

静电冲击（ESD）的危害和相应的电路防护措施

李勇军

静电冲击（ESD）对电子设备的危害极大，欧洲从 1996 年就开始对电子设备抗静电冲击的能力提出了标准，未达标的产品在欧洲很难销售。半导体芯片制造商对 ESD 问题也倾注了很高的热情。对于那些与外界有接口的电路或芯片，如 RS-232、RS-485 串行接口、模拟开关等 IC，ESD 问题更显得重要。本文将讨论 ESD 的来源、造成的危害和相应的防护措施，以及如何测试集成电路的防静电冲击能力。

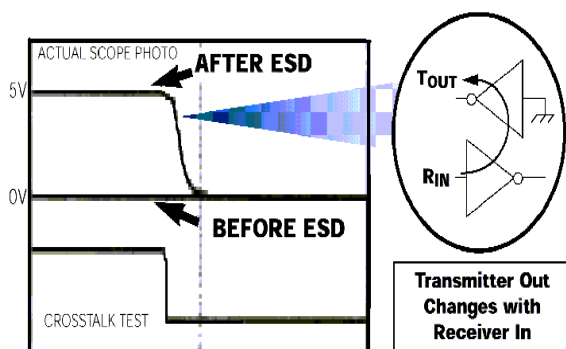
ESD 的来源及其危害

两种不同的材料进行摩擦后，可能一个带上正电荷，另一个带上负电荷，两者之间产生一定的电压差。电压的大小取决于材料的性质、空气的干燥度和其它一些因素。如果带静电的物体靠近一个接地的导体，会产生强烈的瞬间放电，这就是静电冲击（ElectroStatic Discharge）。一般来讲，带静电的物体在理论上可以简单模拟成一个被充电到很高电压的小电容。

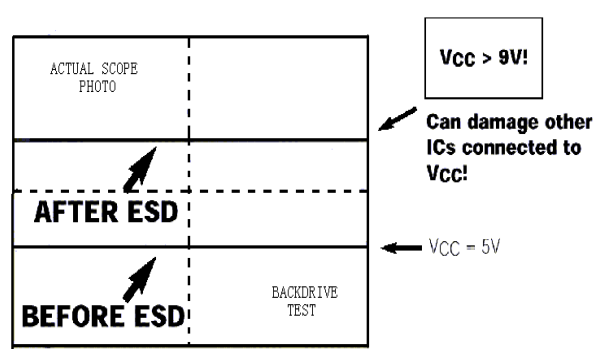
当集成电路（IC）经受 ESD 时，放电回路的电阻通常都很小，无法限制放电电流。例如将带静电的电缆插到电路接口上时，放电回路的电阻几乎为零，造成可高达几十安培的瞬间放电尖峰电流，流入相应的 IC 管脚。瞬间大电流会严重损伤 IC，局部发热的热量甚至会融化硅片管芯。ESD 对 IC 的损伤一般还包括内部金属连接被烧断，钝化层被破坏，晶体管单元被烧坏。

ESD 还会引起 IC 的死锁（LATCHUP）。这种效应和 CMOS 器件内部的类似可控硅的结构单元被激活有关。高电压可激活这些结构，形成大电流通道，一般是从 VCC 到地。串行接口器件的锁死电流可高达 1 安培。锁死电流会一直保持，直到器件被断电。不过到那时，IC 通常早已因过热而烧毁了。

对串行接口器件来说，ESD 会使 IC 工作不正常，通讯出现误码，严重的会彻底损坏。为分析故障现象，MAXIM 公司对不同厂家的 RS-232 接口器件做了 ESD 测试。一种故障现象是串扰，信号接收器接收到的信号干扰了发送器，造成误码（图 1）。另一种故障是在 IC 内部形成了一条反向电流通道，使接收器端口接收到的 RS-232 信号电平（±10V）回馈到电源端（+5V）。如果电源不具备吸收电流的稳压功能，过高的回馈电压会损坏其它由单电源（+5V）供电的器件（图 2）。



图一、接收信号在发送器输出端的反馈导致误码



图二、受ESD冲击损坏的IC会将信号馈送到电源

ESD 防护措施

对于串行接口器件，最简单的防护措施是在每条信号线上外加阻容元件。串联电阻能够限制尖峰电流，并联到地的电容则能限制瞬间的尖峰电压。这样做的成本低，但是防护能力有限。ESD 的破坏力在一定程度上得到抑制，但依然存在。因为阻容元件并不能降低尖峰电压

的峰值，仅仅是减少了电压上升的斜率。而且阻容元件还会引起信号失真，以致限制了通讯电缆的长度和通讯速率。外接的电阻/电容也增加了电路板面积。

另一种广泛使用的技术是外加电压瞬变抑制器或 TransZorb™ 二极管。这种防护非常有效。但仍有一些缺点：外加器件仍会增加电路板面积；防护器件的电容效应会增加信号线的等效电容；成本较高，TransZorb™ 二极管价格较贵（大约 25 美分/每个），典型的 3 发/5 收的 COM 端口需要 8 个 TransZorb™ 二极管，费用高达 \$2。

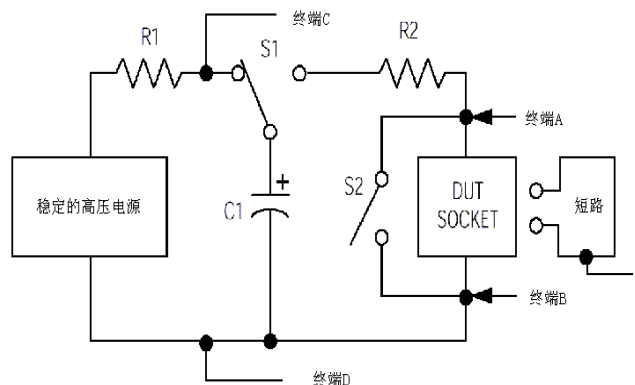
一种有效的方法是采用内部集成 ESD 防护功能的串行接口器件。这种器件比普通无防护功能的器件价格要贵，但增加的费用比起外加防护二极管的费用要低。内部集成的 ESD 防护电路不会增加任何输入输出管脚的等效电容，也节省了电路板面积。MAXIM 公司近几年发展了享有专利的集成 ESD 防护技术，并提供全系列的 ESD 防护串行接口器件，包括与标准器件完全兼容的产品。MAXIM 公司还将同样的技术应用到模拟开关和开关去抖产品中。所有这些器件的 ESD 防护能力都符合 ±15kV IEC1000-4-2（气隙放电），±8kV IEC1000-4-2（接触放电），±15kV 人体模型（HBM）测试标准。表一列出了 MAXIM 公司的具有抗静电功能的器件。

表 1—MAXIM 公司的抗静电器件：

分类	型号	电源电压 (V)	Tx/Rx	电源电流 (uA)	自动关断增强	自动关断	HBM (kV)	IEC1000-4-2 (Contact)	IEC1000-4-2 (Air Gap)	通讯速率 (kbit/s)
RS-232	MAX3241E	+3...+5.5	3/5	300	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	250
RS-232	MAX3243E	+3...+5.5	3/5	1	-	YES	+/-15	+/-8	+/-15	250
RS-232	MAX3245E	+3...+5.5	3/5	1	YES	-	+/-15	+/-8	+/-15	1000
RS-232	MAX3232E	+3...+5.5	2/2	300	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	250
RS-232	MAX3224E	+3...+5.5	2/2	1	YES	-	+/-15	+/-8	+/-15	250
RS-232	MAX3225E	+3...+5.5	2/2	1	YES	-	+/-15	+/-8	+/-15	1000
RS-232	MAX3226E	+3...+5.5	1/1	1	YES	-	+/-15	+/-8	+/-15	250
RS-232	MAX3227E	+3...+5.5	1/1	1	YES	-	+/-15	+/-8	+/-15	1000
RS-232	MAX202E	+5	2/2	8000	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	120
RS-232	MAX211E	+5	4/5	14000	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	120
					半双工	全双工				
RS-485	MAX485E	+5	Transc	500	YES	-	+/-15	+/-8	+/-15	2500
RS-485	MAX491E	+5	1/1	300	-	YES	+/-15	+/-8	+/-15	2500
RS-485	MAX3485E	+3...+3.6	Transc	1000	YES	-	+/-15	+/-8	+/-15	10000
RS-485	MAX3491E	+3...+3.6	1/1	1000	-	YES	+/-15	+/-8	+/-15	10000
RS-485	MAX3095	+5	0/4	2500	-	YES	+/-15	+/-8	+/-15	10000
RS-485	MAX3096	+3...+3.6	0/4	2500	-	YES	+/-15	+/-8	+/-15	10000
			配置							
模拟开关	MAX4551	+2...+12 +/-2...+/-6	4 NC	1	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	-
模拟开关	MAX4552	+2...+12 +/-2...+/-6	4 NO	1	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	-
模拟开关	MAX4553	+2...+12 +/-2...+/-6	2 NO 2 NC	1	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	-
去抖器	MAX6816	+2.7..+5.5	Single	20	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	-
去抖器	MAX6817	+2.7..+5.5	Dual	20	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	-
去抖器	MAX6818	+2.7..+5.5	Octal	20	-	-	+/-15	+/-8	+/-15	-

ESD 测试程序及标准

为保证 ESD 测试的一致性，应采用标准测试电路（图 3）。输出可调的高压源通过高阻值电阻对电容充电，切换开关 S1 或利用静电枪使充好电的电容通过一个放电电阻对被测器件进行放电。电容、充电电阻、放电电阻根据不同的测试标准而取不同的值（表 2）。



图三、人体模式和 IEC1000-4-2 标准测试电路

表 2—测试电路元件值：

元件	人体放电模式	IEC1000-4-2
充电电阻 R_1 ()	1M to 10M	50M to 100M
放电电阻 R_2 ()	1500 \pm 1%	330
电容 C_1 (pF)	100 \pm 10%	150

一个有效的 ESD 测试应在最高测试电压以内的整个电压范围进行。因为有些 IC 可能在 10kV 时通过了测试，但在 4kV 时反而被 ESD 打坏了，这样的 IC 实际上没有抗静电能力。人体模型和 IEC1000-4-2 标准规定在测试电压范围内必须以 200V 为一个间隔进行测试，而且要同时测试正负电压。也就是说，从 $\pm 200V$ 开始测试， $\pm 400V$ ， $\pm 600V$ ，一直到最高测试电压。对 IC 的所有可能的工作模式都应分别进行完整的 ESD 测试。包括上电工作状态，断电停机状态，如果串行接口器件有自动关断休眠模式，还应对这一状态再进行一次 ESD 测试。所有相关的测试标准和程序都规定，在每个测试电压点，对被测引脚应连续放电 10 次，考虑到正负电压都要测，实际要放电 20 次。每一轮放电完成后，应测量被测器件的相应参数，判断器件是否损坏。对于串行接口器件（RS-232，RS-485）应遵循以下判据：

- 电源电流是否正常（电源电流增加一般意味着发生了器件死锁）
- 信号发送输出端的输出电平是否仍在参数规格范围内
- 信号接收输入端的输入电阻是否正常（一般在 $3k\Omega$ 到 $7k\Omega$ 之间）

只有这些指标都合格，才转到下一个电压测试点。在所有电压点都测试完以后，还应对 IC 做全面的功能测试，测量 IC 的每个参数是否仍在参数规格书定义的范围之内。只有通过所有这些 ESD 测试，仍能正常工作，未损坏的 IC 才是真正的抗静电 IC。

需要注意的是，ESD 测试仪一般可按相应标准完成 ESD 测试程序，但并不能判断 IC 的好坏。有些 ESD 测试仪自带了一些参数测量功能，但因不是针对特定器件的参数测量，只是一般的测试手段，只能作为一个参考。严格的测试仍应按以上所述的测试程序和测试判据进行。

射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训推荐课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术,内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计,最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计,以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计;通过该套课程的学习,可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计,以及天线及其匹配电路的设计和调试...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



WiFi 和蓝牙天线设计培训课程

该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP) 公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像,课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结,主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用,匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识,以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您,绝对值得拥有和学习! ...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>



CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>