

基于计算机软件控制系统的静电放电研究

王 岩

(紫琅职业技术学院 软件工程系, 江苏 南通 226002)

[摘要] 随着电子产品的迅速集成化, 静电放电抗扰度(Electrostatic Discharge)性能已经成为衡量电子产品性能的一项重要指标. 在分析了传导 ESD 和辐射 ESD 的干扰机理后, 针对不同的机理设计相应的抑制方法: 对于传导 ESD, 设计一种新型 ESD 滤波器, 运用改善接地的方法抑制了电路中的静电放电电流; 对于辐射 ESD, 采取屏蔽和构建 ESD 地的方法以保护敏感器件. 通过实验验证了该方法的有效性, 结果表明产品改进后可通过 GB/T 17626. 2—2006 标准.

[关键词] ESD, ESD 滤波器, 屏蔽, ESD 地

[中图分类号] TP80 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-4292(2012)02-0032-04

Study on Electrostatic Discharge Based on Computer Software Control System

Wang Yan

(Department of Software Engineering, Zilang Vocational Technical College, Nantong 226002, China)

Abstract: With the rapid integration of electronic products, electrostatic discharge immunity performance has become an important measure of its performance indicators. In this paper, the interference mechanism of the conductive ESD and the radiation ESD are analyzed, and appropriate suppression measures are taken for the conductive ESD, an innovative ESD filter is designed. Besides, improving the grounding is applied to quickly and efficiently suppress the electrostatic discharge current in the circuit; for radiation ESD, shield and ESD grounding methods are adopted to protect ESD sensitive devices from radiation interference. Finally, experiments show the effectiveness of the method.

Key words: ESD, ESD filter, shield, ESD grounding

随着超大规模集成电路大量生产和广泛应用, 电子产品的静电放电(Electrostatic Discharge)问题大量出现. 静电问题越来越受人关注, 有关静电的干扰机理以及抑制方法的研究也越来越深入. 目前, 已有人归纳出了静电放电的各种模型^[1-2], 在 GB/T 17626. 2—2006 标准中给出了人体模型的静电放电波形^[3-4]. 此外, 还有学者给出了该放电波形的解析表达式以分析静电放电的辐射场^[5-7]. 尽管如此, 该学者却没有进一步研究 ESD 对电路的干扰机理以及抑制方法.

有鉴于此, 本文以静电放电的电流波形和辐射场为基础, 对应从传导性 ESD 和辐射性 ESD 两个方面进行 ESD 干扰机理分析, 并通过分析给出相应的抑制措施.

1 静电放电机理分析

ESD 是一种高能量、宽频谱的电磁干扰, 它的产生需要 3 个条件: 电荷的积累, 静电荷积累在绝缘体上; 静电荷通过接触或感应转移到导体上; 充满静电的导体接近一个金属器件, 产生放电.

静电放电对电子设备的干扰主要有两种方式: 一种是传导方式, 即静电放电电流直接侵入设备内的电路; 另一种方式是辐射干扰, 即在静电放电时产生辐射场, 在各个信号环路中感应出干扰电动势, 由于是在很短的时间内发生较大的电流变化, 所以在信号环路中产生的干扰电动势将很大, 极易干扰电路的正常工作, 因而对 ESD 的辐射场的研究是很有必要的.

标准的静电放电波形如图 1 所示, 静电放电电流表达式为:

收稿日期: 2012-02-29.

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2011789)、毫米波国家重点实验室开放基金(K201106).

通讯联系人: 赵 阳, 教授, 博士生导师, 研究方向: 电磁兼容. E-mail: zhaoyang2@njnu.edu.cn

$$i(t) = 213(1 - e^{-\frac{t}{0.62}})^8 e^{-\frac{t}{1.1}} + 121(1 - e^{-\frac{t}{55}}) e^{-\frac{t}{26}}. \quad (1)$$

静电的频带很宽,大到几百 MHz 甚至 1 GHz,小到几十 Hz,高频情况下由 ESD 电流能引起较强的辐射干扰噪声,由 ESD 电流时域波形得到在电路中产生的辐射噪声频域波形如图 2 所示.由图可知 ESD 电流在 1 GHz 频率范围内能产生较高的辐射干扰噪声,尤其在 10 MHz 处噪声可近 80 dB μ V.可见,静电放电电流不仅会对设备中的元器件造成很大影响,也会衍生出严重的电磁辐射问题.

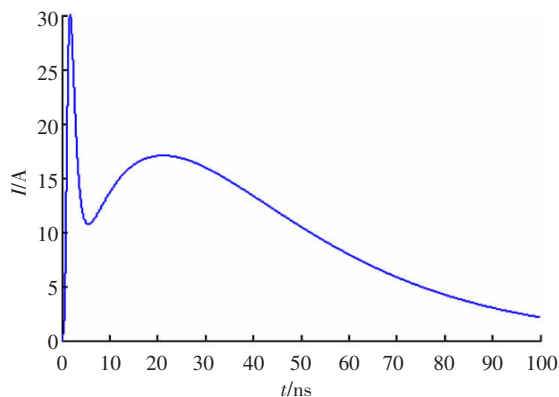


图 1 ESD 电流时域波形

Fig.1 Time-domain of the ESD current waveform

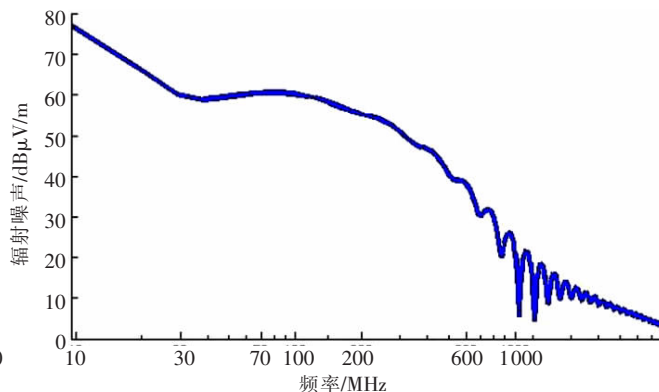


图 2 ESD 电流辐射噪声

Fig.2 Frequency-domain simulation of the ESD current waveform

1.1 传导 ESD 机理分析

传导 ESD 是放电电流侵入设备内电路造成的干扰,因此,以图 3 中的简单电路为例,可以将 ESD 放电电流等效成一个电流源,静电放电对电路的损害可以简化为电流为 $i(t)$ 的电流源对负载 Z_L 的干扰.电路中的电容和电感为高频下的寄生电感和寄生电容.根据该电路图,负载 Z_L 上的电压表达式为:

$$u(t) = \frac{Z_L \times j}{Z_L + \frac{j}{\omega C}} \cdot i(t). \quad (2)$$

1.2 辐射 ESD 机理分析

经典的静电放电理论解析模型有偶极子模型、长导体模型、双球电极模型等,这些模型分别适合于不同情况的 ESD 电磁场计算.对于在一个无限大导电性能良好的接地板上,进行非接触式静电放电(空气放电)所产生的放电火花,传统方法采用偶极子模型进行模拟,然而静电放电是一个动态的过程,传统的固定的电偶极子模型难以准确描述其产生的辐射场的变化,本文利用一电小、时变线性的电偶极子描述辐射 ESD,如图 4 所示.

已知近场中电偶极子产生的共模辐射场为:

$$\begin{cases} H_\phi = \frac{Idlk^2}{4\pi} \cdot \left[\frac{-1}{j(kr)} + \frac{1}{(kr)^2} \right] \sin\theta e^{-jkr}, \\ E_\theta = \frac{Idlk^3}{4\pi\omega\epsilon_0} \left[\frac{-1}{j(kr)} + \frac{1}{(kr)^2} + \frac{1}{j(kr)^3} \right], \\ E_r = \frac{Idlk^3}{2\pi\omega\epsilon_0} \left[\frac{-1}{(kr)^2} + \frac{1}{j(kr)^3} \right] \cos\theta e^{-jkr}. \end{cases} \quad (3)$$

由 Maxwell 方程及电偶极子辐射理论,取最大辐射场强方向,则共模辐射(即电偶极子辐射)场强在远场处可表示为:

$$E_{CM} = 12.6 \times 10^{-7} \frac{fLI_{CM}}{r}, \quad (4)$$

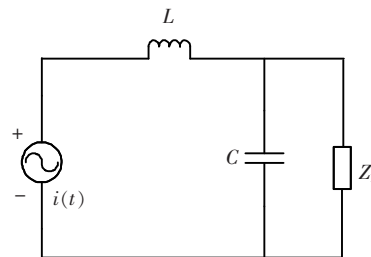


图 3 传导 ESD 干扰简化电路

Fig.3 Conducted ESD interference simplified circuit

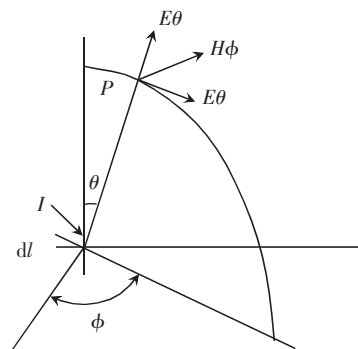


图 4 等效电偶极子模型

Fig.4 Equivalent electric dipole model

式中 I_{CM} 为静电发生器的放电电流; L 为等效的电偶极子长度; r 为测试距离.

由式(4)可知 I_{CM} 和 L 以及频率 f 是固定值, 静电发生器的辐射电场与距离有关, 距离越远, 辐射干扰越小, 反之, 距离越近, 辐射干扰越强.

2 静电抑制方法

2.1 传导 ESD 抑制方法

根据传导 ESD 产生机理, 可通过迅速抑制或者泄放电路中的尖峰电流抑制传导 ESD, 因此抑制传导 ESD 一般包括 ESD 滤波器和改善接地两种方法, 其原理都是为了给静电放电电流提供更好的泄放路径.

不同于传统滤波器电感加电容的组合, 本文所设计的 ESD 滤波器是由一个串联电感和两个并联 TVS 构成, 如图 5 所示. 电容虽具有一定泄放电流的能力, 但其响应速度较慢, 无法满足静电放电要求. TVS 是一种二极管形式的高效能保护器件, 具有极快的响应时间和相当高的浪涌吸收能力. 当 TVS 的两端受到反向瞬态过压脉冲时, 能以极高的速度把两端间的高阻抗变为低阻抗, 以吸收瞬间大电流, 并将电压箝制在预定数值. 因此图 5 中 Z_L 上只有极小的电流流过, 其电压约为 TVS 管的工作电压. 由此可见, ESD 滤波器可有效抑制传导 ESD, 从而保护电路中的元器件免受损坏.

2.2 辐射 ESD 抑制方法

辐射 ESD 的抑制方法有电磁屏蔽和创建 ESD 地两种, 其中静电电磁屏蔽专门用来解决辐射性 ESD 问题, 通常采用专用的静电屏蔽材料, 如在比较敏感容易受到辐射 ESD 干扰的器件上加屏蔽膜等方法. 电磁屏蔽利用的原理是等电位体原理, 静电膜形成的一个封闭空间即为相应的等电位体空间, 由于该空间内的场强大小为 0, 所以当将敏感器件、敏感电路模块等置于其中时, 敏感器件和敏感电路模块等可以避免受到空间辐射所形成的强电磁场影响.

抑制辐射 ESD 的另一种方法为构造 ESD 地. 在高频的静电电流下, PCB 与大地之间不可避免的存在分布电容, 且该分布电容数值一般较大, 不利于电路板上电流的泄放. 在 PCB 板和底壳间布一层屏蔽膜即形成了 ESD 地, PCB 板与大地间的分布电容即转变成 PCB 板与 ESD 地间的电容和 ESD 地到大地间的电容串联. 显然, 后者提供的总电容更小, 给静电放电电流提供了电阻力更小的泄流途径, 因而静电放电能最终会通过该电容进入大地, 最后被消耗掉而不会影响设备的正常工作, 泄流原理如图 6 所示.

3 实验结果与分析

根据以上分析, 对某专变采集终端进行标准静电测试, 如图 7 所示.

该设备能通过 15 kV 的空气式放电, 但未通过 8 kV 的接触式放电和 8 kV 的耦合板实验. 实验采取的措施有: 加 ESD 滤波器, 选取滤波器中 TVS 型号为 P6KE6.8CA, 同时改善 PCB 板的接地以抑制传导 ESD; 在敏感器件(主要集中在控制板)上加电磁屏蔽膜, 并在 PCB 板与底壳间布置一层屏蔽膜形成 ESD 地, 从而更有效的降低辐射 ESD 对设备的影响. 根据国家标准 GB/T 17626.2—2006 对改进的设备进行测试, 表 1 为采取各种措施后的实验结果.

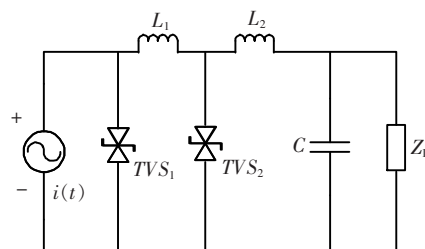


图 5 ESD 滤波器抑制电路

Fig.5 The circuit with ESD filters

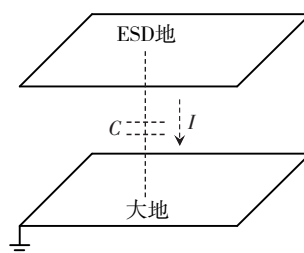


图 6 ESD 地与大地之间的分布电容泄流原理

Fig.6 The distribution capacitor discharge principle between ESD ground and the earth



图 7 实验测试图

Fig.7 Test figure

表 1 采取各种措施的测试结果
Table 1 Test results of various measurements

采取的措施	测试结果		
	耦合板式/8 kV	接触式/8 kV	空气式/15 kV
无	未通过	通过	未通过
加 ESD 滤波器	通过	通过	未通过
增加 ESD 地	通过	通过	未通过(能承受的最大测试电压有一定增加)
电磁屏蔽	通过	通过	未通过(能承受的最大测试电压有一定增加)
ESD 地、电磁屏蔽	通过	通过	通过

接触式放电问题是由于空间电磁场强较大,缺乏快速有效的静电泄流路径和敏感器件受空间电磁场影响较大所造成。通过加 ESD 滤波器和改善接地进行抑制后,该设备通过了 8kV 的接触式放电。耦合式放电属于辐射 ESD 问题,加 ESD 地后,能提供快速有效的泄流路径,但是敏感器件仍受空间强电磁场强的影响,因此,耦合板放电能承受的最大测试电压有所增加,但未能通过。但仅采取电磁屏蔽方法时,虽敏感器件得到了保护,但是系统缺乏快速有效的泄流路径,因此测试也不通过。同时加 ESD 地和电磁屏蔽后,系统存在快速有效的泄流路径,且敏感器件得到保护,从而该设备通过了所有测试。

4 结论

本文从传导和辐射两个方面,较为全面地分析了静电放电的干扰机理。根据不同的静电放电机理,从静电放电波形出发,对传导 ESD 设计出一种新型 ESD 滤波器并分析了其工作原理。此外,运用改善接地的方法,从而为电路中的静电放电电流提供快速有效的泄流路径;对辐射 ESD 采用加屏蔽和 ESD 地的方法,降低辐射场对电子设备的干扰,从而提高设备的静电抗扰度性能并将研究方法运用到具体实验中。按照静电放电抗扰度试验国家标准 GB17626.2—2006 对改进后的产品进行了标准测试,产品完全通过标准测试。

[参考文献] (References)

- [1] 刘尚合,周万珍,孙秋红. 静电放电电磁脉冲理论建模与作用机理研究进展[J]. 河北科技大学学报,2005,26(2): 87-93.
Liu Shanghe, Zhou Wanzhen, Sun QiuHong. Modeling of electrostatic discharge electromagnetic impulse theory and the development of the study of function mechanism [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2005, 26(2): 87-93. (in Chinese)
- [2] Tabata Y, Tomita T. Malfunctions of high impedance circuit s caused by electrostatic discharges [C]// Industry Applications Society Annual Meeting. Japan: Tokyo, 1988: 1 578-1 583.
- [3] International Electrotechnical Commission. IEC 61000-4-2 Electromagnetic compatibility (EMC) -part 4-2: testing and measurement techniques electrostatic discharge immunity test [S]. Geneva: International Electro-technical Commission, 2002.
- [4] 周星,魏光辉,张希军. ESD 辐射场的计算及对传输线的耦合研究[J]. 高电压技术,2008,34(4): 670-673.
Zhou Xing, Wei Guanghui, Zhang Xijun. Calculation of ESD radiation fields and coupling of ESD EMP to a transmission line [J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(4): 670-673. (in Chinese)
- [5] 赵阳 See K Y. 电磁兼容基础与应用[M]. 北京: 中国机械工业出版社, 2006: 68-78.
Zhao Yang, See K Y. Fundamental of Electromagnetic Compatibility and Application [M]. Beijing: China Machine Press, 2006: 68-78. (in Chinese)
- [6] 褚鹏超,娄鑫霞,颜伟,等. 电子计量产品接触式静电放电的接地改良研究[J]. 电子质量,2010(12): 75-77.
Chu Pengchao, Lou Xinxia, Yan Wei, etc. Study on grounding improvement of contact electrostatic discharge for an electronic scale [J]. Electronics Quality, 2010(12): 75-77. (in Chinese)
- [7] 赵阳,褚鹏超,朱志毅. 电子设备静电放电抗扰度性能优化研究[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版,2011,11(2): 1-3.
Zhao Yang, Chu Pengchao, Zhu Zhiyi. Research on the ESD immunity performance of a weighing controller [J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2011, 11(2): 1-3. (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]