

ESD器件防护原理

这里介绍手机中比较常用的 TVS管和压敏电阻。

一、ESD器件的主要性能参数

1、最大工作电压 (Max Working Voltage)

允许长期连续施加在 ESD保护器件两端的电压 (有效值)，在此工作状态下 ESD器件不导通，保持高阻状态，反向漏电流很小。

2、击穿电压 (Breakdown Voltage)

ESD 器件开始动作 (导通) 的电压。一般地，TVS管动作电压比压敏电阻低。

3、钳位电压 (Clamping Voltage)

ESD 器件流过峰值电流时，其两端呈现的电压，超过此电压，可能造成 ESD永久性损伤。

4、漏电流 (Leakage Current)

在指定的直流电压 (一般指不超过最大工作电压) 的作用下，流过 ESD器件的电流。一般地，TVS管的反向漏电流是 nA 级，压敏电阻漏电流是 μ A 级，此电流越小，对保护电路影响越小。

5、电容 (Capacitance)

在给定电压、频率条件下测得的值，此值越小，对保护电路的信号传输影响越小。比如硅半导体 TVS管的结电容 (pF 级)，压敏电阻的寄生电容 (nF 级)

6、响应时间 (Response Time)

指 ESD器件对输入的大电压钳制到预定电压的时间。一般地，TVS管的响应时间是 ns 级，压敏电阻是 μ s 级，此时间越小，更能有效的保护电路中元器件。

7、寿命 (ESD Pulse Withstanding)

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，基本上没有寿命限制；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，会随着使用次数的增多性能下降，存在寿命限制。

二、TVS管(硅半导体)

瞬态抑制二极管 (Transient Voltage Suppressor) 简称 TVS, 是一种二极管形式的高效能保护器件，利用 P-N 结的反向击穿工作原理，将静电的高压脉冲导入地，从而保护了电器内部对静电敏感的元件。以 TVS二极管为例：当瞬时电压超过电路正常工作电压后，TVS 二极管便发生雪崩，提供给瞬时电流一个超低电阻通路，其结果是瞬时电流通过二极管被引开，避开被保护器件，并且在电压恢复正常值之前使被保护回路一直保持截止电压。当瞬时脉冲结束以后，TVS二极管自动回复高阻状态，整个回路进入正常电压。TVS管的失效模式主要是短路，但当通过的过电流太大时，也可能造成 TVS管被炸裂而开路。

TVS管有单向和双向两种，单向 TVS管的特性与稳压二极管相似，双向 TVS管的特性相当于两个稳压二极管反向串联，其 I-V 曲线特性图见图 1，图中性能参数注解：

反向断态电压 (截止电压) V_{RWM} 与反向漏电流 I_R ：反向断态电压 (截止电压) V_{RWM} 表示 TVS管不导通的最高电压，在这个电压下只有很小的反向漏电流 I_R

击穿电压 V_{BR} ：TVS管通过规定的测试电流 I_T 时的电压，这是表示 TVS管导通的标志电压。

脉冲峰值电流 I_{PP} ：TVS管允许通过的 10/1000 μ s 波的最大峰值电流 (8/20 μ s 波的峰值电流约为其 5 倍左右，8/20 μ s 是定义 I_{PP} 脉冲波电流，请参考下图 2)，超过这个电流值就可能造成永久性损坏。在同一个系列中，击穿电压越高的管子允许通过的峰值电流越小。

最大箝位电压 V_C ：TVS管流过脉冲峰值电流 I_{PP} 时两端所呈现的电压。

正向导通电压 V_F ：TVS通过正向导通电流 I_F 的压降。

除上述性能参数外，TVS管还有一个关键参数：P-N 结电容 C_j 。

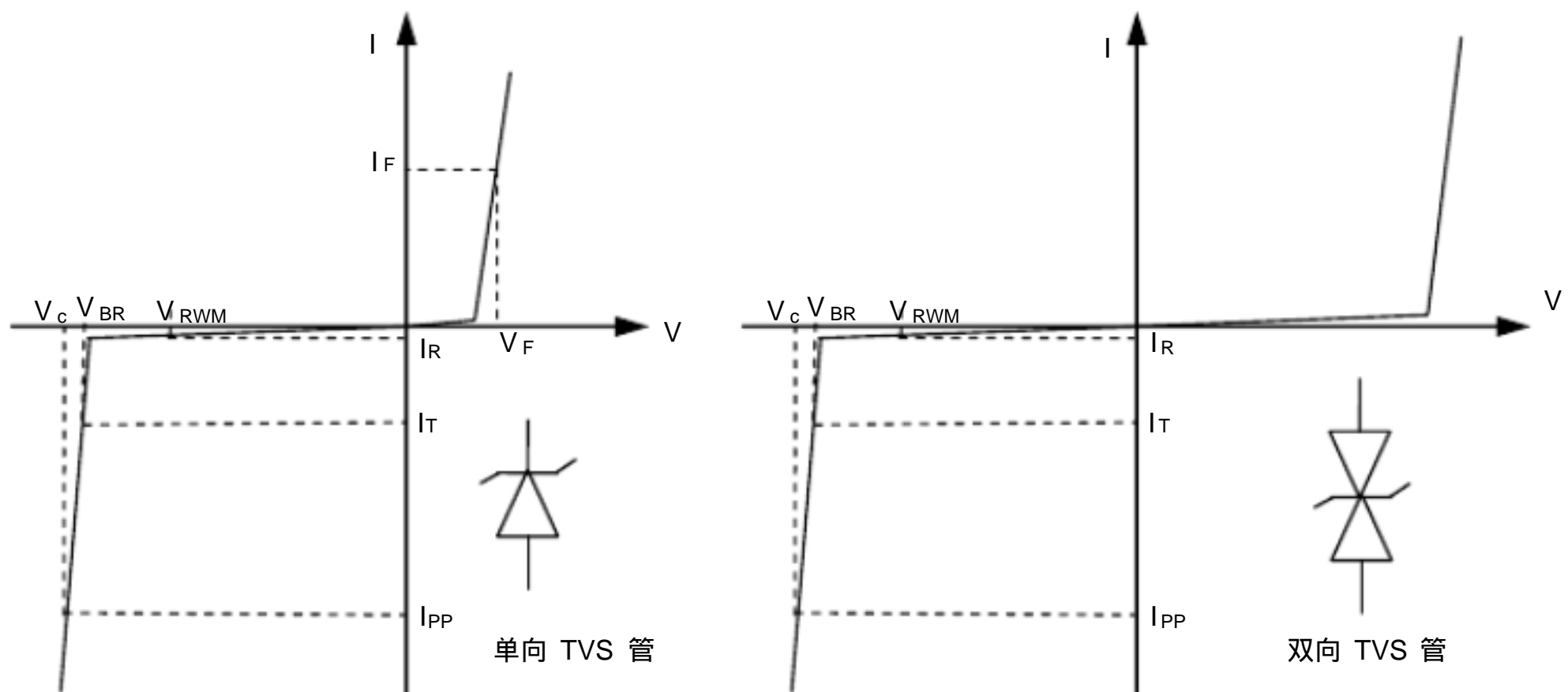


图 1 TVS 管 I-V 曲线特性图

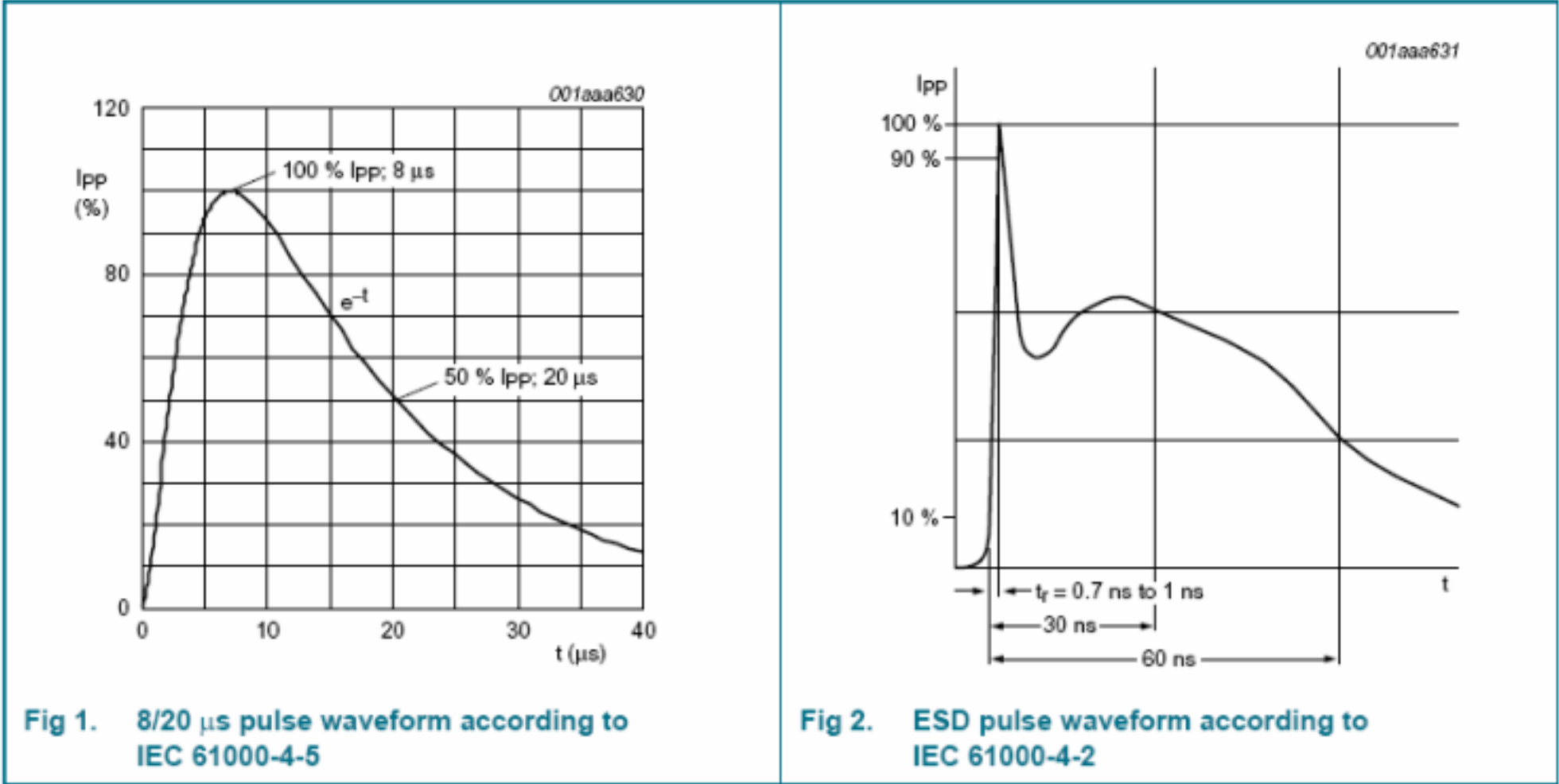


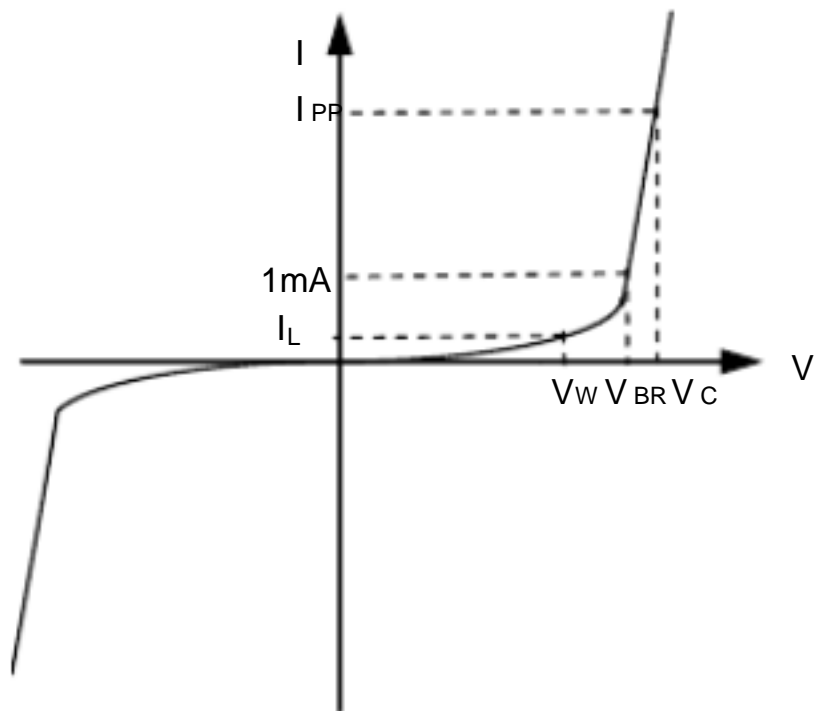
图 2

图 4 1090074 的电气特性

三、压敏电阻 (MLV/MOV)

多层压敏电阻 (MLV) 及金属氧化物压敏电阻 (MOV) 利用 ZnO 等压敏陶瓷材料的压敏特性，实现了对静电的防护，压敏电阻器的电阻体材料是半导体，当施加于压敏电阻器两端电压小于其压敏电压，压敏电阻器相当于 10M 以上绝缘电阻；当在压敏电阻器两端施加大于压敏电压的过电压时，压敏电阻器的电阻急剧下降呈现低阻态，从而把电荷快速导走，有效地保护了电路中的其它元器件不致过压而损坏。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，会随着使用次数的增多性能下降，存在寿命限制问题。

压敏电阻支持双向保护，它的伏安特性是完全对称的，见图 5， V_W ：正常工作电压 (Working Voltage)。 I_L ：最大 V_W 工作条件下的漏电电流 (Leakage Current)。压敏电阻的失效模式主要是短路，但当通过的过电流太大时，也可能造成阀片被炸裂而开路。



预击穿区 ($V < V_{BR}$)：在此区域内，当施加于压敏电阻器两端电压小于其压敏电压，压敏电阻器相当于 10M 以上绝缘电阻。

击穿区 ($V_{BR} < V < V_C$)：当在压敏电阻器两端施加大于压敏电压的过电压时，压敏电阻器的电阻急剧下降呈现低阻态，其两端电压的微小变化就可引起电流的急剧变化。

上升区 ($V > V_C$)：当过电压很大，上升区电流和电压几乎呈线性关系，压敏电阻在该区域已经恶化，失去了其抑制过电压、吸收或释放浪涌能量等特性，甚至造成压敏电阻永久性的损坏。

图 5 ZnO 等压敏陶瓷材料的压敏电阻 I-V 曲线特性图

四、TVS管和压敏电阻应用场合

通过对 TVS管和压敏电阻的性能对比，根据各自的优点，适合应用场合列下：

- 1、与压敏电阻比较，TVS 管具有响应时间快、钳位电压偏差小、结电容小、反向漏电流小和无寿命限制等优点，因而较适合于信号质量要求高、线漏电要求小等接口的 ESD防护，比如高速数据信号传输线、时钟线等。
- 2、与 TVS管比较，压敏电阻的击穿电压 V_{BR} 和箝位电压 V_C 都相对高，通流能力相对强，具有更强的浪涌脉冲吸收能力，因而较适合于电源接口的 ESD或浪涌防护。
- 3、对于两者都适合的场合，考虑价格因素，选用压敏电阻。