

静电的简单介绍

静电多由绝缘体物体间互相磨擦或干燥空气与绝缘物磨擦产生.当它能量积累到一定程度,妨碍它中和的绝缘体再也阻挡不住时,即发生剧烈放电,即静电放电(ESD),这时的最高电压可达几千乃至几万伏.势必对静电敏感组件造成损害

生活,生产中静电可谓无处不在,无时不在,从举手投足间服装的磨擦,到干燥空气的流动,都是静电产生的原因.如果条件适宜,瞬间即可实现.这些都对CMOS等静电敏感电路造成极大威胁,更不用说设备漏电造成的危害了,因此电子行业尽一切努力进行静电防护.

.

静电放电和电气过载

- 设备漏电,尤其是不会对人造成触电伤害的微小漏电并不属于静电.虽然大多数情况下人们几乎感觉不到,但由于其普遍性(任何电器设备多少总有些漏电)和高内阻的特点,产生最高近似于电源电压(100~400V),时间很短的尖峰电脉冲,仍足以对静电敏感器件造成电气过载(EOS)损害.所以也是静电防护体系中极为重要的一个方面.

静电放电(ESD)及电气过载(EOS)对电子元器件造成损害的主要机理有:热二次击穿;金属镀层熔融;介质击穿;气弧放电;表面击穿;体击穿等.

- ESD/EOS的特殊性:一是静电的产生和积累要一定的条件和过程,所以未加保护也不见得件件产品都会受到ESD/EOS伤害,有一定的"偶然性";二是由于多数情况下ESD/EOS能量都较小,所以受到ESD/EOS伤害的也并不表现为立即报废,有些仅表现为漏电增加,工作不稳定,甚至在出厂测试中一时表现不明显,以后发现问题易归咎为材料不良或设计不良而不自省,因此常使人们认识不到ESD/EOS的危害,抱有侥幸心理

几种情况下的静电电压

生产现场易产生的静电

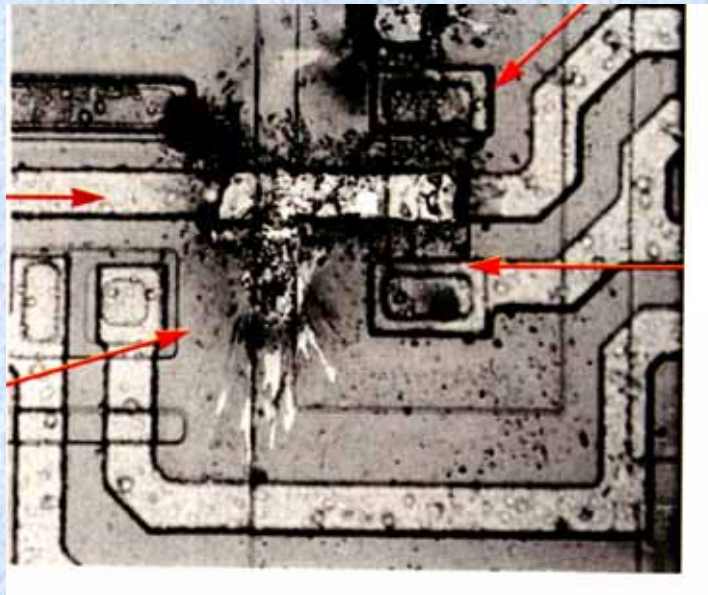
生产场合	静电电压	
	湿度10~20%	湿度65~90%
在地毯上走动时	35000V	1500V
在乙烯树脂地板上走动时	12000V	250V
手拿乙烯塑料袋装入器件时	7000V	600V
在流水线工位接触聚酯塑袋时	20000V	1200V
在操作工位与聚胺酯类接触时	18000V	1500V

静电对部分电子元件的击穿电压

器件类型	EOS/ESD的最小敏感度 (以静电电压V表示)
MOSFET	100~200
EPROM	100以上
运算放大器	190~2500
CMOS	250~3000
肖特基二极管	300~2500
双极型晶体管	380~7800
可控硅	680~1000
肖特基TTL	100~2500

静电的危害

- 下图是由于静电保护措施不合适，芯片内部被静电击穿的模样。
有数据统计40 - 50% 的客户返回的产品是由于静电问题造成的。
由于静电问题每年会造成数十亿美元的直接经济损失。



关于静电的相关标准

. 国际电工委员会的IEC 61000-4-2

Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 2: Electrostatic discharge immunity test. Basic EMC Publication

. 我国国家标准GB/T 17626.2《电磁兼容 试验和测试技术 静电放电抗扰度试验》

IEC 61000-4-2和GB/T 17626.2规定要求的最高试验电压是接触放电8kV, 空气放电15kV (不包括开放等级的特殊电压, 见下表)

表 1 试验等级

1a 接触放电		1b 空气放电	
等 级	试验电压 kV	等 级	试验电压 kV
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
× ¹⁾	特殊	× ¹⁾	特殊

1) “×”是开放等级, 该等级必须在专用设备的规范中加以规定, 如果规定了高于表格中的电压, 则可能需要专用的试验设备。

静电防止的主要方式

1. 铺设防静电地线和地板，防静电工作台.
2. 穿防静电服(衣, 鞋, 手套等), 电烙铁, 小锡炉, 测试仪器等用电设备的接地，戴防静电手环等.
3. 加装离子风扇，传送带加装防静电清洁辊，流水线上垫防静电海棉垫
4. 温度和相对湿度的调控.

以上措施是在生产场合宜采取的措施, 但是在用户使用产品的过程中, 也会由于种种原因产生静电, 对设备仪器等造成损害, 这就需要设计人员在设计产品时考虑进去, 那么在设计线路中加装的静电防护措施是非常必要的了.

电子产品的静电放电防护设计

保护电路

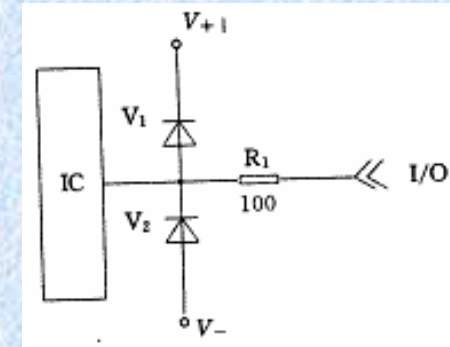
一个好的电子系统设备应该在电路设计的最初阶段就考虑瞬态保护要求。保护电路的基本原理是，使用电压箝位电路阻止高压进入，同时提供大电流分流通路。有多种电路设计可以达到ESD保护的目，但选用时必须考虑以下原则，并在性能和成本之间加以权衡：

- . 速度要快，这是ESD干扰的特点决定的；
- . 能应付大的电流通过；
- . 考虑瞬态电压会在正、负极性两个方向发生；
- . 对信号增加的电容效应和电阻效应控制在允许范围内；
- . 考虑体积因素；
- . 考虑产品成本因素。

一般来说，与外部设备连接的接口电路都需要加保护电路，具体的环节有：串行通信接口、并行通信接口、键盘接口、显示接口等。

常用的瞬态抑制保护电路

1. 箝位二极管保护电路。工作原理如右图所示。使用2只二极管同时抑制正、负极性的瞬态电压。瞬态电压被箝位在 $V_{++VPN} \sim V_{--VPN}$ 范围内. 利用现有电源的电压范围作为瞬态电压的抑制范围。适合静电放电强度和频率不十分严重的场合。



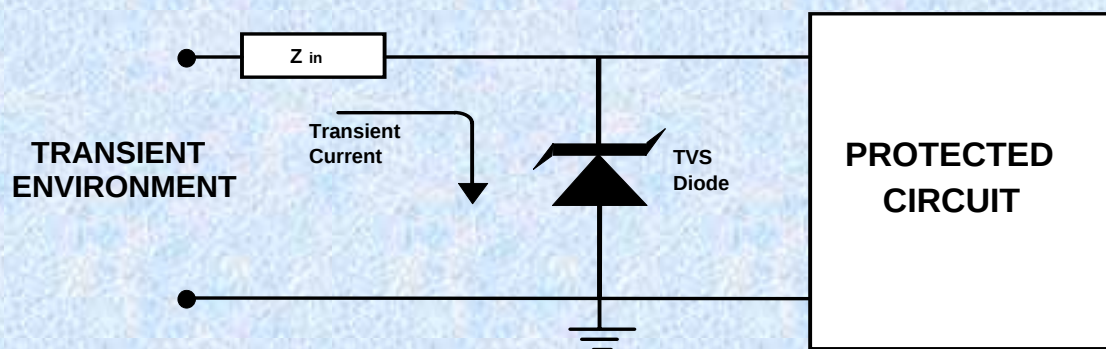
2. 压敏电阻保护电路。压敏电阻的阻值随两端电压变化而呈非线性变化。当施加在其两端的电压小于阈值电压时，器件呈现无穷大的电阻；当施加在其两端的电压大于阈值电压时，器件呈现很小电阻值。使用压敏电阻保护电路的特点是简单、可以获得较大的保护功率。

3. 背对背串接的稳压管保护电路。当瞬态电压超过V1的稳压值时，V1反向击穿，V2正向导通；当瞬态电压是负极性时，V2反向击穿，V1正向导通。

4. TVS（瞬态电压抑制器）二极管。是近几年发展起来的一种固态二极管，专门用于ESD保护。TVS二极管是和被保护电路并联的，当瞬态电压超过电路的正常工作电压时，二极管发生雪崩，为瞬态电流提供通路，使内部电路免遭超额电压的击穿或超额电流的过热烧毁。由于TVS二极管的结面积较大，使得它具有泄放瞬态大电流的优点，具有理想的保护作用。

TVS的应用

- 改进后的TVS二极管还具有适应低压电路（ $<5\text{ V}$ ）的特点，且封装集成度高，适用于在印制电路板面积紧张的情况下使用。其响应时间远小于 1ns ，有很低的箝位电压，经过多次ESD过程后不会劣化。这些特点决定了它有广泛的适用范围，尤其在高档便携设备的接口电路中有很好的使用价值。



- Semtech系列超小型瞬态电压抑制器是为手机、PDA、数字摄像机、家庭多媒体和其它便携式电子设备的静电释放保护而设计的。

SEMTECH TVS对电磁兼容的防护

SEMTECH的TVS器件可以同时满足多种电磁兼容的保护, 例如:

- IEC 61000-4-2 (ESD) 15kV (air), 8kV (contact)
- IEC 61000-4-4 (EFT) 40A (5/50ns)
- IEC 61000-4-5 (Lightning) 12A (8/20 μ s)

其对应的我国的国家标准分别为

GB/T 17626.2 1998 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.4 1998 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5 1998 浪涌（冲击）抗扰度试验

IEC61000—4—2 (GB/T17626.2) 静电放电抗扰度试验

试验目的: 试验单个设备或系统的抗静电干扰的能力

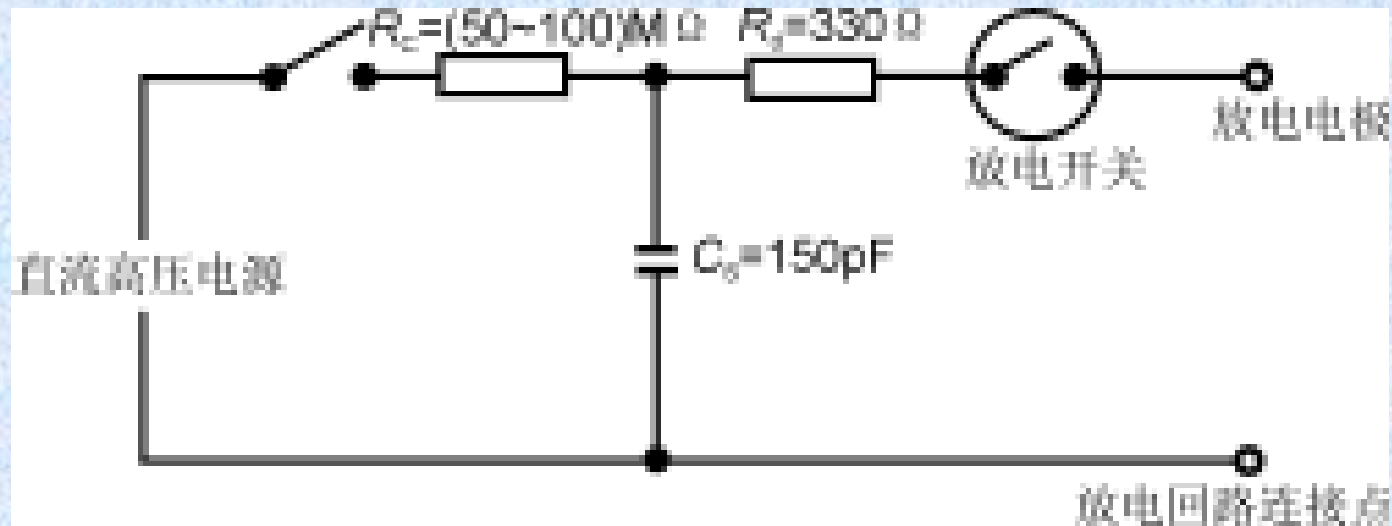
它模拟: (1) 操作人员或物体在接触设备时的放电。

(2) 人或物体对邻近物体的放电。

静电放电可能产生的如下后果:

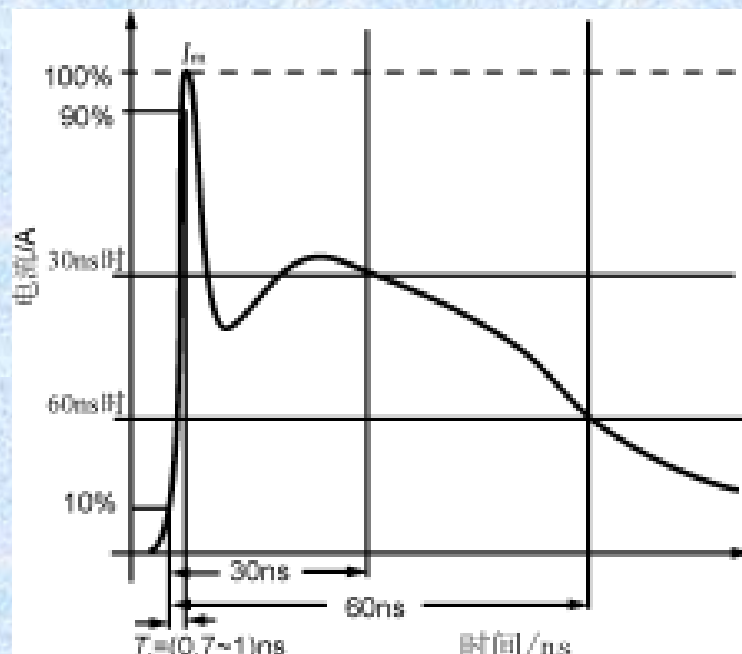
(1) 直接通过能量交换引起半导体器件的损坏。

(2) 放电所引起的电场与磁场变化, 造成设备的误动作。



静电放电发生器

静电放电的电流 波形和等级



静电放电的电流波形

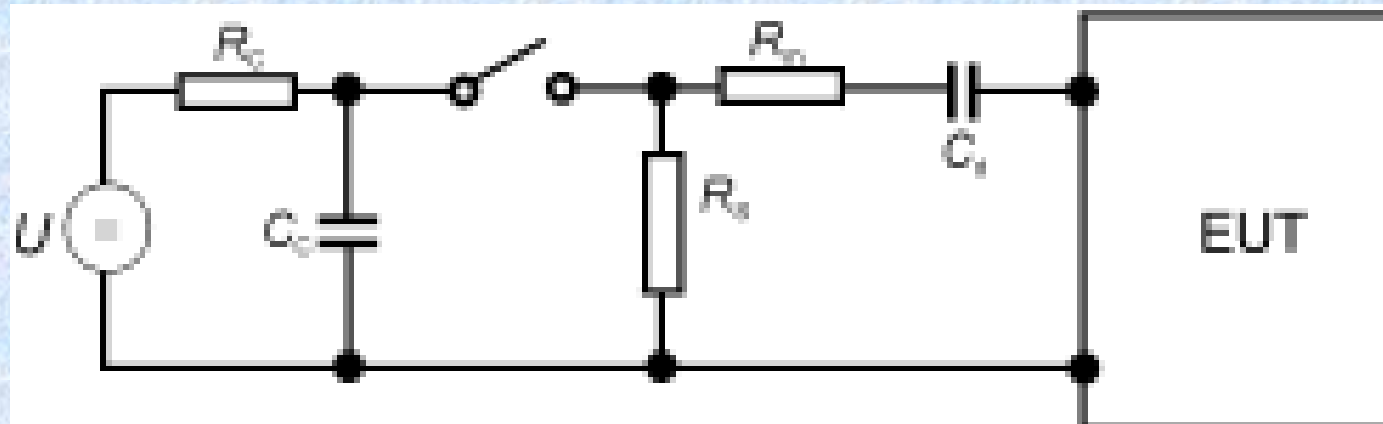
等级	空气放电试验电压 (kV)	接触放电试验电压 (kV)	放电的第一个峰值电流 (A)	在 30ns 时的电流 (A)	在 60ns 时的电流 (A)
1	2	2	7.5	4	2
2	4	4	15	8	4
3	8	6	22.5	12	6
4	15	8	30	16	8

试验等级及波形参数

图中 I_m 表示电流峰值，上升时间 $t_r = (0.7 \sim 1) \text{ ns}$ 。放电线路中的储能电容 C_S 代表人体电容，现公认 150 pF 比较合适。放电电阻 R_d 为 330Ω ，用以代表手握钥匙或其他金属工具的人体电阻。现已证明，用这种放电状态来体现人体放电的模型是足够严酷的。

IEC61000—4—4 (GB/T17626.4) 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

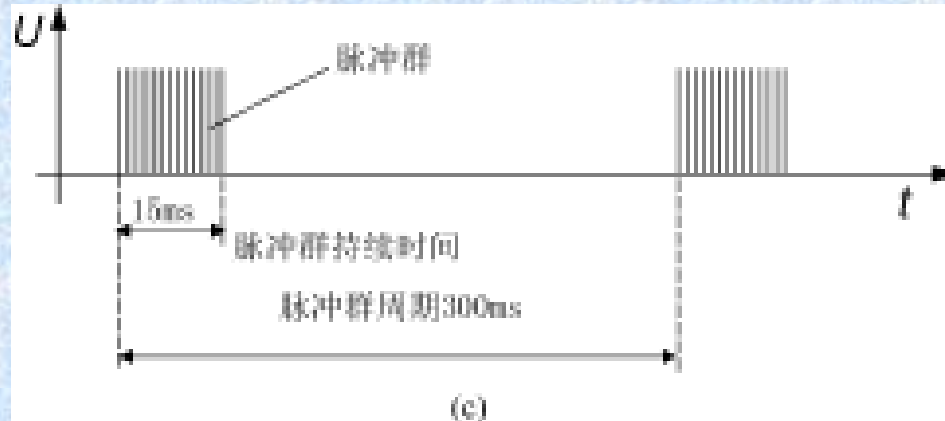
电快速瞬变脉冲群的起因及后果: 电路中, 机械开关对电感性负载的切换, 通常会对同一电路的其他电气和电子设备产生干扰。这类干扰的特点是: 脉冲成群出现、脉冲的重复频率较高、脉冲波形的上升时间短暂、单个脉冲的能量较低。实践中, 因电快速瞬变脉冲群造成设备故障的机率较少, 但使设备产生误动作的情况经常可见。



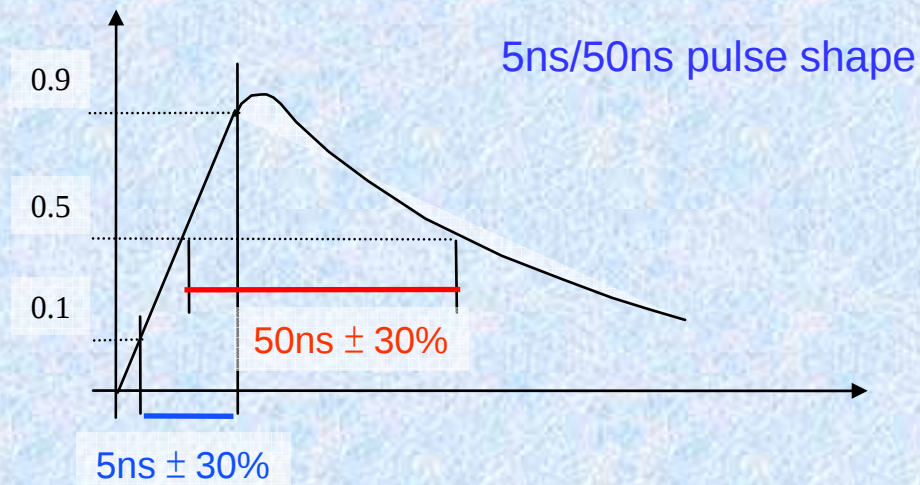
快速瞬变脉冲群发生器

U—高压电源 R_s —波形形成电阻 R_c —充电电阻
 R_m —阻抗匹配电阻 C_c —贮能电容 C_d —隔直电容

电快速瞬变脉冲群的抗扰度试验波形及参数



快速瞬变脉冲群概略图



接50欧姆负载时单个脉冲的波形图

脉冲的上升时间：（指10%～90%）： $5\text{ns} \pm 30\%$ ；
脉冲持续时间：（上升沿的50%至下降沿的50%）： $50\text{ns} \pm 30\%$ ；
脉冲重复频率：5kHz或2.5kHz；
脉冲群的持续时间：15ms；
脉冲群的重复周期：300ms；
发生器的开路输出电压（峰值）： $(0.25 \sim 4)\text{kV}$ ；
发生器的动态输出阻抗： $50\Omega \pm 20\%$ ；
输出脉冲的极性：正/负；

电快速瞬变脉冲群的抗扰度试验等级

试验等级

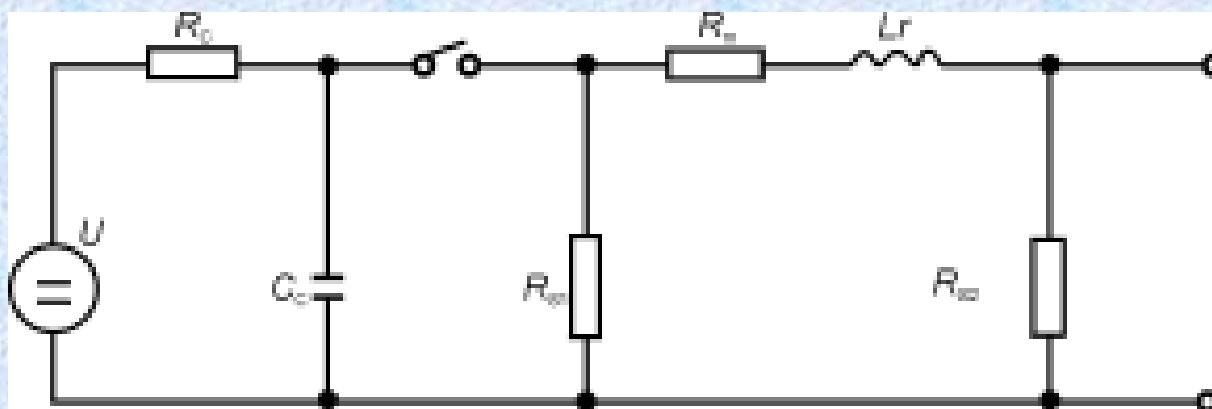
开路输出试验电压 ($\pm 10\%$)和脉冲的重复频率 ($\pm 20\%$)

等级	在供电电源端口, 保护接地		在I/O信号、数据和控制端口	
	电压峰值 kV	重复频率 kHz	电压峰值 kV	重复频率 kHz
1	0.5	5	0.25	5
2	1	5	0.5	5
3	2	5	1	5
4	4	2.5	2	5
X ⁽¹⁾	特定	特定	特定	特定

1) - “X” 是一个开放等级,在专用设备技术规范中必须对这个级别加以规定.

IEC61000—4—5（GB/T17626.5）浪涌的抗扰度试验

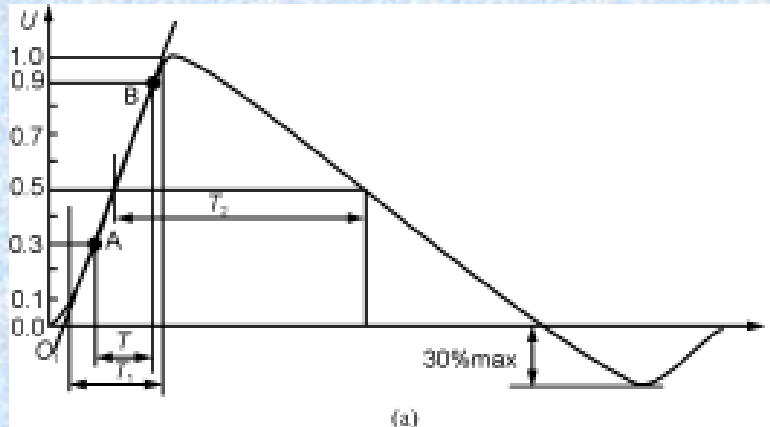
范围:本标准规定了设备对由开关和雷电瞬变过电压引起的单极性浪涌(冲击)的抗扰度要求,试验方法和推荐的试验等范围。
浪涌的起因主要为雷击和切换瞬变



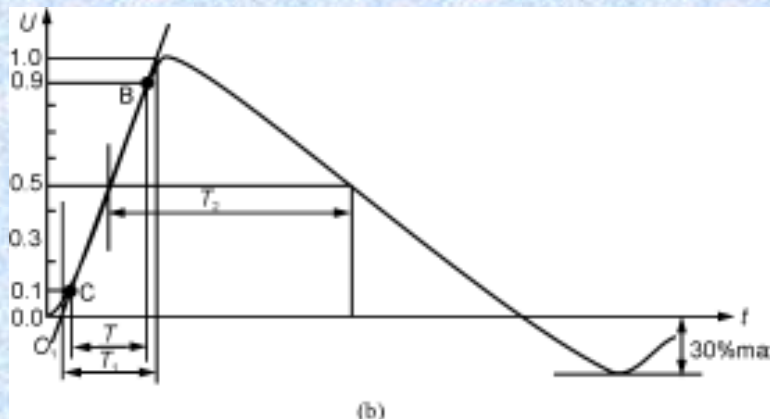
组合波信号发生器的电原理图

U —高压电源 R_s —脉冲持续期形成电阻 R_c —充电电阻
 R_m —阻抗匹配电阻 C_c —储能电容 L_r —上升时间形成电感

电快速瞬变脉冲群的抗扰度试验波形及参数



1.2/50 μ s 开路电压波形



8/20 μ s 短路电流波形

对试验发生器的基本性能要求:

开路电压波: 1.2/50 μ s;

短路电流波: 8/20 μ s。

开路输出电压 (峰值): 0.5kV~4kV

短路输出电流 (峰值): 0.25kA~2kA

试验等级

等级	开路试验电压 ($\pm 10\%$)kV
1	0.5
2	1.0
3	2.0
4	4.0
×	特定

注: × 为开放等级, 可在产品要求中规定

TVS 二极管的特性

- 快速响应时间 ($\ll 1\text{ns}$)
 - 可以用做 ESD, EFT, CDE, Lightning 保护
- 低的箝位电压和工作电压
 - 在发生ESD过程给受保护IC带来的压力小
- 经过多次ESD过程后不会劣化
 - 经过冲击后不需要更换元件



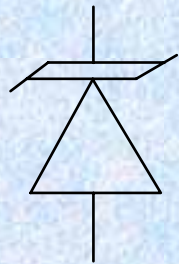
TVS 二极管主要参数的选择

- 1, 额定反向关断电压 V_{BWM} 。这是二极管在正常状态时可承受的电压，此电压应大于或等于被保护电路的正常工作电压。
 - 2, 最大峰值脉冲电流 I_{PP} ,大于可能出现的瞬变电流。
 - 3, 最大箝位电压 V_C , V_C 是二极管在截止状态提供的电压，也就是在ESD冲击状态时通过TVS的电压，它不能大于被保护回路的可承受极限电压，否则器件面临被损伤的危险。
 - 4, 电容量 C 。 C 太大将使信号衰减。因此， C 是数据接口电路选用TVS的重要参数。高频回路一般选择电容应尽量小(如低电容TVS, 电容不大于3pF)。
- 另外,泄漏电流要尽可能的小。

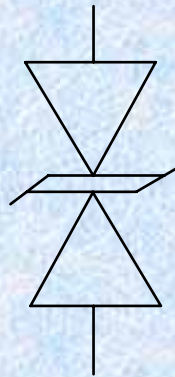
TVS Diodes

What are TVS Diodes?:

- Solid-State pn junction devices
- Clamping Devices
- Have junctions with large cross-sectional area for conducting high transient currents



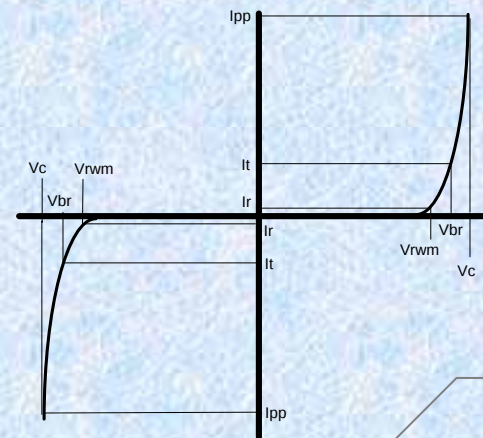
Unidirectional



Bidirectional

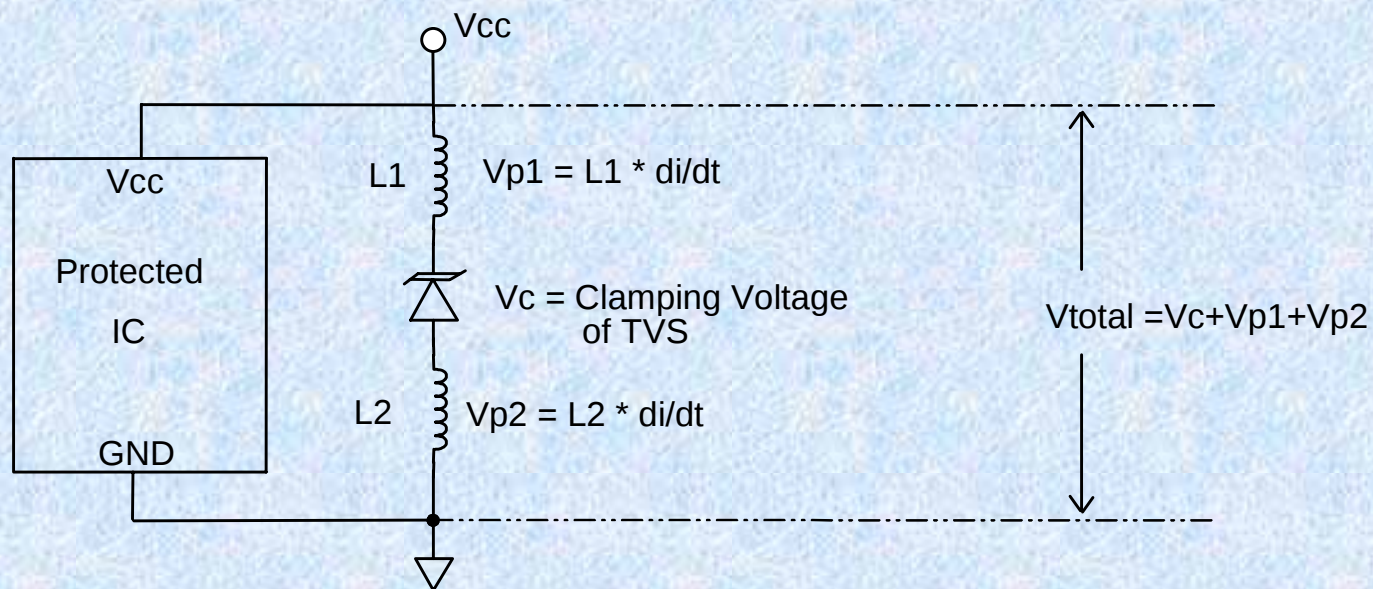
TVS Diode Characteristics:

- Fast Response Time
- Low Clamping & Operating Voltages
- Do NOT Degrade
- ***TVS diodes offer the most desirable characteristics for board level protection***



Board Layout Considerations

PCB layout is critical for ESD protection.
Parasitic inductance adds to the total clamping voltage seen by the protected IC.



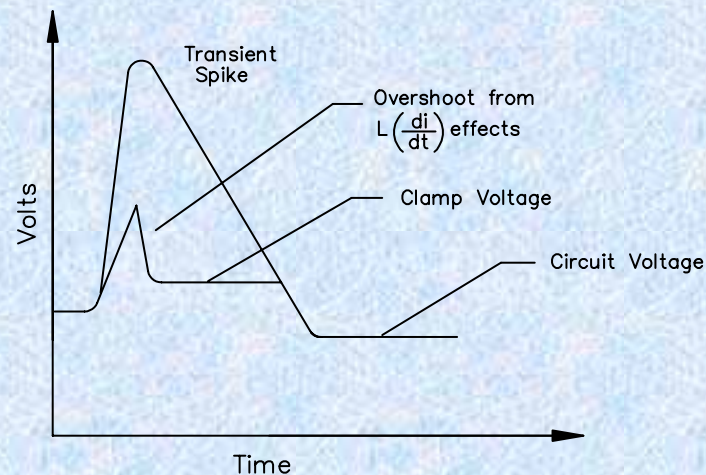
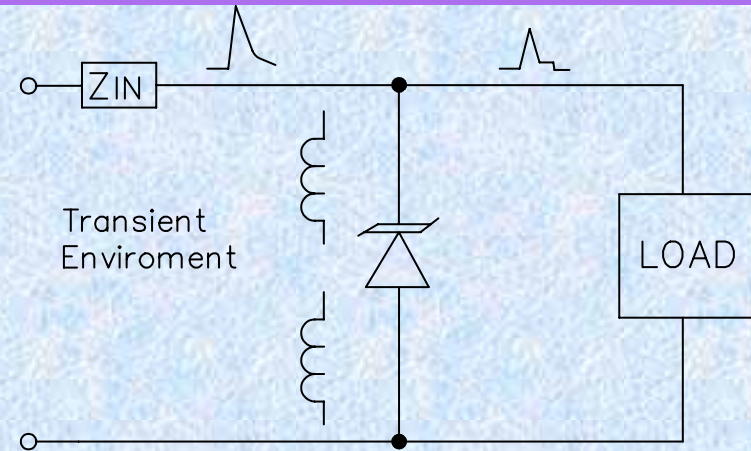
- * L1 represents the parasitic inductance of the trace between TVS and Vcc
- * L2 represents the parasitic inductance of the trace between TVS and GND
- * Vtotal represents the voltage that will be seen between Vcc and GND of the IC during a transient.

Source: Strategy Analytics

PCB Layout Considerations

Board Layout Issues:

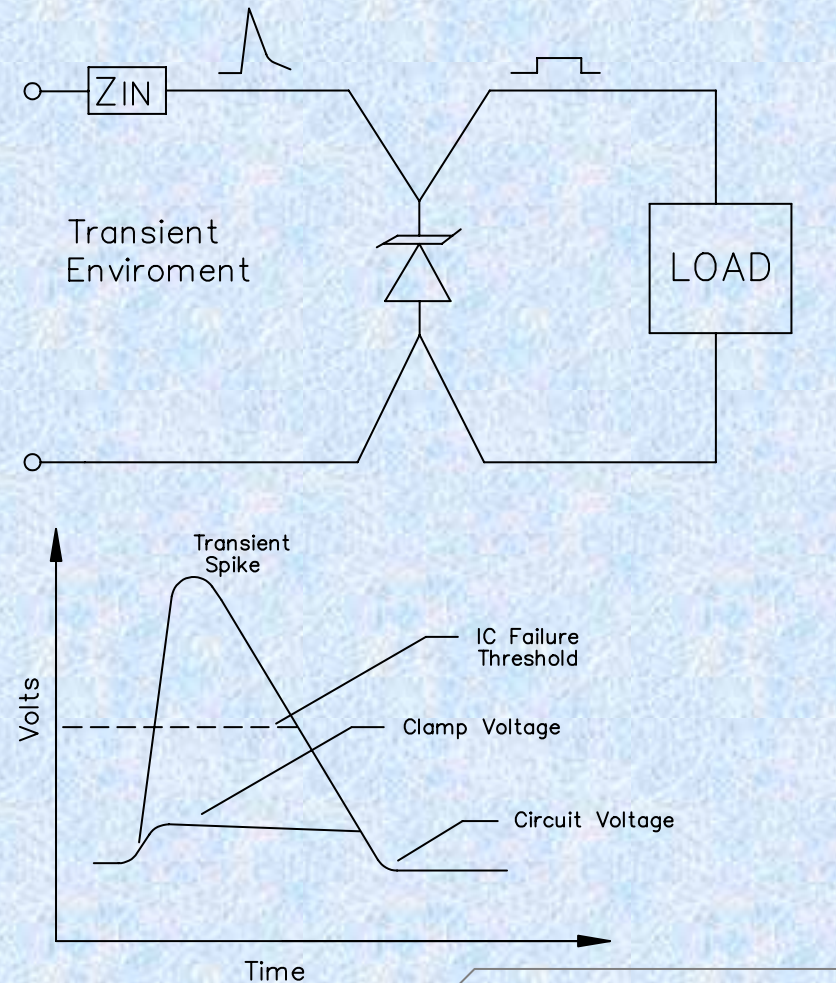
- Parasitic inductance results in voltage “over-shoot”
- Protection will be ineffective if over-shoot exceeds IC damage or upset level
- *Clamping voltage increases 30V for each nH of inductance (for 8kV pulse)!*



Board Layout Consideration

Board Layout Guidelines:

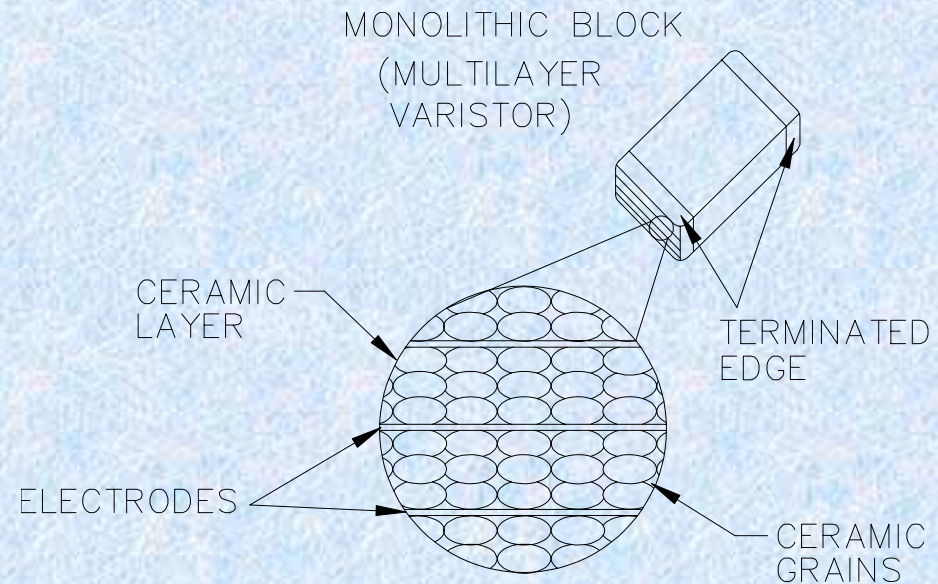
- Place TVS near input to restrict transient coupling
- Minimize path length between TVS and protected line
- Keep the transient return path to ground as short as possible
- Use direct connections to ground planes whenever possible



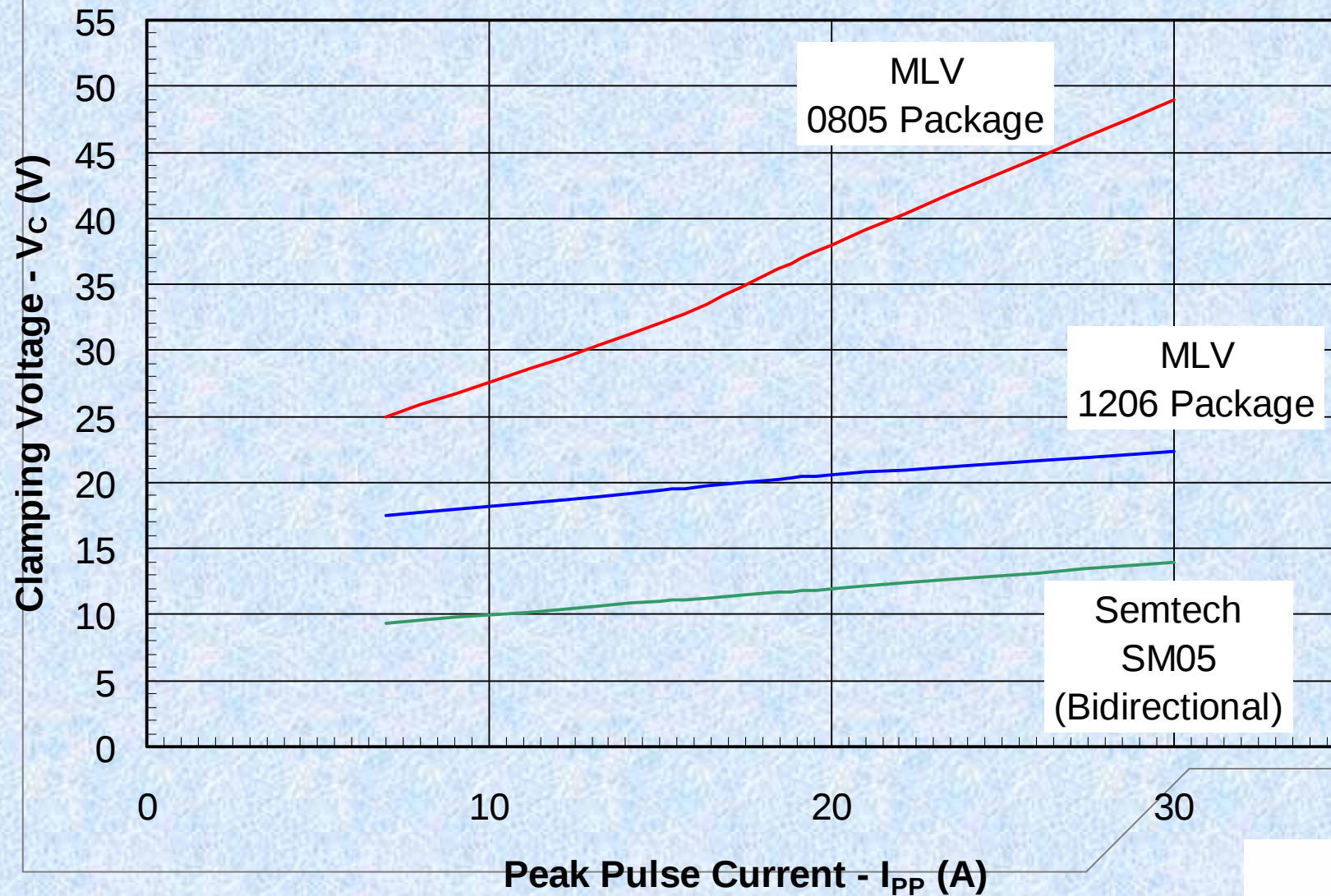
Multi-Layer Varistors (MLV)

Multi-Layer Varistors:

- Similar to a low ESR capacitor
- High Clamping Voltage
- Smaller the package, the higher the clamping voltage
- Degradation after repeated surges : Increased leakage current can reduce battery life in portable systems
- Only protects one line
- Capacitance too high for high-speed applications



Clamping Voltage: 5V TVS vs. 5V MLV

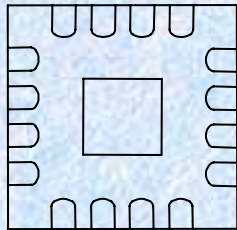


Semtech strategy

- What is our Strategy?
 - Transition customers currently using 5V devices to new 3.3V versions
 - Target key markets with proprietary devices
 - Work with target IC suppliers on key reference designs
 - DVI and Video
 - Ethernet
 - xDSL
 - USB 2.0
 - Cellphone chip sets
 - Continue technical leadership position
 - Applications assistance still important - “Tricks of the Trade”
 - Use and create proprietary technology products that integrate application specific functions into new products

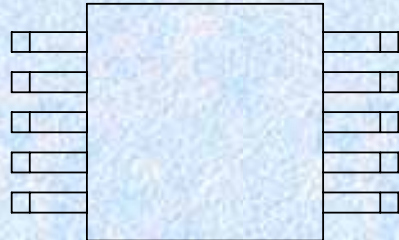
TVS Array Package Comparison

QFN 16L



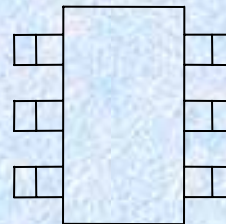
3.0 x 3.0 mm

MSOP 10L



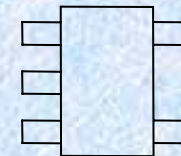
5.0 x 3.1 mm

SOT-23 6L



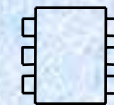
3.0 x 3.0 mm

SC-70 5L



2.2 x 2.4 mm

SC-89 6L



1.7 x 1.7mm

SOD-323



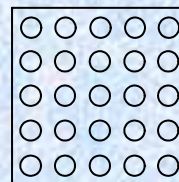
1.4 x 2.7mm

SOD-523



0.9 x 1.7mm

**Flip Chip
25-Bump**



2.6 x 2.6 mm

**Flip Chip
6-Bump**



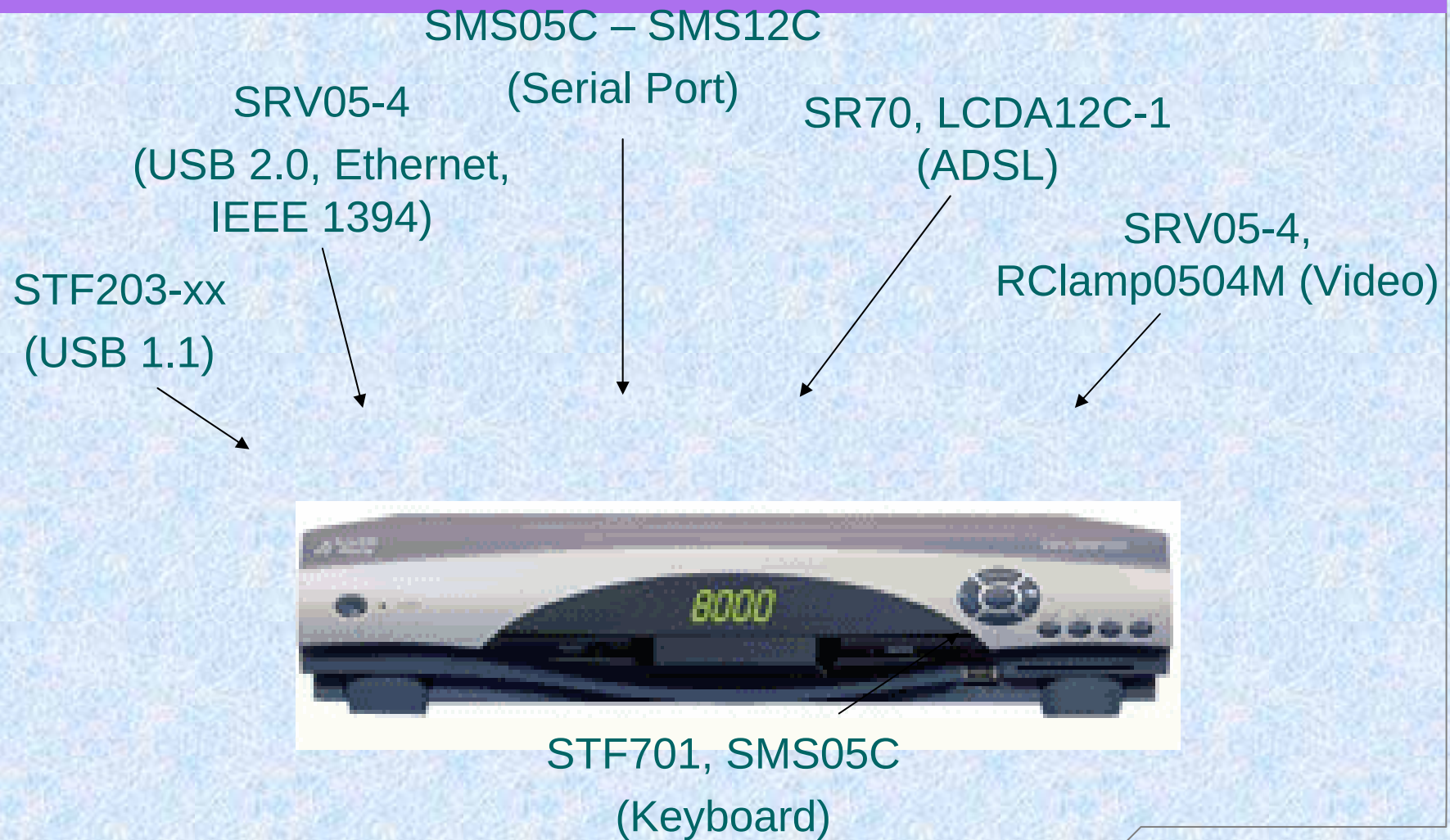
1.5 x 1.0 mm

Flip Chip



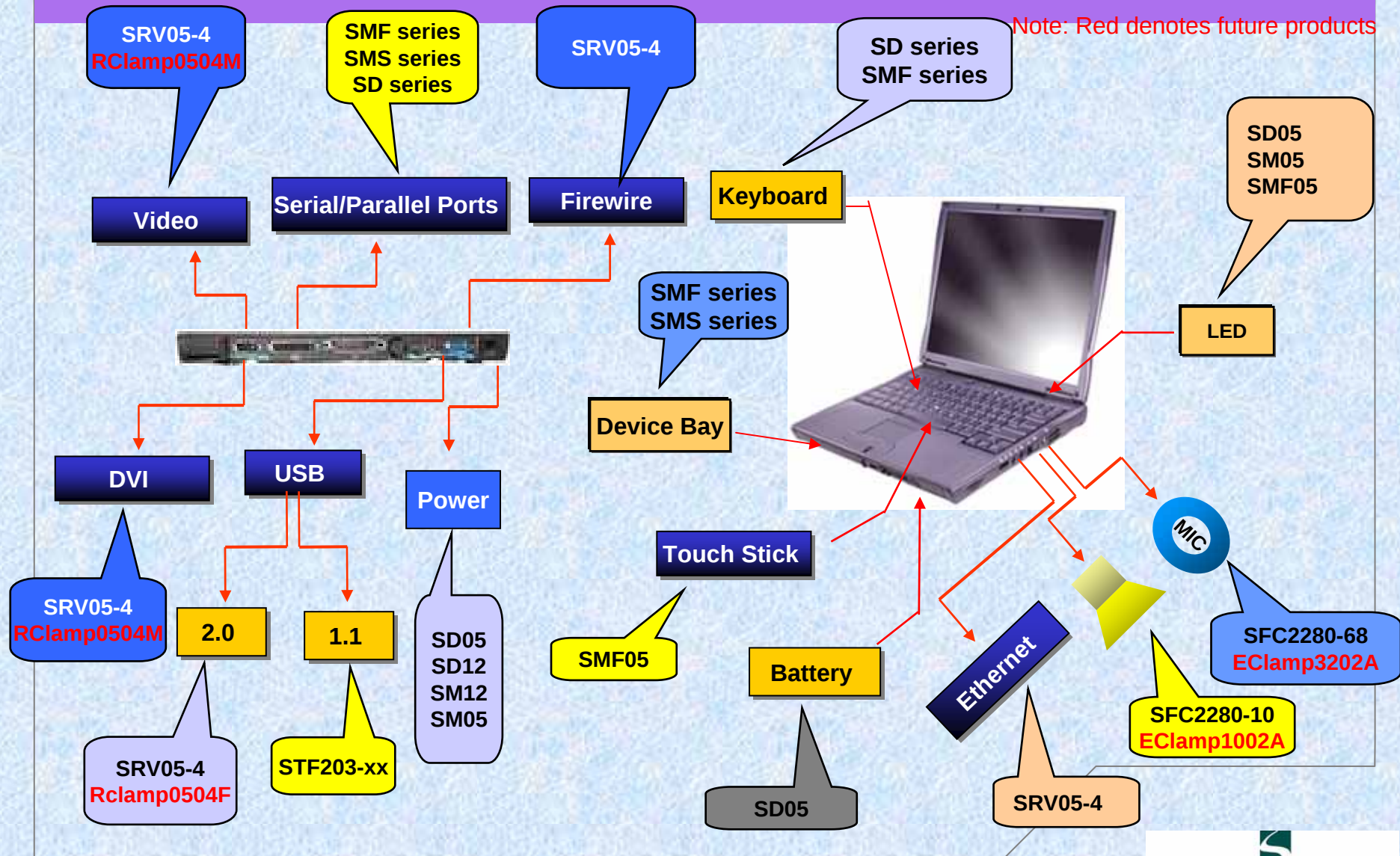
0.9 x 1.0mm

Set-Top Box/Home Gateway/DVR



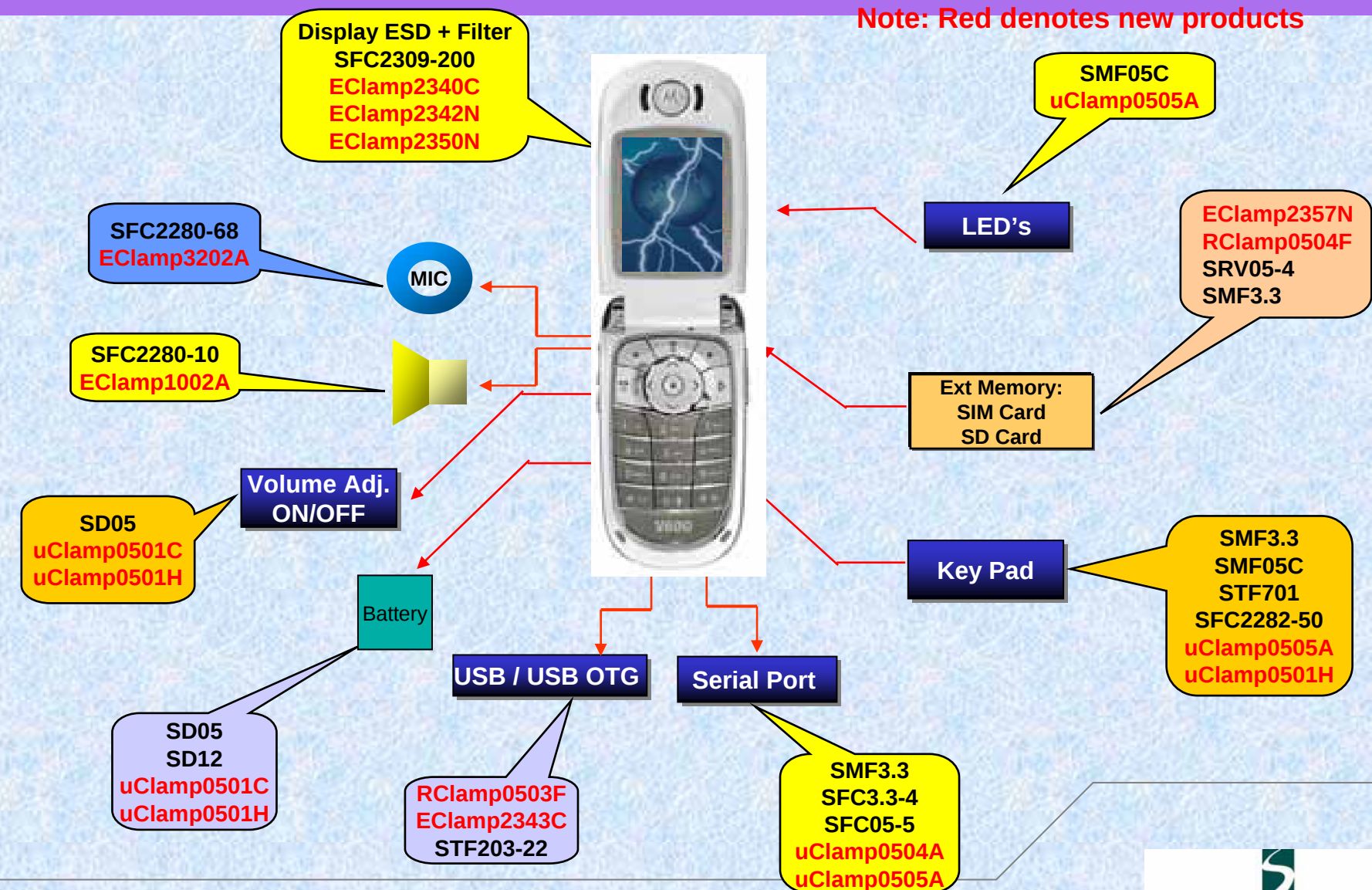
Notebook Protection

Note: Red denotes future products

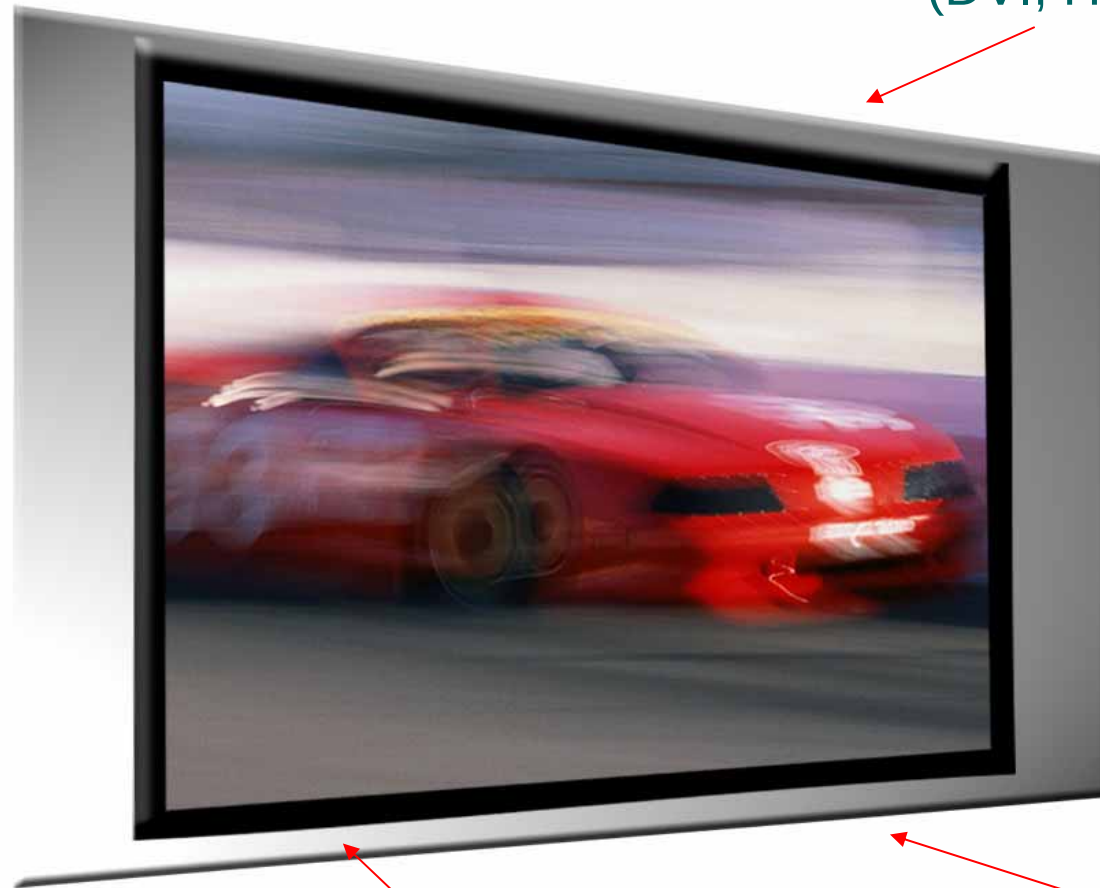


Cell Phone Protection Solutions

Note: Red denotes new products



Protection Solutions for all Connections and Buttons



RClamp0504M
(DVI, HDMI, RGB)

STF203-xx
(USB 1.1)

SRV05-4
(USB 2.0, IEEE 1394)

SD12 – SD24
(Power)

RClamp0504F
(Memory Cards)

SMS05
(Buttons)

Flat Panel Display

Note: Red denotes new product

SRV05-4 (DVI, RGB)

RClamp0504M

STF203-xx (USB 1.1)

SRV05-4,

RClamp0504M

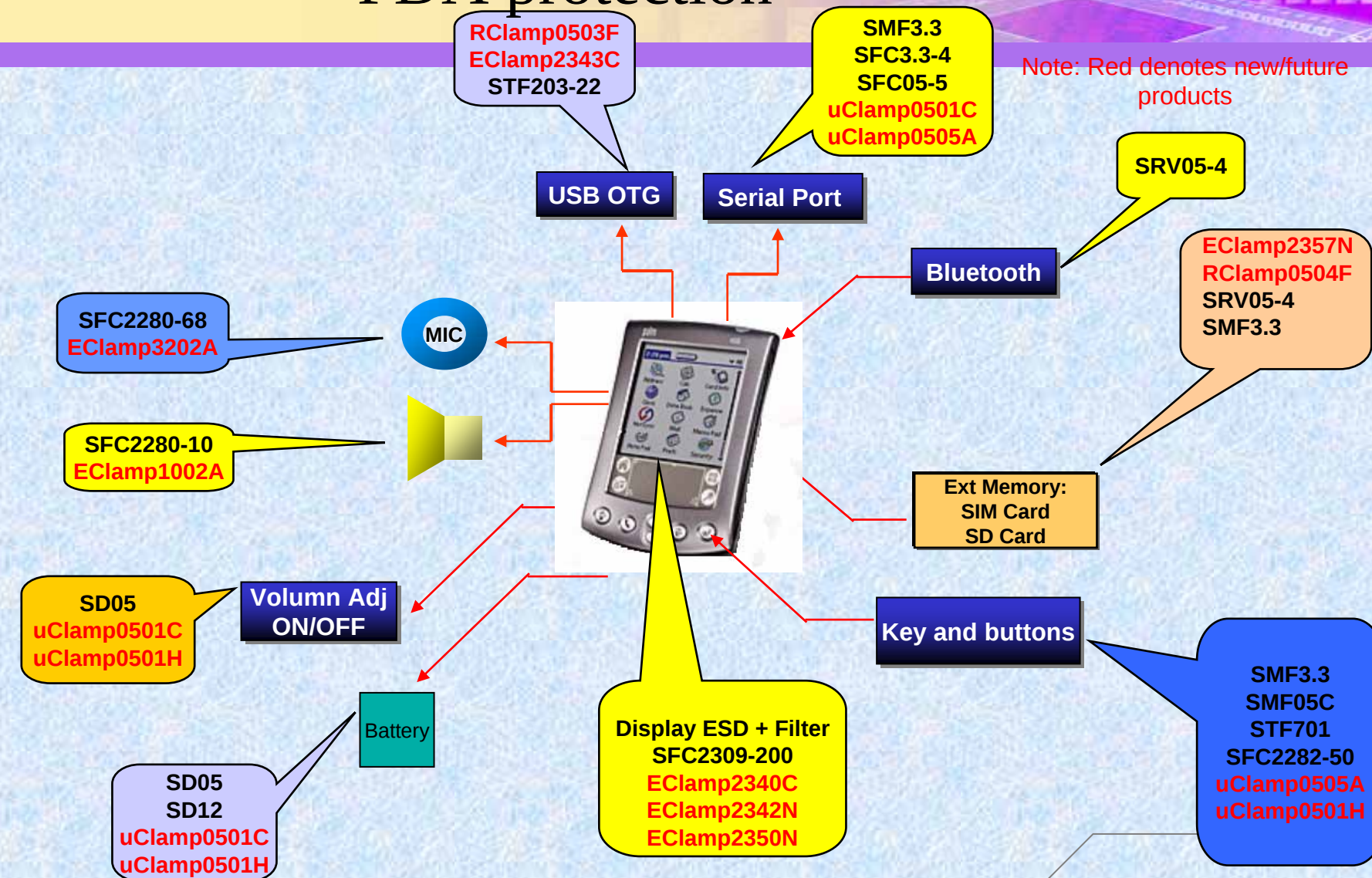
(USB 2.0, IEEE 1394)

SD12 – SD24 (Power)

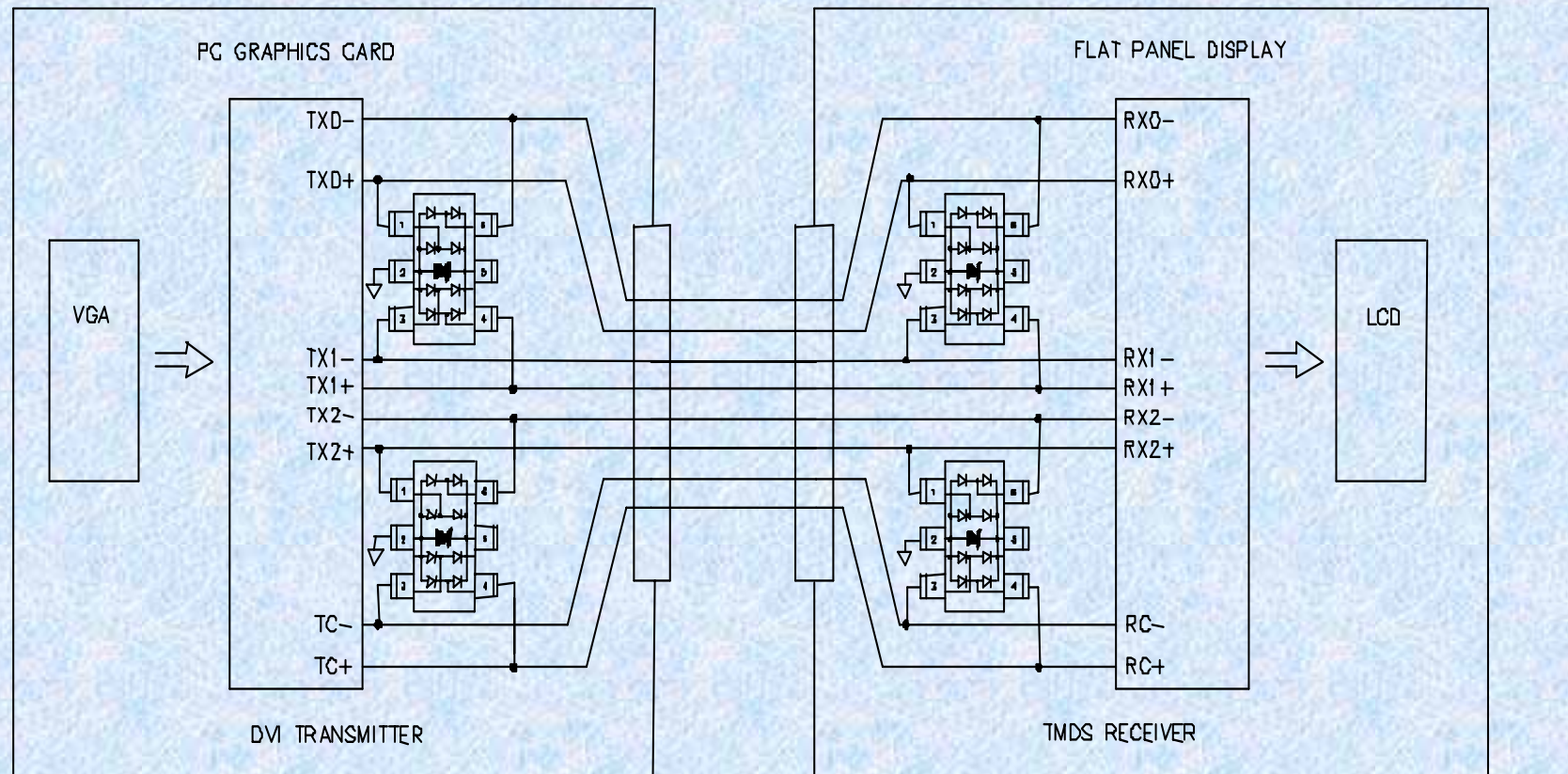
SMS05 (Buttons)



PDA protection



SRV05-4 in DVI Interface



RailClamp Low Capacitance TVS Diodes Array

➤ Key Characteristics

- 5V, 3pF, MSOP 10L
- Flow Thru design
- Protection for 4 lines

➤ Application

- DVI/HDMI Interfaces

➤ Why We Need It

- “Bending “ traces causes impedance mismatch in high speed lines.
- Flow thru design eliminates this problem

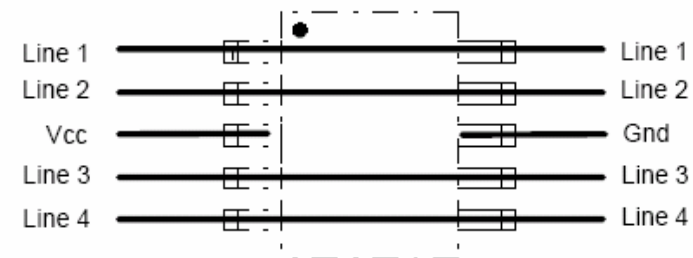
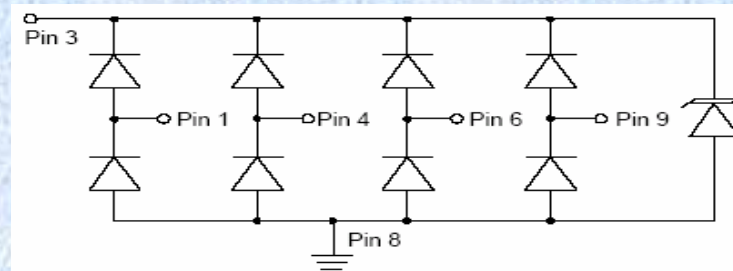
➤ Market

- Flat panel displays, plasma TV (2 per)

➤ Competitive Advantages

- Easy layout
- Lower Clamping

RClamp0504M



Low Capacitance TVS Diode Array

RClamp0504M

ESD protection for high-speed data lines to

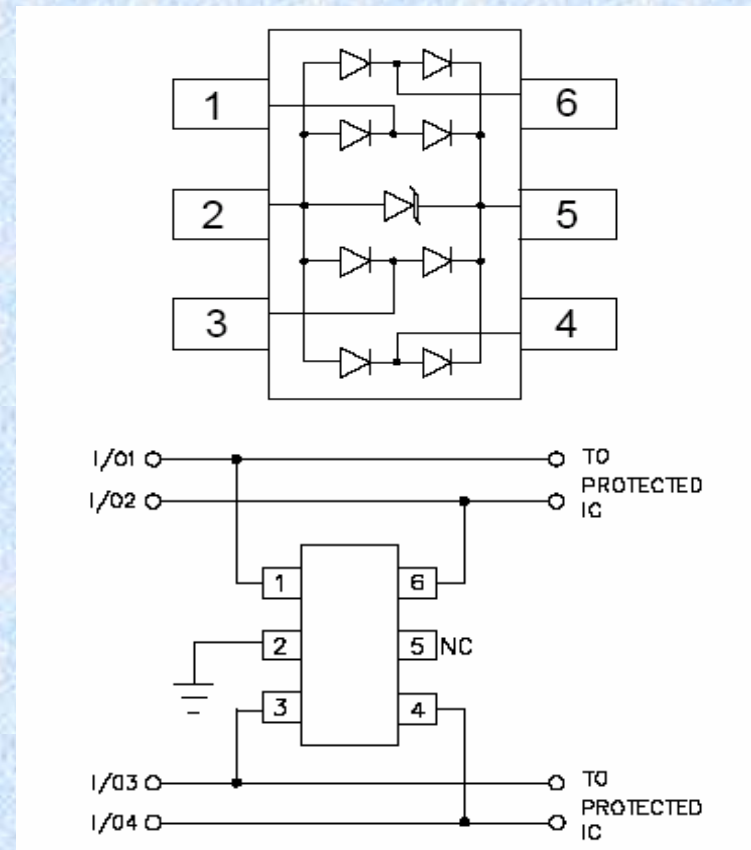
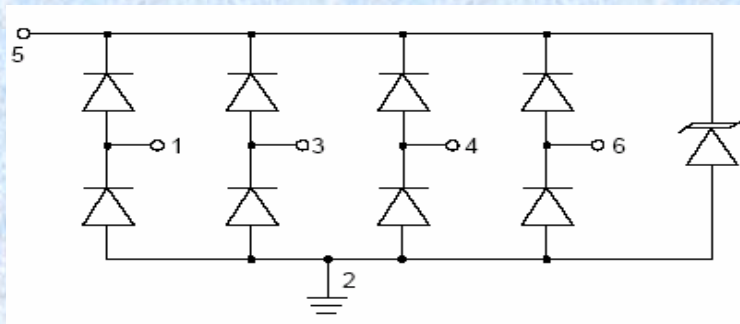
- IEC 61000-4-2 (ESD) 15kV (air), 8kV (contact)
- IEC 61000-4-5 (Lightning) 12A (8/20 μ s)
- IEC 61000-4-4 (EFT) 40A (5/50ns)

RClamp0504F

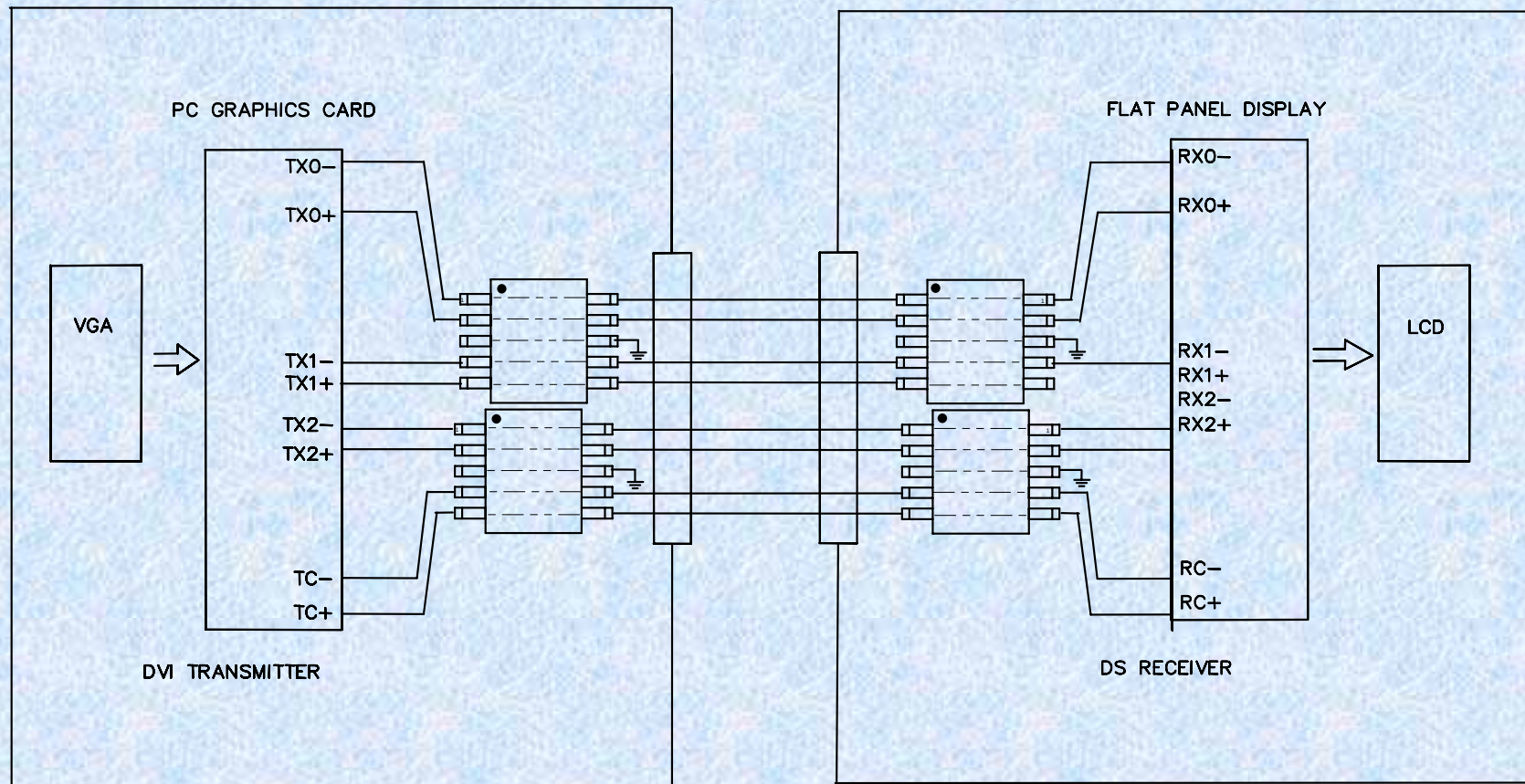
ESD protection for high-speed data lines to

- IEC 61000-4-2 (ESD) 15kV (air), 8kV (contact)
- IEC 61000-4-4 (EFT) 40A (5/50ns)

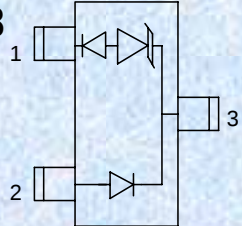
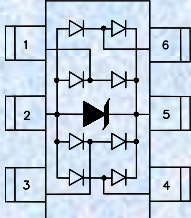
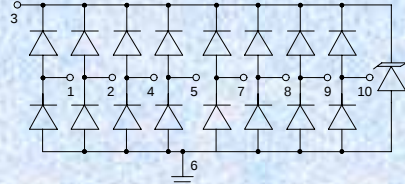
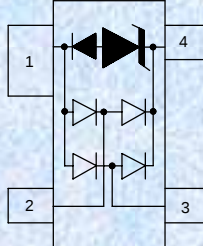
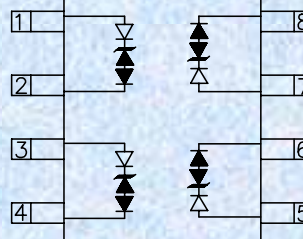
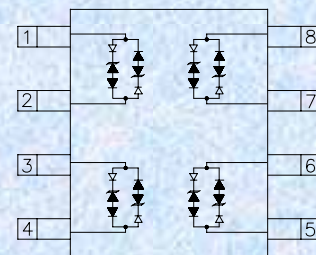
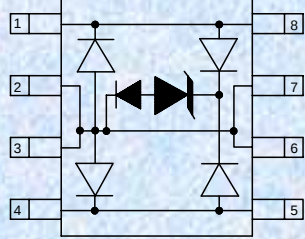
RClamp0504F



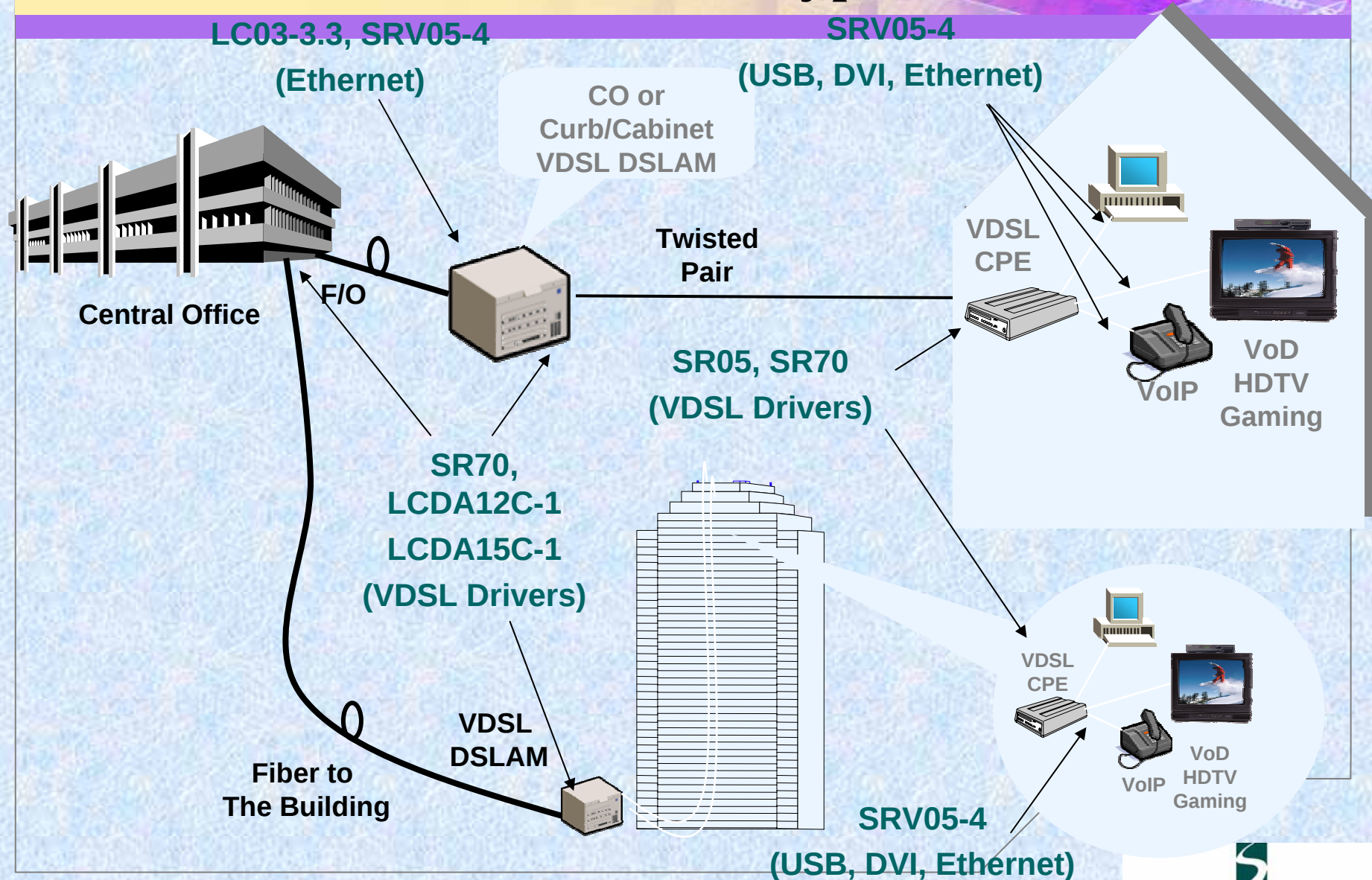
RClamp0504M in DVI Interface



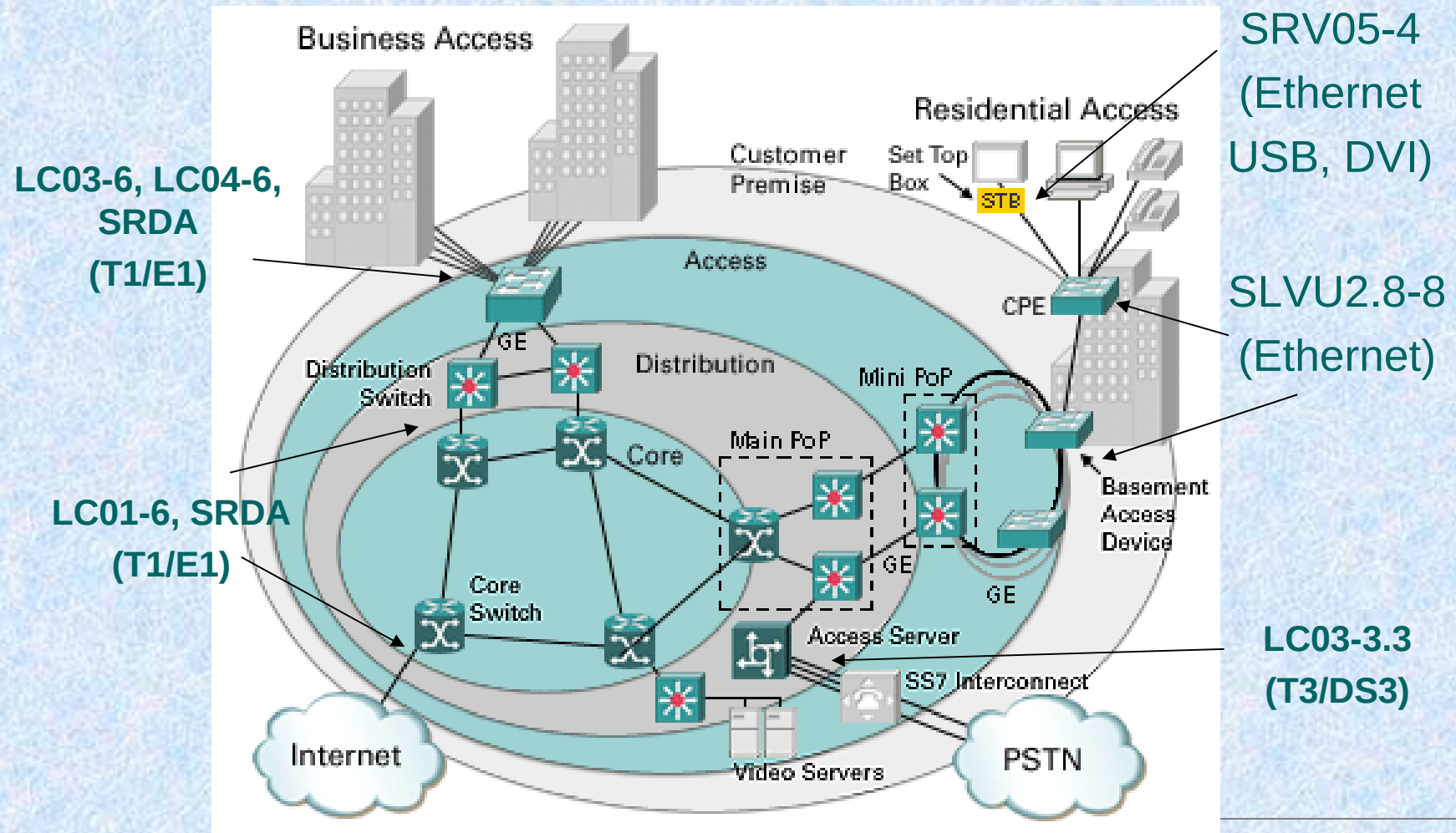
10/100/1000 Ethernet Protection Portfolio

<u>Ethernet</u>	<u>2 Line</u>	<u>4 Line</u>	<u>8 Line</u>
CPE/SOHO ESD/CDE	SLVU2.8  SOT-23	SRV05-4  SOT-23 6L	RClamp0508M  MSOP 10L
Carrier Class Lightning, ESD and CDE	SR 2.8  SOT-143	SLVU2.8-4  SO-8	SLVU2.8-8  SO-8
Central Office Intra and Inter Building Lightning ESD, CDE	LC03-3.3  SO-8		

Protection Solutions for the Typical DSL Network



Protection Solutions for a Typical Telecom network



联系方式

联系人:赵嘉喜(JASON)

上海友菱电子有限公司

Shanghai Koryo Electronics Co., Ltd.

上海市徐汇区肇嘉浜路288号2号楼5F, 2512室

Tel : +86-21-64746177

Fax: +86-21-64746199

<http://www.koryo.com.cn>

北京联络处:

北京回龙观云趣园一区17号楼2单元502

Tel: 010-81736308 13701069452

Fax:010-81736308

E-mail: jason.zhao@koryo.com.cn

Thank You!

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>