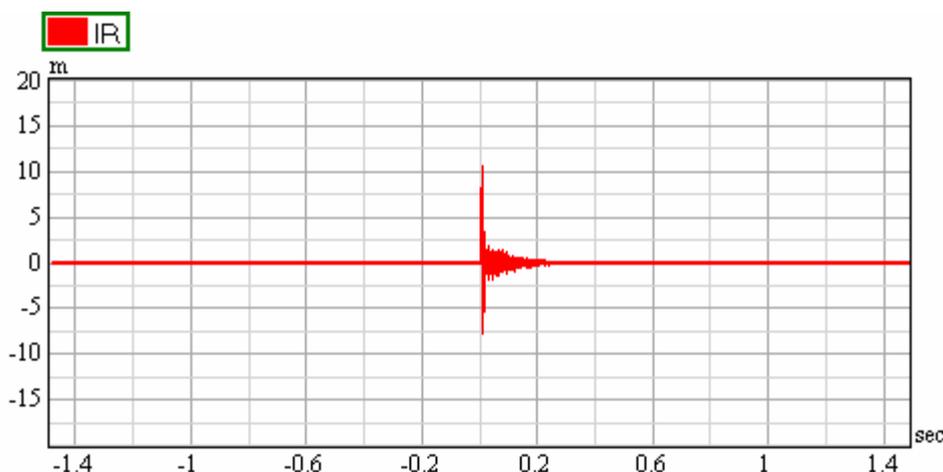
为了同步信号通道（signal channel）和参考通道（reference channel），我们需要测定两者间的延迟，并将该延迟时间输入软件之中。在软件左侧的控制面板上，有一个标着 DELAY OFFSET（意思是延迟补偿，或延迟抵消）的文本框。

Delay Offset [ms]:

默认情况下，该文本框内的数值为 0。这里可以键入信号输入通道相对于参考通道的延迟时间，单位是毫秒。想通过单个精确采样来判断准确的通道延迟时间比较困难，尤其是当系统中存在多个具有不同频率特性的信号链路时。不过，SysTune 中自带了一些简单的功能，能够帮助你比较准确地确定延迟时间。

在许多情况下，待测系统的延迟时间就是脉冲响应中的最大值所在的时间点。而在其他一些情况下，脉冲响应最大值的时间点，也是比较接近实际的延迟时间的。

所以无论是哪种情况下，先把这个值作为出发点，都是很有意义的。在任何情况下这将会是一个很有价值的开始。在左侧控制面板中，按下 DELAY 文本框旁边的 PEAK（峰值）按钮，软件可以自动探测出脉冲响应中的最大值，并自动将该最大值所对应的时间设入 DELAY OFFSET 的文本框中。这个功能需要几秒钟的时间，它会将脉冲响应的峰值移动到时间轴的零时刻位置上去。



要尝试不同的延迟设置，你可以手动输入一个新数值，或使用上下箭头来调整样本增量的延迟时间。按钮0可以复位之前所设置的延迟。AUTO按钮可以开启自动模式，该模式下软件会自动跟踪峰值的变化，并随时改变DELAY OFFSET中的参数。但是，这个功能需要检测脉冲响应中的峰值才能正常工作，也就是说，AUTO功能要求两个通道之间的延迟变化是缓慢而平滑的。

提示：在OPTIONS菜单中，可以调节自动跟踪功能追随峰值信号的快慢。这个时间常数应和物理环境下的变化相一致，比如音响系统或测试话筒的移动速度。很快的响应时间会引起明显的噪声或其它效应，从而无法提供稳定有效的测量结果。而太慢的响应时间则可能浪费不必要的等待时间，甚至错过了正确的延迟时机。

在后面介绍PHASE（相位）图像时，我们会再次回到有关调整信号通道与参考通道时间差的主题上。不过目前，我们暂且把这个延迟按照峰值的方式来设置。

到目前为止，我们只介绍了有关宽带脉冲响应的内容。在SysTune中，你还可以在脉冲响应中使用标准倍频过滤器。要实现这个功能，请从OCTAVE下拉列表中选择某个倍频程中心频率。OCTAVE下拉列表的默认值为BROADBAND，但列表中也包括了从125Hz到8000Hz的倍频程滤波器。这里要注意的是，这些滤波器的效果仅仅体现在当前图像显示方面。和WRAP AT HALF LENGTH功能一样，它们都不会对底层的数据或其它的图像造成什么影响。

提示：实时脉冲响应显示可以很方便地用来矫正全频扬声器之间的时间差。倍频程滤波后的脉冲响应图像，则可以用来矫正各音箱中相同工作频率范围的扬声器单元之间的时间差，因为在宽带脉冲响应图像中，它们的脉冲图像容易被其它扬声器单元所覆盖。

这里提前说一下，SysTune还具有一种更高级的滤波功能。该功能位于左侧的TOOLS标签页中，它可以由用户自行定义脉冲响应计算中的带宽限制。我们会在后面讲到从外部信号源获取参考信号时，再详细介绍这一功能。

右侧控制面板中的下一项，是关于脉冲响应窗口函数调整的IR WINDOW。其中，MARK按钮可以激活一种特殊的鼠标模式，通过鼠标左右键来向图中插入窗口。FROM和TO的文本框中，可以直接输入窗口坐标，并通过对应的小箭头来精确调整该数值。在接下来介绍加窗的振幅和相位图像时，会跟这里有点关系。

由于我们正在讨论的是脉冲响应的显示，所以我们还要提到的是SysTune允许设置X轴的单位。这点可以通过图像的视图范围设置区域中的一个下拉菜单来进行设置。



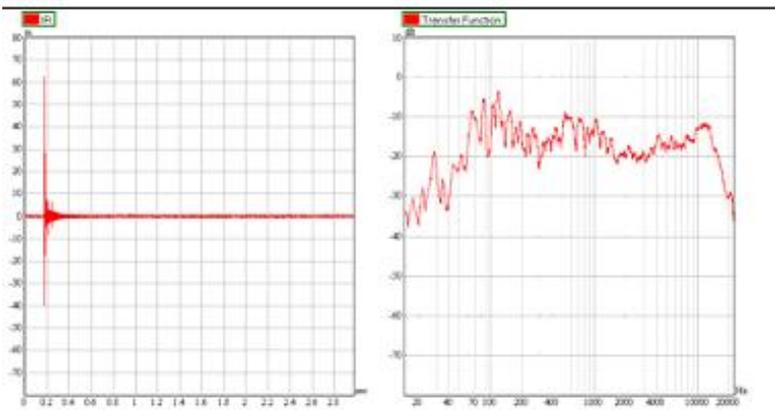
脉冲响应（IR）图像的水平坐标轴除了使用秒（s）为单位外，还可以使用米（M）和英尺（FT）两个长度单位。在把水平坐标轴的单位从时间转换为长度时，我们假定声速是固定的340米/秒。但要注意由于环境条件的不同，在实际测量中，软件显示的距离和实际的距离值之间可能可能有轻微的偏差。

当然，和之前所有测量一样，软件左侧的面板都是用来控制测量参数的。不过这里值得注意的是，选择较长的测量时间（measuring periods）可以明显增加脉冲响应测量中的信噪比。这个有两种途径，既可以是增大FFT SIZE，也可以是增大AVERAGES的数值。如果本底噪声是随机的，那么测量时间的每次加倍，都会使信噪比提升3dB。不过采用更长的测量时间带来的最明显的缺点，就是图像对测量中的变化的响应速度会明显减慢。虽然在进行房间分析或RT、STI值测量计算时，最重要的还是信噪比的高低，但是如果用于下一章节要介绍到的延时矫正方面时，就很有必要在响应速度和信噪比这两个参数之间进行权衡和取舍。

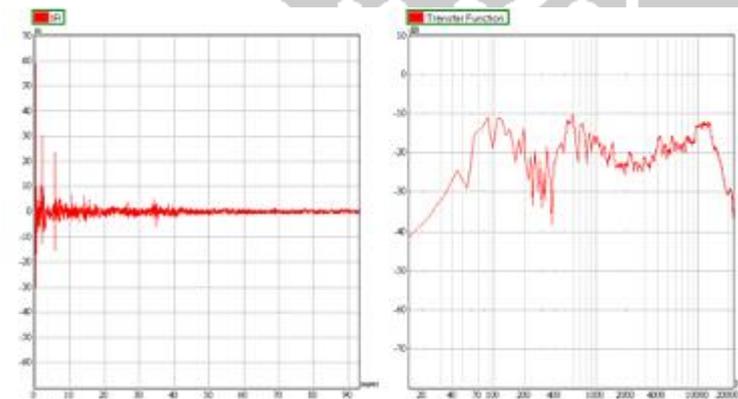
技术说明：使用短的FFT SIZE

在有关介绍中，我们强调过输入通道和输出通道之间同步的重要性。刚刚我们也进行过有关延迟补偿的实际设置。尤其是你想采用较短的FFT SIZE时，这一点特别重要。下图可以阐明其中的原理。

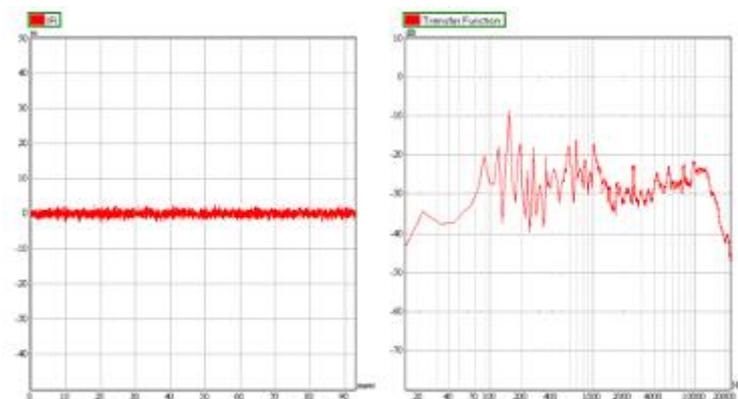
这是一个完整的脉冲响应，其FFT SIZE为3秒钟。脉冲的到达时间位于175毫秒左右。



在SysTune中输入这个延迟时间后，我们可以换用一个较小的FFT SIZE，比如约90毫秒左右的FFT SIZE，并得出短时长的精确脉冲响应和传输函数图像：



但是，如果我们不提前调整延迟，我们会得出下面的错误结果：



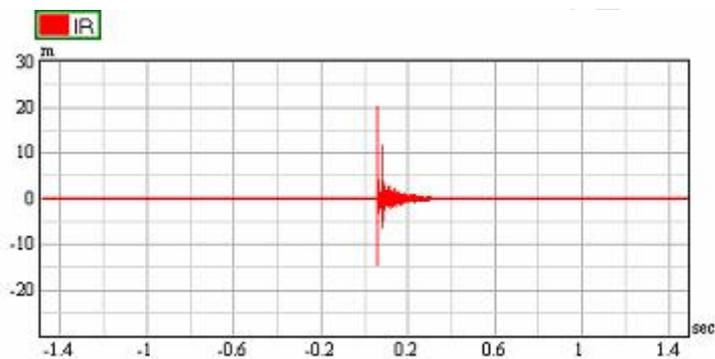
现在，图像总体上比以前要低大约10dB，而且图像中所显示的基本上都是噪声。很明显，既然看不出脉冲响应的有效性，那么也就很难评价所得的传输函数的有效性。

要注意，在SysTune中，DELAY OFFSET的设置范围是有限制的。当使用OUT作为参考信号时，DELAY OFFSET的最大数值，受限于当前FFT SIZE的25%或播放信号时长的25%这两者中较短的一个。

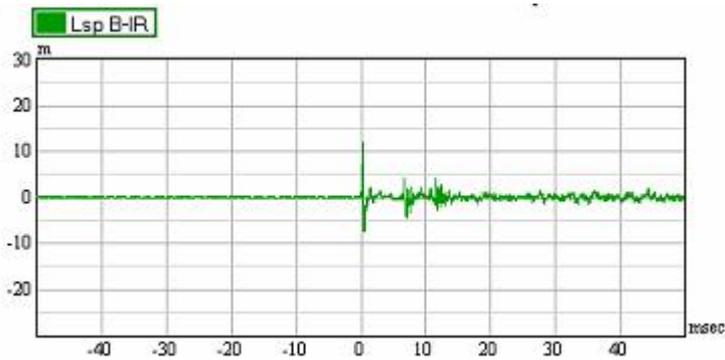
扬声器之间的时间差矫正

和在 INPUT 图像中一样，在 TRANSFER FUNCTION（传输函数）图像中也可以捕捉 OVERLAY。事实上，被捕获的 OVERLAY 中包含着捕捉时程序中所有的有效数据。在下面简短的篇幅中，我们将使用 SysTune 捕捉脉冲响应的功能，来说明在多个扬声器之间进行时间矫正是多么轻松的一件事。你目前学习过程中所建立的测量系统可能无法满足此处要求多个扬声器和延时控制等方面。那也不要紧，你可以先阅读一下这部分内容，并在以后有机会的时候再验证一下。

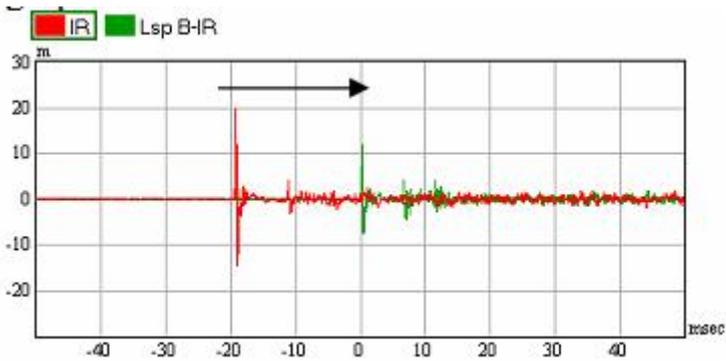
首先我们假设有两只音箱需要进行时间差矫正。首先，它们都要连接到声卡的输出从而进行测量。同时开启两只音箱时的脉冲响应可能如下图所示：



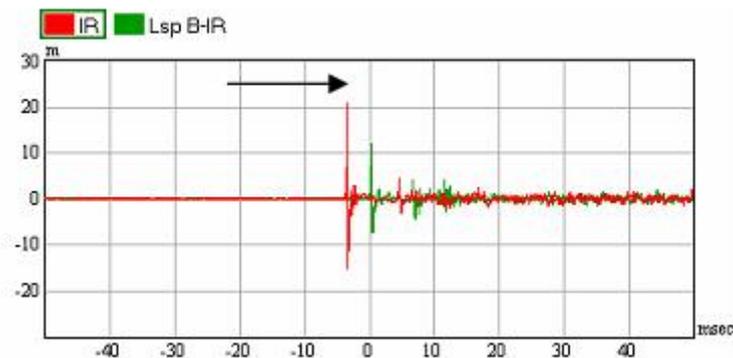
假设我们只能给音箱增加延迟，那么我们需要把早发声的音箱（A 音箱）对照晚发声的音箱（B 音箱）进行延迟。因此，我们可以把晚到达的信号作为参考时间，所以首先要测量 B 音箱的脉冲响应，然后再测量早发声的 A 音箱。所以首先，断开 A 音箱的连接，并开始测量。此时的脉冲响应中应当只有一个单独的峰值。点击 PEAK 按钮，将图中的峰值到达时间设置到横坐标的零时刻位置，然后点击 CAPTURE MEASUREMENT（捕捉测量）按钮，将此时所得数据保存成一个 OVERLAY。



接着，断开 B 音箱，连上 A 音箱。再次测量并获得一个类似下图的图像：



因为我们是按声音后到达的 B 音箱来调节 DELAY OFFSET 的，所以其它的到达时间应当发生在负时刻。上图中用作参考的 B 音箱为绿色图像，A 音箱为红色。



一旦设置了参考时间，那么把其它声源向它对齐就是一件很简单的事情了。你可以从图中读出该时间差，并将其输入 A 音箱所在通道的处理器延时参数中。或者你可以在实时模式下，一边调节音箱延时，一边观察两个峰值的靠近情况。当音箱 A 和音箱 B 的主脉冲峰值相重合时，就达到了时间差矫正的目的了。

提示：你可以使用同样的方法来矫正超低音音箱的时间差。不过你最好启用一个倍频程滤波器，比如 125Hz 的，来滤除脉冲响应中其它声源带来的中高频干扰。

技术说明：

现实中，扬声器间的时间差矫正是很耽误工夫的工作。当直达声峰值不相类似时，往往很难判断其最佳排列顺序。在这种情况下，通过细致观察相位图像，有助于更好地完成矫正。我们在往后几页内容里再讨论这个方法。

另外要知道的是，这个例子中，我们只是针对一个测试话筒位置进行了时间差矫正。实际工作中，你需要对两个音箱共同覆盖的所有区域进行矫正。这是个很矛盾的工作，因为对一个位置所设置的最佳矫正时间，换一个位置就不是最佳。

保存脉冲响应

测得脉冲响应之后，你有可能想把它保存成一个音频文件。方法是通过 FILE 菜单下的 SAVE TO AUDIO FILE|IMPULSE RESPONSE 开启一个对话框，然后从中选择 CURRENT MEASUREMENT 和其它任意 OVERLAY，即可将其保存成音频文件。



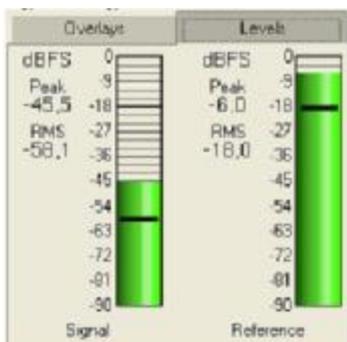
之后，这些音频文件就可以用在其它一些软件里，比如用在 EASE 或 EASERA 中，或者今后需要的时候也可以再直接从 SysTune 中加载这些文件。

电平表

上一章中我们就略微接触过 OVERLAY。你可能很想知道 OVERLAYS 标签页中那个标着 LEVELS（电平）的标签有什么用途。LEVELS 标签页上，有两个大号的电平表，有助于对输入的信号通道和参考通道电平进行更细致的观察和控制。

仅就功能而言，这两个大电平表跟迷你电平表基本类似，但也不完全相同。现在把

页面尺寸放大一点，来仔细观察下面这张图片。它显示的是我们当前设置情况，其中参考信号是增益为-6 dB 的粉红噪声信号。

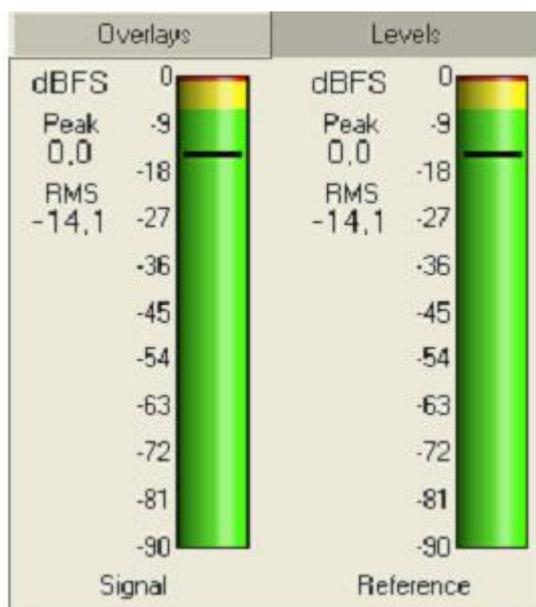


你应该还记得不久之前，我们对 SIGNAL CHANNEL（信号通道）和 REFERENCE CHANNEL（参考通道）进行过设置。这里显示的就是这两个输入通道的电平。由于这些电平表的主要作用就是检查信号削波情况并获得良好的信号动态范围，所以它们采用的都是数字单位，也就是满刻度（FS）电平值。并且每个通道的电平值都是分别显示的。

PEAK（峰值）的大小可以观察电平表彩色竖条的高低，也可以直接从左边读出实际数值。电平表上部在信号超过-6dBFS 大小时，会从绿色变成黄色。如果电平达到-1dBFS 以上时，最顶部的颜色显示为红色。默认情况下，峰值信号的保持时间为 3 秒。此设置可以在 OPTIONS 窗口进行调整。

RMS（均方根）值的大小可以直接从左侧读出数值，也可以查看电平表竖彩条中的那道黑色横线。这里的 RMS 值指示的是上一个 FFT 数据块的均方根值。

下面图片显示的是削波状态下的电平表。



提示：确保两个信号始终处于绿色范围。新手进行测量时，观察参考通道电平表，会发

现削波发生得比自己的预期要频繁得多。这是很正常的，因为使用内部回环信号或电信号作为参考信号时，你听不见这个信号，也就更容易产生削波。

除了 LEVELS 标签，还有另一种方法来监测参考通道的电平。这种方法在使用双通道模式时特别方便。在开启 REFERENCE CHANNEL（参考通道）后，在 TIME SIGNAL 和 SPECTRUM 图像右侧的 DISPLAY 控制面板上都会增加一个复选框。该复选框标着 SHOW REFERENCE（显示参考信号），激活此功能后，它可以在图像中增加一条代表着参考通道信号的曲线。

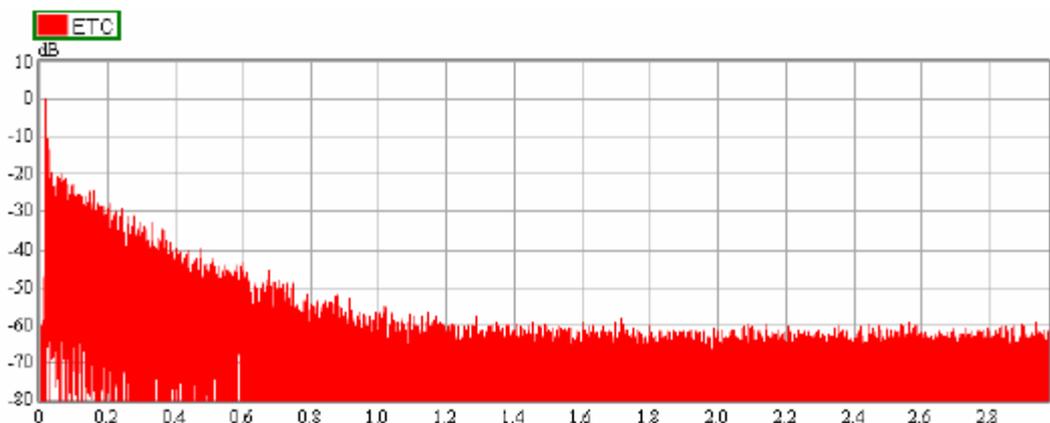
小结

总而言之，本节的重点是脉冲响应数据的测得和分析。我们介绍了一种采用激励信号直接作为参考信号的简易测量架构。并且在收集脉冲信号方面提到了很多注意事项。然后，我们简单介绍了实时脉冲响应在扬声器时间差矫正方面的应用。我们还介绍了如何把脉冲响应数据保存成一个音频文件。在本章节的最后，我们对 EASERA SysTune 中的电平表进行了简单介绍。

4.3.能量时间曲线

SysTune 中所谓的 ETC 曲线，也就是能量-时间曲线（energy-time-curve），它是二维脉冲响应的对数形式，单位是 dB。和脉冲响应相比，ETC 曲线的最大优点是它的信号大小是以对数刻度来显示的。比起线性刻度的脉冲响应来，ETC 曲线更贴合人耳的主观听觉感受。在室内声学方面经验丰富的工程师可以从 ETC 图中迅速判断出房间的整体结构、混响时间、早期反射声以及该房间是否适合音乐或语言用途等。在本章的开头部分我们也已经介绍过此类场所的典型特性。

由于ETC图像和脉冲响应IR图像是紧密相关的，所以ETC图像的按钮也位于图形区顶部的TRANSFER FUNCTION按钮栏内。下图是一个典型的ETC图像：



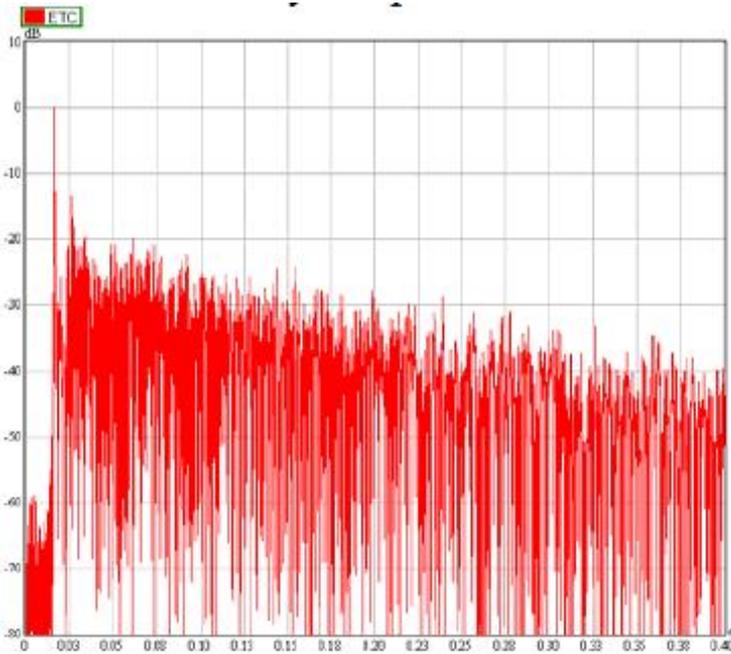
图像右边的 DISPLAY 面板功能和 IR 图像中类似。唯一的差别在于这里增加了一个 SHOW SCHROEDER 的复选框。激活此复选框，图中将增加一条施罗德反向积分曲线。这在深入分析房间混响时间和总体声能衰减方面特别实用。我们稍晚点再来解释混响时间的测量及其相关参数。

ETC 图像在信噪比方面也能起到很好的指示作用。你只要从曲线末端观察一下本底噪声的平均值即可（这里约为-60dB）。由于 ETC 曲线的峰值默认是被标准化为 0dB，所以你立刻就可以估算出信噪比来。良好的声学测量大概需要 50dB 以上的信噪比。但是一般的测试设备很难在常规时间内得到信噪比远超 60dB 的测量结果。

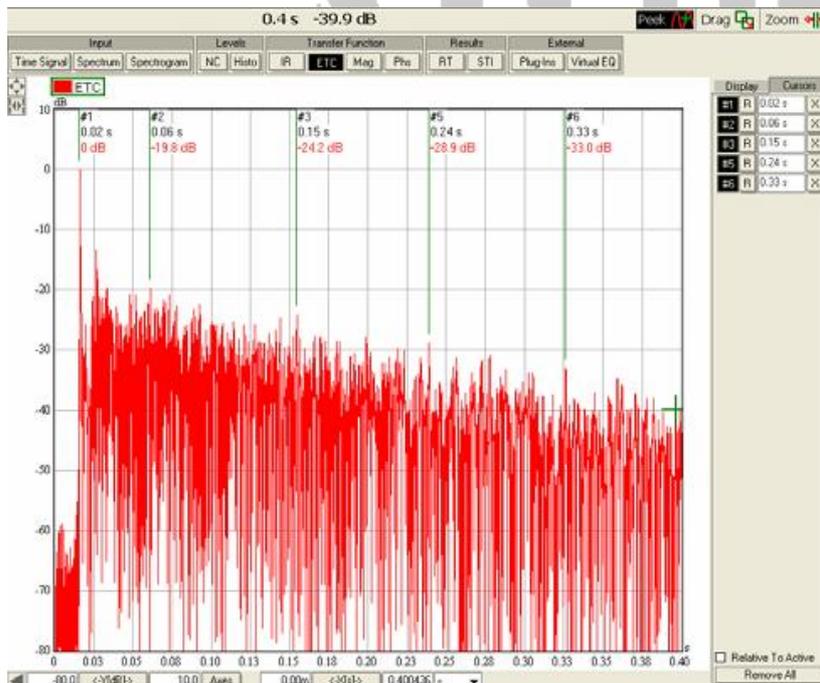
分析反射声

之前说过，ETC 图像在分析反射声细节方面特别有用。这其中 CURSORS 功能的功不可没。我们在谈到 INPUT SPECTRUM（输入频谱）的时候就介绍过该功能。

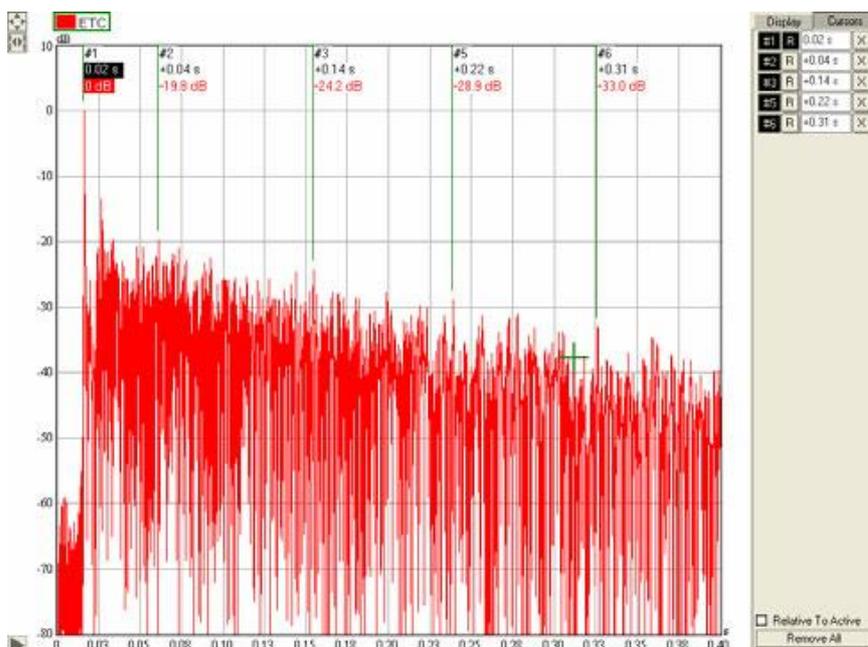
为了更好地进行观察，现在我们可以把 ETC 图像窗口设为最大化。最大化的按钮在程序窗口右上角。然后，放大图中前 300-400 毫秒的部分，因为这段时间内往往能够观察到较强的离散反射声。



现在将鼠标模式设为 PEEK（鼠标栏中三个按钮最左边一个）模式，通过鼠标在图中插入 3、4 个固定光标标记。方法是：移动鼠标的跟踪十字光标到直达声和较大的反射声位置，右击鼠标设置固定光标。之后，窗口图像看起来如下图所示：



我们对反射声和直达声之间的大小差和时间差很感兴趣。所以我们再次简述一下如何使用所插入的光标来显示不同位置的具体值。从右边的 CURSORS 标签页（隐藏在 DISPLAY 标签之后）里，指定一个作为参照的光标，方法是鼠标左击列表中该光标前的 R 按钮。



之后，ETC 图像中的光标示数会发生改变，其大小和时间都会根据参照对象而变化。检查所选反射声的到达时间以及相对直达声的大小。来得越晚、声音越大的反射声脉冲，就越可能是房间中的可闻回声。

小结

在 SysTune 中，二维对数脉冲响应图像被称为“能量时间曲线”或 ETC。ETC 图像右侧的 DISPLAY (显示选项) 与 IR 图像类似。我们介绍了如何利用插入固定光标的方式，轻松地分析 ETC 曲线中时间和大小方面的结构特点。

4.4.幅度

目前为止，我们已经介绍了双通道测量中的时域测量，接下来，我们来看看频域方面的测量，也就是所谓的传输函数 (transfer function)。在图形区上方的 IR 和 ETC 按钮旁边，还有两个按钮，分别是 MAG (magnitude, 幅度-频率曲线图) 和 PHS (phase, 相位-频率曲线图)。

我们已经解释过，某个电系统或声系统的传输函数通常是一个复函数，包含有实部和虚部。相应地，换一个更实用的角度来看，复数的传输函数可以被分成幅度和相位两个部分。这里强调一下，幅度和相位是独立存在的，虽然两者都是来自同一个物理现象的不同方面，使得它们之间存在很多关联，但是幅度和相位之间是完全独立存在的，并

且无法从其中一个来推导出另外一个。幅度和相位数据分别代表了一个完整的传输函数的两个方面。

传输函数和脉冲响应之间的关系

复传输函数从本章引言部分的介绍来看，可以通过对脉冲响应进行某种傅里叶变换来获得。反之亦然，脉冲响应（IR）也可以直接从复传输函数（TF）中计算出来。需要强调的是，这两种函数是同一个事物的两种等效表现形式，它们反映的都是待测系统对一个理想脉冲信号的响应情况。IR 和 TF 之间的转换是一个无损的纯技术处理过程。因此，只要测量其中一个，就可以得到另外一个。

在有些商业性文档中，有时会把这种关系搞混，这是因为从前的计算机的处理、存储能力有限，使得时域和频域之间的转换处理被看作一种有损处理。不过现在，造成转换过程有损的另一个原因，就是先对数据进行了开窗、滤波等处理后，才进行频域/时域之间的转换。在 EASERA SysTune 中，时域和频域的图像基本是等效的。它们只是从不同方面反映了待测系统的响应情况。SysTune 里，和现实中一样，系统在频域上的任何变化，也可以从时域图像中看得出来，反之亦然。

同样的道理，IR 和 TF 的尺寸及分辨率也是由同样的参数决定的，那就是采样率（sample rate）和 FFT 尺寸（FFT SIZE）。脉冲响应的长度是由 FFT 块的长度来决定的，而脉冲响应的分辨率则是由采样率来决定的。传输函数的尺寸，也就是它的上限频率，是由采样率决定的；而传输函数的分辨率取决于 FFT 尺寸。因此，改变任何一个参数，都会影响到时域和频域两方面的结果。

传输函数的幅度

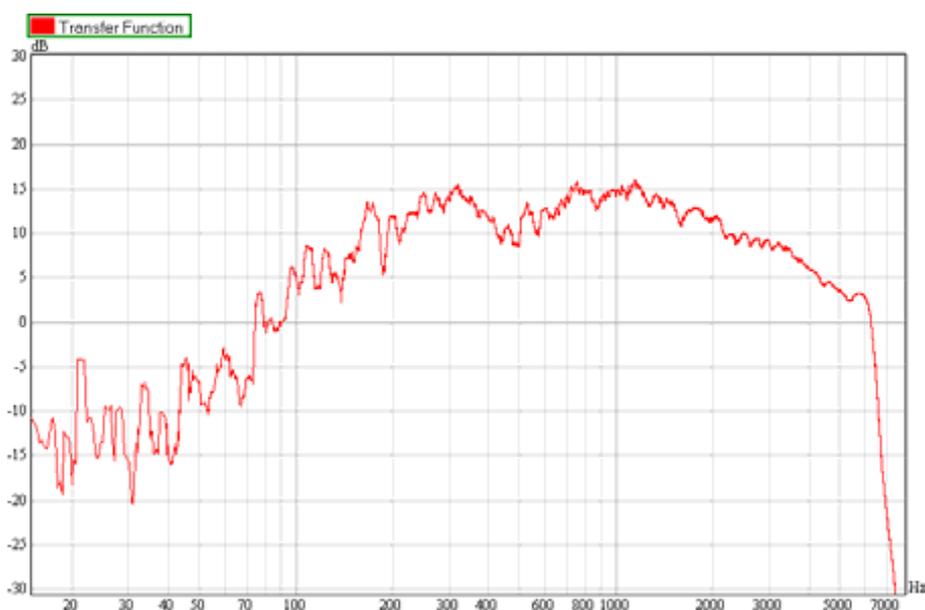
声学测量系统中最重要的图像之一，就是待测系统传输函数的幅频图像。如果能够像 SysTune 中那样，进行实时的幅频图像测量，那么就可以连续监视待测系统的变化。在现实中，尤其是涉及到扬声器的系统，这个功能的重要性体现在两方面。一方面，可以通过某些事件来“被动地”观察系统的性能表现；另一方面，可以在系统运行过程中“主动地”进行调试，并直观地看到调试的结果。

声学测量中，传输函数（或频率响应）的幅度图像有很多用途：

- 丨 它可以用来对某只音箱或整个系统进行均衡。这个过程中一般包括不同位置的多次测量，因为像时间差矫正、房间频率均衡等都随着位置的不同而不同。
- 丨 它可以用来排查引起听感劣化的梳状滤波效应。
- 丨 它可以用来识别和测量房间在低频部分的共振模式。
- 丨 它可以用来确定待测系统的整体增益。

在绝大多数情况下，一个房间的完整频率响应曲线类似下图：

在低频部分的衰减是由于一般带有扬声器的房间无法有效传输 20Hz 左右或更低的声能。高频部分也存在衰减，这一方面是由于扩声系统在高频部分的功率输出一般会有所下降，另一方面则是由于大中型房间中的空气吸声主要影响到高频部分。频响曲线在中频范围内是否平直，则取决于房间和音响系统。



评论：

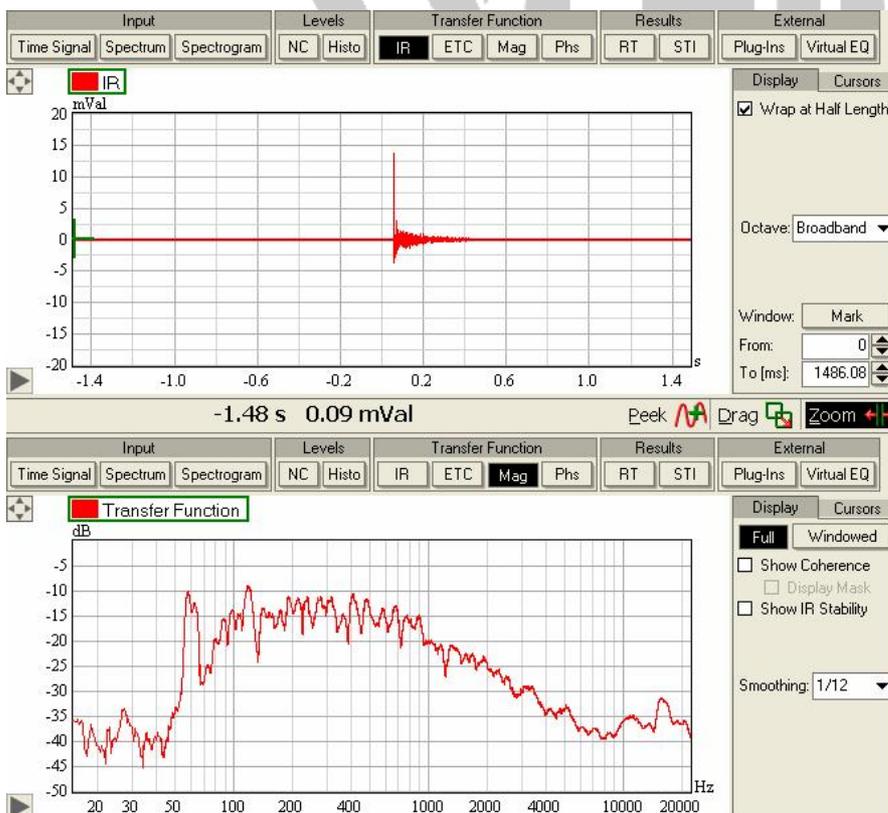
一般认为，在音频范围内，平直且尽量避免起伏的频响曲线才是最理想的。不过，要说明的是，一个房间的整体频响曲线并非一定要跟我们的主观听感曲线相一致的。另外，脉冲响应早期部分，也就是直达声和近次反射声的频率特性也同样非常重要。你可能已经想到了，这两个要求很难在所有听音位置上都同时满足。另外，早期反射声的到达时间和方向也非常重要。房间驻波模式会影响低频部分的听感。人耳听觉特性也是一个重要影响因素，这点我们之前已经讨论过了。所以说，有众多的因素都会造成影响。

要说明的是，想要获得良好的主观听感的话，除了频响平直外，还有很多其他决定

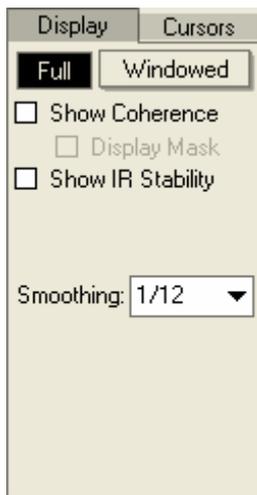
因素。另外，除了房间特性和音响系统性能外，所播放的信号的内容和类型也会有影响。比如语言和音乐对场地和系统就有不同的要求。不同类型的音乐，比如摇滚乐、爵士乐或古典音乐，也有不同的要求。最后同样重要的一条，不能低估了主观听感的重要性。有些场所的客观测量结果趋近完美，但是听众却可能不喜欢这里的声。同样地，在某些人听来很糟糕的房间，另外有些人却会很喜欢。

总而言之，我们无法告诉你怎么才能让你的音响系统或房间达到完美。我们只能介绍音响系统的分析工具，让你理解并学会使用它来解决一些基本的问题。但是“最佳”的配置则是非常主观的问题。

现在，点击TRANSFER FUNCTION区域中的MAG按钮，将视图切换为幅度图像。对于下一步的学习来说，最佳的设置方式是把上方图形区设为IR（脉冲响应），把下方图形区设为MAG（幅度）。如下图所示。注意我们现在所采用的设置和之前学习IR测量时一样。那时候我们勾选了WRAP AT HALF LENGTH，并通过PEAK按钮将脉冲峰值放置在IR图像的正中央。



我们来看一下 MAG 图像右侧的 DISPLAY 面板。第一排的按钮可以设置当前的幅度图像是完整的（FULL）传输函数还是加窗后的（windowed）传输函数。稍后我们会需要把这里切换到加窗模式。



下一个显示选项是SHOW COHERENCE（显示相关性曲线）和IR STABILITY（脉冲响应稳定性）。这两个复选框之间是有关联的，激活这两个中任何一个复选框，都可以给图像中增加一条曲线，该曲线反映的是对应数据的有效性。在我们详细介绍这两个功能之前，我们先来看看这部分的最后一个控制功能，也就是最下面的smoothing（平滑）。这个下拉菜单里提供了很多不同倍频程的带宽选项，从1/1倍频程到1/96倍频程。在SysTune中，“平滑”是指每个数据点所显示的是所选带宽范围内的平均值。这样有助于从图中排除一些无用细节或噪声干扰，但有如果所选带宽过大时，也会掩盖一些问题。

相关性（Coherence）和 IR（脉冲响应）稳定性

再回到 SHOW COHERENCE 和 IR STABILITY 两个选项上来。激活其中任意一项，都会在图像中增加一条曲线，该曲线可以告诉你哪些频率上的测量结果是准确的，哪些不是准确的。要很好地理解这个功能，我们需要回到本章开头的简介部分。那时候我们把 SysTune 中的传输函数定义为仅能测量线性时不变系统。我们当时还说过，现实中的所有系统都不是绝对线性时不变的。这样一来，问题就出现了，我们如何才能判断传输函数测量是否准确？造成不准确的原因是什么？

这时候，相关性（coherence）和 IR stability（IR 稳定性）两个功能可以给出一部分答案。它们可以帮助我们判断传输函数中各个数据点的有效性。它们都是利用输入的测量信号和参考信号进行比较计算，来得出系统的线性和时不变性。理想情况下，待测系统的输入和输出信号之间，在所有频率上都存在固定的关系，不会随时间或输入信号的大小而改变。相关性和 IR 稳定性的基本原理，就是去定量地计算实际情况偏离这个理想情况的多少。

在系统理论中，相关性函数（coherency function）有着明确的定义，其数学形式可以参阅标准教科书。从本质上说，它测量的是信号(signal)和参考（reference）之间的关联性，或者说待测系统的输入和输出之间的关联性。所得结果是一个和频率有关的函数，其数值在 100%和 0%之间，表示的是待测系统的线性、恒定性程度。为了更好地使用，有几个基本特性需要说明一下。

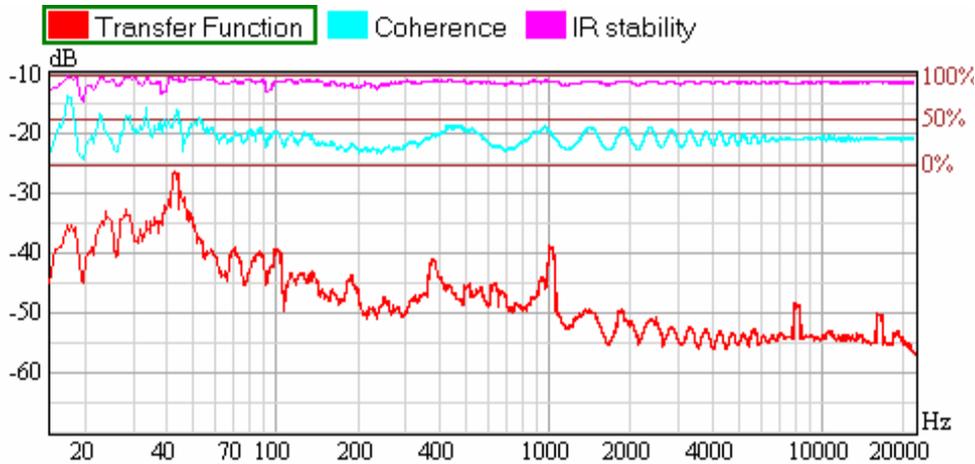
- I 首先，它的有效性取决于可用的FFT块数量。如果测量中只有唯一一个FFT块，也就是说只有一个平均值，那么相关性的计算结果永远是100%。在这种情况下，只有当参考信号的频率范围小于测量信号时，才会出现不等于100%的值。在那些没有参考信号的频率上，相关性的值等于0%。
- I 其次，相关性对于变动和非线性现象具有时间积累性。也就是说，测量中所采用的平均值越多，所得的相关性就越低，因为测量时间每增加一秒钟，噪声就会增多一点点。
- I 实践中，100%或是接近100%的相关性值是很难达到的。采用较小的平均数时，通常相关性在50%左右就比较不错了，对于较大的平均数，通常25%的相关性就足够了。
- I 由于相关性是一种判断所得数据有效性的良好手段，所以很显然我们也可以利用它来作为某种筛选性的过滤器，从而更加有效地捕捉数据。我们正在申请专利的 SSA 滤波器中，就包含有这个功能，在 5.5 章节中有详细的介绍，叫做相关性滤波器（coherence filter）。

IR 稳定性是由 SDA 团队开发的功能，用来作为相关性功能的补充。它测量的也是待测系统输入和输出之间的关联性。但是和相关性的不同之处在于，它并不是直接去测量信号和参考之间的关系，它给出的数值代表的是后续测量中脉冲响应或传输函数的相似性的变化量。它的结果也是从 0%到 100%的一个百分比。IR 稳定性可以采用任意数目的平均数，而且由于它是在连续地比较最后两次测量之间的差异，所以它代表的是数据在时间上的变化速度。

总结一下，相关性可以定量地测量数据的有效性。它在反映激励信号或传输链路的频响范围方面，以及噪声影响和待测系统变动方面非常有用。IR 稳定性是 SysTune 软件小组自行开发的功能，它反映的是时间上的变化速度。对于两个功能来说，接近 0%的值表示的都是无效数据；而接近 100%的值则都是表示数据有效。但是，这个两个工具也不

是万能灵药。它们无法反映出测量链路中的所有问题，而且有时候它们也会出现很明显的错误。

下图显示的是我们当前测量架构下，关闭激励信号后的图像。注意我们暂时将 AVERAGES 的值设为 2，以便得到一个有意义的相关性的值。



默认情况下，无论相关性还是 IR 稳定性，都是显示在 MAG 图像顶部四分之一的范围内。如果你希望获得更大或更小的垂直分辨率，你可以从 OPTIONS | COHERENCE | COHERENCE DISPLAY | COHERENCE GRAPH COVERAGE 下来调节它们的显示范围。当查看多个幅度曲线的叠加图时，只有被激活的曲线会显示相关性曲线。

当启用 SHOW COHERENCE（显示相关性）功能后，紧随其下的 DISPLAY MASK（掩蔽无效数据）功能也会被激活。它可以部分或全部地隐藏振幅曲线中相关性过低的频率部分。默认情况下，低于相关性阈值的幅度曲线会以 74% 的透明度来显示。而默认的相关性阈值为 50%。这些参数都可以在 OPTIONS 菜单下进行调整。

提示：这个功能在采用外部激励信号来测量传输函数时非常有用。音乐或语言信号往往不是宽带信号，并且其频谱组成随时会发生改变。通过隐藏幅频曲线中的无效数据，你可以把注意力集中在有效数据的部分。

调整增益补偿（Gain Offset）

SysTune 还有一个重要的特色功能，就是左侧控制面板中的 Gain 功能，在捕捉和比较多条曲线时，它非常有用。



Gain（增益）的值可以针对每个输入通道或每个OVERLAY来分别设置。它控制的是测量数据在所有图像中的相对大小。本功能的实际用途有两方面：

当测试系统校准以后，可以通过增益参数来补偿外界增益结构的改变。比如，如果你已经校准了测试话筒，但是后来，可能是因为话筒更加靠近扬声器了，输入有些削波，你又决定把声卡的整体灵敏度降低一点。这时候，你可以把增益的偏差值输入SysTune中，无需重新校准。

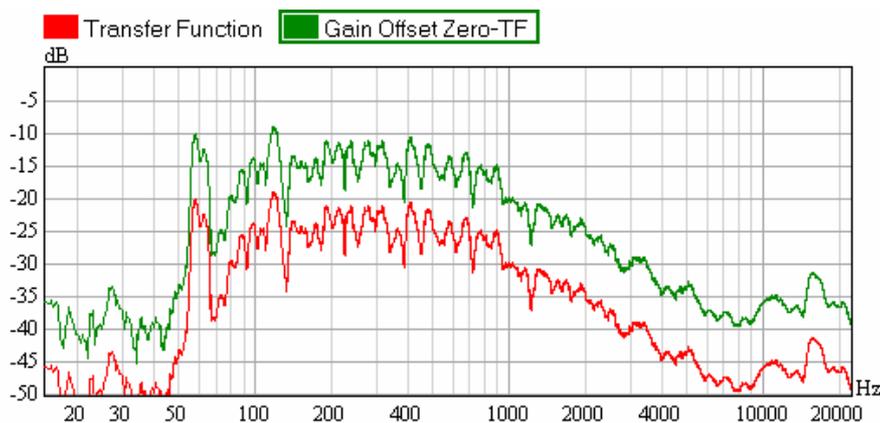
假设你在一个场地中进行了若干测量，然后你想要在一个叠加图中来同时比较所有的曲线。但是由于你的测量位置在房间中有前有后，所以各个曲线之间存在最大接近10dB的差距。通过给不同的曲线设置不同的Gain参数，可以在视图中把曲线移动到一个相对一致的范围内，便于比较。

每个输入通道的GAIN都可以单独输入一个参数。可以通过旁边的上下小箭头来调节准确数值，每按一下变化0.1dB。点击0按钮可以将增益归零。

对于已经保存下来的测量数据，对应的增益调节位于其OVERLAY PROPERTIES窗口下的GAIN文本框中。在OVERLAYS列表中点击下方的…按钮，可以打开该窗口。如果忘记了这部分的操作，你可以随时查阅第三章中的有关内容。

在具体应用这一功能之前，我们先简单练习练习，来熟悉这个功能。你现在的软件界面中，上方图形区应当还是IR，下方还是MAG图像。现在，确认一下你所播放的是-6dB增益的粉红噪声，FFT SIZE约为3秒，AVERAGES的值为1。然后，确认一下你的REFERENCE CHANNEL（参考通道）设置的是OUT。MAG图像右侧的选项中，采用的是FULL的传输函数形式，并且相关性和IR稳定性功能都禁用了。SMOOTHING（平滑）下拉菜单设为1/12倍频程。再确认一下输入通道的GAIN此时数值已经归零。

现在，我们可以捕捉一个测量结果，并命名它为“Gain Offset Zero”（增益补偿为零）。然后，在当前输入通道的GAIN文本框中输入-10dB的值。此时软件图像类似下图所示：

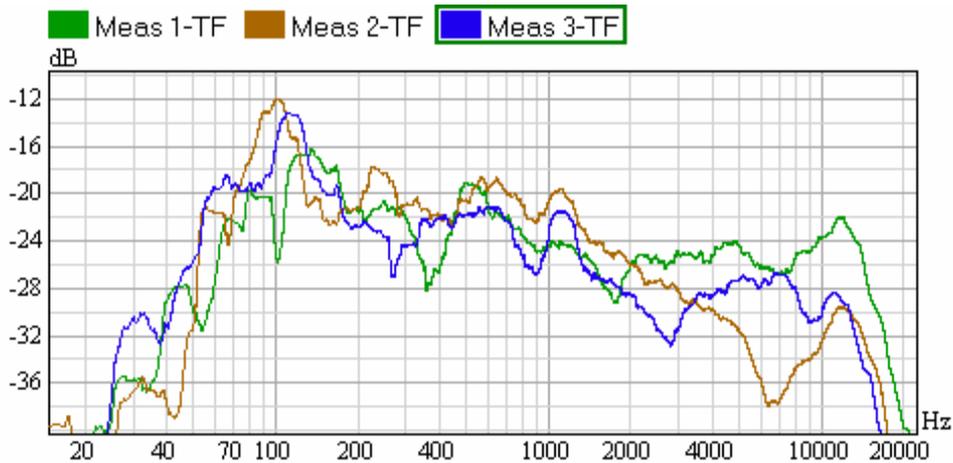


程序将当前输入通道衰减了 10dB。由于我们没有改变任何外部增益设置，所以现在图像中显示的两曲线衰减差别正好就是 10dB。接着我们在练习一下，把所保存的名为“Gain Offset Zero”的 OVERLAY 曲线也衰减 10dB，让它和当前测量值的大小相仿。方法是：点击 OVERLAY 列表下方的…按钮，在其中的 GAIN 文本框中输入-10dB 的值，点 OK 确认并关闭 OVERLAY 属性窗口。结果，所捕捉的曲线（绿色）和当前测量值（红色）再次回到了相同的大小上。如果你愿意的话，可以再多练习一下这个 GAIN 补偿功能，不过在继续进行下一步的学习之前，记得用 REMOVE（移除）按钮把 OVERLAY 列表中的 OVERLAY 都清除掉。

传输函数的平均

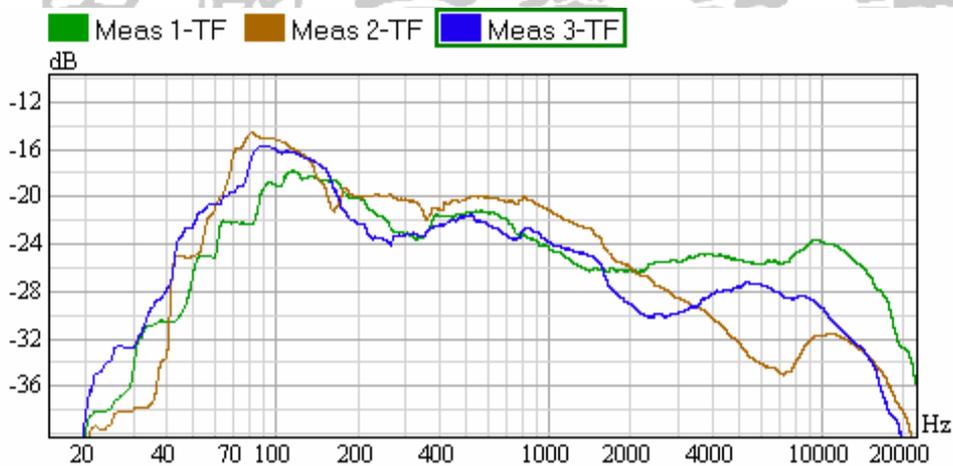
在大多数的音响系统调试时，你的测量点位一般都不止一个。你可以把测试话筒挪到不同位置来记录传输函数，也可以使用多支话筒来同时测量一系列的传输函数。如果能得出整个听音区或部分听音区的典型频响曲线，那么就可以相应地对该区域进行一个整体上的均衡处理。之前介绍 INPUT SPECTRUM（输入频谱）的时候我们用过 AVERAGE（平均）功能，现在我们需要再对多个传输函数进行平均处理，不过在进行平均之前，先要给所得的传输函数分别加入上面提到的 GAIN（增益补偿）功能。

现在，选三个不同的测试点位，进行三次传输函数测量，并将结果分别保存为“Meas 1”、“Meas 2”和“Meas 3”。然后停止实时分析，并将当前测量曲线设为隐藏。然后，图像中会显示之前测得的三条曲线，每条曲线的频率响应特性都有所不同。如下图所示，该图中采用的平滑（SMOOTHING）处理为 1/3 倍频程。



我们要知道，图像中幅值比较高的曲线，在进行总体平均的时候所占的权重比例会更大一些。实际应用中，我们可以利用这个特性来决定平均值是以那条曲线所在的测试位置为核心。不过此刻我们手头的这三条曲线没有主次之分，我们现在想要得出的，是三条曲线之间的共性。因此，我们需要让这三条曲线在幅值上相互接近，从而使它们以相等的权重参与平均处理。

在上图中，我们可以发现，这三条曲线在从 400Hz 到 3kHz 之间的范围内有相似之处。以此为基础，我们需要排除掉各条曲线之间的明显差异，从而得出一条最能反映所有曲线之间共性的平均曲线。在这个例子里，我们首先可以把 SMOOTHING（平滑）参数改为 1/1 倍频程，以便于估算各条曲线所需要的增益补偿值。

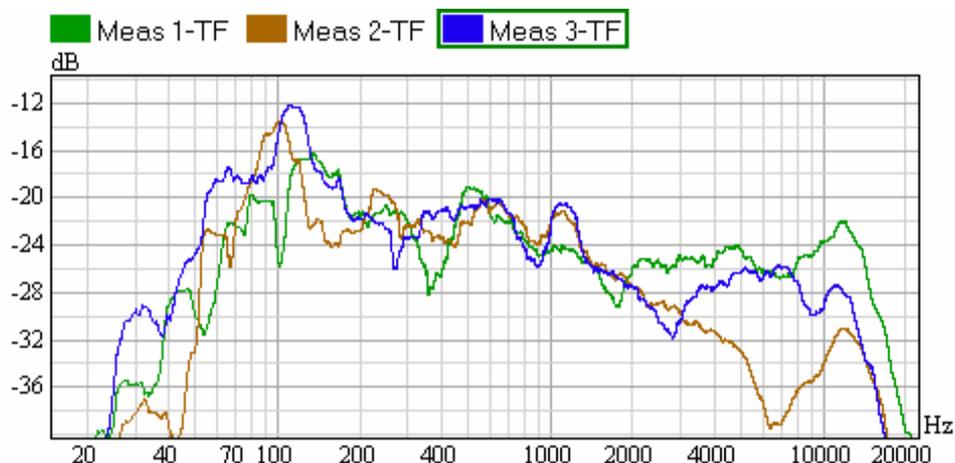


改变平滑参数后，我们发现，在共性比较大的频率范围内，第三条曲线大概需要+1dB 的增益，而第二条曲线大概需要-1.5dB 的增益，才能让三条曲线之间相互更加接近。

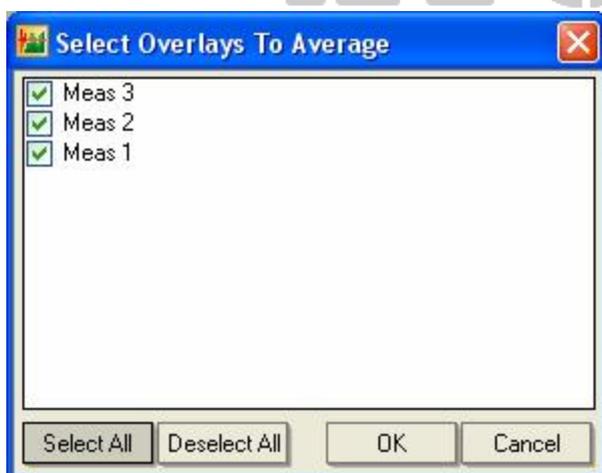
提示：这个增益值的大小可以从图中看出来，不过你也可以把鼠标设为 PEEK（标记）模式来更精确地分辨曲线之间的幅值差。要记住，无论是直接从图中坐标读数，还是使用

PEEK 功能进行标记, 你都可以把其中一条曲线设为参考值, 来读取另外两条曲线的相对差值。

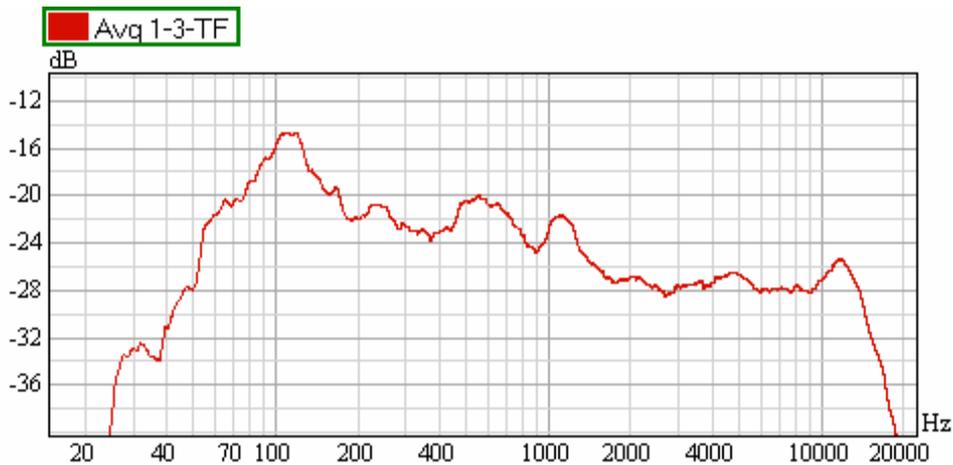
在判断出补偿量的大小后, 我们把相应的数值填入对应 OVERLAY 的属性窗口中的 GAIN 文本框中, 接着再把 SMOOTHING (平滑) 重新设为 1/3 倍频程。



各条曲线会按相应的增益设置发生变化, 接下来就可以计算它们的平均值了。点击 AVERAGE (平均) 按钮, 在开启的对话框中选中所有需要参与平均的 OVERLAY 名称。



勾选 OVERLAY 之后, 点 OK 确认。接着 OVERLAY 列表里会增加出一项新数据。将该项数据的名称设为 “Avg 1-3”, 曲线颜色设为暗红色, 并把之前其它几条 OVERLAY 曲线设为 “隐藏” (点击对应 OVERLAY 旁边的 V 按钮即可)。然后会得到一个如下图所示的曲线:



这条曲线明显要比之前那些曲线更平滑，因为它表示的是平均值。同时，由于我们之前对各条曲线分别进行过增益补偿，所以这条平均曲线并非仅仅和之前曲线中的最大幅值的那条相类似，而是最大限度地代表了所有曲线之间的共性。因此，这条平均曲线可以作为整体均衡的参照。

技术说明：

前面介绍输入信号频谱的时候就说过，在SysTune中，平均曲线是对测量数据的能量进行求平均。所以平均曲线无法用于进行相位或时间差矫正。

因此，我们不要对脉冲响应或相位曲线求平均。而且在这两种模式下，软件的求平均功能是不可用的，图像中不会显示平均曲线。

每条曲线的增益参数不是随意设置的，它们的大小跟你所期望查看的频率范围宽窄有关。你也可以给某条曲线设置比较大的增益值，以便从总体平均曲线中突出该曲线的权重比例。比如说，让听众席中前排的贵宾位置的权重比例比后面侧墙处的位置高。

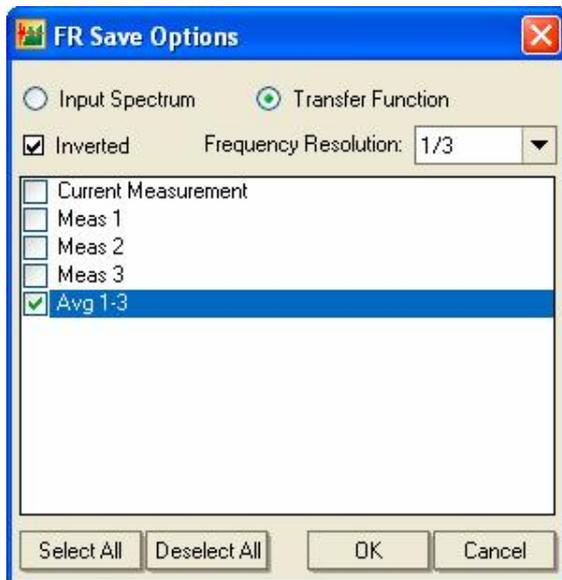
导出图像中的数据

为了让图像中的数据可以用在其它方面，我们可以把图像中的数据导出到一个文本文件中去。如果你现在的界面还是上下双图形区的模式，你可以从菜单 FILE|EXPORT DATA AS TEXT|FROM LOWER GRAPH 来导出下方图形区的数据。这时打开一个对话框，就可以将下方图形区的数据保存为文本文件了。要注意此时该图形区中所有正在显示着的曲线的参数都会被保存下来。

但是，这个命令所保存的数据对应的是图像中的原始分辨率。对于一个传输函数图像来说，最好是把它以倍频程数据的形式，并把数据值“反转”保存，这样在后面调试

均衡器时，直接输入对应的导出参数即可。

菜单中 FILE|EXPORT DATA AS TEXT|FREQUENCY RESPONSE 就是用来保存上述文本数据的。开启的对话框中包含一些选项，如下图：



在我们所举的例子中，我们想要导出的是TRANSFER FUNCTION（传输函数）的数据，而不是INPUT SPECTRUM（输入频谱）。同时，我们还要把INVERTED（反转）功能激活，该功能默认情况下是未被激活的状态。FREQUENCY RESOLUTION（频率分辨率）一项有很多选择，这里我们采用对应图示均衡器的1/3倍频程值。由于我们只需要用平均频响曲线来进行均衡参考，所以这里只要勾选“Avg 1-3”即可。点OK确认上述设置，然后从电脑中选择一个文件位置即可保存该文本文档。

窗口简介

目前为止我们都没有详细介绍过“窗”（window）这一重要功能。前文涉及到窗的时候都是一笔带过，不过从现在开始，我们将详细介绍 SysTune 中的窗的背景及其应用。

从音频测量角度上，我们可以这么来理解窗：它是一种时域上的处理方法，可以将脉冲响应中的部分数据单独提取出来用于后续分析，而将其它无用数据排除掉。窗的本质是时域上的一个计权函数，其权值介于 0 和 1 之间。它包含一个 0 值区域，也就是需要从原始数据中排除掉的部分；以及一个大于 0 的区域，该区域的数据会按照某种格式予以保留。通常窗函数也会包含一个值为 1 的区域，该区域的原始数据不受任何改动。窗函数除了需要精确地定义其曲线之外，还需要指明它对相关数据的开窗起始点。对数据进行开窗处理，其实就是简单地将每个原始数据的值和窗函数的值相乘。当然，这里

必须考虑到窗口的起始点。这种处理得到的就是加窗数据 (windowed data set)。

矩形窗 (rectangular window) 是一种很常用的窗。这种窗函数在定义时间内值为 1, 其余时间值为 0。只有窗函数值为 1 时, 数据才能通过; 其余的数据, 也就是窗函数值为 0 时的那些, 都会被丢弃。不过, 由于矩形窗的上升和下降沿都非常陡峭, 或者说, 窗函数值存在从 0 到 1 和从 1 到 0 的突变, 因而在信号处理过程中可能导致数据意外出错。为此, 人们又研究出其它各种各样的窗, 来弥补这种缺陷, 提供更平滑的转换。常见一个就是图基 (Tukey) 窗, 也叫平顶窗 (flat-top window)。它同样包含一个函数权值为 1 的部分和一个值为 0 的部分, 但在 0 和 1 之间的过渡, 则是通过余弦函数曲线的形式平滑滚降。

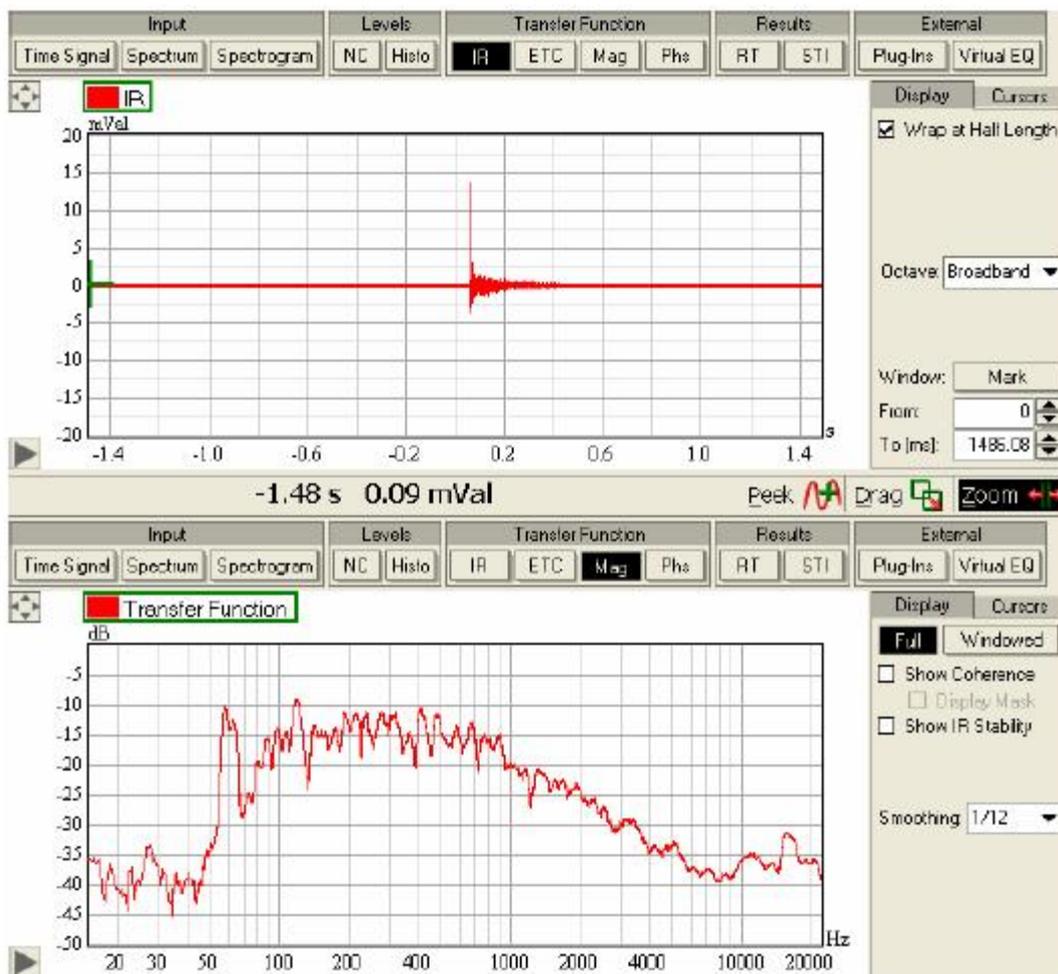
下面这张图片中, 两条垂直线段之间的蓝色曲线, 显示的是一个典型的图基窗。在这个图基窗中, 开窗时间超过整个窗函数时长的 50%。

如果想要更全面地了解这些内容, 可以参考诸如 Fredric J. Harris 的《On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform》(IEEE 文档 Vol. 66 No. 1 1978 年 1 月) 之类的文献。

一般说来, 开窗 (windowing) 是一个很复杂的话题。它涉及到很多不同的方向, 与之有关的教材更是五花八门。如果想要了解开窗的细节, 我们建议阅读一下这类文献。总而言之, 选择何种窗体, 主要看应用场合以及需要加窗的数据类型。SysTune 中也提供了若干种窗函数, 不过, 一般情况下, 我们推荐选用图基窗 (Tukey windows)。只有一种情况下例外, 那就是在典型音频应用场合下, 选用全新的 TFC 窗的效果会更好。TFC 窗是 SDA 公司新开发的一种窗函数, 它克服了通用窗函数在声学测量用途中的某些明显缺点。在我们熟悉了 SysTune 中的开窗处理技术之后, 我们再详细解释这种 TFC 窗函数。

SysTune 中的“开窗”

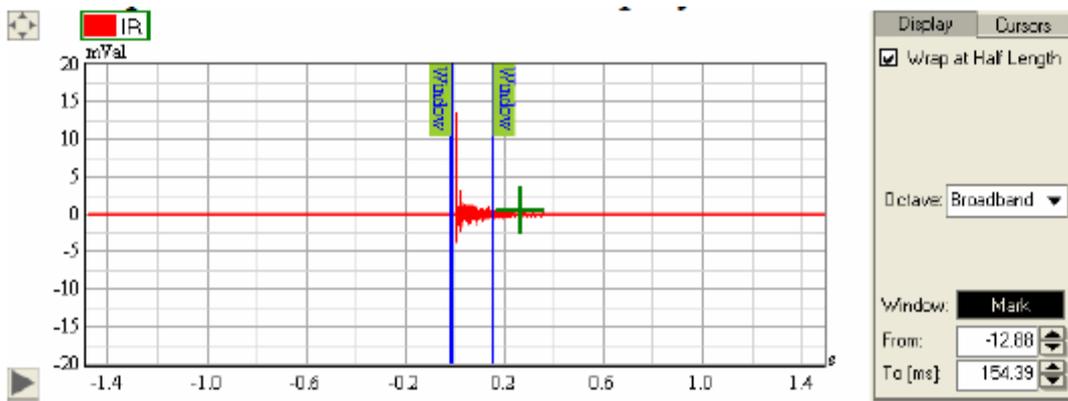
为了展示如何在 SysTune 中使用窗函数, 我们先要回到上一次测量所使用的设置形式。将上方图形区设置为脉冲响应 (IR), 下方图形区设置为振幅 (magnitude)。



假设，我们现在得到了一个明确的直达声到达时间，这通常是 IR 图像里的第一个最高峰值。接下来，我们希望能够查看该系统的直达声传输函数。此前，MAGNITUDE 图像中一直显示的是 FULL（整体的）传输函数，但是我们想查看的，是不包含任何反射声的直达声传输函数。要实现这一功能，需要两个步骤：

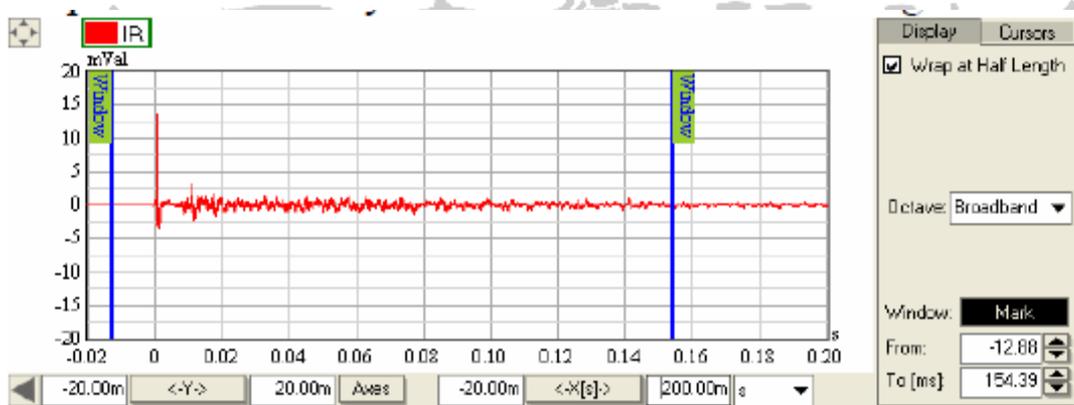
- 在 IR 图像中，从时域上定义窗的位置。
- 将 magnitude（振幅）图像切换到加窗（WINDOWED）模式。

在第一步里，先来看一下 IR 图像右侧的 DISPLAY 面板。其中有若干与开窗有关的操作项。MARK（标记）按钮可以将鼠标切换到一种特殊模式，该模式下分别单击鼠标左键和右键，可以在图像中直接设置窗口的起始和终止坐标。按下 MARK（标记）按钮，然后在 IR 图像中的峰值信号左侧单击鼠标左键，在峰值信号右侧单击鼠标右键。此时的显示图像如下：

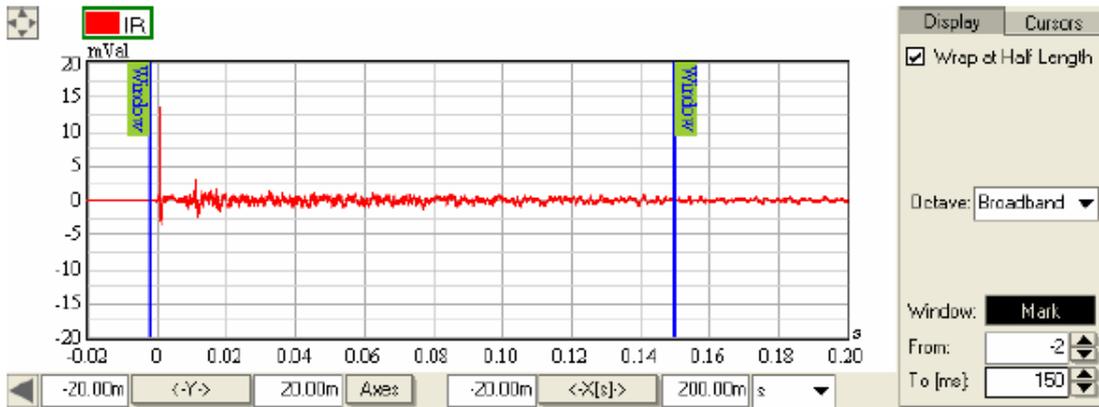


两条蓝色的垂直线段分别表示的是窗口的起点和终点，我们将它们称为窗标 (window markers)。左边的窗标总是表示窗口的起点，右侧的窗标总是表示窗口的终点。在 MARK 按钮的下面，你可以直接从 FROM (从...) 和 TO (到...) 文本框里查看到两个窗标的精确坐标值。

为了更加精确地定义窗口坐标，我们可以将图像区域放大 (zoom in) 一些。要使用鼠标进行缩放，首先要取消 MARK 按钮的激活状态，不过我们可以更简单一些，直接通过坐标轴设置进行缩放。点击图形区左下方的小三角形，打开坐标控制区，在 X 方向上输入 -20m 作为起始值，200m 作为终止值。(这些值是假设你已经通过 PEAK 按钮矫正了 IR 的延迟，IR 的峰值位于时间 0 上。)



再次使用鼠标左右键来定位窗标，不过这次点击左键的位置放在脉冲峰值稍微往左边一点点的地方，点右键的位置则是在 150ms 附近。或者你也可以直接在右边的 FROM 文本框里输入“-2”，在 TO 文本框里输入“150”。

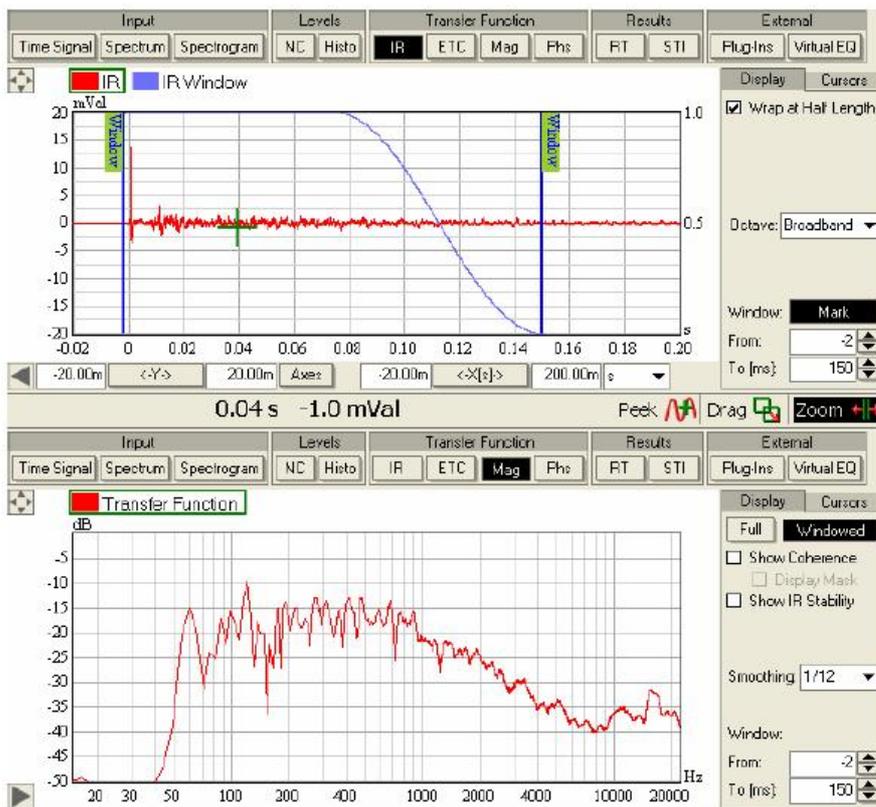


注意，窗标的定义单位永远是毫秒（ms），如果已经将时间轴单位定义成秒（s），那么在输入的时候要换算一下，或者直接在数字后面加个“m”后缀。

在绝大多数的实际应用场合里，150ms 的时间内不仅有直达声，而且早已存在大量的反射声了。但是现在我们暂且使用这个时间作为窗口时长，稍后再进行更精确的调整。

选定了窗口位置之后，我们将振幅图像切换到 WINDOWED[®]（加窗）模式下。事实上，我们也可以在定义窗口之前就切换到该模式，在 SYSYTUNE 中，这种操作的先后次序无关紧要。上下两个图形是同步的。在切换到 WINDOWED 后，振幅图形所显示的曲线会比之前更加平滑。这是因为加窗后的数据排除掉了一部分环境反射声的影响，从而使直达声在该传输函数中占据主导地位。

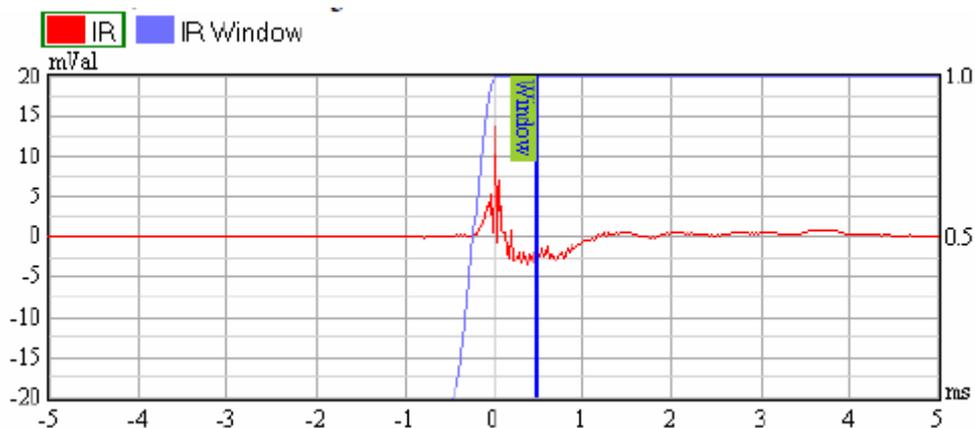
中國音響設計網



当激活 MAG（振幅）图形的 WINDOWED（加窗）功能后，该图形立刻发生了一些变化：

- 当开始显示加窗数据时，脉冲响应图形上会叠加蓝色的窗函数曲线。你可以看到图基窗的典型曲线形状，它在前 50% 的时间里是一个平直的区域，然后平滑地衰减到窗口终点。这就确保了窗口内前半部分的数据会完整地参与后续计算，而后面的数据在后续计算中的比例则越来越小。在该窗口开启前和关闭后的其它数据则均被丢弃。
- 在振幅图形右侧的 DISPLAY（显示）面板中，也有一组类似之前 IR 图形所示的 FROM 和 TO 的文本框，此时已经变成可用状态。这是为了方便将 IR 关闭后（比如选择其它图形作为该图形区内容，或者将振幅图形单图最大化显示），仍能查看或修改窗口时长。

让我们再多了解一些关于窗体控件的内容。在 FROM 文本框里，通过上下箭头，将窗口的起始点调节到 0ms，或者是略微超出 0 的值，比如 1ms。你会发现，加窗振幅图形并没有在零时刻立刻随之改变，而是要更晚一点才会改变。我们原本希望让脉冲响应中的直达声峰值紧挨着窗口起始点的左边，从而在振幅响应中将直达声排除掉。但是为什么没能成功呢？这是因为 SYSYTUNE 在起始窗标之前，还是用了另外一个很小的上升窗。将零时刻附近的区域放大到大约 -5ms 至 5ms 的范围，我们就能看到这个小上升窗。



就在窗标前面，我们看到了另一个小窗口。它默认包含了实际窗标之前几毫秒的数据内容。这么做有几个目的。一方面，它可以给放置左窗标时具有一定的容差范围。在用鼠标设置窗标时，就算你无法精确地捕捉峰值，也仍然能得到一个合理的结果。另一方面，对于起始点这类不连续的情况，采用平滑的起始曲线有利于确保数据的准确性，尤其是频率较低的数据的准确性。直达声也可能略微展开（spread），展开程度取决于信号的传播方式以及信号源随时间变化的特性。采用平滑上升的起始窗口，可以将各种成分都纳入在内。

技术说明：

在深入介绍窗的操作之前，我们应当间断地讨论一下为什么要使用窗函数，以及它们的局限性有哪些。

正如前面提到的，人的听觉系统对主观听感的判断，主要是依据直达声和早期反射声。包括音调平衡（tonal balance）、声染色（coloration）、以及对声源方向和主次的主观感受（perceived directions and precedence）。因此，除了整体的传输函数外，了解早期部分的传输函数也非常重要。这就需要用到开窗。

另外，在研究特定反射声的频率响应时，开窗也非常有用。它可以指明高频或低频范围内的不正常的高声压级的来源。

窗还有一个重要的功能，就是排除脉冲响应中的噪声干扰和失真影响。窗口可以让待测系统呈现更加清晰明确的响应特性。我们在 ETC 曲线末端所看到的那些噪声，都能够（也都应当）被排除在外，从而获得准确的传输函数。

开窗术也有一些局限。我们之前已经提到过它可能给数据带来的不利影响。尤其是矩形窗更容易在频域上引发一些错误假象，比如负旁瓣（phantom side lobes）或虚假

本底噪声 (artificial noise floor)。另外，前面讨论过整体 IR 和整体 TF 之间的关系，类似地，加窗脉冲响应的时长也决定了加窗传输函数的分辨率。有一点必须注意，那就是窗口的时长直接决定了其低频下限。比如一个 5ms 长度的窗口，其下限频率为 200Hz。我们开头提到 FFT 块尺寸对频率分辨率的影响时，介绍过时长和频率的关系，这里仍然是这样的一种关系。公式 $\Delta f = 1/\Delta t$ 中所给出的频率分辨率 Δf ，就是低频下限，这里的 Δt 是该窗口的时长。

开窗选项 (windowing options) 和选项窗口 (options window)

这一节里，我们来详细了解一下 SysTune 中可用的窗函数类型。我们一直没有介绍过 SysTune 中的 OPTIONS (选项) 窗口的用途，现在也正是时候一起来介绍一下。通过 FILE 菜单项下的 OPTIONS 选项，或者直接按键盘的 F9，都可以打开 OPTIONS 窗口。



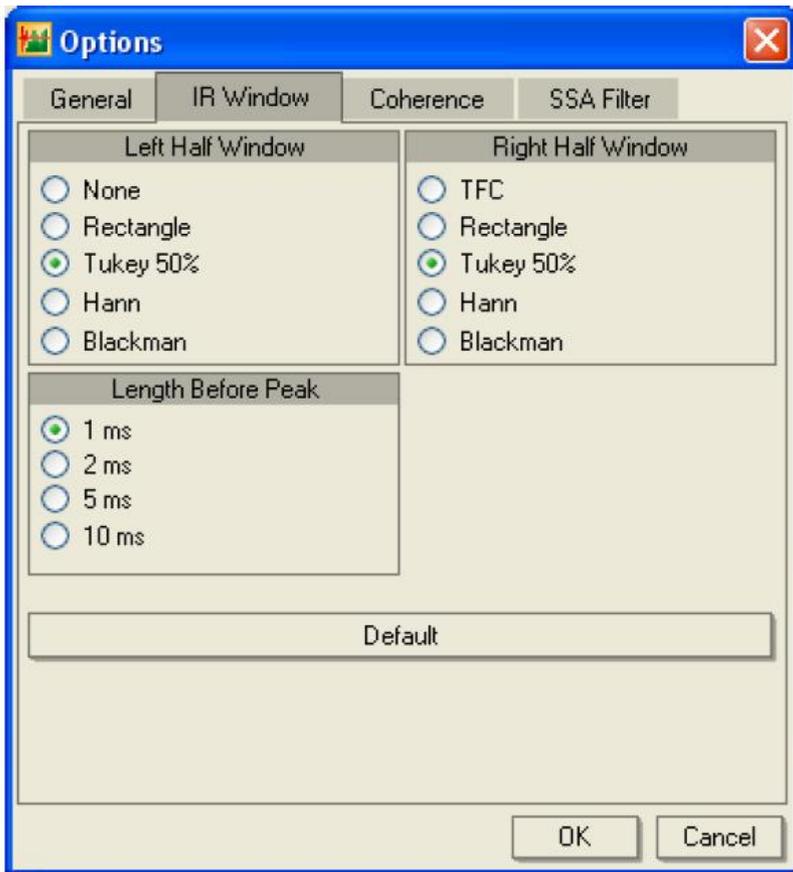
在介绍窗函数类型之前，我们首先要花一点点时间，来简单介绍几个常用的程序参数。这几个参数可以在 OPTIONS 窗口的第一个标签页，也就是 GENERAL (常规) 标签页上，进行设置。这些参数普遍适用于软件的各个方面。

- RESOURCES | UPPER MEMORY LIMIT 定义的是整体数据所能占用的最大内存容量。包括所捕获的曲线、加载的文件以及求得的平均值等。程序默认设置的上限是可用物理内存 (RAM) 的 80%。

- 如果你在运行 SysTune 时,有其它同时运行的程序出错,请将此限制值降低。
- 如果你的内存空间非常充分,可以多分配一些给 SysTune 的话,可以将此限制值提高。
- 如果将这里设置为 0,则表示允许 SysTune 使用全部可用内存,哪怕这样可能会导致软件不稳定。
- RESOURCES|MEMORY FOR AVERAGES 设置的是有多少内存用于进行时间平均。用到的内存容量越大,刷新率就越高, SysTune 中可选的平均时间值也就越多。
 - 如果你的电脑的可用内存空间有限,并且不需要很高的刷新率,可以将此值设置在 64 到 128MB 之间。
 - 如果需要较长的平均时间和较高的刷新率,可以选择 256MB 或更高的值。
 - 软件默认的值是可用内存 (RAM) 的 50%,但默认下限不低于 32MB,默认上限不高于 256MB。
- PROCESSING|DECAY RATE FOR EXP AVE 设置的是指数时间平均 EXP 的时间常数,单位是秒。超出这一时长后,权重将衰减到 $1/e$,即大约-4.3dB 的衰减量。对此参数的更多细节内容,可参见第二章的有关内容。
- PROCESSING|DYNAMIC RANGE 定义的是去卷积运算的阈值。在本章开头提到去卷积概念时,我们就讲过维纳 (Wiener) 法和设置阈值以防分母为零的情况。这一项代表的就是这样的一个阈值,它的定义和参考信号的最大值有关。参考信号中,任何小于此值的频点数据将被丢弃,而不能参与去卷积运算。
 - 如果你测试的是电子线路,或是一个非常稳定的声环境 (消声室),你可能希望将动态范围提升到 60dB 以上,前提是激励信号能够提供这么大的动态范围。
 - 如果你的参考信号来自于电信号输入或声信号输入,则应将动态范围降至接近参考信号信噪比的大小。否则参考信号中的噪声也会计入去卷积的结果中。
 - 绝大多数情况下,60dB 的值就非常合适。一般,只有进行某些有特殊要求的复杂测量时,才需要改动这一设置。
- PROCESSING|USE WINDOW BEFORE FFT 可以在输入信号通过 FFT 变换成频域信号之前,先进行该窗口的处理。这里使用的是 90%的图基 (平顶) 窗。这个窗基本上不关闭。个别情况下,比如当输入信号严格符合 FFT 尺寸周期时,该窗口也可以关闭。因为那种情况下根本不需要启用 FFT 窗,它关闭期间排除的都是有用信号。FFT 窗的唯一作用,就是防止输入信号在 FFT 块周期之外的部分引发虚

假错误的显示内容。如果在输入端加一个正弦波信号，并比较开启和关闭 FFT 窗时的频谱区别，就能够很明显地看出该窗口的效果。

- PROCESSING|AUTO-DELAY RESPONSE CONSTANT 定义的是在进行 DELAY OFFSET（延迟补偿）时，自动跟踪（auto tracking）功能跟随 IR 峰值变化的快慢程度。此项设置的最佳做法是以足够高的刷新率来观察 IR 峰值的变化速度，并以 ms/s 为单位来估测该变化的快慢值。另一个方法是以 m/s 为单位估测声源或接收设备的速度，然后将结果乘以 3。一般场合下，1m/s 或 3ms/s 的默认值即可满足正常工作的要求。
- DISPLAY|LOWEST DISPLAYED FREQUENCY 控制的是各图形中所能显示的低频下限。
- DISPLAY|LEVEL METER PEAK HOLD TIME 定义的是所测峰值的保持时间。更多详细内容可参见本章有关电平表的部分。注意，当所测值为 0 时，该峰值将无限长地被保持（通过鼠标右键点击该电平表，可以人工将其重置）。
- DISPLAY|SPECTRUM PEAK HOLD TIME 可以设置频谱中某个峰值的保持时间，在该时限内，该峰值作为 PEAK HOLD（峰值保持）曲线的一部分被保留并显示出来。
- DISPLAY|SPECTRUM PEAK DECAY RATE 定义的是 PEAK HOLD（峰值保持）曲线中的某个频点的值在超过保持时间后，将以多快的速度跌落。
- DISPLAY|USE SPECTRUM PEAK HOLD 可以切换 PEAK HOLD（峰值保持）曲线的显示和关闭。



第二个标签页是 IR WINDOW（脉冲响应窗）。它控制的是 IR 窗的组成形式。LEFT HALF WINDOW（左半窗）指的是左窗标再往左边的那个小窗口。它的长度可以在下面的 LENGTH BEFORE PEAK（峰值前的时长）中进行选择。RIGHT HALF WINDOW（右半窗）指的则是 IR 中的主窗口，它的长度可以通过左右窗标来调节。

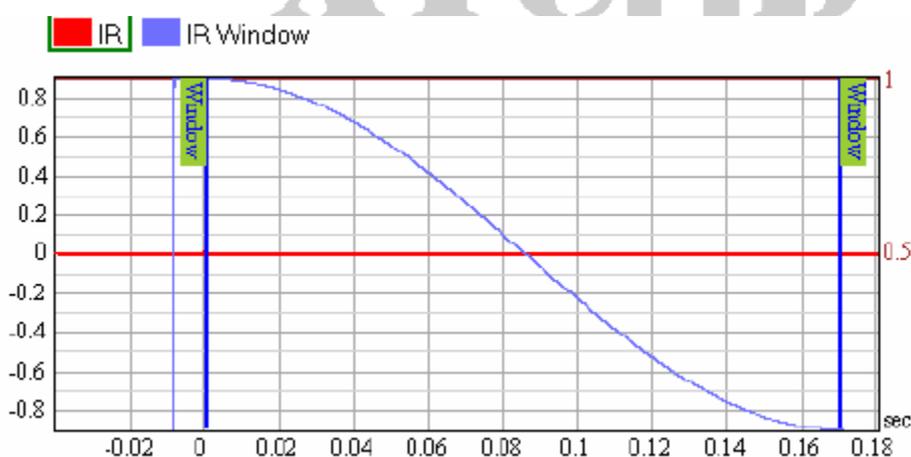
对于 LEFT HALF WINDOW（左半窗）的设置，有如下选项：

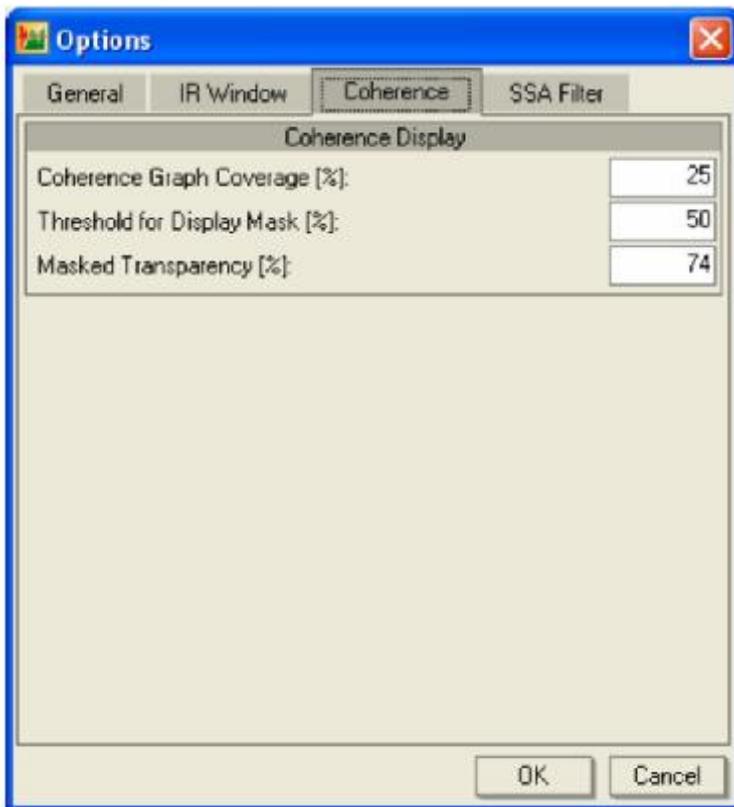
- NONE（无）表示没有窗口。这会将主窗口起始点之前的所有数据都计入加窗脉冲中。
- RECTANGLE（矩形窗）会让这个小窗口所限定的时长内的数据保持原有大小，但将该窗口时间之前的所有数据都丢弃。
- TUKEY 50%（50%图基窗）是一个平顶窗，它的前半部分是一个上升的余弦函数曲线，后半部分的值为 1。这一项是系统默认的设置。
- HANN（汉宁窗）也是一种升余弦窗，它在整个时长内具有大小不一且不为零的增益。
- BLACKMAN（布拉克曼窗）是一种高级升余弦窗，也是电子和音响领域经常选用的窗函数。详细信息可参考标准教材。

RIGHT HALF WINDOW（右半窗）可以选择下列窗函数之一：

- TFC 是由 SDA 公司研发并正在申请专利的新型窗函数（时频常数窗，Time-Frequency-Constant Window）。它其实不是一个简单的窗，而是一个复杂的计权函数，可以把它看成一种对不同频率有不同长时的窗口。参见下图。
- RECTANGLE（矩形窗）是从起始到终止为矩形的窗口。它对起始点和终止点之间的数据不做任何处理。
- TUKEY 50%（50%图基窗）是一个平顶窗，它的前半部分是一个上升的余弦函数曲线，后半部分的值为 1。这一项是系统默认的设置。
- HANN（汉宁窗）也是一种升余弦窗，它在整个时长内具有大小不一且不为零的增益。
- BLACKMAN（布拉克曼窗）是一种高级升余弦窗，也是电子和音响领域经常选用的窗函数。详细信息可参考标准教材。

试举一例，下图中的左半窗采用的是 10ms 长的矩形窗（RECTANGLE），右半窗则是一个 170ms 长的汉宁窗（HANN）。





第三个标签页是 COHERENCE（相关性）。它控制的是和相关性以及 IR 稳定性曲线有关的程序参数。参见有关相关性的介绍，以了解这些选项的背景知识。

- COHERENCE DISPLAY|COHERENCE GRAPH COVERAGE 设置的是某些图像（振幅、相位等）中同时用于显示相关性和 IR 稳定性曲线的区域大小。默认值是 25%，也就是图形区上方四分之一的区域范围。有时候需要将这个区域扩大，特别是所用电脑屏幕很小的时候。而如果你使用了相关性掩蔽（coherence masking）功能，你可能不需要查看精确的数值，这时可以减小此项设置值来减小显示区域。
- COHERENCE DISPLAY|THRESHOLD FOR DISPLAY MASK 定义的是显示掩蔽阈值，（振幅、相位等）图像中低于该阈值的数据点将被掩蔽，至于是以半透明还是完全透明（不可见）的方式则是由下一项设置来决定的。
- COHERENCE DISPLAY|MASKED TRANSPARENCY 可以选择相关性低于掩蔽阈值的数据点的透明程度。100%的值会让这些无效数据点完全隐藏。0%的值则会让这些无效数据点和有用数据点一样不透明，无法互相区分。

第四项标有 SSA FILTER（SSA 滤波器）的标签页，是对 SSA 滤波器的高级参数进行设置，该滤波器只对 PRO 版本的用户开放。在后面的 5.5 章节中，介绍到有关这种新型 SSA 滤波器的应用内容时，会对该页设置进行解释。

TFC 窗 (TFC Window™)

时频常数 (TFC) 窗并非一个真正的窗函数，只是和常规固定尺寸的窗函数有类似之处而已。事实上，TFC 窗里的计权函数包含时间和频率两个变量。对于每个频率数据点，都有一个不同的窗口时长，也就是频率每增加一倍，窗口长度减小一半。比如 1kHz 处的窗口长度是 2kHz 窗口长度的一倍，也是 500Hz 窗口长度的一半。而每个单独频率的窗函数，都是 50%图基窗 (Tukey 50%)。

技术说明：

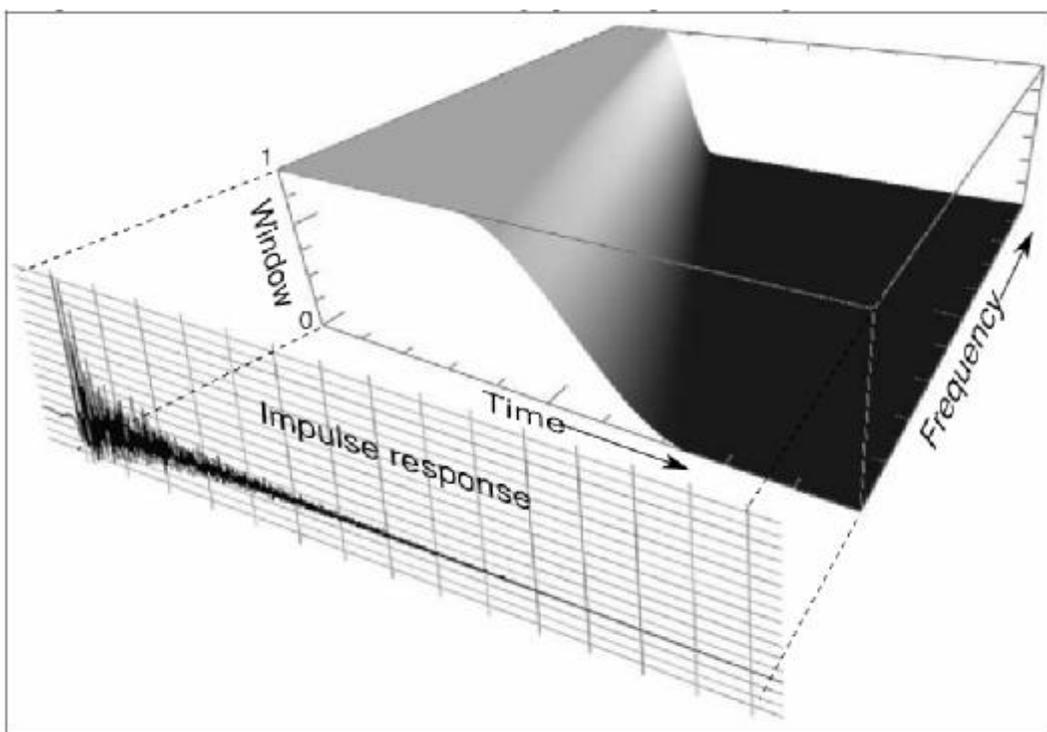
在声学测量中，经常需要仅对直达声或早期反射声的频率响应进行观察。这在直达声和反射声之间的时间差很小的情况下非常困难。一方面，你不能把窗口设得太短，否则会导致低频丢失。我们在讲到常规窗函数的限制时提到过这方面。另一方面，你也不能选择很长的窗口，那样会包含大量的反射声，特别是中频和低频反射声。

要解决这个问题，就需要一种窗函数，它能够在低频段具有较长的窗口时长，而在高频段则具有较短的窗口时长。TFC 窗恰恰满足了这种功能要求。它可以排除掉中高频范围内的反射声，因为它的中高频时长可以足够短。但是同时，它在低频范围内的长度又足够长。这样就能在低频段提取数据了，虽然这些数据中也会包含一些反射声能，但总比提取不到任何数据要强多了。

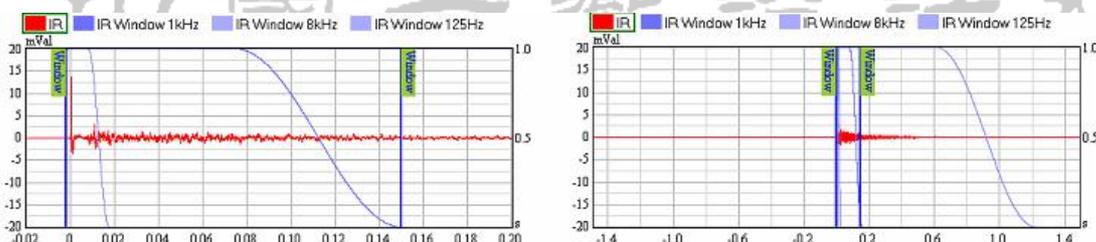
TFC 窗还借鉴了我们人类的一种听觉特性：低频信号有比高频信号更长的积分时间。虽然目前尚未对 TFC 窗进行全面的深入研究和听觉测试，但到目前为止的应用中，它在展现信号的频率成分方面都表现出和我们主管听觉非常一致的特性。

最后，还要提到 TFC 窗的另一个引人注目的特性。和其它现有的与频率有关的窗函数不同，TFC 窗并非基于倍频程或 1/3 倍频程频带。TFC 窗采用的是一种连续计权函数，它可以提供完全一致的振幅和相位响应，避免间断或凹陷。

下面的三维图形有助于形象地理解 TFC 窗。



现在在回过头来看看 OPTIONS 窗口。左右窗标之间的时间差，就是 TFC 窗在 1kHz 处的时长。为了验证这一点，可以将 RIGHT HALF WINDOW（右半窗）设为 TFC，并按 OK 确认。之后，IR 图像中的窗函数曲线的格式会发生改变。事实上，应当显示出三条曲线，但是按你之前所设置的缩放比例，只能看到这三条曲线中的两条。也就是如下图左边所示的样子。



除了 1kHz 的窗函数曲线外，还可以看到 8kHz 的曲线。8kHz 的曲线的宽度正是我们所设置的 1kHz 宽度的八分之一。将显示部分放大后，能够看到 125Hz 的窗口时长，是 1kHz 时长的八倍。如上面右图所示。

使用的脉冲响应有所不同，观察到的振幅图像也会有所不同。如果房间很“干”，得到的结果会跟之前采用图基窗时的结果非常接近，这是因为这种环境下的脉冲响应中没有太多需要滤除掉的东西，无论使用哪种窗函数都差不多。但是如果声场中存在大量反射和混响声能，就能看出图像上的区别了。当反射声非常密集时，测得的低频部分的值会有增加，这正是因为 TFC 窗在低频部分提供了更长的窗口尺寸，而高频部分的值会略有减小，因为 TFC 窗函数在高频部分尺寸较短。

加窗数据的处理

目前我们已经对窗函数进行了较为详细的介绍和应用演示，接下来要介绍的这一组功能，在频繁使用窗函数时会非常有用。

首先，来看一下 LOCK（锁定）按钮的用途，这个按钮在我们第一次讲到合成数据包（OVERLAYS）的时候提到过。软件界面左下方的 OVERLAYS 列表里的每一项带有这么一个按钮。它的基本功能是锁定该 OVERLAY 不再参与其它处理。这意味着一旦对刚捕捉到的数据启用这种锁定功能，该 OVERLAY 将不受任何后续处理的影响，比如开窗等处理。另一方面，如果锁定操作是在进行了某种窗函数处理之后，那么该窗函数的效果也将被锁定，之后即使窗函数改变也不会有任何影响。



反之亦然，比如某个未锁定的 OVERLAY，将会受到当前处理方式（比如开窗）的影响。在 OVERLAY 解锁之前就已经使用的窗函数，在解锁之后会被复位。如果你想让多个窗口的效果累积起来，则必须将当前测量的数据加窗后，通过 FILE|SAVE TO AUDIO FILE|WINDOWED FREQUENCY RESPONSE 命令将其保存成音频文件，然后加载该文件，再对其进行另外一种窗函数处理。

我们来简单试验一下。首先，利用底部的 REMOVE（移除）功能清空 OVERLAYS 列表。将上方图形区设为 IR 模式，下方图形区设为 MAG 模式。然后进行一次测量，并将接过保存为一个 OVERLAY。此时可以停止分析进程。你会发现此时 CURRENT MEASUREMENT（当前测量）和 OVERLAY 两者都未被锁定。如果你通过 MARK（标记）按钮给 IR 图像加上一个窗体，并将 MAG 图像切换到 WINDOWED（加窗）模式下，你会看到上述两项均受到所加窗口的影响。

现在，用 LOCK 按钮将捕获的 OVERLAY 锁定，然后改变窗口的坐标值，比如让窗口更宽一些。你会发现，未锁定的 CURRENT MEASUREMENT 和已锁定的 OVERLAY，在振幅图像上出现了差别。如果一开始你用的窗口时长就比较长，那么这里可能看不出明显的差别，你可以换个很短的窗口再来试试。

为了加强练习，你还可以再捕捉一个 OVERLAY，并将它锁定成另一种窗函数处理方式上。可以尝试采用不同的窗体和参数，尝试包含或排除掉其中的直达声或反射声，并比较这些 OVERLAY 在振幅图像上的区别。

最后，可以通过 FILE 菜单下的 SAVE TO AUDIO FILE|WINDOWED FREQUENCY RESPONSE

来将加窗后的测量结果保存下来。在进行数据保存之前，该命令会弹出一个对话框，让你选择需要保存的 OVERLAY。

总结

本节中详细介绍了振幅传输函数的测量和显示方法。我们了解到传输函数和脉冲响应之间的关系是如此紧密，它们只是同一个数据的两种不同显示方式。我们也介绍了为什么要研究待测系统的频率响应特性。振幅图像有很多的显示选项。在这方面我们比较关心的是相关性和 IR 稳定性功能，因为它们可以帮助我们在双 FFT 模式下了解测量结果的准确性。我们还介绍了输入通道的增益设置和合成数据包 (OVERLAY)，以及如何利用它来补偿外界增益的变化，或是得出更合理的数据平均值。以及如何将测量结果导出到文本文件。

在第二部分里，我们对开窗做了简单介绍，包括它们的局限性以及在 EASERA SysTune 中如何应用窗函数。我们利用不同的窗函数来观察脉冲响应中的直达声部分。同时我们还介绍了 OPTIONS (选项) 窗口以及有关的程序参数设置。我们介绍了新开发的 TFC 窗函数，利用它可以在声学测量中得到更准确的开窗结果。最后，我们还举例说明了锁定功能在对比测量结果中的应用，以及如何保存一个开窗处理后的传输函数。

中國音響設計網

4.5 相位

相位响应 (phase response) 是另外一种复传输函数 (complex transfer function)。在 SysTune 中，通过 TRANSFER FUNCTION (传输函数) 功能区里的 PHASE (相位) 按钮，可以查看相位响应曲线。和振幅图像相比，相位图在声学测量中的用途要少一些，一般是针对一些加窗后的测量数据，或是某些特定场合下的测量 (电子设备测量、混响很少的房间的测量、扬声器测量等)。这是因为房间中的反射和混响声能一般都是不相关 (incoherence) 的，因而从整个脉冲响应或传输函数中得到的相位响应也是随机的。

但是这不代表相位本身没有意义。我们是否能听出相位上的区别仍是目前广受争议的话题。业界尚未就此得出一致结论。但是观察相位响应仍能使我们有所收获。为了更好地理解这方面的原因，我们将在下面的章节中概述一下相位方面的内容，然后再来讨论相位在 SysTune 中的具体应用。

相位数据的意义

上面已经说过，我们目前还不太清楚人们是否能够直接听出相位。不过我们能够测出相位，并利用它来分析和调整扬声器系统。这是可行的，因为在音频领域里，相位数据一般包含有两方面的内容：

- 一方面，系统本身具有一个固有相位（inherent phase），你可以把它看成一种和频率有关的短延迟，它会在待测系统的频响范围内产生平滑、缓慢但却不可预计的变化。对于某些系统来说，固有相位可以从其振幅数据中近似地计算出来，这类系统即所谓最小相位系统（minimum phase systems）。对于其它系统来说，相位响应则是它们本身的基本特性之一，比如模拟滤波器网络。不过，一些更复杂的系统，比如一只由扬声器单元和箱体组成的音箱，也会表现出一种固有的相位响应，这种相位响应与频率以及测量时相对音箱箱体的偏离角度有关，很难以某种简单的方式来进行描述或推测。
 - 另一方面，相位数据中总会存在延迟，除非你能提前精确地将它们从相位数据中排除出去。这种延迟的大小和频率有关，通常包括待测系统中电子设备造成的延时以及声波从扬声器传播到测试话筒所需的时间。电子线路上的延时一般可以直接测得，声波传输的延时则可以通过声源到接收设备的距离除以声速来估算出来。除此之外，也可以通过测量脉冲响应来求出延迟的大小。
- 传输函数的相位关系可以通过一个非常简单的公式来量化：

$$\text{整体相位} = \text{固有相位} + \text{延迟相位}$$

要注意，上面的三个数据的大小均与频率有关。好在我们能够根据延迟求出相应的相位变化，因此上面的公式可以变成：

$$\text{整体相位} = \text{固有相位} - 2\pi \times \text{频率} \times \text{延迟}$$

这个结果反映出了一种非常基本的关系。我们可以利用它来进行两方面的测量：如果准确地知道了延迟的大小，我们可以将它从整体相位中排除掉，从而得到系统的固有相位。另外我们也可以根据上述公式来推测延迟的大小。因为一般说来，即使我们不了

解系统的固有相位响应，但是我们知道，和延迟对相位造成的影响比，固有相位的影响小得多，至少在通常的延迟和频率范围内是这样的。因此相比固有相位而言，延迟部分的影响在整体相位中占有主导地位。

这种特性在调试某些音响系统时非常实用。我们可以利用相位延迟来矫正扬声器之间的时差，因为相位图中所显示的是持续上升或下降的曲线。这种方式比直接从时域上进行扬声器时间差矫正要准确得多。另外，我们也可以利用这种特性来矫正音箱里各个高中低频喇叭单元之间的时差。简单地说，一个未进行时间差矫正（time-align）的二分频系统，其高频部分的相位曲线斜率差别会比低频部分大。而进行过时间矫正后的系统，其相位曲线在整个频响范围内比较一致。

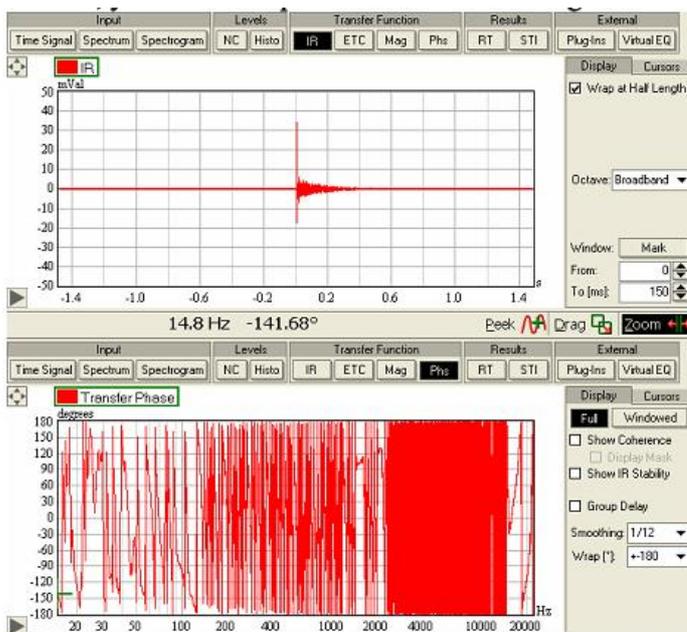
技术说明：

由于相位对于内部延迟时间（included delay time）的微小变化不太敏感，因而长期以来被认为是无关紧要的，只有一些有识之士才理解它的作用。但是说白了，相位本身并不玄奥，它只是我们所能测得的一个数值而已。

和振幅一样，相位也是根据复传输函数的实部和虚部计算得来的。通常可以将相位数据点理解成圆周上的点。这些点的值只能处于 0° 到 360° 之间，或者你也可以说从 -180° 到 180° 之间。一旦求出了相位，我们就可以利用它来查看其它形式的传输函数。通过去包络（unwrapping）之类的显示选项，能够让相位图更加实用。

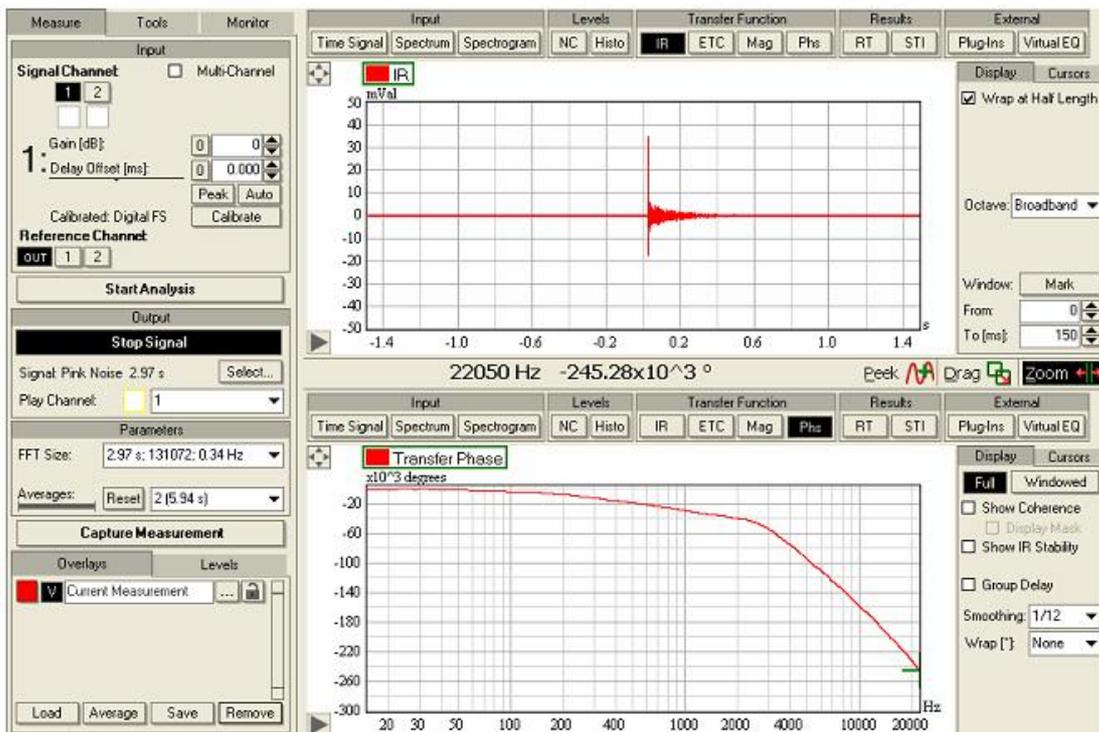
利用相位图像进行时间差矫正

之前我们介绍过如何利用 SysTune 的脉冲响应图像来矫正扬声器的时间差。现在，我们回过头来再做一次，不过这次还要辅以相位图像。我们还是从基本的测量方式开始，采用粉红噪声作为激励信号，并将上方图形区设为 IR 图像。但这回要把下方图形区设为 PHASE（相位）图像。如果你已经使用 PEAK（峰值）功能进行了 DELAY OFFSET（延迟补偿），那么你会看到如下图像。



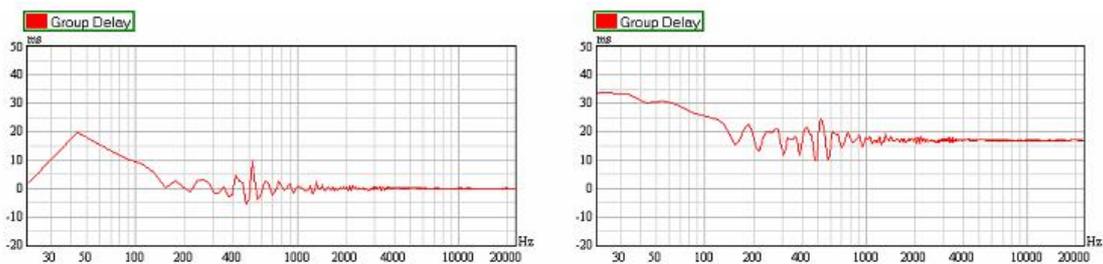
由于你的测量环境的影响，整体（FULL）的相位响应曲线可能显得非常凌乱。我们先不要急着切换到加窗（WINDOWED）视图。先来看一下右侧的 DISPLAY（显示）面板。其中绝大部分功能选项都很眼熟。你可以像在振幅图像中一样，启用 SHOW CONHERENCE（显示相关性）和 IR STABILITY（脉冲响应稳定性）功能。GROUP DELAY（群延迟）是对相位数据的另一种显示方式，也就是对应各频率的延迟时间。我们稍后再来解释它。你也可以对曲线进行平滑（SMOOTHING）处理；默认的平滑程度是 1/12。我们会在本章的最后再解释这种平滑处理的细节之处。标有 WRAP（包络）的下拉菜单我们之前未曾见过，它只用于对相位数据处理。WRAP 可以用来选择相位数据的显示方式。这里默认的是显示从 -180° 到 $+180^\circ$ 的相位包络。

前面章节里我们谈到了很多关于相位响应中的延迟，现在我们可以方便地演示一下其中的原理。为了方便练习，首先点一下 DELAY OFFSET（延迟补偿）区域的“0”按钮。这样可以将当前输入通道设置过的延迟值进行清零。然后，在 WRAP（包络）下拉菜单中选择 NONE（无），以便查看无包络的相位曲线，你会看到类似下图所显示的内容：



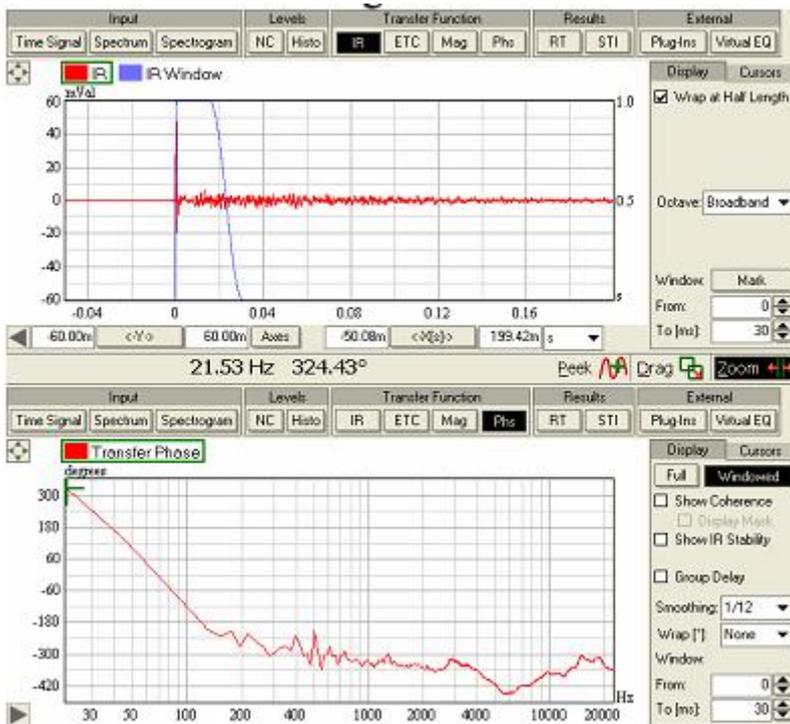
注意，当我们把 DELAY OFFSET 归零后，IR 的峰值朝右侧发生了移动，对应时间值变大。同时，相位响应曲线也发生了变化，这是由于脉冲对于零时刻的整体延迟发生了改变。相位图的变化正反映出这一点。回过头来再看看之前的公式，公式中所描述的关系在这里可以明显地看出来，我们可以看到延迟对相位响应的影响是多么巨大。之前的相位曲线即使有所倾斜，也绝不会像现在这么大。你可以在 PEAK 按钮和 0 按钮之间来回点击，来比较脉冲响应中的延迟对相位响应的影响。未进行延迟补偿的时候，相位曲线会陡峭得多。

通过观察群延迟，也可以看出同样的效果。为了加深理解，现在让我们勾选 GROUP DELAY（群延迟）选项。取代相位曲线的，是一条反映出各频率延迟时间的曲线。事实上，我们看到的仍然是同样的数据，只是呈现出来的形式有所不同。群延迟的定义是相位（负）偏离对应于频率的一个函数。还记得我们刚刚说过，相位曲线的斜率可以反映出其内部的延迟量大小。而群延迟曲线所显示的，仅仅是每个频点的相位函数的自身斜率。结合上面的实例，你会发现群延迟和延迟补偿紧密相关，DELAY OFFSET（延迟补偿）设置的变动，会使 GROUP DELAY（群延迟）也发生同样的变动。当整个频响范围内的群延迟值为零时，相位响应达到最大程度的平直。



上图中，左边显示的是在进行了大致的延迟补偿后，较为平直的群延迟曲线。右图中则是没有进行延迟补偿时的群延迟曲线。由于群延迟不是一个单一值，相比相位而言，群延迟对噪声或其它测量失误更加敏感。上面两幅图中采用了 1/12 的平滑 (SMOOTHING) 处理，但是一般情况下你需要使用更大的平滑带宽，比如 1/1 或 1/3。对于未进行时间差校正的多路分频系统来说，群延迟的大小通常也和频率有关。这意味着实际传播时间只是针对某个窄带频率范围而言的，而非宽带。

很明显，以相位平直或群延迟为零的点为参照，我们可以准确地测出某只扬声器的到达时间（峰值），并以该扬声器为准，再对其它扬声器进行时间校正，从而实现整体一致的响应。但是为了防止出现测量错误，避免大量数据降低测量的准确性，我们需要对数据进行开窗处理。之前我们已经练习过窗函数的使用方法，事实上你可能还一直保留着那时候练习用的窗口。那么，点击上方图形区的 PEAK 按钮，将脉冲响应的峰值置于中心位置。将显示区域放大到 -50ms 至 200ms。然后将相位图像切换到加窗 (WINDOWED) 视图，取消 GROUP DELAY 的勾选，并将窗口限制值设为 0 和 30。这里需要采用 50% 的图基窗 (Tukey 50%)，不是的话需要在 OPTIONS 项中切换成 Tukey 50%。此时你会看到类似下图的显示：



当然，由于相位图像受到很多方面的影响，所以不要指望你的曲线和上图中一模一样。甚至有可能你还需要重新缩放显示比例，才能完整地显示出你所采用的数据的相位图的上下限。不过，需要注意的是，如果脉冲响应中有一个主要的峰值位于 0 时刻位置，并且其它较大的峰值信号都已经被排除在窗口之外的话，那么在数据的有效频率范围内（该范围可以通过振幅图像和/或相关性曲线来验证），相位响应将会较为平直。以上方法是通过 PEAK 按钮检测脉冲响应中的最大值来自动设置延迟补偿，有时候我们需要人工地进行延迟设置，以便获得更加平直的相位响应曲线。

进行人工设置的方法有两种，一种是在 DELAY OFFSET 中调节输入通道的延迟大小，另一种是去调整窗口的起始点。现在，通过 DELAY OFFSET 里的小箭头按钮，来前后微调 IR 峰值的时间点。你会立刻在相位图中看到调节引起的变化。曲线的斜率会随你每次的采样数据增加而改变。你可以继续调节 DELAY OFFSET 直到相位曲线达到最大限度的平直。此时，该文本框中的数值，也就是该通道准确的整体延迟时间。你可以将此测量和延迟设置作为参考值，然后再以同样的方式对扬声器进行时间矫正。

改变相位响应中所包含的延迟时间的另外一种方法，是调节窗口的起始点。通过 WINDOW FROM 文本框旁边的小箭头，可以调节 IR 或相位图像中的窗口起始位置，该起始位置也就是加窗后的相位响应的参考时间点。不过，这样以来，你的最终整体延迟就等于 DELAY OFFSET 部分的延迟再加上窗口偏移的延迟。一般情况下，这种方法在测量脉冲响应中某些非零时刻部分的相位响应时更加方便。它的优点是无需改变整个输入通道

的延迟补偿值。

技术说明：

这里想要强调一点，那就是本节中对延迟和相位的介绍其实是做了很大的简化。它们的实际情况要复杂微妙得多，试举几例：

我们之前说过，音箱间的时间矫正只能针对某个点位来设置，即使你离音箱足够远，那么也只是针对某个方向来矫正时间差而已。另外一个值得讨论的问题是脉冲响应的开窗位置应该如何确定，因为它同时影响到振幅和相位两方面。另外，不管是直达声还是早期反射声，当脉冲响应中存在若干个大小相等、位置接近的峰值时，往往很难对相位进行检测。这时可能根本没有平直的相位响应，反过来说不同的延迟也可能产生接近平直的相位响应。一些环境因素，比如温度和风力，也会对声音产生影响。

千万不要被这些东西吓倒，但是也不要对这方面的复杂性掉以轻心。这款软件不是万能的，它只是个工具，在对付这类问题时，知识和经验才是最重要的。

相位响应的另外一个强大的用途，是对多路分频（multi-way）或频响范围重叠（frequency-shaded）的扬声器系统进行时间差矫正（time-alignment）。和前面说的一样，在这里对相位响应起关键作用的，仍然是延迟。假设现在有一套未经调试的二分频音箱，而不是已经调试好的全频音箱。该音箱的低音单元和高音号角之间可能尚未矫正时间差。在加入分频器后，可想而知该音箱的低音单元在低频部分会存在延迟，而高音单元在高频部分也会存在延迟。如果想通过脉冲响应来矫正两者的时差，可能非常困难，因为两者的峰值曲线形状差别很大。但是借助于相位响应就可以很容易地进行时间差矫正。

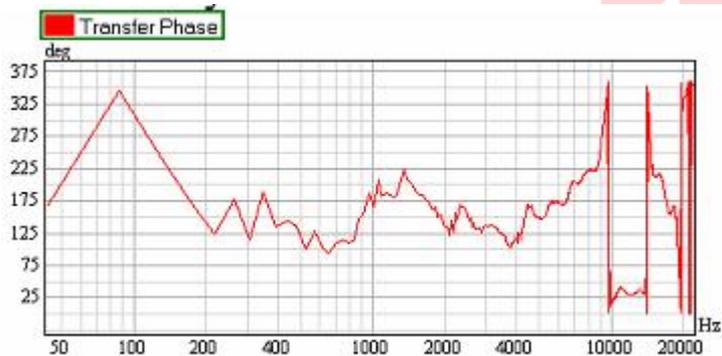
下图所示的，就是这样一个简单的二分频音箱的相位传输函数曲线。该音箱已经进行过粗略的矫正，但是从图中可以看出，它的相位响应中仍然包含有两种不同的延迟时间。曲线在 1.5kHz 以前较为平直，但在分频范围以上，从 1.5kHz 到 10kHz 的部分，曲线开始倾斜，或者说有一个比较固定的衰减。这个图大致上相当于分别测量低音单元和高音号角，并将号角的窗函数起始点按照低音单元的延迟大小进行设置。



下图是改良后的结果。



这里，两个扬声器单元的相位曲线都较为平直，相当于延迟为零。从下面的包络图中，可以更明显地看出来。



相位的平滑和包络

之前用到了两种选项设置，分别是 SMOOTHING（平滑）和 WRAP（包络），但并未详细介绍。不过它们的背景非常值得一提，我们就从这里开始讲起。

相位包络（Wrapping phase）是指将相位值压缩在 360° 的范围内。数学上可以很精确地做到这一点，并且不会造成信息丢失。实际上，当我们将一个复传输函数的实部和虚部转换成振幅和相位时，只有相位值能够保持在 360° 的范围内。去包络

(unwrapping) 处理可以将相位值在无限范围内展开，以方便查看和分析。原因很简单，(包络) 相位本质上是从 0 到 360° 的一个圆周值， 0° 的点和 360° 的点是相同的， 1° 和 361° 也是相同的，以此类推。事实上，大于等于 360° 的点和小于 0° 的点都是不存在的。然而，在圆周上平滑的函数，当映射到线性坐标系中时，就变成了不连续的。本来从 359° 到 0° 的一个很小的变化，在线性坐标中发生了巨大的变化，因为这两个点恰恰处于相位轴上相反的两端。

去包络是将相位值从前到后按顺序进行处理。一旦相邻数据点之间差距大于 180° ，则后续的数据值均偏移 360° ，从而使数据中相邻的两点的相位值之差始终小于 180° 。去包络处理后的曲线能够更加清晰地表现出相位响应的总体趋势，而在线性刻度下的包络数据曲线中，总体趋势容易被众多间断所掩盖，不够直观。

WRAP 的设置包括：

- ± 180 是将相位值包络到从 -180° 到 $+180^\circ$ 的范围内。
- $0-360$ 是将相位值包络到从 0° 到 360° 的范围内。®

由于相位包络曲线断开的位置不同，有时使用 $0-360$ 的范围会比 -180 到 $+180$ 的范围效果更好。要记住，矫正得好的系统，其相位曲线会比较平直，因而无需使用包络。

- NONE 显示的是去包络后的数据，如上文所述。
- ± 360 、 ± 540 和 ± 720 是将去包络的相位值以更大的取值范围重新进行包络。

这些更大的范围在相位响应曲线高低不平却又不太陡峭时比较有用。

相位平滑 (SMOOTHING) 功能和振幅平滑功能类似。每个数据点表示的是所选带宽内数据的平均值。对于相位来说，数据首先是无包络的，然后进行平滑处理，最后再包络至所需的显示范围内。不过，大带宽的平滑一定要慎重使用，尤其是对相位而言。

平滑的主要目的是去除掉响应数据中的细节和噪声。但是在对相位曲线进行平滑处理之前，首先要对数据进行去包络处理。如果某些相邻数据点相差接近 180° ，那么很少的噪声就会使去包络后的曲线产生明显改变。此时如果对该曲线进行平滑处理，所得结果会反复无常。因此强烈建议在采用宽带平滑处理之前，先对相位数据的连续性进行检查。相邻的数据点的值在圆周坐标系中应当比较接近，差值一般要在 90° 以内才可以。比方说，相邻点是 90° 和 180° 的值、或者 300° 和 30° 的值，这是可以的，但是如果一个是 30° ，一个是 210° 就不可以。如果没有考虑到这一点，你会发现平滑后的相位

曲线的相关性会比原始相位曲线低。

5. 测量进阶

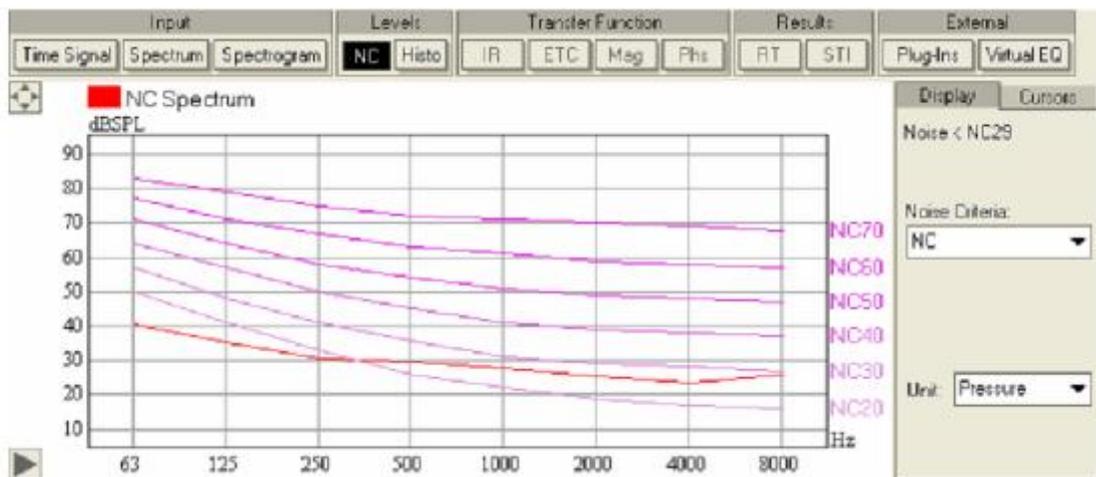
本章研究的内容是基于之前章节中所介绍的测量方法的进阶。此前，对 SysTune 软件从输入信号到传输函数的介绍都比较好理解，接下来我们来了解一下这款软件的其它应用功能。这些功能无需再增加硬件设备，仅借助我们之前已有的设备即可。

5.1 噪声级的测量

噪声标准 NC (Noise Criteria)

我们在日常生活中经常受到噪声的侵扰，诸如道路交通和空调系统那种随机噪声，以及机器和振动带来的有规律噪声等。若干规范文件中都定义了如何测量和量化此类噪声级，其中之一就是 NC (噪声标准)，即 noise criteria (参见 ANSI 标准 S12.2-1995(2008))。

借助 SysTune 可以很容易地测量 NC 值。首先，确保当前没有播放任何信号，并且已经对 SIGNAL CHANNEL (信号通道) 进行了校准。然后，在图形区上方的按钮栏里切换到 LEVELS|NC (声级|噪声标准) 模式。切换之后，图形区显示内容将变成 CURRENT MEASUREMENT (当前测量曲线) 和从 NC20 到 NC70 的主噪声标准曲线的复合图。根据有关标准，这些曲线均基于倍频程 (octave-based)。



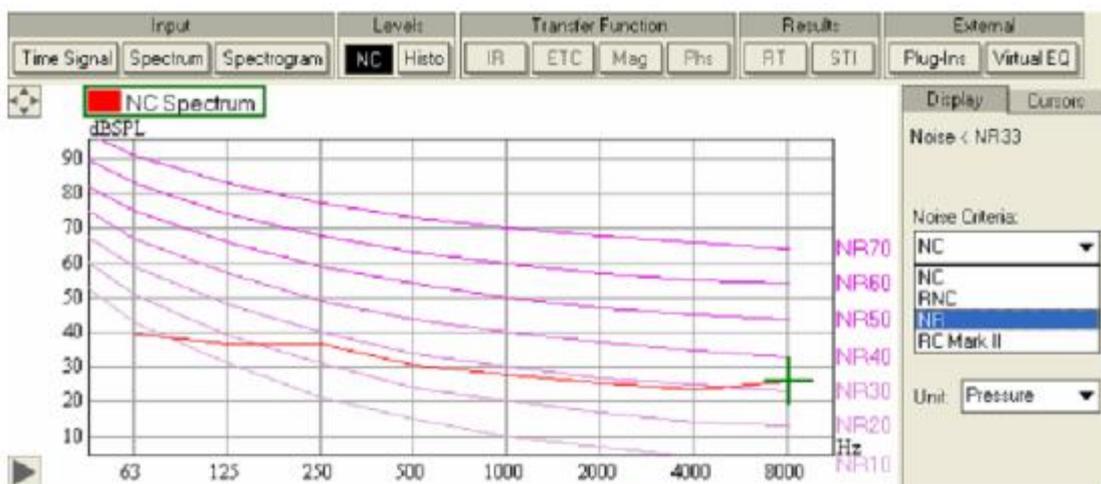
上图已经表明了该处环境噪声的大小。从倍频程数据中得出的宽带 NC 值则显示在右侧的 DISPLAY (显示) 面板上。典型的 NC 测量值如下：

- 15-18 音乐厅，歌剧院，以及独奏厅
- 20-25 大礼堂，戏剧院，以及教堂
- 15-25 电视和广播节目演播室（仅用于近距离话筒拾音）
- 25-30 会议室（大型），报告厅和教室
- 25-30 小礼堂
- 25-35 会见/宴会厅
- 30-40 电影院
- 30-35 会议室（小型）和私人办公室
- 30-35 教堂（小）
- 30-35 法庭
- 40-45 餐馆

要注意的是，如果 SIGNAL CHANNEL（信号通道）未经校准，或是你在测量时将 UNIT（计量单位）切换到 DIGITAL FS（数字满刻度电平）方式，那么你将仅仅看到一条曲线而无法去测量 NC 值。还要注意，目前你尚且无法将 NC 数据捕获到一个合成数据包（overlay）中。但是和其它图一样，使用 FILE|EXPROT DATA AS TEXT（文件|以文本格式导出数据）菜单命令，NC 曲线可以保存成一个文本文件。

其它噪声标准 RNC, NR, RC Mark II

在 Pro（专业）版本的 SysTune 中还可以选用其它噪声标准。你可以通过 NOISE CRITERIA（噪声标准）下拉菜单在其中进行选择。



在旧版本的 ANSI 规范《ANSI S12.2-1995 American National Standard Criteria for Evaluating Room Noise》（美国国家标准之室内噪声评价标准）中，提到了两种类

型的室内噪声标准曲线：一种称为 NCB，另一种叫做 RC。其中 NCB 标准曲线来源于人耳听觉特性，与等响度曲线以及主观感受一致。而现行版本规范（ANSI Standard S12.2-2008）中定义的则是 RNC，指的是 Room Noise Criterion（室内噪声基准）。另外一个常用标准，叫做 Mark II Room Criterion（二号室内基准，简称 RC Mark II），在该规范的附录 D 中进行了介绍。RC Mark II 来自对 68 个办公场所所进行的实际调研，这些办公场所的噪声均主要来自于空调系统（HVAC），但室内的办公人员对这些空调噪声并无厌烦感。噪声评价（Noise Rating）NR 曲线是由国际标准化组织（ISO）制定的，用以衡量一个室内环境在听觉保护、语言沟通以及噪声侵扰等方面的可接受程度。

典型的 RNC 测量值跟前面提到的 NC 值是相同的。典型的 RC 测量值如下：

- 25-30 讲堂和教室
- 25-35 会议室，会见/宴会厅，以及私人办公室
- 25-35 教堂（小型）
- 25-35 法庭
- 35-40 大型演讲厅

典型的 NR 测量值如下：

- 25 音乐厅，教堂
- 25 电视和广播节目演播室（仅用于近距离话筒拾音）
- 30 小礼堂，会议室，剧场
- 35 讲堂和教室
- 35 私人办公室，法庭
- 40 餐馆

总结

本节内容展示了如何利用 SysTune 进行简单的噪声级测量。但要注意，SysTune 从严格意义上讲并不是一个测量器具。权威测量结果需要使用专门的测量仪表。SysTune 只能起到指导的作用。

5.2 SPL 和 LEQ 的测量

上一章中提到过，在看待“哪些声音是噪音、哪些声音不是噪音”这个问题时，不

同的角度会有不同的答案。一场摇滚音乐会的观众一般不会把这些音乐声当成噪音。但是家住附近的那些没享受到吉他狂飙、鼓声漫天的激情的人们，对此的看法就大不相同了。

实际上，要解决这个矛盾，必须让不同场所在其可接受的声压级方面达成一致。活动组织者需要确保观众区域获得足够的声压级覆盖，而场外则要尽可能避免受到过高声压级的影响。另外，为避免听觉损伤，通常需要对场内听众所感受到的平均声压级进行监视。

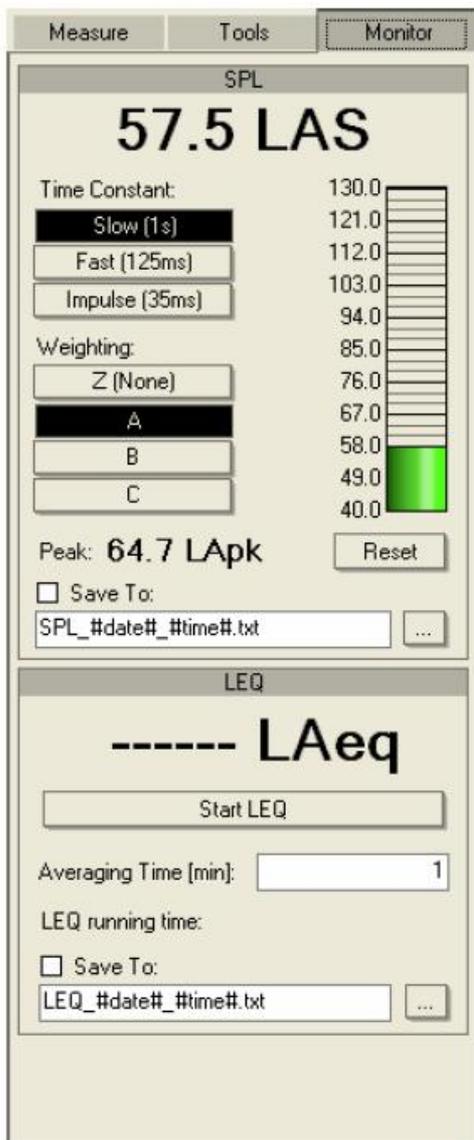
在一系列相关规范中，给出了对此类声级测量和求平均的精确定义。在 EASERA SysTune 中，SPL 和 LEQ 的测量就是建立在一部分（IEC-61672-1:2002 和 ANSI_S1.4-1983_(R2006)）这类标准方法的基础上的。

基本上，在 SysTune 中查看 SPL 和 LEQ 的测量值有两种方式：

- 以数字显示的瞬时值
- 所测声级值随时间变化的曲线图形

SPL 和 LEQ 的监视

要查看当前信号通道输入的声压级，需在软件界面左侧控制面板上切换至 MONITOR（监视）选项签。



如果信号通道已经以声压为基准校准过，则此功能框上方标着 SPL 的地方所显示的，就是当前输入的实际宽带声压级。而功能框下方标着 LEQ 的区域所包含的，则是与测量等效长期平均声压级相关的一些控制功能。监视选项签里，几乎每项功能都非常简明易懂，但为了确保清楚无误，我们还是要一步步地说明这些功能。

SPL 框最上面显示的数值是输入的宽带声压级。它直接由时域信号测得，并与下面选择的 TIME CONSTANT（时间常数）和 WEIGHTING（计权）有关。时间常数是一种衰减常数，它可以确定一个瞬时效应的平均能级如何随时间推移而损失。SLOW（慢）代表一个较长的衰减时间，事件的平均能级将保留一段时间。FAST（快）是很短的衰减时间，因而平均能级的变化更加迅速。IMPULSE（脉冲）则是一种快速上升、缓慢衰减的时间常数。依照现有标准，SysTune 中设有这三种常数，用法也跟手持声级计或实时分析仪（RTA）上的同类选择开关类似。数据的计权（WEIGHTING）包括 Z（不计权），A，B 或 C。

这些选项早在第二章内容中就已经详细介绍过。区域右侧还有个虚拟表头，用来显示 SPL 的值。默认状态下，SPL 的显示采取“慢”的时间常数以及 A 计权。

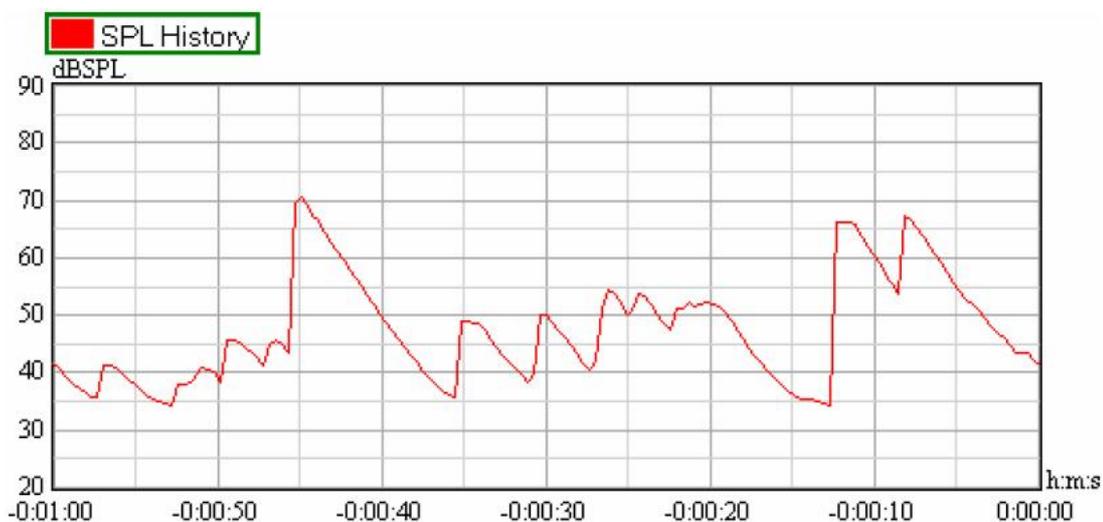
在计权选择按钮下面显示的另一组数字是 PEAK 值（峰值）。它其实是监视功能启动之后，或者此功能重置（RESET）之后的时间内，在所有 SPL 值中抽取的最大值。而该数值右侧的 RESET（重置）按钮可以重新启动峰值测量。

在 SPL 功能框的最下方，有个 SAVE TO（保存至）的勾选框，用来将 SPL 值不断地保存到文本文件中。而点击文字区域正右边的小“...”按钮，可以开启一个对话框来选择该文本文件的保存地址。你也可以人工输入文件的名称。注意，当文件名使用占位符 #DATE#和#TIME#的时候，该记录进程的启动日期和时间将自动转化为文件名称。

LEQ 功能框中的文件存储控制与 SPL 功能框相同。不过，它所存储的内容是基于长期平均值的 A 计权声压级，而不是每个短期时间段的值。LEQ 的功能框中可以输入该长期平均时间的时长。输入框就在 LEQ RUNNING TIME（LEQ 运行时间）显示值的正上方。平均时间（AVERAGING TIME）的默认值是一分钟。要启动此功能，需要按下 START LEQ（启动 LEQ）按钮。和无需人工启动的 SPL 测量相比，LEQ 测量的启动命令是必要的，因为 LEQ 的监测会耗费一定的处理能力和存储空间，因而应当仅在需要时才启动此功能。

历史图

除了实时地查看和保存声压级的数值，你还可以查看声压级的历史记录曲线。用鼠标点选图形区上方 LEVELS 区域里的 HISTO 键（就在 NC 键的右边），就可以启动查看历史记录曲线。首次按下 HISTO 键后，将会显示如下的 SPL HISTORY（声压级历史）图：



上图所显示的，是经过 60 秒以上的监视时间后，所形成的图形。在这个图的右边

有两个按钮，默认激活的是 SPL 按钮，而默认关闭的是 LEQ 按钮。



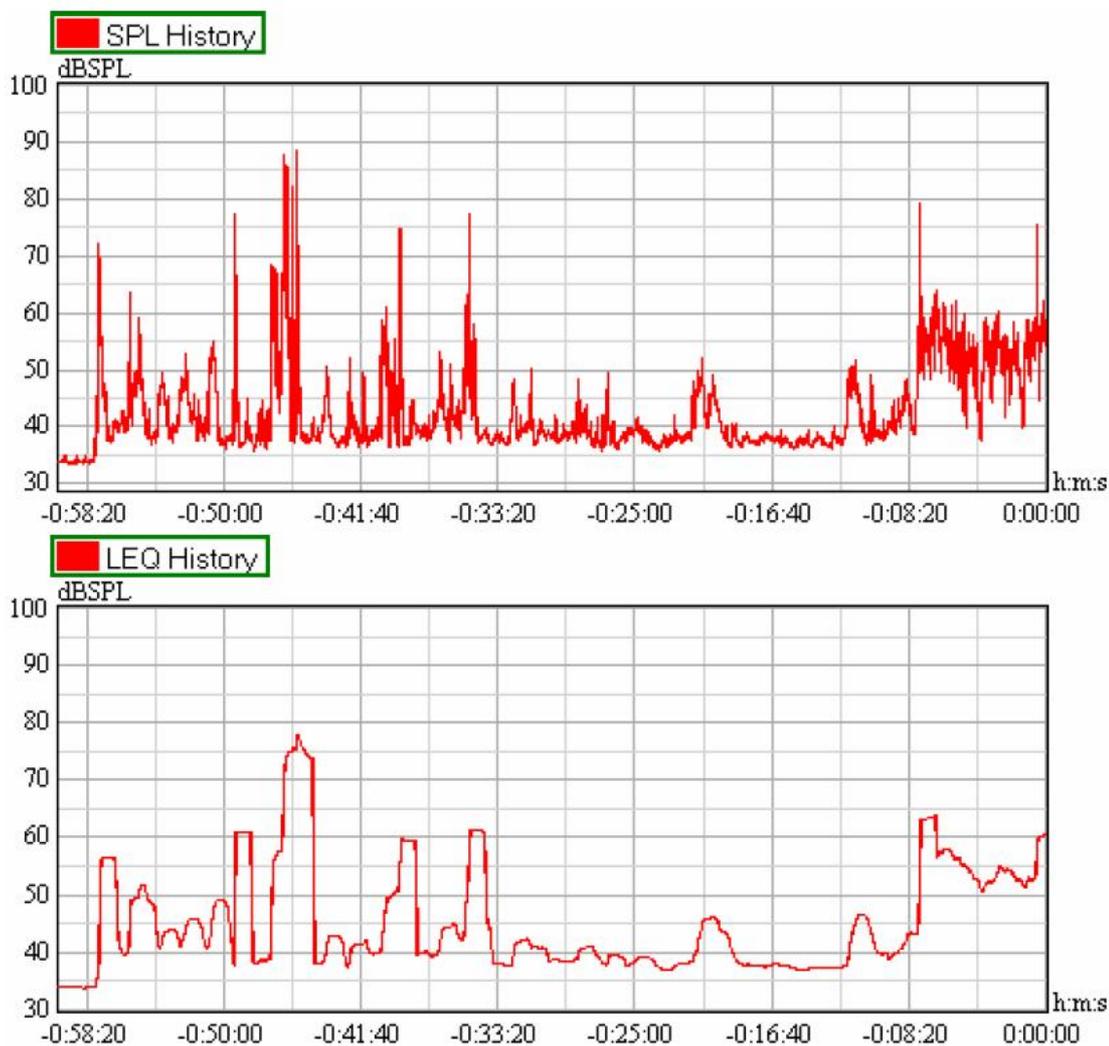
按下 LEQ 按钮后，图像将切换到 LEQ HISTORY（噪声等效声级历史）曲线图。



如果你的软件窗口现在还是上下两个图形区的分割查看方式，那么，将上方图形区设置为显示 SPL HISTORY，让下面的图形区显示 LEQ HISTORY。你会注意到，即使尚未按下前面提到的 START LEQ（启动 LEQ）按钮来启动 LEQ，当你在右侧 DISPLAY（显示）面板上选择 LEQ 的时候，程序也会自动的激活该按钮。而且程序窗口左边也会自动切换到 MONITOR 选项签的页面。我们还会发现，和其它图不同的是，上下两个图形区里无法同时显示 LEQ HISTORY（或 SPL HISTORY）。

默认状态下，这两种图只显示最近 60 秒内的曲线。通过设置坐标轴（图形左下角的小三角形）可以查看更长时间范围内的曲线，比如 1 小时。由于查看的是过去的事件，因此你需要在 X 轴（X-axis）处输入 -1:00:00 作为起始值。经过一小时以后，两图形看

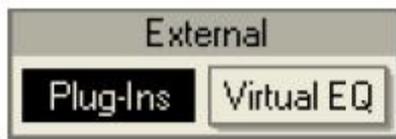
起来会类似下图所示的样子：



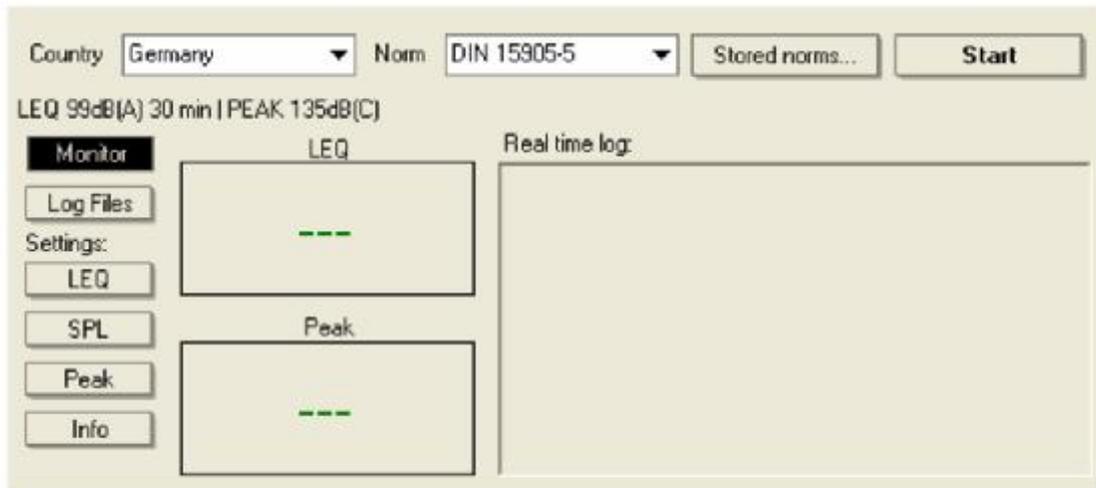
需注意，停止分析（程序左侧 MEASURE 选项签下的 STOP ANALYSIS 按钮）会终止上述声级监视进程。当重新启动后，旧的历史曲线会被清空。任何其它的变动，比如参数改变或者切换输入通道等行为，都会导致声级曲线绘制功能的重启。而在日志文件中，此类变动将自动加以注明。

健康条例插件

使用健康插件（Health Plug-In），可以按照当地有关部门规定的防止听力损伤的条例制度，对声压级进行相应的监视。在图形区上方那排按钮里，选择 EXTERNAL（外部）区的 PLUG-INS（插件）按钮。



之后，在软件右侧的出现的 LAUNCH（启用）选项签里，有竖直的一列按钮。选择此列中的 HEALTH REGULATIONS（健康条例）标签。然后一个图形区将变成下面所示的插件设置界面。



首先从 COUNTRY（国家）下拉列表里选择国家名称，然后从 NORM（条例）下拉列表里选择有关条例制度。在 COUNTRY 下拉列表的正下方，有一行对所选条例制度的简短说明文字。如果不需要将读数记录到文本文件中的话，按下 START（开始）按钮即可按所选条例制度的要求开始监视。选择 MONITOR（监视）按钮，能够将当前读数显示在该区域的左边位置，同时右边的 REAL TIME LOG（实时日志）区会同步更新，显示有关此读数的信息。

须知，倘若信号通道（SIGNAL CHANNEL）未曾针对声压级（PRESSURE）进行校准，你将无法启动上述监视或日志记录功能。如果你对信号通道（SIGNAL CHANNEL）进行任何改动，此监视进程也会自动停止。

让我们先来看一下插件的有关设置。点击 LEQ 按钮，出现两部分控制面板，可以对等效声级的测量进行设置。

LEQ Specifications		LEQ Log	
Weighting for LEQ:	A	Log LEQ value every	30 minutes
Limit:	99 dB	<input type="radio"/> starting from beginning	
Average over	30 minutes	<input checked="" type="radio"/> at exact times	

在左侧面板上，可以设置计权（weighting）以及限定值（limit）。当启动监视（MONITOR）模式后，如果测量值比限定值小 3dB 以上的话，LEQ 值将以绿色字体显示；当此差值缩小到 3dB 以内时，字体变成橙色；而当测量值等于或大于此限制值时，字体会变成红色。LEQ 的平均时间段也在此处进行设置。右侧面板用于设置进行数值记录的频繁程度。

下面我们来看看 SPL 的有关设置，点下 SPL 按钮，会显示和之前设置 LEQ 时类似的两部分控制面板。

SPL Specifications		SPL Log	
<input checked="" type="checkbox"/> Monitor SPL values		<input checked="" type="checkbox"/> Log highest value in an interval	
Weighting for SPL:	Z (none)	of	1 minutes
Time constant:	1000 ms	<input checked="" type="radio"/> starting from beginning	
Limit:	120 dB	<input type="radio"/> at exact times	
Average over	1000 ms	<input type="checkbox"/> Log all values that exceed limit	

在标有 SPL SPECIFICATIONS（声压级参数）的左边区域里，有一个 MONITOR SPL VALUES（监视声压级数值）勾选框，勾选此项可以在 MONITOR（监视）页面的 LEQ 显示值下方，增加一项 SPL 值显示框。这里可以设置计权方式、时间常数以及限制值。当启动监视（MONITOR）模式后，如果测量值比限定值小 3dB 以上的话，SPL 值将以绿色字体显示；当此差值缩小到 3dB 以内时，字体变成橙色；而当测量值等于或大于此限制值时，字体会变成红色。SPL 取平均值的时长也在此处进行设置。右面的第二个控制面板上，可以启用日志记录文件，并设定测量值记录的频繁程度。这个面板底部的勾选框，可以设置是否在每次超出限定值的时候都进行记录。

接下来第三项设置，也就是 PEAK（峰值）按键所开启的控制界面，和之前 SPL 设置界面看起来很相似。

Peak Specifications	Peak Log
<input checked="" type="checkbox"/> Monitor peak values	<input checked="" type="checkbox"/> Log highest value in an interval
Weighting for peak: <input type="text" value="C"/>	of <input type="text" value="30"/> minutes
Limit: <input type="text" value="135"/> dB	<input type="radio"/> starting from beginning
	<input checked="" type="radio"/> at exact times
	<input type="checkbox"/> Log all values that exceed limit

这里只能对计权和限制值进行设定。勾选 MONITOR PEAK VALUES（监视峰值）会在监视（MONITOR）界面上 LEQ 和/或 SPL 显示框的下方增加一项 PEAK（峰值）显示框。此处字体颜色所对应的阈值比之前 LEQ 和 SPL 的要宽广一些。当启动监视（MONITOR）模式后，如果测量值比限定值小 6dB 以上的话，PEAK 值将以绿色字体显示；当此差值缩小到 6dB 以内时，字体变成橙色；而当测量值等于或大于此限制值时，字体会变成红色。右面的第二个控制面板上，可以启用日志记录文件，并设定测量值记录的频繁程度。这个面板底部的勾选框，可以设置是否在每次超出限定值的时候都进行记录。

点击 LOG FILES（日志文件）按钮可以选择创建何种类型的日志。在打开的控制面板中，可以选择每种日志的文件名，以及是否启用此项日志的记录功能。

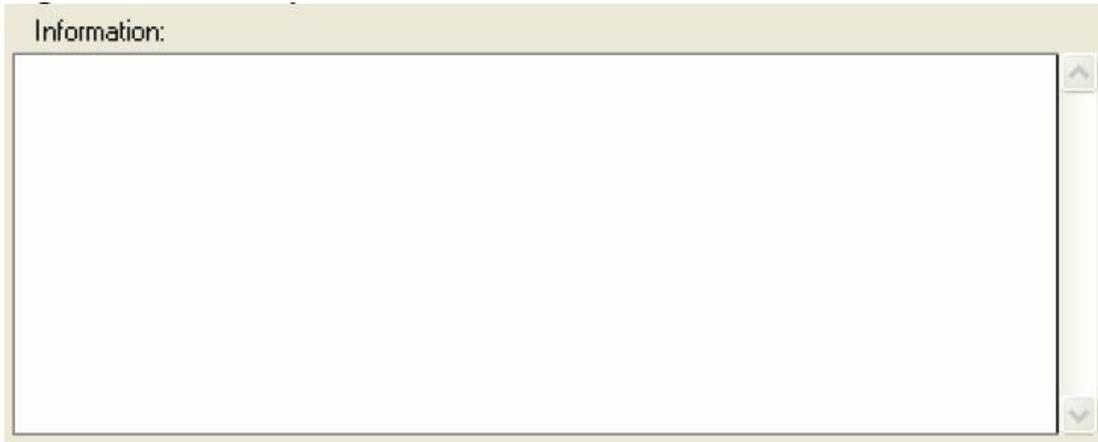
<input type="checkbox"/> LEQ	<input type="text" value="LEQ_#date#_#time#.txt"/>	...
<input type="checkbox"/> SPL (highest values)	<input type="text" value="SPL_highest_#date#_#time#.txt"/>	...
<input type="checkbox"/> SPL (above limit)	<input type="text" value="SPL_limit_#date#_#time#.txt"/>	...
<input type="checkbox"/> Peak (highest values)	<input type="text" value="Peak_highest_#date#_#time#.txt"/>	...
<input type="checkbox"/> Peak (above limit)	<input type="text" value="Peak_limit_#date#_#time#.txt"/>	...

Use placeholders #date# and #time# to store date and time of the recording in the file name.

这里的 SPL（ABOVE LIMIT）和 PEAK（ABOVE LIMIT）两个勾选框（分别表示 SPL 和 PEAK 的超限制值）是灰色的，这是因为我们没有在相应的 SPL 和 PEAK 日志控制面板底部勾选此功能。其它的日志文件只要在前面的勾选框里打勾，就可以创建相关日志文件了。默认的日志文件名包含了起始日期、时间以及日志类型。当按下 Plug-In 主控界面右上角的 START（启动）按钮后，日志文件即被创建。

按下 START（启动）键后，界面将自动切换至监视（MONITOR）页面，以便查看声级数值显示以及声级实时日志。该实时日志在记录文件每次内容增加、或测量值超出限制值时，都会更新显示。

最后，INFO（信息）按钮可以用来查看或键入当前所选条例制度的其他相关信息。



点击 STORED NORMS（存储条例）按钮后，在弹出的菜单中选择 NEW…(新建…)，可以创建新的用户自定义的健康条例制度。



输入该新建条例制度的所属国家（COUNTRY），并键入简短的条例名称（NORM）以方便识别。在 INFORMATION 区域内对该条例进行描述。然后点 CREATE（创建）按钮可以保存此项新条例，或点 CANCEL（取消）返回 SysTune。

如果你对已有的某个健康条例的默认设置进行了修改，那么在 NORM 下拉菜单中，该条例制度的名字前面会带有一个“*”号。你可以通过 STORED NORMS…按钮弹出的 SAVE AS…菜单项，将它保存成一个新的用户自定义健康条例。



输入该新建条例制度的所属国家 (COUNTRY)，并键入简短的条例名称 (NORM) 以方便识别。在 INFORMATION 区域内对该条例进行描述。然后点 CREATE (创建) 按钮可以保存此项新条例，或点 CANCEL (取消) 返回 SysTune。

如果你选择的是一条用户自定义的条例，那么按下 STORED NORMS... 按钮后，弹出菜单中会增加另外两个选项。分别用来删除 (DELETE) 此项条例，或以原始名称来保存 (SAVE) 此用户自定义条例。

免责声明：尽管对应各地健康条例中的数据都经过认真比对，但我们不敢保证这些数据是绝对无误的。SysTune 作为一款软件，它的结果在任何情况下都只能作为参考。如果涉及到法律等方面的行为，应当采用专用仪表测量声压级，以确保结果符合相关条例的要求。

总结

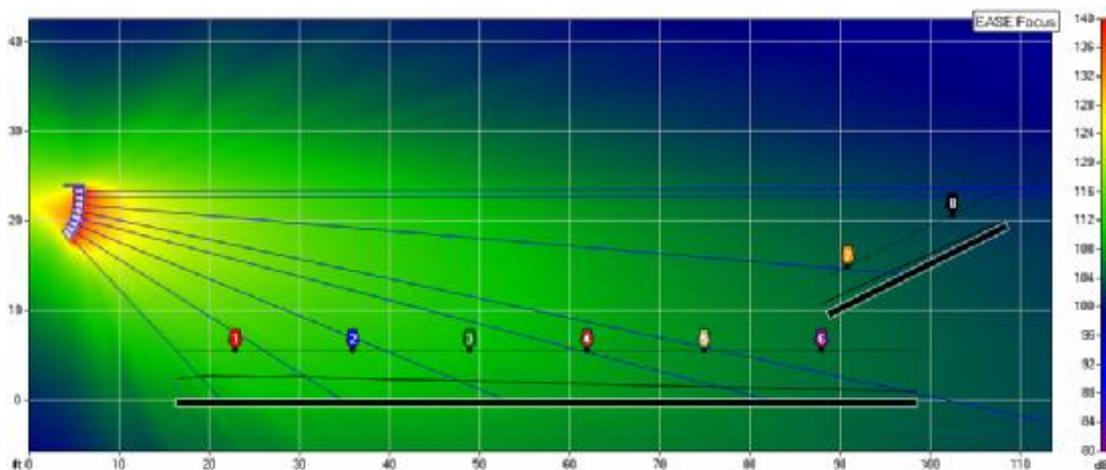
本节演示了简单的 SPL 和 LEQ 测量。同时还讨论了如何记录 SPL 和 LEQ 的测量结果，以便后续评估。声级历史曲线图可以在程序运行过程中，查看声压级的历史值。健康插件可以用来按当地有关健康条例进行监视，以避免产生听力损伤。

5.3 采用多个信号通道的测量

手册之前章节的内容基本都是关于单通道测量或以双通道之一作为参考输入的测

量。但是，EASERA SysTune 本身可以支持多达 8 路信号的同时监视、测量以及平均值显示。

假设某个典型的体育场，有若干不同分区。使用简单的双通道测量方式，你可能需要扛着麦克风到处跑，逐个进行测量。或者你也可以使用话筒切换器，但即使如此，一次也只能使用一只麦克风进行测量。

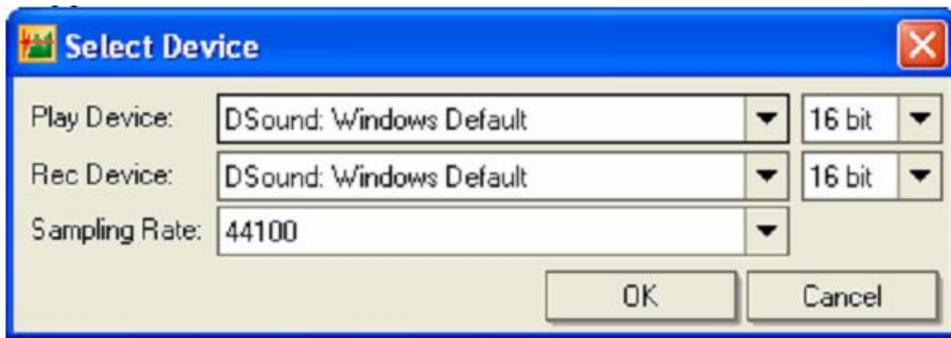


相比之下，当采用 SysTune 配合一台多通道声卡使用时，最多可以同时处理 8 个测试话筒的数据。你可以对所有通道进行监视，并对其中任意一个通道进行详细测量。你还可以实时查看多达 8 个通道信号的平均频谱和传输函数。在这部分内容里，我们将逐步了解这种创新性的新功能。

改换声卡和驱动

SysTune 启动时默认使用的是 WINDOWS 操作系统的默认声卡和驱动。WINDOWS 默认的声卡驱动通常是仅支持 2 通道信号的 Direct Sound 协议。到目前为止，只有基于 Steinberg 公司的 ASIO 协议的专业声卡驱动才能提供 2 通道以上的数据访问能力。因此，我们需要将 SysTune 切换到另外一种配置形式。

为此，首先在软件菜单栏 CONFIGURE（配置）项下，选择 SELECT DEVICE...（选择设备）项。开启 SELECT DEVICE（选择设备）对话框。注意，此项操作会立刻终止信号实时分析（real-time analysis）功能。

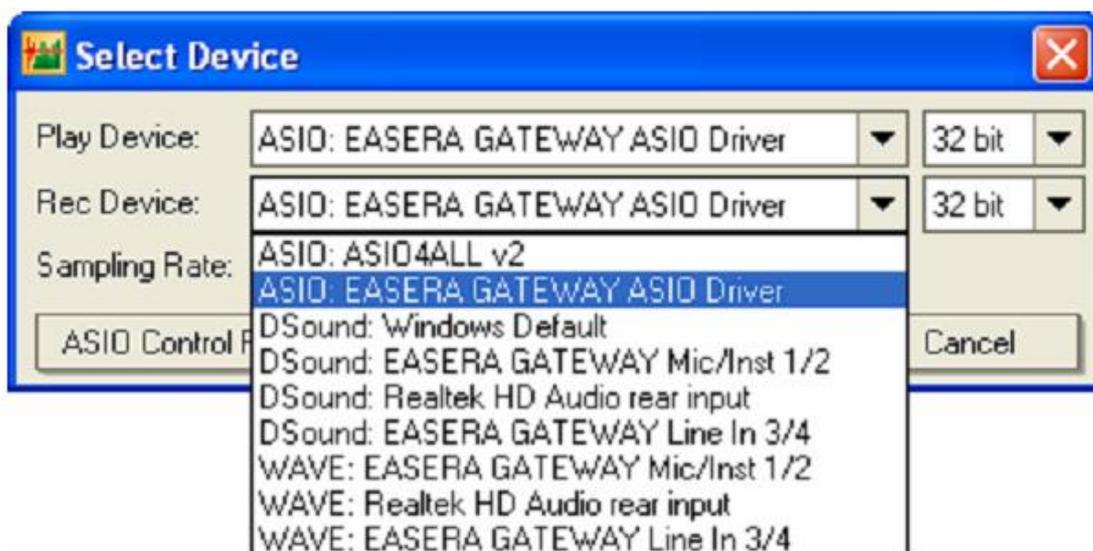


通过这个窗口，可以访问所有关于声卡驱动配置的控制参数。在左侧标有 PLAY DEVICE(播放设备)的下拉条中，可以选择用于信号输出的驱动类型，比如 DSound(Direct Sound)、WAVE 或者 ASIO 驱动。同样，标有 REC DEVICE (记录设备) 的下拉条显示的是当前使用的输入驱动方式。再往下，是选择 SAMPLING RATE (采样频率) 的下拉条。

窗口右边，可以选择输入、输出的量化比特。这项设置可以控制模数 (A/D) 和数模 (D/A) 转换时的信号动态范围。通常对于声学测量而言，16 比特 (bit) 的深度已经足够，相当于采样对象的最大值和最小值能相差 96dB 大小。对于电子设备测量时，则推荐更高的比特分辨率，比如 24bit 或 32bit。但要知道，对于很多 AD/DA 转换器来说，这项设置其实有名无实。标准声卡一般都达不到等效于 20 或 21bit 的分辨率。这相当于大约 120dB 的动态范围。

提示：使用 ASIO 驱动时，SELECT DEVICE 窗口里会显示一个额外的按钮，可以让用户直接访问 ASIO 控制面板。对于某些 ASIO 设备，可以从这里去调节声卡的增益和采样频率等参数。

如果你连接了一个支持 2 通道以上的声卡，那么在输入和输出部分也要选择相应的 ASIO 驱动。如果你暂时没有多通道声卡，在接下来的练习中，你也可以暂时使用 DSound :WINDOWS DEFAULT (DSOUND: WINDOWS 默认) 的驱动方式和普通两声道声卡。这里我们选用了 EASERA Gateway 声卡的 ASIO 驱动方式。



按 OK，确认并关闭对话框。

状态栏

SELECT DEVICE（选择设备）窗口关闭后，主程序窗口底部的状态栏会立刻显示有关设置的变更情况。

5: Live Signal - EASERA GATEWAY ASIO Driver 44.1KHz / Play Reference Signal: Computer D... 192KHz - EASERA GATEWAY ASIO Driver

根据你当前设置的不同，状态栏的显示文字如下：

- 设置只用一个输入信号通道时：

Live Signal<记录设备名称><采样频率>/No Reference

- 设置使用一个输入信号通道和一个输出信号时：

Live Signal<记录设备名称><采样频率>/No Reference/Play Signal:<文件名或内部信号名称>on<播放设备名称>

- 设置使用一个输入信号通道和一个输出信号，并将输出选择为参考通道时：

Live Signal<记录设备名称><采样频率>/Play + Reference Signal:<文件名或内部信号名称>on<播放设备名称>

- 设置使用一个输入信号通道和一个输出信号，并将输出 1 到 8 选择为参考通道时：

Live Signal/Live Reference<记录设备名称><采样频率>/Play Signal:<文件名或内部信号名称>on<播放设备名称>

- 设置使用一个输入信号通道，并将输出 1 到 8 选择为参考通道时：

Live Signal/Live Reference<记录设备名称><采样频率>

● 设置为文件模式时:

Opened File: <文件名>

● 其它情况:

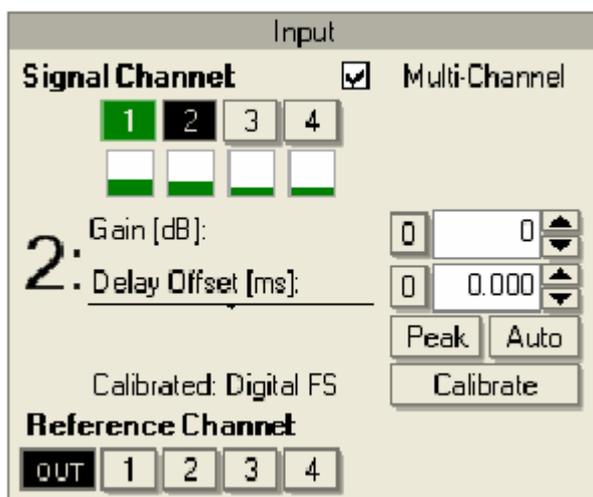
Setup not configured. (设置未确认。)

当播放信号类型或者参考通道发生改变时, 状态栏的内容也会实时更新。

提示: 要快速检查当前所选声卡及采样率等设置时, 状态栏能提供很大帮助。因为它不需要去打开设备选择窗口就可以查看到有关信息。

多通道测量

在 SysTune 中, 进行多通道测量是一件很容易的事情。我们在第二章中就已经看到, 通过 SIGNAL CHANNEL 按钮正下方的微型电平表, 可以同时监看多达 8 个通道的信号大小。根据所用声卡及驱动的不同, 这个区域会依照声卡输入通道的数量, 显示最多 8 组按钮和电平表。在 SIGNAL CHANNEL 标签的右边, 可以看到一个叫做 MULTI-CHANNEL (多通道) 的勾选框。勾选此项, 然后再点击另外一个信号通道 (SIGNAL CHANNEL) 按钮, 比如 2 通道。



现在你眼前所显示的内容会有两方面的变化。首先, 当按下信号通道 2 的按钮时, 1 通道的按钮没有弹起, 而是变成了绿色。这表明该通道已经参与了多通道平均值的测量。其次, 上方和下方的图形区如果之前显示的不是频谱直方图、摄谱图或振幅图像 (SPECTRUM, SPECTROGRAM or MAG graphs) 之一的的话, 将被自动替换成频谱直方图。这

是由于求平均的处理方法其实是对频域内的能量进行平均。其实，之前提到的对输入频谱或是传输函数振幅的叠加求平均，也是按照时序原则对各信号先进行了同样的计算。因此，在勾选 MULTI-CHANNEL 后，只有 SPECTRUM、SPECTROGRAM 和 MAG 三种图可以查看。

至于所有其它的功能，在多通道模式下基本上也都能用。比如你仍然可以进行时间平均 (time-averaging)，或是捕获合成数据包 (overlays)。只不过这时候捕获的，是平均值的合成数据包。你也可以给不同的通道设置不同的增益，以改变其在求平均计算中的权重。由于性能方面的原因，在多通道模式下无法使用脉冲响应窗口。

提示：你可以借助 FFT size 和 Delay Offset 的设置来实现类似脉冲响应窗口的功能。首先你需要给各个通道分别设置延迟，然后在多通道测量时选择所需的开窗时长，也就是 FFT size (快速傅立叶尺寸)。但要注意，FFT 块是选择 Tukey 90% 还是选 none，取决于 OPTION 页面中对 FFT window 的有关设置。

如果要回到单通道模式，可以去掉 MULTI-CHANNEL 勾选框前的打勾。在多通道模式下，想要增加输入通道，只要点击对应通道的按钮即可。对已经加入到多通道测量的通道 (显示绿色的按钮)，点击对应通道的按钮，即可将该通道设置成当前激活通道。如果想要从求平均的计算中移除某个通道，先点一下该通道的按钮，将其激活，然后再点一下这个按钮即可。移除某一通道后，系统会自动将另外一个通道设为当前激活状态。

技术说明：

虽然已经说过了，但是还要重申一次，平均值测量法有时候能给出更让人感兴趣的结果，有时更富洞察力。但是在调试某个系统是，不能仅仅依赖平均值测量。

比如，某个测量位置处的频率响应曲线存在一个很宽很深的凹陷，会导致该位置听感很差，但是采用 4 个或更多通道的数据平均后，就很难看出这一位置的缺陷了。反过来也是，比如某一测量位置的频响存在很大的峰值，会让整个平均值都在该频率段显现出凸起，但事实上其它测量位置可能并没有凸起。平均值只在其原始数据之间的关联性很大时才有意义。

要知道：尽管多通道平均功能是 SysTune 中一个创新的新功能，但它也只是让你在换个角度查看某个系统时，多了一两件比较强大的工具而已。这种功能不是万能灵药。

输入通道映射 (Mapping Input Channel)

Pro 版本的 SysTune 中，还带有另一个很有用的功能，尤其是使用多通道声卡时，用处更大。在菜单栏的 CONFIGURE 项里，有一个 CHANNEL MAP (通道映射) 项。选择这个菜单命令，将开启如下窗口。



由于 SysTune 一般只允许访问一个声卡的前八个输入通道，使用这个功能，可以将某些通道数量更多（超出 8 路）的声卡的后面一些通道，映射到软件的八个“端口”上来。

映射过程非常简单。左边标有 SOFTWARE CHANNEL (软件通道) 的下面，排列着最多八个对应 SysTune 软件界面的输入通道标签。而右边标有 HARDWARE CHANNEL (硬件通道) 的区域，对应左边每个软件通道，都有一个硬件通道选择的下拉菜单，可以定义软件通道所对应的硬件通道。

比方说，你想要使用你的声卡的 9-16 输入通道。那么，你可以选择硬件的 9 通道，去对应软件的 1 通道；硬件 10 通道对应软件 2 通道，诸如此类。要注意，映射的变更除了在这个映射窗口可以看到以外，在整个 SysTune 软件看起来跟以前没有任何区别。小心别选错了测试通道。

提示：通道映射在使用数量较少的通道时也有用处。例如，假设你使用了声卡的 3、4、7、8 这四个通道，那么按次序将它们映射到 1 到 4 的软件通道上，工作起来会更容易些。

5.4 混响时间和语言可懂度

在第 4 章里，我们已经介绍过室内声学脉冲响应的典型特性，以及如何理解这些特性。混响时间 (RT) 的测量是室内声学中最基本的测量，它可以直接从脉冲响应中测得。下面的章节中将会讨论有关这方面的内容。然后，我们还要一起来了解一种广受认可的语言可懂度测量，叫做语言传递指数 (STI)。

混响时间 (Reverberation Time)

混响时间可以用来描述各种大小尺寸的房间的特性，无论是录音棚还是大教堂。为此我们先来做如下说明：假设以一个足够响的音频激励信号来激励某个房间，使声音充满房间各处，然后切断激励信号，房间中的声能的减少将形成一条衰减曲线。因为一旦中断房间的声能供给，剩余声能由于墙壁、地板和顶棚的吸收，以及空气和室内人员的吸收，将会不断减少。

以秒为单位来测量这个衰减速率。测得的结果表示的是该声场内声压级跌落 60dB 所需要的时间。这个时间从主观感受上来说，大致相当于我们在房间里拍一个巴掌后，直到听不见房间回响的时间。

技术性说明：

绝大部分软件通过对二维脉冲响应 (squared impulse response) 的施罗德逆向积分 (Schroeder backward integral) --相当于房间内的声能--来求解混响时间。这个积分可以求出能量随时间的衰减函数，然后再据此得出混响时间。实际上，由于信噪比的影响，通常很难获得声能跌落 60dB 的完整时间。因此，可以先测量更短的时间，比如跌落 20dB 所用的时间，再推导出 60dB 所需的时间。

在 SysTune 中显示的混响时间是 T20，其定义来自 ISO 标准 3382。它相当于从 -5dB 的施罗德积分降至 -25dB 的衰减时间推导出来的 60dB 衰减时间。通常，此类计算都是基于倍频程滤波的脉冲响应 (octave-filtered impulse responses)，因而得出的 RT 曲线也基于倍频程 (octave-based)。

对于绝大部分房间来说，不能忽视的是混响时间会随频率不同而不同。混响时间通常随着频率升高而降低，这主要是由于空气对高频声能的吸收量增大造成的。当人们谈

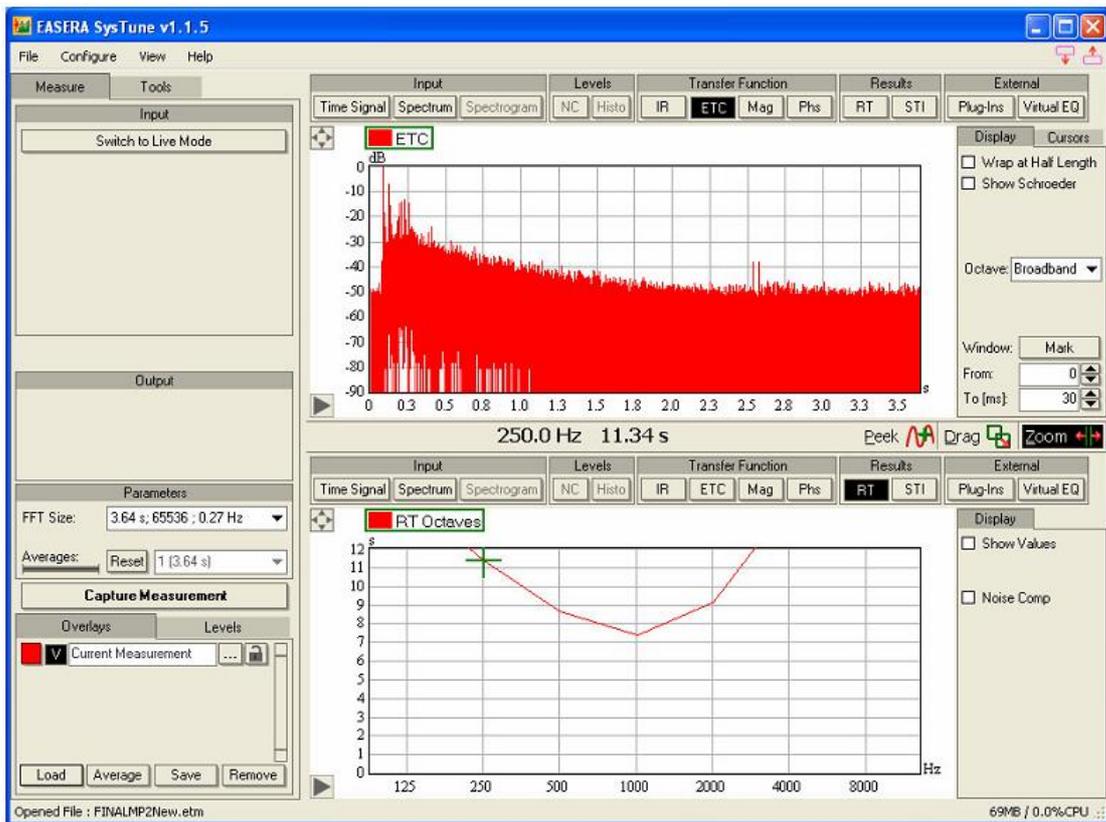
到某个房间的混响时间 RT 时，通常指的是该房间中频段的平均混响时间，一般是从 500Hz 到 2kHz。

还要注意，混响时间对于整个房间来说只能是个大致的测量值。由于测量位置的不同，或是测试信号源以及房间几何结构的不同，都会导致前后测量结果变化很大。因此在下定论之前，一定要多分析几组混响时间。对包含有混响时间值的报告书来说，写明场地内各种情况下的不同混响时间，也是一种很好的习惯。

要查看混响时间随频率变化的函数，请点击图形区上方 RESULTS 组里的 RT 按钮(PHS 按钮的右边)，由于你可能不具备准确地实地测量混响时间的条件，所以这次我们改用读取音频文件的方式。

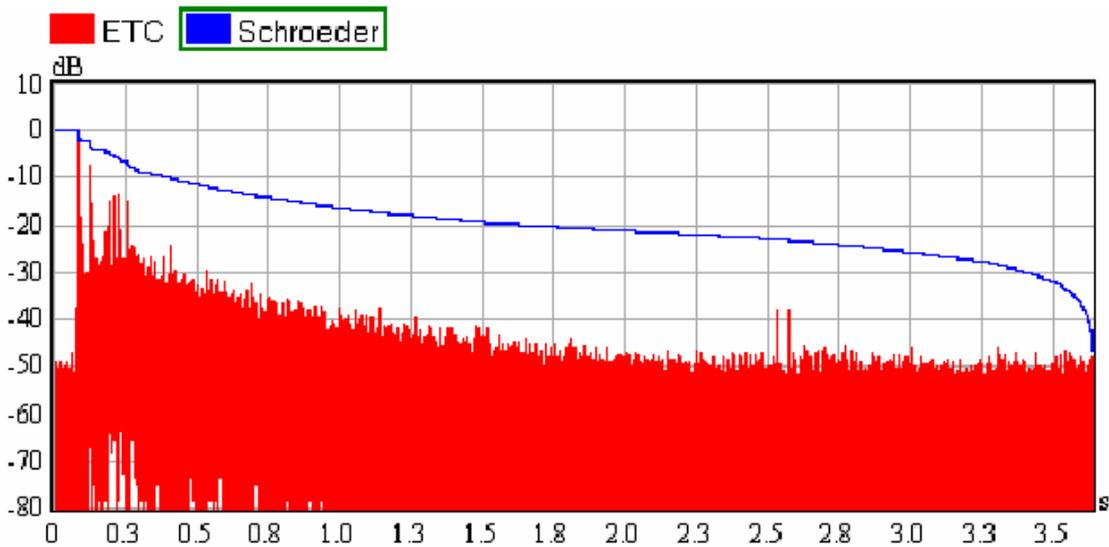
点击软件菜单栏的 FILE|OPEN AUDIO FILE，加载 SysTune 文件夹里 IR 子文件夹下的 FinalMP2New 示例文件。加载后，软件将切换到文件模式 (File Mode)，这是一种专门查看音频文件的静态程序模式。这种模式下，无法进行任何实际测量，但是你可以随时切换回实时分析模式，只要点击左侧控制面板上的 SWITCH TO LIVE MODE (切换到实时模式) 按钮即可。

加载音频文件后，将上方图形区切换到 ETC 模式，下方图形区切换到 RT 模式。你将看到一个类似下面的窗口：

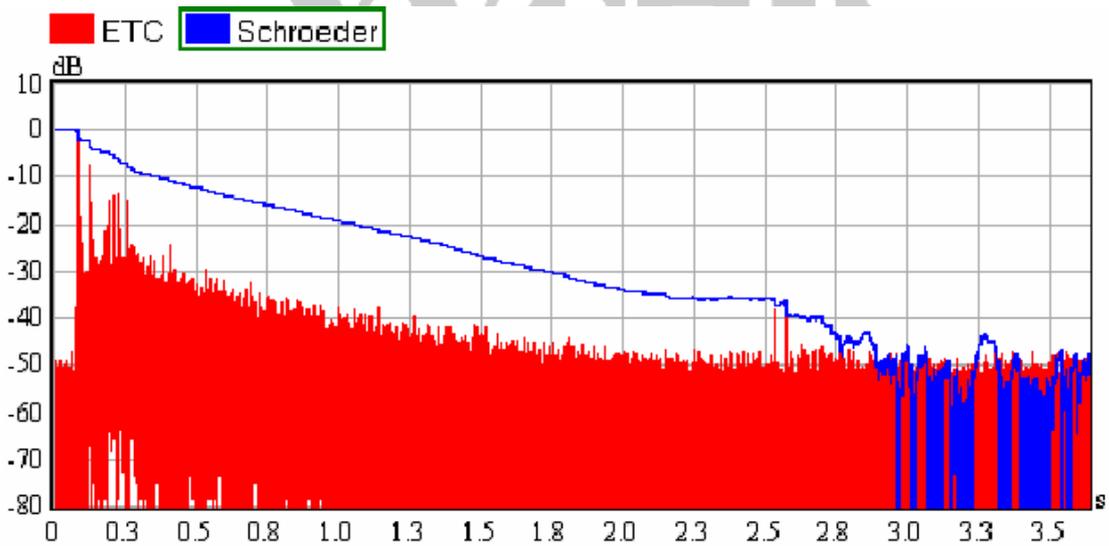


乍看上去，RT 曲线似乎有问题。它的数值非常高（达到了 15 秒！）而且随着频率升高，RT 值不但不减少，反而增加。其实原因非常简单，如果你看一下上面的 ETC 曲线就能明白了。从 ETC 的图中可以看出，对数平方脉冲响应中包含了大量噪声。早在第 4 章开头的地方，我们就提到一些这方面的问题。所有这些噪声都被错误地包含进了 RT 计算中，从而影响了结果的正确性。

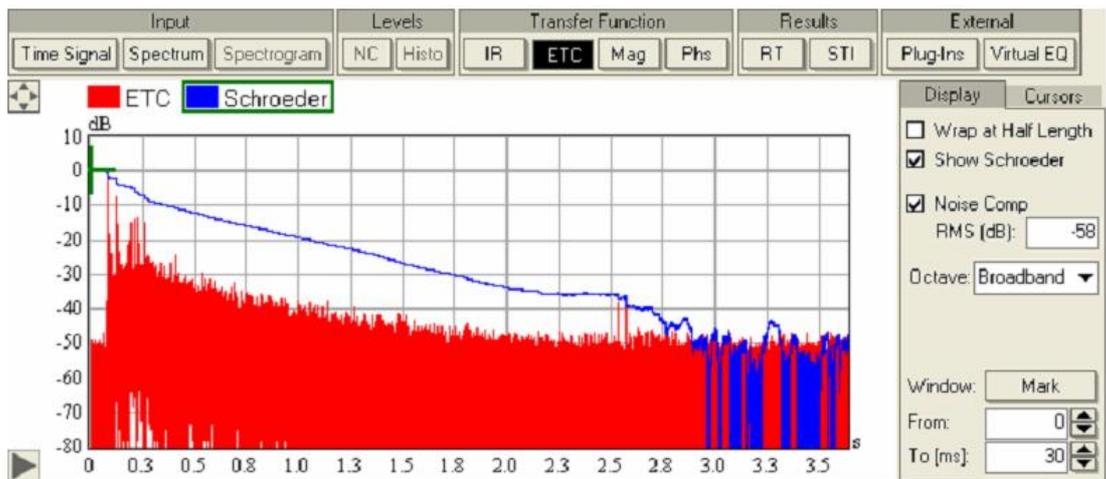
为了更好地理解到底发生了什么，在 ETC 图像右边勾选 SHOW SCHROEDER（显示施罗德曲线）。这时候，图像中出现了一条施罗德逆向积分曲线，这条曲线所代表的，正是从脉冲响应计算出的房间整体声能衰减曲线。



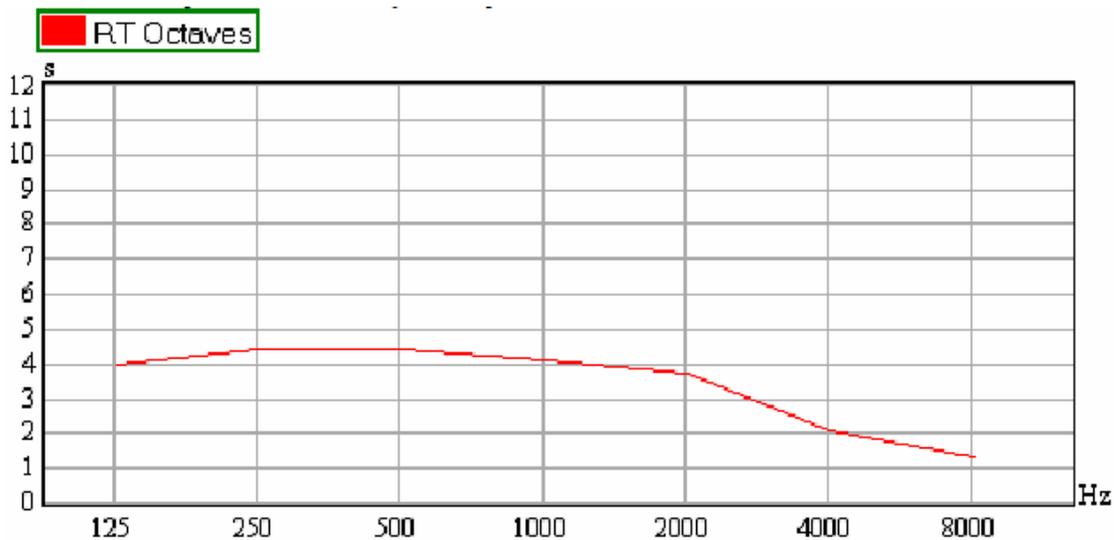
从这里可以明显地看出，积分中也包含了所有的噪声。为了降低 RT 计算中的噪声影响，SysTune 中加入了一个叫做 NOISE COMP（噪声补偿）的功能。从 ETC 图形区右侧的 DISPLAY 面板中，勾选 NOISE COMP 功能，启动噪声补偿。之后的施罗德曲线看起来就好多了。



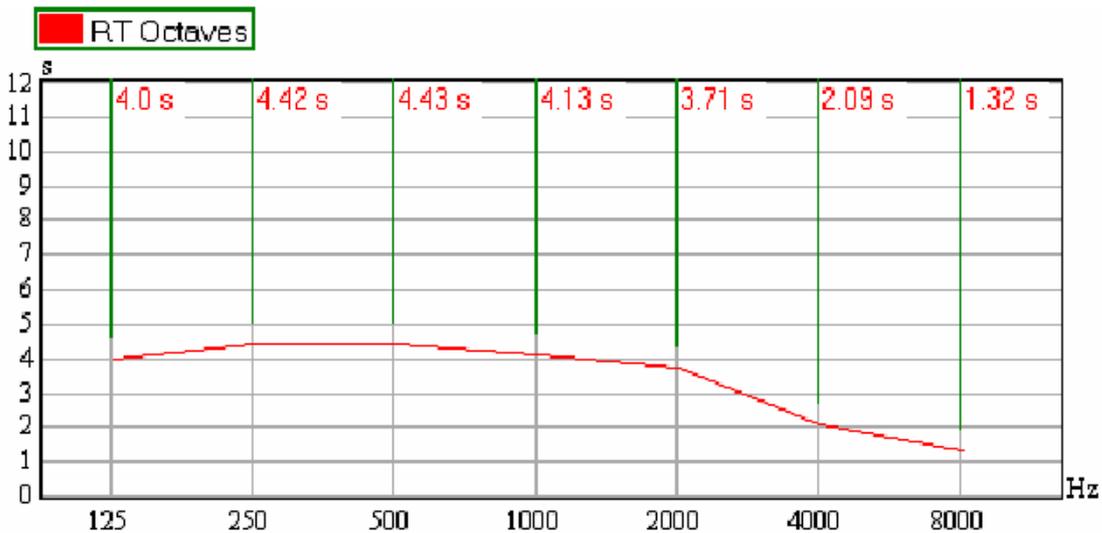
在曲线后面的部分，也就是噪声从整个积分中正确地减掉的位置再往后的那部分时间里，应当出现如上图所示的凹陷。但是如果曲线仍然显得很平直（就像刚开始没加噪声补偿时那样）又或是削减掉了过多的能量（凹陷曲线在特别早的时间点上就出现了），那么你需要采用高级软件工具来手工计算混响时间。为了核实噪声预测的准确性，你也可以将软件计算得出的噪声值和 ETC 图像进行对比。软件预测的噪声值就显示在 NOISE COMP 勾选框的正下方。



这里显示的值是-58dB RMS，这和我们观察到的值一致（要记住我们看到的是 RMS 值，而不是峰值）。同时，当你在 ETC 中启动了噪声补偿功能时，下面 RT 图像的噪声补偿功能也会同时开启。然而，这个功能没有默认成开启状态，因为噪声估算程序需要耗费很多计算机资源，很多时候，尤其是实时模式时，我们并不希望如此。



最终的 RT 曲线看起来是正确的。点击右侧 DISPLAY 面板上的 SHOW VALUES（显示数值）按钮，可以将各倍频程频点的 RT 值显示在图形中。



提示：如果你看到的 RT 曲线的值非常大，怀疑有错误，那么借助 ETC 图形可以更详细地分析产生错误的可能原因。选择对应的倍频程滤波起，能够分别查看每个倍频程波段的施罗德曲线。确保施罗德图像中的噪声补偿功能给出了正确的补偿值。否则，可以尝试改善信噪比，再进行测量。

如果想把这些数据导出到文本文件中，可以参照其它图形的导出方法来操作。通过 FILE|EXPORT DATA AS TEXT 来导出下方图形区的数据 (FROM LOWER GRAPH) 或上方图形区的数据 (FROM UPPER GRAPH)。

混响时间主要取决于房间的容积，以及墙面、地面、顶棚的吸声材料。一些场所的典型中频混响时间如下：

- 录音棚，小房间 约 0.3-1 秒
- 多功能厅 约 0.8-1.7 秒
- 剧场，音乐厅 约 1.2-2.2 秒
- 大型室内体育馆 约 3-5 秒
- 教堂 约 4-12 秒

这里还要强调的是，混响时间还取决于场地内的观众数量。通常体育馆坐满观众后的混响时间，比起空场时的混响时间来，会低很多。这使得 SysTune 成为一个非常宝贵的工具，因为你可以通过双 FFT 方式来测量混响时间，但是无需播放令人讨厌的激励信号，只要通过现场的常见节目素材，诸如节目预告、广告或音乐节目就可以进行测量。

在 SysTune 横空出世之前，上述做法很难实现。人们或者是需要使用昂贵的专用硬

件设备来测量，或者借助于声学仿真软件，比如 EASE，来根据空场时已测得的混响时间，去推算满场时的未知混响时间。

语言可懂度

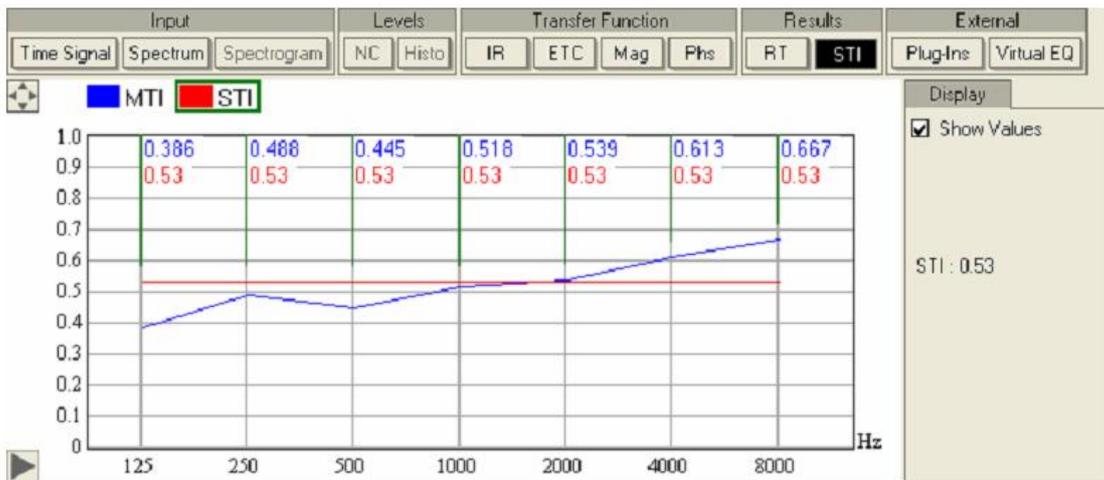
语言可懂度测量描述的是待测系统对人类语言的传输能力。由于要理解和识别单词和整个句子是一件非常复杂的任务，它涉及到心理声学以及主观效应等方面，因而无法对所有场合得出一个简单适用的通式。不过，人们也研究出了一种比较特殊的方法，通过这种方法得出的结果在很多听音测试中都和实际结果比较贴合。根据 IEC 60268-16 标准，语言传递指数（STI）将可懂度划分为从 0 到 1 的不同数值，数值越高，相应的可懂度也就越高。

技术性说明：

STI 的基本原理是假定语言可以看作某种具有非常低的调制频率的信号。因而只要评估待测系统对约 1 到 12Hz 范围内的调制频率的传递情况，就可以从其脉冲响应中得出 STI 的值。于是，在 7 个倍频程频段中的每个频段计算一组 14 个离散的调制传递函数（MTF）值。所得结果就是一组 7 个的调制传递指数（MTI），每一个指数都定量地描述待测系统在该频段内的调制特性。最终，通过这 7 个系数的加权平均，就能得到一个 STI 的单一数值。

如上所述，SysTune 中求 STI 的方法直接遵循 IEC 60628-16 (R2003) 标准。Pro 版本的 SysTune 还支持针对信号掩蔽（signal masking）和噪声级的校正因数（correction factors），详见后文。但是，更精确的 STI 计算，以及 RaSTI 和 STIPa 的计算，需要使用专门的处理工具，比如 EASERA。

点击 RESULTS 按钮组里的 STI 按钮，可以切换到 STI 图形模式。和之前提到的 RT 一样，这里我们还是使用 FinalMP2New.etm 这个示例文件来测量其 STI 值。该文件的 STI 图像如下：



在上图中我们已经激活了 DISPLAY 面板上的 SHOW VALUES（显示数值）功能。该功能可以在图中直接显示 STI 的数值。我们可以看到，对于此测量位置来说，0.53 的 STI 值（DISPLAY 面板中有显示）是可以接受的。从蓝色的 MTI 曲线可以看出，高频的倍频程波段比低频段对可懂度的贡献似乎更大一些。上图中，红色的水平线代表的就是由各频段 MTI 值加权平均后得出的 STI 值。

根据相关标准，STI 值的等级划分如下：

- 0.00-0.30 无法听懂
- 0.30-0.45 较差
- 0.45-0.60 一般
- 0.60-0.75 良好
- 0.75-1.00 优秀

要注意，这种等级划分是相关标准中给出的，但是该标准还指出，大于 0.5 的 STI 值，一般情况下就可以了。更多有关 STI 的详细内容及其背景，请参考 IEC 60628-16 标准，以及与之相关的其它文献。

提示：如果你对如何提升某个场所的语言可懂度感兴趣，也请参阅上述文献。和调试一个音响扩声系统一样，这也是一个艰巨的任务。一般说来，合理调节扬声器的延迟和指向，设置充足的吸声材料来降低回声和混响，都会提高 STI。有一些声学仿真软件包，比如 EASE，可以用来预测某个场地内的扩声系统的性能。

和其它数据一样，STI 图也可以通过 FILE | EXPORT DATA AS TEXT 命令导出。

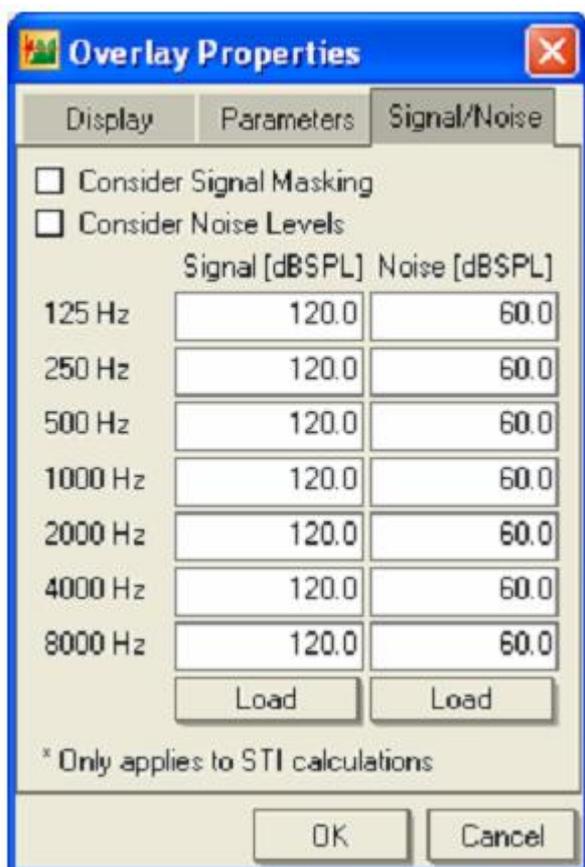
扩展语言可懂度测量 (Extended Speech Intelligibility Measurements)

考虑到由噪声或信号本身带来的掩蔽效应，IEC 60628-16 (R2003) 标准中要求进行额外的校正。只在 Pro 版本的 SysTune 中才具备这一功能，后面章节中将会介绍。

Pro 版 SysTune 的 STI 计算可以应对的问题包括：

- 人类听力中，随频率不同而不同的听阈值，
- 恶劣的信噪比带来的影响，以及
- 某个倍频程波段内的信号受另一个频段里更大响度信号的掩蔽。

要访问这些参数，请打开 OVERLAY PROPERTIES 窗口，并切换到 SIGNAL/NOISE 标签页。



在窗口上方，有个标有 CONSIDER SIGNAL MASKING (考虑信号掩蔽的影响) 的勾选框。勾选此项，可以将信号掩蔽效应和听阈的影响纳入 STI 的计算中。而 CONSIDER NOISE LEVELS (考虑噪声级的影响) 功能则可以将给定的信噪比值纳入计算中。上述每个选项都需要将有关数据正确地填入下方表格中。SIGNAL [DBSPL] 纵列中，允许按倍频程填入实际的信号声压级。这些值也就是在语言信号播放时，通过 SysTune 的输入频谱直方图 (倍频程分辨率下) 直接读出的值。而 NOISE [DBSPL] 竖列允许按倍频程定义背景噪声级，

也就是语言信号停止后，SysTune 测得的对应值。

为了看出效果，让我们定义一些很有意义的值。首先，在 SIGNAL[DBSPL]的各频段中都输入 70 dB SPL 的值，NOISE[DBSPL]中则都输入 60dB SPL 的值。勾选 CONSIDER NOISE LEVELS，点 OK 确认。不出所料，由于此时信噪比非常低，使得 STI 值减小到了 0.493。然后，再把 CONSIDER SIGNAL MASKING 也勾选上。你会发现这次 STI 值的变化不大，这是因为我们所用的信号虽然很小，但仍远远高于听阈。接下来，让我们将信号声压级设为 80dB SPL。我们期望的是随着信噪比的提高，STI 也会增大。而 SysTune 给出的结果也是如此。STI 的值变成了 0.521。

最后，让我们将信号声压级设置得更大一些，设成大约 110dB SPL。这时由于信号声压级过高，导致语言的可懂度开始降低，STI 值跌落到 0.496。这时候你就算关闭 CONSIDER NOISE LEVELS 功能也无所谓，因为在如此高的信噪比下，该功能基本没什么意义。如果想体验一下听阈的影响，我们可以反其道而行之。关闭 CONSIDER NOISE LEVELS 功能，将每个倍频程的信号声压级减小到 40dB SPL。相比之前中等信号声压级时的 0.521，这次我们得到的 STI 只有 0.491。尤其是低频部分更是锐减，因为 125Hz 处的听阈是最高的。

这种练习很有教育意义，不过也很假，因为我们假定信号的频率响应是完全平直的，而且我们甚至没去管噪声级。你可能想去试验一些其它的设置方式。另外注意，使用 LOAD 按钮可以在列表中选择合成数据包（overlays）进行加载，并自动输入声级数据。

实际使用时，最简单的 STI 测量方法是，首先测量语言信号关闭时的背景噪声，并保存成一个合成数据包（overlay）。然后启动语言信号的播放，调节扬声器增益使声压级达到期望值或典型值，再捕获到另一个合成数据包（overlay）中。最后，以语言或任何其它信号在高信噪比的情况下测量脉冲响应，并查看其 STI 值。

总结

混响时间和语言可懂度是从声学上界定房间特性的最主要的测量参数。我们已经学习了如何通过 SysTune 来计算和显示它们的值。记住有一点非常重要，那就是这类测量对于噪声和其它测量问题非常敏感。SysTune 得出的结果可能只是个近似值，如果有必要的话，应当借助更专业的测量平台来进行更精确的测量分析。

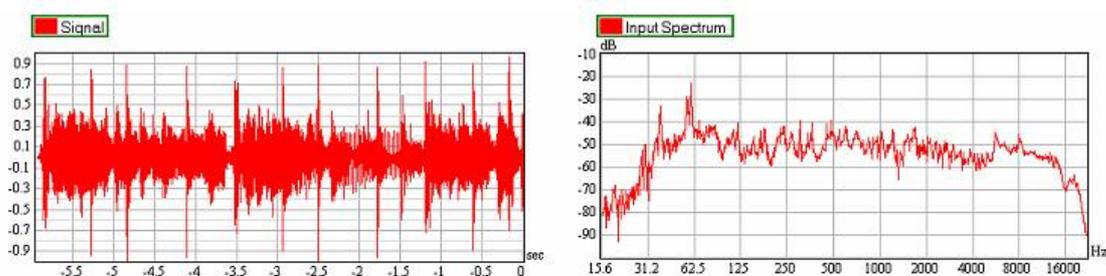
5.5 使用语言和音乐信号进行测量

在第4章里，我们详细谈论了脉冲响应和传输函数的测量。而在该章开头，我们还特别提到了两种不同的形式，一种形式采用内部信号作为参考，另一种形式则是采用外部参考通道。后续的所有练习都完全适用于这两种配置形式，因为那些测量结果的精确程度并不是由使用内部或是外部参考信号来决定的。

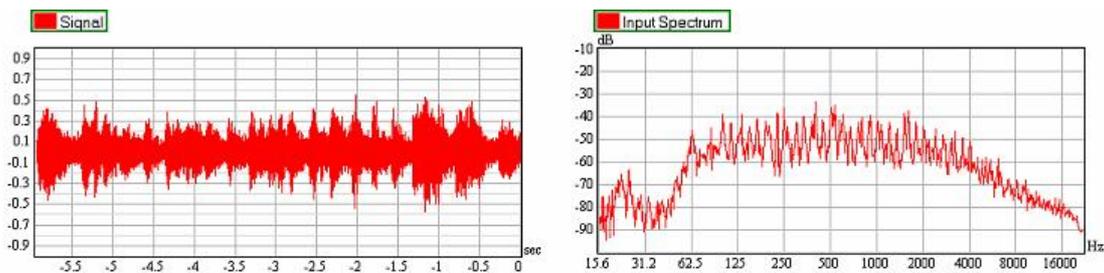
不过，我们还是要再多讨论一点，那就是和专门的激励信号比如扫频信号或粉红噪声相比，语言和音乐信号存在怎么样的局限性。之前介绍如何通过相关性 (coherency) 和脉冲响应稳定性 (IR stability) 来测量并量化待测系统的线性时不变 (linearity and time-constancy)，就已经略微涉及到这方面的内容了。其实，待测系统偏离理想情况的多与少，不仅仅取决于待测系统本身，还取决于所使用的激励信号的特性，比如大小、频率分布情况等。简单想象一下，如果随机噪声的大小是相对固定的，那么采用低电平的激励信号来进行测试，会比采用高电平信号所受到的噪声影响更大。良好的信噪比会让脉冲响应和传递函数测量更加准确。

据此，我们应当重新审视所有非一般性的测试信号，比如语言和音乐。对典型节目素材来说，待测系统的时间差异 (time variance) 和谐波失真 (harmonic distortion) 影响不大。更主要的是，激励信号必须在整个有效频率范围内具有足够的信噪比。要获得宽带脉冲响应，就需要宽带激励信号。有限带宽 (band-limited) 信号，比如语言，比如像巴洛克小提琴音乐那样的一组乐音，都只能引发整个传输函数的一部分而已。其它类型的音乐，比如摇滚乐或者大编制管弦乐团演奏的古典音乐，则不怎么样容易受信号带宽的限制。

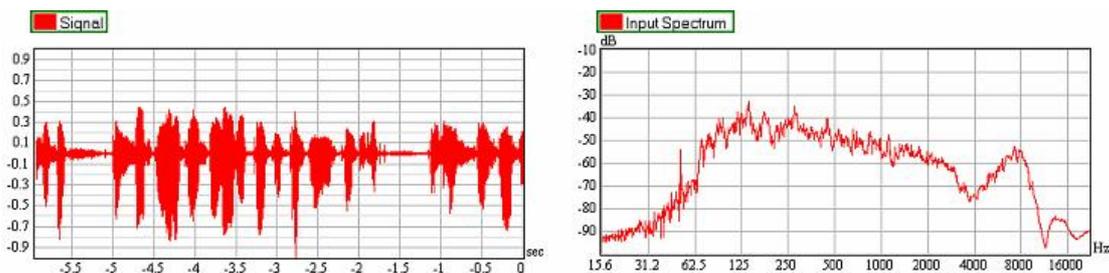
以下图为例，图中显示的是典型流行音乐的时域图和频域图。请注意两图中信号分布的密度。



下一个例子里显示的是一段巴洛克舞曲的时域和频域数据。注意乐曲音色特征引起的频域上规律的曲线起伏。



最后一个例子是一段语言样本。可见语言信号无论是在时域还是频域上，都存在许多凹陷，因而对各类噪声干扰都非常敏感（图中 8KHz 处的峰值是受原始录音转换过程的影响而造成的）。



想提高信噪比的话，要么增大信号，要么抑制噪音。后者很难直接实现，但是借助于时间平均（time-averaging）能够减少测试中的噪声。如果噪声是随机分布的，那么测量时间每增加一倍，本底噪声降低 3dB。因而，更长的测量时间能够增强给定信号的带宽（extend the band limits of a given signal），同时增加整体的信噪比。

在使用非专用信号作为测量参考信号时，还有一点要注意的就是该信号内容的连续性。语言和音乐素材，比如节目预告、广告等，通常包含有数秒的停顿（参见上图中最后一个例子）。在出现停顿时，接收到的只有噪声，无法测得待测系统的数据。在进行长期平均测量时，应当尽可能将此类停顿排除在外。

SysTune 提供了两种方法，可以从收集到的脉冲响应数据中排除噪声。一方面，可以设置用户自定义的带通滤波器，来滤除激励信号有效带宽之外的频率内容。另一方面，可以设置一定的阈值，将小于阈值的数据块排除在脉冲响应和传输函数计算之外。后面我们将示范如何在 SysTune 中使用这些功能。

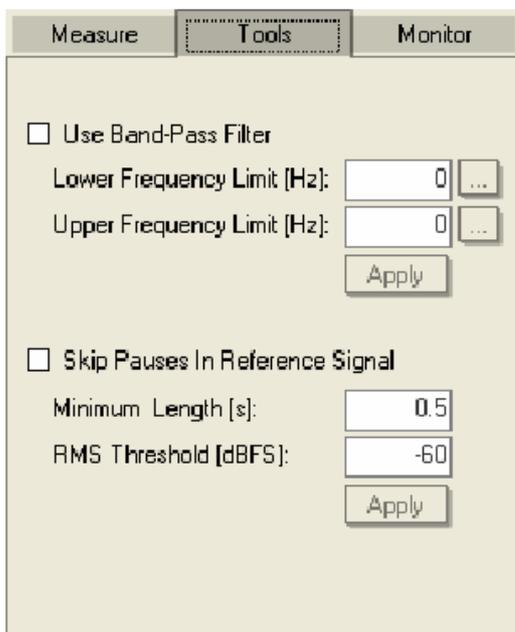
SysTune 还提供了另外一种更加高级的滤波算法，我们称之为 Spectrally Selective Accumulation (SSA™，频谱选择性累积)。该技术正在申请专利，它包含多级滤波器，能够将测量中的噪声、干扰和无关信号滤除。我们在本章后面内容中再来介绍它。

最后再强调一下，那就是测量结果的准确性，同样也取决于参考信号源的类型。如果参考信号是直接从调音台或控制室得到的电信号，那么它收到其它干扰的可能性就比

较小。而与电信号相比，通过测试话筒获得的声学参考信号则更容易受干扰，因而更要小心地对待。想要通过合唱团的排练或管弦乐团的演奏来测量某个音乐厅的脉冲响应，是一件极其困难的任务。目前为止，关于这方面的公开资料和经验还很有限。SysTune 的研发团队在这一课题上提供了一些资料；想了解更多可以参考这些资料（比如，Ahnert, Feistel, Miron, Fider 的 Software-based Live Sound Measurements Part 2, 发布于 2007 年 10 月 5 号-8 号，美国纽约举办的第 123 届 ASE 大会，档案编号 7304）。

简单的噪声抑制工具

SysTune 的噪声抑制功能位于界面左边的控制面板中的 TOOLS 标签页上。



第一个功能叫做 USE BAND-PASS FILTER（使用带通滤波器），它是给反卷积之后的传输函数增加一个用户自定义的带通滤波器。在 LOWER FREQUENCY LIMIT（频率下限）和 UPPER FREQUENCY LIMIT（频率上限）后面的文本框里，既可以直接输入频率值，也可以点击…按钮打开频率选择窗口。按下 APPLY（应用）按钮后，所做更改才会生效。注意，此滤波器只会应用在脉冲响应和传输函数的运算中。RT 和 STI 的运算结果则不受影响，它们固定地使用基于倍频程的滤波器。

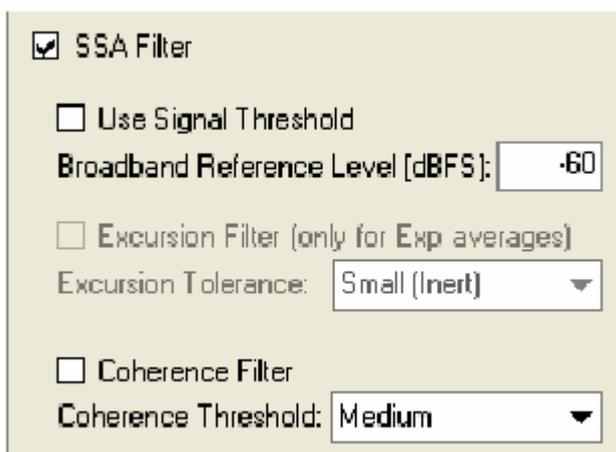
第二种工具叫做 SKIP PAUSES IN REFERENCE SIGNAL（跳过参考信号中的停顿），它可以起到门限的功能。它只会允许超过某个阈值的 FFT 帧参与反卷积运算。如果参考信号低于 RMS THRESHOLD 所定义的阈值的时间超过 MINIMUM LENGTH 里设置的时间值，则

丢弃当前 FFT 块。软件校准后，阈值也可以采用物理单位。参数改好后，点 APPLY 按钮确认。

频谱选择性累积 (SSA™) 滤波器

刚才介绍的噪声抑制工具只能对输入的音频数据进行非常简单的处理。很多时候，比如当激励信号在时间上或频带上非常不连续时，或者当噪声大到盖过了声音信号时，它们无法给测量结果带来明显的改善。相比之下，刚开发出来、正在申请专利的 SSA 滤波器就可以对付绝大部分此类影响。

让我们仔细了解一下 SSA 滤波器的用户界面。SSA 滤波器的主要控制功能位于 TOOL 标签页的“带通滤波器”和“跳过停顿”功能的下方。想使用 SSA 滤波器的各级功能的话，必须首先勾选“SSA Filter”来启动 SSA 滤波器。



SSA 滤波器本身包含有三级处理：

1. 首先，将输入通道的信号和一个阈值进行比较。任何小于该阈值的数据都不允许参与平均计算。这种比较是按频域进行的，各频率的信号独立比较。这是因为音乐或语言信号虽然整体带宽很大，但是某一时刻的能量却集中在很小的频带范围内，上述比较方法可以确保此类测量结果的准确性。

这个步骤叫做信号阈值滤波器 (signal threshold filter)，它可以通过勾选 USE SIGNAL THRESHOLD 来启用。同时，你还需要输入一个 BROADBAND REFERENCE LEVEL (宽带参考级) 数值，该数值指的是按粉噪频率分布的阈值频谱。有两个办法可以得到这个数值，一个是在测量到的本底噪声基础上加上 6 到 12dB，或者是在测量到的信号级基础上减去 12dB 或更多，具体加减的数值取决于节目素材

- 的动态范围。你可以直接借助于 MEASURE 标签页上的声级计功能来做这一步。由于声卡、信号和本底噪声的不同，通常所得的阈值会在-40dBFS 到-80dBFS 之间。
2. 第二步是借助一种我们称之为偏移滤波器 (excursion filter) 的功能来实现的。在这一步中，会将最近一次测得的数据和之前已有的数据进行比较。如果最近一次的测量值和之前的平均值之间偏差较大，则会以比较小的权重来计算这个值，甚至不去计算这个值。这种方法也是基于频率的。它在消除某些临时性的高声压级干扰方面效果明显，比如关门声或某个喊声。

勾选 EXCURSION FILTER 来启用这一级滤波器。标有 EXCURSION TOLERANCE (偏移容差) 的下拉菜单中的选项，定义的是测量值允许偏离平均值的范围大小。在一个非常稳定的环境中，可以将容差设置为 SMALL (小)。如果是在一个不太稳定的环境下，比如户外，这时需要足够多的数据来进行平均，那么可以将容差设置为 LARGE (大)。类似地，假如需要跟踪某个待测系统的缓慢变化，比如均衡设置的改动，这时也需要采用较大的容差。

3. 最后一级是相干性滤波器 (coherence filter)。假设已经应用了前面两种滤波器，那么最后的这个滤波器会对收到的每个数据块的相干性进行检查。如果新数据块的相干性低于某个定义阈值，那么该数据块将被抛弃。这种基于频率的测试可以用来对付那些与参考信号基本无关的掩蔽噪声。上述情况通常表现为信号通道和参考通道之间的相干性较低。

勾选 COHERENCE FILTER 可以启用这一级滤波器。然后，在 COHERENCE THRESHOLD (相干性阈值) 项中定义有多少不相干数据会参与后续平均处理。这乍听起来很简单，但是，在实际应用时，通常没有任何测试数据能够和参考值完全相干，从另一方面来说，除了不存在测试信号的频率以外，你也没法找到零相干 (zero correlation) 的地方。由于存在这种混合状态，相干性阈值可以在 LOW, MEDIUM 或 HIGH (低, 中或高) 中选取。

注意：在很多情况下，SSA 滤波器是一个非常强大的工具。但是，想要用好它还需要对它的参数有一定的了解和经验。你必须先对它的功能和准确性方面有所熟悉，才能依靠它对一些问题作出判断。如果 SSA 滤波器的参数设置有误，可能由于阈值过低或过高，而导致大量噪声无法滤除，或导致大量有用数据被滤除在外。由于每个测量的实际情况各不相同，所以我们很难提供一种对任何场合都适用的自动设置方法。

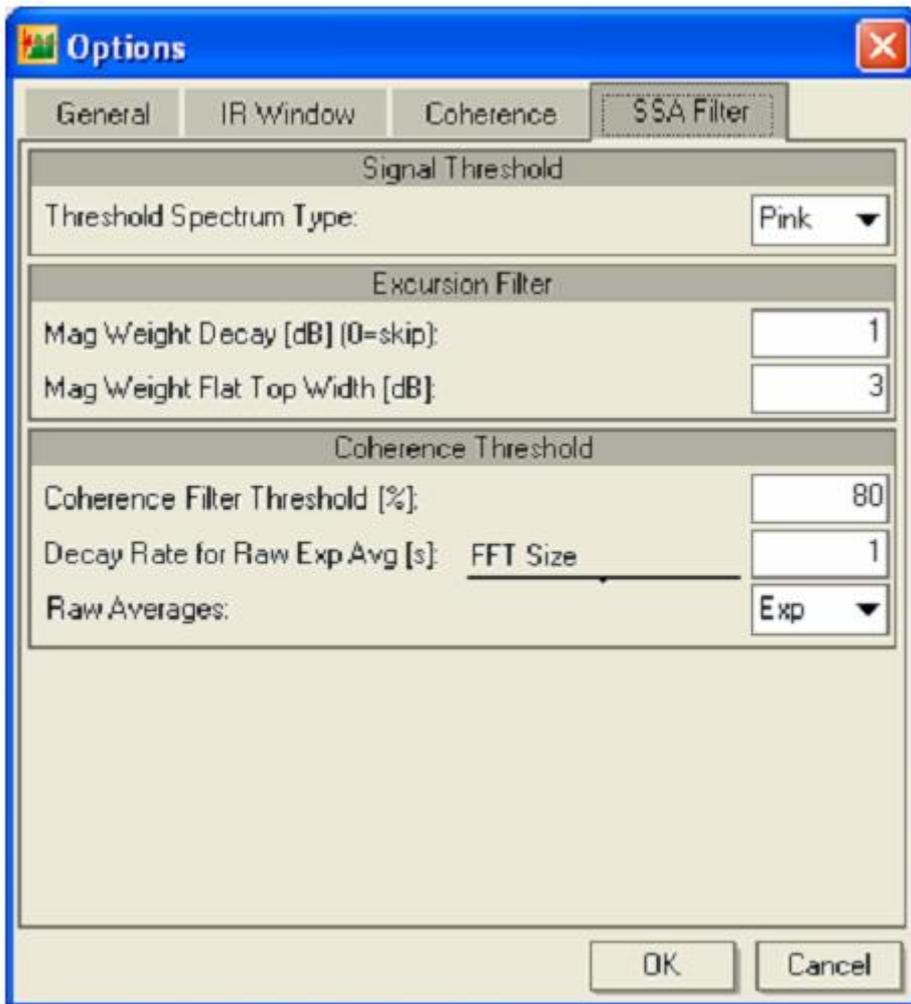
对此要说明一点，那就是 SSA 滤波器的最佳工作方式，还是在频域方式下。由于目前基于频率的滤波处理尚无法做出平滑而连续的频率响应，反而在频响曲线上产生一些不确定的凹陷，所以在时域窗口，也就是 IR 或 ETC 窗口下，可能会导致图像出现错误的显示，或是显示本底噪声增加。特别是当所选择的平均时间很短、阈值设置过高以及波形图像各频率上出现很多小凹陷时。

还要说明一点就是，SSA 滤波器的工作状态也能够从输入频谱（INPUT SPECTRUM）上看出来。被信号阈值过滤掉的数据不会包含在该曲线中。静止的频谱曲线说明参考输入端没有有效数据，或是阈值设置得太高了。

SSA 滤波器的高级设置

在 Pro 版的 SysTune 中，可以对 SSA 滤波器的参数进行更细致的设置。特别是你可以自行定义 EXCURSION TOLERANCE（**偏移？ 偏离？ 容差**）和 COHERENCE THRESHOLD（相干性阈值）的大小。点键盘 F9 键，开启 OPTIONS 窗口，在最后一项 SSA FILTER 标签页中，可以进行这方面的设置。

中國音響設計網



在 SIGNAL THRESHOLD 项中，可以设置信号阈值的频谱分布类型。目前的软件版本里设有两种选择，默认的是 PINK（粉红）频谱，另一种 WHITE（白）频谱在某些情况下也很有用。今后的软件版本中，还将能够由用户自行定义阈值频谱，或通过实际测量得到阈值频谱。

EXCURSION FILTER（偏移滤波器）区域里，可以设置新测量数据以怎样的权重参与平均计算。根据新数据和已有平均值的差异不同，各频率的权值将分别确定。一般说来，这种计权函数包含一个平直的上界（top section）以及上界之外的衰减区，上界部分的新测量数据不受任何影响，而上界之外的衰减区内，测量数据偏离平均值越多，其权值受到的衰减也就越大。WIDTH（宽度）参数定义的是平均值的范围，单位是 dB。DECAY（衰减）参数的单位也是 dB，指的是从平直的上界到计权值降低到 $1/e$ ，也就是降低到 -4.3dB 时的分贝差。偏离很大时，计权值趋向于零。

偏移滤波器的默认参数设置是：SMALL 为 1dB 到 3dB，MEDIUM 为 3dB 到 6dB，LARGE 为 12dB。选择 TOOLS 标签页上的 USER-DEFINED 下拉菜单，来应用 OPTIONS 窗口中所定

义的参数值。

COHERENCE THRESHOLD 的参数设置分三部分：

- CONHERENCE FILTER THRESHOLD（相干性滤波器阈值）设置信号相干程度的百分比阈值，高于此阈值的数据会被纳入平均计算中。
- RAW AVERAGES（原始平均）定义的是使用多少原始数据来作为相干性评估的基准。当把这一项设置为某个整数时，它相当于固定地对该数量的 FFT 数据块来求平均；而 EXP 和 INF 则分别表示以指数方式或无衰减方式来进行的无限平均。要注意只有将 RAW AVERAGES 设置为 EXP 方式时，才能启用上面的 EXCURSION FILTER。
- DECAY RATE FOR RAW EXP AVG（原始数据指数平均值的衰减率）设置的是用于相干性计算的指数平均值在滤波之前的衰减率。

相干性滤波器的默认设置是按照 FFT 数据块尺寸的时间常数，对原始数据进行指数平均。实践证明，这种方式是一种很好的折中办法，既能够包含尽可能多的历史测量数据以获得可靠的相干性数值，又能对短期变化做出足够迅速的响应。相干性阈值的默认设置是 90%为 HIGH（高），80%为 MEDIUM（中），60%为 LOW（低）。选择 TOOLS 标签页上的 USER-DEFINED 下拉菜单，来应用 OPTIONS 窗口中所定义的参数值。

技术性说明：

在 SSA 滤波器启用以后，软件窗口左侧 MEASURE 标签页上的常规 AVERAGES 设置仍然有效。但是，它所代表的含义略有变化。当 SSA 滤波器关闭时，软件只是简单地按顺序从所有 FFT 数据块中收集指定数量的数据块，然后进行平均。而开启 SSA 滤波器后，累加过程只会将实际通过各滤波级并进行过相关加权后的数据进行平均。

因此累计处理的存储空间相当于 FFT 块尺寸的时长乘以平均值的数量。这个时间之前的有效数据会被丢弃。这就意味着在有效带宽内，必须指定一个能容纳各频段至少两到三个有效数据的时间长度。当然，这取决于实际的音乐片段或语言序列。绝大多数时候，最好采用较大的平均数量。不过，如果你想要观察某个系统的调试过程，则需要采用稍微小些的平均数量，以便及时响应系统的变化。

SSA 滤波器不是神奇魔杖。在待测系统未受激励的频率上，它无法产生任何信息。

5.6 虚拟均衡 (Virtual EQ)

前几章中，我们详细探讨了对某个声学系统的脉冲响应或传输函数的测量。SysTune 就是为此而设计的，并且主要用于对某个音响系统进行测量和优化。一直以来，音响系统的测量和优化都被看作是两个独立的步骤。在一般的处理方式中，这两个步骤都需要经历多次反复。测量之后，调节延迟、增益和均衡，然后再对系统进行测量，再进行调试，如此反复。

有了 SysTune，你可以在优化系统性能的时候，比如调节某个 DSP 处理器时，一边实时地监视待测系统。不仅如此，SysTune 还能够在测量系统传输函数时，起到仿真 DSP 处理器的作用，而无需在系统测量链路中实际连接某个 DSP 硬件。这个功能叫做 VIRTUAL EQ (虚拟均衡)。你可以仿真出某个待测 (音响) 系统内的某种 DSP 设置的效果，无论是在实时测量时，还是在数据保存测量时。

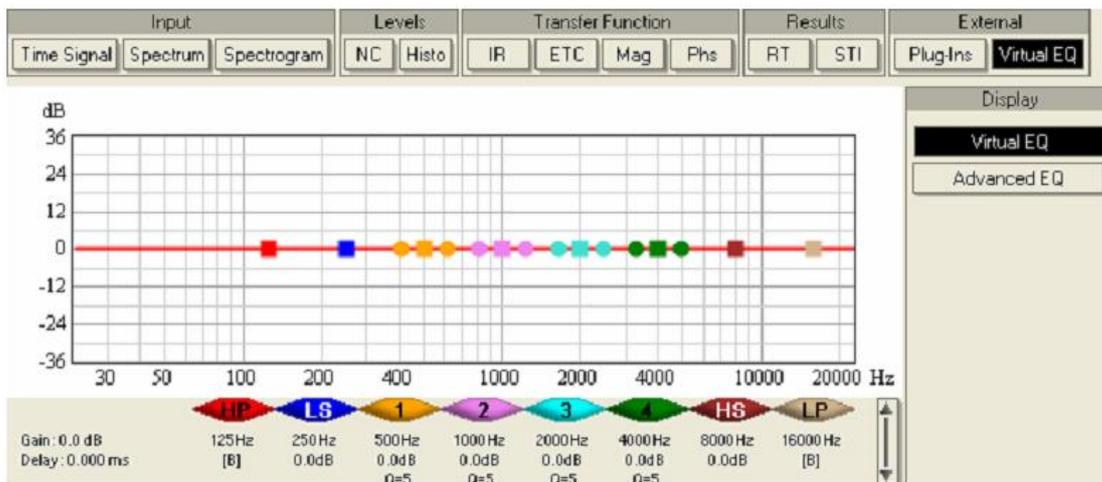
这个功能更强大的地方在于，它还能够应用在已经保存的合成数据包 (overlays) 上。很多时候，留给系统调试的时间很有限。这时，可以先对某些重要位置和扬声器进行测量并保存结果。然后，你可以晚些时候或在其它地点，来对测量数据进行延迟和均衡的设置。然后这些设置可以保存到一个文件里，并导入到现场的 DSP 控制器中。当然，在这之后，强烈建议你再做一次检验性测量。

提示：SysTune 所使用的虚拟均衡，是一种具有一般性的、理想化的均衡器。和现实中的均衡器相比，即使采用同样的参数设置，两者的传输函数也会略有差别。要解决这个问题，你可以对 DSP 的传输函数本身进行一次测量，并尝试调节它的参数以匹配仿真滤波器的传输函数。

使用虚拟均衡

要进入 SysTune 中的虚拟均衡功能，可以点击上方图形区按钮栏里最右侧的 VIRTUAL EQ 按钮。这时候，我们把下方图形区设置为 MAG 模式，以便从频域上查看虚拟均衡器的效果。上方图形区的窗口现在变成了两部分，上面的图显示的是当前滤波器设置的传输函数，下方则是用来调节滤波器参数的各种控件。如果你之前用过 DSP 处理器的控制软件，你会发现两者在控件和布局上有相似之处。

默认情况下，虚拟均衡以最小化模式开启。这种模式下，你只能通过鼠标来调节各滤波器。相关的参数值会在按钮区显示。

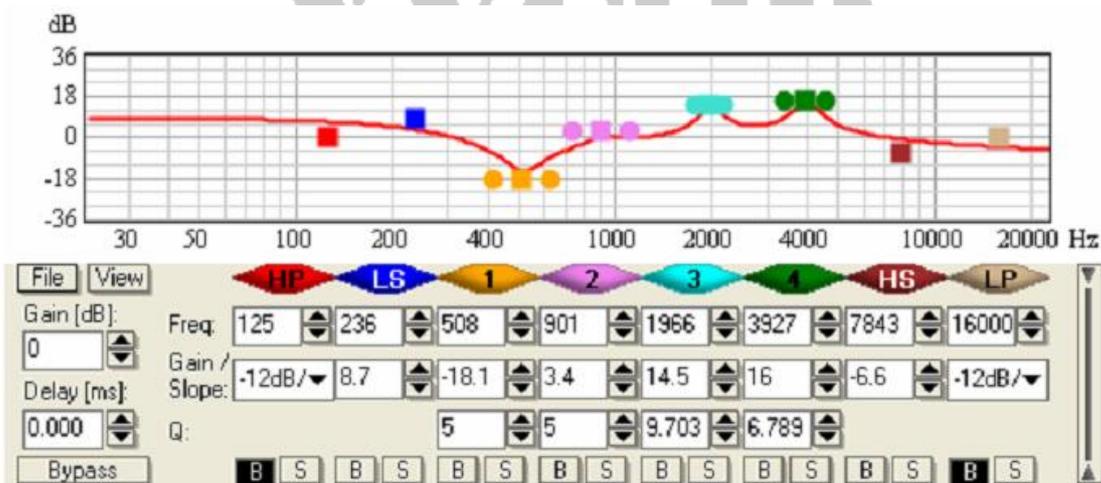


可用的滤波器从左到右排列，如同它们在实际情况下的常用位置一样。让我们简要地浏览一下。从左边开始，你可以看到一个高通（HP）滤波器，你可以调节它的截止频率，以及每倍频程多少 dB 的滤波器斜率。接着是一个低曲柄（LS）滤波器，它的截止频率和增益可以进行调整。在中间，有四个参量均衡滤波器，分别标着 1，2，3 和 4。其中每一个都可以设置中心频率、Q 值（反比于带宽）和增益。再往右可以看到一个高曲柄（HS）滤波器和一个低通（LP）滤波器，它们的用法和前面提到的 HP 和 LS 类似。注意，默认情况下高通和低通滤波器是旁通的，这从它们频率值的下方标着[B]就能看得出来。在这个界面的左下角，还有两个额外的数值显示，叫做全局滤波器 GAIN（增益）和 DELAY（延迟）。讲完下一段内容以后我们再来讨论这些值如何调节。

用鼠标按住传输函数图像中的某个滤波器的彩色端点并移动，就可以对滤波器的参数进行设置。图中每个端点都有不同的颜色，对应着下面不同的滤波器。在图中的绿色端点上左击鼠标，选中某个滤波器，然后按住鼠标左键进行拖拽，就可以改变该滤波器的截止频率和增益。左键点选圆形端点后拖拽，可以改变参量滤波器的 Q 值。一旦改变了滤波器的参数，立刻就可以从上下两图中看到这些改变给频率响应带来的影响。当前选中的滤波器会显示一个外框，浅色系的滤波器对应的外框是黑色，深色系的滤波器对应的外框是白色。



为了准确地输入滤波器参数和访问更多的功能，让我们切换到最大化模式。点击最右边的垂直按钮。结果滤波器图像部分垂直缩短，而参数区则扩大了。滤波器的参数并未发生变化，这时候你可以直接对它们进行编辑了。使用上下箭头按钮来对参数进行微调，或者直接从键盘上输入新的截止频率（FREQ），增益（GAIN）/斜率（SLOPE）或 Q 值。



在最左边还有一个区域，标着 FILE 和 VIEW 的按钮的功能我们稍后再解释。在这些按钮下面，是全局滤波器增益（GAIN）和延迟（DELAY）的控件。在最下面，有个 BYPASS 按钮，它的作用是在不删除滤波器参数的情况下，暂时关闭此功能。还要注意最下面那排 B 和 S 的按钮。每对按钮中的 B 用来旁通对应的滤波器，而 S 则是切换到独选（SOLO）模式，也就是旁路掉所有其它滤波器的参数，在该滤波器控件上方的标志上点击鼠标右键即可。

在改变滤波器参数时，下方图形区的波形图（MAG）也随之自动更新，显示出该音响系统应用滤波器后的结果。切换到 IR, ETC 或 PHS 图像，可以看到这些图像也同样受

影响。虚拟均衡就像是在测量链路中插入了一个完整的 DSP 一样。

最后来谈谈 FILE 和 VIEW 菜单。在 FILE 菜单下你可以加载和存储数据。EXPORT FILTER 命令可以将滤波器配置文件导出成 .xgfb 格式保存。这种格式很多 AFMG 的软件都支持，也可以导入很多厂家的 DSP 控制软件中，比如 Renkus-Heinz 公司的 RHAON。这种数据格式本身只是非常简单的文本格式，可以人工进行编辑，或由第三方生成。选择 IMPORT FILE 可以导入已有的滤波器配置文件。菜单命令 SAVE TRANSFER FUNCTION 可以将滤波器的联合传输函数保存成一个标准音频格式的文件。

提示：某些情况下你可能无法将滤波器配置文件加载到你的 DSP 控制器中，或者该 DSP 的传输函数可能和 SysTune 中仿真的滤波器之间有很大的差别。要解决这个问题，可以先将该滤波器的传输函数保存成你的目标曲线。然后从 DSP 设备的输入端到输出端建立一个电信号的测量链，并比较待测滤波器和目标滤波器的合成数据包。调整设备的滤波器参数，使它们符合目标传输函数。这是一种非常简单而直接的方法，可以保证得到最优化的滤波器设置，同时无需进行任何声学测量。

VIEW 菜单提供了几种滤波器图像外观的配置方法。Y-AXIS LIMITS 菜单给出了几种垂直坐标范围的选择。Y-AXIS SPACING 可以选择网格线之间相距 3dB 还是 6dB。

锁定合成数据包

在最后一章说到窗口时，我们还解释了每个合成数据包都具有的 LOCK 功能。我们提到，对合成数据包进行修改锁定或解锁，基本适用于所有合成数据包处理。用在虚拟均衡上时也一样：

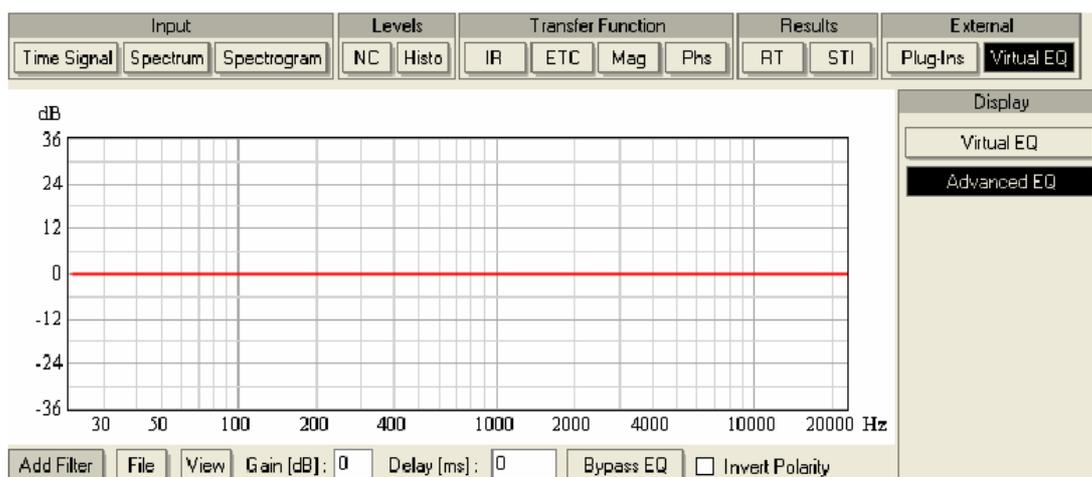
- 当合成数据包被锁定后，它将不能用于虚拟均衡。在锁定状态时，之前应用的所有滤波设置将被保留。
- 当合成数据包解锁后，虚拟均衡的滤波器将应用在它上面。如果该合成数据包解锁之前包含有某些滤波器设置，这些设置将被重置。
- 加载的文件都是默认锁定的。

这种特性非常有用，比如在对比不同的滤波器设置时。在完成某个测量后，你可以使用不同的滤波器，将各自的结果保存成合成数据包并锁定。然后再对合成数据包进行

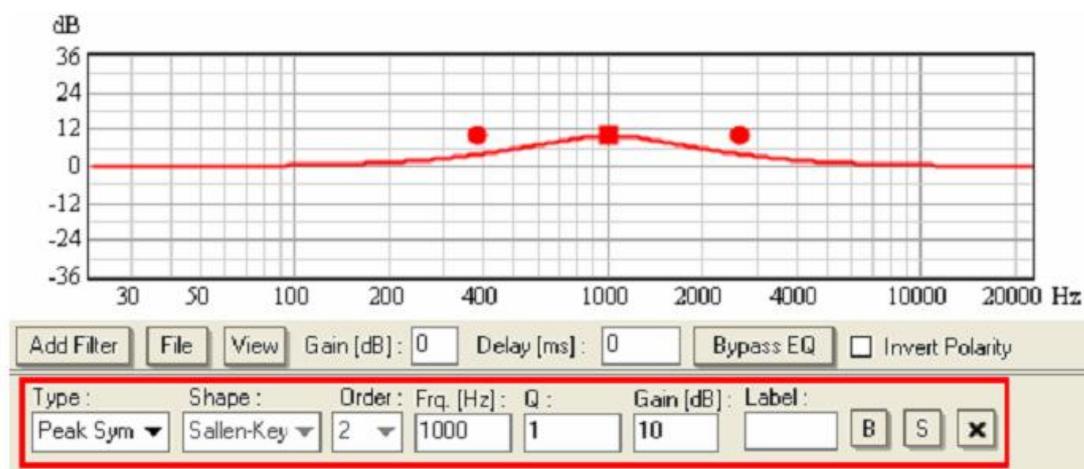
相互比较。

高级均衡 (Advanced EQ)

只有 Pro 版本的 SysTune 才能使用高级均衡 (Advanced EQ) 功能。该版本中, 当启动 VIRTUAL EQ 时, 它 (高级均衡) 出现在界面右边第二个选项。点击 ADVANCED EQ 按钮, 会进入一个比前面提到的 VIRTUAL EQ 更加灵活和强大的 VIRTUAL EQ 版本中。



和前面简单的 VIRTUAL EQ 相比, 最大的不同就是这里可以任意添加不限数量和类型的滤波器。它们全都有序地排成一列, 每个滤波器都能单独查看和修改。要创建第一个滤波器, 点击左侧的 ADD FILTER 按钮。在子菜单中, 可以选择 IIR FILTER 或 FIR/MEASURED TF。前一类是我们在模拟网络涉及时会接触到的一种参量滤波器类型。第二个选项则是利用一个离散的脉冲传输函数来作为滤波器。



IIR FILTER 命令会在界面底部创建一个新的滤波器面板, 可以调节滤波器的下列参数:

- TYPE 可以切换 LOW-PASS（低通），HIGH-PASS（高通），PEAK（峰值），PEAK SYM（??），LOW-SHELF（低曲柄）以及 HIGH-SHELF（高曲柄）滤波器中的一种。注意右边其它的控件，会随着 TYPE 选择的不同而有所变化。
- SHAPE 的选项可以用在 LOW-PASS（低通），HIGH-PASS（高通）和 ALL-PASS（全通）滤波器类型上，它定义了滤波器的基础解析精度。
- ORDER 可以用在在 LOW-PASS（低通），HIGH-PASS（高通）和 ALL-PASS（全通）滤波器类型上，它设置的是滤波器斜率的阶数。
- 滤波器频率 (FRQ. [Hz]) 是所有滤波器都可以修改的参数。它表示的是 LOW-PASS（低通），HIGH-PASS（高通），LOW-SHELF（低曲柄），HIGH-SHELF（高曲柄）滤波器的截止频率，以及 PEAK（峰值）和 ALL-PASS（全通）滤波器的中心频率。
- 校正 (ALIGN) 只能用于 BESSEL LOW-PASS 和 HIGH-PASS 滤波器，用来设置滤波器可能的分频点处的电平和相位。
- Q 值只是用于 PEAK 和 PEAK SYM 滤波器类型，定义的是滤波器的带宽。
- GAIN 参数适用于所有的参量滤波器类型，包括 PEAK 和 PEAK SYM, LOW-SHELF 和 HIGH-SHELF。
- LABEL 可以给所有类型的滤波器定义一个额外的标签。
- B 按钮可以用来旁通对应的滤波器，S 按钮用来将其切换到独选 (SOLO) 模式，也就是旁通掉所有其它的滤波器。
- X 按钮可以将该滤波器从列表中永久移除。

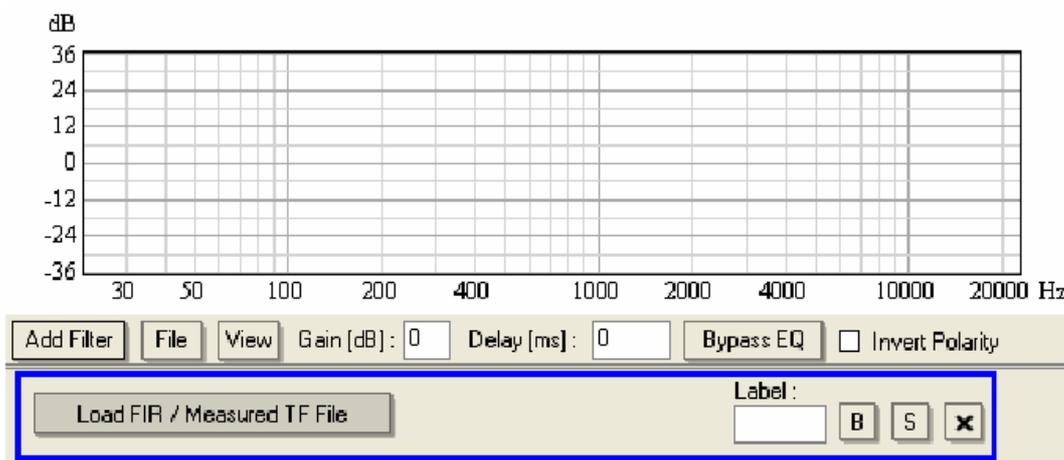
技术性说明：

SysTune 中使用的各类滤波器，都是数学上理想的滤波器。现实中的硬件设备通常会有所差别，这取决于模拟电路设计质量，以及某些滤波器参数的特殊定义，比如 Q 值或带宽。

一般说来，上面列出的所有滤波器都遵循标准课本上的定义。但是峰值滤波器和陷波器 (peak and notch filters) 有两种不同的常用类型。两者在 SysTune 中都有应用。PEAK SYM 滤波器和 PEAK 滤波器类似，但它的正负增益是对称的。那就表示负增益的 PEAK SYM 滤波器能够精确地补偿正增益的 PEAK SYM 滤波器。PEAK 滤波器做不到这一点。

更多有关 SysTune 中实际的滤波器定义的信息，请参见文档“Filters In EASE and SpeakerLab”。

FIR/MEASURED TF 命令也会创建一个新的滤波器面板，但它比 IIR FILTER 的面板要简单得多。LOAD FIR / MEASURED TF FILE 命令能够开启一个对话框，用以加载任何含有所需传输函数或脉冲响应的标准音频格式的文件。面板中的其它控件的作用和上面解释的 IIR FILTER 中基本一样。实际上，FIR 和 IIR 滤波器的面板也可以合并在一起。



FILE 和 VIEW 菜单类似于之前描述的 VIRTUAL EQ 中的菜单。不过，在高级均衡中，你还可以在图像中显示相位曲线。通过 VIEW 菜单下的 SHOW PHASE 可以开启或关闭它的显示。和 VIRTUAL EQ 中一样，GAIN 和 DELAY 会对滤波器整体产生影响。BYPASS EQ 按钮可以临时将整个滤波器从传输函数或脉冲响应中旁通掉。INVERT POLARITY 可以改变滤波器的极性。

最后，我们简单看一下右面的 DISPLAY 面板。在 Pro 版 SysTune 中，该面板包含了两个选项，分别是 VIRTUAL EQ 和 ADVANCED EQ。你可以在两者之间前后切换。注意 SysTune 只应用当前开启的选项中的滤波器。另一个隐藏在后台的选项中的滤波器会被自动旁通。但它的所有设置将被保留，直到再次被调用到前台。

总结

我们已经介绍了虚拟均衡，这是一种在调试时无需实际测量待测系统，即可完善和优化均衡设置的新途径。实际上，甚至可以先测量音响系统并保存测量值，然后在不同的时间和地点，再去进行分频、均衡等设置。稍后，得出的滤波器设置可以加载到现场的 DSP 控制器上，然后再进行一次测量验证。

5.7 插件 (Plug-Ins)

到目前为止，我们一直把 SysTune 看成一个封闭的多功能测量软件。其实，SysTune 还可以和第三方软件进行互联。这个接口有助于软件之间共享数据，从而有利于增加某些场合下的调试效率。此时，SysTune 扮演的是服务器的角色，而外部程序可以看作是客户端。这就是我们称之为插件接口的原因。一方面它可以让第三程序在 SysTune 界面中直接提供某些功能。另一方面，在外部软件的用户界面中，也可以访问和使用 SysTune 的功能。

一个典型的例子就是 SysTune 可以直接加载你所使用的 DSP 控制软件的均衡参数窗口，在 SysTune 中直接进行 EQ 调整。再比如说，可以让 SysTune 工作在后台，并将诸如宽带声压级之类的数据导出给客户端软件。

总体来说，这个接口支持如下功能：

- 外部参数和配置窗口的导入，比如分频、均衡以及硬件直接控制。
- 滤波器传输函数的导入
- 将控制功能导出给客户端软件，比如选择当前输入通道，以及开始停止等命令。
- 测量数据的导出，比如传输函数、LEQ 或 SPL，以便用于 SysTune 之外的其它显示或处理用途。

目前已经有很多软件程序支持 SysTune 的插件接口，其中包括：

- Renkus-Heins 公司的 RHAON
- Electro-Voice 公司的 IRIS-Net
- Linea Research 公司的 PodWare，该软件授权给 FZ audio, Tannoy, Turbosound, Outline 等生产厂家使用。

DSP 控制软件是能够作为 SysTune 插件的一种典型软件，但是 SysTune 插件接口的功能并不仅限于此。稍早些时候我们已经介绍过了 HEALTH REGULATIONS 插件，它可以以某种特殊的方式来测量声压级。在本章的最后，我们还要给 Pro 版 SysTune 的用户介绍另外一种插件。这种 NORMALIZATION (标准化) 插件可以加载一个包含有某种脉冲响应或频率响应的数据文件作为标准参考，来进行传输函数的计算。上面只是举了两个如何利用插件来增强和改善 SysTune 的测量的例子。

使用 DSP 插件

要想在 SysTune 中导入某个 DSP 的控制窗口，首先需要在电脑上安装该 DSP 的控制软件。然后，启动 SysTune 并打开 PLUG-INS 面板。首先，你会看到一片空白区域，右边带有两个选项签。此时 DSP 软件应当出现在右边标有 LAUNCH 的标签页上。点击对应的按钮，启动该软件的插件。绝大多数时候，这一操作会启动原始 DSP 软件本身的程序窗口，让你选择使用设备的类型。能导入的控制功能类型，以及如何将其导入到 SysTune 中，请参阅相应软件的手册。这里我们只简单介绍一下：

- 在 RHAON 中，可以使用主窗口扬声器对象的 RMB 功能。在 CONTROL 模式下，RHAON 会提供一个叫做 CONTROL IN SysTune 的命令，可以将该扬声器的均衡窗口转移到 SysTune 中去。
- 在 IRIS-Net 软件中，可以对 NetMax 设备使用 RMB 功能，选择弹出菜单中的 OPEN IN SysTune 命令。
- 在 PodWare 中，对任意均衡器或分频器图形使用 RMB 菜单下的 EXPORT CONTROL 命令，将该控制面板导出到 SysTune 中。导出后，PodWare 中的该控制面板会消失，使用 RESTORE CONTROL TO PODWARE 命令可以将其移回该软件中。

注意，在启用插件之后，你会在 LOADED 标签页的列表中找到它。你可以加载多个插件和窗口。从列表中可以切换各项插件窗口。很多情况下可能需要加载两个或多个外部窗口。SysTune 会给它们简单命名，比如 WINDOW 1，但在实际使用时这种方式可能不够实用。要改变列表中某个窗口的命名，可以在该项上按住鼠标左键。片刻后按钮变成一个文本框，就可以输入一个更易懂的名称，比如“左通道”或“右通道”等。

已加载的插件或窗口，可以通过 LOADED 列表中对应的 X 按钮来卸载掉。不过，强烈建议先使用各软件中专门的恢复命令。很多插件不支持通过 SysTune 直接卸载，否则会报错或故障。

技术性说明：

插件接口是一种强大而灵活的方式，能将其它软件程序和 SysTune 对接起来。在 SysTune 内可以控制某个软件的模块，客户端程序自身也可以收到测量数据，或是远程地控制测量过程。

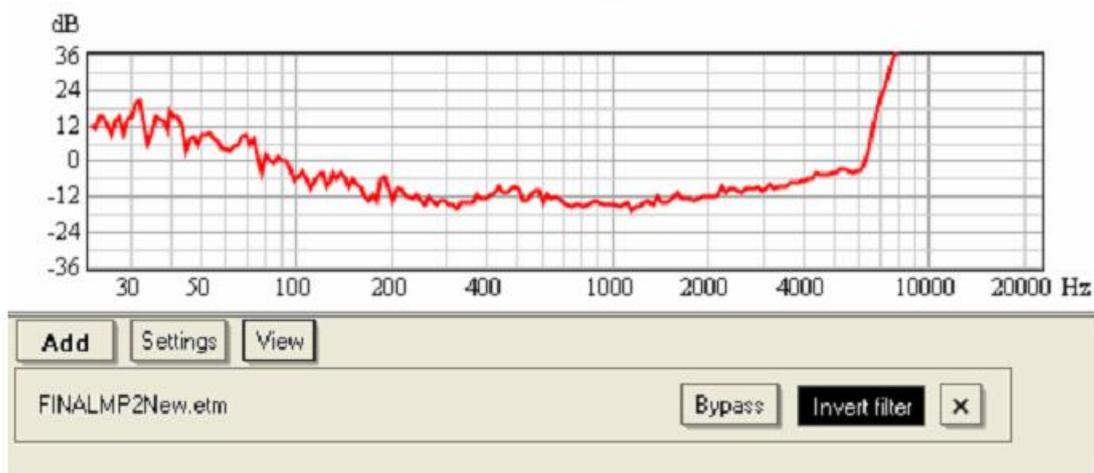
该接口可以技术性地描述为一系列的函数，客户端程序模块可以利用这些函数，这

些模块可以是一个库（DLL）或是一个独立的可执行文件。如果你有兴趣开发这方面的功能，请联系 AFMG 以获得 SDK（软件开发工具包）及编程示例。

标准化插件（Normalization Plug-In）

标准化插件功能只针对 Pro 版用户提供。它可以将 SysTune 中的传输函数和某个给定的脉冲响应或频率响应进行数量上的对比。这在比较某一测量位置和另一测量位置时，以及比较某个音响系统的一种配置方式和另外一种配置方式时非常有用，它可以以某条参考曲线作为基础来统一测量，或是补偿测量链中某些已知的不利影响，比如延时或因频率不同产生的衰减。特别是，它还可以用来对某个话筒、音箱或 AD/DA 转换器的频率响应进行补偿。

要启用这个插件，需要找到图形区上方的 PLUG-INS 按钮，按下以后，选择右边列表中的 NORMALIZATION 一项。开始你只能看到一个显示各频率信号大小的空图像。在 0dB 位置显示一条水平直线，这是因为我们目前还没有加载任何文件。要加载文件，点击 ADD 按钮，在弹出的对话框中选择需要加载的参考文件。默认情况下，该文件将被转换成频域模式的反向滤波曲线，并用在传输函数测量上。



参考文件加载以后，SysTune 会在图像下方创建一个控制面板，面板左侧显示的是已选文件的名称。在面板右侧有三个按钮：

- BYPASS 按钮的作用是临时禁用该标准化曲线。
- INVERT FILTER 是默认开启的，因为 SysTune 会假设用户希望将加载参考曲线进行标准化。如果频率响应之前已经反转过了，那么关闭 INVERT FILTER 即可。
- 按下 X 按钮，可以将该文件从列表中移除。

注意，你可以在此插件中加载多个文件。它们会被叠加起来共同作用于 SysTune 的传输函数。

提示：乍看之下，包含多条参考曲线的功能似乎不实用。但是，考虑到可能需要同时对付多个问题，比如在补偿话筒频率响应的同时，还要将测量针对某个目标曲线进行标准化。这时使用独立的数据文件会方便很多。你还可以通过 *BYPASS* 命令，来将某些阶段的文件加入标准化，或从标准化中旁路掉。

做一个简单的练习，先进行一个传输函数的测量，然后停止分析。将测量结果保存成一个 .efr 文件。然后，启用 NORMALIZATION 插件加载此文件。确保 INVERT FILTER 功能已开启。然后，再去测量传输函数，得到的应当是绝对平直并位于 0dB 位置。这是因为我们刚刚以测量结果对其自身进行了补偿。

有时候，会存在一些偏移 0dB 位置的偏差。造成这种现象主要有以下原因：

- 参考曲线由插件功能自动进行平滑处理，以防止噪声和小的错误影响到滤波处理。你可以通过 SETTINGS 按钮下的 SMOOTHING 子菜单来选择不同的平滑分辨率。对于高信噪比测得的参考曲线，或是定义用于很高频率准确性测量的参考曲线，应当选择一个较狭窄的平滑带宽。如果参考曲线噪声较大，或是不太连续，则应当采用较宽频带的平滑。
- 在反转时，必须给曲线加上一个阈值。采用相反的补偿值会使得某些很小的值变得很大。鉴于背景噪声不应该被放大，该阈值用以确定哪些值能够继续保留，哪些值会被判断为噪声。通常这对应于激励信号的动态范围。从 SETTINGS 按钮下的 THRESHOLD LIMIT 子菜单中选择一个阈值。对于限制带宽的信号以及小动态范围的信号，采用 60dB 的阈值。对电子线路的参考测量或精确地给定目标曲线的测量，则采用 120dB 的阈值。

VIEW 菜单提供的调整内容，和之前 VIRTUAL EQ 以及 ADVANCED EQ 里的 VIEW 菜单相同。Y-AXIS LIMITS 和 Y-AXIS SPACING 两个菜单命令可以设置对应图中的垂直坐标轴的显示范围以及网格间距。勾选 SHOW PHASE 可以在幅度图中加入相位曲线的显示。

总结

本章中，我们简单回顾了一下 SysTune 的插件接口。它提供了一个强大的对第三方

程序的接口，并且提高了终端用户的工作效率。DSP 软件插件能够在同一窗口中同时进行控制和显示测量数据，因而简化了调试过程。其他插件还可以对测量数据进行进一步的处理，或者是按用户需要改变测量数据的显示方式。

5.8 阻抗

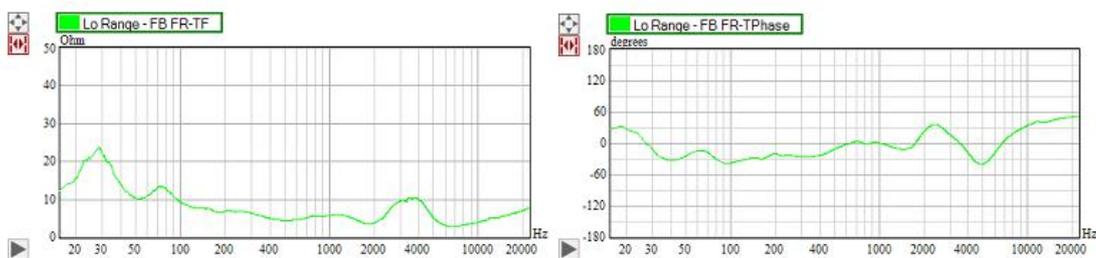
SysTune Pro 可以同时测量电压和电流，然后以幅度和相位的传输函数图像显示出某个扬声器的阻抗。首先，你需要通过 CALIBRATION 窗口下的 USE VLOTAGE 标签页对通道进行电压校准。参见 2.1 章节来回顾一下如何校准输入通道。从标有 USE CURRENT 的页面里对用来测量电流的通道进行电流校准。该通道的校准和电压校准方式一样，如果信号发生器产生的是 1V 的电压，你就输入 1 安培。我们建议使用 LinearX 公司的 VIBox 这类设备。如果使用此设备，低音单元的电压和电流值是准确的，但高音单元的值会低 40dB。如果你只需要查看阻抗，则无需重新校准，因为两者刻度是等效的。如果你想读出正确的电压或电流值，那么你可以重新对两通道进行校准，也可以只在测量值上乘以 0.001 (-40dB) 的校准值。

要记住，传输函数测量实际上是用参考通道的值比上输入通道的值。利用这一点，我们可以将电压通道值除以电流通道的值，从而显示出阻抗。在你将某个通道进行电压校准并设为输入通道，同时将另外一个通道进行电流校准并设为参考通道时，SysTune 会自动将传输函数幅度的单位设置为 Ohm。

在传输函数幅度的显示面板中，有一个 UNIT 下拉条，可以从中选择 IMPEDANCE。这会让幅度显示变换刻度，将曲线值显示为阻抗。



这里我们可以看到一个全频扬声器的阻抗振幅，以及相应的相位曲线。



提示：使用一个 1-2 秒长度的内部粉红噪声，可以快速测得所需结果，不过即使采用较大的平均基数，你也会看到 250Hz 以下的阻抗发生了变化。使用长对数扫频信号，平均基数设置为 2 或更大，会使测量结果有所改善。

5.9 离线分析（Off-Line Analysis）

很多情况下，能够早些时候再对原始测量数据或录音进行分析是一个很有用的功能。Pro 版 SysTune 的用户可以使用这种功能。它可以让 SysTune 加载某个声学事件的录音，并像实时模式下一样进行所有测量分析。

录音中可以包含一个或多个声道，比如一个信号声道和一个参考声道。通过 FILE|OPEN STREAMING AUDIO FILE 命令加载相应的.WAV 文件后，软件会在输入区域里显示一组相应的按钮。同时该通道的文件也会开始播放，并在输入端显示此数据流。当一遍播放结束时，将会从头自动播放，直到按下 STOP ANALYSIS 按钮为止。而 START ANALYSIS 命令将会从头开始回放音频文件。

SysTune 中所有其它的功能在这种模式下都没有改变。你可以像实时现场测量时一样进行操作。注意，状态栏里此时显示的是当前提供音频数据流的文件。

如果想切换回实时测量模式，可以通过 CONFIGURE|SELECT DEVICE 命令。再切换回文件模式，选择 FILE 菜单下的 OPEN AUDIO FILE 命令。不过，在文件模式下时，按钮 SWITCH TO LIVE MODE 会把程序切换回音频流文件分析模式。

提示：当重要的双 FFT 测量必须在短时间之内完成时，上述功能会变得非常有用。你可以在 SysTune 运行的同时，再运行一个录音软件。通过后者保存信号和参考通道的音频数据流，来作为备份。同样，你还可以存储某个恶劣声学环境下的原始测量数据，比如带有强烈背景噪声的场所。这意味着你可以选择在稍后有更多时间来优化噪声抑制工具，比如 SSA 滤波器，从而在对录音的分析中得到更准确的结果。你也可以对某些录音片段进行重复的查看。

6.其它

本章节可以作为一个概述和一个通用的准则。它也解释了部分用户界面图标，而这些正是之前教程没有详细说明的。

中國音響設計網

6.1 菜单结构

FILE 菜单包括以下选项：

- I Open audio file: 允许你加载各种不同格式的测量文件，并且切换到文件处理模式 (File Mode)。
- I OPEN STREAMING AUDIO FILE: 允许你加载一个已经录制好的音频文件，并像实时测量时那样对它做分析。此功能仅对该软件 PRO 版用户提供，详情请参考章节 5.9.
- I SAVE TO AUDIO FILE: 保存当前的测量结果或任意一个 OVERLAY 为文件。使用子菜单 TIME SIGNAL 或 IMPULSE RESPONSE 可以保存相应的测试数据到文件中。注意，IMPULSE RESPONSE 在没有参考通道时无法保存。使用子菜单 WINDOWED FREQUENCY RESPONSE 可以只保存脉冲响应中加窗的数据部分。
- I SEND [UPPER/LOWER] PICTURE TO : 保存当前图片到图片文件 (FILE) 夹或者剪切

板 (CLIPBOARD)。当上方和下方分别显示不同图像时，这个菜单项中会出现对应上方 (UPPER) 和下方 (LOWER) 两个图形区的独立子菜单。

- I EXPORT DATA AS TEXT|FROM [UPPER/LOWER] GRAPH : 保存当前的曲线图中的所有数据到一个文本文件。当上方和下方分别显示不同图像时，这个菜单项中会出现对应上方 (UPPER) 和下方 (LOWER) 两个图形区的独立子菜单。
- I EXPORT DATA AS TEXT|FREQUENCY RESPONSE : 保存当前测量的 INPUT SPECTRUM 或 TRANSFER FUNCTION，或者 OVERLAY 到任意一个文本文件里。我们在第四章已经使用和解释过这个功能。
- I OPTIONS : 打开 OPTIONS 窗口可以调整 SysTune 的常用显示、性能和处理参数。
- I OPEN SETUP FILE 加载一个 SysTune 配置文件。这个文件以 XML 格式包含了所有常用的测量和显示设置。注意在微软 Windows 下的 SysTune 配置文件 (.stcfg) 和 SysTune 程序是相互关联的。如果你想用一个特定的 SYSTUNE 测量配置，只需双击该配置文件，SysTune 就会打开并且自动加载该配置。
- I SAVE SETUP FILE : 保存 SysTune 的当前设置在一个文件里，以便存档、交换传递和再次加载该设置。这个文件以 XML 格式包含了所有常用的测量和显示设置。
- I OPEN/SAVE VIEW FILE : 独立地加载或保存一个 SysTune 视图设置文件。这个文件包含的信息有界面中所显示的图像类型，以及每个图像的坐标轴范围等。详情查看章节 2.3。
- I EXIT 退出程序。

CONFIGURE 菜单提供以下功能:

- I SELECT DEVICE : 打开 SELECT DEVICE 窗口来选择输入输出的音频驱动程序以及采样率。想进一步了解请查看章节 5.2。
- I CHANNEL MAP : 允许您从所有可用的声卡输入通道中选择 8 个通道供 SysTune 使用。这个功能仅对 PRO 版用户提供。详情请查看章节 5.3。
- I COLOR SCHEME|WHITE ON BLACK : 把 SysTune 界面切换为黑色背景下的高亮图文显示。这是方便在黑暗环境中测量的一个设置。
- I COLOR SCHEME|SYSTEM COLORS : 把 SysTune 界面切换为高亮背景下的暗色图文显示。这是方便在白天和办公环境中测量的一个设置。

VIEW 菜单包括以下选项：

- I 1..10 : - 这些存储位可以用来存储和调用视口设置。选择其中某一个条目，即可调用与之相关的视口。有关视口和视口设置的详细解释请查看章节 2.3。
- I STORE CURRENT VIEW : 把当前视图设置（视口）保存在所选存储位中。详细介绍请查看章节 2.3。
- I RENAME VIEW : 此功能可以重命名这 10 个视口，详情可以参考章节 2.3。

帮助菜单包括以下选项

- I HELP : 打开 EASERA SysTune 帮助文件（也就是本文档的英文版）。
- I CREATE STATUS REPORT : 如果你对该软件有什么技术问题可以使用这个命令。它会收集提供技术支持时所需要的系统及注册信息。你也会被提示需要马上发一封邮件过去，如果你愿意的话。
- I VIEW START-UP LOG : 启动 SysTune 时，日志文件会自动产生。有时候它可以为解除故障提供一些有用的信息。当你要 SysTune 售后小组提供软件故障的技术支持时需要这个文件。
- I EASERA SYSTUNE WEBSITE: 链接到这个程序的网站，站名为 www.EASERASysTune.com，最新的软件升级和其他有用的信息都在这里。
- I SIGN UP FOR NEW : 打开这个网站你就可以注册成为 AFMG 的会员。定期发行的电子报将会让你了解 SysTune 的更新，新产品的培训课程和技术支持。
- I ABOUT : 打开 SysTune 的 ABOUT 窗口，它可以让你准确知道该软件的版本号和当前的注册许可号。

6.2 快捷键

使用下面列表的快捷键可以让你更快地访问 SysTune 的一些重要功能。

Ctrl+O	打开一个音频文件，参见命令菜单 FILE OPEN AUDIO FILE
Ctrl+A	把数据保存在一个音频文件，参见命令菜单 FILE SAVE TO AUDIO FILE
F1	打开帮助文件，参见命令菜单 HELP HELP

F4	打开当前选中的 OVERLAY 的 PROPERTIES (属性) 窗口
F5	开始实时分析, 相当于按键 START ANALYSIS
F6	开始播放测试信号, 相当于按键 PLAY SIGNAL
F7	停止信号播放, 相当于按键 STOP SIGNAL
F10	停止即时信号分析, 相当于按键 STOP ANALYSIS
Ctrl+空格	快速捕捉一个 OVERLAY, 相当于按键 CAPTURE MEASUREMENT
Ctrl+Shift+空格	选中某 OVERLAY 后, 此操作会以当前测量数据覆盖被选中的 OVERLAY 中的数据
按住 Ctrl 键, 左击 某个 OVERLAY	以当前的测量数据覆盖该 overlay 文件
Ctrl+Alt+空格	以当前测量数据覆盖最后一次捕捉到的 overlay 文件
Ctrl+F5	用当前测试的设置重新测试并捕捉信号, 相当于下列指令: START ANALYSIS, RESET, CAPTURE, STOP ANALYSIS。
Ctrl+Shift+F	根据当前播放信号的长度切换 FFT 尺寸 (SIZE)
Ctrl+1..9, 0	调用 VIEW 菜单中对应的视口设置
Ctrl+Shift+1..9, 0	将当前视图保存至 VIEW 菜单中对应的存储位上
+ 和 -	切换当前视图中激活的 OVERLAY
Alt+Z	切换鼠标模式为 ZOOM
Ctrl+Alt	临时切换鼠标模式为 ZOOM
Alt	临时切换鼠标模式为 EXACT ZOOM (精确缩放)
Ctrl	临时切换鼠标模式为 MARK WINDOW (标记窗口)
Alt+P	切换鼠标模式到 PEEK 模式
Shift	临时切换鼠标模式到 PEEK 模式
Alt+D	切换鼠标模式为 DRAG
Ctrl+Shift	临时切换鼠标模式为 DRAG
键盘左右箭头 (→、←)	切换参考指针 (REFERENCE CURSOR)

6.3 视口范围和图像格式

所有图像的视口范围都可以使用ZOOM 和 DRAG鼠标模式。在ZOOM鼠标模式下，按下鼠标左键沿着水平轴拖动或按下鼠标右键沿着垂直轴拖动来放大。在DRAG模式下，拖动按住的鼠标左键来移动图形。

想回到全图模式，可以通过双击图形或左击图形左上角的auto-scale按键。



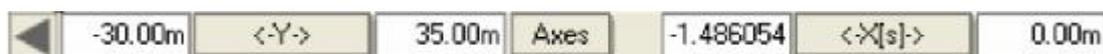
为保证上下图像在水平轴上视口范围一致，可以打开 SYNC 按键，注意这个按键只会在两个图形可以实现同步的时候可见。



此外，水平或垂直轴的新的值域可以输入到图形的视图窗口里。按下图形左下角的三角形按键可以打开它。



在这里你可以分别输入X或Y轴的起始值和终止值。这个视图实际上就是一个时间域。



在频域上，视图包含额外两个按键，标签

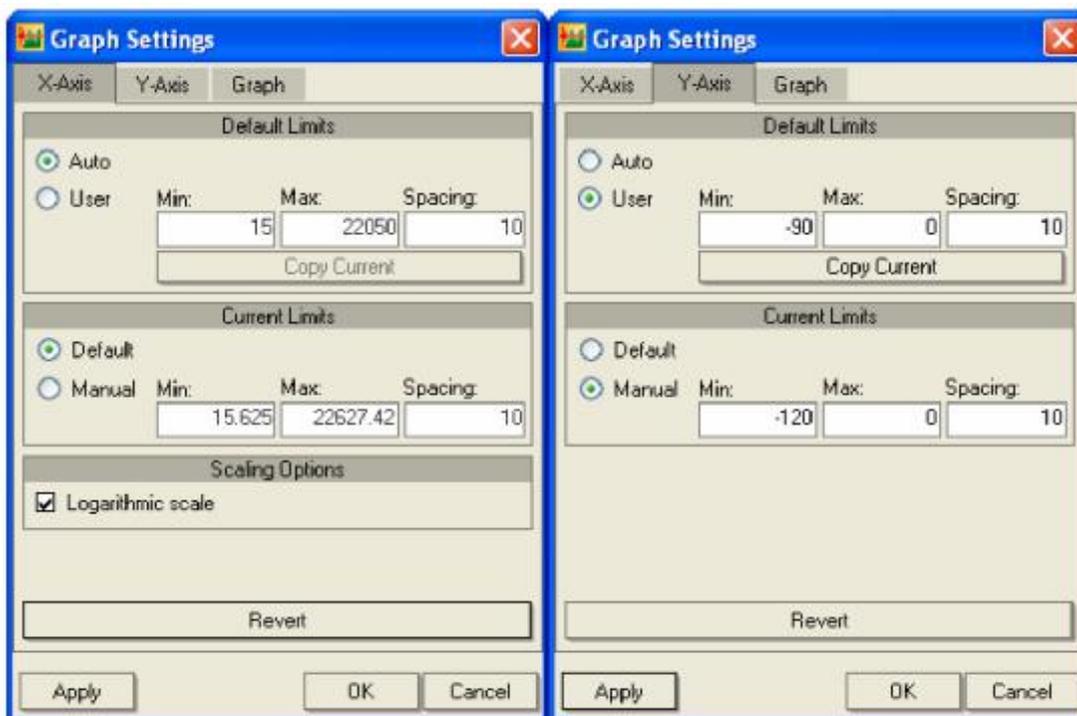


这些按键可以让你从这些公共的频段里直接提取出有价值的东西

如果你想使用部分auto-scale，按下<-X->和<-Y->可分别实现XY轴的auto-scale，同时图形也会放大包含所有上述轴的数据

默认视口和当前视口范围

按下AXES键然后打开 GRAPH SETTING 窗口可以获得更多测量所选图形的选项。你也可以双击图形的垂直或水平轴来实现。比如，在INPUT SPECTRUM窗口下的图形将会和下面显示的图形一致。



DEFAULT LIMITS 栏定义坐标轴的设置当你选择了一个自动测量的程序。对于坐标轴，X和Y，你可以在非自动模式下进入到用户自定义的视图设置。MIN和MAX确定各自的轴的下限和上限，选择SPACING你可以设置网格中相邻线条的距离。COPY CURRENT按钮可把当前设定的视图设置作为默认设置使用。

CURRENT LIMITS 定义了当前的视图设置。选项DEFAULT可以用来设置图形的默认设置。切换到MANUAL可以让你手动输入当前视图的设置和网格间距。这些变化可以在图形下面视图设置栏看出来。

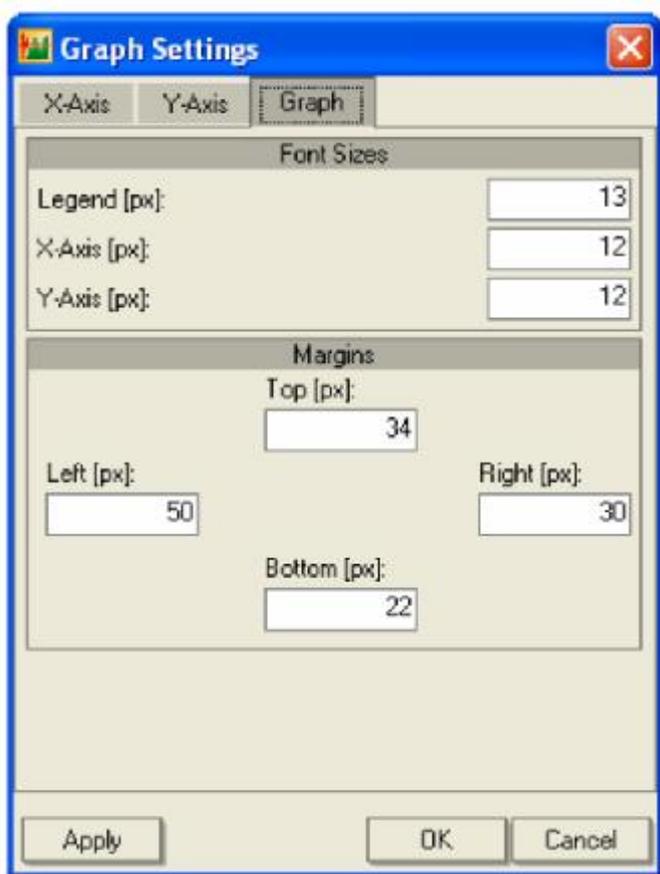
大部分情况下，软件会自动为你选择合适的坐标轴设置。如果你在上面提到的视图设置栏里输入一个新值，DEFAULT将会关闭自动选择功能。你可以双击进入到图形XY轴同时回到默认设置或者选择<-X-> 和 <-Y->按钮各自回到默认值。因此，通常你只需要使用GRAPH SETTINGS窗口来更改默认设置，栅格间距和切换坐标轴测量时的线性或对数值。

对数和线性刻度的转换只适用于部分图像中的坐标轴。当LOGARITHMIC SCALE是关闭状态，则坐标轴会显示线性特性，否则就是对数状态。

REVERT 该命令用来撤销所有的更改并回到窗口刚打开时的状态。使用APPLY可以立即查看到视图设置更改后的效果，这给做报告时调整视图区域带来很大的方便。

图像布局

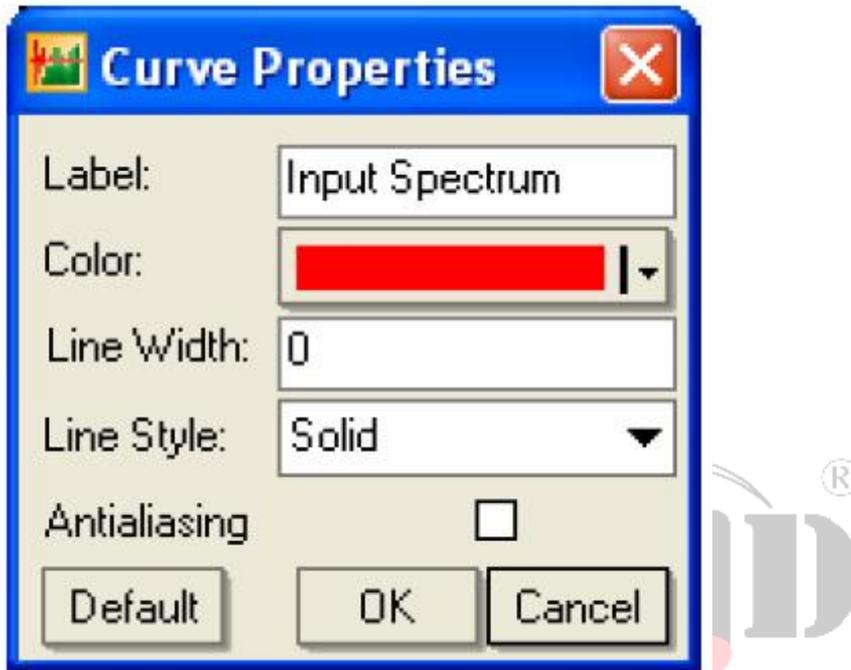
GRAPH SETTINGS 窗口最后一个选项是GRAPH, 它可以让你定义一般的图表布局。



FONT SIZES 栏里的三份文档字体可以根据像素的大小灵活设置，XY轴相互独立设置。

曲线属性

在SysTune的PRO版本里还有另一种设置图表格式的功能。当你要进行修改，比如，特定曲线图中曲线的线宽，双击相应彩色的框框或者图表的图例标签。



在CURVE PROPERTIES 窗口你可以临时改变下列曲线属性

- l LABEL: 图像中的图例名称
- l COLOR : 图例及其对应曲线的颜色
- l LINE WIDTH: 设置像素曲线的线宽。0值是它的默认值，也是输出时默认的行宽。举例来说，这是屏幕上的一个像素，但在保存PDF文件时这相当于它的一个默认设置。
- l LINE STYLE : 可以在DOTTED（虚线）和SOLID（实线）中选择
- l ANTI-ALIASING : 抑制像缘效应但也模糊了图形轮廓

注意上述的改变只是临时的并且效果也只对当前图表有效，它们主要适用于需要输出较高质量图表的情况，比如点位图、矢量图表文件。按键DEFAULT通常用来恢复到SysTune系统的初始设置。

6.4 故障排除指南

以下是一些当你在软件配置遇到技术问题时帮你检查故障的额外提示。

- I 如果你不能打开SysTune系统,确保你已经正确安装所有的文件,请参考安装说明(在英文版帮助文件中,本译文未包含),并确认您已正确完成所有的安装步骤。
- I 如果SysTune之前使用过,但现在已不能工作或者出现奇怪的错误,可以按下面这样做:从窗口的开始菜单栏里,使用下面的链接打开EASERA SysTune (PROGRAMS / AFMG / EASERA SYSTUNE (USE DEFAULT SETTINGS).) 这样将会删除最后的应用程序的设置,如同重新安装后的初始设置效果。
- I 如果SysTune之前使用过,但你尝试另一个声卡或者程序时,收到一些错误,你可以按下面这样做:使用下面的链接打开EASERA SysTune (PROGRAMS / AFMG / EASERA SYSTUNE (USE DEFAULT AUDIO). 这样SysTune将会使用系统默认的音频程序,也就是常用的那个。
- I 如果你不能捕捉到任何输入信号或者你不能发送任何信号给输出,确保声卡可以工作。使用WINDOWS媒体播放器和WINDOWS录音机,以确保基本功能。确保你的声卡安装程序是最新的。
- I 如果你看到任何奇怪的测量图,另请参阅4.2章中脉冲响应的故障排除指南。请确保你已关闭声卡和其他带混音效果的监控功能。要衡量一个稳定的脉冲响应你需要一个同步的输入和输出时钟。
- I 访问你们经销商的网址和我们公共论坛的网址www.afmgnetwork.com 同样确认你已经安装最新的软件版本。你可以在www.EASERASysTune.com 找到有关软件升级的信息和其他有用的工具。

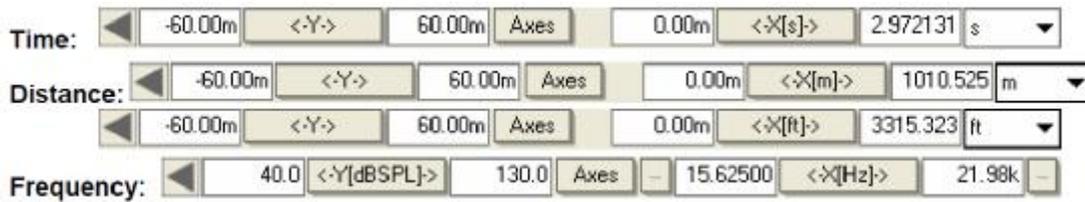
如果您还是不能打开EASERA SYSTUNE软件,请你做一个不能打开的状况报告,从窗口的开始菜单栏里选择子菜单PROGRAMS / AFMG / EASERA SYSTUNE / CREATE STATUS REPORT. 之后,请联系你的软件经销商并把你遇到的错误做一份详细说明报告给他。

测量图像参考

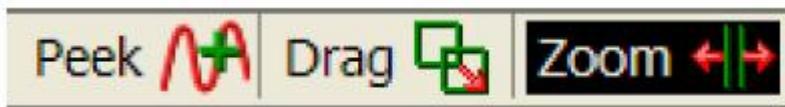
(所有) 图像

按键

各种图像中都有一系列的按键可以用来设置XY轴的范围。选择  显示打开下一张图片的按键，选择  隐藏当前按键。这里是一些典型的例子。



- I AXES: 打开一个对话框用来设置XY轴的范围
- I <-Y->, <-Y[DB]->, <-Y[DBSPL]->, <-Y[DBFS]->, <-Y[S]->: 放大显示屏以显示整个Y轴。Y轴的值可以在这个按键的左侧或右侧直接输入。显示的单位基于当前显示的图像特性，见下文。
- I <-X[S]->, <-X[M]->, <-X[FT]->, <-X[HZ]->: 放大显示屏以显示整个X轴。X轴的值可以在这个按键的左侧或右侧直接输入。点击 [...] 按键打开一个对话框让你选择一个ISO标准频率值。时域显示为时间单位，同样，距离和频率域显示为频率单位。
- I S, M, FT : 选择X轴的单位，用坐标轴和指针显示时间（S表示秒）或者距离（M表示米，FT表示FEET）。点击箭头为光标和坐标轴选择替换单位。



- I PEEK : 启用鼠标模式PEEK，跟踪标记图像中的值，见下文。
- I DRAG : 启用鼠标模式DRAG，拖拽图像，见下文
- I ZOOM : 启用鼠标模式ZOOM，缩放图像，见下文

鼠标

- I PEEK: 单击并拖动鼠标左键可以显示当前曲线时间和频率以及电平和幅度在任意两点间的差异。单击右边的按键插入一个光标，用+和-键切换曲线到另一条曲线的光

标。左右箭头可以更改X轴显示的参考值。该文本显示为粗体。选择右侧面板的 CURSORS进一步更改光标或将其删除。

- 丨 DRAG :单击并拖动左键或右键移动图表，这也可以设置坐标轴的参考值如果它先于默认值的设定。
- 丨 单击并拖动左键在X轴中选择要放大的区域，单击并拖动右键在Y轴中选择要放大的区域。默认情况下，

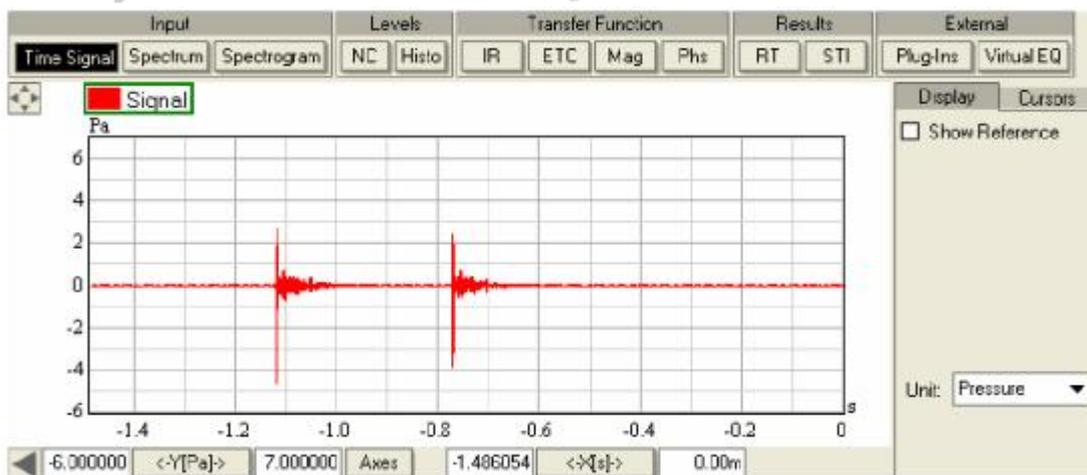
在默认情况下，鼠标的缩放刻度线一致对齐。当放大状态时按住ALT键捕捉功能将会失效。

- 丨 FULL VIEW :双击图片或者选择图表上方左侧的  按钮切换视图到默认设置(像 <-X[S]-> and <-Y[DB]->结合使用),这将会把所有数据自动缩放成与图表页面一致。

图表（输入）

时间信号

这个图表显示的信号来自输入信号



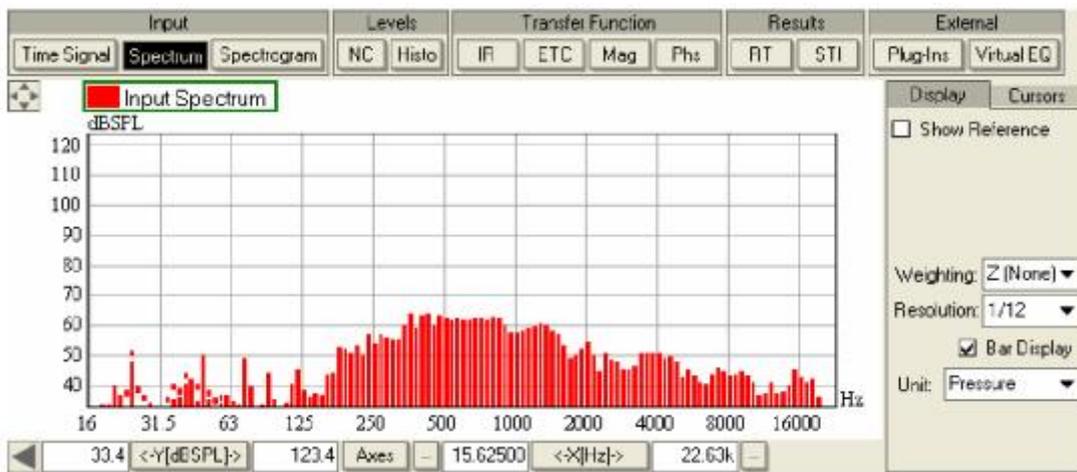
参数设置

- 丨 SHOW REFERENCE :显示除了输入通道外的参考通道
- 丨 UNIT: 默认显示是DIGITAL FS. 如果通道已经校准PRESSURE（压强）， VOLTAGE（电

压) 或 CURRENT (电流) 显示相对应的单位。

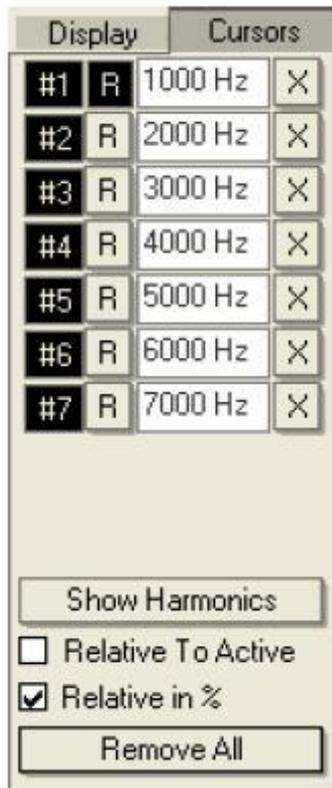
频谱

这个图表显示的是选择的输入信号的频谱



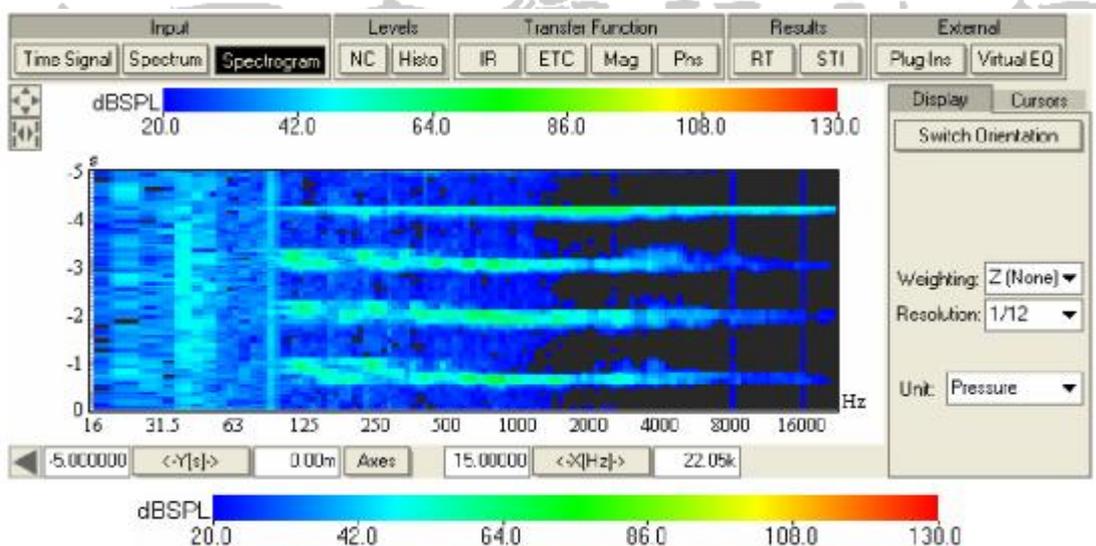
参数设置

- 丨 SHOW REFERENCE: 显示除了输入通道外的参考通道
- 丨 WEIGHTING: 频谱加权可以根据ISO61672选用下列方法: Z (NONE), A, B, C.
- 丨 RESOLUTION: 用下列方法显示频谱分解: FULL, 1/1, 1/3, 1/6, 1/12, 1/24, 1/48, 1/96. FULL 用FFT的规格显示图表的频谱分析。其他的在部分倍频程内整合并用所选择的分辨率显示。
- 丨 BAR DISPLAY: 柱状显示频率而不是线条
- 丨 UNIT: 默认显示是 DIGITAL FS. 如果频道已有标准, 选择PRESSURE (压强), VOLTAGE (电压) 和 CURRENT (电流) 显示相应的单位
- 丨 在CURSORS表里有两个特殊的选项: SHOW HARMONICS 输入新的频率并且是最初光标频率的整数倍。RELATIVE IN % 把相对分贝量级切换到百分比当所选指针被激活时。这两个功能只有注册用户才能使用。

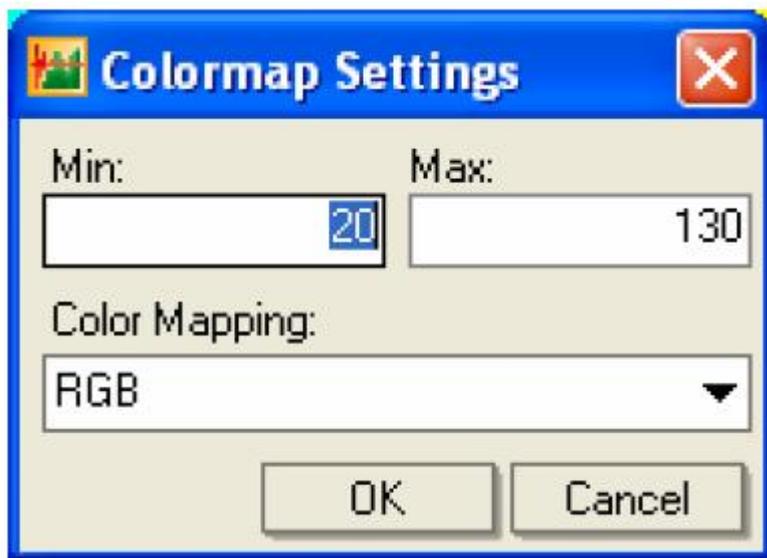


摄谱图

本图表显示输入的时间信号与频谱即时关系



COLOR MAP: 双击打开上面色表进入到色表的设置窗口。在这个窗口里你可以选择显示图表的最大和最小值。



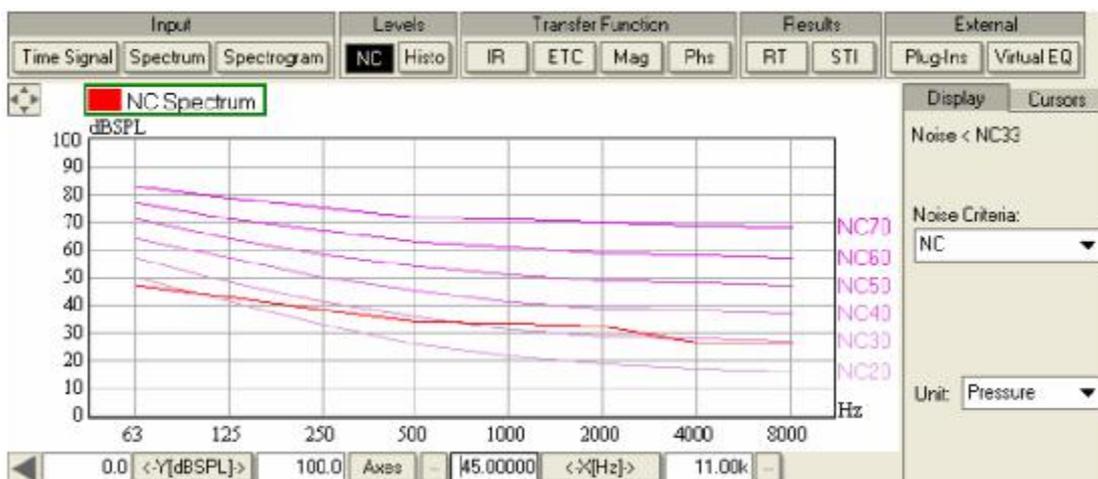
参数设置

- 丨 SWITCH ORIENTATION:默认情况下, 摄谱图从底部到顶部显示图表, 点击这个按钮可以更换成从左到右显示, 再点击又回到之前的显示状态。
- 丨 WEIGHTING: 频谱加权可以根据ISO61672选用下列方法: Z (NONE), A, B, C.
- 丨 RESOLUTION: 用下列方法显示频谱分解: FULL, 1/1, 1/3, 1/6, 1/12, 1/24, 1/48, 1/96. FULL 用FFT的规格显示图表的频谱分析。其他的在部分倍频程内整合并用所选择的分辨率显示。
- 丨 UNIT: 默认显示是 DIGITAL FS. 如果频道已有标准, 选择PRESSURE (压强), VOLTAGE (电压) 和 CURRENT (电流) 显示相应的单位

图表标准

噪音标准

这个图表显示的是噪音标准



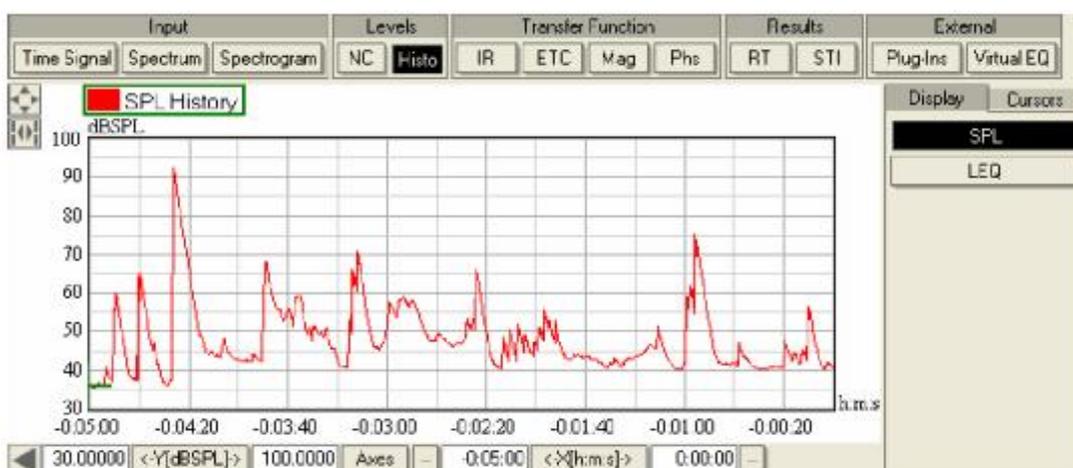
参数设置

- 丨 NOISE < NCXX:显示最低的噪音基准曲线不能超过响应倍频程数值1Db。如果输入频道还没有经过压强校准那么它将会显示在这里。
- 丨 NOISE CRITERIA: 选择不同的噪音标准，即 NC, RNC, NR and RC MARK II. 这个只有注册用户才可以使用。
- 丨 UNIT:默认显示是 DIGITAL FS。如果通道已经校准了压强，那它所选用的单位的选择标准将会在曲线上显示出来。如果通道没有校准压强，下列选项DIGITAL FS, VOLTAGE or CURRENT 将会显示对应的单位，而不是显示曲线的选择标准。

Histo 时间柱状图

SPL 声压级

本图显示声压级的信息



LEQ 等效声级

本图显示的是等效声级的信息



参数设置

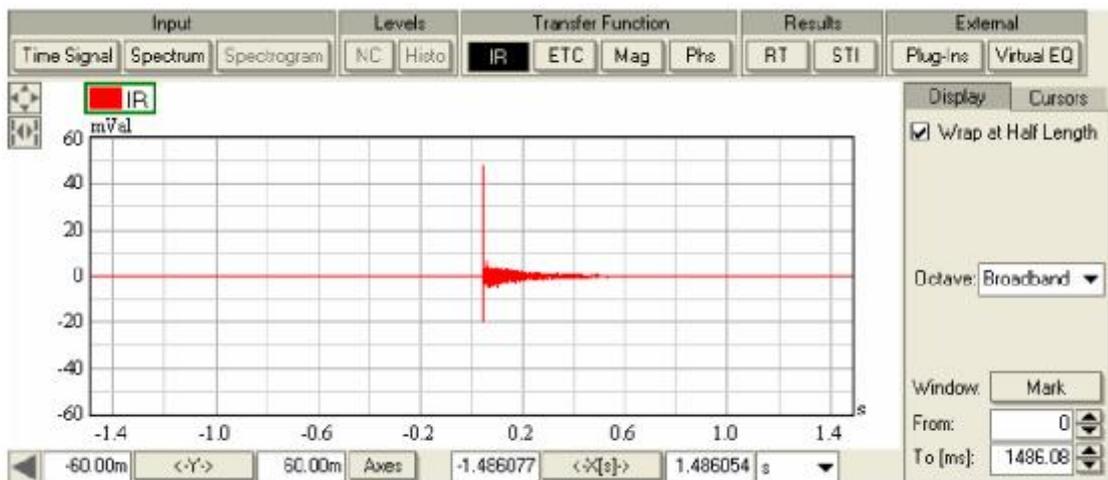
- I SPL: 选择这个按钮显示SPL的信息
- I LEQ: 选择这个按钮显示LEQ的信息

图表（传输函数）

注意：所有的传输函数测量都需要一个输入信号和一个参考信号。

IR(脉冲响应)

本图显示的是脉冲响应的实时测量结果。

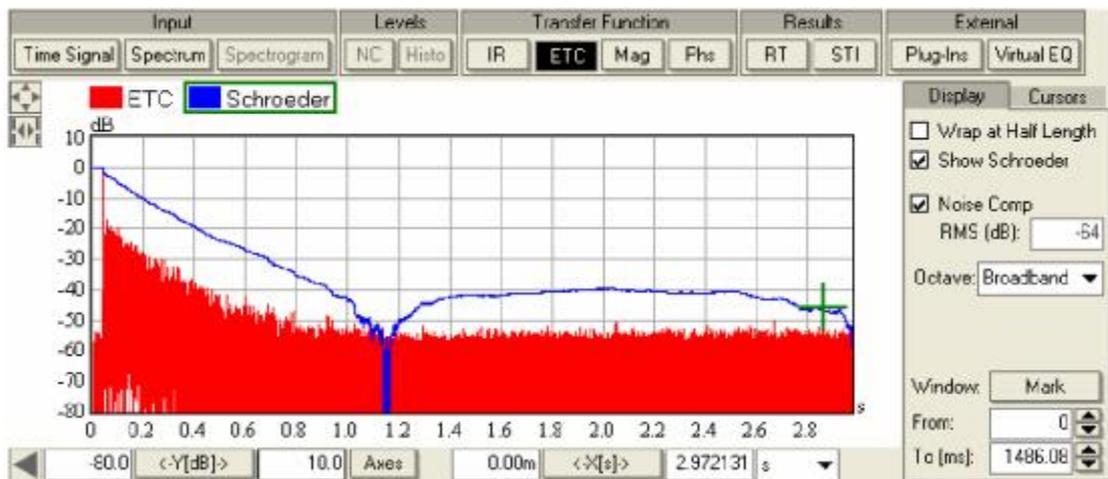


参数设置

- | WRAP AT HALF LENGTH: 显示负值的末端并用0代替在窗口中间显示。
- | OCTAVE: 用以下规格过滤IR: BROADBAND, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000.
- | WINDOW: 选择MARK按键, 单击左键选择窗口栏的开始时间, 单击右键选择窗口栏的停止时间, 窗口选择的停止和开始时间也可以直接在窗口输入。
- | FROM: 在窗口输入一个开始时间或使用一个旋转按钮增加、衰减样品信号的的长度值。
- | TO [MS]: 在窗口输入一个停止时间或使用一个旋转按钮增加、衰减样品信号的的长度值。此时停止和开始时间的单位都显示在括号里。

时间能量曲线图

本图显示时间能量曲线的实时测量



参数设置

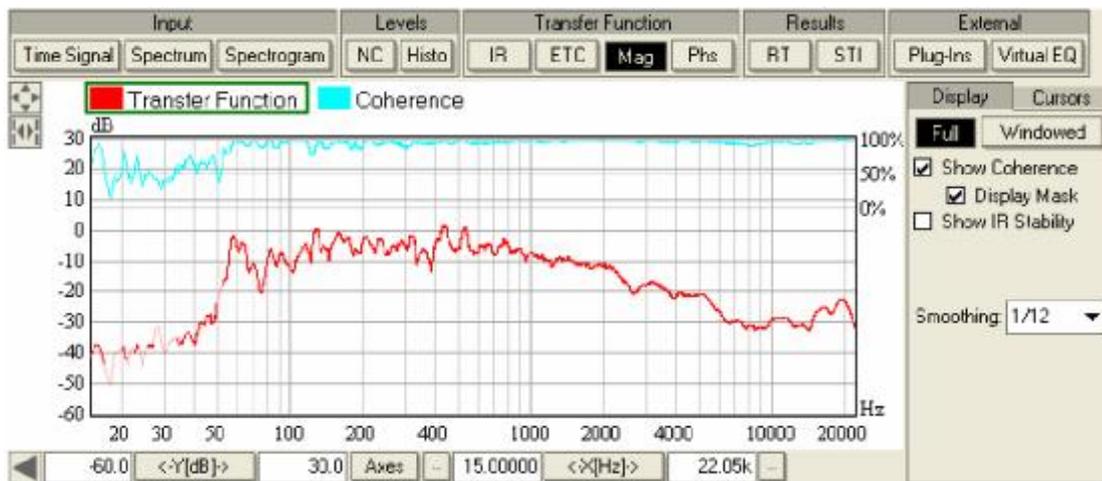
- | WRAP AT HALF LENGTH: 显示负值的末端并用0代替在窗口中间显示。
- | SHOW SCHROEDER: 显示SCHROEDER整合曲线。
- | OCTAVE: 用以下规格过滤IR: BROADBAND, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000.
- | NOISE COMP: 使用噪音补偿技术来移除脉冲响应的噪音。SCHROEDER测试图会显示噪音补偿的效果, RMS (DB)显示估算的噪音级。
- | WINDOW: 选择MARK按键, 单击左键选择窗口栏的开始时间, 单击右键选择窗口栏的停止时间, 窗口选择的停止和开始时间也可以直接在窗口输入。
- | FROM: 在窗口输入一个开始时间或使用一个旋转按钮增加、衰减样品信号的的长度

值。

- I TO [MS]: 在窗口输入一个停止时间或使用一个旋转按钮增加、衰减样品信号的的长度值。此时停止和开始时间的单位都显示在括号里。

参数值

该图显示完整的传输函数幅值。在PRO版SysTune中，参考通道可以校准为电流。如果信号通道又校准为电压，参数图表可以显示为阻抗。



参数设置

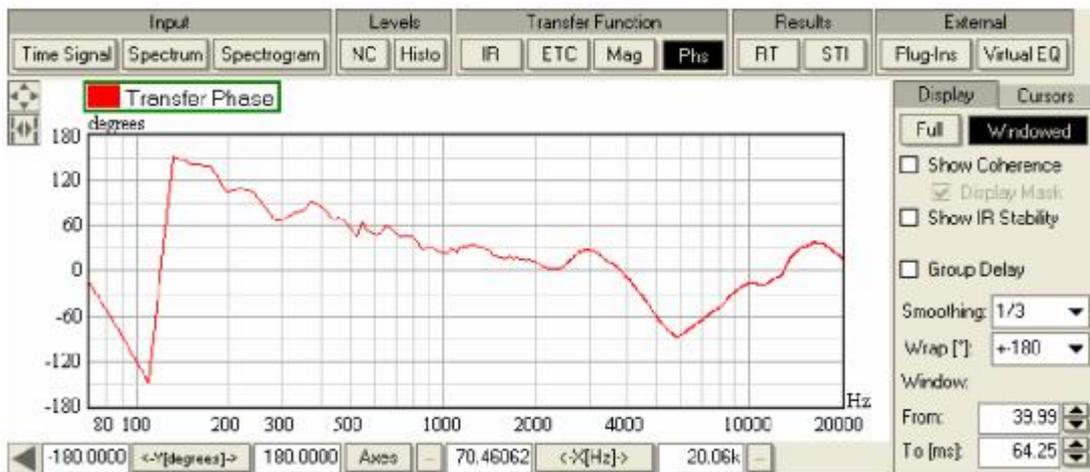
- I FULL/WINDOWED: 默认情况下，FULL视图显示整个脉冲响应的频谱，WINDOW视图选择显示当前窗口导出的脉冲响应频谱。（选择脉冲响应的位置和大小或ETC的显示）
- I SHOW COHERENCE: 显示线性测量的输入或参考信号的频率一致性，使用一个图表叠加窗口大小25%（在选项栏里选择百分比）
- I DISPLAY MASK: 显示特定频率的曲线值并且设置下列参数：THRESHOLD FOR DISPLAY MASK[%] and MASKED TRANSPARENCY [%] in OPTIONS| COHERENCE.
- I SHOW IR STABILITY: 通过测量IR随时间变化的一致性来显示它的稳定性。用一个占用窗口大小25%的图表显示IR稳定性（在选项栏里选择百分比）
- I SMOOTHING: 用下列的标准显示：FULL, 1/1, 1/3, 1/6, 1/12, 1/24, 1/48, 1/96. FULL 不经过任何的滤波的显示频率解析图表，其他的根据相应的倍频程滤波显示相应的数据
- I FROM: 在窗口输入一个开始时间或使用一个旋转按钮增加、衰减样品信号的的长度值。

- TO [MS]: 在窗口输入一个停止时间或使用一个旋转按钮增加、衰减样品信号的的长度值。此时停止和开始时间的单位都显示在括号里。
- UNIT: 只有注册版本才有。当参考通道校准为电流并且信号通道为电压。

这种情况下切换DIGITAL FS和IMPEDANCE按键可以显示对应的单位。当选择DIGITAL FS时显示刻度为对数的Y轴，当选择IMPEDANCE时将会出现线性的Y轴并且显示单位为OHM.

相位

本图将会显示传输函数的相位



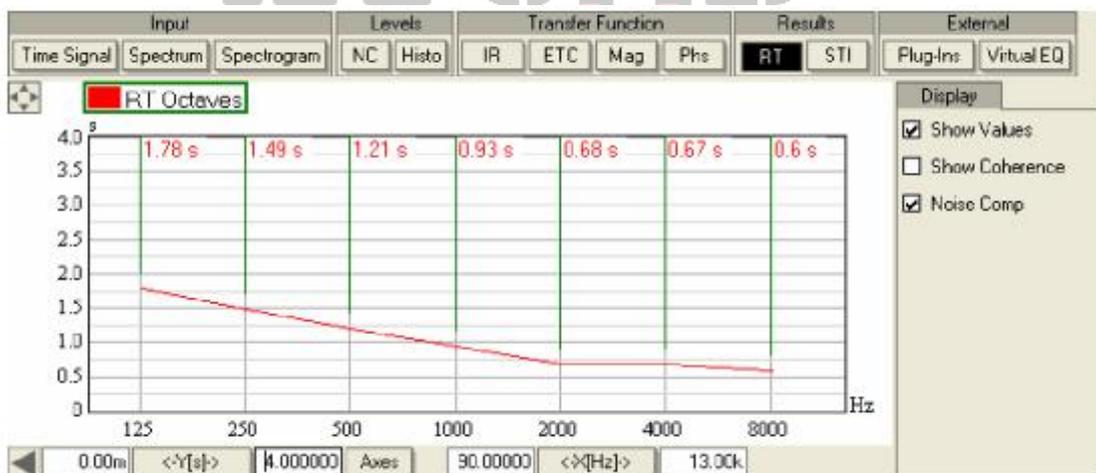
参数设置

- FULL/WINDOWED: 默认情况下，FULL视图显示整个脉冲响应的频谱，WINDOW视图选择显示当前窗口导出的脉冲响应频谱。（选择脉冲响应的位置和大小或ETC的显示）
- SHOW COHERENCE: 显示线性测量的输入或参考信号的频率一致性，使用一个图表叠加窗口大小25%（在选项栏里选择百分比）
- 显示特定频率相位的曲线值并且设置下列参数: THRESHOLD FOR DISPLAY MASK [%] 和MASKED TRANSPARENCY [%] 在OPTIONS|COHERENCE选项里
- SHOW IR STABILITY: 通过测量IR随时间变化的一致性来显示它的稳定性。用一个占用窗口大小25%的图表显示IR稳定性（在选项栏里选择百分比）

- 丨 GROUP DELAY: 把相位图切换为群延时图, 群延时定义为相位与频率的有负差值。可以理解为频率与信号发生时间的延时。
- 丨 SMOOTHING: 用下列的标准显示: FULL, 1/1, 1/3, 1/6, 1/12, 1/24, 1/48, 1/96. FULL 不经过任何的滤波的显示频率解析图表, 其他的根据相应的倍频程滤波显示相应的数据
- 丨 WRAP [°]: 使用下面的标准显示: +-180, 0-360, +-360, +-540, +-720, NONE. NONE显示没有任何修饰的相位图, 其他显示相位做了相对的360、720、1080、1440度的修饰。
- 丨 FROM: 在窗口输入一个开始时间或使用一个旋转按钮增加、衰减样品信号的的长度值。
- 丨 TO [MS]: 在窗口输入一个停止时间或使用一个旋转按钮增加、衰减样品信号的的长度值。此时停止和开始时间的单位都显示在括号里。

混响时间

本图表显示计算的混响时间



参数设置

- 丨 SHOW VALUES: 用光标在每一个倍频程内显示所选曲线的值
- 丨 SHOW COHERENCE: 显示线性测量的输入或参考信号的频率一致性, 使用一个图表叠加窗口大小25% (在选项栏里选择百分比)
- 丨 NOISE COMP: 使用噪音补偿技术来移除脉冲响应的噪音。注意ETC/Schroeder 也会显示噪音补偿的效果

语言传递指数

本图显示语言传递指数和调制传递指数



参数设置

- SHOW VALUES: 用光标在每一个倍频程内显示所选曲线的值
- SHOW COHERENCE: 显示线性测量的输入或参考信号的频率一致性, 使用一个图表叠加窗口大小25% (在选项栏里选择百分比)
- STI: 显示当前曲线的语言传输指数值。

技术支持

如果你对SysTune有什么疑问或在使用SysTune时遇到什么困难，

请拨打技术支持电话

手机 +1 949 588 9997

周一到周五

早上8点到下午5点（美国标准时间）

可以向当地经销商申请SysTune技术支持或发邮件到：

rh-tech@renkus-heinz.com

XYCAD®
中國音響設計網