

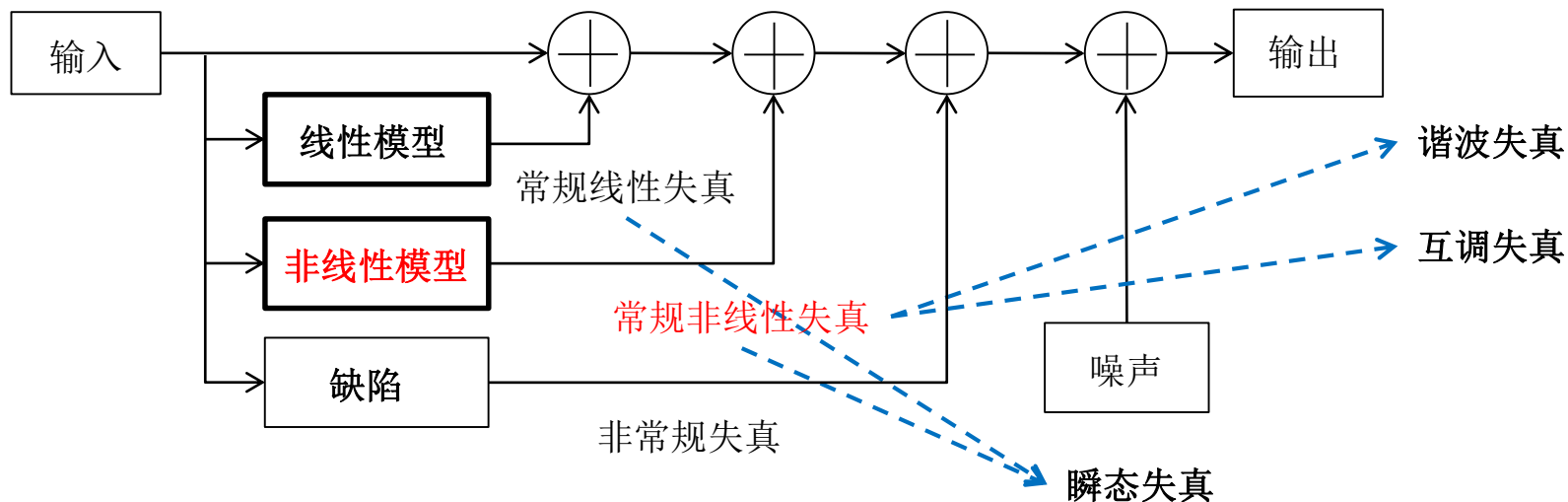
扬声器失真的数值仿真分析研究

陆晓 浙江中科电声研发中心
2014年10月29日

- 失真和非线性特性
- 分析方法
- 移动网格
- 结构阻尼
- 激励信号和分析结果
- 后处理

失真和非线性特性

失真的分类



非线性模型中的重要特性

No.	非线性特性	相关的状态变量	随频率的影响关系	影响的扬声器类别
1	劲度系数 $K(x)$	音圈位移 x	主要在低频段	低音, 高音, 微型
2	驱动力系数 $BI(x)$	音圈位移 x	与频率无关	低音, 微型
3	电感 $L(x)$	音圈位移 x , 电流大小 i	随频率增大而增大	低音
4	机械阻 $R_{ms}(x)$	音圈速度 v	主要在 f_0 处	微型
5	非线性声传播	箱体内部声压 p	与频率无关	号筒
6	分割振动	频率 f	主要在高频段	全部类别

■ 瞬态分析

- 瞬态分析是一种分析结构在承受任意随时间变化的载荷激励下的动力学响应的数值仿真分析方法。
- 非线性参数随状态变量音圈位移的变化特性可通过随时间的变化关系来表示。

$$Bl(x) = Bl(x(t)) = Bl(t)$$

$$K(x) = K(x(t)) = K(t)$$

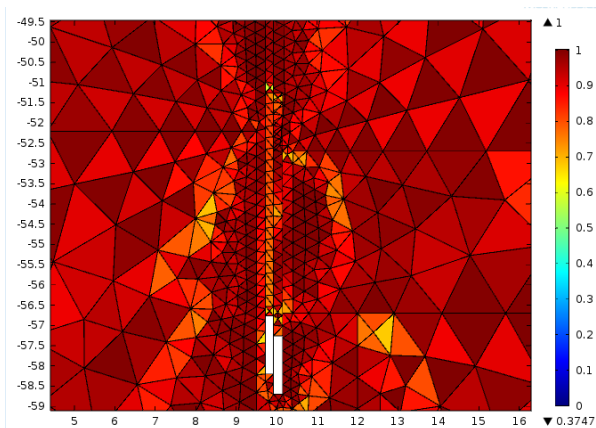
■ 三场耦合



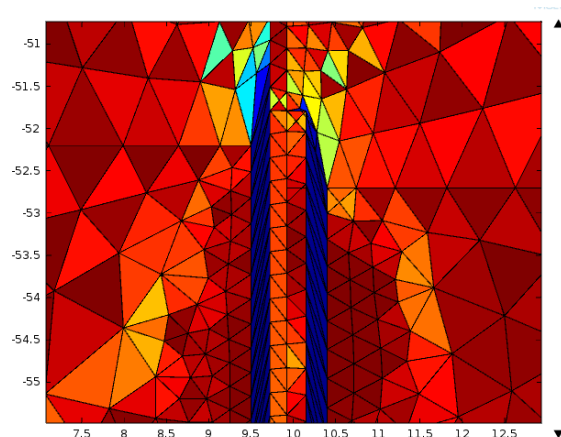
移动网格



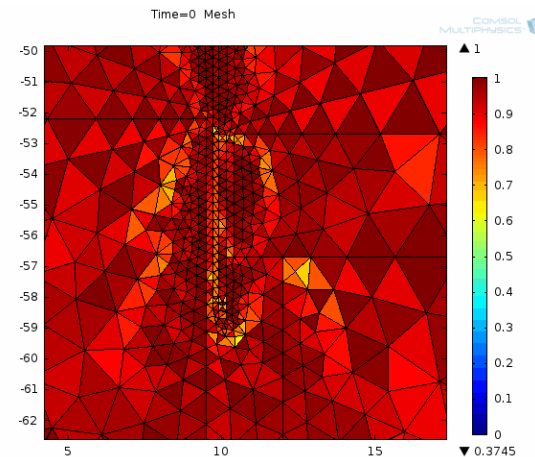
- 使用移动网格技术能够实时、准确地计算得到不同音圈位移的 $BI(x)$ 和 $L(x)$ 等。



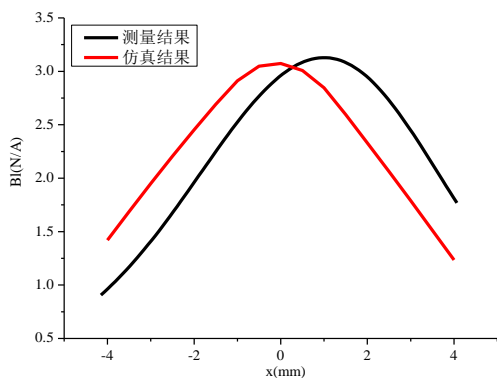
未使用移动网格



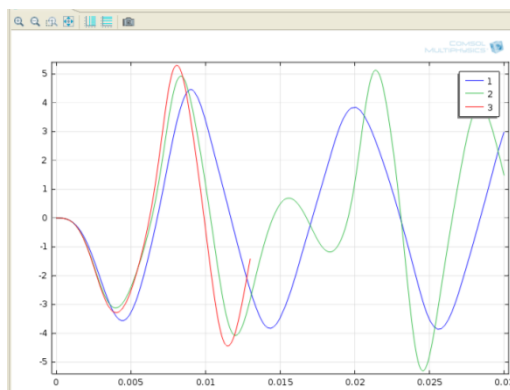
使用移动网格 (非重剖网格)



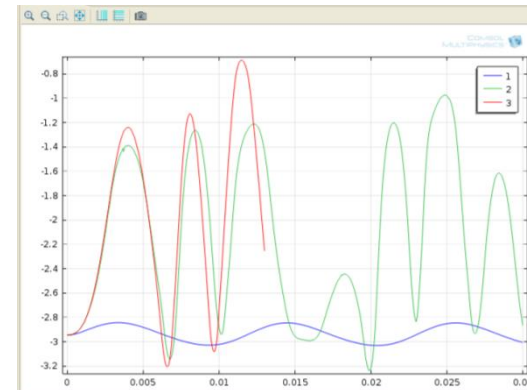
使用移动网格 (重剖网格)



BI值的仿真分析结果与测量结果



音圈位移 $x(t)$



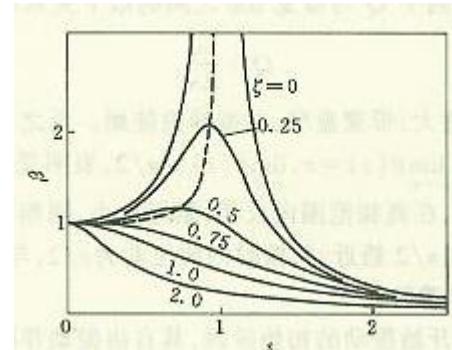
驱动力系数 $BI(t)$

结构阻尼

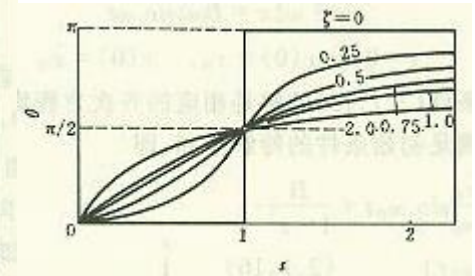


- 振动系统的幅频和相频特性均与阻尼密切相关。

物理量	公式
阻尼系数 c	--
阻尼比 ζ	$\zeta = c/c_0$
损耗因子 η	$\eta = Q_h/2\pi W_h$
对数衰减系数 δ	$\delta = \frac{1}{n} \left(\ln \frac{u(t_0)}{u(t_0 + nT)} \right)$



幅频特性曲线



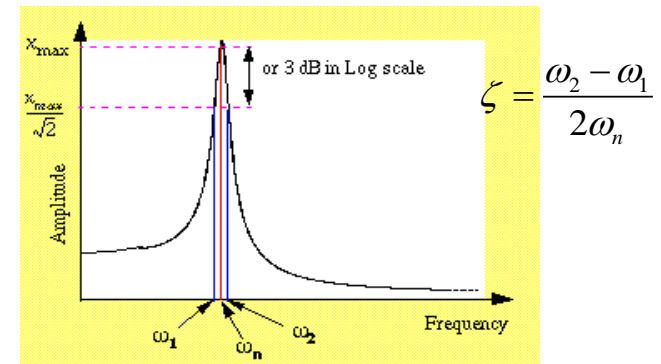
相频特性曲线

- 选择 **Rayleigh Damping** (瑞利阻尼)

$$c_R = \alpha_{dM} \cdot m + \beta_{dK} \cdot k$$

$$\alpha_{dM} = \frac{4\pi \cdot f_1 \cdot f_2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot (\delta_2 \cdot f_1 - \delta_1 \cdot f_2)$$

$$\beta_{dK} = \frac{1}{\pi \cdot (f_1^2 - f_2^2)} \cdot (\delta_1 \cdot f_1 - \delta_2 \cdot f_2)$$



半功率点带宽法

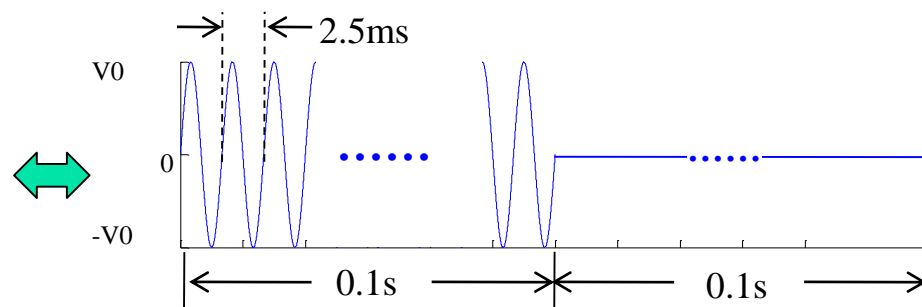
激励信号和分析结果-1-单频激励

■ 单频激励

- 与测量标准一致，计算误差相对较小，但要获得多个频率点的失真数据，其计算效率较低。

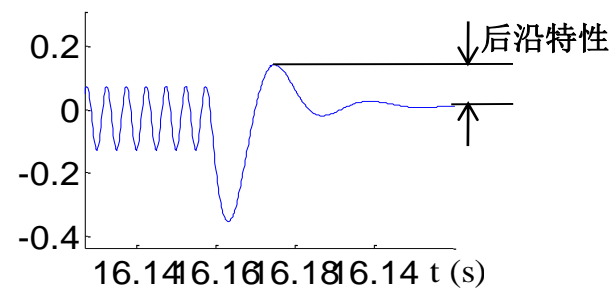
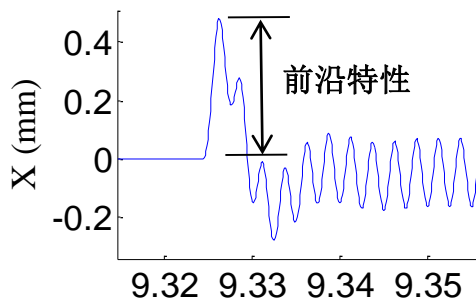
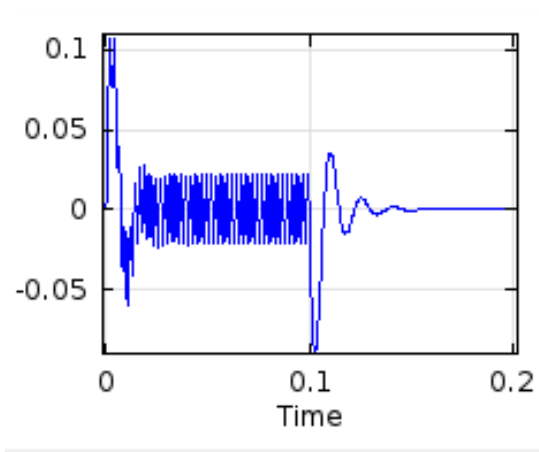
$$U(t) = V_0 \sin(\omega t)$$

V_0 : 音圈端电压最大值,
 ω : 激励信号角频率。



单频脉冲填充信号（频率 400Hz）

■ 分析结果



激励信号和分析结果-2-扫频激励

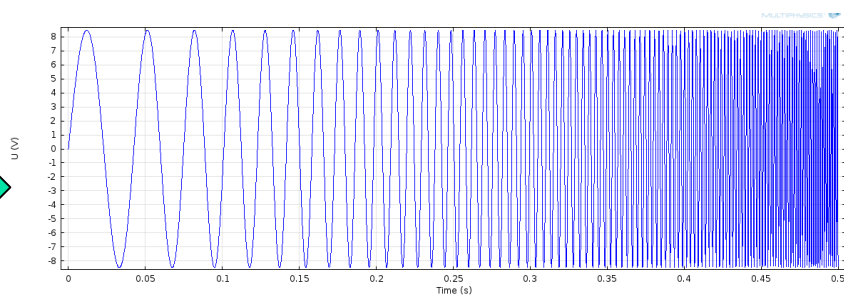
■ 扫频激励

- 可快速得到各个频率点的失真数据，但其后处理过程会引入更多误差。

$$U(t) = V_0 \sin \left[\frac{\omega_1 \cdot T}{\ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} \left(e^{\frac{t}{T} \ln \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)} - 1 \right) \right],$$

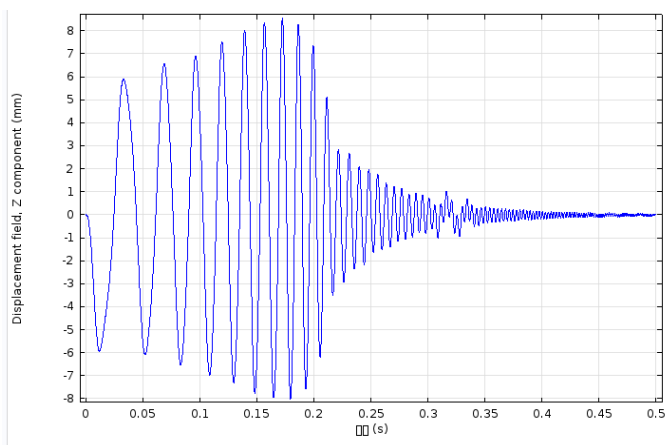


ω_1 : 起始角频率,
 ω_2 : 截止角频率,
 T : 扫频时间长度。

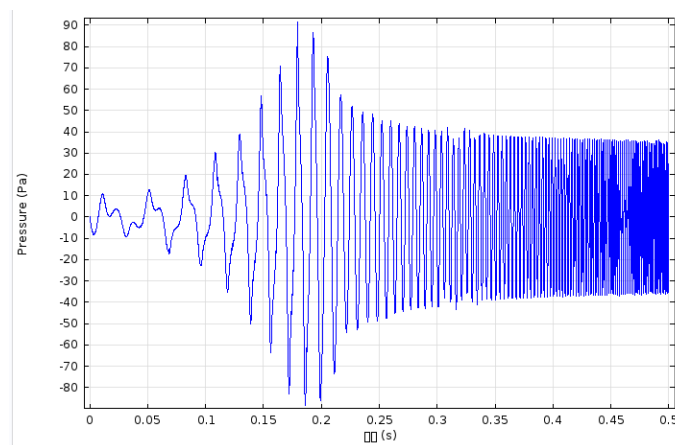


连续对数扫频电压信号（起始频率 20Hz，截止频率 800Hz，扫频时间长度 0.5s）

■ 分析结果

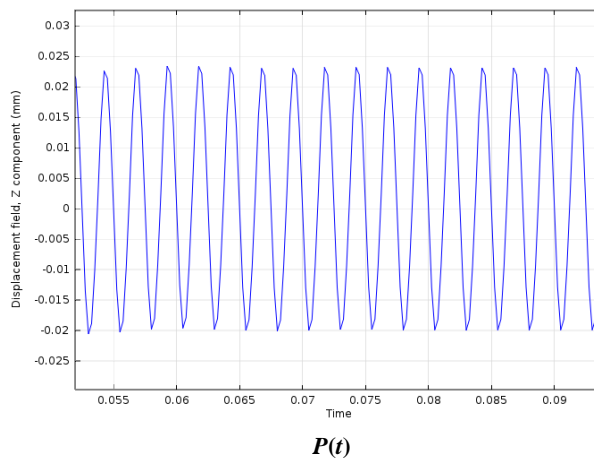


音圈位移 $x(t)$

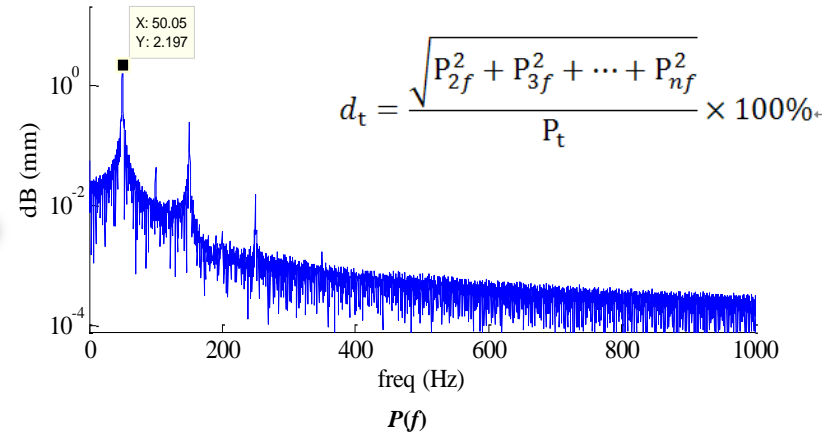


声压 $p(t)$

■ 谐波失真1-单频激励



FFT



$$d_t = \sqrt{\frac{P_{2f}^2 + P_{3f}^2 + \dots + P_{nf}^2}{P_t}} \times 100\%$$

■ 谐波失真2-扫频激励

- 对仿真分析所得的声压曲线，利用各种谐波跟踪方法（如自适应 Vold-Kalman Order Tracking 算法），可得各阶次谐波的幅值和相位，进而得到该扬声器的各次谐波失真（ HD_n ）和总谐波失真（THD）。

■ 互调失真

- 当激励信号为两个单频信号的叠加（且这两个频率没有倍数关系），则通过上述三场耦合瞬态分析方法并进行频谱分析之后，可获得两个频率的互调分量，进而计算得到扬声器在这两个单频组合信号激励下的互调失真。

请多指教，谢谢！

<http://zkds.net>