

Ansyz SIwave 仿真平台在开关电源 PCB 板中的应用

周 敏¹, 白婉宁², 曹 弋²

(1.南京师范大学中北学院,江苏 镇江 212300)

(2.南京师范大学电气与自动化工程学院,江苏 南京 210023)

[摘要] 在电子产品的设计和制作中,为了提高效率,降低成本,通过对电子器件的仿真进行电磁特性预估的过程越来越重要.介绍了 Ansys SIwave 仿真平台及其对信号完整性仿真的基本原理,分析了开关电源 PCB 板谐振产生的机理,并结合 SI 仿真软件进行谐振预估;最后以某型开关电源 PCB 板为例,详细分析了仿真过程,得出其易发谐振的频点和谐振最严重区域.

[关键词] Ansys SIwave, PCB 板, 谐振, 开关电源

[中图分类号] TN710 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2019)04-0081-05

Application of Ansys SIwave Simulation Platform in Switching Power Supply

Zhou Min¹, Bai Wanning², Cao Yi²

(1.Zhongbei College, Nanjing Normal University, Zhenjiang 212300, China)

(2.School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: In the design and manufacture of electronic products, in order to improve efficiency and reduce costs, it is more and more important to estimate the electromagnetic characteristics of electronic devices by simulation. This paper introduces the Ansys SIwave simulation platform and its basic principle for signal integrity simulation, analyzes the mechanism of resonance generation of PCB board of switching power supply, and performs the resonance prediction in conjunction with SI simulation. Finally, taking PCB board of a certain switching power supply as an example, the simulation process is analyzed in detail, and the frequency and the most serious resonance region are obtained.

Key words: Ansys SIwave, PCB board, resonance switching, power supply

电能是当前最高效的能源.在电力电子技术的高速发展下,电能的使用情况有了较大改变,人类进入了一个全新的电气时代.电子器件工作频率日渐增高,功能需求越来越智能化,模型趋于微小化,电路半层之间越来越紧密^[1],产生的电磁兼容问题日益突出,例如设备间及设备内的电磁干扰、供电电源不完整和信号断续等问题.为了节约成本、提高效率、提高电子产品工作的可靠性,研究 PCB 板电磁兼容问题尤为重要^[2-4].

1 谐振机理研究

1.1 PCB 板谐振机理分析

系统在信号传递过程中,若可保证信号的时频特性不遭破坏,就说明该系统具有较优的信号完整能力,保证了信号在传输前后的连续性及较优的功能特性,即电路中的信号能在时序、幅度及相位等方面做出非常正确的响应.本文使用的 Ansys SIwave 仿真软件可在不同需求下对 PCB 板级信号问题进行分析.在 PCB 设计完成后进行一系列的板级仿真,从中考虑电气特性、机械特性、电磁兼容及耐热等多种性能,分析 SI 影响因素及彼此间的相互作用,对系统进行分析和验证.通过对完整的 PCB 板和布线实施仿真,来验证 PCB 特有的谐振频率特性.此外,也可利用 SIwave 提取 PCB 关键信号的走线,并根据所提取的参数来评估信号线对信号的影响,从而判断辨别器件间互联的好坏. SI 主要进行的是时域仿真,时域的分析有明确的指标,可对系统好坏进行验证.准确设计参数,能保证 PCB 板级仿真结果有实际意义和价值.

收稿日期:2019-09-10.

通讯联系人:曹弋,副教授,研究方向:控制理论、计算机控制. E-mail:caoyi@njjnu.edu.cn

PCB 谐振原理与机械谐振有关. 对于多层的 PCB 板而言,一部分属于传递信号的能量在电源和地之间存在着,这部分能量在这两者间不断进行反射运动,而所谓的谐振效应就是 PCB 固有频率与信号频率十分接近时,由反射振荡加强导致的反应. 一般就 PCB 板而言,顶部和底部的金属面共同构成电壁,必然限制电磁场沿 Z 轴的传播,也即将边界看成一个理想的电边界;又由于金属制平面对有效介电常数会产生较大的影响,将在该平面边缘构成一种磁壁,必然限制电磁场沿 XY 轴的传播,所以可视为理想的磁边界. 研究发现,沿 Z 轴方向几乎不会发生谐振问题,忽略 Z 方向变化就使得问题变得简单明了. 谐振现象的发生在结构上体现在平面尺寸形状参数与电磁场频率达成了一致的关系,此情况下即可获得相应的谐振模式及与之相匹的谐振频率^[5].

利用二阶微分矢量波动方程可获得精确的 XY 方向场分布为:

$$\nabla \times \nabla \times E - K_0^2 [\varepsilon_r] E = 0, \quad (1)$$

从而得到

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} \right) E(x, y) + k^2 E(x, y) = 0. \quad (2)$$

式中, $K_0 = \sqrt{\mu\omega^2}$; $[\varepsilon_r]$ 为对角形相对介电常数张量; $E(x, y)$ 为电场的分布函数; K 为待定系数. 因此, PCB 的谐振情况只与其本身的构造相关,与电路的元器件分布无关. 系数 K 的多变选择会导致谐振频率及谐振模态的多变组合.

在谐振频率点周围,共振现象的发生将会导致已有 PCB 设计遭破坏;较大的谐振现象会导致电源波动较大,同时负载电流变化加快,导致电源跌落,电源噪声的产生也与其有密切的关系.

1.2 简单结构的谐振分析

针对较为简单的结构,利用矢量波动方程来获取电磁场的解析解. 设矩形的长度为 a ,宽度为 b ,二阶微分矢量波动方程(2)的解为:

$$E(x, y) = E_0 \cos(k_x \times x) \cos(k_y \times y), \quad (3)$$

式中, k_x 与 k_y 为待定系数,满足条件: $k_x = \frac{m \times \pi}{a}$, $k_y = \frac{n \times \pi}{b}$.

根据微波理论,引起谐振的频率应满足条件:

$$f_{mn} = \frac{c \sqrt{K_x^2 + K_y^2}}{2\pi} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}, \quad (4)$$

式中, $m, n \in \mathbf{N}$; c 为常数,是与材质相关的传播速度.

1.3 复杂结构的谐振分析

复杂结构的矢量波动方程无法求解,须采用有限元数值计算方法来获取数值解. 谐振产生的机理是传递信号在两个平面间连续不断的反射运动,因此,只有在两个平面间才会有谐振的产生. 电源和地是 PCB 板谐振的多发地带,信号源电压和参考端电压浮动不定等一系列的谐振问题也是基于此,甚至有时会影响到设备的正常运行.

SIwave 的数学理论依据就是有限元法,可直接对复杂的 PCB 板结构进行仿真,从而获取 PCB 多种谐振特性、比较完善的传输线模型、直流压降、近场和远场辐射以及供电阻抗等特性.

2 基于 ANSYS SIwave 的仿真及分析

2.1 ANSYS SIwave 工具及仿真过程

ANSYS SIwave 是一个非常专业化的仿真平台,能够进行 IC 封装和 PCB 的电源完整性、信号完整性和 EMI 分析等^[6-11]. 本文主要以某型开关电源 PCB 板为例,对其进行谐振分析.

PCB 导入流程如图 1 所示:

(1) 打开 SIwave17.2 软件进入界面;

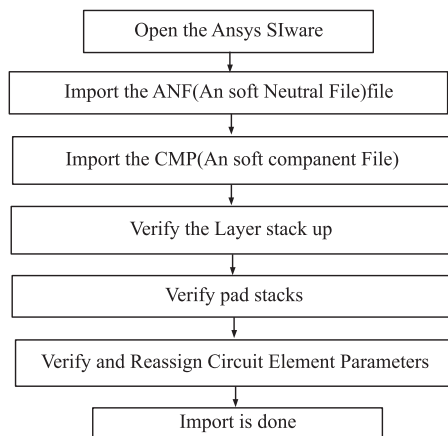


图 1 PCB 导入流程图

Fig. 1 PCB import flow chart

- (2) 点击 Import the.ANF(Ansoft Neutral File)file 导入 VK-P2_240W_1_S.anf 文件;
- (3) Anf 文件选定导入后,导入配置,如图 2(a)所示;
- (4) 点击 Import the.CMP(AnsoftComponent File),导入 VK-P2_240W_1_S.cmp 文件,导入后进行层叠验证,如图 2(b)所示;
- (5) 层叠验证完成后进行焊盘验证,如图 2(c)所示;
- (6) 焊盘验证完成后进行电路参数验证和重新分配,如图 2(d)所示.

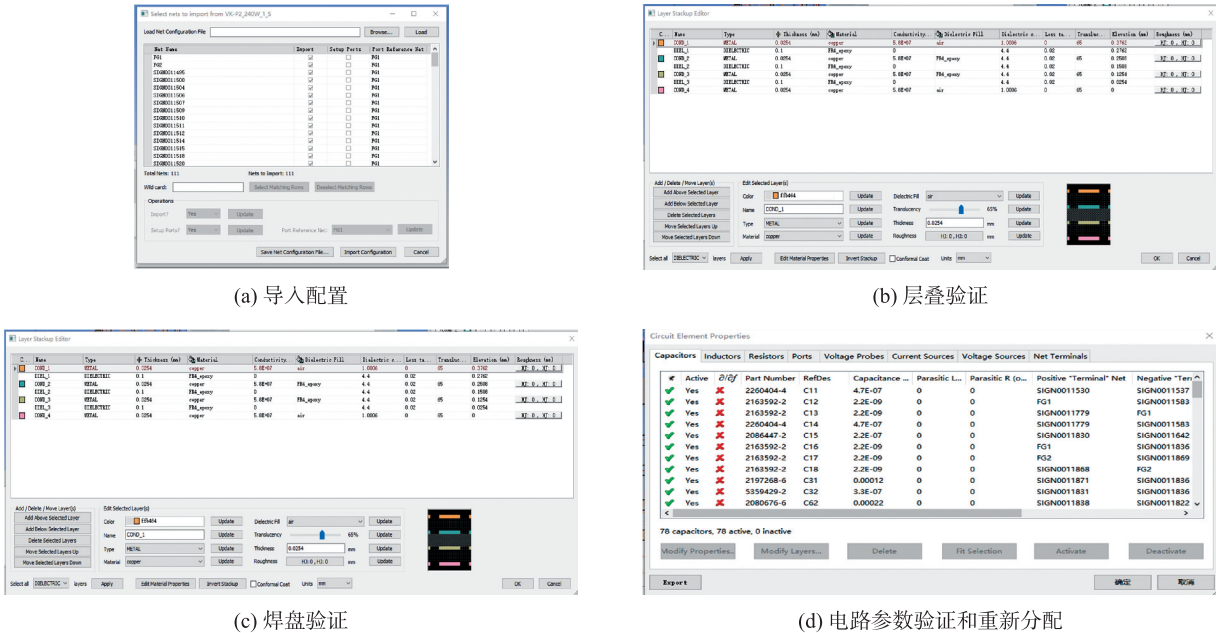


图 2 PCB 导入步骤图

Fig. 2 PCB import steps

导入工作完成,可得电路如图 3 所示.

设置模拟选择,多重处理为 4 核,使用 HPC 许可. 然后设置共振模式模拟参数,根据辐射标注设置最小频率为 30 MHz,最大频率为 1 GHz,计算模式设置为 5,点击 Launch 进行仿真,可获得如图 4 所示的参数数据.

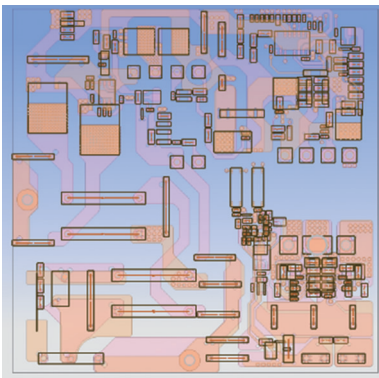


图 3 导入 SIwave 的 PCB

Fig. 3 Importing the SIwave PCB

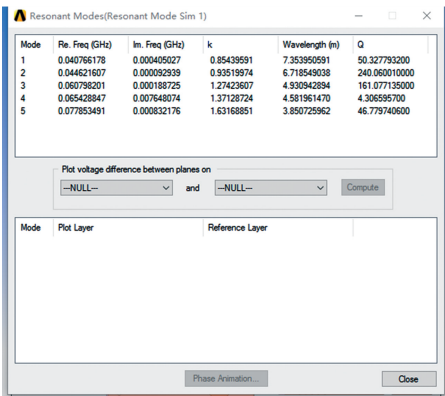


图 4 共振模式模拟参数数据

Fig. 4 Resonance mode simulation parameter data

由图 4 可知该 PCB 在 30 MHz 到 1 GHz 内共有 5 个谐振频率点,分别为 40.7 MHz、44.6 MHz、60.7 MHz、65.4 MHz 和 77.8 MHz,上述频点易发生谐振.

2.2 仿真结果对比及分析

通过 Ansys SIwave 可获得各板层间的谐振模式电压对比,通过 PCB 上的电压颜色分布找出 PCB 上谐振最强的区域.

本 PCB 的各板层间的电压差对比如图 5~图 10 所示.

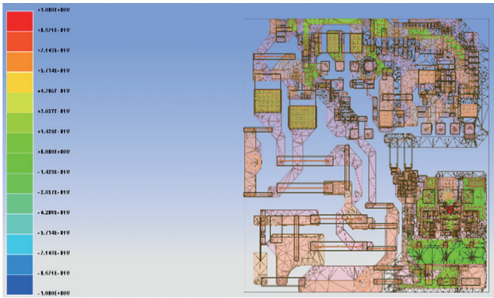


图 5 层 1~2 谐振比较
Fig. 5 Layer 1-2 resonance comparison

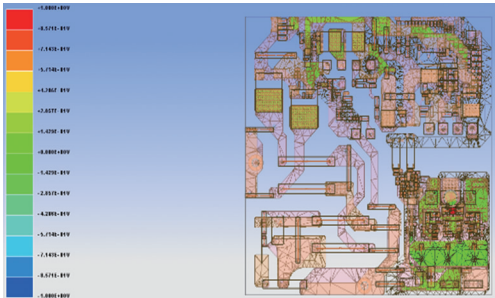


图 6 层 1~3 谐振比较
Fig. 6 Layer 1-3 resonance comparison

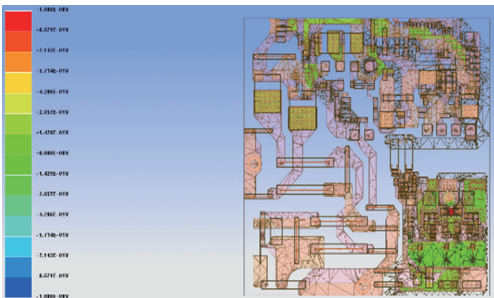


图 7 层 1~4 谐振比较
Fig. 7 Layer 1-4 resonance comparison

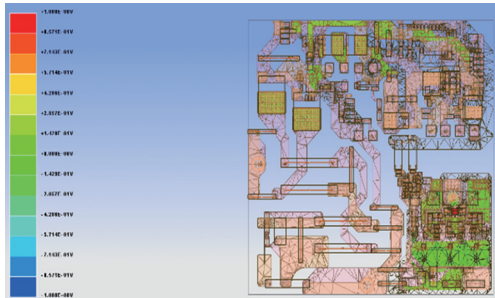


图 8 层 2~3 谐振比较
Fig. 8 Layer 2-3 resonance comparison

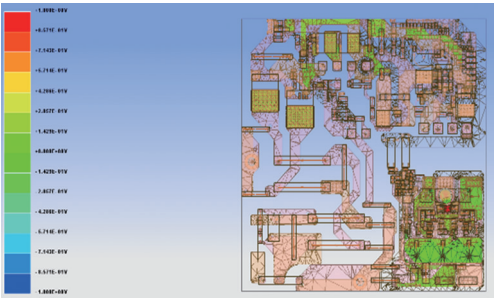


图 9 层 2~4 谐振比较
Fig. 9 Layer 2-4 resonance comparison

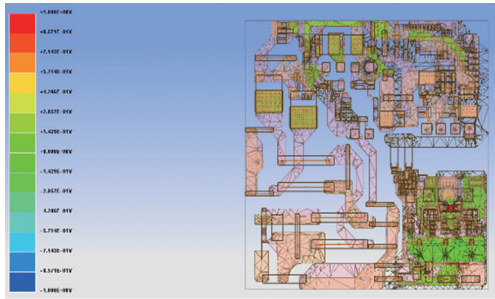


图 10 层 3~4 谐振比较
Fig. 10 Layer 3-4 resonance comparison

左侧为电场强度大小划分,由下到上,颜色越红越深,电场强度越大. 经过上述 6 幅板层间的电压对比可知,谐振最严重的区域为图 11 中的红色区域,其中包括主要 4 个电容. 经仿真分析可知,在 PCB 布线及敏感器件排布时,需避开谐振最严重区域.



图 11 谐振最严重处细节图
Fig. 11 Details of the most severe resonance

3 结语

本文介绍了 Ansys SIwave 仿真平台,包括该软件的求解方式及信号完整性仿真的基本原理;分析了 PCB 板间谐振产生原理,表明板级谐振对信号完整性的影响巨大,突出对信号完整性仿真预估的必要性;以某型开关电源的 PCB 板为例,详细分析其谐振仿真的过程,通过仿真,找出 PCB 在 30 MHz 到 1 GHz 内共有 5 个谐振频率点,分别为 40.7 MHz、44.6 MHz、60.7 MHz、65.4 MHz 和 77.8 MHz,这些频点易发生谐振;板级谐振电压对比,可看出谐振最突出的位置. 谐振仿真可为 PCB 设计提供理论依据,对于关键型芯片需放置在谐振区域外,传输线亦是如此,完成 PCB 设计后也可用于探寻谐振较强区域以便及时修改.

[参考文献](References)

- [1] 闫静纯,李涛,苏浩航. 高速高密度 PCB 电源完整性分析[J]. 电子器件,2012,35(3):296-299.
YAN J C,LI T,SU H H. Power integrity analysis of high-speed and high-density PCB[J]. Chinese journal of electron devices,2012,35(3):296-299.(in Chinese)
- [2] 王芳. PCB 电磁兼容设计原则及其实例分析[J]. 印制电路信息,2010(6):28-31.
WANG F. EMC design rules and application of printed circuit board[J]. Printed circuit information,2010(6):28-31.(in Chinese)
- [3] 岳春华,尹征琦. 高速 PCB 电磁兼容的研究[J]. 电子质量,2007(8):92-94.
YUE C H,YI Z Q. Research on EMC of high-speed PCB[J]. Electronics quality,2007(8):92-94.(in Chinese)
- [4] 吴昕,钱照明,庞敏熙. 开关电源印刷电路板电磁兼容问题的研究[J]. 电子与信息学报,2001,23(2):181-186.
WU X,QIAN Z M,PANG M X. Study in electromagnetic compatibility on printed circuit board of switching power supply[J]. Journal of electronics and information technology,2001,23(2):181-186.(in Chinese)
- [5] 刘笑宇,刘崇俊,郑松林,等. 发动机电子控制器谐振问题仿真分析与优化[J]. 工业控制计算机,2016,29(11):149-150.
LIU X Y,LIU C J,ZHENG S L,et al. Simulation and optimization of resonance problem on ECU[J]. Industrial control computer,2016,29(11):149-150.(in Chinese)
- [6] 房丽丽. ANSYS 信号完整性分析与仿真实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013.
FANG L L. ANSYS signal integrity analysis and simulation example[M]. Beijing:China Water & Power Press,2013.(in Chinese)
- [7] 李学平,李玉山. 基于 Ansoft 仿真分析的 SSN 解决方案探讨[J]. 微型机与应用,2011,30(4):68-70.
LI X P,LI Y S. Research of SSN solutions based on Ansoft simulation analysis[J]. Microcomputer & its applications,2011,30(4):68-70.(in Chinese)
- [8] 刘肃,阎胜刚,王永. 基于 SIwave 与 ADS 的高频仿真[J]. 电子器件,2013,36(6):894-898.
LIU S,YAN S G,WANG Y. High frequency simulation based on Siwave and ADS[J]. Chinese journal of electron devices,2013,36(6):894-898.(in Chinese)
- [9] CHENG Y Q,ZHU M,GE W. Signal integrity simulation design of image processor PCB combined with electromagnetic compatibility analyses based on altium designer 6(EI CONFERENCE)[C]//Changchun institute of optics,fine mechanics and physics, Chinese academy of sciences.Changchun,2009:745-749.
- [10] CANIGGIA S,MARADEI F.Signal Integrity and Radiated Emission of High-Speed Digital Systems[M]. New Jersey,USA: John Wiley&Sons,2008.
- [11] OMID M,KAMI Y,HAYAKAWA M. Field coupling to nonuniform and uniform transmission lines[J]. IEEE transactions on electromagnetic compatibility,1997,39(3):201-211.

[责任编辑:严海琳]