

电阻器基础知识与检测方法

一、基础知识



电阻器是电路元件中应用最广泛的一种，在电子设备中约占元件总数的 30%以上，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。它的主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，其次还作为分流器分压器和负载使用。



1. 分类

在电子电路中常用的电阻器有固定式电阻器和电位器，按制作材料和工艺不同，固定式电阻器可分为：膜式电阻（碳膜 RT、金属膜 RJ、合成膜 RH 和氧化膜 RY）、实芯电阻（有机 RS 和无机 RN）、金属线绕电阻（RX）、特殊电阻（MG 型光敏电阻、MF 型热敏电阻）四种。



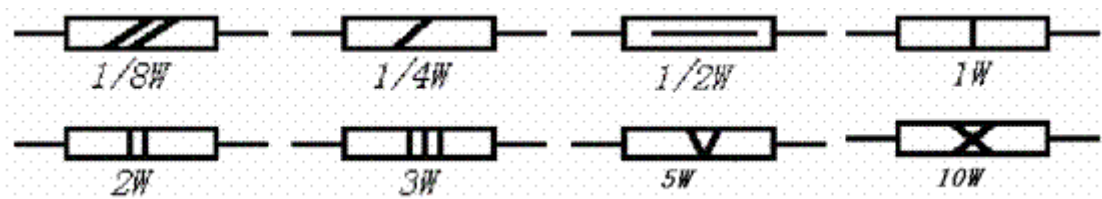
表 1 几种常用电阻的结构和特点

电阻种类	电阻结构和特点	实物图片
碳膜电阻	气态碳氢化合物在高温和真空中分解，碳沉积在瓷棒或者瓷管上，形成一层结晶碳膜。改变碳膜厚度和用刻槽的方法变更碳膜的长度，可以得到不同的阻值。碳膜电阻成本较低，性能一般。	
金属膜电阻	在真空中加热合金，合金蒸发，使瓷棒表面形成一层导电金属膜。刻槽和改变金属膜厚度可以控制阻值。这种电阻和碳膜电阻相比，体积小、噪声低、稳定性好，但成本较高。	

<p>碳质电阻</p>	<p>把碳黑、树脂、粘土等混合物压制后经过热处理制成。在电阻上用色环表示它的阻值。这种电阻成本低，阻值范围宽，但性能差，很少采用。</p>	
<p>线绕电阻</p>	<p>用康铜或者镍铬合金电阻丝，在陶瓷骨架上绕制成。这种电阻分固定和可变两种。它的特点是工作稳定，耐热性能好，误差范围小，适用于大功率的场合，额定功率一般在 1 瓦以上。</p>	
<p>碳膜电位器</p>	<p>它的电阻体是在马蹄形的纸胶板上涂上一层碳膜制成。它的阻值变化和中间触头位置的关系有直线式、对数式和指数式三种。碳膜电位器有大型、小型、微型几种，有的和开关一起组成带开关电位器。</p> <p>还有一种直滑式碳膜电位器，它是靠滑动杆在碳膜上滑动来改变阻值的。这种电位器调节方便。</p>	
<p>线绕电位器</p>	<p>用电阻丝在环状骨架上绕制成。它的特点是阻值范围小，功率较大。</p>	

2. 主要性能指标

额定功率：在规定的环境温度和湿度下，假定周围空气不流通，在长期连续负载而不损坏或基本不改变性能的情况下，电阻器上允许消耗的最大功率。为保证安全使用，一般选其额定功率比它在电路中消耗的功率高 1-2 倍。额定功率分 19 个等级，常用的有 0.05W、0.125W、0.25W、0.5W、1W、2W、3W、5W、7W、10W，在电路图中非线绕电阻器额定功率的符号表示如下图：



标称阻值：产品上标示的阻值，其单位为欧，千欧、兆欧，标称阻值都应符合下表所列数值乘以 10^N 欧，其中 N 为整数。

表 2 标称阻值系列

允许误差	系列代号	标称阻值系列							
5%	E24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	
		2.0	2.2	2.4	2.7	3.0			
		3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	
		6.2	6.8	7.5	8.2	9.1			
10%	E12	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	
		3.9	4.7	5.6	6.8	8.2			
20%	E6	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8		

允许误差：电阻器和电位器实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围，它表示产品的精度，允许误差的等级如下表所示。

表 3 允许误差等级

级别	005	01	02	I	II	III
允许误差	0.5%	1%	2%	5%	10%	20%

标称阻值与误差允许范围的标识方法

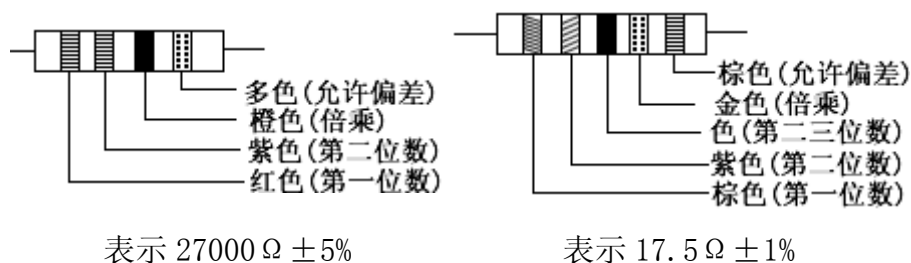
表 4 色环颜色所代表的数字或意义

色 别	第一色环 最大一位数字	第二色环 第二位数字	第三色环 应乘的数	第四色环 误 差
棕	1	1	10	
红	2	2	100	
橙	3	3	1000	
黄	4	4	10000	
绿	5	5	100000	
蓝	6	6	1000000	
紫	7	7	10000000	
灰	8	8	100000000	
白	9	9	1000000000	
黑	0	0	1	
金			0.1	±5%
银			0.01	±10%
无色				±20%

示例

1) 在电阻体的一端标以彩色环，电阻的色标是由左向右排列的，图 1 的电阻为 $27000\ \Omega \pm 0.5\%$ 。

2) 精密度电阻器的色环标志用五个色环表示。第一至第 3 色环表示电阻的有效数字，第 4 色环表示倍乘数，第 5 色环表示容许偏差，图 2 的电阻为 $17.5\ \Omega \pm 1\%$



在电路图中电阻器和电位器的单位标注规则

阻值在兆欧以上，标注单位 M。比如 1 兆欧，标注 1M；2.7 兆欧，标注 2.7M。

阻值在 1 千欧到 100 千欧之间，标注单位 k。比如 5.1 千欧，标注 5.1k；68 千欧，标注 68k。

阻值在 100 千欧到 1 兆欧之间，可以标注单位 k，也可以标注单位 M。比如 360 千欧，可以标注 360k，也可以标注 0.36M。

阻值在 1 千欧以下，可以标注单位 Ω ，也可以不标注。比如 5.1 欧，可以标注 5.1 Ω 或者 5.1；680 欧，可以标注 680 Ω 或者 680。

最高工作电压：它是指电阻器长期工作不发生过热或电击穿损坏时的电压。如果电压超过规定值，电阻器内部产生火花，引起噪声，甚至损坏。下表是碳膜电阻的最高工作电压。

表 5 碳膜电阻的最高工作电压

标称功率 (W)	1/16	1/8	1/4	1/2	1	2
最高工作电压 (V)	100	150	350	500	750	1000

稳定性：稳定性是衡量电阻器在外界条件（温度、湿度、电压、时间、负荷性质等）作用下电阻变化的程度

(1) 温度系数 a_t ，表示温度每变化 1 度时，电阻器阻值的相对变化量：

即：
$$a_t = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \text{ (1/度)}$$
 式中： R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 和 t_2 时的电阻值

(2) 电压系数 a_v 表示电压每变化 1 伏时，电阻器阻值的相对变化量：

即：
$$a_v = \frac{R_2 - R_1}{R_1(U_2 - U_1)} \text{ (1/伏)}$$
 式中： R_1 、 R_2 分别是电压为 U_1 和 U_2 时的电阻值

噪声电动势：电阻器的噪声电动势在一般电路中可以不考虑，但在弱信号系统中不可忽视。

线绕电阻器的噪声只习作定于热噪声（分子扰动引起）仅与阻值、温度和外界电压的频带有关。薄膜电阻除了热噪声外，还有电流噪声，这种噪声近似地与外加电压成正比。

高频特性：电阻器使用在高频条件下，要考虑其固定有电感和固有电容的影响。这时，电阻器变为一个直流电阻（ R_0 ）与分布电感串联，然后再与分布电容并联的等效电路，非线绕电阻器的 $L_R=0.01-0.05$ 微亨， $C_R=0.1-5$ 皮法，线绕电阻器的 L_R 达几十微亨， C_R 达几十皮法，即使是无感绕法的线绕电阻器， L_R 仍有零点几微亨。

3. 命名方法

根据部颁标准（SJ-73）规定，电阻器、电位器的命名由下列四部分组成：第一部分（主称）；第二部分：（材料）；第三部分（分类特征）；第四部分（序号）。它们的型号及意义见下表。

表 6 电阻器的型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示特征		序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
R RP	电阻器 电位器	T	碳膜	1	普通	包括： 额定功率 阻值 允许误差 精度等级
		P	金属膜	2	超高频	
		U	合成膜	3	高阻	
		C	沉积膜	4	高温	
		H	合成膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	电阻器-高压	
		J	金属膜	9	电位器-特殊函数	
		Y	氧化膜	G	特殊	
		S	有机实芯	T	高功率	
		N	无机实芯	X	可调	
		X	线绕	L	小型	
		R	热敏	W	测量用	
		G	光敏	D	微调	
		M	压敏		多圈	

示例：RJ71-0.125-5.1kI 型的命名含义：R 电阻器-J 金属膜-7 精密-1 序号-0.125 额定功率-5.1k 标称阻值-I 误差 5%。

4. 选用常识

根据电子设备的技术指标和电路的具体要求选用电阻的型号和误差等级；额定功率应大于实际消耗功率的 1.5-2 倍；电阻装接前要测量核对，尤其是要求较高时，还要人工老化处理，提高稳定性；根据电路工作频率选择不同类型的电阻。

二、检测方法与经验

1. 固定电阻器的检测

将两表笔(不分正负)分别与电阻的两端引脚相接即可测出实际电阻值。

为了提高测量精度,应根据被测电阻标称值的大小来选择量程。由于欧姆挡刻度的非线性关系,它的中间一段分度较为精细,因此应使指针指示值尽可能落到刻度的中段位置,即全刻度起始的20%~80%弧度范围内,以使测量更准确。根据电阻误差等级不同。读数与标称阻值之间分别允许有±5%、±10%或±20%的误差。如不相符,超出误差范围,则说明该电阻值变值了。

注意:测试时,特别是在测几十kΩ以上阻值的电阻时,手不要触及表笔和电阻的导电部分;被检测的电阻从电路中焊下来,至少要焊开一个头,以免电路中的其他元件对测试产生影响,造成测量误差;色环电阻的阻值虽然能以色环标志来确定,但在使用时最好还是用万用表测试一下其实际阻值。

2. 水泥电阻的检测

检测水泥电阻的方法及注意事项与检测普通固定电阻完全相同。

3. 熔断电阻器的检测

在电路中,当熔断电阻器熔断开路后,可根据经验作出判断:若发现熔断电阻器表面发黑或烧焦,可断定是其负荷过重,通过它的电流超过额定值很多倍所致;如果其表面无任何痕迹而开路,则表明流过的电流刚好等于或稍大于其额定熔断值。对于表面无任何痕迹的熔断电阻器好坏的判断,可借助万用表R×1挡来测量,为保证测量准确,应将熔断电阻器一端从电路上焊下。

若测得的阻值为无穷大,则说明此熔断电阻器已失效开路,若测得的阻值与标称值相差甚远,表明电阻变值,也不宜再使用。在维修实践中发现,也有少数熔断电阻器在电路中被击穿短路的现象,检测时也应予以注意。

4. 电位器的检测

检查电位器时,首先要转动旋柄,看看旋柄转动是否平滑,开关是否灵活,开关通、断时“喀哒”声是否清脆,并听一听电位器内部接触点和电阻体摩擦的声音,如有“沙沙”声,说明质量不好。用万用表测试时,先根据被测电位器阻值的大小,选择好万用表的合适电阻挡位,然后可按下述方法进行检测。

A 用万用表的欧姆挡测“1”、“2”两端，其读数应为电位器的标称阻值，如万用表的指针不动或阻值相差很多，则表明该电位器已损坏。

B 检测电位器的活动臂与电阻片的接触是否良好。用万用表的欧姆档测“1”、“2”（或“2”、“3”）两端，将电位器的转轴按逆时针方向旋至接近“关”的位置，这时电阻值越小越好。再顺时针慢慢旋转轴柄，电阻值应逐渐增大，表头中的指针应平稳移动。当轴柄旋至极端位置“3”时，阻值应接近电位器的标称值。如万用表的指针在电位器的轴柄转动过程中有跳动现象，说明活动触点有接触不良的故障。

5. 正温度系数热敏电阻(PTC)的检测

检测时，用万用表 $R \times 1$ 挡，具体可分两步操作：

A 常温检测（室内温度接近 25°C ）；将两表笔接触 PTC 热敏电阻的两引脚测出其实际阻值，并与标称阻值相对比，二者相差在 $\pm 2\Omega$ 内即为正常。实际阻值若与标称阻值相差过大，则说明其性能不良或已损坏。

B 加温检测；在常温测试正常的基础上，即可进行第二步测试—加温检测，将一热源（例如电烙铁）靠近 PTC 热敏电阻对其加热，同时用万用表监测其电阻值是否随温度的升高而增大，如是，说明热敏电阻正常，若阻值无变化，说明其性能变劣，不能继续使用。注意不要使热源与 PTC 热敏电阻靠得过近或直接接触热敏电阻，以防止将其烫坏。

6. 负温度系数热敏电阻(NTC)的检测

(1) 测量标称电阻值 R_t

用万用表测量 NTC 热敏电阻的方法与测量普通固定电阻的方法相同，即根据 NTC 热敏电阻的标称阻值选择合适的电阻挡可直接测出 R_t 的实际值。但因 NTC 热敏电阻对温度很敏感，故测试时应注意以下几点：

A R_t 是生产厂家在环境温度为 25°C 时所测得的，所以用万用表测量 R_t 时，亦应在环境温度接近 25°C 时进行，以保证测试的可信度。

B 测量功率不得超过规定值，以免电流热效应引起测量误差。

C 注意正确操作。测试时，不要用手捏住热敏电阻体，以防止人体温度对测试产生影响。

(2) 估测温度系数 α_t

先在室温 t_1 下测得电阻值 R_{t1} ，再用电烙铁作热源，靠近热敏电阻 R_t ，测出电阻值 R_{t2} ，同时用温度计测出此时热敏电阻 R_t 表面的平均温度 t_2 再进行计算。

7. 压敏电阻的检测

用万用表的 $R \times 1k$ 挡测量压敏电阻两引脚之间的正、反向绝缘电阻，均为无穷大，否则，说明漏电流大。若所测电阻很小，说明压敏电阻已损坏，不能使用。

8. 光敏电阻的检测

A 用一黑纸片将光敏电阻的透光窗口遮住，此时万用表的指针基本保持不动，阻值接近无穷大。此值越大说明光敏电阻性能越好。若此值很小或接近为零，说明光敏电阻已烧穿损坏，不能再继续使用。

B 将一光源对准光敏电阻的透光窗口，此时万用表的指针应有较大幅度的摆动，阻值明显减小。此值越小说明光敏电阻性能越好。若此值很大甚至无穷大，表明光敏电阻内部开路损坏，也不能再继续使用。

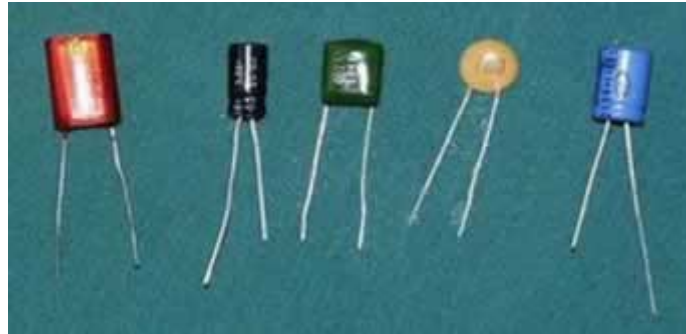
C 将光敏电阻透光窗口对准入射光线，用小黑纸片在光敏电阻的遮光窗上部晃动，使其间断受光，此时万用表指针应随黑纸片的晃动而左右摆动。如果万用表指针始终停在某一位置不随纸片晃动而摆动，说明光敏电阻的光敏材料已经损坏。

电容分类说明

一、基础知识

电容器是一种储能元件，在电路中用于调谐、滤波、耦合、旁路、能量转换和延时。电容器通常叫做电容。

按其结构可分为固定电容器、半可变电容器、可变电容器三种。



1、常用电容的结构和特点

数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9
产品名称									
瓷介电容	园片	管型	迭片	独石	穿心	支柱等		高压	
云母电容	非密封	非密封	密封	密封					
有机电容	非密封	非密封	密封	密封	穿心				特殊
电解电容	箔式	箔式	烧结粉 液体	烧结粉 固体			无极性		特殊
G:高功率，W:微调。 列如:CCG1:园片型高功率瓷介电容器									

常用的电容器按其介质材料可分为电解电容器、云母电容器、瓷介电容器、玻璃釉电容等。

表 1 常用电容的结构和特点

电容种类	电容结构和特点	实物图片
铝电解电容	它是由铝圆筒做负极，里面装有液体电解质，插入一片弯曲的铝带做正极制成。还需要经过直流电压处理，使正极片上形成一层氧化膜做介质。它的特点是容量大，但是漏电流大，误差大，稳定性差，常用作交流旁路和滤波，在要求不高时也用于信号耦合。电解电容有正、负极之分，使用时不能接反。有正负极性，使用的时候，正负极不要接反。	
纸介电容	用两片金属箔做电极，夹在极薄的电容纸中，卷成圆柱形或者扁柱形芯子，然后密封在金属壳或者绝缘材料（如火漆、陶瓷、玻璃釉等）壳中制成。它的特点是体积较小，容量可以做得较大。但是有固有电感和损耗都比较大，用于低频比较合适。	
金属化纸介电容	结构和纸介电容基本相同。它是在电容器纸上覆上一层金属膜来代替金属箔，体积小，容量较大，一般用在低频电路中。	
油浸纸介电容	它是把纸介电容浸在经过特别处理的油里，能增强它的耐压。它的特点是电容量大、耐压高，但是体积较大。	
玻璃釉电容	以玻璃釉作介质，具有瓷介电容器的优点，且体积更小，耐高温。	

<p>陶瓷电容</p>	<p>用陶瓷做介质，在陶瓷基体两面喷涂银层，然后烧成银质薄膜做极板制成。它的特点是体积小，耐热性好、损耗小、绝缘电阻高，但容量小，适宜用于高频电路。</p> <p>铁电陶瓷电容容量较大，但是损耗和温度系数较大，适宜用于低频电路。</p>	
<p>薄膜电容</p>	<p>结构和纸介电容相同，介质是涤纶或者聚苯乙烯。涤纶薄膜电容，介电常数较高，体积小，容量大，稳定性较好，适宜做旁路电容。</p> <p>聚苯乙烯薄膜电容，介质损耗小，绝缘电阻高，但是温度系数大，可用于高频电路。</p>	
<p>云母电容</p>	<p>用金属箔或者在云母片上喷涂银层做电极板，极板和云母一层一层叠合后，再压铸在胶木粉或封固在环氧树脂中制成。它的特点是介质损耗小，绝缘电阻大、温度系数小，适宜用于高频电路。</p>	
<p>钽、铌电解电容</p>	<p>它用金属钽或者铌做正极，用稀硫酸等配液做负极，用钽或铌表面生成的氧化膜做介质制成。它的特点是体积小、容量大、性能稳定、寿命长、绝缘电阻大、温度特性好。用在要求较高的设备中。</p>	
<p>半可变电容</p>	<p>也叫做微调电容。它是由两片或者两组小型金属弹片，中间夹着介质制成。调节的时候改变两片之间的距离或</p>	

	者面积。它的介质有空气、陶瓷、云母、薄膜等。	
可变电容	它由一组定片和一组动片组成，它的容量随着动片的转动可以连续改变。把两组可变电容装在一起同轴转动，叫做双连。可变电容的介质有空气和聚苯乙烯两种。空气介质可变电容体积大，损耗小，多用在电子管收音机中。聚苯乙烯介质可变电容做成密封式的，体积小，多用在晶体管收音机中。	

2. 主要性能指标

标称容量和允许误差：

电容器储存电荷的能力，常用的单位是 F、 μF 、 pF 。电容器上标有的电容数是电容器的标称容量。电容器的标称容量和它的实际容量会有误差。常用固定电容允许误差的等级见表 2。常用固定电容的标称容量系列见表 3。一般，电容器上都直接写出其容量，也有用数字来标志容量的，通常在容量小于 10000pF 的时候，用 pF 做单位，大于 10000pF 的时候，用 μF 做单位。为了简便起见，大于 100pF 而小于 $1\mu\text{F}$ 的电容常常不注单位。没有小数点的，它的单位是 pF ，有小数点的，它的单位是 μF 。如有的电容上标有“332”（ 3300pF ）三位有效数字，左起两位给出电容量的第一、二位数字，而第三位数字则表示在后加 0 的个数，单位是 pF 。

额定工作电压：

在规定的工作温度范围内，电容长期可靠地工作，它能承受的最大直流电压，就是电容的耐压，也叫做电容的直流工作电压。如果在交流电路中，要注意所加的交流电压最大值不能超过电容的直流工作电压值。常用的固定电容工作电压有 6.3V、10V、16V、25V、50V、63V、100V、250V、400V、500V、630V、1000V。

表 2 常用固定电容允许误差的等

允许误差	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	(+20%~30%)	(+50%~20%)	(+100%~10%)
级 别	02	I	II	III	IV	V	VI

表 3 常用固定电容的标称容量系列

电容类别	允许误差	容量范围	标称容量系列
纸介电容、金属化纸介电容、纸膜复合介质电容、低频(有极性)有机薄膜介质电容	5%	100pF-1uF	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8
	±10% ±20%	1uF-100uF	1 2 4 6 8 10 15 20 30 50 60 80 100
高频(无极性)有机薄膜介质电容、瓷介电容、玻璃釉电容、云母电容	5%	1pF-1uF	1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1
	10%		1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
	20%		1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8
铝、钽、铌、钛电解电容	10% ±20% +50/-20% +100/-10%	1uF-1000000uF	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8 (容量单位 uF)

绝缘电阻：由于电容两极之间的介质不是绝对的绝缘体，它的电阻不是无限大，而是一个有限的数值，一般在 1000 兆欧以上，电容两极之间的电阻叫做绝缘电阻，或者叫做漏电阻，大小是额定工作电压下的直流电压与通过电容的漏电流的比值。漏电阻越小，漏电越严重。电容漏电会引起能量损耗，这种损耗不仅影响电容的寿命，而且会影响电路的工作。因此，漏电阻越大越好。

介质损耗：电容器在电场作用下消耗的能量，通常用损耗功率和电容器的无功功率之比，即损耗角的正切值表示。损耗角越大，电容器的损耗越大，损耗角大的电容不适于高频情况下工作。

表 4 常用电容的几项特性

电容种类	容量范围	直流工作电压 (V)	运用频率 (MHz)	准确度	漏电阻 ($>M\Omega$)
中小型纸介电容	470pF-0.22uF	63-630	8 以下	-III	>5000
金属壳密封纸介电容	0.01uF-10uF	250-1600	直流, 脉动直流	I >-III	>1000-5000
中小型金属化纸介电容	0.01uF-0.22uF	160、250、400	8 以下	I >-III	>2000
金属壳密封金属化纸介电容	0.22uF-30uF	160-1600	直流, 脉动电流	I >-III	>30-5000
薄膜电容	3pF-0.1uF	63-500	高频、低频	I >-III	>10000
云母电容	10pF-0.51uF	100-7000	75-250 以下	02-III	>10000
瓷介电容	1pF-0.1uF	63-630	低频、高频	02-III	>10000
铝电解电容	1uF-10000uF	4-500	直流, 脉动直流	IV V	
钽、铌电解电容	0.47uF-1000uF	6.3-160	直流, 脉动直流	IIIIV	
瓷介微调电容	2/7pF-7/25pF	250-500	高频		>1000-10000
可变电容	7pF-1100pF	100 以上	低频, 高频		>500

3. 命名方法

根据部颁标准 (SJ-73) 规定, 电容器的命名由下列四部分组成: 第一部分 (主称); 第二部分: (材料); 第三部分 (分类特征); 第四部分 (序号)。它们的型号及意义见下表。

表 5 电容器型号命名方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示特征		序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
C	电容器	C	瓷介	T W J X S D M Y C	铁电 微调 金属化 小型 独石 低压 密封 高压 穿心式	包括： 品种、尺寸、 代号、温度特 性、直流工作 电压、标称 值、允许误 差、标准代 号。
		I	玻璃釉			
		O	玻璃膜			
		Y	云母			
		V	云母纸			
		Z	纸介			
		J	金属化纸			
		B	聚苯乙烯			
		F	聚四氟乙烯			
		L	涤纶			
		S	聚碳酸酯			
		Q	漆膜			
		H	纸膜复合			
		D	铝电解			
		A	钽电解			
		G	金属电解			
		N	铌电解			
T	钛电解					
M	压敏					
E	其他材料					

表 6 第三部分是数字时所代表的意义：

符号	特征（型号的第三部分）的意义			
（数字）	瓷介电容器	去母电容器	有机电容器	电解电容器
1	圆片		非密封	箔式
2	管型	非密封	非密封	箔式
3	迭片	密封	密封	烧结粉液体
4	独石	密封	密封	烧结粉固体
5	穿心		穿心	
6				
7				无极性
8	高压	高压	高压	
9			特殊	特殊

4. 选用常识

电容在电路中实际要承受的电压不能超过它的耐压值。在滤波电路中，电容的耐压值不要小于交流有效值的 1.42 倍。使用电解电容的时候，还要注意正负极不要接反。

不同电路应该选用不同类型的电容。谐振回路可以选用云母、高频陶瓷电容，隔直流可以选用纸介、涤纶、云母、电解、陶瓷等电容，滤波可以选用电解电容，旁路可以选用涤纶、纸介、陶瓷、电解等电容。

电容在装入电路前要检查它有没有短路、断路和漏电等现象，并且核对它的电容值。安装的时候，要使电容的类别、容量、耐压等符号容易看到，以便核实。

1) 名称：聚酯（涤纶）电容（CL）

电容量：40p--4u

额定电压：63--630V

主要特点：小体积，大容量，耐热耐湿，稳定性差

应用：对稳定性和损耗要求不高的低频电路

2) 名称：聚苯乙烯电容（CB）

电容量：10p--1u

额定电压：100V--30KV

主要特点：稳定，低损耗，体积较大

应用：对稳定性和损耗要求较高的电路

3) 名称：聚丙烯电容 (CBB)

电容量：1000p--10u

额定电压：63--2000V

主要特点：性能与聚苯相似但体积小，稳定性略差

应用：代替大部分聚苯或云母电容，用于要求较高的电路

4) 名称：云母电容 (CY)

电容量：10p--0.1u

额定电压：100V--7kV

主要特点：高稳定性，高可靠性，温度系数小

应用：高频振荡，脉冲等要求较高的电路

5) 名称：高频瓷介电容 (CC)

电容量：1--6800p

额定电压：63--500V

主要特点：高频损耗小，稳定性好

应用：高频电路

6) 名称：低频瓷介电容 (CT)

电容量：10p--4.7u

额定电压：50V--100V

主要特点：体积小，价廉，损耗大，稳定性差

应用：要求不高的低频电路

7) 名称：玻璃釉电容 (CI)

电容量：10p--0.1u

额定电压：63--400V

主要特点：稳定性较好，损耗小，耐高温 (200 度)

应用：脉冲、耦合、旁路等电路

8) 名称：铝电解电容

电容量：0.47--10000u

额定电压：6.3--450V

主要特点：体积小，容量大，损耗大，漏电大

应用：电源滤波，低频耦合，去耦，旁路等

9) 名称：钽电解电容 (CA) 铌电解电容 (CN)

电容量：0.1--1000 μ

额定电压：6.3--125V

主要特点：损耗、漏电小于铝电解电容

应用：在要求高的电路中代替铝电解电容

10) 名称：空气介质可变电容器

可变电容量：100--1500p

主要特点：损耗小，效率高；可根据要求制成直线式、直线波长式、直线频率式及对数式等

应用：电子仪器，广播电视设备等

11) 名称：薄膜介质可变电容器

可变电容量：15--550p

主要特点：体积小，重量轻；损耗比空气介质的

应用：通讯，广播接收机等

12) 名称：薄膜介质微调电容器

可变电容量：1--29p

主要特点：损耗较大，体积小

应用：收录机，电子仪器等电路作电路补偿

13) 名称：陶瓷介质微调电容器

可变电容量：0.3 μ --22p

主要特点：损耗较小，体积较小

应用：精密调谐的高频振荡回路

14) 名称：独石电容

电容量大、体积小、可靠性高、电容量稳定，耐高温耐湿性好等。

应用范围：广泛应用于电子精密仪器。各种小型电子设备作谐振、耦合、滤波、旁路。

容量范围：0.5PF--1UF

耐压：二倍额定电压。

独石又叫多层瓷介电容，分两种类型，I型性能挺好，但容量小，一般小于0.2U，另一种叫II型，容量大，但性能一般。独石电容最大的缺点是温度系数很高，做振荡器的稳漂让人受不了，我们做的一个555振荡器，电容刚好在7805旁边，开机后，用示波器看频率，眼看着就慢慢变化，后来换成涤纶电容就好多了。

就温漂而言：

独石为正温系数+130左右，CBB为负温系数-230，用适当比例并联使用，可使温漂降到很小。

就价格而言：

钽，铌电容最贵；独石、CBB较便宜；瓷片最低。

但有种高频零温漂黑点瓷片稍贵。云母电容Q值较高，也稍贵。

电解电容的设计，一点小经验：

1. 电解电容在滤波电路中根据具体情况取电压值为噪声峰值的1.2--1.5倍，并不根据滤波电路的额定值；

2. 电解电容的正下面不得有焊盘和过孔。

3. 电解电容不得和周边的发热元件直接接触。

电路设计

(1) 铝电解电容分正负极，不得加反向电压和交流电压，对可能出现反向电压的地方应使用无极性电容。

(2) 对需要快速充放电的地方，不应使用铝电解电容器，应选择特别设计的具有较长寿命的电容器。

(3) 不应使用过载电压

1. 直流电压与纹波电压叠加后的峰值电压低于额定值。

2. 两个以上电解电容串联的时候要考虑使用平衡电阻器，使得各个电容上的电压在其额定的范围内。

(1) 设计电路板时，应注意电容齐防爆阀上端不得有任何线路，，并应留出2mm以上的空隙。

(2) 电解也主要化学溶剂及电解纸为易燃物，且电解液导电。当电解液与 pc 板接触时，可能腐蚀 pc 板上的线路，以致生烟或着火。因此在电解电容下面不应有任何线路。

(3) 设计线路板向背应确认发热元器件不靠近铝电解电容或者电解电容的

二、电容器检测的一般方法

1. 固定电容器的检测.

A 检测 10pF 以下的小电容。因 10pF 以下的固定电容器容量太小，用万用表进行测量，只能定性的检查其是否有漏电，内部短路或击穿现象。测量时，可选用万用表 R×10k 挡，用两表笔分别任意接电容的两个引脚，阻值应为无穷大。若测出阻值(指针向右摆动)为零，则说明电容漏电损坏或内部击穿。

B 检测 10PF~0.01μF 固定电容器是否有充电现象，进而判断其好坏。万用表选用 R×1k 挡。两只三极管的 β 值均为 100 以上，且穿透电流要小。可选用 3DG6 等型号硅三极管组成复合管。万用表的红和黑表笔分别与复合管的发射极 e 和集电极 c 相接。由于复合三极管的放大作用，把被测电容的充放电过程予以放大，使万用表指针摆幅度加大，从而便于观察。应注意的是：在测试操作时，特别是在测较小容量的电容时，要反复调换被测电容引脚接触 A、B 两点，才能明显地看到万用表指针的摆动。

C 对于 0.01μF 以上的固定电容，可用万用表的 R×10k 挡直接测试电容器有无充电过程以及有无内部短路或漏电，并可根据指针向右摆动的幅度大小估计出电容器的容量。

2. 电解电容器的检测

A 因为电解电容的容量较一般固定电容大得多，所以，测量时，应针对不同容量选用合适的量程。根据经验，一般情况下，1~47μF 间的电容，可用 R×1k 挡测量，大于 47μF 的电容可用 R×100 挡测量。

B 将万用表红表笔接负极，黑表笔接正极，在刚接触的瞬间，万用表指针即向右偏转较大偏度(对于同一电阻挡，容量越大，摆幅越大)，接着逐渐向左回转，直到停在某一位置。此时的阻值便是电解电容的正向漏电阻，此值略大于反向漏电阻。实际使用经验表明，电解电容的漏电阻一般应在几百 kΩ 以上，否则，将不能正常工作。在让信念坚持下去，梦想就能实现!!

测试中，若正向、反向均无充电的现象，即表针不动，则说明容量消失或内部断路；如果所测阻值很小或为零，说明电容漏电大或已击穿损坏，不能再使用。

C 对于正、负极标志不明的电解电容器，可利用上述测量漏电阻的方法加以判别。即先任意测一下漏电阻，记住其大小，然后交换表笔再测出一个阻值。两次测量中阻值大的那一次便是正向接法，即黑表笔接的是正极，红表笔接的是负极。

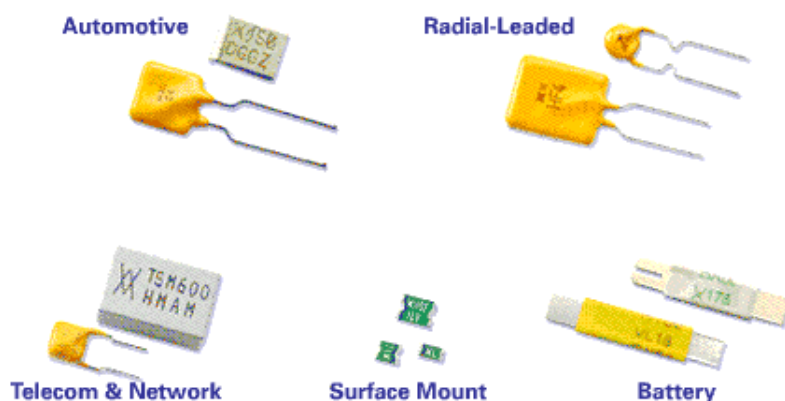
D 使用万用表电阻挡，采用给电解电容进行正、反向充电的方法，根据指针向右摆动幅度的大小，可估测出电解电容的容量。

3. 可变电容器的检测

A 用手轻轻转动转轴，应感觉十分平滑，不应感觉有时松时紧甚至有卡滞现象。将载轴向前、后、上、下、左、右等各个方向推动时，转轴不应有松动的现象。

B 用一只手转动转轴，另一只手轻摸动片组的外缘，不应感觉有任何松脱现象。转轴与动片之间接触不良的可变电容器，是不能再继续使用的。

C 将万用表置于 $R \times 10k$ 挡，一只手将两个表笔分别接可变电容器的动片和定片的引出端，另一只手将转轴缓缓转动几个来回，万用表指针都应在无穷大位置不动。在转动转轴的过程中，如果指针有时指向零，说明动片和定片之间存在短路点；如果碰到某一角度，万用表读数不为无穷大而是出现一定阻值，说明可变电容器动片与定片之间存在漏电现象多聚物



晶体二极管基础知识及检测方法

一、极管基础知识

1. 二极管的主要参数

正向电流 I_F : 在额定功率下, 允许通过二极管的电流值。

正向电压降 V_F : 二极管通过额定正向电流时, 在两极间所产生的电压降。

最大整流电流(平均值) I_{OM} : 在半波整流连续工作的情况下, 允许的最大半波电流的平均值。

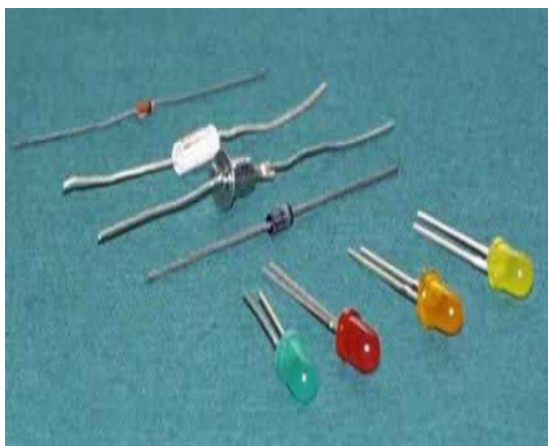
反向击穿电压 V_B : 二极管反向电流急剧增大到出现击穿现象时的反向电压值。

正向反向峰值电压 V_{RM} : 二极管正常工作时所允许的反向电压峰值, 通常VRM为VP的三分之二或略小一些。

反向电流 I_R : 在规定的反向电压条件下流过二极管的反向电流值。

结电容 C : 电容包括电容和扩散电容, 在高频场合下使用时, 要求结电容小于某一规定数值。

最高工作频率 F_M : 二极管具有单向导电性的最高交流信号的频率。

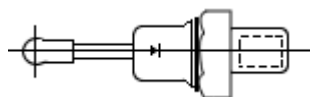


2. 常用二极管

(1) 整流二极管

将交流电源整流成为直流电流的二极管叫作整流二极管, 它是面结合型的功率器件, 因结电容大, 故工作频率低。

通常, I_F 在 1 安以上的二极管采用金属壳封装, 以利于散热; I_F 在 1 安以下的采用全塑料封装(见图二) 由于近代工艺技术不断提高, 国外出现了不少较大功率的管子, 也采用塑封形式。



(a) 全密封金属结构



(b) 塑料封装

(2) 检波二极管

检波二极管是用于把迭加在高频载波上的低频信号检出来的器件,它具有较高的检波效率和良好的频率特性。

(3) 开关二极管

在脉冲数字电路中,用于接通和关断电路的二极管叫开关二极管,它的特点是反向恢复时间短,能满足高频和超高频应用的需要。

开关二极管有接触型,平面型和扩散台面型几种,一般 $I_F < 500$ 毫安的硅开关二极管,多采用全密封环氧树脂,陶瓷片状封装,如图三所示,引脚较长的一端为正极。

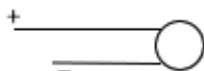


图 3、硅开关二极管全密封环环氧树脂陶瓷片状封装

(4) 稳压二极管

稳压二极管是由硅材料制成的面结合型晶体二极管,它是利用 PN 结反向击穿时的电压基本上不随电流的变化而变化的特点,来达到稳压的目的,因为它能在电路中起稳压作用,故称为、稳压二极管(简称稳压管)其图形符号见图 4

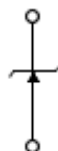


图 4、稳压二极管的图形符号

稳压管的伏安特性曲线如图 5 所示,当反向电压达到 V_Z 时,即使电压有一微小的增加,反向电流亦会猛增(反向击穿曲线很陡直)这时,二极管处于击穿状态,如果把击穿电流限制在一定的范围内,管子就可以长时间在反向击穿状态下稳定工作。

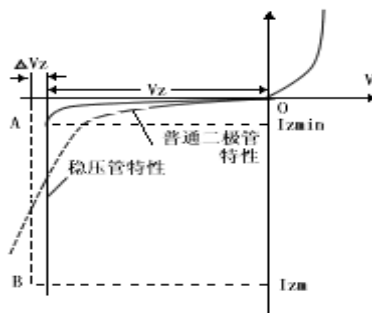


图 5、硅稳压管伏安特性曲线

(5) 变容二极管

变容二极管是利用 PN 结的电容随外加偏压而变化这一特性制成的非线性电容元件，被广泛地用于参量放大器，电子调谐及倍频器等微波电路中，变容二极管主要是通过结构设计及工艺等一系列途径来突出电容与电压的非线性关系，并提高 Q 值以适合应用。

变容二极管的结构与普通二极管相似，其符号如图 6 所示，几种常用变容二极管的型号参数见表一



图 6、变容二极管图形符号

表一		常用变容二极管					
型号	产地	反向电压 (V)		电容量 (pF)		电容比	使用波段
		最小值	最大值	最小值	最大值		
2CB11	中国	3	25	2.5	12		UHF
2CB14	中国	3	30	3	18	6	VHF
BB125	欧洲	2	28	2	12	6	UHF
BB139	欧洲	1	28	5	45	9	VHF
MA325	日本	3	25	2	10.3	5	UHF
ISV50	日本	3	25	4.9	28	5.7	VHF
ISV97	日本	3	25	2.4	18	7.5	VHF
ISV59.0SV70/IS2208	日本	3	25	2	11	5.5	UHF

(6) 瞬态电压抑制器

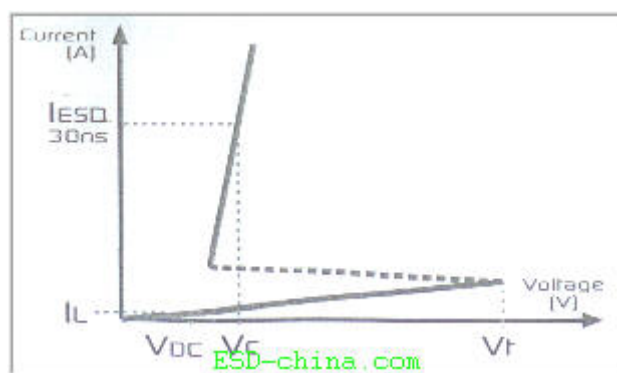
TVS (Transient Voltage Suppressor 瞬态电压抑制器) 二极管和 MLV (Multi-Layer Varistor, 多层变阻器) 等 ESD 保护器是近几年发展起来的一种固态二极管，专门用于 ESD 保护。

TVS 二极管是和被保护电路并联的，当瞬态电压超过电路的正常工作电压时，二极管发生雪崩，为瞬态电流提供通路，使内部电路免遭超额电压的击穿或超额电流的过热烧毁。由于 TVS 二极管的结面积较大，使得它具有泄放瞬态大电流的优点，具有理想的保护作用。

改进后的 TVS 二极管还具有适应低压电路 (<5 V) 的特点，且封装集成度高，适让信念坚持下去，梦想就能实现!!

用于在印制电路板面积紧张的情况下使用。很低的箝位电压, 经过多次 ESD 过程后不会劣化. 这些特点决定了它有广泛的适用范围, 尤其在高档便携设备的接口电路中有很好的使用价值。

由于 TVS 响应时间远小于 1ns, 能够迅速地将 ESD 故障电流放电到接地端, 而且其漏电流和结电容都很低, 要测量其响应就要用快速脉冲发生器-TLP 脉冲发生器。右图是其测试的特性图。



瞬态电压抑制器 (Transient Voltage Suppressor) 简称 TVS, 是一种二极管形式的高效能保护器件, 有的文献上也为 TVP、AJTVS、SAJTVS 等。

当 TVS 二极管的两极受到反向瞬态高能量冲击时, 它能以 10-12 秒量级的速度, 将其两极间的高阻抗变为低阻抗, 吸收高达数千瓦的浪涌功率, 使两极间的电压箝位于一个预定值, 有效地保护电子线路中的精密元器件, 免受各种浪涌脉冲的损坏。

由于它具有响应时间快、瞬态功率大、漏电流低、击穿电压偏差小、箝位电压较易控制、无损坏极限、体积小等优点, 目前已广泛应用于计算机系统、通讯设备、电源、家用电器等各个领域。具体有以下三大特点:

- 1、将 TVS 二极管加在信号及电源线上, 能防止微处理器或单片机因瞬间的肪冲, 如静电放电效应、交流电源之浪涌及开关电源的噪音所导致的失灵。
- 2、静电放电效应能释放超过 10000V、60A 以上的脉冲, 并能持续 10ms; 而一般的 TTL 器件, 遇到超过 30ms 的 10V 脉冲时, 便会导至损坏。利用 TVS 二极管, 可有效吸收会造成器件损坏的脉冲, 并能消除由总线之间开关所引起的干扰 (Crosstalk)。
- 3、将 TVS 二极管放置在信号线及接地间, 能避免数据及控制总线受到不必要的噪音影响。

一、TVS 的特性及主要参数

1、TVS 的特性曲线

TVS 的电路符号与普通稳压二极管相同。它的正向特性与普通二极管相同；反向特性为典型的 PN 结雪崩器件。

在瞬态峰值脉冲电流作用下，流过 TVS 的电流，由原来的反向漏电流 I_D 上升到 I_R 时，其两极呈现的电压由额定反向关断电压 V_{WM} 上升到击穿电压 V_{BR} ，TVS 被击穿。随着峰值脉冲电流的出现，流过 TVS 的电流达到峰值脉冲电流 I_{PP} 。在其两极的电压被箝位到预定的最大箝位电压以下。尔后，随着脉冲电流按指数衰减，TVS 两极的电压也不断下降，最后恢复到起始状态。这就是 TVS 抑制可能出现的浪涌脉冲功率，保护电子元器件的整个过程。

2、TVS 的特性参数

①最大反向漏电流 I_D 和额定反向关断电压 V_{WM} 。 V_{WM} 是 TVS 最大连续工作的直流或脉冲电压，当这个反向电压加入 TVS 的两极间时，它处于反向关断状态，流过它的电流应小于或等于其最大反向漏电流 I_D 。

②最小击穿电压 V_{BR} 和击穿电流 I_R

V_{BR} 是 TVS 最小的雪崩电压。25℃时，在这个电压之前，TVS 是不导通的。当 TVS 流过规定的 1mA 电流 (I_R) 时，加入 TVS 两极间的电压为其最小击穿电压 V_{BR} 。按 TVS 的 V_{BR} 与标准值的离散程度，可把 TVS 分为 $\pm 5\%V_{BR}$ 和平共处 $\pm 10\% V_{BR}$ 两种。对于 $\pm 5\%V_{BR}$ 来说， $V_{WM}=0.85V_{BR}$ ；对于 $\pm 10\% V_{BR}$ 来说， $V_{WM}=0.81 V_{BR}$ 。

③最大箝拉电压 V_C 和最大峰值脉冲电流 I_{PP}

当持续时间为 20 微秒的脉冲峰值电流 I_{PP} 流过 TVS 时，在其两极间出现的最大峰值电压为 V_C 。它是串联电阻上和因温度系数两者电压上升的组合。 V_C 、 I_{PP} 反映了 TVS 器件的浪涌抑制能力。 V_C 与 V_{BR} 之比称为箝位因子，一般在 $1.2 \sim 1.4$ 之间。

④电容量 C

电容量 C 是 TVS 雪崩结截面决定的、在特定的 1MHz 频率下测得的。 C 的大小与 TVS 的电流承受能力成正比， C 过大将使信号衰减。因此， C 是数据接口电路选用 TVS 的重要参数。

⑤最大峰值脉冲功耗 PM

PM 是 TVS 能承受的最大峰值脉冲耗散功率。其规定的试验脉冲波形和各种 TVS 的 PM 值, 请查阅有关产品手册。在给定的最大箝位电压下, 功耗 PM 越大, 其浪涌电流的承受能力越大; 在给定的功耗 PM 下, 箝位电压 VC 越低, 其浪涌电流的承受能力越大。

另外, 峰值脉冲功耗还与脉冲波形、持续时间和环境温度有关。而且 TVS 所能承受的瞬态脉冲是不重复的, 器件规定的脉冲重复频率(持续时间与间歇时间之比)为 0.01%, 如果电路内出现重复性脉冲, 应考虑脉冲功率的“累积”, 有可能使 TVS 损坏。

⑥箝位时间 TC

TC 是从零到最小击穿电压 VBR 的时间。对单极性 TVS 小于 1×10^{-12} 秒; 对双极性 TVS 小于是 1×10^{-11} 秒。

二、TVS 二极管的分类

TVS 器件可以按极性分为单极性和双极性两种, 按用途可分为各种电路都适用的通用型器件和特殊电路适用的专用型器件。如: 各种交流电压保护器、4~200mA 电流环保器、数据线保护器、同轴电缆保护器、电话机保护器等。若按封装及内部结构可分为:

轴向引线二极管、双列直插 TVS 阵列(适用多线保护)、贴片式、组件式和大功率模块式等。

三、TVS 的选用技巧

1、确定被保护电路的最大直流或连续工作电压、电路的额定标准电压和“高端”容限。

2、TVS 额定反向关断 VWM 应大于或等于被保护电路的最大工作电压。若选用的 VWM 太低, 器件可能进入雪崩或因反向漏电流太大影响电路的正常工作。串行连接分电压, 并行连接分电流。

3、TVS 的最大箝位电压 VC 应小于被保护电路的损坏电压。

4、在规定的脉冲持续时间内, TVS 的最大峰值脉冲功耗 PM 必须大于被保护电路内可能出现的峰值脉冲功率。在确定了最大箝位电压后, 其峰值脉冲电流应大于瞬态浪涌电流。

5、对于数据接口电路的保护, 还必须注意选取具有合适电容 C 的 TVS 器件。

6、根据用途选用 TVS 的极性及其封装结构。交流电路选用双极性 TVS 较为合理；多线保护选用 TVS 阵列更为有利。

7、温度考虑。瞬态电压抑制器可以在 -55°C ~ $+150^{\circ}\text{C}$ 之间工作。如果需要 TVS 在一个变化的温度工作，由于其反向漏电流 I_D 是随增加而增大；功耗随 TVS 结温增加而下降，从 $+25^{\circ}\text{C}$ 到 $+175^{\circ}\text{C}$ ，大约线性下降 50% 而击穿电压 V_{BR} 随温度的增加按一定的系数增加。因此，必须查阅有关产品资料，考虑温度变化对其特性的影响。

8、美国 ProTek 公司提供的 TVS 二极管，有下列不同的功率选择：

500W：SA 系列

600W：P6KE、SMBJ 系列

1500W：1N5629~1N6389、1.5KE、LC、LCE 系列

5000W：5KP 系列

15000W：15KAP、15KP 系列

四、TVS 与压敏电阻的比较

目前，国内不少需进行浪涌保护的设备上使用的是压敏电阻。压敏电阻是一种金属氧化物变阻器。TVS 比压敏电阻的特性优越得多，具体特性参数的比较如下表所示。今年压敏电阻具有响应速度更快、无极性、成本低等优点。

关键参数或极限值	TVS	压敏电阻
反应速度	10-12s	5×10^{-8}
有否老化现象	否	有
最高使用温度	175°C	115°C
元件极性	单极性与双极性	单极性
反向漏电流典型值	5Ma	$200 \mu\text{A}$
箝位因子 (VC/VBR)	≤ 1.5	$\geq 7 \sim 8$
密封性质	密封不透气	透气
价格	较贵	便宜

一、二极管的选用常识

选用二极管要注意的几个方面：

(1) 正向特性

另在二极管两端的正向电压（P 为正、N 为负）很小时（锗管小于 0.1 伏，硅管小于 0.5 伏），管子不导通处于“死区”状态，当正向电压起过一定数值后，管子才导通，电压再稍微增大，电流急剧暗加（见曲线 I 段）。不同材料的二极管，起始电压不同，硅管为 0.5-0.7 伏左右，锗管为 0.1-0.3 左右。

(2) 反向特性

二极管两端加上反向电压时，反向电流很小，当反向电压逐渐增加时，反向电流基本保持不变，这时的电流称为反向饱和电流（见曲线 II 段）。不同材料的二极管，反向电流大小不同，硅管约为 1 微安到几十微安，锗管则可高达数百微安，另外，反向电流受温度变化的影响很大，锗管的稳定性比硅管差。

(3) 击穿特性

当反向电压增加到某一数值时，反向电流急剧增大，这种现象称为反向击穿（见曲线 III）。这时的反向电压称为反向击穿电压，不同结构、工艺和材料制成的管子，其反向击穿电压值差异很大，可由 1 伏到几百伏，甚至高达数千伏。

(4) 频率特性

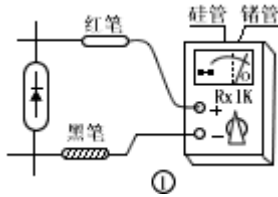
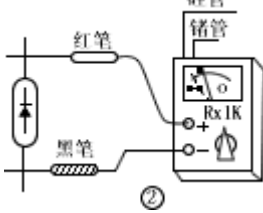
由于结电容的存在，当频率高到某一程度时，容抗小到使 PN 结短路。导致二极管失去单向导电性，不能工作，PN 结面积越大，结电容也越大，越不能在高频情况下工作。

二、二极管检测方法

1. 普通二极管的检测

二极管的极性通常在管壳上注有标记，如无标记，可用万用表电阻档测量其正反向电阻来判断（一般用 R×100 或×1K 档）具体方法如表一。

表一 二极管简易测试方法

项目	正向电阻	反向电阻
测试方法		
测试情况	硅管：表针指示位置在中间或中间偏右一点；锗管：表针指示在右端靠近满刻度的地方（如图所示）表明管子正向特性是好的。如果表针在左端不动，则管子内部已经断路	硅管：表针在左端基本不动，极靠近00位置，锗管：表针从左端起一点，但不应超过满刻度的1/4（如图所示），则表明反向特性是好的，如果表针指在0位，则管子内部已短路

2. 普通发光二极管的检测

(1) 用万用表检测。

利用具有 $\times 10k\ \Omega$ 挡的指针式万用表可以大致判断发光二极管的好坏。正常时，二极管正向电阻阻值为几十至 $200k\ \Omega$ ，反向电阻的值为 ∞ 。如果正向电阻值为0或为 ∞ ，反向电阻值很小或为0，则易损坏。这种检测方法，不能实地看到发光管的发光情况，因为 $\times 10k\ \Omega$ 挡不能向LED提供较大正向电流。

如果有两块指针万用表（最好同型号）可以较好地检查发光二极管的发光情况。用一根导线将其中一块万用表的“+”接线柱与另一块表的“-”接线柱连接。余下的“-”笔接被测发光管的正极（P区），余下的“+”笔接被测发光管的负极（N区）。两块万用表均置 $\times 10\ \Omega$ 挡。正常情况下，接通后就能正常发光。若亮度很低，甚至不发光，可将两块万用表均拨至 $\times 1\ \Omega$ 若，若仍很暗，甚至不发光，则说明该发光二极管性能不良或损坏。应注意，不能一开始测量就将两块万用表置于 $\times 1\ \Omega$ ，以免电流过大，损坏发光二极管。

(2) 外接电源测量。

用3V稳压源或两节串联的干电池及万用表（指针式或数字式皆可）可以较准确测量发光二极管的光、电特性。为此可按图10所示连接电路即可。如果测得 V_F 在1.4~3V之间，且发光亮度正常，可以说明发光正常。如果测得 $V_F=0$ 或 $V_F\approx 3V$ ，且不发光，说明发光管已坏。

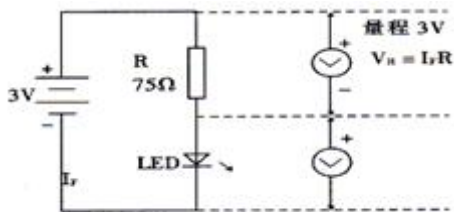


图 10

3. 红外发光二极管的检测

由于红外发光二极管，它发射 $1\sim 3\mu\text{m}$ 的红外光，人眼看不到。通常单只红外发光二极管发射功率只有数 mW ，不同型号的红外 LED 发光强度角分布也不相同。红外 LED 的正向压降一般为 $1.3\sim 2.5\text{V}$ 。正是由于其发射的红外光人眼看不见，所以利用上述可见光 LED 的检测法只能判定其 PN 结正、反向电学特性是否正常，而无法判定其发光情况正常否。为此，最好准备一只光敏器件（如 2CR、2DR 型硅光电池）作接收器。用万用表测光电池两端电压的变化情况。来判断红外 LED 加上适当正向电流后是否发射红外光。其测量电路如图 11 所示。

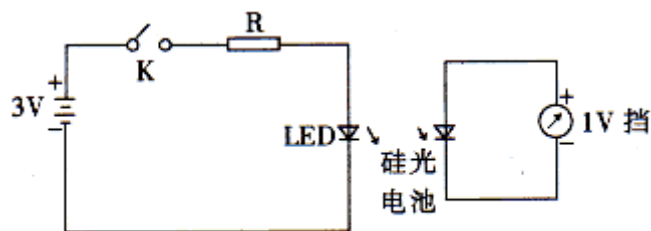


图 11

三极管基础知识及检测方法

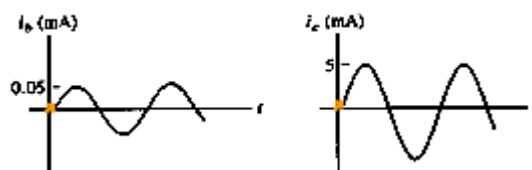
一、晶体管基础



双极结型三极管相当于两个背靠背的二极管 PN 结。正向偏置的 EB 结有空穴从发射极注入基区，其中大部分空穴能够到达集电结的边界，并在反向偏置的 CB 结势垒电场的作用下到达集电区，形成集电极电流 I_c 。在共发射极晶体管电路中，发射结在基极电路中正向偏置，其电压降很小。绝大部分的集电极和发射极之间的外加偏压都加在反向偏置的集电结上。由于 V_{BE} 很小，所以基极电流约为 $I_B = 5V / 50\text{ k}\Omega = 0.1\text{mA}$ 。

如果晶体管的共发射极电流放大系数 $\beta = I_c / I_B = 100$ ，集电极电流 $I_c = \beta * I_B = 10\text{mA}$ 。

在 500Ω 的集电极负载电阻上有电压降 $V_{RC} = 10\text{mA} * 500\Omega = 5\text{V}$ ，而晶体管集电极和发射极之间的压降为 $V_{CE} = 5\text{V}$ ，如果在基极偏置电路中叠加一个交变的小电流 i_b ，在集电极电路中将出现一个相应的交变电流 i_c ，有 $i_c / i_b = \beta$ ，实现了双极晶体管的电流放大作用。



金属氧化物半导体场效应三极管的基本工作原理是靠半导体表面的电场效应，在半导体中感生出导电沟道来进行工作的。当栅 G 电压 V_G 增大时，p 型半导体表面的多数载流子空穴逐渐减少、耗尽，而电子逐渐积累到反型。当表面达到反型时，电子积累层将在 n+ 源区 S 和 n+ 漏区 D 之间形成导电沟道。当 $V_{DS} \neq 0$ 时，源漏电极之间有较大的电流 I_{DS} 流过。使半导体表面达到强反型时所需加的栅源电压称为阈值电压 V_T 。当 $V_{GS} > V_T$ 并取不同数值时，反型层的导电能力将改变，在相同的 V_{DS} 下也将产生不同的 I_{DS} ，实现栅源电压 V_{GS} 对源漏电流 I_{DS} 的控制。



二、晶体管的命名方法

晶体管：最常用的有三极管和二极管两种。三极管以符号BG（旧）或（T）表示，二极管以D表示。按制作材料分，晶体管可分为锗管和硅管两种。

按极性分，三极管有PNP和NPN两种，而二极管有P型和N型之分。多数国产管用xxx表示，其中每一位都有特定含义：如3AX31，第一位3代表三极管，2代表二极管。第二位代表材料和极性。A代表PNP型锗材料；B代表NPN型锗材料；C为PNP型硅材料；D为NPN型硅材料。第三位表示用途，其中X代表低频小功率管；D代表低频大功率管；G代表高频小功率管；A代表高频大功率管。最后面的数字是产品的序号，序号不同，各种指标略有差异。注意，二极管同三极管第二位意义基本相同，而第三位则含义不同。对于二极管来说，第三位的P代表检波管；W代表稳压管；Z代表整流管。上面举的例子，具体来说就是PNP型锗材料低频小功率管。对于进口的三极管来说，就各有不同，要在实际使用过程中注意积累资料。

常用的进口管有韩国的90xx、80xx系列，欧洲的2Sx系列，在该系列中，第三位含义同国产管的第三位基本相同。

三、常用中小功率三极管参数表

型号	材料与极性	P _{cm} (W)	I _{cm} (mA)	BV _{cbo} (V)	f _t (MHz)
3DG6C	SI-NPN	0.1	20	45	>100
3DG7C	SI-NPN	0.5	100	>60	>100
3DG12C	SI-NPN	0.7	300	40	>300
3DG111	SI-NPN	0.4	100	>20	>100
3DG112	SI-NPN	0.4	100	60	>100
3DG130C	SI-NPN	0.8	300	60	150
3DG201C	SI-NPN	0.15	25	45	150
C9011	SI-NPN	0.4	30	50	150
C9012	SI-PNP	0.625	-500	-40	
C9013	SI-NPN	0.625	500	40	

C9014	SI-NPN	0.45	100	50	150
C9015	SI-PNP	0.45	-100	-50	100
C9016	SI-NPN	0.4	25	30	620
C9018	SI-NPN	0.4	50	30	1.1G
C8050	SI-NPN	1	1.5A	40	190
C8580	SI-PNP	1	-1.5A	-40	200
2N5551	SI-NPN	0.625	600	180	
2N5401	SI-PNP	0.625	-600	160	100
2N4124	SI-NPN	0.625	200	30	300

四、用万用表测试三极管

(1) 判别基极和管子的类型

选用欧姆档的 R*100 (或 R*1K) 档, 先用红表笔接一个管脚, 黑表笔接另一个管脚, 可测出两个电阻值, 然后再用红表笔接另一个管脚, 重复上述步骤, 又测得一组电阻值, 这样测 3 次, 其中有一组两个阻值都很小的, 对应测得这组值的红表笔接的为基极, 且管子是 PNP 型的; 反之, 若用黑表笔接一个管脚, 重复上述做法, 若测得两个阻值都小, 对应黑表笔为基极, 且管子是 NPN 型的。

(2) 判别集电极

因为三极管发射极和集电极正确连接时 β 大 (表针摆动幅度大), 反接时 β 就小得多。因此, 先假设一个集电极, 用欧姆档连接, (对 NPN 型管, 发射极接黑表笔, 集电极接红表笔)。测量时, 用手捏住基极和假设的集电极, 两极不能接触, 若指针摆动幅度大, 而把两极对调后指针摆动小, 则说明假设是正确的, 从而确定集电极和发射极。

(3) 电流放大系数 β 的估算

选用欧姆档的 R*100 (或 R*1K) 档, 对 NPN 型管, 红表笔接发射极, 黑表笔接集电极, 测量时, 只要比较用手捏住基极和集电极 (两极不能接触), 和把手放开两种情况小指针摆动的大小, 摆动越大, β 值越高。