

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。

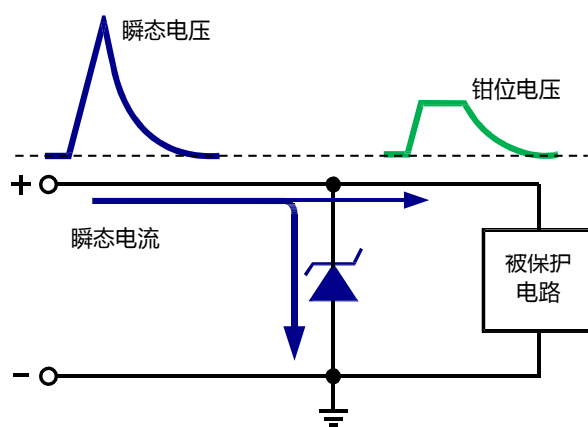
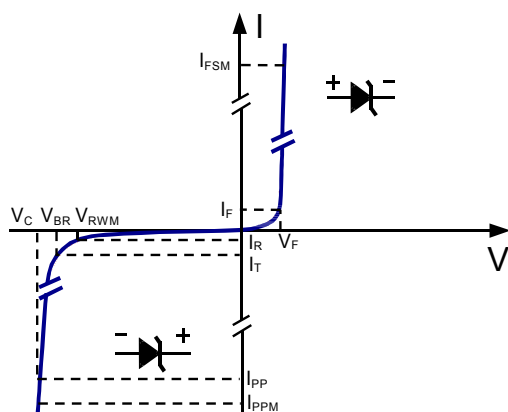


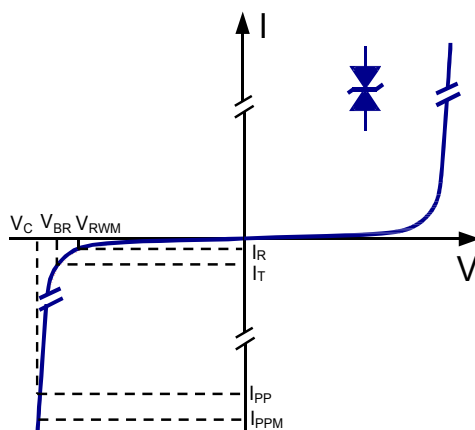
图 1 电路保护原理简图

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（ I_R ）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。



I_{PP} —— 峰值脉冲电流
 I_{PPM} —— 额定峰值脉冲电流
 V_C —— 钳位电压
 V_{BR} —— 击穿电压
 I_T —— 脉冲直流试验电流
 V_{RWM} —— 最高工作电压
 I_R —— 漏电流（待机电流）
 I_F —— 正向直流电流（正向测试电流）
 V_F —— 正向压降（正向直流电压）
 I_{FSM} —— 正向不重复峰值电流（浪涌电流）

图 2 单向 TVS 伏安特性曲线



I_{PP} —— 峰值脉冲电流
 I_{PPM} —— 额定峰值脉冲电流
 V_C —— 钳位电压
 V_{BR} —— 击穿电压
 I_T —— 脉冲直流试验电流
 V_{RWM} —— 最高工作电压
 I_R —— 漏电流（待机电流）

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 10/1000 μ s 波形下瞬态功率可达 200W~30KW，甚至更高。在 8/20 μ s 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

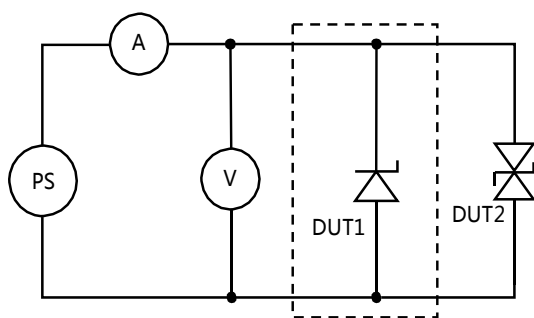
V_{RWM} ，截止电压，TVS 的最高工作电压，可连续施加而不引起 TVS 劣化或损坏的最高工作峰值电压或直流峰值电压。对于交流电压，用最高工作电压有效值表示。在 V_{RWM} 下，TVS 认为是不工作的，即是不导通的。

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 800 μ A。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。

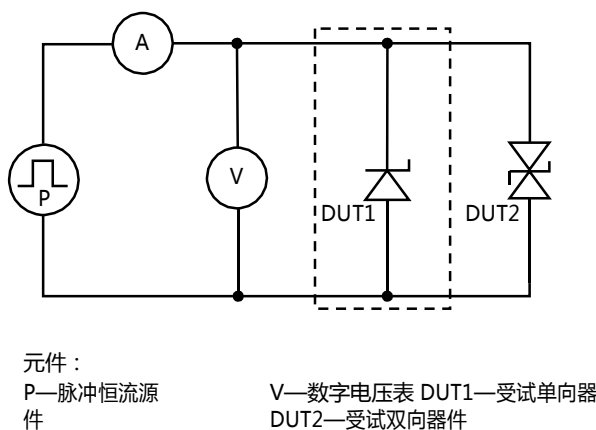
V_{BR} 击穿电压，指在 $V-I$ 特性曲线上，在规定的脉冲直流电流 I 或接近发生雪崩的电流条件下测 TVS 两端的电压。

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

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 10/1000 μ s 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。

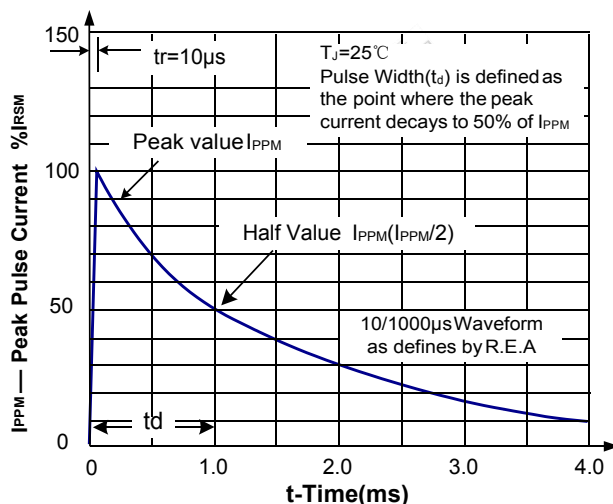
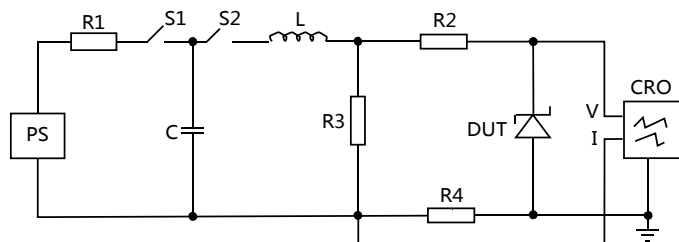
图 6 10/1000 μ s 电流波形

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。



元件
PS—DC 充电电源；
S1—充电开关；
S2—放电开关；
R1—充电电阻；
C—储能电容器；
L—调波电感；
R2—调波限流电阻；
R3—调波电阻；
R4—电流传感电阻（同轴）或者可采用适当额定值的电流互感器探头；
DUT—试品（TVS）；
CRO—用于观察电流和电压的示波器。
注：所示回路仅为示意图，应采用大电流及高频试验的测量技术

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 10/1000 μ s 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 10/1000 μ s 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 8/20 μ s（见附录）波形，建议 $\Delta \frac{di}{dt}$ 取 $\frac{1}{3 \sim 5}$ ，如测试波形为 10/700 μ s（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。