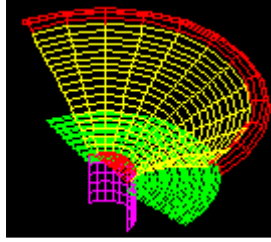


# FINECone™



振膜/鼓纸振动的有限元模拟

## 指导书



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。

# FINECone 实例 1: 六寸半低音

我们将用 FINECone 模型与实体喇叭比较，来验证 FINECone 的精确性。然后，我们用 FINECone 模型来模拟新材料，新鼓纸形状和很多其它方面。

实际单体是一个塑料框 6.5 英寸低音扬声器有 90mm 铁氧磁铁和 33mm 音圈。它有一个配橡胶边有弧度的铝音盆。大型防尘罩约有 60mm。

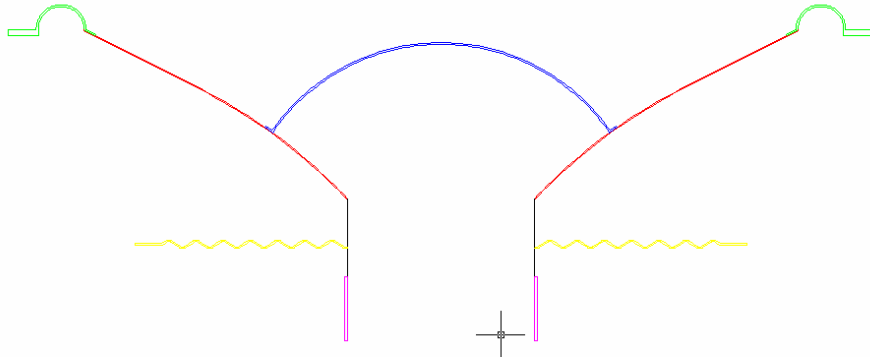


图 1. 振动系统的主要几何形状

T/S 参数:

Fs	47	Hz
Re	5,50	ohms
Qms	4.93	
Qes	0.49	
Qts	0.44	
Le1	0.22	mH
Le2	0.47	mH
Rp	4.91	ohms
Vas	23.93	ltrs
Mms	12.64	g
Cms	907	m/N
Bl	5.65	Tm

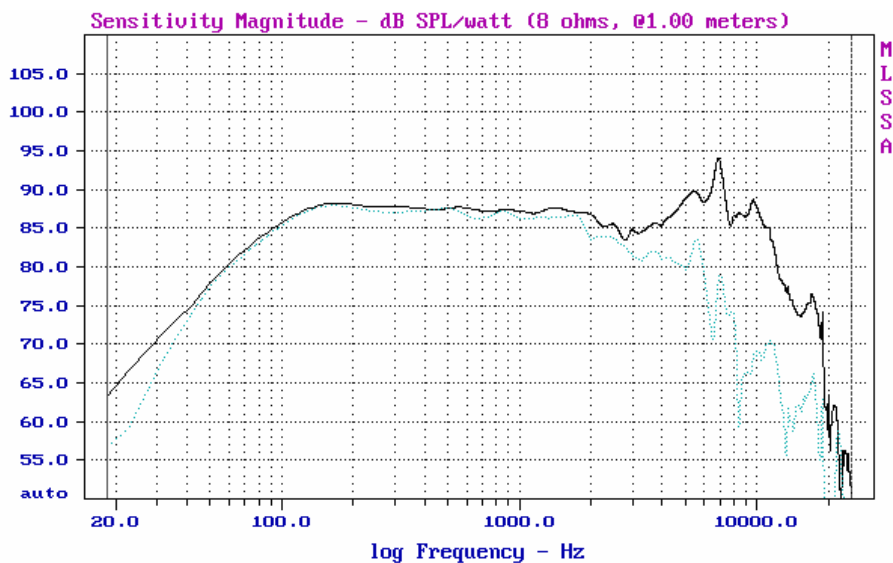



图 2. 用 MLSSA 测得正轴/偏轴曲线 (30 度)。正轴曲线输入到 FINECone

## FINECone FEM (有限元模型)

下面是 FINECone 模拟该六寸半低音的过程。

分以下几步进行：

- 通过输入 DXF 文件来确定几何形状
- 从材料表中选择各组件的材料特性
- 定义电气参数。如果有 FINEMotor，可以用  按钮从 FINEMotor 输入进来。

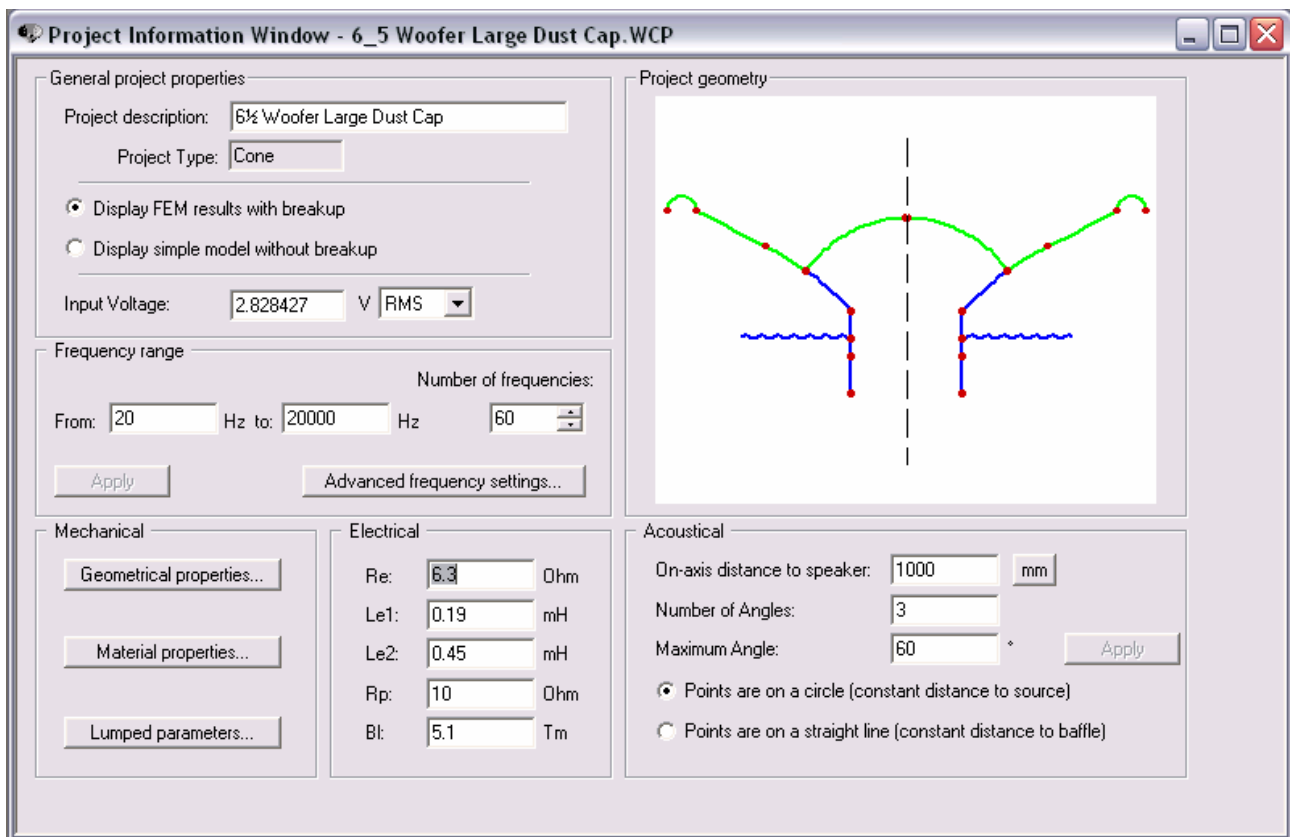


图 3. FINECone 主窗口

因为所有网框，元素的数量，自由度和约束等等，都是程序自动定义完成的，所以我们只需要用 AutoCAD 作一个几何形状的简图，存为 DXF 格式并输入到 FINECone。

所建模型必须是圆形中心轴对称的，而且只用右边一半。也就是说，图形中最左边那一点必须在喇叭单体的中心对称轴上。通常这是防尘罩的中心点。DXF 图形见图 4。

## DXF 输入

这里显示了输入的 DXF 几何图形(振膜被选中):

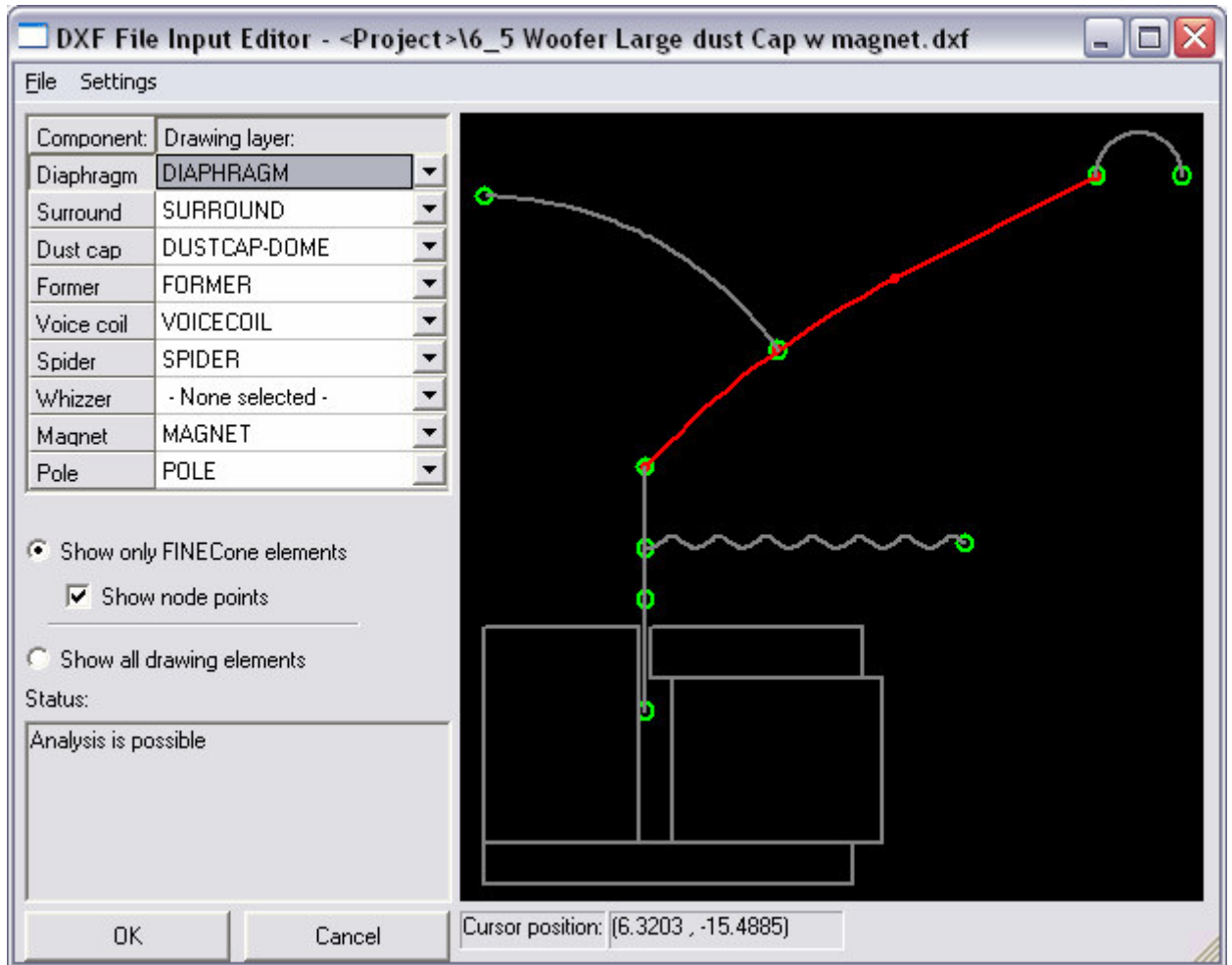


图 4. DXF 输入和自动纠错功能

我们用指定的名字给这些层命名，那么，输入到 FINECone 时就不必再麻烦了。

*注意：你可以在 Tools/Program Options/DXF Layers 更改指定的各层名字。*

在左下方的“Status”窗口中，我们看到“Analysis is possible”，这说明自动纠错功能未发现任何错误。参照 FINECone 操作手册，可以查阅该功能的详细情况。

FC 现在将用预设的参数开始计算。然后我们必须改变这些参数，以得到符合实际的结果。

现在，我们选择 FEM Material Properties

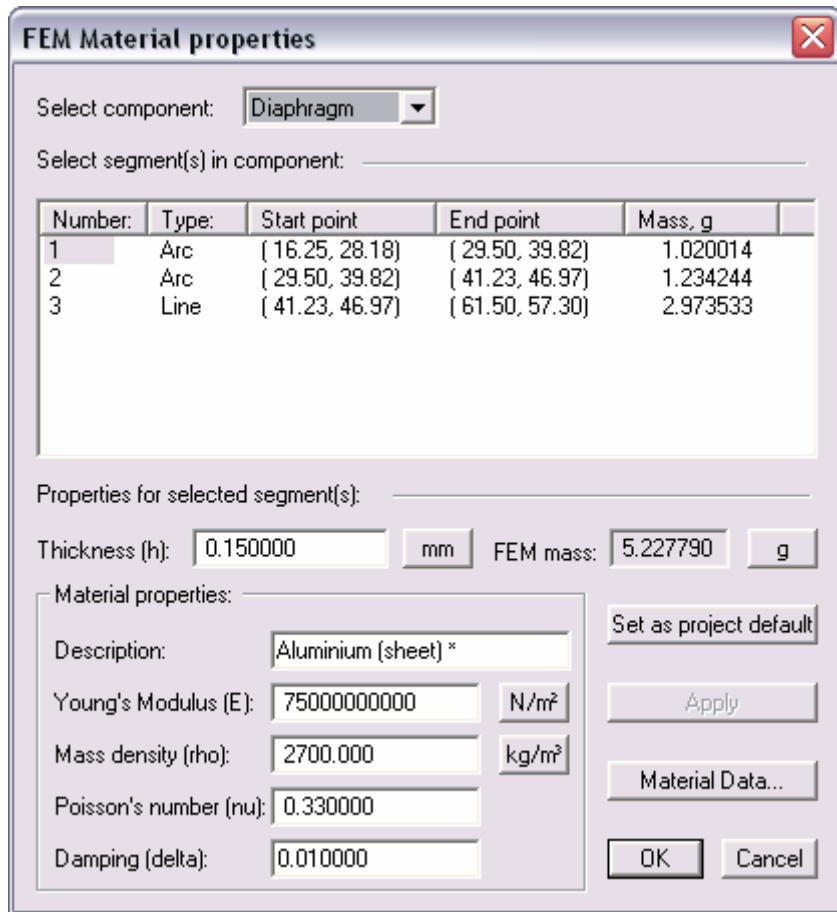


图 5. 材料特性输入

振膜或鼓纸是由三段组成的。基本上这个鼓纸设计为里面一个大圆弧连接一条直线（见前图）。但是，这个大圆弧必须被分割成两个一起连接到防尘罩上的小圆弧。

这个音盆的材料被选为铝箔片。这个 \* 符号表示数据库中的材料被改变了。它的阻尼从 0.05 增加到了 0.1。这是为了正确的模拟实际的喇叭材料。

举个例子，喇叭边的材料是从材料数据库中获得，点右下方的按钮选择。

悬边的材料可以在材料数据库中找到。选择悬边后，点右下方的“Material Database”按钮，参照图 5。

然后出现图 6。这里选择了“Rubber”橡胶，一个典型的喇叭边用橡胶材料。

*注意：你可以在任何时候编辑材料或添加新的材料进数据库。*

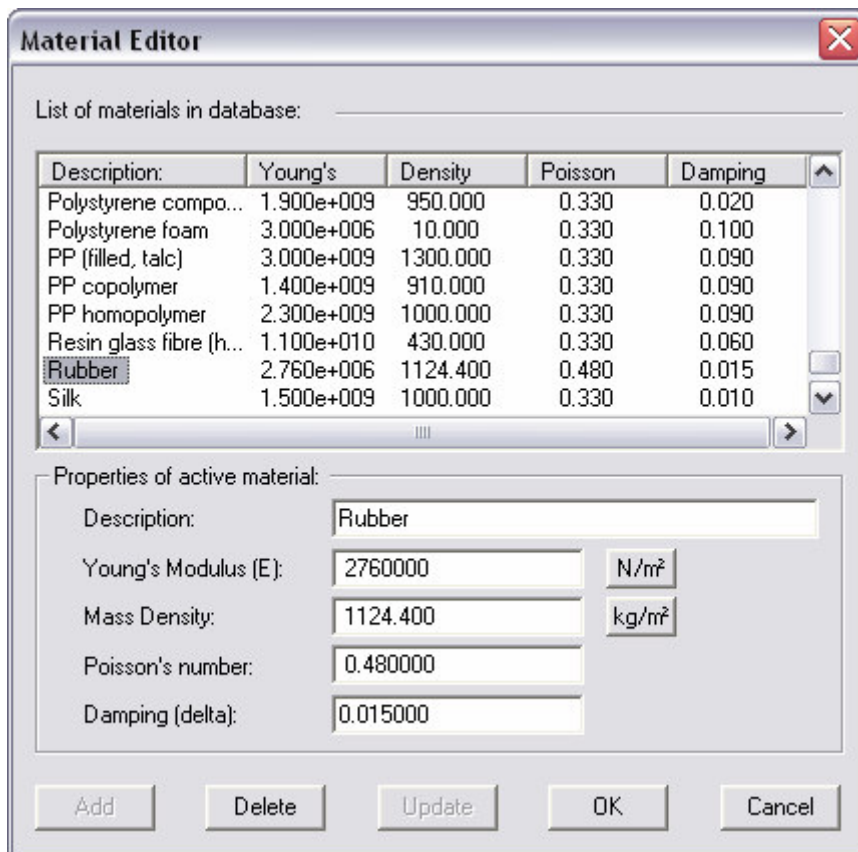


图 6. 材料编辑

现在，输入电气参数。先来自 MLSSA SPO 的数值。为了帮助使用者匹配一个已存在的阻抗曲线，测量出的阻抗曲线可以通过选择“Advanced Settings”来输入。

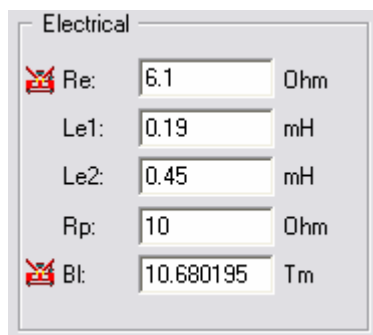



图 7. 电气参数的 FINEMotor 输入

如果有 FINEMotor 文件(\*.FM2)，就可以直接输入到 FINECone。图 7 中带  标记的参数就是从 FINEMotor 文件输入的。（参见后面的叙述，也可查看 FINECone 参考手册）

结果频响曲线见图 8。

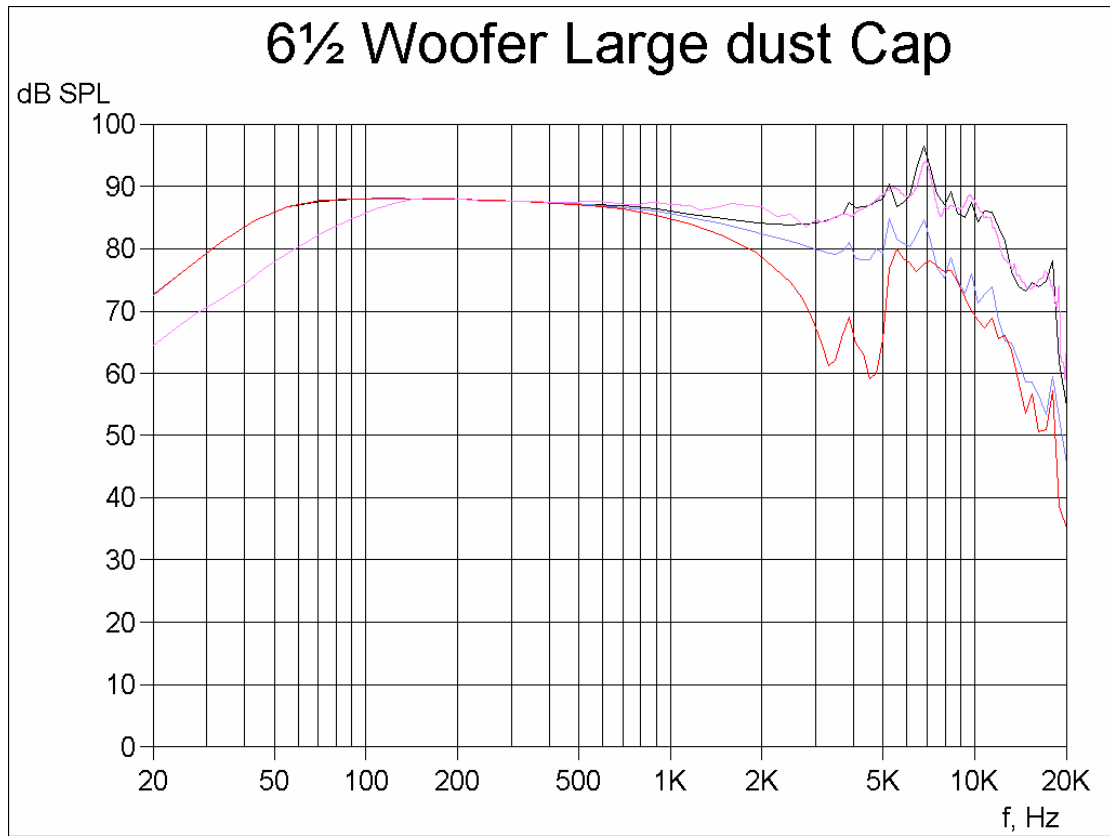


图 8. 在高频（分裂振动区域），模拟的曲线（黑色）与实测曲线（粉红色）的一致性很好



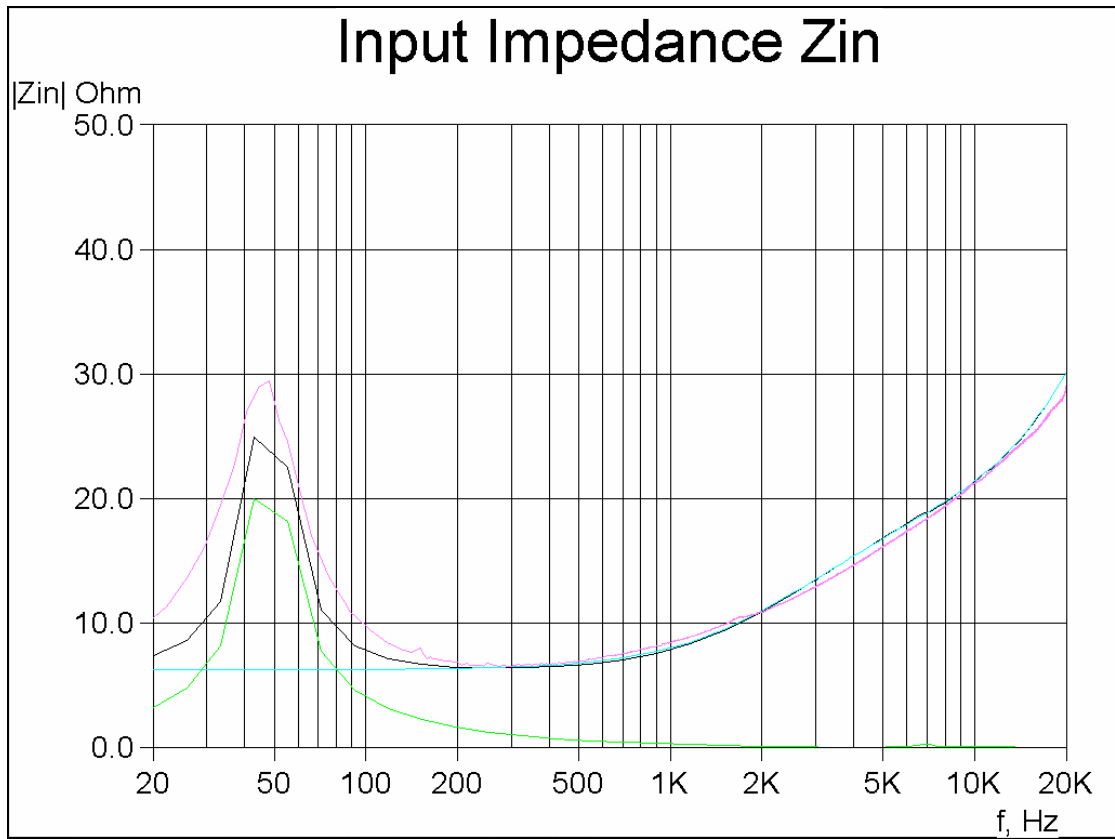


图 9. 蓝色曲线是模拟的电气阻抗曲线，绿色是机械阻抗曲线，粉红色是用来对比的实测曲线

### 后处理

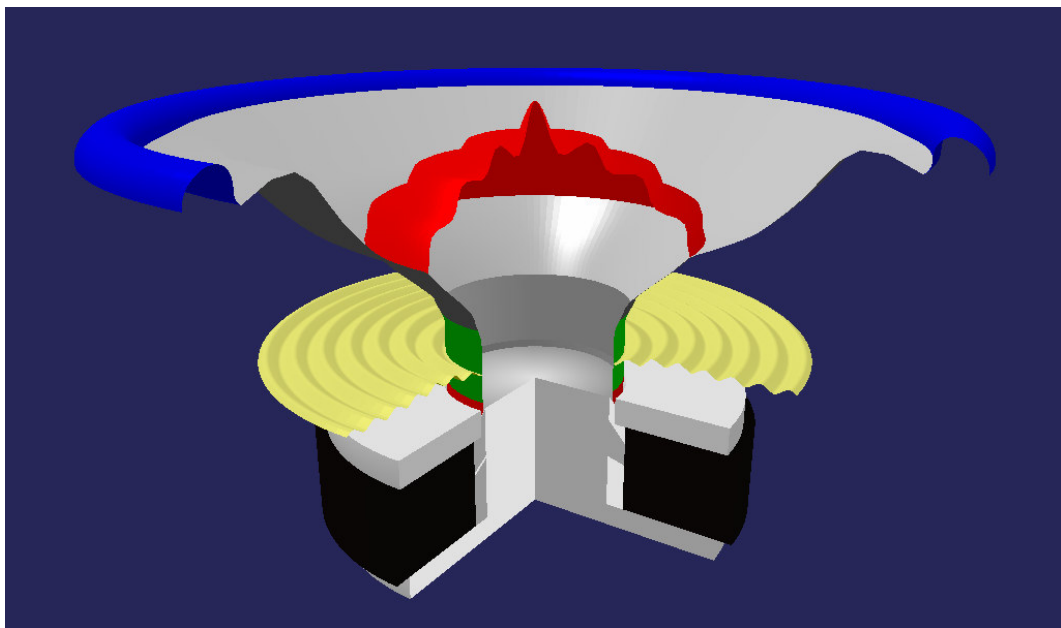


图 10. 这是 6.5" 低音在 7162Hz 分裂振动的模拟。这个频率也是在频响曲线中看到波峰的频率。注意，在鼓纸外缘有剧烈的分裂振动。

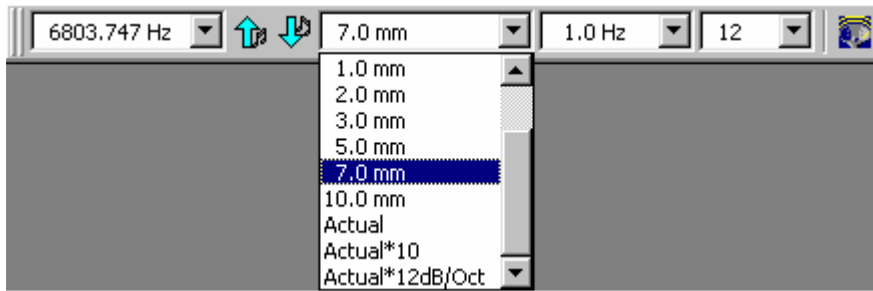


图 11. 3D 动画菜单

上面是 3D 动画的选单。左边一栏是要模拟的振动频率（从下拉选单中点选或移动上/下方向键选择）。

下一栏设置振幅为 7mm。在此处，你可以选择 Actual(实际的)振幅。但是，这只在非常低频的范围内适用。在频率比共振频率高的时候，振幅仅仅几分之一毫米。即使是 Actual\*10(乘 10)也很难看到。最后一个设置：Actual\*12dB/oct 在共振频率以上把振幅乘以 12dB/oct。这将补偿在共振频率以上按照 12dB/oct 衰减的振幅。

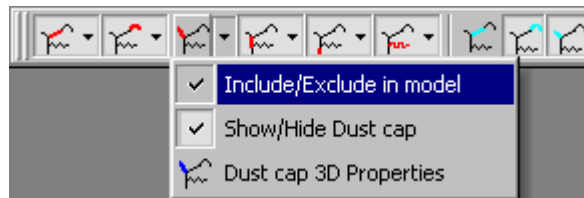


图 12. 选中/排除组件

在这个选单，你可以选择组件是否可见，并可将各个振动组件的 SPL 包括或排除在整个声音输出中。这个特点非常有用。因为你可以孤立每个组件的音压输出。这在实际单体中是不能实现的。举个例子，下一幅图表中的频响特性只是防尘罩发出的。

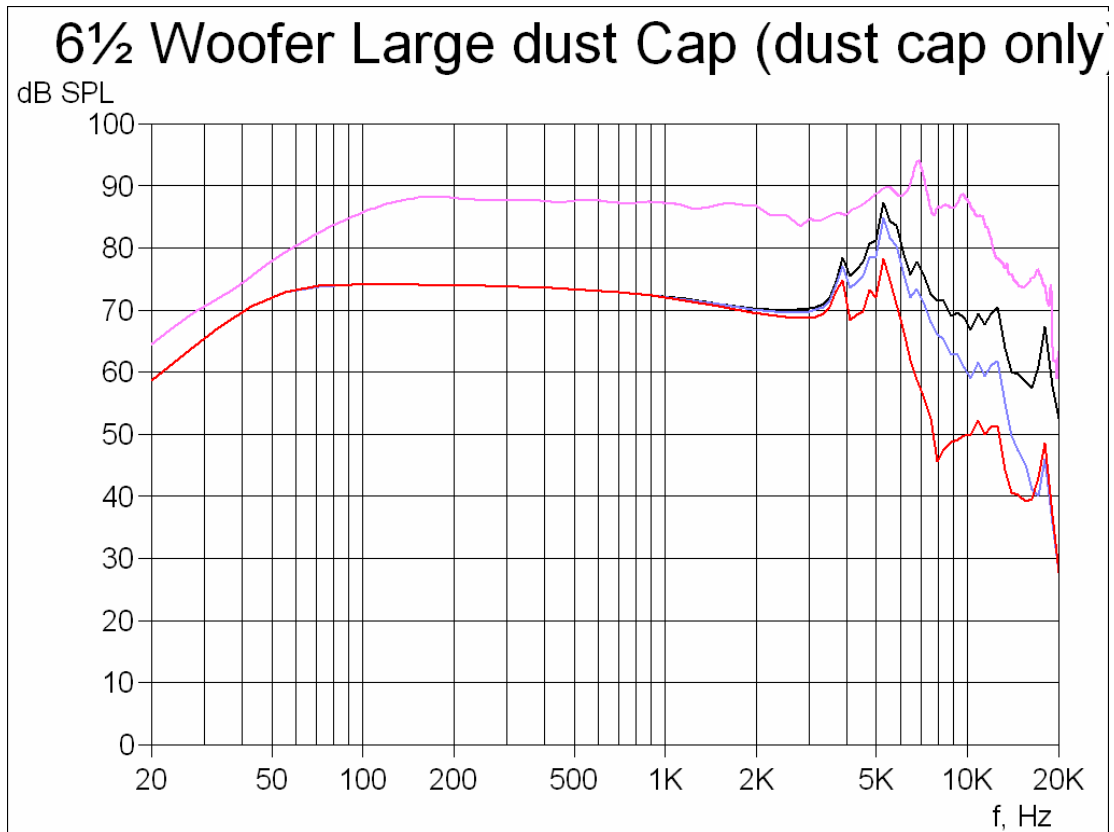


图 13. 大防尘罩单独的频响曲线。该防尘罩曲线在 5kHz 有个明显的峰值。在 3D 动画中，可以看到导致该峰值的原因。

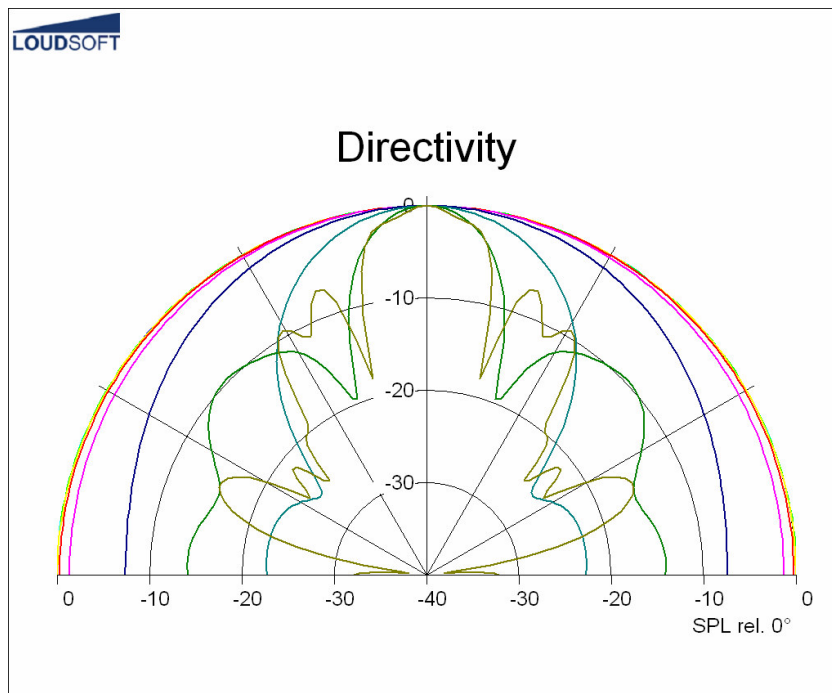


图 14. 在 10 个频率点的指向性

## FINECone 实例 2:在 1300Hz 有问题的 165mm 低音

下例中，我们模拟了一个在 1300Hz 有严重问题的 165mm 低音。

粉红色曲线是实测曲线。注意这个分析只精确到 10kHz 左右。低频端模拟曲线与实测曲线的不一致，是因为测量喇叭时所用障板尺寸有限。至于 10kHz 以后的不同，是因为我们选择了快速计算模式进行有限元模拟（在一台 1.5GHz PC 机上，计算时间少于 7 秒）。

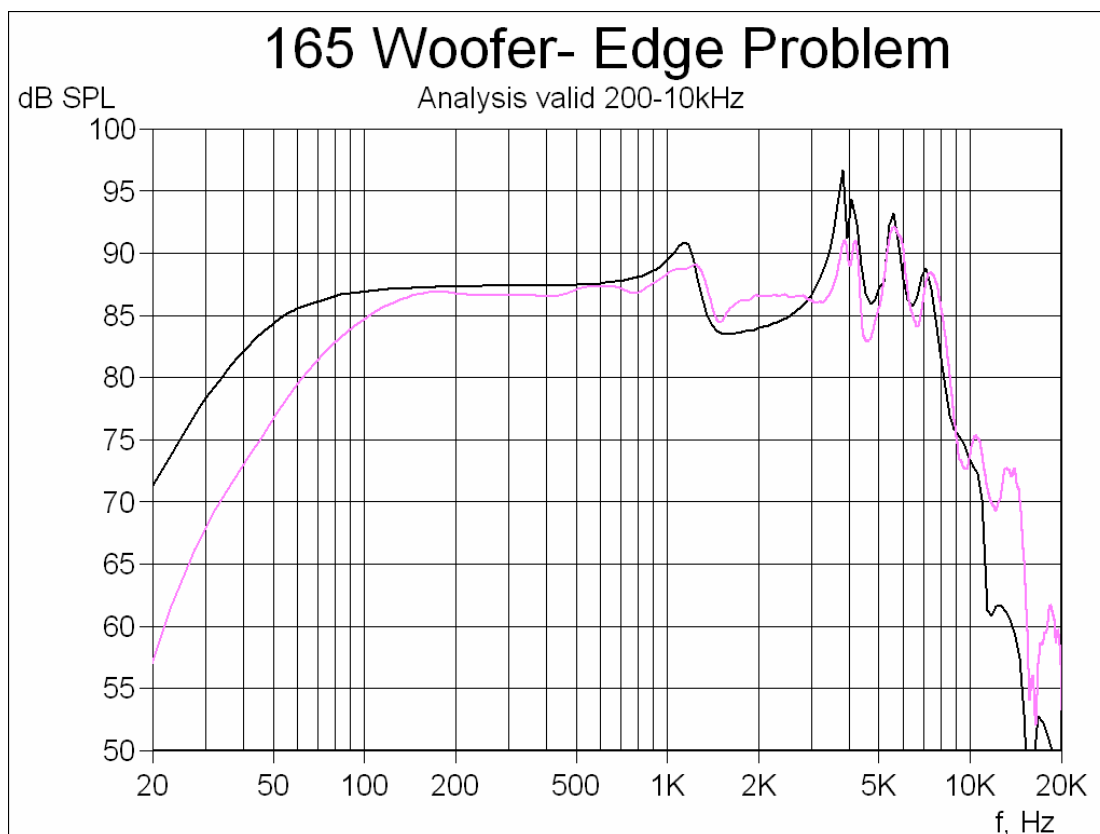


图 15. 有问题的 165mm 低音

图 15 中，FINECone 模拟的曲线跟实测曲线基本一致。在 3-8 kHz 有一些分裂震动，不过我们将主要考虑 1300 Hz 附近的峰和谷。因为这些峰和谷在设计分音器的时候很难处理。

图 16 显示了该低音的几何图形。红点表示线段的交叉点。注意，我们把悬边分为五段。在图 17 的 FEM Material properties 有限元模型材料特性中，我们可以看到所有五段厚度均为 0.4mm。

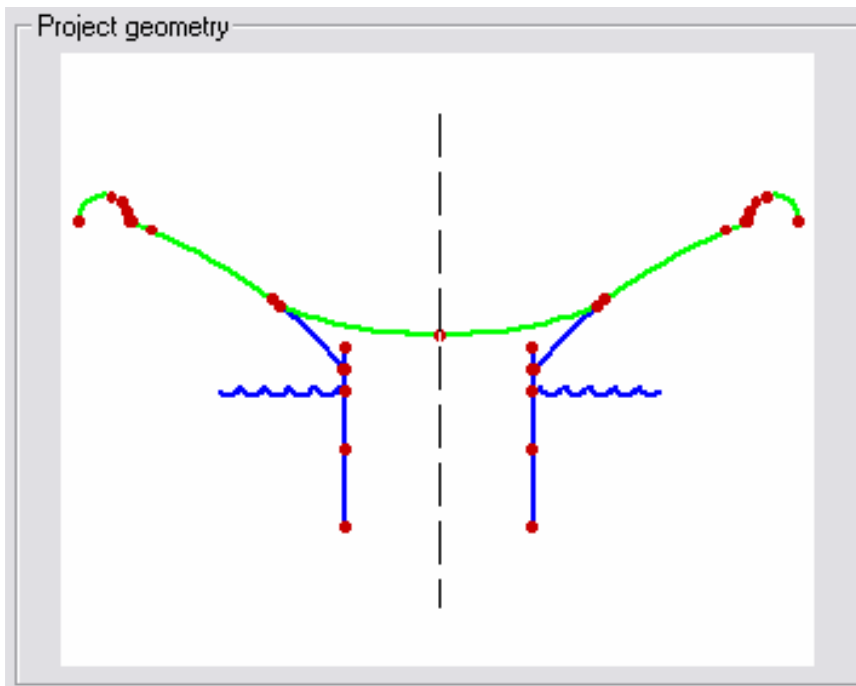


图 16. 165mm 低音的几何图形（悬边分为五段）

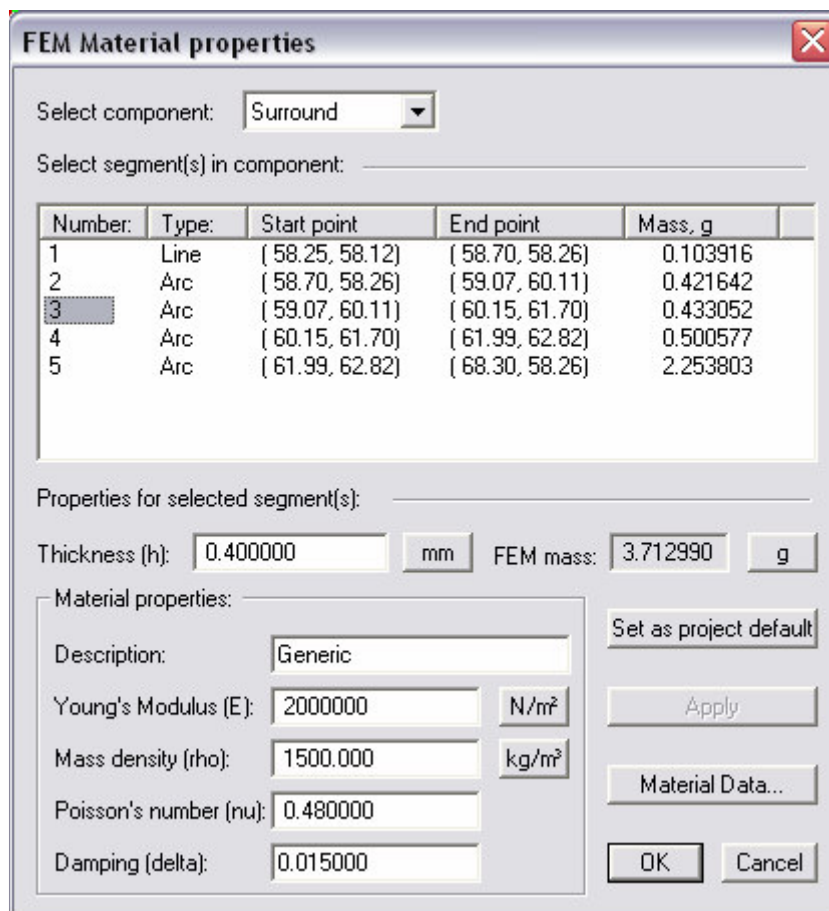


图 17. 有限元模型材料特性（悬边）

为了找到在 1300 Hz 到底发生了什么，我们这次用 2D 模拟。用 2D 模拟图查看组件的最大位移比较方便。图 18 显示了鼓纸的边缘和悬边振动异常（褐色曲线）。

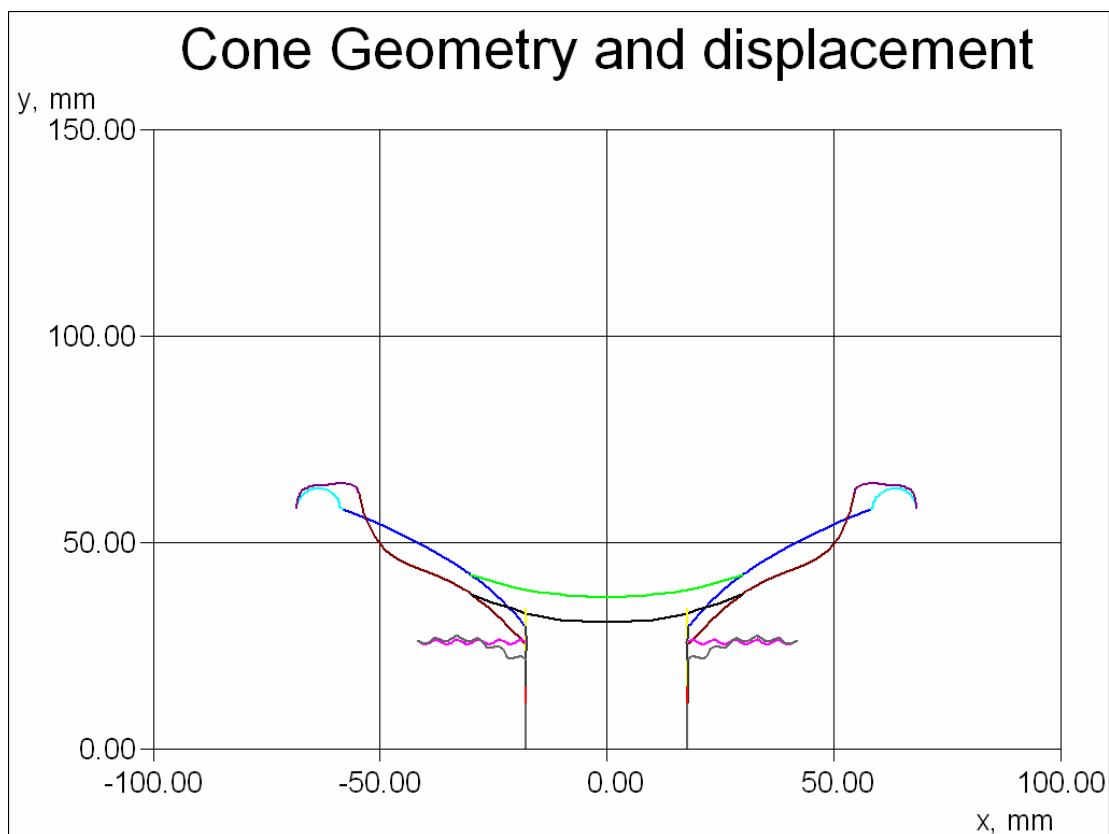


图 18. 165mm 鼓纸位移（褐色）在边缘处最大

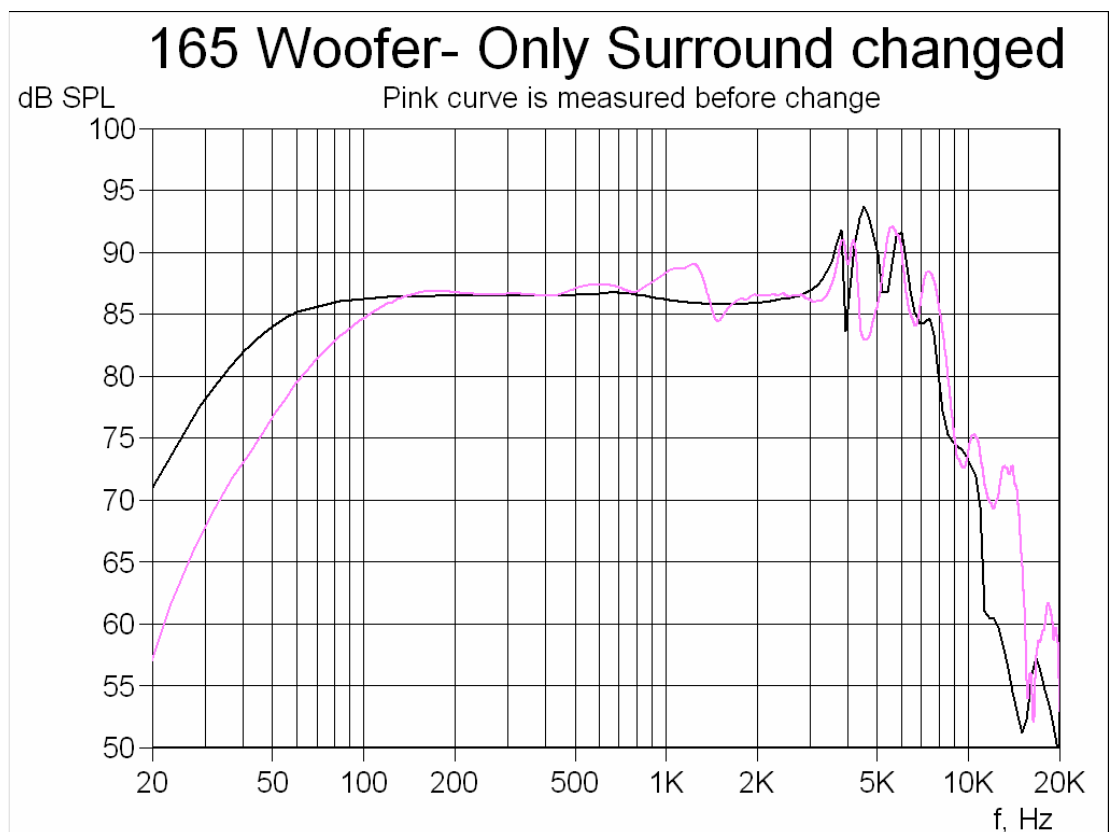


图 19. 悬边内侧加厚以后的 165mm 低音

有很多方法可以解决这个问题。比如，将鼓纸改为较大的角度，或者改变悬边的几何形状或厚度。这里，我们选择改变悬边内侧的厚度。

在材料特性中，我们将第 1, 2, 3 段的厚度改为 0.8mm。点按钮‘应用’和‘确定’后，系统将自动完成计算。

图 19 显示了更改后的结果。在 1300Hz，我们得到了较平的曲线。粉红色曲线表示更改以前的实测曲线。我们将新的曲线输出为 FSIM 格式的文件(见图 20)，以便后面使用。

图 20 显示了 FINE X-over 3 中的低音部分输入了刚才我们从 FINECone 输出的曲线。橙色曲线是该低音在修改前工作于 165W 的曲线。修改后的曲线（黑色）就比较理想了。（文件: 2-way 165W Improved.fbx）

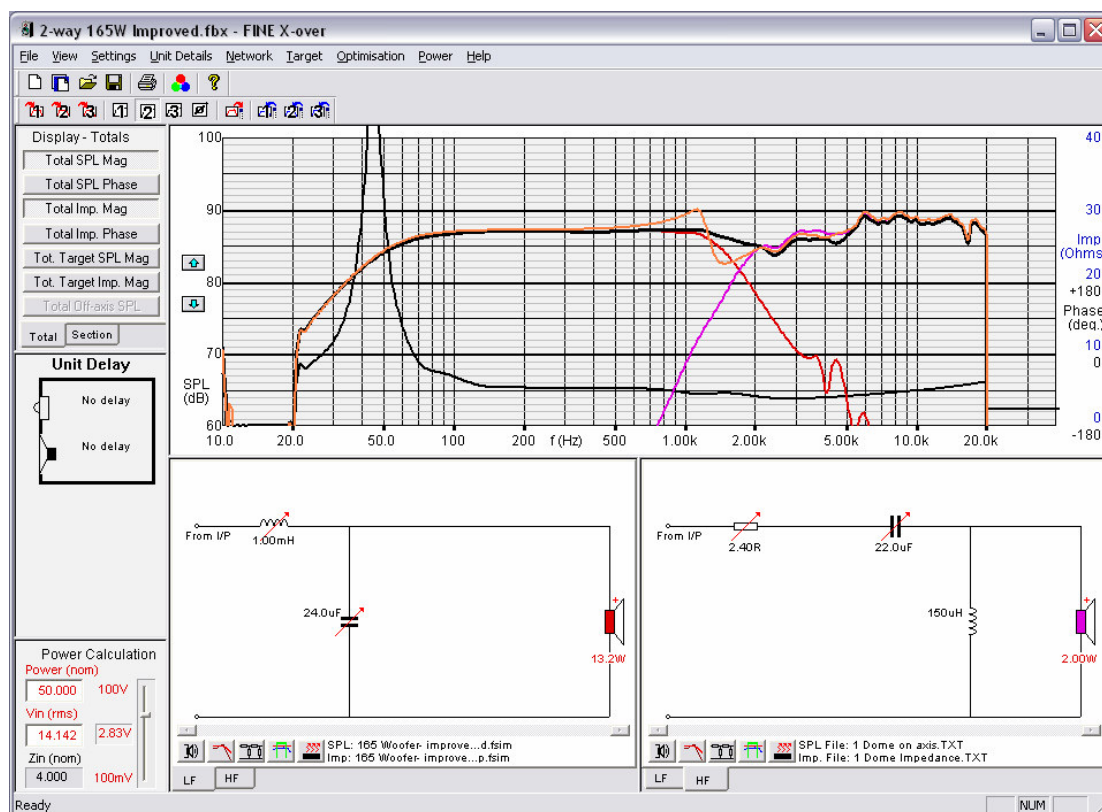


图 20. FINE X-over 3 使用 FINECone 模拟的曲线工作在 165W。橙色是修改前的低音。

## FINECone 实例 3: 带高音杯的低音

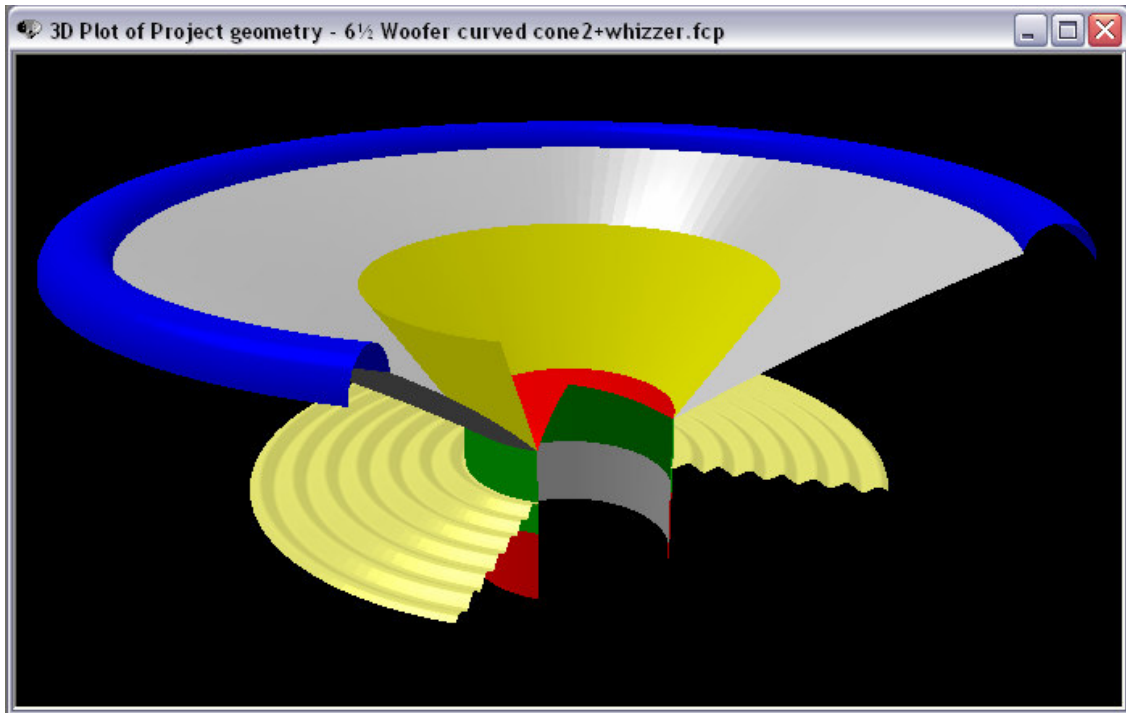


图 21. 六英寸带高音杯的低音

在 FINECone 中模拟高音杯很方便。计算的精确性也很高。另外，在 SPL 声压级曲线中，可以去掉高音杯的曲线。见图 22 中的红色曲线。

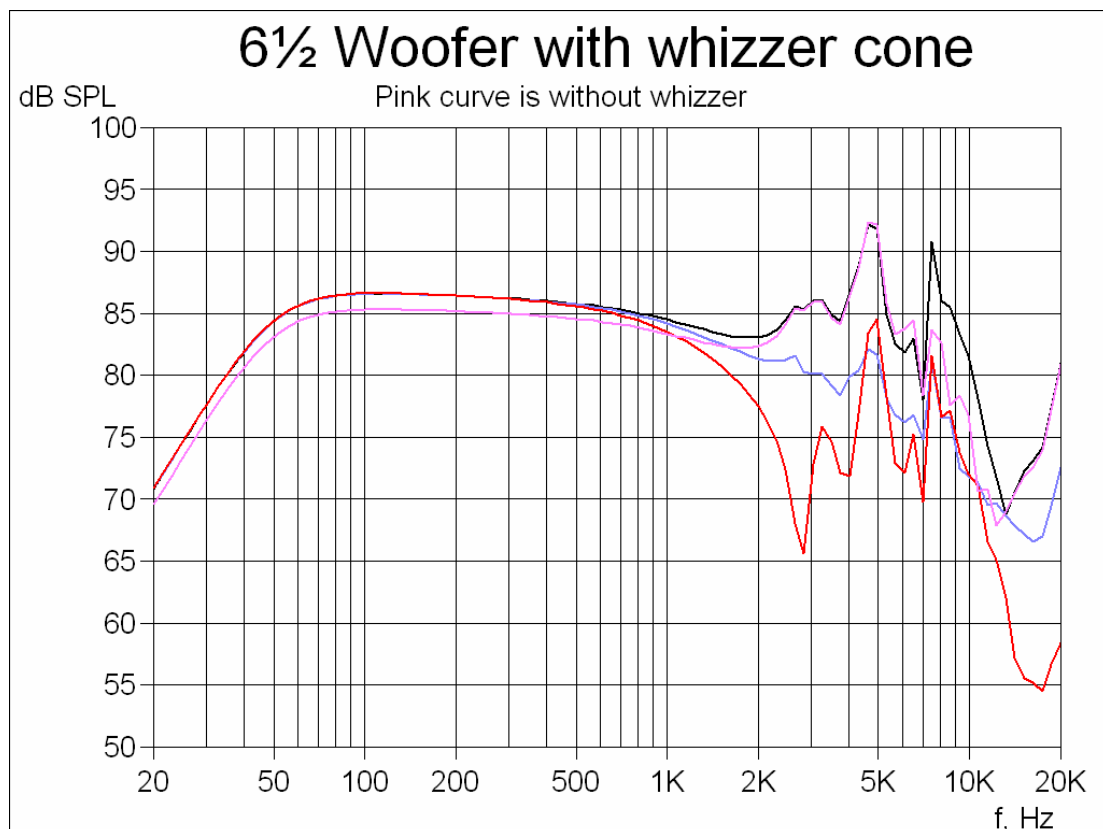


图 22. 六英寸带高音杯的低音。红色曲线为不带高音杯的曲线



## FINECone 实例 4: 38mm 耳机喇叭

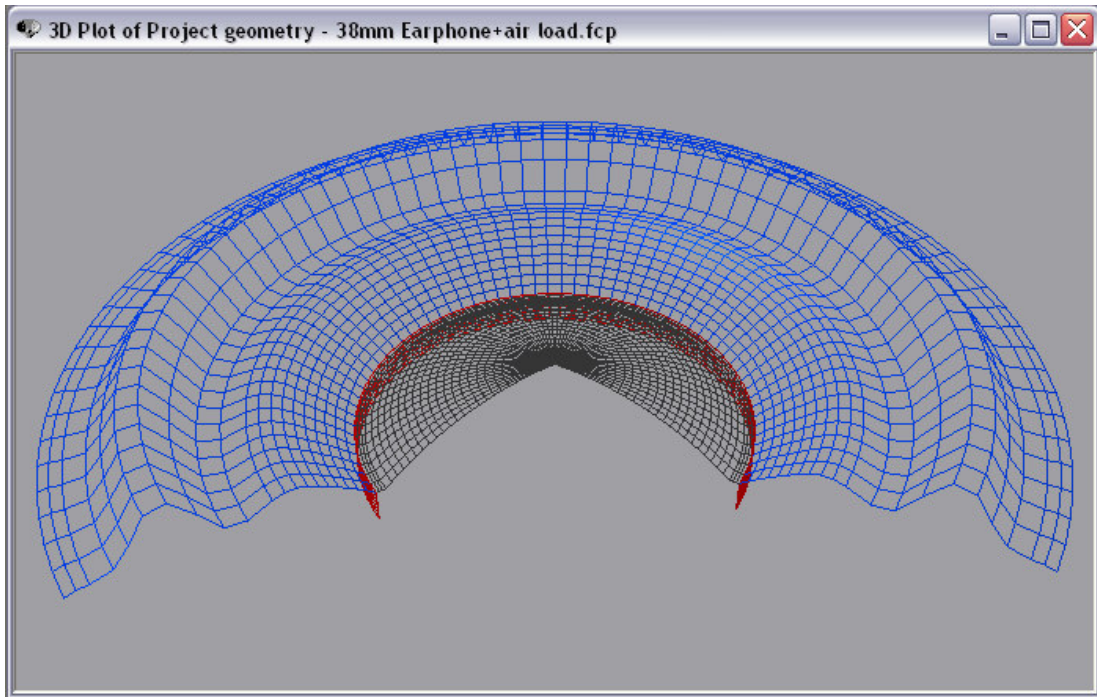


图 23. 在 FINECone 中模拟 38mm 耳机喇叭: 在 3165 Hz 的分裂振动

首先，我们在 FINECone 中模拟 38mm 耳机喇叭的震动部分：振膜、悬边（外部振膜）和音圈。振膜和悬边用 25u PEI。而且它们是一体的。

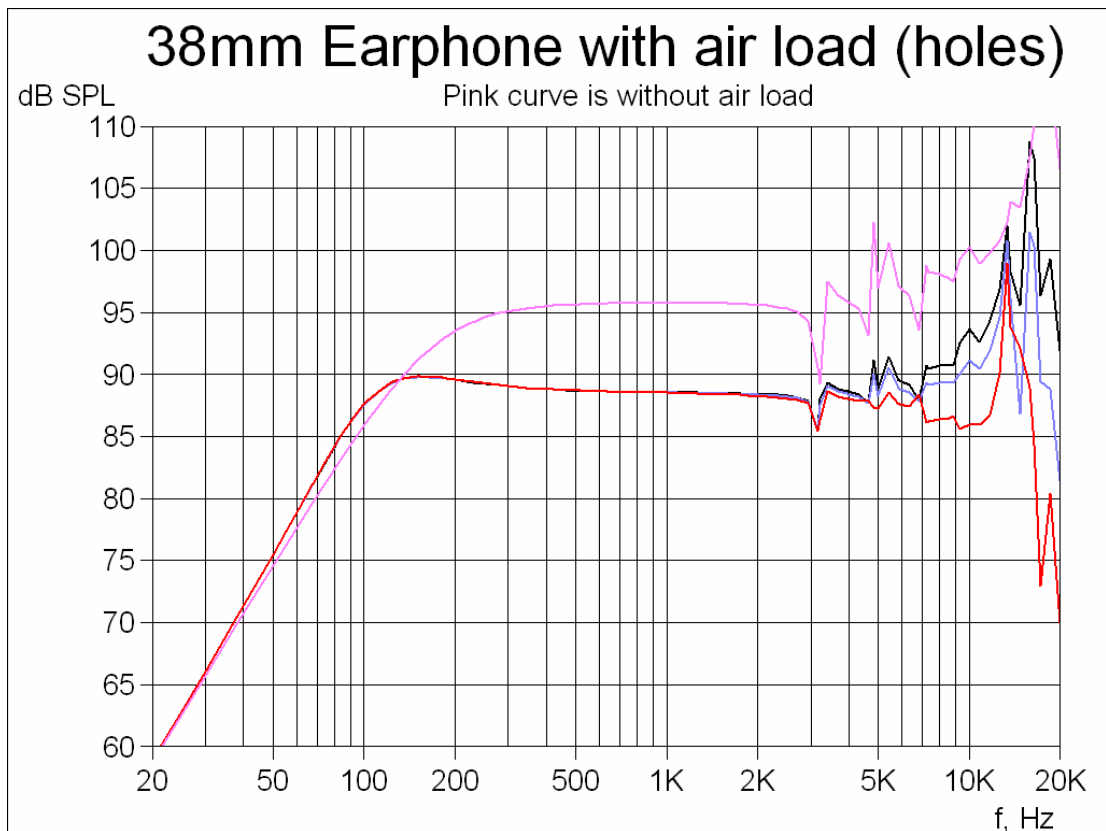


图 24. 38mm 耳机喇叭附加空气负载（后孔）的频响曲线

图 24 中显示了模拟的结果。在 3000Hz 附近有严重的分裂振动。图 23 中，也可以看到第一个分裂振动的真实情况——悬边（外部振膜）的中部变平了。

实际上，耳机喇叭的悬边（外部振膜）后面有很多孔，并覆盖有阻尼材料（布）。根据著名的亥姆霍兹规则 Helmholtz formula，这跟空气负载效果一样。我们可以在 FINECone 的集中元件参数“Lumped Parameters”中选空气负载“Air load”。图 24 中的主曲线是结果曲线。因为附加了空气负载，所以它低了 7dB。

同时我们可以发现，有效共振频率从 180 Hz 降到了 100 Hz。这也是由于附加了空气负载。



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