

DOI: 10.3969/j.issn.1009-9492.2020.05.011

刘昌儒, 于鹏, 贺帅等. 印制电路板及元器件引脚振动分析 [J]. 机电工程技术, 2020, 49 (05): 32-34.

印制电路板及元器件引脚振动分析

刘昌儒, 于鹏*, 贺帅, 毛阿龙, 李博

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 航天产品发射升空过程中, 会发生不可避免的振动, 振动分析与振动控制是电子设备结构设计中必不可少的一部分, 而印制电路板及其元器件是电子设备的关键部件。根据某航天产品内部的印制电路板结构及元器件分布, 利用 MSC.Patran 建造有限元模型, 为精确计算电路板及元器件响应, 使用梁单元对 FPGA 元器件的引脚进行建模, 再模拟引脚与焊盘的连接。使用 MSC.Patran/Nastran 有限元软件, 分析了印制电路板的基频以及正弦振动与随机振动时的加速度和应力响应。结果表明电路板和 FPGA 元器件引脚可以承受火箭发射阶段的力学载荷。

关键词: 印制电路板; FPGA; 模态分析; 正弦振动; 随机振动

中图分类号: V416.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-9492(2020)05-0032-03

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Vibration Analysis of Printed Circuit Board and Components Pins

LIU Changru, YU Peng*, HE Shuai, MAO Along, LI Bo

(Fine Mechanics and Physics, Changchun Institute of Optics, Changchun 130033, China)

Abstract: Vibration is inevitable in the launching process of aerospace products. Vibration analysis and control is an essential part of electronic equipment structure design, and printed circuit board and its components are the key components of electronic equipment. According to the structure of printed circuit board and the distribution of components in an aerospace product, model with MSC. Patran was built. In order to accurately calculate the response of circuit board and components, using beam unit to simulate the pins of FPGA components, simulation of the connection between pin and PCB pads. Using MSC.Patran/Nastran software, the basic frequency, acceleration and stress response of PCB under sinusoidal vibration and random vibration were analyzed. The results show that the print circuit board and the pins of FPGA components can bear the mechanical load of rocket launching phase.

Key words: PCB; FPGA; modal analysis; sinusoidal vibration; random vibration

0 引言

目前航天产品中, 有大量复杂的电子系统, 印制电路板上元器件数量多, 连接方式复杂, 在航天产品发射升空过程中, 由于发动机工作、发动机级间分离与 POGO 效应等原因, 航天产品会发生不可避免的振动^[1]。因此航天产品发射升空前, 都需要进行振动试验, 通过地面的振动试验考核航天产品是否能经受发射时的振动^[2]。

当电子产品处于在振动环境中时, 由于固定方式、产品质量、电子产品在整机产品上的位置等因素, 会导致作用在电路板上的振动量级放大, 超出元器件能承受的振动量级, 引起元器件引脚与焊盘断裂, 最终导致产品故障^[3]。因此对印制电路板元器件进行分析就显得尤为必要^[4-5]。

在印制电路板的常规分析中, 元器件一般作为附加质量固定在电路板上^[6]。国内外对于元器件固定在电路板上的电装工艺有相应的指标规范^[7], 但由于产品振动环境、量级的不同, 某型号产品在随机振动过程中发生过引脚断裂的情况。因此也有必要对元器件引脚的连接强度进行分析。

本文根据某航天产品内部的印制电路板结构及元器件分布, 对电路板及板上大质量元器件进行了建模, 并模拟了 FPGA 元器件的引脚连接, 使用 MSC.Patran/Nastran 软件进行了模态分析、正弦振动分析和随机振动分析, 分析结果表明电路板及 FPGA 元器件引脚可以承受发射阶段的力学载荷。

1 模型构造

FPGA 器件是电路板中质量及体积较大的元器件, 且其安装位置靠近电路板中心, 在振动中位移及应力响应大。FPGA 器件质量为 16 g, 通过 208 个四周排布的引脚与电路板焊盘连接。引脚宽度 0.21 mm, 厚度 0.16 mm, 使用矩形梁单元进行建模, 材料为可伐合金 (FeNi29Co17), 抗拉极限取 585 MPa, 图 1 所示为 FPGA 元器件引脚建模图。由于 RBE2 为刚性连接, 在处理胶粘、焊接等不能视为完全刚性连接的模型时, 使用节点耦合的方式, 将引脚单元与电路板、FPGA 单元连接。



图1 FPGA 元器件引脚建模图

印制电路板模型如图 2 所示, FPGA 使用壳单元建模, 由于芯片使用同一种塑料封装, 对模型中所有芯片采用相同的

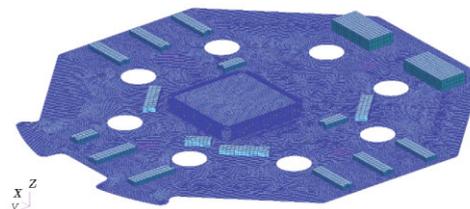


图2 印制电路板模型示意

收稿日期: 2020-03-18

材料参数, 再修改材料密度让元器件达到真实质量。电路板基板使用壳单元建模, 材料为酚醛。印制电路板及元器件总质量为 250 g。模型材料如表 1 所示。

表 1 电路板材料属性表

名称	弹性模量 /GPa	泊松比	密度 / (t·m ⁻³)
引脚	158	0.3	8.2
PCB	17	0.28	2
芯片	16	0.38	2.4

2 约束及加载方式

为了真实模拟电路板边界状态, 模态分析时将电路板模型通过 MPC 固定在其所在产品安装架上, 再对产品螺孔施加全约束, 如图 3 所示。正弦、随机振动分析时加载使用大质量点法进行加载, 激励从产品固定端输入。

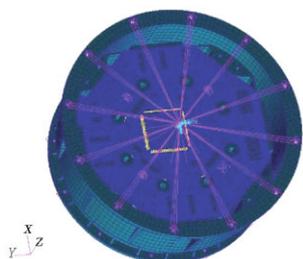


图 3 印制电路板约束示意图

3 有限元分析

为确保航天产品能承受发射过程中的振动载荷, 在发射前

都会对其进行地面振动试验, 包括正弦振动和随机振动试验, 并在试验前进行相应的有限元分析^[8]。例如分析航天产品的动态刚度与结构强度等。动态刚度主要指产品基频, 结构强度主要指产品在正弦振动与随机振动时的加速度、应力、应变响应。

3.1 模态分析

对产品连接螺孔全约束。对工装进行模态分析, 印制电路板在产品螺孔全约束下固有频率如表 2 所示, 图 4 所示为 1~6 阶振型。电路板产品基频大于正弦振动试验范围, 可以判断正弦振动时电路板组件不会发生共振。

表 2 印制电路板固有频率表

阶数	频率/Hz	阶数	频率/Hz
1	231.89	4	277.47
2	254.08	5	387.52
3	263.14	6	429.36

表 3 正弦振动试验条件

参数名称	频率范围/Hz		
	4~13	10~75	75~100
幅值 0-p	13.22 mm	9g	18g
加载方向	3 个轴向		

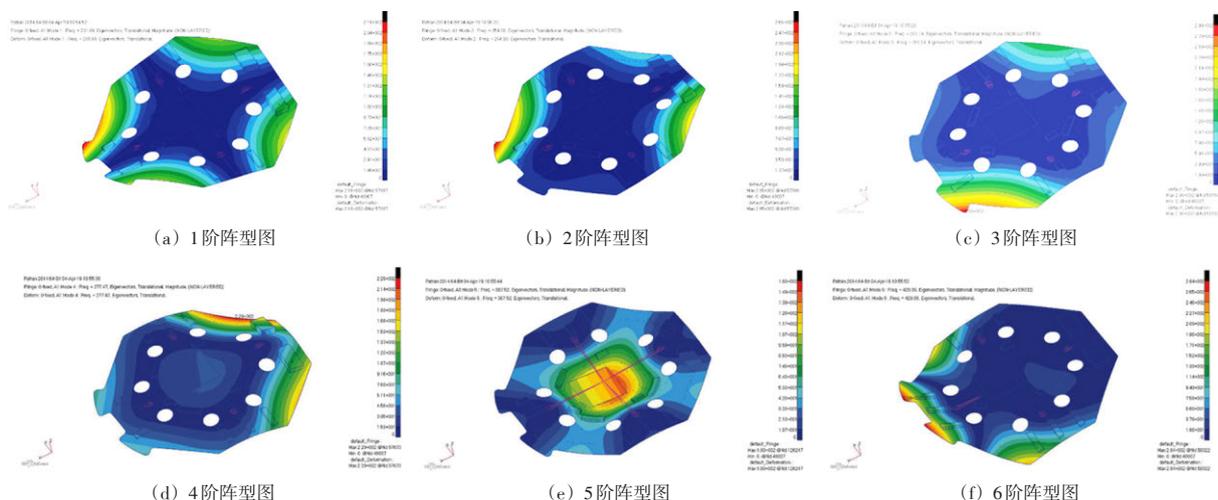
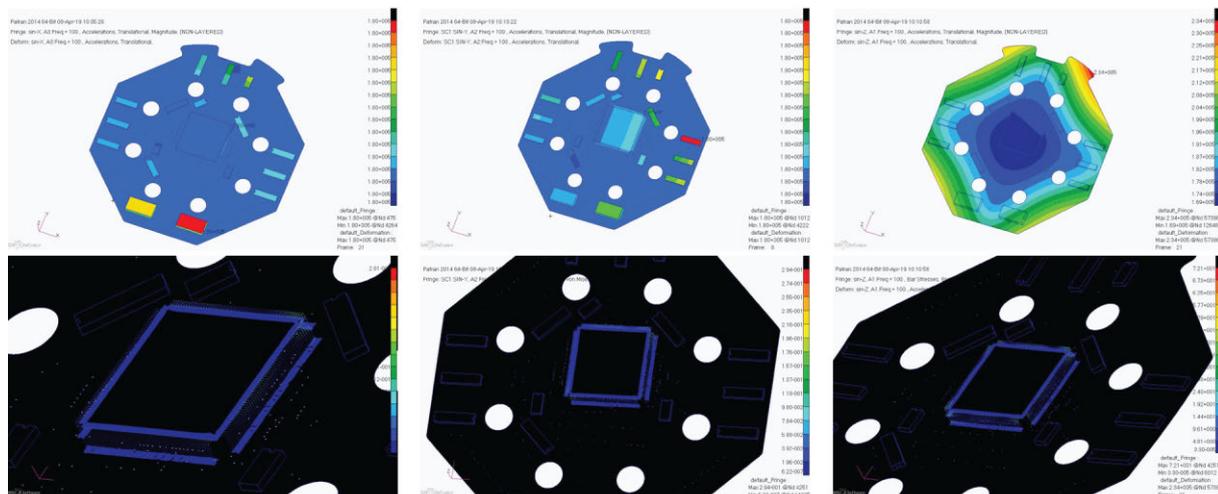


图 4 1~6 阶振型



(a) X 向正弦振动 100 Hz 时电路板加速度/应力云图 (b) Y 向正弦振动 100 Hz 时电路板加速度/应力云图 (c) Z 向正弦振动 100 Hz 时电路板加速度/应力云图
图 5 XYZ 方向正弦振动响应图



(a) X方向随机振动RMS应力(3σ)云图 (b) Y方向随机振动RMS应力(3σ)云图 (c) Z方向随机振动RMS应力(3σ)云图
图6 X、Y、Z方向随机振动RMS应力(3σ)云图

3.2 正弦、随机振动分析

利用MSC.patran/nastran中频率响应分析模块,使用模态叠加法,继承模态分析中模态求解数据。分别求解出X、Y、Z方向正弦振动条件下工装最大加速度和最大变形情况。鉴定级正弦振动条件如表3所示。

如图4所示,正弦振动分析时结构阻尼为0.03。振动条件为鉴定级。电路板一阶频率为231.89 Hz,超过了正弦振动载荷的频率范围,故不会发生共振,且阻尼对响应影响不明显。分析结果如图5所示。最大加速度响应发生在Z向正弦振动时,响应为23.4 g,放大倍数为1.3倍。最大应力响应同样发生在Z向正弦振动时,应力为72.1 MPa,不会导致结构破坏。

图5(a)为X向正弦振动100Hz时电路板加速度/应力云图,工装最大加速度为18g,无放大,FPGA引脚最大应力为2.8 MPa,小于材料屈服极限。图5(b)为Y向正弦振动100 Hz时电路板加速度/应力云图,工装最大加速度为18g,无放大,FPGA引脚最大应力为2.91 MPa。图5(c)为Z向正弦振动100 Hz时电路板加速度/应力云图,工装最大加速度为23.4g,无放大,FPGA引脚最大应力为72.1 MPa,小于材料屈服极限。

随机振动结构阻尼取0.03,随机振动条件如表4所示,随机振动峰值应力结果(3σ值)结果如表5所示。

表4 随机振动条件

名称	频率范围/Hz		
	10~250	250~600	600~2 000
功率谱密度	6 dB/Oct	0.317g ² /Hz	-9 dB/Oct
总均方根加速度值	14.96g _{rms}		
加载方向	X、Y、Z轴向		

表5 随机振动峰值应力统计表

X向随机振动应力/MPa	Y向随机振动应力/MPa	Z向随机振动应力/MPa
192	211	351

分析结果如图6所示。FPGA引脚最大应力响应同样发生在Z向随机振动时,应力为351 MPa,此时安全裕度为0.07,不会导致结构破坏。由于安全裕度值较低,故需要严格把控电路板电装过程中三防固封的工艺流程,保证电路板产品安全。

4 结束语

本文针对某航天产品印制电路板及FPGA引脚能否承受发

射阶段力学环境,利用MSC.Patran/Nastran对结构进行分析,分析结果如下。

(1)前6阶模态频率为231.89 Hz、254.08 Hz、263.14 Hz、277.47 Hz、387.52 Hz、429.36 Hz。

(2)鉴定级正弦振动响应分析中,最大加速度响应发生在Z向正弦振动时,响应为23.4g,放大倍数为1.3倍。最大应力响应同样发生在Z向正弦振动时,应力为72.1 MPa,不会导致结构破坏。

(3)鉴定级随机振动响应分析中,最大应力响应同样发生在Z向随机振动时,应力为351 MPa,此时安全裕度为0.07,大于0,故不会导致结构破坏。

印制电路板及其FPGA元器件引脚经过三防固封后可以承受发射阶段的力学载荷。

参考文献:

- [1] 次永伟,邱大芦,付乐平等.航天器振动试验控制技术进展[J].动力学与控制学报,2014(3):193-200.
- [2] 姜节胜,高跃飞,顾松年.环境振动试验技术的若干新进展[J].机械强度,2005,27(3):307-311.
- [3] 王琳,吴高峰.一种提高电子设备振动环境适应性的优化设计[J].工业控制计算机,2018,31(1):134-135.
- [4] 周昊,周学,周俊明.随机激励下插装型电子元器件引脚振动应力分析[J].机械工程师,2016(1):188-190.
- [5] 朱继元,周德俭,吴兆华.板级电路振动分析及元器件布局优化技术研究[J].电子机械工程,2007,23(1):1-4.
- [6] 贺帅.空间机构非线性问题的线性仿真技术研究[J].中科院长春光机所知识产出,2013.
- [7] 赵亚平,徐振邦,夏明一等.空间航天器用动力吸振器设计与试验验证[J].江苏大学学报(自然科学版),2018,039(004):453-458,491.
- [8] 秦超,田士涛.大型航天真空罐的非线性有限元分析[J].机械强度,2016,038(003):554-558.

第一作者简介:刘昌儒(1992-),男,吉林长春人,硕士研究生,研究实习员,研究领域为环境试验、力学仿真。

※通讯作者简介:于鹏(1987-),男,吉林公主岭人,硕士研究生,助理研究员,研究领域为嵌入式电路设计、并联机器人控制。

(编辑:刁少华)