

电磁兼容中的抗静电研究及其在汽车 CAN 总线控制系统中的应用

姜宁秋, 赵 阳, 尹海平, 李世锦, 沈雪梅

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 现阶段大量的静电放电问题严重影响了电子设备的正常工作. 首先分析了静电放电的形成及干扰机理, 介绍了 ESD 的测量方法. 在对汽车 CAN 总线控制系统进行防静电测试中, 出现了测试电压调高后部分指示灯工作异常的情况. 针对存在的问题, 分析了其产生的原因并提出了几种解决方案, 同时给出了部分解决方案的试验结果. 结果验证了提出的解决汽车 CAN 总线控制系统静电问题的有效性.

[关键词] ESD, CAN 总线, 抗静电

[中图分类号] TN 305 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2008)02-0010-05

Study of Static Discharge and its Use in CAN Bus Controlling System

Jiang Ningqiu Zhao Yang Yin Haiping Li Shijin Shen Xuemei

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract Nowadays a lot of problems produced by static discharge have a great influence on the normal performance of electronic equipments. First, this paper analyzed the formation and interference mechanism, and introduced the test method of ESD. In the ESD test on the CAN bus body system and equipments of bus, it appeared that some indicator lights worked abnormally when test voltage is advanced. The reasons of the static problems analyzed and some resolving measures are suggested, and at the same time, the experimental results of partial resolving measures are given. These results validated the effectiveness of the proposed measures of solving static problems of CAN bus body system controlling system and equipments of bus.

Key words ESD, CAN bus, anti-static electricity

静电对电子设备的干扰, 特别对采用集成电路的电子设备的干扰, 以及对电子设备中的器件损坏等问题越来越引起关注. 它可以通过多种途径进入电子设备, 使设备工作不正常, 甚至损坏. 随着电子技术的飞速发展, 高速、低能耗和超大规模集成电路的大量使用, 电子设备对电磁干扰的敏感程度也大大提高. 静电放电是电磁干扰中的一种, 关于静电放电形成的机理、危害、测试和防护设计的问题, 已成为电子工程、电气工程及系统控制工程可靠性的重要课题之一. 静电放电也开始作为电子设备的电磁兼容测试的一项重要内容写入国家标准和国际标准.

1 ESD 的形成及干扰机理

1.1 静电放电的形成

关于静电放电, 国家标准是这样定义的: 具有不同静电电位的物体互相靠近或直接接触引起的电荷转移, 用 ESD 表示. 一般由以下两种途径产生静电:

(1) 摩擦带电. 当两种不同介电常数的材料相互摩擦时, 由于摩擦运动, 其中的一种材料把电荷传给了另一种材料, 由此在这两种材料中产生了静电. 摩擦产生的电荷大小与空气相对湿度、摩擦材料的介电常数、两种材料的相对运动速度及两者的压力等有关. 表 1 列出了静电电压产生的几种方式.

静电出现在物体的表面, 而不是物体的内部. 由此, 绝缘体中的电荷仅保持在产生静电的那些区域, 而

收稿日期: 2007-06-20

基金项目: 中国博士后基金 (2004036147)、江苏省博士后资助计划基金 ([2004] 300) 和南京师范大学优秀青年教师教学科研奖励计划 ([2005] 43) 资助项目.

通讯联系人: 姜宁秋, 讲师, 研究方向: 电磁兼容和电力电子技术. E-mail: jiangningqiu@njnu.edu.cn

不会出现在整个表面. 因此, 绝缘体的接地点不在那些区域时, 那些区域上的电荷不会失去. 与绝缘体相反, 充电导体接地便会失去自身电荷.

(2) 感应带电. 感应带电就是带电荷物体的电场在临近的物体上造成电荷的分离, 靠近带电物体会出现与该电荷极性相反的感应电荷. 事实上, 只要物体带有电荷就会在其周围产生静电场, 就会使周围的物体感应带电. 导体带电电压超过它们之间的空气或其他绝缘介质的击穿电压时, 就会产生电弧. 电弧将持续直到两个导体接触短路或者电流低到不能维持电弧为止. 表面静电感应电荷 Q_s 可以用下面的公式表示:

$$Q_s = \iint \epsilon_0 E \, ds$$

式中, s 为受静电感应物体的表面积; E 为该表面的电场强度; ϵ_0 为真空介电常数.

这个感应电荷与带电体的总电荷相比虽然比较小, 但是在一般情况下不应忽略, 而且电位也会因为受静电感应而上升, 有时也可达数十千伏.

1.2 静电放电的干扰机理

当两个带静电的物体或一个带静电的物体与不带电的导体靠近或接触时, 就会发生静电放电现象. 静电放电电流一般具有很高的幅度和很短的上升沿, 这样就会在放电电流附近产生强度大、频谱宽的电磁场, 电磁场的频率取决于放电电流的上升沿, 上升沿越短, 产生的电磁场的频率越高, 越容易产生干扰. 放电时产生的放电电流及其电磁场经传导和辐射耦合进入电子设备, 如图 1 所示, 引起电子设备的故障或损坏, 尤其是计算机芯片、集成电路等.

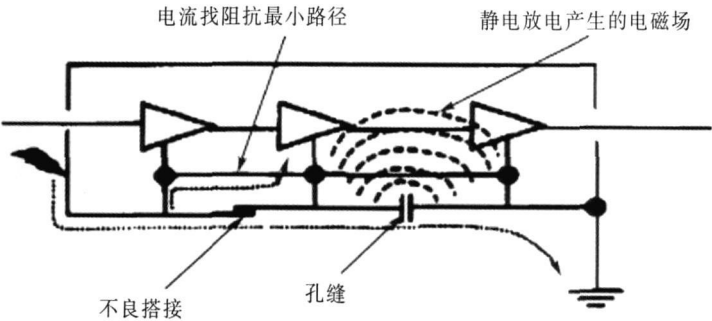


图 1 静电放电对电路产生干扰的机理
Fig.1 The mechanism of interference on circuit by static voltage

静电放电两种主要的破坏机制是: 由于 ESD 电流产生的热量导致设备的热失效; 由于 ESD 感应出高的电压导致绝缘击穿. 两种破坏可能在一个设备中同时发生, 例如, 绝缘击穿可能激发大的电流, 这又进一步导致热失效.

2 ESD 测量

2.1 测量过程

静电放电测量分为两种: (1) 接触放电, (2) 气隙放电. 依据测试环境和测试条件, 静电放电可分为 4 种测试等级, 如表 2 所示, 测试电压越高, 对测试设备的要求也越高.

由于静电放电试验有时可能造成被测试设备性能变坏甚至造成损坏, 所以在进行静电放电测量以前应先提出测试计划, 包括确定典型的测试条件、测试程序、测试方式 (接触或气隙放电)、合适的实验点, 严酷度等级、静电放电脉冲数目等. 试验点应选择在被测设备正常工作时操作人员可能接触的地方.

试验时, 测试电压应由低逐渐加高到要预选的电压等级, 在预选的试验点上进行单次放电, 每个放电点上至少进行 10 次, 并取测试点最敏感的极性.

对接触式放电, 单次放电的时间间隔为 1 s. 在选择放电点时, 应该用枪以 20 次 / s 以上的放电速率, 在试品表面扫描一遍, 然后选择最敏感点进行静电放电试验. 在放电开关合上之前, 放电电极必须接触到被测

表 1 典型静电电压
Table 1 Typical static voltage

静电产生方式	静电电压 /V	
	相对湿度 (10% ~ 20%)	相对湿度 (65% ~ 90%)
在地毯上行走	35 000	1 500
在乙稀树脂地板上行走	12 000	250
在工作台上工作	6 000	10
打开乙稀树脂封装时	7 000	600
拾起通用的聚乙烯提包时	20 000	1 200
坐在带有聚氨基酸脂泡沫的椅子上	18 000	1 500

表 2 静电放电测试电压等级表
Table 2 The test voltage of static discharge

等级	接触放电 /kV	空气放电 /kV
1	2	2
2	4	4
3	6	8
4	8	15

体,对表面涂有非绝缘漆层的被测体可直接放电.

对气隙放电测试,放电电极的尖端应尽可能迅速地接近被测体表面,放电后迅速移开电极.

2. 2 测量仪器

测量所用的是苏州泰斯特科技有限公司的 ESD - 20 静电放电测试仪器,如图 2 所示,其主要技术指标如下: (1)充电电压范围为 0~ 20. 00 kV; (2) 静电极性为正或负; (3) 放电频率为单次、20 次 /s,按设定的放电次数放电或连续放电; (4) 计数器为 4 位计数器 (用于计数放电); (5)放电电极为圆锥形接触电极及球形气隙放电电极; (6)使用电源为单相 AC170~ 250 V, 50/60H z

3 汽车 CAN 总线控制系统的防 ESD 技术

3. 1 存在问题

汽车车身控制系统采用 CAN 技术,从车头到车尾仅用两根信号线就实现对整车电气系统的控制,减少了整车线束,减轻车重,大大降低汽车故障率.目前已经实现了所有灯光、倒车蜂鸣器、前后雨刮、前后洗涤、喇叭、中控锁、后除霜、燃油泵及所有相关操作开关的控制.对于汽车 CAN 总线车身控制系统及仪表的防静电测试,首先将电压调为 2 kV,对其中一控制模块接触放电,各指示灯正常工作,不受任何影响.将电压逐渐调高,直到 4 kV 时,前控左模块中的冷启动开关指示灯熄灭,但几秒钟后自行恢复.左前小灯也发生异常,但是短时间内也能恢复.测试过程中各指示灯的工作情况如图 3 所示.



图 2 ESD-20 静电放电测试仪器

Fig.2 ESD-20 static discharge test instrument

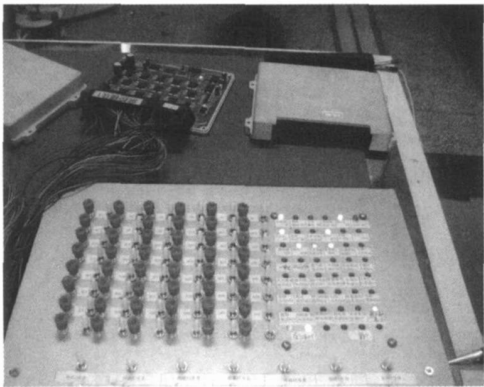


图 3 测试过程中指示灯的工作情况

Fig.3 The state of indicator light in test

3. 2 原因分析

针对汽车 CAN 总线车身控制系统及仪表的 ESD 测量中产生的问题,分析了其可能产生的原因. (1) 电流热效应: ESD 电流通过芯片虽然时间短,但是电流大,产生的热量导致热失效. (2) 高压击穿: 由于 ESD 感应出高的电压,导致绝缘击穿;芯片耐压不够,被击穿. (3) 电磁辐射: ESD 脉冲所导致的辐射波长从几厘米到数百米,这些辐射能量产生的电磁噪声将损坏电子设备或者骚扰它们的运行. (4) 输入输出线缆的影响.

3. 3 解决方案

防 ESD 的原理: 消除产生 ESD 的源; 隔离导体,阻止放电; 为放电电流提供替换通路,使其旁路; 屏蔽电路,以阻止由放电产生的电场进入; 保护电路,以阻止有放电产生的磁场进入. 针对以上原因,依据防 ESD 原理,我们提出以下解决方案,来达到预防减少目的:

3 3 1 防击穿的解决方案

① 金属壳接地,金属壳与电路板共同接地; ② 加接地金属板,即二次屏蔽层. 在 PCB 上方加一接地金属板,则静电经过该金属板直接流入大地,而不对 PCB 产生影响; ③ PCB 地板加接静电板,PCB 地板加接一层静电板,其面积比 PCB 大,其四周与 PCB 直接连接,这样静电通过其四周流入大地,而减少对 PCB 的影响; ④做塑料外壳,内层涂导电漆或金属纤维.

3 3 2 防大电流的解决方案

① 加滤波器. 旁路电容可以旁路一部分静电,通过加磁珠也可以阻碍静电流入 PCB,在信号线上安装由共模滤波电容构成的滤波器对于减少电缆辐射是非常有用的,同时,对于减少电缆上静电放电造成的干

扰也是有效的. 当电缆上发生静电放电时, 该共模电容能够将静电放电电流旁路到机箱, 避免流到电路, 如图 4 中的 I_1 , 但是, 当机箱上发生静电放电时, 该电容也会将电流引入电路, 如图 4 中的 I_2 . 为避免这种情况的发生, 可以在旁路电容与线路板之间串联一个铁氧体磁珠增加流向线路板路径的阻抗, 减小机箱上流进电路的电流, 如图 5 所示.

② 信号地与机箱单点连接. 如果电路与机箱连在一起, 则只应通过一点连接, 可防止电流流过电路, 否则机箱上的电流会流进电路, 造成干扰, 如图 6 所示将信号地与机箱连接起来的另一个意义是当机箱上发生静电放电时, 机箱的电位升高, 由于线路板与机箱连接在一起, 电路板的电位也同时升高, 从而防止了线路板与机箱之间的二次放电. 接地点选择在电缆入口处, 如图 7 所示. 这样电缆另一端传过来的干扰可以被消除掉, 否则放电电流会流过线路板而导致干扰, 如图 8 所示.

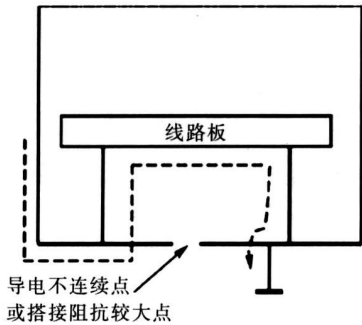


图 6 信号地与机箱单点连接
Fig.6 The signal ground connected with crust of machine in one point

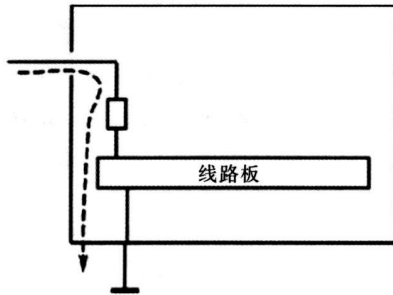


图 7 由电缆过来的干扰电流不会流进线路
Fig.7 The interference current from cable will not inpour the circuitry

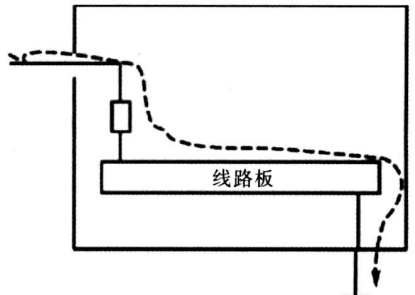


图 8 由电缆过来的干扰电流流进线路
Fig.8 The interference current from cable will inpour the circuitry

③ 在静电放电 (ESD) 敏感双极元器件的输入端, 外接由一个电阻值较大的电阻器和一个容量不小于 100pF 的电容器组成的 RC 网络, 以降低静电放电 (ESD) 的影响. 如: 铁氧体磁珠.

④ 在 MOS 器件的每个输入端外部串联电阻器.

3.3.3 防电磁辐射的解决方案

① 对于不是完全密封, 有孔或缝隙的金属外壳, 应做相应处理, 防止电磁辐射的影响. 为解决“孔洞/缝隙进入的电磁辐射会对电路产生影响”这个问题, 可以通过增加缝隙深度, 用几个小孔代替一个大孔, 在金属构件的结合处使用电磁密封衬垫减小或消除缝隙等措施, 加大辐射 EMI 的衰减. 在结构和电气设计时, 要使敏感电路, 电缆远离孔洞/缝隙.

② 减小 PCB 上回路面积有助于减少电磁辐射的影响. 电磁辐射产生的电动势正比于回路面积, 回路面积减小, 则电动势减少, 电磁能量也减小, 从而使干扰降低. 双层电路板可设计优秀的接地网.

③ ESD 脉冲的预防, 采用过压钳位装置, 如图 9 所示. 或背对背二极管设计, 防止误动作, 如图 10 所示.

3.3.4 对输入输出线缆的处理

① 电缆应尽量采用屏蔽电缆, 采用 360° 搭接. 一个正确设计的电缆保护系统, 可能是提高系统抗 ESD

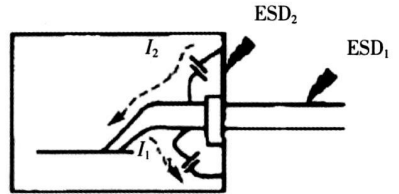


图 4 信号线上安装共模滤波器
Fig.4 CM filter fixed on signal line

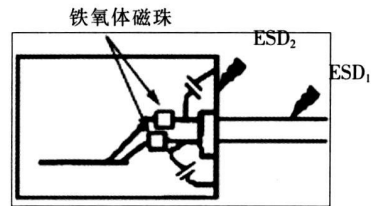


图 5 信号线上安装共模滤波器和铁氧体磁珠
Fig.5 CM filter and ferrite magneton fixed on signal line

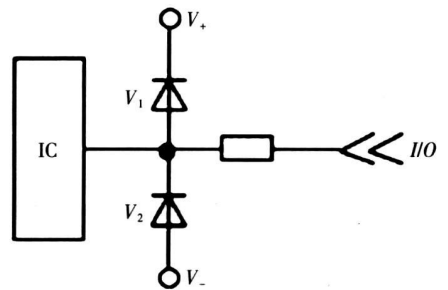


图 9 过压钳位装置
Fig.9 The voltage suppressor

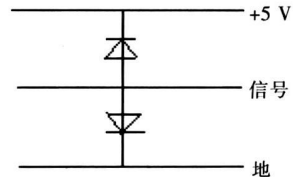


图 10 背对背二极管设计
Fig.10 The design of back to back diodes

扰的关键. 为减小辐射 EM I 耦合到电缆, 线长和回路面积要尽量小, 电缆应尽量采用屏蔽电缆, 两个机箱之间通过屏蔽电缆互连时, 通过电缆的屏蔽层将两个机箱连接在一起, 电缆屏蔽层与机箱应尽可能采用 360° 搭接, 以保持低阻抗. 这样可以使两个机箱的电位同升同降, 其电位差尽量小.

② 加共模扼流圈. 防止一台机箱发生静电放电时较高的共模电压传到另一台机箱, 在互连电缆上安装一个共模扼流圈可以使静电放电造成的共模电压一部分降在扼流圈上, 而不是全部降在另一端的电路上. 由于静电放电电流的上升时间很短, 因此扼流圈的寄生电容必须最小化.

③ 电缆旁路滤波器 (500pF 旁路电容).

3.4 实验结果

(1) 将电路板外壳拆开, 外壳一半覆盖控制电路板, 对外壳表面打静电, 发现影响明显减小, 如图 11 所示, 只有极少数指示灯受到影响.

(2) 外壳接 PCB 的地 (铜箔相连), 影响也明显较小, 但是如果接电源地则无任何变化, 如图 12 所示.

如果外壳直接接 PCB 地, 则等电势, 无二次干扰, 如接电源地, 则外壳可能与 PCB 有电势差, 产生感应, 形成二次干扰.

4 结论

静电放电严重影响了汽车 CAN 总线车身控制系统及仪表的正常工作, 本文基于对 ESD 形成及其干扰机理的研究, 针对测量过程中出现的问题, 提出了有效的解决方案, 提高了汽车 CAN 总线车身控制系统及仪表的抗静电能力.

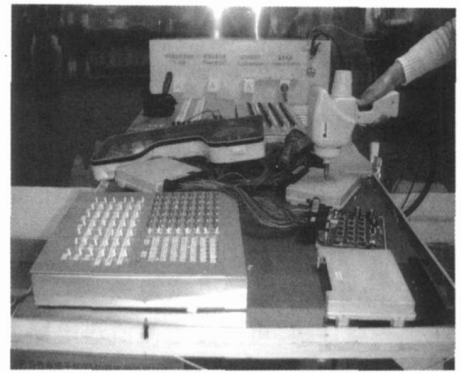


图 11 外壳覆盖一半 PCB 时的测试结果

Fig.11 The test results when the PCB is incumbent on the crust

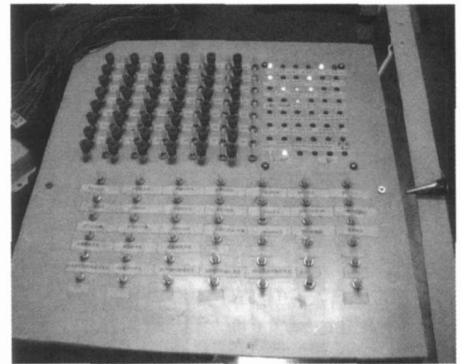


图 12 外壳接 PCB 的地后的测试结果

Fig.12 The test results when the crust connected with the PCB ground

[参考文献] (References)

- [1] 高保嘉, 贾淑文. 电力电子集成电路的静电放电 (ESD) 保护 [J]. 电力电子, 2006(5): 54-57.
Gao Baojia, Jia Shuwen. ESD protect of integrated circuits for power electronics[J]. Power Electronics 2006(5): 54-57. (in Chinese)
- [2] 李秀峰, 邱扬, 丁高. 静电放电及其防护设计 [J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(2): 9-12
Li Xinfeng, Qiu Yang, Ding Gao. Electrostatic discharge and protection[J]. Foreign Electronic Measurement Technology 2006, 25(2): 9-12 (in Chinese)
- [3] 杨继深. 电磁兼容技术之产品研发与认证 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004
Yang Jishen. Research and Certification of EMC Production[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2004 (in Chinese)
- [4] 邱扬, 刘鹏程. 电磁兼容原理及技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1993
Qiu Yang, Liu Pengcheng. Principle and Technology of EMC[M]. Beijing: Higher Education Press, 1993 (in Chinese)
- [5] 吴昱旻, 张金平, 张定会. 电路中的 ESD 保护 [J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 2560-2561.
Wu Yumin, Zhang Jinping, Zhang Dinghui. ESD protection in circuit[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(6): 2560-2561 (in Chinese)
- [6] 刘太明, 赵笑生. 基于 CAN 总线的高校实验室火灾报警系统 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2005, 5(6): 18-20
Liu Taiming, Zhao Fusheng. The fire alarm control system in the college laboratories based on the CAN bus[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2005, 5(6): 18-20 (in Chinese)
- [7] 雷磊, 周永平. ESD 对电子设备的危害及防护 [J]. 装备环境工程, 2007, 4(2): 81-84
Lei Lei, Zhou Yongping. ESD damage and protective method for electronic equipments[J]. Equipment Environment Engineering, 2007, 4(2): 81-84 (in Chinese)

[责任编辑: 刘健]