

1 TVS 工作原理

TVS (Transient Voltage Suppressors)，即瞬态抑制二极管，又称雪崩击穿二极管。有单向与双向之分，单向 TVS 应用在直流电路，双向 TVS 应用于交流电路。如图所示 TVS 反向并联于电路中，当电路正常工作时，它处于截止状态（高阻态），不影响电路正常工作。当电路出现异常过电压并达到其（雪崩）击穿电压时，迅速由高电阻状态突变为低电阻状态，泄放由异常过电压导致的瞬时过电流到地，同时把异常过电压钳制在后级电路可承受的安全水平之内，从而保护后级电路免遭异常过电压的损坏。当异常过电压消失后，TVS 阻值又恢复为高阻态。

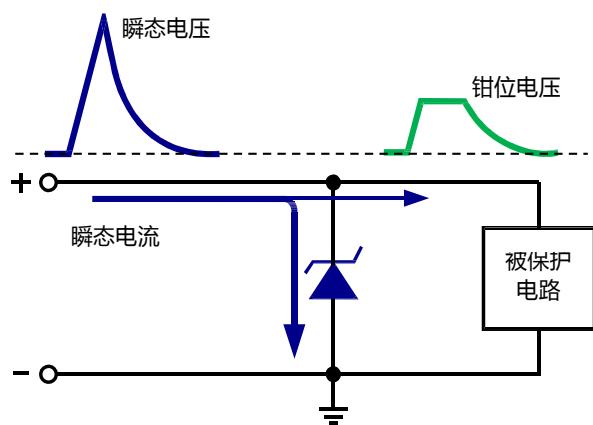


图 1 电路保护原理简图

TVS 的伏安特性曲线及相关参数说明如图 2 所示，双向 TVS 伏安特性曲线第一象限与第三象限极性相反，特性相似，如图 3。当 TVS 反向偏置时，TVS 有两种工作模式：待机（高阻抗）或钳制（相对的低阻抗），如图 2 第三象限。在待机状态下，流过 TVS 的电流称为待机电流 (IR) 或漏电流，该电流的大小随 TVS 的结温而变化。在 TVS 的伏安特性曲线中，由高阻抗（待机）向低阻抗（钳位）转变是雪崩击穿的开始，当 TVS 完全雪崩击穿时，TVS 会瞬间把高电压转化为流过其体内的大电流并保持 PN 结两端相对较低的钳位电压。

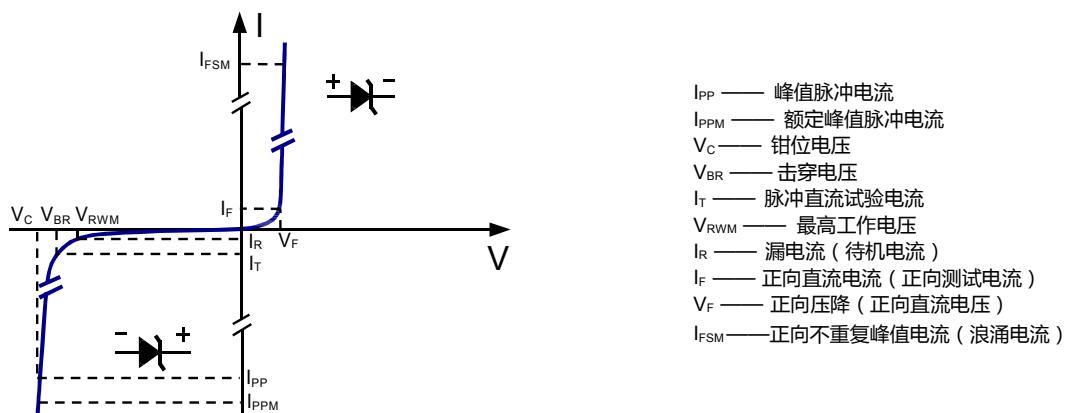


图 2 单向 TVS 伏安特性曲线

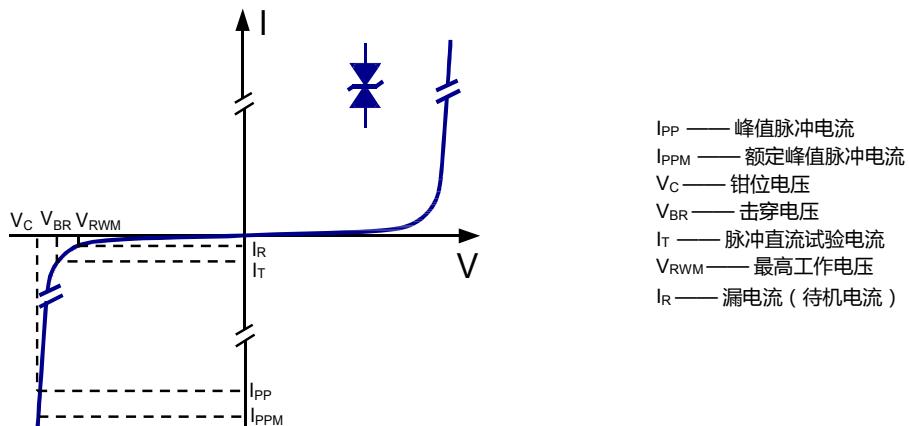


图 3 双向 TVS 伏安特性曲线

2 TVS 特点

- TVS 内部芯片为半导体硅材料，采用半导体工艺制成，具有较高的可靠性。
- TVS 具有较低的动态内阻，钳位电压低。
- TVS 较其他过压保护器件，具有较快的响应速度。
- TVS 电压精度高，一般为 $\pm 5\%$ 的偏差，在特殊应用场合，还可以通过工艺改善或参数筛选达到更高的精度。
- TVS 封装多样化，贴片封装有 SOD-123、SMA (DO-214AC)、SMB(DO-214AA)、SMC(DO-214AB)、DO-218AB 等，插件封装有 DO-41、DO-15、DO-201、P-600 等。

- TVS 在 10/1000μs 波形下瞬态功率可达 200W~30KW, 甚至更高。在 8/20μs 波形下瞬态峰值脉冲电流可达 3KA、6KA、10KA、16KA、20KA 甚至更高。
- 工作电压范围可从 5V-600V, 甚至更高。

3 TVS 参数说明

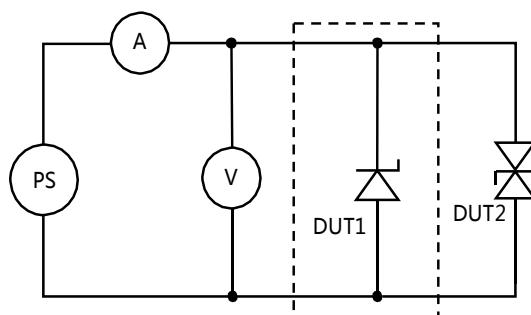
V_{RWM} , 截止电压, TVS 的最高工作电压, 可连续施加而不引起 TVS 劣化或损坏的最高工作峰值电压或直流峰值电压。对于交流电压, 用最高工作电压有效值表示。在 V_{RWM} 下, TVS 认为是不工作的, 即是 不导通的。

I_R , 漏电流, 也称待机电流。在规定温度和最高工作电压条件下, 流过 TVS 的最大电流。TVS 的漏电流一般是在截止电压下测量, 对于某一型号 TVS, I_R 应在规定值范围内。

V_{RWM} 和 I_R 测试回路如图 4 所示, 对 TVS 两端施加电压值为 V_{RWM} , 从电流表中读出的电流值即为 TVS 的漏电流 I_R , 其中虚线框表示单向 TVS 测试回路。如对于我司型号为 SMAJ5.0A 的 TVS, 当加在 TVS 两端的电压为 5VDC 时, 流过 TVS 的电流应小于 800μA。对于同功率和同电压的 TVS, 在 $V_{RWM} \leq 10V$ 时, 双向 TVS 漏电流是单向 TVS 漏电流的 2 倍。

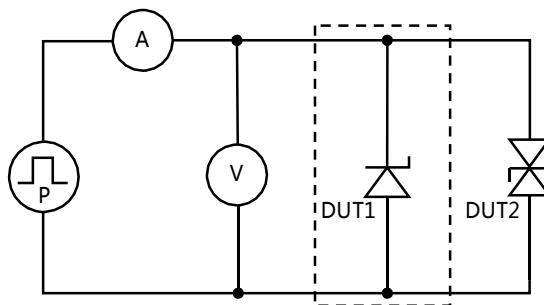
V_{BR} 击穿电压, 指在 $V-I$ 特性曲线上, 在规定的脉冲直流电流 I 或接近发生雪崩的电流条件下测 TVS 两端的电压。

对于低压 TVS, 由于漏电流较大, 所以测试电流选取的 I_T 较大, 如 SMAJ5.0A, 测试电流 I_T 选取 10mA。 V_{BR} 测试电路如图 5 所示, 使用脉冲恒流源对 TVS 施加 I_T 大小的电流时, 读出 TVS 两端的电压则为击穿电压。电流施加时间应不超过 400ms, 以免造成 TVS 受热损坏。 $V_{BR\ MIN.}$ 和 $V_{BR\ MAX.}$ 是 TVS 击穿电压的一个偏差, 一般 TVS 为 $\pm 5\%$ 的偏差。测量时, V_{BR} 落在 $V_{BR\ MIN.}$ 和 $V_{BR\ MAX.}$ 之间视为合格品。



元件：PS—可调直流电压源（如为交流试验，则为交流电压源）V—数字电压表（如为交流试验，则为示波器）A—直流微安表（如为交流试验，则为交流微安表）DUT1—受试单向器件
DUT2—受试双向器件

图 4 TVS 最大工作电压 (V_{RWM} , 交流则为有效值) 漏电流 (I_R) 试验电路



元件：

P—脉冲恒流源
件V—数字电压表 DUT1—受试单向器
DUT2—受试双向器件图 5 TVS 击穿电压 (V_{BR}) 测试电路

I_{PP} ，峰值脉冲电流，给定脉冲电流波形的峰值。TVS 一般选用 10/1000μs 电流波形（图 6） V_C ，钳位电压，施加规定波形的峰值脉冲电流 I_{PP} 时，TVS 两端测得的峰值电压。 I_{PP} 及 V_C 是衡量 TVS 在电路保护中抵抗浪涌脉冲电流及限制电压能力的参数，这两个参数是相互联系的。对于 TVS 在防雷保护电路中的钳位特性，可以参考 V_C 这个参数，对于同一型号 TVS，在相同 I_{PP} 下的 V_C 越小，说明 TVS 的钳位特性越好。同型号 TVS 的 I_{PP} 越大，耐脉冲电流冲击能力越强。

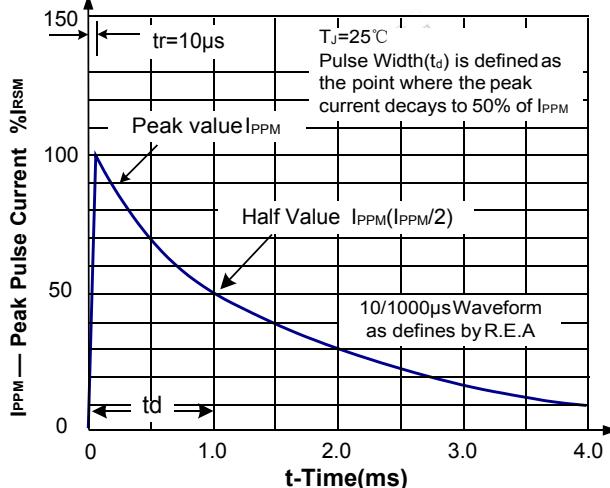
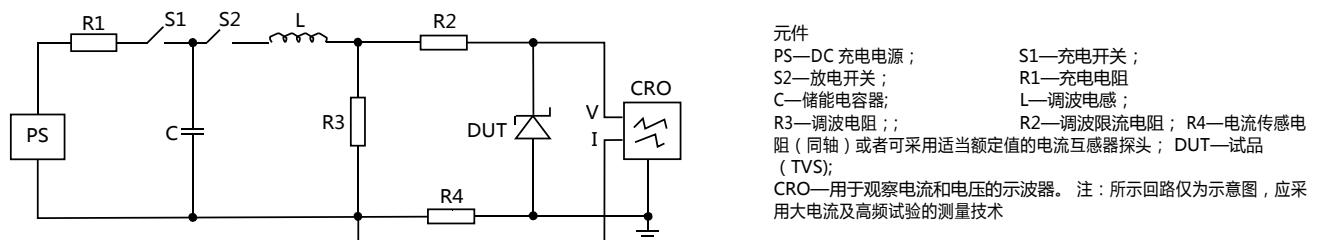


图 6 10/1000μs 电流波形

图 7 为 TVS 峰值脉冲电流 (I_{PP}) 钳位电压 (V_C) 测量试验回路示意图，测量时应考虑到 TVS 的散热问题，两次测试时间间隔不能太短，以免对 TVS 造成损坏。

图 7 TVS 钳位电压 (V_C)，峰值脉冲电流 (I_{PP}) 试验回路

以上对于 TVS 的测量，图中所示电路为电路的基本原理，目前市面上有多种 TVS 电性检测仪器，如晶体管图示仪，TVS 检测仪等，浪涌发生器、TVS 逆向功率测试仪等。

4 TVS 选型注意事项

最高工作电压 V_{RWM}

在电路正常工作情况下，TVS 应该是不工作的，即处于截止状态，所以 TVS 管的截止电压应大于线路上最高工作电压。这样才能保证 TVS 在电路正常工作下不会影响电路工作。但是 TVS 的工作电压高低也决定了 TVS 钳位电压的高低，在截止电压大于线路正常工作电压的情况下，TVS 工作电压也不能选取的过高，如果太高，钳位电压也会较高，所以在选择 V_{RWM} 时，要综合考虑被保护电路的工作电压及后级电路的承受能力。

TVS 功率选型

TVS 产品的额定瞬态功率应大于电路中可能出现的最大瞬态浪涌功率，具体可参照如下计算方法。

TVS 的额定功率记为 P_{PPM} ，则 P_{PPM} 的功率可估算为： $P_{PPM} = V_c \times I_{PP}$

其中， V_c 为 TVS 的钳位电压， I_{PP} 为 TVS 在 10/1000μs 波形的峰值脉冲电流。

对于不同功率等级的 TVS，相同电压规格的 TVS 其 V_c 值是一样的，只是 I_{PP} 不同。故 P_{PPM} 与 I_{PPM} 成正比， I_{PPM} 越大， P_{PPM} 也越大。

对于某一电路，有对应的测试要求，设实际电路中的最大测试电流为 I_{actual} ，则 I_{actual} 可估算为：

$$I_{actual} = \frac{U_{actual}}{R_i}$$

其中 U_{actual} 为测试电压， R_i 为测试内阻。

TVS 要通过测试，故实际电路中要求 10/1000μs 波形下 TVS 的最小功率 P_{actual} 为：

$$P_{actual} = V_c \times I_{actual} \times \Delta \frac{di}{dt} = V_c \times \frac{U_{actual}}{R_i} \times \Delta \frac{di}{dt}$$

其中 $\Delta \frac{di}{dt}$ 为波形转换系数，如实际测试波形为其他波形，如 8/20μs（见附录）波形，建议 $\Delta \frac{di}{dt}$ 取 $\frac{1}{3 \sim 5}$ ，如测试波形为 10/700μs（见附录），建议 $\Delta \frac{di}{dt}$ 取 $\frac{1}{1.5 \sim 2}$ ， $\Delta \frac{di}{dt}$ 与 TVS 的材质有关。

实际选型中，TVS 应留有一定的裕量，TVS 的功率 P_{PPM} 选择应遵循 $P_{PPM} \geq P_{actual}$ 。

V_C 钳位电压

TVS 钳位电压应小于后级被保护电路最大可承受的瞬态安全电压, V_C 与 TVS 的雪崩击穿电压及 I_{PP} 都成正比。对于同一功率等级的 TVS, 其击穿电压越高 V_C 也越高。

I_R 漏电流

对于一些通信电路及低功耗电路, 要特别关注 I_R, I_R 不能影响系统的效率及正常工作。一般电压 TVS 的漏电流会比较大, 如果在电压允许的情况下, 尽量选择 10V 以上的 TVS, 漏电流会比较小。如果一定要选择低压低漏流的 TVS, 我司也可提供低漏流的 TVS 产品。

结电容

TVS 的结电容一般在几十皮法到几十纳法。对于同一功率等级的 TVS, 其电压越低, 电容值越大。在一些通信线路中, 要注意 TVS 的结电容, 不能影响线路正常工作。

封装形式

TVS 的功率从封装形式上也可以体现, 封装体积越小, 其功率一般也越小, 因为 TVS 的芯片面积直接决定了 TVS 的功率等级。电路工程师可根据电路设计及测试要求选择合适封装的 TVS 器件。

TVS分类

贴片系列

SMFJxxA (CA) : 200W (SOD123FL) SMAJxxA (CA) : 400W (SMA/DO-214AC) SMBJxxA (CA) : 600W (SMB/DO-214AA)
1.0SMBJxxA (CA) : 1000W (SMB/DO-214AA) 1.5SMBJxxA (CA) : 1500W SMCJxxA (CA) : 1500W (SMC/DO-214AB)
SMDJxxA (CA) : 3000W (SMC/DO-214AB) 5.0SMDJxxA (CA) : 5000W (SMC/DO-214AB) P5TxxA: 4600W (SMC/DO-214AB)
SM5SxxA: 3600W (DO-218AB) SM6SxxA: 4600W (DO-218AB) SM8SxxA: 6600W (DO-218AB)

插件系列

P6KExxA (CA) : 600W (DO-15) 1.5KExxA (CA) : 1500W (DO-27) 3KPxxA (CA) : 3000W (R6/P600)
5KPxxA (CA) : 5000W (R6/P600) 8KPxxA (CA) : 8KW (R6/P600) 15KPxxA (CA) : 15KW 20KPxxA (CA) : 20KW
30KPxxA (CA) : 30KW (R6/P600) P5SxxA (CA) : 5KW (R6/P600) P6SxxA (CA) : 6KW (R6/P600)
P8SxxA (CA) : 8KW (R6/P600) P10SxxA (CA) : 10KW (R6/P600)
AK1-xxx: 1KA AK3-xxx: 3KA AK6-xxx: 6KA AK10-xxx: 10KA