

概述

VituixCAD 是一款扬声器仿真软件。其设计理念是在全空间或半空间中仿真扬声器的声学行为。尽管软件侧重于功率响应、极坐标响应和指向性指数（DI），但即使没有完整的离轴测量数据，也可以进行扬声器设计——不过并不推荐这种做法。

软件包包含了仿真和设计扬声器所需的全部工具。除分频器仿真器外，还包含箱体仿真器、衍射仿真器、响应追踪器、响应合并器、响应计算器、辅助计算器和 FFT 工具。

系统要求

- VituixCAD 在 Windows 11 专业版上测试通过
- [Microsoft .NET Desktop Runtime 10.0](#)
- 最低屏幕分辨率为 1280×720（16:9），建议使用 1600×900 或更高。

推荐平台为实体机或虚拟机（如 VMware Player 16 或 VirtualBox）中的 **Windows 10 或 11**。也可以借助 Wine 运行，但无法保证。与实体机上的 Windows 10-11 相比，性能和功能可能会大幅缩减。

安装与升级

下载最新版本：[VituixCAD3_setup.exe](#)。另请参阅[更新日志](#)。

安装程序创建的**公共（Public）**文件夹：

\Users\Public\Documents\VituixCAD\Enclosure	本地单元数据库 (VituixCAD_Drivers.txt/.vxd/.xml)
\Users\Public\Documents\VituixCAD\Library	库模块（.vxl、.png）
\Users\Public\Documents\VituixCAD\Projects	响应文件示例（.txt）
\Users\Public\Documents\VituixCAD\Template	LTspice 模板（.asc、.plt）

运行时（若尚不存在）创建的用户文件夹：

\Users\用户名 \Documents\VituixCAD\Download	自动更新的下载文件夹
\Users\用户名 \Documents\VituixCAD\Enclosure	LTspice 文件 （.asc、.plt、.log、.net、.raw）
\Users\用户名 \Documents\VituixCAD\Projects	用户项目 （.vxp、.vxe、.vxm、.vxb、.txt、.frd、.zma 等）

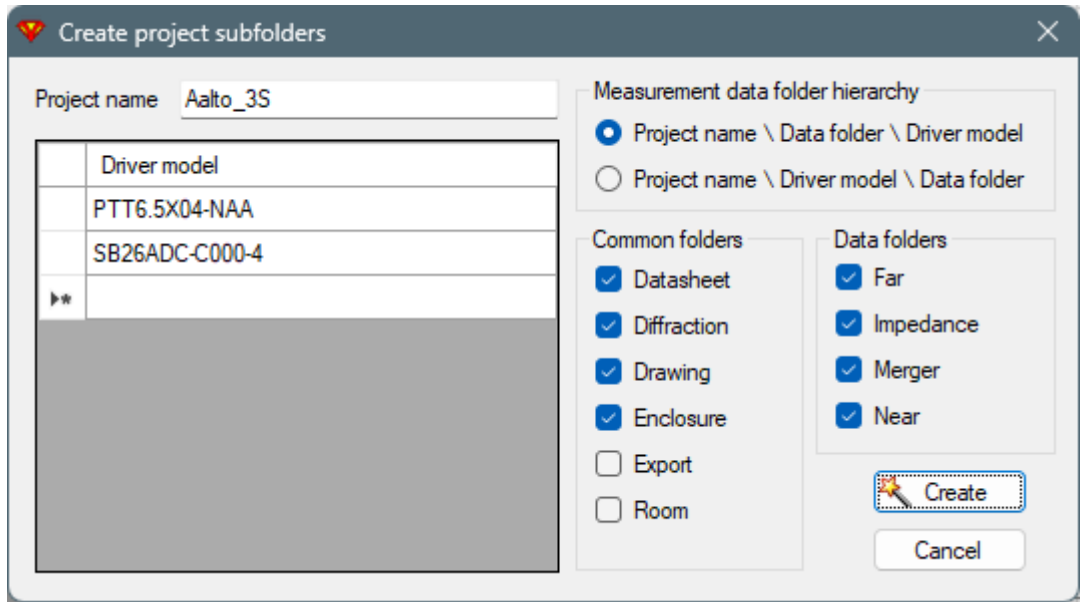
命令行参数（可选）

VituixCAD.exe "路径 \文件名"	打开以 ".vxp"、".vxe"、".vxb"、".vxf"、".vxm" 结尾的 VituixCAD 项目文件

项目目录结构

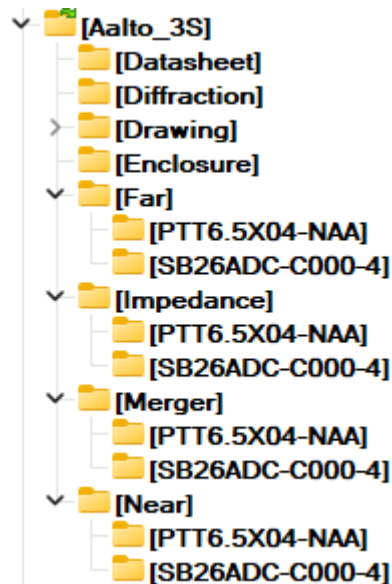
扬声器项目中包含的所有文件都应放在 \Users*用户名\Documents\VituixCAD\Projects*项目名及其子目录中，以便于打包成 zip 文件并分发给其他用户。可通过集成在 **File->New（文件->新建）** 命令中的 "Create project subfolders（创建项目子文件夹）" 窗口来创建项目文件夹。提供两种不同的层级结构：

项目名 \ 数据文件夹 \ 单元型号

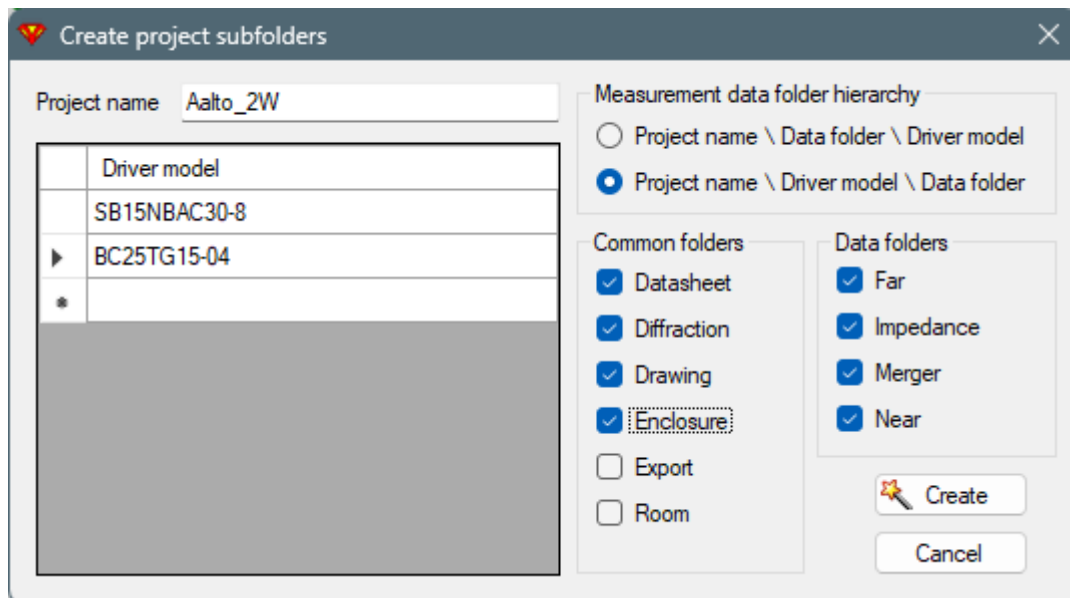


此层级结构支持典型的测量顺序：1) 所有单元的远场测量 2) 所有单元和倒相孔的近场测量 3) 所有单元的阻抗测量。

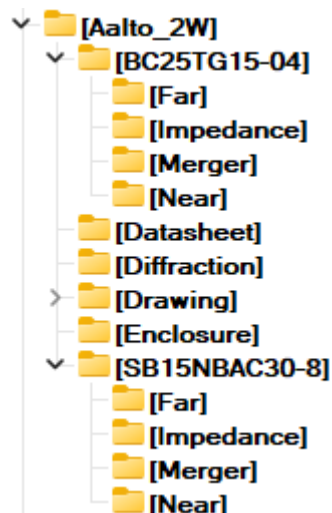
在表格中填写单元型号，并勾选要创建的 **Common folders（公共文件夹）** 和 **Data folders（数据文件夹）**。



项目名 \ 单元型号 \ 数据文件夹



此层级结构将单个单元的测量数据放在同一个文件夹中，方便在使用相同"单元+箱体"组合的不同项目之间复制数据。



将所有项目文件 .vxp、.vxe、.vxb、.vxm 保存到项目的主文件夹（VituixCAD\Projects*项目名*）。

Common folders（公共文件夹） 的典型内容：

Datasheet (数据表)	单元、接插件、功放及其他元件的数据表。
Diffraction (衍射)	用于 Merger（合并）工具做准近场到远场转换的障板效应响应。也可能是仿真得到的指向性，即低音/中低音单元的离轴响应。用 Akabak 等做的 BEM 仿真结果。
Drawing (图纸)	2D 与 3D 图纸、加工说明和零件清单。
Enclosure (箱体)	用于前期研究的半空间频率响应与阻抗响应仿真结果。
Export（导出）	各类导出内容，如功率耗散、时域响应以及 FIR 滤波器的传递函数。
Room（房间）	声学参数与室内响应测量。

Data folders（数据文件夹） 的典型内容：

Far（远场）	远场测量与频响导出文件：.pir/.mls/.crp/.mdat、.txt/.frd。
Impedance（阻抗）	阻抗响应测量与 ZR 导出文件：.pir/.mls/.sin/.crp/.mdat、.txt/.zma。
Merger（合并）	合并后的响应：.frd/.txt。
Near（近场）	近场测量与频响导出文件：.pir/.mls/.crp/.mdat、.txt/.frd。

Create（创建）按钮还会创建一个空项目（.vxp），并在其中列出表格中的单元型号。

支持

按 F1 获取帮助。

也可以从互联网在你的默认浏览器中打开最新的在线手册。建议在浏览器中添加书签，以便快速访问最新修订版本。

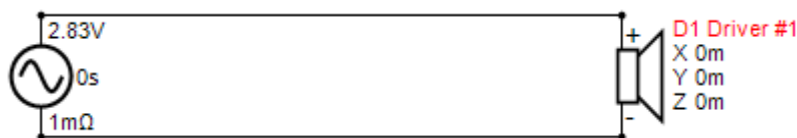
如何开始使用 VituixCAD

- 安装 2.0 版本的最新构建。
- 阅读本文档，尤其是[扬声器设计检查清单](#)一节。

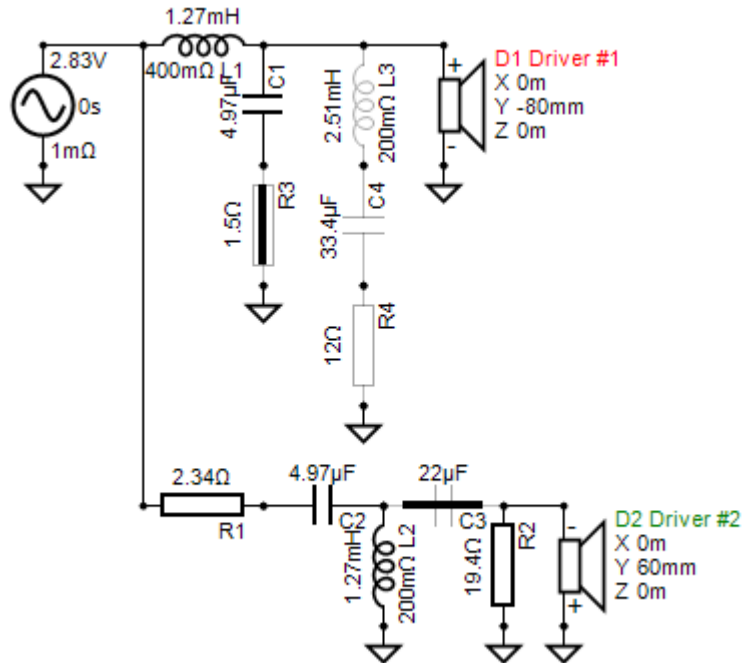
- **注意！** "扬声器设计检查清单"一节中未列出的工具和方法，对于典型箱式扬声器的最终设计而言既不需要也不推荐。VituixCAD 中也有一些仅用于前期或简化理论研究的工具，除此之外应避免使用。例如，图形化描取或下载的厂家响应数据可用于前期研究，但不适用于最终的分频器设计。
- 阅读[使用 CLIO 测量](#)、[ARTA](#)、[REW](#) 或 [SoundEasy](#)。这些是必读并需遵循的文档，可让扬声器仿真快速且可控，从而得到准确的离轴仿真以及可靠的功率与 DI 响应。尽量避免使用不推荐的测量程序和单通道测量设备，例如 USB 话筒和通用音频接口的单通道模式。对于不推荐的测量程序，也不提供技术支持。
注意！CLIO Pocket 也是有效的测量系统，只是不具备自动保存和命名离轴远场测量结果的 "Auto save (自动保存)" 功能。
- 提示 1：频响文件的命名必须包含测量平面和离轴角度值。另请参阅选项中的[从文件名解析角度](#)。
- 下载测试项目：[Epe-3W demo.zip](#) 和 [Kontinen demo.zip](#)。
V2.vxp 项目文件适用于 VituixCAD 2.0。将所有文件连同原始子目录一起解压到 "(My)Documents\VituixCAD\Projects"。启动 VituixCAD 并打开 .vxp 项目文件。先花几天时间熟悉演示项目，再使用你自己的测量数据。对分频器进行修改和变化。用我的测量数据设计新的分频器。研究文件命名与 Options (选项) 窗口中各项设置之间的关系。用随附的近场/远场测量数据和箱体影响响应测试 Merger (合并) 工具。
- 提示 2：2.0 版本没有初始分频电路，因此至少需要一根从信号源 (generator) 到单元的连线，才能显示载入 Drivers (单元) 选项卡的频率响应和阻抗响应：



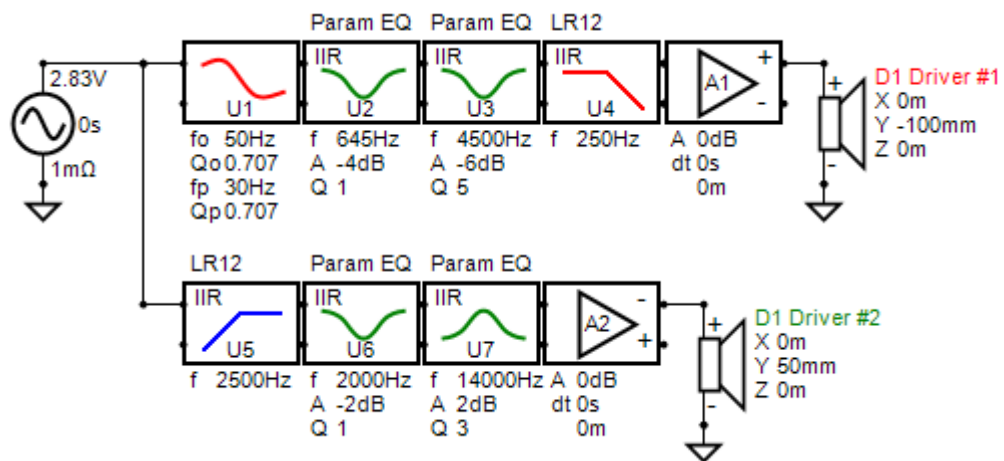
接地元件不是必需的，但接地方式的连接和修改比使用"负极母线 (minus rail)"更轻松快捷。



- 提示 3：如何为无源分频器设计合理高效的布局。不要在元件之间绘制多余的连线。



- 提示 4：如何为使用通用模块的有源分频器设计合理高效的布局。不要在模块之间绘制连线。



YouTube 视频

- [VituixCAD Merger](#)
- [VituixCAD 2 自由拓扑网络 \(2.0.3.7\)](#)
- [VituixCAD SPL Trace \(1.1.18.1\)](#)

讨论论坛

- [htguide.com](#)
- [hifiarrastajat.org](#) 芬兰语
- [melaudia.net](#) 法语
- [diy-hifi-forum.eu](#) 德语
- [hifi-forum.de](#) 德语
- [slovanet.sk](#) 斯洛文尼亚语/斯洛伐克语

用户群组

- [Facebook VituixCAD 群组](#)

前言

本用户指南按时间顺序讲解如何使用 VituixCAD 设计扬声器。通常，设计流程从确定箱体尺寸、单元、辐射器类型、调准方式等开始。使用 Enclosure（箱体）工具来仿真箱体、不同的辐射器类型和调准方式。下一步是对制作完成的样箱进行全面的声学 and 电气测量。使用 Diffraction（衍射）和 Merger（合并）工具来合并远场与近场响应。满足这些前提条件之后，即可进入仿真阶段。无论你的目标是否包含中途试听，都需要某种形式的质量控制（QC）。有人相信自己的耳朵，有人相信测量数据。如果一只扬声器测量完美，但听起来却比你听过的任何音箱都差，那一定是哪里出了严重问题。本指南不会教你如何聆听扬声器，但会涵盖基本的 QC 步骤。

本指南不涉及样箱和分频器的制作。同时假定你已具备合适的测量设备和软件，并了解如何为设计目的测量扬声器单元。

扬声器设计检查清单

考察听音室的声学参数、尺寸、材料以及音箱摆位的可能性。明智的做法是先解决不良环境（房间）的问题，而不是试图用庞大复杂的音箱设计来应对一切。

基础工程

- 确定声学设计：指向性的类型与程度、辐射器类型、分频路数、单元尺寸和数量。
- 估算可能的灵敏度范围和分频点频率范围。
- 选择初始单元和指向性控制部件，以达成上述目标。
- 用 **Enclosure（箱体）工具** 仿真低频辐射器。
- 用 **Diffraction（衍射）工具** 仿真障板衍射。将箱体影响响应（cabinet impact response）导出到与实际远场响应相同的测量距离，以及可能的最远听音距离（例如 10 米）。
- 设计箱体。

制作

- 视设计中的不确定因素，制作可调整的样箱或最终箱体
- 为各个单元（或单元组）连接临时引线，以便进行声学 and 电气测量。

测量

- 为极坐标响应测量准备转台。手动转台易于制作且使用快捷，例如配合 Clio 10-12、ARTA 1.9 或 REW V5.20.14ea27+ 使用。
- 选择离轴测量的方向。你不必以恒定 5° 或 10° 步长绕音箱测量整圈或半圈，但为了得到正确的功率与指向性结果，并能仿真反射、旋转/倾斜单元，建议这样做。仿真时每个轴向可以少于 10 个方向。不要浪费一次性获取全部测量数据的机会。如果垂直方向的测量结果与水平方向“足够接近”，则无需测量垂直轴。例如，位于方形箱体中央的全频单元在

两个方向上是对称的。

- 以远场测量方式测量每个单元（或单元组）的极坐标响应。所有单元尽量使用相同的离轴角度，但这不是强制要求。不要让测量程序破坏时间基准：使用半双通道（或全双通道）测量，将时间参考锁定到话筒振膜。对时间加窗的响应，应在相同或至少已知/已测量的距离下测量到参考点，以保持不同单元和频段之间的统一时间参考。**注意！** 文件名中应包含测量平面（hor/ver）和角度（度）。
- 如果没有消声环境，测量中音和低音锥盆以及倒相孔的近场响应。将辐射器置于半空间以避免障板损失。即使测量距离小于 8 mm，小箱体在全空间下仍会存在一定的障板损失。近场测量尽量使用与远场相同的输出电压（前提是不削波、失真不过大），以便于近场与远场响应的合并。
- 测量每个单元或单元组的阻抗响应。

如果使用 CLIO 或 ARTA 测量，或测量结果导出为 wav 文件，请用 **Convert IR to FR（脉冲转频响）工具**导出频率响应。使用 REW 5.20 beta 7 或更高版本的批量导出功能时则无需此步骤。

合并与处理响应数据

- 如果未在消声环境中对低频辐射器（<300 Hz）做远场测量，请使用 **Merger（合并）工具**合并远场与近场响应。
- 将合并后的响应导出为单独的 txt/frd 文件。
- 载入箱体影响响应（来自衍射仿真），并通过勾选 BS 将其叠加到前障板上的锥盆和倒相孔的近场响应上。

用 VituixCAD 主程序仿真分频器

- 新建空项目并填写 Description（描述）
- 在 Drivers（单元）选项卡中添加单元型号
- 输入单元名称、标称 SPL 和 Z
- 为每个单元型号载入频率响应。必要时调整缩放、延时、极性和平滑。
- 为每个单元型号载入阻抗响应。必要时调整缩放。
- 粗略勾画出参考轴/听音窗响应以及功率/室内响应的目标
- 粗略勾画出每个单元参考轴响应的目标
- 设计分频器
- 插入滤波模块
- 手动调整滤波模块的参数/元件值
- 反复调整电路拓扑和参数/元件值，直到参考轴响应、听音窗、预测室内响应、功率响应、指向性指数、各条离轴响应以及阻抗响应都满足目标。
- 定期保存项目。将有希望的中期结果保存到项目文件或分频器变体中。

制作无源分频器或配置有源分频器

质量控制

必须进行的 QC 测量

- 水平和垂直平面的多角度测量，至少 30° 步长
- 阻抗响应

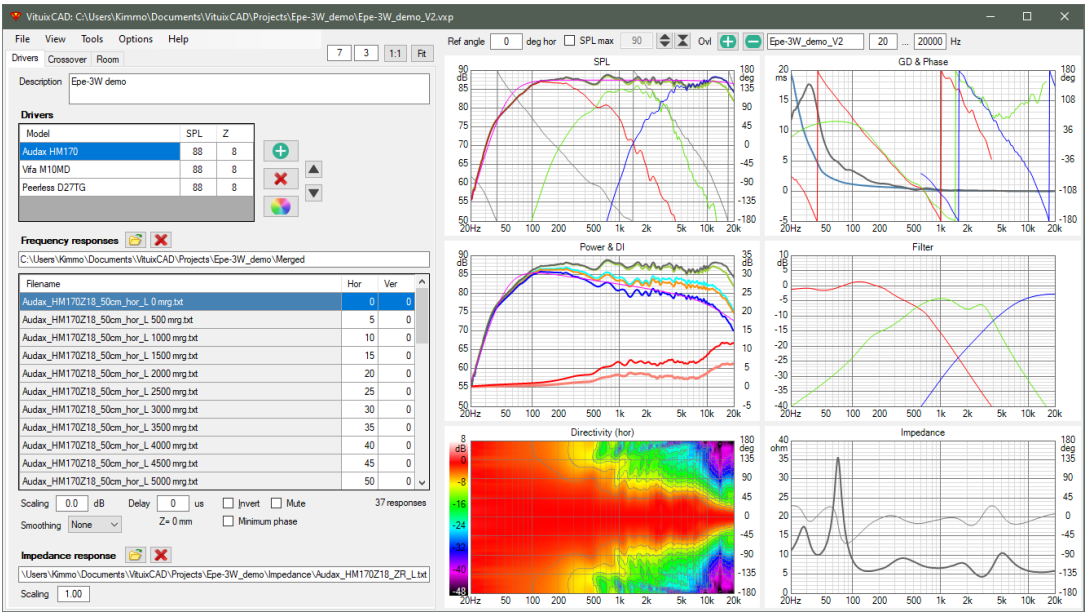
额外的 QC 测量

- 过剩群延时
- 谐波失真
- 互调失真
- 压缩
- 与听音室的声学兼容性：房间响应、清晰度参数。

聆听你喜欢的曲目。

如果不满意，就推倒重来。

主程序



主窗口分为两部分，左侧为控制区，右侧为图表区。

菜单

File（文件）

New（新建）	创建新的空项目
---------	---------

New (新建)	创建新的空项目
Open (打开)	打开已有项目
Recent > (最近)	打开之前打开过的项目
Save (保存) (Ctrl+Shift+S)	保存当前项目
Save as... (另存为)	以不同的文件名保存当前项目
Archive project (归档项目)	将项目 vxp 和外部文件打包为 zip 文件。参见 Options (选项) 中的 Archive project
Create library block (创建库模块)	将所选元件保存为模块，存入 VituixCAD\Library 文件夹
Edit library block parameters (编辑库模块参数)	修改库模块的参数、变量和表达式
Export > (导出)	导出频率响应、单元的频率响应、听音窗、早期反射、室内响应、功率响应、指向性指数、早期反射 DI、群延时、单元的滤波响应、所有单元的滤波响应、信号源负载阻抗、缓冲器负载阻抗、极坐标频率响应、CTA-2034-A 数据，可导出为多列 csv 文件或 12 个单独的 txt/frd 文件
Exit (退出)	退出 VituixCAD

View (视图)

Optimizer (优化器) (Ctrl+P)	打开 SPL 目标设置与优化器窗口
Parts list (元件清单)	打开元件清单窗口
Impulse response (脉冲响应)	打开脉冲响应窗口用于预览和导出
Power dissipation (功率耗散)	打开功率耗散窗口

Optimizer (优化器) (Ctrl+P)	打开 SPL 目标设置与优化器窗口
Preference rating (偏好评分)	打开偏好评分窗口
Units (单位)	在分频器原理图中显示工程单位 (Ohm、F、H)
Part # (元件编号)	在分频器原理图中显示元件编号
Power (功率)	在分频器原理图中显示电阻的最大功率
Grid (网格)	在分频器原理图中显示吸附网格
Nodes (节点)	显示分频网络的电气节点编号
Image export size (图像导出尺寸)	图表尺寸设为 Options 中设定的 Six-pack 宽×高。按住 Ctrl 键可设为 Single 宽×高。
Default colors (默认颜色)	恢复主程序、Enclosure、Merger、Calculator 和 Diffraction 工具中图表曲线的默认颜色、线宽、线型和可见性。

Tools (工具)

Enclosure (箱体) (F3)	打开箱体工具
Diffraction (衍射) (F4)	打开衍射仿真器
Convert IR to FR (脉冲转频响) (F5)	打开 FFT 工具
Merger (合并) (F6)	打开合并工具
Calculator (计算器)	打开计算器工具
Auxiliary (辅助)	打开辅助计算器
SPL Trace (频响描图)	打开 SPL 描图工具

Options (选项)

(Alt+O)	打开 Options (选项) 窗口

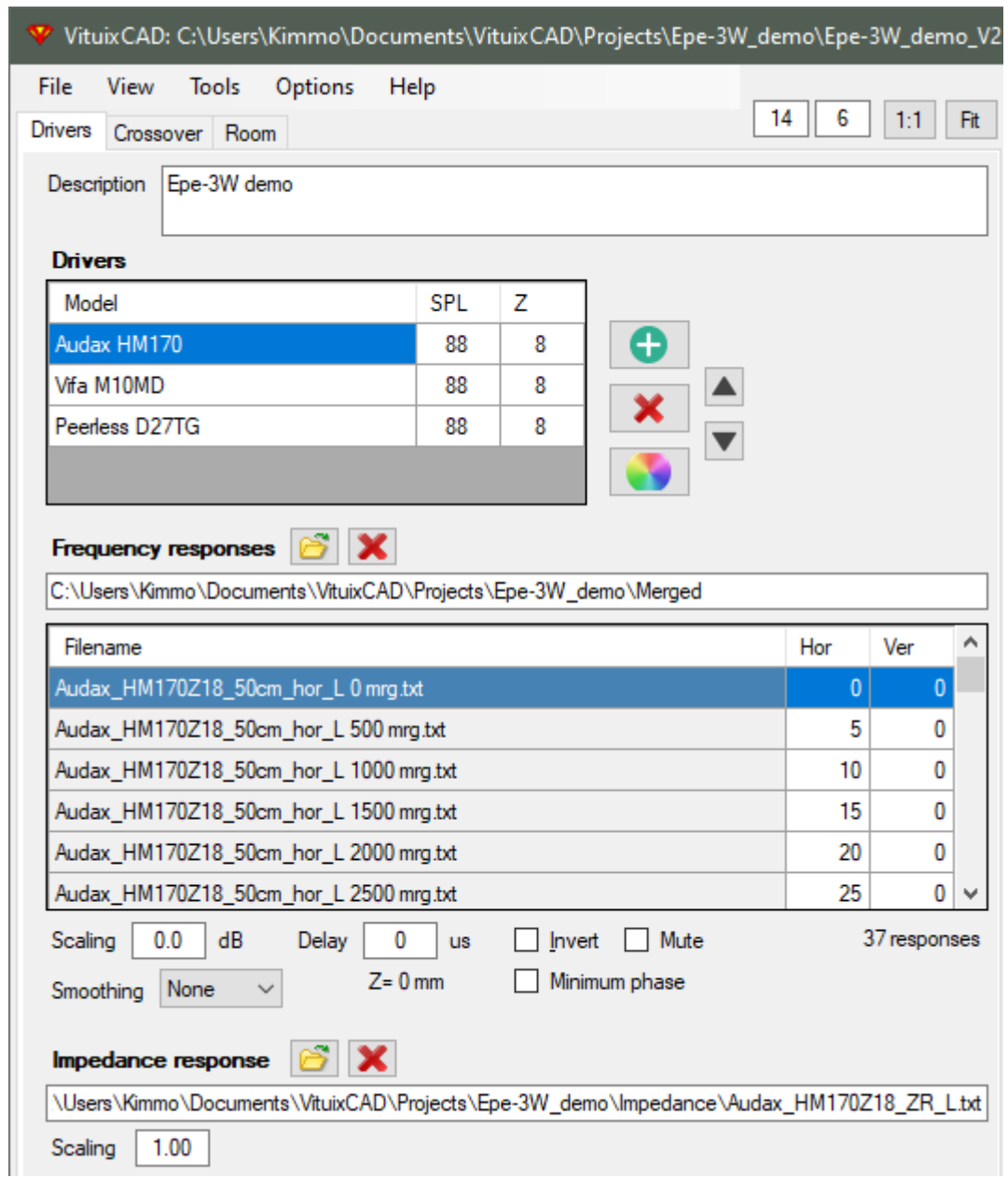
Help (帮助)

Help (帮助) (F1)	打开用户手册
Donate (捐赠)	通过 PayPal 捐赠
About (关于)	关于 VituixCAD 的信息。查看更新日志。

Help (帮助) (F1)	打开用户手册
Clean user.config (清理 user.config)	删除旧版本遗留的 user.config 文件和目录

Drivers (单元) 选项卡

单元列表



项目中的单元列在 Drivers (单元) 表中。请为初始的虚拟单元 "Driver #1" 起一个实际名称。用 (+) 按钮添加其余单元并输入实际名称。如果只是做简单测试、没有实测或仿真的频率与阻抗响应, 请填写标称 SPL 和 Z。这样软件会直接缩放默认平直响应, 而无需通过 Scaling (缩放) 文本框调整。

点击 Drivers 表右侧的调色板按钮, 可调整单元曲线在 SPL、GD & Phase、Filter 和 Power dissipation 图表中的颜色、线宽和线型。最多可为 6 个单元型号设置不同的显示属性。幅频响应和相位响应可以有不同的属性。

频率响应

文件名必须包含有效的平面和离轴角度编码。ARTA 风格的角度编码 <名称前缀>_deg[+|-]<数字>.txt 可以接受，CLIO 风格的 <名称前缀> <数字>.txt 也可以（其中角度 <数字> 已乘以 100）。不同平面应用关键字分隔，通常为 'hor' 或 'ver'。

例如 'M15CH002_hor_deg+110.txt' 或简写 'M15CH002 hor 110.txt' 表示 M15CH002 在水平离轴 110 度方向、角度乘数为 1。'M15CH002 hor 11000.txt' 表示 CLIO 命名风格下（角度乘数 100）的水平 110 度。

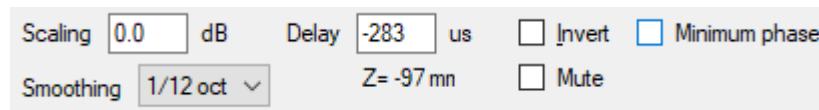
也支持 CLIO、EASE 和 VACS 文件命名格式的 3D 气球数据。程序能够从气球数据中读取水平面 ($\phi=0$) 和垂直面 ($\phi=90^\circ$)。如果气球数据由 Klippel NFS 采集，可能需要将 ϕ 旋转 $+90^\circ$ 。更多信息参见 [Options \(选项\)](#)。

从 Klippel 导出的 'SPL Horizontal.txt' 和 'SPL Vertical.txt' 多列文件，在载入 Drivers（单元）选项卡的频率响应列表时会自动拆分为多个 frd 文件。拆分和载入前，txt 扩展名会被重命名为 nfs。数字格式应使用不变格式，因此不接受逗号 (,) 作为小数点。**注意！** 这些文件默认不包含实测相位，因此不适用于设计多路扬声器或做相位均衡（以获得最小相位响应）。

通过点击打开按钮或将文件拖放到响应列表中来添加单元的频率响应。应通过多选（按住 Ctrl 或 Shift 键）一次性选中该单元的所有文件，即这些文件应位于同一文件夹中。删除按钮 X 可清空响应列表。

实际上每个单元最多支持 718 条频率响应。单元离轴响应的角度步长可以比 Options（选项）窗口中设定的仿真角度步长更密、更疏或相同。测量的角度步长可以是恒定的（0、10、20、30、...、180），也可以是可变的（0、5、10、15、20、30、40、50、60、80、100、120、150、180）。不同单元类型的离轴响应可以采用不同的角度步长——恒定或可变均可。

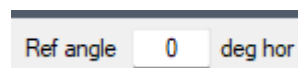
功率响应和指向性指数在单元频率响应的最小覆盖角范围内计算，即必须为所有单元测量 $0-180^\circ$ ，才能计算全空间的功率与指向性。



Frequency response control panel with the following settings:

- Scaling: 0.0 dB
- Delay: -283 us
- ☐ Invert
- ☐ Minimum phase
- Smoothing: 1/12 oct
- Z: -97 mn
- ☐ Mute

可以使用频率响应列表下方的控件对频率响应进行缩放（dB）、平滑（无、1/24、1/12、1/6、1/3、1/2 倍频程）、延时（ $\pm \mu\text{s}$ ）、极性反转、静音以及转换为最小相位。如果程序无法从文件名中解析出角度值，或有意交换了测量数据，可通过在相应字段中输入新值来修改 Hor 和 Ver 角度。



Reference angle control panel with the following setting:

- Ref angle: 0 deg hor

参考角（Reference angle）是水平面上的一个方向，在 SPL、CTA-2034 和相位响应图中显示为 On-axis/Ref axis（轴上/参考轴）响应。指向性指数的计算也可以使用参考角替代听音窗。更多信息参见 Options 中的 CTA-2034-A。当轴向响应很差或不具代表性，或测量数据质量不佳、无法得到准确的功率响应时，针对单一离轴方向进行优化是有用的。默认值为 0° （水平）。

阻抗响应

通过点击文件夹按钮或将文件拖放到文本框中，为一个或多个单元选择阻抗响应文件。

阻抗响应同样可以用乘数缩放。如果多个单元在分频器中作为单个单元输入（不推荐），缩放后的阻抗响应应代表该单元组的总阻抗。如果阻抗响应是在共用容积的单元组上测得的，而这些单元在分频器中作为独立单元输入（推荐做法），则缩放后的阻抗响应应代表单个单元。

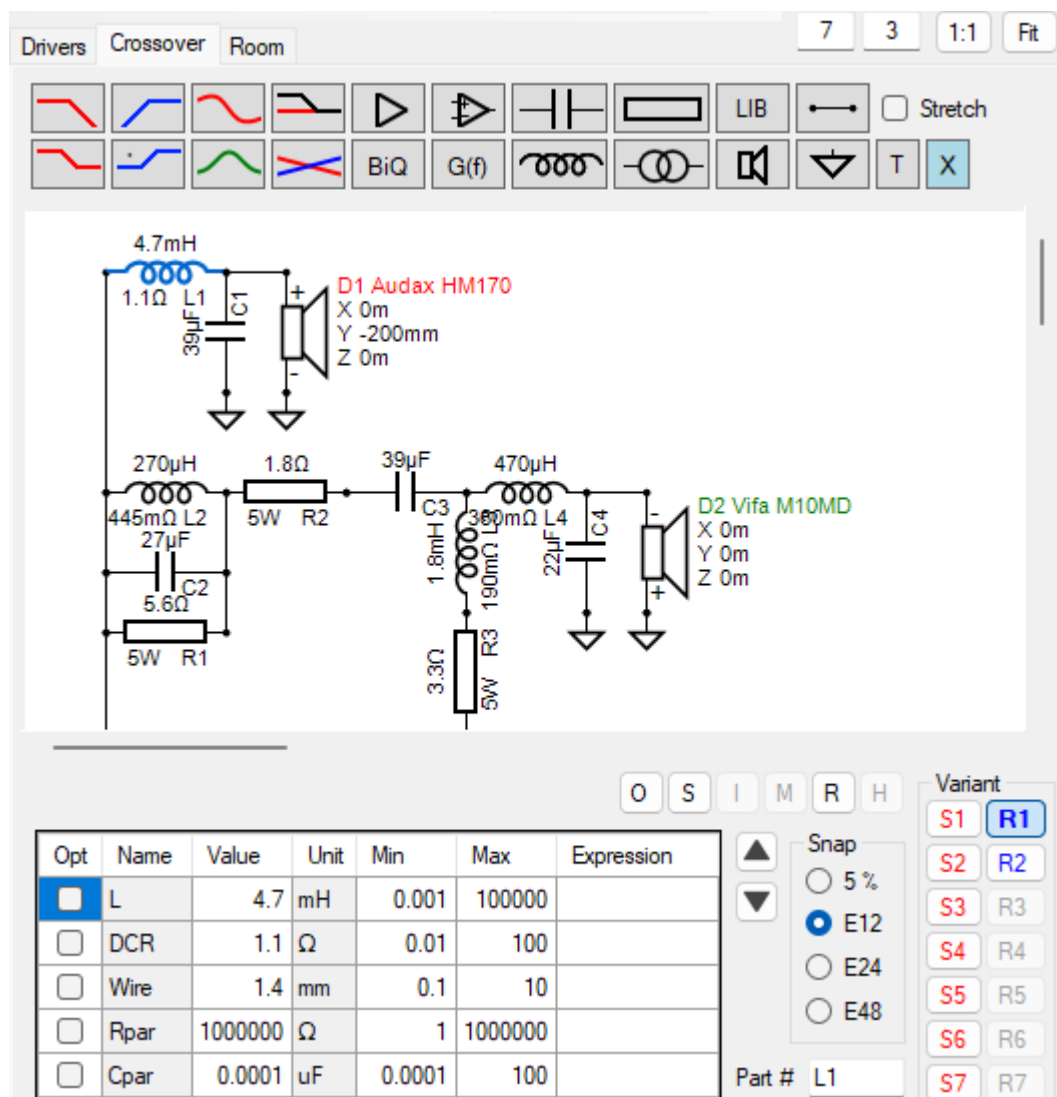
支持的文件类型

VituixCAD 支持以制表符、空格或分号分隔的 .txt、.frd（阻抗为 .zma）文件。建议使用句点（.）作为小数点。如果数据行中不含句点，则使用逗号（,）作为小数点。如果数据行中同时含有句点和逗号，则逗号用作字段/列分隔符。因此**不允许使用任何千位分隔符**。支持以下软件导出的文件：

- AudioTools
- ARTA、LIMP
- CLIO
- Edge
- FRD tools
- HOLM Impulse
- justMLS
- Klippel, SPL Horizontal/Vertical
- LMS short ascii
- LspLAB
- LTspice
- Praxis
- REW
- SoundEasy
- XSim

Crossover（分频器）选项卡

滤波器原理图



通过 Crossover component (分频器元件) 菜单可添加无限数量的元件。菜单包含通用有源模块 (9 种)、有源传递函数文件、运算放大器、无源元件 L C R T、库模块 (LIB)、注释文本 (T)、连线、接地和单元。

分频器中应包含且仅包含一个信号源 (Generator)。不多也不少。参数为源电压 E_g 和输出阻抗 R_g 。电压会影响 SPL、CTA-2034 和 Directivity (指向性) 图中的声压级, 但不影响 Power dissipation (功率耗散) 窗口 (该窗口有自己的信号)。当 Drivers (单元) 选项卡中的频率响应已缩放至 $\text{dB SPL}/2.83\text{V}$ 且 $U_g=2.83\text{V}$ 时, SPL 图中的电平等于 USPL。

滤波模块类型

有源低通与高通滤波器 (f)。从列表框中选择 Shape (类型) 和 Order (阶数)：

- 1 阶
- 2 阶 (Q)
- Linkwitz-Riley 12...48 dB/oct.
- Bessel 12...48 dB/oct.
- Butterworth 12...48 dB/oct.
- Chebyshev 0.5dB 12...48 dB/oct.
- 1 阶线性相位

- 2 阶线性相位 (Q)
- Linkwitz-Riley 线性相位 12...96 dB/oct.
- Bessel 线性相位 12...48 dB/oct.
- Butterworth 线性相位 12...48 dB/oct.
- Horbach-Keele 线性相位 (R)
- Horbach-Keele "MTM" 线性相位 (R)
- Brickwall 线性相位

有源架式 (Shelving) 低通与高通滤波器 (f、gain) 。从列表框中选择 Shape (类型) :

- 1 阶
- 2 阶 (Q)
- 1 阶线性相位
- 2 阶线性相位 (Q)

有源 Linkwitz 变换 (fo、Qo、fp、Qp)

有源全通滤波器 (f) 。从列表框中选择 Shape (类型) 和 Order (阶数) :

- 1 阶
- 2 阶 (Q)
- 1 阶相位线性化
- 2 阶相位线性化 (Q)
- Linkwitz-Riley 相位线性化 12...48 dB/oct.
- Bessel HP 相位线性化 12...48 dB/oct.
- Butterworth HP 相位线性化 12...48 dB/oct.

有源峰值/陷波 (Peak/Notch) 滤波器。类型从 Shape 列表框中选择:

- 参量 EQ (f、gain、Q)
- 带通 (f、Q)
- 带阻 (f、Q)
- 增益 EQ (f、gain、Q)
- 相位 EQ (f、phase、Q)

有源斜率滤波器 (f、S) 。

数字 Biquad (b0、b1、b2、a0=1、a1、a2)

有源缓冲器 / 有源多路的功率放大器 (增益 dB、延时 μ s、极性反转)

运算放大器 (开环增益 AOL、增益带宽积 GBP)

传递函数文件 (任意受支持的频率响应文件类型)

无源 R (最大功率 Pow W)

无源 C (串联电阻 ESR, 单位欧姆)

无源 L (串联电阻 DCR, 单位欧姆; 线径 mm; 并联电阻 Rpar, 单位欧姆; 并联电容 Cpar, 单位 μF)。

若 Rpar 的 Value < 1 M Ω , 则计入计算。Rpar 的功率耗散忽略不计。

若 Cpar 的 Value > 100 pF, 则计入计算。

无源理想变压器 ($N=V_s/V_p$)

单元 (X、Y、Z, 单位 mm; R、T, 单位度)。参见下文"Driver instances (单元实例)"

信号源 (Eg Vrms、Rg Ω)

重要! 蓝色显示的有源滤波器**不是**最小相位的。原理图中的模块带有 'FIR' 字样作为提示。实际应用需要卷积插件或具备 FIR 功能的 DSP 设备。每个单元的有源滤波器传递函数可以导出为 wav 或 txt 格式的脉冲响应。参见"脉冲响应"一节。

元件的添加方法: 点击菜单按钮, 移动到正确位置, 然后点击鼠标左键。按 Esc 键、右键点击或点击菜单按钮 X 可取消添加。

按住 Ctrl 键点击菜单按钮, 可替换所选元件。有源模块可替换为另一种有源模块, 无源元件 (LCR) 可替换为另一种无源元件。名称和单位相同的参数值会被复制到替换后的元件上。单元、接地、库模块和连线不能直接替换, 需要先删除再添加。

Driver instances (单元实例)

分频器中添加的每个单元实例都可以设置相对于"设计原点 (design origin)"的位置。位置在 Parameters (参数) 表中输入。设计原点通常是在前障板表面上、听音轴的垂直端点。X [mm] 为中心点的水平坐标; 向左为负、向右为正 (从话筒/听音者视角看)。Y [mm] 为垂直坐标; 向下为负、向上为正 (从话筒/听音者视角看)。Z [mm] 为水平距离坐标; 离话筒更近为负, 更远为正。

还支持单元的水平旋转 R [度] 和垂直倾斜 T [度]。旋转 R [度] 从俯视图看逆时针方向为正, 倾斜 T [度] 向上为正。

Drivers (单元) 选项卡中的测量数据通过分频器原理图下方的列表框与分频网络中的单元实例相关联。当在分频器中选中单元时, 该列表框可见。

如果多个单元在样箱中作为一组同时接到功放上一起测量, 则应作为单个单元输入。此时输入的位置应为测量原点与设计原点之间的差值。

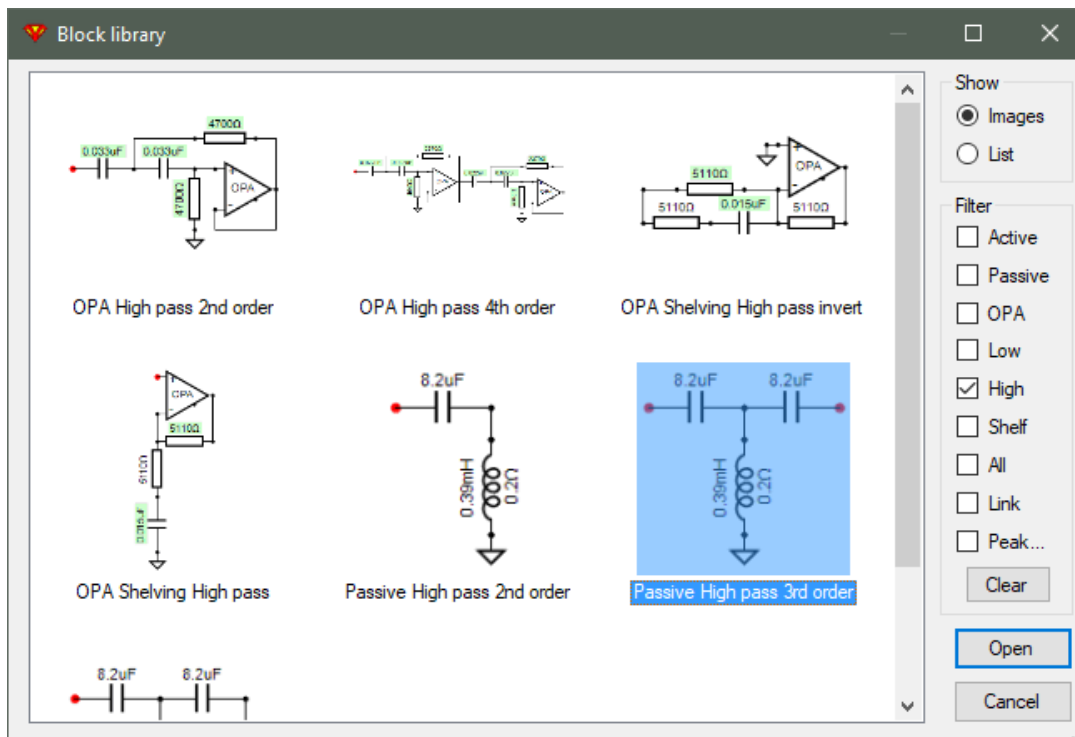
例 1: 若多元件组合在设计 (听音) 轴上测量, 则位置 (X,Y,Z) = (0,0,0)。

例 2: 若多元件组合在设计 (听音) 轴下方 400 mm 处测量, 则位置 (X,Y,Z) = (0,-400,0)。

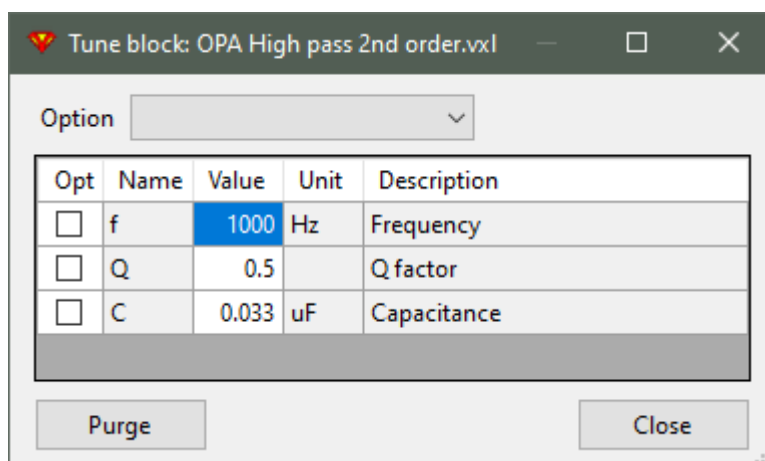
Library block menu (库模块菜单)

库模块菜单可用 Filter (筛选) 组中的复选框来缩短列表。各复选框的提示信息 (tooltip) 中可查看其搜索关键字。双击或点击 Open (打开) 按钮可将模块插入分频器。也可以从文件系统中把 VituixCAD\Library 文件夹里的模块 (vxl 文件) 拖放到分频器中。

另见 [VCLLabs 运放滤波器模块](#)



库模块可以带有属性，用于根据用户参数和数学表达式计算元件值。插入模块时，或从右键菜单中选择 Tune block...（调整模块）时，会打开 Tune block（调整模块）窗口。调整参数时，数值会实时更新到分频器中。勾选 Opt 后，属性值可由优化器求解。



Purge（清除）命令会断开模块与元件之间的链接，并清除元件参数中的表达式，从而允许修改此前由公式计算得出的参数。保存项目文件后，被清除的模块将消失。

连线的绘制方法：指向并点击左键、再指向并点击左键，依此类推。按空格键、回车键或右键可确认/结束布线。按 Esc 键可逐个节点地回退，直到所有节点都被移除。当光标位于有效终点（即元件接线端、已有节点或另一条连线的端点）时，连线会以亮绿色高亮显示。如果连线从已有连线的中间点开始或结束，或者在拖动（添加或移动）结束时将元件接线端放到已有连线的中间点上，则会创建新节点。

可以从已有连线节点或元件接线端开始绘制连线，无需点击元件菜单中的连线按钮或使用 W 快捷键。要在已有连线的中间点创建新节点，则需要使用布线命令。

元件上红色的接线端点表示缺少连接。程序可以处理未连接的接线端，但计算速度会降低。

添加最常用的无源元件可使用快捷键字母：

C 电容、**L** 电感、**R** 电阻、**M** 变压器、**W** 连线、**G** 接地、**T** 注释文本、**D** 单元。

如果在点击元件菜单或快捷键字母时按住 Shift 键，无源元件和文本会以旋转（即垂直）方式添加。

Selection (选择)

可以通过点击或框选来选择元件进行修改。点击和框选都支持按住 Ctrl 或 Shift 键进行多选。点击空白区域可重置选择集。所谓 'Top component (顶层元件)' 是所选元件中的一个，其参数显示在原理图下方的 Parameters (参数) 表中。顶层元件以醒目高亮色（通常为蓝色）强调显示。其他被选中的元件（顶层元件除外）以半透明高亮色（通常为浅蓝色）强调显示。所有被选中的元件都是右键菜单或快捷键进行移动或修改操作的对象。

Moving (移动)

所选元件可以用鼠标拖动或用方向键移动。如果用拖动方式移动元件且勾选了 **Stretch (拉伸)**，则连接到元件接线端的连线会随之延展。如果用方向键移动，或拖动时未勾选 Stretch，则元件会与网络断开而连线不延展。拖动时按住 Alt 或 Shift 键可临时反转该设置。

Modifying (修改)

右键菜单显示可对所选元件执行的可行（以及少数不可行）操作。另见快捷键。

	Tune block...	Ctrl+T
	Pan to center	
	Undo	Ctrl+Z
	Select all	Ctrl+A
	Cut	Ctrl+X
	Copy	Ctrl+C
	Paste	Ctrl+V
	Delete	Del
	Open	Ctrl+O
	Short	Ctrl+S
	Invert	Ctrl+I
	Mute	Ctrl+M
	Rotate	Ctrl+R
	Hide traces	Ctrl+H
	Raw response	
	Optimize On	Ctrl+Q
	Optimize Toggle	Ctrl+W
	Optimize Off	Ctrl+E
	Part numbers	▶
	Driver layout...	
	Copy image	
	Export image	

Tune block... (调整模块)	打开窗口以调整所选模块的用户参数。
Pan to center (平移到中心)	鼠标光标所在的点滚动到绘图区中心（尽可能居中）。
Undo (撤销)	最多可恢复最近二十次的更改以及参数调整前的状态。
Redo (重做)	反向执行 Undo 命令。
Select all (全选)	选择分频器中的所有元件。
Cut (剪切)	将所选元件剪切到剪贴板。
Copy (复制)	将所选元件复制到剪贴板。
Copy Biquad coeffs (复制双二阶系数)	打开"复制双二阶系数"窗口。参见下文 Biquad coefficients (双二阶系数)。
Paste (粘贴)	从剪贴板粘贴到光标位置。
Paste Biquad coeffs (粘贴双二阶系数)	将剪贴板文本中的第一组系数粘贴到所选的 Biquad 模块。注意！格式应兼容 miniDSP，即应勾选 Block type (模块类型)、Biquad number (双二阶编号)、a0、Parameter name (参数名)、Value as decimal (十进制数值) 和 End comma (行尾逗号)。
Delete (删除)	删除所选元件。删除最后一个信号源时会进行确认，因为网络中应保留一个信号源。
Open (开路)	将所选元件从网络中断开。有源模块通过将增益设为 1E-10 来断开。被开路的元件以透明色显示。
Short (短路)	所选元件被短路（用导线旁路）。有源模块通过将增益设为 1 来短路。被短路的元件以元件主体上的粗黑线显示。
Invert (反相)	所选元件的极性被反转。适用于 Active Buffer (有源缓冲器) 和 Driver (单元)。在原理图中以 +/- 符号显示。

Tune block... (调整模块)	打开窗口以调整所选模块的用户参数。
Mute (静音)	所选单元被静音。单元在电气上仍在网络中，但声学输出被静音。
Rotate (旋转)	所选（无源）元件和注释文本转为垂直方向。拖动时右键点击可旋转单个元件。
Hide traces (隐藏曲线)	隐藏所选单元的图表曲线。
Raw response (原始响应)	显示未经分频器的单元原始响应。
Optimize On (开启优化)	所选元件的主要参数被选中用于优化。被优化的参数在原理图中以半透明淡绿色背景显示。无源元件的主要参数是 L、C、R。有源模块的所有参数都是主要参数，但运算放大器的 AOL 和 GBP 除外。单元的主要参数是 X、Y、Z（位置，单位 mm）。其他参数应通过 Parameters（参数）表中的 Opt 列来选中进行优化。
Optimize Toggle (优化切换)	反转所选元件的优化状态。这样可以交换两组元件而不改变选择集。
Optimize Off (关闭优化)	重置所选元件的优化状态。
Part numbers > (元件编号 >)	
Number blanks (编号空白处)	从下一个可用编号开始，为 Part #（元件编号）为空的元件重新编号。编号模式开启时，Part # 文本框显示为绿色。按所需顺序点击元件即可完成编号。点击空白区域、右键或按 Esc 结束编号模式。
Renumber all 123... (全部重新编号)	从 1 开始为所有元件重新编号。按所需顺序点击元件即可完成编号。

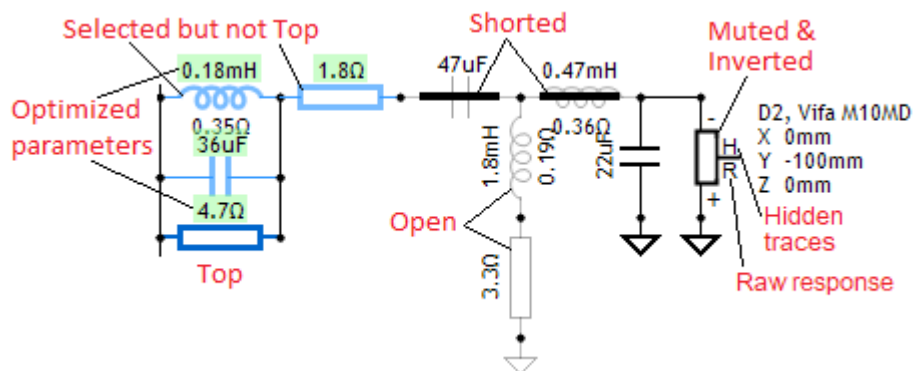
Tune block... (调整模块)	打开窗口以调整所选模块的用户参数。
Clear selected (清除所选)	清除所选元件的 Part #。在执行 Number blanks 命令之前使用很有帮助。
Clear all (全部清除)	清除所有元件的 Part #。有助于在执行 Renumber all 时发现未编号的元件。
Driver layout... (单元布局)	打开表格视图，用于修改单元位置或创建线阵列。
Copy image (复制图像)	将分频器原理图图像复制到剪贴板
Export image (导出图像)	将分频器原理图图像导出为文件。

分频器原理图下方的按钮：



Open (开路)	与右键菜单中的 Open 命令相同。快捷键为 Ctrl+O。
Short (短路)	与右键菜单中的 Short 命令相同。快捷键为 Ctrl+S。
Invert (反相)	与右键菜单中的 Invert 命令相同。快捷键为 Ctrl+I。
Mute (静音)	与右键菜单中的 Mute 命令相同。快捷键为 Ctrl+M。
Rotate (旋转)	与右键菜单中的 Rotate 命令相同。快捷键为 Ctrl+R。
Hide (隐藏)	与右键菜单中的 Hide traces 命令相同。快捷键为 Ctrl+H。

元件状态的可视化显示：



Comment text (注释文本)

除普通文本外，注释还可以包含指向本地文件的单个链接，或用空格或换行分隔的多个 URL 地址。含 URL 的注释文本可以在链接之前、之间或之后包含普通文本。双击一次即可同时打开所有 URL。如果链接文本以应用程序名称开头（例如 onenote:https://），并在双击时按住 Shift 键，则链接会用桌面应用程序打开。

Biquad coefficients with 'miniDSP' and 'Platin SM' and 'Generic - a12' ('miniDSP'、'Platin SM' 和 'Generic -a12' 的双二阶系数)

$$H_{biquad}(z) = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}}{1 - a_1 \cdot z^{-1} - a_2 \cdot z^{-2}}$$

系数 a1 和 a2 的符号为负，a0 归一化为 1。

例如 3 阶 Butterworth 低通 1000 Hz：

```
biquad1,
b0=0.004015505022858,
b1=0.008031010045716,
b2=0.004015505022858,
a1=1.86140844453211,
a2=-0.877470464623539,
biquad2,
b0=0.061511768503622,
b1=0.061511768503622,
b2=0,
a1=0.876976462992757,
a2=0,
```

Biquad coefficients with other DSP systems (其他 DSP 系统的双二阶系数)

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

系数与 Robert Bristow-Johnson 的《Cookbook formulae for audio EQ biquad filter coefficients》兼容。

例外：使用 Generic DSP 时，系数被归一化为 a0=1。

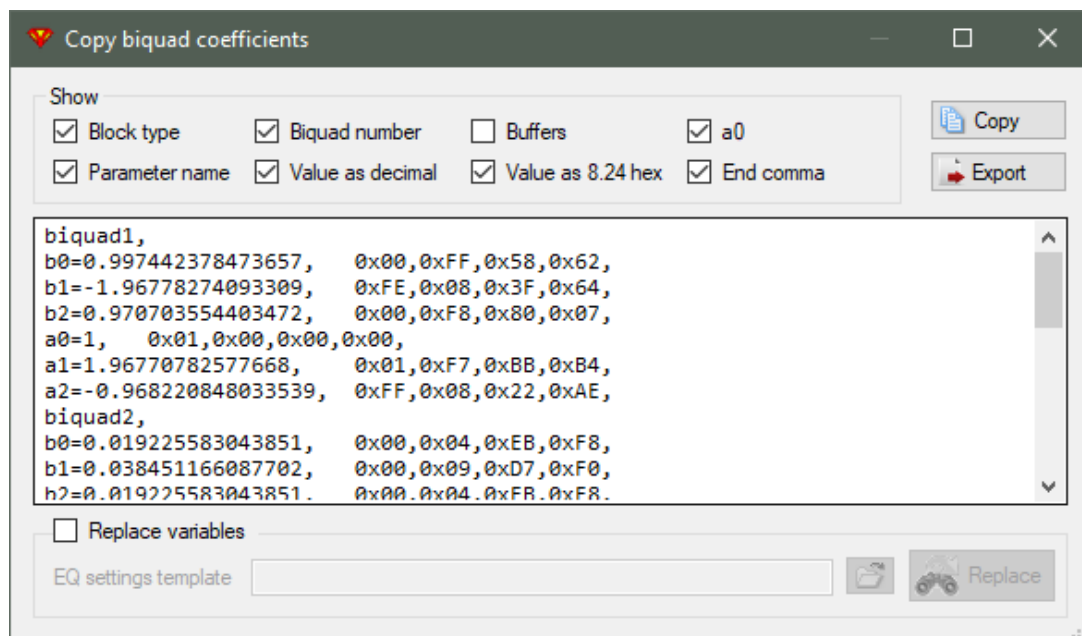
例如 3 阶 Butterworth 低通 1000 Hz：

```

biquad1,
b0=0.001070538380698,
b1=0.002141076761397,
b2=0.001070538380698,
a0=1.03270156461507,
a1=-1.99571784647721,
a2=0.967298435384928,
biquad2,
b0=0.031698896003969,
b1=0.031698896003969,
b2=0,
a0=1,
a1=-0.936602207992062,
a2=0,

```

Copy biquad coefficients window (复制双二阶系数窗口)



所选的 IIR 模块可以复制或导出为数字双二阶滤波器系数 b0...a2。有源缓冲器的参数也可以复制/导出。

勾选 'Block type (模块类型)' 会在系数/参数行之前添加 'biquad' 或 'buffer' 文本。

'Biquad number (双二阶编号)' 为每个双二阶添加连续编号。

'Buffers (缓冲器)' 显示有源缓冲器的增益、延时 (以采样点计)、反相和取消静音参数。

'a0' 显示系数 a0, 无论其是否归一化为 1。

'Parameter name (参数名)' 显示每个系数 (b0=、b1=、b2=、a0=、a1=、a2=) 或参数的名称。

'Value as decimal (十进制数值)' 或 'Value as 8.24 hex (8.24 十六进制数值)' 或两者都选, 用于显示系数/参数的值。

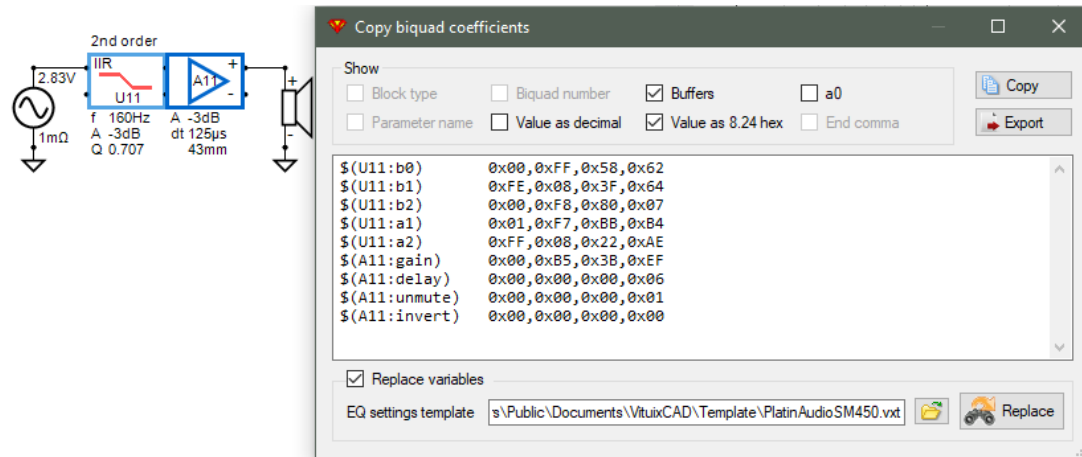
'End comma (行尾逗号)' 在所有行末添加逗号。

Copy (复制) 按钮将全部内容复制到剪贴板。Export (导出) 按钮可直接保存为文本文件, 以便载入其他应用程序 (如 AD SigmaStudio)。可以用 Ctrl+C 或右键 Copy 将选中的部分文本复制到剪贴板。

如果 DSP 系统为 miniDSP，并在执行复制/导出命令时按住 Shift 键，则至少会创建八（8）个双二阶模块。

注意！复制双二阶系数前，请先在 Options（选项）窗口中选择正确的 DSP 系统。FIR、传递函数文件、无源以及开路/短路的模块将被忽略。不检查双二阶滤波器的稳定性。

EQ settings template (EQ 设置模板)



勾选 'Replace variables（替换变量）' 可基于模板（默认扩展名 .vxt）生成 EQ 设置文本文件。模板文件包含静态文本和变量，变量将被替换为文本框中的系数/参数值。根据目标系统的不同，数值可以是十进制或 8.24 十六进制。变量的格式为 '\$(' + 名称 + ')'. 名称由 Part # + 冒号 (:) + 系数/参数名生成。例如：

\$(U11:b0)、\$(U11:b1)、...、\$(U12.1:a2) 表示 2 阶 IIR 模块，Part # = U11。

\$(A11:gain)、\$(A11:delay)、\$(A11:unmute)、\$(A11:invert) 表示缓冲器模块，Part # = A11。

注意！缓冲器的增益为绝对值 $10^{(dB/20)}$ ，延时四舍五入为采样点数，静音=0，反相=1。

如果 LP/HP 滤波器模块的阶数高于 2，则需要在 Part # 之后加上句点 (.) 和 1-4 的连续编号。例如：

\$(U12.1:b0)、\$(U12.1:b1)、...、\$(U12.1:a2) 是 Part # = U12 的第 1 级。

\$(U12.2:b0)、\$(U12.2:b1)、...、\$(U12.2:a2) 是 Part # = U12 的第 2 级。

通用变量：

\$(filename) 是不含目录和 .vxp 扩展名的项目文件名。

\$(description) 是 Drivers（单元）选项卡中可见的 Description（描述）文本。

\$(variant) 是分频器变体编号 1-8。

点击 Replace（替换）按钮创建并保存 EQ 设置文件。默认扩展名为 .txt。

Zooming（缩放）

点击 1:1 按钮可将原理图缩放到标称的 10 像素/吸附单位。

点击 Fit（适应）按钮可使元件适应绘图区域（在缩放范围限制内）。

可以用 Ctrl + 鼠标滚轮放大/缩小图像。缩放范围为标称 10 px/吸附单位的 70%...300%。

Parameters（参数）

Shape
2nd order
N
2

Opt	Name	Value	Unit	Min	Max	Expression
☒	f	1000	Hz	5	40000	
☐	Q	0.707		0.1	10	

Opt	Name	Value	Unit	Min	Max	Expression
☒	L	4.7	mH	0.001	100000	L1
☐	DCR	1.1	Ω	0.01	100	
☐	Wire	1.4	mm	0.1	10	

Driver
Vifa M10MD

Opt	Name	Value	Unit	Min	Max
☒	X	0	mm	-2000	2000
☐	Y	-100	mm	-2000	2000
☐	Z	0	mm	-2000	2000
☐	R	0	deg	-180	180
☐	T	0	deg	-180	180

选中元件后，相应参数会显示到列表中，并显示附加的列表框。元件值可以直接输入到 Value（数值）字段。Value 字段支持公制词头：p、n、u、m、k、M、G、T。此外，元件值可通过 Alt+上/下方向键、右侧的箭头按钮或鼠标滚轮来增减。鼠标滚轮悬停在所选元件上也可调整参数。增量由元件的 Snap（吸附）值决定。可选值为 5 %、E12、E24 或 E48。

如果勾选了 Opt 字段，该参数将参与频率响应优化。否则该参数被排除，现有值被锁定。参见 Optimize（优化）。

Min 和 Max 字段用于限制手动调整和优化时的参数取值范围。

Expression（表达式）字段可包含变量名或用于计算参数值的完整表达式。计算得到的值为只读，以灰色背景显示。参见 Library blocks（库模块）。

Variants（变体）

变体是分频器的不同开发阶段，或针对不同单元、不同 DSP 设备/应用的版本。

S#（保存）按钮将可见原理图的副本（精确克隆）创建到所选变体存储区。所有更改会自动保存到当前可见变体，无需再次点击 S# 按钮。

可用的 R#（调用）按钮表示该变体已存在。点击 R# 按钮可将已有变体载入原理图。

点击已启用的 R# 对应的 S# 按钮，可以用当前可见原理图覆盖其他变体。程序会询问确认 'Overwrite existing crossover variant #?（是否覆盖已有的分频器变体 #?）'。

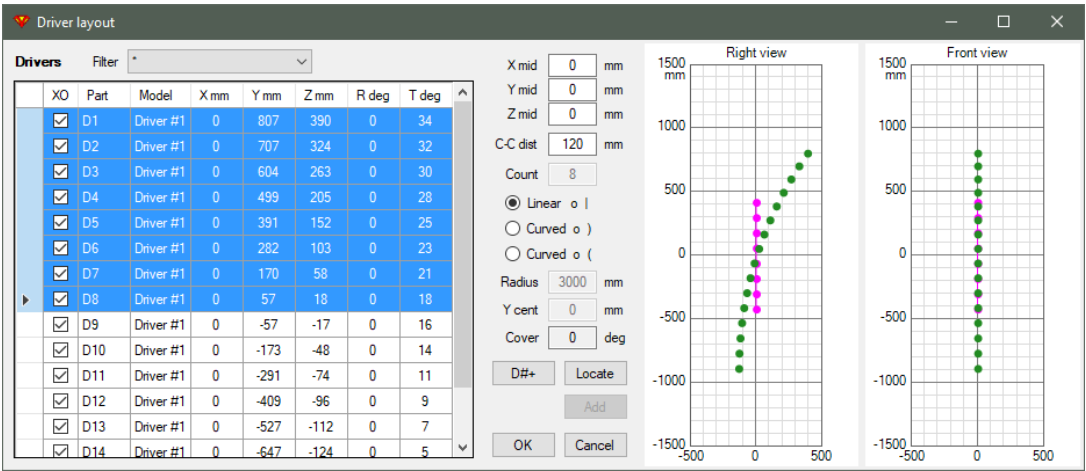
按住 Ctrl 键点击 R# 按钮可删除变体。程序会询问确认 'Delete crossover variant #?（是否删除分频器变体 #?）'。

分频器变体会保存到项目文件（.vxp）中，供下次会话使用。#1 与 VituixCAD 2.0 最早的项目文件版本兼容。

警告！ 用 S/R 按钮切换变体时，撤销缓冲区会被清空。

Driver layout（单元布局）

Driver layout（单元布局）窗口允许通过表格控件更改单元的 Part #、位置（XYZ）、旋转（R）和倾斜（T），或添加新的单元构成直线或曲线阵列。



Drivers（单元）表包含分频器中已有的单元实例。可用 Filter（筛选）组合框过滤列表。点击列标题可按 Part # 或 Y mm 对行排序。若单元存在于分频器中，XO 单元格会被勾选。

图表中的绿点表示 Drivers 表中已有的位置（初始为分频器中已有的位置）。洋红色虚线/曲线表示用线阵列参数计算得出的位置（位于中间），但尚未被接受写入 Drivers 表。

线阵列计算器的参数：

X mid（X 中）	阵列中点的水平位置，相对于听音轴。
Y mid（Y 中）	阵列中点的垂直位置，相对于听音轴。
Z mid（Z 中）	阵列中点的距离偏移，相对于原点，即障板表面上设计/听音轴的端点。
C-C dist（中心距）	单元之间的中心到中心距离。曲线阵列时沿弧长计算。
Count（数量）	阵列中单元的数量。添加新单元时可用。

阵列类型

Linear （线性 ）	垂直到直线。
Curved o)（曲线 o)）	焦点位于音箱前方的曲线阵列。
Curved o (（曲线 o (）	焦点位于音箱后方的曲线阵列。例如 CBT。

曲线阵列的参数

Radius（半径）	曲线阵列的半径。
Y cent（Y 中心）	弧线中心点的垂直位置，相对于听音轴。
Cover（覆盖）	计算得出的"扇区"覆盖角。

参数 Part #、X、Y、Z、R 和 T 可以在表格中手动修改。用 OK 按钮接受更改并关闭窗口。Cancel（取消）按钮关闭窗口，不将更改保存到分频器。

在顶部单元格中输入首个 Part #，选中要重新编号的单元格（包括首个单元格），然后点击 D#+ 按钮，即可对单元重新编号。

通过左上角或行标题选择整行，以便使用线阵列参数计算新的位置和倾斜角。选择阵列类型，调整参数直到洋红色虚线曲线合适，然后用 Locate（定位）按钮将更改应用到 Drivers 表。

用 Filter（筛选）组合框选择单元，以便向表中添加新单元。此时不应选择整行。选择阵列类型，调整参数直到洋红色虚线曲线合适，然后用 Add（添加）按钮将单元添加到表中。可以将新单元作为整行选中，用计算器修改其位置。用 OK 按钮接受更改并将新单元添加到分频器。新单元将以最大 8×8 的矩阵形式添加，起始固定位置为 43,9。

Creating library blocks（创建库模块）

创建新的库模块的方法是：在分频器中选择元件，然后执行 File->Create library block（文件->创建库模块）。此时会打开模块属性编辑器。程序会将所选元件的全部参数列到 Component parameters（元件参数）表中。用户有几种选择：

- a) 如果元件值可能因滤波类型（如 Bessel 或 Butterworth）而不同，则在元件的 Expression（表达式）字段中输入变量名，并将带有数学表达式的变量添加到 Block attributes（模块属性）列表中。
- b) 如果该模块没有变体，且元件值可以直接由用户参数计算得出，则公式可以放在元件参数的 Expression（表达式）字段中。
- c) 以上两种方式的混合。中间结果值得用模块属性中的表达式来计算，以使元件表达式更简短（减少重复）。模块属性的计算顺序是从上到下。

示例：公式放在模块属性中（左），公式放在元件参数中（右）。

Block: Passive Low pass 2nd order.vxl

f?

Q?

Z?

A?

t?

▲

▼

Option

Bessel

▼

Test

Block attributes

	Option	Ask	Name	Value	Min	Max	Unit	Expression
▶		☒	f	1000	10	24000	Hz	Low pass frequency
		☒	Z	8	1	100	Ω	Load impedance
	Bessel	☐	L1	1.7336	0.001	10000	mH	$216.7 \cdot Z/f$
	Bessel	☐	C1	9.025	0.0001	100000	uF	$72200/Z/f$
	Butterworth	☐	L1	1.8008	0.001	10000	mH	$225.1 \cdot Z/f$
	Butterworth	☐	C1	14.0625	0.0001	100000	uF	$112500/Z/f$

Component parameters ☐ Filter

Part #	Opt	Name	Value	Unit	Expression
L1	☐	L	1.73	mH	L1
L1	☐	DCR	0.2	Ω	
L1	☐	Wire	1	mm	
C1	☐	C	9.02	uF	C1
C1	☐	ESR	0.01	Ω	

OK Cancel

Block: Passive All-pass 2nd order.vxl

f?

Q?

Z?

A?

t?

▲

▼

Option

▼

Test

Block attributes

	Option	Ask	Name	Value	Min	Max	Unit	Expression
▶		☒	f	1000	10	40000	Hz	Frequency
		☒	Q	0.577	0.2	5		Q factor
		☒	Z	8	1	100	Ω	Load impedance
*		☐						

Component parameters ☐ Filter

Part #	Opt	Name	Value	Unit	Expression
C1	☐	C	11.5	uF	$Q/2/\pi/f/Z \cdot 1E6$
C1	☐	ESR	0.01	Ω	
L1	☐	L	2.21	mH	$Z/2/\pi/f/Q \cdot 1E3$
L1	☐	DCR	0.2	Ω	
L1	☐	Wire	1	mm	

OK Cancel

勾选 Ask 字段可向用户提问。行可以手动添加，也可以用快捷按钮初始化：f?（频率）、Q?（Q 值）、Z?（阻抗）、A?（增益）、t?（时间）。如果该行适用于所有变体，或模块没有变体，则 Option 字段留空（或填 *）。Value 字段保存初始/默认值。计算得到的值也被限制在 Min...Max 范围内。Unit（单位）和 Expression（表达式）字段在 Tune block（调整模块）窗口中仅作信息显示。

变量名应以字母开头，大小写均可。如果名称中包含数字，数字必须放在末尾。

支持的数学和逻辑运算符：^、+、-、/、*、%、>、<、==、&&、!=、||、!、>=、<=

函数：cos、sin、tan、acos、asin、atan、cosh、sinh、tanh、cotan、acotan、exp、ln、log、sqrt、round、ceil、floor、abs

常量：euler、pi、infinity、true、false

括号：(、)

注意！ 表达式中的小数点必须是句点 (.)

行的顺序可用上/下箭头按钮更改。初始/默认选项用 Option 组合框选择。点击 Test (测试) 按钮或更改 Option，表达式会被求值并填入 Value 单元格。

右键菜单包含：Cut (剪切)、Copy (复制)、Paste (粘贴)、Delete (删除行)、Duplicate (复制行)、Append (追加行) 和 Replace (替换)。按 F2 修改单元格值。

模块属性和元件参数确认无误后，点击 OK 按钮继续。随后在弹出的"另存为"对话框中选择文件名。库模块菜单中显示的图像是保存模块时自动生成的 png 文件。

已有库模块的属性可用 File->Edit library block parameters (文件->编辑库模块参数) 命令修改。用左侧工具栏中的小打开按钮打开模块。Save (保存) 按钮会不经确认地覆盖已有模块。

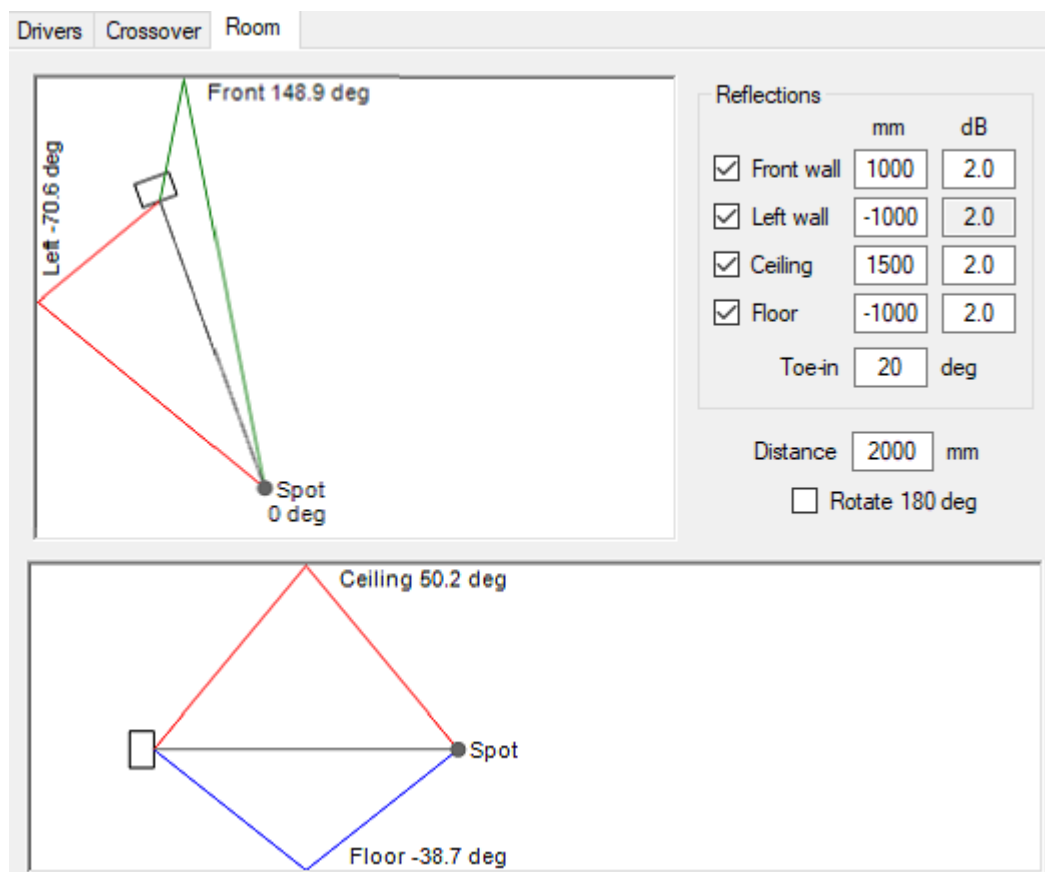
Room (房间) 选项卡

Reflections (反射)

CTA-2034 图中显示的含房间反射的响应，可以包含左侧墙、前墙、地面和天花板的反射，通过 Room (房间) 选项卡中的复选框选择。用文本框调节从音箱原点 (0,0,0 mm) 到反射面的距离，以及偏离左侧墙的旋转角度 (内八字/toe-in)。左墙 X 和地面 Y 为负值。两侧墙、天花板和地面都可设置可调的吸声量 (dB)。距离等于 Options (选项) 窗口中的 Listening distance (听音距离) 设置：从音箱原点到虚拟话筒/耳朵的距离。

Room (房间) 选项卡中会以俯视图和左视图显示位置和反射"射线"以及出射角。

含反射的房间响应被缩放 -10 dB 以适应 CTA-2034 图表。当显示含反射的响应时，预测室内响应 /CTA-2034-A 会被隐藏。



注意！ 仿真前墙反射需要配合 Mirror missing（镜像缺失）使用完整的 0-180° 测量数据。

Driver offset（单元偏移）

Driver offset

Planes
0
deg

X
0
Y
0
mm

R
0
T
0
deg

Relocate

仿真的水平面和垂直面可以用 Planes [deg]（平面）参数绕音箱原点 (X,Y=0,0) 旋转 -90...+90°。虚拟话筒的两个仿真轨道都绕 Z 轴旋转给定角度 phi。正值表示逆时针。

可以用 X、Y [mm] 参数临时移动分频器中的所有单元实例。这样可以例如仿真不同的听音高度和非常小的离轴角（在参考角步长以内），而无需永久改变分频器中单元实例的位置。X 向右为正，Y 向上为正。

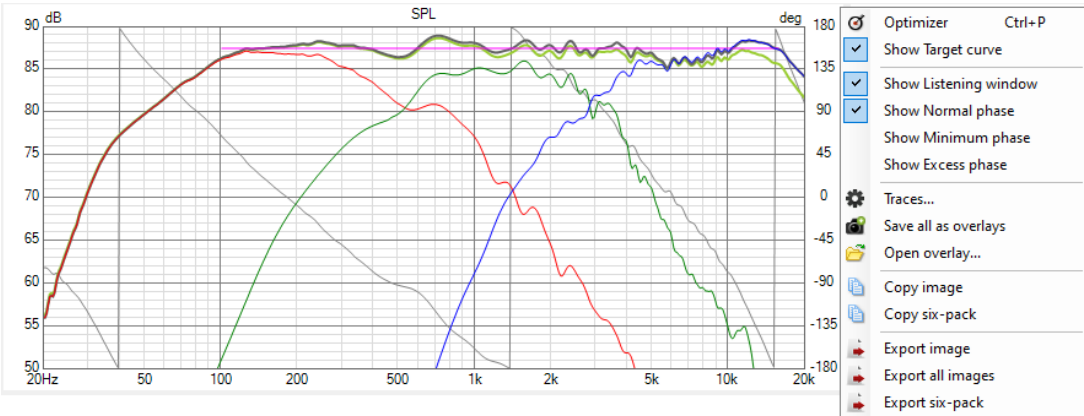
可以用 R [度] 和 T [度] 参数临时绕音箱原点 (X,Y,Z=0,0,0) 旋转或倾斜分频器中的所有单元实例。

用 Relocate（重新定位）按钮可以按 X、Y 移动并按 R、T 旋转/倾斜分频器中的单元实例，永久生效（该按钮同时会重置 X、Y、R 和 T）。

勾选 'Rotate 180 deg（旋转 180°）' 可将音箱在水平面内旋转 180 度。

Graphs（图表）

SPL

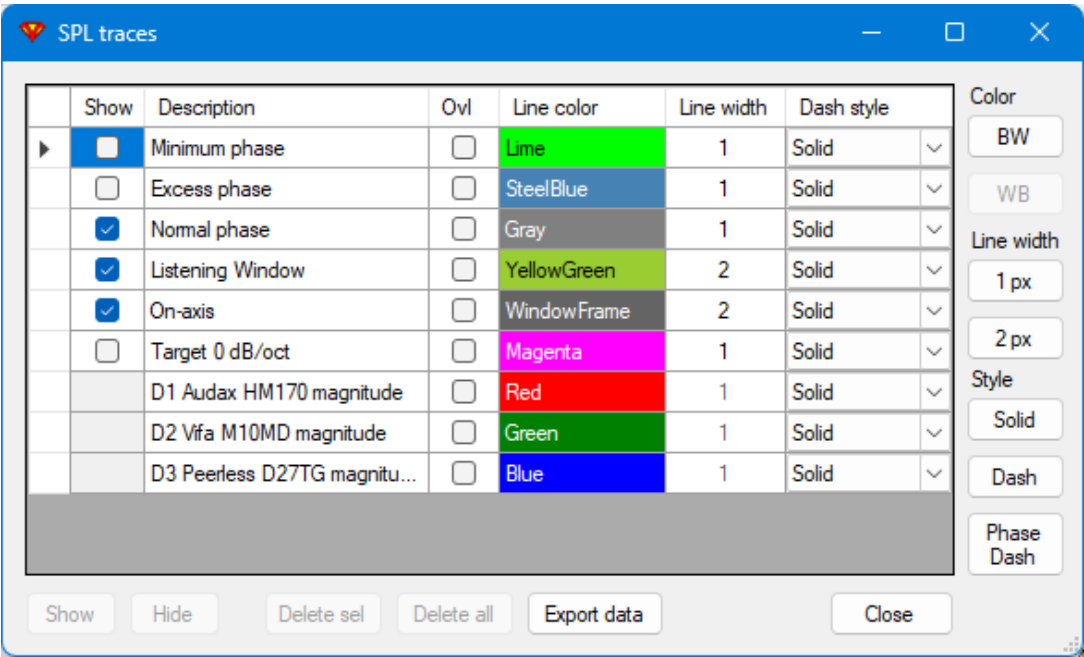


默认情况下，SPL 图显示总 SPL、听音窗、目标曲线、各个单元的 SPL 以及常规相位。所有曲线都是参考角方向的响应，参见"频率响应"。曲线配色：

- 轴上/参考轴：WindowFrame（窗框色）
- 听音窗：YellowGreen（黄绿色）
- 常规相位：Gray（灰色）。可选，在右键菜单中取消勾选 Show Normal phase 可隐藏。
- 最小相位：Lime（亮绿色）。可选，在右键菜单中勾选 Show Minimum phase 可显示。
- 过剩相位：SteelBlue（钢蓝色）。可选，在右键菜单中勾选 Show Excess phase 可显示。
- 各个单元的 SPL。参见工具提示或 Traces...（曲线）以识别单元。
- 可调的 SPL 目标曲线：Magenta（洋红色）。可选，在右键菜单中取消勾选 Show Target line 可隐藏。

按住 Shift 或 Ctrl 键用鼠标拖动曲线端点，可以调整 SPL 目标。这是优化参考轴响应的目标。参见 Optimize（优化）。

Chart traces and overlays（图表曲线与叠加）



图表右键菜单中的 **Traces... (曲线)** 命令打开属性窗口，允许用户更改每条曲线的可见性、描述、颜色、线宽和线型。

用 'Delete sel (删除所选)' 按钮删除所选的叠加曲线。

用 'Delete all (全部删除)' 按钮删除所有叠加曲线。

用 'Export data (导出数据)' 按钮将全部或所选曲线的数据点导出并复制到剪贴板。按住 Shift 键可反转 Y 值的列顺序。txt 文件的数字格式为不变格式：小数点为句点 (.)，无千位分隔符。csv 文件的数字格式和列表分隔符由 Windows 控制面板定义。

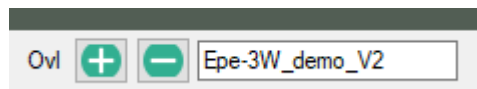
可通过行标题或左上角进行多选。瀑布图和曲面图的线条颜色与填充颜色可从 "命名颜色" 列表中选择，或用标准的颜色对话框选择。按住 Ctrl 键点击 Traces 窗口中的颜色单元格，可切换默认的颜色选择窗口。线型用组合框选择。可用样式有 Solid (实线，默认)、Dash (虚线)、DashDot (点划线)、DashDotDot (双点点划线) 和 Dot (点线)。

Color BW (黑白) 按钮将所选/所有曲线改为文本颜色，区域填充改为图表背景色。WB (白底) 按钮将区域填充改为图表背景色。

线宽 '1 px' 按钮将所选/所有行的线宽改为 1 px。'2 px' 按钮将线宽改为 2 px。

Style Solid 按钮将所选/所有行的线型改为实线。Dash 按钮将线型改为虚线。'Phase Dash' 按钮将相位响应的线型改为虚线。

图表右键菜单中的 **Save as overlay (另存为叠加)** 将所选 (加粗) 曲线保存为叠加曲线；若未选中任何曲线，则将所有可见曲线保存为叠加。叠加曲线不能再次叠加。



点击图表 6 联区上方的 Ovl (+) 按钮，可将所有图表中的曲线保存为叠加。右侧文本框中的内容会作为每条叠加曲线名称的后缀。用 (-) 按钮清除所有图表中的叠加。

右键菜单中的 **Open overlay... (打开叠加)** 命令打开标准的文件打开对话框以供选择。响应文件 (txt、frd、lms、zma) 可以作为叠加曲线载入。如果图表有两条 Y 轴，可选择 'Left Y axis (左 Y 轴)'、'Right Y axis (右 Y 轴)' 或 'Both (两者)'。

也支持通过拖放方式将文件放入图表区域。如果文件被拖放到靠近左侧 Y 轴的位置，曲线按左 Y 轴缩放。如果文件被拖放到靠近右侧 Y2 轴的位置，曲线按右 Y 轴缩放。

可用 Shift + 鼠标滚轮或 Ctrl + Shift + 鼠标滚轮缩放所选的叠加曲线。若未选中任何曲线，则缩放所有可见的叠加曲线。

每张图表的曲线总数 (含叠加) 上限为 37 条。

Copy image (复制图像)

图表右键菜单中的 **Copy image (复制图像)** 命令将图像以位图形式复制到剪贴板。包含带曲线名称的图例区。不含图例的图像尺寸在 Options (选项) 窗口的 Image export (图像导出) 组中指定。

Copy six-pack (复制六联图) 命令将全部六张图表以位图形式复制到剪贴板。不包含图例区。每张图表的图像尺寸在 Options 窗口的 Image export 组中指定。

Export image (导出图像)

图表右键菜单中的 **Export image (导出图像)** 命令将图像导出到文件。支持的文件格式：PNG、BMP、EMF、EXIF、ICON、JPEG、GIF、TIF、WMF、SVG。推荐格式为 PNG 和 SVG。包含带曲线名称的图例区。不含图例的图像尺寸在 Options (选项) 窗口的 Image export 组中指定。

Export all images (导出所有图像) 命令对全部六张图表执行 'Export image' 命令。包含图例区。

Export six-pack (导出六联图) 命令将全部六张图表导出到单个文件。不包含图例区。每张图表的图像尺寸在 Options (选项) 窗口的 Image export 组中指定。

Maximum and span (最大值与跨度)

SPL、CTA-2034 和未归一化的 Directivity (指向性) 图的 Y 轴最大值默认自动调整。勾选 SPL 图左侧的 SPL max, 可通过文本框手动设置。手动值会保存到项目文件中。



SPL、CTA-2034 和 Directivity 图的跨度 (dB 范围) 可用 Expand SPL scale (扩展 SPL 刻度) 和 Compress SPL scale (压缩 SPL 刻度) 按钮调整。可用跨度为 20、25、30、35、40、45、50、60、70、80 和 90 dB。初始值在 Options (选项) 窗口中定义。

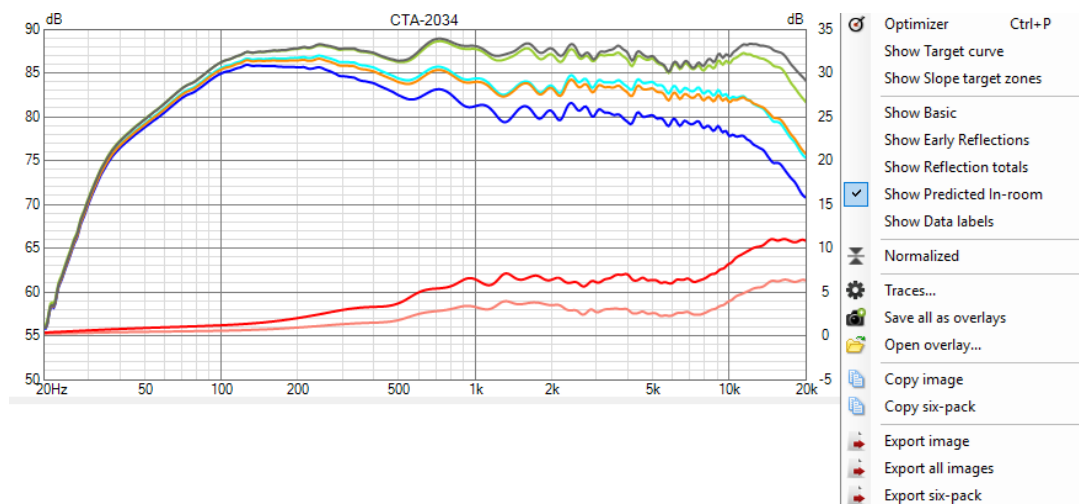
此外, 当鼠标光标靠近左侧 Y 轴时, 可用鼠标滚轮调整 Y 轴最大值, 用 Ctrl + 鼠标滚轮调整跨度 (仅 dB)。例外: Directivity 图跟随 SPL 图的最大值和跨度设置。

当鼠标光标靠近右侧 Y2 轴时, 可用鼠标滚轮调整 Y2 轴最大值, 用 Ctrl + 鼠标滚轮调整跨度 (仅 dB)。例外: 指向性指数与 SPL 共用跨度, 其最大值 = 跨度 - 主网格间隔。相位角的 Y2 刻度固定为 +180...-180°。

Zooming (缩放)

在图表区域中间双击, 可将任一图表放大到全屏, 再双击返回仪表盘视图。

CTA-2034



此图显示轴上/参考轴总 SPL (WindowFrame)、听音窗 (YellowGreen)、预测室内响应 /CTA-2034-A 或含一阶房间反射的响应 (DarkOrange)、声功率 (Blue) 以及声功率 DI (Red)。

Show Slope target zones (显示斜率目标区) 切换 ON-LW、PIR、SP 和 SPDI 在 100-16000 Hz 的推荐斜率目标范围的显示。

Show Basic (显示基本项) 命令显示轴上/参考轴、听音窗、预测室内响应、早期反射、声功率、声功率 DI 和早期反射 DI。

隐藏墙面、地面和天花板反射声、垂直反射、垂直反射 DI、水平反射和水平反射 DI。

Show Early Reflections (显示早期反射) 命令显示前墙反射、侧墙反射、后墙反射、地面反射、天花板反射以及早期反射。

隐藏轴上/参考轴、听音窗、预测室内响应、声功率和声功率 DI。

同时在图表标题中显示临时的 'Early Reflections' 文本。

Show Reflection totals (显示反射总量) 命令显示垂直反射、垂直反射 DI、水平反射和水平反射 DI。

Show Predicted In-room (显示预测室内响应) 切换预测室内响应的显示。

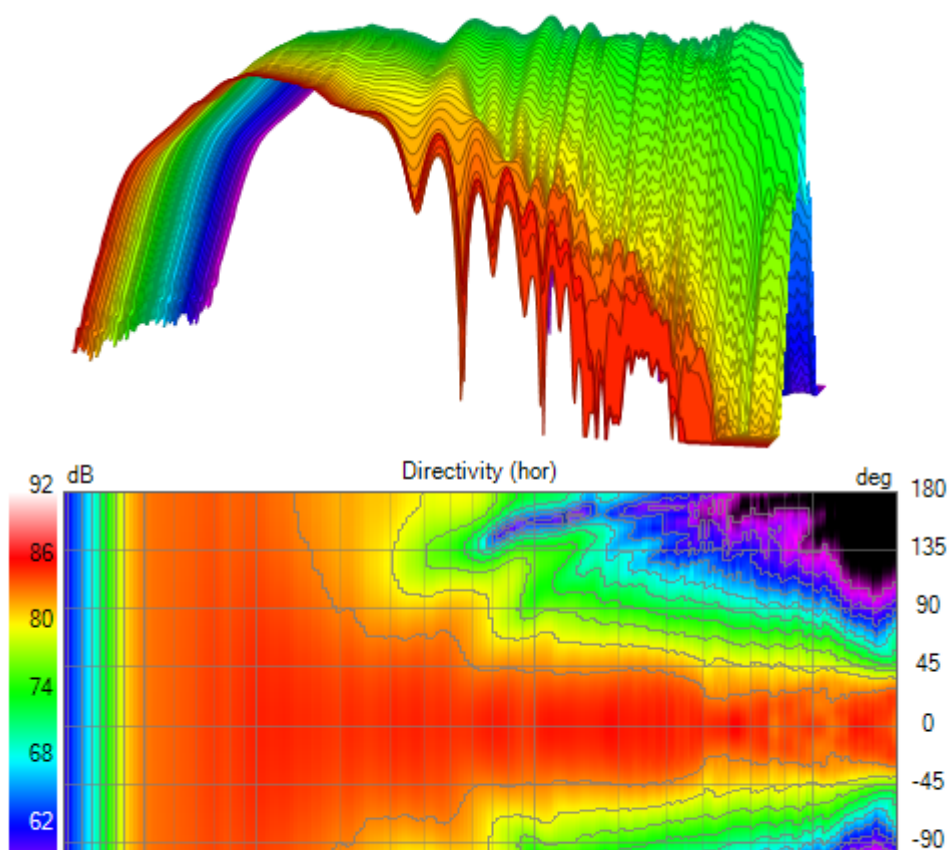
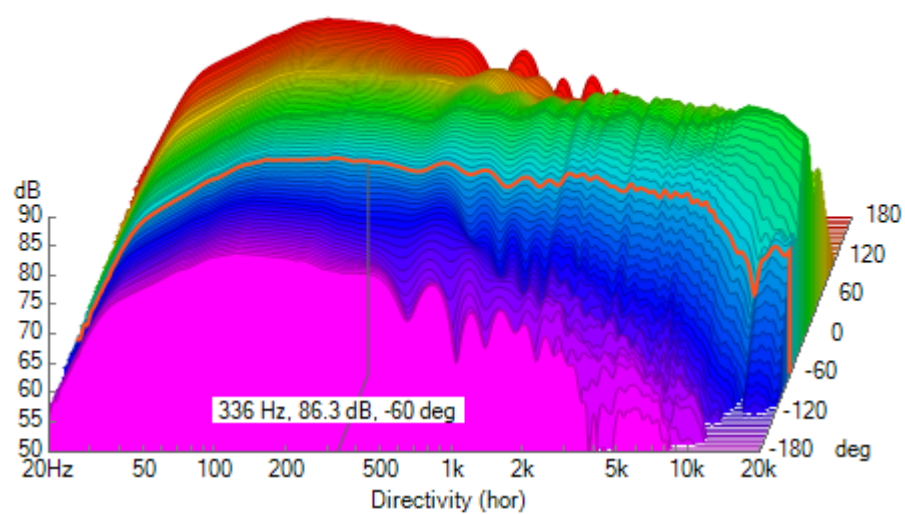
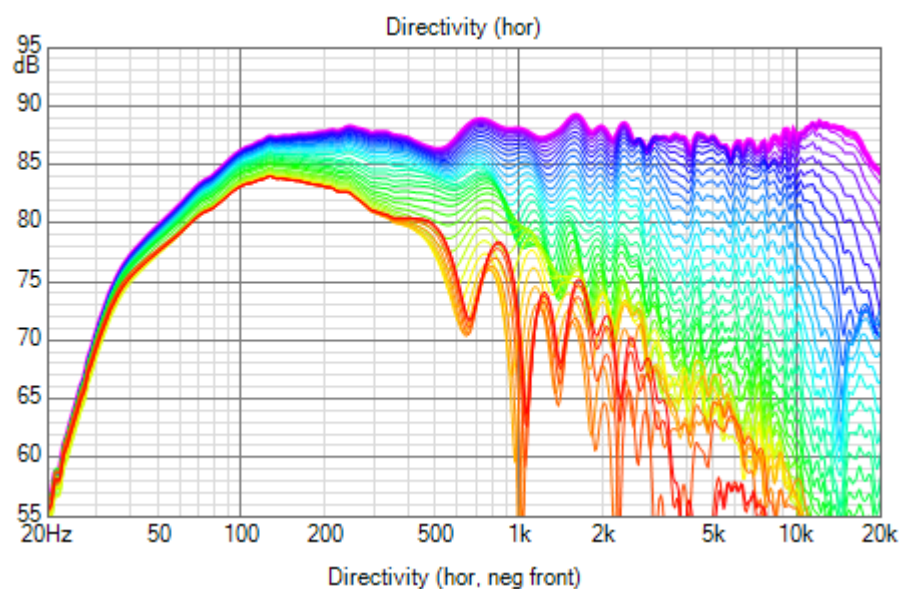
Show Data labels (显示数据标签) 切换 ON、LW、ER、PIR、SP、SPDI 和 ERDI 在 100-16000 Hz 的平滑度 (SM) 和斜率 (dB/oct) 的显示。

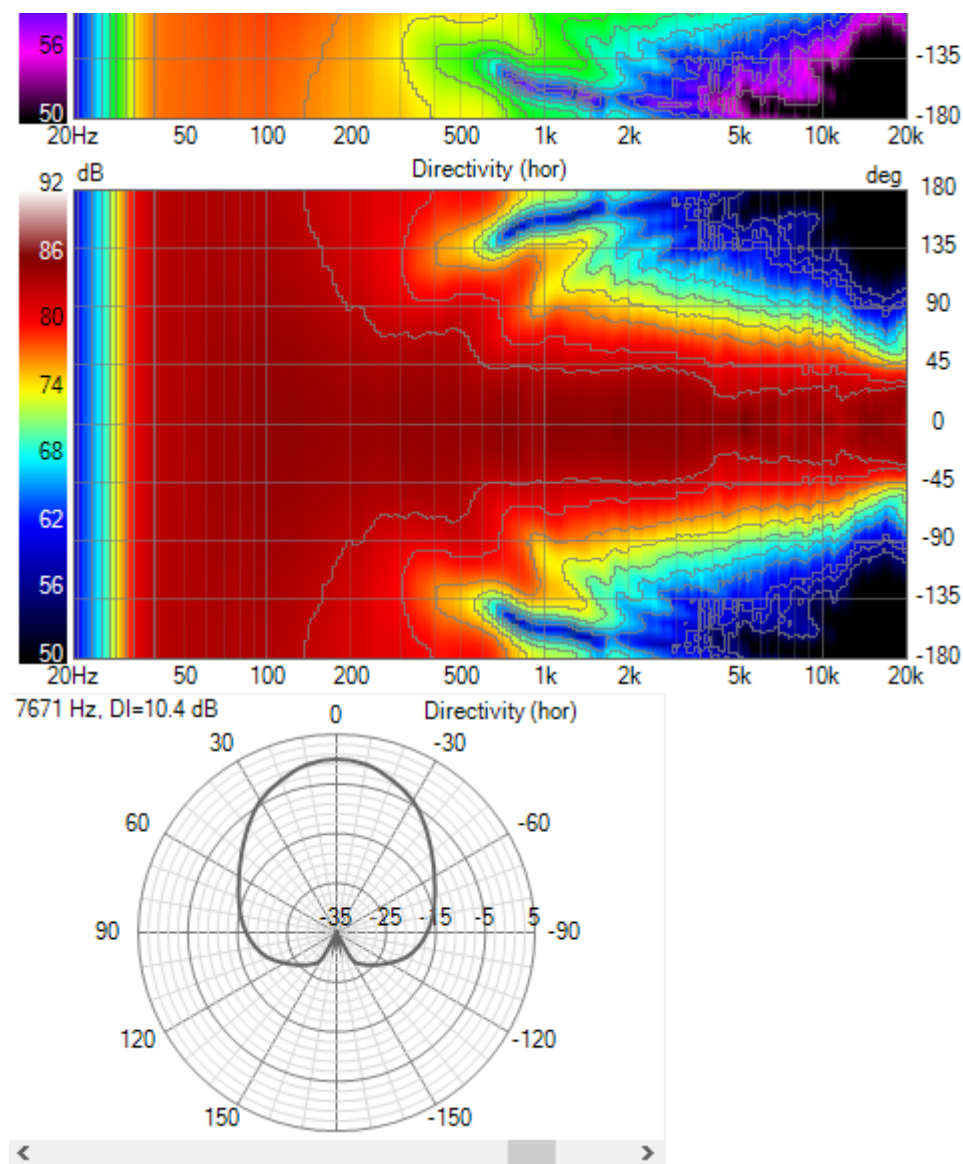
Normalized (归一化) 显示为相对于参考角的平直频率响应。

更多信息请下载 [Standard Method of Measurement for In-Home Loudspeakers \(ANSI/CTA-2034-A R-2020\)](#)。参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays (图表叠加)。

图中还有一条可调的目标曲线 (洋红色)，通常针对声功率 (蓝色) 设置。按住 Shift 或 Ctrl 键用鼠标拖动曲线端点可调整目标。这是优化功率响应的目标。参见 Optimize (优化)。

Directivity (指向性)





此图以折线图、瀑布图、曲面图、极坐标映射（又称热力图）或极坐标图的形式显示指向性仿真。仿真离轴方向的密度通过 Options（选项）窗口中的 Angle step（角度步长）列表框选择。参考角方向的响应以粗线强调显示（极坐标映射除外）。

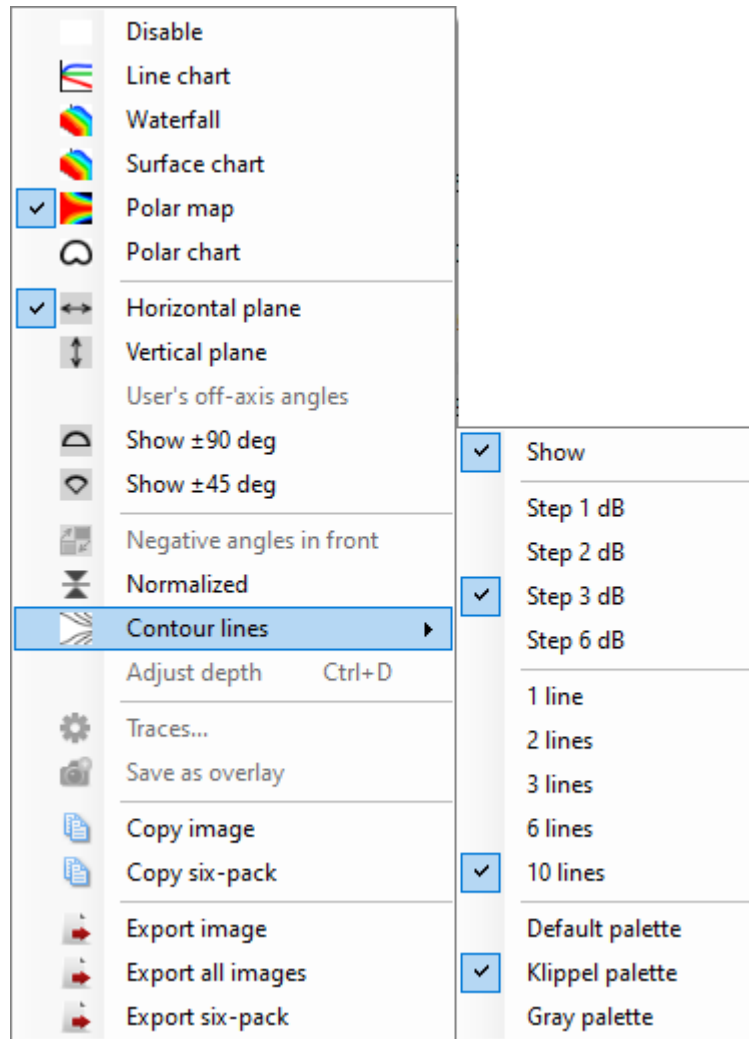
折线图：鼠标光标下方的曲线会高亮显示。点击曲线可锁定高亮。点击图表区域可解锁。

瀑布图：用鼠标滚轮选择高亮的离轴曲线。左右移动鼠标调节频率。按住鼠标左键上下移动（或 Ctrl + 鼠标滚轮）调节深度。

曲面图：按住鼠标左键移动鼠标调节图像旋转和倾斜。旋转和倾斜的限值为 10...170°。用鼠标滚轮调节图像大小/距离。用 Ctrl + 鼠标移动平移图像。用 Ctrl + 鼠标滚轮调节深度。

极坐标图：用图表区域下方的水平滚动条调节频率。

指向性图的右键选项菜单（在图上右键点击）：



勾选 User's off-axis angles（用户的离轴角度）将显示 Options（选项）窗口中列出的方向（极坐标图除外）。

勾选 Show ± 90 deg 可隐藏半空间以外的离轴角度。

勾选 Show ± 45 deg 可隐藏八分之一空间以外的离轴角度。

勾选 Negative angles in front（负角度在前）将反转图表的角度轴。

勾选 Normalized（归一化）将显示为相对于参考角的平直响应。

勾选 Contour lines（等高线）→ Show（显示）将在极坐标映射中显示电平范围的边界。可从子菜单选择电平步长：1、2、3 或 6 dB。可从子菜单选择等高线数量：1、2、3、6 或 10 条。Klippel 调色板从深红开始、以深蓝结束，与使用完整线性色环的调色板相比，绿色少得多且不含洋红色。

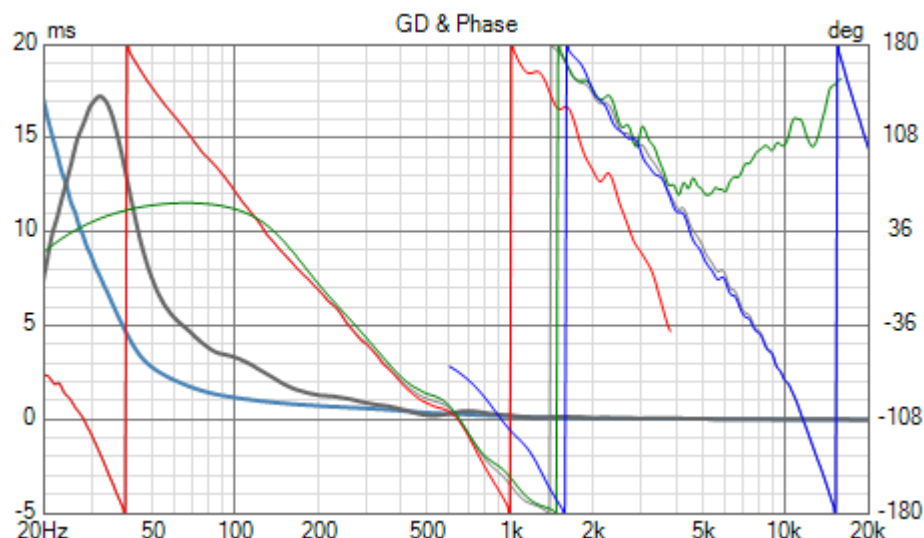
Adjust depth（调整深度）可通过输入数值来缩放瀑布图和曲面图的角度轴。

可用 Traces... 窗口临时调整曲线的颜色、线宽和描述。

Save as overlay（另存为叠加）仅适用于极坐标图。

图表标题显示当前显示的平面。'hor' 和 'ver' 文本表示未旋转的平面。如果在 Drivers（单元）选项卡中用 Microphone offset（话筒偏移）的 Planes [deg] 参数绕 Z 轴旋转了仿真平面，图表标题会显示所显示平面的方位角 phi。在指向性图的右键菜单中选择 Horizontal plane（水平面）时，phi 范围为 $-45 \dots \text{hor} \dots +45^\circ$ 。选择 Vertical plane（垂直面）时，phi 范围为 $+45 \dots \text{ver} \dots +135^\circ$ 。

Group delay & Phase (群延时与相位)



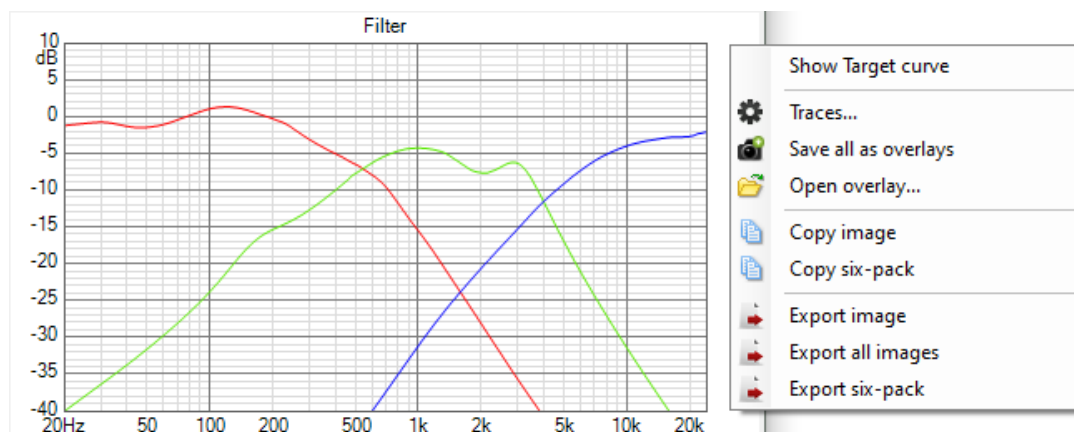
此图显示常规群延时 (WindowFrame)、常规相位 (灰色)、各个单元在参考角方向的相位响应、

群延时的可听警告 (橙色虚线) 和可听警报 (红色虚线)。500-4000 Hz 处的数值是 [《Audibility of Group-Delay Equalization》, J. Liski, A. Mäkitvirta 和 V. Välimäki, 2021](#) 中正群延时可听阈值信区间的限值。20-500 Hz 和 4000-20000 Hz 为外推值。

可选的过剩群延时 (SteelBlue) 通过在右键菜单中勾选 Show Excess group delay 启用。取消勾选 Show Normal group delay 可隐藏群延时。取消勾选 Show Normal phase 可隐藏总相位。勾选 Normalized 时, 所选 (加粗) 的相位序列会被归一化到 0° 线。

参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays (图表叠加)。

Filter (滤波器)

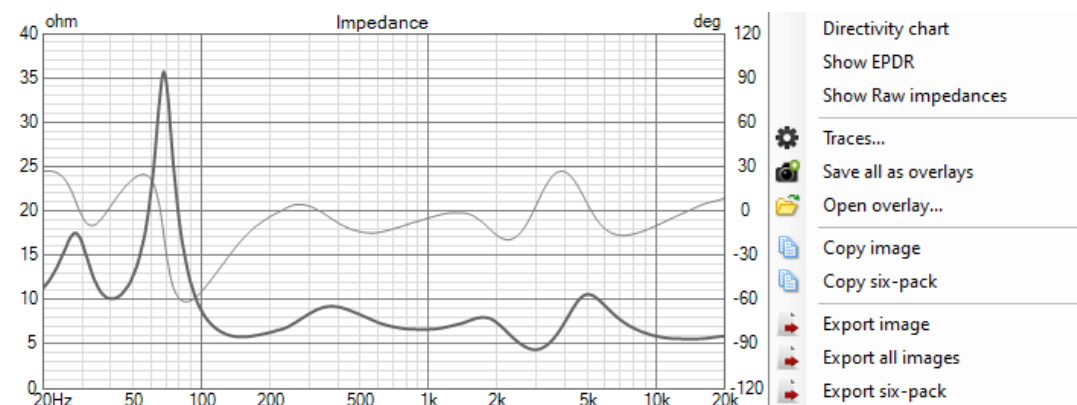


此图显示各个单元滤波器传递函数的幅值。此外, 图中还显示所选有源模块的幅值和相位响应 (高亮色)。

参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays (图表叠加)。

还有一条可选的目标幅值曲线 (Magenta)。这是优化单元滤波器传递函数的目标。参见 Optimize (优化)。

Impedance (阻抗)



此图显示信号源负载阻抗的幅值 (WindowFrame) 和相位 (Gray)。此外，图中还显示有源多路系统中有源缓冲器的总负载阻抗和各个负载阻抗，以及根据信号源负载阻抗和 Drivers (单元) 选项卡中单元型号的原始阻抗响应计算得出的"等效峰值耗散电阻"EPDR (Dark Violet)。有源缓冲器也可用于无源系统中，以便在不拆开元件的情况下测量各分频支路的阻抗。注意！阻抗图可以替换为第二个指向性图，例如同时显示两个平面。显示的图表通过右键菜单选择。

参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays (图表叠加)。

Optimizer (优化器)

优化器调整所选的滤波器参数/元件值，以使总参考轴响应或听音窗以及功率响应或预测室内响应，或者单元在单元接线端的轴向响应或传递函数幅值，符合用户指定的目标。可通过 SPL 或 CTA-2034 图的右键菜单激活优化器窗口。

Target response (目标响应)

The image shows a 'Target response' configuration window. It is divided into three main sections: 'Frequency range', 'Textbook target', and 'File target'. The 'Frequency range' section has input fields for '30.0' and '5000' Hz. The 'Textbook target' section includes a speaker icon, 'SPL' set to '88.0' dB / '1' drivers, 'Tilt' set to '0' dB/oct, and an 'Invert' checkbox. It also features 'High pass' and 'Low pass' filter type dropdowns (currently 'Bessel' and '2nd order'), 'N' (set to '3') and 'Q' (set to '0.577') parameters, and 'f' (cutoff frequency) fields (set to '80.0' Hz and '518' Hz). The 'File target' section has a file selection button, 'Scaling' (set to '0.0' dB), 'Delay' (set to '0' us), 'Smoothing' (set to 'None'), 'Z=0 mm', and 'Min. phase' checkbox. At the bottom, there is an 'Equalize with G(f)' checkbox, a 'TF' button, and 'Free LF' and 'Free HF' checkboxes.

参与优化的频率范围由两个频率值限定。超出指定限值的目标响应不会显示在图中。

目标曲线可以是频响**文件** (txt/frd) , 也可以是具有可调倾斜度、高通和低通斜率的理想**教科书 (Textbook)** 响应。

目标 SPL 和 Tilt (倾斜度) 可以用文本框手动调整, 也可以点击望远镜按钮从总 SPL 目标中自动读取单元的轴向目标。按住鼠标左键和 Shift 或 Ctrl 键, 可以用鼠标设置 SPL 和 CTA-2034 图中目标线的端点。

drivers (单元数) 文本框中的数值按具有相同极性和分频的单元数量缩放目标 SPL。在文本框中输入数值, 或用 drivers 按钮从分频器中查找。用 Invert 复选框改变目标响应的极性。

从第一个下拉菜单中选择滤波器设计 (高通或低通)。VituixCAD 支持 1...8 阶 Butterworth、Bessel、Chebychev 0.5 dB 和 Linkwitz-Riley, 2 阶可变 Q 值, 以及 Duelund 和 Trifonov Transient。

Bessel 斜率经过电平归一化, 即无论 Options 中选择何种 DSP 系统, 所有阶数在给定转折频率处的电平都是 -3.01 dB。更多信息参见[附录 2. DSP 相关性](#)。

10...16 阶 Linkwitz-Riley 斜率仅提供线性相位形式 (勾选 Lin.pha) 。Duelund BP (三分频中的中音填充) 使用 HP 段设置。

第二个下拉菜单 (N) 控制斜率的阶数。

斜率的转折频率用最后一个文本框 (f) 调整。

勾选 Lin.pha 可创建线性相位斜率, 通常用于 FIR 应用。

注意! Trifonov 滤波器的设置是固定的, 因此会隐藏阶数、Q 值、Lin.phase 和 Invert 控件。

目标曲线也可以用 Open (打开) 按钮或拖放方式从频响文件 (txt/frd) 载入。目标响应可以缩放 (dB)、延时 (μ s)、极性反转、平滑 1/2...1/24 倍频程, 以及转换为最小相位。频率范围限值也适用于响应文件。用 X 按钮清除响应文件, 可重新启用教科书响应。

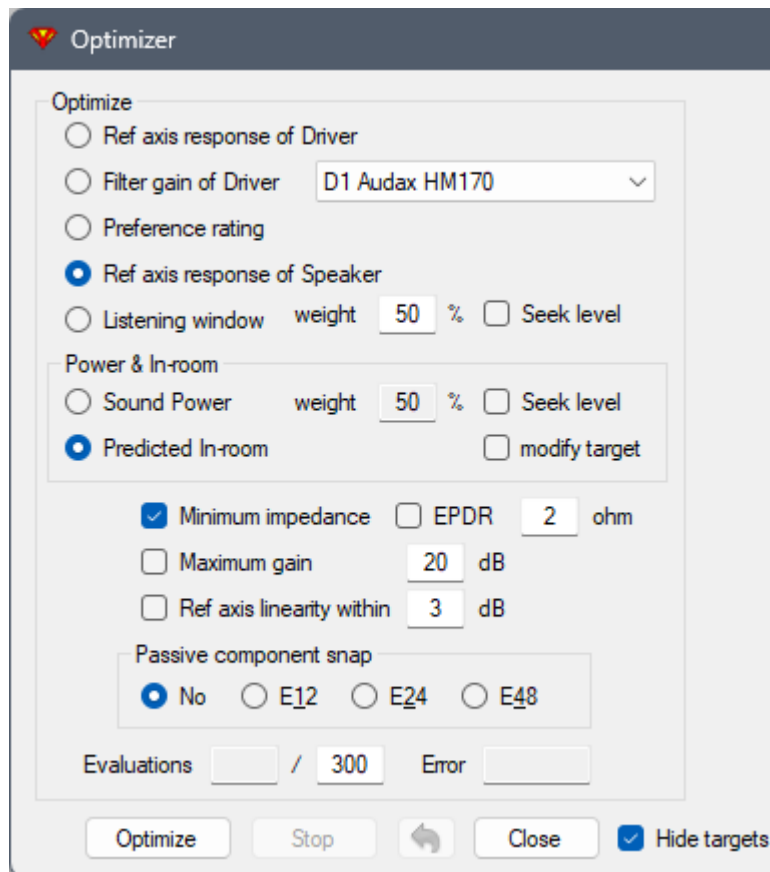
用 TF 按钮可导出目标响应除以参考角或听音窗响应的结果。与目标均衡的范围由 Frequency range (频率范围) 的低限和高限设定。

勾选 'Free LF' 可导出在频率范围低限以下增益恒定的 TF。取消勾选则在低限以下外推增益。

勾选 'Free HF' 可导出在频率范围高限以上增益恒定的 TF。取消勾选则在高限以上外推增益。

响应文件会自动载入到分频器中当前所选的传递函数文件 G(f) 模块。这一特性在设计带导出脉冲响应文件的 FIR 滤波器时很有帮助, 因为分频器中可以只包含单个 G(f) 模块以及用于整只音箱或每个单元/分频支路的有源缓冲器, 响应会自动被整形到目标: 带倾斜和 HP/LP 的理想教科书曲线, 或某个文件。

Optimizing (优化)



选择 'Ref axis response of Driver (单元的参考轴响应)', 可自动将所选单元的参考轴响应调整到 SPL 图中的目标。先从右侧列表框中选择单元, 然后选择 'Ref axis response of Driver'。创建目标曲线, 指定频率范围, 并从 Crossover (分频器) 选项卡的 Parameters (参数) 表中选择要优化的参数/元件值。单元的目标幅值显示在 SPL 图中, 目标相位显示在 GD & Phase 图中。用 Optimize (优化) 按钮启动求解器。

选择 'Filter gain of Driver (单元的滤波增益)', 可自动将所选单元的滤波器响应 (仅幅值) 调整到 Filter 图中的目标。创建目标曲线, 指定频率范围, 并选择要优化的参数/元件值。目标响应显示在 Filter 图中。用 Optimize 按钮启动求解器。

选择 'Preference rating (偏好评分)', 可自动最大化偏好评分。计算使用[偏好评分](#)窗口中的最新设置。

选择 'Ref axis response of Speaker (音箱的参考轴响应)' 或 'Listening window (听音窗)', 可自动将参考角或听音窗的总 SPL 调整到 SPL 图中的目标。如果你希望优化多条响应的 RMS 而不是单条参考角响应, 请选择 'Listening window'。

此外, 选择 'Power response (功率响应)' 或 'In-room response (室内响应)', 可自动将声功率响应或预测室内响应调整到 CTA-2034 图中的目标。勾选 'modify target (修改目标)' 可在 CTA-2034 图中显示并用优化器窗口中的控件编辑目标。

SPL 与 CTA-2034 响应之间的权重由百分比值控制。数值越大, 目标与仿真响应之间的差异越小。例如 Ref axis/Listening window=60%、Power/In-room=40%, 则允许 Power/In-room 的误差大于 Ref axis/Listening window。如果预期听音距离很短, 或房间吸声很强 (即衰减时间很短), 这样做可能更合适。

勾选 'Seek level (寻求电平)' 会将响应同时优化到目标曲线的形状和电平。如果不勾选, 优化器只关心形状——仅在频率范围限值内的形状, 而不关心电平。

创建目标曲线, 从 Crossover (分频器) 选项卡的 Parameters (参数) 表中选择要优化的参数/元件值。用原理图右键菜单中的 Optimize On/Toggle/Off 命令包含元件。用 Optimize 按钮启动求解器。优化器计算每条目标曲线频率限值内的平方误差。

如果你想控制阻抗响应，请勾选 'Minimum impedance (最小阻抗)' 或 'EPDR'，并在文本框中输入期望的最小值。如果最小阻抗/EPDR 低于设定值，会通过惩罚函数增大平方误差。优化总 SPL 和 CTA-2034 响应时，最小值从总阻抗中检测。

如果你想限制滤波器增益，请勾选 'Maximum gain (最大增益)' 并在文本框中输入期望的最大值。如果最大增益超过设定值，会通过惩罚函数增大平方误差。最大值从所有单元的滤波器中检测。

勾选 'Ref axis linearity (参考轴线性度)' 并在文本框中输入期望的最大偏差，可限制优化频率范围内最大与最小 SPL 之间的差值：优化 Ref axis 或 Listening window 时取 SPL 图中目标的范围，优化 Preference rating 时取 100-16000 Hz。如果偏差超过设定值，会通过惩罚函数增大平方误差。

通过选择 E12、E24 或 E48，可将无源分频元件舍入到最接近的标准 E 系列值。注意！数值是在优化**之后**舍入的，这最终会增大平方误差。

如果初始参数值距离良好解太远，方法找到了错误的局部最小值，优化可能得到很差的结果。请手动将参数调整到更接近可接受解的位置，然后用 Optimize 按钮重启求解器。可用 Undo 按钮放弃结果。Undo 最多可恢复最近二十次更改。

优化器在误差为零（很少见）、按下 Stop 按钮或达到最大评估次数时停止。初始最大值为 300 次评估。只有少量待优化参数的简单问题，可能少于 100 次评估即可求解。

Parts list (元件清单)

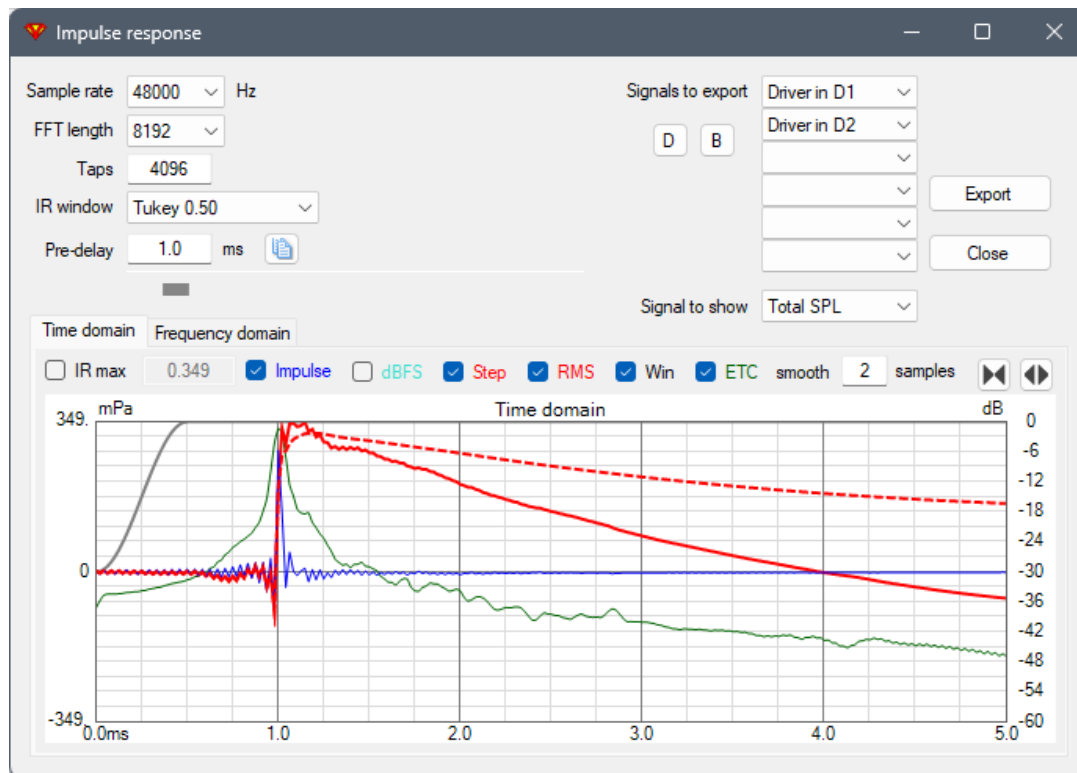
Parts list				
Refresh Copy				
▶	OP amps.	AOL	GBP	
	Inductors	L	DCR	Wire
	L1	4.7 mH	1.1 ohm	1.4 mm
	L2	0.18 mH	0.35 ohm	1.18 mm
	L3	1.8 mH	0.19 ohm	1.0 mm
	L4	0.47 mH	0.36 ohm	1.18 mm
	L5	0.33 mH	0.48 ohm	0.9 mm
	Capacitors	C	ESR	
	C1	39 uF	0.01 ohm	
	C2	36 uF	0.01 ohm	
	C3	47 uF	0.01 ohm	
	C4	22 uF	0.01 ohm	
	C5	3.3 uF	0.01 ohm	
	Resistors	R	Pmax	
	R1	4.7 ohm	5 W	
	R2	1.8 ohm	5 W	
	R3	3.3 ohm	5 W	
	R4	2.2 ohm	5 W	
	R5	10 ohm	5 W	
	Drivers	Model	Loc X,Y,Z	Rot/Tilt
	D1	Audax HM170	0,-300,0 mm	0/0 deg
	D2	Vifa M10MD	0,-100,0 mm	0/0 deg
	D3	Peerless D27TG	0,100,0 mm	0/0 deg

元件清单以表格形式显示无源元件、单元和参数值。可用 Copy 命令或 Ctrl+A、Ctrl+C 将清单复制到你常用的电子表格或文本编辑器中。如果窗口打开后元件或数值发生了变化，可用 Refresh（刷新）更新清单。

Impulse response（脉冲响应）

单元的参考轴响应或输入传递函数、缓冲器的输出、总参考轴 SPL 或听音窗都可以导出为时域脉冲响应。典型应用是生成 wav 格式的脉冲响应，供支持 DSP FIR 的音箱控制器或卷积插件使用。

在反快速傅里叶变换之前，频率响应会被外推以覆盖从 0 Hz 到采样率/2（奈奎斯特频率）的频带。反 FFT 之后，脉冲响应会乘以窗函数，以减少频谱泄漏造成的误差。



采样率：44100、48000、51200、88200、93750、96000、176400、192000、352800、384000、705600 或 768000 Hz。

FFT 长度：8192、16384、32768、65536、131072、262144 点。

FFT 的频率分辨率 = 采样率 / FFT 长度。例如 48000 Hz / 65536 = 0.732 Hz。

抽头数 (Taps)：128...131072 个采样点。

最大抽头数上限为 FFT 长度 / 2。

IR 窗函数：Rectangular (矩形)、Bartlett、Hann、Hamming、Blackman、Blackman-Harris、Nuttall、Blackman-Nuttall、Cosine 0.50/0.75/1.0 或 Tukey 0.25/0.50/0.75。

用足够的时间跨度在图上检查窗函数的形状和位置。

参见维基百科：窗函数。注意：高级窗函数是为高信噪比的频谱分析设计的，需要安静的旁瓣。IR 导出使用 Cosine 0.50、Tukey 0.25 或 0.50 效果就很好。

Pre-delay (预延时) 文本框和图表下方的水平滚动条，通过增加相位角 (延时 × 频率 × 2π rad) 在反 FFT 之前平移源频率响应的时序。滚动条的工具提示以抽头数 (1-taps) 和抽头百分比 (%) 显示延时。

如果分频滤波器包含 IIR 均衡，但不降低低频的过剩群延时，预延时通常非常接近 0 ms。降低低频过剩群延时需要带“预振铃”的脉冲，因此预延时通常设置得接近抽头数，以便校正尽可能低的频率。对于同时包含过剩群延时降低和 IIR 均衡的混合均衡，预延时可以设置在比较居中的位置。

显示的信号用 **Signal to show (显示的信号)** 列表框选择。除可导出的信号外，听音窗平均 SPL 和参考角总 SPL 还可以以最小相位形式显示，用于评估与“理想”时序的差异。参见 'Signal to show' 列表框中的 'LisWin SPL MP' 和 'Total SPL MP' 项。

Time domain (时域)

时域图中显示的曲线通过 Impulse、dBFS、Step、RMS、Win 和 ETC 复选框选择。

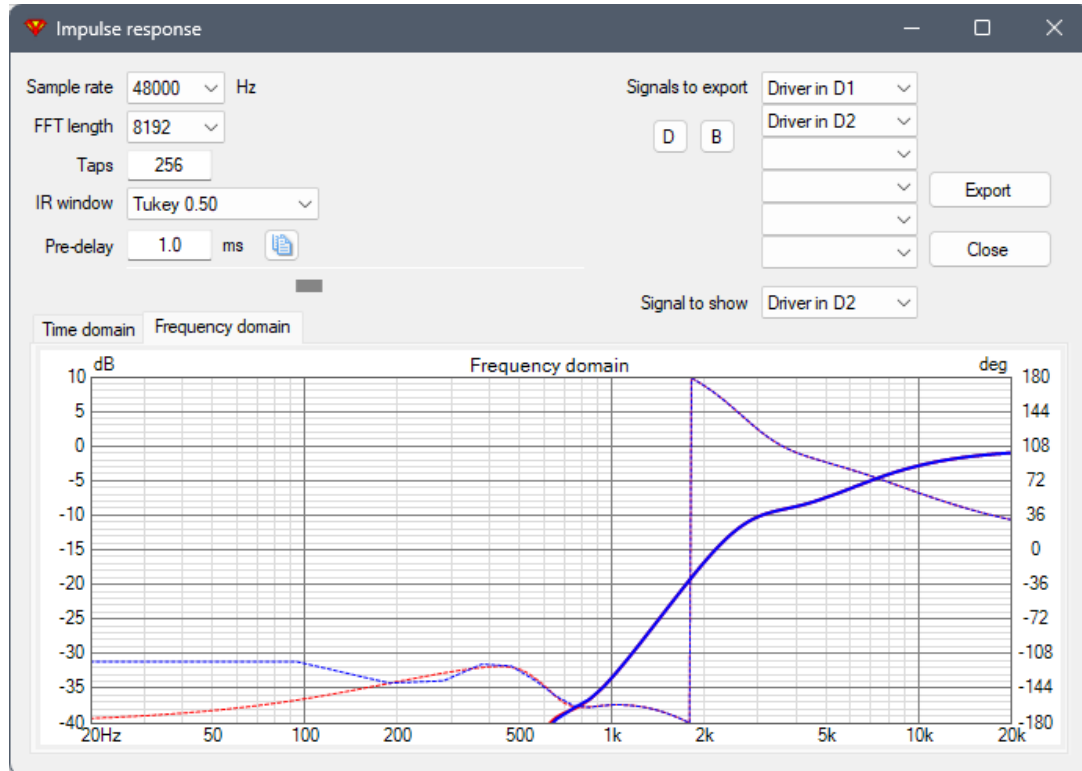
RMS 曲线显示预延时之后阶跃响应的二次平均值。预延时之前的点显示阶跃响应。如果与最小相位等效 (MP) 相比电平明显降低, 说明瞬态单薄无力。

ETC 曲线可用 ETC smooth 文本框以 0-32 个采样点进行平滑。

勾选 IR max 可阻止垂直 (Pa/V) 轴自动缩放。最大 Y 值可用文本框调整。

当分频器更改时, 曲线会根据所选的 IFFT 参数自动更新。时间刻度可用箭头按钮扩展和压缩。

Frequency domain (频域)



有限长度或经过其他修改的脉冲响应通常无法产生与源响应完全相等的频率响应。所选窗函数、窗函数的位置以及脉冲在时间轴上的位置也会影响结果的精度。频域视图 (Frequency domain 选项卡) 允许你比较所选源响应与待导出脉冲响应所生成频率响应的幅值和相位, 从而选择尽可能接近目标的参数。

需要均衡的频带会影响要求和参数。例如, 高频比低频需要更少的抽头。DSP 设备的总抽头数有限制, 或者不能超过某个最大延迟, 因此设计者通常被迫在不同通道之间分配可用的抽头数。出于这些原因, 不同分频支路的脉冲响应可能需要用不同的参数导出: 抽头数、预延时和窗函数。不同的预延时需要用 DSP 的延时缓冲器来补偿。

Export (导出)

最多可同时导出六 (6) 路信号。可以用 **Signals to export (要导出的信号)** 组合框手动选择信号。用 D 按钮选择单元输入 (最多 6 个), 用 B 按钮选择缓冲器输出 (最多 6 个)。点击 Export 按钮继续。"另存为"对话框会建议用项目文件名 + " IR" 作为"根文件名"。选择输出目录, 必要时修改根文件名。各个 IR 文件的最终文件名将是根文件名 + " Buffer out A1"、根文件名 + " Driver in D1" + 扩展名, 等等。

文件格式在"另存为"对话框中选择。文件格式:

- 16 位 PCM 单声道 (.wav)
- 16 位 PCM 立体声 (.wav)
- 24 位 PCM 单声道 (.wav)
- 24 位 PCM 立体声 (.wav)
- 32 位 IEEE 单声道 (.wav)
- 32 位 IEEE 立体声 (.wav)
- 64 位 IEEE 单声道 (.wav)
- 64 位 IEEE 立体声 (.wav)
- 32/64 位文本 (.txt)
- 32/64 位 MLSSA (.txt)
- miniDSP 二进制文件 (.bin)
- miniDSP 手动模式 (.txt, 同时复制到剪贴板)。

同时导出的电信号（缓冲器输出和单元输入）具有共同的缩放系数，以保持增益差异。
同时导出的声学信号（单元 SPL 和总 SPL）具有共同的缩放系数，以保持灵敏度差异。

WAV 文件的电平归一化：

- 导出的 16 位 PCM wav 文件的峰值归一化为 32766。
- 导出的 24 位 PCM wav 文件的峰值归一化为 8388606。
- 导出的 64 位 IEEE wav 文件的峰值归一化为 1.0。
- 32 位 IEEE wav 文件传输原始信号值（不做归一化），以便在用 FFT 将 IR 转换回频域时保持正确的 SPL 和增益值。
注意！ 数值 > 1.0 会导致削波，并且对于期望数值在标准 32 位 IEEE 音频 wav 的 ± 1.0 范围内缩放的应用程序，会产生一些意外结果。这种情况下应选择其他输出格式：16 位 PCM、24 位 PCM 或 64 位 IEEE，或调整信号源电压以将绝对峰值电平降到 1.0 以下。

文本文件中的数值缩放与源频率响应一致，即不做归一化。文本文件为单列，从 0.0 s 开始，步长为 1/采样率 [s]：

8.49378929663085E-25

1.64194430575251E-15

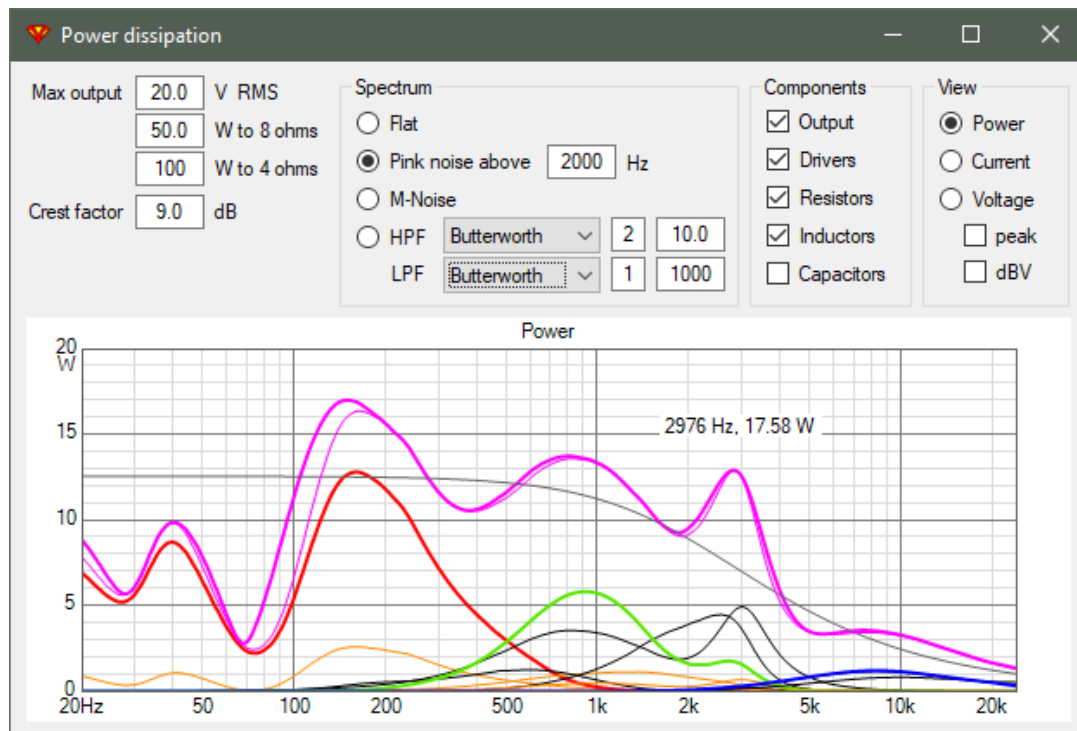
-3.17746589425256E-15 ...

Power dissipation（功率耗散）

图中显示有源多路系统中信号源和缓冲器/功率放大器的输出频谱，以及分频网络中单元和无源 LCR 元件的功率耗散或电流（mA）或电压。物理量从 View（视图）组中选择。勾选 peak 可显示峰值电压（Vp）而非 VRMS。

显示的曲线通过 Components（元件）组中的复选框选择。曲线的工具提示显示元件编号和名称，或无源元件的两个主要参数（含电阻值）。

此外，工具提示还显示 P_{tot} （单位瓦特），即单元、电阻、线圈和电容的总功率耗散。计算方式为仿真频率范围内的功率平均：功率值之和除以仿真频率点数。要在工具提示中显示 P_{tot} ，需要在 View 组中选择 Power。



功率放大器或信号源输出信号的可调参数：

- 最大输出电压 V_{RMS} ，或相对于各分频支路增益、在恒定 $8\ \Omega$ 或 $4\ \Omega$ 阻性负载上的功率。
- 波峰因数（Crest factor）。输出信号的峰值幅度除以 RMS 值，代表音乐信号的压缩/响度程度。该值应取短期最小值，以确保电阻能够储存和耗散能量。整首音乐曲目或整张专辑的典型波峰因数可能过高。初始值：Flat 3 dB、Pink noise 12 dB、HP/LP filtered 3 dB。M-Noise 不可调整。
- 频谱：Flat（平坦）具有恒定的幅值。
Pink noise（粉红噪声）代表音乐信号的有效 RMS 频谱。初始转折频率为 2 kHz。不同音乐类型和录音之间存在显著差异。
M-Noise 的频谱基于 Meyer Sound 发布的 wav 文件的峰值和平均响应测量。峰值响应接近粉红噪声。平均响应在高频比粉红噪声陡峭约 2.3 dB/oct，因此波峰因数与频率相关。更多信息参见 <https://m-noise.org/>。
HPF/LPF 为用户提供自定义频谱。可用滤波器类型：None、Butterworth 6...48 dB/oct、Linkwitz-Riley 12...48 dB/oct 和 Half order（半阶，仅低通为 -3 dB/oct）。

Preference rating（偏好评分）

Preference rating

Curve	Name	AAD	NBD	SM	slope	SL	LFX	LFQ
ON	On/Ref axis response	0.339	0.097	0.931	0.00	0.05		
LW	Listening Window		0.092	0.948	-0.112	0.088	1.508	0.701
ER	Early Reflections			0.93	-0.845			
PIR	Predicted In-room		0.084	0.966	-0.924	0.076		
SP	Sound Power		0.09	0.932	-1.674	0.076	1.508	1.338
ERDI	Early Reflections DI			0.83	0.733			
SPDI	Sound Power DI		0.066	0.826	1.562			

Equation

5.00 + SM_ON 2.00 + SM_LW 0.00 + SM_ER 0.00 + SM_PIR 3.00 + SM_SP 0.00
 - AAD_ON 0.00 - NBD_ON 2.50 - NBD_PIR 3.50 - LFX 0.00 - LFQ 0.00

Slope targets

☒ - SL_ON -0.05 -0.03 dB/oct, -0.1 dB/dec target in SPL chart
☐ - SL_LW -0.2 -0.14 dB/oct, -0.5 dB/dec
☒ - SL_PIR -1.0 -0.69 dB/oct, -2.3 dB/dec target in CTA-2034 chart
☐ - SL_SP -1.75 -1.21 dB/oct, -4 dB/dec

Full space
 Half space
 Constant DI

Ref axis SPL 84.6 dB linearity 1.9 dB Rating 9.099 ☐ with sub Close

(VituixCAD 中的) 偏好评分旨在为优化器提供简单的目标设定和误差计算。

评分使用可自定义的公式计算，变量来自 Sean Olive 的专利申请 [US 2005/0195982 A1](#) 中所述的变量。

Olive 的专利申请包含许多简化和疏漏，仅用恒定信号电平来衡量声音平衡和染色。例如，非线性失真、动态、声音平衡的稳定性、时序、指向性程度、频率响应和声功率的斜率、衍射、辐射器位置、半空间和角落概念都被忽略。因此，偏好评分本身不能作为有效的设计或产品排名基准。专利申请中还存在一些数学上的不合逻辑之处和矛盾：

- NBD 对斜率敏感；如果响应斜率不为 0，评分会变差。
- SM 对斜率敏感；斜率为 0 时计算失败。
- LFX 和 LFQ 对于有指向性的低频辐射器会失效，因为低频的声功率低于中低频的 LW 参考值。

可用公式包含 SM_ON、SM_LW、SM_ER、SM_PIR、SM_SP、AAD_ON、NBD_ON、NBD_PIR、LFX 和 LFQ，每个变量的权重可在 0-5 之间调整。各变量的初始权重因子如上图所示。

该公式提供了数学上矛盾更少、更适合优化的方法，因此评分与 Olive 专利中给出的计算**不兼容**：

- 对 AAD 和 NBD，响应以 1/33 倍频程平滑（而非 1/20 倍频程频带），以避免因内部频率点为 1/48 倍频程步长而造成过度平滑。
- 勾选 'with sub（带低音炮）' 时忽略 LFX 和 LFQ。在理想平直频率响应和 17.5 Hz 处 3 阶 Butterworth 高通的条件下，评分被标定为 10。
- NBD 用移动平均计算，以消除斜率的影响。
- SM 以 r^2 计算，斜率归一化为 -1.0，以消除斜率影响并避免斜率为 0 时出错。

- LFX 取 LFX_SP 或 LFX_LW 中较小者，以支持低频声功率在中低频 (y_LW) 显著低于 LW 的有指向性低频辐射器。
- LFQ 取 LFQ_SP 或 LFQ_LW 中较小者。
- 可选的 SL_ON 或 SL_LW，以及 SL_PIR 或 SL_SP，带有可调的斜率目标，可用于斜率优化。如果优化的分频器参数对 ON 斜率影响很大，两个斜率目标可降低可能的不稳定性。ON 或 LW 斜率目标显示在 SPL 图中。PIR 或 SP 斜率目标显示在 CTA-2034 图中。

点击 'Full space (全空间)' 按钮，为中小型常规 (箱式) 设计初始化斜率目标。

点击 'Half space (半空间)' 按钮，为入墙和贴壁平板设计初始化斜率目标。

点击 'Constant DI (恒定 DI)' 按钮，为实用的恒定指向性设计初始化斜率目标。

Full space 和 Half space 的数值与 Options 中的 'Listening window DI' 和 'CTA-2034-A power weights' 设置兼容。使用单一参考角的传统 DI 计算会产生不同的指向性斜率。

变量/列:

AAD - 绝对平均偏差 (dB)，相对于 200-400 Hz 之间的平均电平

NBD - 平均窄带偏差 (dB)，在 100 Hz - 12 kHz 的每个 1/2 倍频程频带内

SM - 基于 100 Hz - 16 kHz 线性回归线的幅频响应平滑度

slope - 通过 100 Hz - 16 kHz 的最佳拟合线性回归线的斜率。工具提示以 dB/oct 和 dB/dec 显示斜率。

SL - 目标斜率与实测斜率之差的绝对值

LFX - 低频延伸 (Hz)，基于转换到 log10 的 -6 dB 频率点

LFQ - 从 LFX 到 300 Hz 低频响应的绝对平均偏差 (dB)

公式中变量的后缀:

_ON - 轴上响应

_LW - 听音窗

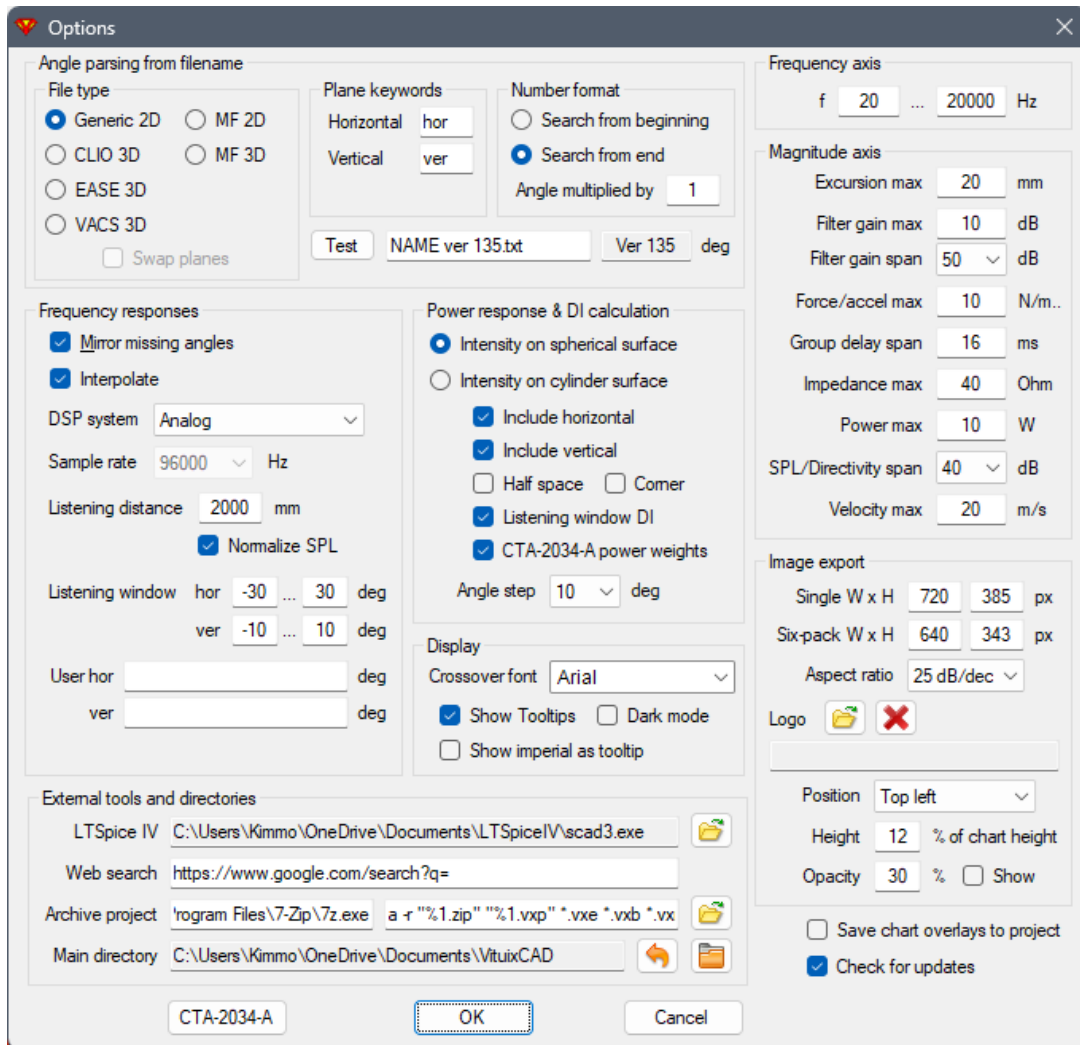
_ER - 早期反射

_SP - 声功率

_PIR - 预测室内响应

PIR 由加权平均得到: 12 % 听音窗 (LW)、44 % 早期反射 (ER) 和 44 % 声功率 (SP)

Options (选项)



Angle parsing from filename (从文件名解析角度)

要让 VituixCAD 从频率响应文件中解析测量角度和轴向，必须定义文件命名格式/语法。

Generic 2D 是可配置选项，允许用户指定平面和角度值在频率响应文件名中的编码方式。

Plane keywords (平面关键字) 定义如何区分水平轴和垂直轴。如果文件名中找不到垂直平面的关键字，则选择水平轴。Search from beginning/end (从头/从尾搜索) 定义 VituixCAD 应从文件名的开头 (hor +150 drivename.txt) 还是结尾 (drivename hor +150.txt) 开始解析角度值。Angle multiplied by (角度乘数) 定义角度值的格式。例如，如果 1500 代表离轴 15 度，则使用 Angle multiplied by 100。此选项兼容 ARTA 和 2D 模式下的 CLIO。

CLIO 3D 从 CLIO QC 的 Auto Save 3-D 测量所编码的文件名中筛选并解码水平面或垂直面及角度值。语法为：NAME <PHI100> <THETA100>.txt/frd。NAME 是根文件名，PHI 是极角 (轨道)，THETA 是方位角 (离轴角)。这些量以空格分隔。除 PHI=0、±90、±180、±270 之外的都将被跳过，因为响应文件处理和指向性图仅支持水平面和垂直面。

EASE 3D 从 EASE SpeakerLab 编码的文件名中筛选并解码水平面或垂直面及角度值。语法为：NAME IR[mmm][ppp]。NAME 是可选的根文件名，[mmm] 是子午线/轨道，[ppp] 是纬线/离轴角，北极代表轴向方向。除 [mmm]=000、090、180、270 之外的都将被跳过。

VACS 3D 从兼容 Visualizing Acoustics Software (VACS) 的文件名中筛选并解码水平面或垂直面及角度值。语法为：NAME Phi[mmm]Theta[ppp].txt/frd。NAME 是可选的根文件名，[mmm] 是子午线/轨道，[ppp] 是纬线/离轴角，北极代表轴向方向。除 [mmm]=0、±90、±180、±270 之外的都将被跳过。

MF 3D 从兼容 Four Audio Monkey Forest 的文件名中筛选并解码水平面或垂直面及角度值。语法为：NAME V[mmm]H[ppp].txt/frd。NAME 是可选的根文件名，[mmm] 是子午线/轨道，[ppp] 是纬线/离轴角，北极代表轴向方向。除 [mmm]=0、±90、±180、±270 之外的都将被跳过。

MF 2D 是 MF 3D 的变体。语法为：水平面用 NAME **V000**H[ppp].txt/frd，垂直面用 V[ppp]**H000**.txt/frd。NAME 是可选的根文件名，[ppp] 是离轴角。除 V000 或 H000 之外的都将被跳过。

如果气球数据是从测量系统采集并导出的，使得 $\Phi=0/180^\circ$ 代表垂直平面，则勾选 **Swap planes (交换平面)** 可将 Φ 旋转 $+90^\circ$ 。使用 Klippel NFS 时默认勾选。

提供测试工具用于测试语法。

Frequency responses (频率响应)

Mirror missing (镜像缺失) 定义 VituixCAD 是否应镜像缺失的测量数据：

- 如果没有负角度数据，则选用等角度的正角度测量（反之亦然）
- 如果没有垂直角度数据，则选用等角度的水平角度测量（反之亦然）
- 如果没有垂直角度数据，则选用等绝对水平角度的测量（反之亦然）

勾选 Interpolate (插值) 时，频率响应会在载入单元的离轴角度和平面之间进行插值。取消勾选 Interpolate 时，程序会选择载入单元的最接近的离轴角度。这可能会造成一些误差和不连续，但便于进行简单测试，以及在指向性图中只有少量响应数据的项目。

如果项目的分频器是有源 DSP，请从 DSP system (DSP 系统) 组合框中选择确切或兼容的设备/应用。可用选项有：

- Analog (模拟)，即采用 RLC 的无源分频器，或采用运算放大器等线性电路的有源分频器
- Behringer DCX 96k
- Danville 96k
- dbx DriveRack 96k，例如 VENU360。
注意！架式滤波器的响应不精确，因为无法获得 S 到 Q 的转换公式。
- FourAudio PPA 48k
- Generic (通用)：
采样率可用列表框调整。
Peak/notch 滤波器的 BW 位于 $\text{dBgain}/2$ 之间。
Shelving LP/HP 滤波器的频率参数为 $\text{dBgain}/2$ 。
Bessel LP/HP 经过相位归一化。 $\text{phase@fc}=\pi/4*\text{order}$ ，-3dB 点取决于阶数。
- Generic -a12：
与上一项相同，但双二阶系数 a1 和 a2 乘以 -1。
- Hypex FA 192k。
注意！由于 Hypex 未公开其专有的双二阶计算方式，结果不准确。
- Hypex PSC 48k。
注意！由于 Hypex 未公开其专有的双二阶计算方式，结果不准确。
- LEA 96k

- miniDSP 48k
- miniDSP 96k
- Nova 96k
- Platin SM 48k
- RAM Audio 96k。
注意！Peak/notch 滤波器兼容 Parametric Q const（不兼容 Q adap）。
由于 RAM QCS 的 Q 值非标准，Low/High Shelf 12dB + Q 可能存在兼容性问题。
- t.amp 48k。兼容 t.amp Quadro 500 DSP
- t.racks 48k
- t.racks 96k
- Xilica Solaro 48k。
- Xilica XA/XP 96k。

该选择对 Active Peak/Notch、Bessel LP/HP 和 Shelving LP/HP 滤波器的频率响应有显著影响，并且由于采样率可能受限，也会影响最高频段。设置保存在项目文件（vxp）中。

Listening distance（听音距离）是从扬声器到听音者或话筒的虚拟距离，用于计算不同位置单元之间的相位差和幅度关系。以 mm 为单位输入典型听音距离。默认值为 2000 mm。

勾选 Normalize SPL 时，SPL 曲线会归一化到在信号源电压 2.83 V 下为单元载入的频率响应电平。默认勾选。如果听音距离改变，保持勾选可避免重新调整 SPL 和 Power 目标。

Listening window（听音窗）文本框中的数值指定参与“听音窗平均”计算的水平面和垂直面角度范围。参见 SPL 图和 Optimizer（优化器）。

User hor 和 ver 文本框中列出的离轴角度可以显示在 CTA-2034 图中。有效的列表分隔符为空格、逗号或分号。角度应能被 Angle step > 0 整除。

Display（显示）

可选择分频器原理图的字体以及工具提示的可见性。勾选 'Dark mode（深色模式）' 可将图表、分频器原理图和房间图像的背景设为黑色。注意！切换深色模式会将所有图表的颜色恢复为默认值。勾选 'Show imperial as tooltip' 可在工具提示中以英制单位显示长度/直径/半径、面积和体积。

Power response & DI calculation（功率响应与 DI 计算）

Intensity on spherical surface（球面上的声强） 通常适用于常见尺寸的单路或多路音箱。音箱周围球面上的声强由水平面和垂直面的径向测量计算得出。

$$Q(f) = \frac{2N}{\pi \sum_{n=1}^N \left| \frac{p(\theta_n)}{p(0)} \right|^2 \sin \theta_n}$$

$$DI(f) = 10 \log_{10} Q(f)$$

Intensity on cylinder surface（圆柱面上的声强） 适用于长线声源，或暂时只关注水平或垂直指向性——此时功率响应和 DI 结果不准确。音箱周围圆柱面上的声强由径向测量（通常在单个（水平）平面内）计算为声压 RMS。

复选框控制哪些平面参与功率响应和指向性指数的计算：水平、垂直或两者。

Half space (半空间) 适用于半空间设计：与墙面齐平安装的音箱。大于 90° 的角度被排除在功率响应和 DI 计算之外，并对所有 DI 响应加上恒定的 3.01 dB。指向性图仅显示 -90...+90° 的角度。

Corner (角落) 适用于四分之一空间设计：嵌入墙角内角的音箱。水平面大于 45°、垂直面大于 90° 的角度被排除在功率响应和 DI 计算之外，并对所有 DI 响应加上恒定的 6.02 dB。指向性图仅显示水平 -45...+45° 和垂直 -90...+90°。

常见的箱式音箱和偶极音箱应按全空间测量和仿真，测量数据为 0...±180°。

勾选 **Listening window DI** 可使用听音窗平均值作为 DI 参考，替代所选的参考角。

勾选 **CTA-2034-A power weights** 可使用 CTA-2034-A 公布的角度权重因子计算声功率响应 (SP)。因子以恒定的 10° 角度步长给出。指定角度之间的因子用样条插值计算。

注 1：如果未勾选 'CTA-2034-A power weights'，或仿真离轴角度的角度步长不是恒定的，则权重因子用传统的正弦积分计算。

注 2：即使仿真角度步长为 5° 或更小，CTA-2034-A 中 5° 角度步长的表格也被忽略（由于存在错误）。

仿真和显示的离轴方向的角度密度通过 **Angle step (角度步长)** 列表框选择。可用选项为 0、5、10、15、20 和 30°。选择 0° 时，仿真载入单元的离轴角度。初始值为 10°。

Image export (图像导出)

Single W x H (单图 宽×高) 是复制/导出的单个图表图像的尺寸。默认宽度为 720 px。

Six-pack W x H (六联图 宽×高) 是主程序或箱体工具中六张图表为一组时，每张复制/导出图表的尺寸。默认宽度为 640 px。

图像高度可由图像宽度和 **Aspect ratio (宽高比)** 计算得出。宽高比选项有 Full、4:3、3:2、16:9 和 10-50 dB/dec。以 dB/dec 为单位的选项还会使用频率轴以及 SPL/Directivity 跨度设置。默认宽高比为 16:9。对于跨度最大 40 dB 的 SPL 图，推荐发布时使用 25 dB/dec。双击文本框前的标签可设置 W×H 的默认值。设置适用于六联图中的放大图表，以及复制和导出的图表，规则如下：

1. 如果宽高比为 dB/dec 且坐标轴单位为 dB 和 Hz，则放大、复制和导出图像的尺寸由宽高比以及实际的 Y 轴跨度和频率范围限值计算得出。尺寸上限为 4000x3000 px。
2. 如果宽高比为 dB/dec，但坐标轴单位不是 dB 和 Hz，则放大的图表为 16:9。
3. 如果宽高比为 Full，则放大的图表填满整个画面。
4. 放大的图表遵循 4:3、3:2 和 16:9 的宽高比设置。

注意！在情况 2-4 中，复制和导出图像使用 W×H 尺寸设置。

Logo (标志) 可在执行 Copy 和 Export 命令时打印到图表区域 (svg 文件除外)。用打开按钮选择图像文件名。用清除按钮删除文件名。用组合框选择位置：None (无)、Top left (左上)、Top right (右上)、Bottom left (左下)、Bottom right (右下)。默认为左上。用文本框调整不透明度。默认为 30 %。标志高度以图表区域高度的百分比定义。范围为 5-25 %。初始值为 12 %。勾选 Show 可在屏幕显示的图表上打印标志。默认不勾选，以提高界面响应速度。如果文件名为空、位置不是 None 且勾选了 Show，则打印默认的 VituixCAD 标志。

Graph scales (图表刻度)

Frequency axis (频率轴)

内部频率范围固定为 5...39794 Hz，密度为 48 点/倍频程，但你可以定义初始可见刻度，最小为 5...5000 Hz，最大为 40...40000 Hz。

Magnitude axis (幅值轴)

Excursion max (冲程最大值) 定义箱体工具中锥盆冲程图的初始上限。

Filter gain max (滤波增益最大值) 定义初始上限，Filter gain span (滤波增益跨度) 控制滤波增益图的初始垂直刻度。

Force/accel max (力/加速度最大值) 定义箱体工具中反作用力或锥盆加速度的初始上限。

Group delay span (群延时跨度) 控制群延时图的初始垂直刻度。

Impedance max (阻抗最大值) 定义阻抗图的初始上限。

Power max (功率最大值) 定义箱体工具中放大器输出到标称负载功率的初始上限。

SPL/Directivity span (SPL/指向性跨度) 控制 SPL、CTA-2034 和 Directivity 图的初始垂直刻度。

Velocity max (速度最大值) 定义箱体工具中导管空气速度图的初始上限。

External tools and directories (外部工具与目录)

文本框中的路径定义 VituixCAD 在按下相应按钮/菜单项时应打开的应用程序。通过点击文件夹按钮或将文件拖入文本框来选择应用程序。

- Spice: LTspice 或兼容电路仿真器的可执行文件
- Web search: 箱体工具中搜索单元的命令
- Archive project: 项目可以打包为 zip 文件归档和分发。第一个字段用于归档程序的可执行文件。推荐使用 Igor Pavlov 的 7-Zip。下载地址 <https://www.7-zip.org>
第二个字段用于命令行参数。%1 会被替换为不含 .vxp 的项目文件名。7-Zip 的初始参数:
`a -r "%1.zip" "%1.vxp" *.vxe *.vxb *.vxm *.vxf *.txt *.frd *.zma *.pir *.mdat *.mls *.crp`
- Main directory: VituixCAD 用于项目、仿真结果和测量数据的主目录。
默认目录 C:\Users*用户名*\Documents\VituixCAD 可用"撤销"按钮设置。
另一个有效选项是 C:\Users\Public\Documents\VituixCAD。

CTA-2034-A button (CTA-2034-A 按钮)

该按钮为符合 ANSI/CTA-2034-A 指向性报告的 CTA-2034 图表设置默认值:

- 勾选 Interpolate
- 听音距离 2000 mm
- 听音窗 水平 $\pm 30^\circ$ ，垂直 $\pm 10^\circ$
- 球面上的声强

- 包含水平面和垂直面
- 不勾选 Half space 和 Corner；需要水平面和垂直面 $0...±180^{\circ}$ 的测量数据
- 勾选 Listening window DI；指向性指数参考为听音窗平均值
- 勾选 CTA-2034-A power weights
- 如果角度步长不是 5° 或 10° ，则设为 10° 。

Save chart overlays to project (将图表叠加保存到项目)

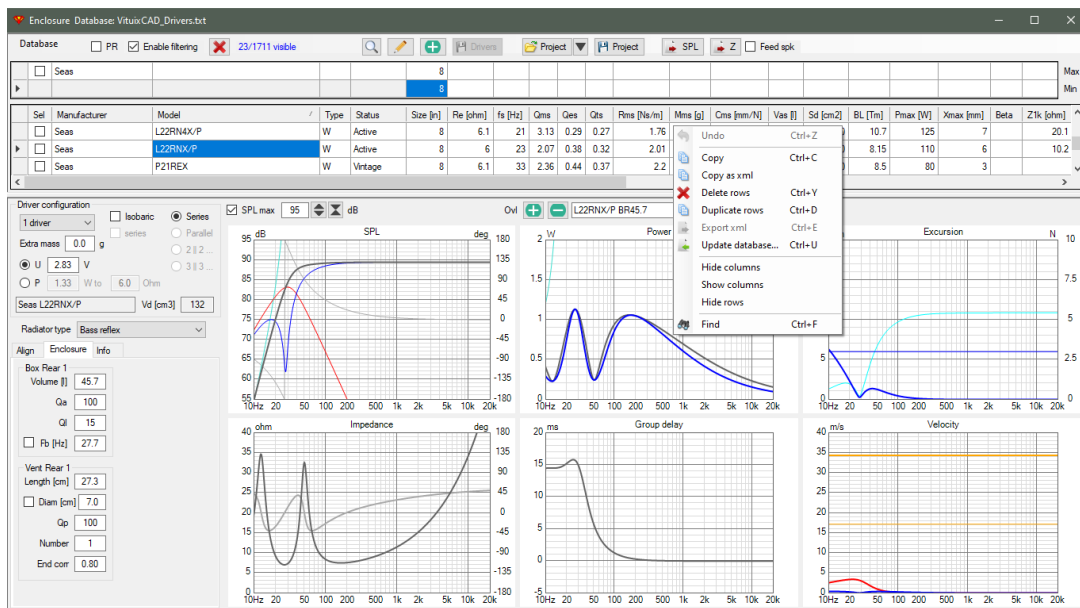
勾选 'Save chart overlays to project' 可从项目文件 (.vxp) 保存和载入叠加曲线。取消勾选可在打开项目时保留已有的叠加曲线，且不保存到项目文件。

Check for updates (检查更新)

如果勾选了 'Check for updates (检查更新)'，程序启动时会自动检查更新。

Tools (工具)

Enclosure tool (箱体工具)



Driver database (单元数据库)

VituixCAD 可以读取本地数据库或来自 <https://kimmosaunisto.net/> 的在线数据库。本地数据库支持添加、修改和删除单元。镜像到云盘（如 Microsoft OneDrive）或持续挂载到网络服务器的数据库，其处理方式与真正的本地数据库相同。程序读取和保存整个数据库文件时不使用记录锁或文件锁，因此最新的保存会覆盖较旧的保存。

筛选条件输入到单元列表上方的两行表格字段中。有源单元和无源辐射器各有独立的条件。可以按用户选择（Sel 列中的复选框）或按任意文本或数值字段来筛选单元列表。按 Enter 键，或用 Tab 键、方向键、鼠标将光标移动到其他字段，即可更新筛选。数值字段在 Max（上行）和 Min（下行）文本框指定的范围内筛选。空白字段不影响筛选。多个字段中的条件为逻辑“与”。单个文本字段可以包含多个以空格或分号（;）分隔的条件。单个文本字段中的条件为逻辑“或”。勾选 'Enable filtering (启用筛选)' 可启用筛选。例如：

- 当 Manufacturer=Seas;BMS 时，将显示 Seas 和 BMS 的单元
- 当 Manufacturer=Scan;Seas 且 Size Max=8、Min=8 时，将显示 8 英寸的 Scan-Speak 和 Seas 单元

勾选 PR 可显示无源辐射器。勾选 PR 后可使用无源辐射器的筛选条件。

单元数据库包含以下字段：

Manufacturer (制造商)	
Model (型号)	
Type (类型)	超低音 (S)、低音 (W)、中低音 (WM)、中音 (M)、中高音 (MT)、高音 (T)、全频 (F)、同轴 (C) 或无源辐射器 (PR)
Size (尺寸)	标称直径 [英寸]
Status (状态)	在产、停产、预发布或经典
Re	直流电阻 [Ω]
Z1k	1 kHz 处的阻抗 [Ω]
Z10k	10 kHz 处的阻抗 [Ω]
Le	音圈电感 [mH] 或束缚电感 [mH]，参见阻抗模型
Leb	自由电感 [mH]，参见阻抗模型
Ke	半电感 [sH]，参见阻抗模型
Rss	分流电阻 [Ω]，参见阻抗模型
fs	自由空气谐振频率 [Hz]
Qms	机械 Q 值
Qes	电气 Q 值
Qts	总 Q 值
Rms/R0	机械力阻 [Ns/m、kg/s]
Mms	含空气负载的振动质量 [g]
Cms/C0	折环顺性 [mm/N]
Vas	等效容积 [升]
Sd	有效锥盆面积 [cm ²]
Bl	力因数 [N/A、Tm]
Pmax	最大长期输入功率 [W]

Manufacturer (制造商)	
Xmax	最大线性冲程，单向峰值 [mm]
Beta	LOG 模型下的蠕变 β
USPL	计算得出的电压灵敏度 [dB] /2.83V/1m
BL ² /Re	力因数平方除以音圈电阻
Revision (修订)	厂家的数据表修订版本或日期
Updated (更新)	日期/姓名，格式为 yyyy-mm-dd/名 姓

点击列标题可对单元列表排序。除冻结列外，可通过拖动列标题临时重新排列各列。在单元行上右键点击，可打开带有更多搜索和修改单元列表选项的右键菜单。右键菜单选项：

- Undo (撤销所有更改)
- Copy (复制) - 将所选单元格以制表符分隔的文本复制到剪贴板
- Copy as xml (复制为 xml) - 将所选整行以 xml 复制到剪贴板，但不含声明
- Delete rows (删除行)
- Duplicate rows (复制行)
- Export xml (导出 xml) - 将所选整行导出到 xml 文件
- Update database... (更新数据库)
- Hide columns (隐藏列)。所选单元格的列宽被设为最小 (5px)。
- Show columns (显示列)。所选单元格的列宽被设为正常。
- Hide rows (隐藏行)
- Find (查找)

 按钮用网络（通过默认浏览器进行 Google 搜索）搜索所选单元。

用  按钮修改所选单元的参数。用  按钮添加新单元。按住 Shift 键点击，可将当前单元的 Manufacturer (制造商)、Type (类型) 和 Status (状态) 复制到新单元。注意！数值应使用 Windows 控制面板中定义的本地小数点字符（点号、逗号等）输入。用 OK 按钮接受参数并关闭窗口。

Edit parameters

ManufacturerSeas

ModelL16RNX8

TypeW

StatusActive

Size5.5inches

Re5.8Ohm

fs39Hz

Qms2.08

Qes0.44

Qts0.36

Rms1.88Ns/m, kg/s

Mms15.3g

Cms1.1mm/N

Vas16liters

Sd104cm²

BL7.2N/A, Tm

Pmax80W

Xmax6mm

Creep β0

Basic Z model

Z1k7.7Ohm

Z10k20.2Ohm

Extended Z model

Le0mH

Leb0mH

Ke0sH

Rss0Ohm

☐ Crosscalc

n00.209%

SPL85.3dB/W

USPL86.7dB/2.83V

EBP88.6

Vd62.4cm³

Mmd14.694g

RevisionDec 2007-1

Updated2016-02-27/Datasheet Import

Calculate T/S...

OK

Cancel

Add new driver

Manufacturer

Model

Type

Status

Size0inches

Re0Ohm

fs0Hz

Qms0

Qes0

Qts0

Rms0Ns/m, kg/s

Mms0g

Cms0mm/N

Vas0liters

Sd0cm²

BL0N/A, Tm

Pmax0W

Xmax0mm

Creep β0

Basic Z model

Z1k0Ohm

Z10k0Ohm

Extended Z model

Le0mH

Leb0mH

Ke0sH

Rss0Ohm

☐ Crosscalc

n00%

SPL0dB/W

USPL0dB/2.83V

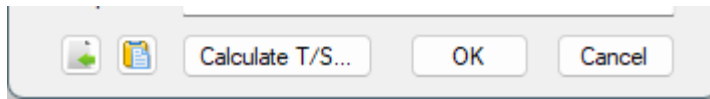
EBP0

Vd0cm³

Mmd

Revision

Updated



建议（但非必须）先输入基础 T/S 参数 R_e 、 R_{ms} 、 M_{ms} 、 C_{ms} 、 S_d 和 BL ，让程序计算 f_s 、 Q_{ms} 、 Q_{es} 、 Q_{es} 和 V_{as} （取 $c=344.0$ m/s, $\rho=1.194$ kg/m³）。你也可以用 Q_{ms} 代替 R_{ms} ，用 Q_{es} 代替 BL ，用 V_{as} 或 f_s 和 M_{ms} 代替 C_{ms} ，用 C_{ms} 或 V_{as} 和 f_s 代替 M_{ms} 。按下 OK 按钮时，程序会计算缺失的参数（值为 0 的）。更多信息参见 OK 按钮的工具提示。

最大 SPL 曲线需要 $P_{max} > 0$ W（无源辐射器除外）。最大冲程曲线需要 $X_{max}/X_{sus} > 0$ mm。如果未知，请输入一个合理的值。

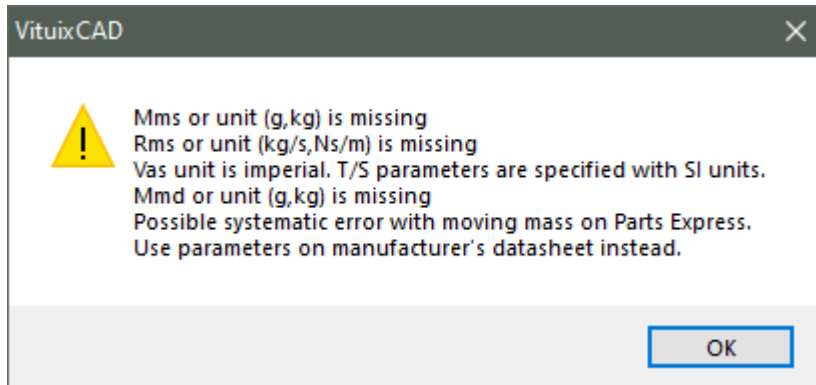
勾选 Crosscalc 可在调整某一个参数时联动更新其他参数。

如果 Creep $\beta > 0$ ，辐射器将使用 Knudsen LOG 模型仿真。

n_0 、SPL、USPL、EBP 和 V_d 仅作为信息计算显示。

也可以用 Import（导入）按钮，或拖放到 'Add new driver（添加新单元）' 窗口来导入参数。支持的文件格式有：VituixCAD .vxd、WinISD .wdr、Basta! .bastaelement、Hornresp .txt、SpeakerSim .sdrv 和 Speakerbench .json。

xml 格式的参数，或用 CLIO、LIMP、REW 测量或由 Speakerbench 汇总表计算得出的参数，可以用 Paste（粘贴）按钮粘贴。如果有内容缺失或无法解析，会显示提示信息。



用两次阻抗测量和少量已知参数，可通过附加质量法或密闭箱法计算 Thiele/Small 参数。用 Calculate T/S...（计算 T/S）按钮打开计算窗口。

添加或修改单元后，本地单元数据库会自动保存。执行 Delete rows、Duplicate rows 和 Update database 命令后，需要用 Save Driver 按钮或 Database 菜单中的 Save as... 命令手动保存。请定期备份本地数据库。

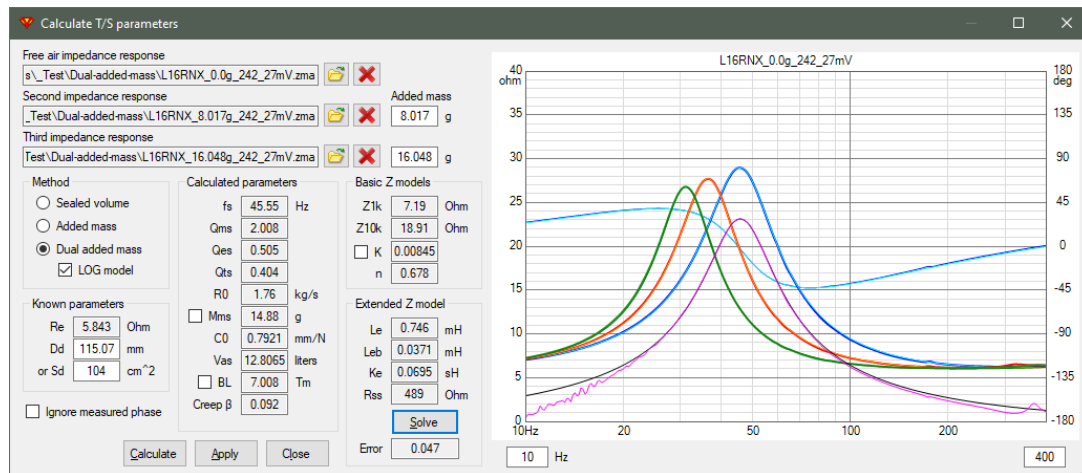
本地单元数据库默认是一个简单的制表符分隔文本文件。安装后的初始/默认数据库为 \Users\Public\Documents\VituixCAD\Enclosure\VituixCAD_Drivers.txt。数据库也可以是扩展名为 .vxd 或 .xml 的 XML 文件。

注意！ 强烈建议仅使用这个默认数据库来维护箱体项目 (.vxe) 与单元之间的链接，因为箱体项目不包含 T/S 参数，只包含一个链接，其中包括本地（或在线）单元数据库的路径名、单元制造商和型号。如有需要，用户可以通过 Database（数据库）菜单在不同的文件夹/服务器上创建和维护多个本地数据库：

- New（新建）- 创建新的空本地数据库
- Open（打开）- 打开本地数据库 (.txt/.vxd/.xml)
- Save as...（另存为）- 在其他文件夹中或以其他名称制作已打开数据库的副本 (.txt/.vxd/.xml)
- Online（在线）- 从 <https://kimmosaunisto.net/> 读取在线数据库

.txt 格式的数据库也可以用 Microsoft Excel 等外部工具维护，前提是不修改原始文件格式，包括列标题、测量单位和小数点符号。

Calculation of Thiele/Small parameters (Thiele/Small 参数的计算)



所有计算方法都需要的参数是单元的 Dd [mm] 或 Sd [cm²], 以及自由空气阻抗响应测量结果。

密封容积法需要 Re [Ω] 和在已知容积的无阻尼密封箱中测得的第二次阻抗响应。

附加质量法需要 Re [Ω] 和用已知附加质量测得的第二次阻抗响应。附加质量约为预期 Mms 的一半。

双附加质量法需要用已知附加质量测得的第二次和第三次阻抗响应。第一次附加质量约为预期 Mms 的一半, 第二次附加质量约为预期 Mms。

勾选 LOG 模型可使用与频率相关的折环顺性进行计算。提取的参数为 R0、Mms、C0 和 Creep β。拟合/仿真得到的动态阻抗传递函数:

$$Z_{em} = B l^2 / (R_0 + s * M_{ms} + 1 / s / C_0 / (1 + \beta * \ln(1 + \omega_0 / s))), \text{ 其中 } \omega_0 = 3\pi f_{fs}$$

参考文献:

[1] J. Candy 和 C. Futtrup, 《An Added-Mass Measurement Technique for Transducer Parameter Estimation》

[2] H. Hiebel, 《Suspension Creep Models for Miniature Loudspeakers》

[3] M. H. Knudsen 和 J. Grue Jensen, 《Low-Frequency Loudspeaker Models That Include Suspension Creep》

[4] <https://speakerbench.com>

测量并载入阻抗响应。如果相位响应不可靠, 勾选 Ignore measured phase (忽略实测相位)。必要时测量 Re, 如果 Sd 未知则测量 Dd。在文本框中输入参数和附加质量 [g] 或密闭箱容积 [升]。如果该数值可信且没有第二次阻抗响应测量, 勾选 Mms 或 BL。按 Calculate (计算)。结果显示在 Calculated parameters (计算所得参数) 和 Z model (阻抗模型) 组中。基础 Z 模型参数 Z1k 和 Z10k, 以及扩展 Z 模型参数 Le、Leb、Ke 和 Rss, 从自由空气阻抗响应中检测得出。双附加质量法也会计算 Re。Leach Z 模型参数 K 和 n 从自由空气阻抗响应中检测得出, 勾选 K 时仿真得到的 Z 响应会显示在图中。更多信息参见曲线的工具提示。

用 Apply (应用) 按钮可将结果接受到此前的 Edit parameters (编辑参数) /Add new driver (添加新单元) 窗口。

Impedance models (阻抗模型)

箱体工具可以使用两种不同的阻抗模型：

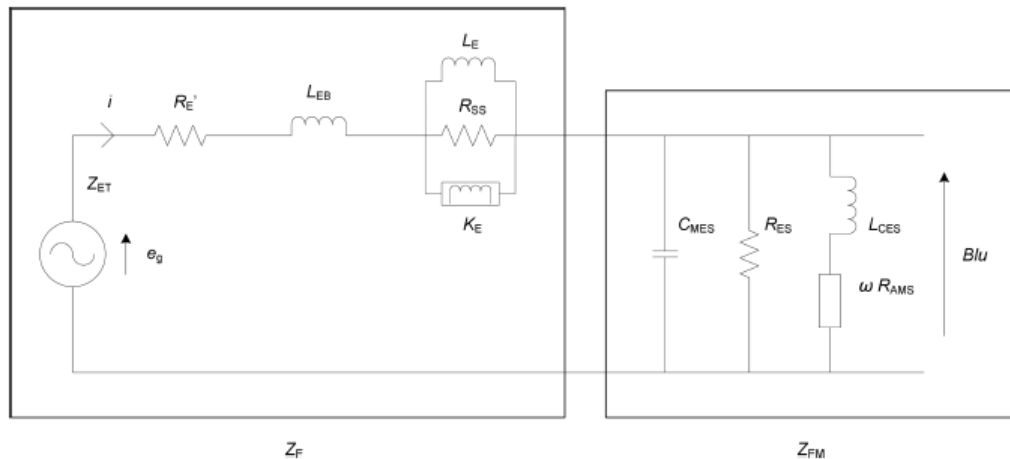
1. **基础阻抗模型**。用两个阻抗点 Z1k 和 Z10k 拟合的指数曲线。

$$Z_L(j\omega) = K(j\omega)^n$$

如果 Z1k 和 Z10k 都大于零，这是用于阻抗响应计算的主要模型。数值应大于或等于 R_e 。

2. **扩展阻抗模型**，详见 Knud Thorborg、Carsten Tinggaard、Finn Agerkvist 和 Claus Futtrup 发表于《JAES》2010 年 6 月第 58 卷第 6 期第 472-486 页的论文《Frequency Dependence of Damping and Compliance in Loudspeaker Suspensions》。

扬声器等效电路（从电气侧看）：



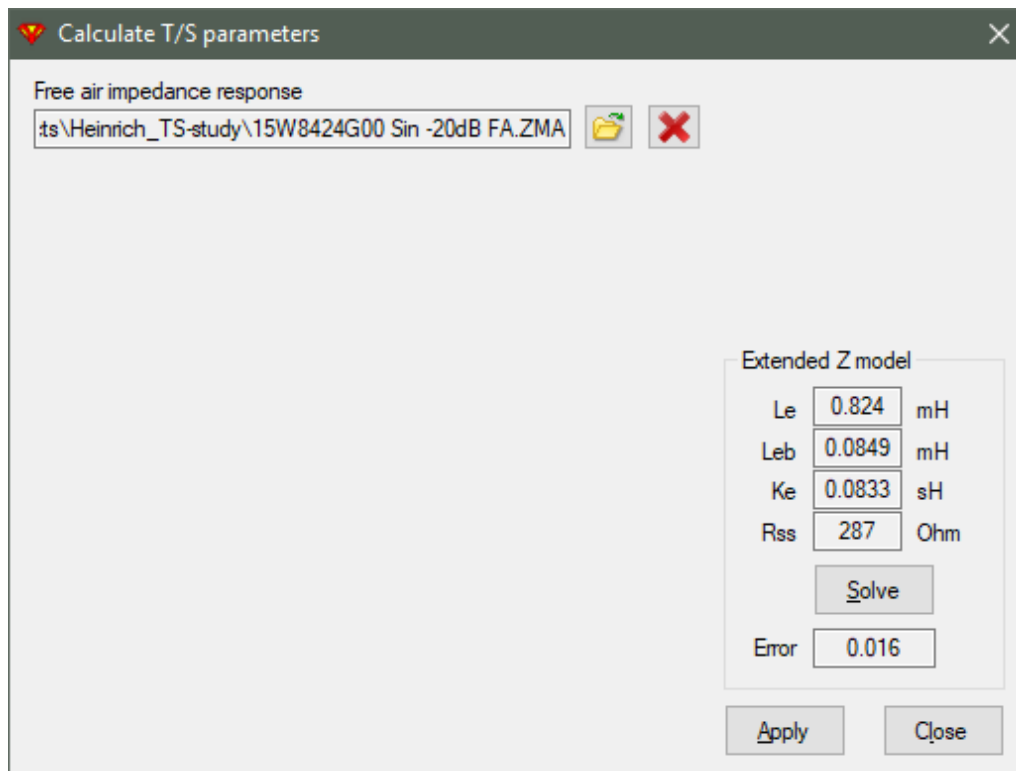
如果扩展阻抗模型的参数未全部给出，计算规则如下：

- * 如果束缚电感 L_e 为空或为零，则使用半电感 K_e
- * 如果半电感 K_e 为空或为零，则使用束缚电感 L_e
- * 如果分流电阻 R_{ss} 为空或为零，则忽略（=无穷大）。

如果 Z1k 或 Z10k 为空或为零（或两者均为），这是用于阻抗响应计算的次要模型

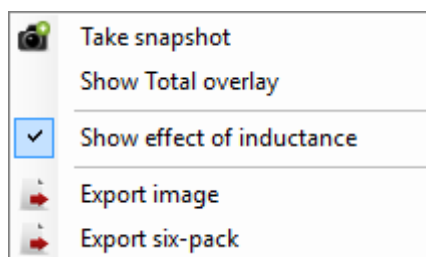
使用位于 Calculate T/S parameters（计算 T/S 参数）窗口中的 **Extended Z model solver（扩展 Z 模型求解器）**，可以从厂家数据表上的阻抗曲线或阻抗测量结果中提取 L_e 、 L_{eb} 、 K_e 和 R_{ss} 。

注意！ 在提取扩展 Z 模型参数之前，应输入或计算 R_e 、 f_s 、 R_{ms} 、 M_{ms} 、 C_{ms} 或 V_{as} 、 S_d 和 Bl ，且这些值应大于 0。



载入自由空气阻抗响应文件 (txt、zma) 。按 **Solve (求解)** 按钮开始。优化器搜索 Le、Leb、Ke 和 Rss，使结果接近自由空气目标。如果平方误差之和小于 0.4，可用 **Apply (应用)** 按钮将参数接受到该单元。如果结果不可接受、无法应用于该单元，Error 字段会显示为红色。

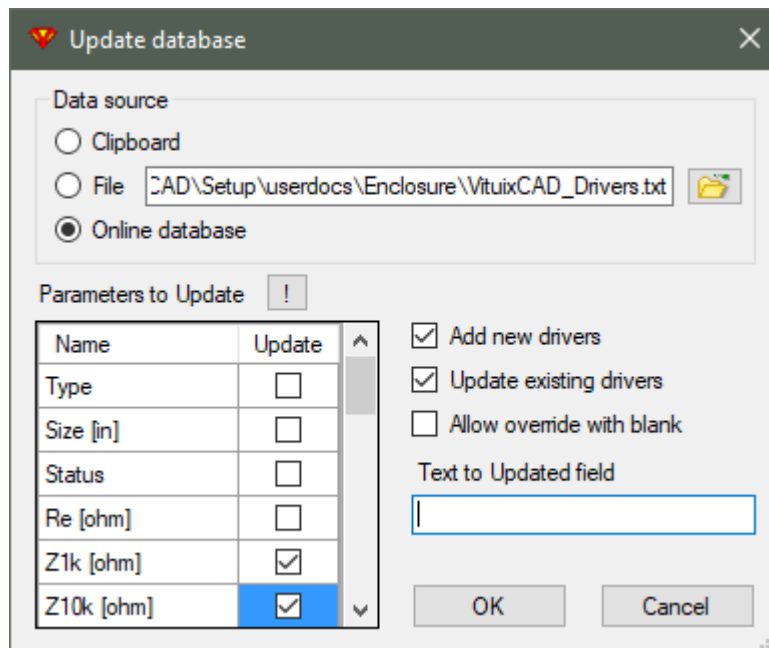
勾选 SPL 图右键菜单中的 **Show effect of inductance (显示电感影响)**，可将音圈电感（含损耗）纳入频率响应计算。



Database update (数据库更新)

本地单元数据库可以用剪贴板中的数据、本地文件或 kimmosaunisto.net 上的在线数据库更新。数据格式可以是 xml 或制表符分隔文本。如果源数据不是 xml 且没有带参数名的标题行，则源数据与目标（本地）数据库中的列顺序和列数必须一致。尤其要验证剪贴板上制表符分隔文本数据的列匹配情况。本地文件和在线数据库通常有标题行或 xml 元素，因此无论列顺序如何，数值都会被复制到正确的字段。

通过单元表格的右键菜单打开更新数据库窗口。



选择数据源：剪贴板、text/xml 文件或在线数据库。

勾选 Add new drivers（添加新单元）可添加在本地数据库中找到其 Manufacturer（制造商）和 Model（型号）的单元。

勾选 Update existing drivers（更新已有单元）可更新在本地数据库中能找到其 Manufacturer 和 Model 的单元。从列表中选择要更新的参数。用 [!] 按钮反转选择。Allow override with blank（允许用空值覆盖）可用空值替换已有值。否则源数据中的空值不会覆盖已有的非空值。

Updated（更新）字段中的文本会覆盖已有文本。如果文本框留空，则复制源数据中的文本。

Driver configuration（单元配置）

下拉菜单提供单元数量的选择。如果选择多个单元，右侧的单选按钮控制单元的连接方式。

单元数量：1、2、3、4、6、8、9 或 12 只，或等压（isobaric）配置中的成对单元

电气连接：串联、并联、2 并 2 串...、3 并 3 串...

如果勾选 Isobaric（等压），仿真中的每个单元都是两只单元以等压方式机械组合而成。如果勾选 series（串联），等压对在电气上串联；否则成对单元并联。

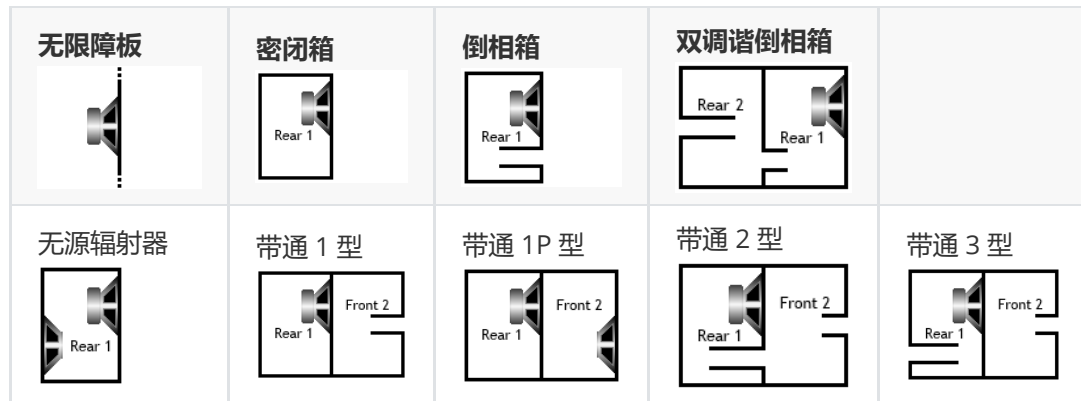
每只单元的额外质量 Extra mass [g] 可用于仿真 Mms 的增加，这会降低单元的 fs 和灵敏度。双击 'Extra mass' 标签可将质量重置为零克。

放大器输出信号（以电压 U[V] 或到 Re 的功率 P[W] 表示）对所有单元是统一的。可以将电压或功率从默认值更改，以仿真更高电功率下的锥盆冲程和导管空气速度。双击单位标签可恢复默认信号（2.83 V 或 1.0 W）。

文本框中显示之前所选单元的 Manufacturer（制造商）和 Model（型号）。容积位移能力 SdXmaxN 显示在 Vd [cm³] 字段中。

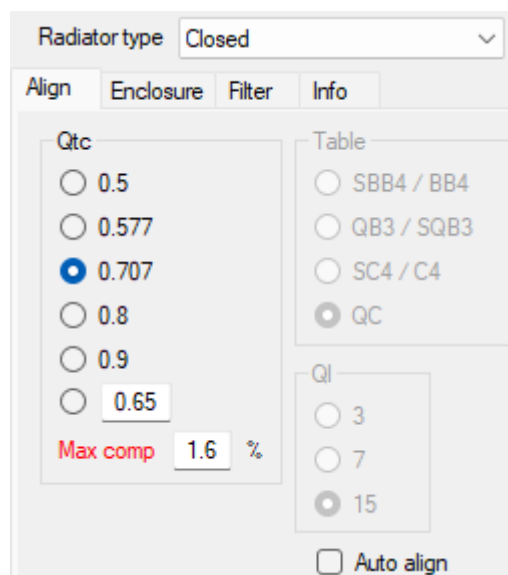
Radiator type (辐射器类型)

箱体工具支持的辐射器类型：



Tabs (选项卡)

Align - Closed and Bass reflex radiator alignment (Align - 密闭箱与倒相箱的调准)



密闭箱通过选择或输入 Qtc 来调准。

可选提供因空气压缩导致非线性的高报警限值 [% of Xmax]。如果超出报警限值，箱体容积会被限制，无法得到所要求的 Qtc (文本显示为红色)。如果你不在乎压缩失真，可提高限值百分比直到红色消失。失真按 $1.4 * Sd * Xmax / Vb * 100\%$ 计算。

调准使用非常基础的公式： $Vb = Vas / ((Qtc/Qts)^2 - 1)$ 。

Radiator type: Bass reflex

Align | Enclosure | Filter | Info

Qtc

☐ 0.5

☐ 0.577

☒ 0.707

☐ 0.8

☐ 0.9

☐ 0.65

Max comp: 1.6 %

Table

☐ SBB4 / BB4

☒ QB3 / SQB3

☐ SC4 / C4

☐ QC

Ql

☐ 3

☐ 7

☒ 15

☐ Auto align

倒相箱使用 Thiele、Hoge 和 Bullock 的 SBB4/BB4、QB3/SQB3 或 SC4/C4 表 (Ql 为 3、7 或 15) 调准, 或

使用 L. Risbo 的准切比雪夫 (QC) 表 (0.5 dB 纹波, Ql=15)。参见 [Speaker Box Alignments from Numerical Optimization - The Quasi-Chebyshev Alignment](#)

Auto align (自动调准) 在单元、单元配置或辐射器类型改变时用输入的参数执行调准。

☒ Diffraction response

mo\\Near\\Audax_HM170Z18_Cabinet-impact.frd

全空间仿真中可以包含单个箱体影响响应, 显示在 SPL 图中 (棕色)。点击 Open (打开) 按钮 载入仿真的障板响应, 并通过勾选 Diffraction response (衍射响应) 启用它。

点击 Baffle step (障板阶跃) 按钮 可执行衍射仿真器。

Enclosure - Parameters for different radiator types (箱体 - 不同辐射器类型的参数)

Radiator type Bass reflex

AlignEnclosureInfo

Box Rear 1

Volume [l] 35.0

Qa 100

Ql 15

☐ Fb [Hz] 40.0

Vent Rear 1

Length [cm] 15.0

☐ Diam [cm] 7.0

Qp 100

Number 1

End corr 0.85

Radiator type Passive radiator

AlignEnclosureInfo

Box Rear 1

Volume [l] 14.0

Qa 75

Ql 30

Fb [Hz] 37.7

Passive

Vas [l] 27.3

Sd [cm²] 133

Qms 14.3

Mms [g] 80.0

Extra [g] 0

fs [Hz] 17

fe [Hz] 17

Xsus [mm] 15

Number 2

Solve

Get

Purifi Audio PTT6.5PR-01

Vd [cm³] 399

Radiator type Double tuned bass reflex

AlignEnclosureInfo

Box Rear 1

Volume [l] 35.0

Qa 100

Ql 15

☐ Fb [Hz] 40.0

Box Rear 2

Volume [l] 35.0

Qa 100

Ql 15

☐ Fb [Hz] 30.4

Vent Rear 1

Length [cm] 15.0

☐ Diam [cm] 7.0

Qp 100

Number 1

End corr 0.85

Vent Rear 2

Length [cm] 30.0

☐ Diam [cm] 7.0

Qp 100

Number 1

End corr 0.85

可调的箱体和导管参数因所选辐射器类型而异。

可调的箱体参数：Volume（容积）[l]、Qa、Ql、Fb [Hz]。如果箱体不带导管，箱体谐振频率 Fb [Hz] 为只读的计算值。

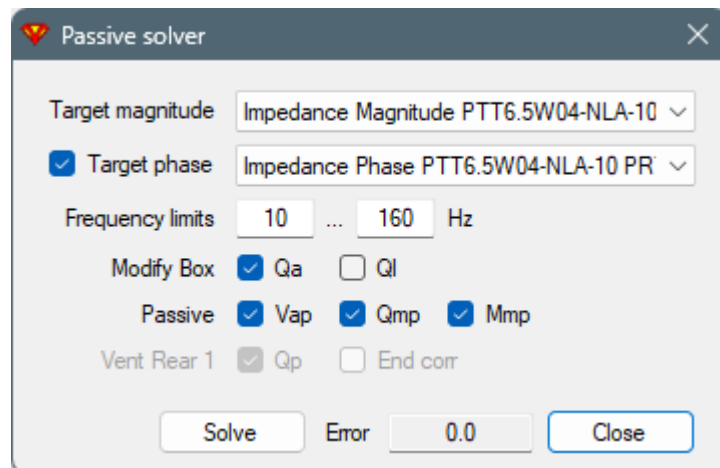
可调的导管参数：Length（长度）[cm]、Diameter（直径）[cm]、Qp、Number（数量）、Total end correction（总末端修正）；0.60 - 2.40。

用复选框可锁定倒相箱的 Fb [Hz]：如果修改 Length，则计算 Vent Diam/Area；如果修改 Volume、Fb、Diam/Area、Number of vents 或 End corr，则计算 Vent Length。表格调准会取消勾选 Box Rear 1 的 'Lock Fb'。

Get（获取）按钮从单元数据库当前行读取无源辐射器参数。带磁路驱动系统的普通单元也可以作为无源辐射器。

文本框中显示之前所选无源辐射器的 Manufacturer（制造商）和 Model（型号）。容积位移能力 SdX_{maxN} 显示在 Vd [cm³] 字段中。

Solving parameters of passive and bass reflex radiators (求解无源辐射器与倒相辐射器的参数)



无源/倒相辐射器的某些参数，可以通过将仿真阻抗响应与在已知测试系统上测得的阻抗响应进行比较来确定。

- 测量带有有源单元和无源/倒相辐射器的测试系统的阻抗响应。箱体容积应已知。不要在箱内填充吸声材料。有源单元的 T/S 参数应已知。如果厂家数据不可靠，请在此测试之前测量 T/S 参数。无源辐射器可以有额外质量，但应已知或测得准确数值。
- 用箱体工具仿真同一系统。确认单元、箱体和无源/倒相辐射器的所有已知参数与实测系统一致。将可能的额外质量的准确值输入 Passive 组中的 Extra [g]。为未知的箱体参数设置初始值：Qa=50、Ql=50-100。如果厂家未提供，设置 Passive Qmp=15 或 Vent Qp=100。
- 将实测阻抗响应作为叠加曲线载入阻抗图。幅值响应对应左 Y 轴，相位响应对应右 Y 轴。
- 点击 Passive 或 Vent Rear 1 组中的 Solve（求解）按钮，打开辐射器求解器窗口。
- 确认在 Target magnitude（目标幅值）列表框中选中了幅值响应叠加曲线。如果实测相位可用于迭代，勾选 Target phase（目标相位）并确认在列表框中选中了相位响应叠加曲线。
- 调整 Frequency limits（频率限值）。最小值约为测量下限峰值以下一个倍频程，最大值约为上限峰值以上一个倍频程。
- 选择要用求解器修改的参数。如果需要调整无源辐射器的所有参数，勾选 Vap、Qmp 和 Mmp。如果 Vap 和 Mmp 已用某种准确方法（如带 AN57 的 Klippel 硬件）测得，你可以只修改 Qmp。导管参数为 Qp 和 End correction（末端修正，默认不勾选）。箱体 Ql 可保持恒定的 50-100，因此不勾选它。勾选 Qa 以允许修改。
- 点击 Solve 按钮开始迭代。如果迭代失败且仿真与测量不匹配，请手动调整参数初始值，然后再次 Solve。
- 如果结果可接受（误差非常接近 0），你可以在单元数据库中修改无源辐射器的参数。在用 OK 按钮关闭 Edit parameters（编辑参数）窗口之前，输入 Cms=0 和 Rms=0，以便程序从迭代得到的 Qmp、Vap、Mmp 和 fs 计算出正确的值。

Filter - Optional filter (滤波器 - 可选滤波器)

Align	Enclosure	Filter	Info
On/Off	Type	Hz	Q
☐ HP	2nd order	10	0.71
☐ LP	2nd order	1000	0.71
	dB	Hz	Q
☐ Shelv LP	6	40	0.71
☐ Shelv HP	-3	200	0.71
☐ PEQ 1	6	30	1.00
☐ PEQ 2	-3	150	1.00
	fo	Qo	fp
☐ L-T	50 Hz	0.50	30 Hz
	☐ Track Fb and Qtc		
☐ Cs	470 uF	☐ Cp	22 uF
☐ Ls	2.2 mH	☐ Lp	15 mH
☐ Rs	0.0 Ohm	☐ Rp	6.8 Ohm

Filter (滤波器) 选项卡允许添加最多六级有源滤波器, 以及与单元串联的 L+C+R 和与单元并联的 L+C+R:

- 高通滤波器: 1 阶、Q 值可调的 2 阶、Bessel 12-48 dB/oct、Butterworth 6-48 dB/oct 或 Linkwitz-Riley 12-48 dB/oct。
- 低通滤波器: 1 阶、Q 值可调的 2 阶、Bessel 12-48 dB/oct、Butterworth 6-48 dB/oct 或 Linkwitz-Riley 12-48 dB/oct。
- 架式低通滤波器: 1 阶或 Q 值可调的 2 阶
- 架式高通滤波器: 1 阶或 Q 值可调的 2 阶
- 参量峰值/陷波均衡器, 2 级
- Linkwitz 变换。勾选 'Track Fb and Qtc (跟踪 Fb 和 Qtc) ' 可将密闭箱或无限障板的 Fb 和 Qtc 复制到 fo 和 Qo, 以帮助设置 L-T。
- 串联电容 Cs, 恒定 ESR=0.01 Ω 。
- 串联电感 Ls, 恒定 DCR=0.1 Ω 。
- 串联电阻 Rs, 也可充当信号源输出电阻和线材电阻。
- 并联电容 Cp, 恒定 ESR=0.01 Ω 。
- 并联电感 Lp, 恒定 DCR=0.1 Ω 。
- 并联电阻 Rp。

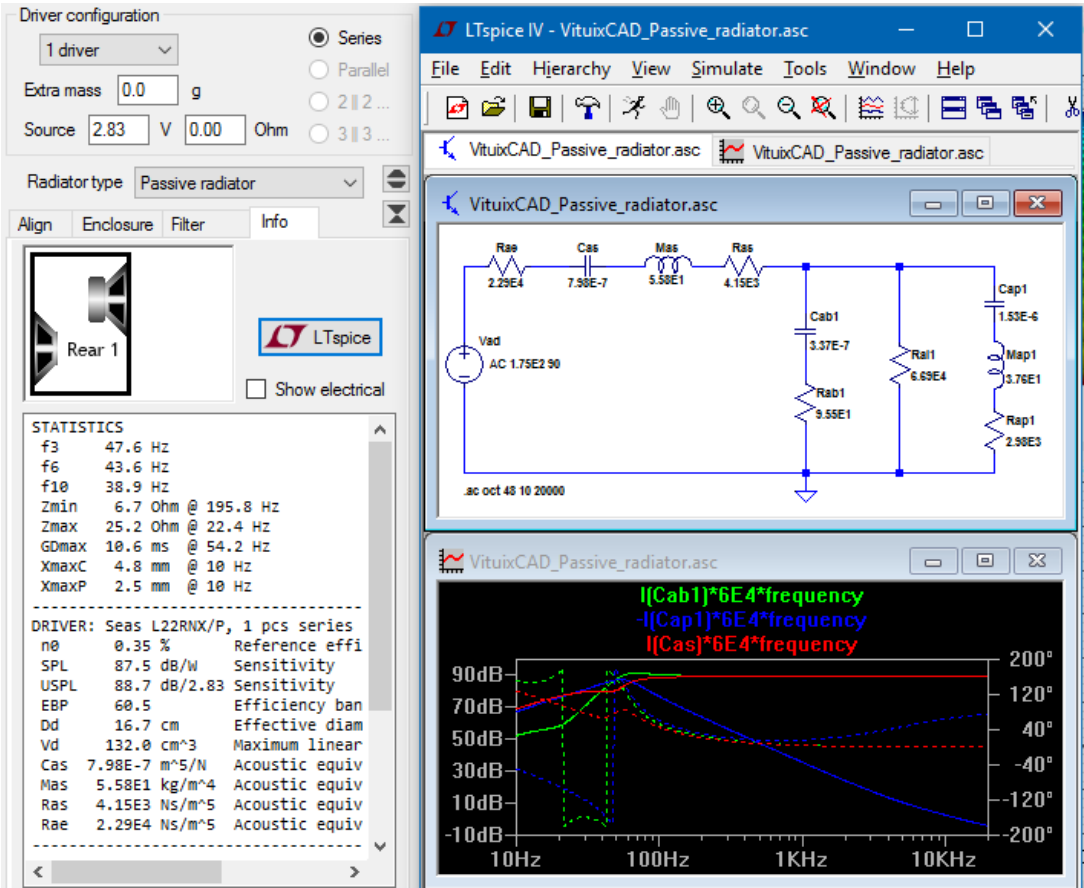
注意! 滤波器元件不包含在阻抗响应导出中。

各级用 On/Off 复选框启用 (不短路)。传递函数使用主程序中的 DSP 设置计算。含滤波器模块的传递函数幅值以 dB 刻度显示在群延时图中 (右轴)。

各级可以用 Copy (复制) 按钮复制到剪贴板, 并粘贴到主程序的分频器中。如果有任何模块被启用或 $R_s > 0$, 则复制全部十二级。被禁用的模块/元件以短路形式复制。如果并联 L+C+R 支路的所有元件都被禁用, 则该支路设为开路。

滤波器设置仅保存到箱体项目文件 (.vxe) 中, 不保存到用户配置以用于下次会话。

Info - Acoustical and electrical equivalent parameters (信息 - 声学
与电气等效参数)



Info (信息) 选项卡显示箱体图像、单元/箱体/导管的计算声学参数。可选显示电气等效值。
Info 选项卡还列出统计数据: f-3dB、f-6dB、f-10dB、最小阻抗、最大阻抗、最大群延时、锥盆和无源辐射器的最大冲程, 以及导管的最大空气速度。

可选运行外部 LTspice 电路仿真器。单元和箱体的声学参数会传入 LTspice。需要在 Options (选项) 窗口中定义 LTspice 可执行文件的路径。

注意! 音圈电感的影响不显示在 SPL 曲线中。

Export, Save and Open functions (导出、保存和打开功能)

如果你选择用仿真结果代替声学 and 电气测量来仿真扬声器单元, 可以导出半空间总 SPL 和阻抗响应。勾选 Feed (馈送) 后, 阻抗响应 (txt/zma) 会在导出前传送到主程序 Drivers (单元) 选项卡中所选的单元。

箱体项目用 Save Project (保存项目) 按钮保存, 用 Open Project (打开项目) 按钮或箱体项目表 (向下箭头按钮) 打开。

Enclosure project table (箱体项目表)

Enclosure projects														
Project list s:\Public\Documents\VituixCAD\Enclosure\VituixCAD_Projects2.txt														
Directory	Filename	Driver	dNbr	Eg [V]	Pg [W]	Radiator	Vb [tr]	Fb [Hz]	vLen [cm]	vDia [cm]	vArea [cm2]	vNbr	Passive	pNbr
C:\Users\Kimm...	Seas_W22EX001_Bass_reflex	Seas W22EX001	1 driver	4.5	3.32	Bass reflex	47.992	28.35	25.1	7.1	39.59	1		
C:\Users\Kimm...	Wavecor_WF223BD02_Bass_reflex	Wavecor WF182BD09/11	1 driver	2.83	2.503	Bass reflex	12.059	35.13	286.1	13.7	147.86	1		

箱体项目列表可用 Open（打开）按钮更改。默认列表文件为
\\Users\\Public\\Documents\\VituixCAD\\Enclosure\\VituixCAD_Projects.txt。

用 Refresh（刷新）按钮可将项目列表和 vxe 文件中的数据重新载入表格。用 Delete（删除）按钮删除所选行。**注意！** 箱体项目文件（vxe）不会被删除。勾选 **Auto open（自动打开）** 后，浏览列表时项目会随即打开。即使未勾选 Auto open，双击行也会打开项目并关闭列表窗口。

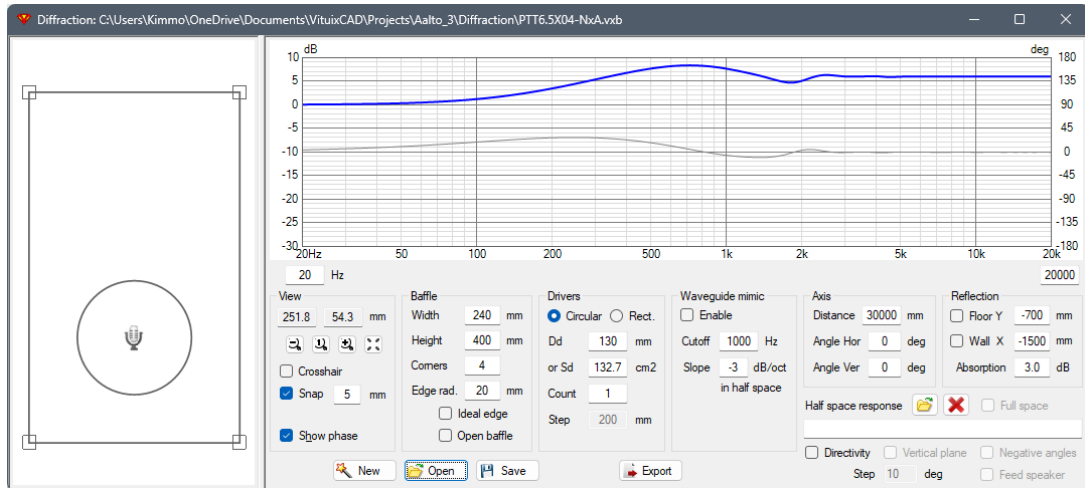
Graphs（图表）

频率轴限值可用底部的文本框调整。在特定图表的中间区域双击，可将任一图表放大到全屏，再双击返回仪表盘视图。曲线配色定义在仪表盘下方。箱体工具的仪表盘包含以下图表：

- 总 SPL [dB] 和相位、锥盆与导管的 SPL，以及半空间 (2π) 最大 SPL。当在 Align 选项卡中载入了 Diffraction response 时，可选显示全空间 (4π) 总 SPL。
- 无源滤波器时的阻抗和相位。启用任何无源元件时，显示含无源滤波器的总阻抗和相位。'等效峰值耗散电阻' EPDR。
- 输入功率：视在功率 [VA]、有功功率 [W] 和到 Re 的最大功率 [W]。
在右键菜单中勾选 'Show current（显示电流）' 时显示电流 [A]，或
在右键菜单中勾选 'Show voltage（显示电压）' 时显示电压 [V]。电压曲线包含信号源电压 U 和有源滤波器，但不包含无源元件。
- 群延时 [ms]。
滤波器的传递函数幅值 [dB]。
- 锥盆和无源辐射器的峰值冲程与 $X_{\max}$ [mm]。
在右键菜单中勾选 'Show force（显示力）' 时，显示振动质量加速引起的锥盆和无源辐射器的峰值反作用力 [N]，或
在右键菜单中勾选 'Show acceleration（显示加速度）' 时，显示锥盆和无源辐射器的 RMS 加速度 [m/s^2]。
 $F_{\text{peak}} = X_{\text{peak}} \omega^2 (M_{\text{ms}} + M_{\text{me}})$
 $a = X_{\text{peak}} \omega^2 / \sqrt{2}$ 。
- 导管的空气速度 [m/s]。导管的湍流警告为 17.2 m/s（5% 马赫数），报警为 34.4 m/s（10% 马赫数）。锥盆和无源辐射器的速度 [m/s]。

参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays（图表叠加）。

Diffraction tool（衍射工具）



衍射仿真器计算障板中单元的箱体影响响应或全空间频率响应。仿真基于简单的射线理论：每个单元是一个点源，以固定的 5° 步长向障板边缘发出 72 条射线。计算最短的一阶衍射路径长度，并在听音点处以延时（即相位信息）求和。衍射射线的幅值与频率相关。权重因子由辐射器尺寸和边缘半径计算得出。角点数量最多 36 个，最少 3 个。障板最多可包含 50 个尺寸相同的单元。还提供含地面和侧墙反射的简化房间响应。

Initializing (初始化)

障板设计从输入主要尺寸开始：宽度、高度和角点数量。选择单元形状：圆形或矩形。为圆形单元输入有效直径 D_d 或面积 S_d ，为矩形单元输入宽度和高度；输入单元数量和 Step（多个单元时的垂直间距）。按 New（新建）按钮在绘图区创建带单元和话筒的初始形状。

可通过右键菜单添加和删除角点与单元。角点会添加在光标位置，但你可能需要旋转两个角点才能将新角点放到正确位置。单元添加在光标位置。

通过缩放按钮  可进行缩小、1:1、放大和适应窗口。当没有选中任何对象（点击空白区域）时，可通过拖动平移障板图像。位置坐标的单位为毫米。缩放 1 对应 1px=1mm。原点 (0, 0) 初始位于左下角。按住 Ctrl 键点击左键可将原点移动到光标位置。如果选中了角点、单元或话筒，原点会移动到所选对象的中心点。右键菜单中也提供 'Set origin (0,0)（设置原点）' 命令。

可载入单元的半空间频率响应以进行全空间响应仿真。勾选 Full space（全空间）可启用全空间视图和导出。Y 轴刻度自动调整。

对于使用薄 I 型障板的偶极音箱，勾选 Open baffle（开放障板）。

Adjusting (调整)

在图像上点击左键可选择单个对象：角点、单元和话筒。所选对象会高亮显示，其位置 (X, Y) 显示在 View（视图）组中。位置可通过拖动、输入坐标或在文本框中按方向键来调整。用鼠标、方向键或文本框移动角点后，障板宽度和高度会更新到文本框中。Snap（吸附）设置将对象移动限制在文本框指定的间隔。吸附模式由复选框激活。拖动时按住 Shift 键，对象将沿正交方向移动。用 New 按钮创建障板后，可用文本框调整障板宽度和高度。角点的移动相对于所选原点。十字光标有助于对齐对象。调整过程中箱体影响响应图会实时更新。

点击空白区域可取消选择。只要没有选中任何对象，就会显示鼠标光标的坐标。

项目初始化之后，可通过输入数值或在文本框中按上/下方向键来调整边缘半径、单元 D_d 或 S_d 、Width（宽度）和 Height（高度）。调整过程中图形和箱体影响响应图会实时更新。

Waveguide mimic (波导模拟)

这是对波导指向性的简单模拟。模拟不包含效率和轴向 SPL 的变化。没有响应提升（没有任何阻抗信息），因此结果不能用于设计均衡。真正的波导/号角仿真要复杂得多，需要所有尺寸、截面形状和单元参数。

用 'Waveguide mimic' 组中的 Enable 复选框激活模拟。启用模拟后，会在单元外侧绘制一个绿色虚线圆。

开始出现指向性的频率用 Cutoff 文本框以 Hz 调整。

指向性随频率的变化用 Slope 文本框以 dB/oct 调整。待调整的值是半空间（无障板边缘指向性影响的无限障板）中 90 度离轴响应的斜率。范围为 -0.1 至 -6.0 dB/oct。

模拟得到的离轴响应的基础响应是 1 阶低通滤波器的传递函数。它受 Slope 参数以及从单元到虚拟话筒/听音点的方向（角度）控制。假定波导为圆形。单元（作为理想活塞）的指向性计算限制在 -50 至 +50 度之间，即假定喉口张角约为 100 度。

Mic/listening point (话筒/听音点)

话筒符号代表 Axis Distance（轴向距离）处的听音点。输入 5000-30000 mm 进行远场仿真，以获得完整的障板损失。通过输入 Angle Hor 或 Angle Ver，或在文本框中按上/下方向键，可使障板在水平和垂直方向旋转。旋转原点是话筒在（未旋转的）障板表面上的垂直投影点。从俯视图看，障板水平旋转逆时针为正。障板垂直旋转向上为正。为与测量数据兼容，指向性导出时旋转角度的符号会改变。

Reflections (反射)

勾选 Floor（地面）并以 mm 为单位输入地面高度，可在频率响应中包含地面反射。勾选 Wall（墙面）可包含侧墙反射。X 坐标为负表示墙位于左侧。输入 0...20 dB 范围内的吸声量，可减小边界反射的幅度。

File functions (文件功能)

按 Save（保存）按钮保存障板项目。文件扩展名为 .vxb，但它是一个人类可读的 xml 文件，包含主要尺寸以及角点和单元的位置。你可以打印该文件以辅助最终的箱体设计。

按 Open（打开）按钮打开已有的障板项目。

按 Export（导出）按钮导出图中显示的仿真箱体影响响应或全空间频率响应。

勾选 Directivity（指向性）还可以以可调步长（1-45°）导出离轴响应。勾选 Vertical plane（垂直平面）可导出垂直平面中正角度的响应。勾选 Negative angles（负角度）可导出负角度的响应。导出前勾选 Feed speaker（馈送到音箱），可将响应传送到主程序中当前所选的单元。输入响应的根文件名。程序会使用 Options（选项）窗口中定义的编码方式，在文件名后附加水平/垂直关键字和角度。

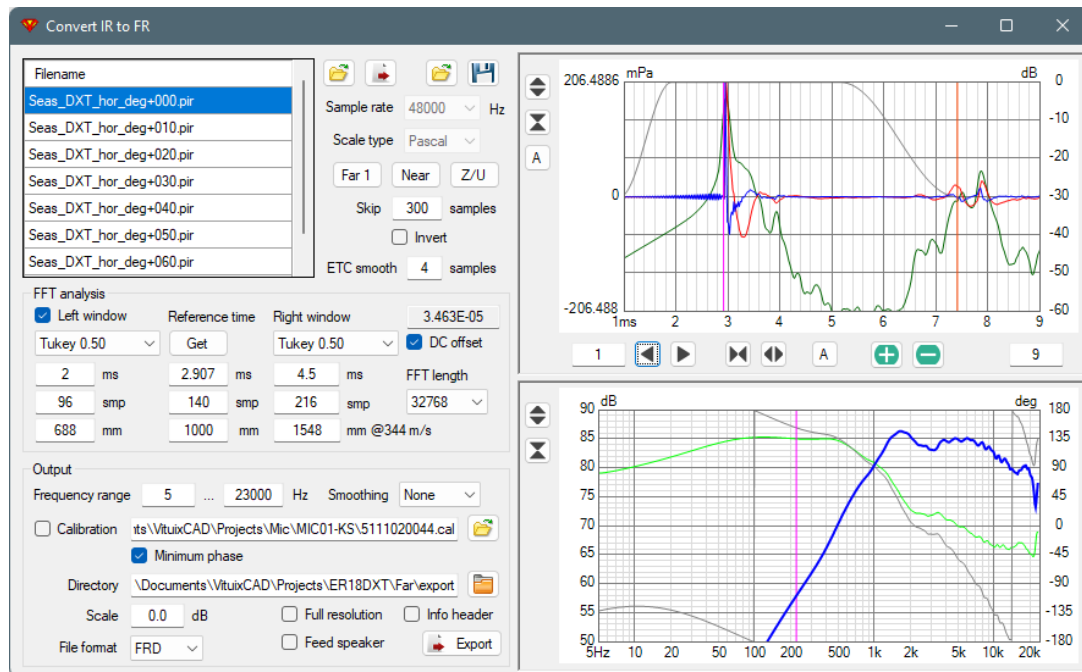
Graph (图表)

参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays（图表叠加）。

注意！

1. 倒角可以按半径输入。
 2. 长条形平面辐射器应通过堆叠多个小矩形单元（Step = Height）来构建。
-

Convert IR to FR (脉冲转频响)



转换工具导入多个脉冲响应（IR）文件并转换为频率响应（FR）文件。建议列表中的所有文件都使用相同的参数和设置进行测量：旋转中心、距离、电平、信号类型、采样率、MLS 序列长度等。

Impulse response files (脉冲响应文件)

用 Open（打开）按钮或拖放方式将脉冲响应载入文件列表。按住 Shift 键拖放或在文件选择对话框中按 Shift 键点击 Open 按钮，可以将更多测量文件添加到列表中。支持的 IR 文件格式有 ARTA .pir、CLIO Standard/QC .mls/mlsi (4.x、6.x、7.x)、CLIO Pocket .crp、WAV 单声道/立体声（16 位 PCM、24 位 PCM、32 位 PCM、32 位 IEEE、64 位 PCM、64 位 IEEE）和 MLSSA/SE .txt。Wav 文件可能包含专有/自定义数据块，如 FLLR 或 APx5。如果 .txt 文件没有有效的 MLSSA ASCII 头，程序会询问采样率。如果测量的 .txt 文件包含多列数据，则从第二列读取数值。右侧的组合框显示当前所选 IR 文件的采样率（Hz）和标度类型：Pascal、Ohm、Volt。'Skip samples（跳过采样点）' 文本框可忽略脉冲响应文件开头的额外采样点（由测量程序添加）。例如 ARTA 会向 pir 文件添加 300 个采样点，Praxis 会向导出的 wav/txt 文件添加约 1ms × 采样率的采样点。勾选 Invert（反相）可改变脉冲响应的极性。ETC 曲线可用 ETC smooth 文本框以 0-32 个采样点进行平滑。

所选文件会显示在图中。

选中轴向响应时，点击 **Far 1** 按钮可为第 1 次远场导出（高音单元）设置默认值。同一只音箱后续的远场导出（中音和低音）应使用相同的设置，但右窗长度需根据每个单元的第一个未衰减边界反射来调整。

选中中音或低音锥盆的响应时，点击 **Near** 按钮可为近场导出设置默认值。所有近场响应可一次性导出。

点击 **Z/U** 按钮可为阻抗、电压和加速度导出设置默认值。

按 Far 1 按钮左侧的小导出按钮，可将脉冲响应保存为空格分隔文本、csv 或 MLSSA 文本文件到所选目录。

FFT 会话可用 'Save session (保存会话)' 按钮保存为 vxf 文件, 并用 'Open session (打开会话)' 按钮载入。IR 文件列表以及 FFT 分析、输出和图表设置都保存到会话文件中。

FFT analysis (FFT 分析)

在用快速傅里叶变换 (FFT) 转换到频域之前, 脉冲响应会 (逐点) 乘以窗函数。窗函数的典型用途是从测量数据中截取掉房间反射。窗函数可以是单边或双边的。左边用 **Left window (左窗)** 复选框激活。窗函数的最大值点以及导出频率响应的相位响应由 **Reference time (参考时间)** 设定。参考时间通常设为脉冲响应的第一个尖锐且较高 (正) 的峰值, 以便在高频产生接近最小相位的响应。**Get (获取)** 按钮将参考时间定位到脉冲响应绝对值最大的峰值。可能需要手动微调。如果禁用左窗, Reference time 的名称将变为 **Start time (起始时间)**。**Right window (右窗)** 是参考/起始时间之后测量数据的"主门"。右窗的终点通常设在第一个强边界反射 (不是衍射) 的开始处。

可用的窗函数有 Rectangular (矩形)、Bartlett、Blackman、Blackman-Harris、Blackman-Nuttall、Cosine 0.50/0.75/1.0、Hamming、Hann、Nuttall 和 Tukey 0.25/0.50/0.75。平顶函数 Rectangular 和 Tukey 允许被测对象存在一定的移动或位置差异或时序差异, 使脉冲不会衰减过多或完全流出时间窗。配合转台进行单元测量时推荐的函数是 Tukey 0.50。

矩形右窗的副作用可能是频率响应中出现高频伪影/误差。Hann 函数也不推荐, 但如果被测对象的时序和位置恒定且响应没有太多共振 (即 IR 中的可能变化很小或非常接近第一个峰值), 它也可以使用。

参考时间和时间窗长度可通过脉冲响应图用鼠标调整, 或用 FFT analysis 组中的文本框以毫秒 (ms)、采样点 (smp) 或毫米 (mm) 调整。

调整时间窗长度时, **FFT length (FFT 长度)** 可能自动改变, 以确保整个时间窗能放入 FFT 缓冲区。FFT 长度也可以在时间窗长度调整之后更改。可能需要延长以提高低频的精度/分辨率。

勾选 **DC offset (直流偏置)** 可减少声卡输入或输出中可能存在的直流电压的影响。计算时间窗之前 (最多 270 个采样点) 的 IR 平均电平, 并从所有 IR 采样点中减去。

Output (输出)

显示和导出频率响应的边界用 **Frequency range (频率范围)** 文本框调整。最宽的可能范围是从 5 Hz 到 40 kHz 或采样率/2 (奈奎斯特频率) 中较低者。如果被测对象不通过低频, 可能需要因噪声或其他不精确因素而裁掉低频。如果测量系统存在限制, 可能需要裁掉最高频段。例如, 如果扫频在采样率/2 之前不久就停止了。

可用的频率响应平滑 (**Smoothing**) 为 1/24、1/12、1/6 或 1/3 倍频程。平滑函数为 6 阶 Butterworth 带通, 斜率在 -20 dB 处截断。

勾选 Calibration (校准) 复选框可启用声压 (以 Pa 计) 测量的校准。用 Open 按钮或拖放方式将校准文件选择到文本框中。如果校准文件不包含相位信息, 应使用 **Minimum phase (最小相位)** 复选框进行最小相位提取。如果 IR 测量的单位是 Ohm, 则不应用校准。

频率响应文件的目标文件夹在 **Directory (目录)** 文本框中选择。

警告! 已有的输出文件将被覆盖, 且不发出警告。如果脉冲文件和频率响应文件都是 .txt, 请选择不同的输出目录, 或将频率响应导出为 .frd 文件。

幅值可用 **Scale (缩放)** 文本框缩放: dB SPL 和 dBV 以 dB 计, Ohm 用乘数。勾选 **Info header (信息头)** 可向输出文件添加元数据。

文件格式和扩展名用 **File format (文件格式)** 列表框选择。如果脉冲响应的单位是 Ohm，则选择 ZMA。如果脉冲响应的单位是 Volt，幅值单位为 dBV。TXT 生成带标题行的 3 列空格分隔文本文件。FRD 和 ZMA 生成不带标题行的 3 列制表符分隔文本文件。LMS 生成不带标题行的 3 列逗号分隔文本文件。WAV 导出 32 位 IEEE 单声道，即加时间窗并缩放后的脉冲响应。WAV 导出不支持平滑。

勾选 **Full resolution (全分辨率)** 可导出未平滑的高分辨率频率响应。频率步长为恒定的采样率/FFT 长度，允许较长的过剩延时而不会在相位响应中产生缠绕误差。

警告！ 请使用较短的 FFT 以避免文件过大和处理缓慢。

用 **Export (导出)** 按钮创建输出文件。按住 Ctrl 键点击 Export 按钮时，仅导出所选的响应。如果勾选了 **Feed speaker (馈送到音箱)**，响应会载入主程序中当前所选的单元。

Impulse response graph (upper) (脉冲响应图 (上))

脉冲图包含脉冲响应 (蓝色)、可选的脉冲包络 (ETC, 深绿色)、脉冲 dBFS (深青色) 和阶跃响应 (橙红色) 以及叠加曲线、窗函数 (灰色)、三个游标: 左窗起点 (橙色)、参考/起始时间 (洋红色) 和右窗终点 (红色)。如果未拖动游标，游标图例在十字光标位置显示时间 (ms)、脉冲幅值 (Pa/Ohm/Volt) 和包络/脉冲 dB。按住左键拖动时，游标图例显示游标时间 (ms) 处的脉冲幅值 (Pa/Ohm/Volt) 以及到参考点的距离 (mm)。

幅值和时间刻度用 Expand (扩展) 和 Compress (压缩) 按钮手动调整。按住 Ctrl 键可扩展/压缩脉冲图的 dB 跨度。时间刻度用 Left 和 Right 按钮手动平移。Auto (自动) 按钮自动缩放幅值和时间轴。幅值轴按绝对最大值缩放，时间轴显示整个时间窗——如果脉冲峰值不在时间窗内，则不显示峰值。

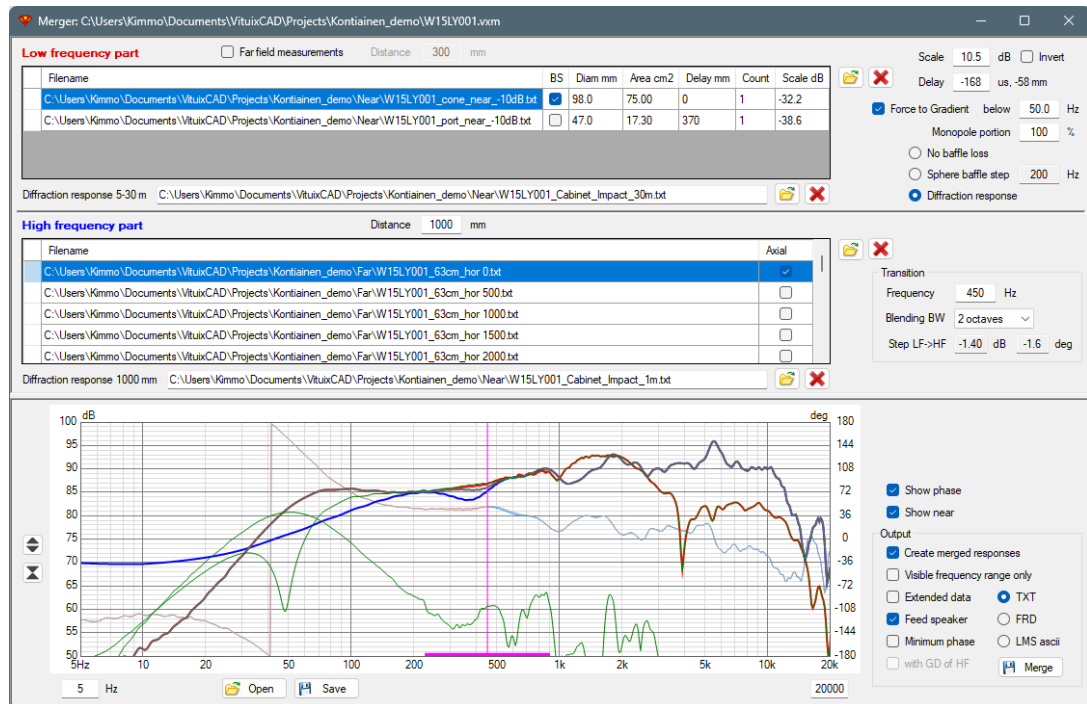
参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays (图表叠加)。

Frequency response graph (lower) (频率响应图 (下))

频率响应图显示幅值 (蓝色)、以度为单位的相位 (灰色)、可选的最小相位响应 (亮绿色)、过剩相位响应 (钢蓝色)、叠加曲线，以及 'gating frequency (门控频率)'——在 1.0/右窗处有一条垂直线 (洋红色)。门控频率以下的结果可能不可靠且过度平滑，但这取决于脉冲响应的形状和所选的窗函数。例如，完全平直的系统即使使用非常短的时间窗也能得到正确的结果。

参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays (图表叠加)。

Merger tool (合并工具)



合并工具使用两个独立的部分来合并频率响应：低频部分（Low frequency part）和高频部分（High frequency part）。低频响应可以是远场（ 4π ）测量，也可以是带障板仿真和实测或教科书指向性的近场（ 2π ）测量。图中显示低频部分（红色）、高频部分（蓝色）、合并后的响应（WindowFrame）以及可选的相位（灰色）和各个近场低频响应（绿色）的预览。图表游标（洋红色）控制过渡频率，并显示混合范围。

参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays（图表叠加）。

Low frequency part with Near field measurements（使用近场测量的低频部分）

合并工具将近场测量与衍射仿真、实测指向性和可选的教科书指向性合并到加时间窗的远场测量中。

取消勾选 Far field measurements（远场测量）。通过点击右侧的文件夹按钮或将文件拖入列表来添加近场频率响应。可以有多个响应，通常是锥盆和倒相孔或无源辐射器的近场响应。如果锥盆/倒相孔/无源辐射器位于前面板，会在轴向产生障板阶跃，则勾选 BS。如果锥盆/倒相孔/无源辐射器位于侧面、顶部、底部或后面板，则不要勾选 BS，因为轴向不存在障板阶跃。

输入辐射面的直径 [mm] 或面积 [cm²]，以启用自动缩放放到远场，以及为位于非前面板的倒相孔/无源辐射器仿真指向性。

在典型听音距离（2-4 m）轴向处，与前面板上有源锥盆的行程差，输入到 Delay [mm] 字段。例如，如果倒相孔/无源辐射器位于后面板中央，延时约为面板宽度/2 + 箱体深度。对于前面板上的有源锥盆，延时通常应为零。

缩放可通过响应行中的 Diam [mm]、Area [cm²] 和 Count of radiators（辐射器数量）或 Scale [dB] 调整；整个低频部分可通过 Scale 或 Distance 文本框输入数值或按上/下方向键调整。

'Force to Gradient（强制为梯度）' 复选框和 'Monopole portion（单极子比例）' 文本框可在以下情况下强制对近场低频响应施加理想梯度指向性：由于窗函数或测量条件，远场高频响应在低频的指向性太不可靠，且低频指向性可以在无需测量的情况下预测。

已知梯度辐射器的单极子比例值：全向 100 %（DI 0 dB）、心形 50 %（DI 4.8 dB）、超心形

37 % (DI 5.7 dB)、超心形 (Hyper-cardioid) 25 % (DI 6.0 dB)、偶极 0 % (DI 4.8 dB)。未勾选 'Force to Gradient' 时, 低频使用远场高频响应的指向性。使用理想梯度指向性的最高频率用 'below Hz' 文本框调整。指向性在理想梯度范围和过渡频率之间混合。最窄的混合范围为一个倍频程。

障板衍射有三种选项: No baffle loss (无障板损失)、Sphere baffle step (球体障板阶跃, 标称频率可调) 或 Diffraction response (衍射响应)。'Diffraction response 5-30 m' 可通过点击文件夹按钮或将文件拖入文本框来选择。将仿真到可能的最远听音距离的障板效应响应选择到该文本框中。响应类型必须是 'baffle step', 即缩放为 0...+6 dB。

Low frequency part with Far field measurements (使用远场测量的低频部分)

低频响应列表必须具有与高频响应列表相同的离轴角度 (文件名中的角度编码也相同)。否则低频和高频响应无法配对。

勾选 Far field measurements (远场测量)。通过点击右侧的文件夹按钮或将文件拖入列表来添加远场频率响应。输入低频和高频测量的 Distance (距离), 以自动计算低频响应的缩放。缩放可通过 Scale 文本框输入数值或按上/下方向键调整。

High frequency part (高频部分)

通过点击文件夹按钮或将文件拖入列表可添加远场测量。勾选响应文件列表中的 'On-axis' 列表选择轴向响应。默认的轴向响应是水平面中的 0 度。点击 HF 响应列表中的相应文件, 可以预览特定角度的合并响应 (位于 High frequency part 下方的图中)。

在 Distance 文本框中输入实际测量距离 (mm)。

可选的 'Diffraction response X mm' 可通过点击文件夹按钮或将文件拖入文本框来选择。将仿真到远场高频响应实际测量距离的障板效应响应选择到该文本框中。响应类型必须是 'baffle step', 即缩放为 0...+6 dB。

Transition (过渡)

从低频部分到高频部分的过渡可以通过 Frequency (频率) 文本框、图表游标或上/下方向键手动调整。

如果过渡频率超过最大低频辐射器的最高近场频率, 会以红色背景给出警告。 $f_{NFmax} = c/\pi/Dd$ ($c = 344.0$ m/s)。

低频和高频部分之间的幅值和相位混合范围可从列表框中选择: 无、1/2、1、2、3 或 4 倍频程。

低频部分的延时在过渡频率改变时自动计算, 但也可以手动调整。

Output (输出)

选择要输出的项目。Create merged responses (创建合并响应) 会将低频和高频响应合并为单独的响应文件。Extended data (扩展数据) 会将低频和高频响应合并为单个文件, 采用 LspCAD 6 扩展数据格式。保存前勾选 Feed speaker (馈送到音箱), 可将合并响应传送到主程序 Drivers (单元) 选项卡中当前所选的单元。

勾选 'Visible frequency range only (仅可见频率范围)' 可将输出响应限制在可见频率范围内。通常不应勾选，以避免强制外推——外推永远不准确。如果合并响应的低频（或高频）部分因极低频（如 $\leq$ 无源辐射器自谐振频率）信噪比低而不准确，限制范围可以改善例如脉冲响应图。

勾选 Minimum phase (最小相位) 可将合并响应导出为最小相位。实测和输入的延时将丢失，所有频率下的所有响应都归一化到同一声学中心 = 0 mm。图中合并相位响应的颜色为亮绿色。

勾选 with GD of HF (带高频群延时) 可将过渡频率 $\times 1.4$ 处高频响应的过剩群延时加到合并的最小相位响应上。此选项保留实测延时（在过渡频率 $\times 1.4$ 处）以及用户调整的延时。

如果实测的远场高频响应在过渡频率处不是最小相位（尽管辐射器实际上是最小相位的），可能需要使用最小相位选项。如果 IR 时间窗很短，某些测量程序可能会产生显著误差。如果响应是用双通道设备测量的，且过渡频率处的相位误差只有几度，则不建议强制转换为计算得到的最小相位。

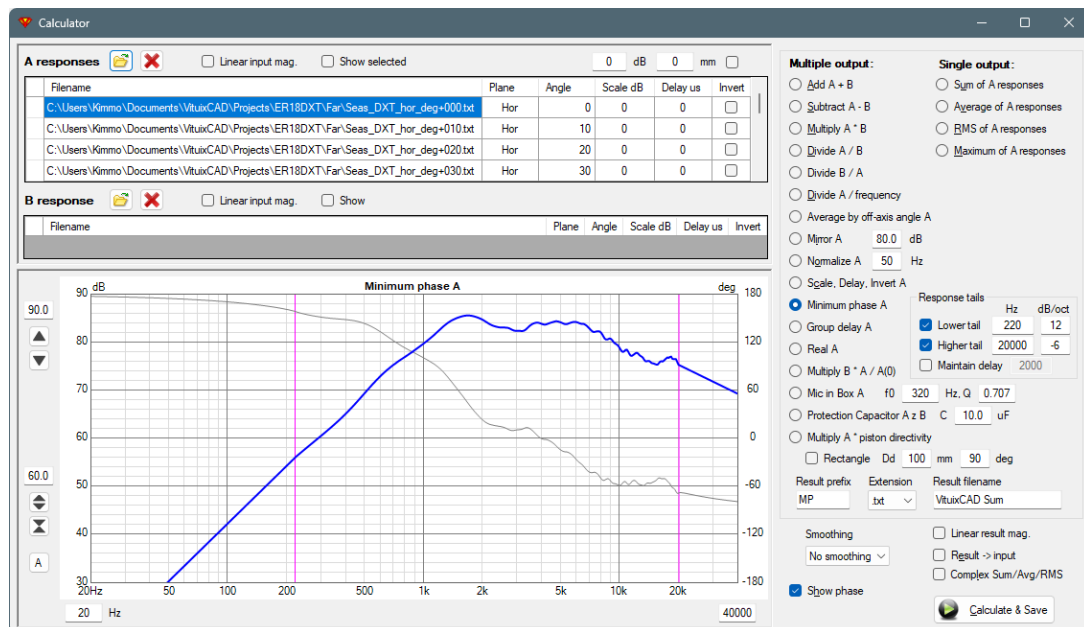
输出文件格式用 TXT、FRD 和 LMS ascii 单选按钮选择。结果文件保存到用浏览文件夹对话框选择的目标目录。

Save and Open (保存与打开)

合并项目可用左下角的 Save (保存) 按钮保存。文件扩展名为 vxm，内部为 XML。

已保存的合并项目可用 Open (打开) 按钮打开，或将 vxm 文件拖放到合并工具窗口中。

Calculator tool (计算器工具)



计算器工具是用于频率响应文件处理的通用数学工具。扬声器仿真所需的大多数数学功能已包含在箱体、合并和衍射工具以及分频器仿真器中。计算器工具提供了一些额外的功能和灵活性，用于处理校准文件、在仿真前预处理测量数据，或分析完整的音箱或单个单元。

Responses (响应)

主响应列表是 'A responses'，接受多条响应。'B response' 是单条响应。

通过点击文件夹按钮或将文件拖入列表来添加响应文件。支持用打开对话框多选文件。Delete (删除) 按钮清空整个响应列表。如果响应文件中的幅值是 dB 值，则取消勾选 Linear input mag (线性输入幅值)。对于幅值不是 dB 值的阻抗、声压或电压响应，勾选 Linear input mag。相位角的单位应为度。计算器会自动将相位缠绕在 $-180...+180^\circ$ 范围内。所有载入的文件都会被处理。

每条响应都可以手动缩放、调整时序和极性反转。响应列表上方提供对所有响应同时进行缩放/时序/反相的功能。文件名中的相位角会被检测并显示在文件名之后。计算指向性和功率响应需要它。更多信息参见 Options (选项)。

Multiple output (多重输出)

对每个输入响应 A 执行、产生多条结果响应的函数：

Add A + B

响应 A 加上响应 B。

默认结果文件名前缀为 AddAB。

- 将超低音响应 (B) 加到主音箱的响应 (A) 上。

Subtract A - B

响应 A 减去响应 B。

默认结果文件名前缀为 SubAB。

Multiply A * B

响应 A 乘以响应 B。

默认结果文件名前缀为 MulAB。

- 将近场测量 (A) 与箱体衍射仿真 (B) 相乘，得到远场响应。
- 将原始响应 (A) 与滤波器传递函数 (B) 相乘，测试均衡器、高通或低通滤波器。

Divide A / B

响应 A 除以响应 B。

默认结果文件名前缀为 DivAB。

- 用离轴响应 (A) 除以轴向响应 (B)，对极坐标测量进行归一化。
- 用未校准的测量 (A) 乘以代表测量系统总频率响应的校准文件 (B)，修正测量精度。

Divide B / A

响应 B 除以响应 A。

默认结果文件名前缀为 DivBA。

Divide A / frequency

响应 A 的幅值除以频率。

默认结果文件名前缀为 DivAf。

- 将近场测量 (A) 的每个幅值除以相应的频率，计算出锥盆冲程响应。

Average by off-axis angle A

计算同一平面和角度的平均值。当分频器是用若干个存在实际公差（即频率响应有差异）的单元样品设计时，这一功能很实用。将单元样品的所有测量载入 A 响应。程序按 Plane（平面）、Angle（角度）和 Filename（文件名）对响应列表排序，并计算每个离轴组的平均值，导出为可载入主程序 Drivers（单元）选项卡的响应文件。

结果的幅值是各幅值的算术平均，以避免因声学测量到同一离轴方向时可能存在的延时差异而造成幅值下降。结果的相位角采用矢量和，以避免相位解缠绕（算术平均则需要解缠绕）。'Complex Sum/Avg/RMS' 被取消勾选并禁用，以强制使用上述设置。

注意！ Options 中的 'Angle parsing from filename（从文件名解析角度）' 设置必须与载入的频率响应文件名匹配，才能在 Plane 和 Angle 列中得到正确的值。

默认结果文件名前缀为 AvgByDir，后跟该组的平面和离轴角度。角度编码使用 Options 中当前的 'Angle parsing from filename' 设置（因此你也可以更改角度编码，例如从 3D 气球数据改为通用 2D）。

Mirror A

响应 A 的镜像，即以输入的 dB 值进行垂直翻转。

默认结果文件名前缀为 Mir。

- 将原始响应以输入电平为轴镜像，创建均衡器目标响应。
- 将测量系统的总频率响应镜像，创建修正响应。

Normalize A

将响应 A 归一化到输入频率处第一条响应 A 的幅值。

默认结果文件名前缀为 Norm。

- 如果你确信辐射器在 40 Hz 以下都是完美的全向，可用轴向响应在 40 Hz 处对响应进行归一化，以降低加时间窗离轴响应的多余指向性。

Scale, Delay, Invert A

不做计算——仅对响应 A 进行幅值缩放、时移和极性反转。

默认结果文件名前缀为 Sca。

- 将测量 (A) 缩放到估计或已知的 SPL [dB/2.83V/1m]。
- 不做任何其他处理，仅平滑测量 (A)。

- 将测量 (A) 从线性频率增量重采样为 48 点/倍频程的对数频率增量。这可能需要适当的时移以保持正确的相位信息。
- 如果时间参考 (0 s) 点位于话筒振膜处，或 IR 时间窗起点远在脉冲峰值之前，可对测量 (A) 进行时移。
- 如果测量时话筒极性被反转，或你的话筒与前置放大器组合一直在反相，可对测量 (A) 进行反相。

Minimum phase A

响应 A 转换为最小相位。5 Hz 以下和 40 kHz 以上的响应尾部由首尾各 1/2 倍频程估计得出。也可以勾选 Lower tail (低频尾) 和 Higher tail (高频尾)，并在 Response tails (响应尾部) 组中输入截断频率和斜率 (dB/oct) 来手动指定响应尾部。

可添加过剩群延时以保持原始响应的延时。勾选 Maintain delay (保持延时) 并输入应与原始响应相位相等的频率。

默认结果文件名前缀为 MP。

Group delay A

响应 A 的群延时，单位为毫秒。

默认结果文件名前缀为 GD。

Real A

响应 A 转换为实数：相位角设为 0° ；如果勾选了 Invert，则设为 -180° 。

默认结果文件名前缀为 Re。

- 为仅幅值创建修正文件。这通常破坏最小相位特性，但如果相位信息无关或有害，则可能有用。
- 从纯幅值响应为理想电阻元件创建完整的阻抗响应。

Multiply B * A / A(0)

利用响应 A 中的指向性信息，为实测或采集的轴向响应 B 创建离轴响应。指向性数据可以用衍射工具仿真，也可以是兼容的一组远场测量。在指向性计算中，以 0 度的响应 A 为参考。

默认结果文件名前缀为 MulBdirA。

Mic in Box A

响应 A 乘以 2 阶高通并反相。转折频率和 Q 值由随后的 f0 和 Q 文本框指定。

默认结果文件名前缀为 Mib。

该函数计算对使用"话筒入箱 (Microphone-in-Box)"技术测得的响应，或任何其他在低频包含接近理想房间增益影响的响应的修正。

更多信息：Measuring Loudspeaker Low-Frequency Response (扬声器低频响应的测量)。

Protection Capacitor A z B

在以半双通道或全双通道模式（即参考通道连接到声卡或功率放大器的输出端，而不是保护电容与单元之间！）进行频率响应测量时，补偿与单元串联的保护电容的影响。

将频率响应 (txt/frd) 载入 A，将阻抗响应 (txt/zma) 载入 B。确认 Linear input mag A 和 Linear result mag 未勾选，而 Linear input mag B 已勾选。将串联电容值输入 C/uF 文本框。

默认结果文件名前缀为 Uncap。

Multiply A * piston directivity

响应 A 乘以活塞指向性。计算参数为圆形辐射器的活塞直径或矩形辐射器的宽度，以及以度表示的离轴角度。如果输入 0 度，则应用响应列表 A 中文件名所编码的离轴角度。圆形辐射器的指向性函数为 $2J_1(ka \sin(\text{angle})) / (ka \sin(\text{angle}))$ ，其中 $J_1(x)$ 为一阶第一类贝塞尔函数， k 为波数， a 为半径。矩形辐射器的指向性函数为 $\text{Sinc}(kx \sin(\text{angle}))$ ，其中 x 为宽度。结果响应为最小相位。

默认结果文件名前缀为 Pis。

- 从单个轴向或近场响应创建包含活塞指向性的离轴响应。

Single output (单一输出)

对多条输入响应执行、产生单条结果响应的函数：

Sum of A responses (A 响应之和)

$$= A_0 + A_1 + A_2 + \dots$$

默认结果文件名为 VituixCAD Sum。

- 创建多个辐射器的总响应
- 对所有锥盆和倒相孔的近场测量求和。每条响应 A 可按不同的辐射面积缩放。
- 创建多个分频支路/频段的总响应。
- 通过将无延时和延时响应相加来仿真梳状滤波效应。参见 Complex calculation（复数计算）。

Average of A responses (A 响应的平均值)

$$= (A_0 + A_1 + A_2 + \dots) / N$$

默认结果文件名为 VituixCAD Avg。

- 通过平均 $\pm 30^\circ$ 水平和 $\pm 5^\circ$ 垂直的响应来创建听音窗响应。参见 Complex calculation（复数计算）。

RMS of A responses (A 响应的 RMS)

$$= \text{SQRT}((A_0^2 + A_1^2 + A_2^2 + \dots) / N)$$

RMS 是简单平均（算术平均）的替代方案。平方将单一幅值按面积或功率缩放，例如从声压到声强。参见 Complex calculation（复数计算）。

默认结果文件名为 VituixCAD RMS。

Maximum of A responses (A 响应的最大值)

在每个频率点处从响应 (A) 中搜索最大幅值。结果响应的相位角取自所选定。

默认结果文件名为 VituixCAD Max。

- 如果偏好的参考响应是听音窗内的最大声压，而非单条轴向响应（轴向响应可能包含衍射凹陷），可据此创建用于手动计算指向性指数的参考响应。

Additional options (附加选项)

结果文件名的扩展名用列表框选择。可用选项有 .txt、.frd、.cal、.mic、.lms、.etx 和 .zma

勾选 Complex Sum/Avg/RMS 可使用相位角信息计算复数矢量和、平均值或 RMS。复数计算对相位角敏感；两个幅值相等、极性相反的响应之和 = 0。这是默认选项，对频率响应能给出正确的结果。

未勾选复数计算时，对各幅值的绝对值求和。如果相位信息过于随机或不对称（例如多个房间响应），会导致结果响应出现陡峭的幅值凹陷，此时该选项很有用。结果响应的相位角仍然用复数计算，但最小相位特性不能完全保持。

平滑选项为 1/1、1/2、1/3、1/6、1/12 倍频程或无。平滑函数为 6 阶 Butterworth 带通，斜率在 -20 dB 处截断。

勾选 Result -> input (结果->输入) 可将结果文件回收为输入响应。多个结果文件回收到响应 A，单个结果文件回收到响应 B。这样无需手动将结果文件载入输入即可实现连续计算。

点击 Calculate & Save (计算并保存) 按钮创建结果文件。文件保存到用浏览文件夹对话框选择的目标目录。载入响应文件、选择计算公式，或更改平滑或任何其他附加选项时，会执行计算到图表而不创建结果文件。

保存为 .cal 或 .mic 的结果文件会通过跳过错率变化小于 0.12 dB/oct 的频率点来进行压缩。不过即使响应完全平直，每个倍频程至少写入一个点，并写入首尾两点。

Graph (图表)

可直接向图表输入标题，以便发布截取的图像。

幅值轴的最大值和跨度可用箭头按钮调整，或在文本框中输入数值或按上/下方向键。可见频率范围也可调整。点击 A 按钮可自动缩放幅值。相位轴的刻度恒为 -180...+180°。

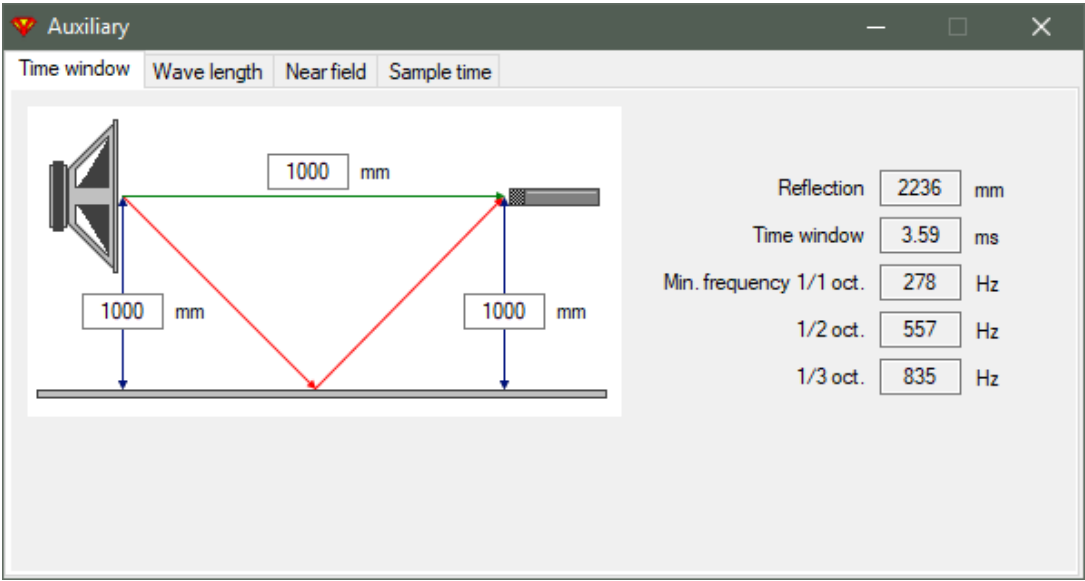
勾选 Show selected (显示所选) 可显示所选响应 A 的幅值和相位。

勾选 Show (显示) 可显示响应 B 的幅值和相位。

参见工具提示或 Traces... 以识别曲线。参见 Chart overlays (图表叠加)。

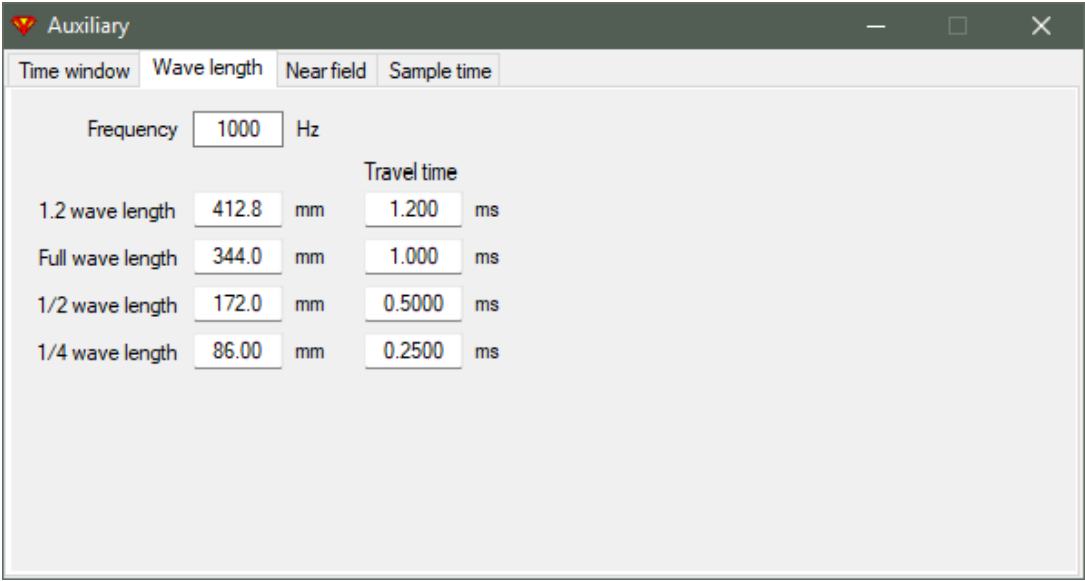
Auxiliary calculator (辅助计算器)

Time window (时间窗)



计算无反射的时间窗最大长度 (ms)。输入从单元到话筒、从单元到地面以及从话筒到地面的最短距离 (mm)。还计算反射的路径长度 (mm) 以及在 1/1、1/2 和 1/3 倍频程分辨率下的最低频率 (Hz)。

Wave length (波长)

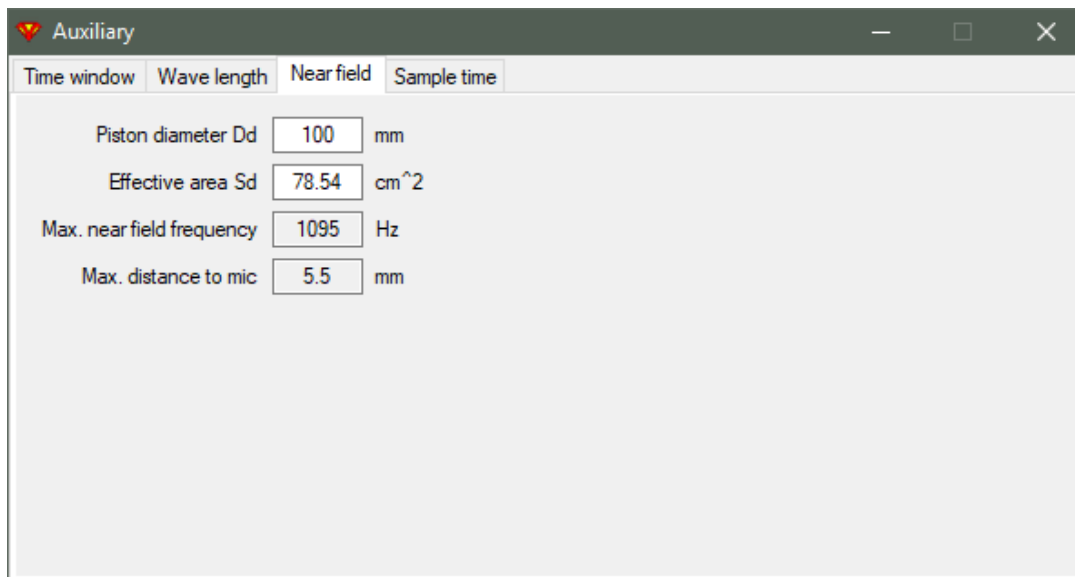


按频率 (Hz) 计算 1.2 倍、完整、1/2 或 1/4 波长 (mm) 以及空气中的声传播时间 (ms)。

输入 1.2 倍、完整、1/2 或 1/4 波长可计算频率和传播时间。

输入完整波或其分数的传播时间可计算频率和波长。

Near field (近场)



Auxiliary

Time window | Wave length | **Near field** | Sample time

Piston diameter Dd mm

Effective area Sd cm²

Max. near field frequency Hz

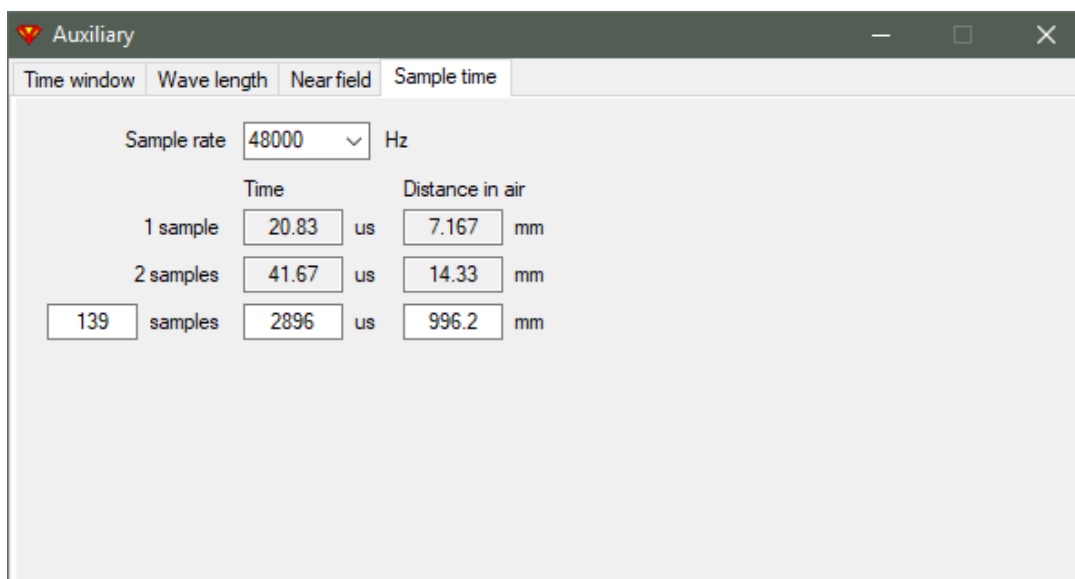
Max. distance to mic mm

按有效活塞直径 (Dd mm) 或面积 (Sd cm²) 计算最高近场频率 (Hz) 和到话筒的最大距离 (mm)。理论上, 如果话筒位于理想活塞的中心点, 这在 fNFmax 处约产生 -0.5 dB 的误差。实际上, 由于话筒位置不在中心以及锥盆的机械特性, 最高适用频率通常更低。

$f_{NFmax} = c/\pi/Dd$ ($c = 344.0$ m/s)

到话筒的最大距离为 Dd 的 5.5 %。

Sample time (采样时间)



Auxiliary

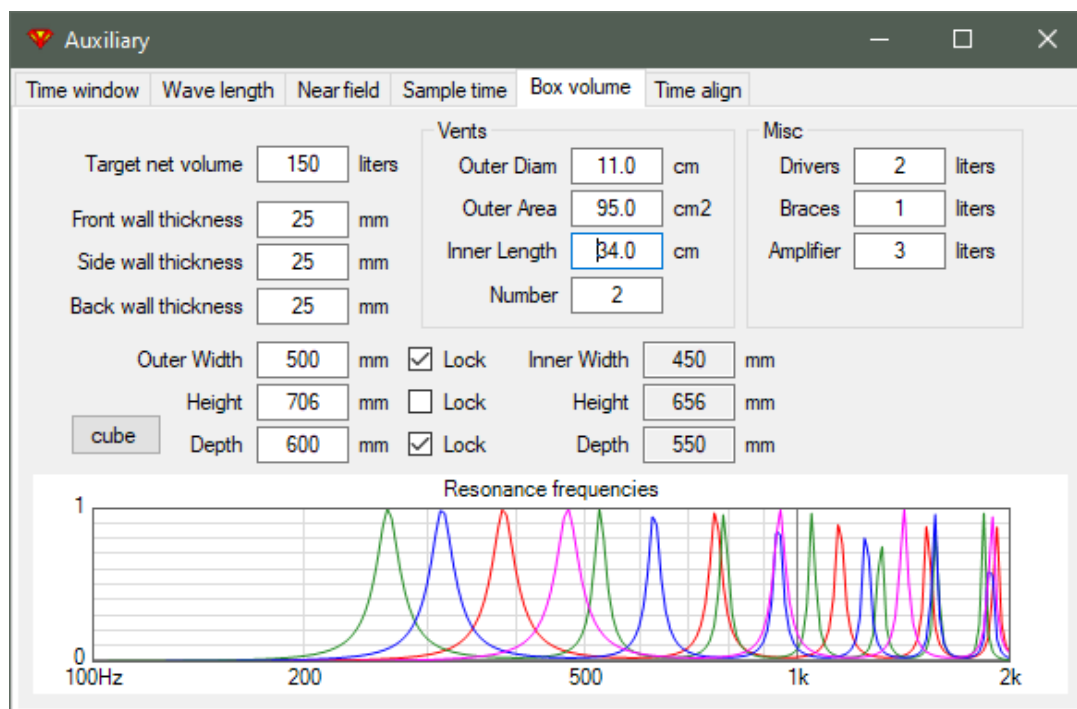
Time window | Wave length | Near field | **Sample time**

Sample rate Hz

	Time	Distance in air
1 sample	20.83 us	7.167 mm
2 samples	41.67 us	14.33 mm
139 samples	2896 us	996.2 mm

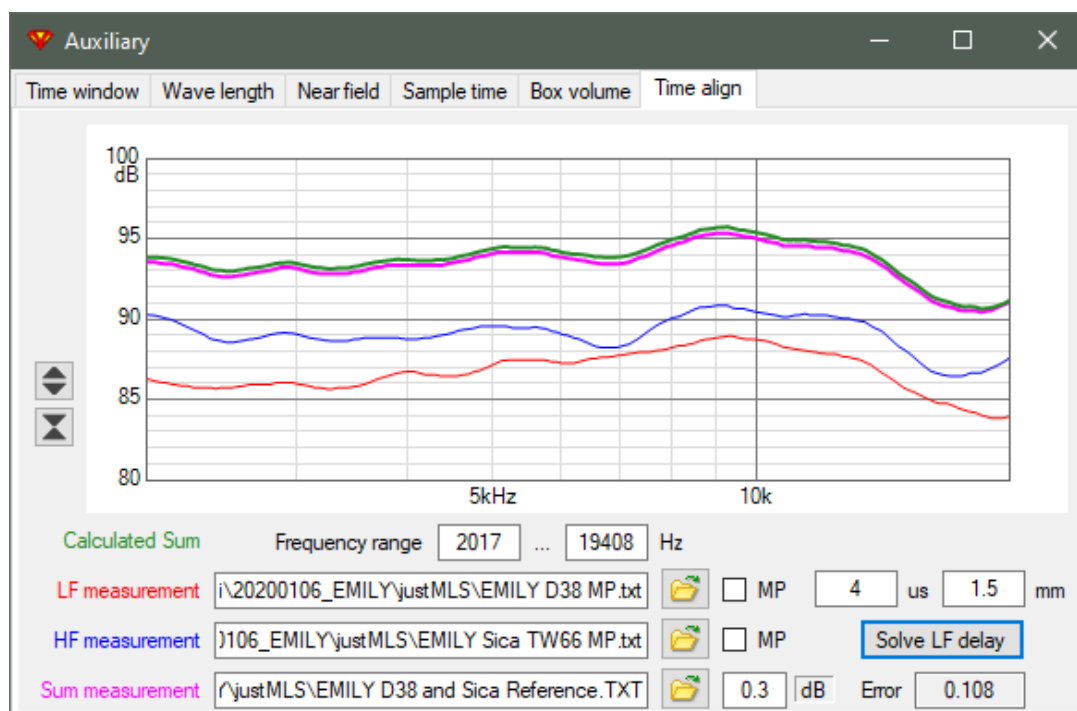
按采样率 (Hz) 计算 1 个、2 个或任意数量采样点对应的的时间 (μs) 和空气中的距离 (mm)。也可以通过时间计算采样点数和距离, 或通过距离计算采样点数和时间。

Box volume (箱体容积)



根据净容积目标（升）、壁厚（mm）以及导管、单元、加强筋和功放盒造成的内部容积损失，计算外部尺寸（mm）。可以锁定一个、两个或全部外部尺寸。如果锁定了全部外部尺寸，则会重新计算目标容积。Cube（立方体）按钮将形状重置为立方体。图中显示由宽度（红）、高度（绿）和深度（蓝）决定的内部轴向模式频率，以及导管的开管共振（洋红）。

Time align（时间对齐）



Time align（时间对齐）功能可用于确定两个单元声学中心之间的延时/距离差。可以用 delay [μs] 或 distance [mm] 文本框手动迭代延时，也可以用求解器。需要三次响应测量。它们应在单元中间高度的同一位置测量，或者如果音箱只按轴向响应设计，则在常规听音距离和高度测量。两次测量分别来自单个单元，一次测量是两个单元并联到功放（保持各单元的供电电压）时的结果。

用 **Open (打开)** 按钮或拖放方式将第一个单元的响应（通常是中低音）载入 **LF measurement (低频测量)** 文本框。图中显示红色曲线。如果响应不是最小相位（即尚未用测量程序或计算器工具中的最小相位功能去除过剩群延时），请勾选右侧的 **MP**。

用 **Open** 按钮或拖放方式将第二个单元的响应（通常是高音）载入 **HF measurement (高频测量)** 文本框。图中显示蓝色曲线。如果响应还不是最小相位，勾选 **MP**。

用 **Open** 按钮或拖放方式将单元求和响应载入 **Sum measurement (求和测量)** 文本框。图中显示洋红色曲线。求和测量不需要最小相位提取，因为在此操作中其相位响应无关紧要。

调整 **Frequency range (频率范围)** 限值，这些限值也是求解器的约束条件。排除对求解延时无效的频率。

调整以微秒 [μs] 为单位的 **delay (延时)** 或以毫米 [mm] 为单位的 **distance (距离)**，直到 Calculated Sum (计算和，绿色曲线) 接近或等于 Sum measurement (求和测量)。如果低频 SPL 与 Calculated sum (绿色) 不相等，可手动或点击 **dB** 标签缩放 Sum measurement。可用 **Solve LF delay (求解低频延时)** 按钮启动求解器，搜索 Sum measurement 与 Calculated Sum 之间的最小平方误差。有时求解器需要合适的初始延时值才能找到正确的局部最小值。如果求解器未找到匹配的响应，误差值会以红色背景显示高值。

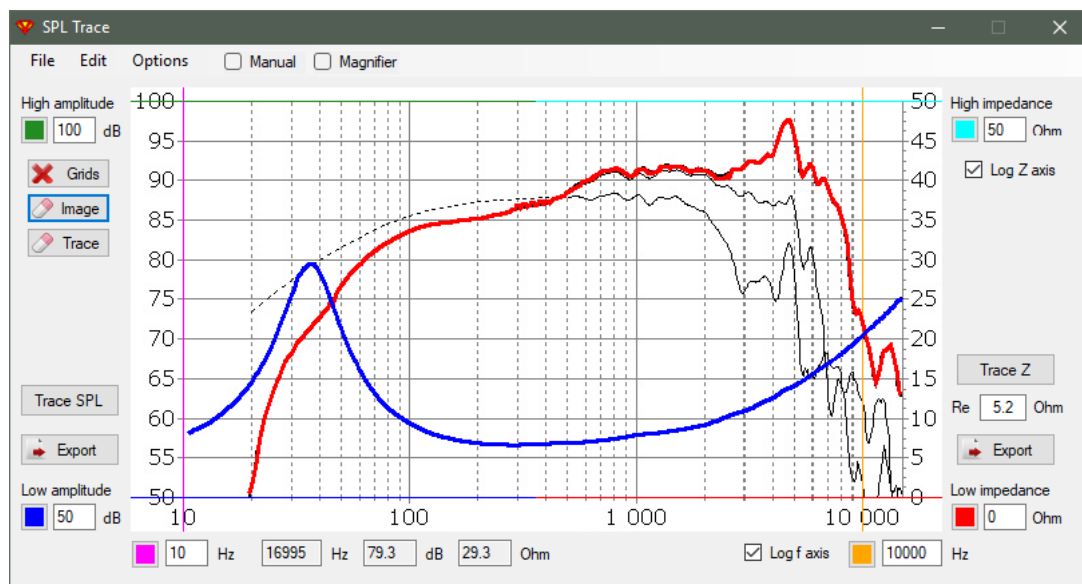
对于单向辐射的单元（如密闭箱、倒相箱和号角），声学中心之差应作为延时输入 Drivers (单元) 选项卡中的 Delay μs 参数，而**不要**输入分频器中单元实例的 Z mm 坐标，以免离轴 >60° 时可能出现响应求和误差。

对于偶极单元，声学中心之差应作为距离输入分频器中单元实例的 Z mm 坐标，以便对离轴 >60° 进行更精确的几何仿真。

注 1：由于最小相位提取具有主观性且对辐射器类型的支持有限，此方法不一定准确。

注 2：不建议将此方法用于离轴、功率响应和指向性指数的仿真，因为对于不同类型的辐射器（如球顶、锥盆、号角等）和不同类型的箱体（如箱式和偶极），声学中心之间的延时/距离差在 0...±180° 的所有方向上并非恒定值。加入 Time align 功能的目的是至少支持轴向和听音窗响应的仿真。对于没有足够测量设备、无法通过双通道或半双通道连接和测量模式进行精确稳定时序测量的用户，仿真选项有限。

SPL Trace (频响描图)



SPL Trace 工具可以从文件或剪贴板粘贴的位图中采集频率响应和阻抗响应。支持多种图像文件类型，如 png、jpg、bmp 和 gif。需要借助某些外部工具或截屏，才能将位图从数据表 (pdf) 或网页复制到剪贴板。Windows 10 中安装的截图工具 (Snipping Tool) 效果很好。

建议位图尺寸为 800x400px 或更大，以保证足够的分辨率和精度。位图以原始大小显示在 SPL Trace 窗口中，必要时可缩小以适应。

注意！ 位图的深色背景应使用 Edit -> Invert colors (编辑->反色) 命令替换为浅色。

提取响应的步骤：

1. 打开图像文件 (File->Open image 或 Ctrl+O) 或从剪贴板粘贴 (Edit -> Paste image 或 Ctrl+V) 。
2. 设置频率边界：用洋红色游标指向并拖动图中最低的标注频率值。将相同的数值输入洋红色按钮右侧的文本框，或用上/下方向键或鼠标滚轮调整。如果频率轴是线性的，取消勾选 'Log f axis (对数频率轴)'。用橙色游标指向并拖动最高的标注频率值。将相同的数值输入或调整到橙色按钮右侧的文本框。
3. 设置 SPL 边界：用蓝色游标指向并拖动 SPL 轴上最低的标注 Y 值。将相同的数值输入或调整到 Low amplitude (低幅值) 文本框。用绿色游标指向并拖动 SPL 轴上最高的标注 Y 值。将相同的数值输入或调整到 High amplitude (高幅值) 文本框。
4. 设置阻抗边界：用红色游标指向并拖动阻抗轴上最低的标注 Y 值。将相同的数值输入或调整到 Low impedance (低阻抗) 文本框。用青色游标指向并拖动阻抗轴上最高的标注 Y 值。将相同的数值输入或调整到 High impedance (高阻抗) 文本框。
5. 用 'Log Z axis (对数阻抗轴)' 复选框选择阻抗轴类型。线性刻度 (未勾选) 具有绝对增量，通常从零欧姆开始。例如 0 到 60 Ω ，步长为 10 Ω 。对数刻度的间隔是比值，刻度从 **大于** 零欧姆处开始。例如 2、4、8、16、32、64 Ω 。
6. 将鼠标光标移到图表区域内，检查状态行中的 Hz、dB 和 Ohm 值是否计算正确。

警告！ 如果图像尺寸发生变化，粘贴和文件打开命令会重置先前的设置。

7. 如果网格线的亮度 <90 % 且与响应曲线的色差很小，则擦除图表区域内的网格线。如果网格线是很浅的灰色 (或点线) 且响应曲线是饱和色 (红、绿、蓝、洋红、青) 的粗线，则无需擦除。

点击 **X Grids** 按钮开始擦除。用十字光标指向能找到所有水平和垂直网格线、但光标线与响应曲线交叉尽可能少的位置。点击左键确认。网格线 (亮度 <90 % 的) 应该消失。

8. 可以使用图像橡皮擦清理响应曲线附近区域。交叉的离轴响应可能会干扰轴向响应和阻抗响应的描取。

警告！ 不要过多地裁掉轴向或阻抗响应，因为没有撤销功能。

9. 描取幅值响应。点击 **Trace SPL** 按钮，然后在最低可见频率处点击频率响应的起点。如果描取未开始，再点击前方几个像素处。按住 Ctrl 键点击，可防止删除前面几个点。这有助于描取例如带有尖锐 Q 峰的阻抗曲线。描取路径用粗红色叠加线标记。如果描取在交叉点处中断或受干扰，可以点击问题点之后几个像素处来修正路径。你也可以多次从更早的位置或从头重新开始。

勾选 Manual (手动) 可手动描取 SPL 响应，而不使用自动颜色检测。点击曲线的每个拐点。

10. 可以使用描迹橡皮擦清理已描取曲线上的坏点，例如高于或低于正确路径的短跳变。响应导出到文件时，被擦除的部分会被插值补全。

勾选 Options -> Smooth 1/12 oct. 可去除原始位图像素造成的小尖峰和细小台阶。1/12 倍频程的平滑会应用到导出的响应上。

默认导出密度为 48 点/倍频程。Options 菜单中提供更高的密度，但如果响应是为 VituixCAD 创建的，则不建议使用。

11. 描取完成且红色叠加线看起来正常后，用左侧的 **Export (导出)** 按钮导出幅值响应。输入文件名并选择扩展名 (txt 或 frd)。相位响应自动按最小相位计算。程序会估计可见范围以下和以上频率响应延伸的斜率。
12. 描取阻抗响应。点击 **Trace Z** 按钮，然后在最低可见频率处点击阻抗响应的起点。勾选 Manual 可手动描取 Z 响应，而不使用自动颜色检测。点击曲线的每个拐点。
13. 将单元的音圈电阻输入 Re 文本框。初始值为所描取最小 Z 值的 95 %。
14. 用右侧的 **Export** 按钮导出阻抗响应...

已描取的声压点可用 Edit -> Copy raw SPL 复制到剪贴板。已描取的阻抗点可用 Edit -> Copy raw Z 复制到剪贴板。相位角为零，小数点符号由控制面板定义。

在图像上方移动鼠标时按住 Shift 键，可打开 400 % 的圆形**放大镜 (Magnifier)**。勾选 Magnifier 可连续显示。按 Shift 键可暂时隐藏放大镜。描取时，放大镜边框会显示鼠标光标处的颜色。

勾选 Options -> Green SPL、Cyan Z 可用高亮且半透明的颜色显示已采集的曲线。

Appendices (附录)

1. Trifonov Transient filters (Trifonov 瞬态滤波器)

Background (背景)

毋庸置疑，滤波器是扬声器的大脑和心脏。由于音乐随时间演化——我们把时间参数视为至上（最重要）的，高于稳态频率响应。这并不意味着频率响应可以是受限且弯曲的。

正确的全频带信号重放要求所有频谱分量都以精确的幅度排列，而这些幅度在不断变化，并且关键地依赖于时域。

这个想法源于我作为音乐人（贝斯吉他手）和音响指导聆听两分频和三分频音箱的总体（混合）声音的经历。其中没有微小的细节、自然的音色、时间和空间上的起振（增强）和衰减（混响淡出）。没有具体的场景感，也分不出各个乐器和人声的方向。读到 R. Heiser 的研究，后来又有 Lipshitz、Vanderkooy、Kreskovsky 的研究，给了我很大的抱负。F. Brooke 在 L'AUDIOPHILE 上的文章 "Le filtre ideal" 也是不小的激励，最后但同样重要的是，V. Dickason 的《The Loudspeaker Cookbook》多年来一直是我的案头读物。当然——最大的挑战是滤波器中“隐藏”的延时（谐振），高于一阶的滤波器更是如此。这项技术非常重要，但它并不是解决所有其他问题和疏漏的万能灵药。如果某个频段存在反极性，我们就无从谈论良好的时序。但在为未来的项目测量阻抗和频率响应之前，有必要知道：必须事先对扬声器做出合适的选择，包括分频点的初步方案。即——在选择的同时我们明确：每个高频单元（当然也包括中音单元）的自身谐振频率必须比分频点低一/两个倍频程。规则是按最安静的单元进行总体对齐。还要确保每个滤波器面对的是平直（恒定）的阻抗。使用仿真程序是必不可少的（有帮助的）。预先规划通过独立箱体精确移动相邻单元（扬声器）中心之间关系的可能性——这是强制性的。精确遵循滤波器得出的结果（数值），包括位移（延时）——同样如此。

如果我们能尽可能接近更好的阶跃响应——这将足以对应无时间失真的原始输入信号。在获得了准确度、精度和保真度之后，才可以谈音乐性和感染力，如果它们包含在**录音**中的话。

多年来我们尝试了不同的解决方案——经典的一阶滤波器（包括串联滤波器）、Baekgaard (Christensen)、Cauer（椭圆）滤波器、Bessel (Spica)、Linkwitz、Elipson、Urei Time-Aligned 分频器、JMLC、Duelund、Bodzio (SoundEasy/Ultimate Equalizer)、Isaac MCN、Jeff Bagby 的软件、LinearX LEAP（谨以此纪念）的组合……它们都各有利弊。

一阶滤波器会“丢失”在单元的频率响应曲线中。所需的滤波器相对于扬声器自身的斜率也必须占主导地位。我的主要目标是——很好地填充瞬态响应、平坦的高原且无抖动（约 $\pm 5\%$ ），以及最大程度的线性频率响应（ $\pm 0.7\text{ dB}$ ）。

我必须承认，用 DSP 有很好的解决方案，但对于那些希望从输入到输出都是模拟通路的专业用户和发烧友来说则不然。

Trifonov Transient Perfect (TP)

Low-pass for lower band, 3rd order（低频段低通，3 阶）

声学目标，有源

2 阶级： $f_o=0.784f_{xo}$ ， $Q=0.908$

1 阶级： $f_o=2.695f_{xo}$

无源

$L1=237.8Z/f_{xo}\text{ mH}$ ， $C1=229300/Z/f_{xo}\text{ }\mu\text{F}$ ， $L2=44.8Z/f_{xo}\text{ mH}$

其中

Z =单元的阻抗 (Ω)， f_{xo} =分频频率 (Hz) ——即低通和高通斜率相交处。

High-pass for upper band, 2nd order（高频段高通，2 阶）

声学目标，有源

2 阶级： $f_o=0.694*f_{xo}$ ， $Q=0.45$

延时= $333333/f_{xo}\text{ }\mu\text{s}$

无源

$C2=103200/Z/f_{xo}\text{ }\mu\text{F}$ ， $L3=510*Z/f_{xo}\text{ mH}$

延时= $114667/f_{xo}\text{ mm}$

Trifonov Q Optimized Transient mk2 (TQ)

Low-pass for lower band, 3rd order（低频段低通，3 阶）

声学目标，有源

2 阶级： $f_o=0.794f_{xo}$ ， $Q=1.03$

1 阶级： $f_o=1.22f_{xo}$

无源

$L1=248.33Z/f_{xo}\text{ mH}$ ， $C1=268800/Z/f_{xo}\text{ }\mu\text{F}$ ， $L2=82.17Z/f_{xo}\text{ mH}$

High-pass for upper band, 2nd order (高频段高通, 2 阶)

声学目标, 有源

2 阶级: $f_o = 1.116 \cdot f_{xo}$, $Q = 0.639$

延时 = $490000 / f_{xo}$ μs

无源

$C2 = 92400 / Z / f_{xo}$ μF , $L3 = 225 \cdot Z / f_{xo}$ mH

延时 = $168600 / f_{xo}$ mm

License (许可)

Trifonov Transient 滤波器技术对自制的 DIY 用途免费。

对于制造商 – 请申请许可配额: trifonov.audio@gmail.com

2. DSP dependencies (DSP 相关性)

有源 Bessel 低通和高通、架式低通和高通以及参量 EQ 滤波器的传递函数取决于 DSP 设备/应用程序。为了在分频器仿真时得到正确的频率响应, Options (选项) 窗口中的 DSP system (DSP 系统) 设置必须与项目所用的 DSP 设备/应用兼容。

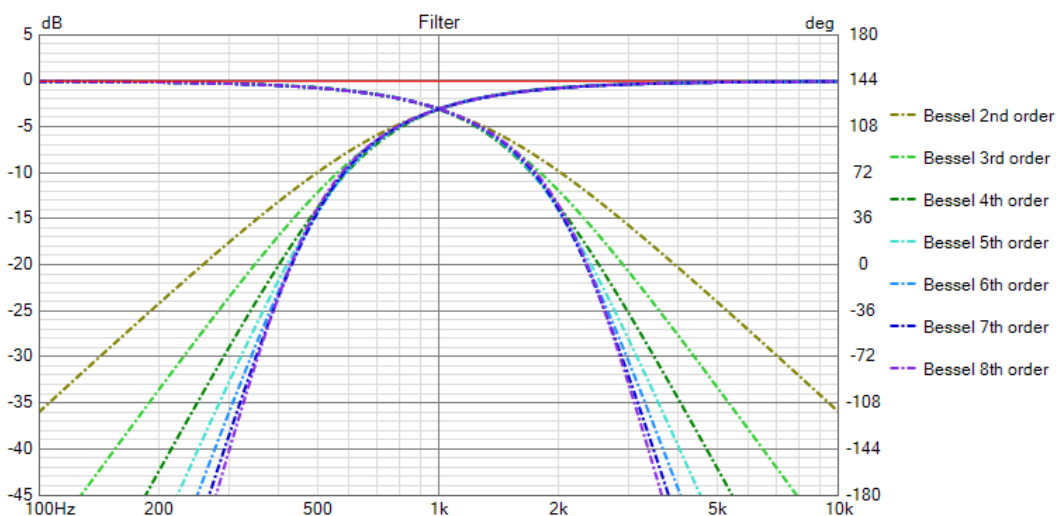
DSP system 列表框并未包含所有可用的 DSP 设备/应用。如果列表中找到你的 DSP 设备, 应尝试寻找兼容的设置。用以下示例中的某些参数测量你的 DSP 设备/应用的传递函数, 并选择能在 Bessel LP/HP、Shelving LP/HP 和 Parametric EQ 上产生相同结果的 DSP system 设置。

并非所有 DSP 设备/应用都支持分频器原理图中可用的所有 IIR 滤波器类型和参数。请验证并使用你的 DSP 所支持和兼容的滤波器类型和参数。

Bessel low and high pass, Level-normalised (Bessel 低通和高通, 电平归一化)

在给定转折频率 (f) 处, 所有斜率阶数的电平均恒为 -3.01 dB。

采用此规范的 DSP 系统: Analog、FourAudio、LEA、Nova、RAM、t.amp、t.tracks。

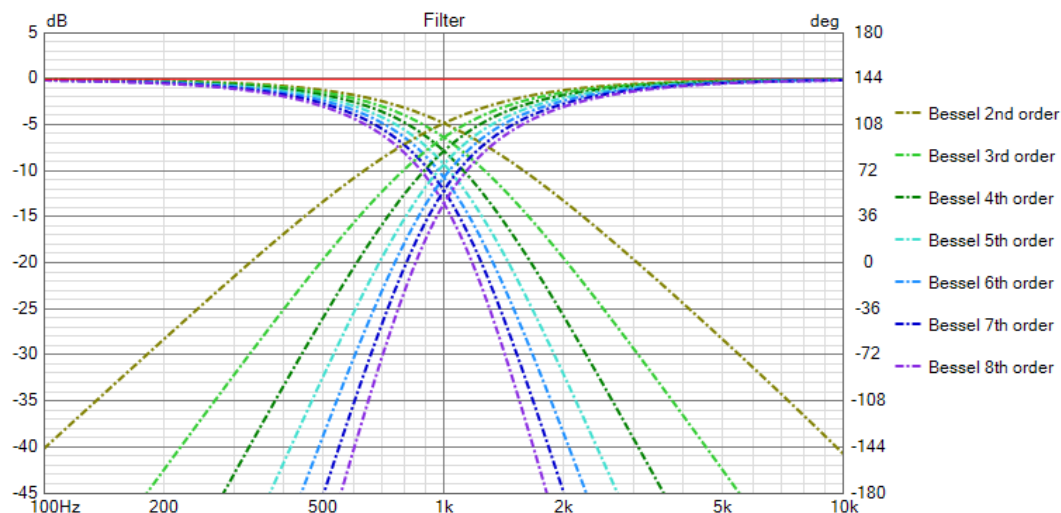


注意! 无论 Options 中选择何种 DSP 系统, 在优化器窗口中选择 Bessel 斜率时, 此类型都是目标。

Bessel low and high pass, Phase-normalized (Bessel 低通和高通，相位归一化)

在给定转折频率 (f) 处，相位为 $-45^\circ \times \text{滤波器阶数}$ 。转折频率 (f) 处的电平随斜率阶数而变。2 阶与 8 阶之间相差约 8.5 dB。

采用此规范的 DSP 系统：Behringer、Danville、Generic、Hypex、Marani、miniDSP、Platin、Xilica。

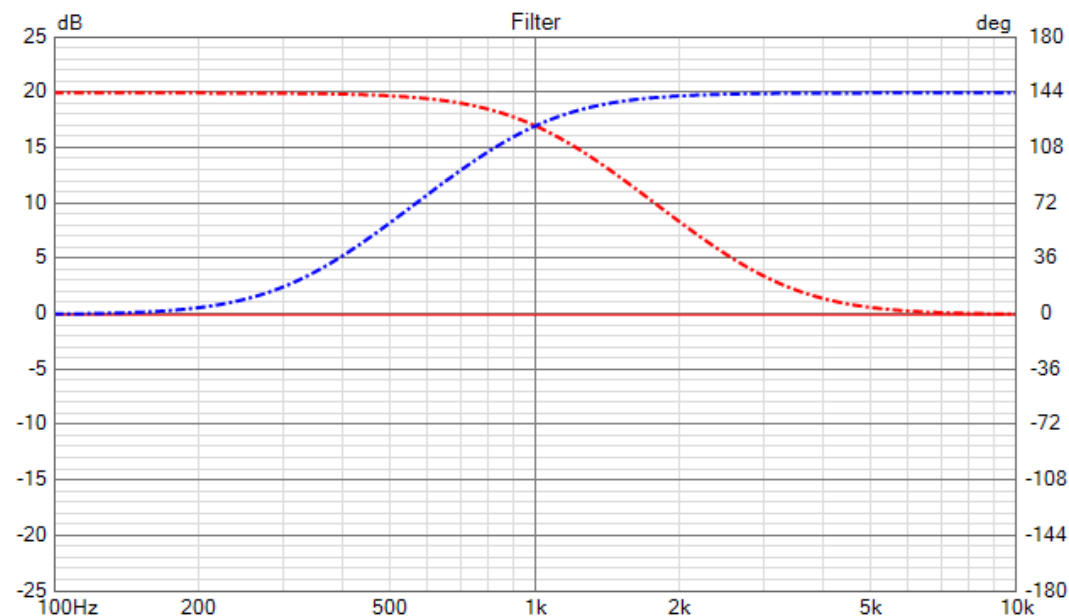


注意！优化器窗口不支持将此类型作为目标。

2nd order shelving low and high pass, Analog-compliant (2 阶架式低通和高通，模拟兼容)

在给定转折频率 (f) 处的电平约为距最大/最小增益 (A) 3 dB。

采用此规范的 DSP 系统：Analog、Behringer、FourAudio、Nova、t.racks。

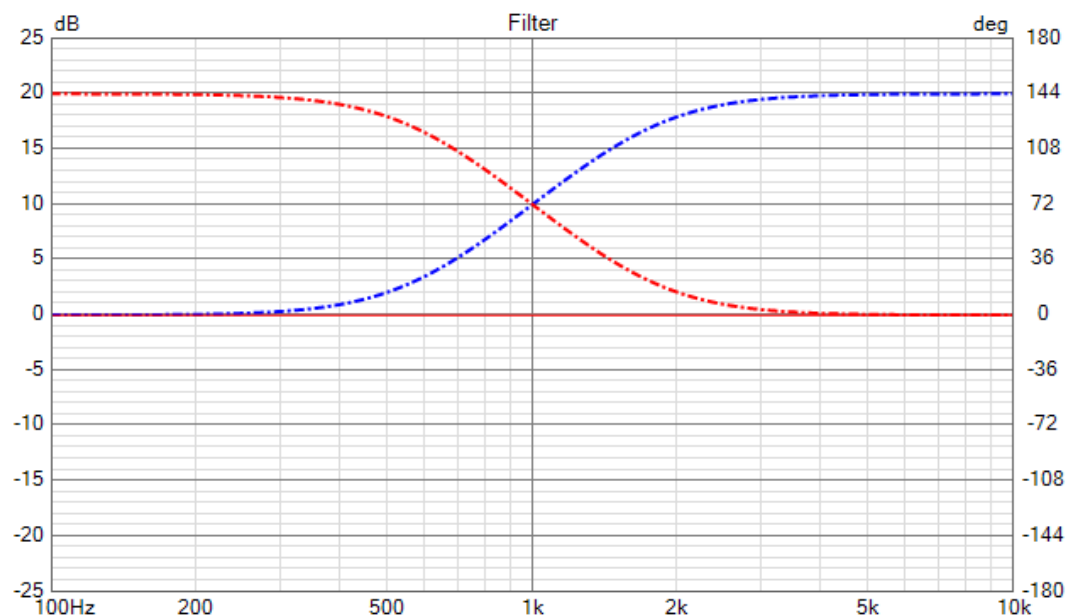


2nd order shelving low and high pass, Digital-compliant (2 阶架式低通和高通, 数字兼容)

在给定转折频率 (f) 处的电平为距最大/最小增益 (A) 的 dB 值的一半。

采用此规范的 DSP 系统: Danville、dbx、Generic、Hypex、LEA、Marani、miniDSP、Platin、RAM、t.amp、Xilica。

注意! LEA 的实际 Q 值为标准 Q 的 0.75 倍。



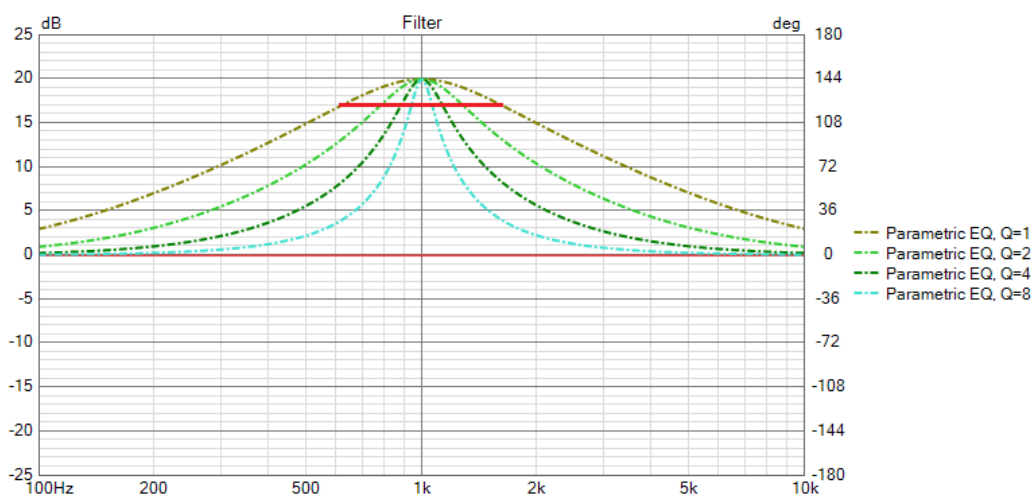
1st order shelving low and high pass (1 阶架式低通和高通)

转折频率的规范通常与 2 阶架式相同。例外是 LEA, 它的 1 阶架式是模拟兼容的, 而 2 阶架式是数字兼容的。

Parametric EQ, Analog-compliant (参量 EQ, 模拟兼容)

等于给定 Q 值的峰值/陷波带宽位于距最大/最小增益 (A) 约 3 dB 处。

采用此规范的 DSP 系统: Analog、Behringer、dbx、FourAudio、Hypex、LEA、Marani、Nova、t.tracks、RAM、Xilica。



Parametric EQ, Digital-compliant (参量 EQ, 数字兼容)

等于给定 Q 值的峰值/陷波带宽位于距最大/最小增益 (A) 的 dB 值的一半处。

采用此规范的 DSP 系统：Danville、Generic、miniDSP、Platin、t.amp。