

## 瞬态电压抑制二极管应用指南

### ● TVS 器件的特点

瞬态（瞬变）电压抑制二极管简称 TVS 器件，在规定的反向应用条件下，当承受一个高能量的瞬时过压脉冲时，其工作阻抗能立即降至很低的导通值，允许大电流通过，并将电压箝制到预定水平，从而有效地保护电子线路中的精密元器件免受损坏。TVS 能承受的瞬时脉冲功率可达上千瓦，其箝位响应时间仅为 1ps（10<sup>-12</sup>S）。TVS 允许的正向浪涌电流在 TA=250C，T=10ms 条件下，可达 50~200A。

双向 TVS 可在正反两个方向吸收瞬时大脉冲功率，并把电压箝制到预定水平，双向 TVS 适用于交流电路，单向 TVS 一般用于直流电路。二、TVS 器件的电特性 1、单向 TVS 的 V-I 特性 如图 1-1 所示，单向 TVS 的正向特性与普通稳压二极管相同，反向击穿拐点近似“直角”为硬击穿，为典型的 PN 结雪崩器件。从击穿点到 VC 值所对应的曲线段表明，当有瞬时过压脉冲时，器件的电流急剧增加而反向电压则上升到箝位电压值，并保持在这一水平上。

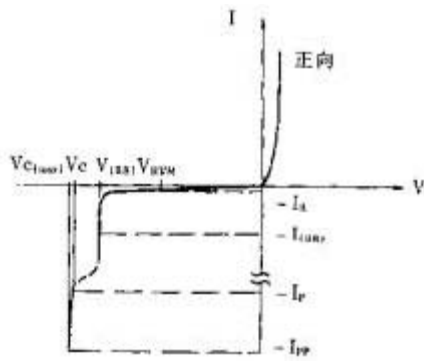


图 1-1

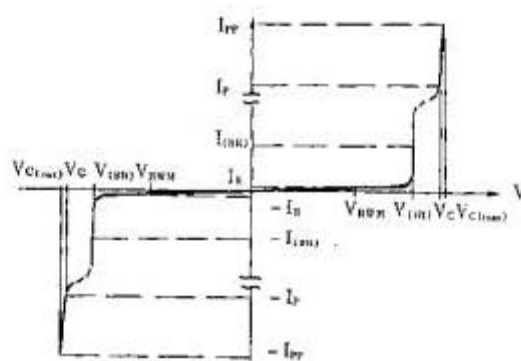


图 1-2

### ● 双向 TVS 的 V-I 特性

如图 1-2 所示，双向 TVS 的 V-I 特性曲线如同两只单向 TVS “背靠背”组合，其正反两个方向都具有相同的雪崩击穿特性和箝位特性，正反两面击穿电压的对称关系为： $0.9 \leq V_{(BR)(正)} / V_{(BR)(反)} \leq 1.1$ ，一旦加在它两端的干扰电压超过箝位电压 VC 就会立刻被抑制掉，双向 TVS 在交流回路应用十分方便。

### ● TVS 器件的主要电参数

#### 1、击穿电压 V(BR)

器件在发生击穿区域内，在规定的试验电流 I(BR) 下，测得器件两端的电压称为击穿电压，在此区域内，二极管成为低阻抗的通路。

#### 2、最大反向脉冲峰值电流 IPP

在反向工作时，在规定的脉冲条件下，器件允许通过的最大脉冲峰值电流。IPP 与最大箝位电压 VC(MAX) 的乘积，就是瞬态脉冲功率的最大值。使用时应正确选取 TVS，使额定瞬态脉冲功率 PPR 大于被保护器件或线路可能出现的最大瞬态浪涌功率。图 1-3 表明当瞬时脉冲峰值电流出现时，TVS 被击穿，并由击穿电压值上升至最大箝位电压值，随着脉冲电流呈指数下降，箝位电压亦下降，恢复到原来状态。因此，TVS 能抑

制可能出现的脉冲功率的冲击，从而有效地保护电子线路。峰值电流波形 A、正弦半波 B、矩形波 C、标准波（指数波形）D、三角波 TVS 峰值电流的试验波形采用标准波（指数波形），由 TR/TP 决定。

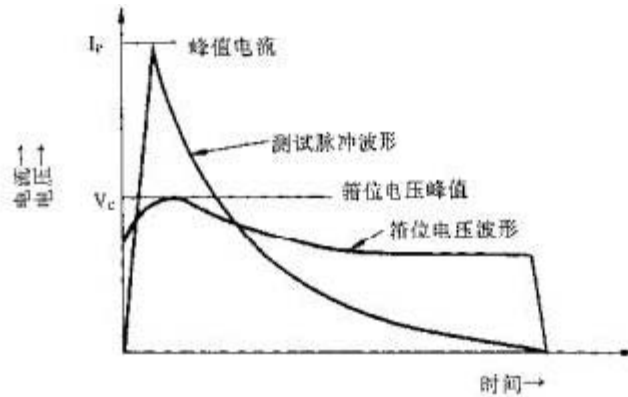


图 1-3

峰值电流上升时间 TR: 电流从 0.1IPP 开始达到 0.9IPP 的时间。

半峰值电流时间 TP: 电流从零开始通过最大峰值后，下降到 0.5IPP 值的时间。

其波形如图 1-4 所示。

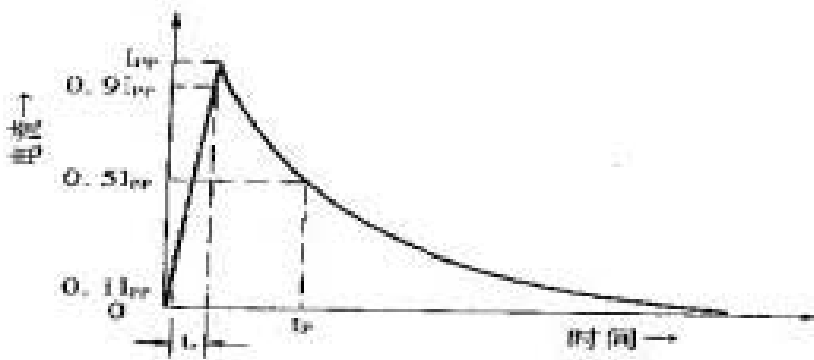


图 1-4

下面列出典型试验波形的 TR/TP 值：

- A、EMP 波（图 1-5）：10ns / 1000ns
- B、闪电波：8 $\mu$ s / 20 $\mu$ s
- C、标准波：10 $\mu$ s / 1000 $\mu$ s

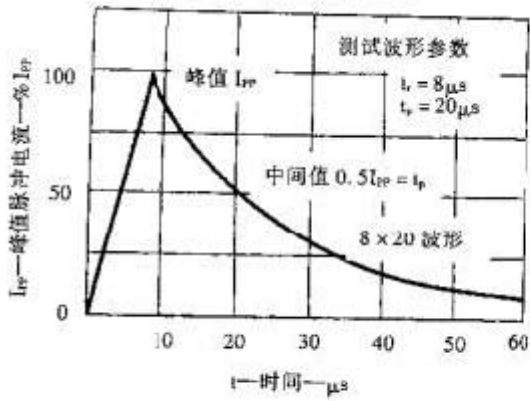


图 1-5  $V_R$

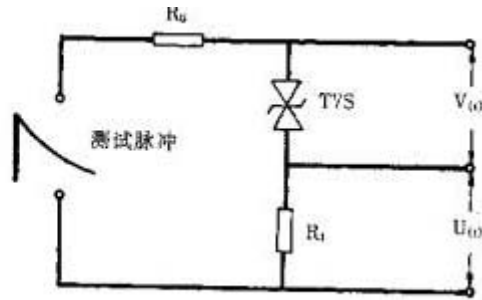


图 1-6

### 3、最大反向工作电压 VRWM (或变位电压)

器件反向工作时，在规定的  $I_R$  下，器件两端的电压值称为最大反向工作电压 VRWM。通常  $VRWM = (0.8 \sim 0.9) V(BR)$ 。在这个电压下，器件的功率消耗很小。使用时，应使 VRWM 不低于被保护器件或线路的正常工作电压。

### 4、最大箝位电压 VC(max)

在脉冲峰值电流  $I_{pp}$  作用下器件两端的最大电压值称为最大箝位电压。使用时，应使  $VC(max)$  不高于被保护器件的最大允许安全电压。最大箝位电压与击穿电压之比称为箝位系数。即：箝位系数 =  $VC(max) / V(BR)$  一般箝位系数为 1.3 左右。最大箝位电压  $VC(max)$  的测试方法见 4.4。

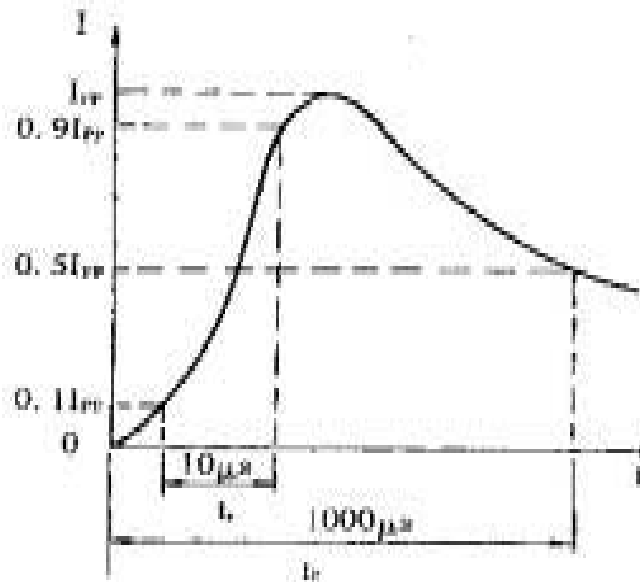


图 1-7

### 5、反向脉冲峰值功率 PPR

TVS 的 PPR 取决于脉冲峰值电流 IPP 和最大箝位电压  $VC(max)$ ，除此以外，还和脉冲波

形、脉冲时间及环境温度有关。

$$\text{当脉冲时间 } t_p \text{ 一定时, } \text{PPR} = K_1 \cdot K_2 \cdot V_C(\text{max}) \cdot I_{pp}$$

式中  $K_1$  为功率系数,  $K_2$  为功率的温度系数。

典型的脉冲持续时间  $t_p$  为 1ms, 当施加到瞬态电压抑制二极管上的脉冲时间  $t_p$  比标准脉冲时间短时, 其脉冲峰值功率将随  $t_p$  的缩短而增加。图 1-8 给出了 PPR 与  $t_p$  的关系曲线。TVS 的反向脉冲峰值功率 PPR 与经受浪涌的脉冲波形有关, 用功率系数  $K_1$  表示, 各种浪涌波形的  $K_1$  值如表 1 所示。

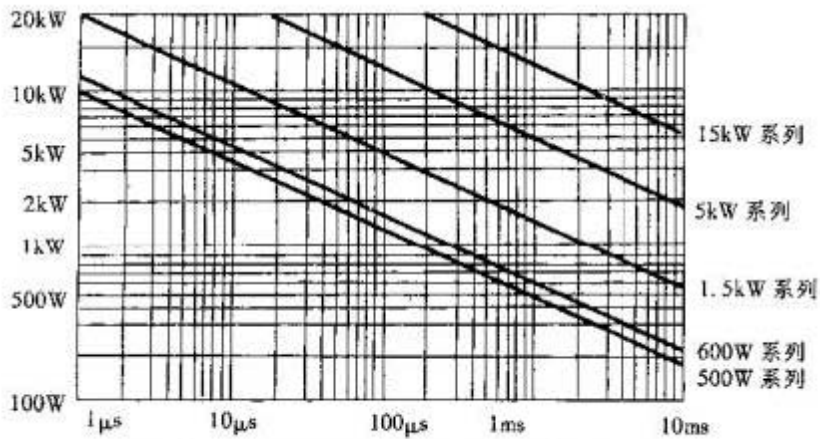


图 1-8 脉冲峰值功率与脉冲时间的关系

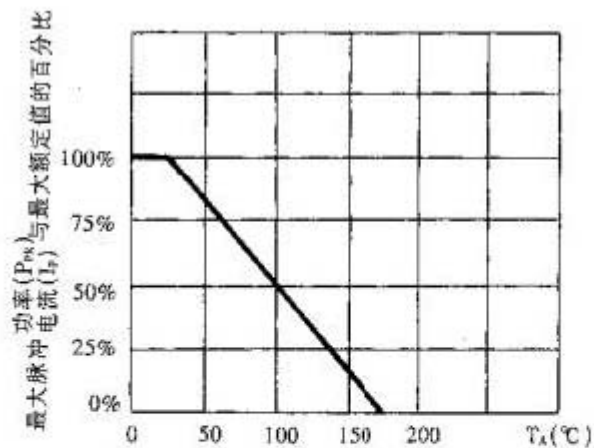


图 1-9 脉冲峰值功率降额曲线

表 1

| 波 形               | $K_f$ |
|-------------------|-------|
| 标准波<br>(试验波形)<br> | 1.00  |
| 矩形波<br>           | 1.40  |
| 正弦半波<br>          | 2.20  |
| 三角波<br>           | 2.80  |

$$E = \int i(t) \cdot V(t) dt$$

式中： $i(t)$ 为脉冲电流波形， $V(t)$ 为箝位电压波形。

这个额定能量值在极短的时间内对 TVS 是不可重复施加的。但是，在实际的应用中，浪涌通常是重复地出现，在这种情况下，即使单个的脉冲能量比 TVS 器件可承受的脉冲能量要小得多，但若重复施加，这些单个的脉冲能量积累起来，在某些情况下，也会超过 TVS 器件可承受的脉冲能量。因此，电路设计必须在这点上认真考虑和选用 TVS 器件，使其在规定的间隔时间内，重复施加脉冲能量的累积不至超过 TVS 器件的脉冲能量额定值。

## 6、电容 CPP

TVS 的电容由硅片的面积和偏置电压来决定，电容在零偏情况下，随偏置电压的增加，该电容值呈下降趋势。电容的大小会影响 TVS 器件的响应时间。

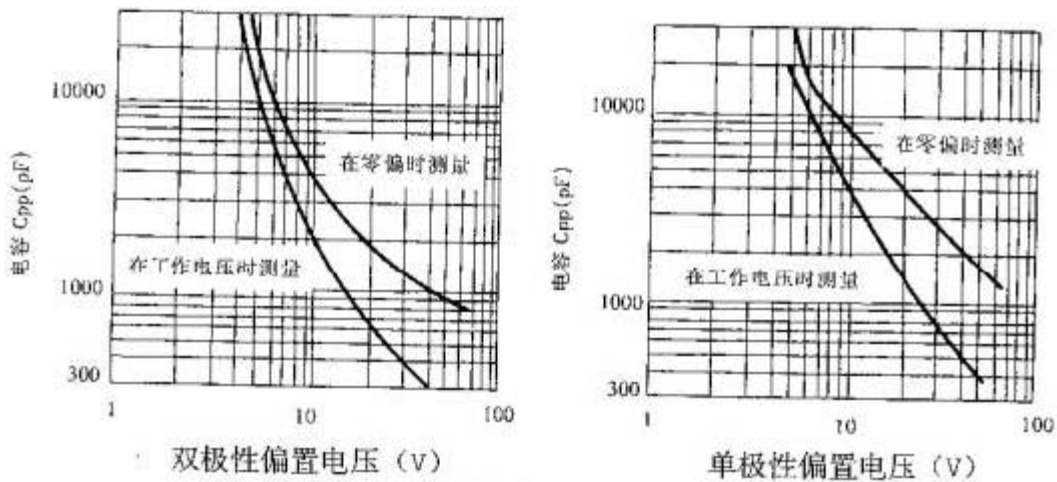


图 1-10 TVS 管的电容  $C_{PP}$  与偏置电压的关系

## 7、漏电流 IR

当最大反向工作电压施加到 TVS 上时，TVS 管有一个漏电流 IR，当 TVS 用于高阻抗电路时，这个漏电流是一个重要的参数。

### ● TVS 选用原则

在选用 TVS 时，必须考虑电路的具体条件，一般应遵循以下原则：

- 一、大箝位电压 VC (MAX) 不大于电路的最大允许安全电压。
- 二、最大反向工作电压（变位电压）VRWM 不低于电路的最大工作电压，一般可以选 VRWM 等于或略高于电路最大工作电压。
- 三、额定的最大脉冲功率，必须大于电路中出现的最大瞬态浪涌功率。

#### TVS 用于交流电路：

见图 2-1，这是一个双向 TVS 在交流电路中的应用，可以有效地抑制电网带来的过载脉冲，从而起到保护整流桥及负载中所有元器件的作用。TVS 的箝位电压不大于电路的最大允许电压。

图 2-2 所示，是用单向 TVS 并联于整流管旁侧，以保护整流管不被瞬时脉冲击穿，选用 TVS 必须是和整流管相匹配。

图 2-3 所示电路中，单向 TVS1 和 TVS2 反接并联于电源变压器输出端或选用一个双向 TVS，用以保护整流电路及负载中的元器件。TVS3 保护整流以后的线路元件，如电源变压器输出端电压为 36 伏时一般 TVS1 和 TVS2 的工作电压 VR 应根据  $36 \times \sqrt{2}$  来选择，其它参数依据电路中的具体条件而定。

#### TVS 用于直流电路：

图 2-4 所示 TVS 并联于输出端，可有效地保护控制系统。TVS 的反向工作电压应等于或略高于直流供电电压，其它参数根据电路的具体条件而定。

图 2-5 所示为两个单向 TVS 连接在电源线路中，用以防止直流电源反接或电源通、断时产生的瞬时脉冲使集成电路损坏。当电路连接有感性负载，如电机、断电器线圈、螺线管时，会产生很高的瞬时脉冲电压。

图 2-6 中的 TVS 可以保护晶体管及逻辑电路，从而省去了较复杂的电阻/电容保护网络。图 2-7 电路中 TVS 起保护和电压限制的作用。

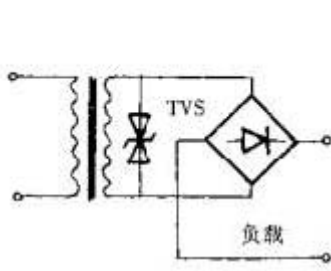


图 2-1

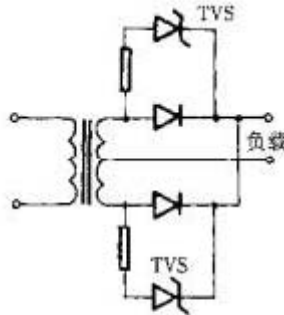


图 2-2

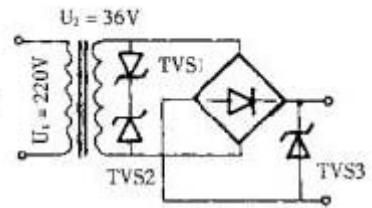


图 2-3

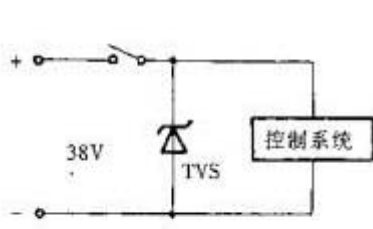


图 2-4

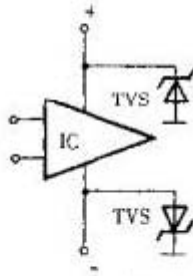


图 2-5

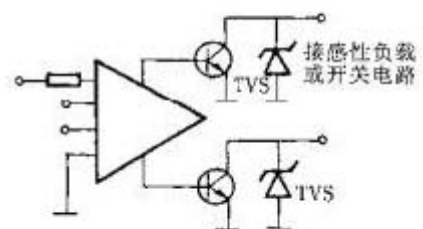


图 2-6

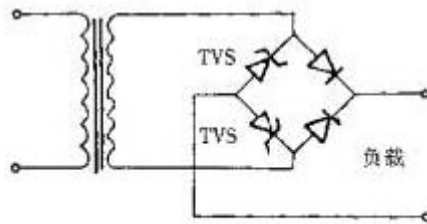


图 2-7 TVS 在电路中起保护和电压限制的作用

### 直流电中选用举例：

整机直流工作电压 12V，最大允许安全电压 25V（峰值），浪涌源的阻抗  $50M\Omega$ ，其干扰波形为方波， $TP=1MS$ ，最大峰值电流 50A。

选择：

- 1、先从工作电压 12V 选取最大反向工作电压  $V_{RWM}$  为 13V，则击穿电压  $V(BR) = 15.3V$ ；
- 2、从击穿电压值选取最大箝位电压  $VC(MAX) = 1.30 \times V(BR) = 19.89V$ ，取  $VC=20V$ ；
- 3、再从箝位电压  $VC$  和最大峰值电流  $IP$  计算出方波脉冲功率： $PPR=VC \times IP=20 \times 50=1000W$
- 4、计算折合为  $TP=1MS$  指数波的峰值功率，折合系数  $K1=1.4$ ， $PPR=1000W \div 1.4=715W$

从手册中可查到 1N6147A 其中  $PPR=1500W$ ，变位电压  $VRWM=12.2V$ ，击穿电压  $V(BR)=15.2V$ ，最大箝位电压  $VC=22.3V$ ，最大浪涌电流  $IP=67.3A$ 。可满足上述设计要求，而且留有一倍的余量，不论方波还是指数波都适用。

### 交流电路应用举例：

直流线路采用单向瞬变电压抑制二极管，交流则必须采用双向瞬变电压抑制二极管。交流是电网电压，这里产生的瞬变电压是随机的，有时还遇到雷击（雷电感应产生的瞬变电压）所以很难定量估算出瞬时脉冲功率  $PPR$ 。但是对最大反向工作电压必须有正确的选取。一般

原则是交流电压乘 1.4 倍来选取 TVS 管的最大反向工作电压。直流电压则按 1.1—1.2 倍来选取 TVS 管的最在反向工作电压 VRWM。

图 2-8 给出了一个微机电源采用 TVS 作线路保护的原理图，由图可见：

- 1、在进线的 220V $\sim$ 处加 TVS 管抑制 220V $\sim$ 交流电网中尖峰干扰。
- 2、在变压器进线加上干扰滤波器，滤除小尖峰干扰。
- 3、在变压输出端 V $\sim$ =20V 处又加上 TVS 管，再一次抑制干扰。
- 4、到了直流 10V 输出时还加上 TVS 管抑制干扰。

其中：

双向 TVS 管 D1 的 VRWM=220V $\sim$  $\times$ 1.4=308V 左右

双向 TVS 管 D2 的 VRWM=20V $\sim$  $\times$ 1.4=28V 左右

单向 TVS 管 D3 的 VRWM=10V $\sim$  $\times$ 1.2=12V 左右

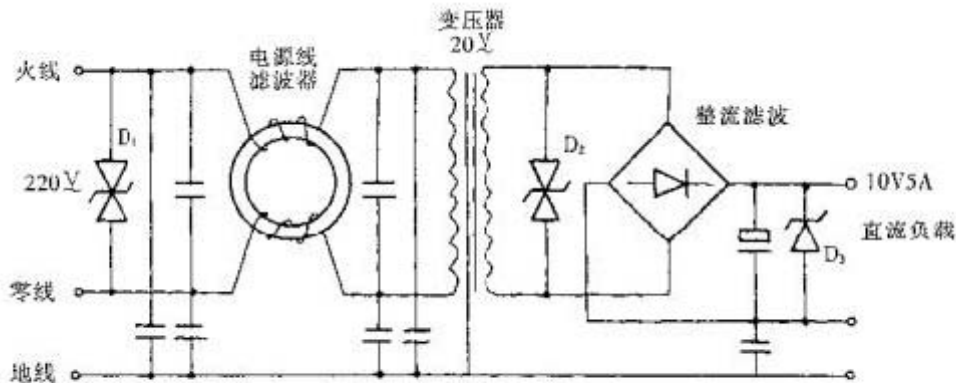


图 2-8

经过如上四次抑制，变成所谓的“净化电源”，还可以加上其它措施，更有效地抑制干扰，防止干扰进入计算机的 CPU 及存贮器中，从而提高微机系统的应用可靠性。

从失效统计概率可知：微机系统产生 100 次故障，其中 90 次来自电源，10 次是微机本身，可见电源的可靠性最重要，要提高整机可靠性，首先应提高电源的可靠性。

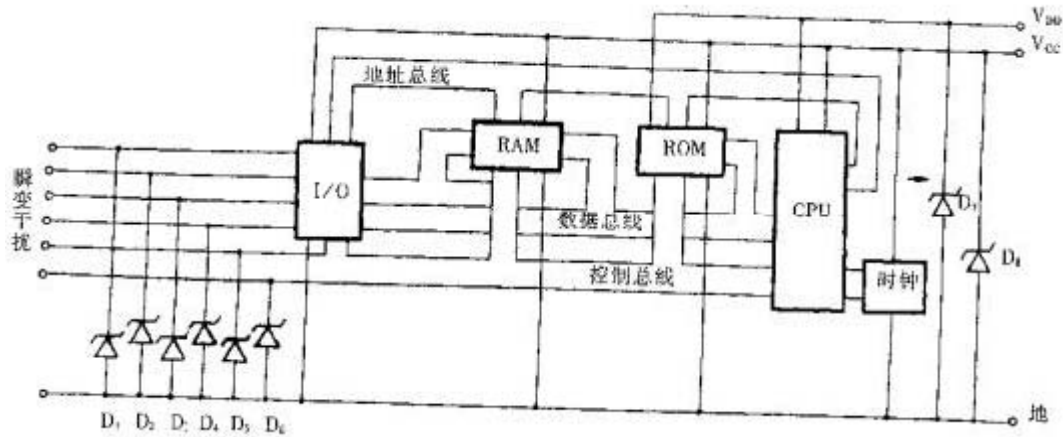
## ● TVS 应用实例

TVS 在美国应用十分广泛，特别是在军事电子装备中非常重视，美国军标不但出牌了不少 TVS 器件的标准，同时在线路应用方面也有军标，如 MIL-HDBK-978B《宇航用电子元器件手册》中第 4.8 节为“双极型瞬变电压抑制器”，文中列出不少 TVS 的应用实例。MIL-HDBK-338B《电子设备可靠性手册》中第 7.4.4 节为“瞬态和过应力保护”，文中也谈到了 TVS 的应用。TVS 在国内的应用，正处于推广应用的阶段，为了加深电路设计人员对 TVS 的认识，提高国产整机的可靠性，现将上述两个美国军标中译出的部分资料整理成文，推荐给广大电路设计人员参考使用。

### 一、TVS 在微机中的应用实例

图 3-1 是一个典型的微机系统，通过电源线、输入线、输出线进入的各种干扰或瞬变电压，可能使微机误动作出故障，特别是来自开关电源，微机近旁的电动机的开与关、交流电源电压的浪涌和瞬变、静电放电等场合都可能使系统产生误动作，严重时还可能损坏器件。将瞬变电压抑制二极管接到微机的电源线输入和输出线上，可防止瞬变电压进入“微机”总线，加强微机对外界干扰的抵抗能力，保证微机正常工作，提高其应用可靠性。由图 1 可以看出，使用 TVS 管的量是很多的。





## 二、TVS 管保护开关电源实例

对开关电源设计师来讲，必须对影响开关电源的三种瞬变类型进行保护：

- 1、由负载变化引起的瞬变电压（电感负载）；
- 2、由电源线引入的瞬变电压；
- 3、由开关电源内部发生的瞬变电压。

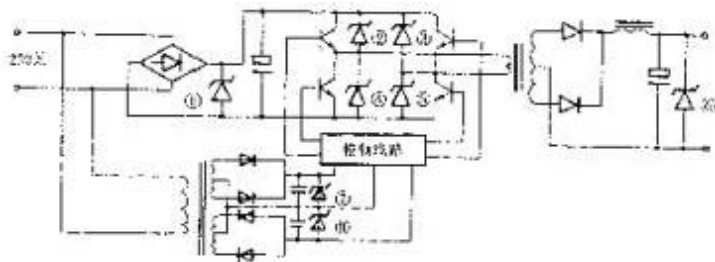
由于电源中需要保护的典型元器件有：

- 1、高反压开关晶体管（VMOS 管）
- 2、高压整流器（高压流整流二极管）
- 3、输出整流器（输出大电流整流二极管）
- 4、内部控制电路（脉宽调制器等）

图 3-2 是典型开关电源中应用 TVS 的实例，由图可见共有八个 TVS 管，各自保护自己的对象，当然八个 TVS 管的特性也不同，从“击穿电压”、“最大脉冲峰值功率”、“脉冲峰值电流”到“箝位电压”等都有区别。图 3 是美国 HP 公司某仪器使用的开关电源，从图中可以看到该电源中所有瞬变电压抑制二极管的数量及情况。

由图 1、2、3 可以看出，国外应用 TVS 是非常普遍的，而且数量也是很多的，可见 TVS 对提高整机应用可靠性是至关重要的。

### 三、TVS 保护直流稳压电源实例



①~⑧共八个瞬变电压抑制二极管  
图 3-2 典型开关电源中应用 TVS 实例 (MIL-HDBK-978A)

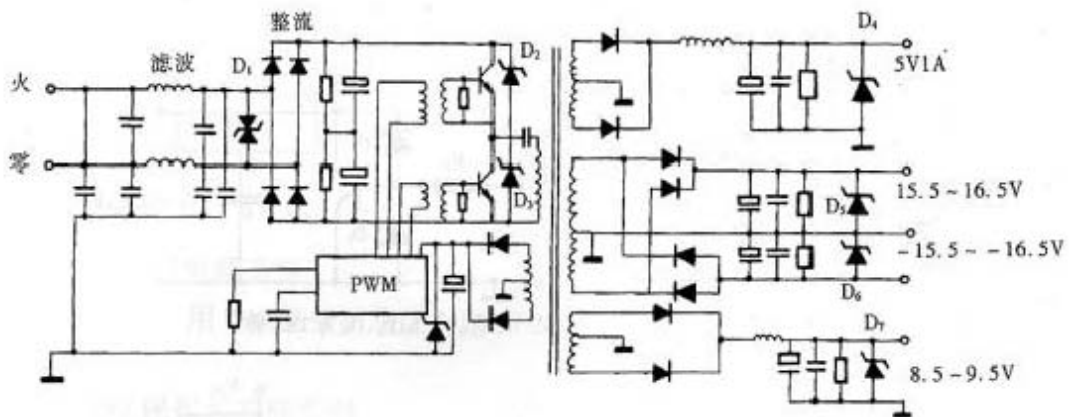


图 3-4 是一个直流稳压电源，并有扩大电流输出的晶体管，在其稳压输出端加上瞬变电压抑制二极管，可以保护使用该电源的仪器设备，同时还可以吸收电路中晶体管的集电极到发射极间的峰值电压，保护晶体管。建设在每个稳压源输出端增加一个 TVS 管，可大幅度提高整机应用可靠性。

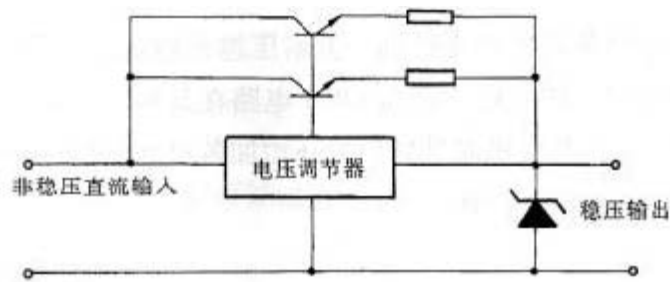


图 3-4 直流稳压电源上应用 TVS 实例 (译自 MIL-HDBK-978B)

### 四、TVS 保护晶体管实例

各种瞬变电压能使晶体管 EB 结或 CE 结击穿而损坏，特别是晶体管集电极有电感性（线圈、变压器、电动机）负载时，会产生高压反电势，往往使晶体管损坏。建设采用 TVS 管作为保护器。图 3-5 为 TVS 保护晶体的四种实例。

### 五、TVS 保护集成电路实例

由于集成电路集成度越来越高，其耐压越来越低，容易受到瞬变电压的冲击而损坏，必须采取保护措施。例如 CMOS 电路在其输入端及输出端都有保护网路，为了更可靠起见，在各整机对外接口处还增加各种保护网络。图 6 中介绍了 TTL 及 CMOS 器件的有关保护措施。

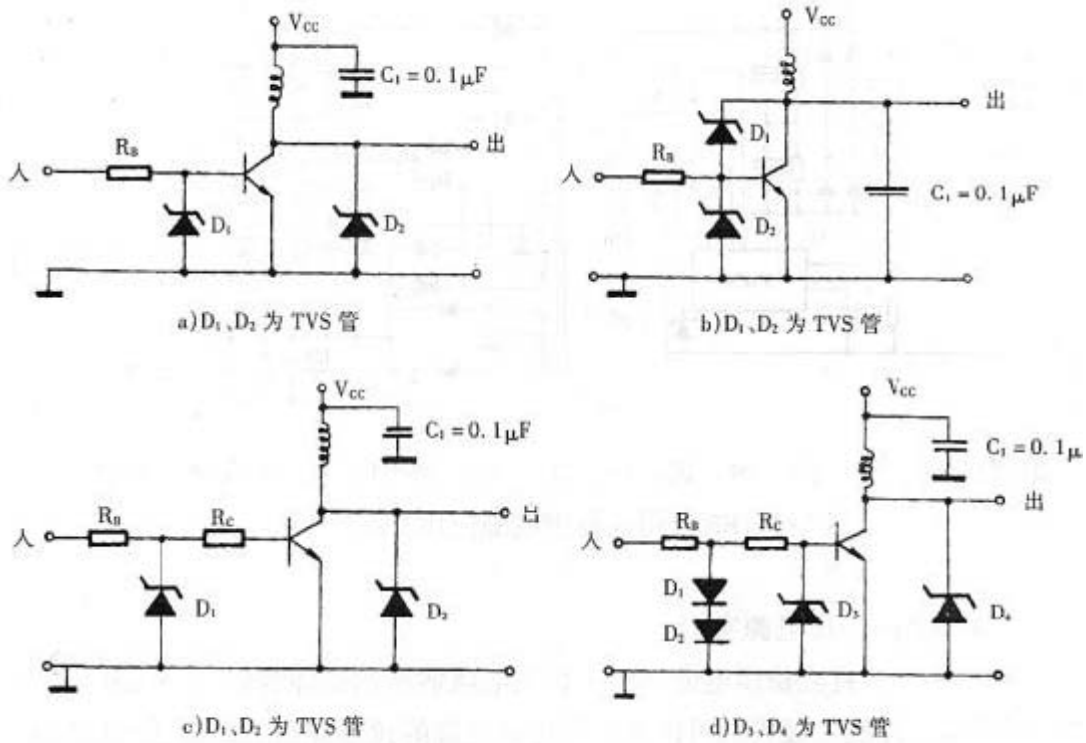
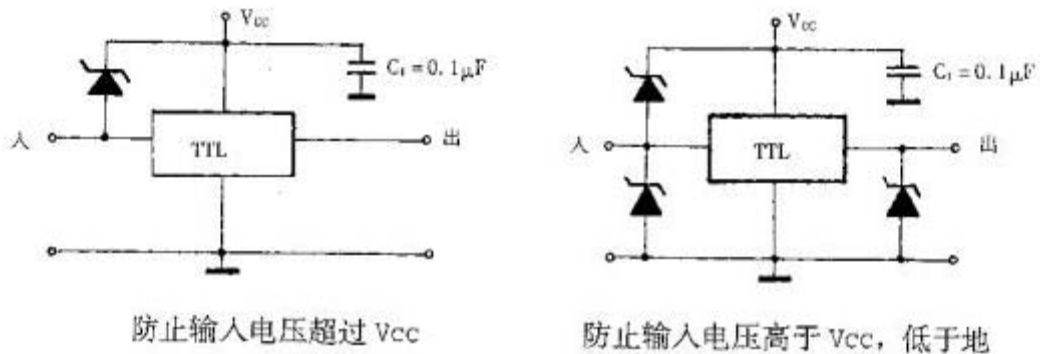
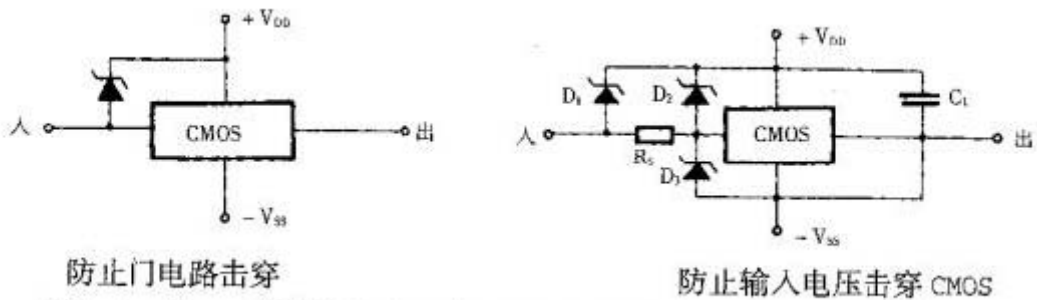


图 3-5 用 TVS 管保护晶体管实例 (译自 MIL-HDBK-338)

### 六、TVS 保护可控硅实例

可控硅可能误触发导致误动作，可控硅控制极电流不能太大，电压不能过高，必须采用各种保护措施。

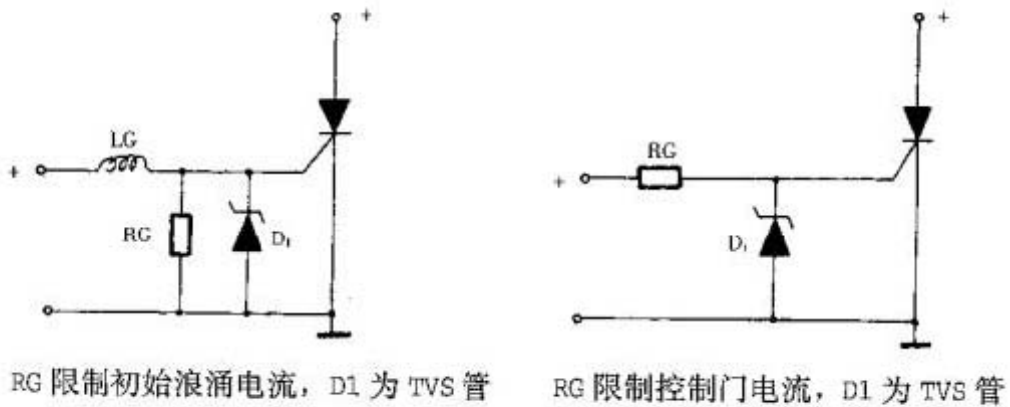




防止门电路击穿  
防止输入电压击穿 CMOS  
图 3-6 用 TVS 管保护集成电路和 CMOS 电路的实例 (译自 MIL-HDBK-338)

### 七、TVS 保护继电器实例

继电器有驱动线圈，当用大功率晶体管驱动时，应采取保护措施，如图 5 所示。有时也采用图 8 所示方法来抑制线圈中的高压反电势保护晶体管，哪个方案更好应根据实际情况决定。图中二极管允许的电源应比晶体管的工作电流大一倍左右，例如继电器线圈的最大电流  $I_A$ ，则二极管额定电流选  $2-3I_A$  左右，耐压则应大于电源电压的 2 倍左右，例如电源电压 27V，则二极管耐压应为 60V 以上。



LG、RG 限制初始浪涌电流，D1 为 TVS 管  
RG 限制控制门电流，D1 为 TVS 管

图 3-7 用 TVS 保护可控硅实例 (译自 MIL-HDBK-338)

继电器的触点往往用大电流去开关电动机等大电流电感负载，而电感在开关时有很高的反电势，而且有较大的能量，往往把触点烧坏或击穿产生电弧等，必须对触点采取保护，抑制电弧的产生，以保护继电器。但是这种电弧产生的浪涌电流很大，过去采用电容或者用电容串联电阻、二极管、二极管串联电阻等抑制方案，现在采用瞬变电压抑制二极管方案效果更好。

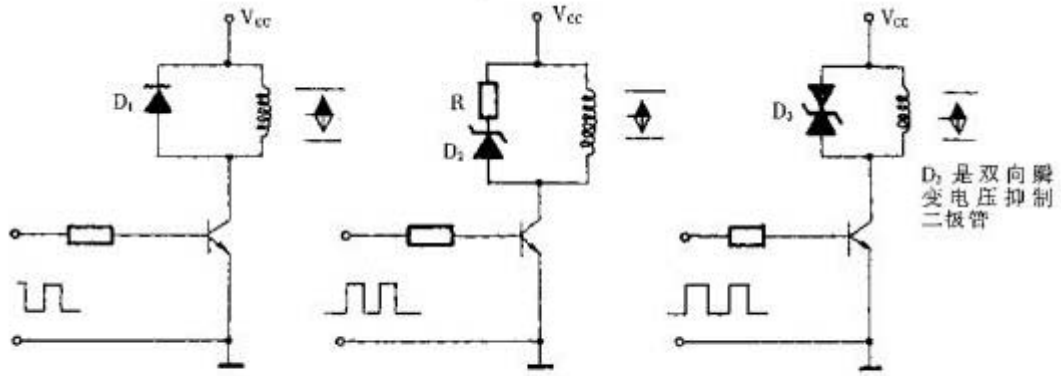


图 3-8 继电器线圈绕组反电势抑制应用实例

| 序号 | 继电器触点保护措施     | 触点间电压波形 | 说明   |
|----|---------------|---------|--|
| 1  | 二极管保护<br>     |         | 1. 瞬变电压等于二极管 $D_1$ 的正向压降<br>2. 瞬态时间较长。             |
| 2  | 二极管加电阻保护<br>  |         | 1. 瞬变电压等于断开电流与 R 电阻的乘积加上 $D_2$ 的正向压降<br>2. 瞬态时间较短。 |
| 3  | 双向 TVS 保护<br> |         | 1. 瞬变电压等于 $D_3$ 的击穿电压<br>2. 瞬态时间最短。                |

图 3-9 继电器触点保护的三种方法比较(译自 MIL-HDBK-338)

另外，MIL-HDBK-978 推荐另一种在触点两端加上 TVS 管的保护措施见图 10。

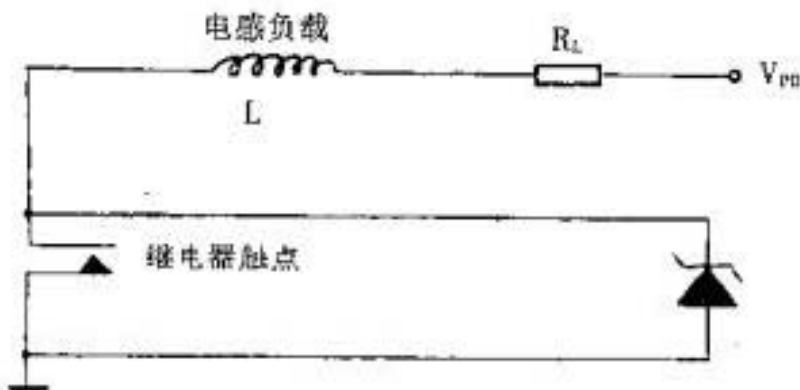


图 3-10 继电器触点保护措施(译自 MIL-HDBK-978)

美国军标举例说明 TVS 管的选取方法：

已知：TVS 管的箝位电压  $V_C$ ，负载电感  $L$  和电阻  $R_L$

$$\frac{V_{PD}}{R_L}$$

计算：由图 3-10 可见：最大峰值电流  $I_P = \frac{V_{PD}}{R_L}$

最大脉冲峰值功率  $PPR = I_P \times V_C$

$$\text{脉冲时间 } T_P = \frac{V_{PD} / R_L}{V_C / L} = \frac{I_P}{V_C / L} = \frac{I_P L}{V_C}$$

瞬变电压抑制二极管的脉冲峰值功率与持续时间有一定关系见图 3-11，否则会烧坏 TVS 管。

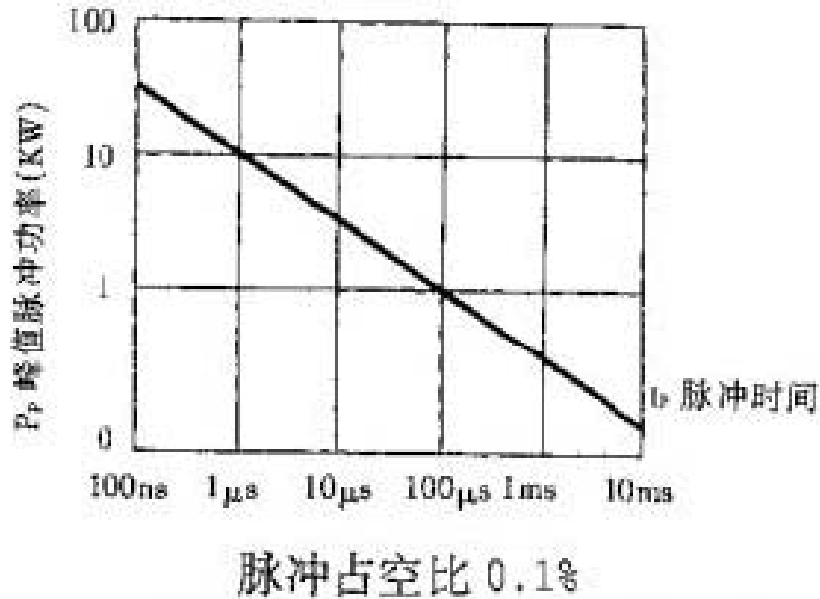


图 3-11 脉冲峰值功率与持续时间的关系

#### 八、TVS 保护集成运放

集成运放对外界电应力非常敏感，在使用运放的过程中，如果因操作失误或采取了不正常的工作条件，出现了过大的电压或电流，特别是浪涌和静电脉冲，就很容易使运放受损或失效。图 3-12 所示在运放差模输入端采取的过压损伤保护方法。

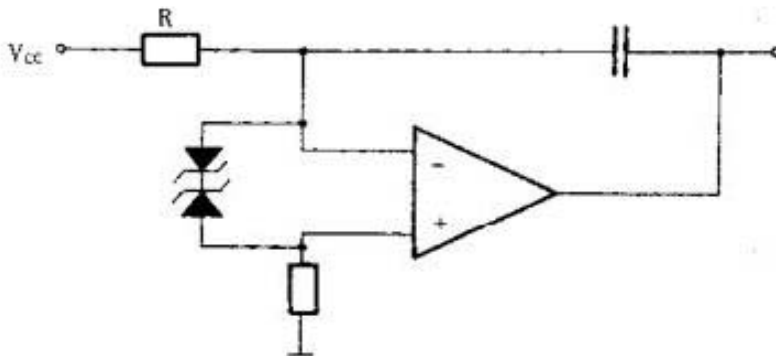


图 3-12 TVS 保护集成运放

如图所示的积分电路中，如果电容充放电到高电位，然后切断电源电压，就会在输入端产生瞬态电压，交出现大的放电电流，导致运放受损。如果电容值较大（如大于  $0.1\mu\text{F}$ ），这种效应将会十分显著。如图采用简单的保护电路，就能有效地防止差模电压过大，导致运放内部的电路失效。

### 九、TVS 抑制电磁脉冲干扰实例

美国哈里期公司对电子元器件抗辐射的论文中，谈及核爆炸引发强大的电磁脉冲，这种电脉冲在导线中引起感应电压，如果感应电压超过器件的击穿电压，就可能使元器件击穿失效，特别长线传输时，更能感应而产生较高的电压。

用瞬变电压抑制二极管并联在信号线及电源线上，可以吸收电磁脉冲引起的感应电压，保证系统的可靠性，避免辐射损坏元器件。

### 十、用 TVS 防止感应雷电损坏微机系统实例

广州深圳海关计算机中上瞬变电压抑制器，提高了应用可靠性，受到用户好评。南方打雷很多，雷电感应电压常常把计算机网中的部分计算机的集成电路击穿。每年有不少联网计算机因雷击而损坏，原因是分机与主机这间有 200 米以上的电缆，电缆中因雷电感应产生瞬态高压把计算机中的元器件击穿而损坏，产生较大的损失，在微机中加装很多瞬变电压抑制二极管后不再损坏。实践说明瞬变电压抑制二极管很实用，能提高整机应用可靠性，会产生较大的经济效益。

还有很多应用，例如对 VMOS 大功率三极管，在栅极与源机之间中上瞬变电压抑制二极管，可以防止栅极击穿（见图 3-13）提高 VMOS 功率管的应用可靠性。

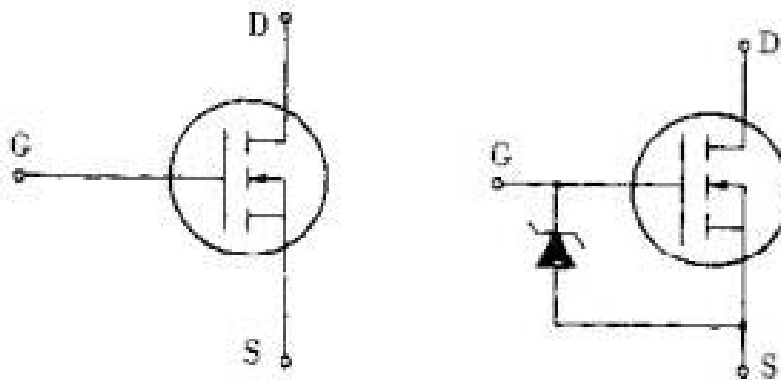


图 3-13 VMOS 管栅极加上 TVS 管