

ANSYS



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

Maxwell在电源磁性器件耦合评估中的应用

王洁羽 / 工程师

华为技术有限公司

目录

- 概述
- 磁场近场耦合原理
- 近场耦合参数的测量
- 近场耦合参数的仿真
- 近场耦合影响因素仿真分析
- 案例
- 总结

随着开关电源的高功率，高频，高密度，小型化的趋势，电源内部磁性器件之间距离较小导致的磁性器件近场耦合问题也日趋增多。从而电源端口的传导辐射问题也随之大规模爆发。

- 如何量化开关电源磁性器件之间的近场耦合？
- 近场耦合的影响因素有哪些？
- 如何控制甚至利用近场耦合解决电源端口传导辐射问题？

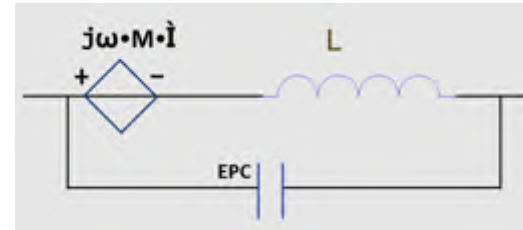
本文将对这些问题进行深入探讨，并给出相应的设计指导。

什么是近场耦合

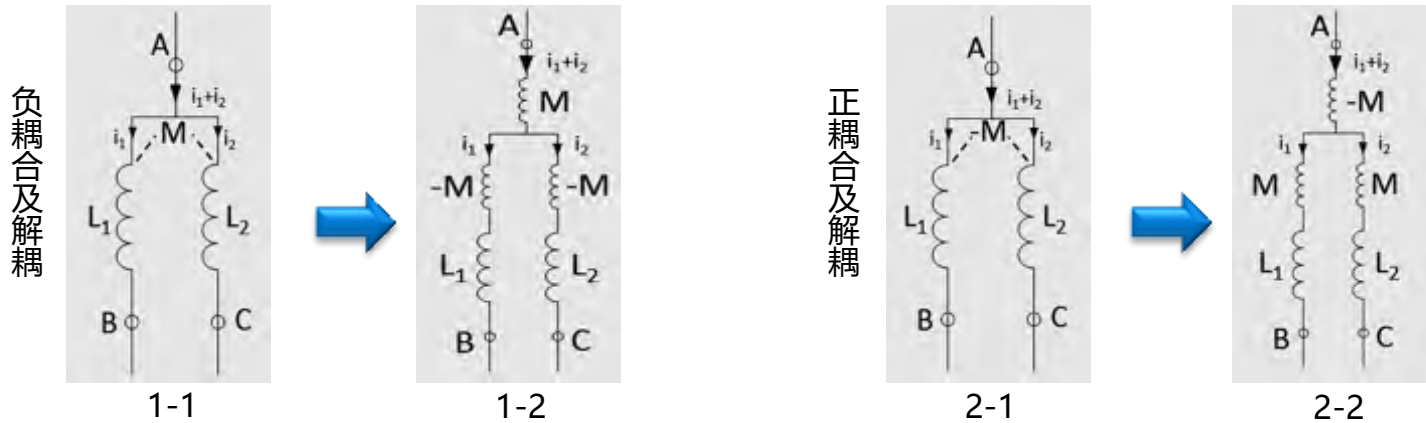
- 近场耦合：包括磁场耦合和电场耦合。由于EMI滤波电路中存在一个或多个差模/共模电感，因此引起电源端口传导噪声问题的近场耦合基本以磁场耦合为主。
- 磁场耦合：产生磁场的一方通过磁场将信号耦合到其他器件的过程。产生干扰磁场的器件为干扰体，而被干扰磁场所耦合的器件为被干扰体。对于电源端口传导噪声问题，电源端口处的防雷电感、共模电感通常为被干扰体，而开关电源内部的电感、变压器等磁性器件通常为干扰体。

磁场近场耦合原理

磁场近场耦合是指干扰体的噪声信号通过磁场耦合到被干扰体。因而近场干扰的耦合模型可以通过互感M表示，在近场耦合模型中为一个 $j\omega \cdot M \cdot \dot{i}$ 的受控电压源，如图所示。



根据电路理论，对两个电感进行磁场耦合解耦。



电感L1和L2在空间中存在耦合M，若L1和L2为正耦合，则

$$U_{AB} = L_1 \cdot di_1/dt + M \cdot di_2/dt$$

$$U_{AC} = L_2 \cdot di_2/dt + M \cdot di_1/dt$$



$$U_{AB} = L_1 \cdot di_1/dt + M \cdot d(i_1 + i_2)/dt$$

$$U_{AC} = L_2 \cdot di_2/dt + M \cdot d(i_1 + i_2)/dt$$

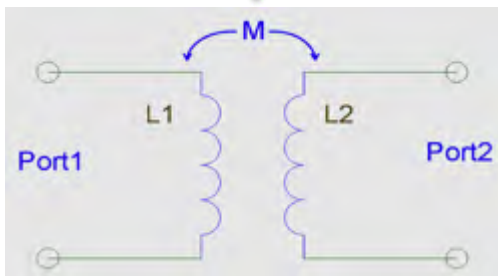
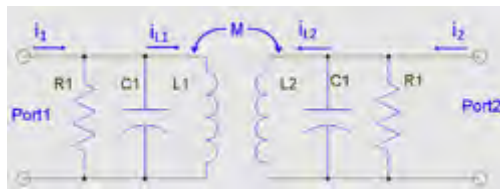
根据上式得到等效电路图1-2与此时L1与L2实现解耦。若L1和L2为负耦合，解耦方法相同，参考图2-2

近场耦合参数的测量

➤ 网络分析仪测试法

若两磁性元件距离较远，耦合系数小，则推荐采用网路分析仪测试S参数法来测得两者间的耦合参数。

两个耦合电感构成的二端口网络



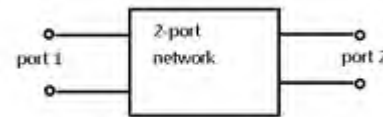
一阶模型下，Z参数为：

$$Z_{11} = j\omega L_1$$

$$Z_{22} = j\omega L_2$$

$$Z_{12} = Z_{21} = j\omega M$$

二端口S参数



$$U_{r1} = S_{11} U_{i1} + S_{12} U_{i2}$$

$$U_{r2} = S_{21} U_{i1} + S_{22} U_{i2}$$

S参数、Z参数转换



$$\begin{bmatrix} \vec{U}_1 \\ \vec{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{I}_1 \\ \vec{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j\omega L_1 & j\omega M \\ j\omega M & j\omega L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{I}_1 \\ \vec{I}_2 \end{bmatrix}$$

器件自参数/耦合参数结果



$$j\omega L_1 = \frac{Z_0(1 - S_{22} - S_{22}S_{11} + S_{11} + S_{12}S_{21})}{1 - S_{22} + S_{22}S_{11} - S_{11} - S_{12}S_{21}}$$

$$j\omega L_2 = \frac{Z_0(1 - S_{22} - S_{22}S_{11} + S_{11} + S_{12}S_{21})}{1 - S_{22} + S_{22}S_{11} - S_{11} - S_{12}S_{21}}$$

$$j\omega M = \frac{2Z_0S_{21}}{1 - S_{22} + S_{22}S_{11} - S_{11} - S_{12}S_{21}}$$

近场耦合参数的仿真

仿真模型的建立

某共模电感参数如下：

磁芯：内半径5mm；外半径10mm；高度10mm，初始磁导率10000；

线圈：线圈覆盖角度110度；两线圈之间的夹角30度；线径0.5mm；匝数5：5；

两个共模电感间距30mm（磁芯圆心间距），仿真两个共模电感之间的互感。



仿真结果

共模互感：2.5898nH

差模互感：84.924nH

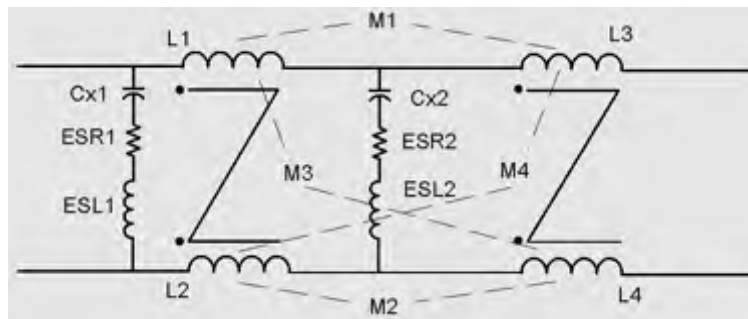
	Group1	Group2
Group1	1206.8	84.924
Group2	84.924	1152.9

共模互感仿真结果

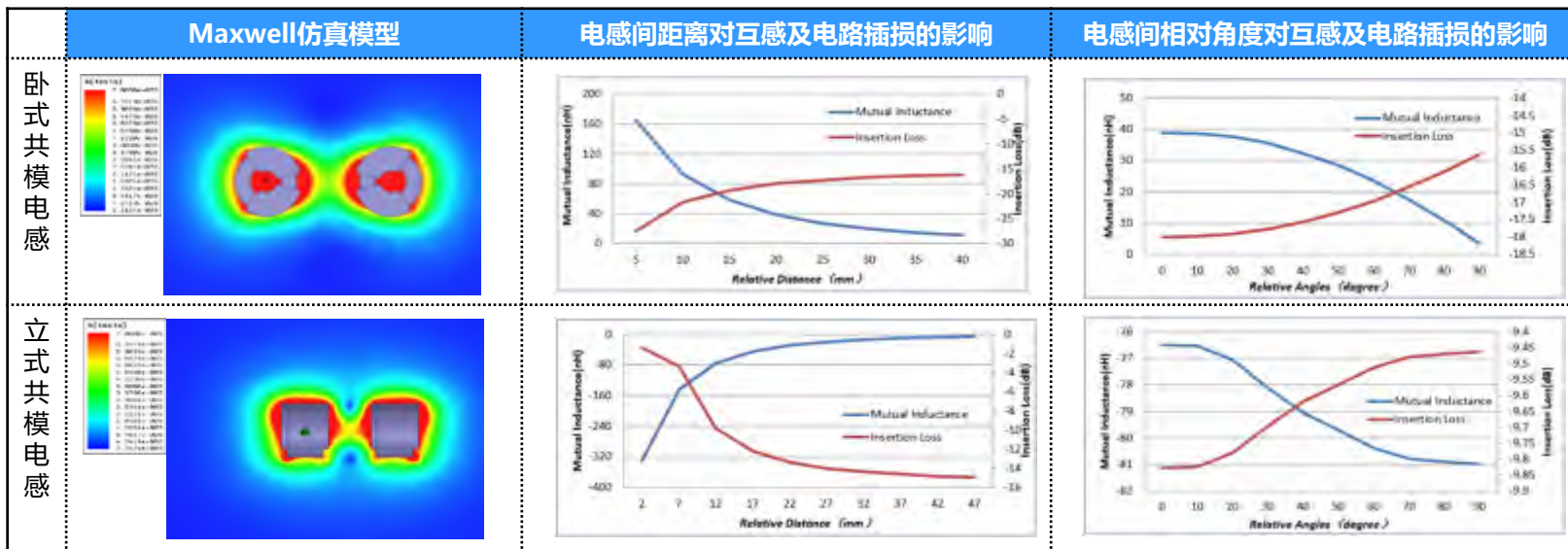
	Group1	Group2
Group1	3.49E+00E	-2.5898
Group2	-2.5898	3.405E+00E

差模互感仿真结果

近场耦合影响因素仿真分析



电源两级滤波电路近场耦合示意图



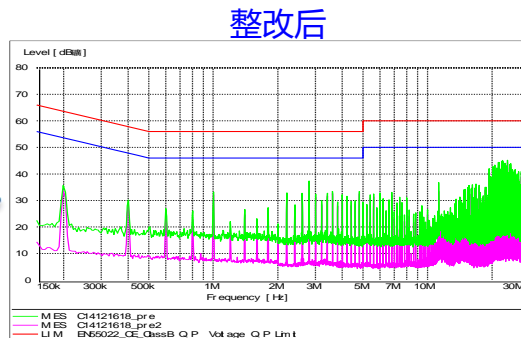
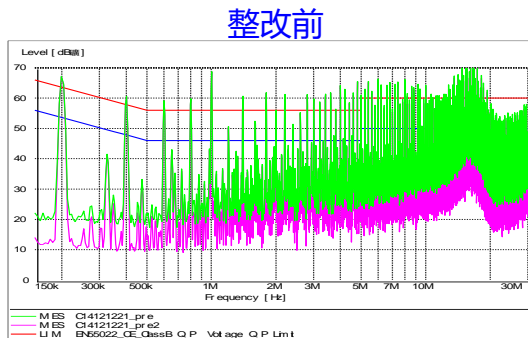
仿真结果分析

- 1、在电源端口两级滤波电路中，两个共模电感之间的近场耦合随着距离的增大而减小，此时滤波电路的插损也就随之增大；
- 2、对于卧式电感，当两个电感间夹角为90度时，耦合最小，滤波电路的插损最大；而对于立式电感，当两个电感并列放置时，耦合最小；

案例

- ▶ **案例描述**：某电源，电感A处开关噪声较大，而电感B位于电源端口处，两者之间近场耦合直接导致了电源端口传导辐射超标。

	Maxwell仿真模型	Maxwell仿真结果	互感实测结果
电感A气隙正对电感B		电感A与电感B互感：0.05nH 	电感A与电感B互感：0.03nH 
电感A气隙旋转90度		电感A转90度后与电感B互感：0.003nH 	电感A转90度后与电感B互感：0.013nH 



▶ 案例分析

电感A为干扰源，电感B为被干扰源。通过仿真和实测可知，当电感A气隙旋转90度后，近场耦合明显变小，从而使得电源端口传导噪声满足标准限值要求。

- 通过Maxwell 3D仿真可以对磁性器件的磁场分布情况有较直观的评价，有利于工程师判断磁场近场辐射的关键器件；
- 可以量化评估磁场近场耦合大小，从而判断近场耦合是否为引起问题的关键因素；
- 可以更快捷的判断近场最小耦合场景（距离、角度、极性），给出最优解决方案；
- 此外，对于高密布局的电源产品，可以利用Maxwell软件对电源端口滤波电路的近场耦合问题提前进行风险评估，提升了电源EMI设计质量及通过率，是电源EMI设计较为先进的方法。

ANSYS



仿真
新时代

2017 ANSYS用户技术大会

中国·烟台

感谢聆听



ANSYS-China