



# 共模滤波电感器设计的关键影响因素

报告人：林苏斌 博士

福州大学功率变换与高频电磁技术研究室

2018中国第八届中国功率变换器磁元件联合学术年会

2018年8月17日 中国 南平建阳

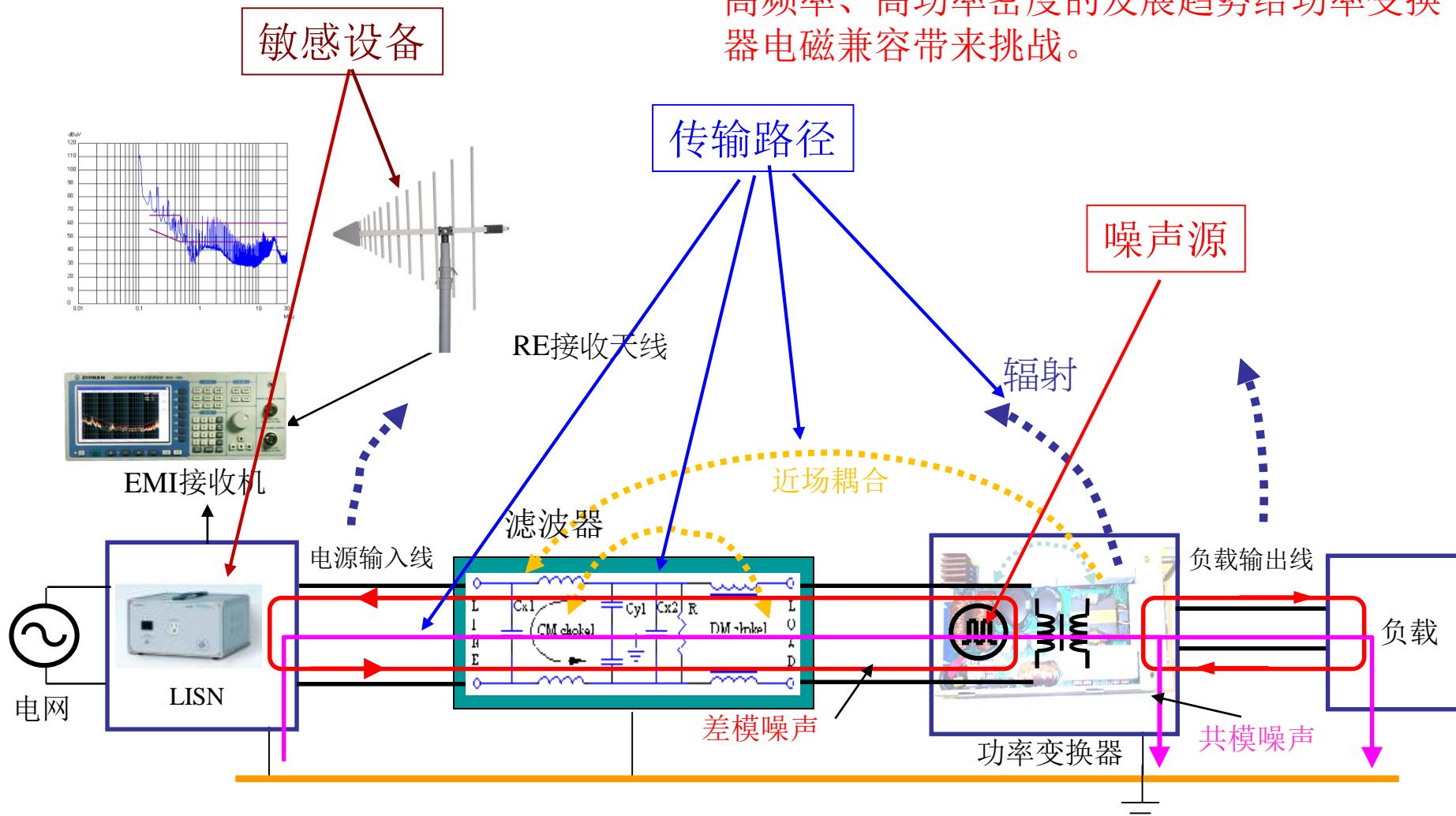


- 研究背景
- EMI滤波器的基本设计流程
- 共模滤波电感器设计关键影响因素
- 结论



## 功率变换器电磁兼容

高频率、高功率密度的发展趋势给功率变换器电磁兼容带来挑战。



电磁兼容成为开关功率变换技术的一个重要关注点



## 开关功率变换器中的EMI抑制策略

变换器：

□ 拓扑

★ 电磁兼容特性较好的拓扑、减小拓扑中电位跳变点的数量：如图腾柱PFC电路等；

★ 减小输入和输出的电流纹波：如多路交错并联等；

□ 驱动

★ 降低驱动速度：如在开关管上串磁珠；

□ 开关管的电压

★ 减小开关管的电压尖峰大小：如使用RCD吸收电路减小电压过冲；

□ PCB布局

★ 减小高频回路；

★ 减小电位跳变点与大地正对；

□ 屏蔽

★ 机壳屏蔽

★ 器件屏蔽

□ 磁性元件(电感器和变压器)

EMI滤波器：

□ 拓扑结构

★ 增加EMI滤波器的阶数

□ 器件的参数设计

★ 增加电容的容量

□ 电气参数设计

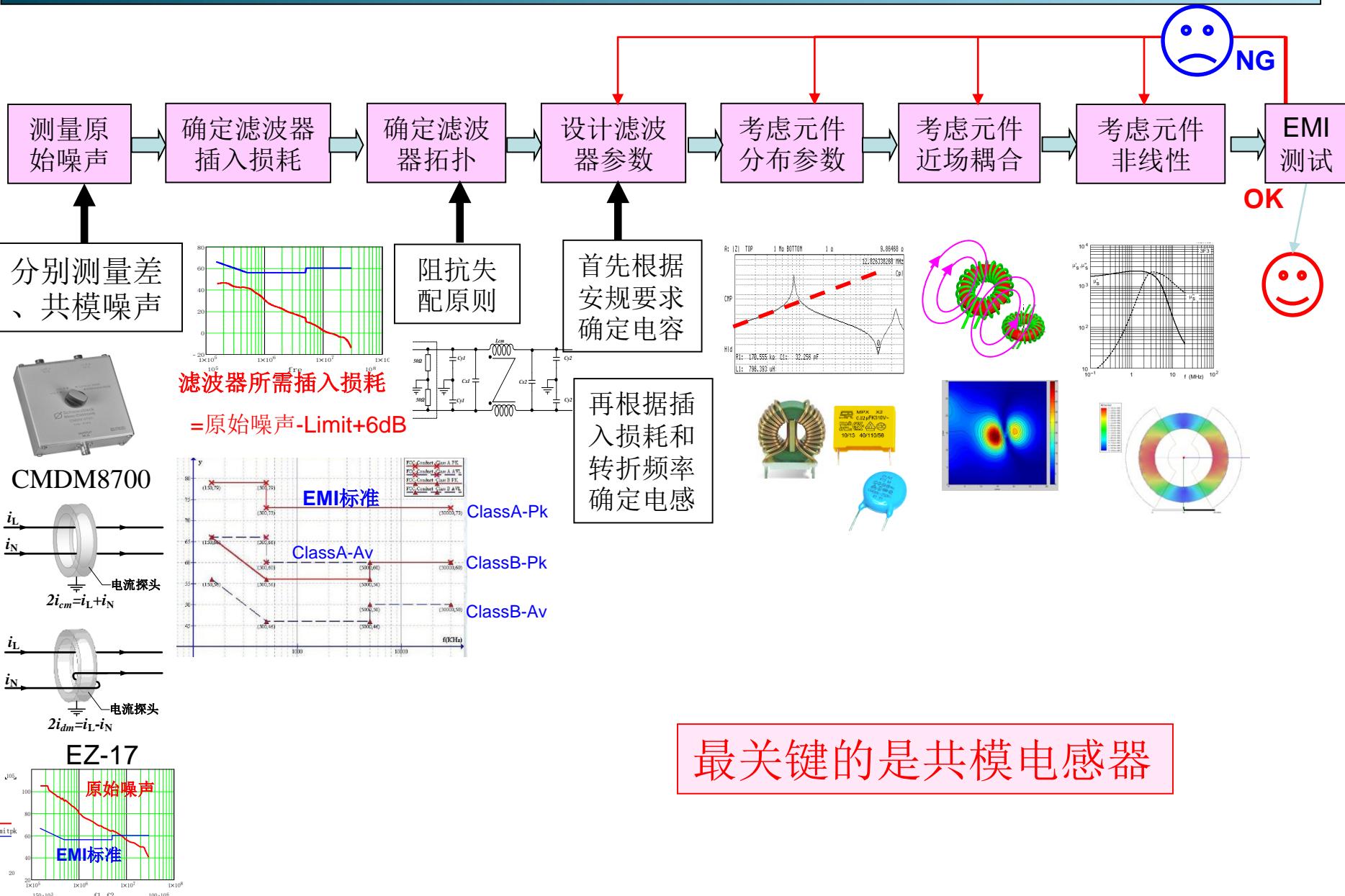
□ 电感设计

□ 滤波器中的耦合设计

滤波器是最常用且有效的电磁干扰抑制手段



## 滤波器的基本设计过程



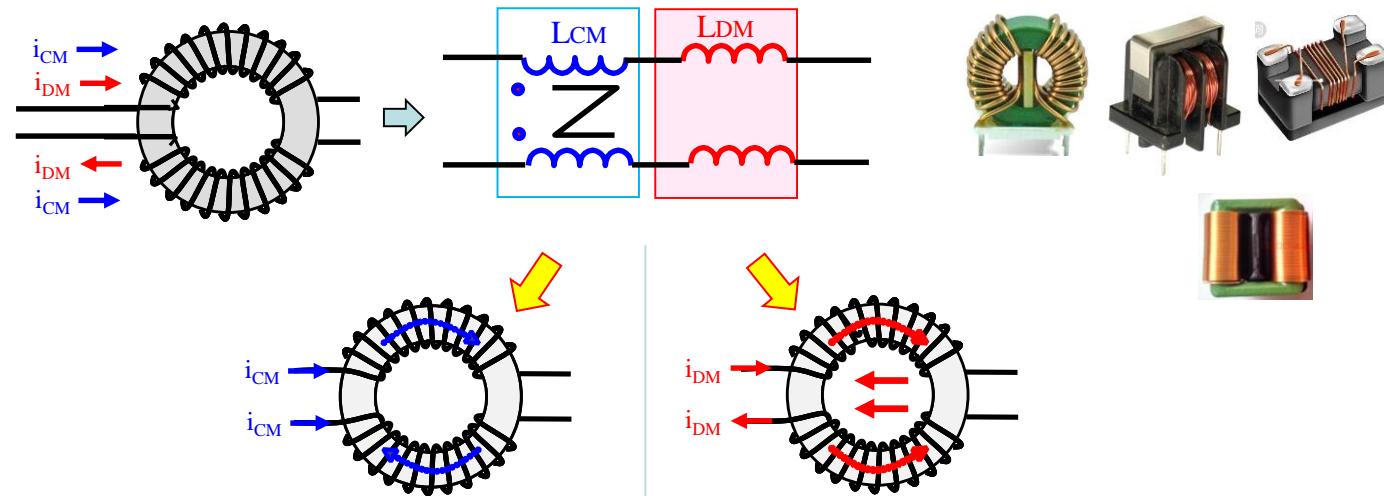


电感器等效电路：

噪声电流

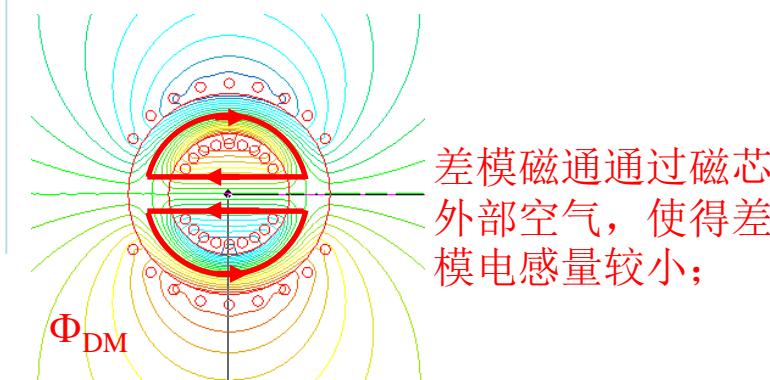
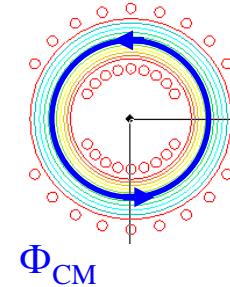
$$i_L = i_{CM} + i_{DM}$$

$$i_N = i_{CM} - i_{DM}$$



滤波电感磁场分布特点：

共模磁通基本都在  
磁芯内部，使得共  
模电感量很大；



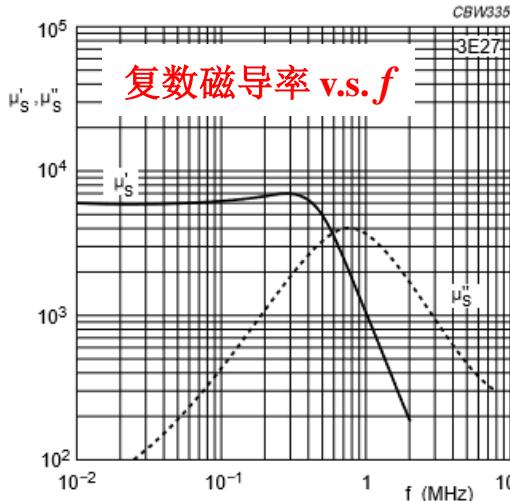
差模磁通通过磁芯  
外部空气，使得差  
模电感量较小；



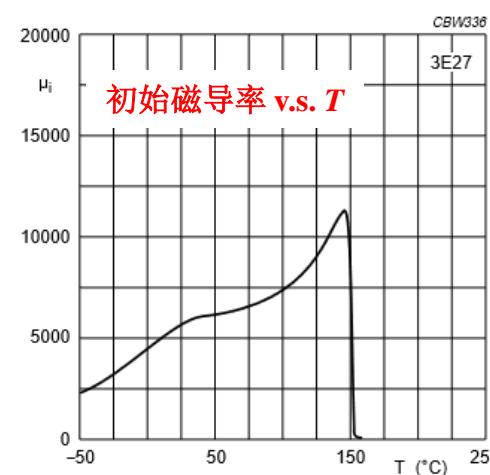
# 共模滤波电感器的磁芯考虑

## 磁芯考虑：

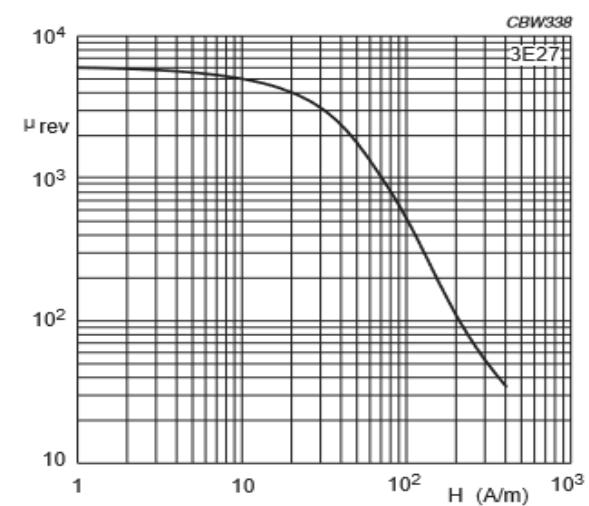
磁芯的磁导率-频率特性要与噪声频率配合



磁芯的适当高温有助于提高磁导率



工频偏磁对磁导率的影响



频率  
温度  
偏磁

动态电感



# 共模滤波电感器的绕组考虑

绕组考虑：

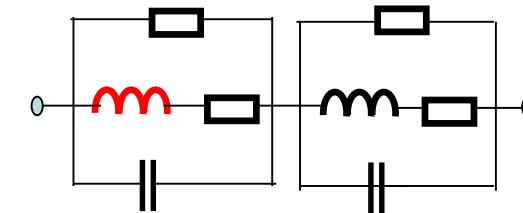
1、L和N绕组要安规隔离



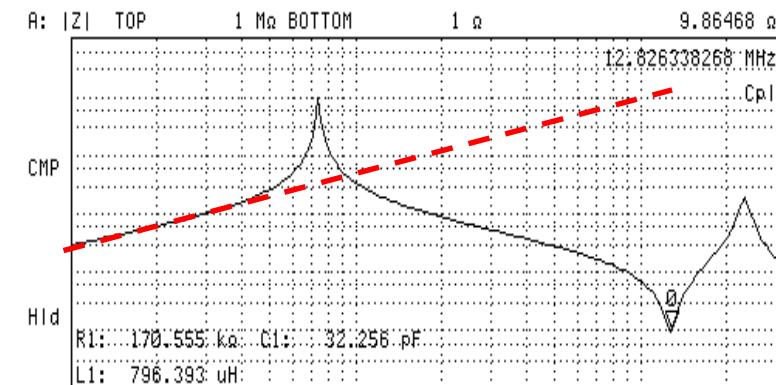
L和N线分  
绕，差模漏  
感大，需要  
安规隔板

L和N线并绕，  
漏感很小，但  
一个绕组用三  
层绝缘线(TIW)

2、绕组分布电容要小



EMI模型

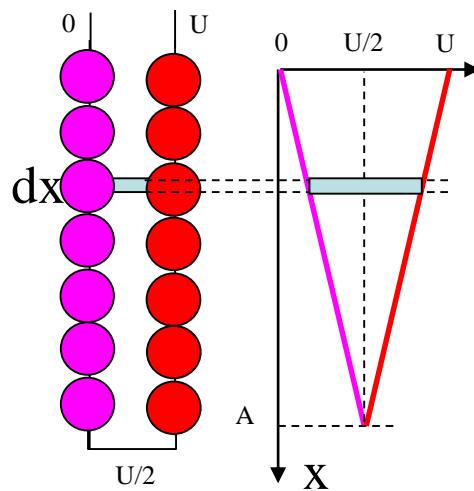


分布电容对阻抗特性影响大



# 绕组寄生分布电容的计算方法

设：两层绕组之间的电容（层间结构电容）为 $C_0$

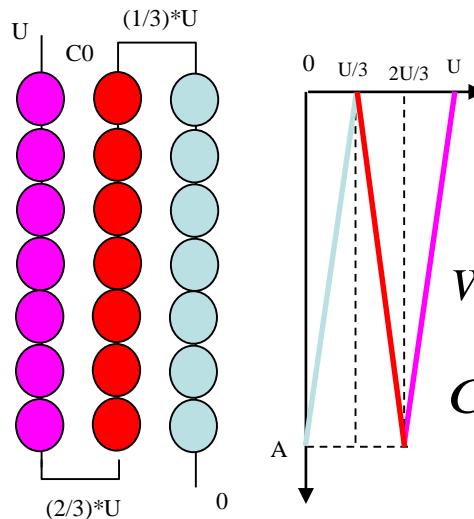


$$W_{Total} = \int_0^A dw = \frac{1}{2} \int_0^A dC \cdot \Delta U^2 = \frac{1}{2} \int_0^A \left( \frac{C_0}{A} dx \right) \Delta U^2$$

$$W_{Total} = \frac{U^2}{2} \frac{C_0}{A} \int_0^A \left[ \frac{x}{A} \right]^2 dx$$

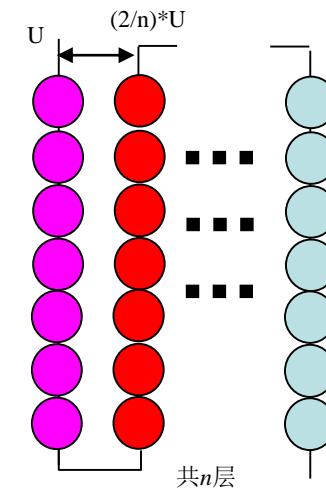
$$W_{Total} = \frac{U^2}{2} \frac{C_0}{A} \frac{A}{3} = \frac{U^2}{2} \left( \frac{C_0}{3} \right)$$

$$C_{Effect} = \frac{C_0}{3}$$



$$W_{Total} = W_{(1-2)} + W_{(2-3)}$$

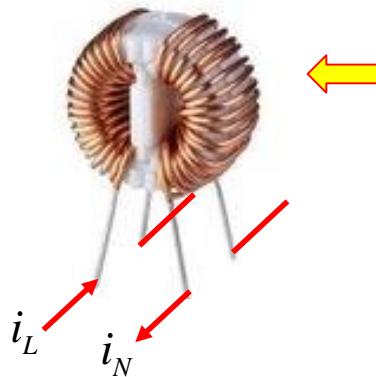
$$C_{Effect} = \frac{8}{27} C_0$$



$$C_{Effect} = \left( \frac{2}{n} \right)^2 \left( \frac{n-1}{3} \right) C_0$$

影响分布电容的因素：  
 ◆ 绕组层间距离  
 ◆ 层间绝缘介电常数  
 ◆ 绕线布置方式（电位分布）

共模电感，绕组分布电容要小，应尽量避免多层绕制

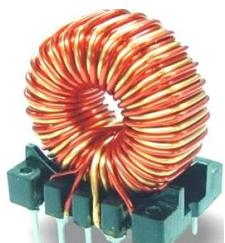


对分绕结构，在工频功率电流（差模形态）作用下，磁芯存在偏磁磁通

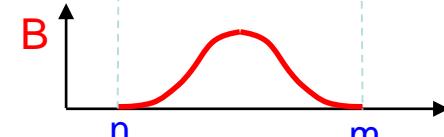
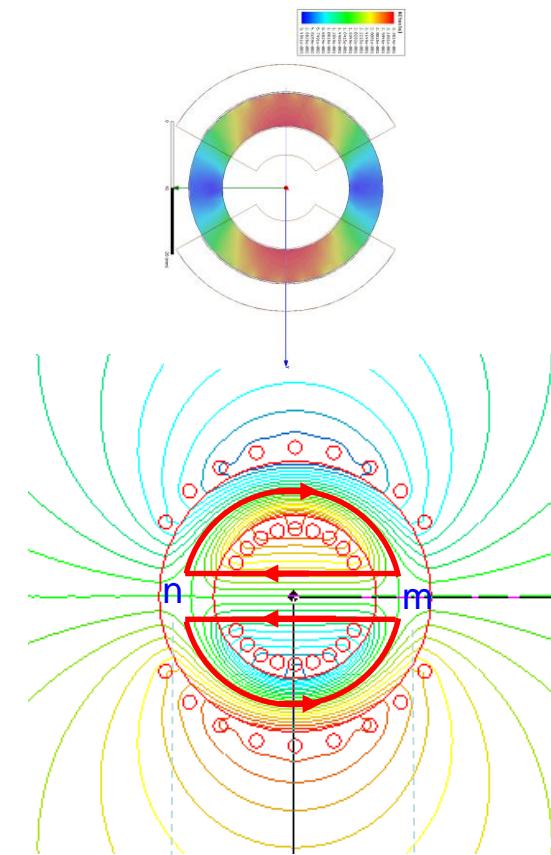
偏磁磁通沿磁芯分布不均匀，在绕组中间部位磁密最大

如果在偏磁磁通下，磁密最大处磁芯饱和，则共模感量急剧下降

漏感(差模电感)越大，在工频电流下偏磁通越大，则磁芯越容易局部饱和



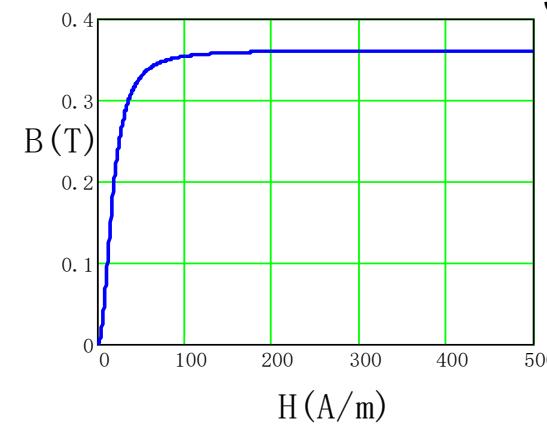
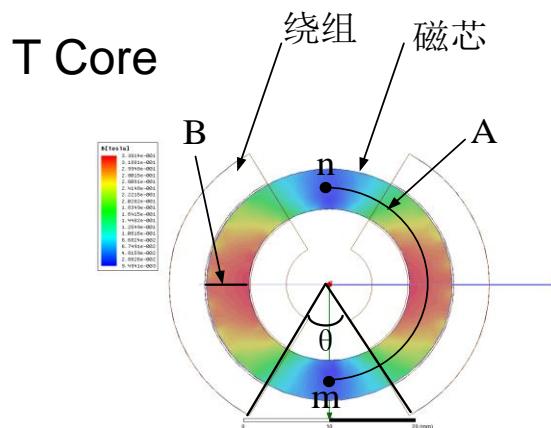
对并绕结构共模电感，由于漏感很小，基本不存在工频偏磁的局部饱和问题



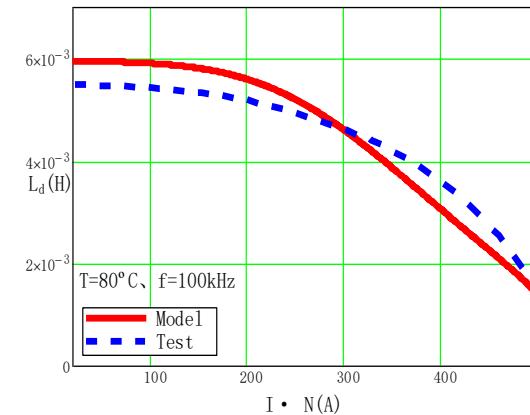
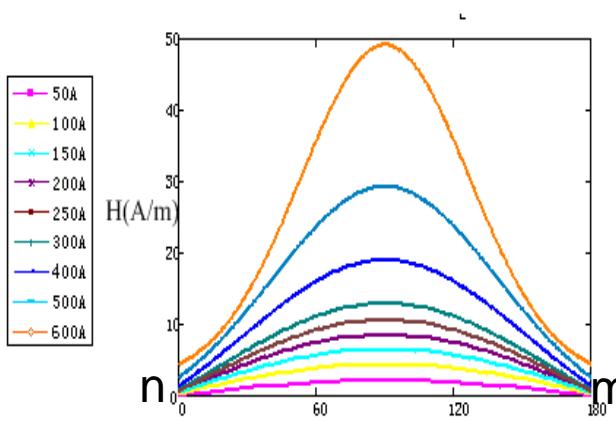
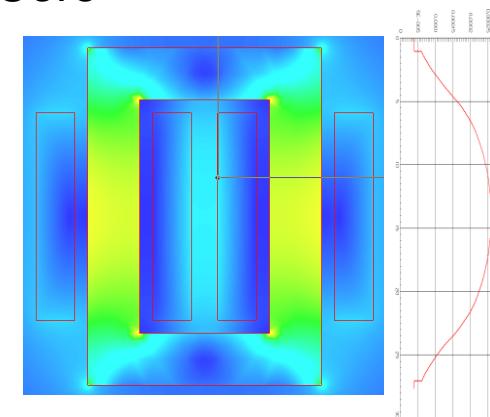
差模磁通分布



# 共模滤波电感的工频电流偏磁影响



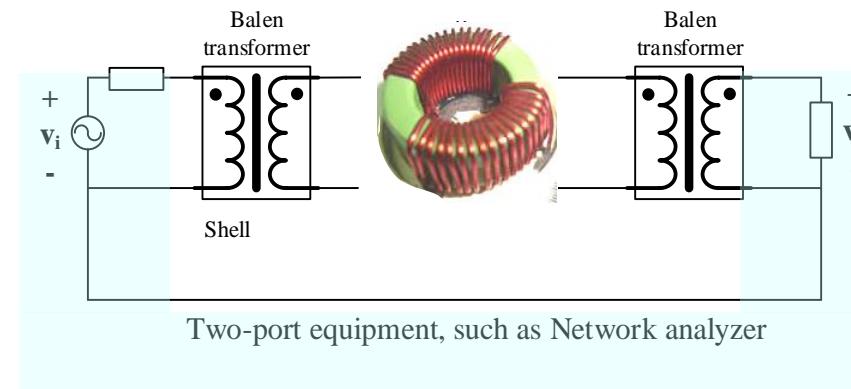
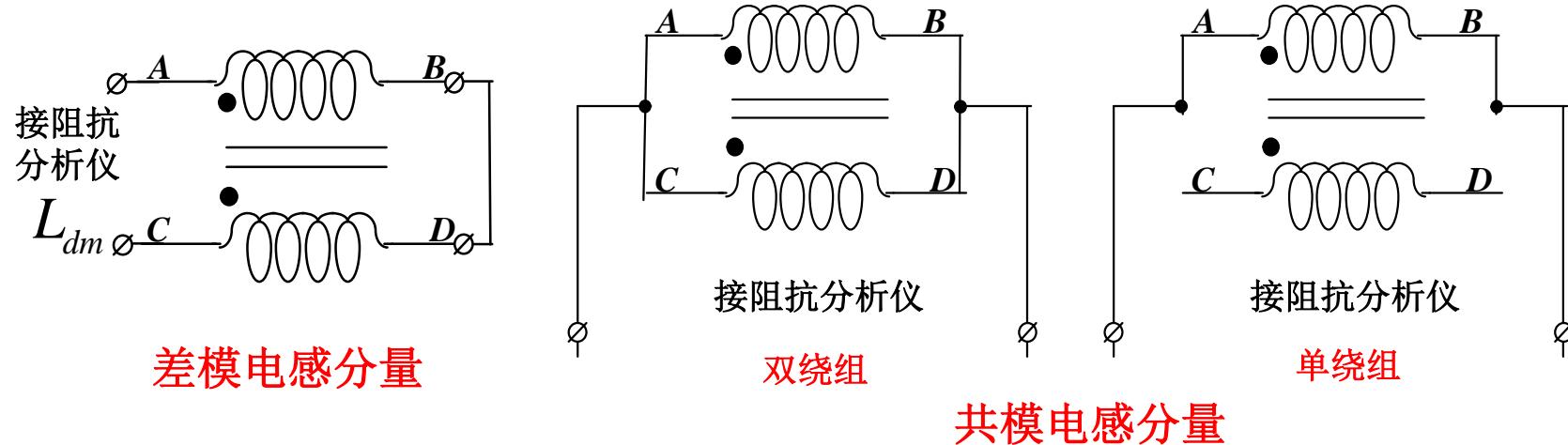
SQ Core



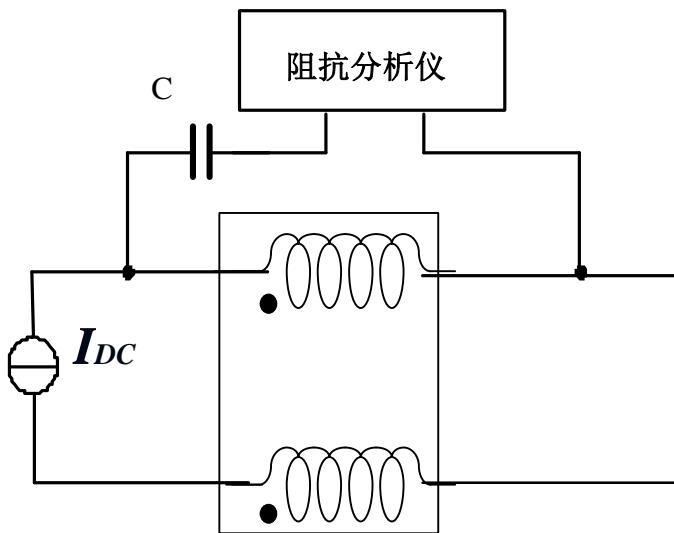
□ 偏磁电流（直流/工频）对共模电感的影响需要考虑



# 共模滤波电感的测量方法



二端口参数测量

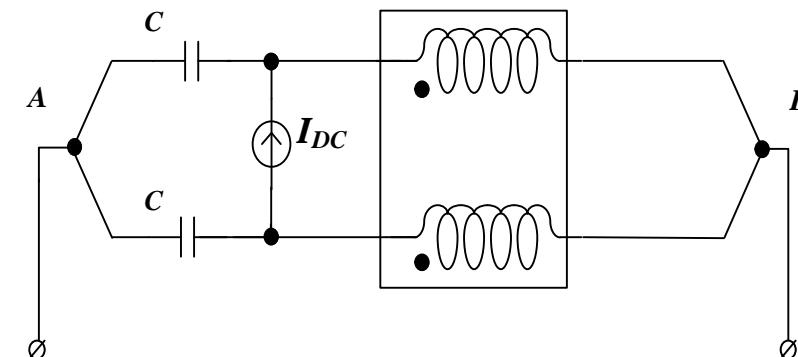
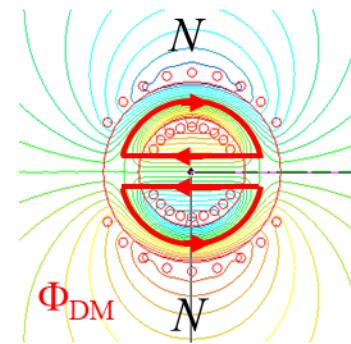


单端测量法（直流电流源）

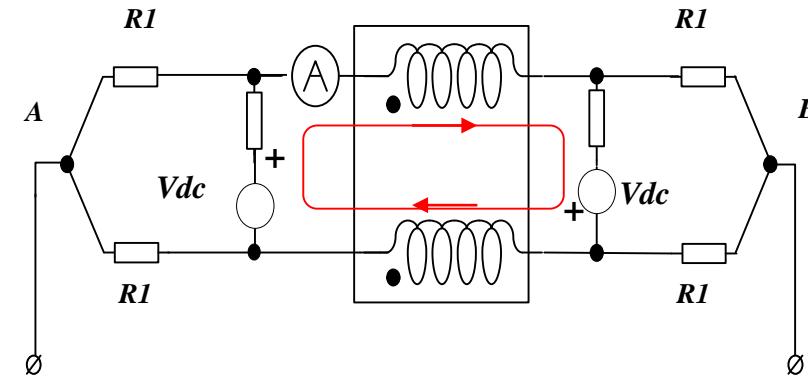
直流电流偏磁影响评估

$$L_{dm} \cdot i_{dc} = 2 \cdot N \cdot A_e \cdot B_{dc}$$

差模电感  
工频电流峰值



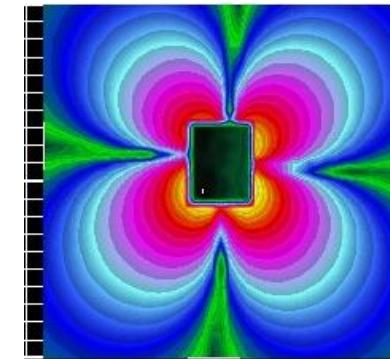
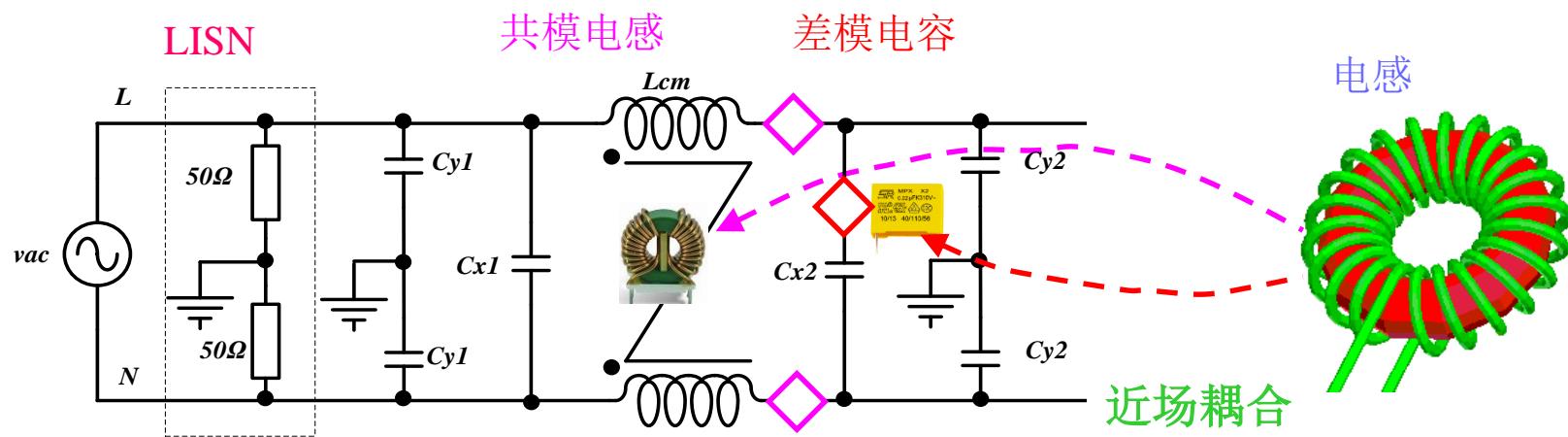
双端测量法（直流电流源）



双端测量法（直流电压源）

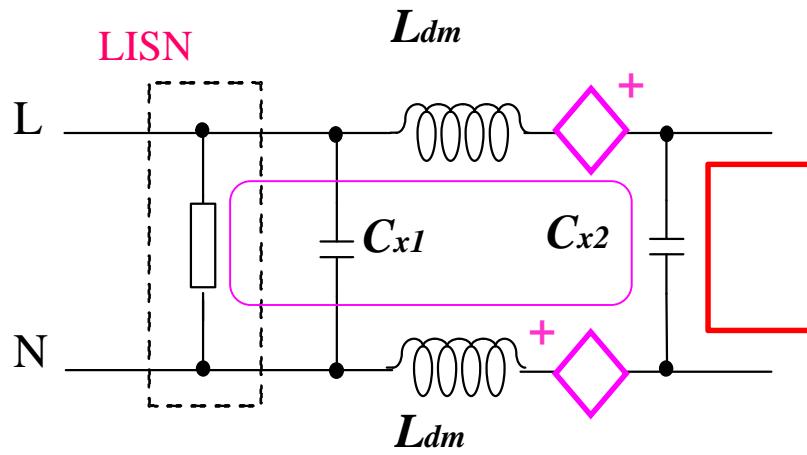
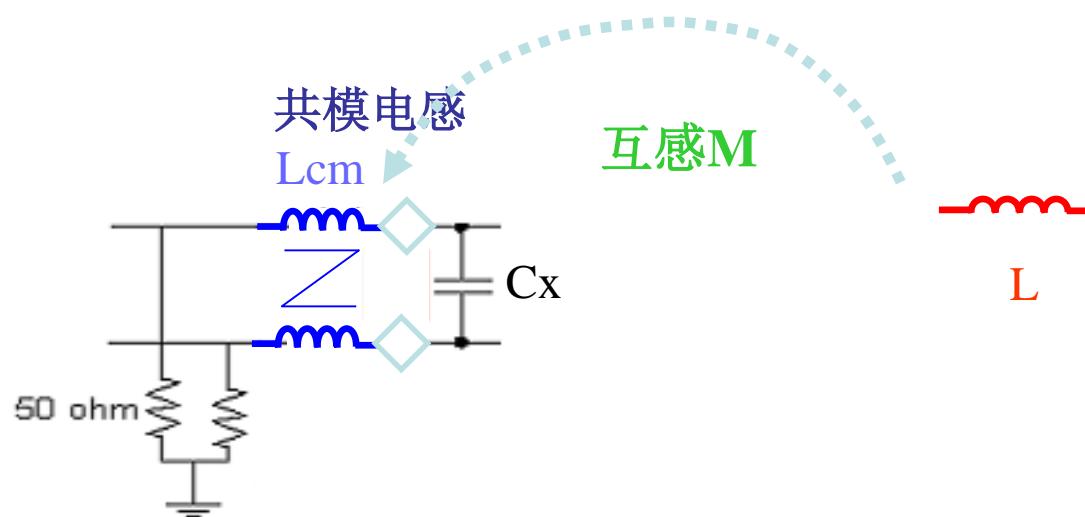


# 滤波器元件近场耦合问题

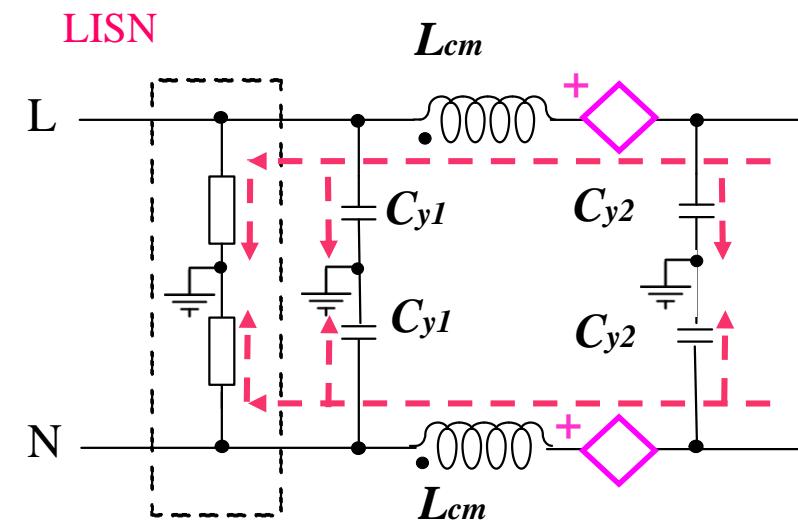




# 磁性元件近场耦合对EMI的影响



差模噪声的影响

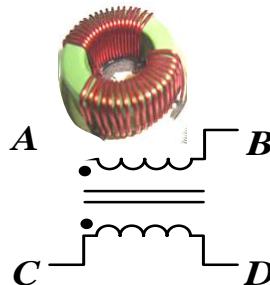


共模噪声的影响

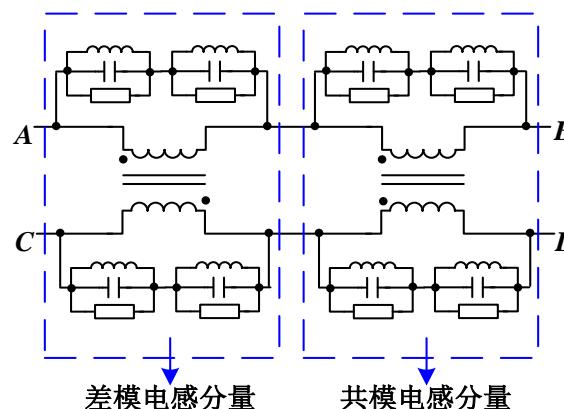


# 共模滤波电感的仿真模型

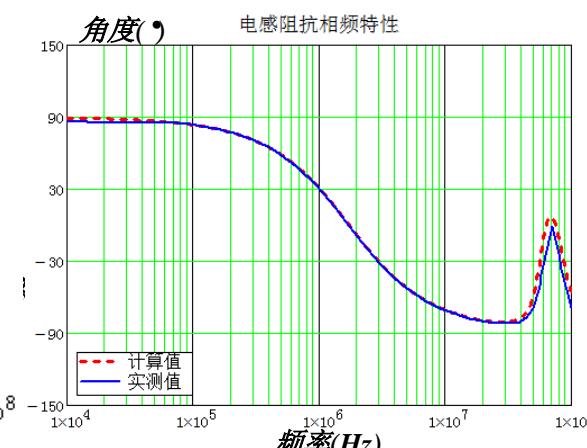
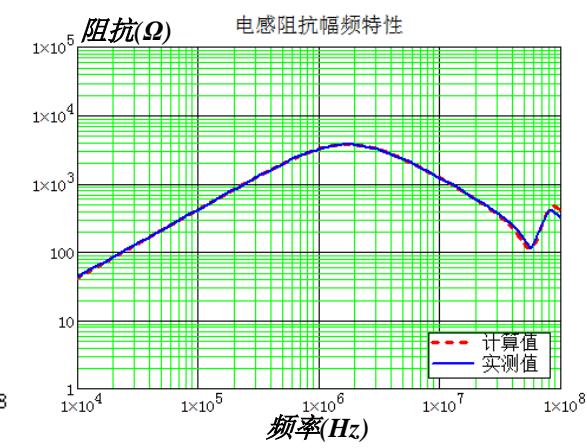
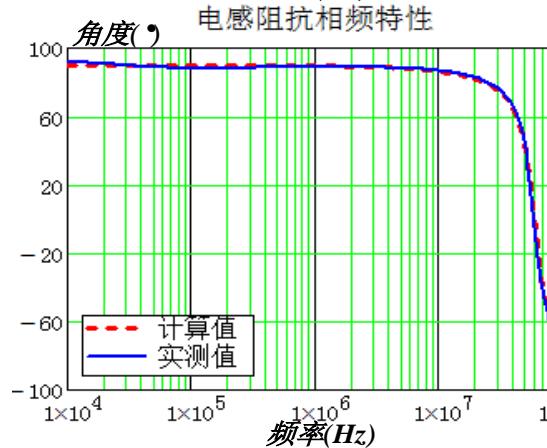
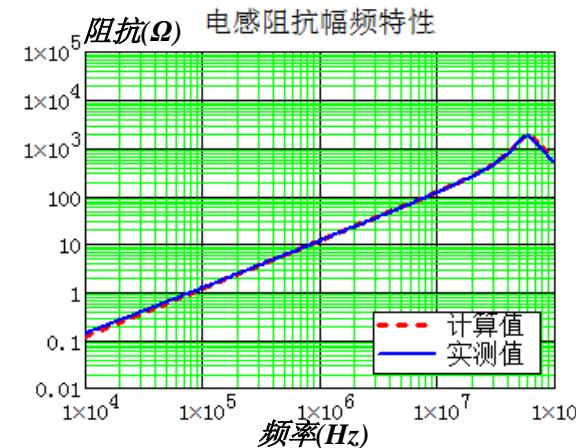
## 共模电感阻抗特性模型



共模电感



共模电感仿真模型



共模电感差模分量

共模电感共模分量



- 1、共模滤波电感器是EMI滤波器中最重要的需要设计的器件，对滤波效果作用大。
- 2、共模电感器磁心参数涉及非线性和频变性的特点，内部磁场存在分布性；绕组间、绕组与磁心间存在分布电场，寄生参数丰富；存在磁场泄露，易于其它元件产生耦合，设计时应综合考虑这些因素的影响。



福州大学

FUZHOU UNIVERSITY

谢 谢 !