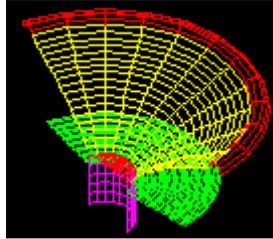


# FINECone™



振膜/鼓纸振动的有限元模拟

## 参考手册



注意：如果将 **PDF READER** 的“平滑文本”选项去掉，将会解决显示汉字太淡的问题。

这个参考手册将介绍 FINECone 设计扬声器的基本步骤。FINECone 基本理论为有限元素分析法（FEM）。

FINECone 具有模拟扬声器主要特性的功能。

1. 定义 [geometry](#) 几何形状。由 DXF 格式文件输入；
2. 定义 [material properties](#) 扬声器组件的材料特性；
3. 定义 [electrical parameters](#) 电气参数。由 FINEMotor 输入；
4. 定义 [lumped parameters](#) 集中元件参数。由 FINEMotor 输入；
5. 定义 [acoustical parameters](#) 振动系统参数；
6. 定义 [frequency range\(s\)](#) 频响范围；
7. [calculation](#) 改变任何数据，系统会同时自动计算出结果；
8. [post-processing](#) 显示计算结果；
9. 系统自动完成所有的有限元素模拟。

## FINECone 助手

该助手可以引导你执行有限元素模拟（FEM）程序。

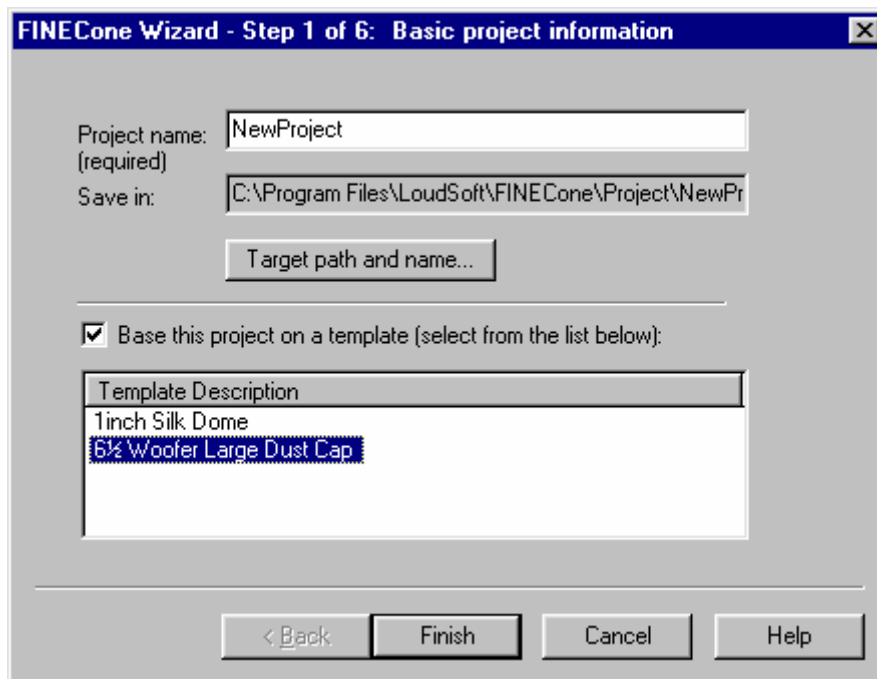


图1

*注意：存文件时，你可以选 FINECone Templates (\*.WTE)，从而将一个文件存为模板文件。*

## 高级用法

选择 Project Information Window 设计信息视窗。它将出现在左上角。

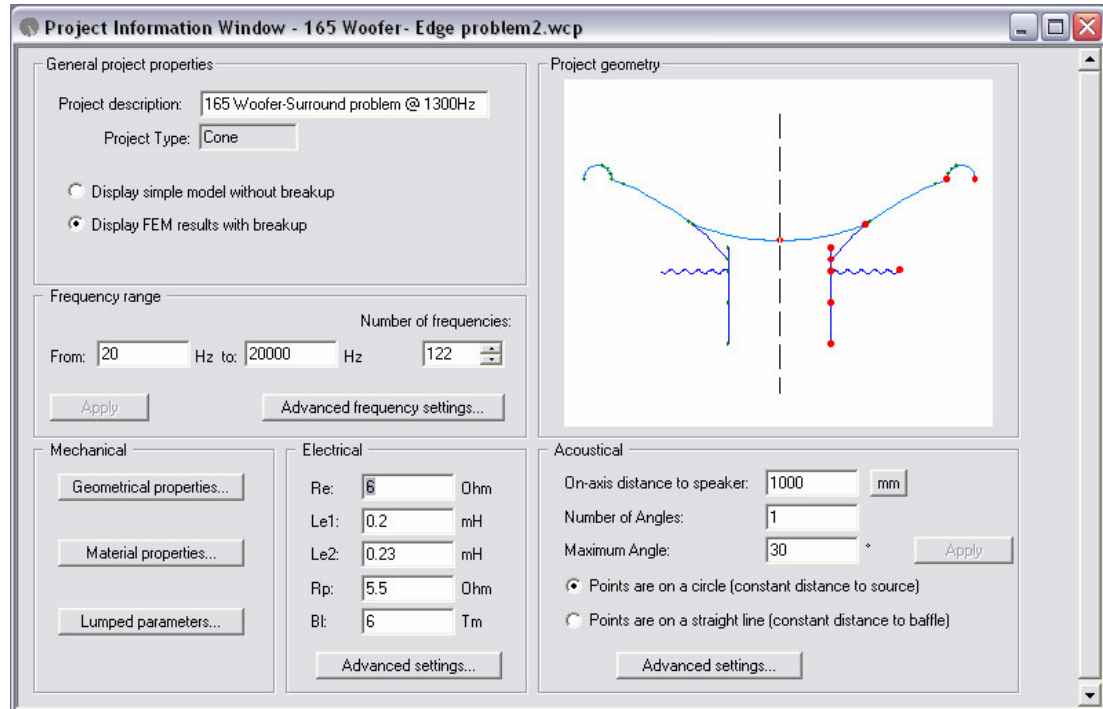
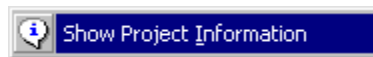


图 2

## 几何模型(关于 DXF 格式文件输入)

所建扬声器单体震动系统的模型必须是圆形中心轴对称的。我们只用到右半边。图形最左边那一点在实际扬声器的对称轴上。它在图形上的坐标是  $X=0$ 。通常情况下，这一点是防尘盖的中心点。

用标准的 CAD 系统做的 DXF 格式文件，可以直接输入到 FINECone。但要注意，该几何模型只能由单一的直线和弧线组成。

系统支持 AutoCAD 12 格式的 DXF 文件。因为这是工业标准(也可以用另一个免费软件: IntelliCAD 2000。可以在网站 [www.cadopia.com](http://www.cadopia.com) 下载。这个软件可以建立与 AutoCAD 格式匹配的 DXF 文件)。

注意，鼓纸的厚度不是在 DXF 文件中设置，而是在 FINECone 的 Material Properties 材料中设置。其它组件也一样。

下面的图 3 显示一个典型的喇叭，和它的 DXF 文件（右半边）。重要的是，在贴防尘盖的地方，鼓纸被分割开。通常是 2 条或更多的直线或弧线。在贴弹波的地方，音圈架也做同样处理。

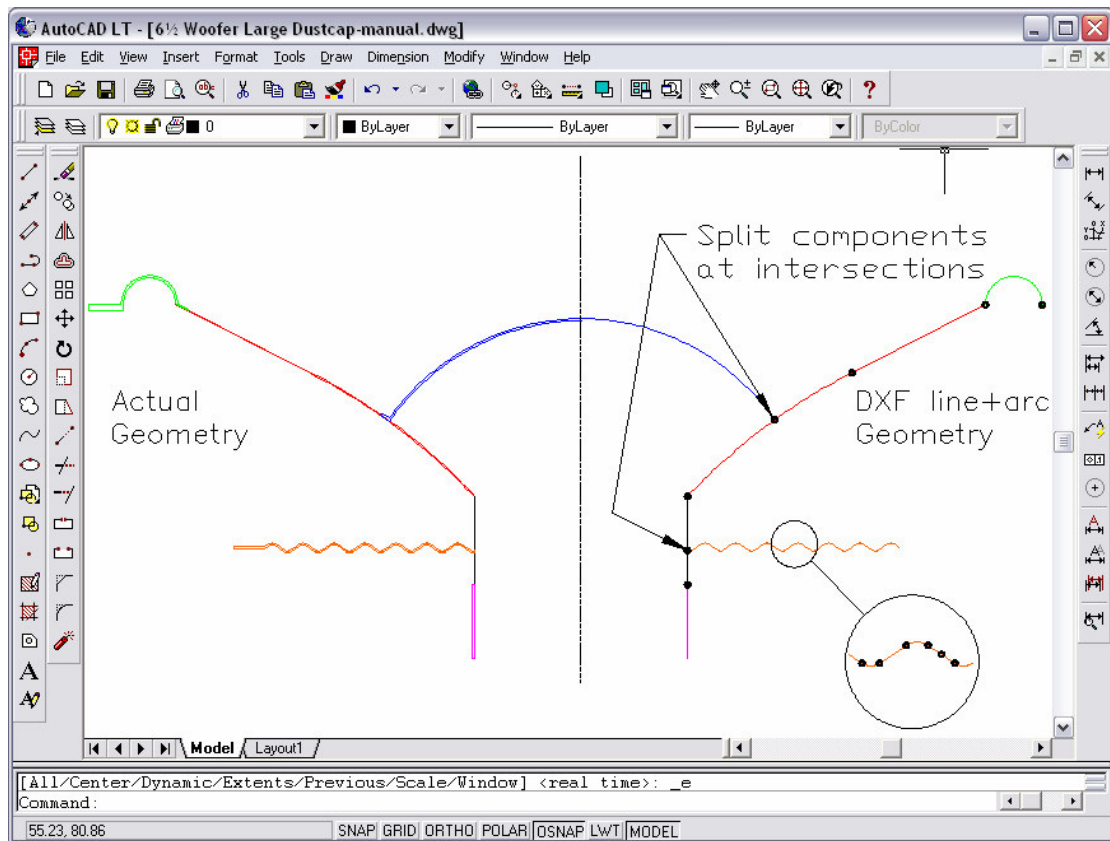


图 3. AutoCAD 图-----左：实际几何模型 – 右：DXF 线和弧几何模型

## DXF 帮助

尽管 FINECone 可以查找 DXF 错误，我们最好还是按照以下规则画图。

1. 用 AutoCAD v12 DXF 格式(ASCII);
2. DXF 必须设置高精度度：小数位数大于 8，最好是 16;
3. 只能用单一的直线和弧线;
4. 交叉点必须结合于一点;
5. 在 AutoCAD 中，划线前先确定出现“端点”方框。
6. 当直线或者弧线有相交的情况出现时，所有线都应被分割开，并用点相连（不能保留原有直线和弧线）;
7. 为每个组件建立一个层。鼓纸，悬边，防尘盖，音圈支架，音圈和弹波各为一层。最简单的做法是修改现成的文件，如 6\_5 Woofer Large Dust Cap.dxf。因为在这个文件中，所有层都已经建立。
8. 不可在 DXF 图中加入维数，厚度，或文本。

可以用大量线段画图。没有线段数量的限制。上例中的弹波就包括 34 个直线和弧线。

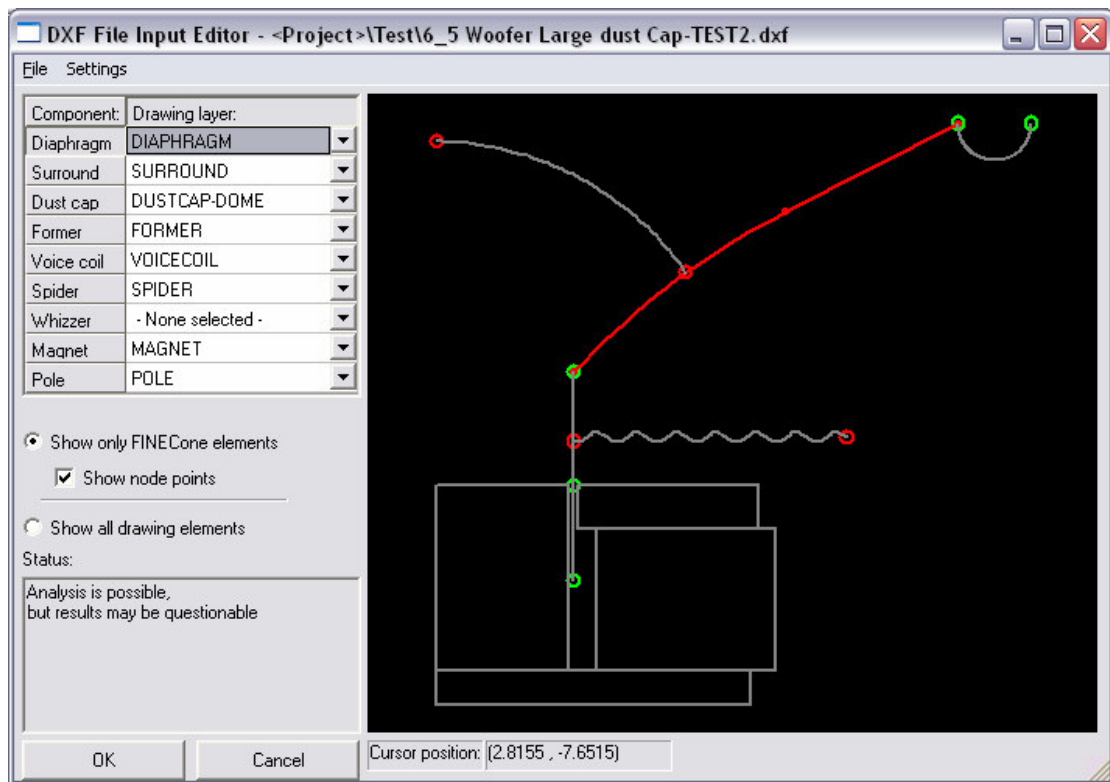


图 4

## DXF 输入

FINECone 会自动检查输入的 DXF 文件，并找到一般性错误。图 4 左下角的 Status 窗口显示：该图形可以用来进行分析计算，但是得到的结果一定不对。或者说，FINECone 将对这个 DXF 图进行有限元素模拟（FEM），但是图中的几处错误会让模拟出来的结果毫无用处。

图 4 中，防尘盖两端被标记出两个红色的小圆圈。这说明，防尘盖没有完全连接到鼓纸/振动膜上。造成这种现象的原因通常是，振动膜弧线在连接防尘盖弧线的那一点没有断开。只有振动膜弧线断开为两段，它才可以提供端点来连接防尘盖。弹波也被标记了红色圆圈。这是因为弹波与音圈支架间存在同样的问题。

如果你的 DXF 文件每一层都用 FINECone 默认的名字，那么该 DXF 文件就可以直接输入进 FINECone。

否则，需要选取左边的组件按钮（图 4 中振动膜 diaphragm 按钮被按下，所以图中的振动膜弧线变红），然后从下拉菜单中选取对应的名字。

## Tools/Program Options 工具/选项

在 Tools/Program Options 工具/选项中，你可以更改 DXF 各层名字默认值，设置默认文件和模板。如果在做 DXF 文件地时候，使用这些默认的各层名字，将会使文件地输入更加便捷。

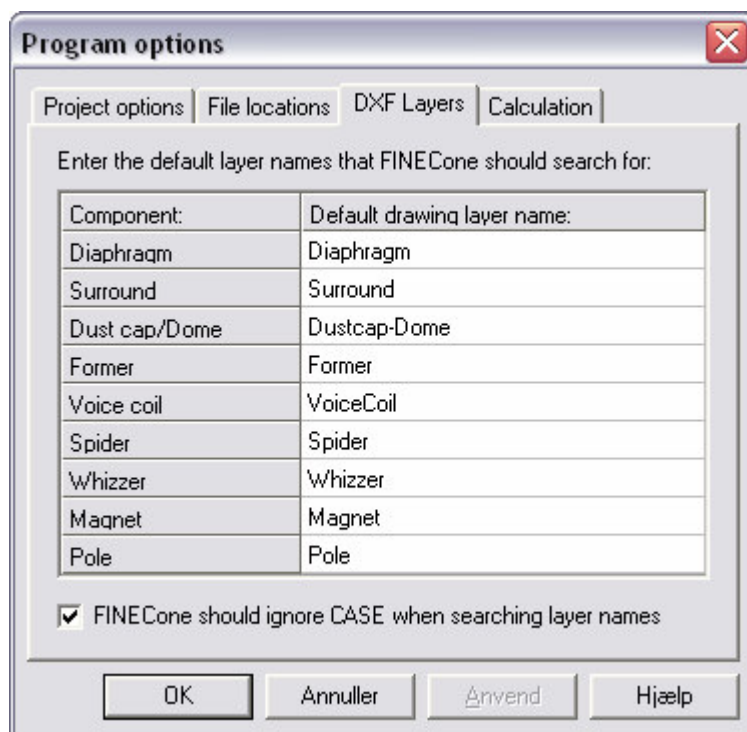


图 5

## DXF 输入并设置机械特性

在实际应用中，我们需要对 FINECone 进行一些分析。不论直线或弧线的几何形状怎么变，FINECone 将保持它们的机械特性。但是，如果直线或弧线的数量改变了，就需要我们手动输入新增直线或弧线的机械特性（在当前层中）。

## Material Properties 材料特性

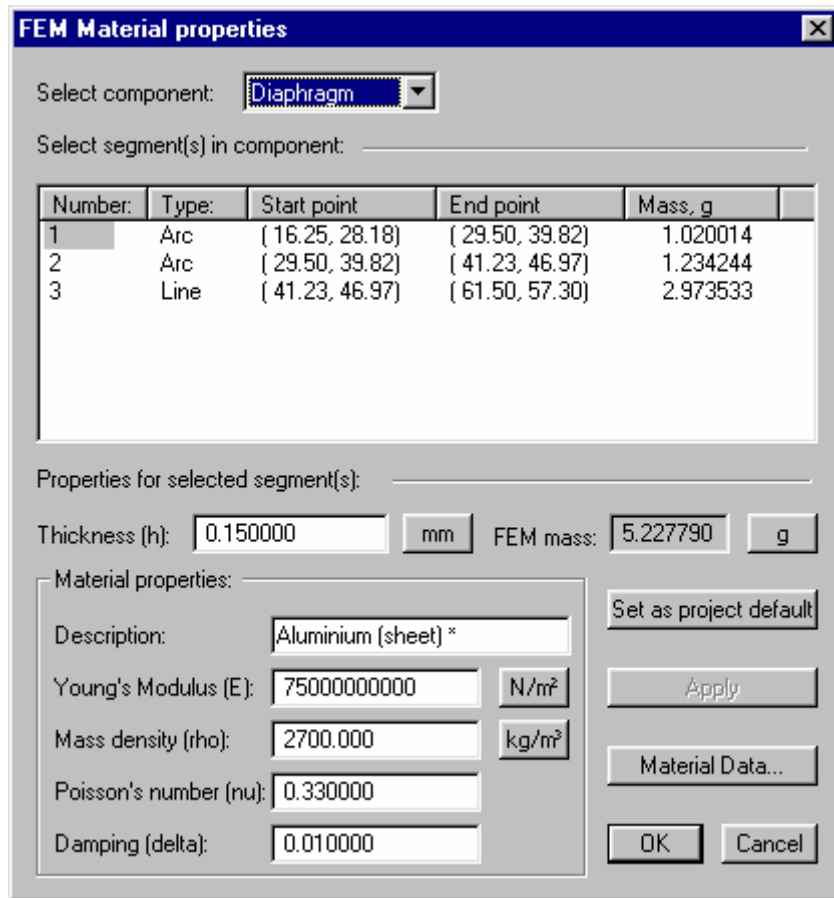


图 6

图 6 中显示了扬声器各声学组件的材料特性。

首先，必须指定组件的壁的厚度 (h)。(注意:所有的线段可以有不同的厚度，这使得模拟胶水粘合处或者直线斜度鼓纸成为可能)

接下来是 4 个主要的参数:

1. E-modulus 或 Young's Modulus (杨氏模量) 是以 MPa 或  $\text{N/m}^2$  为单位的材料的刚性;
2. Mass Density (质量密度) ( $\rho$ ) 是以  $\text{kg/m}^3$  为单位的材料的质量密度。作为比对，水的质量密度值是  $1000 \text{ kg/m}^3$ ;
3. Poisson's number ( $\nu$ ) 是材料的压缩系数的量度。如果不知道，可以用默认值 0.33;
4. Damping ( $\delta$ ) 是一个指定材料内阻尼(损失)的参数。其最大值是 1.00。



## Material Database(材料数据库)

Material Data 是一个包含很多标准材料的数据库。你可以用一个已知材料开始作你的模型，并且尝试去猜测未知的材料。在下面也能看到

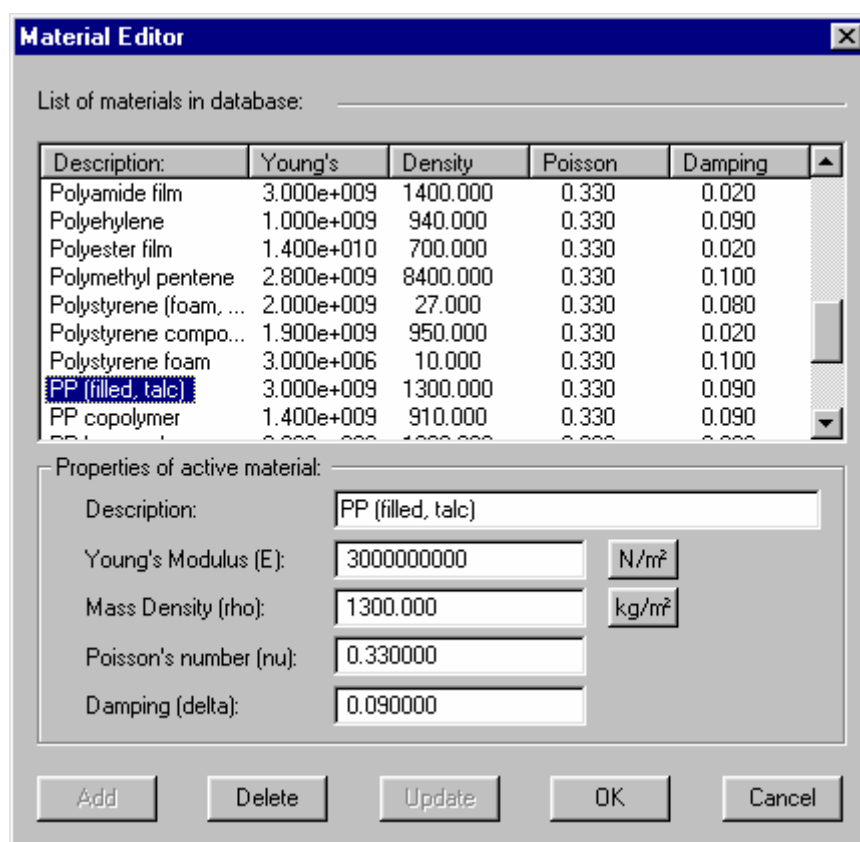


图 7

你可以编辑材料数据，或者增加新的材料。只需要在 **Description** 旁边的方框中输入一个新名称，并且输入这个新材料的参数。按“Add”来增加新的材料到数据库。

## 如何计算新鼓纸的材料数据(未知材料特性的实验测定)

这里描述估算未知材料的力学性质的方法:

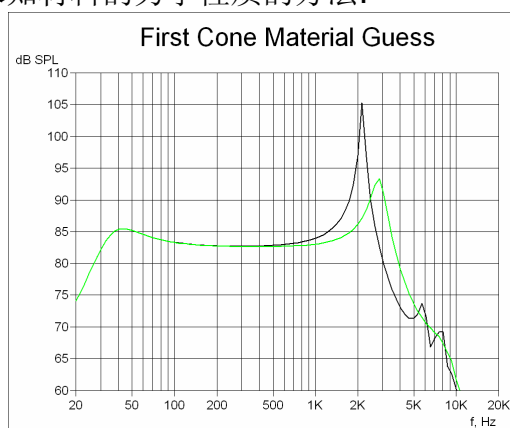


图 8 第一次预估值——高频太低（绿色是实测的曲线）

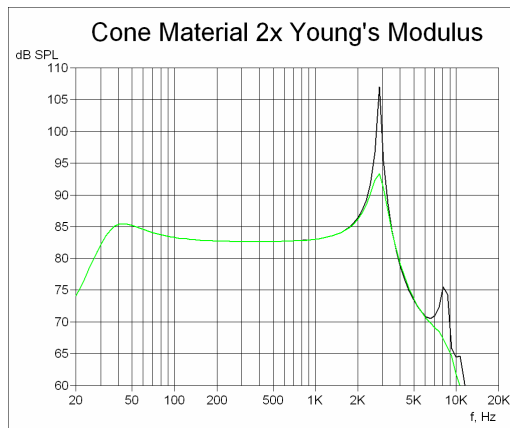


图 9 第二次预估值——基本符合

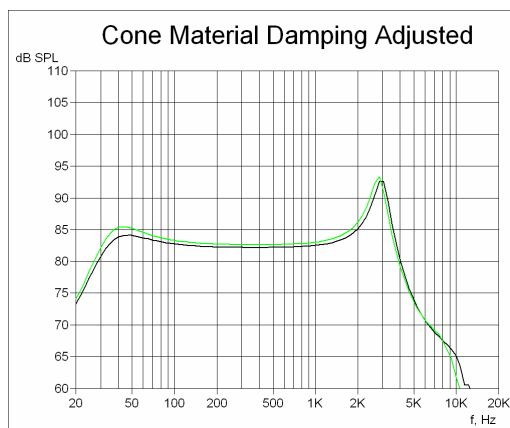


图 10 最终结果——符合（调整了阻尼系数）

- 先用 autoCAD 程序画好几何图形。画线所取位置基本以所画组件的中心层为准。如果任何线段或弧线所代表的组件厚度有变化，就将其分割成不同的线段或弧线。
- 输入近似的电气参数。
- 在 **Material Parameters** 材料参数中，输入实际的厚度。然后调整密度，直到显示的质量接近实际值。
- 预估 **E-modulus or Young's Modulus** 杨氏模量：如图 8，先输入一个已知材料的值做比较。最好先不加防尘盖。
- 取比较多(多于 30 个点。这个数值在主画面的 **Frequency range** 中的 **Number of frequencies** 栏中设置)的频率点来计算频率响应曲线。为了看到分裂震动，我们用很小的阻尼( $<0.01$ )。指定电气参数。
- 根据已知材料频响曲线或已知分裂震动模型，调整杨氏模量。观察计算出的频响曲线的峰值和谷值。见图 9。
- 调整阻尼值，使计算出的频响曲线尽量接近实测曲线。见图 10。
- 然后，估计一下悬边。通过已知悬边的共振频率 **Fs** 可以查出硬度或杨氏模量（或 **E modulus**）。这时，也可以去掉其它组件的硬度，例如弹波。
- 最后是防尘盖。防尘盖会使鼓纸的模拟变复杂。因为，防尘盖贴在鼓纸上，影响硬度。所以，要先模拟好鼓纸，最后再加防尘盖。
- 计算时，可以去除任何组件。这样可以帮助决定剩余组件的特性。

注意：要除去一些组件在频响曲线中的作用，用如下按钮：



这里，鼓纸被除去了。

## 电气参数

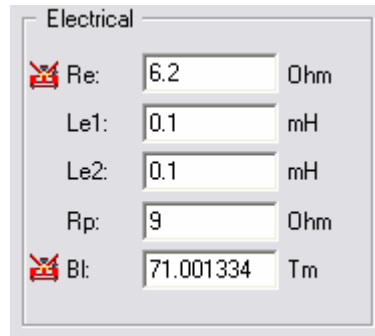



图 11

1. Re (ohms)。注意，这个可以设置到阻抗最小值  $Z_{min}$  (在频率高于共振频率  $F_s$  的那段阻抗曲线中，选最小的阻抗值)，以便更好的模拟真实的阻抗和频率响应曲线。红色标记  表示数据是从 FINEMotor 输入进来的。
2. 等效电路模型有两个电感线圈。Le1 (mH) 是一个连续的电感线圈。
3. Le2 (mH) 是第二个电感线圈。它跟一个电阻器(Rp)平行。
4. Rp (ohms) 是一个与 Le2 平行的电阻器。
5. Bt 是喇叭磁铁系统的驱动力。
6. Advanced settings(高级设置)是用来输入一个实测的阻抗曲线。

注意：为了得到一个匹配的频率响应曲线，我们必须先模拟出非常接近实测值的阻抗曲线。

## Lumped Parameters 集中组件参数(T/S 参数)

点  按钮，从 FINEMotor 输入 T/S 参数。

这个集中的样式符合图 2 中的“Display simple model without break-up” (显示没有衰减的简单模型)。因为所有的组件都被模拟为简单而完美的质量和顺性(无限的硬度)。这通常只是被用来模拟一个没有衰减的快速频率响应曲线。一般的用法是可以用来检验 T/S 参数。当然，我们用一个真实的有限元素模型的时候，这些参数可能都是不正确的。

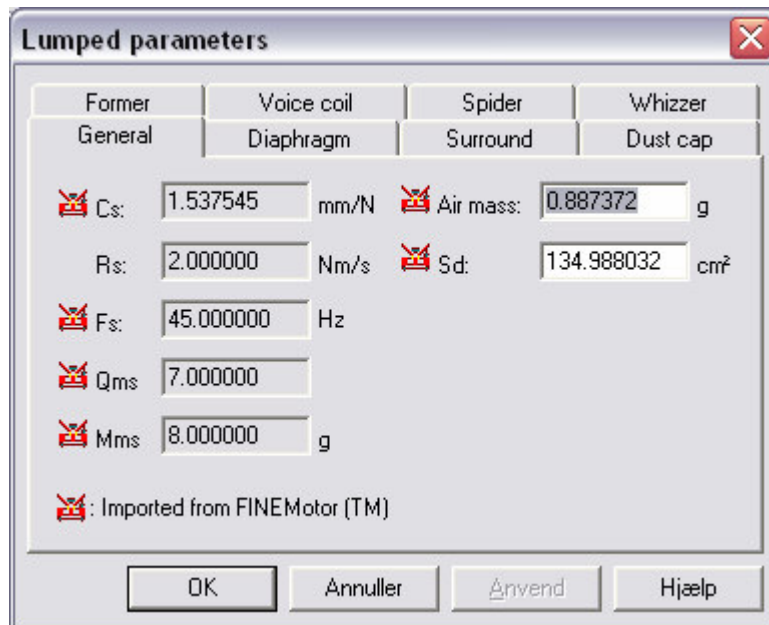


图 12

标记 表示从 FINEMotor 输入。当从 FINEMotor 输入数据时，震动面积 Sd 和空气负载质量都会由系统自动计算出来。

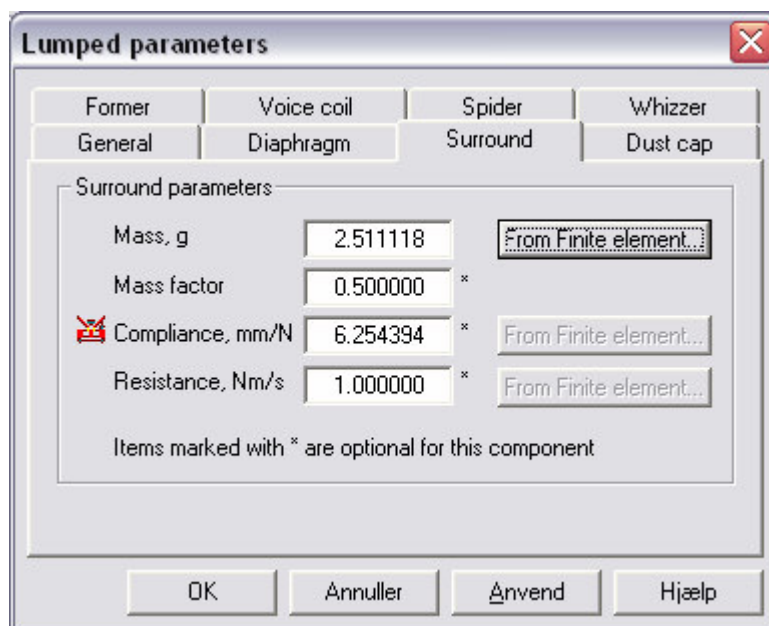


图 13

作为一个例子，上图显示了边的参数。注意，点 From Finite element... 按钮，可以计算出 mass(质量)。Mass factor(质量因素)用于此处，是说明边相对于对真实的运动质量在多大程度上起作用。Compliance (m/N)(顺性)可以从 FINEMotor 直接输入 或者用 From Finite element... 按钮计算出来。Resistance (Nm/s)(阻抗)是组件的震动衰减，它也可以用 From Finite element... 按钮计算出来。

注意。集中组件参数可以用来帮助决定材质特性。每一个元素都可以被排除在计算之外。例如当鼓纸或者悬边的共振频率  $F_0$  已经知道的时候，这是非常有用的。

## Frequency Range 频宽

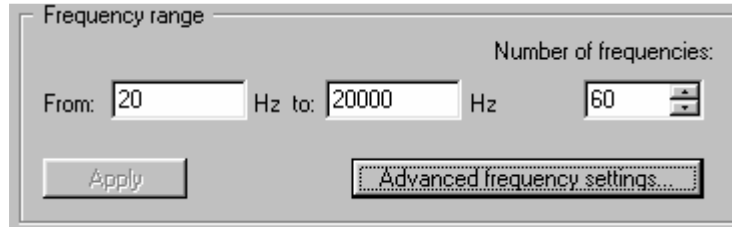


图 14

预设的频宽是从 20 到 20000 Hz。计算时，所取的频率点数在 Number of frequencies 栏中。这些点均匀地(对数的)分布在整个频宽范围。选取较少的频率点(比如 10 个)来减少计算时间，直到材料特性满意为止。然后，可以用 100 或更多的点来获得一个详尽的频率响应曲线。你可以在 Tools/Program Options/Calculation 里选择“Fast Solution of Differential Equations”(微分方程的快速解答)。如果不考虑在最高频的话，它的精确性依然是非常好的。

注意：频宽可以设置的范围可以从几赫兹到远远大于 20K 赫兹的超声波范围。

高级频宽设定可以选择所有种类的线性和对数范围。

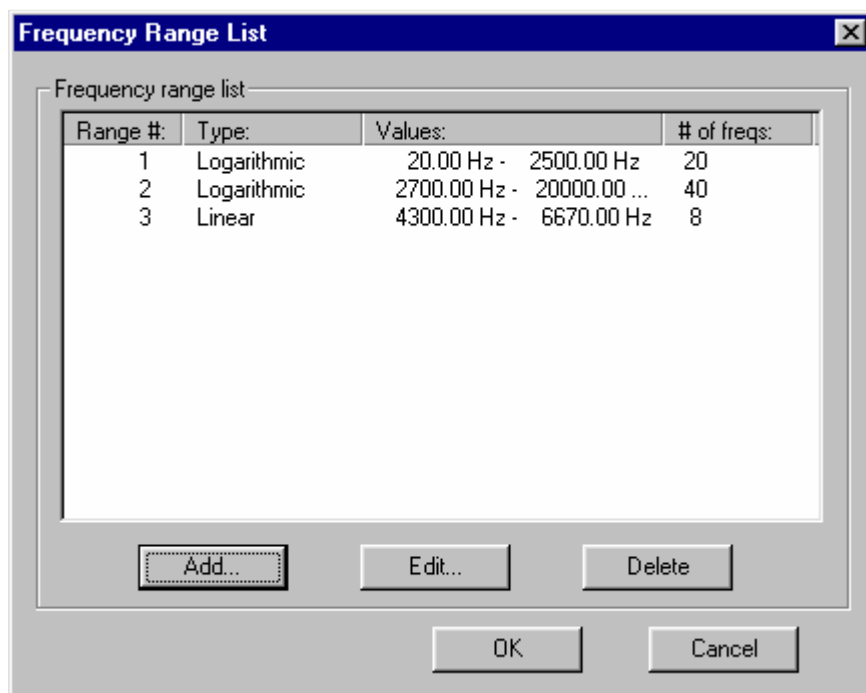


图 15

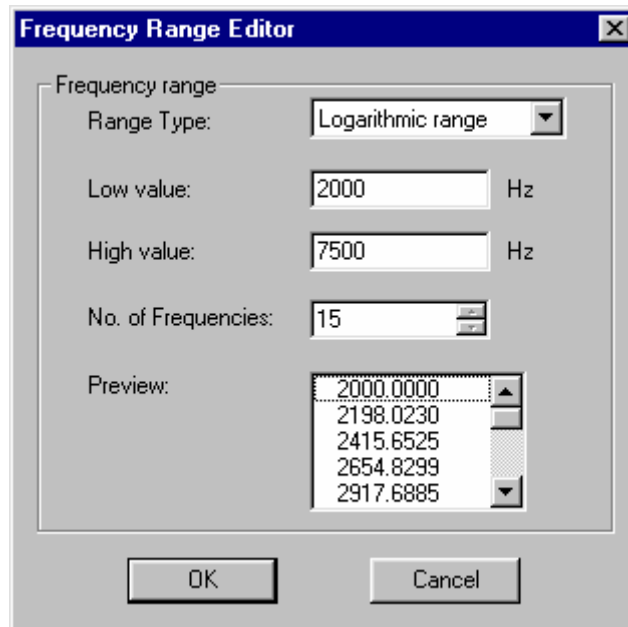
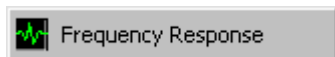


图 16

## Calculated Output 输出计算



频率响应曲线计算是自动的。系统可以计算任何一个测量点上的频率响应曲线，通常是离喇叭实体一米(预设的)处，并且认为是无限障板的情况。在最大的角度之内，系统可以计算出所有偏轴曲线。见图 2 中的“Acoustical”声学栏。

## Post-Processing 后处理

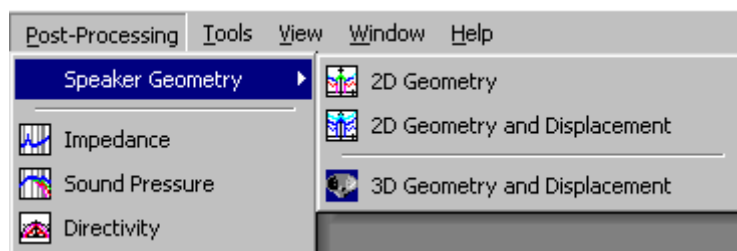


图 17

点 Sound Pressure 声压级按钮（在按钮栏或 Post-processing 下拉菜单中）可以看到如图 18 的频响曲线。同样，点 Impedance 阻抗按钮，可以得到阻抗曲线，如图 19。

也可以选 ‘2D Geometry and Displacement’ 2D 几何图形和位移(带分裂震动模式)，或者 ‘3D Geometry and Displacement’ 3D 几何图形和位移(带分裂震动模式)。见 15 到 17 页。

## Curve Import and Export 曲线输入和输出

在声压级和阻抗曲线图中，点鼠标右键可以选择输入或者删除实测/模拟的曲线，如 LOUDSOFT 二进制模拟文件(\*.fsim)或 MLSSA、LMS 等的实测文件(\*.txt)。

也可以输出频响曲线和阻抗曲线为 LOUDSOFT 二进制模拟文件(\*.fsim)。这些曲线可以被用于其它 LOUDSOFT 软件。

图 18 中，较高的那条曲线（粉红色）是从实际喇叭测出的曲线。

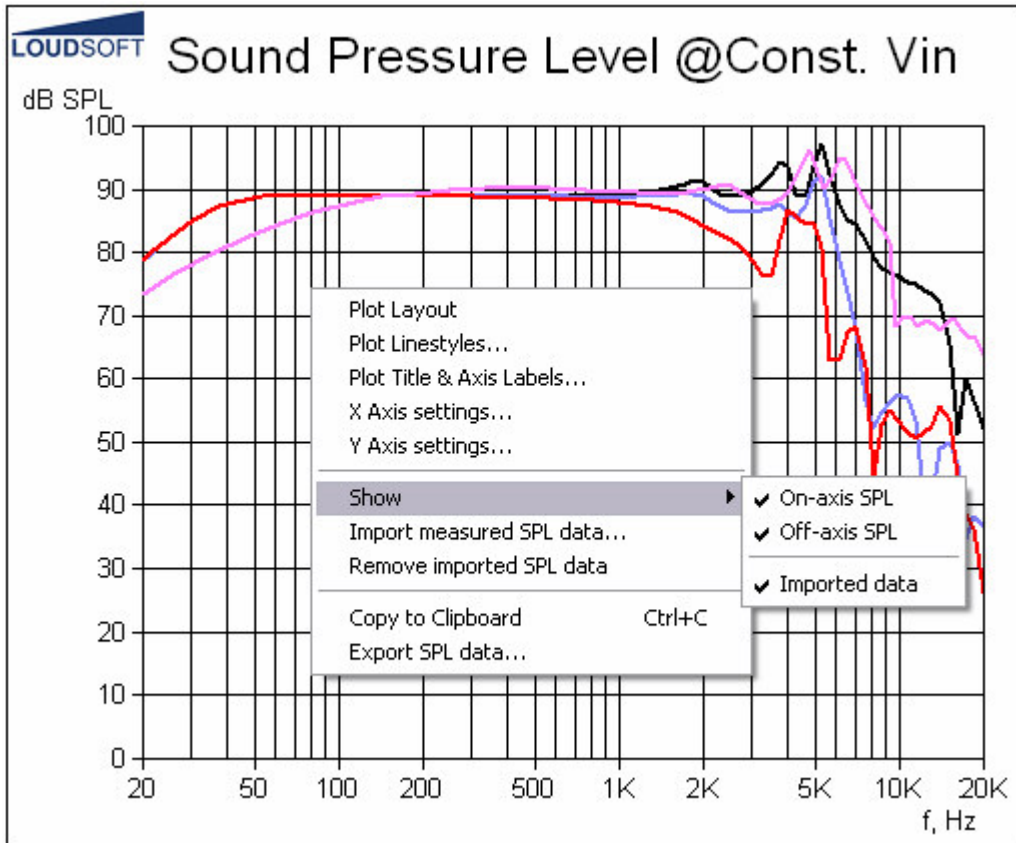


图 18. 计算出的频响曲线 0/30/60 度(黑/蓝/红) + 输入的(粉红)

注意：在图中单击鼠标右键，可以选择要显示的曲线。

## Copy to Clipboard 复制到剪贴板

在单击鼠标右键弹出的菜单中，选择‘Copy to Clipboard’复制到剪贴板。这样，可以把想要的图形复制到任何 windows 文件，如 Word 或者 email。

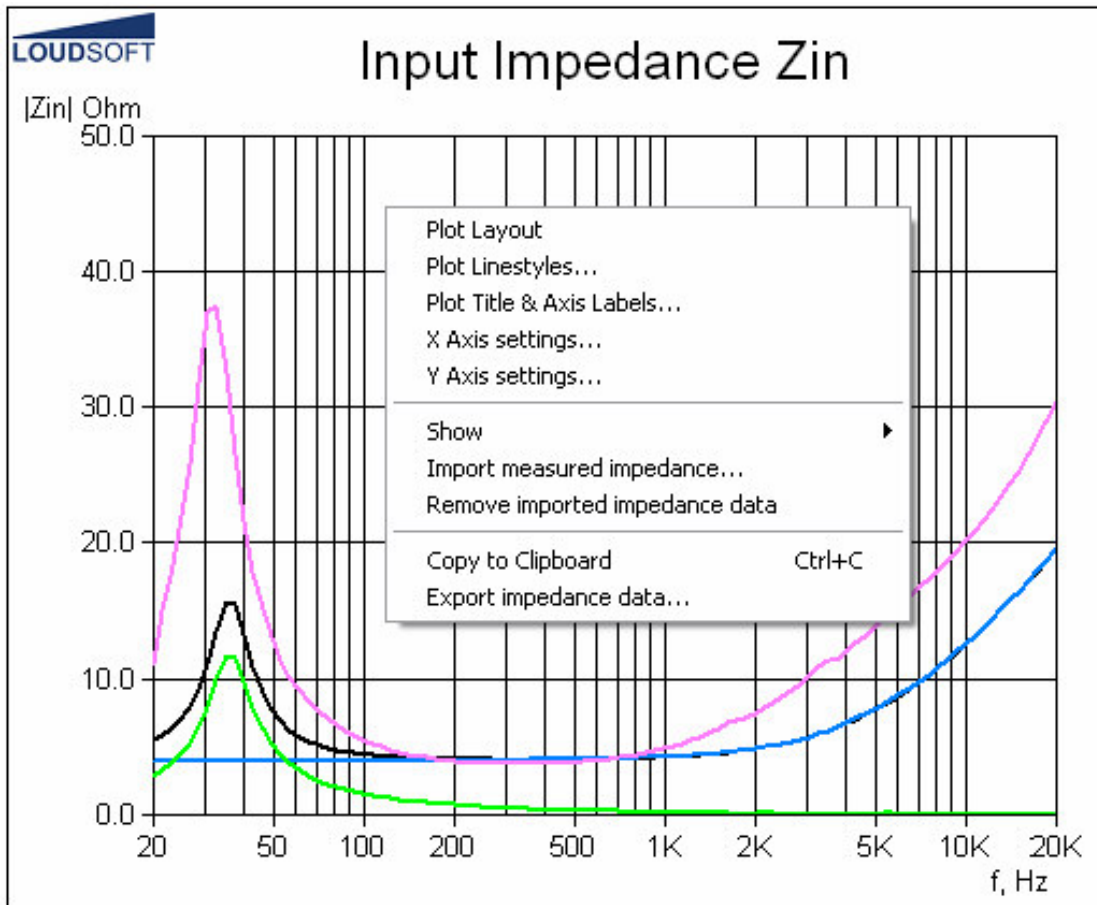


图 19. 计算的阻抗曲线（黑），电气阻抗（蓝），机械阻抗（绿）和输入的阻抗曲线（粉红）

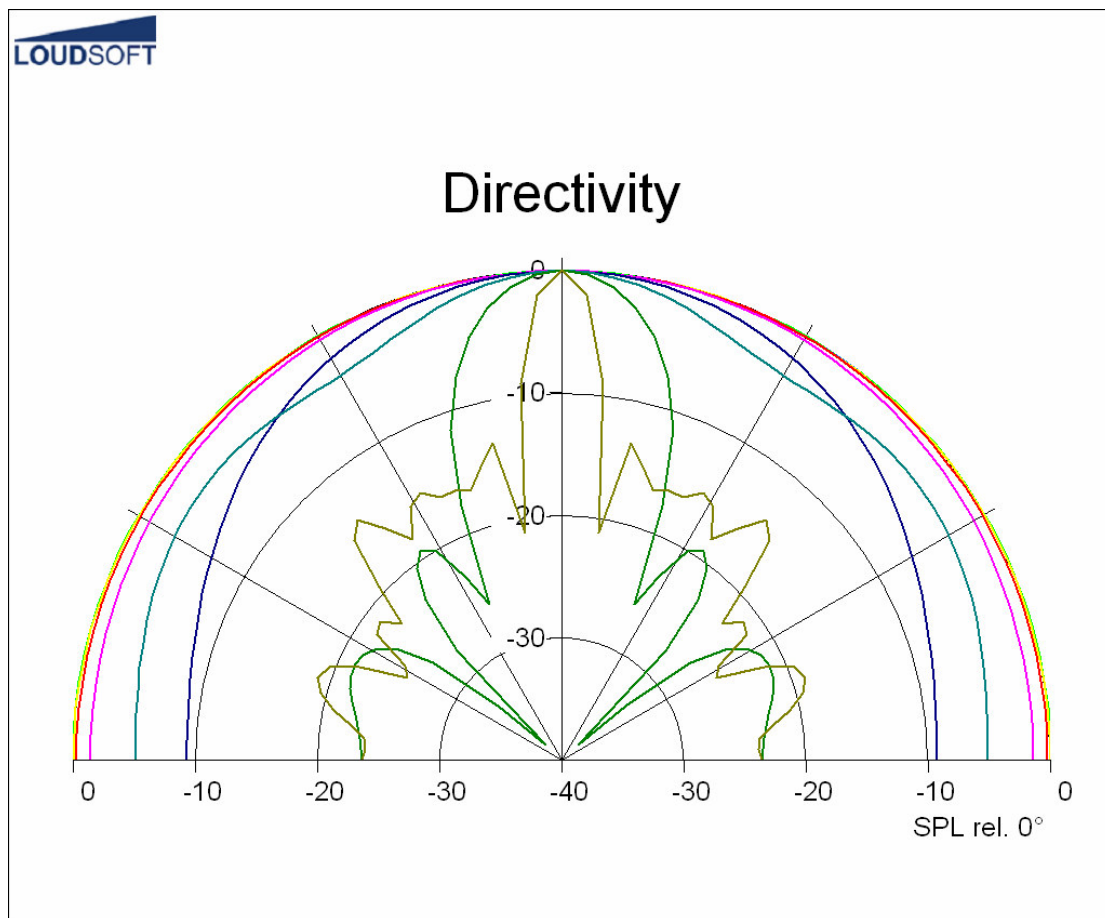


图 20. 取较少的频率点和较多的角度值可以得到平滑清晰的指向性曲线。



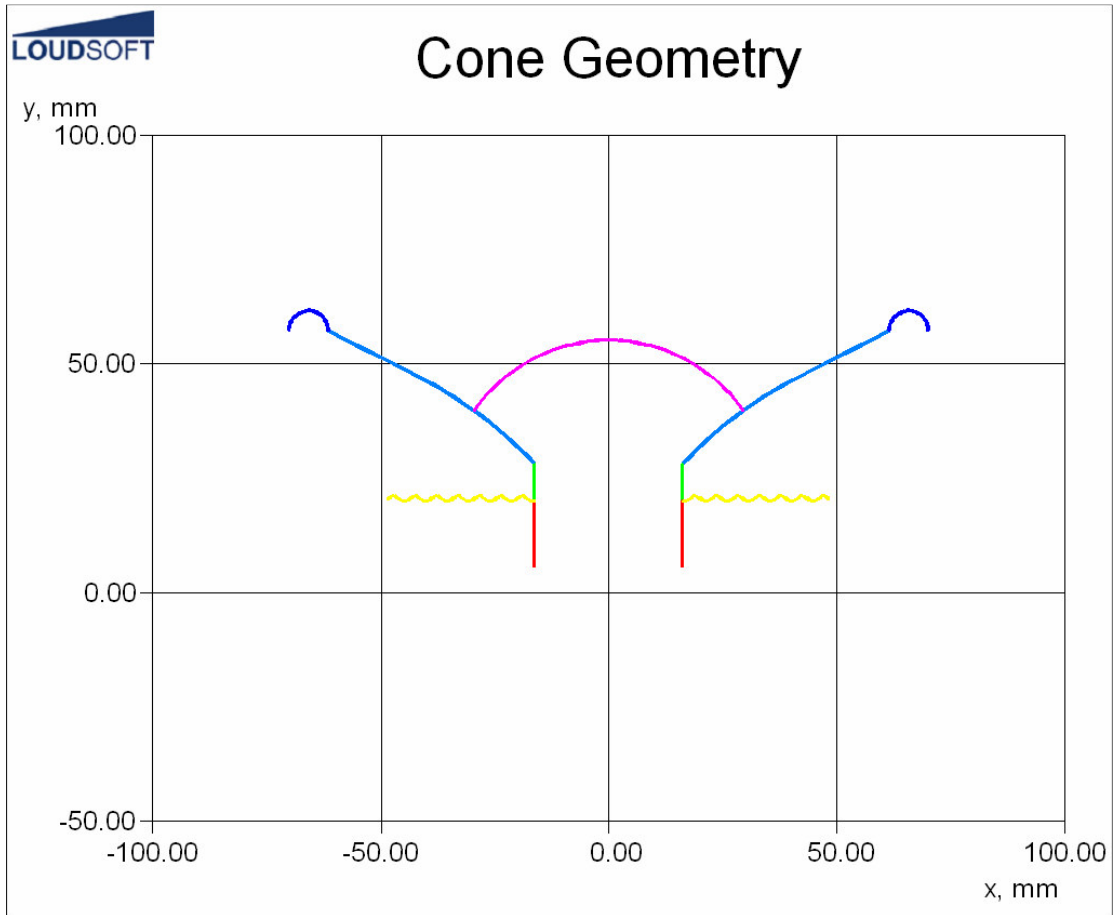


图 21

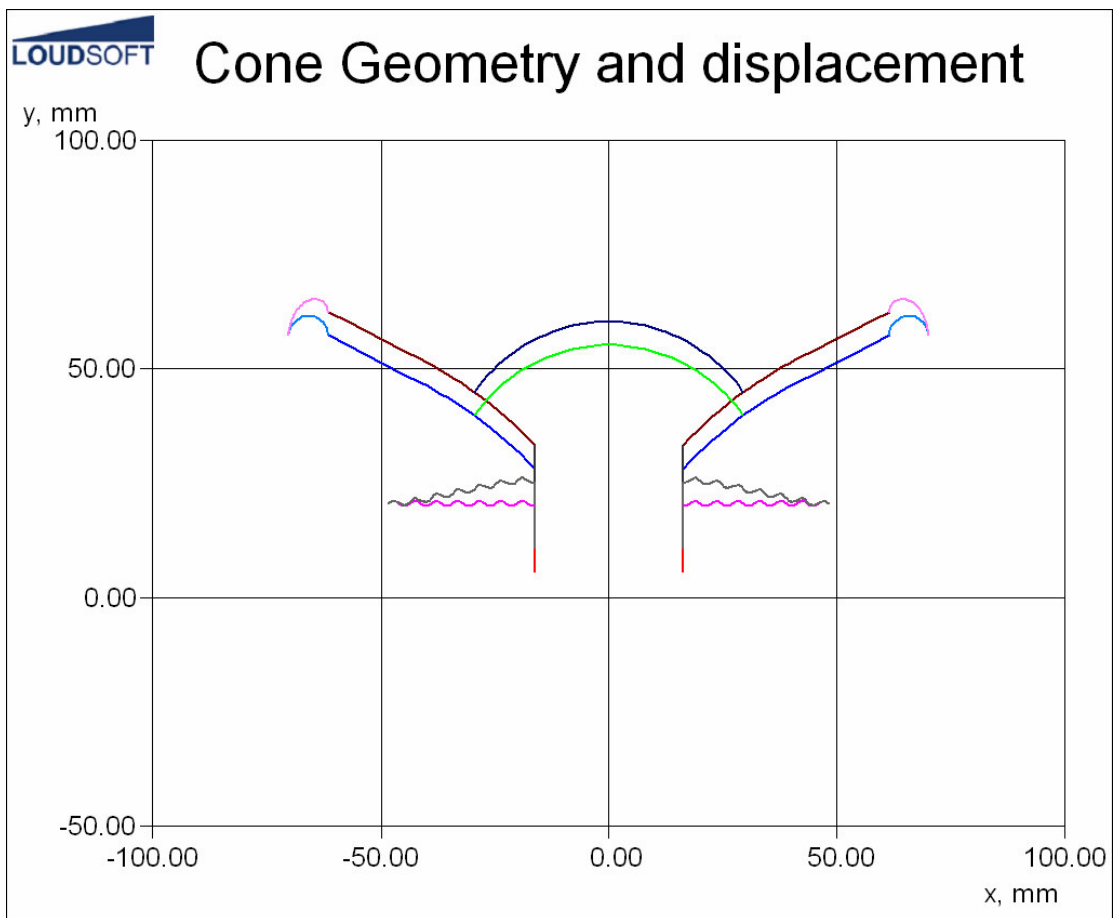


图 22

## 3D Animation 3D 动画

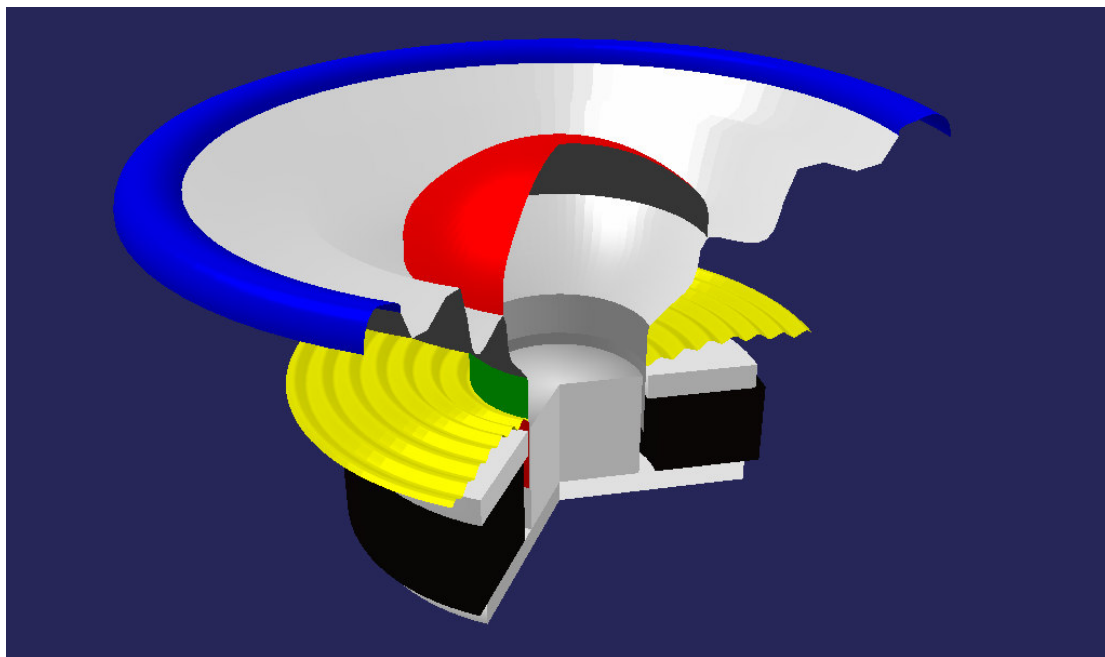


图 23

注意：用鼠标托拽图形，可将其转向任何角度！

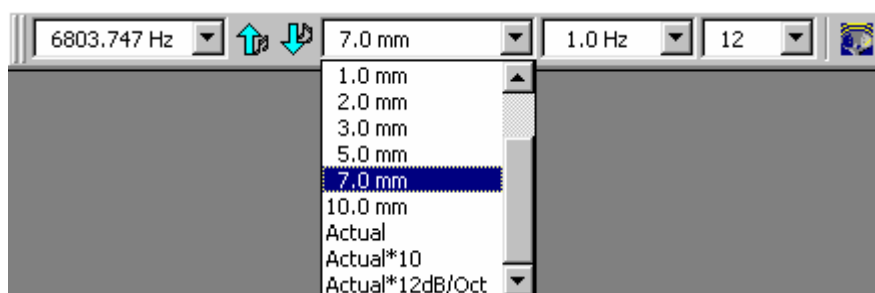


图 24

3D 动画的菜单如上图所示。左边栏是动态频率点。可以从下拉菜单中或者点上下箭头选择所需频率。

下一栏是振幅。图中选在‘7mm’。也可以选‘actual’实际振幅。但实际振幅仅在非常低频的情况才可以看得见。就算是选‘Actual\*10’实际振幅的十倍，也是很难看到的。最后一个选项‘Actual\*12dB/oct’是将振幅在共振频率上增加了 12dB/oct。

因此我们建议用固定的振幅：低音用 5-10mm，高音用 1mm。

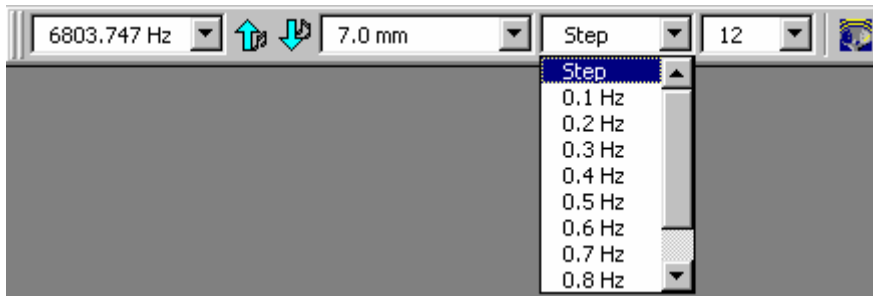


图 25

下一栏是动画运动速度。最后一栏是一次震动分几步显示。如果需要抓 3D 动画的图形，可以点右侧的按钮，然后用鼠标右击图形，选 ‘copy to clipboard’ 即可。



用这些按钮，你可以做：

1. 改变显示的扇区数(也就是，切掉多少)。
2. 显示有限元素线框或者固体组件。
3. 调节 Zoom(缩放)， pan(面板坐标) and viewing distance(显示的距离)。
4. 设置图像平滑。
5. 设置背景颜色。

## Plot Properties 图形特性

在所有图形上点击鼠标右键，可以编辑该图形：

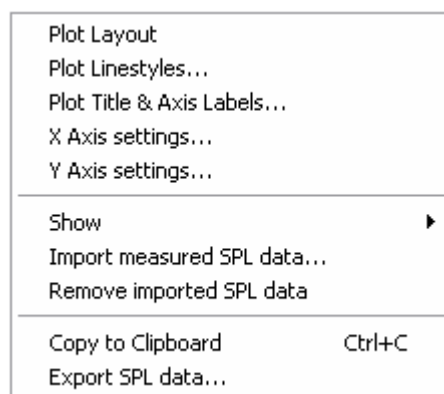


图 26

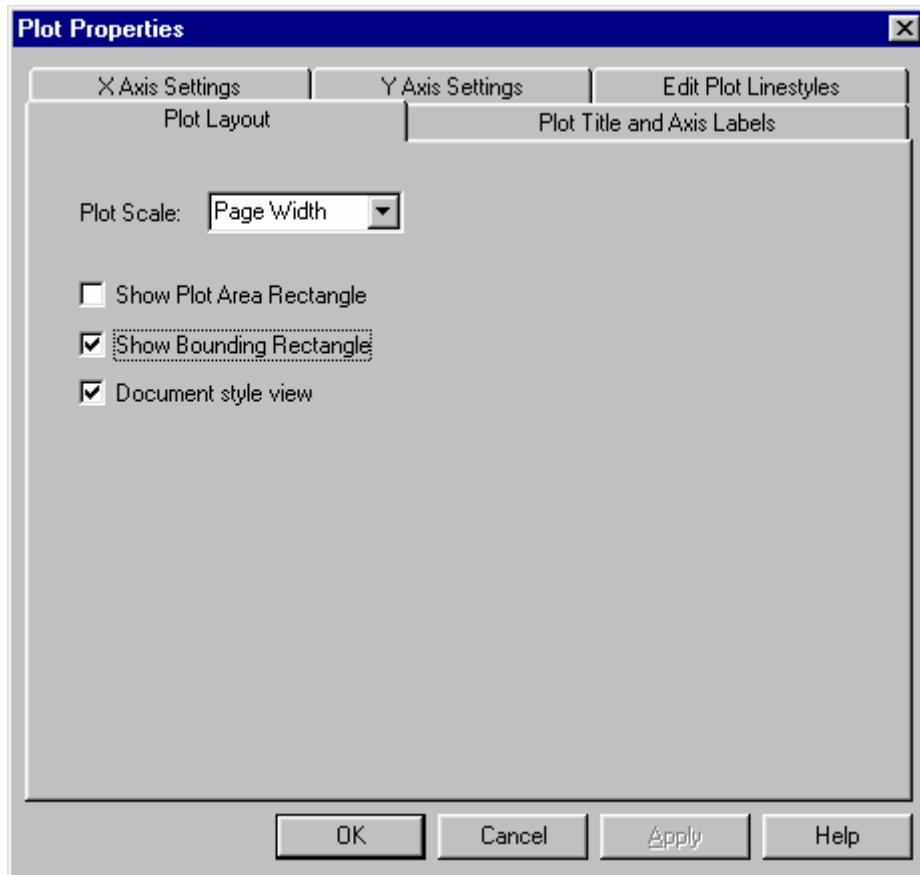


图 27. 图形版面

选 ‘Plot Line styles’ 图形线条类型，可以改变线条的颜色；选 ‘X axis settings’ X 轴设置，可以更改频率刻度；用 ‘Plot Title & Axis Labels’ 图形名称和坐标轴标志，可以设置图形名称和坐标轴名。

也可以自由改变 Y 轴设置，如从 50 到 100dB，每 5dB 一格。

## Buttons 按钮

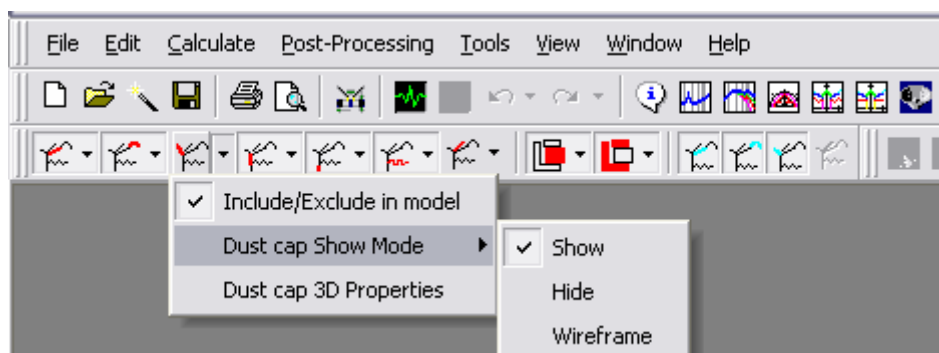


图 28

用这些按钮可以控制所有组件。在模型中可以选择包括或去除任一个组件，或者也可以在 2D 或 3D 显示中隐藏它们。另外，你可以改变组件在 3D 显示中的颜色。在去除一个组件时，系统会重新计算而产生新的结果。



更高级用法是，任何组件对总声压级的影响，都可以被计算出来。可以选择包括或者去除某一个组件，以便观察该组件的输出声压级。这个功能非常有用！因为，对实际喇叭单体，不可能单独测量某一个组件的输出声压级。

## UNDO 撤销



用这两个按钮，可以撤销设计的操作（可以连续撤销 10 次）。当然，也可以再执行某操作。

## FINECone File Formats 文件格式



图29. FINECone 2.x 文件格式

## Whizzer Cone Modelling 高音杯模型

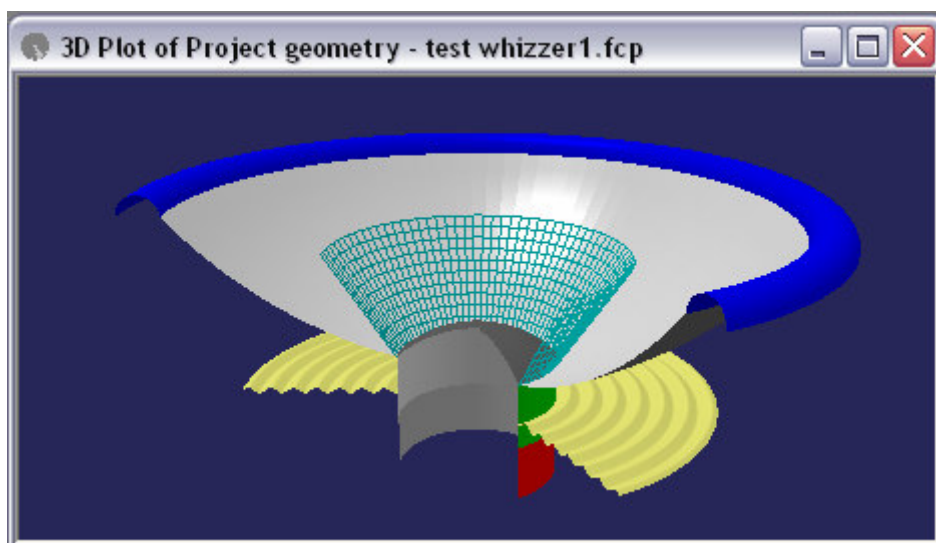


图30. 高音杯模拟

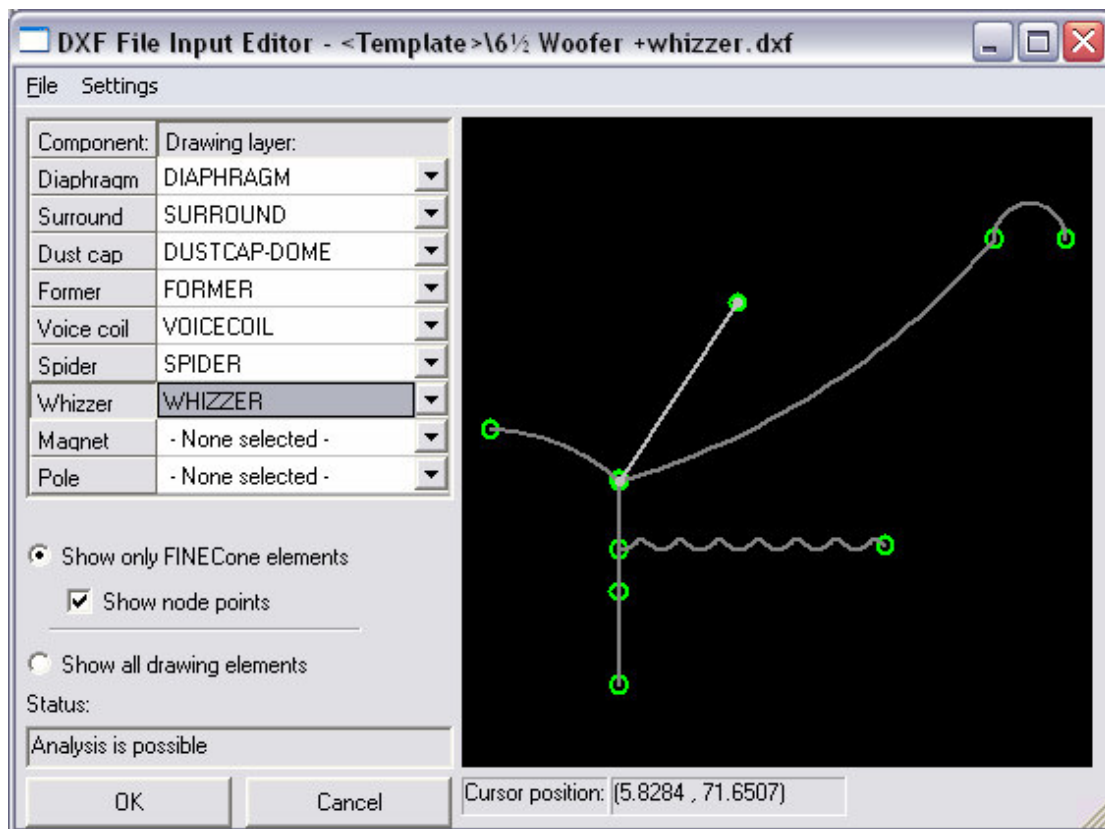


图 31

高音杯可以象其它组件一样操作。注意，画 DXF 文件时，高音杯应该在它自己的层（Whizzer）中。这样，机械特性和声压级才会正确。

## Ring radiator 环形发射式喇叭

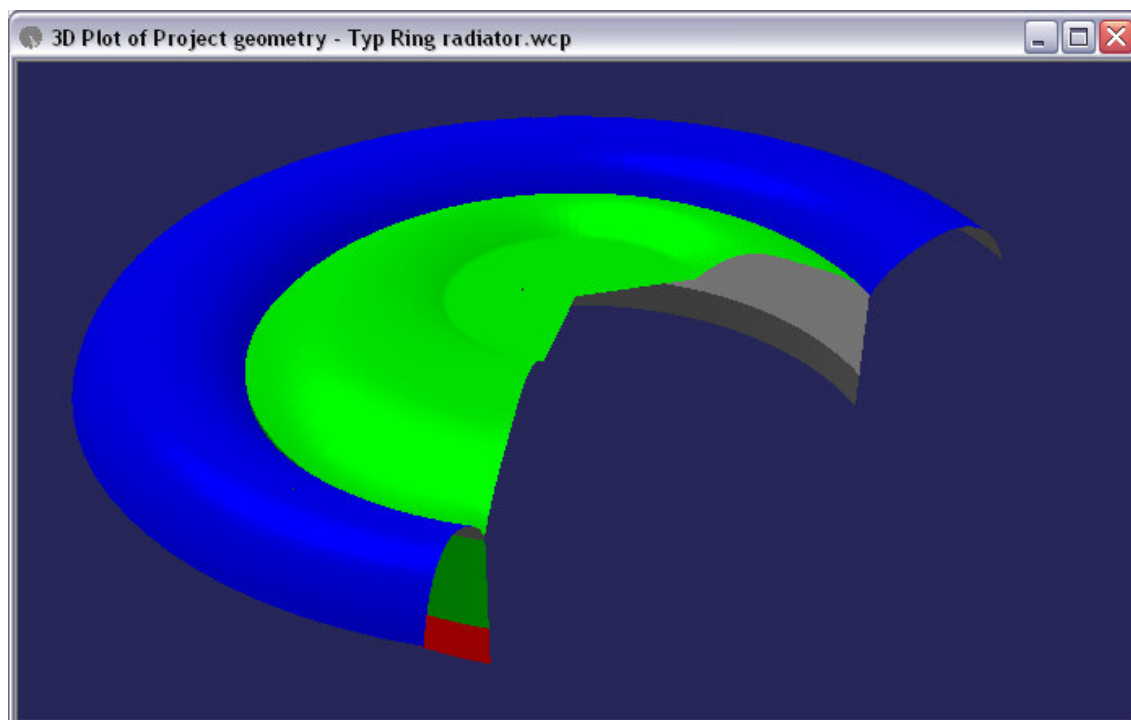


图 32

环形发射式喇叭和其它设备（有一个固定的中心）可以模拟如下：

中心层应该画在 **dome** 层中。这样就可以在下拉菜单中选择 ‘**Calculate as Clamped**’ ， 如图 33。

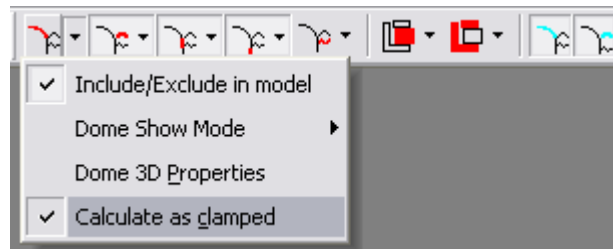


图 33

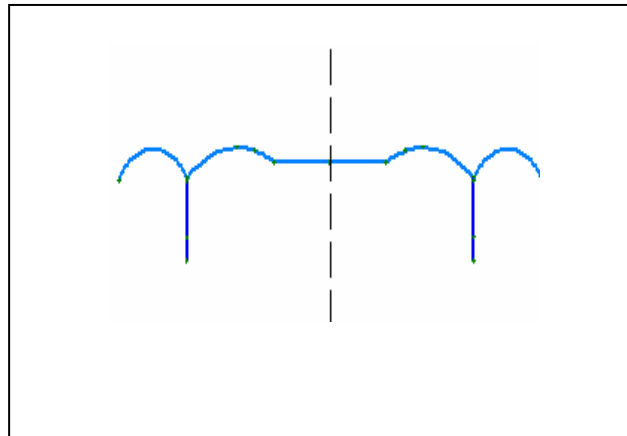


图 34

举例文件可以在 FINECone CD 中找到，或者登录[www.loudsoft.com](http://www.loudsoft.com) (下载)即可。



Agern Alle 3 – 2970 Horsholm – Denmark  
Tel: +45 4582 6291 – Fax: +45 4582 7242