

ESD器件

ESD器件概述

ESD保护元件的作用是转移来自敏感元件的 ESD应力，使电流流过保护元件而非敏感元件，同时维持敏感元件上的低电压； ESD保护元件还应具有低泄漏和低电容特性，不会降低电路功能；不会对高速信号造成损害，在多重应力作用下保护元件的功能不会下降。瞬态电压抑制器 (TVS)、压敏电阻 和 聚合物 是近几年发展起来的几种专用 ESD保护元件。其中前两种元件均采用电压钳位的方式进行保护，采用带导电粒子的聚合物则是采用消弧 (crowbar) 保护策略。压敏电阻和聚合物支持双向保护，但 TVS可支持单向或双向保护。传统的压敏电阻虽然在成本上具有一定优势，但它存在的一个最大问题是体积太大，无法满足手持设备的封装要求。事实上，与压敏电阻相比，基于硅材料的 TVS和聚合物材料 ESD具有更好的钳制性能、更低的泄漏和更长的使用寿命。

高分子聚合物和 TVS在多重应力下仍然可保持强大的性能，而压敏电阻则会随着使用次数的增多性能下降。TVS技术利用的是半导体的钳位原理，在经受瞬时高压时，会立即将能量释放出去，而压敏电阻采用的是物理吸收原理，因此每经过一次 ESD事件，材料就会受到一定的物理损伤，形成无法恢复的漏电通道。“ TVS技术的原理就好像传统的打太极，可以轻松释放掉能量而不是直接与之对抗 ”。这样做的好处是器件不会受到损害，基本上没有寿命限制。

从现场展示的 TVS与压敏电阻的钳制电压曲线来看，TVS器件可以在极短时间内将输入的大电压钳制到 5 至 6 伏的水平，而压敏电阻的曲线则下降得非常缓慢，并且无法达到 TVS器件的效果。这表明 TVS器件在响应时间和钳制性能方面均优于压敏电阻。

几种 ESD器件的比较

- 1、普通二极管，只能起到箝制电压的作用，不能响应高达几百兆频率的 ESD脉冲。
- 2、压敏电阻 / 热敏电阻 /PTC，压敏电阻抗一次 ESD脉冲后特性就会改变，而 ESD保护器件抗几次也不会改变特性。
- 3、压敏电阻能承受更大的浪涌电流，而且其体积越大所能承受的浪涌电流越大，最大可达几十 kA 到上百 kA；但压敏电阻的非线性特性较差，大电流时限制电压较高，低电压时漏电流较大。
- 4、TVS 管的非线性特性和稳压管一样，击穿前漏电流很小，击穿后是标准的稳压特性，比起压敏电阻来 TVS管最大箝位电压偏离击穿电压较小， 优于压敏电阻，但通流能力比压敏电阻较小。
- 5、从反应速度来看，TVS管的反应速度很快，为 ps 级，而压敏电阻反应速度较慢，为 ns 级。另外，两者的电容都较大（TVS管也有低电容产品）。
- 6、TVS 管的可靠性高，不易劣化，使用寿命长。而压敏电阻的可靠性较差，易老化，使用寿命较短

	ESD	TVS
抗击能量	小	大
抗击电压	>10KV 更高	>4KV
响应时间	极快	稍慢

抑制脉冲	极高速	中高速
对线路的容性影响	极低	一般
对高速通信的影响	极低	高
线路中可使用数量	多个	少量
应用场合	抑制静电放电（ESD）脉冲	用于防雷击或开关电时产生的浪涌

瞬态抑制二极管

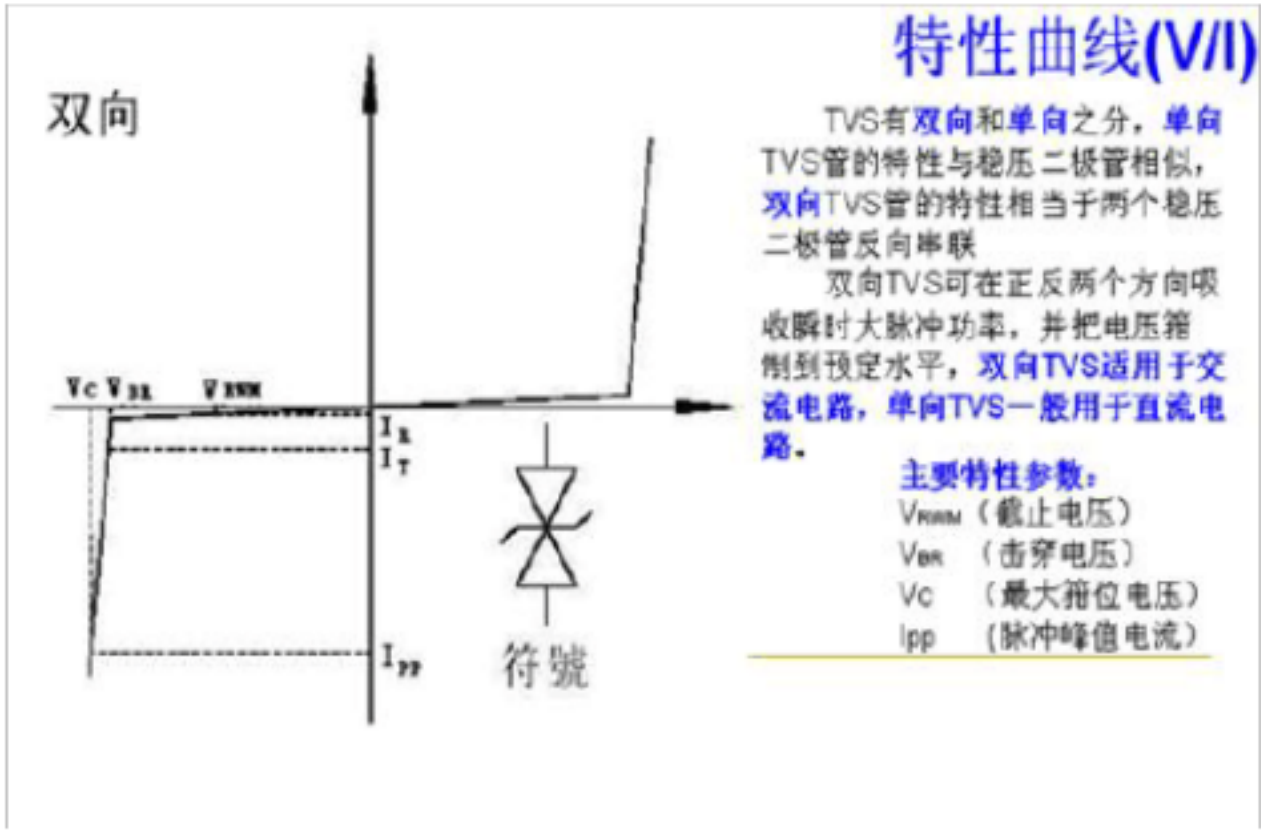
概述：瞬态抑制二极管简称 TVS (Transient Voltage Suppressor) ，TVS 的电气特性由 P-N 结面积，参杂浓度及晶片阻质决定的。其耐突波电流的能力与其 P-N 结面积成正比。

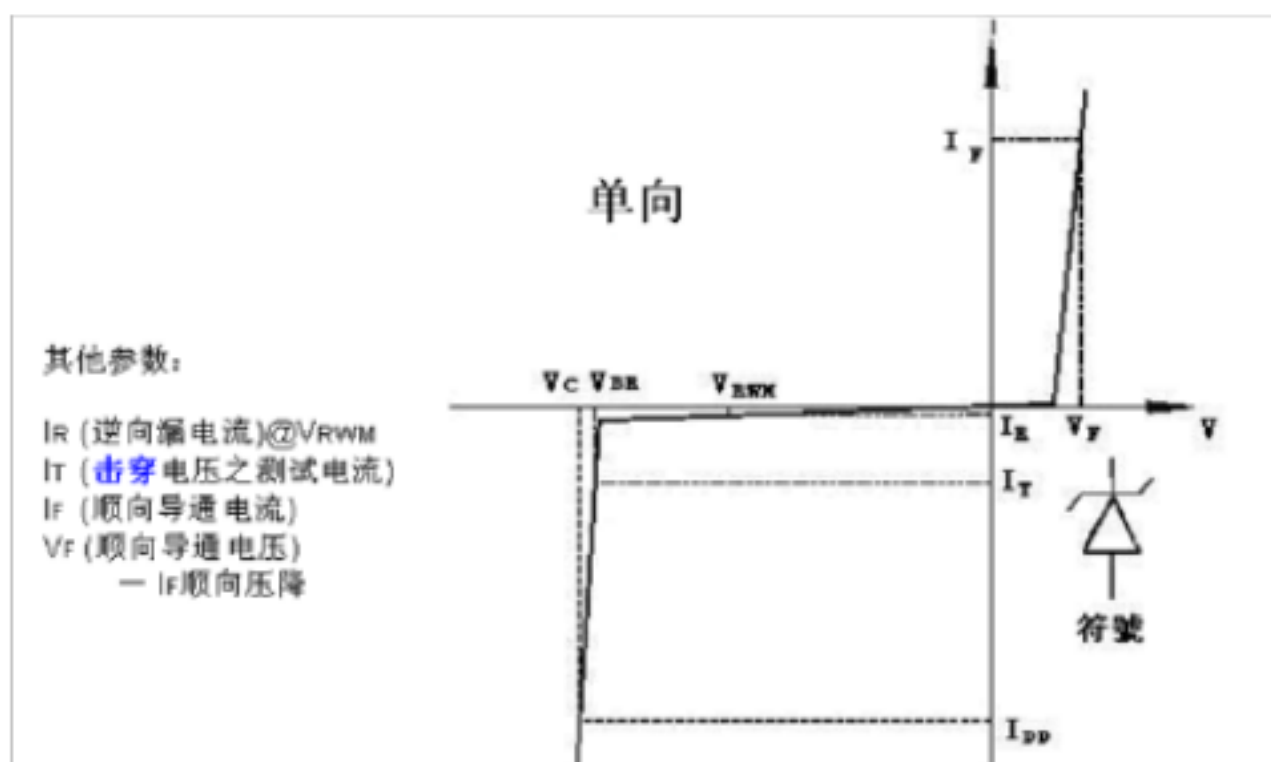
特点：反映速度快（为 pS 级），体积小，箝位电压低，可靠性高。10/1000 μs 波脉冲功率从 400W~ 30000W, 脉冲峰值电流从几安 ~ 几百安。常用的 TVS 管的击穿电压有从 5V 到 550V 的系列值。且可靠性高，在 TVS 管规范之工作范围内，性能可靠，不易劣化，使用寿命长。

TVS的选型

最大箝位电压 VC要小于电路允许的 最大安全电压 。
截止电压 VRWM小于电路的 最大工作电压 ，一般可以选择 VRWM或者略大于电路的最大工作电压。
额定的最大脉冲功率（ TVS参数中给出） PM要大于最大瞬态浪涌功率。

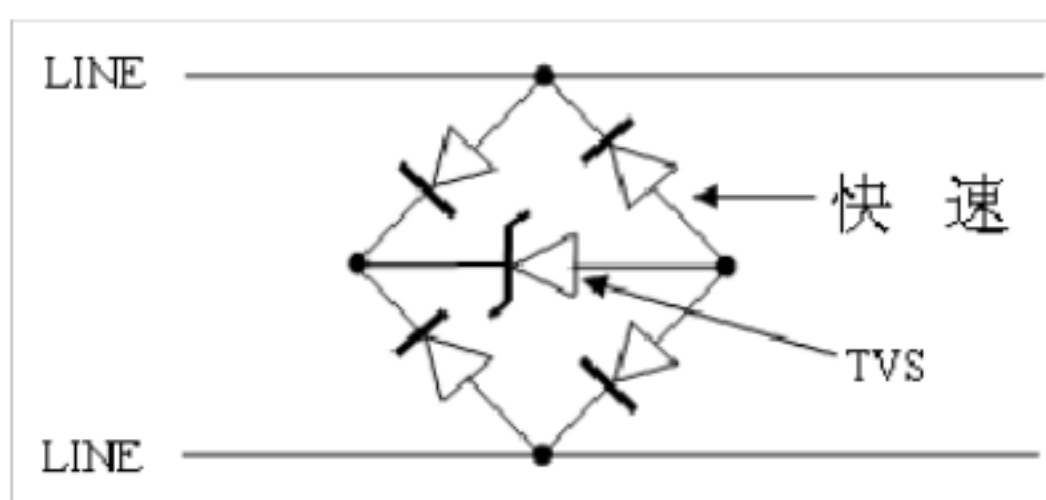
TVS的特性





TVS使用指南

- 1、TVS管使用时一般并联在被保护电路上。为了限制流过 TVS 管的电流不超过管子允许通过的峰值电流 IPP，应在线路串联加限流元件，如电阻、自恢复保险丝、电感等。
- 2、击穿电压 VBR的选择：TVS管的击穿电压应根据线路最高工作电压 US按公式： $VBR_{min} = 1.2U_S$ 或 $VRWM = 1.1U_S$ 选择。
- 3、脉冲峰值电流 IPP 的选择：当 TVS管单独使用时，要根据线路上可能出现的最大浪涌电流来选择合适的型号。当 TVS管在放电管后作为第二级保护时，一般用 500W~ 600W的就可以了。
- 4、用于信号传输电路保护时，一定要注意所传输信号的频率或传输速率。当信号频率或传输速率较高时，应选用低电容系列的管子：信号频率（传输速率）10MHz~ Mb/s), $C_j = 60pF$ ；信号频率（传输速率）100 MHz~ Mb/s), $C_j = 20pF$ 。当低电容系列仍满足不了要求时，就应把 TVS管串联到高速二极管组成的桥路中。



MOV压敏电阻

压敏电阻的响应时间为 ns 级，比空气放电管快，比 TVS管稍慢一些，一般情况下用于电子电路的过电压保护其响应速度可以满足要求。压敏电阻的结电容一般在几百到几千 Pf 的数量级范围，很多情况下不宜直接应用在高频信号线路的保护中，应用在交流电路的保护中时，因为其结电容较大，会增加漏电流，在设计防护电路时需要充分考虑。压敏电阻的通流容量较大，但比气体放电管小。

压敏电阻有什么用？压敏电阻的最大特点是当加在它上面的电压低于

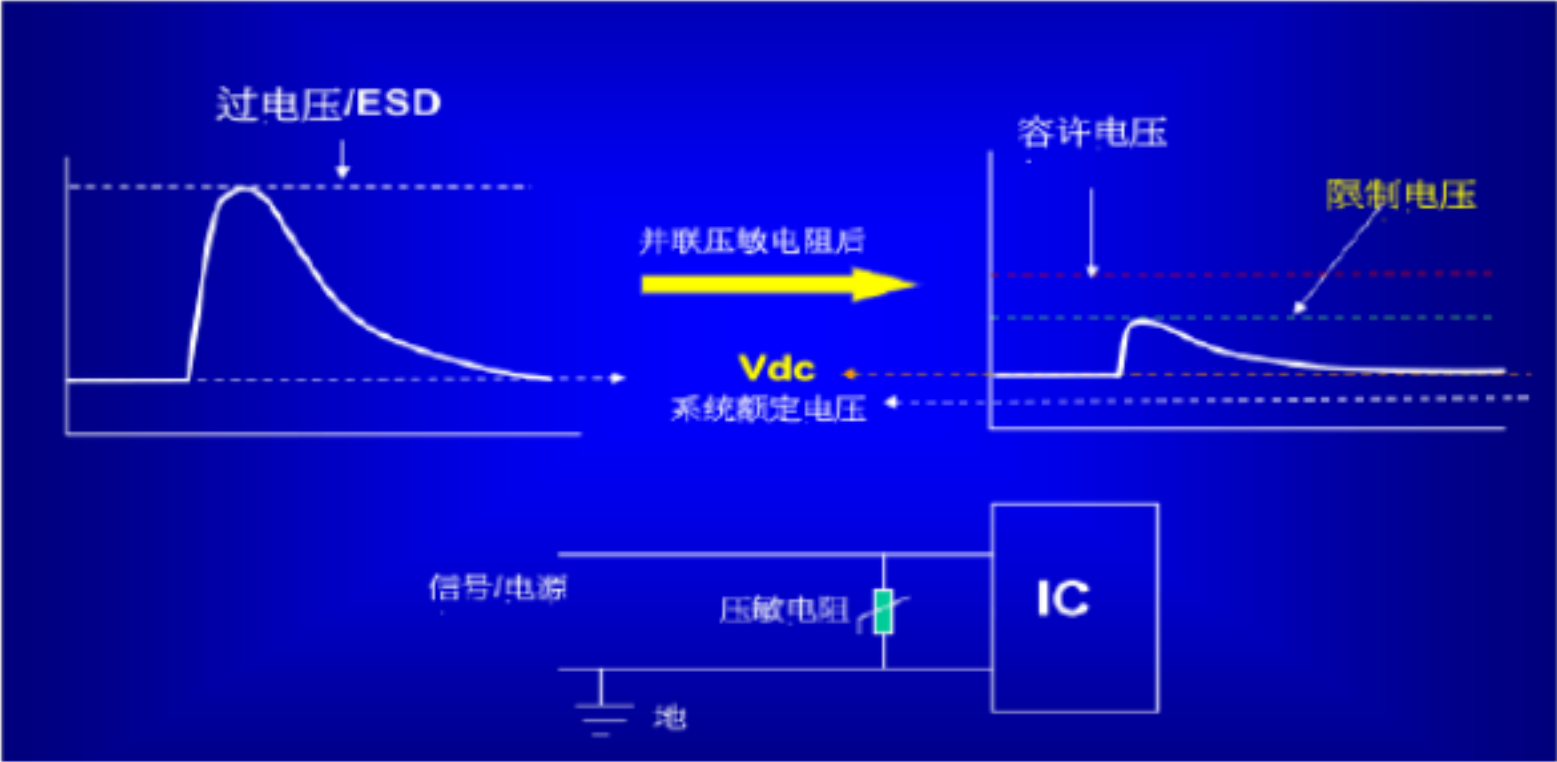
它的阈值 "UN" 时，流过它的电流极小，相当于一只关死的阀门，当电压超过 UN 时，它的阻值变小，这样就使得流过它的电流激增而对其他电路的影响变化不大从而减小过电压对后续敏感电路的影响。利用这一功能，可以抑制电路中经常出现的异常过电压，保护电路免受过电压的损害。

分类

浪涌抑制型：是指用于抑制雷电过电压和操作过电压等瞬态过电压的压敏电阻器，这种瞬态过电压的出现是随机的，非周期的，电流电压的峰值可能很大。绝大多数压敏电阻器都属于这一类。

高功率型：是指用于吸收周期出现的连续脉冲群的压敏电阻器，例如并接在开关电源变换器上的压敏电阻，这里冲击电压周期出现，且周期可知，能量值一般可以计算出来，电压的峰值并不大，但因出现频率高，其平均功率相当大。

高能型：指用于吸收发电机励磁线圈，起重电磁铁线圈等大型电感线圈中的磁能的压敏电压器，对这类应用，主要技术指标是能量吸收能力。



4. 压敏电阻的基本参数

- 1. 标称压敏电压 (V) :指通过规定持续时间的脉冲电流 (一般为 1mA 持续时间一般小于 400mS)时压敏电阻器两端的电压值。 (一般 $V_{1mA}=1.5V_p=2.2V_{AC}$, 式中, V_p 为电路额定电压的峰值。 V_{AC} 为额定交流电压的有效值)
- 2. 电压比：指压敏电阻器的电流为 1mA时产生的电压值与压敏电阻器的电流为 0.1mA 时产生的电压值之比。
- 3. 最大限制电压 (V)：在压敏能承受的最大脉冲峰值电流 I_p 及规定波形下压敏电阻两端电压峰值。
- 4. 残压比：通过压敏电阻器的电流为某一值时，在它两端所产生的电压称为这一电流值的残压。残压比则是残压与标称电压之比。
- 5. 通流容量 (kA)：通流容量也称通流量，是指在规定的条件（规定的时间间隔和次数，施加标准的冲击电流）下，允许通过压敏电阻器上的最大脉冲（峰值）电流值。
- 6. 漏电流 (mA)：漏电流也称等待电流，是指压敏电阻器在规定的温度和最大直流电压下，流过压敏电阻器电流。

- 7 . 电压温度系数：指在规定的温度范围（温度为 20 ~ 70 ）内，压敏电阻器标称电压的变化率，即在通过压敏电阻器的电流保持恒定时，温度改变 1 时，压敏电阻器两端电压的相对变化。

8 . 电流温度系数：指在压敏电阻器的两端电压保持恒定时，温度改变 1 时，流过压敏电阻器电流的相对变化。

9 . 电压非线性系数：指压敏电阻器在给定的外加电压作用下，其静态电阻值与动态电阻值之比。

10 . 绝缘电阻：指压敏电阻器的引出线（引脚）与电阻体绝缘表面之间的电阻值。

11 . 静态电容量（ PF）：指压敏电阻器本身固有的电容容量。

12 . 额定功率：在特定的环境温度 85 下工作 1000 小时，使压敏电压变化小于 10%的最大功率。

13 . 最大冲击电流（8/20us): 以特定的脉冲电流（8/20us 波形）冲击压敏电阻器一次或两次（每次间隔 5 分钟）， 使的压敏电压变化仍在 10%以内的最大冲击电流。

ESD

- ESD保护器件具有如下优秀特性。
- 非常低的箝位电压；

非常出色的 ESD防护能力，高达 30KV；

完全符合 IEC61000-4-2，Level 4 标准和 HBM MIL-Std 883，class 3 认证；

非常低的结电容，低至 1pF；

超低的漏电流，远小于 1 μA；

快速的响应时间，远小于 1ns；

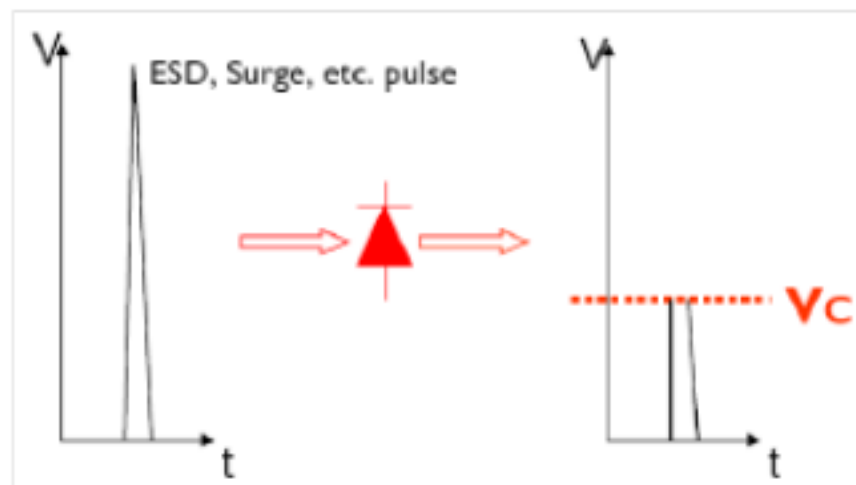
无铅超小封装。

表错误！文档中没有指定样式的文字。 .1 ESD 器件关键参数表

符号	中文名称	解释
V _C	箝位电压	脉冲电压通过 ESD 器件后，所达到的电压值
V _{RWM}	反向关断电压	应大于或等于被保护线路的操作电压
I _R @V _{RWM}	反向漏电流	应小于电路允许的最大漏电流
P _{PP}	峰值脉冲功率	保护器件能吸收瞬时脉冲的能量，典型值取自 300W 8/20 μ s 脉冲
C _D	结电容	是保护器件的寄生电容， 数据率或操作频率越高的线路上使用的 ESD 保护器件的结电容要越低，否则将破坏数据信号。

VC箝位电压

V_C箝位电压指脉冲电压通过 ESD保护器件后，所被箝位的电压。如 12V 的脉冲信号，经过 PESD5V0L2B箝位后，电压降为 5V。

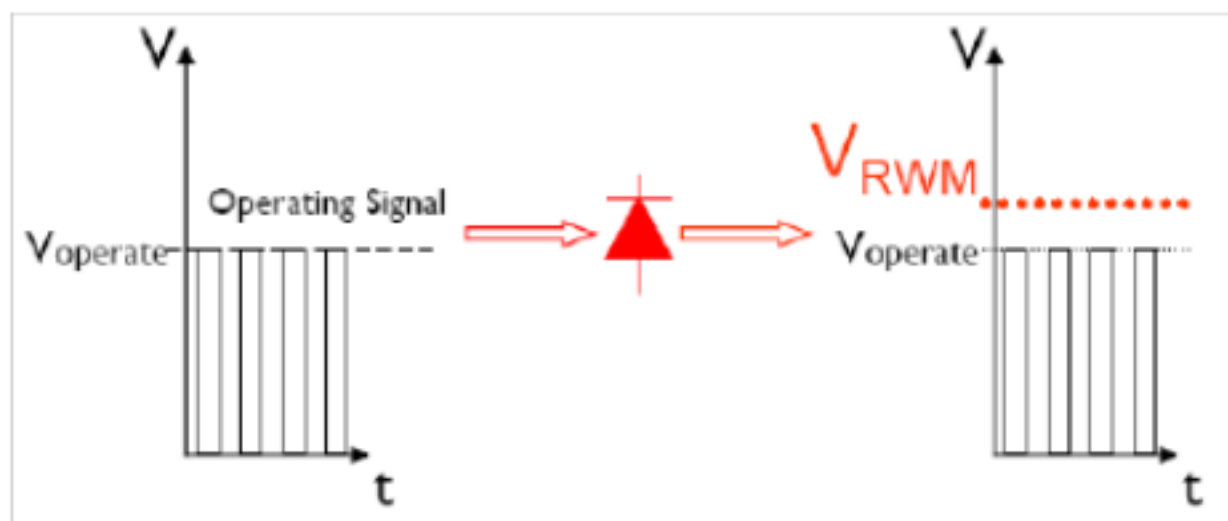


ESD保护器件具有如下优秀特性。

- 非常低的箝位电压；
- 非常出色的 ESD防护能力，高达 30KV；
- 完全符合 IEC61000-4-2，Level 4 标准和 HBM MIL-Std 883，class 3 认证；
- 非常低的结电容，低至 1pF；
- 超低的漏电流，远小于 1 μ A；
- 快速的响应时间，远小于 1ns；
- 无铅超小封装。

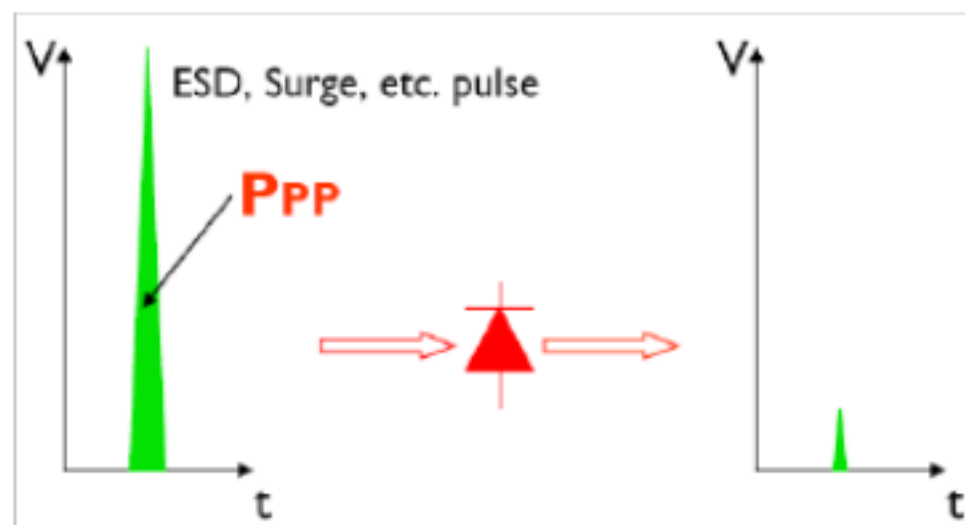
VRWM反向关断电压

ESD保护器件的反向关断电压应大于被保护线路工作电压，如下图所示。



PPP 峰值脉冲功率

P_{PP} 峰值脉冲功率为 ESD器件上瞬间通过的功率值，如 300W@8/20 μ s，在此功率范围内，ESD保护器件能够正常工作。



NXP ESD保护器件的分类及原理

- 基于齐纳二极管（ Zener Basic）的 **PESD**系列；
- 轨到轨（ RTR+ Zener 混合）的 **PRTR**系列，此系列不是上图的“ Rail-to-Rail 系列”；

混合了 EMI 滤波器，缓冲器，电平转换等功能的 IP 系列。

PESD系列

PESD系列是基于齐纳二极管的 ESD 保护器件，反向起作用。ESD脉冲反向通过时，超过 V_{RWM} 的电压被释放掉。PESD系列分单向和双向两种极性，对线路如何起到保护作用 and 接法用图例说明

PRTR系列

Rail-to-Rail (RTR) 翻译成“轨到轨”，用两个开关二极管串联，被保护的线路接中间，两端一头接正参考源（如电源），一头接负参考源（如地）。因开关二极管是正向起作用，当被保护的线路上有瞬时高压脉冲进入，正向脉冲会通过接到正参考源的二极管释放，负向脉冲会通过接到负参考源的二极管释放。

轨到轨保护器件的接法：中间接被保护线路， V_{REF1} 接正参考源（一般接电源）， V_{REF2} 接负参考源（一般接地）。因二极管导通压降 0.7V，故信号电压范围被限制在 $V_{REF1}+0.7V \sim V_{REF2}-0.7V$ 之间。RTR型器件连接方法如下图所示。

IP 系列

IP 系列是 NXP 为手持电子设备和消费类电子产品保护高速通讯端口而推出的，不但包含 ESD保护功能，还集成了 EMI 滤波、电平切换、缓冲等功能。使之满足成本和电路板空间都有苛刻要求的应用，如：手机，VGA，LCD TV，HDMI，USB，音频，视频，TCP/IP，STB，LVDS等。IP 系列对各种应用有很强的针对性，应用方法非常简单，在应用篇再详细说明。下图为 IP 系列某些器件内部结构示意图。

几种厂家 ESD器件参数

顺雷器件

TVS瞬态抑制二极管

SMAJ PART NUMBER		DEVICE MARKING CODE		REVERSE STAND- OFF VOLTAGE $V_{RWM}(V)$	BREAKDOWN VOLTAGE $V_{BR}(V)$ MIN.@ I_T	BREAKDOWN VOLTAGE $V_{BR}(V)$ MAX.@ I_T	TEST CURRENT $I_T (mA)$	MAXIMUM CLAMPING VOLTAGE @ $I_{pp} V_c(V)$	PEAK PULSE CURRENT $I_{pp} (A)$	REVERSE LEAKAGE @ V_{RWM} $I_R(\mu A)$
UNI-POLAR	BI-POLAR	UNI	BI							
SMAJ5.0A	SMAJ5.0CA	AE	WE	5.0	6.40	7.00	10	9.2	43.5	500
SMAJ6.0A	SMAJ6.0CA	AG	WG	6.0	6.67	7.37	10	10.3	38.8	500
SMAJ6.5A	SMAJ6.5CA	AK	WK	6.5	7.22	7.98	10	11.2	35.7	300
SMAJ7.0A	SMAJ7.0CA	AM	WM	7.0	7.78	8.60	10	12.0	33.3	200

SMCJ PART NUMBER		DEVICE MARKING CODE		REVERS E STAND- OFF VOLTAGE $V_{RWM}(V)$	BREAKDOW N VOLTAGE $V_{BR}(V)$ MIN.@ I_T	BREAKDOW N VOLTAGE $V_{BR}(V)$ MAX.@ I_T	TEST CURRENT $I_T (mA)$	MAXIMUN CLAMPING VOLTAGE @ $I_{pp} V_c(V)$	PEAK PULSE CURREN T $I_{pp} (A)$	REVERS E LEAKAGE @ V_{RWM} $I_R(\mu A)$
UNI- POLAR	BI-POLAR	UNI	BI							
SMCJ5.0A	SMCJ5.0CA	GDE	BDE	5.0	6.40	7.00	10	9.2	163.0	500
SMCJ6.0A	SMCJ6.0CA	GDG	BDG	6.0	6.67	7.37	10	10.3	145.7	500
SMCJ6.5A	SMCJ6.5CA	GDK	BDK	6.5	7.22	7.98	10	11.2	134.0	300
SMCJ7.0A	SMCJ7.0CA	GDM	BDM	7.0	7.78	8.60	10	12.0	125.0	200

TVS-ESD

ELECTRICAL CHARACTERISTICS PER LINE (@ 25°C Unless Otherwise Specified)									
PART NUMBER	DEVICE MARKING	V _{RWM} (V) (max.)	V _B (V) (min.)	I _T (mA)	V _C @1A (max.)	V _C (max.) (@A)		I _R (μA) (max.)	C _T (pF) (typ.)
TESD05EB	0	5	6	1	10	12	5	1	10

聚合物型 ESD

Characteristics	Unit	PESD040205A015FR		PESD060305A015FR	
		Typical	Max.	Typical	Max.
Continuous operating voltage	V	5		5	
Leakage current (IL)	uA	0.05	10	0.05	10
Response time	ns	0.6	1	0.6	1
Trigger voltage (VT)	V	300		300	
Clamping Voltage (Vc)	V	30	100	30	100
Capacitance, @1MHz (Cp)	Pf	0.15	0.5	0.15	0.5
ESD pulse withstand	Pulse	100		100	
RF-Power testing,0-2GHz	dbm		35		35
Insertion loss, 0-2GHz	db		0.05		0.05
ESD voltage capability,Contact discharge	KV	8	15	8	15
ESD voltage capability,Air discharge mode	KV	15	25	15	25

安森美

TVS瞬态抑制二极管

Device*	Device Marking	V _{RWM} (Note 6)	I _R @ V _{RWM}	Breakdown Voltage				V _C @ I _{PP} (Note 8)		θV _{BR}
				V _{BR} V (Note 7)			@ I _T	V _C	I _{PP}	
		V	μA	Min	Nom	Max	mA	V	A	%/°C
1.5SMC6.8AT3G	6V8A	5.8	1000	6.45	6.8	7.14	10	10.5	143	0.057
1.5SMC7.5AT3G	7V5A	6.4	500	7.13	7.5	7.88	10	11.3	132	0.061
1.5SMC8.2AT3G	8V2A	7.02	200	7.79	8.2	8.61	10	12.1	124	0.065
1.5SMC10AT3G	10A	8.55	10	9.5	10	10.5	1	14.5	103	0.073
1.5SMC12AT3G	12A	10.2	5	11.4	12	12.6	1	16.7	90	0.078
1.5SMC13AT3G	13A	11.1	5	12.4	13	13.7	1	18.2	82	0.081
1.5SMC15AT3G	15A	12.8	5	14.3	15	15.8	1	21.2	71	0.084
1.5SMC16AT3G	16A	13.6	5	15.2	16	16.8	1	22.5	67	0.086
1.5SMC18AT3G	18A	15.3	5	17.1	18	18.9	1	25.2	59.5	0.088
1.5SMC20AT3G	20A	17.1	5	19	20	21	1	27.7	54	0.09

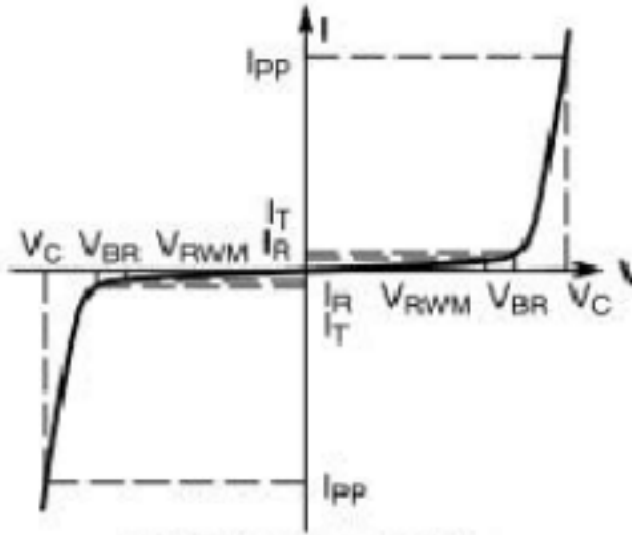
ESD保护系列

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(T_A = 25°C unless otherwise noted)

Symbol	Parameter
I _{PP}	Maximum Reverse Peak Pulse Current
V _C	Clamping Voltage @ I _{PP}
V _{RWM}	Working Peak Reverse Voltage
I _R	Maximum Reverse Leakage Current @ V _{RWM}
V _{BR}	Breakdown Voltage @ I _T
I _T	Test Current

*See Application Note AND8308/D for detailed explanations of datasheet parameters.



Bi-Directional TVS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)


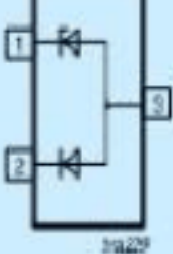

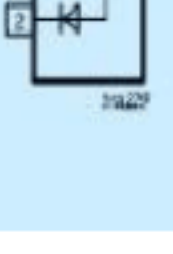
Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Working Voltage	V _{RWM}				3.3	V
Breakdown Voltage	V _{BR}	I _T = 1 mA (Note 2)	5.0			V
Reverse Leakage Current	I _R	V _{RWM} = 3.3 V		< 1	50	nA
Clamping Voltage	V _C	I _{PP} = 1 A (Note 3)		7.8	9.1	V
ESD Clamping Voltage	V _C	Per IEC61000-4-2	See Figures 1 and 2			
Junction Capacitance	C _J	V _R = 0 V, f = 1 MHz V _R = 0 V, f = 1 GHz		5.0 5.0	7.0 7.0	pF
Dynamic Resistance	R _{DYN}	TLP Pulse		0.60		Ω
Insertion Loss		f = 1 MHz f = 8.5 GHz		0.20 0.56		dB

NXP

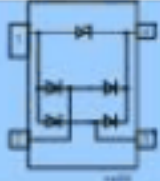
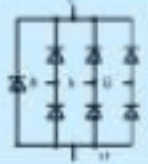
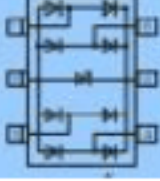
低容抗 <25pF

保护线数目		I_{RM} @ V_{RWM} MAX.		C_{line} typ. [pF]	P_{PP}^* max. [W]	ESD rating** Max. [kV]	结构	型号	封装
单向	双向	[uA]	[V]						
1		2	3.3	0.6	80	30		PESD3V3U1UT PESD5V0U1UT PESD12VU1UT PESD15VU1UT PESD24VU1UT	SOT23
		1	5	0.6	80	30			
		0.05	12	0.6	200	30			
		0.05	15	0.6	200	30			
		0.05	24	0.6	200	23			

标准容抗

保护通道数		I_{RM} @ V_{RWM} MAX.		C_{line} typ. [pF]	P_{PP}^* max. [W]	ESD rating** Max. [kV]	结构	型号	封装
单向	双向	[uA]	[V]						
1		2	3.3	200	150	30		PESD3V3SIUL PESD5V0SIUL PESD12VSIUL PESD15VSIUL PESD24VSIUL	SOD882
		1	5	150	150	30			
		0.05	12	38	150	30			
		0.05	15	32	150	30			
		0.05	24	23	150	23			
		2	3.3	207	330	30		PESD3V3SIUB PESD5V0SIUB PESD12VSIUB PESD15VSIUB PESD24VSIUB	SOD523(SC-79)
		1	5	152	260	30			
		0.05	12	38	180	30			
		0.05	15	32	160	30			
		0.05	24	23	160	23			

轨到轨 ESD

2	0.1	3	1	8		PRTR5V0U2X	SOT143
	0.1	3	1.8	12		PRTR5V0U2AX	
3	0.1	3	4	8		IP4059CX5/LF	5ball CSP
4	0.1	3	1	8		PRTR5V0U4D	SOT457(SC-74)