

氧化锌压敏电阻器的原理简介与使用

施加于压敏电阻器两端的电压小于其压敏电压，其导电属于热激发电子电导机理。因此，压敏电阻器相当于一个 $10M\Omega$ 以上的绝缘电阻(R_b 远大于 R_g)，这时通过压敏电阻器的阻性电流仅为微安级，可看作为开路。该区域是电路正常运行时压敏电阻器所处的状态。

“压敏电阻是中国大陆的名词，意思是“在一定电流电压范围内电阻值随电压而变”，或者是说“电阻值对电压敏感”的阻器。相应的英文名称叫“Voltage Dependent Resistor” 简称为“VDR”。

压敏电阻器的电阻体材料是半导体，所以它是半导体电阻器的一个品种。现在大量使用的“氧化锌”(ZnO)压敏电阻器，它的主体材料有二价元素(Zn)和六价元素氧(O)所构成。所以从材料的角度来看，氧化锌压敏电阻器是一种“II-VI族氧化物半导体”。

在中国台湾，压敏电阻器是按其用途来命名的，称为“突波吸收器”。压敏电阻器按其用途有时也称为“电冲击(浪涌)抑制器(吸收器)”。

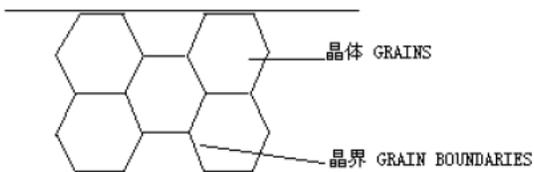


图1 微观结构
FIG1. MICRO-STRUCTURE OF VARISTOR

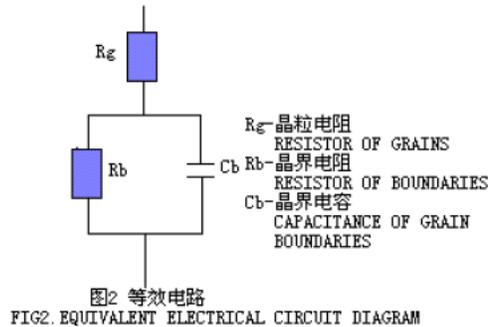


图2 等效电路
FIG2. EQUIVALENT ELECTRICAL CIRCUIT DIAGRAM

一、氧化锌压敏电阻器微观结构及特性

氧化锌压敏电阻器是一种以氧化锌为主体、添加多种金属氧化物、经典型的电子陶瓷工艺制成的多晶半导体陶瓷元件。它的微观结构如图 1 所示。氧化锌陶瓷是由氧化锌晶粒及晶界物质组成的，其中氧化锌晶粒中掺有施主杂质而呈 N 型半导体，晶界物质中含有大量金属氧化物形成大量界面态，这样每一微观单元是一个背靠背肖特基势垒，整个陶瓷就是由许多背靠背肖特基势垒串并联的组合物。图 2 是压敏电阻器的等效电路。

一、氧化锌压敏电阻器微观结构及特性

氧化锌压敏电阻器是一种以氧化锌为主体、添加多种金属氧化物、经典型的电子陶瓷工艺制成的多晶半导体陶瓷元件。它的微观结构如图1所示。氧化锌陶瓷是由氧化锌晶粒及晶界物质组成的，其中氧化锌晶粒中掺有施主杂质而呈N型半导体晶界物质中含有大量金属氧化物形成大量界面态，这样每一微观单元是一个背靠背肖特基势垒，整个陶瓷就是由许多背

背肖特基势垒串并联的组合物。图2是压敏电阻器的等效电路。

氧化锌压敏电阻器的典型V-I特性曲线如图3所示：

预击穿区：在此区域内，施加于压敏电阻器两端的电压小于其压敏电压，其导电属于热激发电子电导机理。因此，压敏电阻器相当于一个10MΩ以上的绝缘电阻(Rb远大于Rg)，这时通过压敏电阻器的阻性电流仅为微安级，可看作为开路。该区域是电路正常运行时压敏电阻器所处的状态。

击穿区：压敏电阻器两端施加一大于压敏电压的过电压时，其导电属于隧道击穿电子电导机理(Rb与Rg相当)，其伏安特性呈优异的非线性电导特性，即：

$$I = CV^\alpha$$

α

其中 I 通过压敏电阻器的电流
C 与配方和工艺有关的常数

V 压敏电阻器两端的电压

α 为非线性系数，一般大于30

由上式可见，在击穿区，压敏电阻器端电压的微小变化就可引起电流的急剧变化，压敏电阻器正是用这一特性来抑制电压幅值和吸收或对地释放过电压引起的浪涌能量。

上升区：当过电压很大，使得通过压敏电阻器的电流大于约100A/cm²时，压敏电阻器的伏安特性主要由晶粒电阻的伏安特性来决定。此时压敏电阻器的伏安特性呈线性电导特性，即：

$$I = V/R_g$$

上升区电流与电压几乎呈线性关系，压敏电阻器在该区域已经劣化，失去了其抑制过电压、吸收或释放浪涌的能量等特性。

根据压敏电阻器的导电机理，其对过电压的响应速度很快，如带引线式和专用电极产品，一般响应时间小于25纳秒。此只要选择和使用得当，压敏电阻器对线路中出现的瞬态过电压有优良的抑制作用，从而达到保护电路中其它元件免遭电压破坏的目的。

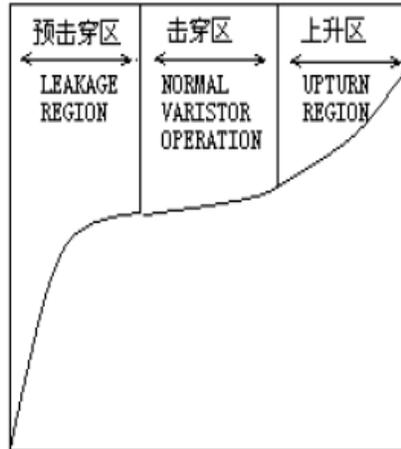


图3 压敏电阻器伏安特性曲线
FIG3. TYPICAL VARISTOR V-I CHARACTERISTIC

二、特点

- (1) 通流容量大
- (2) 限制电压低
- (3) 响应速度快
- (4) 无续流
- (5) 对称的伏安特性(即产品无极性)
- (6) 电压温度系数低

三、氧化锌压敏电阻器应用及注意事项

1、氧化锌压敏电阻器应用原理

压敏电阻器与被保护的电器设备或元器件并联使用。当电路中出现雷电过电压或瞬态操作过电压 V_s 时，压敏电阻器和被保护的设备及元器件同时承受 V_s ，由于压敏电阻器响应速度很快，它以纳秒级时间迅速呈现优良非线性导电特性(见图 3 中击穿区)，此时压敏电阻器两端电压迅速下降，远远小于 V_s ，这样被保护的设备及元器件上实际承受的电压就远低于过电压 V_s ，从而使设备及元器件免遭过电压的冲击。

2、氧化锌压敏电阻器的参数选择

根据被保护电源电压选择压敏电阻器的规定电流下的电压 V_{1mA} 。一般选择原则为：

对于直流回路： $V_{1mA} \geq 2.0VDC$

对于交流回路： $V_{1mA} \geq 2.2V$ 有效值

如果电器设备耐压水平 V_0 较低，而浪涌能量又比较大，则可选择压敏电压 V_{1mA} 较低、片径较大的压敏电阻器；如果 V_0 较高，则可选择压敏电压 V_{1mA} 较高的压敏电阻器，这样既可以保护电器设备，又能延长压敏电阻使用寿命。

、氧化锌压敏电阻器的使用方法

压敏电阻器是一种无极性过电压保护元件，无论是交流还是直流电路，只需将压敏电阻器与被保护电器设备或元器件并联即可达到保护设备的目的(如图 4 所示)

当过电压幅值高于规定电流下的电压，过电流幅值小于压敏电阻器的最大峰值电流时(若无压敏电阻器足以使设备元器件破坏)，压敏电阻器处于击穿区，可将过电压瞬时限制在很低的幅值上，此时通过压敏电阻器的浪涌电流幅值不大($<100A/cm^2$)，不足以对压敏电阻器产生劣化；当过电压幅值很高时，压敏电阻器将过电压限制在较低的水平上(小于设备的耐压水平)，同时通过压敏电阻器的冲击电流很大，使压敏电阻器性能劣化即将失效，这时通过熔断器的电流很大，熔断器断开，这样既可使电器设备、元器件免受过电压冲击，也可避免由于压敏电阻器的劣化击穿造成线路 L-N、L-PE 之间短路(推荐的熔断器规格见表 1)。

压敏电阻器在电路的过电压防护中，如果正常工作在图 3 的预击穿区和击穿区，理论上是不会损坏的。但由于压敏电阻器要长期承受电源电压，电路中暂态过电压、超能量过电压随机的不断冲击及吸收电路储能元件释放能量，因此，压敏电阻器也是会损坏的，它的寿命根据所在电路经受的过电压幅值和能量的不同而不同。

应用类型

不同的使用场合，应用压敏电阻的目的，作用在压敏电阻上的电压/电流应力并不相同，因而对压敏电阻的要求也不相同，注意区分这种差异，对于正确使用是十分重要的。

根据使用目的的不同，可将压敏电阻区分为两大类：①保护用压敏电阻，②电路功能用压敏电阻。

保护用压敏电阻

1) 区分电源保护用, 还是信号线, 数据线保护用压敏电阻器, 它们要满足不同的技术标准的要求。

(2) 根据施加在压敏电阻上的连续工作电压的不同, 可将跨电源线用压敏电阻器可区分为交流用或直流用两种类型, 压敏电阻在这两种电压应力下的老化特性表现不同。

3) 根据压敏电阻承受的异常过电压特性的不同, 可将压敏电阻区分为浪涌抑制型, 高功率型和高能型这三种类型。

★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。

压敏电阻器的保护功能, 绝大多数应用场合下, 是可以多次反复作用的, 但有时也将它做成电流保险丝那样的"一次性"保护器件。例如并接在某些电流互感器负载上的带短路接点压敏电阻。

电路功能用压敏电阻

压敏电阻主要应用于瞬态过电压保护, 但是它的类似于半导体稳压管的伏安特性, 还使它具有多种电路元件功能, 例如可用作:

- (1) 直流高压小电流稳压元件, 其稳定电压可高达数千伏以上, 这是硅稳压管无法达到的。
- (2) 电压波动检测元件。
- (3) 直流电瓶移位元件。
- (4) 均压元件。
- (5) 荧光启动元件

所谓压敏电压, 即击穿电压或阈值电压。指在规定电流下的电压值, 大多数情况下用 1mA 直流电流通入压敏电阻器时测得的电压值, 其产品的压敏电压范围可以从 10—9000V 不等。可根据具体需要正确选用。

压敏电阻用字母“MY”表示, 如加 J 为家用, 后面的字母 W、G、P、L、H、Z、B、C、N、K 分别用于稳压、过压保护、高频电路、防雷、灭弧、消噪、补偿、消磁、高能或高可靠等方面。压敏电阻虽然能吸收很大的浪涌电能量, 但不能承受毫安级以上的持续电流, 在用作过压保护时必须考虑到这一点。压敏电阻的选用, 一般考虑标称压敏电压 V_{1mA} 和通流容量两个参数。

1、所谓压敏电压, 即击穿电压或阈值电压。指在规定电流下的电压值, 大多数情况下用 1mA 直流电流通入压敏电阻器时测得的电压值, 其产品的压敏电压范围可以从 10—9000V 不等。可根据具体需要正确选用。一般 $V_{1mA}=1.5V_p=2.2V_{AC}$, 式中, V_p 为电路额定电压的峰值。VAC 为额定交流电压的有效值。ZnO 压敏电阻的电压值选择是至关重要的, 它关系到保护效果与使用寿命。如一台用电器的额定电源电压为 220V, 则压敏电阻电压值 $V_{1mA}=1.5V_p=1.5 \times 220V=476V$, $V_{1mA}=2.2V_{AC}=2.2 \times 220V=484V$, 因此压敏电阻的击穿电压可选在 470—480V 之间。

2、所谓通流容量, 即最大脉冲电流的峰值是环境温度为 25℃情况下, 对于规定的冲击电流波形和规定的冲击

电流次数而言，压敏电压的变化不超过 $\pm 10\%$ 时的最大脉冲电流值。为了延长器件的使用寿命，ZnO 压敏电阻所吸收的浪涌电流幅值应小于手册中给出的产品最大通流量。然而从保护效果出发，要求所选用的通流量大一些好。在许多情况下，实际发生的通流量是很难精确计算的，则选用 2—20KA 的产品。如手头产品的通流量不能满足使用要求时，可将几只单个的压敏电阻并联使用，并联后的压敏电不变，其通流量为各单只压敏电阻数值之和。要求并联的压敏电阻伏安特性尽量相同，否则易引起分流不均匀而损坏压敏电阻。