

电子元器件基础知识

电子元器件基础知识（1）——电阻

导体对电流的阻碍作用称为电阻，用符号 R 表示，单位为欧姆、千欧、兆欧，分别用 Ω 、 $K\Omega$ 、 $M\Omega$ 表示。一、电阻的型号命名方法：

国产电阻器的型号由四部分组成（不适用敏感电阻）

第一部分：主称，用字母表示，表示产品的名字。如 R 表示电阻， W 表示电位器。

第二部分：材料，用字母表示，表示电阻体用什么材料组成， T -碳膜、 H -合成碳膜、 S -有机实心、 N -无机实心、 J -金属膜、 Y -氮化膜、 C -沉积膜、 I -玻璃釉膜、 X -线绕。

第三部分：分类，一般用数字表示，个别类型用字母表示，表示产品属于什么类型。1-普通、2-普通、3-超高频、4-高阻、5-高温、6-精密、7-精密、8-高压、9-特殊、 G -高功率、 T -可调。

第四部分：序号，用数字表示，表示同类产品中不同品种，以区分产品的外型尺寸和性能指标等 例如： $R T 1 1$ 型普通碳膜电阻

二、电阻器的分类

1、线绕电阻器：通用线绕电阻器、精密线绕电阻器、大功率线绕电阻器、高频线绕电阻器。

2、薄膜电阻器：碳膜电阻器、合成碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、化学沉积膜电阻器、玻璃釉膜电阻器、金属氮化膜电阻器。

3、实心电阻器：无机合成实心碳质电阻器、有机合成实心碳质电阻器。

4、敏感电阻器：压敏电阻器、热敏电阻器、光敏电阻器、力敏电阻器、气敏电阻器、湿敏电阻器。

三、主要特性参数

1、标称阻值：电阻器上面所标示的阻值。

2、允许误差：标称阻值与实际阻值的差值跟标称阻值之比的百分数称阻值偏差，它表示电阻器的精度。允许误差与精度等级对应关系如下： $\pm 0.5\%$ - 0.05 、 $\pm 1\%$ - 0.1 (或 00)、 $\pm 2\%$ - 0.2 (或 0)、 $\pm 5\%$ - I 级、 $\pm 10\%$ - II 级、 $\pm 20\%$ - III 级

3、额定功率：在正常的大气压力 90 - $106.6KPa$ 及环境温度为 $-55^{\circ}C \sim +70^{\circ}C$ 的条件下，电阻器长期工作所允许耗散的最大功率。

线绕电阻器额定功率系列为 (W)：1/20、1/8、1/4、1/2、1、2、4、8、10、16、25、40、50、75、100、150、250、500

非线绕电阻器额定功率系列为 (W)：1/20、1/8、1/4、1/2、1、2、5、10、25、50、100

4、额定电压：由阻值和额定功率换算出的电压。

5、最高工作电压：允许的最大连续工作电压。在低气压工作时，最高工作电压较低。

6、温度系数：温度每变化 $1^{\circ}C$ 所引起的电阻值的相对变化。温度系数越小，电阻的稳定性越好。阻值随温度升高而增大的为正温度系数，反之为负温度系数。

7、老化系数：电阻器在额定功率长期负荷下，阻值相对变化的百分数，它是表示电阻器寿命长短的参数。

8、电压系数：在规定的电压范围内，电压每变化 1 伏，电阻器的相对变化量。

9、噪声：产生于电阻器中的一种不规则的电压起伏，包括热噪声和电流噪声两部分，热噪声是由于导体内部不规则的电子自由运动，使导体任意两点的电压不规则变化。

四、电阻器阻值标示方法

1、直标法：用数字和单位符号在电阻器表面标出阻值，其允许误差直接用百分数表示，若电阻上未注偏差，则均为 $\pm 20\%$ 。

2、文字符号法：用阿拉伯数字和文字符号两者有规律的组合来表示标称阻值，其允许偏差也用文字符号表示。符号前面的数字表示整数阻值，后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值。

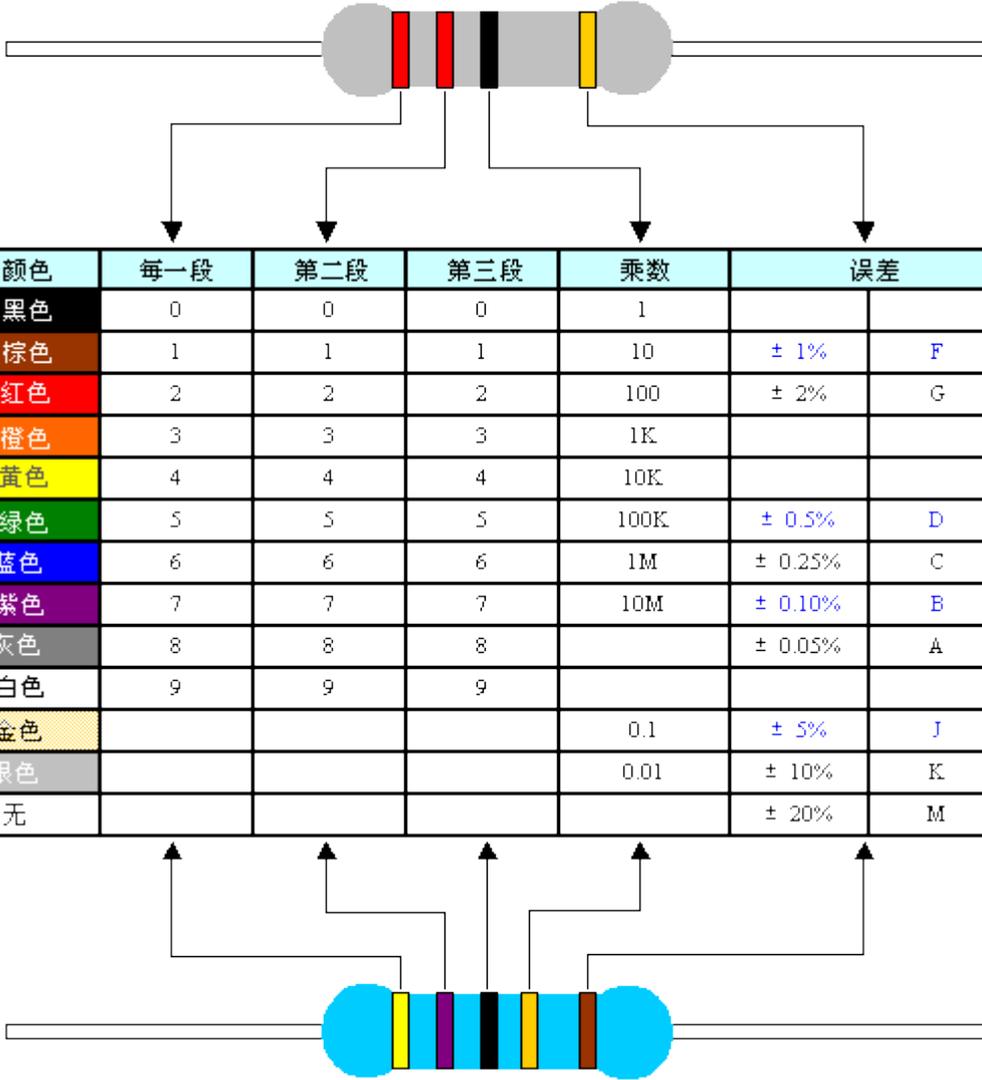
表示允许误差的文字符号

文字符号 $D F G J K M$

允许偏差 $\pm 0.5\%$ $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ $\pm 20\%$

3、数码法：在电阻器上用三位数码表示标称值的标志方法。数码从左到右，第一、二位为有效值，第三位为指数，即零的个数，

数值的读取方法



单位为欧。偏差通常采用文字符号表示。

4、色标法：用不同颜色的带或点在电阻器表面标出标称阻值和允许偏差。国外电阻大部分采用色标法。

黑-0、棕-1、红-2、橙-3、黄-4、绿-5、蓝-6、紫-7、灰-8、白-9、金±5%、银±10%、无色±20%

当电阻为四环时，最后一环必为金色或银色，前两位为有效数字，第三位为乘方数，第四位为偏差。

当电阻为五环时，最后一环与前面四环距离较大。前三位为有效数字，第四位为乘方数，第五位为偏差。

颜色	每一段	第二段	第三段	乘数	误差	
黑色	0	0	0	1		
棕色	1	1	1	10	± 1%	F
红色	2	2	2	100	± 2%	G
橙色	3	3	3	1K		
黄色	4	4	4	10K		
绿色	5	5	5	100K	± 0.5%	D
蓝色	6	6	6	1M	± 0.25%	C
紫色	7	7	7	10M	± 0.10%	B
灰色	8	8	8		± 0.05%	A
白色	9	9	9			
金色				0.1	± 5%	J
银色				0.01	± 10%	K
无					± 20%	M

五、常用电阻器

1、电位器

电位器是一种机电元件，他靠电刷在电阻体上的滑动，取得与电刷位移成一定关系的输出电压。

1.1 合成碳膜电位器

电阻体是用经过研磨的碳黑，石墨，石英等材料涂敷于基体表面而成，该工艺简单，是目前应用最广泛的电位器。特点是分辨力高耐磨性好，寿命较长。缺点是电流噪声，非线性大，耐潮性以及阻值稳定性差。

1.2 有机实心电位器

有机实心电位器是一种新型电位器，它是用加热塑压的方法，将有机电阻粉压在绝缘体的凹槽内。有机实心电位器与碳膜电位器相比具有耐热性好、功率大、可靠性高、耐磨性好的优点。但温度系数大、动噪声大、耐潮性能差、制造工艺复杂、阻值精度较差。在小型化、高可靠、高耐磨性的电子设备以及交、直流电路中用作调节电压、电流。

1.3 金属玻璃铀电位器

用丝网印刷法按照一定图形，将金属玻璃铀电阻浆料涂覆在陶瓷基体上，经高温烧结而成。特点是：阻值范围宽，耐热性好，过载能力强，耐潮，耐磨等都很好，是很有前途的电位器品种，缺点是接触电阻和电流噪声大。

1.4 绕线电位器

绕线电位器是将康铜丝或镍铬合金丝作为电阻体，并把它绕在绝缘骨架上制成。绕线电位器特点是接触电阻小，精度高，温度系数小，其缺点是分辨力差，阻值偏低，高频特性差。主要用作分压器、变阻器、仪器中调零和工作点等。

1.5 金属膜电位器

金属膜电位器的电阻体可由合金膜、金属氧化膜、金属箔等分别组成。特点是分辨力高、耐高温、温度系数小、动噪声小、平滑性好。

1.6 导电塑料电位器

用特殊工艺将 DAP（邻苯二甲酸二稀丙脂）电阻浆料覆在绝缘机体上，加热聚合成电阻膜，或将 DAP 电阻粉热塑压在绝缘基体的凹槽内形成的实心体作为电阻体。特点是：平滑性好、分辨率优异耐磨性好、寿命长、动噪声小、可靠性极高、耐化学腐蚀。用于宇宙装置、导弹、飞机雷达天线的伺服系统等。

1.7 带开关的电位器

有旋转式开关电位器、推拉式开关电位器、推推开关式电位器

1.8 预调式电位器

预调式电位器在电路中，一旦调试好，用蜡封住调节位置，在一般情况下不再调节。

1.9 直滑式电位器

采用直滑方式改变电阻值。

1.10 双连电位器

有异轴双连电位器和同轴双连电位器

1.11 无触点电位器

无触点电位器消除了机械接触，寿命长、可靠性高，分光电式电位器、磁敏式电位器等。

2、实芯碳质电阻器

用碳质颗粒导电物质、填料和粘合剂混合制成一个实体的电阻器。特点：价格低廉，但其阻值误差、噪声电压都大，稳定性差，目前较少用。

3、绕线电阻器

用高阻合金线绕在绝缘骨架上制成，外面涂有耐热的釉绝缘层或绝缘漆。绕线电阻具有较低的温度系数，阻值精度高，稳定性好，耐热耐腐蚀，主要做精密大功率电阻使用，缺点是高频性能差，时间常数大。

4、薄膜电阻器

用蒸发的方法将一定电阻率材料蒸镀于绝缘材料表面制成。主要如下：

4.1 碳膜电阻器

将结晶碳沉积在陶瓷棒骨架上制成。碳膜电阻器成本低、性能稳定、阻值范围宽、温度系数和电压系数低，是目前应用最广泛的电阻器。

4.2 金属膜电阻器。

用真空蒸发的方法将合金材料蒸镀于陶瓷棒骨架表面。金属膜电阻比碳膜电阻的精度高，稳定性好，噪声，温度系数小。在仪器仪表及通讯设备中大量采用。

4.3 金属氧化膜电阻器

在绝缘棒上沉积一层金属氧化物。由于其本身即是氧化物，所以高温下稳定，耐热冲击，负载能力强。

4.4 合成膜电阻

将导电合成物悬浮液涂敷在基体上而得，因此也叫漆膜电阻。由于其导电层呈现颗粒状结构，所以其噪声大，精度低，主要用他制造高压，高阻，小型电阻器。

5、金属玻璃铀电阻器

将金属粉和玻璃铀粉混合，采用丝网印刷法印在基板上。耐潮湿，高温，温度系数小，主要应用于厚膜电路。

6、贴片电阻 SMT

片状电阻是金属玻璃铀电阻的一种形式，他的电阻体是高可靠的钎系列玻璃铀材料经过高温烧结而成，电极采用银钯合金浆料。体积小，精度高，稳定性好，由于其为片状元件，所以高频性能好。

7、敏感电阻

敏感电阻是指器件特性对温度，电压，湿度，光照，气体，磁场，压力等作用敏感的电阻器。敏感电阻的符号是在普通电阻的符号中加一斜线，并在旁标注敏感电阻的类型，如：t v 等。

7.1、压敏电阻

主要有碳化硅和氧化锌压敏电阻，氧化锌具有更多的优良特性。

7.2、湿敏电阻

由感湿层，电极，绝缘体组成，湿敏电阻主要包括氯化锂湿敏电阻，碳湿敏电阻，氧化物湿敏电阻。氯化锂湿敏电阻随湿度上升而电阻减小，缺点为测试范围小，特性重复性不好，受温度影响大。碳湿敏电阻缺点为低温灵敏度低，阻值受温度影响大，由老化特性，较少使用。氧化物湿敏电阻性能较优越，可长期使用，温度影响小，阻值与湿度变化呈线性关系。有氧化锡，镍铁酸盐，等材料。

7.3、光敏电阻

光敏电阻是电导率随着光量力的变化而变化的电子元件，当某种物质受到光照时，载流子的浓度增加从而增加了电导率，这就是光电导效应。

7.4、气敏电阻

利用某些半导体吸收某种气体后发生氧化还原反应制成，主要成分是金属氧化物，主要品种有：金属氧化物气敏电阻、复合氧化物气敏电阻、陶瓷气敏电阻等。

7.5、力敏电阻

力敏电阻是一种阻值随压力变化而变化的电阻，国外称为压电电阻器。所谓压力电阻效应即半导体材料的电阻率随机械应力的变化而变化的效应。可制成各种力矩计，半导体话筒，压力传感器等。主要品种有硅力敏电阻器，硒碲合金力敏电阻器，相对而言，合金电阻器具有更高灵敏度。

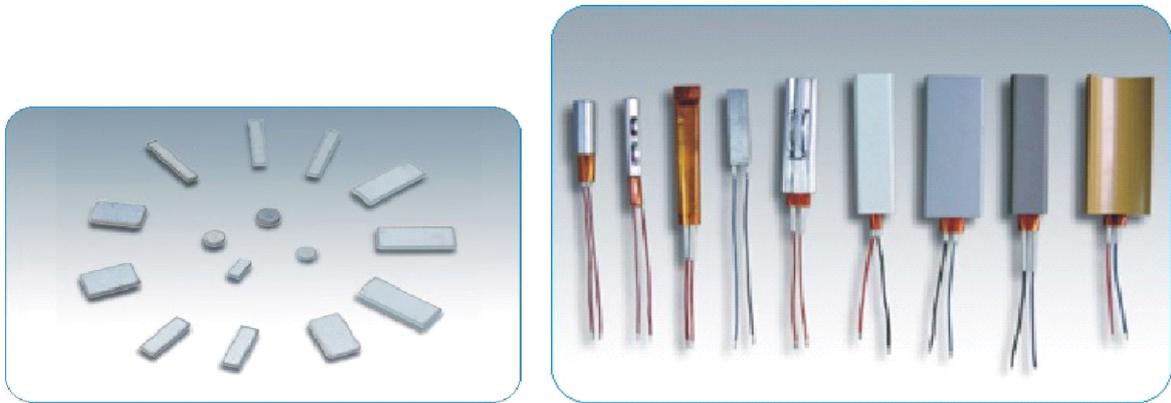
7.6、热敏电阻

热敏电阻是敏感元件的一类,其电阻值会随着热敏电阻本体温度的变化呈现出阶跃性的变化,具有半导体特性.

热敏电阻按照温度系数的不同分为: 正温度系数热敏电阻(简称 PTC 热敏电阻)

负温度系数热敏电阻(简称 NTC 热敏电阻)

正温度热敏电阻(PTC Thermistor)



PTC 是 Positive Temperature Coefficient 的缩写,意思是正的温度系数,泛指正温度系数很大的半导体材料或元器件.通常我们提到的 PTC 是指正温度系数热敏电阻,简称 PTC 热敏电阻.

PTC 热敏电阻是一种典型具有温度敏感性的半导体电阻,超过一定的温度(居里温度)时,它的电阻值随着温度的升高呈阶跃性的增高.

PTC 热敏电阻根据其材质的不同分为: 陶瓷 PTC 热敏电阻

有机高分子 PTC 热敏电阻

目前大量被使用的 PTC 热敏电阻种类: 恒温加热用 PTC 热敏电阻

过流保护用 PTC 热敏电阻

空气加热用 PTC 热敏电阻

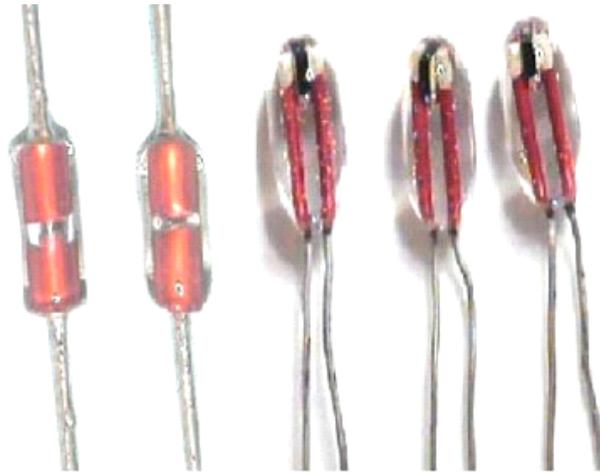
延时启动用 PTC 热敏电阻

传感器用 PTC 热敏电阻

自动消磁用 PTC 热敏电阻

一般情况下,有机高分子 PTC 热敏电阻适合过流保护用途,陶瓷 PTC 热敏电阻可适用于以上所列各种用途.

负温度热敏电阻(NTC Thermistor)



NTC 是 Negative Temperature Coefficient 的缩写,意思是负的温度系数,泛指负温度系数很大的半导体材料或元器件.通常我们提到的 NTC 是指负温度系数热敏电阻,简称 NTC 热敏电阻.

NTC 热敏电阻是一种典型具有温度敏感性的半导体电阻,它的电阻值随着温度的升高呈阶跃性的减小.

NTC 热敏电阻是以锰、钴、镍和铜等金属氧化物为主要材料,采用陶瓷工艺制造而成的.这些金属氧化物材料都具有半导体性质,因为在导电方式上完全类似锗、硅等半导体材料.温度低时,这些氧化物材料的载流子(电子和孔穴)数目少,所以其电阻值较高;随着温度的升高,载流子数目增加,所以电阻值降低.

NTC 热敏电阻根据其用途的不同分为: [功率型 NTC 热敏电阻](#)

[补偿型 NTC 热敏电阻](#)

[测温型 NTC 热敏电阻](#)

电子元器件基础知识(2)——电容

电容是电子设备中大量使用的电子元件之一,广泛应用于隔直,耦合,旁路,滤波,调谐回路,能量转换,控制电路等方面.用 C 表示电容,电容单位有法拉(F)、微法拉(μF)、皮法拉(pF), $1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^{12}\text{pF}$

一、电容器的型号命名方法

国产电容器的型号一般由四部分组成(不适用于压敏、可变、真空电容器)。依次分别代表名称、材料、分类和序号。

第一部分:名称,用字母表示,电容器用 C。

第二部分：材料，用字母表示。

第三部分：分类，一般用数字表示，个别用字母表示。

第四部分：序号，用数字表示。

用字母表示产品的材料：A-钽电解、B-聚苯乙烯等非极性薄膜、C-高频陶瓷、D-铝电解、E-其它材料电解、G-合金电解、H-复合介质、I-玻璃釉、J-金属化纸、L-涤纶等极性有机薄膜、N-铌电解、O-玻璃膜、Q-漆膜、T-低频陶瓷、V-云母纸、Y-云母、Z-纸介

二、电容器的分类

按照结构分三大类：固定电容器、可变电容器和微调电容器。

按电解质分类有：有机介质电容器、无机介质电容器、电解电容器和空气介质电容器等。

按用途分有：高频旁路、低频旁路、滤波、调谐、高频耦合、低频耦合、小型电容器。

高频旁路：陶瓷电容器、云母电容器、玻璃膜电容器、涤纶电容器、玻璃釉电容器。

低频旁路：纸介电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、涤纶电容器。

滤波：铝电解电容器、纸介电容器、复合纸介电容器、液体钽电容器。

调谐：陶瓷电容器、云母电容器、玻璃膜电容器、聚苯乙烯电容器。

高频耦合：陶瓷电容器、云母电容器、聚苯乙烯电容器。

低频耦合：纸介电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、涤纶电容器、固体钽电容器。

小型电容：金属化纸介电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、聚苯乙烯电容器、固体钽电容器、玻璃釉电容器、金属化涤纶电容器、聚丙烯电容器、云母电容器。

三、常用电容器

1、铝电解电容器

用浸有糊状电解质的吸水纸夹在两条铝箔中间卷绕而成，薄的氧化铝膜作介质的电容器。因为氧化膜有单向导电性质，所以电解电容器具有极性。容量大，能耐受大的脉动电流容量误差大，泄漏电流大；普通的不适于在高频和低温下应用，不宜使用在 25kHz 以上频率。低频旁路、信号耦合、电源滤波。

2、钽电解电容器

用烧结的钽块作正极，电解质使用固体二氧化锰。温度特性、频率特性和可靠性均优于普通电解电容器，特别是漏电流极小，贮存性良好，寿命长，容量误差小，而且体积小，单位体积下能得到最大的电容电压乘积。对脉动电流的耐受能力差，若损坏易呈短路状态。超小型高可靠性器件中。

3、薄膜电容器

结构与纸质电容器相似，但用聚脂、聚苯乙烯等低损耗塑料作介质。频率特性好，介电损耗小，不能做成大的容量，耐热能力差。滤波器、积分、振荡、定时电路。

4、瓷介电容器

穿心式或支柱式结构瓷介电容器，它的一个电极就是安装螺丝。引线电感极小，频率特性好，介电损耗小，有温度补偿作用。不能做成大的容量，受振动会引起容量变化。特别适于高频旁路。

5、独石电容器

(多层陶瓷电容器)在若干片陶瓷薄膜坯上被覆以电极浆材料，叠合后一次绕结成一块不可分割的整体，外面再用树脂包封而成。体积小、大容量、高可靠性和耐高温的新型电容器，高介电常数的低频独石电容器也具有稳定的性能，体积小，Q 值高，容量误差较大。噪声旁路、滤波器、积分、振荡电路。

6、纸质电容器

一般是用两条铝箔作为电极，中间以厚度为 0.008~0.012mm 的电容器纸隔开重叠卷绕而成。制造工艺简单，价格便宜，能得到较大的电容量。

一般在低频电路内，通常不能在高于 3~4MHz 的频率上运用。油浸电容器的耐压比普通纸质电容器高，稳定性也好，适用于高压电路。

7、微调电容器

电容量可在某一小范围内调整，并可在调整后固定于某个电容值。

瓷介微调电容器的 Q 值高，体积也小，通常可分为圆管式及圆片式两种。

8、云母和聚苯乙烯介质的通常都采用弹簧式，结构简单，但稳定性较差。

线绕瓷介微调电容器是拆铜丝（外电极）来变动电容量的，故容量只能变小，不适合在需反复调试的场合使用。

9、陶瓷电容器

用高介电常数的电容器陶瓷（钛酸钡—氧化钛）挤压成圆管、圆片或圆盘作为介质，并用烧渗法将银镀在陶瓷上作为电极制成。它又分高频瓷介和低频瓷介两种。

具有小的正电容温度系数的电容器，用于高稳定振荡回路中，作为回路电容器及垫整电容器。低频瓷介电容器限于在工作频率较低的回路中作旁路或隔直用，或对稳定性和损耗要求不高的场合（包括高频在内）。这种电容器不宜使用在脉冲电路中，因为它们易于被脉冲电压击穿。高频瓷介电容器适用于高频电路

云母电容器就结构而言，可分为箔片式及被银式。被银式电极为直接在云母片上用真空蒸发法或烧渗法镀上银层而成，由于消除了空气间隙，温度系数大为下降，电容稳定性也比箔片式高。频率特性好，Q值高，温度系数小不能做成大的容量广泛应用在高频电容器中，并可用作标准电容器

10、玻璃釉电容器由一种浓度适于喷涂的特殊混合物喷涂成薄膜而成，介质再以银层电极经烧结而成“独石”结构性能可与云母电容器媲美，能耐受各种气候环境，一般可在 200℃或更高温度下工作，额定工作电压可达 500V，损耗 $\text{tg}\delta 0.0005 \sim 0.008$

四、电容器主要特性参数：

1、标称电容量和允许偏差

标称电容量是标志在电容器上的电容量。

电容器实际电容量与标称电容量的偏差称误差，在允许的偏差范围称精度。

精度等级与允许误差对应关系：00（01） $\pm 1\%$ 、0（02） $\pm 2\%$ 、I $\pm 5\%$ 、II $\pm 10\%$ 、III $\pm 20\%$ 、IV（ $+20\% - 10\%$ ）、V（ $+50\% - 20\%$ ）、VI（ $+50\% - 30\%$ ）

一般电容器常用 I、II、III级，电解电容器用IV、V、VI级，根据用途选取。

2、额定电压

在最低环境温度和额定环境温度下可连续加在电容器的最高直流电压有效值，一般直接标注在电容器外壳上，如果工作电压超过电容器的耐压，电容器击穿，造成不可修复的永久损坏。

3、绝缘电阻

直流电压加在电容上，并产生漏电电流，两者之比称为绝缘电阻。

当电容较小时，主要取决于电容的表面状态，容量 $> 0.1\mu\text{F}$ 时，主要取决于介质的性能，绝缘电阻越小越好。

电容的时间常数：为恰当的评价大容量电容的绝缘情况而引入了时间常数，他等于电容的绝缘电阻与容量的乘积。

4、损耗

电容在电场作用下，在单位时间内因发热所消耗的能量叫做损耗。各类电容都规定了其在某频率范围内的损耗允许值，电容的损耗主要由介质损耗，电导损耗和电容所有金属部分的电阻所引起的。

在直流电场的作用下，电容器的损耗以漏导损耗的形式存在，一般较小，在交变电场的作用下，电容的损耗不仅与漏导有关，而且与周期性的极化建立过程有关。

5、频率特性

随着频率的上升，一般电容器的电容量呈现下降的规律。

五、电容器容量标示

1、直标法

用数字和单位符号直接标出。如 $01\mu\text{F}$ 表示 0.01 微法，有些电容用“R”表示小数点，如 R56 表示 0.56 微法。

2、文字符号法

用数字和文字符号有规律的组合来表示容量。如 p10 表示 0.1pF, 1p0 表示 1pF, 6P8 表示 6.8pF, 2u2 表示 2.2uF。

3、色标法

用色环或色点表示电容器的主要参数。电容器的色标法与电阻相同。

电容器偏差标志符号： $+100\% - 0 - -H$ 、 $+100\% - 10\% - -R$ 、 $+50\% - 10\% - -T$ 、 $+30\% - 10\% - -Q$ 、 $+50\% - 20\% - -S$ 、 $+80\% - 20\% - -Z$ 。

电感线圈是由导线一圈*一圈地绕在绝缘管上，导线彼此互相绝缘，而绝缘管可以是空心的，也可以包含铁芯或磁粉芯，简称电感。用 L 表示，单位有亨利(H)、毫亨利 (mH)、微亨利(uH)， $1H=10^3mH=10^6uH$ 。

一、电感的分类

按 电感形式 分类：固定电感、可变电感。

按导磁体性质分类：空芯线圈、铁氧体线圈、铁芯线圈、铜芯线圈。

按 工作性质 分类：天线线圈、振荡线圈、扼流线圈、陷波线圈、偏转线圈。

按 绕线结构 分类：单层线圈、多层线圈、蜂房式线圈。

二、电感线圈的主要特性参数

1、电感量 L

电感量 L 表示线圈本身固有特性，与电流大小无关。除专门的电感线圈（色码电感）外，电感量一般不专门标注在线圈上，而以特定的名称标注。

2、感抗 XL

电感线圈对交流电流阻碍作用的大小称感抗 XL，单位是欧姆。它与电感量 L 和交流电频率 f 的关系为 $XL=2\pi fL$

3、品质因素 Q

品质因素 Q 是表示线圈质量的一个物理量，Q 为感抗 XL 与其等效的电阻的比值，即： $Q=XL/R$

线圈的 Q 值愈高，回路的损耗愈小。线圈的 Q 值与导线的直流电阻，骨架的介质损耗，屏蔽罩或铁芯引起的损耗，高频趋肤效应的影响等因素有关。线圈的 Q 值通常为几十到几百。

4、分布电容

线圈的匝与匝间、线圈与屏蔽罩间、线圈与底板间存在的电容被称为分布电容。分布电容的存在使线圈的 Q 值减小，稳定性变差，因而线圈的分布电容越小越好。

三、常用线圈

1、单层线圈

单层线圈是用绝缘导线一圈挨一圈地绕在纸筒或胶木骨架上。如晶体管收音机中波天线线圈。

2、蜂房式线圈

如果所绕制的线圈，其平面不与旋转面平行，而是相交成一定的角度，这种线圈称为蜂房式线圈。而其旋转一周，导线来回弯折的次数，常称为折点数。蜂房式绕法的优点是体积小，分布电容小，而且电感量大。蜂房式线圈都是利用蜂房绕线机来绕制，折点越多，分布电容越小

3、铁氧体磁芯和铁粉芯线圈

线圈的电感量大小与有无磁芯有关。在空芯线圈中插入铁氧体磁芯，可增加电感量和提高线圈的品质因素。

4、铜芯线圈

铜芯线圈在超短波范围应用较多，利用旋动铜芯在线圈中的位置来改变电感量，这种调整比较方便、耐用。

5、色码电感器

色码电感器是具有固定电感量的电感器，其电感量标志方法同电阻一样以色环来标记。

6、阻流圈（扼流圈）

限制交流电通过的线圈称阻流圈，分高频阻流圈和低频阻流圈。

7、偏转线圈

偏转线圈是电视机扫描电路输出级的负载，偏转线圈要求：偏转灵敏度高、磁场均匀、Q 值高、体积小、价格低。

变压器

变压器是变换交流电压、电流和阻抗的器件，当初级线圈中通有交流电流时，铁芯（或磁芯）中便产生交流磁通，使次级线圈中感应出电压（或电流）。变压器由铁芯（或磁芯）和线圈组成，线圈有两个或两个以上的绕组，其中接电源的绕组叫初级线圈，其余的绕组叫次级线圈。

一、分类

按冷却方式分类：干式（自冷）变压器、油浸（自冷）变压器、氟化物（蒸发冷却）变压器。

按防潮方式分类：开放式变压器、灌封式变压器、密封式变压器。

按铁芯或线圈结构分类：芯式变压器（插片铁芯、C型铁芯、铁氧体铁芯）、壳式变压器（插片铁芯、C型铁芯、铁氧体铁芯）、环型变压器、金属箔变压器。

按电源相数分类：单相变压器、三相变压器、多相变压器。

按用途分类：电源变压器、调压变压器、音频变压器、中频变压器、高频变压器、脉冲变压器。

二、电源变压器的特性参数

1 工作频率

变压器铁芯损耗与频率关系很大，故应根据使用频率来设计和使用，这种频率称工作频率。

2 额定功率

在规定的频率和电压下，变压器能长期工作，而不超过规定温升的输出功率。

3 额定电压

指在变压器的线圈上所允许施加的电压，工作时不得大于规定值。

4 电压比

指变压器初级电压和次级电压的比值，有空载电压比和负载电压比的区别。

5 空载电流

变压器次级开路时，初级仍有一定的电流，这部分电流称为空载电流。空载电流由磁化电流（产生磁通）和铁损电流（由铁芯损耗引起）组成。对于50Hz电源变压器而言，空载电流基本上等于磁化电流。

6 空载损耗：指变压器次级开路时，在初级测得功率损耗。主要损耗是铁芯损耗，其次是空载电流在初级线圈铜阻上产生的损耗（铜损），这部分损耗很小。

7 效率

指次级功率 P_2 与初级功率 P_1 比值的百分比。通常变压器的额定功率愈大，效率就愈高。

8 绝缘电阻

表示变压器各线圈之间、各线圈与铁芯之间的绝缘性能。绝缘电阻的高低与所使用的绝缘材料的性能、温度高低和潮湿程度有关。

三、音频变压器和高压变压器特性参数

1 频率响应

指变压器次级输出电压随工作频率变化的特性。

2 通频带

如果变压器在中间频率的输出电压为 U_0 ，当输出电压（输入电压保持不变）下降到 $0.707U_0$ 时的频率范围，称为变压器的通频带B。

3 初、次级阻抗比

变压器初、次级接入适当的阻抗 R_o 和 R_i ，使变压器初、次级阻抗匹配，则 R_o 和 R_i 的比值称为初、次级阻抗比。在阻抗匹配的情况下，变压器工作在最佳状态，传输效率最高。

电子元器件基础知识（4）——半导体器件

一、中国半导体器件型号命名方法

半导体器件型号由五部分（场效应器件、半导体特殊器件、复合管、PIN型管、激光器件的型号命名只有第三、四、五部分）组成。五个部分意义如下：

第一部分：用数字表示半导体器件有效电极数目。2-二极管、3-三极管

第二部分：用汉语拼音字母表示半导体器件的材料和极性。表示二极管时：A-N型锗材料、B-P型锗材料、C-N型硅材料、D-P型硅材料。表示三极管时：A-PNP型锗材料、B-NPN型锗材料、C-PNP型硅材料、D-NPN型硅材料。

第三部分：用汉语拼音字母表示半导体器件的内型。P-普通管、V-微波管、W-稳压管、C-参量管、Z-整流管、L-整流堆、S-隧道管、N-阻尼管、U-光电器件、K-开关管、X-低频小功率管($f < 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)、G-高频小功率管($f > 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)、D-低频大功率管($f < 3\text{MHz}$, $P_c > 1\text{W}$)、A-高频大功率管($f > 3\text{MHz}$, $P_c > 1\text{W}$)、T-半导体晶闸管（可控整流器）、Y-体效应器件、B-雪崩管、J-阶跃恢复管、CS-场效应管、BT-半导体特殊器件、FH-复合管、PIN-PIN型管、JG-激光器件。

第四部分：用数字表示序号

第五部分：用汉语拼音字母表示规格号

例如：3DG18 表示 NPN 型硅材料高频三极管

日本半导体分立器件型号命名方法

二、日本生产的半导体分立器件，由五至七部分组成。通常只用到前五个部分，其各部分的符号意义如下：

第一部分：用数字表示器件有效电极数目或类型。0-光电（即光敏）二极管三极管及上述器件的组合管、1-二极管、2-三极或具有两个 pn 结的其他器件、3-具有四个有效电极或具有三个 pn 结的其他器件、-----依此类推。

第二部分：日本电子工业协会 JEIA 注册标志。S-表示已在日本电子工业协会 JEIA 注册登记的半导体分立器件。

第三部分：用字母表示器件使用材料极性和类型。A-PNP 型高频管、B-PNP 型低频管、C-NPN 型高频管、D-NPN 型低频管、F-P 控制极可控硅、G-N 控制极可控硅、H-N 基极单结晶体管、J-P 沟道场效应管、K-N 沟道场效应管、M-双向可控硅。

第四部分：用数字表示在日本电子工业协会 JEIA 登记的顺序号。两位以上的整数-从“11”开始，表示在日本电子工业协会 JEIA 登记的顺序号；不同公司的性能相同的器件可以使用同一顺序号；数字越大，越是近期产品。

第五部分：用字母表示同一型号的改进型产品标志。A、B、C、D、E、F 表示这一器件是原型号产品的改进产品。

美国半导体分立器件型号命名方法

三、美国晶体管或其他半导体器件的命名法较混乱。美国电子工业协会半导体分立器件命名方法如下：

第一部分：用符号表示器件用途的类型。JAN-军级、JANTX-特军级、JANTXV-超特军级、JANS-宇航级、（无）-非军用品。

第二部分：用数字表示 pn 结数目。1-二极管、2-三极管、3-三个 pn 结器件、n-n 个 pn 结器件。

第三部分：美国电子工业协会（EIA）注册标志。N-该器件已在美国电子工业协会（EIA）注册登记。

第四部分：美国电子工业协会登记顺序号。多位数字-该器件在美国电子工业协会登记的顺序号。

第五部分：用字母表示器件分档。A、B、C、D、-----同一型号器件的不同档别。如：JAN2N3251A 表示 PNP 硅高频小功率开关三极管，JAN-军级、2-三极管、N-EIA 注册标志、3251-EIA 登记顺序号、A-2N3251A 档。

四、国际电子联合会半导体器件型号命名方法

德国、法国、意大利、荷兰、比利时等欧洲国家以及匈牙利、罗马尼亚、南斯拉夫、波兰等东欧国家，大都采用国际电子联合会半导体分立器件型号命名方法。这种命名方法由四个基本部分组成，各部分的符号及意义如下：

第一部分：用字母表示器件使用的材料。A-器件使用材料的禁带宽度 $E_g=0.6\sim 1.0\text{eV}$ 如锗、B-器件使用材料的 $E_g=1.0\sim 1.3\text{eV}$ 如硅、C-器件使用材料的 $E_g>1.3\text{eV}$ 如砷化镓、D-器件使用材料的 $E_g<0.6\text{eV}$ 如铋化铟、E-器件使用复合材料及光电池使用的材料

第二部分：用字母表示器件的类型及主要特征。A-检波开关混频二极管、B-变容二极管、C-低频小功率三极管、D-低频大功率三极管、E-隧道二极管、F-高频小功率三极管、G-复合器件及其他器件、H-磁敏二极管、K-开放磁路中的霍尔元件、L-高频大功率三极管、M-封闭磁路中的霍尔元件、P-光敏器件、Q-发光器件、R-小功率晶闸管、S-小功率开关管、T-大功率晶闸管、U-大功率开关管、X-倍增二极管、Y-整流二极管、Z-稳压二极管。

第三部分：用数字或字母加数字表示登记号。三位数字-代表通用半导体器件的登记序号、一个字母加二位数字-表示专用半导体器件的登记序号。

第四部分：用字母对同一型号器件进行分档。A、B、C、D、E-----表示同一型号的器件按某一参数进行分档的标志。

除四个基本部分外，有时还加后缀，以区别特性或进一步分类。常见后缀如下：

1、稳压二极管型号的后缀。其后缀的第一部分是一个字母，表示稳定电压值的容许误差范围，字母 A、B、C、D、E 分别表示容许误差为 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ ；其后缀第二部分是数字，表示标称稳定电压的整数数值；后缀的第三部分是字母 V，代表小数点，字母 V 之后的数字为稳压管标称稳定电压的小数值。

2、整流二极管后缀是数字，表示器件的最大反向峰值耐压值，单位是伏特。

3、晶闸管型号的后缀也是数字，通常标出最大反向峰值耐压值和最大反向关断电压中数值较小的那个电压值。

如：BDX51-表示 NPN 硅低频大功率三极管，AF239S-表示 PNP 锗高频小功率三极管。

五、欧洲早期半导体分立器件型号命名法

欧洲有些国家，如德国、荷兰采用如下命名方法。

第一部分：O-表示半导体器件

第二部分：A-二极管、C-三极管、AP-光电二极管、CP-光电三极管、AZ-稳压管、RP-光电器件。

第三部分：多位数字-表示器件的登记序号。

第四部分：A、B、C-----表示同一型号器件的变型产品。

俄罗斯半导体器件型号命名法由于使用少，在此不介绍。

一、半导体二极管参数符号及其意义

CT---势垒电容

Cj---结（极间）电容，表示在二极管两端加规定偏压下，锗检波二极管的总电容

Cjv---偏压结电容

Co---零偏压电容

Cjo---零偏压结电容

Cjo/Cjn---结电容变化

Cs---管壳电容或封装电容

Ct---总电容

CTV---电压温度系数。在测试电流下，稳定电压的相对变化与环境温度的绝对变化之比

CTC---电容温度系数

Cvn---标称电容

IF---正向直流电流（正向测试电流）。锗检波二极管在规定的正向电压VF下，通过极间的电流；硅整流管、硅堆在规定的使用条件下，在正弦半波中允许连续通过的最大工作电流（平均值），硅开关二极管在额定功率下允许通过的最大正向直流电流；测稳压二极管正向电参数时给定的电流

IF(AV)---正向平均电流

IFM(IM)---正向峰值电流（正向最大电流）。在额定功率下，允许通过二极管的最大正向脉冲电流。发光二极管极限电流。

IH---恒定电流、维持电流。

Ii---发光二极管起辉电流

IFRM---正向重复峰值电流

IFSM---正向不重复峰值电流（浪涌电流）

Io---整流电流。在特定线路中规定频率和规定电压条件下所通过的工作电流

IF(ov)---正向过载电流

IL---光电流或稳流二极管极限电流

ID---暗电流

IB2---单晶体管中的基极调制电流

IEM---发射极峰值电流

IEB10---双基极单晶体管中发射极与第一基极间反向电流

IEB20---双基极单晶体管中发射极向电流

ICM---最大输出平均电流

IFMP---正向脉冲电流

IP---峰点电流

IV---谷点电流

IGT---晶闸管控制极触发电流

IGD---晶闸管控制极不触发电流

IGFM---控制极正向峰值电流

IR(AV)---反向平均电流

IR(In)---反向直流电流（反向漏电流）。在测反向特性时，给定的反向电流；硅堆在正弦半波电阻性负载电路中，加反向电压规定值时，所通过的电流；硅开关二极管两端加反向工作电压VR时所通过的电流；稳压二极管在反向电压下，产生的漏电流；整流管在正弦半波最高反向工作电压下的漏电流。

IRM---反向峰值电流

IRR---晶闸管反向重复平均电流

IDR---晶闸管断态平均重复电流

IRRM---反向重复峰值电流

IRSM---反向不重复峰值电流（反向浪涌电流）

I_{rp} ---反向恢复电流

I_z ---稳压管稳定电压（反向测试电流）。测试反向电参数时，给定的反向电流

I_{zk} ---稳压管膝点电流

I_{OM} ---最大正向（整流）电流。在规定条件下，能承受的正向最大瞬时电流；在电阻性负荷的正弦半波整流电路中允许连续通过检波二极管的最大工作电流

I_{ZSM} ---稳压二极管浪涌电流

I_{ZM} ---最大稳压电流。在最大耗散功率下稳压二极管允许通过的电流

i_F ---正向总瞬时电流

i_R ---反向总瞬时电流

i_r ---反向恢复电流

I_{op} ---工作电流

I_s ---稳压二极管稳定电流

f ---频率

n ---电容变化指数；电容比

Q ---优值（品质因素）

δv_z ---稳压管电压漂移

di/dt ---通态电流临界上升率

dv/dt ---通态电压临界上升率

P_B ---承受脉冲烧毁功率

$P_{FT} (AV)$ ---正向导通平均耗散功率

P_{FTM} ---正向峰值耗散功率

P_{FT} ---正向导通总瞬时耗散功率

P_d ---耗散功率

P_G ---门极平均功率

P_{GM} ---门极峰值功率

P_C ---控制极平均功率或集电极耗散功率

P_i ---输入功率

P_K ---最大开关功率

P_M ---额定功率。硅二极管结温不高于 150 度所能承受的最大功率

P_{MP} ---最大漏过脉冲功率

P_{MS} ---最大承受脉冲功率

P_o ---输出功率

P_R ---反向浪涌功率

P_{tot} ---总耗散功率

P_{omax} ---最大输出功率

P_{sc} ---连续输出功率

P_{SM} ---不重复浪涌功率

P_{ZM} ---最大耗散功率。在给定使用条件下，稳压二极管允许承受的最大功率

$R_F (r)$ ---正向微分电阻。在正向导通时，电流随电压指数的增加，呈现明显的非线性特性。在某一正向电压下，电压增加微小量 ΔV ，正向电流相应增加 ΔI ，则 $\Delta V/\Delta I$ 称微分电阻

R_{BB} ---双基极晶体管的基极间电阻

R_E ---射频电阻

R_L ---负载电阻

$R_s(rs)$ ---串联电阻

R_{th} ---热阻

$R_{(th)ja}$ ---结到环境的热阻

$R_z(ru)$ ---动态电阻

$R_{(th)jc}$ ---结到壳的热阻

r δ ---衰减电阻
r(th)---瞬态电阻
Ta---环境温度
Tc---壳温
td---延迟时间
tf---下降时间
tfr---正向恢复时间
tg---电路换向关断时间
tgt---门极控制极开通时间
Tj---结温
Tjm---最高结温
ton---开通时间
toff---关断时间
tr---上升时间
trr---反向恢复时间
ts---存储时间
tstg---温度补偿二极管的贮存温度
a---温度系数
 λ_p ---发光峰值波长
 $\Delta \lambda$ ---光谱半宽度
 η ---单晶体管分压比或效率
VB---反向峰值击穿电压
Vc---整流输入电压
VB2B1---基极间电压
VBE10---发射极与第一基极反向电压
VEB---饱和压降
VFM---最大正向压降（正向峰值电压）
VF---正向压降（正向直流电压）
 ΔVF ---正向压降差
VDRM---断态重复峰值电压
VGT---门极触发电压
VGD---门极不触发电压
VGFM---门极正向峰值电压
VGRM---门极反向峰值电压
VF (AV) ---正向平均电压
Vo---交流输入电压
VOM---最大输出平均电压
Vop---工作电压
Vn---中心电压
Vp---峰点电压
VR---反向工作电压（反向直流电压）
VRM---反向峰值电压（最高测试电压）
V (BR) ---击穿电压
Vth---阈电压（门限电压）
VRRM---反向重复峰值电压（反向浪涌电压）
VRWM---反向工作峰值电压
V v---谷点电压
Vz---稳定电压

ΔV_z ---稳压范围电压增量

V_s ---通向电压（信号电压）或稳流管稳定电流电压

a_v ---电压温度系数

V_k ---膝点电压（稳流二极管）

V_L ---极限电压

二、双极型晶体管参数符号及其意义

C_c ---集电极电容

C_{cb} ---集电极与基极间电容

C_{ce} ---发射极接地输出电容

C_i ---输入电容

C_{ib} ---共基极输入电容

C_{ie} ---共发射极输入电容

C_{ies} ---共发射极短路输入电容

C_{ieo} ---共发射极开路输入电容

C_n ---中和电容（外电路参数）

C_o ---输出电容

C_{ob} ---共基极输出电容。在基极电路中，集电极与基极间输出电容

C_{oe} ---共发射极输出电容

C_{oeo} ---共发射极开路输出电容

C_{re} ---共发射极反馈电容

C_{ic} ---集电结势垒电容

C_L ---负载电容（外电路参数）

C_p ---并联电容（外电路参数）

BV_{cbo} ---发射极开路，集电极与基极间击穿电压

BV_{ceo} ---基极开路，CE 结击穿电压

BV_{ebo} ---集电极开路 EB 结击穿电压

BV_{ces} ---基极与发射极短路 CE 结击穿电压

BV_{cer} ---基极与发射极串接一电阻，CE 结击穿电压

D ---占空比

f_T ---特征频率

f_{max} ---最高振荡频率。当三极管功率增益等于 1 时的工作频率

h_{FE} ---共发射极静态电流放大系数

h_{iE} ---共发射极静态输入阻抗

h_{oE} ---共发射极静态输出电导

h_{RE} ---共发射极静态电压反馈系数

h_{ie} ---共发射极小信号短路输入阻抗

h_{re} ---共发射极小信号开路电压反馈系数

h_{fe} ---共发射极小信号短路电压放大系数

h_{oe} ---共发射极小信号开路输出导纳

I_B ---基极直流电流或交流电流的平均值

I_c ---集电极直流电流或交流电流的平均值

I_E ---发射极直流电流或交流电流的平均值

I_{cbo} ---基极接地，发射极对地开路，在规定的 V_{CB} 反向电压条件下的集电极与基极之间的反向截止电流

I_{ceo} ---发射极接地，基极对地开路，在规定的反向电压 V_{CE} 条件下，集电极与发射极之间的反向截止电流

I_{ebo} ---基极接地，集电极对地开路，在规定的反向电压 V_{EB} 条件下，发射极与基极之间的反向截止电流

I_{cer} ---基极与发射极间串联电阻 R ，集电极与发射极间的电压 V_{CE} 为规定值时，集电极与发射极之间的反向截止电流

I_{ces} ---发射极接地，基极对地短路，在规定的反向电压 V_{CE} 条件下，集电极与发射极之间的反向截止电流

I_{cex} ---发射极接地，基极与发射极间加指定偏压，在规定的反向偏压 V_{CE} 下，集电极与发射极之间的反向截止电流

ICM---集电极最大允许电流或交流电流的最大平均值。

IBM---在集电极允许耗散功率的范围内，能连续地通过基极的直流电流的最大值，或交流电流的最大平均值

ICMP---集电极最大允许脉冲电流

ISB---二次击穿电流

IAGC---正向自动控制电流

Pc---集电极耗散功率

PCM---集电极最大允许耗散功率

Pi---输入功率

Po---输出功率

Posc---振荡功率

Pn---噪声功率

Ptot---总耗散功率

ESB---二次击穿能量

$r_{bb'}$ ---基区扩展电阻（基区本征电阻）

$r_{bb'}/C_c$ ---基极-集电极时间常数，即基极扩展电阻与集电结电容量的乘积

r_{ie} ---发射极接地，交流输出短路时的输入电阻

r_{oe} ---发射极接地，在规定 VCE、Ic 或 IE、频率条件下测定的交流输入短路时的输出电阻

RE---外接发射极电阻（外电路参数）

RB---外接基极电阻（外电路参数）

Rc ---外接集电极电阻（外电路参数）

RBE---外接基极-发射极间电阻（外电路参数）

RL---负载电阻（外电路参数）

RG---信号源内阻

Rth---热阻

Ta---环境温度

Tc---管壳温度

Ts---结温

Tjm---最大允许结温

Tstg---贮存温度

td---延迟时间

tr---上升时间

ts---存贮时间

tf---下降时间

ton---开通时间

toff---关断时间

VCB---集电极-基极（直流）电压

VCE---集电极-发射极（直流）电压

VBE---基极发射极（直流）电压

VCBO---基极接地，发射极对地开路，集电极与基极之间在指定条件下的最高耐压

VEBO---基极接地，集电极对地开路，发射极与基极之间在指定条件下的最高耐压

VCEO---发射极接地，基极对地开路，集电极与发射极之间在指定条件下的最高耐压

VCER---发射极接地，基极与发射极间串接电阻 R，集电极与发射极间在指定条件下的最高耐压

VCES---发射极接地，基极对地短路，集电极与发射极之间在指定条件下的最高耐压

VCEx---发射极接地，基极与发射极之间加规定的偏压，集电极与发射极之间在指定条件下的最高耐压

Vp---穿通电压。

VSB---二次击穿电压

VBB---基极（直流）电源电压（外电路参数）

Vcc---集电极（直流）电源电压（外电路参数）

VEE---发射极（直流）电源电压（外电路参数）

VCE(sat)---发射极接地，规定 I_c 、 I_B 条件下的集电极-发射极间饱和压降

VBE(sat)---发射极接地，规定 I_c 、 I_B 条件下，基极-发射极饱和压降（前向压降）

VAGC---正向自动增益控制电压

Vn(p-p)---输入端等效噪声电压峰值

V_n---噪声电压

C_j---结（极间）电容，表示在二极管两端加规定偏压下，锗检波二极管的总电容

C_{jv}---偏压结电容

C_o---零偏压电容

C_{jo}---零偏压结电容

C_{jo}/C_{jn}---结电容变化

C_s---管壳电容或封装电容

C_t---总电容

CTV---电压温度系数。在测试电流下，稳定电压的相对变化与环境温度的绝对变化之比

CTC---电容温度系数

C_{vn}---标称电容

I_F---正向直流电流（正向测试电流）。锗检波二极管在规定的正向电压 V_F 下，通过极间的电流；硅整流管、硅堆在规定的使用条件下，在正弦半波中允许连续通过的最大工作电流（平均值），硅开关二极管在额定功率下允许通过的最大正向直流电流；测稳压二极管正向电参数时给定的电流

I_{F(AV)} ---正向平均电流

I_{FM} (I_M) ---正向峰值电流（正向最大电流）。在额定功率下，允许通过二极管的最大正向脉冲电流。发光二极管极限电流。

I_H---恒定电流、维持电流。

I_i--- 发光二极管起辉电流

I_{FRM}---正向重复峰值电流

I_{FSM}---正向不重复峰值电流（浪涌电流）

I_o---整流电流。在特定线路中规定频率和规定电压条件下所通过的工作电流

I_{F(ov)}---正向过载电流

I_L---光电流或稳流二极管极限电流

I_D---暗电流

I_{B2}---单晶体管中的基极调制电流

I_{EM}---发射极峰值电流

I_{EB10}---双基极单晶体管中发射极与第一基极间反向电流

I_{EB20}---双基极单晶体管中发射极向电流

I_{CM}---最大输出平均电流

I_{FMP}---正向脉冲电流

I_P---峰点电流

I_V---谷点电流

I_{GT}---晶闸管控制极触发电流

I_{GD}---晶闸管控制极不触发电流

I_{GF}---控制极正向峰值电流

I_{R(AV)} ---反向平均电流

I_{R(I_n)} ---反向直流电流（反向漏电流）。在测反向特性时，给定的反向电流；硅堆在正弦半波电阻性负载电路中，加反向电压规定值时，所通过的电流；硅开关二极管两端加反向工作电压 V_R 时所通过的电流；稳压二极管在反向电压下，产生的漏电流；整流管在正弦半波最高反向工作电压下的漏电流。

I_{RM}---反向峰值电流

I_{RR}---晶闸管反向重复平均电流

I_{DR}---晶闸管断态平均重复电流

I_{RRM}---反向重复峰值电流

IRSM---反向不重复峰值电流（反向浪涌电流）

Irp---反向恢复电流

Iz---稳定电压电流（反向测试电流）。测试反向电参数时，给定的反向电流

Izk---稳压管膝点电流

IOM---最大正向（整流）电流。在规定条件下，能承受的正向最大瞬时电流；在电阻性负荷的正弦半波整流电路中允许连续通过锗检波二极管的最大工作电流

IZSM---稳压二极管浪涌电流

IzM---最大稳压电流。在最大耗散功率下稳压二极管允许通过的电流

iF---正向总瞬时电流

iR---反向总瞬时电流

ir---反向恢复电流

Iop---工作电流

Is---稳流二极管稳定电流

f---频率

n---电容变化指数；电容比

Q---优值（品质因素）

δv_z ---稳压管电压漂移

di/dt ---通态电流临界上升率

dv/dt ---通态电压临界上升率

PB---承受脉冲烧毁功率

PFT（AV）---正向导通平均耗散功率

PFTM---正向峰值耗散功率

PFT---正向导通总瞬时耗散功率

Pd---耗散功率

PG---门极平均功率

PGM---门极峰值功率

PC---控制极平均功率或集电极耗散功率

Pi---输入功率

PK---最大开关功率

PM---额定功率。硅二极管结温不高于 150 度所能承受的最大功率

PMP---最大漏过脉冲功率

PMS---最大承受脉冲功率

Po---输出功率

PR---反向浪涌功率

Ptot---总耗散功率

Pomax---最大输出功率

Psc---连续输出功率

PSM---不重复浪涌功率

PZM---最大耗散功率。在给定使用条件下，稳压二极管允许承受的最大功率

RF（r）---正向微分电阻。在正向导通时，电流随电压指数的增加，呈现明显的非线性特性。在某一正向电压下，电压增加微小量 ΔV ，正向电流相应增加 ΔI ，则 $\Delta V/\Delta I$ 称微分电阻

RBB---双基极晶体管的基极间电阻

RE---射频电阻

RL---负载电阻

Rs(rs)---串联电阻

Rth---热阻

R(th)ja---结到环境的热阻

Rz(ru)---动态电阻

R(th)jc---结到壳的热阻
r δ---衰减电阻
r(th)---瞬态电阻
Ta---环境温度
Tc---壳温
td---延迟时间
tf---下降时间
tfr---正向恢复时间
tg---电路换向关断时间
tgt---门极控制极开通时间
Tj---结温
Tjm---最高结温
ton---开通时间
toff---关断时间
tr---上升时间
trr---反向恢复时间
ts---存储时间
tstg---温度补偿二极管的贮存温度
a---温度系数
λp---发光峰值波长
Δ λ---光谱半宽度
η---单晶体管分压比或效率
VB---反向峰值击穿电压
Vc---整流输入电压
VB2B1---基极间电压
VBE10---发射极与第一基极反向电压
VEB---饱和压降
VFM---最大正向压降（正向峰值电压）
VF---正向压降（正向直流电压）
ΔVF---正向压降差
VDRM---断态重复峰值电压
VGT---门极触发电压
VGD---门极不触发电压
VGFM---门极正向峰值电压
VGRM---门极反向峰值电压
VF (AV) ---正向平均电压
Vo---交流输入电压
VOM---最大输出平均电压
Vop---工作电压
Vn---中心电压
Vp---峰点电压
VR---反向工作电压（反向直流电压）
VRM---反向峰值电压（最高测试电压）
V (BR) ---击穿电压
Vth---阈电压（门限电压）
VRRM---反向重复峰值电压（反向浪涌电压）
VRWM---反向工作峰值电压
V v---谷点电压

Vz---稳定电压

ΔVz ---稳压范围电压增量

Vs---通向电压（信号电压）或稳流管稳定电流电压

av---电压温度系数

Vk---膝点电压（稳流二极管）

VL ---极限电压

三、场效应管参数符号意义

Cds---漏-源电容

Cdu---漏-衬底电容

Cgd---栅-源电容

Cgs---漏-源电容

Ciss---栅短路共源输入电容

Coss---栅短路共源输出电容

Crss---栅短路共源反向传输电容

D---占空比（占空系数，外电路参数）

di/dt---电流上升率（外电路参数）

dv/dt---电压上升率（外电路参数）

ID---漏极电流（直流）

IDM---漏极脉冲电流

ID(on)---通态漏极电流

IDQ---静态漏极电流（射频功率管）

IDS---漏源电流

IDSM---最大漏源电流

IDSS---栅-源短路时，漏极电流

IDS(sat)---沟道饱和电流（漏源饱和电流）

IG---栅极电流（直流）

IGF---正向栅电流

IGR---反向栅电流

IGDO---源极开路时，截止栅电流

IGSO---漏极开路时，截止栅电流

IGM---栅极脉冲电流

IGP---栅极峰值电流

IF---二极管正向电流

IGSS---漏极短路时截止栅电流

IDSS1---对管第一管漏源饱和电流

IDSS2---对管第二管漏源饱和电流

Iu---衬底电流

Ipr---电流脉冲峰值（外电路参数）

gfs---正向跨导

Gp---功率增益

Gps---共源极中和高频功率增益

GpG---共栅极中和高频功率增益

GPD---共漏极中和高频功率增益

ggd---栅漏电导

gds---漏源电导

K---失调电压温度系数

Ku---传输系数

L---负载电感（外电路参数）

LD---漏极电感
Ls---源极电感
rDS---漏源电阻
rDS(on)---漏源通态电阻
rDS(of)---漏源断态电阻
rGD---栅漏电阻
rGS---栅源电阻
Rg---栅极外接电阻（外电路参数）
RL---负载电阻（外电路参数）
R(th)jc---结壳热阻
R(th)ja---结环热阻
PD---漏极耗散功率
PDM---漏极最大允许耗散功率
PIN---输入功率
POUT---输出功率
PPK---脉冲功率峰值（外电路参数）
to(on)---开通延迟时间
td(off)---关断延迟时间
ti---上升时间
ton---开通时间
toff---关断时间
tf---下降时间
trr---反向恢复时间
Tj---结温
Tjm---最大允许结温
Ta---环境温度
Tc---管壳温度
Tstg---贮存温度
VDS---漏源电压（直流）
VGS---栅源电压（直流）
VGSF---正向栅源电压（直流）
VGSR---反向栅源电压（直流）
VDD---漏极（直流）电源电压（外电路参数）
VGG---栅极（直流）电源电压（外电路参数）
Vss---源极（直流）电源电压（外电路参数）
VGS(th)---开启电压或阈电压
V(BR)DSS---漏源击穿电压
V(BR)GSS---漏源短路时栅源击穿电压
VDS(on)---漏源通态电压
VDS(sat)---漏源饱和电压
VGD---栅漏电压（直流）
Vsu---源衬底电压（直流）
VDu---漏衬底电压（直流）
VGu---栅衬底电压（直流）
Zo---驱动源内阻
 η ---漏极效率（射频频率管）
Vn---噪声电压

aID---漏极电流温度系数

ards---漏源电阻温度系数

电子元器件基础知识（5）——继电器

一、继电器的工作原理和特性

继电器是一种电子控制器件，它具有控制系统（又称输入回路）和被控制系统（又称输出回路），通常应用于自动控制电路中，它实际上是用较小的电流去控制较大电流的一种“自动开关”。故在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。

1、电磁继电器的工作原理和特性

电磁式继电器一般由铁芯、线圈、衔铁、触点簧片等组成的。只要在线圈两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，从而产生电磁效应，衔铁就会在电磁力吸引的作用下克服返回弹簧的拉力吸向铁芯，从而带动衔铁的动触点与静触点（常开触点）吸合。当线圈断电后，电磁的吸力也随之消失，衔铁就会在弹簧的反作用力返回原来的位置，使动触点与原来的静触点（常闭触点）吸合。这样吸合、释放，从而达到了在电路中的导通、切断的目的。对于继电器的“常开、常闭”触点，可以这样来区分：继电器线圈未通电时处于断开状态的静触点，称为“常开触点”；处于接通状态的静触点称为“常闭触点”。

2、热敏干簧继电器的工作原理和特性

热敏干簧继电器是一种利用热敏磁性材料检测和控制温度的新型热敏开关。它由感温磁环、恒磁环、干簧管、导热安装片、塑料衬底及其他一些附件组成。热敏干簧继电器不用线圈励磁，而由恒磁环产生的磁力驱动开关动作。恒磁环能否向干簧管提供磁力是由感温磁环的温控特性决定的。

3、固态继电器（SSR）的工作原理和特性

固态继电器是一种两个接线端为输入端，另两个接线端为输出端的四端器件，中间采用隔离器件实现输入输出的电隔离。

固态继电器按负载电源类型可分为交流型和直流型。按开关型式可分为常开型和常闭型。按隔离型式可分为混合型、变压器隔离型和光电隔离型，以光电隔离型为最多。

二、继电器主要产品技术参数

1、额定工作电压

是指继电器正常工作时线圈所需要的电压。根据继电器的型号不同，可以是交流电压，也可以是直流电压。

2、直流电阻

是指继电器中线圈的直流电阻，可以通过万能表测量。

3、吸合电流

是指继电器能够产生吸合作用的最小电流。在正常使用时，给定的电流必须略大于吸合电流，这样继电器才能稳定地工作。而对于线圈所加的工作电压，一般不要超过额定工作电压的 1.5 倍，否则会产生较大的电流而把线圈烧毁。

4、释放电流

是指继电器产生释放动作的最大电流。当继电器吸合状态的电流减小到一定程度时，继电器就会恢复到未通电的释放状态。这时的电流远远小于吸合电流。

5、触点切换电压和电流

是指继电器允许加载的电压和电流。它决定了继电器能控制电压和电流的大小，使用时不能超过此值，否则很容易损坏继电器的触点。

三、继电器测试

1、测触点电阻

用万能表的电阻档，测量常闭触点与动点电阻，其阻值应为 0；而常开触点与动点的阻值就为无穷大。由此可以区别出那个是常闭触点，那个是常开触点。

2、测线圈电阻

可用万能表 $R \times 10\Omega$ 档测量继电器线圈的阻值，从而判断该线圈是否存在开路现象。

3、测量吸合电压和吸合电流

找来可调稳压电源和电流表，给继电器输入一组电压，且在供电回路中串入电流表进行监测。慢慢调高电源电压，听到继电器吸合声时，记下该吸合电压和吸合电流。为求准确，可以试多几次而求平均值。

4、测量释放电压和释放电流

也是像上述那样连接测试，当继电器发生吸合后，再逐渐降低供电电压，当听到继电器再次发生释放声音时，记下此时的电压和电流，亦可尝试多几次而取得平均的释放电压和释放电流。一般情况下，继电器的释放电压约在吸合电压的 10~50%，如果释放电压太小（小于 1/10 的吸合电压），则不能正常使用了，这样会对电路的稳定性造成威胁，工作不可靠。

四、继电器的电符号和触点形式

继电器线圈在电路中用一个长方框符号表示，如果继电器有两个线圈，就画两个并列的长方框。同时在长方框内或长方框旁标上继电器的文字符号“J”。继电器的触点有两种表示方法：一种是把它们直接画在长方框一侧，这种表示法较为直观。另一种是按照电路连接的需要，把各个触点分别画到各自的控制电路中，通常在同一继电器的触点与线圈旁分别标注上相同的文字符号，并将触点组编上号码，以示区别。继电器的触点有三种基本形式：

- 1.动合型（H 型）线圈不通电时两触点是断开的，通电后，两个触点就闭合。以合字的拼音字头“H”表示。
- 2.动断型（D 型）线圈不通电时两触点是闭合的，通电后两个触点就断开。用断字的拼音字头“D”表示。
- 3.转换型（Z 型）这是触点组型。这种触点组共有三个触点，即中间是动触点，上下各一个静触点。线圈不通电时，动触点和其中一个静触点断开和另一个闭合，线圈通电后，动触点就移动，使原来断开的成闭合，原来闭合的成断开状态，达到转换的目的。这样的触点组称为转换触点。用“转”字的拼音字头“Z”表示。

五、继电器的选用

- 1.先了解必要的条件：①控制电路的电源电压，能提供的最大电流；②被控制电路中的电压和电流；③被控电路需要几组、什么形式的触点。选用继电器时，一般控制电路的电源电压可作为选用的依据。控制电路应能给继电器提供足够的工作电流，否则继电器吸合是不稳定的。
- 2.查阅有关资料确定使用条件后，可查找相关资料，找出需要的继电器的型号和规格号。若手头已有继电器，可依据资料核对是否可以利用。最后考虑尺寸是否合适。
- 3.注意器具的容积。若是用于一般用电器，除考虑机箱容积外，小型继电器主要考虑电路板安装布局。对于小型电器，如玩具、遥控装置则应选用超小型继电器产品。

电阻知识

导体对电流的阻碍作用称为电阻，用符号 R 表示，单位为欧姆、千欧、兆欧，分别用 Ω 、 $K\Omega$ 、 $M\Omega$ 表示。一、电阻的型号命名方法：

国产电阻器的型号由四部分组成（不适用敏感电阻）

第一部分：主称，用字母表示，表示产品的名字。如 R 表示电阻，W 表示电位器。

第二部分：材料，用字母表示，表示电阻体用什么材料组成，T-碳膜、H-合成碳膜、S-有机实心、N-无机实心、J-金属膜、Y-氮化膜、C-沉积膜、I-玻璃釉膜、X-线绕。

第三部分：分类，一般用数字表示，个别类型用字母表示，表示产品属于什么类型。1-普通、2-普通、3-超高频、4-高阻、5-高温、6-精密、7-精密、8-高压、9-特殊、G-高功率、T-可调。

第四部分：序号，用数字表示，表示同类产品中不同品种，以区分产品的外型尺寸和性能指标等 例如：RT11 型普通碳膜电阻

二、电阻器的分类

- 1、线绕电阻器：通用线绕电阻器、精密线绕电阻器、大功率线绕电阻器、高频线绕电阻器。
- 2、薄膜电阻器：碳膜电阻器、合成碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、化学沉积膜电阻器、玻璃釉膜电阻器、金属氮化膜电阻器。
- 3、实心电阻器：无机合成实心碳质电阻器、有机合成实心碳质电阻器。
- 4、敏感电阻器：压敏电阻器、热敏电阻器、光敏电阻器、力敏电阻器、气敏电阻器、湿敏电阻器。

三、主要特性参数

- 1、标称阻值：电阻器上面所标示的阻值。
- 2、允许误差：标称阻值与实际阻值的差值跟标称阻值之比的百分数称阻值偏差，它表示电阻器的精度。允许误差与精度等级对应

关系如下： $\pm 0.5\%$ -0.05、 $\pm 1\%$ -0.1(或 00)、 $\pm 2\%$ -0.2(或 0)、 $\pm 5\%$ - I 级、 $\pm 10\%$ - II 级、 $\pm 20\%$ -III 级

3、额定功率：在正常的大气压力 90-106.6KPa 及环境温度为 $-55^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ 的条件下，电阻器长期工作所允许耗散的最大功率。

线绕电阻器额定功率系列为 (W)：1/20、1/8、1/4、1/2、1、2、4、8、10、16、25、40、50、75、100、150、250、500

非线性绕电阻器额定功率系列为 (W)：1/20、1/8、1/4、1/2、1、2、5、10、25、50、100

4、额定电压：由阻值和额定功率换算出的电压。

5、最高工作电压：允许的最大连续工作电压。在低气压工作时，最高工作电压较低。

6、温度系数：温度每变化 1°C 所引起的电阻值的相对变化。温度系数越小，电阻的稳定性越好。阻值随温度升高而增大的为正温度系数，反之为负温度系数。

7、老化系数：电阻器在额定功率长期负荷下，阻值相对变化的百分数，它是表示电阻器寿命长短的参数。

8、电压系数：在规定的电压范围内，电压每变化 1 伏，电阻器的相对变化量。

9、噪声：产生于电阻器中的一种不规则的电压起伏，包括热噪声和电流噪声两部分，热噪声是由于导体内部不规则的电子自由运动，使导体任意两点的电压不规则变化。

四、电阻器阻值标示方法

1、直标法：用数字和单位符号在电阻器表面标出阻值，其允许误差直接用百分数表示，若电阻上未注偏差，则均为 $\pm 20\%$ 。

2、文字符号法：用阿拉伯数字和文字符号两者有规律的组合来表示标称阻值，其允许偏差也用文字符号表示。符号前面的数字表示整数阻值，后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值。

表示允许误差的文字符号

文字符号 D F G J K M

允许偏差 $\pm 0.5\%$ $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ $\pm 20\%$

3、数码法：在电阻器上用三位数码表示标称值的标志方法。数码从左到右，第一、二位为有效值，第三位为指数，即零的个数，单位为欧。偏差通常采用文字符号表示。

4、色标法：用不同颜色的带或点在电阻器表面标出标称阻值和允许偏差。国外电阻大部分采用色标法。

黑-0、棕-1、红-2、橙-3、黄-4、绿-5、蓝-6、紫-7、灰-8、白-9、金- $\pm 5\%$ 、银- $\pm 10\%$ 、无色- $\pm 20\%$

当电阻为四环时，最后一环必为金色或银色，前两位为有效数字，第三位为乘方数，第四位为偏差。

当电阻为五环时，最后一环与前面四环距离较大。前三位为有效数字，第四位为乘方数，第五位为偏差。

五、常用电阻器

1、电位器

电位器是一种机电元件，他靠电刷在电阻体上的滑动，取得与电刷位移成一定关系的输出电压。

1.1 合成碳膜电位器

电阻体是用经过研磨的碳黑，石墨，石英等材料涂敷于基体表面而成，该工艺简单，是目前应用最广泛的电位器。特点是分辨力高耐磨性好，寿命较长。缺点是电流噪声，非线性大，耐潮性以及阻值稳定性差。

1.2 有机实心电位器

有机实心电位器是一种新型电位器，它是用加热塑压的方法，将有机电阻粉压在绝缘体的凹槽内。有机实心电位器与碳膜电位器相比具有耐热性好、功率大、可靠性高、耐磨性好的优点。但温度系数大、动噪声大、耐潮性能差、制造工艺复杂、阻值精度较差。

在小型化、高可靠、高耐磨性的电子设备以及交、直流电路中用作调节电压、电流。

1.3 金属玻璃铀电位器

用丝网印刷法按照一定图形，将金属玻璃铀电阻浆料涂覆在陶瓷基体上，经高温烧结而成。特点是：阻值范围宽，耐热性好，过载能力强，耐潮，耐磨等都很好，是很有前途的电位器品种，缺点是接触电阻和电流噪声大。

1.4 绕线电位器

绕线电位器是将康铜丝或镍铬合金丝作为电阻体，并把它绕在绝缘骨架上制成。绕线电位器特点是接触电阻小，精度高，温度系数小，其缺点是分辨力差，阻值偏低，高频特性差。主要用作分压器、变阻器、仪器中调零和工作点等。

1.5 金属膜电位器

金属膜电位器的电阻体可由合金膜、金属氧化膜、金属箔等分别组成。特点是分辨力高、耐高温、温度系数小、动噪声小、平滑性好。

1.6 导电塑料电位器

用特殊工艺将 DAP（邻苯二甲酸二稀丙脂）电阻浆料覆在绝缘机体上，加热聚合成电阻膜，或将 DAP 电阻粉热塑压在绝缘基体的凹槽内形成的实心体作为电阻体。特点是：平滑性好、分辨率优异耐磨性好、寿命长、动噪声小、可靠性极高、耐化学腐蚀。用于宇宙装置、导弹、飞机雷达天线的伺服系统等。

1.7 带开关的电位器

有旋转式开关电位器、推拉式开关电位器、推推开关式电位器

1.8 预调式电位器

预调式电位器在电路中，一旦调试好，用蜡封住调节位置，在一般情况下不再调节。

1.9 直滑式电位器

采用直滑方式改变电阻值。

1.10 双连电位器

有异轴双连电位器和同轴双连电位器

1.11 无触点电位器

无触点电位器消除了机械接触，寿命长、可靠性高，分光电式电位器、磁敏式电位器等。

2、实芯碳质电阻器

用碳质颗粒导电物质、填料和粘合剂混合制成一个实体的电阻器。特点：价格低廉，但其阻值误差、噪声电压都大，稳定性差，目前较少用。

3、绕线电阻器

用高阻合金线绕在绝缘骨架上制成，外面涂有耐热的釉绝缘层或绝缘漆。绕线电阻具有较低的温度系数，阻值精度高，稳定性好，耐热耐腐蚀，主要做精密大功率电阻使用，缺点是高频性能差，时间常数大。

4、薄膜电阻器

用蒸发的方法将一定电阻率材料蒸镀于绝缘材料表面制成。主要如下：

4.1 碳膜电阻器

将结晶碳沉积在陶瓷棒骨架上制成。碳膜电阻器成本低、性能稳定、阻值范围宽、温度系数和电压系数低，是目前应用最广泛的电阻器。

4.2 金属膜电阻器。

用真空蒸发的方法将合金材料蒸镀于陶瓷棒骨架表面。金属膜电阻比碳膜电阻的精度高，稳定性好，噪声，温度系数小。在仪器仪表及通讯设备中大量采用。

4.3 金属氧化膜电阻器

在绝缘棒上沉积一层金属氧化物。由于其本身即是氧化物，所以高温下稳定，耐热冲击，负载能力强。

4.4 合成膜电阻

将导电合成物悬浮液涂敷在基体上而得，因此也叫漆膜电阻。由于其导电层呈现颗粒状结构，所以其噪声大，精度低，主要用他制造高压，高阻，小型电阻器。

5、金属玻璃铀电阻器

将金属粉和玻璃铀粉混合，采用丝网印刷法印在基板上。耐潮湿，高温，温度系数小，主要应用于厚膜电路。

6、贴片电阻 SMT

片状电阻是金属玻璃铀电阻的一种形式，他的电阻体是高可靠的钎系列玻璃铀材料经过高温烧结而成，电极采用银钯合金浆料。体积小，精度高，稳定性好，由于其为片状元件，所以高频性能好。

7、敏感电阻

敏感电阻是指器件特性对温度，电压，湿度，光照，气体，磁场，压力等作用敏感的电阻器。敏感电阻的符号是在普通电阻的符号中加一斜线，并在旁标注敏感电阻的类型，如：t.v 等。

7.1、压敏电阻

主要有碳化硅和氧化锌压敏电阻，氧化锌具有更多的优良特性。

7.2、湿敏电阻

由感湿层，电极，绝缘体组成，湿敏电阻主要包括氯化锂湿敏电阻，碳湿敏电阻，氧化物湿敏电阻。氯化锂湿敏电阻随湿度上升而电阻减小，缺点为测试范围小，特性重复性不好，受温度影响大。碳湿敏电阻缺点为低温灵敏度低，阻值受温度影响大，由老化特性，较少使用。氧化物湿敏电阻性能较优越，可长期使用，温度影响小，阻值与湿度变化呈线性关系。有氧化锡，镍铁酸盐，等材料。

7.3、光敏电阻

光敏电阻是电导率随着光量力的变化而变化的电子元件，当某种物质受到光照时，载流子的浓度增加从而增加了电导率，这就是光电导效应。

7.4、气敏电阻

利用某些半导体吸收某种气体后发生氧化还原反应制成，主要成分是金属氧化物，主要品种有：金属氧化物气敏电阻、复合氧化物气敏电阻、陶瓷气敏电阻等。

7.5、力敏电阻

力敏电阻是一种阻值随压力变化而变化的电阻，国外称为压电电阻器。所谓压力电阻效应即半导体材料的电阻率随机械应力的变化而变化的效应。可制成各种力矩计，半导体话筒，压力传感器等。主要品种有硅力敏电阻器，硒碲合金力敏电阻器，相对而言，合金电阻器具有更高灵敏度。

7.6、热敏电阻

热敏电阻是敏感元件的一类,其电阻值会随着热敏电阻本体温度的变化呈现出阶跃性的变化,具有半导体特性.

热敏电阻按照温度系数的不同分为: 正温度系数热敏电阻(简称 PTC 热敏电阻)

负温度系数热敏电阻(简称 NTC 热敏电阻)

正温度热敏电阻(PTC Thermistor)

PTC 是 Positive Temperature Coefficient 的缩写,意思是正的温度系数,泛指正温度系数很大的半导体材料或元器件.通常我们提到的 PTC 是指正温度系数热敏电阻,简称 PTC 热敏电阻.

PTC 热敏电阻是一种典型具有温度敏感性的半导体电阻,超过一定的温度(居里温度)时,它的电阻值随着温度的升高呈阶跃性的增高.

PTC 热敏电阻根据其材质的不同分为:

陶瓷 PTC 热敏电阻

有机高分子 PTC 热敏电阻

目前大量被使用的 PTC 热敏电阻种类:

恒温加热用 PTC 热敏电阻

过流保护用 PTC 热敏电阻

空气加热用 PTC 热敏电阻

延时启动用 PTC 热敏电阻

传 感 器用 PTC 热敏电阻

自动消磁用 PTC 热敏电阻

一般情况下,有机高分子 PTC 热敏电阻适合过流保护用途,陶瓷 PTC 热敏电阻可适用于以上所列各种用途.

负温度热敏电阻(NTC Thermistor)

NTC 是 Negative Temperature Coefficient 的缩写,意思是负的温度系数,泛指负温度系数很大的半导体材料或元器件.通常我们提到的 NTC 是指负温度系数热敏电阻,简称 NTC 热敏电阻. NTC 热敏电阻是一种典型具有温度敏感性的半导体电阻,它的电阻值随着温度的升高呈阶跃性的减小. NTC 热敏电阻是以锰、钴、镍和铜等金属氧化物为主要材料,采用陶瓷工艺制造而成的.这些金属氧化物材料都具有半导体性质,因为在导电方式上完全类似锗、硅等半导体材料.温度低时,这些氧化物材料的载流子(电子和孔穴)数目少,所以其电阻值较高;随着温度的升高,载流子数目增加,所以电阻值降低.

NTC 热敏电阻根据其用途的不同分为:

功率型 NTC 热敏电阻

补偿型 NTC 热敏电阻

测温型 NTC 热敏电阻

什么是热敏电阻及其主要类型和参数?

热敏电阻器(thermistor)——型号 MZ、MF:

是一种对温度反应较敏感、阻值会随着温度的变化而变化的非线性电阻器，通常由单晶、多晶半导体材料制成。

文字符号：“RT”或“R”

热敏电阻器的种类：

- A. 按结构及形状分类——圆片形（片状）、圆柱形（柱形）、圆环形（垫圈形）等多种热敏电阻器。
- B. 按温度变化的灵敏度分类——高灵敏度型（突变型）、低灵敏度型（缓变型）热敏电阻器。
- C. 按受热方式分类——直热式热敏电阻器、旁热式热敏电阻器。
- D. 按温变（温度变化）特性分类——正温度系数（PTC）、负正温度系数（NTC）热敏电阻器。

热敏电阻器的主要参数：除标称阻值、额定功率和允许偏差等基本指标外，还有如下指标：

- 1) 测量功率：指在规定的环境温度下，电阻体受测量电源加热而引起阻值变化不超过 0.1%时所消耗的功率。
- 2) 材料常数：是反应热敏电阻器热灵敏度的指标。通常，该值越大，热敏电阻器的灵敏度和电阻率越高。
- 3) 电阻温度系数：表示热敏电阻器在零功率条件下，其温度每变化 1℃所引起电阻值的相对变化量。
- 4) 热时间常数：指热敏电阻器的热惰性。即在不功率状态下，当环境温度突变时，电阻体温度由初值变化到最终温度之差的 63.2%所需的时间。
- 5) 耗散系数：指热敏电阻器的温度每增加 1℃所耗散的功率。
- 6) 开关温度：指热敏电阻器的零功率电阻值为最低电阻值两倍时所对应的温度。
- 7) 最高工作温度：指热敏电阻器在规定的标准条件下，长期连续工作时所允许承受的最高温度。
- 8) 标称电压：指稳压用热敏电阻器在规定的温度下，与标称工作电流所对应的电压值。
- 9) 工作电流：指稳压用热敏电阻器在在正常工作状态下的规定电流值。
- 10) 稳压范围：指稳压用热敏电阻器在规定的环境温度范围内稳定电压的范围值。
- 11) 最大电压：指在规定的环境温度下，热敏电阻器正常工作时所允许连续施加的最高电压值。
- 12) 绝缘电阻：指在规定的环境条件下，热敏电阻器的电阻体与绝缘外壳之间的电阻值。

●正温度系数热敏电阻器（PTC—positive temperature coefficient thermistor）

结构——用钛酸钡（BaTiO₃）、锶（Sr）、锆（Zr）等材料制成的。

属直热式热敏电阻器。

特性——电阻值与温度变化成正比关系，即当温度升高时电阻值随之增大。在常温下，其电阻值较小，仅有几欧姆~几十欧姆；当流经它的电流超过额定值时，其电阻值能在几秒钟内迅速增大至数百欧姆~数千欧姆以上。

作用与应用——广泛应用于彩色电视机消磁电路、电冰箱压缩机启动电路及过热或过电流保护等电路中、还可用于电驱蚊器和卷发器、电热垫、暖器等小家电中。

●负温度系数热敏电阻器（NTC—negative temperature coefficient thermistor）

结构——用锰（Mn）、钴（Co）、镍（Ni）、铜（Cu）、铝（Al）等金属氧化物（具有半导体性质）或碳化硅（SiC）等材料采用陶瓷工艺制成的。

特性——电阻值与温度变化成反比关系，即当温度升高时，电阻值随之减小。

作用与应用——广泛应用于电冰箱、空调器、微波炉、电烤箱、复印机、打印机等家电及办公产品中，作温度检测、温度补偿、温度控制、微波功率测量及稳压控制用。

热敏电阻型号命名

根据标准 SJ1152-82《敏感元件型号命名方法》的规定，敏感电阻器的产品型号由下列四部分组成：

- 第一部分：主称（用字母表示）；
- 第二部分：类别（用字母表示）；
- 第三部分：用途或特征（用字母或数字表示）；
- 第四部分：序号（用数字表示）。

- (1) 主称、类别部分的符号及意义如表 1-5 所示。
- (2) 用途或特征部分用数字表示时，应符合表 1-6 的规定；用字母表示时，应符合的规定。
- (3) 序号部分用数字表示。

表 1-5 敏感电阻器型号中主称、类别部分的符号所表示的意义

主 称		类 别	
符 号	意 义	符 号	意 义
		F	负温度系数热敏电阻器(NTC)
	敏	Z	正温度系数热敏电阻器(PTC)
	感	G	光敏电阻器
M	电	Y	压敏电阻器
	阻	S	湿敏电阻器
	器	Q	气敏电阻器
		L	力敏元件
		C	磁敏元件

表 1-6 敏感电阻器型号中用途或特征部分的数字所表示的意义

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
负温度系数热敏电阻器	特殊用	普通用	稳压用	微波测量用	旁热式	测温用	控温用		线性型	
正温度系数热敏电阻器		普通用	限流用		延迟用	测温用	控温用	消磁用		恒温用
光敏电阻器	特殊用	紫外光	紫外光	紫外光	可见光	可见光	可见光	红外光	红外光	红外光
力敏电阻器		硅应变片	硅应变梁	硅杯						

表 1-7 敏感电阻器型号中用途或特征部分的数字所表示的意义

	W	G	P	N	K	L	H	E	B	C	S	Q	Y
压敏电阻器	稳压用	高压保护	高频用	高能用	高可靠型	防雷用	灭弧用	消躁用	补偿用	消磁用			
湿敏电阻器						控湿用				测湿用			
气敏电阻器						可燃性							烟敏
磁敏元件	电位器							电阻器					

NTC 负温度系数热敏电阻

NTC 热敏电阻是指具有负温度系数的热敏电阻。是使用单一高纯度材料、具有接近理论密度结构的高性能陶瓷。因此，在实现小型化的同时，还具有电阻值、温度特性波动小、对各种温度变化响应快的特点，可进行高灵敏度、高精度的检测。本公司提供各种形状、特性的小型、高可靠性产品，可满足广大客户的应用需求。

NTC 负温度系数热敏电阻工作原理

NTC 是 Negative Temperature Coefficient 的缩写,意思是负的温度系数,泛指负温度系数很大的半导体材料或元器件,所谓 NTC 热敏电阻器就是负温度系数热敏电阻器。它是以锰、钴、镍和铜等金属氧化物为主要材料,采用陶瓷工艺制造而成的。这些金属氧化物材料都具有半导体性质,因为在导电方式上完全类似锗、硅等半导体材料。温度低时,这些氧化物材料的载流子(电子和孔穴)数目少,所以其电阻值较高;随着温度的升高,载流子数目增加,所以电阻值降低。NTC 热敏电阻器在室温下的变化范围在 100~1000000 欧姆,温度系数-2%~-6.5%。NTC 热敏电阻器可广泛应用于温度测量、温度补偿、抑制浪涌电流等场合。

NTC 负温度系数热敏电阻专业术语

零功率电阻值 $R_T (\Omega)$

R_T 指在规定温度 T 时,采用引起电阻值变化相对于总的测量误差来说可以忽略不计的测量功率测得的电阻值。

电阻值和温度变化的关系式为:

$$R_T = R_N \exp B(1/T - 1/T_N)$$

R_T : 在温度 T (K) 时的 NTC 热敏电阻阻值。

R_N : 在额定温度 T_N (K) 时的 NTC 热敏电阻阻值。

T : 规定温度 (K)。

B : NTC 热敏电阻的材料常数,又叫热敏指数。

exp : 以自然数 e 为底的指数 (e = 2.71828 ...) 。

该关系式是经验公式，只在额定温度 T_N 或额定电阻阻值 R_N 的有限范围内才具有一定的精确度，因为材料常数 B 本身也是温度 T 的函数。

额定零功率电阻值 R_{25} (Ω)

根据国标规定，额定零功率电阻值是 NTC 热敏电阻在基准温度 25 °C 时测得的电阻值 R_{25} ，这个电阻值就是 NTC 热敏电阻的标称电阻值。通常所说 NTC 热敏电阻多少阻值，亦指该值。

材料常数 (热敏指数) B 值 (K)

B 值被定义为：

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_{T1}}{R_{T2}}$$

R_{T1} : 温度 T_1 (K) 时的零功率电阻值。

R_{T2} : 温度 T_2 (K) 时的零功率电阻值。

T_1, T_2 : 两个被指定的温度 (K) 。

对于常用的 NTC 热敏电阻， B 值范围一般在 2000K ~ 6000K 之间。

零功率电阻温度系数 (α_T)

在规定温度下， NTC 热敏电阻零功率电阻值的相对变化与引起该变化的温度变化值之比值。

$$\alpha_T = \frac{1}{R} \frac{dR_T}{dT} = - \frac{B}{T^2}$$

α_T : 温度 T (K) 时的零功率电阻温度系数。

R_T : 温度 T (K) 时的零功率电阻值。

T : 温度 (T) 。

B : 材料常数。

耗散系数 (δ)

在规定环境温度下， NTC 热敏电阻耗散系数是电阻中耗散的功率变化与电阻体相应的温度变化之比值。

$$\delta = \frac{\Delta P}{\Delta T}$$

δ : NTC 热敏电阻耗散系数， (mW/K) 。

ΔP : NTC 热敏电阻消耗的功率 (mW) 。

ΔT : NTC 热敏电阻消耗功率 ΔP 时，电阻体相应的温度变化 (K) 。

热时间常数(τ)

在零功率条件下，当温度突变时，热敏电阻的温度变化了始末两个温度差的 63.2% 时所需的时间，热时间常数与 NTC 热敏电阻的热容量成正比，与其耗散系数成反比。

$$\tau = \frac{C}{\delta}$$

τ : 热时间常数 (S)。

C: NTC 热敏电阻的热容量。

δ : NTC 热敏电阻的耗散系数。

额定功率 P_n

在规定的技术条件下，热敏电阻器长期连续工作所允许消耗的功率。在此功率下，电阻体自身温度不超过其最高工作温度。

最高工作温度 T_{max}

在规定的技术条件下，热敏电阻器能长期连续工作所允许的最高温度。即：

$$T_{max} = T_0 + \frac{P_n}{\delta}$$

T_0 -环境温度。

测量功率 P_m

热敏电阻在规定的环境温度下，阻体受测量电流加热引起的阻值变化相对于总的测量误差来说可以忽略不计时所消耗的功率。一般要求阻值变化大于 0.1%，则这时的测量功率 P_m 为：

$$P_m = \frac{\delta}{1000\alpha}$$

电阻温度特性

NTC 热敏电阻的温度特性可用下式近似表示： $R_T = Ae^{\frac{B}{T}}$

式中：

R_T : 温度 T 时零功率电阻值。

A: 与热敏电阻器材料物理特性及几何尺寸有关的系数。

B: B 值。

T: 温度 (k)。

更精确的表达式为：

$$R_T = \exp \left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3} \right)$$

式中：RT：热敏电阻器在温度 T 时的零功率电阻值。

T：为绝对温度值，K；

A、B、C、D：为特定的常数。

热敏电阻的基本特性

电阻—温度特性

热敏电阻的电阻—温度特性可近似地用式 1 表示。

$$(式 1) R = R_0 \exp \{B(1/T - 1/T_0)\}$$

R：温度 T(K)时的电阻值

R₀: 温度 T₀(K)时的电阻值

B：B 值

$$*T(K) = t(^{\circ}C) + 273.15$$

但实际上，热敏电阻的 B 值并非恒定的，其变化大小因材料构成而异，最大甚至可达 5K/°C。因此在较大的温度范围内应用式 1 时，将与实测值之间存在一定误差。

此处，若将式 1 中的 B 值用式 2 所示的作为温度的函数计算时，则可降低与实测值之间的误差，可认为近似相等。

$$(式 2) B_T = CT^2 + DT + E$$

上式中，C、D、E 为常数。

另外，因生产条件不同造成的 B 值的波动会引起常数 E 发生变化，但常数 C、D 不变。因此，在探讨 B 值的波动量时，只需考虑常数 E 即可。

• 常数 C、D、E 的计算

常数 C、D、E 可由 4 点的(温度、电阻值)数据 (T₀, R₀), (T₁, R₁), (T₂, R₂) and (T₃, R₃)，通过式 3~6 计算。

首先由式 3 根据 T₀ 和 T₁, T₂, T₃ 的电阻值求出 B₁, B₂, B₃, 然后代入以下各式样。

(式3)
$$B_n = \frac{I_n (R_n / R_0)}{\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_0}}$$

(式4)
$$C = \frac{(B_1 - B_2) (T_2 - T_3) - (B_2 - B_3) (T_1 - T_2)}{(T_1 - T_2) (T_2 - T_3) (T_1 - T_3)}$$

(式5)
$$D = \frac{B_1 - B_2 - C (T_1 + T_2) (T_1 - T_2)}{(T_1 - T_2)}$$

(式6)
$$E = B_1 - DT_1 - CT_1 \cdot T_1$$

• 电阻值计算例

试根据电阻—温度特性表，求 25°C 时的电阻值为 5(kΩ)，B 值偏差为 50(K)的热敏电阻在 10°C~30°C 的电阻值。

• 步骤

(1) 根据电阻—温度特性表，求常数 C、D、E。

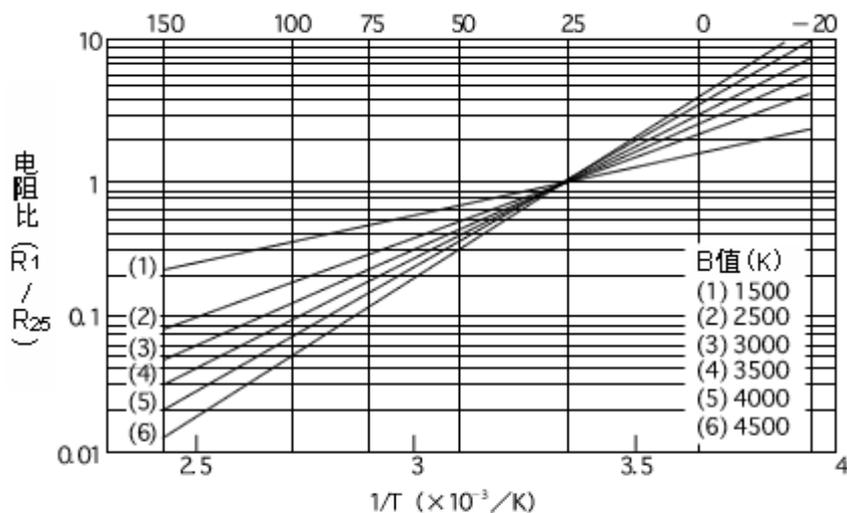
$$T_0 = 25 + 273.15 \quad T_1 = 10 + 273.15 \quad T_2 = 20 + 273.15 \quad T_3 = 30 + 273.15$$

(2) 代入 $B_T = CT^2 + DT + E + 50$ ，求 B_T 。

(3) 将数值代入 $R = 5 \exp \{ (B_T / T - I / 298.15) \}$ ，求 R。

*T : 10+273.15~30+273.15

• 电阻—温度特性图如图 1 所示



电阻—温度特性 (图-1)

电阻温度系数

所谓电阻温度系数(α),是指在任意温度下温度变化 1°C(K)时的零负载电阻变化率。电阻温度系数(α)与 B 值的关系,可将式 1 微分得到。

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} \times 100 = -\frac{B}{T^2} \times 100 \text{ (\%/}^\circ\text{C)} \dots\dots (2.1)$$

这里 α 前的负号(-),表示当温度上升时零负载电阻降低。

散热系数 (JIS-C2570)

散热系数(δ)是指在热平衡状态下,热敏电阻元件通过自身发热使其温度上升 1°C 时所需的功率。

在热平衡状态下,热敏电阻的温度 T_1 、环境温度 T_2 及消耗功率 P 之间关系如下式所示。

$$\delta = \frac{P}{T_1 - T_2} \text{ (mW/}^\circ\text{C)} \dots\dots (2.2)$$

$$\ast (P = I^2 \cdot R = I \cdot V)$$

产品目录记载值为下列测定条件下的典型值。

- (1)25°C 静止空气中。
- (2)轴向引脚、径向引脚型在出厂状态下测定。

额定功率(JIS-C2570)

在额定环境温度下,可连续负载运行的功率最大值。

产品目录记载值是以 25°C 为额定环境温度、由下式计算出的值。

$$\text{(式) 额定功率} = \text{散热系数} \times (\text{最高使用温度} - 25)$$

最大运行功率

$$\text{最大运行功率} = t \times \text{散热系数} \dots (3.3)$$

这是使用热敏电阻进行温度检测或温度补偿时,自身发热产生的温度上升容许值所对应功率。(JIS 中未定义。)容许温度上升 $t^\circ\text{C}$ 时,最大运行功率可由下式计算。

应环境温度变化的热响应时间常数(JIS-C2570)

指在零负载状态下,当热敏电阻的环境温度发生急剧变化时,热敏电阻元件产生最初温度与最终温度两者温度差的 63.2%的温度变化所需的时间。

热敏电阻的环境温度从 T_1 变为 T_2 时,经过时间 t 与热敏电阻的温度 T 之间存在以下关系。

$$T=(T_1-T_2)\exp(-t/\tau)+T_2.....(3.1)$$

$$(T_2-T_1)\{1-\exp(-t/\tau)\}+T_1.....(3.2)$$

常数 τ 称热响应时间常数。

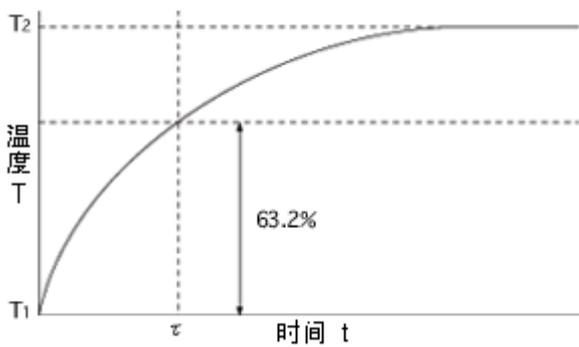
上式中，若令 $t=\tau$ 时，则 $(T-T_1)/(T_2-T_1)=0.632$ 。

换言之，如上面的定义所述，热敏电阻产生初始温度差 63.2% 的温度变化所需的时间即为热响应时间常数。

经过时间与热敏电阻温度变化率的关系如下表所示。

t	$\frac{T-T_1}{T_2-T_1}$
τ	63.2%
2τ	86.5%
3τ	95.0%
4τ	98.2%
5τ	99.4%

表一 热响应时间常数

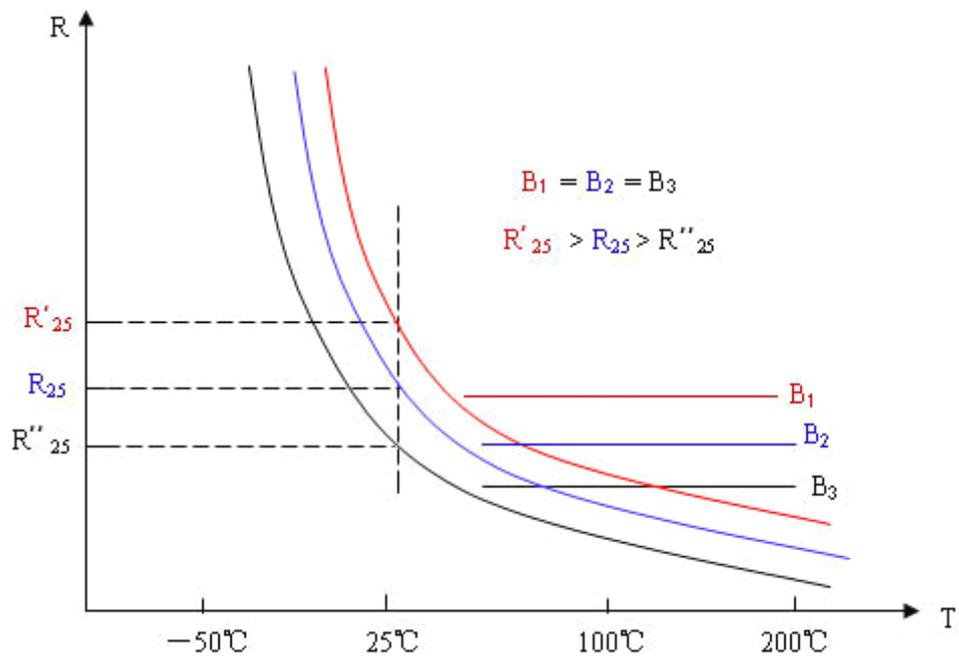


产品目录记录值为下列测定条件下的典型值。

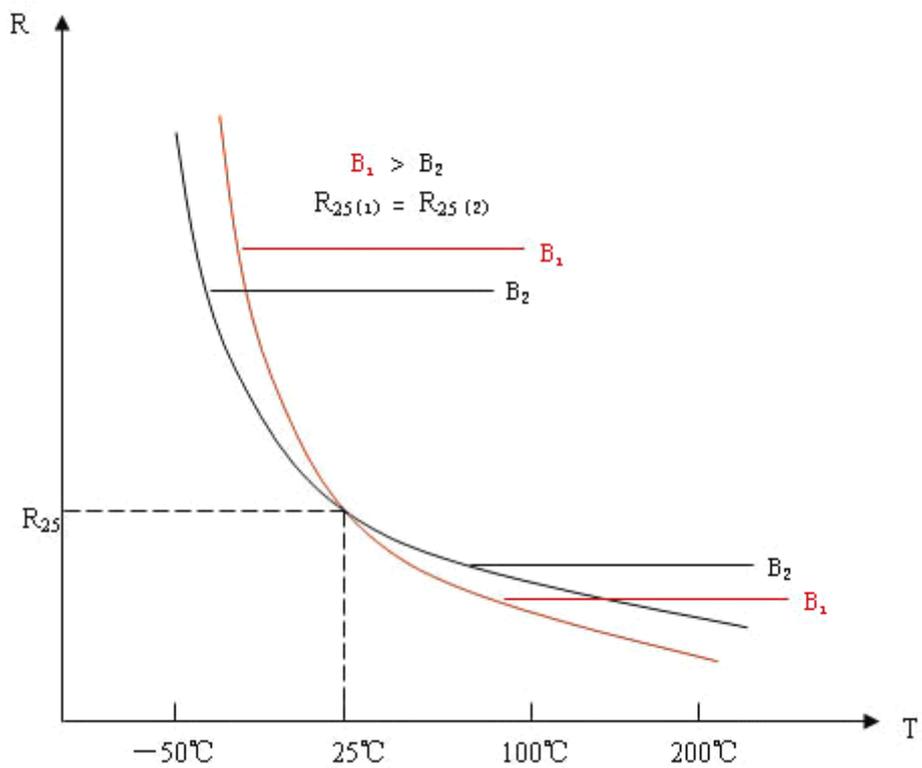
- (1) 静止空气中环境温度从 50°C 至 25°C 变化时，热敏电阻的温度变化至 34.2°C 所需时间。
- (2) 轴向引脚、径向引脚型在出厂状态下测定。

另外应注意，散热系数、热响应时间常数随环境温度、组装条件而变化。

NTC 负温度系数热敏电阻 R-T 特性



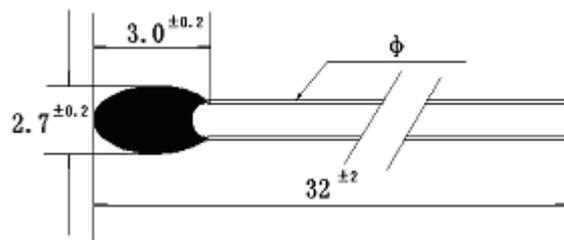
B 值相同，阻值不同的 R-T 特性曲线示意图



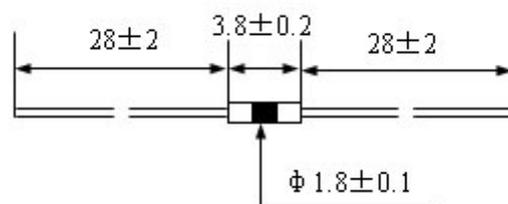
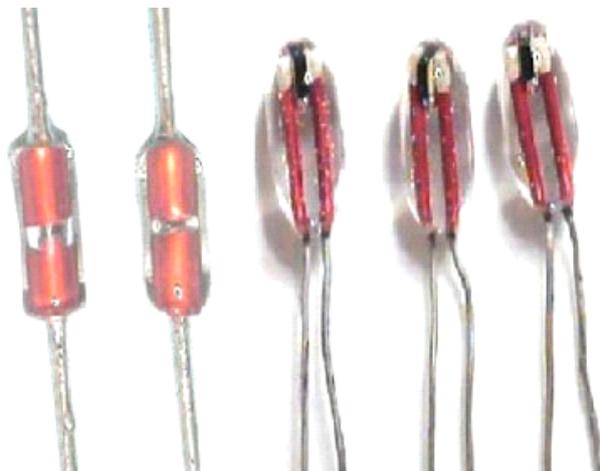
相同阻值，不同 B 值的 NTC 热敏电阻 R-T 特性曲线示意图

温度测量、控制用 NTC 热敏电阻器

外形结构

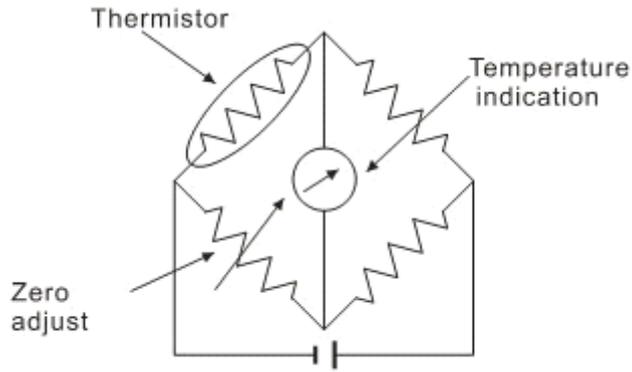


环氧封装系列 NTC 热敏电阻

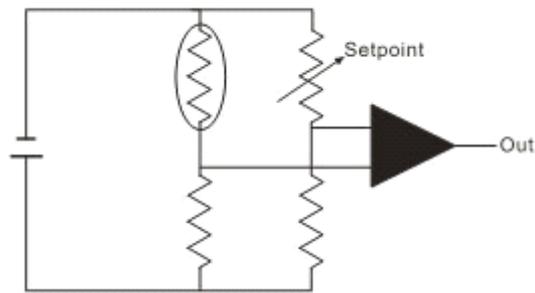


玻璃封装系列 NTC 热敏电阻

应用电路原理图



温度测量（惠斯登电桥电路）



温度控制

应用设计

- 电子温度计、电子万年历、电子钟温度显示、电子礼品；
- 冷暖设备、加热恒温电器；
- 汽车电子温度测控电路；
- 温度传感器、温度仪表；
- 医疗电子设备、电子盥洗设备；
- 手机电池及充电器。

温度补偿用 NTC 热敏电阻器

产品概述

许多半导体和 ICs 有温度系数而且要求温度补偿，以在较大的温度范围中达到稳定性能的作用，由于 NTC 热敏电阻器有较高的温度系数，所以广泛应用于温度补偿。

主要参数

额定零功率电阻值 $R_{25} (\Omega)$

R_{25} 允许偏差 (%)

B 值(25/50 °C) / (K)

时间常数 $\leq 30S$

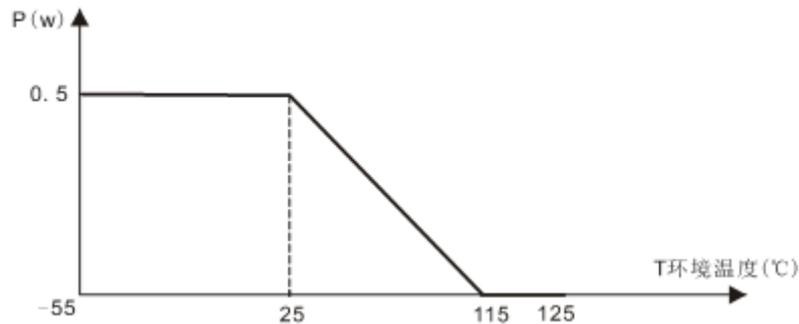
耗散系数 $\geq 6mW/^\circ C$

测量功率 $\leq 0.1mW$

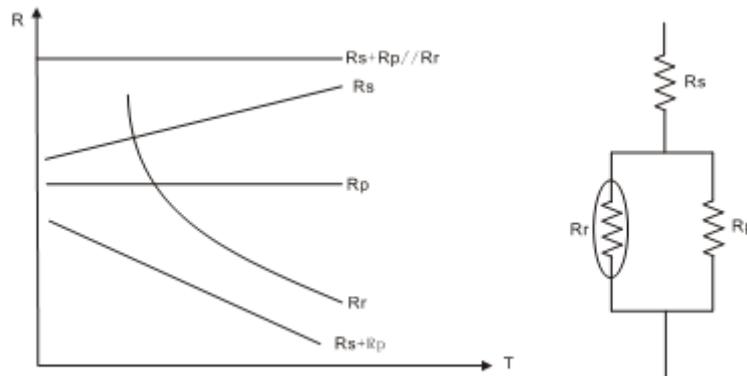
额定功率 $\leq 0.5W$

使用温度范围 $-55\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +125\text{ }^{\circ}\text{C}$

降功耗曲线:



应用原理及实例



PTC 热敏电阻器简介

概述:

热敏电阻器按其电阻-温度特性可分为正温度系数热敏电阻器(PTCR)及负温度系数热敏电阻器(NTCR)。PTC 是 Positive Temperature Coefficient 的缩写, 为正温度系数的意思。NTC 是 Negative Temperature Coefficient 的缩写, 为负温度系数的意思。其中正温度系数热敏电阻器(PTCR)包括: 突变型(阶跃型)PTC 热敏电阻器及缓变型(线性)PTC 热敏电阻器两种。其突变型(阶跃型)PTC 热敏电阻器又细分两类, 一类为陶瓷 PTC 热敏电阻器 (CPTC), 在 BaTiO_3 , V_2O_5 , BN 等材料中掺入半导化元素后都可发现 PTC 效应。目前得到广泛应用的是 BaTiO_3 系 PTC 热敏电阻器; 第二类是有机高分子 PTC 热敏电阻器 (PPTC), 在聚乙烯高分子材料中掺入碳黑形成 PTC 效应。这里介绍的是 BaTiO_3 系 PTC 热敏电阻器, 属于典型的直热式阶跃型正温度系数热敏电阻器, 当温度增加到居里温度以上时, 其电阻值呈阶跃式增加, 可达到 4~10 个数量级。温度的变化可以由流过热敏电阻的电流来获得, 也可以由外界输入热能或者这二者的迭加来获得。

PTC 热敏电阻器的应用及优点:

- 1、作为加热用的陶瓷 PTC 元件, 具有自动恒温的特性, 可省去一套温控线路;
- 2、作为开关用的陶瓷 PTC 元件, 具有过流、过热保护功能, 避免电器设备损坏, 结构简单、可靠;
- 3、作为温度保护用的陶瓷 PTC 元件, 在温控点附近有很大的电阻温度系数, 配置一个简单的比较器电路可实现较精确的温度控制;

- 4、开关温度调整范围大：-40℃~320℃；
- 5、电阻温度系数高：最高超过 40%/℃；
- 6、电阻值范围大：0.1Ω~20kΩ
- 7、工作电压范围大:3V~1000V

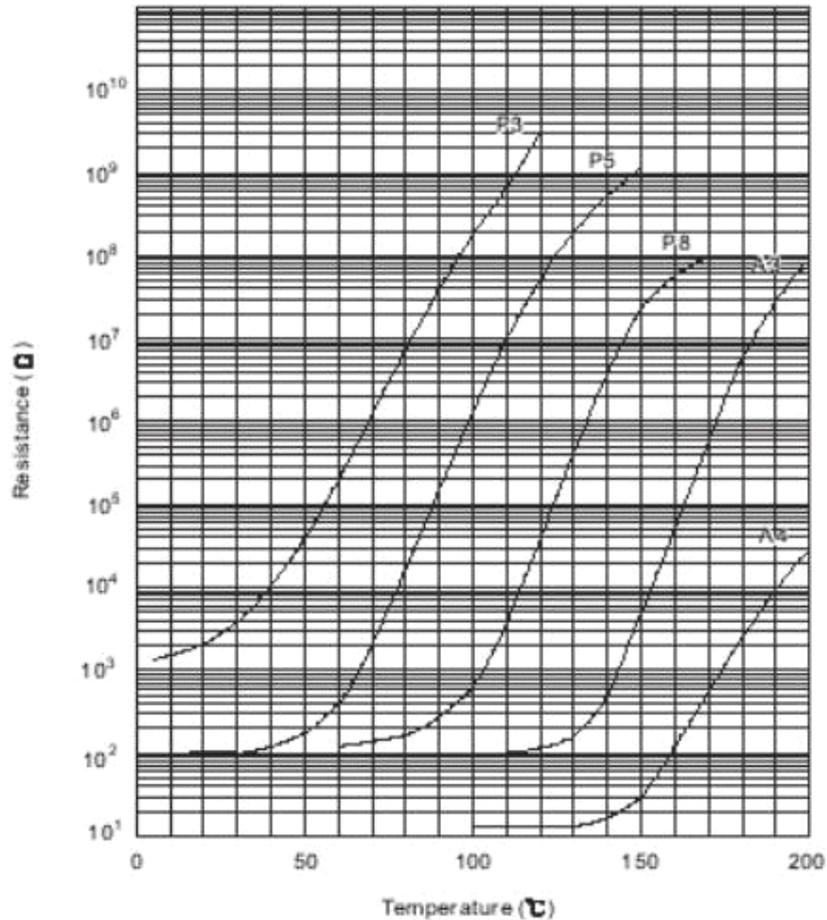
PTC 热敏电阻器三大特性：

BaTiO3 陶瓷是一种典型的铁电材料，常温下其电阻率大于 1012Ω.cm，相对介电常数高达 104，是一种优良的陶瓷电容器材料。在这种材料中引入稀土元素如 Y、Nb 等，可使其电阻率下降到 10Ω.cm 以下，成为具有很大的正温度系数的半导体陶瓷材料，在居里温度以上几十度的温度范围内，其电阻率可增大 4-10 个数量级，产生 PTC 效应。这种效应是一种晶界效应，只有多晶陶瓷材料才具有。正是由于这种 PTC 效应，PTC 热敏电阻器得到了极其广泛的应用。根据应用领域划分，PTC 热敏电阻器有三大特性：

电阻-温度特性；伏安特性；电流时间特性。

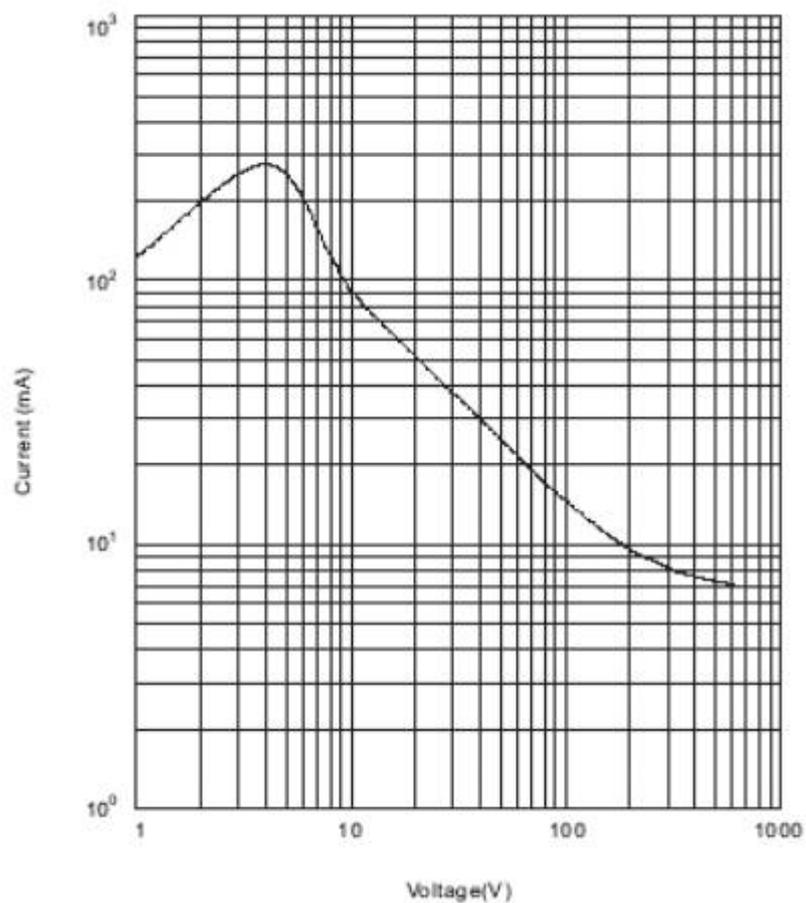
● 电阻--温度特性 (R--T 特性)：

指的是在规定电压下，PTC 热敏电阻器的零功率电阻值与电阻本体温度之间的关系（如下图所示）。



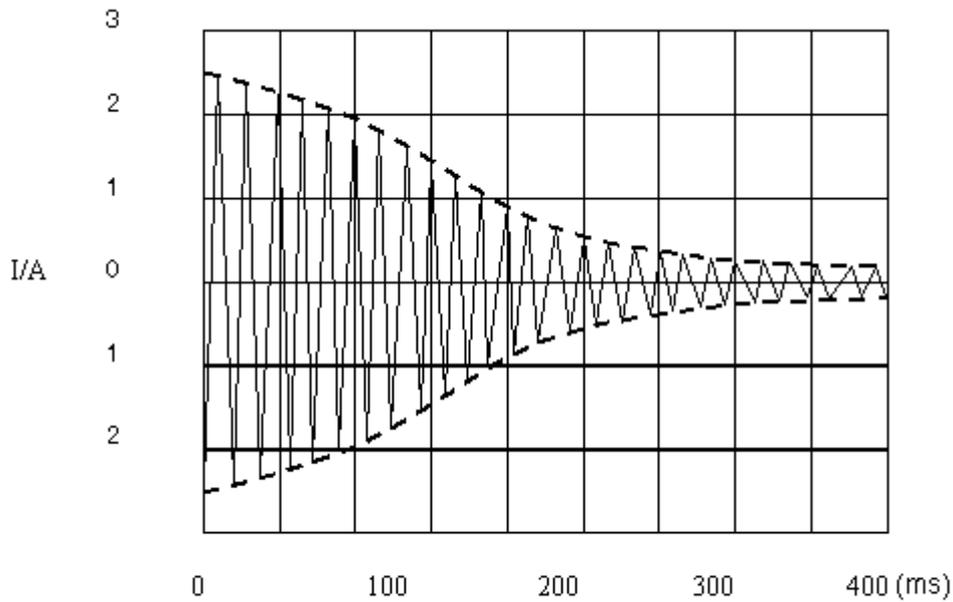
● 电压--电流特性 (V—I 特性)：

指加在热敏电阻器引出端的电压与达到热平衡的稳态条件下的电流之间的关系（如下图所示）。



●电流—时间特性 (I—T 特性) :

指热敏电阻器在施加电压过程中，电流随时间的变化特性。开始加电压瞬间的电流称为起始电流，平衡时的电流称为残余电流（如下图所示）。



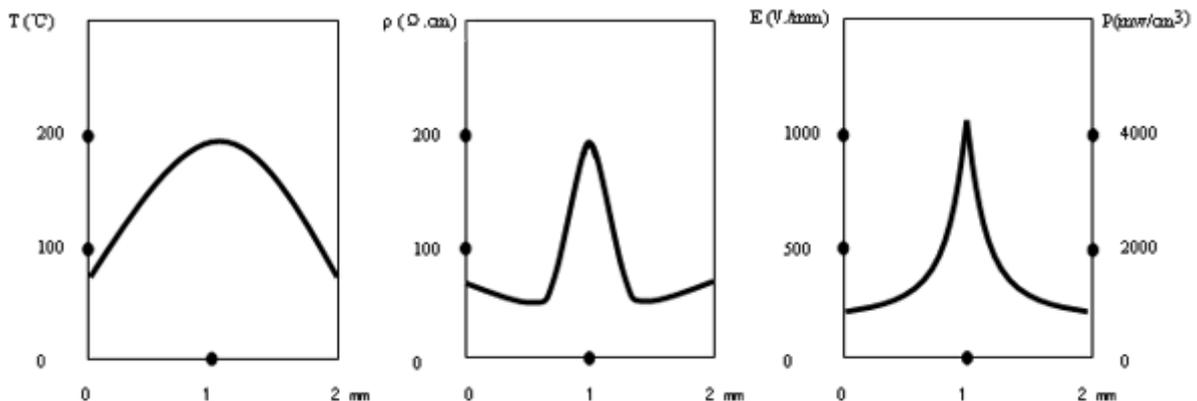
■ PTC 的失效模式

●衡量 PTC 热敏电阻器可靠性有两个主要指标：

A.耐电压能力----超过规定的电压可导致 PTC 热敏电阻器短路击穿，施加高电压可淘汰耐压低的产品，确保 PTC 热敏电阻器在最大工作电压（ V_{max} ）以下是安全的；

B、耐电流能力----超过规定的电流或开关次数可导致 PTC 热敏电阻器呈现不可恢复的高阻态而失效，循环通断试验不能全部淘汰早期失效的产品。

●在规定的使用条件下，PTC 失效后呈现高电阻态。长期（一般大于 1000 小时）施加在 PTC 热敏电阻器上的电压导致其常温电阻升高的幅度极小，居里温度超过 200°C 的 PTC 发热元件相对要明显。除 PTC 发热元件外，PTC 失效的主要原因是由于开关操作中陶瓷体中心产生应力开裂。如下图，在 PTC 热敏电阻器动作过程中，PTC 瓷片内温度、电阻率、电场、和功率密度的分布不均匀导致中心应力大而分层裂开。



PTC 瓷片内温度、电阻率、电场、和功率密度沿片厚度方向的分布

什么是压敏电阻器及其分类与参数？

压敏电阻器简称 VSR，是一种对电压敏感的非线性过电压保护半导体元件。它在电路中用文字符号“RV”或“R”表示，图 1-21 是其电路图形符号。

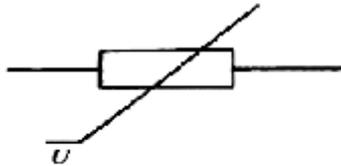


图 1-21 压敏电阻器的电路图形符号

(一) 压敏电阻器的种类

压敏电阻器可以按结构、制造过程、使用材料和伏安特性分类。

1. 按结构分类 压敏电阻器按其结构可分为结型压敏电阻器、体型压敏电阻器、单颗粒层压敏电阻器和薄膜压敏电阻器等。结型压敏电阻器是因为电阻体与金属电极之间的特殊接触，才具有了非线性特性，而体型压敏电阻器的非线性是由电阻体本身的半导体性质决定的。
2. 按使用材料分类 压敏电阻器按其使用材料的不同可分为氧化锌压敏电阻器、碳化硅压敏电阻器、金属氧化物压敏电阻器、锗（硅）压敏电阻器、钛酸钡压敏电阻器等多种。
3. 按其伏安特性分类 压敏电阻器按其伏安特性可分为对称型压敏电阻器（无极性）和非对称型压敏电阻器（有极性）。

(二) 压敏电阻器的结构特性与作用

1. 压敏电阻器的结构特性 压敏电阻器与普通电阻器不同，它是根据半导体材料的非线性特性制成的。

图 1-22 是压敏电阻器忍气吞声外形，其内部结构如图 1-23 所示。

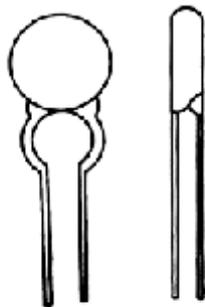


图 1-22 压敏电阻器外形

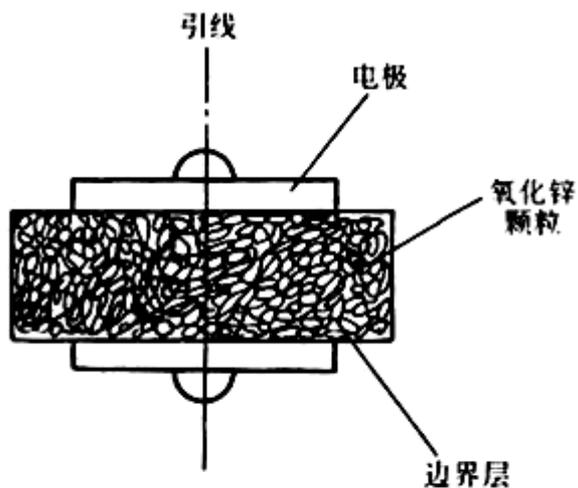


图 1-23 压敏电阻器的内部结构

普通电阻器遵守欧姆定律，而压敏电阻器的电压与电流则呈特殊的非线性关系。当压敏电阻器两端所加电压低于标称额定电压值时，压敏电阻器的电阻值接近无穷大，内部几乎无电流流过。当压敏电阻器两端电压略高于标称额定电压时，压敏电阻器将迅速击穿导通，并由高阻状态变为低阻状态，工作电流也急剧增大。当其两端电压低于标称额定电压时，压敏电阻器又能恢复为高阻状态。当压敏电阻器两端电压超过其最限制电压时，压敏电阻器将完全击穿损坏，无法再自行恢复。

2. 压敏电阻器的作用与应用 压敏电阻器广泛地应用在家用电器及其它电子产品中，起过电压保护、防雷、抑制浪涌电流、吸收尖峰脉冲、限幅、高压灭弧、消噪、保护半导体元器件等作用。

图 1-24 是压敏电阻器的典型应用电路。

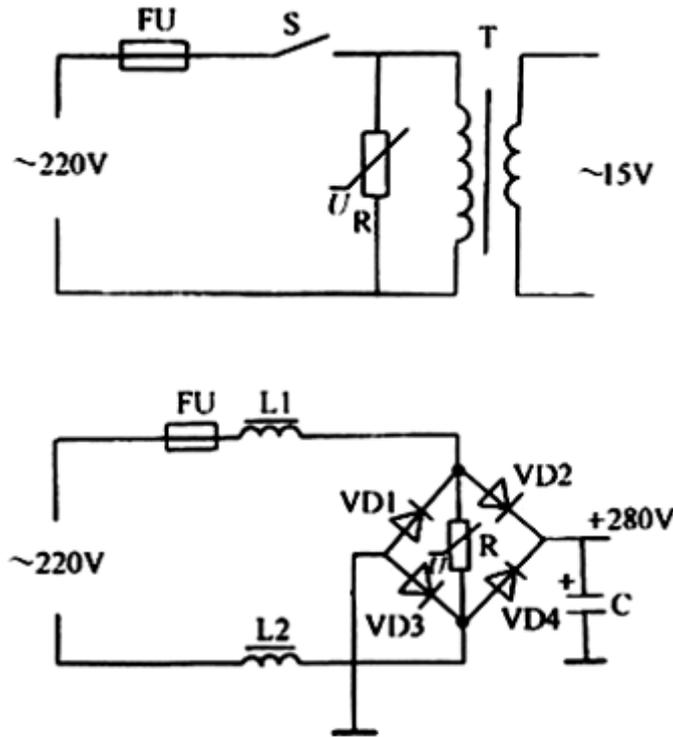


图 1-24 压敏电阻器的典型应用电路

(三) 压敏电阻器的主要参数

压敏电阻器的主要参数有标称电压、电压比、最大控制电压、残压比、通流容量、漏电流、电压温度系数、电流温度系数、电压非线性系数、绝缘电阻、静态电容等。

1. 标称电压 标称电压是指通过 1mA 直流电流时，压敏电阻器两端的电压值。
2. 电压比 电压比是指压敏电阻器的电流为 1mA 时产生的电压值与压敏电阻器的电流为 0.1mA 时产生的电压值之比。
3. 最大限制电压 最大限制电压是指压敏电阻器两端所能承受的最高电压值。
4. 残压比 流过压敏电阻器的电流为某一值时，在它两端所产生的电压称为这一电流值为残压。残压比则的残压与标称电压之比。
5. 通流容量 通流容量也称通流量，是指在规定的条件（以规定的时间间隔和次数，施加标准的冲击电流）下，允许通过压敏电阻器上的最大脉冲（峰值）电流值。
6. 漏电流 漏电流与称等待电流，是指压敏电阻器在规定的温度和最大直流电压下，流过压敏电阻器的电流。
7. 电压温度系数 电压温度系数是指在规定的温度范围（温度为 20~70℃）内，压敏电阻器标称电压的变化率，即在通过压敏电阻器的电流保持恒定时，温度改变 1℃ 时压敏电阻两端的相对变化。
8. 电流温度系数 电流温度系数是指在压敏电阻器的两端电压保持恒定时，温度改变 1℃ 时，流过压敏电阻器电流的相对变化。
9. 电压非线性系数 电压非线性系数是指压敏电阻器在给定的外加电压作用下，其静态电阻值与动态电阻值之比。

10. 绝缘电阻 绝缘电阻是指压敏电阻器的引出线（引脚）与电阻体绝缘表面之间的电阻值。

11. 静态电容 静态电容是指压敏电阻器本身固有的电容容量。

压敏电阻选用的基本知识

什么是压敏电阻器及其分类与参数?

压敏电阻器简称 VSR，是一种对电压敏感的非线性过电压保护半导体元件。它在电路中用文字符号“RV”或“R”表示，图 1-21 是其电路图形符号。

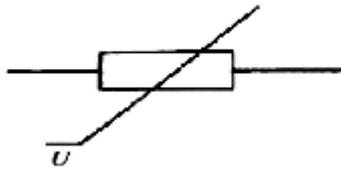


图 1-21 压敏电阻器的电路图形符号

(一) 压敏电阻器的种类

压敏电阻器可以按结构、制造过程、使用材料和伏安特性分类。

1. 按结构分类 压敏电阻器按其结构可分为结型压敏电阻器、体型压敏电阻器、单颗粒层压敏电阻器和薄膜压敏电阻器等。

结型压敏电阻器是因为电阻体与金属电极之间的特殊接触，才具有了非线性特性，而体型压敏电阻器的非线性是由电阻体本身的半导体性质决定的。

2. 按使用材料分类 压敏电阻器按其使用材料的不同可分为氧化锌压敏电阻器、碳化硅压敏电阻器、金属氧化物压敏电阻器、锗（硅）压敏电阻器、钛酸钡压敏电阻器等多种。

3. 按其伏安特性分类 压敏电阻器按其伏安特性可分为对称型压敏电阻器（无极性）和非对称型压敏电阻器（有极性）。

(二) 压敏电阻器的结构特性与作用

1. 压敏电阻器的结构特性 压敏电阻器与普通电阻器不同，它是根据半导体材料的非线性特性制成的。

图 1-22 是压敏电阻器外形，其内部结构如图 1-23 所示。

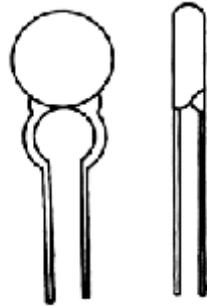


图 1-22 压敏电阻器外形

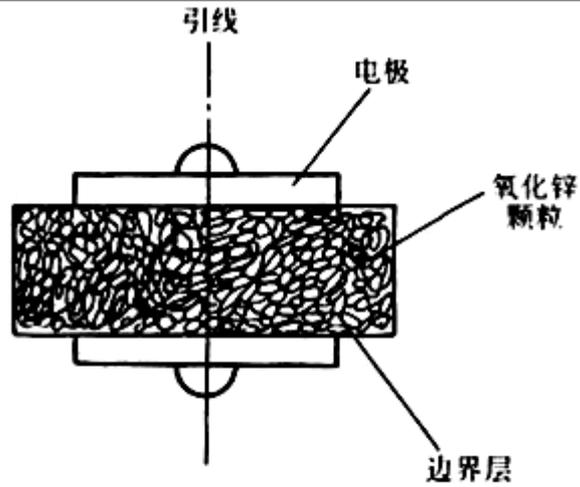


图 1-23 压敏电阻器的内部结构

普通电阻器遵守欧姆定律，而压敏电阻器的电压与电流则呈特殊的非线性关系。当压敏电阻器两端所加电压低于标称额定电压值时，压敏电阻器的电阻值接近无穷大，内部几乎无电流流过。当压敏电阻器两端电压略高于标称额定电压时，压敏电阻器将迅速击穿导通，并由高阻状态变为低阻状态，工作电流也急剧增大。当其两端电压低于标称额定电压时，压敏电阻器又能恢复为高阻状态。当压敏电阻器两端电压超过其最大限制电压时，压敏电阻器将完全击穿损坏，无法再自行恢复。

2. 压敏电阻器的作用与应用 压敏电阻器广泛地应用在家用电器及其它电子产品中，起过电压保护、防雷、抑制浪涌电流、吸收尖峰脉冲、限幅、高压灭弧、消噪、保护半导体元器件等作用。

图 1-24 是压敏电阻器的典型应用电路。

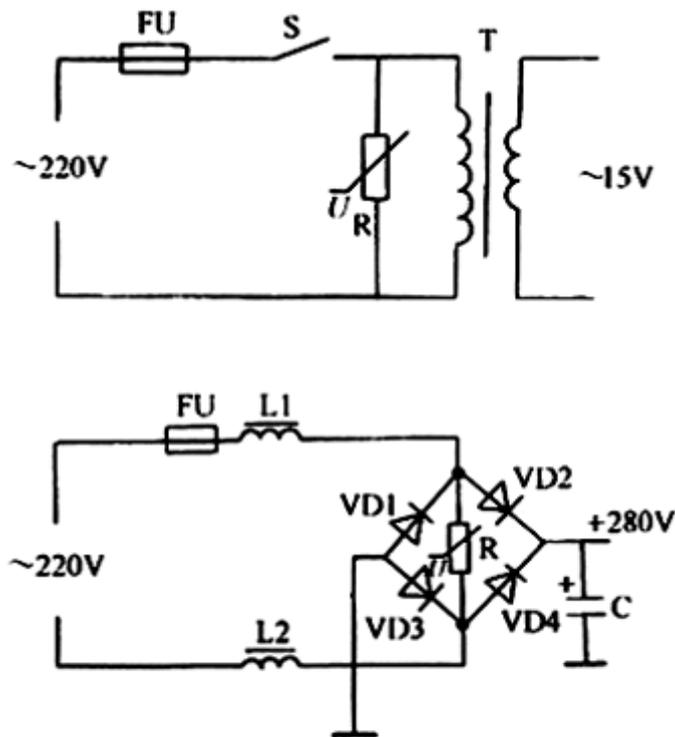


图 1-24 压敏电阻器的典型应用电路

压敏电阻器的主要参数有标称电压、电压比、最大控制电压、残压比、通流容量、漏电流、电压温度系数、电流温度系数、电压非线性系数、绝缘电阻、静态电容等。

1. 压敏电压： MYG05K 规定通过的电流为 0.1mA，MYG07K、MYG10K、MYG14K、MYG20K 标称电压是指通过 1mA 直流电流时，压敏电阻器两端的电压值。

2. 最大允许电压（最大限制电压）： 此电压分交流和直流两种情况，如为交流，则指的是该压敏电阻所允许加的交流电压的有效值，以 ACrms 表示，所以在该交流电压有效值作用下应该选用具有该最大允许电压的压敏电阻，实际上 V1mA 与 ACrms 间彼此是相互关联的，知道了前者也就知道了后者，不过 ACrms 对使用者更直接，使用者可根据电路工作电压，可以直接按 ACrms 来选取合适的压敏电阻。在交流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (2.2 \sim 2.5)U_{ac}$ ，式中 U_{ac} 为回路中的交流工作电压的有效值。上述取值原则主要是为了保证压敏电阻在电源电路中应用时，有适当的安全裕度。对直流而言在直流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (1.6 \sim 2)U_{dc}$ ，式中 U_{dc} 为回路中的直流额定工作电压。在交流回路中，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (2.2 \sim 2.5)U_{ac}$ ，式中 U_{ac} 为回路中的交流工作电压的有效值。上述取值原则主要是为了保证压敏电阻在电源电路中应用时，有适当的安全裕度。在信号回路中时，应当有： $\min(U_{1mA}) \geq (1.2 \sim 1.5)U_{max}$ ，式中 U_{max} 为信号回路的峰值电压。压敏电阻的通流容量应根据防雷电路的设计指标来定。一般而言，压敏电阻的通流容量要大于等于防雷电路设计的通流容量。

3. 通流容量： 通流容量也称通流量，是指在规定的条件（以规定的时间间隔和次数，施加标准的冲击电流）下，允许通过压敏电阻器上的最大脉冲（峰值）电流值。一般过压是一个或一系列的脉冲波。实验压敏电阻所用的冲击波有两种，一种是为 8/20 μ s 波，即通常所说的波头为 8 μ s 波尾时间为 20 μ s 的脉冲波，另外一种为 2ms 的方波，如下图所示：

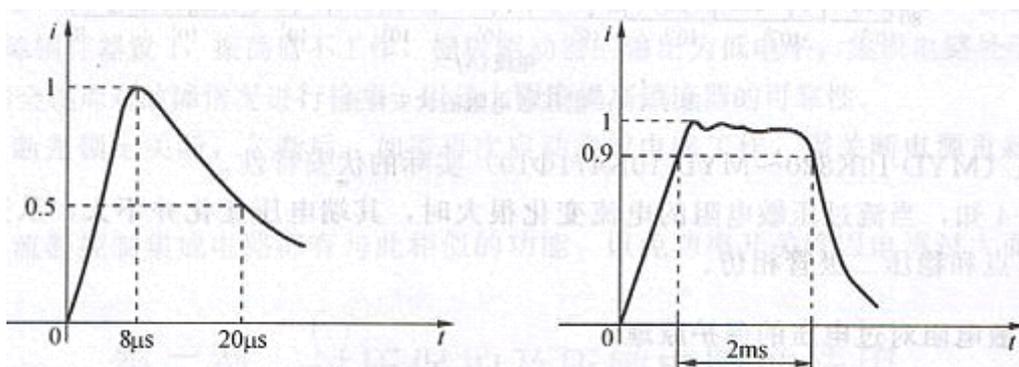


图 9-7 试验压敏电阻所用的冲击电流波形

4. 最大限制电压： 最大限制电压是指压敏电阻器两端所能承受的最高电压值，它表示在规定的冲击电流 I_p 通过压敏电阻时次两端所产生的电压此电压又称为残压，所以选用的压敏电阻的残压一定要小于被保护物的耐压水平 V_0 ，否则便达不到可靠的保护目的，通常冲击电流 I_p 值较大，例如 2.5A 或者 10A，因而压敏电阻对应的最大限制电压 V_c 相当大，例如 MYG7K471 其 $V_c=775(I_p=10A)$ 时)。

5. 最大能量(能量耐量)： 压敏电阻所吸收的能量通常按下式计算 $W=kIVT(J)$

其中 I ——流过压敏电阻的峰值

V ——在电流 I 流过压敏电阻时压敏电阻两端的电压

T ——电流持续时间

k ——电流 I 的波形系数

对：

2ms 的方波 $k=1$

8/20 μ s 波 $k=1.4$

10/1000 μ s $k=1.4$

压敏电阻对 2ms 方波，吸收能量可达 330J 每平方厘米；对 8/20 μ s 波，电流密度可达 2000A 每立方厘米，这表明他的通流能力及能量耐量都是很大的

一般来说压敏电阻的片径越大，它的能量耐量越大，耐冲击电流也越大，选用压敏电阻时还应当考虑经常遇到能量较小、但出现频率次数较高的过电压，如几十秒、一两分钟出现一次或多次的过电压，这时就应该考虑压敏电阻所能吸收的平均功率。

- 6. **电压比：** 电压比是指压敏电阻器的电流为 1mA 时产生的电压值与压敏电阻器的电流为 0.1mA 时产生的电压值之比。
- 7. **额定功率：** 在规定的环境温度下所能消耗的最大功率。
- 8. **最大峰值电流** 一次：以 8/20μs 标准波形的电流作一次冲击的最大电流值，此时压敏电压变化率仍在±10%以内。2 次：以 8/20μs 标准波形的电流作两次冲击的最大电流值，两次冲击时间间隔为 5 分钟，此时压敏电压变化率仍在±10%以内。
- 9. **残压比：** 流过压敏电阻器的电流为某一值时，在它两端所产生的电压称为这一电流值为残压。残压比则的残压与标称电压之比。
- 10. **漏电流：** 漏电流又称等待电流，是指压敏电阻器在规定的温度和最大直流电压下，流过压敏电阻器的电流。
- 11. **电压温度系数：** 电压温度系数是指在规定的温度范围（温度为 20~70℃）内，压敏电阻器标称电压的变化率，即在通过压敏电阻器的电流保持恒定时，温度改变 1℃时压敏电阻两端的相对变化。
- 12. **电流温度系数：** 电流温度系数是指在压敏电阻器的两端电压保持恒定时，温度改变 1℃时，流过压敏电阻器电流的相对变化。

$$\frac{V_c (+85^\circ\text{C}) - V_c (+25^\circ\text{C})}{V_c (+25^\circ\text{C})} \times \frac{1}{60} \times 100\%$$

- 13. **电压非线性系数：** 电压非线性系数是指压敏电阻器在给定的外加电压作用下，其静态电阻值与动态电阻值之比。
- 14. **绝缘电阻：** 绝缘电阻是指压敏电阻器的引出线（引脚）与电阻体绝缘表面之间的电阻值。
- 15. **静态电容：** 静态电容是指压敏电阻器本身固有的电容容量。

压敏电阻标称参数

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，一般选择标称压敏电压 V_{1mA} 和通流容量两个参数。

1.1 理论研究

1972 年美国通用电气公司（GE）购买了****松下电器公司有关氧化锌压敏材料的大部分专利和技术诀窍。自从美国掌握了氧化锌压敏陶瓷的制造技术以后，大规模地进行了这种陶瓷材料的基础研究工作。自 80 年代起，对氧化锌压敏陶瓷材料的研究逐渐走进了企业。迄今为止，主要的理论研究工作都是在美国完成的。主要的研究课题有：

- (1) 以解释宏观电性为目的的导电模型的微观结构的研究（70~80 年代）；
- (2) 以材料与产品开发为目的的配方机理和烧结工艺的研究（70~80 年代）；
- (3) 氧化锌压敏陶瓷材料非线性网络拓扑模型的研究（80~90 年代）；
- (4) 氧化锌压敏陶瓷复合粉体的制备研究（80~90 年代）；
- (5) 纳米材料在氧化锌压敏陶瓷中的应用研究（90 年代）。

1.2 研制开发

70年代末到80年代,基础理论研究取得了重大进展。据不完全统计,截止到1998年,公开发表的论文和专利说明书等累计达700多篇,其中有关基础研究的约占一半。在基础研究的推动下,80~90年代,压敏陶瓷的材料开发速度大大加快,目前已取得成果有:

- (1) 氧化锌压敏陶瓷的电压梯度已从最初的150V/mm扩散到(20~250)V/mm几十个系列,从集成电路到高压、超高压输电系统都可以使用;
- (2) 开发出大尺寸元件,直径达120mm,2ms方波,冲击电流达到1200A,能量容量平均可达300J/cm³左右;
- (3) 汽车用(85~120)℃工作温度下的高能元件;
 - (4) 视在介电常数小于500的高频元件;
 - (5) 压敏—电容双功能电磁兼容(EMC)元件;
 - (6) 毫秒级三角波、能量密度750J/cm³以上的低压高能元件;
 - (7) 老化特性好、容量大、陡波响应快的无铋(Bi)系氧化锌压敏元件;
 - (8) 化学共沉淀法和热喷雾分解法压敏电阻复合粉体制备技术;
 - (9) 压敏电阻的微波烧结技术;
 - (10) 无势垒氧化锌大功率线性电阻。

2 压敏电阻器的应用原理

压敏电阻器是一种具有瞬态电压抑制功能的元件,可以用来代替瞬态抑制二极管、齐纳二极管和电容器的组合。压敏电阻器可以对IC及其它设备的电路进行保护,防止因静电放电、浪涌及其它瞬态电流(如雷击等)而造成对它们的损坏。使用时只需将压敏电阻器并接于被保护的IC或设备电路上,当电压瞬间高于某一数值时,压敏电阻器阻值迅速下降,导通大电流,从而保护IC或电器设备;当电压低于压敏电阻器工作电压值时,压敏电阻器阻值极高,近乎开路,因而不会影响器件或电器设备的正常工作。

压敏电阻器的应用广泛,压敏电阻主要可用于直流电源、交流电源、低频信号线路、带馈电的天馈线路。从手持式电子产品到工业设备,其规格与尺寸多种多样。随着手持式电子产品的广泛使用,尤其是手机、手提电脑、PDA、数码相机、医疗仪器等,其电路系统的速度要求更高,并且要求工作电压更低,这就对压敏电阻器提出了体积更小、性能更高的要求。因此,表面组装的压敏电阻器元件也就开始大量涌现,而其销售年增长率要高于有引线的压敏电阻器一倍多。

预计2002年压敏电阻器的市场增长率为13%,其中,多层片式压敏电阻器市场增长率为20%~30%,径向引线产品增长率为5%~10%。需求主要来自于电源设备,包括DC电源设备、不间断电源,以及新的消费类电子产品,如数字音频/视频设备、视频游戏、数码相机等。片式压敏电阻器已占美国市场销售总额的40%~45%。(0402)尺寸的片式压敏电阻器最受欢迎。0201尺寸的产品尚未上市。AVX公司的0402片式压敏电阻器有5.6V、9V、14V和18V等几种电压范围的产品,它们的额定功率为50mJ,典型电容值范围从90pF(18V的产品)~360pF(5.6V的产品)。MaidaDevelopment公司也生产片式系列的压敏电阻器,但目前只推出了非标尺寸的产品,1210、1206、0805、0603和0402的产品正在试产。

Littelfuse公司在2000年底推出0201的产品。AVX和Littelfuse公司已推出电压抑制器阵列,如AVX推出的Multiguard系列四联多层陶瓷瞬态电压抑制器阵列(即压敏电阻器阵列)已经被市场接纳。可节省50%的板上空间,75%的生产装配成本。Multiguard系列采用1206型规格。其中有一种双联元件采用0805规格,工作电压有5.6V、9V、14V和18V等几种,额定功率为0.1J。AVX公司推出Transfeed多层陶瓷瞬态电压抑制器。该产品综合了公司Transguard系列压敏电阻器和Feedthru系列电容器/滤波器的功能。采用0805规格。该组件具有性能优势,更快的导通时间(或称响应时间,在200ps~250ps之间)和更小的并行系数。

Littelfuse制造的MLN浪涌阵列组件1206规格,内装4只多层压敏电阻器。该产品的ESD达到IEC671000-4-2第四级水平。其主要特性包括:感抗(1nH),相邻通道串扰典型值50dB(频率1MHz时),在额定电压工作状态下,漏电流为5A,工作电压高达18V,电容值可由用户指定。这种MLN贴片组件可用于板级ESD保护,应用领域包括手持式产品、电脑产品、工业及医疗仪器等。

EPCOS公司推出了T4N-A230XFV集成浪涌抑制器,内含两只压敏电阻器和一种短路装置。该产品用于电信中心局和用户线一侧的通信设备保护。

3. 压敏电阻的选用

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：

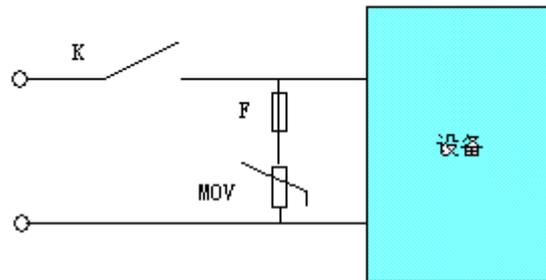
对于直流回路： $V_{1mA} \geq 2.0VDC$

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_o 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_o 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。

3、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)



F-熔断器 FUSE
图4 压敏电阻器接线图
FIG4. THE WIRING DIAGRAM

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)。

表 1 推荐熔断器规格

品种	5K	7K	10K	14K	20K
推荐熔断器规格	3A	5A	7A	10A	10A

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过电压幅值和能量的不同而不同。



图 1 采用压敏电阻的防护连接

在电子镇流器和节能灯过压保护的压敏电阻,一般小于 20W 选用 MYG07K 系列, 30W-40W 一般选用 MYG10 系列的压敏电阻做过压保护

4 氧化锌压敏电阻存在的问题

现有压敏电阻在配方和性能上分为相互不能替代的两大类:

4.1 高压型压敏电阻

高压型压敏电阻,其优点是电压梯度高(100~250V/mm)、大电流特性好($V_{10kA}/V_{1mA} \leq 1.4$)但仅对窄脉宽($2 \leq ms$)的过压和浪涌有理想的防护能力,能量密度较小,(50~300) J/cm³。

4.2 高能型压敏电阻

高能型压敏电阻,其优点是能量密度较大(300J/cm³~750J/cm³),承受长脉宽浪涌能力强,但电压梯度较低(20V/mm~500V/mm),大电流特性差($V_{10kA}/V_{1mA} > 2.0$)。

这两种配方的性能差别造成了许多应用上的“死区”,例如:在 10kV 电压等级的输配电系统中已经广泛采用了真空开关,由于它动作速度快、拉弧小,会在操作瞬间造成极高过压和浪涌能量,如果选用高压型压敏电阻加以保护(如氧化锌避雷器),虽然它电压梯度高、成本较低,但能量容量小,容易损坏;如果选用高能型压敏电阻,虽然它能量容量大,寿命较长,但电压梯度低,成本太高,是前者的 5~13 倍。

在中小功率变频电源中,过压保护的對象是功率半导体器件,它对压敏电阻的大电流特性和能量容量的要求都很严格,而且要同时做到元件的小型化。高能型压敏电阻在能量容量上可以满足要求,但大电流性能不够理想,小直径元件的残压比较高,往往达不到限压要求;高压型压敏电阻的大电流特性较好,易于小型化,但能量容量不够,达不到吸能要求。目前中小功率变频电源在国内外发展非常迅速,国内销售量已近 100 亿元/年,但压敏电阻在这一领域的应用几乎还是空白。

压敏电阻的失效模式主要是短路,当通过的过电流太大时,也可能造成阀片被炸裂而开路。压敏电阻使用寿命较短,多次冲击后性能会下降。因此由压敏电阻构成的防雷器长时间使用后存在维护及更换的问题。

解决上述问题的有效方法是提高高压型压敏电阻的能量密度,或提高高能型压敏电阻的电压梯度和非线性系数(降低残压比),即开发高压高能型压敏电阻。

5 应用纳米材料改性压敏电阻

氧化锌压敏陶瓷属体型压敏材料,电压、电流特性对称,压敏电压和通流能力可以控制,具有很高的非线性系数,成为当今压敏材料中的一个重要分支。为了解决高压型压敏电阻与高能型压敏电阻应用上的“死区”,提出添加纳米材料进行压敏电阻改性实验研究,制得高压高能型压敏电阻,将能大幅度提高电压梯度、非线性系数和能量密度。

到目前为止,在亚微米级前驱粉体基础上进行的各种传统改性研究(粉体制备方法的改进、配方和烧结工艺调整等),均无法解决高压高能问题,实现高压高能压敏电阻是公认的难题。压敏行业的专家普遍认为:发展多学科交叉研究,利用新技术、新材料对压敏电阻进行改性是解决问题的关键。在各种新技术、新材料的应用方面,纳米材料已得到广泛重视,也正在形成一种新的发展趋势。目前国内外有相当一批学者正在着手这方面的研究,初步研究结果已经显示出采用纳米材料是实现高压高能的有效途径。

在国外由前南斯拉夫塞尔维亚科学院 Milosevic1994 年使用高能球磨法,制成平均粒径 100nm 以下的复合 ZnO 压敏电阻粉末,经高温烧结而成的压敏电阻,非线性系数达到 45,烧成密度达到理论密度的 99%,而且漏电流比较小。

由此可见,纳米材料可以大幅度提高电压梯度、非线性系数(即降低残压比,改善大电流特性)和能量密度,对实现压敏电阻和高

压高能具有重要意义。

但是，当前文献报道所涉及的研究方法仅限于全部使用纳米材料，这种方法工艺复杂、成本高，不便于生产应用。而在采用纳米添加法领域内（使用少量或微量的纳米粉与亚微米粉相结合的方法），对压敏电阻进行改性研究，这种方法的优点在于：

纳米添加法具有选择性，可根据不同的应用需要，有目的地进行单组份纳米添加实验，寻求改性效果最佳的纳米材料和添加比例，因而原料成本不会大幅度增加。

制备方法简单，基本上改变压敏电阻的现有生产方法，研究成果便于直接应用到生产实际中去。

6 结论

综上所述，压敏电阻器应用趋向为：有引线的压敏电阻器近两年来仍有一定幅度的增长，目前为总需求的 55%~60%；由于手持式电子产品的广泛使用，片式无引线压敏电阻器市场增长率将不断提高，将逐步超过有引线的压敏电阻器产量，成为今后的主流产品。在研究和产品开发方面，采用纳米添加改性压敏电阻，研究开发一种全新概念的氧化锌压敏电阻，实现压敏电阻的高压高能化，将具有很好的市场前景和实际应用价值。

一、压敏电阻的安全性问题：

压敏电阻起火燃烧的表现现象，大体上可分为老化失效和暂态过电压破坏两种类型在以往的应用中，跨接在电源线上的压敏电阻器出现过起火燃烧，危机临近其它元器件的事故。对此，制造者和使用者共同进行了大量研究和分析工作，采取了相应的对策，极大地降低了这类事故的概率，但尚未杜绝，因此，压敏电阻的使用安全性仍是个值得重视、需要继续研究解决的课题。

压敏电阻起火燃烧的表现现象，大体上可分为老化失效和暂态过电压破坏两种类型。

①老化失效，这是指电阻体的低阻线性化逐步加剧，漏电流恶性增加且集中流入薄弱点，薄弱点材料融化，形成 1kΩ 左右的短路孔后，电源继续推动一个较大的电流灌入短路点，形成高热而起火。这种事故通常可以通过一个与压敏电阻串联的热熔接点来避免。热熔接点应与电阻体有良好的热耦合，当最大冲击电流流过时不会断开，但当温度超过电阻体上限工作温度时即断开。研究结果表明，若压敏电阻存在着制造缺陷，易发生早期失效，强度不大的电冲击的多次作用，也会加速老化过程，使老化失效提早出现。

②暂态过电压破坏，这是指较强的暂态过电压使电阻体穿孔，导致更大的电流而高热起火。整个过程在较短时间内发生，以至电阻体上设置的热熔接点来不及熔断。在三相电源保护中，N-PE 线之间的压敏电阻器烧坏起火事故概率较高，多数是属于这一种情况。相应的对策集中在压敏电阻损坏后不起火。一些压敏电阻的应用技术资料中，推荐与压敏电阻串联电流熔丝（保险丝）进行保护。

二、压敏电阻的连接线问题

将压敏电阻接入电路的连接线要足够粗，推荐的连接线的尺寸注：接地线为 5.5 mm² 以上连接线要尽可能短，且走直线，因为冲击电流会在连接线电感上产生附加电压，使被保护设备两端的限制电压升高。

压敏电阻通流量	≤600A	(600~2500)A	(2500~4000)A	(4000~20K)A
导线截面积	≥ 0.3 mm ²	≥ 0.5 mm ²	≥ 0.8 mm ²	≥ 2 mm ²

例如：若压敏电阻 MY 两端各有 3 cm 长的接线，它的电感量 L 大体为 18 nH，若有 10 KA 的 8/20 冲击电流流入压敏电阻，把电流的升速看作 10KA / 8Ms，则引线电感上的附加电压 UL1、UL2 大体为

$$UL1=UL2=L(di/dt)=18 \times 10^{-9} (10 \times 10^3 / 8 \times 10^{-6}) = 22.5 \text{ V}$$

这就使限制电压增高了 45V。

三、压敏电阻的串联和配对

压敏电阻可以很简单地串联使用。将两只电阻体直径相同（通流量相同）的压敏电阻串联后，漆压敏电压、持续工作电压和限制电压相加，而通流量指标不变。例如在高压电力避雷器中，要求持续工作电压高达数千伏，数万伏，就是将多个 ZnO 压敏电阻阀片迭和起来（串联）而得到的。

压敏电阻可以并联，目的是获得更大的通流量，或者在冲击电流峰值一定的条件下减小电阻体中的电流密度，以降低限制电压。

当要求获得极大的通流量 [例如 8/20, (50~200) KA]，且压敏电压又比较低（例如低于 200V）时，电阻体的直径 / 厚

度比太大，在制造技术上有困难，且随着电阻体直径的加大，电阻体的微观均匀性变差，因此通流量不可能随电阻体面积成比例地增大。这时用较小直径的电阻片并联可能是个更合理的方法。

由于高非线性，压敏电阻片的并联需要特别小心谨慎，只有经过仔细配对，参数相同的电阻片相并联，才能保证电流在各电阻片之间均匀分配。针对这种需求，本公司专门为用户提供配对的电阻片。

此外，纵向连结的几个压敏电阻器，使用经过配对的参数一致的压敏电阻器后，当冲击侵入时，出现在横向的电压差可以很小。在这种情况下，配对也是有意义的。

四、压敏电阻与气体放电器件的串联和并联

压敏电阻可以与气体放电管、空气隙、微放电间隙等气体放电器件相串联（图 10.5a），这个串联组合的正常工作要满足两个基本条件：①、系统电压上限值应低于气体放电器件 G 的直流击穿电压；②、G 点火后在系统电压上限值下，压敏电阻 MY 中的电流应小于 G 的电弧维持电流，以保证 G 的熄弧。

这种串联组合具有电容量小，工作频率高；漏电流极小安全性好；以及不存在压敏电阻 MY 在系统电压下老化的问题，因而可靠性高等优点，但同时也有气体放电器件相应慢所引起的"让通电压"问题。

压敏电阻也可与气体放电管并联，以降低气体放电管的冲击点火电压。

雷电与防雷误区

随着电子技术的发展，电子器件已进入大规模集成电路时代。电子设备的功能得以改善，运行的可靠性不断提高，然而防雷的能力却大大地降低了。现在，每年遭到雷击而造成的损失数以亿元计，所以研究保护微电子设备免遭雷电危害已成为一个重要课题。虽然近两个世纪出现了很多的防雷方法和派生出很多防雷器件，但由于对雷电的了解不全面或对器件性能的偏见，往往得不到预期的效果。由于不得其法，浪费了大量资财。本文阐述雷电的成因并指出当前防雷误区，力图打破似乎冻结的防雷方法的规范，以求防雷研究的进展。

1 雷电的形成

1.1 自然界的自由电荷

在电子学中，当人们研究电的现象时发现构成物质的微单元的原子中，围绕原子核高速旋转的外层电子易受外界条件的影响而逸出，使原子缺少电子或者自由电子单独存在而对外部形成电场的带电现象。

金属导体和绝缘体的内部结构区别在于：金属导体中的自由电子内部引力较弱，而绝缘体内部引力较强。所以在金属导体环路中，如加上一种使自由电子逸出的力量（这个力量我们叫电压），由于环路中电压的存在，金属中的电子产生位移式的流动，不过金属内的正负电荷量的绝对值是相等的，一旦去掉加在环路中的电压，环路立即处于中性，没有电子的流动，不再产生电场。

对非环路的金属，比如两块相互平行的金属板，它们之间以空气为介质，如在这两块板上加上电压，金属导体中的电子按同性相斥，异性相吸规律，使电子向一面流动，产生电场，这种现象称为静电现象。这时对某一块金属来说，它们电荷的正负电量的绝对值就不相等了，这时如去掉加在其上的电压，它不像环路那样呈现电中性，却仍保持带电性质，仍然有电场的存在，但是随着时间的推移，这个电场会自然消失。正统的理论解释为 A 片金属的电子通过介质层逐步释放给 B 片金属的结果，这是以环路电流理论为依据的论点。但是，如果将两块已充了电的金属块瞬间拉开到不可能从 A 向 B 释放电子的距离，两块金属会不会永久性地带电呢？事实告诉我们，随着时间的推移带电现象也随之消失，这是什么原因呢？教科书上提到的摩擦起电现象，即绝缘体相互摩擦后，绝缘体出现带电现象，在这种情况下，是否需要两件物体再接触一下才能使绝缘体呈现带电中性呢？事实并非如此，这些悬于空间的带电物体，不管带电性质如何，只要与大地接触一下，带电现象就立即消失。因此这种现象告诉我们，在自然界中，A 给 B 的电荷，A 不必从 B 收回，B 多余的电荷也不一定向 A 输出，这与金属环路电流理论是不相同的。同时可以推定，自然空间（包括大地在内）各种物体电荷的拥有量的绝对值是不相等的，就是说自然界拥有巨大的自由电荷量。

自然界之所以拥有大量的自由电荷，从电势形成概念而言，有电磁效应、化学效应、摩擦起电及射线等诸方面原因，现代科学

可以做到测量人脑电流的运动来判断脑的活动。自然界的自由电荷的成因，用能量守恒定律来规范，可以这样说：凡有物质运动的地方（包括宇宙射线），就会产生电子运动并形成自由电荷，这是一种能转换成另一种能的变换过程，所以自然界物质的运动是自然界产生自由电荷的根源。

所谓自然界，包括天空与大地这样广阔的空间，这个空间不存在电荷的中性，就大地而言，我们称之为零电位，但大地本身因物质的运动其电位并非为零，它拥有大量的自由电荷，我们可以做一个简单的小实验：用一副耳机，或者一只毫伏表，两根同金属性质的金属棒，在一定距离内分别将金属棒插入地下，棒与棒之间用耳机可以听到地电荷的噪音，如果接上毫伏表发现有电压指示，而这种指示不因放电时间的加长而消失，单线传输的电话线路，电话的耳机里的噪音也连续不断，这些都说明大地自由电荷的存在。当然用上述方法无法测量天空自由电荷，但是我们用长波和中波收音机收听电台时，噪音干扰也连续不断，以此证明，天空中有不断的放电现象，说明天空中存在丰富的自由电荷，同时又能形成一定强度的电场放电。

这里反复地论证自然界存在自由电荷，其目的是要解释雷电产生的根源，因为教科书上的环路理论不能对雷电成因进行解释。

1.2 雷电场的产生

雷电的能量是巨大的，在人类活动中，任何单一的电站所发出的电能不可能产生一次雷电所释放的能量，那么这样大的能量积聚是怎样形成的呢？

上面说过，由于物质的运动自然界产生巨大的自由电荷，当然这些自由电荷是产生雷电的根源。从电子学中得知，要形成一个强大的电场，一定是其中一方是同性电荷的积累，但是在天空中空气是绝缘的，同性质的电荷又相斥，它们不可能积聚在一起，不可能形成能量的集中，天空中的物质受气流、宇宙射线的影响而产生自由电荷，且不断增加，在大气层的挤压下向太空高层运动，形成一个电离层，这个电离层是含单性电荷的电子层，其电场的能量是不可估量的。

当大气层中出现潮湿的空气，在上升阶段又遇冷空气结成水状云块时，由于云块可看成是一个整体的导体，在电离层电场力的作用下，云层中的电子推向面向地的一端，虽然云块正负电荷的绝对值相等，但实际上形成了一个静电场，在晴天，云块远距地面而且云块与大地间潮湿空气较稀，它们之间介质绝缘程度较高，不易发生击穿放电现象，但是在雨天，特别是热雨季节，由于云层下降，空气潮湿，在此条件下带电云块击穿空气向大地放电而形成雷电。

雷电不单纯是空间对地放电，往往在空间也会形成雷电。这是因为带电云块在空间的位置较高，当地面的潮湿空气急速上升时，它与带电云块形成的电场在空间放电，形成高空雷电。

上面说过，云块受电离层电场力的作用产生静电现象，这些云块向地放电以后，其本身产生电离即云块的正负电量的绝对值不相等，形成带电现象，带电云块随着气流运动与另一云块形成电场，当它们逐渐接近时产生放电现象是形成空中雷的原因，当我们观察雷电在空间放电时，往往是一次接一次有连续不断的感觉。

1.3 雷电过程

雷电过程也是静电理论中阐明的电场中介质击穿过程。上面说过雷电的成因，雷电是带电云块在运动过程中放电的现象，其放电位置不是固定的，但有一定固定的条件。比如电场中介质的厚度、绝缘系数、气体温度和地表导电系数都影响雷击地点。我们常说的多雷区应该说该地区具备上述诸因素中的几种。但是有人认为雷电是在本位置产生的，这是一种误解。道理很简单：因为在本地区又有什么力量积聚这么大的能量呢？应该是带电云块在运动过程中放电形成雷电，当然在带电云块的作用下，在什么地方放电与地面的前述条件有关，以地貌而言相对高度越高应该说越易遭雷击，这里指的是高建筑物、高山及地表凸出处，但也不一定就在这些地方出现雷击，因为在电场中介质参数不单纯是指厚度，还取决于绝缘系数即环境的温度和气体的温度。我们发现，往往雷击点不在山顶而在平川，这是因为那里的潮湿空气和气温使电场介质的绝缘低于高山而遭雷击。另外，地表的导电也有影响，良好的导电地质比难以导电的地质所产生的雷电场就大得多，所以易导电的地质易于引雷。

雷电场是一个巨大的静电场，是人类不可建造的。巨大的电场面积和所积聚的巨大能量是不可估量而又不可测量的，人们往往在雷电以后，从被雷击的物体破坏的程度估计它的大小。对于雷电流用数以亿安计的词来形容是不过份的，雷电场在放电过程中与静电场放电有相似的地方，但也有差别，人为形成的静电场其储能是极为有限的，所以它在放电过程中放电电流是从最大值逐步减

弱，而雷电场就不同，由于储能巨大，在放电时因通过空间的阻力开始阶段不可能使电场减弱，而是在放电时空气加热以后放电电流达到最大值，再随着电场的减弱放电电流随之下降。所以雷击过程中雷电流是从小到大再减弱，就电的性质而言，由于它是一个静电场的放电，电流的方向是不变的，所形成的的是一个幅度巨大的脉动直流电流。

所以雷电流的主要分量是直流分量，但脉动部分和雷电流与空气及地接触时产生的热骚动形成的谐波和高次谐波的电磁能量也相当大，所以雷电过程中的交流分量也不可小看，雷击过程中，从低频直至米波段这样宽的频谱均受不同程度的干扰，从谐波理论得知，低频段所受干扰较为严重。

如果我们将地面的物体置于某一位置，雷电对这一物体产生的干扰可分为感应干扰和直接干扰。某一物体不在雷电场内，但由于雷电在放电过程，它所产生的强大电磁波使这一物体受电磁波的冲击，这样的雷我们称“感应雷”，当某一物体置于雷电场内，而且物体又作为雷电流的导体，巨大的电流通过该物体使物体遭到严重破坏，这种直接置于雷电场受到雷电的冲击，我们称这种雷为“直接雷”。以现代微电子来说，不管感应雷还是直接雷对微电子器件都会造成永久性的破坏。

2 防雷的误区

2.1 避雷针与避雷器

19世纪后叶，人们发现金属导体尖端放电现象。避雷针是典型的利用尖端放电原理做成的防雷装置，在被保护物体上架设一根金属针，并将它与地相通。它是怎样避雷的呢？解释是这样：当避雷针置于空中对地这个雷电场时，由于避雷针与大地有良好的接触，此时电场能量通过避雷针放电，雷电场消失，使它不发生大电流的放电，从而起到消雷的作用。但是这种解释也有不清楚的地方，即位于强大的雷电场下的避雷针，能否按人们的意愿慢慢地放电使雷电场消失呢？从电学原理也说不通。因为强大的雷电场就像炸药缺少引信一样，避雷针所指的空间就像引信，由于避雷针的引导会一触即发。因为其高度和良好的接地条件要优于其它位置，同时尖端形成的电场又大于其它地方，所以强大的雷电场以避雷针为中心放电区，如果说避雷针本身不具有电抗，接地电阻又达到零值，数以亿安计的雷电流可以顺利通过它，不会形成热效应和雷电位，便可达到避雷目的。但避雷针本身和引线存在着电抗，接地电阻不可能为零，所以雷击过程中，它没有避雷能力，只起到雷击位置的引导作用。人们认识到这一点，但对避雷针有所偏爱或者说对雷电成因不理解，他们将雷电解释为是本位置产生的，就是说讲不清楚的原因，在避雷针设置的地方和相对的空间形成电场，由于避雷针逐步放电而使这一电场建立不起来，所以避雷针起到消雷的作用。事实上从20世纪以来人们对避雷针的避雷作用公开地提出了质疑，因为避雷针成为引雷针的事件屡见不鲜。

然而避雷针在下述情况能发挥一定作用，当带电云块的电量很小，而且又远离地面与大地形成不太强的电场时，避雷针对其电场逐步放电达到消除这个电场的目的。地面有些物体与大地是绝缘的，比如木质结构的古建筑物，在感应雷和直接雷的作用下，可能会带上静电，由于静电的存在可能引起火灾，如果在这些物体上架设避雷针，就可使建筑物与大地形成等电位，避免这些物体在雷电场作用下带静电。

但是，现代的建筑物几乎都是钢筋水泥结构的，它与大地已形成了等电位，显然架设避雷针是多余的。但是现在的建筑物仍沿袭老规矩架设避雷针，其原因很明显，主要是责任和规范问题。说句实话，不设避雷针谁能保证该建筑物不受雷击？安装了避雷针而遭雷击是老天爷的事，责任不在人。

几乎在出现避雷针的同时，在输电线上人们利用尖端放电现象发明了尖端放电避雷器，两个尖端所形成的电场在一定间距内放电，这个间距的大小可以设定在一定电压下放电，于是将它安装在输电线上，使雷电的超压值通过此放电器引导入地达到避雷的目的。20世纪初叶，输电线上普遍安装了形似羊角的羊角避雷器，但是由于羊角避雷器在泄放雷电过程中，空气被加热引起电弧不断，虽然有引导电弧上升的形态，但雷电过后，电路不能正常供电。于是在尖端放电的基础上加了对电压敏感的电阻元件，此元件在超过额定电压时呈现的电阻小，反之阻值增大，对过压引起的电流起到开关作用，这种避雷器称“阀型避雷器”。按压敏原理又派生出气敏和氧化锌器件。

不管羊角型、阀型、气敏和压敏避雷器，它们的结构企图达到一个目的：使输电线上的过压值，通过这些器件，箝位在人为的整定值上，从而使用户设备的端电压不超过额定电压，确保用户设备的安全。

2.2 避雷器件用在不同电路中的反应

现在形形色色的避雷器，如果单纯地就其本身结构来判断是否有防雷作用是不全面的，还要看这些器件用在什么电路。下面介绍几种电路在雷电过程中的反应：

(1) 高压输电线雷电势的分布与过渡

高压输电线是三相三线制，线对地是绝缘的。不管输电线受感应雷或直接雷影响，在三线中的雷电势的电位和相位均是相同的，线与线之间的电位差等于零。所以当雷击高压输电线时，主要危及输电线及其在线路上运行的变压器的对地绝缘。在三线的输电线中，由于各种原因三线对地绝缘系数不尽相同，特别是高压侧的避雷器绝缘性能更难求得一致，所以在雷击过程中会出现一线首先向地放电现象。由于一线放电，该线雷电位迅速下降，此时另外二线的雷电位就高于放电线，线与线之间就出现了雷电位差，这个电压通过变压器高压侧绕组，低压侧（即变压器副边）就由于电磁感应出现雷电压，这个电压很高时就危及用户设备的安全。

(2) 低压输电线雷电势的分布与过渡

低压为三相四线制，零线与大地相连，雷电发生在低压电线时，由于零线本身存在着电抗，接地电阻不可能达到零值，四线上的雷电都向地放电，此时的低压输电线首先是零电位急剧上升，当然相线由于零电位上升而相应上升，而且每相向零线放电时，都是通过用户设备进行的，由于各自的负载不同，相应的雷电位也不尽相同，这样又出现了相对零线间和相间的雷电流。所以当雷击低压线时，对用户设备造成破坏的一是对地绝缘，二是超压过载，往往由于零线电位升高而破坏用户绝缘的故障最明显。

(3) 小电流电路

所谓小电流电路系指电源功率容量小、电源内阻高的电路网络，这种电路我们常见的如电话外线及电子线路本身。

上面说过，目前的防雷器件是由尖端放电和压敏原理派生，这些器件用于线路超压保护时，接线方式一般为线间并联及线与地间并联，这种器件在小电流电路上是能有效地箝定超压电流的，因为小电流电路功率容量小，电源内阻高。比如：当雷电冲击电话用户时，雷电流通过用户线倒传到交换机的终端，如果交换机终端安了压敏器件，压敏器件对雷电流进行泄放时，电话线路由于阻值大将雷电流给予限制，因此压敏器件能箝定在它的阈值上。在电子电路中，我们常见在稳压二极管的前面串联一只电阻，这只电阻是限流电阻，也可看成是为增加电源内阻而设定的，由于此电阻的限流，稳压二极管就能将电压箝定在它的阈值上，但负载电流不能大，否则稳压值低于阈值，所以在小电流电路中，使用压敏器件进行电压的箝位能有效地防止雷电的冲击，就是说防雷效果是显著的。

(4) 大电流电路

大电流电路一般指电源电路，这种电路的特点是功率容量大、电源内阻小。如果在这样的电路上使用压敏器件并联在线路上，力图用压敏器件的过压放电特性，将过压值箝定在压敏器件的阈值上显然是做不到的。雷电要在电源电路形成超压状态，它的功率能量必须大于电源电路的能量，这样一个巨大的能量由压敏器件泄放而器件本身不损坏是不可能的，这是其一；其二，由于电源内阻小，就是在压敏器件放电过程中，压敏器件两端电压不会低于线路的过压值，这样用户设备同样受雷电过压的冲击。

现在市面上有些设备号称具有防雷功能，单纯的将防雷器件和整机并联在电源上，并在电源电路上串联保险丝。制作者们认为在雷击过程中，压敏器件放电而使电路过流而熔断保险丝，达到避雷的目的。这样的接线，对功率器件即电机和电力变压器有一定的避雷作用，但对于微电子设备没有防范功效。前面说过加在压敏器件上的过压值同时加到了用户设备上，而且由于电源内阻小，电压不会因此而降落很多，另外，保险丝是一个热元件，有一个熔断时间，所以用保险丝与压敏器件配合的避雷器装置，对于微电子设备而言是不可取的。

要使压敏器件在电源电路上发挥避雷作用，只有增加电源内阻即在电路上串联电抗元件，但是由于这个电抗元件使电路在正常工作状态下，降低了工作电压，同时又随负载的变化而波动使此电源不能使用，所以当今防雷问题的焦点几乎在电源线引雷问题上。

由于电源线上不能串联电抗元件，但又要使用压敏器件泄放雷电流，于是有人从雷电频谱入手，提出了雷电的浪流现象。什么

是浪流呢？雷电如水浪一样来势凶猛，下降迅速，认为这样一个冲击电流主要分量在高频，所以在电路上使用毫亨级的电感就能防止浪流。当然毫亨级的电感对于 50Hz 的电源频率几乎不形成有影响的电抗。但是前面说过，雷电是静电场的放电现象，主要分量是直流，谐波频率较宽。这个交流分量很小，所以把雷电频谱定在高频是不对的，因此使用高频电感的方法要获得较好的防雷效果是不可能的。

当前对于微电子设备的防雷方法使用 1：1 变压器，普遍认为具有较好的防雷效果，为什么能得到这样的效果呢？认为：它能阻止浪流，起隔离作用。但这种解释没有说到点子上。应该是 1：1 隔离变压器将大功率容量的电源变成了定功率容量的电源。由于变压器具有磁饱和效应，如果在它的副边并接压敏器件，由于功率容量受到限制，压敏器件能将电压箝位。因为现在生产的氧化锌压敏器件瞬间电流可达数千安培。

3 结语

本文简略地表达了雷电成因、雷电过程以及分析了当今防雷的方法，其目的是提出一个思维，以便对市面上形形色色的防雷器件的防雷效果有一个理智的判断，以达到正确地选用防雷器件保护微电子设备。

再说压敏电阻

如果电机是 AC24V 的，在电机方向线对地接一个 470K 压敏电阻；如果电机是 AC220V，则加 471K 压敏电阻。意义重要是消除电机换相产生的尖峰高压。

压敏电阻的测量：压敏电阻一般并联在电路中使用，当电阻两端的电压发生急剧变化时，电阻短路将电流保险丝熔断，起到保护作用。压敏电阻在电路中，常用于电源过压保护和稳压。测量时将万用表置 10k 档，表笔接于电阻两端，万用表上应显示出压敏电阻上标示的阻值，如果超出这个数值很大，则说明压敏电阻已损

压敏电阻标称参数

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，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，一般选择标称压敏电压 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 $V_{1mA}=1.5V_p=1.5 \times 1.414 \times 220V=476V$ ， $V_{1mA}=2.2V_{AC}=2.2 \times 220V=484V$ ，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。

压敏电阻器的应用原理

压敏电阻器是一种具有瞬态电压抑制功能的元件，可以用来代替瞬态抑制二极管、齐纳二极管和电容器的组合。压敏电阻器可以对 IC 及其它设备的电路进行保护，防止因静电放电、浪涌及其它瞬态电流（如雷击等）而造成对它们的损坏。使用时只需将压敏电阻器并接于被保护的 IC 或设备电路上，当电压瞬间高于某一数值时，压敏电阻器阻值迅速下降，导通大电流，从而保护 IC 或电器设备；当电压低于压敏电阻器工作电压值时，压敏电阻器阻值极高，近乎开路，因而不会影响器件或电器设备的正常工作。

压敏电阻的选用

选用压敏电阻器前，应先了解以下相关技术参数：标称电压是指在规定的温度和直流电流下，压敏电阻器两端的电压值。漏电流是指在 25℃ 条件下，当施加最大连续直流电压时，压敏电阻器中流过的电流值。等级电压是指压敏电阻中通过 8 / 20 等级电流脉冲时在其两端呈现的电压峰值。通流量是表示施加规定的脉冲电流（8 / 20μs）波形时的峰值电流。浪涌环境参数包括最大浪涌电流 I_{pm} （或最大浪涌电压 V_{pm} 和浪涌源阻抗 Z_o ）、浪涌脉冲宽度 T_t 、相邻两次浪涌的最小时间间隔 T_m 以及在压敏电阻器的预定工作寿命期内，浪涌脉冲的总次数 N 等。

3.1 标称电压选取

一般地说，压敏电阻器常常与被保护器件或装置并联使用，在正常情况下，压敏电阻器两端的直流或交流电压应低于标称电压，即使在电源波动情况最坏时，也不应高于额定值中选择的最大连续工作电压，该最大连续工作电压值所对应的标称电压值即为选用值。对于过压保护方面的应用，压敏电压值应大于实际电路的电压值，一般应使用下式进行选择：

$$V_{mA} = av / bc$$

式中： a 为电路电压波动系数，一般取 1.2； v 为电路直流工作电压（交流时为有效值）； b 为压敏电压误差，一般取 0.85； c 为元件的老化系数，一般取 0.9；

这样计算得到的 V_{mA} 实际数值是直流工作电压的 1.5 倍，在交流状态下还要考虑峰值，因此计算结果应扩大 1.414 倍。另外，选用时还必须注意：

- (1) 必须保证在电压波动最大时，连续工作电压也不会超过最大允许值，否则将缩短压敏电阻的使用寿命；
- (2) 在电源线与大地间使用压敏电阻时，有时由于接地不良而使线与地之间电压上升，所以通常采用比线与线间使用场合更高标称电压的压敏电阻器。

压敏电阻所吸收的浪涌电流应小于产品的最大通流量。

应用

电路浪涌和瞬变防护时的电路。对于压敏电阻的应用连接，大致可分为四种类型：

第一种类型是电源线之间或电源线和大地之间的连接，作为压敏电阻器，最具有代表性的使用场合是在电源线及长距离传输的信号线遇到雷击而使导线存在浪涌脉冲等情况下对电子产品起保护作用。一般在线间接入压敏电阻器可对线间的感应脉冲有效，而在线与地间接入压敏电阻则对传输线和大地间的感应脉冲有效。若进一步将线间连接与线地连接两种形式组合起来，则可对浪涌脉冲有更好的吸收作用。

第二种类型为负荷中的连接，它主要用于对感性负载突然开闭引起的感应脉冲进行吸收，以防止元件受到破坏。一般来说，只要并联在感性负载上就可以了，但根据电流种类和能量大小的不同，可以考虑与 R—C 串联吸收电路合用。

第三种类型是接点间的连接，这种连接主要是为了防止感应电荷开关接点被电弧烧坏的情况发生，一般与接点并联接入压敏电阻器即可。

第四种类型主要用于半导体器件的保护连接，这种连接方式主要用于可控硅、大功率三极管等半导体器件，一般采用与保护器件并联的方式，以限制电压低于被保护器件的耐压等级，这对半导体器件是一种有效的保护。

4 氧化锌压敏电阻存在的问题

现有压敏电阻在配方和性能上分为相互不能替代的两大类：

4.1 高压型压敏电阻

高压型压敏电阻，其优点是电压梯度高（100~250V/mm）、大电流特性好（ $V_{10kA}/V_{1mA} \leq 1.4$ ）但仅对窄脉宽（ $2 \leq ms$ ）的过压和浪涌有理想的防护能力，能量密度较小，（50~300）J/cm³。

4.2 高能型压敏电阻

高能型压敏电阻，其优点是能量密度较大（300J/cm³~750J/cm³），承受长脉宽浪涌能力强，但电压梯度较低（20V/mm~500V/m），大电流特性差（ $V_{10kA}/V_{1mA} > 2.0$ ）。

这两种配方的性能差别造成了许多应用上的“死区”，在 10kV 电压等级的输配电系统中广泛采用了真空开关，由于它动作速度快、拉弧小，会在操作瞬间造成极高过压和浪涌能量，如果选用高压型压敏电阻加以保护（如避雷器），虽然它电压梯度高、成本较低，但能量容量小，容易损坏；如果选用高能型压敏电阻，虽然它能量容量大，寿命较长，但电压梯度低，成本太高，是前者的 5~13 倍。

在中小功率变频电源中，过压保护的對象是功率半导体器件，它对压敏电阻的大电流特性和能量容量的要求都很严格，而且要同时做到元件的小型化。高能型压敏电阻在能量容量上可以满足要求，但大电流性能不够理想，小直径元件的残压比较高，往往达不到限压要求；高压型压敏电阻的大电流特性较好，易于小型化，但能量容量不够，达不到吸能要求。中小功率变频电源在这一领域压敏电阻的应用几乎还是空白。

1、什么是“压敏电阻”

“**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）”。

2、压敏电阻电路的“安全阀”作用

压敏电阻有什么用？压敏电阻的最大特点是当加在它上面的电压低于它的阈值“UN”时，流过它的电流极小，相当于一只关死的阀门，当电压超过 UN 时，流过它的电流激增，相当于阀门打开。利用这一功能，可以抑制电路中经常出现的异常过电压，保护电路免受过电压的损害。

3、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**。

3.1 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。

3.2 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。

4、保护用压敏电阻的基本性能

(1) 保护特性，当冲击源的冲击强（或冲击电流 $I_{sp}=U_{sp}/Z_s$ ）不超过规定值时，压敏电阻的限制电压不允许超过被保护对象所能承受的冲击耐电压（ U_{rp} ）。

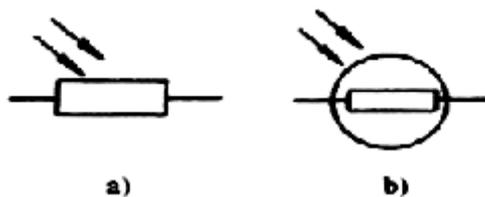
(2) 耐冲击特性，即压敏电阻本身应能承受规定的冲击电流，冲击能量，以及多次冲击相继出现时的平均功率。

(3) 寿命特性有两项，一是连续工作电压寿命，即压敏电阻在规定环境温度和系统电压条件应能可*地工作规定的时间（小时数）。二是冲击寿命，即能可*地承受规定的冲击的次数。

(4) 压敏电阻介入系统后，除了起到"安全阀"的保护作用外，还会带入一些附加影响，这就是所谓"二次效应"，它不应降低系统的正常工作性能。这时要考虑的因素主要有三项，一是压敏电阻本身的电容量（几十到几万 PF），二是在系统电压下的漏电流，三是压敏电阻的非线性电流通过源阻抗的耦合对其他电路的影响。

什么是光敏电阻器及其分类与参数？

光敏电阻器是一种对光敏感的元件，它的电阻值能随着外界光照强弱（明暗）变化而变化。光敏电阻器在电路中用字母“R”或“RL”、“RG”表示，图 1-25 是其电路图形符号。



**图 1-25 光敏电阻器
的电路图形符号**

a) 新图形符号 b) 旧图形符号

(一) 光敏电阻器的结构、特性及应用

1. 光敏电阻器的结构与特性 光敏电阻器通常由光敏层、玻璃基片（或树脂防潮膜）和电极等组成，如图 1-26 所示。

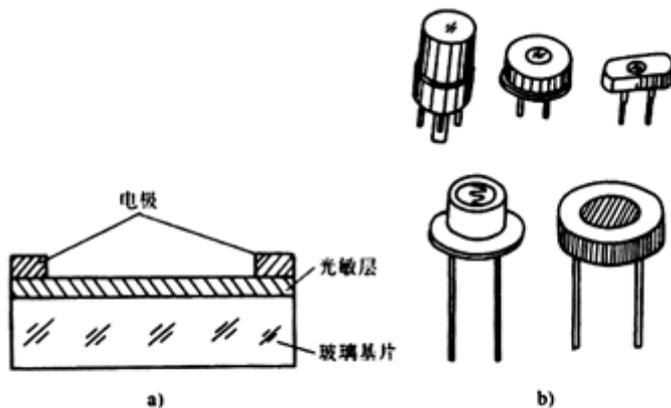


图 1-26 光敏电阻器的结构及外形
a) 结构 b) 外形

光敏电阻器是利用半导体光电效应制成的一种特殊电阻器，对光线十分敏感。它在无光照射时，呈高阻状态；当有光照射时，其电阻值迅速减小。

2. 光敏电阻器的应用 光敏电阻器广泛应用于各种自动控制电路（如自动照明灯控制电路、自动报警电路等）、家用电器（如电视机中的亮度自动调节，照相机中的自动曝光控制等）及各种测量仪器中。

图 1-27 是光敏电阻器的应用电路。

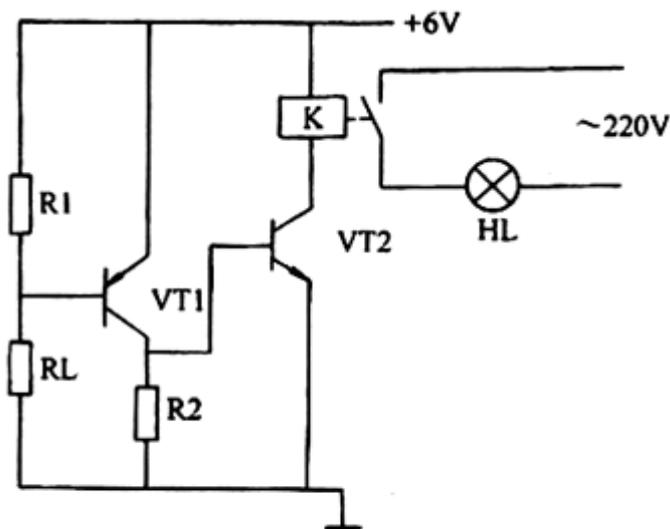


图 1-27 光敏电阻器的应用电路

（二）光敏电阻器的种类

光敏电阻器可以根据光敏电阻器的制作材料和光谱特性来分类。

1. 按光敏电阻器的制作材料分类

光敏电阻器按其制作材料的不同可分为多晶光敏电阻器和单晶光敏电阻器，还可为硫化镉（CdS）光敏电阻器、硒化镉（CdSe）光敏电阻器、硫化铅（PbS）光敏电阻器、硒化铅（PbSe）光敏电阻器、铟化镉（InSb）光敏电阻器等多种。

2. 按光谱特性分类

光敏电阻器按其光谱特性可分为可见光光敏电阻器、紫外光光敏电阻器和红外光光敏电阻器。

可见光光敏电阻器主要用于各种光电自动控制系统、电子照相机和光报警器等电子产品中。

紫外光光敏电阻器主要用于紫外线探测仪器。

红外光光敏电阻器主要用于天文、军事等领域的有关自动控制系统中。

(三) 光敏电阻器的主要参数

光敏电阻器的主要参数有亮电阻 (RL)、暗电阻 (RD)、最高工作电压 (VM)、亮电流 (IL)、暗电流 (ID)、时间常数、温度系数灵敏度等。

1. 亮电阻 亮电阻是指光敏电阻器受到光照射时的电阻值。
2. 暗电阻 暗电阻是指光敏电阻器在无光照射 (黑暗环境) 时的电阻值。
3. 最高工作电压 最高工作电压是指光敏电阻器在额定功率下所允许承受的最高电压。
4. 亮电流 亮电流是指光敏电阻器在规定的电压受到光照时所通过的电流。
5. 暗电流 暗电流是指光敏电阻器在规定的电压下通过的电流。
6. 时间常数 时间常数是指光敏电阻器从光照跃变开始到稳定亮电流的 63% 时所需的时间。
7. 电阻温度系数 温度系数是指光敏电阻器在环境温度改变 1℃ 时, 其电阻值的相对变化。
8. 灵敏度 灵敏度是指光敏电阻器在有光照射和无光照射时电阻值的相对变化。

(四) 常用的光敏电阻器

常用的光敏电阻器有 MG41~MG45 系列, 主要参数见表 1-16。

表 1-16 MG41~MG45 系列光敏电阻器的主要参数

型号	最高工作电压 /V	额定功率 /mW	亮电阻 /kΩ	暗电阻 /MΩ	时间常数 /s	温度范围 /℃	外径尺寸 /mm	封装形式
MG41-22	100	20	≤2	≥1	≤20	-40~+70	9.2	金属玻璃全密封
MG41-23	100	20	≤5	≥5	≤20	-40~+70	9.2	
MG41-24	100	20	≤10	≥10	≤20	-40~+70	9.2	
MG41-47	150	100	≤100	≥50	≤20	-40~+70	9.2	
MG41-48	150	100	≤200	≥100	≤20	-40~+70	9.2	
MG42-1	50	10	≤50	≥10	≤20	-25~+55	7	
MG42-2	20	5	≤2	≥0.1	≤50	-25~+55	7	
MG42-3	20	5	≤5	≥0.5	≤50	-25~+55	7	
MG42-4	20	5	≤10	≥1	≤50	-25~+55	7	
MG42-5	20	5	≤20	≥2	≤50	-25~+55	7	
MG42-16	50	10	≤50	≥10	≤20	-25~+55	7	
MG42-17	50	10	≤100	≥20	≤20	-25~+55	7	
MG43-52	250	200	≤2	≥1	≤20	-40~+70	20	
MG43-53	250	200	≤5	≥5	≤20	-40~+70	20	
MG43-54	250	200	≤10	≥10	≤20	-40~+70	20	
MG44-2	10	5	≤2	≥0.2	≤20	-40~+70	4.5	树脂封装
MG44-3	20	5	≤5	≥1	≤20	-40~+70	4.5	
MG44-4	20	5	≤10	≥2	≤20	-40~+70	4.5	
MG44-5	20	5	≤20	≥5	≤20	-40~+70	4.5	
MG45-12	100	50	≤2	≥1	≤20	-40~+70	5	
MG45-13	100	50	≤5	≥5	≤20	-40~+70	5	
MG45-14	100	50	≤10	≥10	≤20	-40~+70	5	
MG45-22	125	75	≤2	≥1	≤20	-40~+70	7	
MG45-23	125	75	≤5	≥5	≤20	-40~+70	7	

什么是湿敏电阻器及其分类与参数?

湿敏电阻器是一种对环境温度敏感的元件, 它的电阻值能随着环境的相对温度变化而变化。

湿敏电阻器在电路中的文字符号用字母“R”或“RS”表示, 图 1-28 是其电路图形符号。

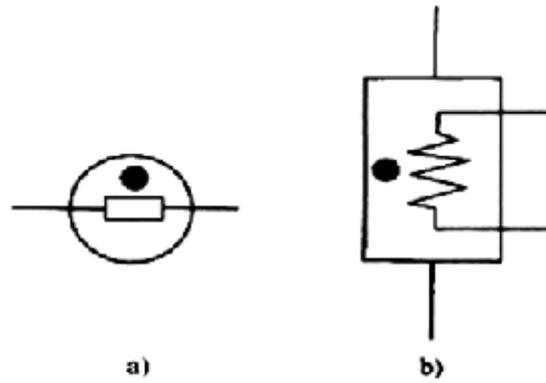
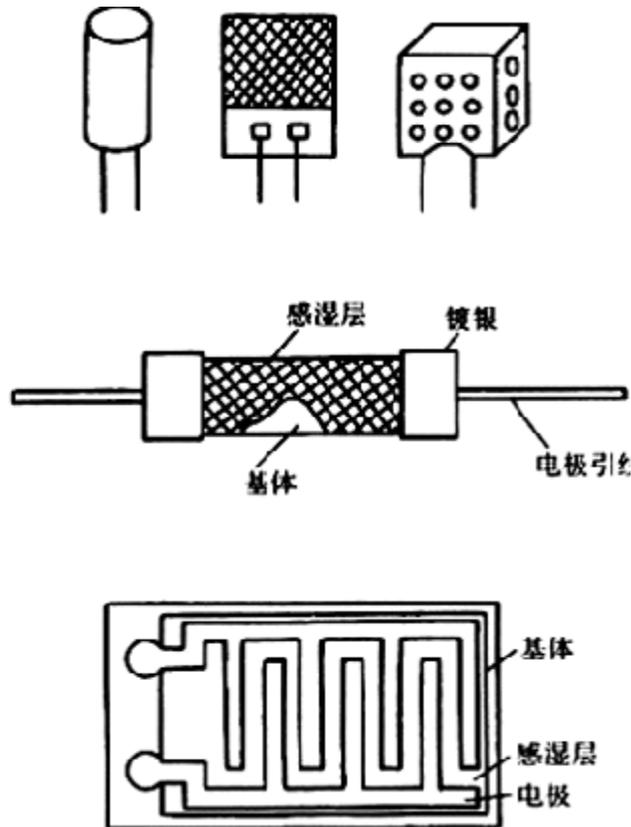


图 1-28 湿敏电阻器的电路图形符号
a) 新图形符号 b) 旧图形符号

(一) 湿敏电阻器的结构特性及应用

1. 湿敏电阻器的结构特性

湿敏电阻器一般由基体、电极和感湿层等组成，如图 1-29 所示。有的湿敏电阻器还设有防尘外壳。



基体采用聚碳酸酯板、氧化铝、电子陶瓷等不吸水、耐高温的材料制成。

感湿层为微孔型结构，具有电解质特性。根据感湿层使用的材料和配方不同，它分为正电阻湿度特性（即湿度增大时，电阻值减小）。

2. 湿敏电阻器的应用

湿敏电阻器广泛应用于洗衣机、空调器、录像机、微波炉等家用电器及工业、农业等方面作湿度检测、湿度控制用。

图 1-30 是湿敏电阻器的应用电路。

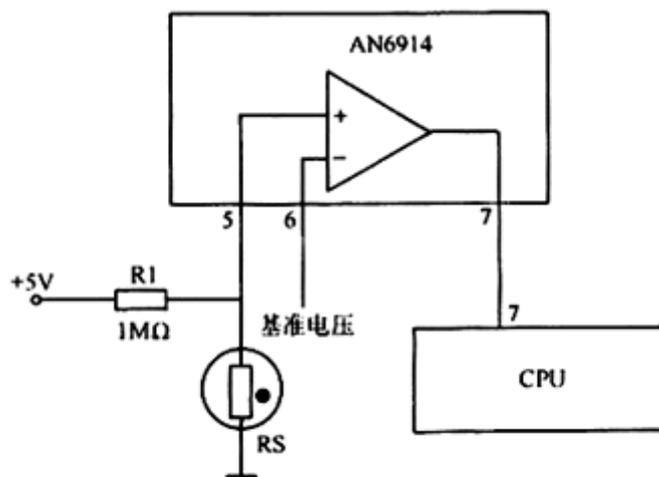


图 1-30 湿敏电阻器的应用电路

(二) 湿敏电阻器的主要参数

湿敏电阻器的主要参数有相对湿度、温度系数、灵敏度、测湿范围、湿滞效应、响应时间等。

1. 相对湿度 相对湿度是指在某一温度下，空气中所含水蒸气的实际密度与同一温度下饱和密度之比，通常用“RH”表示。例如：20%RH，则表示空气相对湿度为 20%。
2. 湿度温度系数 湿度温度系数是指在环境湿度恒定时，湿敏电阻器在温度每变化 1℃ 时，其湿度指示的变化量。
3. 灵敏度 灵敏度是指湿敏电阻器检测湿度时的分辨率。
4. 测湿范围 测湿范围是指湿敏电阻器的湿度测量范围。
5. 湿滞效应 湿滞效应是指湿敏电阻器在吸湿和脱湿过程中电气参数表现的滞后现象。
6. 响应时间 响应时间是指湿敏电阻器在湿度检测环境快速变化时，其电阻值的变化情况（反应速度）。

不同种类二极管如何选用？

1. 检波二极管的选用 检波二极管一般可选用点接触型锗二极管，例如 2AP 系列等。选用时，应根据电路的具体要求来选择工作频率高、反向电流小、正向电流足够大的检波二极管。

2. 整流二极管的选用 整流二极管一般为平面型硅二极管，用于各种电源整流电路中。选用整流二极管时，主要应考虑其最大整流电流、最大反向工作电压、截止频率及反向恢复时间等参数。

普通串联稳压电源电路中使用的整流二极管，对截止频率的反向恢复时间要求不高，只要根据电路的要求选择最大整流电流和最大反向工作电压符合要求的整流二极管即可。例如，1N 系列、2CZ 系列、RLR 系列等。

开关稳压电源的整流电路及脉冲整流电路中使用的整流二极管，应选用工作频率较高、反向恢复时间较短的整流二极管（例如 RU 系列、EU 系列、V 系列、1SR 系列等）或选择快恢复二极管。

3. 稳压二极管的选用 稳压二极管一般用在稳压电源中作为基准电压源或用在过电压保护电路中作为保护二极管。选用的稳压二极管，应满足应用电路中主要参数的要求。稳压二极管的稳定电压值应与应用电路的基准电压值相同，稳压二极管的最大稳定电流应高于应用电路的最大负载电流 50% 左右。

4. 开关二极管的选用 开关二极管主要应用于收录机、电视机、影碟机等家用电器及电子设备有开关电路、检波电路、高频脉冲整流电路等。中速开关电路和检波电路，可以选用 2AK 系列普通开关二极管。高速开关电路可以选用 RLS 系列、1SS 系列、1N 系列、2CK 系列的高速开关二极管。要根据应用电路的主要参数（例如正向电流、最高反向电压、反向恢复时间等）来选择开关二极管的具体型号。

5. 变容二极管的选用 选用变容二极管时，应着重考虑其工作频率、最高反向工作电压、最大正向电流和零偏压结电容等参数是否符合应用电路的要求，应选用结电容变化大、高 Q 值、反向漏电流小的变容二极管。

晶体二极管的分类

一、根据构造分类

半导体二极管主要是依靠 PN 结而工作的。与 PN 结不可分割的点接触型和肖特基型，也被列入一般的二极管的范围内。包括这两种型号在内，根据 PN 结构造面的特点，把晶体二极管分类如下：

1、点接触型二极管

点接触型二极管是在锗或硅材料的单晶片上压触一根金属针后，再通过电流法而形成的。因此，其 PN 结的静电容量小，适用于高频电路。但是，与面结型相比较，点接触型二极管正向特性和反向特性都差，因此，不能使用于大电流和整流。因为构造简单，所以价格便宜。对于小信号的检波、整流、调制、混频和限幅等一般用途而言，它是应用范围较广的类型。

2、键型二极管

键型二极管是在锗或硅的单晶片上熔接或银的细丝而形成的。其特性介于点接触型二极管和合金型二极管之间。与点接触型相比较，虽然键型二极管的 PN 结电容量稍有增加，但正向特性特别优良。多作开关用，有时也被应用于检波和电源整流（不大于 50mA）。在键型二极管中，熔接金丝的二极管有时被称金键型，熔接银丝的二极管有时被称为银键型。

3、合金型二极管

在 N 型锗或硅的单晶片上，通过合金钢、铝等金属的方法制作 PN 结而形成的。正向电压降小，适于大电流整流。因其 PN 结反向时静电容量大，所以不适于高频检波和高频整流。

4、扩散型二极管

在高温的 P 型杂质气体中，加热 N 型锗或硅的单晶片，使单晶片表面的一部变成 P 型，以此法 PN 结。因 PN 结正向电压降小，适用于大电流整流。最近，使用大电流整流器的主流已由硅合金型转移到硅扩散型。

5、台面型二极管

PN 结的制作方法虽然与扩散型相同，但是，只保留 PN 结及其必要的部分，把不必要的部分用药品腐蚀掉。其剩余的部分便呈现出台面形，因而得名。初期生产的台面型，是对半导体材料使用扩散法而制成的。因此，又把这种台面型称为扩散台面型。对于这一类型来说，似乎大电流整流用的产品型号很少，而小电流开关用的产品型号却很多。

6、平面型二极管

在半导体单晶片（主要是 N 型硅单晶片）上，扩散 P 型杂质，利用硅片表面氧化膜的屏蔽作用，在 N 型硅单晶片上仅选择性地扩散一部分而形成的 PN 结。因此，不需要为调整 PN 结面积的药品腐蚀作用。由于半导体表面被制作得平整，故而得名。并且，PN 结合的表面，因被氧化膜覆盖，所以公认为是稳定性好和寿命长的类型。最初，对于被使用的半导体材料是采用外延法形成的，故又把平面型称为外延平面型。对平面型二极管而言，似乎使用于大电流整流用的型号很少，而作小电流开关用的型号则很多。

7、合金扩散型二极管

它是合金型的一种。合金材料是容易被扩散的材料。把难以制作的材料通过巧妙地掺配杂质，就能与合金一起过扩散，以便在已经形成的 PN 结中获得杂质的恰当浓度分布。此法适用于制造高灵敏度的变容二极管。

8、外延型二极管

用外延面长的过程制造 PN 结而形成的二极管。制造时需要非常高超的技术。因能随意地控制杂质的不同浓度的分布，故适宜于制造高灵敏度的变容二极管。

9、肖特基二极管

基本原理是：在金属（例如铅）和半导体（N 型硅片）的接触面上，用已形成的肖特基来阻挡反向电压。肖特基与 PN 结的整流作用原理有根本性的差异。其耐压程度只有 40V 左右。其特长是：开关速度非常快；反向恢复时间 t_{rr} 特别地短。因此，能制作开关二极管和低压大电流整流二极管。

二、根据用途分类

1、检波用二极管

就原理而言，从输入信号中取出调制信号是检波，以整流电流的大小（100mA）作为界线通常把输出电流小于 100mA 的叫检波。锗材料点接触型、工作频率可达 400MHz，正向压降小，结电容小，检波效率高，频率特性好，为 2AP 型。类似点触型那样检波用的二极管，除用于检波外，还能够用于限幅、削波、调制、混频、开关等电路。也有为调频检波专用的特性一致性好的两只二极管组合件。

2、整流用二极管

就原理而言，从输入交流中得到输出的直流是整流。以整流电流的大小（100mA）作为界线通常把输出电流大于 100mA 的叫整流。面结型，工作频率小于 KHz，最高反向电压从 25 伏至 3000 伏分 A~X 共 22 档。分类如下：①硅半导体整流二极管 2CZ 型、②硅桥式整流器 QL 型、③用于电视机高压硅堆工作频率近 100KHz 的 2CLG 型。

3、限幅用二极管

大多数二极管能作为限幅使用。也有象保护仪表用和高频齐纳管那样的专用限幅二极管。为了使这些二极管具有特别强的限制尖锐振幅的作用，通常使用硅材料制造的二极管。也有这样的组件出售：依据限制电压需要，把若干个必要的整流二极管串联起来形成一个整体。

4、调制用二极管

通常指的是环形调制专用的二极管。就是正向特性一致性好的四个二极管的组合件。即使其它变容二极管也有调制用途，但它们通常是直接作为调频用。

5、混频用二极管

使用二极管混频方式时，在 500~10,000Hz 的频率范围内，多采用肖特基型和点接触型二极管。

6、放大用二极管

用二极管放大，大致有依靠隧道二极管和体效应二极管那样的负阻性器件的放大，以及用变容二极管的参量放大。因此，放大用二极管通常是指隧道二极管、体效应二极管和变容二极管。

7、开关用二极管

有在小电流下（10mA 程度）使用的逻辑运算和在数百毫安下使用的磁芯激励用开关二极管。小电流的开关二极管通常有点接触型和键型等二极管，也有在高温下还可能工作的硅扩散型、台面型和平面型二极管。开关二极管的特长是开关速度快。而肖特基型二极管的开关时间特短，因而是理想的开关二极管。2AK 型点接触为中速开关电路用；2CK 型平面接触为高速开关电路用；用于开关、限幅、钳位或检波等电路；肖特基（SBD）硅大电流开关，正向压降小，速度快、效率高。

8、变容二极管

用于自动频率控制（AFC）和调谐用的小功率二极管称变容二极管。***厂商方面也有其它许多叫法。通过施加反向电压，使其 PN 结的静容量发生变化。因此，被用于自动频率控制、扫描振荡、调频和调谐等用途。通常，虽然是采用硅的扩散型二极管，但是也可采用合金扩散型、外延结合型、双重扩散型等特殊制作的二极管，因为这些二极管对于电压而言，其静电容量的变化率特别大。结电容随反向电压 VR 变化，取代可变电容，用作调谐回路、振荡电路、锁相环路，常用于电视机高频头的频道转换和调谐电路，多以硅材料制作。

9、频率倍增用二极管

对二极管的频率倍增作用而言，有依靠变容二极管的频率倍增和依靠阶跃（即急变）二极管的频率倍增。频率倍增用的变容二极管称为可变电抗器，可变电抗器虽然和自动频率控制用的变容二极管的工作原理相同，但电抗器的构造却能承受大功率。阶跃二极管又被称为阶跃恢复二极管，从导通切换到关闭时的反向恢复时间 t_{rr} 短，因此，其特长是急速地变成关闭的转移时间显著地短。如果对阶跃二极管施加正弦波，那么，因 t_t （转移时间）短，所以输出波形急骤地被夹断，故能产生很多高频谐波。

10、稳压二极管

是代替稳压电子二极管的产品。被制作成为硅的扩散型或合金型。是反向击穿特性曲线急骤变化的二极管。作为控制电压和标准电压使用而制作的。二极管工作时的端电压（又称齐纳电压）从3V左右到150V，按每隔10%，能划分成许多等级。在功率方面，也有从200mW至100W以上的产品。工作在反向击穿状态，硅材料制作，动态电阻RZ很小，一般为2CW型；将两个互补二极管反向串接以减少温度系数则为2DW型。

11、PIN型二极管（PIN Diode）

这是在P区和N区之间夹一层本征半导体（或低浓度杂质的半导体）构造的晶体二极管。PIN中的I是“本征”意义的英文略语。当其工作频率超过100MHz时，由于少数载流子的存贮效应和“本征”层中的渡越时间效应，其二极管失去整流作用而变成阻抗元件，并且，其阻抗值随偏置电压而改变。在零偏置或直流反向偏置时，“本征”区的阻抗很高；在直流正向偏置时，由于载流子注入“本征”区，而使“本征”区呈现出低阻抗状态。因此，可以把PIN二极管作为可变阻抗元件使用。它常被应用于高频开关（即微波开关）、移相、调制、限幅等电路中。

12、雪崩二极管（Avalanche Diode）

它是在外加电压作用下可以产生高频振荡的晶体管。产生高频振荡的工作原理是：利用雪崩击穿对晶体注入载流子，因载流子渡越晶片需要一定的时间，所以其电流滞后于电压，出现延迟时间，若适当地控制渡越时间，那么，在电流和电压关系上就会出现负阻效应，从而产生高频振荡。它常被应用于微波领域的振荡电路中。

13、江崎二极管（Tunnel Diode）

它是隧道效应电流为主要电流分量的晶体二极管。其基底材料是砷化镓和锗。其P型区的N型区是高掺杂的（即高浓度杂质的）。隧道电流由这些简并态半导体的量子力学效应所产生。发生隧道效应具备如下三个条件：①费米能级位于导带和满带内；②空间电荷层宽度必须很窄（0.01微米以下）；简并半导体P型区和N型区中的空穴和电子在同一能级上有交叠的可能性。江崎二极管为双端子有源器件。其主要参数有峰谷电流比（ I_P / I_V ），其中，下标“P”代表“峰”；而下标“V”代表“谷”。江崎二极管可以被应用于低噪声高频放大器及高频振荡器中（其工作频率可达毫米波段），也可以被应用于高速开关电路中。

14、快速关断（阶跃恢复）二极管（Step Recovery Diode）

它也是一种具有PN结的二极管。其结构上的特点是：在PN结边界处具有陡峭的杂质分布区，从而形成“自助电场”。由于PN结在正向偏压下，以少数载流子导电，并在PN结附近具有电荷存贮效应，使其反向电流需要经历一个“存贮时间”后才能降至最小值（反向饱和电流值）。阶跃恢复二极管的“自助电场”缩短了存贮时间，使反向电流快速截止，并产生丰富的谐波分量。利用这些谐波分量可设计出梳状频谱发生电路。快速关断（阶跃恢复）二极管用于脉冲和高次谐波电路中。

15、肖特基二极管（Schottky Barrier Diode）

它是具有肖特基特性的“金属半导体结”的二极管。其正向起始电压较低。其金属层除材料外，还可以采用金、钼、镍、钛等材料。其半导体材料采用硅或砷化镓，多为N型半导体。这种器件是由多数载流子导电的，所以，其反向饱和电流较以少数载流子导电的PN结大得多。由于肖特基二极管中少数载流子的存贮效应甚微，所以其频率响应仅为RC时间常数限制，因而，它是高频和快速开关的理想器件。其工作频率可达100GHz。并且，MIS（金属—绝缘体—半导体）肖特基二极管可以用来制作太阳能电池或发光二极管。

16、阻尼二极管

具有较高的反向工作电压和峰值电流，正向压降小，高频高压整流二极管，用在电视机行扫描电路作阻尼和升压整流用。

17、瞬变电压抑制二极管

TVP管，对电路进行快速过压保护，分双极型和单极型两种，按峰值功率（500W—5000W）和电压（8.2V~200V）分类。

18、双基极二极管（单结晶体管）

两个基极，一个发射极的三端负阻器件，用于张弛振荡电路，定时电压读出电路中，它具有频率易调、温度稳定性好等优点。

19、发光二极管

用磷化镓、磷化砷材料制成，体积小，正向驱动发光。工作电压低，工作电流小，发光均匀、寿命长、可发红、黄、绿单色光。

三、根据特性分类

点接触型二极管，按正向和反向特性分类如下。

1、一般用点接触型二极管

这种二极管正如标题所说的那样，通常被使用于检波和整流电路中，是正向和反向特性既不特别好，也不特别坏的中间产品。如：SD34、SD46、1N34A 等等属于这一类。

2、高反向耐压点接触型二极管

是最大峰值反向电压和最大直流反向电压很高的产品。使用于高压电路的检波和整流。这种型号的二极管一般正向特性不太好或一般。在点接触型锗二极管中，有 SD38、1N38A、OA81 等等。这种锗材料二极管，其耐压受到限制。要求更高时有硅合金和扩散型。

3、高反向电阻点接触型二极管

正向电压特性和一般用二极管相同。虽然其反方向耐压也是特别地高，但反向电流小，因此其特长是反向电阻高。使用于高输入电阻的电路和高阻负荷电阻的电路中，就锗材料高反向电阻型二极管而言，SD54、1N54A 等等属于这类二极管。

4、高传导点接触型二极管

它与高反向电阻型相反。其反向特性尽管很差，但使正向电阻变得足够小。对高传导点接触型二极管而言，有 SD56、1N56A 等等。对高传导型二极管而言，能够得到更优良的特性。这类二极管，在负荷电阻特别低的情况下，整流效率较高。

二极管组件的结构及性能特点

二极管组件由 2 只或 2 只以上的二极管组合而成，主要是为了缩小体积和便于安装。

常用的二极管组件有整流桥堆、高压硅堆及二极管排等。

(一) 整流桥堆

整流桥堆一般用在全波整流电路中，它又分为全桥与半桥。

1. 全桥 全桥是由 4 只整流二极管按桥式全波整流电路的形式连接并封装为一体构成的，图 4-65 是其电路图形符号与内部电路，图 4-66 是其外形。

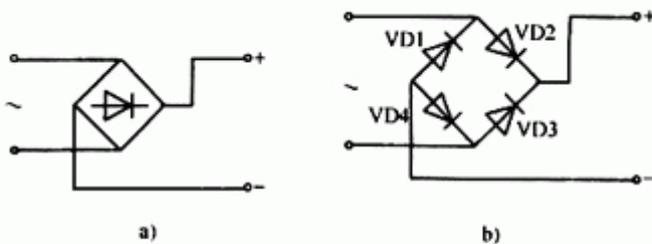


图 4-65 全桥的电路图形符号与内部电路

a) 电路图形符号 b) 内部电路

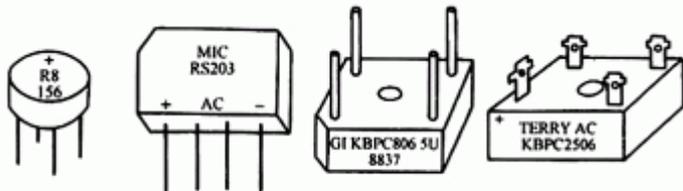


图 4-66 全桥的外形

全桥的正向电流有 0.5A、1A、1.5A、2A、2.5A、3A、5A、10A、20A 等多种规格，耐压值（最高反向电压）有 25V、50V、100V、200V、300V、400V、500V、600V、800V、1000V 等多种规格。

常用的国产全桥有 QL 系列，进口全桥有 RB 系列、RS 系列等。

2. 半桥 半桥是由两只整流二极管封装在一起构成的，它有 4 端和 3 端之分，如图 4-67 所示。4 端半桥内部的两只二极管各自独立，而 3 端半桥内部的两只整流二极管的负极与负极相连或正极与正极相连，如图 4-68 所示。

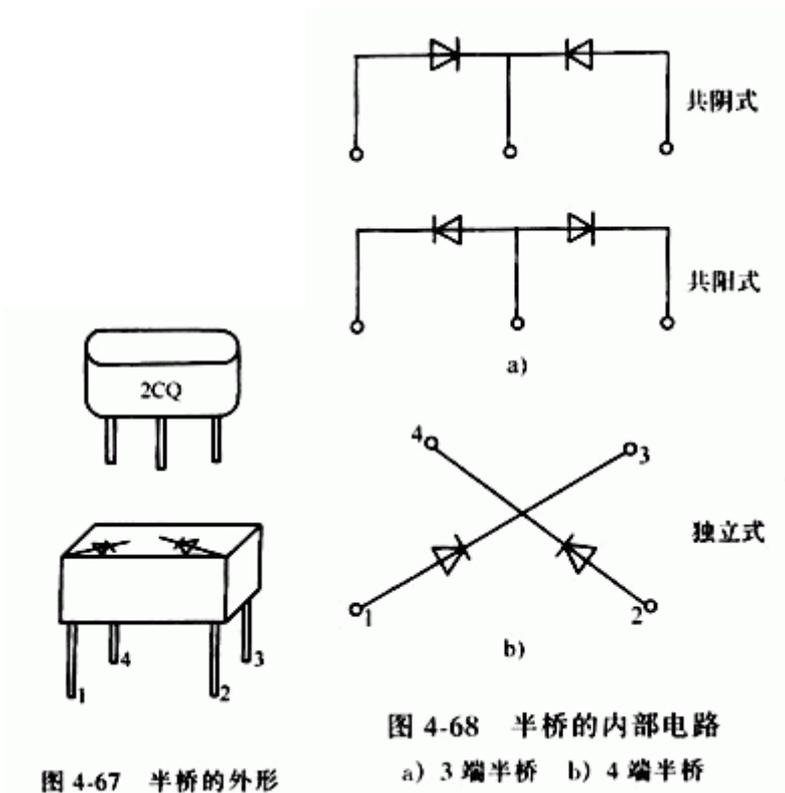


图 4-67 半桥的外形

图 4-68 半桥的内部电路
a) 3 端半桥 b) 4 端半桥

用 1 只半桥可以组成全波整流电路，用 2 只半桥可组成桥式全波整流电路。

常用的半桥有 1/2QL 系列。

(二) 高压硅堆

高压硅堆是由多只硅整流二极管串联组成的耐高压整流器件（其最高反向电压在几千至几万伏之间），主要用于电子仪器及黑白电视机中。图 4-69 是高压硅堆的外形。

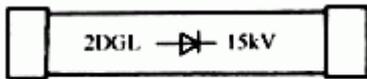


图 4-69 高压硅堆的外形

常用的高压硅堆有 2DGL、2CGL 等系列。

(三) 二极管排

二极管排是将 2 只或 2 只以上的二极管封装在一起组成的，其内电路有共阴（将各只二极管的负极接在一起）型、共阳（将各只二极管的正极接在一起）型、串接型和独立脚点型等多种连接形式。

图 4-70 是几种二极管排的外形与内部电路。

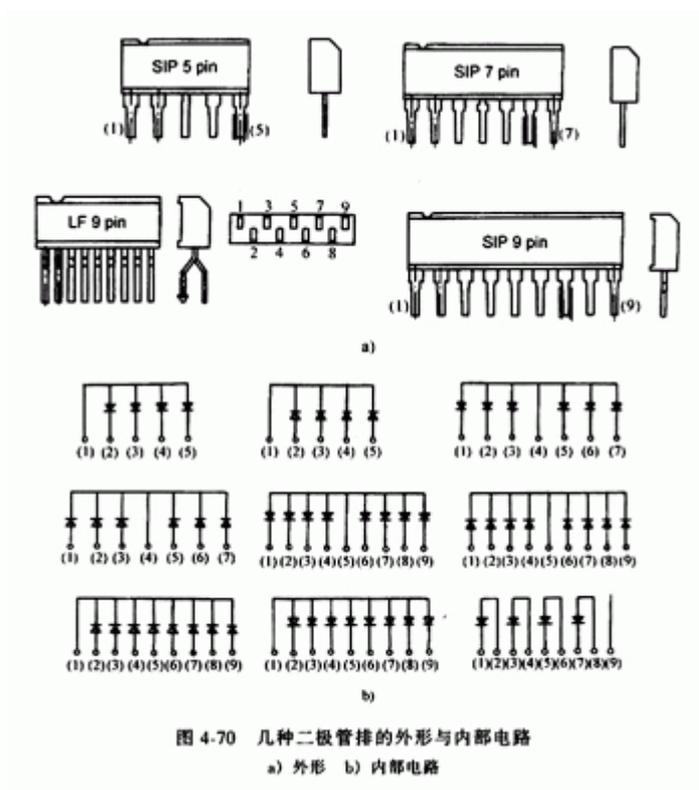


图 4-70 几种二极管排的外形与内部电路
a) 外形 b) 内部电路

常用的 3 端二极管排（内含两只二极管）有 DAN209、DAN201、DAN215、DAN208、DAP208、DA203、DA210S、DA216、DA218S 等型号。5 端二极管排（内含 4 只二极管）有 DAN401、DAP401 等型号。7 端二极管排（内含 6 只二极管）有 DAN601、DAP601 等型号。9 端二极管排（内含 8 只二极管）有 DAN801、DAN803、DAP801、DAP803 等型号。

常用晶体二极管

系列开关二极管

序号	型号	$V_{RRM}[V]$	$I_o[A]$	$C_j[pF]$	$I_{FSM}[A]$	封装	说明
001	1N4148	100	0.2	-	1	DO-35	开关二极管
002	1N4150	50	0.2	-	1	DO-35	开关二极管
003	1N4448	50	0.2	-	1	DO-35	开关二极管
004	1N4454	50	0.2	-	1	DO-35	开关二极管
005	1N457	70	0.2	-	1	DO-35	开关二极管
006	1N457	70	0.2	-	1	DO-35	开关二极管
001	1N914	50	0.2	-	1	DO-35	开关二极管
001	1N914A	50	0.2	-	1	DO-35	开关二极管
001	1N916	50	0.2	-	1	DO-35	开关二极管
001	1N916A	50	0.2	-	1	DO-35	开关二极管

1N47xx 系列稳压二极管

序号	型号	$V_z[V]$	$Z_z[\Omega]$	$I_z[mA]$	$I_{RZ}[\mu A]$	封装	说明
001	1N4728	3.3	10	76	100	DO-41	稳压二极管
002	1N4729	3.6	10	69	100	DO-41	稳压二极管
003	1N4730	3.9	9.0	64	50	DO-41	稳压二极管
004	1N4731	4.3	9.0	58	10	DO-41	稳压二极管
005	1N4732	4.7	8.0	5	10	DO-41	稳压二极管
006	1N4733	5.1	7.0	49	10	DO-41	稳压二极管
007	1N4734	5.6	5.0	45	10	DO-41	稳压二极管
008	1N4735	6.2	2.0	41	10	DO-41	稳压二极管
009	1N4736	6.8	3.5	37	10	DO-41	稳压二极管
010	1N4737	7.5	4.0	34	10	DO-41	稳压二极管
011	1N4738	8.2	4.5	31	10	DO-41	稳压二极管
012	1N4739	9.1	5.0	28	10	DO-41	稳压二极管
013	1N4740	10	7.0	25	10	DO-41	稳压二极管
014	1N4741	11	8.0	23	5	DO-41	稳压二极管
015	1N4742	12	9.0	21	5	DO-41	稳压二极管

016	1N4743	13	10	19	5	DO-41	稳压二极管
017	1N4744	15	14	17	5	DO-41	稳压二极管
018	1N4745	16	16	15.5	5	DO-41	稳压二极管
019	1N4746	1	20	14	5	DO-41	稳压二极管
020	1N4747	20	22	12.5	5	DO-41	稳压二极管
021	1N4748	22	23	11.5	5	DO-41	稳压二极管
022	1N4749	24	25	10.5	5	DO-41	稳压二极管
023	1N4750	27	35	9.5	5	DO-41	稳压二极管
024	1N4751	30	40	8.5	5	DO-41	稳压二极管
025	1N4752	33	45	7.5	5	DO-41	稳压二极管

1N52xx 系列稳压二极管

序号	型号	V _{RRM} [V]	I _o [A]	C _J [pF]	I _{FSM} [A]	封装	说明
001	1N5221B -1N5257B	-	-	-	-	DO-41	系列稳压二极管

1N539x 系列二极管

序号	型号	V _{RRM} [V]	I _o [A]	C _J [pF]	I _{FSM} [A]	封装	说明
001	1N5391	50	1.5	-	50	DO-15	普通二极管
001	1N5391	50	1.5	-	50	DO-15	普通二极管
001	1N5392	100	1.5	-	50	DO-15	普通二极管
001	1N5393	200	1.5	-	50	DO-15	普通二极管
001	1N5394	300	1.5	-	50	DO-15	普通二极管
001	1N5395	400	1.5	-	50	DO-15	普通二极管
001	1N5396	500	1.5	-	50	DO-15	普通二极管
001	1N5397	600	1.5	-	50	DO-15	普通二极管
001	1N5398	800	1.5	-	50	DO-15	普通二极管
001	1N5399	1000	1.5	-	50	DO-15	普通二极管

1N54xx 系列二极管

序号	型号	V _{RRM} [V]	I _o [A]	C _J [pF]	I _{FSM} [A]	封装	说明
001	1N5401	50	3	-	200	DO-201AD	普通二极管
001	1N5402	100	3	-	200	DO-201AD	普通二极管
001	1N5403	200	3	-	200	DO-201AD	普通二极管

001	1N5404	400	3	-	200	DO-201AD	普通二极管
001	1N5405	500	3	-	200	DO-201AD	普通二极管
001	1N5406	600	3	-	200	DO-201AD	普通二极管
001	1N5407	800	3	-	200	DO-201AD	普通二极管
001	1N5408	1000	3	-	200	DO-201AD	普通二极管

1N7xx 系列二极管

序号	型号	V_z [V]	Z_z [Ω]	I_z [mA]	I_{Rz} [μ A]	封装	说明
001	1N746A	3.3	28	20	30	DO-35	稳压二极管
002	1N747A	3.6	24	20	30	DO-35	稳压二极管
003	1N748A	3.9	23	20	30	DO-35	稳压二极管
004	1N749A	4.3	22	20	30	DO-35	稳压二极管
005	1N750A	4.7	19	20	30	DO-35	稳压二极管
006	1N751A	5.1	17	20	20	DO-35	稳压二极管
007	1N752A	5.6	11	20	20	DO-35	稳压二极管
008	1N753A	7.3	7.0	20	20	DO-35	稳压二极管
009	1N754A	6.8	5.0	20	20	DO-35	稳压二极管
01	1N755A	7.5	6.0	20	20	DO-35	稳压二极管
011	1N756A	8.2	8.0	20	20	DO-35	稳压二极管
012	1N757A	9.1	10	20	20	DO-35	稳压二极管
013	1N758A	10	17	20	20	DO-35	稳压二极管
014	1N759A	12	30	20	20	DO-35	稳压二极管

1N9xxx 系列二极管

序号	型号	V_z [V]	Z_z [Ω]	I_z [mA]	I_{Rz} [μ A]	封装	说明
001	1N957B	6.8	4	5 18.5	150	DO-35	系列二极管
002	1N958B	7.5	5.5	16.5	75	DO-35	系列二极管
003	1N959B	8.2	6.5	15	50	DO-35	系列二极管
004	1N960B	9.1	7.5	14	25	DO-35	系列二极管
005	1N961B	10	8.5	12.5	10	DO-35	系列二极管
006	1N962B	11	9.5	11.5	5	DO-35	系列二极管
007	1N963B	12	11.5	10.5	5	DO-35	系列二极管
008	1N964B	13	13	9.5	5	DO-35	系列二极管
009	1N965B	15	16	8.5	5	DO-35	系列二极管

010	1N966B	16	17	7.8	5	DO-35	系列二极管
011	1N967B	18	21	7.0	5	DO-35	系列二极管
012	1N968B	20	25	6.2	5	DO-35	系列二极管
013	1N969B	22	29	5.6	5	DO-35	系列二极管
014	1N970B	24	33	5.2	5	DO-35	系列二极管
015	1N971B	27	41	4.6	5	DO-35	系列二极管
016	1N972B	30	49	4.2	5	DO-35	系列二极管
017	1N973B	33	58	3.8	5	DO-35	系列二极管

BYxxx 系列二极管

序号	型号	$V_{RRM}[V]$	$I_o[A]$	$C_j[pF]$	$I_{FSM}[A]$	封装	说明
001	BYQ28E	-	-	-	-	TO-220	-
002	BYP100	-	-	-	-	TO-220	-
003	BYP103	-	-	-	-	TO-220	-
004	BYP301	-	-	-	-	TO-220	-
005	BYP302	-	-	-	-	TO-220	-
006	BYP303	-	-	-	-	TO-220	-
007	BYV26A	200	1	-	30	SOD-57	-
008	BYV26B	400	1	-	30	SOD-57	-
009	BYV26C	600	1	-	30	SOD-57	-
010	BYV26D	800	1	-	30	SOD-57	-
011	BYV26E	1000	1	-	30	SOD-57	-
012	BYW29-50	50	8	-	100	TO-220	快恢复二极管
013	BYW29-100	100	8	-	100	TO-220	快恢复二极管
014	BYW29-150	150	8	-	100	TO-220	快恢复二极管
015	BYW29-200	200	8	-	100	TO-220	快恢复二极管

FR10x 系列二极管

序号	型号	$V_{RRM}[V]$	$I_o[A]$	$C_j[pF]$	$I_{FSM}[A]$	封装	说明
001	FR101	50	1	50	35	DO-41	快恢复二极管
002	FR102	100	1	50	35	DO-41	-
003	FR103	200	1	50	35	DO-41	快恢复二极管
004	FR104	400	1	50	35	DO-41	快恢复二极管
005	FR105	600	1	50	35	DO-41	快恢复二极管

006	FR106	800	1	50	35	DO-41	快恢复二极管
007	FR107	1000	1	50	35	DO-41	快恢复二极管
008	FR107-STR	1000	1	50	35	DO-41	-

HERxxx 系列快恢复二极管

序号	型号	$V_{RRM}[V]$	$I_o[A]$	$C_j[pF]$	$I_{FSM}[A]$	封装	说明
001	HER1601C	50	16	40	200	TO-220	快恢复
002	HER1602C	100	16	40	200	TO-220	快恢复
003	HER1603C	200	16	40	200	TO-220	快恢复
004	HER1604C	300	16	40	200	TO-220	快恢复
005	HER1605C	400	16	40	200	TO-220	快恢复

MURxxx 系列快恢复二极管

序号	型号	$V_{RRM}[V]$	$I_o[A]$	$C_j[pF]$	$I_{FSM}[A]$	封装	说明
001	MUR1620	-	-	-	-	-	-
002	MUR3020CT	-	-	-	-	-	-
003	MUR3040CT	-	-	-	-	-	-
004	MUR3060CT	-	-	-	-	-	-
005	MUR805	50	8	-	100	TO-220AC	快恢复二极管
006	MUR810	100	8	-	100	TO-220AC	快恢复二极管
007	MUR815	150	8	-	100	TO-220AC	快恢复二极管
008	MUR820	200	8	-	100	TO-220AC	快恢复二极管
009	MUR840	400	8	-	100	TO-220AC	快恢复二极管
010	MUR860	100	8	-	100	TO-220AC	快恢复二极管

1N4000 系列普通二极管

序号	型号	$V_{RRM}[V]$	$I_o[A]$	$C_j[pF]$	$I_{FSM}[A]$	封装	说明
001	1N4001	50	1	-	30	DO-41	普通二极管
002	1N4002	100	1	-	30	DO-41	普通二极管
003	1N4003	200	1	-	30	DO-41	普通二极管
004	1N4004	400	1	-	30	DO-41	普通二极管
005	1N4005	600	1	-	30	DO-41	普通二极管
006	1N4006	800	1	-	30	DO-41	普通二极管
007	1N4007	600	1	-	30	DO-41	普通二极管

三极管的检测方法与经验

1 中、小功率三极管的检测

A 已知型号和管脚排列的三极管，可按下述方法来判断其性能好坏

(a) 测量极间电阻。将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1K$ 挡，按照红、黑表笔的六种不同接法进行测试。其中，发射结和集电结的正向电阻值比较低，其他四种接法测得的电阻值都很高，约为几百千欧至无穷大。但不管是低阻还是高阻，硅材料三极管的极间电阻要比锗材料三极管的极间电阻大得多。

(b) 三极管的穿透电流 $ICEO$ 的数值近似等于管子的倍数 β 和集电结的反向电流 $ICBO$ 的乘积。 $ICBO$ 随着环境温度的升高而增长很快， $ICBO$ 的增加必然造成 $ICEO$ 的增大。而 $ICEO$ 的增大将直接影响管子工作的稳定性，所以在使用中应尽量选用 $ICEO$ 小的管子。

通过用万用表电阻直接测量三极管 e-c 极之间的电阻方法，可间接估计 $ICEO$ 的大小，具体方法如下：

万用表电阻的量程一般选用 $R \times 100$ 或 $R \times 1K$ 挡，对于 PNP 管，黑表笔接 e 极，红表笔接 c 极，对于 NPN 型三极管，黑表笔接 c 极，红表笔接 e 极。要求测得的电阻越大越好。e-c 间的阻值越大，说明管子的 $ICEO$ 越小；反之，所测阻值越小，说明被测管的 $ICEO$ 越大。一般说来，中、小功率硅管、锗材料低频管，其阻值应分别在几百千欧、几十千欧及十几千欧以上，如果阻值很小或测试时万用表指针来回晃动，则表明 $ICEO$ 很大，管子的性能不稳定。

(c) 测量放大能力(β)。目前有些型号的万用表具有测量三极管 hFE 的刻度线及其测试插座，可以很方便地测量三极管的放大倍数。先将万用表功能开关拨至 挡，量程开关拨到 ADJ 位置，把红、黑表笔短接，调整调零旋钮，使万用表指针指示为零，然后将量程开关拨到 hFE 位置，并使两短接的表笔分开，把被测三极管插入测试插座，即可从 hFE 刻度线上读出管子的放大倍数。

另外：有此型号的中、小功率三极管，生产厂家直接在其管壳顶部标示出不同色点来表明管子的放大倍数 β 值，其颜色和 β 值的对应关系如表所示，但要注意，各厂家所用色标并不一定完全相同。

B 检测判别电极

(a) 判定基极。用万用表 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡测量三极管三个电极中每两个极之间的正、反向电阻值。当用第一根表笔接某一电极，而第二根表笔先后接触另外两个电极均测得低阻值时，则第一根表笔所接的那个电极即为基极 b。这时，要注意万用表表笔的极性，如果红表笔接的是基极 b。黑表笔分别接在其他两极时，测得的阻值都较小，则可判定被测三极管为 PNP 型管；如果黑表笔接的是基极 b，红表笔分别接触其他两极时，测得的阻值较小，则被测三极管为 NPN 型管。

(b) 判定集电极 c 和发射极 e。(以 PNP 为例)将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1K$ 挡，红表笔基极 b，用黑表笔分别接触另外两个管脚时，所测得的两个电阻值会是一个大一些，一个小一些。在阻值小的一次测量中，黑表笔所接管脚为集电极；在阻值较大的一次测量中，黑表笔所接管脚为发射极。

C 判别高频管与低频管

高频管的截止频率大于 3MHz，而低频管的截止频率则小于 3MHz，一般情况下，二者是不能互换的。

D 在路电压检测判断法

在实际应用中、小功率三极管多直接焊接在印刷电路板上，由于元件的安装密度大，拆卸比较麻烦，所以在检测时常常通过用万用表直流电压挡，去测量被测三极管各引脚的电压值，来推断其工作是否正常，进而判断其好坏。

2 大功率晶体三极管的检测

利用万用表检测中、小功率三极管的极性、管型及性能的各种方法，对检测大功率三极管来说基本上适用。但是，由于大功率三极管的工作电流比较大，因而其 PN 结的面积也较大。PN 结较大，其反向饱和电流也必然增大。所以，若像测量中、小功率三极管极间电阻那样，使用万用表的 $R \times 1k$ 挡测量，必然测得的电阻值很小，好像极间短路一样，所以通常使用 $R \times 10$ 或 $R \times 1$ 挡检测大功率三极管。

3 普通达林顿管的检测

用万用表对普通达林顿管的检测包括识别电极、区分 PNP 和 NPN 类型、估测放大能力等内容。因为达林顿管的 E-B 极之间包含多个发射结，所以应该使用万用表能提供较高电压的 $R \times 10K$ 挡进行测量。

4 大功率达林顿管的检测

检测大功率达林顿管的方法与检测普通达林顿管基本相同。但由于大功率达林顿管内部设置了 V3、R1、R2 等保护和泄放漏电流元件，所以在检测量应将这此元件对测量数据的影响加以区分，以免造成误判。具体可按下述几个步骤进行：

A 用万用表 $R \times 10K$ 挡测量 B、C 之间 PN 结电阻值，应明显测出具有单向导电性能。正、反向电阻值应有较大差异。

B 在大功率达林顿管 B-E 之间有两个 PN 结，并且接有电阻 R1 和 R2。用万用表电阻挡检测时，当正向测量时，测到的阻值是 B-E

结正向电阻与 R_1 、 R_2 阻值并联的结果；当反向测量时，发射结截止，测出的则是 $(R_1 + R_2)$ 电阻之和，大约为几百欧，且阻值固定，不随电阻挡位的变换而改变。但需要注意的是，有些大功率达林顿管在 R_1 、 R_2 、上还有二极管，此时所测得的则不是 $(R_1 + R_2)$ 之和，而是 $(R_1 + R_2)$ 与两只二极管正向电阻之和的并联电阻值。

5 带阻尼行输出三极管的检测

将万用表置于 $R \times 1$ 挡，通过单独测量带阻尼行输出三极管各电极之间的电阻值，即可判断其是否正常。具体测试原理，方法及步骤如下：

A 将红表笔接 E，黑表笔接 B，此时相当于测量大功率管 B-E 结的等效二极管与保护电阻 R 并联后的阻值，由于等效二极管的正向电阻较小，而保护电阻 R 的阻值一般也仅有 $20 \sim 50 \Omega$ ，所以，二者并联后的阻值也较小；反之，将表笔对调，即红表笔接 B，黑表笔接 E，则测得的是大功率管 B-E 结等效二极管的反向电阻值与保护电阻 R 的并联阻值，由于等效二极管反向电阻值较大，所以，此时测得的阻值即是保护电阻 R 的值，此值仍然较小。

B 将红表笔接 C，黑表笔接 B，此时相当于测量管内大功率管 B-C 结等效二极管的正向电阻，一般测得的阻值也较小；将红、黑表笔对调，即将红表笔接 B，黑表笔接 C，则相当于测量管内大功率管 B-C 结等效二极管的反向电阻，测得的阻值通常为无穷大。

C 将红表笔接 E，黑表笔接 C，相当于测量管内阻尼二极管的反向电阻，测得的阻值一般都较大，约 $300 \sim \infty$ ；将红、黑表笔对调，即红表笔接 C，黑表笔接 E，则相当于测量管内阻尼二极管的正向电阻，测得的阻值一般都较小，约几欧至几十欧。

国产三极管用颜色表示放大倍数时，一般颜色与放大倍数对应关系如下：

颜色	棕	红	橙	黄	绿	兰	紫
hFE	7-15	15-25	25-40	40-55	55-80	80-120	

三极管判断口诀

三极管的管型及管脚的判别是电子技术初学者的一项基本功，为了帮助读者迅速掌握测判方法，笔者总结出四句口诀：“三颠倒，找基极；PN 结，定管型；顺箭头，偏转大；测不准，动嘴巴。”下面我们逐句进行解释吧。

一、三颠倒，找基极

大家知道，三极管是含有两个 PN 结的半导体器件。根据两个 PN 结连接方式不同，可以分为 NPN 型和 PNP 型两种不同导电类型的三极管，图 1 是它们的电路符号和等效电路。

测试三极管要使用万用电表的欧姆挡，并选择 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡位。图 2 绘出了万用电表欧姆挡的等效电路。由图可见，红表笔所连接的是表内电池的负极，黑表笔则连接着表内电池的正极。

假定我们并不知道被测三极管是 NPN 型还是 PNP 型，也分不清各管脚是什么电极。测试的第一步是判断哪个管脚是基极。这时，我们任取两个电极(如这两个电极为 1、2)，用万用电表两支表笔颠倒测量它的正、反向电阻，观察表针的偏转角度；接着，再取 1、3 两个电极和 2、3 两个电极，分别颠倒测量它们的正、反向电阻，观察表针的偏转角度。在这三次颠倒测量中，必然有两次测量结果相近：即颠倒测量中表针一次偏转大，一次偏转小；剩下一次必然是颠倒测量前后指针偏转角度都很小，这一次未测的那只管脚就是我们要寻找的基极(参看图 1、图 2 不难理解它的道理)。

二、PN 结，定管型

找出三极管的基极后，我们就可以根据基极与另外两个电极之间 PN 结的方向来确定管子的导电类型(图 1)。将万用表的黑表笔接触基极，红表笔接触另外两个电极中的任一电极，若表头指针偏转角度很大，则说明被测三极管为 NPN 型管；若表头指针偏转角度很小，则被测管即

为 PNP 型。

三、顺箭头，偏转大

找出了基极 b，另外两个电极哪个是集电极 c，哪个是发射极 e 呢？这时我们可以用测穿透电流 I_{CEO} 的方法确定集电极 c 和发射极 e。

(1) 对于 NPN 型三极管，穿透电流的测量电路如图 3 所示。根据这个原理，用万用电表的黑、红表笔颠倒测量两极间的正、反向电阻 R_{ce} 和 R_{ec} ，虽然两次测量中万用表指针偏转角度都很小，但仔细观察，总会有一次偏转角度稍大，此时电流的流向一定是：黑表笔→c 极→b 极→e 极→红表笔，电流流向正好与三极管符号中的箭头方向一致（“顺箭头”），所以此时黑表笔所接的一定是集电极 c，红表笔所接的一定是发射极 e。

(2) 对于 PNP 型的三极管，道理也类似于 NPN 型，其电流流向一定是：黑表笔→e 极→b 极→c 极→红表笔，其电流流向也与三极管符号中的箭头方向一致，所以此时黑表笔所接的一定是发射极 e，红表笔所接的一定是集电极 c（参看图 1、图 3 可知）。

四、测不出，动嘴巴

若在“顺箭头，偏转大”的测量过程中，若由于颠倒前后的两次测量指针偏转均太小难以区分时，就要“动嘴巴”了。具体方法是：在“顺箭头，偏转大”的两次测量中，用两只手分别捏住两表笔与管脚的结合部，用嘴巴含住（或用舌头抵住）基电极 b，仍用“顺箭头，偏转大”的判别方法即可区分开集电极 c 与发射极 e。其中人体起到直流偏置电阻的作用，目的是使效果更加明显。

电容器检测方法与经验

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 $R \times 10k$ 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 $R \times 1k$ 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，使万用表指针摆动幅度加大，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 $R \times 10k$ 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 $R \times 1k$ 挡测量，大于 47μF 的电容可用 $R \times 100$ 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 用手轻轻旋动转轴，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 用一只手旋动转轴，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旋转几个来回，万用表指针都应在无穷大位置不动。在旋动转轴的过程中，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。

电容的种类和用途

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。

云母电容

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。

陶瓷电容

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。

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。

薄膜电容

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。

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。

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。

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，但是漏电大，稳定性差，有正负极性，适宜用于电源滤波或者低频电路中。使用的时候，正负极不要接反。

钽、铌电解电容

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。

半可变电容

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。

NPO(COG):电气性能最稳定，基本上不随温度、电压与时间的改变而改变，适用于对稳定性要求高的高频电路；

X7R(2X1):电气性能较稳定,在温度、电压与时间改变时性能的变化并不显著，适用于隔直、耦合、旁路与对容量稳定性要求不太高的鉴频电路，由于 X7R 是一种强电介质，因而能造出容量比 NPO 介质更大的电容器；

Y5V (2F4) (Z5U)：具有较低高的介电常数，常用于生产比容较大的、标称容量较高的大容量电容器产品，但其容量稳定性较 X7R 差，容量、损耗对温度，电压等测试条件较敏感。

名称：铝电解电容

符号：

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

名称：钽电解电容（CA）铌电解电容（CN）

符号：

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

名称：空气介质可变电容器

符号：

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

名称：薄膜介质可变电容器

符号:

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

名称：薄膜介质微调电容器

符号：

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

名称：陶瓷介质微调电容器

符号：

可变电容量：0.3--22p

主要特点：损耗较小，体积较小

电容量大、体积小、可*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。

里面说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。

名称：云母电容（CY）

符号：

电容量：10p--0.1u

额定电压：100V--7kV

主要特点：高稳定性，高可*性，温度系数小

应用：高频振荡，脉冲等要求较高的电路

名称：高频瓷介电容（CC）

符号：

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

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

三、电容的作用

1. 隔直流：作用是阻止直流通过而让交流通过。
2. 旁路（去耦）：为交流电路中某些并联的元件提供低阻抗通路。
3. 耦合：作为两个电路之间的连接，允许交流信号通过并传输到下一级电路
4. 滤波：这个对 DIY 而言很重要，显卡上的电容基本都是这个作用。
5. 温度补偿：针对其它元件对温度的适应性不够带来的影响，而进行补偿，改善电路的稳定性。
6. 计时：电容器与电阻器配合使用，确定电路的时间常数。
7. 调谐：对与频率相关的电路进行系统调谐，比如手机、收音机、电视机。
8. 整流：在预定的时间开或者关半闭导体开关元件。
9. 储能：储存电能，用于必须的时候释放。例如相机闪光灯，加热设备等等。（如今某些电容的储能水平已经接近锂电池的水准，一个电容储存的电能可以供一个手机使用一天。

深入探讨电容的种类和作用

你知道显卡为什么会花屏吗？

没错，你肯定听说过“主板爆浆”，或者你还在对商家唾沫横飞的“专业分析”深信不疑？但您知道“爆浆”为什么会发生，而爆浆产生的环境、条件、原理又是如何？

你可能也被主板或显卡花屏所困惑，你知道罪魁祸首很可能是那个最不起眼的电容吗？

当睡在你上铺的兄弟告诉你“铝电容就是比电解电容好，OSCON 电容比铝电容好”，而你为此对他丰富的硬件知识佩服不已的时候，你是否会怀疑，这句话其实相当于：“摩托罗拉手机就是比 GSM 的手机好”——因为 OSCON 电容其实是铝电容的一种，而铝电容又是电解电容的一种。虽然这很可笑，但是你听不出来，因为你不像了解手机那样了解电容。

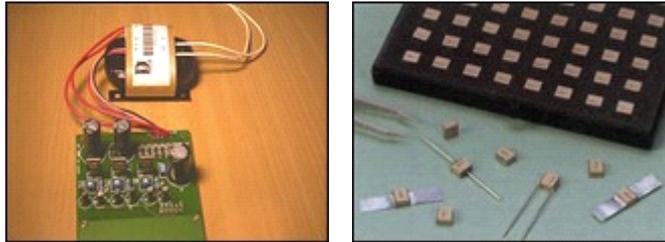
当你告诉他铝电容其实就是电解电容的一种，甚至他推崇有加的钽电容其实也是他最看不上的“电解电容”的一种的时候，您一定能让你上铺那位兄弟感到尴尬。但真理是越辨越明，你有丰富的知识，那他只能选择沉默。而事实并不仅仅如此，当你看完本文后，能被你搞沉默的人绝对不止上铺那位兄弟，也许还包括那些试图玩点猫腻的奸商——在中国能做到这点就很 NB 了。

因为我们相信你并不是那种仅仅满足于用半瓶子醋的 DIY 知识骗几个 MM 和菜鸟的“DIY 玩家”，所以我们很真诚地邀请您阅读这篇有史以来 IT 媒体中最专业的关于电容的文章。

请相信，我们不是在忽悠。

在开始之前我们还是先向大家介绍一下本文的行文格式。为了方便大家阅读，本文由 PCPOP 编辑——小地，和业内资深的硬件专业人士——华巨先生以对话的形式进行。本文的主体内容均由华巨先生提供。

小地：OK，华巨先生，先向我们介绍一下，什么是电容？



电容是最基本的电子元器件

华巨：电容就是两块导体中间夹着一块绝缘体构成的电子元件，就像三明治一样。电容是电子设备中最基础也是最重要的元件之一。电容的产量占全球电子元器件产品（其它的还有电阻、电感等）中的 40% 以上。基本上所有的电子设备，小到闪存、数码相机，大到航天飞机、火箭中都可以见到它的身影。作为一种最基本的电子元器件，电容对于电子设备来说就象食品对于人一样不可缺少。

小小一颗电容却是一个国家工业技术能力的完全体现，尤其是高档电容所代表的是本国精密加工、化工、材料、基础研究的水平（美国、日本是世界上电容设计研究能力最高的两个国家）大家千万别小看它，其高档产品的设计制造要求甚至不亚于 CPU。同样是这棵不起眼的电容，上到神五，下到 U 盘，可以说有电源的地方就有它。



电容是无处不在的

电容的用途非常多，主要有如下几种：

1. 隔直流：作用是阻止直流通过而让交流通过。
2. 旁路（去耦）：为交流电路中某些并联的元件提供低阻抗通路。
3. 耦合：作为两个电路之间的连接，允许交流信号通过并传输到下一级电路
4. 滤波：这个对 DIY 而言很重要显卡上的电容基本都是这个作用。
5. 温度补偿：针对其它元件对温度的适应性不够带来的影响，而进行补偿，改善电路的稳定性。
6. 计时：电容器与电阻器配合使用，确定电路的时间常数。
7. 调谐：对与频率相关的电路进行系统调谐，比如手机、收音机、电视机。
8. 整流：在预定的时间开或者关半闭导体开关元件。
9. 储能：储存电能，用于必须的时候释放。例如相机闪光灯，加热设备等等。（如今某些电容的储能水平已经接近锂电池的水准，一个电容储存的电能可以供一个手机使用一天。

小地总结：看完这章，大家可能开始对电容感兴趣了。

小地：看完上一章之后我们对电容已有了基本的了解，那现在我们再深入一点，请介绍一下如今电容的种类好吗？我们常听说什么铝电容，钽电容……，能不能为我们系统地介绍一下电容的分类呢？

华巨：刚才我们说过，电容就是两块导体（阴极和阳极）中间夹着一块绝缘体（介质）构成的电子元件。电容的种类首先要按照介质种类来分。这当中可分为无机介质电容器、有机介质电容器和电解电容器三大类。不同介质的电容，在结构、成本、特性、用途方面都大不相同。



 陶瓷电容常用在超高频器件例如 GPU 上

无机介质电容器：包括大家熟悉的陶瓷电容以及云母电容，在 CPU 上我们会经常看到陶瓷电容。陶瓷电容的综合性能很好，可以应用 GHz 级别的超高频器件上，比如 CPU/GPU。当然，它的价格也很贵。

有机介质电容器：例如薄膜电容器，这类电容经常用在音箱上，其特性是比较精密、耐高温高压。

双电层电容器：这种电容的电容量特别大，可以达到几百 f (f=法，电容量单位，1f=1000000 μ f)。因此这种电容可以做 UPS 的电池用，作用是储存电能。说句题外话，如果把地球算做一个孤立导体的话，那么它的容量只有 700 μ f，还不如主板上用的一个铝电容。

电解电容器：由于主板、显卡等产品使用的基本都是电解电容，因此这是我们要讲的重点。大家熟悉的铝电容，钽电容其实都是电解电容。如果说电容是电子元器件中最重要和不可取代的元件的话，那么电解电容器又在整个电容产业中占据了半壁江山。我国电解电容年产量 300 亿只，且年平均增长率高达 30%，占全球电解电容产量的 1/3 以上。

大家别小看电解电容，它其实是一个国家的工业能力和技术水平的反映。世界上最先进的电解电容的设计和生产国是美国和日本，顶级的电解电容器的生产工艺要求非常高，别看我国电解电容产量这么高，可是各项核心技术都掌握在其它国家手里，我国也就能算来料加工的“世界工厂”而已，自主力量还很薄弱，并且生产的产品也都以低档的为主。

小地总结：知道电容的分类后，至少你不会再说什么“铝电容比电解电容好”一类的鬼话了。

小地：我认为电解电容和 DIY 玩家的关系最密切，那么，请继续为我们介绍它吧。

华巨：在了解电容的分类后，我想大家已经知道，和 DIY 玩家最切实相关的还属电解电容，所以我们接下来主要讲的也是它。首先让我们了解一下电解电容的性能特点，这样我们才能清楚为什么主板、显卡以及几乎所有的计算机设备里面都使用到了电解电容：

电解电容器特点一：单位体积的电容量非常大，比其它种类的电容大几十到数百倍。

电解电容器特点二：额定的容量可以做到非常大，可以轻易做到几万 μ f 甚至几 f（但不能和双电层电容相比）。

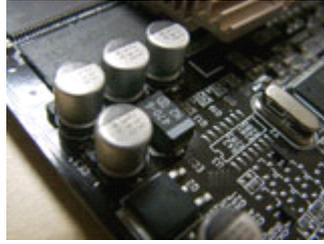
电解电容器特点三：价格比其它种类具有压倒性优势，因为电解电容的组成材料都是普通的工业材料，比如铝等等。制造电解电容的设备也都是普通的工业设备，可以大规模生产，成本相对较低。

目前，新型的电解电容发展的非常快，某些产品的性能已达到无机电容器的水准，电解电容正在替换某些无机和有机介质电容器。电解电容的使用范围相当广泛，基本上，有电源的设备都会使用到电解电容。例如通讯产品，数码产品，汽车上音响、发动机、ABS、GPS、电子喷油系统以及几乎所有的家用电器。由于技术的进步，如今在小型化要求较高的军用电子对抗设备中也开始广泛使用电解电容。

小地总结：有电源的地方就有电解电容，它价格便宜，使用在几百上千元的主板、显卡上是再合适不过了。

小地：电解电容如何分类？我们常听一些“高手”说“贴片电容比电解电容好”，“钽电容比贴片电容好”之类的话。能否为我们系统地介绍一下电解电容的分类，以及优劣关系呢？

华巨：电解电容的分类，传统的方法都是按阳极材质，比如说铝或者钽。所以，电解电容按阳极分，为以下几种：

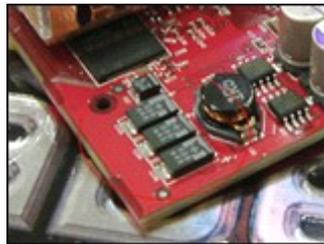


1. 铝电解电容。不管是 SMT 贴片工艺的（上图左，就是大家说的“贴片电容”，识别方式是底坐有黑色橡胶），还是直插式的，或者有塑料表皮的（上图右就是直插式有塑料表皮的，这个被很多人认为是“电解电容”），只要它们的阳极材质是铝，那么他们就都叫做铝电解电容。电容的封装方式和电容的品质本身并无直接联系，电容的性能只取决于具体型号，这个我们后面会详细说明。

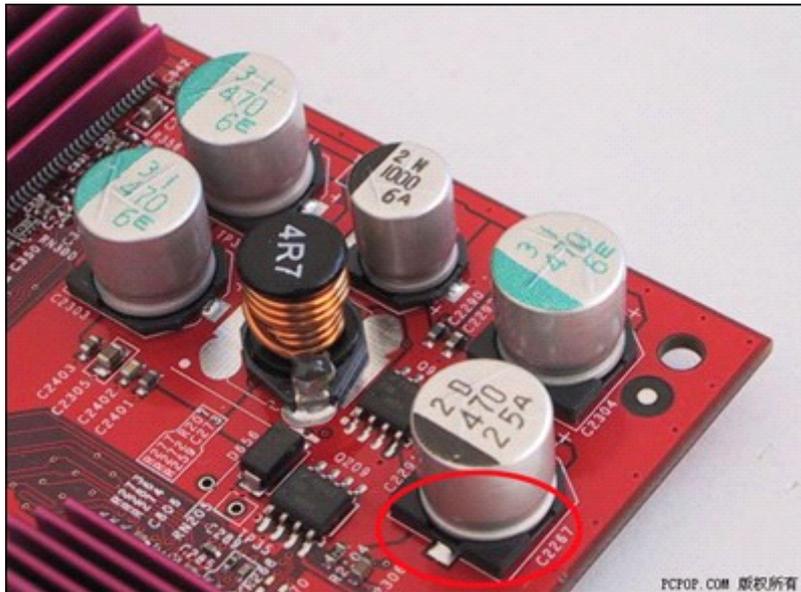


 紫色的是 SANYO OSCON TCNQ 系列高档电容，采用直插封装

2. 钽电解电容。阳极由钽构成，就是那种我们在显卡上一见到就会惊呼“这个显卡做工真不错！”的那种黄色或黑色小颗粒。目前很多钽电解电容都用贴片式安装，其外壳一般由树脂封装（采用同样封装的也可能是铝电解电容）。但是，钽电容的阴极也是电解质，所以很不幸的，它也是大家十分瞧不起的“电解电容”的一种。（有种晴天霹雳的感觉吧？）。



需要提及的是，铝电解电容和钽电解电容不是由封装形式决定的。像上图的黄色与黑色小方块，通常我们认为其是钽电解电容，但实际其阳极也有可能是铝，也就是说它们也有可能是铝电容而不是钽电容。（第二个晴天霹雳!？）



 是否有橡胶底座，是判断 SMT 贴片与直插封装的主要依据

3. 铌电解电容。这种电容如今已经用的比少，所以就不多介绍了。

以往传统的看法是钽电容性能比铝电容好，因为钽电容的介质为阳极氧化后生成的五氧化二钽，它的介电能力（通常用 ϵ 表示）比铝电容的三氧化二铝介质要高。因此在同样容量的情况下，钽电容的体积能比铝电容做得更小。（电解电容的容量取决于介质的介电能力和体积，在容量一定的情况下，介电能力越高，体积就可以做得越小，反之，体积就需要做得越大）再加上钽的性质比较稳定，所以通常认为钽电容性能比铝电容好。

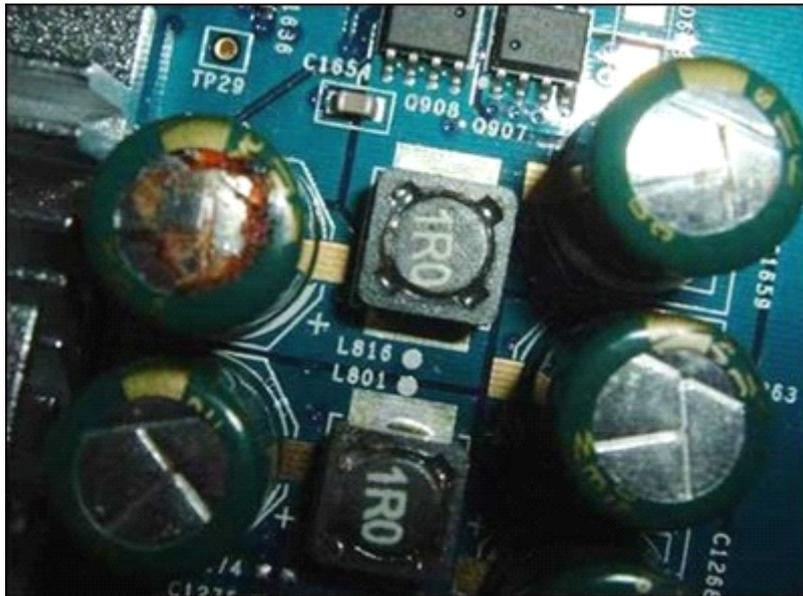
但这种凭阳极判断电容性能的方法已经过时了，目前决定电解电容性能的关键并不在于阳极，而在于电解质，也就是阴极。因为不同的阴极和不同的阳极可以组合成不同种类的电解电容，其性能也大不相同。采用同一种阳极的电容由于电解质的不同，性能可以差距很大，总之阳极对于电容性能的影响远远小于阴极。

小地总结：大家现在再去看看显卡，眼光可能会有些不同了。

小地：现在我们来了解一下电容的阴极。

华巨：阴极材料是电容的另一个极板，阴极也就是电容的电解质。电容的阴极目前基本有如下几种：

1. **电解液**。电解液是最传统的电解质，电解液是由 GAMMA 丁内酯有机溶剂加弱酸盐电容质经过加热得到的。我们所见到的普通意义上的铝电解电容的阴极，都是这种电解液。使用电解液做阴极有不少好处。首先在于液体与介质的接触面积较大，这样对提升电容量有帮助。其次是使用电解液制造的电解电容，最高能耐 260 度的高温，这样就可以通过波峰焊（波峰焊是 SMT 贴片安装的一道重要工序），同时耐压性也比较强。此外，使用电解液做阴极的电解电容，当介质被击穿的后，只要击穿电流不持续，那么电容能够自愈。但电解液也有其不足之处。首先是在高温环境下容易挥发、渗漏，对寿命和稳定性影响很大，在高温高压下电解液还有可能瞬间汽化，体积增大引起爆炸（就是我们常说的爆浆）；其次是电解液所采用的离子导电法其导电率很低，只有 0.01S（电导率，欧姆的倒数）/CM，这造成电容的 ESR 值（等效串联电阻）特别高。



 铝电解液电容爆浆

传统铝电解液电容都有防爆槽，这是为了让压力容易被释放，不会发生更大的爆炸。但某些产品为了节约成本省去了防爆槽的工序。

2. 二氧化锰。二氧化锰是钽电容所使用的阴极材料。二氧化锰是固体，传导方式为电子导电，导电率是电解液离子导电的十倍（0.1S/CM），所以 ESR 比电解液低。所以，传统上大家觉得钽电容比铝电容好得多，同时固体电解质也没有泄露的危险。此外二氧化锰的耐高温特性也比较好，能耐的瞬间温度在 500 度左右。二氧化锰的缺点在于在极性接反的情况下容易产生高温，在高温环境下释放出氧气，同时五氧化二钽介质层发生晶质变化，变脆产生裂缝，氧气沿着裂缝和钽粉混合发生爆炸。另外这种阴极材料的价格也比较贵。（和铝电解液电容相比，虽然都是爆炸，可原理却不一样，有多少人能注意到这点呢？）

传统上认为钽电容比铝电容性能好 主要是由于钽加上二氧化锰阴极助威后才有明显好于铝电解液电容的表现。如果把铝电解液电容的阴极更换为二氧化锰，那么它的性能其实也能提升不少。

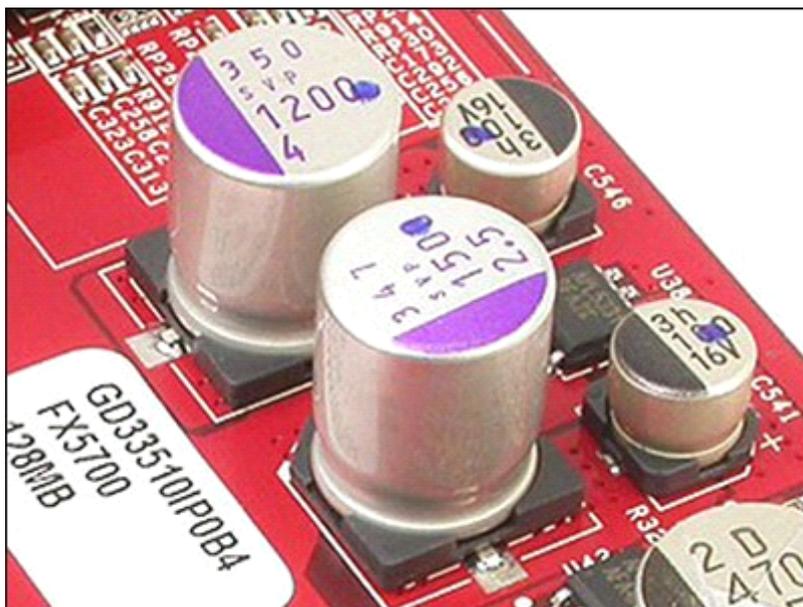
3. 接下来我们就要引出一种革命性的阴极——TCNQ。TCNQ 是一种有机半导体，是一种络合盐。TCNQ 在电容方面的应用，是在 90 年代中后期才出现的，它的出现代表着电解电容技术革命的开始。TCNQ 是一种有机半导体，因此使用 TCNQ 的电容也叫做有机半导体电容，例如早期的三洋 OSCON 产品。TCNQ 的出现，使电解电容的性能可以直接挑战传统陶瓷电容霸占的很多领域，使电解电容的工作频率由以前的 20KHZ 直接上升到了 1MHZ。TCNQ 的出现，使过去按照阳极划分电解电容性能的方法也过时了。因为即使是阳极为铝的铝电解电容，如果使用了 TCNQ 作为阴极材质的话，其性能照样比传统钽电容（钽+二氧化锰）好得多。TCNQ 的导电方式也是电子导电，其导电率为 1S/CM，是电解液的 100 倍，二氧化锰的 10 倍。



 紫色为 TCNQ 电容 (SANYO)

使用 TCNQ 作为阴极的有机半导体电容，其性能非常稳定，也比较廉价。不过它的热阻性能不好，其溶解温度只有 230 -240 摄氏度，所以有机半导体电容一般很少用 SMT 贴片工艺制造，因为无法通过波峰焊工艺，所以我们看到的有机半导体电容基本都是插件式安装的。TCNQ 还有一个不足之处就是对环境的污染。由于 TCNQ 是一种氰化物，在高温时容易挥发出剧毒的氰气，因此在生产和使用中会有限制。

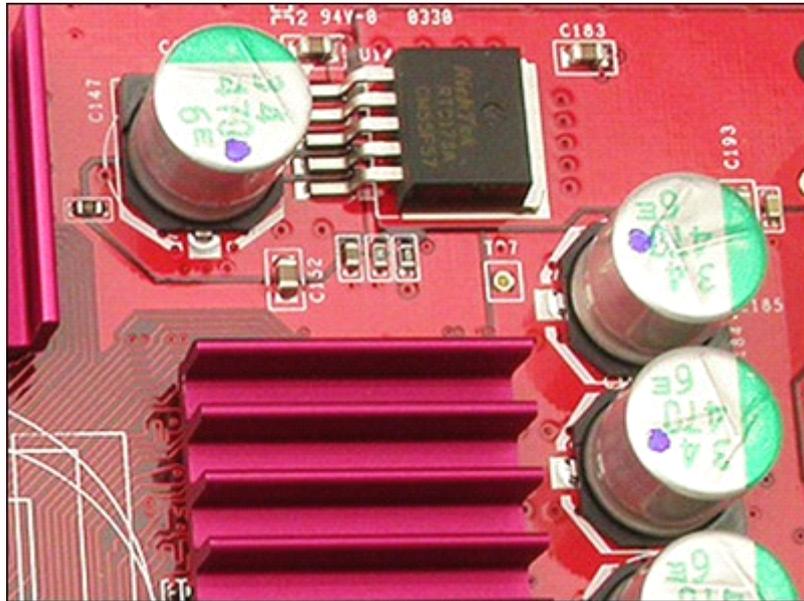
4. 如果说 TCNQ 是电解电容革命的开始的话，那么真正的革命的主角当属 PPY（聚吡咯）以及 PEDT 这类固体聚合物导体。



 著名的 SANYO OSCON SVP 系列铝固体聚合物导体电容

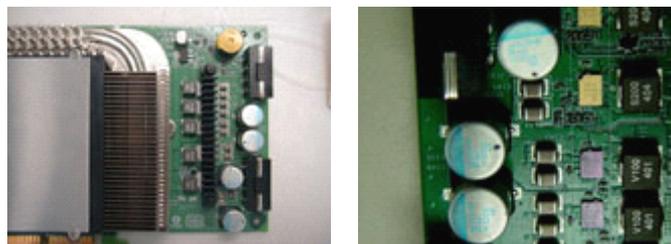
70 年代末人们发现，使用掺杂法可以获得优良的导电聚合物材料，从而引发了一场聚合物导

体的技术革命。1985年，小日本首次开发了聚吡咯膜，如果使用复合法的话，可以使其导电率达到铜和银的水平，但它又不是金属而相当于工程塑料，附着性比金属好，同时价格也比铜和银低很多，此外，在受力情况下，其导电率还会产生变化（其特性很像人的神经系统）。这无疑是电容研发者梦寐以求的阴极材质。2000年，美国人因为发明了大规模制造PPY聚吡咯膜的方法，而获得了当年的诺贝尔化学奖，其重要性可见一斑。聚吡咯的用途非常广泛，从隐形战斗机到人工手，以及显示器和电池、电容等等。聚吡咯的研发实力，可以反映出一个国家的化学水平，而我国的西安交通大学和成都电子科技大学在这方面比较突出。



三洋 CVEX 固体聚合物导体+电解液混合电容 注意防爆槽

使用PPY聚吡咯和PEDT做为阴极材料的电容，叫做固体聚合物导体电容。其电导率可以达到100S/CM，这是TCNQ盐的100倍，是电解液的10000倍，同时也没有污染。固体聚合物导体电容的温度特性也比较好的，可以忍耐300度以上的高温，因此可以使用SMT贴片工艺安装，也适合大规模生产。固体聚合物导体电容的安全性较好，当遇到高温的时候，电解质只是融化而不会产生爆炸，因此它不像普通铝电解液电容那样开有防爆槽（三洋有一种CVEX电容，阴极为固体聚合物导体加电解液的混合型，因此也有防爆槽）。固体聚合物导体电容的缺陷在于其价格相对偏高，同时耐压性能不强。



GF 6800U 使用的 CHEMICON PS/16V 电容 无防爆槽

最新锐的GF 6800 Ultra显卡，在NVIDIA公版上就使用了CHEMICON PS/16V固体聚合物导体电容。我看到有些“高手”对此不屑一顾，说16V算什么？确实，和使用电解液为阴极的电容相比，16V确实不算什么。但是

在 16 伏特电压下，它的 ESR 性能不是一般的电解液电容所能达到的，因此才被应用到 GF 6800 Ultra 这样的顶级显卡上。

小地：使用不同的阳极和阴极材料可以组合成多种规格的电解电容，是吗？

华巨：是这样的。基本上所有组合都可以。例如钽电解电容也可以使用固体聚合物导体做为阴极，而铝电解电容既可以使用电解液，也可以使用 TCNQ、PPY 和 PEDT 等等。现在新型的钽电容也采用了 PPY 和 PEDT 这类固体聚合物导体做阴极，因此性能进步很多，也没有以往二氧化锰阴极易爆炸的危险。如今最好的钽聚合物电容的 ESR 可以达到 5 毫欧姆。这类性能高、体积小的钽聚合物电容一般使用手机、数码相机等一些对体积要求较高的设备上。

小地：你刚才提到了有些电容不适合 SMT 贴片工艺，请问是否使用 SMT，对性能会带来什么影响？

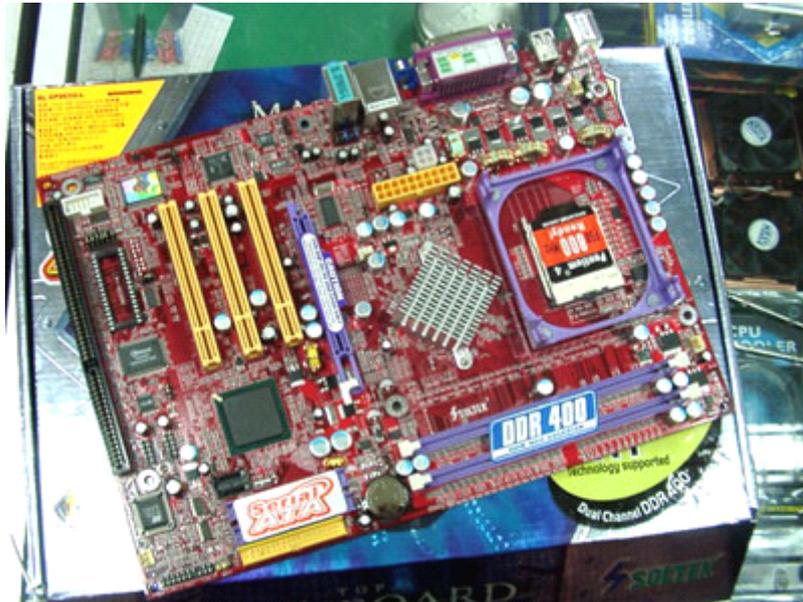
华巨：无论是插件还是贴片式的安装工艺，电容本身都是直立于 PCB 的，根本的区别方式是 SMT 贴片工艺安装的电容，有黑色的橡胶底座。SMT 的好处主要在于生产方面，其自动化程度高，精度也高，在运输途中不像插件式那样容易受损。但是 SMT 贴片工艺安装，需要波峰焊工艺处理，电容经过高温之后可能会影响性能，尤其是阴极采用电解液的电容，经过高温后电解液可能会干枯。插件工艺的安装成本低，因此在同样成本下，电容本身的性能可以更好一些。由于欧美工厂的机械成本低而人工比较贵，所以大部分倾向于 SMT 贴片制造。而国内工厂的人工较便宜，所以厂商更愿意使用插件式安装。

在性能方面，插件式电容对频率的适应性差一些，不过不到 500MHz 以上的频率是很难体现出差异的。使用插件式安装的电容中也有很好的产品，例如 CHEMICON 的 PS 系列有一部分就是使用插件式的。



 主板上的电容大多有“皮”

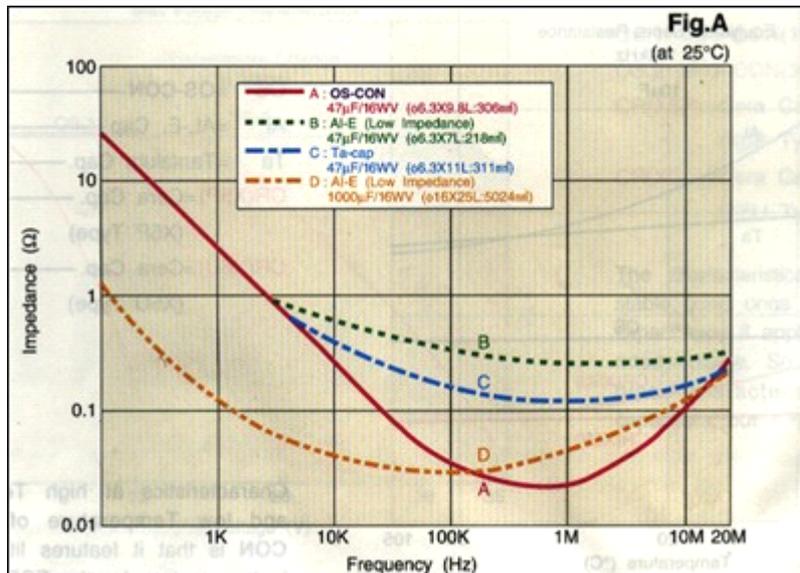
小地：有塑料外皮的电容和没有外皮的铝壳电容，性质上有什么区别吗？为什么主板上大都使用前者？



 新款主板开始使用铝聚合物高档电容

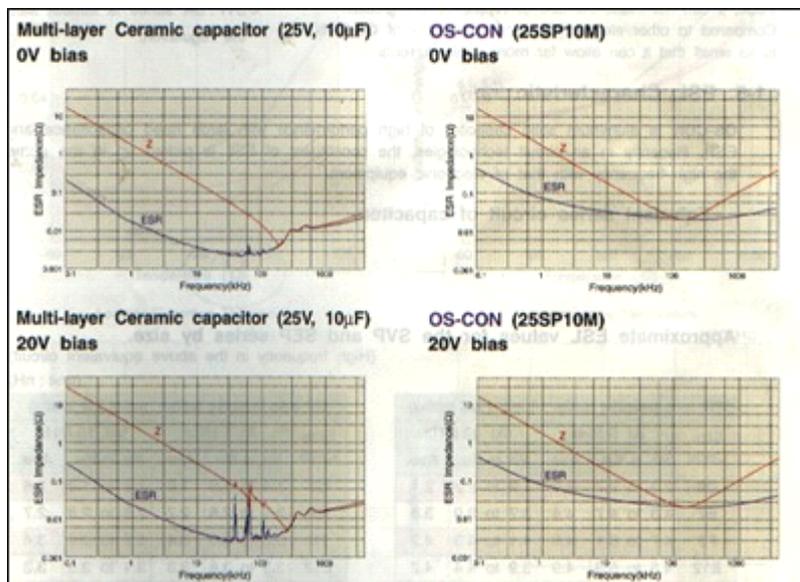
华巨：所有的直立式电容都是铝壳电容。只不过有一部分电容外面包了PVC薄膜，这样对温度的适应性会好一点，但是这样做会污染环境，所以现在的电容都很少使用了。从成本上将，有塑料外皮的电容对铝壳要求低，成本会低一些。主板产品因为面积大，可以用稳压电源，这样开关频率相对较低，所以没必要太好的电容，而显卡因为面积小，对电容要求就高。不过现在很多新款主板也开始用比较高档的电容了。

电解电容阴极材质性能特性对比					
阴极材质	电解液	二氧化锰	TCNQ	固体聚合物导体 (PPY/PEDT)	固体聚合物导体+ 电解液 (CVEX 混合型)
导电率	0.01S/CM	0.1S/CM	1S/CM	100S/CM	100S+0.01S/CM
导电方式	离子导电	电子导电	电子导电	电子导电	电子+离子导电
热阻性能	260 度	500 度	230 度 (不适合 SMT 贴片)	300 度	260 度
优点	价格最便宜, 耐压性优良, 有自愈特性	性能稳定	价格相对便宜, 导电率高, 综合性能较好	无污染, 不会爆炸, 良好的温度特性, LOW ESR 值	具备固体聚合物导体电容和电解液电容的一切优点与缺点
缺点	受温度影响巨大, ESR 高, 安全性不高	容易污染, 安全性不高, 价格也比较贵	不耐高温, 有污染, 耐电压值低	价格昂贵 没有自愈特性, 耐电压值低	

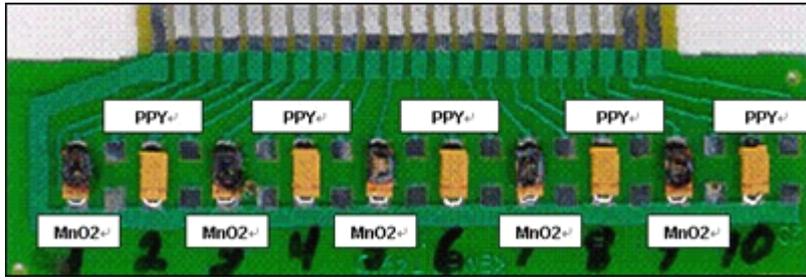


在以上表格当中，红线代表铝聚合物导体电容，绿色虚线表示普通铝电解液电容，蓝色虚线表示钽二氧化锰电容，黄色虚线表示超大容量（1000 μ F）、超大体积（后面的“ Φ ”符号代表了各自的体积）的铝电解液电容。表格的 X 轴线表示频率，Y 轴线表示阻抗，Y 轴的阻抗数值越低，ESR 值就越低，性能就越好。

这个表格体现的是在频率逐步提升的情况下，不同种类电容的性能变化。可以看出，当频率达到 10KHz 以上的时候铝聚合物导体电容的 ESR 值继续保持在较低的水平，当达到 100KHz 的时候，其 ESR 值低于其它所有类型的电容，包括钽电容和容量为 1000 μ F 的铝电解液电容（注意：两者的体积比例为 300：5000），而该电容的容量仅为 47 μ F。到了 1MHz，铝聚合物导体电容优势更明显。



以上这 4 个表格代表的是陶瓷电容（左边两个表格）和 TCNQ 有机半导体电容（右边两个表格），在施加电压为 0V（上表）和 20V（下表）的两种情况下，其 ESR 值的波动。可以看出，陶瓷电容在 20V 电压，频率接近 100KHz 的时候 ESR 出现了剧烈的波动。而 TCNQ 电容的 ESR 值则保持平滑的曲线。新电解材料的使用使电解电容在某些方面比电容的王者陶瓷电容更有优势。



当极性接反并施加 2 倍额定电压和 20A 电流时不同阴极钽电容的反映：如上图，使用二氧化锰为阴极的钽二氧化锰电容全部爆炸，而使用 PPY 为阴极的钽固体聚合物电容虽然全部报废，但表面无损。这反映了二氧化锰阴极电容和聚合物电容在安全性上的差异。

钽电解电容简介

固体钽电容器是 1956 年由美国贝乐实验室首先研制成功的，它的性能优异，是所有电容器中体积小而又能达到较大电容量的产品。钽电容器外形多种多样，并容易制成适于表面贴装的小型化和片型元件。适应了目前电子技术自动化和小型化发展的需要。虽然钽原料稀缺，钽电容价格较昂贵，但由于大量采用高比容钽粉（30KuF.g-100KuF.V/g），加上对电容器制造工艺的改进和完善，钽电解电容器还是得到了迅速的发展，使用范围日益广泛。钽电容器不仅在军事通讯，航天等领域广泛使用，而且使用范围还在向工业控制，影视设备、通讯仪表等产品中大量使用。

目前生产的钽电解电容器主要有烧结型固体、箔形卷绕固体、烧结型液体等三种，其中烧结型固体约占目前生产总量的 95% 以上，而又以非金属密封型的树脂封装式为主体。小型化、片式化配合 SMT 技术下方兴未艾，片式烧结钽电容器已逐渐成主流。

固体钽电容器电性能优良，工作温度范围宽，而且形式多样，体积效率优异，具有其独特的特征：

钽电解电容器的工作介质是在钽金属表面生成的一层极薄的五氧化二钽膜。

此层氧化膜介质完全与组成电容器的一端极结合成一个整体，不能单独存在。因此单位体积内所具有的电容量特别大。即比容量非常高，因此特别适宜于小型化。

在钽电解电容器工作过程中，具有自动修补或隔绝氧化膜中的疵点所在的性能，使氧化膜介质随时得到加固和恢复其应有的绝缘能力，而不致遭到连续的累积性破坏。这种独特自愈性能，保证了其长寿命和可靠性的优势。

钽电解电容器具有非常高的工作电场强度，并较任何类型电容器都大，以此保证它的小型化。

钽电解电容器可以非常方便地获得较大的电容量，在电源滤波、交流旁路等用途上少有竞争对手。

具有单向导电性，即所谓有“极性”，应用时应按电源的正、负方向接入电流，电容器的阳极（正极）接电源“+”极，阴极（负极）接电源的“-”极；如果接错不仅电容器发挥不了作用，而且漏电流很大，短时间内芯子就会发热，破坏氧化膜随即失效。

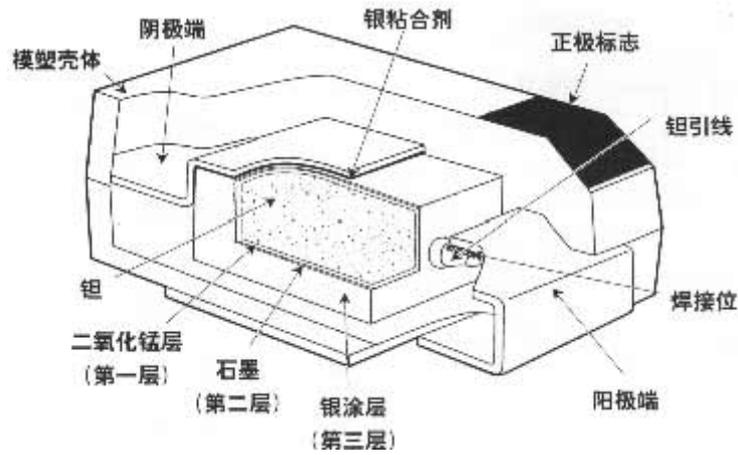
工作电压有一定的上限平值，但这方面的缺点对配合晶体管或集成电路电源，是不重要的。

电解电容器一般认为是一种性能优良，使用寿命长的电子元件，它的失效率正常时可达七级。但它总还是符合电子元器件的失效普遍规律，即澡盆形失效曲线，前期失效可在老炼过程中剔除。因此只有随机失效的可能性。而这种无效即有制造工艺控制问题，还常常伴随产品在使用过程的不当或超载所致，综合说来大约有三种模式即

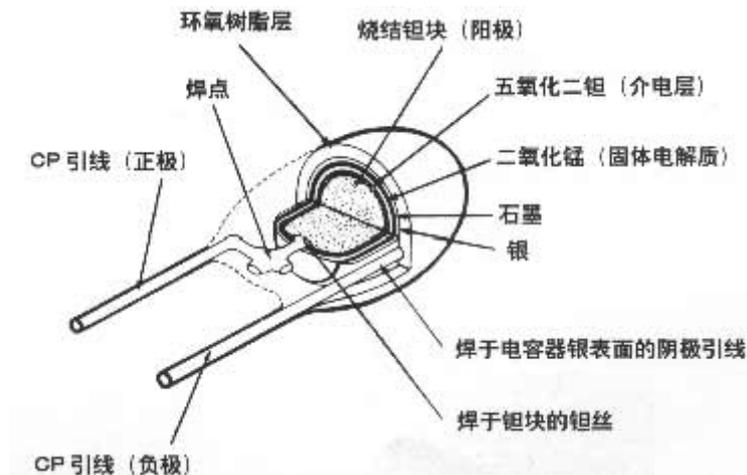
电流型、电压型和发热型。

钽电解电容器具有储藏电量、进行充放电等性能，主要应用于滤波、能量贮存与转换，记号旁路，耦合与退耦以及作时间常数元件等。在应用中要注意其性能特点，正确使用会有助于充分发挥其功能，其中诸如考虑产品工作环境及其发热温度，以及采取降额使用等措施，如果使用不当会影响产品的工作寿命。

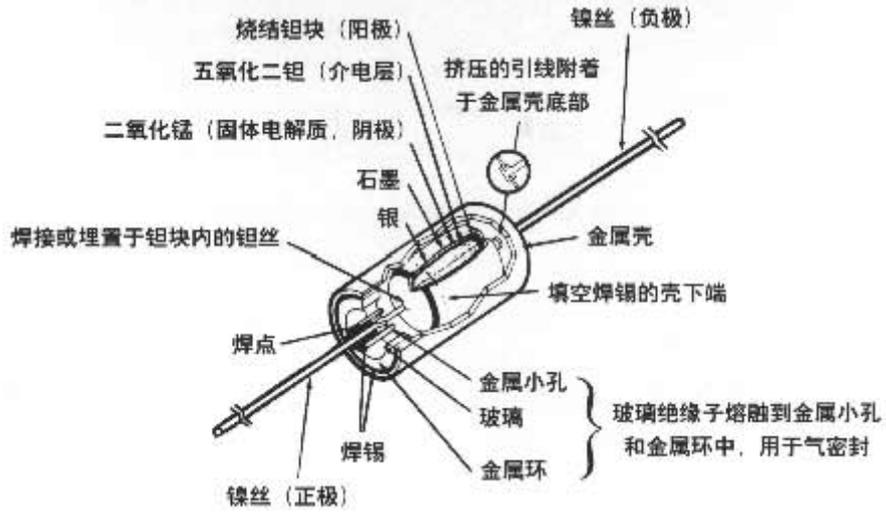
烧结型固体 电解质片状钽电容器



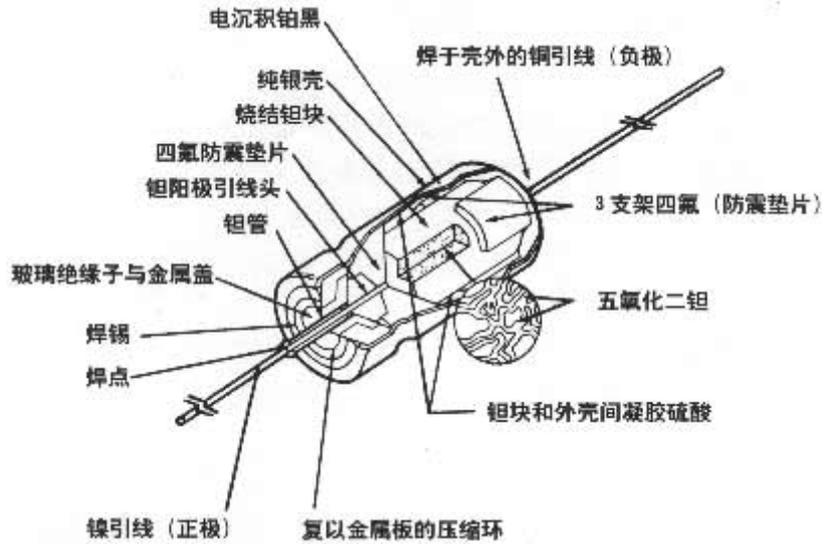
烧结型固体电解质柱状树脂包封钽电容器



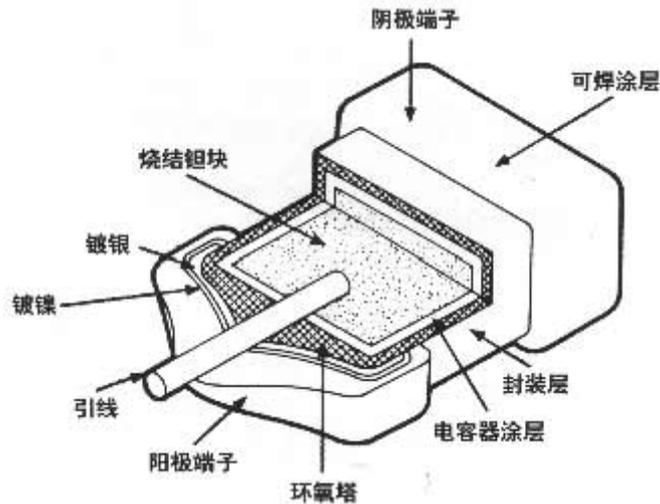
烧结型固体电解质金属壳钽电容器



烧结型液体电解质金属壳钽电容器



烧结型固体电解质端帽式钽电容器



贴片电容的种类和特点

单片陶瓷电容器(通称贴片电容)是目前用量比较大的常用元件,就 AVX 公司生产的贴片电容来讲有 NP0、X7R、Z5U、Y5V 等不同的规格,不同的规格有不同的用途。下面我们仅就常用的 NP0、X7R、Z5U 和 Y5V 来介绍一下它们的性能和应用以及采购中应注意的订货事项以引起大家的注意。不同的公司对于上述不同性能的电容器可能有不同的命名方法,这里我们引用的是 AVX 公司的命名方法,其他公司的产品请参照该公司的产品手册。

NP0、X7R、Z5U 和 Y5V 的主要区别是它们的填充介质不同。在相同的体积下由于填充介质不同所组成的电容器的容量就不同,随之带来的电容器的介质损耗、容量稳定性等也就不同。所以在使用电容器时应根据电容器在电路中作用不同来选用不同的电容器。

一 NP0 电容器

NP0 是一种最常用的具有温度补偿特性的单片陶瓷电容器。它的填充介质是由铷、钯和一些其它稀有氧化物组成的。

NP0 电容器是电容量和介质损耗最稳定的电容器之一。在温度从 -55°C 到 $+125^{\circ}\text{C}$ 时容量变化为 $0 \pm 30 \text{ppm}/^{\circ}\text{C}$,电容量随频率的变化小于 $\pm 0.3 \Delta \text{C}$ 。NP0 电容的漂移或滞后小于 $\pm 0.05\%$,相对大于 $\pm 2\%$ 的薄膜电容来说是可以忽略不计的。其典型的容量相对使用寿命的变化小于 $\pm 0.1\%$ 。NP0 电容器随封装形式不同其电容量和介质损耗随频率变化的特性也不同,大封装尺寸的要比小封装尺寸的频率特性好。下表给出了 NP0 电容器可选取的容量范围。

封装 DC=50V DC=100V

0805 0.5---1000pF 0.5---820pF

1206 0.5---1200pF 0.5---1800pF

1210 560---5600pF 560---2700pF

2225 1000pF---0.033 μF 1000pF---0.018 μF

NP0 电容器适合用于振荡器、谐振器的槽路电容,以及高频电路中的耦合电容。

二 X7R 电容器

X7R 电容器被称为温度稳定型的陶瓷电容器。当温度在 -55°C 到 $+125^{\circ}\text{C}$ 时其容量变化为 15% ,需要注意的是此时电容器容量变化是非线性的。

X7R 电容器的容量在不同的电压和频率条件下是不同的,它也随时间的变化而变化,大约每 10 年变化 $1\% \Delta \text{C}$,表现为 10 年变化了约 5% 。

X7R 电容器主要应用于要求不高的工业应用,而且当电压变化时其容量变化是可以接受的条件。它的主要特点是在相同的体积下电容量可以做的比较大。下表给出了 X7R 电容器可选取的容量范围。

封装 DC=50V DC=100V

0805 330pF---0.056 μ F 330pF---0.012 μ F
1206 1000pF---0.15 μ F 1000pF---0.047 μ F
1210 1000pF---0.22 μ F 1000pF---0.1 μ F
2225 0.01 μ F---1 μ F 0.01 μ F---0.56 μ F

三 Z5U 电容器

Z5U 电容器称为“通用”陶瓷单片电容器。这里首先需要考虑的是使用温度范围,对于 Z5U 电容器主要的是它的小尺寸和低成本。对于上述三种陶瓷单片电容来说在相同的体积下 Z5U 电容器有最大的电容量。但它的电容量受环境和工作条件影响较大,它的老化率最大可达每 10 年下降 5%。尽管它的容量不稳定,由于它具有小体积、等效串联电感(ESL)和等效串联电阻(ESR)低、良好的频率响应,使其具有广泛的应用范围。尤其是在退耦电路的应用中。下表给出了 Z5U 电容器的取值范围。

封装 DC=25V DC=50V

0805 0.01 μ F---0.12 μ F 0.01 μ F---0.1 μ F
1206 0.01 μ F---0.33 μ F 0.01 μ F---0.27 μ F
1210 0.01 μ F---0.68 μ F 0.01 μ F---0.47 μ F
2225 0.01 μ F---1 μ F 0.01 μ F---1 μ F

Z5U 电容器的其他技术指标如下:

工作温度范围 +10 $^{\circ}$ C --- +85 $^{\circ}$ C

温度特性 +22% ---- -56%

介质损耗 最大 4%

四 Y5V 电容器

Y5V 电容器是一种有一定温度限制的通用电容器,在-30 $^{\circ}$ C到 85 $^{\circ}$ C范围内其容量变化可达+22%到-82%。

Y5V 的高介电常数允许在较小的物理尺寸下制造出高达 4.7 μ F 电容器。

Y5V 电容器的取值范围如下表所示

封装 DC=25V DC=50V

0805 0.01 μ F---0.39 μ F 0.01 μ F---0.1 μ F
1206 0.01 μ F---1 μ F 0.01 μ F---0.33 μ F
1210 0.1 μ F---1.5 μ F 0.01 μ F---0.47 μ F
2225 0.68 μ F---2.2 μ F 0.68 μ F---1.5 μ F

Y5V 电容器的其他技术指标如下:

工作温度范围 -30 $^{\circ}$ C --- +85 $^{\circ}$ C

温度特性 +22% ---- -82%

介质损耗 最大 5%

华巨：技术的发展是日新月异的，前几年我还在为电解电容能否工作在音频（20KHZ）上和人争执，转眼现在新电解电容都在挑战 20MHZ 了。这几年我遇到无数设计上因为电容选择错误而导致恶性后果的事件（比如耕宇 4 200 显卡花屏退货，XX 厂主板电容爆浆），也看到不少厂商和所谓“高手”在电容上误导消费者。

最令人担心的是现在很多电子设计人员都没能注意到电容的地位越来越举足轻重，技术的发展已使电容脱胎换骨了，忽视对它们的研究是很危险的。还好我们国家还是有不少真正的人才在关注（比如西安交大和电子科大）。为了让我们在基础电子领域不落后先进国家太远，笔者斗胆写点科普的东西（真正的研究人员往往不屑做）。

在搜集了两年资料以及利用笔者可以参考内部资料的特权（基本上很多电容厂对配方和材质都是保密的，小日本尤其如此）后写就此文，希望读者特别是年轻读者能抓紧时间投入到基础研究中去，特别感谢 PCPOP 小地和李想以及我的朋友谷毅等人的大力协助，没有他们的帮忙我不可能那么勤奋地准备文章，仅以此文献给广大读者和那些为我国基础电子产业默默奉献的栋梁。

本篇主要讲解电容的基础知识，例如各个种类的电容及其基本性能等等。在下篇当中，我们的文章内容将由理论转为实战。我们将会为大家介绍电容的制造过程，以及具体几款电容的性能、设计实例等等。最后，我们还将为大家介绍常见的电容品牌的特色。请大家期待！

什么是安规电容

什么是安规电容 X 电容 Y 电容

根据 IEC 60384-14，电容器分为 X 电容及 Y 电容，

1. X 电容是指跨于 L-N 之间的电容器，
2. Y 电容是指跨于 L-G/N-G 之间的电容器。

(L=Line, N=Neutral, G=Ground)

X 电容底下又分为 X1, X2, X3，主要差别在于：

1. X1 耐高压大于 2.5 kV，小于等于 4 kV，
2. X2 耐高压小于等于 2.5 kV，
3. X3 耐高压小于等于 1.2 kV

Y 电容底下又分为 Y1, Y2, Y3, Y4，主要差别在于：

1. Y1 耐高压大于 8 kV，
2. Y2 耐高压大于 5 kV，
3. Y3 耐高压 n/a
4. Y4 耐高压大于 2.5 kV

X,Y 电容都是安规电容,火线零线间的是 X 电容,火线与地间的是 Y 电容.

它们用在电源滤波器里,起到电源滤波作用,分别对共模,差模工扰起滤波作用.

安规电容是指用于这样的场合，即电容器失效后，不会导致电击，不危及人身安全。安规电容安全等级 应用中允许的峰值脉冲电压 过电压等级 (IEC664) X1 >2.5kV ≤4.0kV III X2 ≤2.5kV II X3 ≤1.2kV —— 安规电容安全等级 绝缘类型 额定电压范围
Y1 双重绝缘或加强绝缘 ≥ 250V Y2 基本绝缘或附加绝缘 ≥150V ≤250V Y3 基本绝缘或附加绝缘 ≥150V ≤250V Y4 基本绝缘或附加绝缘 <150V Y 电容的电容量必须受到限制，从而达到控制在额定频率及额定电压作用下，流过它的漏电流的大小和对系统 EMC 性能影响的目的。GJB151 规定 Y 电容的容量应不大于 0.1uF。Y 电容除符合相应的电网电压耐压外，还要求这种电容器在电

气和机械性能方面有足够的安全余量，避免在极端恶劣环境条件下出现击穿短路现象，Y 电容的耐压性能对保护人身安全具有重要意义

在滤波电路上有 X 电容，就是跨接 L-N 线；Y 电容就是 N-G 线。

在安规标准上有按脉冲电压分 X1,X2,X3 电容；按绝缘等级来分 Y1,Y2,Y3 来分。

(这些都不是按什么材质来分的，以后多学习。)

至于安规标准各个国家有一些差别，但额定电压无非就是 250 和 400。

各大厂家做的安规电容就是要满足这个安规标准的需求，一个安规电容可以满足 Y 电容的要求，也有可以做成满足 X 电容要求。所以就有的安规电容上标 X1Y1,X1Y2...

火线与 0 线之间接个电容就是是 X,而火线与地线之间接个电容像个 Y。

由于火线与 0 线直接电容，受电压峰值的影响，避免短路，比较注重的参数就是耐压等级，在电容值上没有定限制值。

火线与地线直接电容要涉及到漏电安全的问题，因此它注重的参数就是绝缘等级，正如 james bai 所说的，太大的容值电容会在电源断电后对人对器件产生影响。



再谈电阻、电容、三极管等电子元件基础

第一章：基本元件

第一节 电阻器

电阻，英文名 resistance，通常缩写为 R，它是导体的一种基本性质，与导体的尺寸、材料、温度有关。欧姆定律说， $I=U/R$ ，那么 $R=U/I$ ，电阻的基本单位是欧姆，用希腊字母“ Ω ”表示，有这样的定义：导体上加上一伏特电压时，产生一安培电流所对应的阻值。电阻的主要职能就是阻碍电流流过。事实上，“电阻”说的是一种性质，而通常在电子产品中所指的电阻，是指电阻器这样一种元件。师傅对徒弟说：“找一个 100 欧的电阻来！”，指的就是一个“电阻值”为 100 欧姆的电阻器，欧姆常简称为欧。表示电阻阻值的常用单位还有千欧（ $k\Omega$ ），兆欧（ $M\Omega$ ）。

一、电阻器的种类

电阻器的种类有很多，通常分为三大类：固定电阻，可变电阻，特种电阻。在电子产品中，以固定电阻应用最多。而固定电阻以其制造材料又可分为好多类，但常用、常见的有 R T 型碳膜电阻、R J 型金属膜电阻、R X 型线绕电阻，还有近年来开始广泛应用的片状电阻。型号命名很有规律，R 代表电阻，T—碳膜，J—金属，X—线绕，是拼音的第一个字母。在国产老式的电子产品中，常可以看到外表涂覆绿漆的电阻，那就是 R T 型的。而红颜色的电阻，是 R J 型的。一般老式电子产品中，以绿色的电阻居多。为什么呢？这涉及到产品成本的问题，因为金属膜电阻虽然精度高、温度特性好，但制造成本也高，而碳膜电阻特别价廉，而且能满足民用产品要求。

电阻器当然也有功率之分。常见的是 1/8 瓦的“色环碳膜电阻”，它是电子产品和电子制作中用的最多的。当然在一些微型产品中，会用到 1/16 瓦的电阻，它的个头小多了。再者就是微型片状电阻，它是贴片元件家族的一员，以前多见于进口微型产品中，现在电子爱好者也可以买到了

二、电阻器的标识

这些直接标注的电阻，在新买来的时候，很容易识别规格。可是在装配电子产品的时候，必须考虑到为以后检修的方便，把标注面朝向易于看到的地方。所以在弯脚的时候，要特别注意。在手工装配时，多这一道工序，不是什么大问题，但是自动生产线上的机器没有那么聪明。而且，电阻器元件越做越小，直接标注的标记难以看清。因此，国际上惯用“色环标注法”。事实上，“色环电阻”占据着电阻器元件的主流地位。“色环电阻”顾名思义，就是在电阻器上用不同颜色的环来表示电阻的规格。有的是用 4 个色环表示，有的用 5 个。有区别么？是的。4 环电阻，一般是碳膜电阻，

用 3 个色环来表示阻值，用 1 个色环表示误差。5 环电阻一般是金属膜电阻，为更好地表示精度，用 4 个色环表示阻值，另一个色环也是表示误差。下表是色环电阻的颜色-数码对照表：

颜色	有效数字	乘数	允许偏差
黑色	0	10 的 0 次方	
棕色	1	10 的 1 次方	+/- 1%
红色	2	10 的 2 次方	+/- 2%
橙色	3	10 的 3 次方	-----
黄色	4	10 的 4 次方	-----
绿色	5	10 的 5 次方	+/- 0.5%
蓝色	6	10 的 6 次方	+/- 0.2%
紫色	7	10 的 7 次方	+/- 0.1%
灰色	8	10 的 8 次方	-----
白色	9	10 的 9 次方	+5~-20%
无色	-----	-----	+/- 20%
银色	-----	-----	+/- 10%
金色	-----	-----	+/- 5%

色环电阻的规则是最后一圈代表误差，对于四环电阻，前二环代表有效值，第三环代表乘上的次方数。不要怕，记住颜色和数码就行啦，其他的不用记。有一个秘诀：面对一个色环电阻，找出金色或银色的一端，并将它朝下，从头开始读色环。例如第一环是棕色的，第二环是黑色的，第三环是红色的，第四环是金色的，那么它的电阻值是 1、0，第三环是添零的个数，这个电阻添 2 个零，所以它的实际阻值是 1000 Ω ，即 1k Ω 。

三、可变电阻

可变电阻又称为电位器，电子设备上的音量电位器就是个可变电阻。但是一般认为电位器都是可以被手动调节的，而可变电阻一般都较小，装在电路板上不经常调节。可变电阻有三个引脚，其中两个引脚之间的电阻值固定，并将该电阻值称为这个可变电阻的阻值。第三个引脚与任两个引脚间的电阻值可以随着轴臂的旋转而改变。这样，可以调节电路中的电压或电流，达到调节的效果。

四、特种电阻

光敏电阻 是一种电阻值随外界光照强弱（明暗）变化而变化的元件，光越强阻值越小，光越弱阻值越大。其外形和电路符号如图 2 所示。如果把光敏电阻的两个引脚接在万用表的表笔上，用万用表的 R \times 1k 挡测量在不同的光照下光敏电阻的阻值：将光敏电阻从较暗的抽屉里移到阳光下或灯光上，万用表读数将会发生变化。在完全黑暗处，光敏电阻的阻值可达几兆欧以上（万用表指示电阻为无穷大，即指针不动），而在较强光线下，阻值可降到几千欧甚至 1 千欧以下。

利用这一特性，可以制作各种光控的小电路来。事实上街边的路灯大多是用光控开关自动控制的，其中一个重要的元器件就是光敏电阻（或者是光敏三极管，一种功能相似的带放大作用的半导体元件）。光敏电阻是在陶瓷基座上沉积一层硫化镉（CdS）膜后制成的，实际上也是一种半导体元件。新村里声控楼道灯在白天不会点亮，也是因为光敏电阻在起作用。我们可以用它制作电子报晓鸡，清晨天亮时喔喔叫。

热敏电阻是一个特殊的半导体器件，它的电阻值随着其表面温度的高低的变化而变化。它原本是为了使电子设备在不同的环境温度下正常工作而使用的，叫做温度补偿。新型的电脑主板都有 CPU 测温、超温报警功能，就是利用了热敏电阻。

第二节 电容器

电子制作中需要用到各种各样的电容器，它们在电路中分别起着不同的作用。与电阻器相似，通常简称其为电容，用字母 C 表示。顾名思义，电容器就是“储存电荷的容器”。尽管电容器品种繁多，但它们的基本结构和原理是相同的。两片相距很近的金属中间被某物质（固体、气体或液体）所隔开，就构成了电容器。两片金属称为的极板，中间的物质叫做介质。电容器也分为容量固定的与容量可变的。但常见的是固定容量的电容，最多见的是电解电容和瓷片电容。

??

不同的电容器储存电荷的能力也不相同。规定把电容器外加 1 伏特直流电压时所储存的电荷量称为该电容器的电容量。电容的基本单位为法拉 (F)。但实际上, 法拉是一个很不常用的单位, 因为电容器的容量往往比 1 法拉小得多, 常用微法 (μF)、纳法 (nF)、皮法 (pF) (皮法又称微微法) 等, 它们的关系是: 1 法拉 (F) = 1000000 微法 (μF)
1 微法 (μF) = 1000 纳法 (nF) = 1000000 皮法 (pF)

在电子线路中, 电容用来通过交流而阻隔直流, 也用来存储和释放电荷以充当滤波器, 平滑输出脉动信号。小容量的电容, 通常在高频电路中使用, 如收音机、发射机和振荡器中。大容量的电容往往是作滤波和存储电荷用。而且还有一个特点, 一般 $1\mu\text{F}$ 以上的电容均为电解电容, 而 $1\mu\text{F}$ 以下的电容多为瓷片电容, 当然也有其他的, 比如独石电容、涤纶电容、小容量的云母电容等。电解电容有个铝壳, 里面充满了电解质, 并引出两个电极, 作为正 (+)、负 (-) 极, 与其它电容器不同, 它们在电路中的极性不能接错, 而其他电容则没有极性。

把电容器的两个电极分别接在电源的正、负极上, 过一会儿即使把电源断开, 两个引脚间仍然会有残留电压 (学了以后的教程, 可以用万用表观察), 我们说电容器储存了电荷。电容器极板间建立起电压, 积蓄起电能, 这个过程称为电容器的充电。充好电的电容器两端有一定的电压。电容器储存的电荷向电路释放的过程, 称为电容器的放电。

举一个现实生活中的例子, 我们看到市售的整流电源在拔下插头后, 上面的发光二极管还会继续亮一会儿, 然后逐渐熄灭, 就是因为里面的电容事先存储了电能, 然后释放。当然这个电容原本是用作滤波的。至于电容滤波, 不知你有没有用整流电源听随身听的经历, 一般低质的电源由于厂家出于节约成本考虑使用了较小容量的滤波电容, 造成耳机中有嗡嗡声。这时可以在电源两端并接上一个较大容量的电解电容 ($1000\mu\text{F}$, 注意正极接正极), 一般可以改善效果。发烧友制作 HiFi 音响, 都要用至少 1 万微法以上的电容器来滤波, 滤波电容越大, 输出的电压波形越接近直流, 而且大电容的储能作用, 使得突发的大信号到来时, 电路有足够的能量转换为强劲有力的音频输出。这时, 大电容的作用有点像水库, 使得原来汹涌的水流平滑地输出, 并可以保证下游大量用水时的供应。

电子电路中, 只有在电容器充电过程中, 才有电流流过, 充电过程结束后, 电容器是不能通过直流电的, 在电路中起着“隔直流”的作用。电路中, 电容器常被用作耦合、旁路、滤波等, 都是利用它“通交流, 隔直流”的特性。那么交流电为什么能够通过电容器呢? 我们先来看看交流电的特点。交流电不仅方向往复交变, 它的大小也在按规律变化。电容器接在交流电源上, 电容器连续地充电、放电, 电路中就会流过与交流电变化规律一致的充电电流和放电电流。电容器的选用涉及到很多问题。首先是耐压的问题。加在一个电容器的两端的电压超过了它的额定电压, 电容器就会被击穿损坏。一般电解电容的耐压分档为 6.3V, 10V, 16V, 25V, 50V 等。

电容在电路中一般用“C”加数字表示 (如 C13 表示编号为 13 的电容)。电容是由两片金属膜紧靠, 中间用绝缘材料隔开而组成的元件。电容的特性主要是隔直流通交流。电容容量的大小就是表示能贮存电能的大小, 电容对交流信号的阻碍作用称为容抗, 它与交流信号的频率和电容量有关。容抗 $X_C = 1/2\pi f C$ (f 表示交流信号的频率, C 表示电容量) 电话机中常用电容的种类有电解电容、瓷片电容、贴片电容、独石电容、钽电容和涤纶电容等。

识别方法: 电容的识别方法与电阻的识别方法基本相同, 分直标法、色标法和数标法 3 种。电容的基本单位用法拉 (F) 表示, 其它单位还有: 毫法 (mF)、微法 (μF)、纳法 (nF)、皮法 (pF)。

其中: 1 法拉=103 毫法=106 微法=109 纳法=1012 皮法

容量大的电容其容量值在电容上直接标明, 如 $10\mu\text{F}/16\text{V}$

容量小的电容其容量值在电容上用字母表示或数字表示

字母表示法: $1\text{m}=1000\mu\text{F}$ $1\text{P}=1.2\text{PF}$ $1\text{n}=1000\text{PF}$

数字表示法: 一般用三位数字表示容量大小, 前两位表示有效数字, 第三位数字是倍率。

如: 102 表示 $10 \times 10^2 \text{PF} = 1000\text{PF}$ 224 表示 $22 \times 10^4 \text{PF} = 0.22\mu\text{F}$

电容容量误差表

符号 F G J K L M

允许误差 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ $\pm 15\%$ $\pm 20\%$

如: 一瓷片电容为 104J 表示容量为 $0.1\mu\text{F}$ 、误差为 $\pm 5\%$

第三节 电感器

电感器在电子制作中虽然使用得不是很多，但它们在电路中同样重要。我们认为电感器和电容器一样，也是一种储能元件，它能把电能转变为磁场能，并在磁场中储存能量。电感器用符号 L 表示，它的基本单位是亨利（H），常用毫亨（mH）为单位。它经常和电容器一起工作，构成 LC 滤波器、LC 振荡器等。另外，人们还利用电感的特性，制造了阻流圈、变压器、继电器等。

电感器的特性恰恰与电容的特性相反，它具有阻止交流电通过而让直流电通过的特性。

小小的收音机上就有不少电感线圈，几乎都是用漆包线绕成的空心线圈或在骨架磁芯、铁芯上绕制而成的。有天线线圈（它是用漆包线在磁棒上绕制而成的）、中频变压器（俗称中周）、输入输出变压器等等。

实物图和电路符号见图

变压器 是由铁芯和绕在绝缘骨架上的铜线圈线构成的。绝缘铜线绕在塑料骨架上，每个骨架需绕制输入和输出两组线圈。线圈中间用绝缘纸隔离。绕好后将许多铁芯薄片插在塑料骨架的中间。这样就能够使线圈的电感量显著增大。变压器利用电磁感应原理从它的一个绕组向另几个绕组传输电能。变压器在电路中具有重要的功能：耦合交流信号而阻隔直流信号，并可以改变输入输出的电压比；利用变压器使电路两端的阻抗得到良好匹配，以获得最大限度的传送信号功率。

电力变压器就是把高压电变成民用市电，而我们的许多电器都是使用低压直流电源工作的，需要用电源变压器把 220V 交流市电转换成低压交流电，再通过二极管整流，电容器滤波，形成直流电供电工作。电视机显象管需要上万伏的电压来工作，是由“行输出变压器”供给的。

当然，电源变压器也有其不少缺点，例如功率与体积成正比，笨重、效率低等，现在正在被新型的“电子变压器”所取代。电子变压器一般是“开关电源”，电脑工作需要的几组电压就是开关电源供给的，彩电、显示器中更是无一例外地使用了开关电源。

继电器 就是电子机械开关，它是用漆包铜线在一个圆铁芯上绕几百圈至几千圈，当线圈中流过电流时，圆铁芯产生了磁场，把圆铁芯上边的带有接触片的铁板吸住，使之断开第一个触点而接通第二个开关触点。当线圈断电时，铁芯失去磁性，由于接触铜片的弹性作用，使铁板离开铁芯，恢复与第一个触点的接通。因此，可以用很小的电流去控制其他电路的开关。整个继电器由塑料或有机玻璃防尘罩保护着，有的还是全密封的，以防触电氧化。

电感在电路中常用“L”加数字表示，如：L6 表示编号为 6 的电感。电感线圈是将绝缘的导线在绝缘的骨架上绕一定的圈数制成。直流可通过线圈，直流电阻就是导线本身的电阻，压降很小；当交流信号通过线圈时，线圈两端将会产生自感电动势，自感电动势的方向与外加电压的方向相反，阻碍交流的通过，所以电感的特性是通直流阻交流，频率越高，线圈阻抗越大。电感在电路中可与电容组成振荡电路。电感一般有直标法和色标法，色标法与电阻类似。如：棕、黑、金、金表示 1uH（误差 5%）的电感。电感的基本单位为：亨（H） 换算单位有：1H=103mH=106uH。

第二章：半导体器件

第一节 二极管

半导体是一种具有特殊性质的物质，它不像导体一样能够完全导电，又不像绝缘体那样不能导电，它介于两者之间，所以称为半导体。半导体最重要的两种元素是硅（读“gui”）和锗（读“zhe”）。我们常听说的美国硅谷，就是因为起先那里有好多家半导体厂商。

二极管应该算是半导体器件家族中的元老了。很久以前，人们热衷于装配一种矿石收音机来收听无线电广播，这种矿石后来就被做成了晶体二极管。

二极管最明显的性质就是它的单向导电特性，就是说电流只能从一边过去，却不能从另一边过来（从正极流向负极）。我们用万用表来对常见的 1N4001 型硅整流二极管进行测量，红表笔接二极管的负极，黑表笔接二极管的正极时，表针会动，说明它能够导电；然后将黑表笔接二极管负极，红表笔接二极管正极，这时万用表的表针根本不动或者只偏转一点点，说明导电不良。（万用表里面，黑表笔接的是内部电池的正极）

常见的几种二极管如图所示。其中有玻璃封装的、塑料封装的和金属封装的等几种。图 2 是二极管的电路符号，像它的名字，二极管有两个电极，并且分为正负极，一般把极性标示在二极管的外壳上。大多数用一个不同颜色的环来表示负极，有的直接标上“-”号。大功率二极管多采用金属封装，并且有个螺帽以便固定在散热器上。

利用二极管单向导电的特性，常用二极管作整流器，把交流电变为直流电，即只让交流电的正半周（或负半周）通过，再用电容器滤波形成平滑的直流。事实上好多电器的电源部分都是这样的。二极管也用来做检波器，把高频信号中的有用信号“检出来”，老式收音机中会有一个“检波二极管”，一般用 2AP9 型锗管。

二极管的类型也有好几种，对于电子制作来说，常常用到以下的二极管：用于稳压的稳压二极管，用于数字电路的开关二极管，用于调谐的变容二极管，以及光电二极管等，最常看见的是发光二极管。

发光二极管在日常生活电器中无处不在，它能够发光，有红色、绿色和黄色等，有直径 3mm、5mm 和 2×5mm 长方型的。与普通二极管一样，发光二极管也是由半导体材料制成的，也具有单向导电的性质，即只有接对极性才能发光。发光二极管符号比一般二极管多了两个箭头，示意能够发光。通常发光二极管用来作电路工作状态的指示，它比小灯泡的耗电低得多，而且寿命也长得多。用发光二极管，还可以构成电子显示屏，证券交易所里的显示屏就是由发光二极管点阵构成的，只是因为各种色彩都是由红绿蓝构成，而蓝色发光二极管在以前还未大量生产出来，所以一般的电子显示屏都不能显示出真彩色。

发光二极管的发光颜色一般和它本身的颜色相同，但是近年来出现了透明色的发光管，它也能发出红黄绿等颜色的光，只有通电了才能知道。辨别发光二极管正负极的方法，有实验法和目测法。实验法就是通电看看能不能发光，若不能就是极性接错或是发光管损坏。

注意发光二极管是一种电流型器件，虽然在它的两端直接接上 3V 的电压后能够发光，但容易损坏，在实际使用中一定要串接限流电阻，工作电流根据型号不同一般为 1mA 到 30mA。另外，由于发光二极管的导通电压一般为 1.7V 以上，所以一节 1.5V 的电池不能点亮发光二极管。同样，一般万用表的 R×1 档到 R×1K 档均不能测试发光二极管，而 R×10K 档由于使用 15V 的电池，能把有的发光管点亮。

用眼睛来观察发光二极管，可以发现内部的两个电极一大一小。一般来说，电极较小、个头较矮的一个是发光二极管的正极，电极较大的一个是它的负极。若是新买来的发光管，管脚较长的一个是正极。

晶体二极管在电路中常用“D”加数字表示，如：D5 表示编号为 5 的二极管。

1、作用：二极管的主要特性是单向导电性，也就是在正向电压的作用下，导通电阻很小；而在反向电压作用下导通电阻极大或无穷大。正因为二极管具有上述特性，无绳电话机中常把它用在整流、隔离、稳压、极性保护、编码控制、调频调制和静噪等电路中。电话机里使用的晶体二极管按作用可分为：整流二极管（如 1N4004）、隔离二极管（如 1N4148）、肖特基二极管（如 BAT85）、发光二极管、稳压二极管等。2、识别方法：二极管的识别很简单，小功率二极管的 N 极（负极），在二极管外表大多采用一种色圈标出来，有些二极管也用二极管专用符号来表示 P 极（正极）或 N 极（负极），也有采用符号标志为“P”、“N”来确定二极管极性的。发光二极管的正负极可从引脚长短来识别，长脚为正，短脚为负。

2、测试注意事项：用数字式万用表去测二极管时，红表笔接二极管的正极，黑表笔接二极管的负极，此时测得的阻值才是二极管的正向导通阻值，这与指针式万用表的表笔接法刚好相反。

3、常用的 1N4000 系列二极管耐压比较如下：

型号	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007
耐压 (V)	50	100	200	400	600	800	1000
电流 (A)	均为 1						

稳压二极管

稳压二极管在电路中常用“ZD”加数字表示，如：ZD5 表示编号为 5 的稳压管。

1、稳压二极管的稳压原理：稳压二极管的特点就是击穿后，其两端的电压基本保持不变。这样，当把稳压管接入电路以后，若由于电源电压发生波动，或其它原因造成电路中各点电压变动时，负载两端的电压将基本保持不变。

2、故障特点：稳压二极管的故障主要表现在开路、短路和稳压值不稳定。在这 3 种故障中，前一种故障表现出电源电压升高；后 2 种故障表现为电源电压变低到零伏或输出不稳定。

常用稳压二极管的型号及稳压值如下表：

型号	1N4728	1N4729	1N4730	1N4732	1N4733	1N4734	1N4735	1N4744	1N4750	1N4751	1N4761
稳压值	3.3V	3.6V	3.9V	4.7V	5.1V	5.6V	6.2V	15V	27V	30V	75V

变容二极管

变容二极管是根据普通二极管内部“PN 结”的结电容能随外加反向电压的变化而变化这一原理专门设计出来的一种特殊二极管。变容二极管在无绳电话机中主要用在手机或座机的高频调制电路上，实现低频信号调制到高频信号上，并发射出去。在工作状态，变容二极管调制电压一般加到负极上，使变容二极管的内部结电容容量随调制电压的变化而变化。变容二极管发生故障，主要表现为漏电或性能变差：

(1) 发生漏电现象时，高频调制电路将不工作或调制性能变差。

(2) 变容性能变差时，高频调制电路的工作不稳定，使调制后的高频信号发送到对方被对方接收后产生失真。出现上述情况之一时，就应该更换同型号的变容二极管

第二节 三极管

半导体三极管也称为晶体三极管，可以说它是电子电路中最重要器件。它最主要的功能是电流放大和开关作用。三极管顾名思义具有三个电极。二极管是由一个 PN 结构成的，而三极管由两个 PN 结构成，共用的一个电极成为三极管的基极（用字母 b 表示）。其他的两个电极成为集电极（用字母 c 表示）和发射极（用字母 e 表示）。由于不同的组合方式，形成了一种是 NPN 型的三极管，另一种是 PNP 型的三极管。

三极管的种类很多，并且不同型号各有不同的用途。三极管大都是塑料封装或金属封装，常见三极管的外观如图，大的很大，小的很小。三极管的电路符号有两种：有一个箭头的电极是发射极，箭头朝外的是 NPN 型三极管，而箭头朝内的是 PNP 型。实际上箭头所指的方向是电流的方向。

电子制作中常用的三极管有 90×× 系列，包括低频小功率硅管 9013 (NPN)、9012 (PNP)，低噪声管 9014 (NPN)，高频小功率管 9018 (NPN) 等。它们的型号一般都标在塑壳上，而样子都一样，都是 T0-92 标准封装。在老式的电子产品中还能见到 3DG6 (低频小功率硅管)、3AX31 (低频小功率锗管) 等，它们的型号也都印在金属的外壳上。我国生产的晶体管有一套命名规则，电子爱好者最好还是了解一下：

?? 第一部分的 3 表示为三极管。第二部分表示器件的材料和结构，A: PNP 型锗材料 B: NPN 型锗材料 C: PNP 型硅材料 D: NPN 型硅材料 第三部分表示功能，U: 光电管 K: 开关管 X: 低频小功率管 G: 高频小功率管 D: 低频大功率管 A: 高频大功率管。另外，3DJ 型为场效应管，BT 打头的表示半导体特殊元件。

三极管最基本的作用是放大作用，它可以把微弱的电信号变成一定强度的信号，当然这种转换仍然遵循能量守恒，它只是把电源的能量转换成信号的能量罢了。三极管有一个重要参数就是电流放大系数 β 。当三极管的基极上加一个微小的电流时，在集电极上可以得到一个注入电流 β 倍的电流，即集电极电流。集电极电流随基极电流的变化而变化，并且基极电流很小的变化可以引起集电极电流很大的变化，这就是三极管的放大作用。三极管还可以作电子开关，配合其它元件还可以构成振荡器。

晶体三极管在电路中常用“Q”加数字表示，如：Q17 表示编号为 17 的三极管。

1、特点：晶体三极管（简称三极管）是内部含有 2 个 PN 结，并且具有放大能力的特殊器件。它分 NPN 型和 PNP 型两种类型，这两种类型的三极管从工作特性上可互相弥补，所谓 OTL 电路中的对管就是由 PNP 型和 NPN 型配对使用。电话机中常用的 PNP 型三极管有：A92、9015 等型号；NPN 型三极管有：A42、9014、9018、9013、9012 等型号。

2、晶体三极管主要用于放大电路中起放大作用，在常见电路中有三种接法。为了便于比较，将晶体管三种接法电路所具有的特点列于下表，供大家参考。

名称	共发射极电路	共集电极电路（射极输出器）	共基极电路
输入阻抗	中（几百欧~几千欧）	大（几十千欧以上）	小（几欧~几十欧）
输出阻抗	中（几千欧~几十千欧）	小（几欧~几十欧）	大（几十千欧~几百千欧）
电压放大倍数	大	小（小于 1 并接近于 1）	大
电流放大倍数	大（几十）	大（几十）	小（小于 1 并接近于 1）
功率放大倍数	大（约 30~40 分贝）	小（约 10 分贝）	中（约 15~20 分贝）
频率特性	高频差	好	好

续表

应用 多级放大器中间级，低频放大 输入级、输出级或作阻抗匹配用 高频或宽频带电路及恒流源电路

场效应晶体管放大器

1、场效应晶体管具有较高输入阻抗和低噪声等优点，因而也被广泛应用于各种电子设备中。尤其用场效应管做整个电子设备的输入级，可以获得一般晶体管很难达到的性能。

2、场效应管分成结型和绝缘栅型两大类，其控制原理都是一样的。如图 1-1-1 是两种型号的表示符号：

3、场效应管与晶体管的比较

(1) 场效应管是电压控制元件，而晶体管是电流控制元件。在只允许从信号源取较少电流的情况下，应选用场效应管；而在信号电压较低，又允许从信号源取较多电流的条件下，应选用晶体管。

(2) 场效应管是利用多数载流子导电，所以称之为单极型器件，而晶体管是即有多数载流子，也利用少数载流子导电。被称之为双极型器件。

(3) 有些场效应管的源极和漏极可以互换使用，栅压也可正可负，灵活性比晶体管好。

(4) 场效应管能在很小电流和很低电压的条件下工作，而且它的制造工艺可以很方便地把很多场效应管集成在一块硅片上，因此场效应管在大规模集成电路中得到了广泛的应用。

第三节 可控硅

可控硅也称作晶闸管，它是由 PNP 四层半导体构成的元件，有三个电极，阳极 A，阴极 K 和控制极 G。

可控硅在电路中能够实现交流电的无触点控制，以小电流控制大电流，并且不象继电器那样控制时有火花产生，而且动作快、寿命长、可靠性好。在调速、调光、调压、调温以及其他各种控制电路中都有它的身影。

可控硅分为单向的和双向的，符号也不同。单向可控硅有三个 PN 结，由最外层的 P 极和 N 极引出两个电极，分别称为阳极和阴极，由中间的 P 极引出一个控制极。

单向可控硅有其独特的特性：当阳极接反向电压，或者阳极接正向电压但控制极不加电压时，它都不导通，而阳极和控制极同时接正向电压时，它就会变成导通状态。一旦导通，控制电压便失去了对它的控制作用，不论有没有控制电压，也不论控制电压的极性如何，将一直处于导通状态。要想关断，只有把阳极电压降低到某一临界值或者反向。

双向可控硅的引脚多数是按 T1、T2、G 的顺序从左至右排列（电极引脚向下，面对有字符的一面时）。加在控制极 G 上的触发脉冲的大小或时间改变时，就能改变其导通电流的大小。

与单向可控硅的区别是，双向可控硅 G 极上触发脉冲的极性改变时，其导通方向就随着极性的变化而改变，从而能够控制交流电负载。而单向可控硅经触发后只能从阳极向阴极单方向导通，所以可控硅有单双向之分。

电子制作中常用可控硅，单向的有 MCR-100 等，双向的有 TLC336 等。

第四节 集成电路

集成电路是一种采用特殊工艺，将晶体管、电阻、电容等元件集成在硅基片上而形成的具有一定功能的器件，英文为缩写为 IC，也俗称芯片。集成电路是六十年代出现的，当时只集成了十几个元器件。后来集成度越来越高，也有了今天的 P-III。

集成电路根据不同的功能用途分为模拟和数字两大派别，而具体功能更是数不胜数，其应用遍及人类生活的方方面面。集成电路根据内部的集成度分为大规模中规模小规模三类。其封装又有许多形式。“双列直插”和“单列直插”的最为常见。消费类电子产品中用软封装的 IC，精密产品中用贴片封装的 IC 等。

对于 CMOS 型 IC，特别要注意防止静电击穿 IC，最好也不要未接地的电烙铁焊接。使用 IC 也要注意其参数，如工作电压，散热等。数字 IC 多用 +5V 的工作电压，模拟 IC 工作电压各异。集成电路有各种型号，其命名也有一定规律。一般是由前缀、数字编号、后缀组成。前缀表示集成电路的生产厂家及类别，后缀一般用来表示集成电路的封装形式、版本代号等。常用的集成电路如小功率音频放大器 LM386 就因为后缀不同而有许多种。LM386N 是美国国家半导体公司的产品，LM 代表线性电路，N 代表塑料双列直插。这里有各大 IC 生产公司的商标及其器件型号前缀。

集成电路型号众多，随着技术的发展，又有更多的功能更强、集成度更高的集成电路涌现，为电子产品的生产制作带来了方便。在设计制作时，若没有专用的集成电路可以应用，就应该尽量选用应用广泛的通用集成电路，同时考虑集成电路的价格和制作的复杂度。在电子制作中，有许多常用的集成电路，如 NE555（时基电路）、LM324（四个集成的运算放大器）、TDA2822（双声道小功率放大器）、KD9300（单曲音乐集成电路）、LM317（三端可调稳压器）等。

第三章：各种集成电路简介

第一节 三端稳压 IC

电子产品中常见到的三端稳压集成电路有正电压输出的 78××系列和负电压输出的 79××系列。顾名思义，三端 IC 是指这种稳压用的集成电路只有三条引脚输出，分别是输入端、接地端和输出端。它的样子象是普通的三极管，T0-20 的标准封装，也有 9013 样子的 T0-92 封装。

用 78/79 系列三端稳压 IC 来组成稳压电源所需的外围元件极少，电路内部还有过流、过热及调整管的保护电路，使用起来可靠、方便，而且价格便宜。该系列集成稳压 IC 型号中的 78 或 79 后面的数字代表该三端集成稳压电路的输出电压，如 7806 表示输出电压为正 6V，7909 表示输出电压为负 9V。

78/79 系列三端稳压 IC 有很多电子厂家生产，80 年代就有了，通常前缀为生产厂家的代号，如 TA7805 是东芝的产品，AN7909 是松下的产品。（[点击这里](#)，查看有关看前缀识别集成电路的知识）

有时在数字 78 或 79 后面还有一个 M 或 L，如 78M12 或 79L24，用来区别输出电流和封装形式等，其中 78L 调系列的最大输出电流为 100mA，78M 系列最大输出电流为 1A，78 系列最大输出电流为 1.5A。它的封装也有多种，详见图。塑料封装的稳压电路具有安装容易、价格低廉等优点，因此用得比较多。79 系列除了输出电压为负。引出脚排列不同以外，命名方法、外形等均与 78 系列的相同。

因为三端固定集成稳压电路的使用方便，电子制作中经常采用，可以用来改装分立元件的稳压电源，也经常用作电子设备的工作电源。电路图如图所示。

注意三端集成稳压电路的输入、输出和接地端绝不能接错，不然容易烧坏。一般三端集成稳压电路的最小输入、输出电压差约为 2V，否则不能输出稳定的电压，一般应使电压差保持在 4-5V，即经变压器变压，二极管整流，电容器滤波后的电压应比稳压值高一些。

在实际应用中，应在三端集成稳压电路上安装足够大的散热器（当然小功率的条件下不用）。当稳压管温度过高时，稳压性能将变差，甚至损坏。

当制作中需要一个能输出 1.5A 以上电流的稳压电源，通常采用几块三端稳压电路并联起来，使其最大输出电流为 N 个 1.5A，但应用时需注意：并联使用的集成稳压电路应采用同一厂家、同一批号的产品，以保证参数的一致。另外在输出电流上留有一定的余量，以避免个别集成稳压电路失效时导致其他电路的连锁烧毁。

第二节 语音集成电路

电子制作中经常用到音乐集成电路和语言集成电路，一般称为语言片和音乐片。它们一般都是软包封，即芯片直接用黑胶封装在一小块电路板上。语音 IC 一般还需要少量外围元件才能工作，它们可直接焊到这块电路板上。

别看语音 IC 应用电路很简单，但是它确实是一片含有成千上万个晶体管芯的集成电路。其内部含有振荡器、节拍器、音色发生器、ROM、地址计算器和控制输出电路等。音乐片内可存储一首或多首世界名曲，价格很便宜，几角钱一片。音乐门铃都是用这种音乐片装的，其实成本很低。

不同的语言片内存储了各种动物的叫声，简短语言等，价格要比音乐片贵些。但因为有趣，其应用越来越多。会说话的计算器、倒车告警器、报时钟表等。语音电路尽管品种不少，但不能根据用户随时要求发出声音，因为商品化的语音产品采用掩膜工艺，发声的语音是做死的，使成本得到了控制。

一般语音集成电路的生产厂家都可以特别定制语音的内容，但因为要掩模，要求数量千片以上。近年来出现的 OTP 语音电路解决了这一问题。OTP 就是一次性可编程的意思，就是厂家生产出来的芯片，里面是空的，内容由用户写入（需开发设备），一旦固化好，再也不能擦除，信息也就不会丢失。它的出现为开发人员试制样机提供了方便，特别适合于小批量生产。

业余制作采用可录放的语言电路是十分方便的，UM5506、ISD1400、ISD2500 等，外围元件极少。bitbaby 第一次知道可录放语音集成电路，是在九几年的无线电杂志上，记得那时是 UM5101 和 T6668，都是用 41256 等 DRAM 的。那时多想有那么一套，不用磁带就可以录音的怪物，还能在放音时随意变调呢。早期的数码留言机也用它们，由于使用 DRAM，如果没有后备电池，一旦断电后，所有的信息都会丢失。

现在采用 EEPROM 的语音电路大大方便了电子爱好者，它随录随放，不怕掉电，使用方便，外围元件少。只是价格较贵些，每秒钟成本约 1 元人民币。这类语音录放集成电路首推（美国）ISD 公司的 ISD 系列。国内、台湾都有厂家生产兼容的芯片及软包封的芯片、模块，但从结构来看，猜想来自于 ISD。

如果您对语音集成电路很感兴趣，请密切留意 bitbaby 的网站。为了让您更好地了解语音 IC，bitbaby 以后将把精心收集的语音 IC 应用图集贴到网上来，以方便您查询使用。

第三节 数字集成电路

数字集成电路产品的种类很多种。数字集成电路构成了各种逻辑电路，如各种门电路、编译码器、触发器、计数器、寄存器等。它们广泛地应用在生活中方方面面，小至电子表，大至计算机，都是有数字集成电路构成的。

结构上，可分成 TTL 型和 CMOS 型两类。74LS/HC 等系列是最常见的 TTL 电路，它们使用 5V 的电压，逻辑“0”输出电压为小于等于 0.2V，逻辑“1”输出电压约为 3V。CMOS 数字集成电路的工作电压范围宽，静态功耗低，抗干扰能力强，更具优点。数字集成电路有个特点，就是它们的供电引脚，如 16 脚的集成电路，其第 8 脚是电源负极，16 脚是电源正极；14 脚的，它的第 7 脚是电源的正极。

通常 CMOS 集成电路工作电压范围为 3-18V，所以不必像 TTL 集成电路那样，要用正正好好的 5V 电压。CMOS 集成电路的输入阻抗很高，这意味着驱动 CMOS 集成电路时，所消耗的驱动功率几乎可以不计。同时 CMOS 集成电路的耗电也非常的省，用 CMOS 集成电路制作的电子产品，通常都可以用干电池供电。

CMOS 集成电路的输出电流不是很大，大概为 10mA 左右，但是在一般的电子制作中，驱动一个 LED 发光二极管还是没有问题的。此外，CMOS 集成电路的抗干扰能力也较强，即行话所说的噪声容限较大，且电源电压越高，抗干扰能力越强。

电子制作中常用的数字集成电路有 4001、4011、4013、4017、4040、4052、4060、4066 等型号，建议多买些备用。市场上的数字集成电路进口的较多，产品型号的前缀代表生产公司，常见的有 MC1XXXX（摩托罗拉）、CDXXXX（美国无线电 RCA）、HEFXXXX（飞利浦）、TCXXXX（东芝）、HCXXXX（日立）等。一般来说，只要型号相同，不同公司的产品可以互换。这里有一张表，是关于集成电路前缀及其生产公司的。

需要注意的是，CMOS 集成电路容易被静电击穿，因此需要妥善保管。一般要放在防静电原包装条中，或用锡箔纸包好。另外焊接的时候，要用接地良好的电烙铁焊，或者索性拔掉插头，利用余热焊接。不过说实话，现在的 CMOS 集成电路因为改进了生产工艺，防静电能力都有很大提高，不少人都不太注意为 CMOS 集成电路防静电，IC 却也活着。

第四节 模拟集成电路

模拟集成电路被广泛地应用在各种视听设备中。收录机、电视机、音响设备等，即使冠上了“数码设备”的好名声，却也离不开模拟集成电路。

实际上，模拟集成电路在应用上比数字集成电路复杂些。每个数字集成电路只要元器件良好，一般都能按预定的功能工作，即使电路工作不正常，检修起来也比较方便，1 是 1，0 是 0，不含糊。模拟集成电路就不一样了，一般需要一

定数量的外围元件配合它工作。那么，既然是“集成电路”，为什么不把外围元件都做进去呢？这是因为集成电路制作工艺上的限制，也是为了让集成电路更多地适应于不同的应用电路。

对于模拟集成电路的参数、在线各管脚电压，家电维修人员是很关注的，它们就是凭借这些判断故障的。对业余电子爱好者来说，只要掌握常用的集成电路是做什么用的就行了，要用时去查找相关的资料。

许多电子爱好者都是从装收音机、音响放大器开始的，用集成电路装，确实是一种乐趣。相信大家对这两者也都感兴趣。装的收音机有两种，一是 AM 中波的，通常用 CIC7642、TA7641 集成块装。另一种是 FM 调频的，通常要求具有一定的水平，用 TDA7010、TDA7021、TDA7088，CXA1019（CXA1191）、CXA1238 等。这些集成块也是收音机厂商所采用的经典 IC。

CIC7642 外形像一个 9013，仅三个引脚，工作于 1.5V 下，其内部集成了多个三极管，用于组装直放式收音机，而且极易成功，因此许多电子入门套件少不了它。其兼容型号为 MK484、YS414，许多进口的微型收音机、电子表收音机都用。

TA7641P 装出来的收音机为超外差式，性能要好，但是因为有中周，制作调试都有点复杂，如果能买到套件组装，那也不算麻烦（照着指示把元件焊到电路板上就行啦：-）。

TDA7000 系列是飞利浦公司的产品，有 bitbaby 没见过的 TDA7000，以及 TDA7010T，TDA7021T，TDA7088T，后三者有个后缀 T，表示是微型贴片封装的。bitbaby 也没见过标准 DIP（双列直插塑封）封装的，所以尽管它们的应用电路简单，做起来可麻烦，整个集成电路和一粒赤豆差不多大。（下面有图）TDA7088T 是可以用电位器和变容管实现电调谐的。

CXA1019 是索尼公司生产的，CXA1191 是它的改进型号，它们被称为单片 AM/FM 收音集成电路，因为一片 IC 包含了从高频放大、本振到中频放大、低频（音频）放大的所有功能。CXA1238 是 AM/FM 立体声收音集成电路，它不包括音频放大器，但有立体声解码功能，通常用于 WALKMAN 收放机等。

这里有个知识，就是 CXA 的收音 IC 同一型号有三种不同的大小（即后缀 M 型为贴片封装，S 型为小型封装，P 型为 DIP 封装）。

音响功放电路也是电子爱好者们津津乐道的话题。通过亲手制作，不但深入了解了原理，更是具有意义。bitbaby 并不是发烧友（也烧不起），对吹毛求疵的“金耳朵”更是持有怀疑态度。请各位新手不要误入歧途。做一套实用的音响才是聪明之举，不要相信什么“把 XXXX IC 换成运放之皇 NE5532 后效果立竿见影”。

Bitbaby 帮别人装过许多功放，也有不少经验。有的虽然只是用收录机用的功放集成块，但因为用了较大功率的电位器、较大容量的滤波电容、较大口径的扬声器，效果还是比收录机好。

TA7240P 是收录机中常用的功放 IC，双声道，各 5.8W，12V 左右供电，音质一般般。

TDA1521 是高保真功放 IC，功率较大，音质较好，上点档次的电脑有源音箱也都用该集成块。

LM1875（TDA2003、TDA2030、TDA2030A）等应用电路差不多，功率不同，TDA2030A 是 TDA2030 的改进型，功率稍大。这些集成块应用也很多，但假货也多，有的假货是用廉价 IC 打磨过的，有的则是粗制滥造。

傻瓜功放是一种厚膜集成电路，其实不过是把各分立元件封装在一起，只有输入引脚用来接音源，输出引脚接音箱，以及电源引脚，方便了使用。

此外，还有 TDA2822、LM386 等的小功率音频放大器，在电池供电的产品中作功放。用它们也可做有源音箱，廉价的有源音箱就用它们。

第四章：基本工具

第一节 万用表

目前的万用表分为指针式和数字式，它们各有方便之处，很难说谁好谁坏，最好是能够备有指针和数字式的各一个。业余电子制作有一个指针式的 MF30 型万用表也就可以了，这可是一种经典型号。还有元老级的 MF500 型万用表，廉价的 MF50 万用表，一般都可以在电讯商店买到。

万用表的三个基本功能是测量电阻、电压、电流，所以老前辈们叫它三用表。现在的万用表添加了好多新功能，尤其是数字式万用表，如测量电容值，三极管放大倍数，二极管压降等，更有一种会说话的数字万用表，能把测量结果用语言播报出来。（其实不是很难，Bitbaby 曾有一度很想用单片机和语音电路做一个：-）

数字式万用表也有许多经典型号，如 DT830C，DT830C，DT890D 等，后面的后缀表示功能上的区别，其中 DT830C 已经买到了三十多元一个，够便宜的。Bitbaby 在学校里装过一个 MF50 的万用表，电路原理并不复杂，只是那么多的元件没有印刷板来固定，而是直接焊在接线板上，自己装对初学者来说还是麻烦了点。

万用表最大的特点是有一个量程转换开关，各中功能就是靠这个开关来切换的。基本上，用 A- 来表示测直流电流，一般毫安档和安培档各又分几档。V- 表示测直流电压，高级点的万用表有毫伏档，电压档也分几档。V~ 是用来测交流电压的。A~ 测交流电流。

Ω 欧姆档测电阻，对于指针式万用表，每换一次电阻档还要做一次调零。调零就是把万用表的红表笔和黑表笔搭在一起，然后转动调零钮，使指针指向零的位置。hFE 是测量三极管的电流放大系数的，只要把三极管的三个管脚插入万用表面板上对应的孔中，就能测出 hFE 值。注意 PNP、NPN 是不同的。

以下以 MF30 型万用表为例，说明万用表的读数。第一条刻度线是电阻值指示，最左端是无穷大，右端为零，当中刻度不均匀。电阻档有 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1K$ 、 $R \times 10K$ 各档，分别说明刻度的指示再要乘上的倍数，才得到实际的电阻值（单位为欧姆）。

例如用 $R \times 100$ 档测一电阻，指针指示为“10”，那么它的电阻值为 $10 \times 100 = 1000$ ，即 1K。第二条刻度线是 500V 档和 500mA 档共用，需要注意的是电压档、电流档的指示原理不同于电阻档，例如 5V 档表示该档只能测量 5V 以下的电压，500mA 档只能测量 500mA 以下的电流，若是超过量程，就会损坏万用表。

注意事项：万用表使用时应该水平着放。红表笔插在+孔内，黑表笔插入-孔内。测试电流就用电流档，而不能误用电压档、电阻档，其他同理，否则轻则烧万用表内的保险丝，重则损坏表头。事先不知道量程，就选用最大量程尝试着测量，然后断开测量电路再换档，切不可在线的情况下转换量程。有表针迅速偏转到底的情况，应该立即断开电路，进行检查。

最后还有一个规矩，就是约定用完后的万用表要把量程开关拨到交流电压最高档，以防别人不慎测量 220V 市电电压而损坏。记住这个老前辈们留下的优良传统哟！

第二节 电烙铁

电烙铁分为外热式和内热式两种，外热式的一般功率都较大。

内热式的电烙铁体积较小，而且价格便宜。一般电子制作都用 20W-30W 的内热式电烙铁。当然有一把 50W 的外热式电烙铁能够有备无患。内热式的电烙铁发热效率较高，而且更换烙铁头也较方便。

电烙铁是用来焊锡的，为方便使用，通常做成“焊锡丝”，焊锡丝内一般都含有助焊的松香。焊锡丝使用约 60% 的锡和 40% 的铅合成，熔点较低。（Bitbaby 有个好习惯，就是每次做完事后都去洗手，铅可不是什么好东西，松香倒是蛮闻得惯的：-）

松香是一种助焊剂，可以帮助焊接，拉二胡的人肯定有吧，听说也可到药店购买。松香可以直接用，也可以配置成松香溶液，就是把松香碾碎，放入小瓶中，再加入酒精搅匀。注意酒精易挥发，用完后记得把瓶盖拧紧。瓶里可以放一小块棉花，用时就用镊子夹出来涂在印刷板上或元器件上。

注意市面上有一种焊锡膏（有称焊油），这可是一种带有腐蚀性的东西，是用在工业上的，不适合电子制作使用。还有市面上的松香水，并不是我们这里用的松香溶液。

电烙铁是捏在手里的，使用时千万注意安全。新买的电烙铁先要用万用表电阻档检查一下插头与金属外壳之间的电阻值，万用表指针应该不动。否则应该彻底检查。

最近生产的内热式电烙铁，厂家为了节约成本，电源线都不用橡皮花线了，而是直接用塑料电线，比较不安全。强烈建议换用橡皮花线，因为它不像塑料电线那样容易被烫伤、破损，以至短路或触电。

新的电烙铁在使用前用锉刀锉一下烙铁的尖头，接通电源后等一会儿烙铁头的颜色会变，证明烙铁发热了，然后用焊锡丝放在烙铁尖头上镀上锡，使烙铁不易被氧化。在使用中，应使烙铁头保持清洁，并保证烙铁的尖头上始终有焊锡。

使用烙铁时，烙铁的温度太低则熔化不了焊锡，或者使焊点未完全熔化而成不好看、不可靠的样子。太高又会使烙铁“烧死”（尽管温度很高，却不能蘸上锡）。另外也要控制好焊接的时间，电烙铁停留的时间太短，焊锡不易完全熔化、接触好，形成“虚焊”，而焊接时间太长又容易损坏元器件，或使印刷电路板的铜箔翘起。

一般一两秒内要焊好一个焊点，若没完成，宁愿等一会儿再焊一次。焊接时电烙铁不能移动，应该先选好接触焊点的位置，再用烙铁头的搪锡面去接触焊点。

第三节 印刷电路板

印刷电路板是电子制作中的一个大头，也是最能体现电子爱好者制作水平的技术了。印刷电路板简称印制板，工厂制作与业余制作有很大的不同。工厂一般根据客户提供的电路原理图用计算机设计出印刷板图，然后经过照相制版等技术做出印制板，然后上阻焊、印字等形成成品，需要一系列设备。

而传统的业余制作中只能采用敷铜板加腐蚀液的土方法制作印制板。近年来推出了万用试验板、感光电路板等新型技术，解放了广大的电子爱好者和电子产品开发者。加之 PC 机的普及，用 CAD 软件设计电路、自动生成 PCB（印刷电路板）已经不算难事了。甚至直接打印在胶片上配合感光电路板做印刷板更是方便极了。

Bitbaby 在学校的课程中学过 ORCAD 软件，用它设计了一个 8031 单片机的典型应用电路，感觉还真不错。老师还不准用 ORCAD 的自动布线功能，那张图 Bitbaby 的手工布线可漂亮了，走线的转角都是平滑过渡，充分考虑这样的设计使印板更牢固，以至于老师以为是自动布线的呢（不自吹了：-）。可惜当时没有打印机打印出 PCB 来。

PROTEL 更是为广大电子爱好者所熟知，只可惜 Bitbaby 对它没有很深的研究。一般的电子制作电路均不复杂，对老手来说，也只要用脑子就能设计出印刷电路板图来，所以还是讲讲传统的印制板的制作方法吧。

首先要在纸上根据电路原理图设计出印刷电路板图，各元器件之间的正确连接是重要的，还要注意元器件的大小、排列位置、干扰等。（Bitbaby 以后将写一篇专门的文章讲述如何设计印制板。）设计完成后要反复校对原理图，并找出元器件实物放到各自的位置，在调整孔距、走线等。注意正反面，有时不小心设计了反面，可以把原图放在复写纸上描一次，那么在纸的背面就有了所需要的。

Bitbaby 制作印制板的方法，是把设计好的 1:1 图纸剪下来，用透明胶贴在单面敷铜板的铜面上，然后用冲子在需要钻孔的地方敲一下，形成凹进去的小坑，这样再用小电钻钻孔就不会打滑了。然后用自制的小电钻（收录机电动机改装）打孔，全部打完后撕下图纸，直接用毛笔蘸油漆描线路。

由于已经有孔的定位，画起来不困难，只要记住那几个孔是连在一起的就好了。一般不复杂的电路用这样的方法制作电路板极快（连复写纸都省了：-），若是复杂的电路可以在图纸和敷铜板之间夹一张复写纸，然后把印刷板图描一遍，打孔的地方描得深些，然后用毛笔蘸油漆描线路。

如果没有油漆，可以用质量较好的记号笔描线路，或用修正液描，只是修正液描的电路板不太美观，需干后修正宽度一致。指甲油也可以用，干得较快，比修正液好用些。描的时候注意线条之间保持距离，孔的周围要形成包围，以利于焊接。

油漆要好长时间才能干，等油漆干后就可以投入腐蚀液中，腐蚀液一般用三氯化铁加水配置而成，三氯化铁为土黄色固体，也易于吸收空气中的水份，所以应密封保存。配置三氯化铁溶液时一般是用 40% 的三氯化铁和 60% 的水，当然三氯化铁多些，或者用温水（不是热水，以防油漆脱落）可使反应速度快些。

注意三氯化铁具有一定的腐蚀性，最好不要弄在皮肤上和衣服上（很难洗：-（反应的容器用廉价的塑料盆，放得下电路板的就好。腐蚀是从边缘开始的，当未描油漆的铜箔被腐蚀完后应该及时取出电路板，以防油漆脱落后腐蚀掉有用的线路。

这时用清水冲洗，顺使用竹片等物刮去油漆（这时油漆从液体里出来，比较容易去除）。若不易刮，用热水冲一下就好了。然后擦干，用砂纸打磨干净，就露出了闪亮的铜箔，一张印刷电路板就做好了。为了保存成果，Bitbaby 通常会用松香溶液涂一遍打磨好的电路板，既可以助焊，又可以防止氧化。

第五章：其他元器件

第一节 扬声器、话筒等

扬声器俗称为喇叭，应该是大家熟悉不过的器件了，它是收音机、录音机、音响设备中的重要元件。常见的扬声器有动圈式、舌簧式、压电式等好几种，但最常用的是动圈式扬声器（又称电动式）。而动圈式扬声器又分为内磁式和外磁式，因为外磁式便宜，通常外磁式用得更多。当音频电流通过音圈时，音圈产生随音频电流而变化的磁场，在永久磁铁的磁场中时而吸引时而排斥，带动纸盆振动发出声音。

扬声器在电路图中的符号很形象。音响用的扬声器大多要求大功率、高保真。为完美再现声响，扬声器又被分为专用的低音、中音、高音，以各司其职。低音扬声器的纸盆不再由单一的材料构成，出现了布边、尼龙边和橡皮边等扬声器，使纸盆更有弹性，低音更加丰富。号筒式扬声器、球顶高音扬声器使高音更加清晰。另外还有一种全频扬声器，它将高、低音扬声器做在了一起。

扬声器上一般都标有标称功率和标称阻抗值，例如 $0.25W8\Omega$ 。一般认为扬声器的口径大，标称功率也大。在使用时，输入功率最好不要超过标称功率太多，以防损坏。万用表 R1 电阻档测试扬声器，若有咯咯声发出说明基本上能用。测出的电阻值是直流电阻值，比标称阻抗值要小，是正常现象。

还有一种压电陶瓷片，也是一种发声元件，它利用压电效应工作，既可以作发声元件又可以作接收声音的元件。而且它很便宜，生日卡上的发声元件就是它。压电陶瓷片是在园形铜底板上涂覆了一层厚约 1mm 的压电陶瓷，再在陶瓷表面沉积一层涂银层，涂银层和铜底板就是它的两个电极。压电陶瓷有一个奇妙的特性—压电效应：如将它弯曲，它的表面就会出现异种电荷，如反向弯曲，电荷的极性也会相反。奇妙的是如果在压电陶瓷片的两个电极上施加一定的电压，它就会发生弯曲，当电压方向改变时，弯曲的方向也随之改变。

利用压电效应，有了一种声—电，电声转换的两用器件，可以当话筒用：对压电陶瓷片讲话，使它受到声波的振动而发生前后弯曲，当然人的眼睛分辨不出这种弯曲，在压电陶瓷片的两电极就会有音频电压输出。相反地，把一定的音频电压加在压电陶瓷片的两极，由于音频电压的极性和大小不断变化，压电陶瓷片就会产生相应的弯曲运动，推动空气形成声音，这时候，它又成了喇叭。

压电陶瓷片作为一种电子元件，在新买来的时候，是不带引线的，需要自己焊接。一般采用多股软线，先剥头搪锡，焊接是要求速度快，焊点小，否则容易损坏压电陶瓷片娇嫩的镀银层。

还有一种在 BP 机、小闹钟里广泛应用的讯响器实质上也是电磁式的。

话筒有电容式的、动圈式的等等，常用的卡拉 OK 话筒一般都是动圈式的，其实它是动圈式扬声器的反应用，不信你可以把动圈话筒接到 WALKMAN 的耳机输出端试试能不能发声。（开小音量，别烧了：—）

电子制作中常用的话筒是驻极体电容话筒，价钱很便宜（约一元一个），音质也不算差，体积很小。其实大多数的电脑多媒体话筒里边就是这东西。（早知道自己做一个：—）说它体积小，我们要做的微型无线对讲机也用这种话筒，Bitbaby 有一个驻极体话筒只有米粒那么大（花大价钱买来的：—（

第二节 电 池

据说电池的历史非常悠久，世界上最古老的电池起源于大约 2000 年前，这个被叫做“巴格达”的电池，还保存在伊拉克首都的博物馆内（现在呢？有没有被炸掉？）。

电池有两个常用的参数，分别为电压和容量。电压主要取决于正负极的材料。一般的干电池，电压均为 1.5V，而充电电池的电压为 1.2V。容量就是容纳多少电量吧，用放电电流和放电时间的乘积表示。例如容量为 500mAh 的电池，是指该电池用 500mA 的电流放电，能使用 1 个小时。显然，如果用 250mA 的电流放电，就能使用 2 个小时，以此类推。

常用常见的电池有锰干电池，碱性电池，镍镉电池，叠层电池，钮扣电池等。锰锌干电池，标称电压 1.5V，便宜，但是连续放电性差，不适合大电流放电，而且不能充电，只适用于一些小电流的电子电路。锰干电池有一个奇怪的特性，间歇放电的时间和比连续放电的时间要长，这是一个使用普通干电池的诀窍啊。

碱性电池，标称电压也是 1.5V，其电解液是水溶氢氧化钾液，容量大，能大电流放电，各方面特性均优于锰干电池。在实际中，越是需要大电流的电路，碱性电池越能发挥作用。碱性干电池在 WALKMAN 中听磁带使用，其寿命比普通电池长许多，在照相机闪光灯中不能使用镍隔电池，碱性电池就是最好的选择。只是碱性电池价格较贵。

大多数的碱性电池外壳上，标有“不准充电”的中文或是英文，但事实上，碱性电池是可以充电的，最多可以充电几十次。只是对碱性电池只能采取小电流充电的方法，以 50mA 的充电电流为宜，而大多数的充电器的充电电流都比较大，结果使电池内的液体流出，腐蚀电器。LR20 代表一号碱性电池，LR6 代表五号。

普通的锰干电池，单以 R 为型号，常见的 R6P 是五号高容量电池。Bitbaby 喜欢用“白象”牌碱性电池装备电器。

许多计算器上都使用了太阳能硅光电池，有光照的时候给钮扣电池充电。太阳能电池有长方形片状的，也有晶体管状扁圆形的。一般每片能产生 0.5V 的电压，需多片串联以提高电压，多组并联以增大输出电流。而且一般都和钮扣电池并联，以随时把电能存储起来，再向小负载供电。

镍隔电池也为大家所熟知，不再罗嗦。据 Bitbaby 所知，小日本早在 90 年代初就禁止在本地生产镍隔电池了，以保护他们的环境。而现在市面上那么多的 MADE IN JAPAN 的镍隔电池是哪来的？现在提倡用镍氢电池，容量又大，又没有记忆效应，而且环保些。镉对人体有害啊！

第三节 特殊器件

在电阻这一节中，介绍了常用的光敏电阻和热敏电阻，这里再介绍一些不太常用的特殊电阻。

力敏电阻

通常电子秤中就有力敏电阻，常用的压力传感器有金属应变片和半导体力敏电阻。力敏电阻一般以桥式连接，受力后就破坏了电桥的平衡，使之输出电信号。

气敏电阻

有一种煤气泄漏报警器，在瓦斯泄漏后会报警，甚至启动脱排油烟机通风。这种报警器内就是装置了一种气敏电阻。这种半导体在表面吸收了某种自身敏感的气体之后会发生反应，而使自身的电阻值改变。它一般有四个电极，两个为

加热电极，另两个为测量电极。气敏电阻根据型号对不同的气体敏感。有的是对汽油，有的是对一氧化碳，有的是对酒精敏感。

湿敏电阻

湿敏电阻对环境湿度敏感，它吸收环境中的水分，直接把湿度变成电阻值的变化。

压敏电阻

压敏电阻用作电路的过压保护。将压敏电阻和电路并联，其两端电压正常时电阻值很大，不起作用。一旦超过保护电压，它的电阻值迅速变小，使电流尽量从自己身上流过（很有牺牲精神！），从而保护了电路。正规的电话机中少不了压敏电阻，其实你的 MODEM 中也有这东西。

霍尔器件

霍尔器件几乎是每台录相机中都用的器件，另外在各种精密的工业设备中也有它的身影。它主要用来检测磁力，而且基本上都是以“集成霍尔传感器”的形式出现。用高灵敏的霍尔器件还可以制作电子罗盘呢。

数码管

许多电子产品上都有跳动的数码来指示电器的工作状态，其实数码管显示的数码均是由七个发光二极管构成的。每段上加上合适的电压，该段就点亮。为方便连接，数码管分为共阳型和共阴型，共阳型就是七个发光管的正极都连在一起，作为一条引线。

干簧管

初听这个名字很怪，（习惯了就好），干簧管是一种磁敏的特殊开关。它的两个触点由特殊材料制成，被封装在真空的玻璃管里。只要用磁铁接近它，干簧管两个节点就会吸合在一起，使电路导通。因此可以作为传感器用，用于计数、限位等等。有一种自行车公里计，就是在轮胎上粘上磁铁，在一旁固定上干簧管构成的。装在门上，可作为开门时的报警、问候等。在“断线报警器”的制作中，也会用到干簧管。！

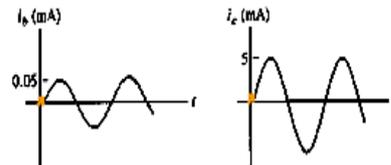
三极管基础知识及检测方法

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电压降为 $V_{CE} = 5\text{V}$ ，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 3A X 31，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。

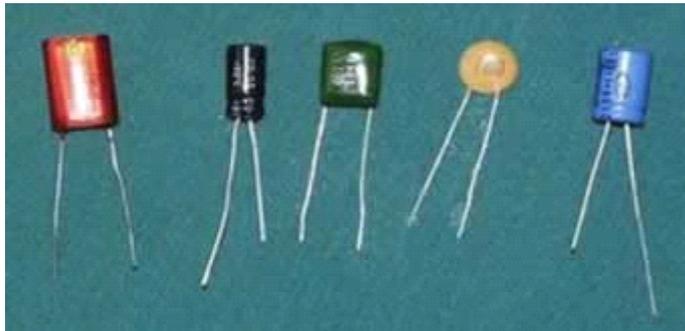
(2) 电流放大系数 β 的估算

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。

电容器的基础知识及检测方法

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。



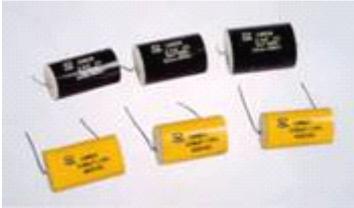
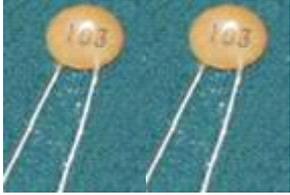
按其结构可分为固定电容器、半可变电容器、可变电容器三种。

1. 常用电容的结构和特点

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。	
陶瓷电容	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。 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。	
薄膜电容	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。 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。	
云母电容	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。	
钽、铌电解电容	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。	
半可变电容	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 uF 做单位。为了简便起见，大于 100pF 而小于 1uF 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 uF。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、2500V、400V、500V、630V、1000V。

表 2 常用固定电容允许误差的等

允许误差	±2%	±5%	±10%	±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 (>MΩ)
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。

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	铁电	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	W	微调	
		O	玻璃膜	J	金属化	
		Y	云母	X	小型	
		V	云母纸	S	独石	
		Z	纸介	D	低压	
		J	金属化纸	M	密封	
		B	聚苯乙烯	Y	高压	
		F	聚四氟乙烯	C	穿心式	
		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种类的电容。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。

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，使万用表指针摆动幅度加大，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×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旋转几个来回，万用表指针都应在无穷大位置不动。在旋动转轴的过程中，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。

TVS 和一般的稳压二极管有什么区别

电压及电流的瞬态干扰是造成电子电路及设备损坏的主要原因，常给人们带来无法估量的损失。这些干扰通常来自于电力设备的起停操作、交流电网的不稳定、雷击干扰及静电放电等，瞬态干扰几乎无处不在、无时不有，使人感到防不胜防。幸好，一种高效能的电路保护器件 TVS 的出现使瞬态干扰得到了有效抑制。TVS (TRANSIENT VOLTAGE SUPPRESSOR) 或称瞬变电压抑制二极管是在稳压管工艺基础上发展起来的一种新产品，其电路符号和普通稳压二极管相同，外形也与普通二极管无异，当 TVS 管两端经受瞬间的高能量冲击时，它能以极高的速度（最高达 1×10^{-12} 秒）使其阻抗骤然降低，同时吸收一个大电流，将其两端间的电压箝位在一个预定的数值上，从而确保后面的电路元件免受瞬态高能量的冲击而损坏。

如果是使用的话，TVS 有二极管类，和压敏电阻类。我个人认为压敏电阻类更有优势，目前广泛用于手机，LCD 模组，及一些比较精密的手持设备。特别是出口欧洲的产品一般都要加，来作为静电防护的主要手段之一。

TVS 和齐纳稳压管都能用作稳压，但是 TVS 管齐纳击穿电流更小，大于 10V 的稳压只有 1mA，相对来说齐纳二极管击穿电流要大不少，但是齐纳二极管稳压精度可以做的比较高。

在电路中一般工作于反向截止状态，此时它不影响电路的任何功能。TVS 在规定的反向应用条件下，当电路中由于雷电、各种电器干扰出现大幅度的瞬态干扰电压或脉冲电流时，它在极短的时间内（最高可达到 1×10^{-12} 秒）迅速转入反向导通状态，并将电路的电压箝位在所要求的安全数值上，从而有效的保护电子线路中精密元器件免受损坏。干扰脉冲过去后，TVS 又转入反向截止状态。由于在反向导通时，其箝位电压低于电路中其它器件的最高耐压，因此起到了对其它元器件的保护作用。TVS 能承受的瞬时脉冲功率可达上千瓦，其箝位时间仅为 1ps[1]。TVS 根据极性可分为单向和双向 TVS。单向 TVS 一般适用于直流电路，双向 TVS 一般适用于交流电路中。由于 TVS 起保护作用时动作迅速、寿命长、使用方便，因此在瞬变电压防护领域有着非常广泛的应用。

各参数说明如下：

- 1、击穿电压 $V(BR)$
- 2、最大反向脉冲峰值电流 I_{ppm}
- 3、最大反向工作电压 $VRWM$
- 4、最大箝位电压 $VC(max)$
- 5、反向脉冲峰值功率 P_{ppm}
- 6、电容 CPP
- 7、漏电流 IR

TVS 的选用方法

1. 确定待保护电路的直流电压或持续工作电压。如果是交流电，应计算出最大值，即用有效值 $\times 1.414$ 。

2. TVS 的反向变位电压即工作电压 ($VRWM$) --选择 TVS 的 $VRWM$ 等于或大于上述步骤 1 所规定的操作电压。这就保证了在正常工作条件下 TVS 吸收的电流可忽略不计，如果步骤 1 所规定的电压高于 TVS 的 $VRWM$ ，TVS 将吸收大量的漏电流而处于雪崩击穿状态，从而影响电路的工作。

3. 最大峰值脉冲功率：确定电路的干扰脉冲情况，根据干扰脉冲的波形、脉冲持续时间，确定能够有效抑制该干扰的 TVS 峰值脉冲功率。

4. 所选 TVS 的最大箝位电压 (VC) 应低于被保护电路所允许的最大承受电压。

5.单极性还是双极性-常常会出现这样的误解即双向 TVS 用来抑制反向浪涌脉冲，其实并非如此。双向 TVS 用于交流电或来自正负双向脉冲的场合。TVS 有时也用于减少电容。如果电路只有正向电平信号，那么单向 TVS 就足够了。TVS 操作方式如下：正向浪涌时,TVS 处于反向雪崩击穿状态；反向浪涌时，TVS 类似正向偏置二极管一样导通并吸收浪涌能量。在低电容电路里情况就不是这样了。应选用双向 TVS 以保护电路中的低电容器件免受反向浪涌的损害。

6.如果知道比较准确的浪涌电流 IPP，那么可以利用 VC 来确定其功率，如果无法确定功率的大概范围，一般来说，选择功率大一些比较好。

TVS 和 MOV 的比较

在电子应用领域中必不可少地要对静电放电（IEC61000-4-2）、瞬态电压、喀啦声（IEC61000-4-4）EFT，和浪涌电压抗扰度（IEC 61000-4-5）进行防护，从而保护电子电路的安全和可靠性，在保护领域中，有两种保护元件，一个是具有雪崩特性的 TVS 半导体二极管，一个是多层压敏电阻，为了合理使用，需对 TVS 和 MOV 进行比较，以求正确选用，达到产品设计的优化选择。

PROTEK 公司的 TVS 半导体二极管，设计有高灵敏度的 N/P 结，它的特性是产生雪崩效应，效应与半导体的结面积成正比，通过控制结面积的掺杂浓度和基片的电阻率使它可以吸收大量的瞬态电流，产生雪崩特性，从而可控制浪涌电流的能力，是一种特殊制造工艺的高科技产品。

多层压敏电阻是将氧化锌材料压入到长方形中，形成多晶粒结构，分成多层以形成更加均匀一致的控制区，通过导通阻抗的变化实现对浪涌电流的吸收能力，是一种特殊元件。

雪崩击穿二极管 TVS 和多层氧化锌压敏电阻都靠改变自身的阻抗特性来进行静电放电，瞬态电压和浪涌电压的控制，而主要差异是导通后的阻抗，TVS 有高灵敏度的 N/P 结进行控制，其导通阻抗很低，而 MOV 的导通阻抗要比 TVS 高出许多，从而导致箝位电压、箝位比率的差异。

上拉电阻和下拉电阻

上拉电阻：

- 1、当 TTL 电路驱动 COMS 电路时，如果 TTL 电路输出的高电平低于 COMS 电路的最低高电平（一般为 3.5V），这时就需要在 TTL 的输出端接上拉电阻，以提高输出高电平的数值。
- 2、OC 门电路必须加上拉电阻，才能使用。
- 3、为加大输出引脚的驱动能力，有的单片机管脚上也常使用上拉电阻。
- 4、在 COMS 芯片上，为了防止静电造成损坏，不用的管脚不能悬空，一般接上拉电阻产生降低输入阻抗，提供泄荷通路。
- 5、芯片的管脚加上拉电阻来提高输出电平，从而提高芯片输入信号的噪声容限增强抗干扰能力。
- 6、提高总线的抗电磁干扰能力。管脚悬空就比较容易接受外界的电磁干扰。
- 7、长线传输中电阻不匹配容易引起反射波干扰，加上下拉电阻是电阻匹配，有效的抑制反射波干扰。

上拉电阻阻值的选择原则包括：

- 1、从节约功耗及芯片的灌电流能力考虑应当足够大；电阻大，电流小。
- 2、从确保足够的驱动电流考虑应当足够小；电阻小，电流大。
- 3、对于高速电路，过大的上拉电阻可能边沿变平缓。综合考虑以上三点,通常在 1k 到 10k 之间选取。对下拉电阻也有类似道理

对上拉电阻和下拉电阻的选择应结合开关管特性和下级电路的输入特性进行设定，主要需要考虑以下几个因素：

1. 驱动能力与功耗的平衡。以上拉电阻为例，一般地说，上拉电阻越小，驱动能力越强，但功耗越大，设计时应注意两者之间的均衡。
2. 下级电路的驱动需求。同样以上拉电阻为例，当输出高电平时，开关管断开，上拉电阻应选择以能够向下级电路提供足够

的电流。

3. 高低电平的设定。不同电路的高低电平的门槛电平会有不同，电阻应适当设定以确保能输出正确的电平。以上拉电阻为例，当输出低电平时，开关管导通，上拉电阻和开关管导通电阻分压值应确保在零电平门槛之下。

4. 频率特性。以上拉电阻为例，上拉电阻和开关管漏源级之间的电容和下级电路之间的输入电容会形成 RC 延迟，电阻越大，延迟越大。上拉电阻的设定应考虑电路在这方面的需求。

下拉电阻的设定的原则和上拉电阻是一样的。

OC 门输出高电平时是一个高阻态，其上拉电流要由上拉电阻来提供，设输入端每端口不大于 100uA, 设输出口驱动电流约 500uA, 标准工作电压是 5V, 输入口的高低电平门限为 0.8V(低于此值为低电平); 2V(高电平门限值)。

选上拉电阻时:

$500\mu\text{A} \times 8.4\text{K} = 4.2$ 即选大于 8.4K 时输出端能下拉至 0.8V 以下，此为最小阻值，再小就拉不下来了。如果输出口驱动电流较大，则阻值可减小，保证下拉时能低于 0.8V 即可。当输出高电平时，忽略管子的漏电流，两输入口需 200uA $200\mu\text{A} \times 15\text{K} = 3\text{V}$ 即上拉电阻压降为 3V, 输出口可达到 2V, 此阻值为最大阻值，再大就拉不到 2V 了。选 10K 可用。COMS 门的可参考 74HC 系列设计时管子的漏电流不可忽略，IO 口实际电流在不同电平下也是不同的，上述仅仅是原理，一句话概括为：输出高电平时要喂饱后面的输入口，输出低电平不要把输出口喂撑了（否则多余的电流喂给了级联的输入口，高于低电平门限值就不可靠了）

在数字电路中不用的输入脚都要接固定电平，通过 1k 电阻接高电平或接地。

1.电阻作用:

2.接电组就是为了防止输入端悬空

3.减弱外部电流对芯片产生的干扰

4.保护 cmos 内的保护二极管,一般电流不大于 10mA

5.上拉和下拉、限流

6.改变电位的电位，常用在 TTL-CMOS 匹配

7.在引脚悬空时有确定的状态

8.增加高电平输出时的驱动能力。

9.为 OC 门提供电流

10 那要看输出口驱动的是什么器件，如果该器件需要高电压的话，而输出口的输出电压又不够，就需要加上拉电阻。如果有上拉电阻那它的端口在默认值为高电平你要控制它必须用低电平才能控制如三态门电路三极管的集电极，或二极管正极去控制把上拉电阻的电流拉下来成为低电平。反之，尤其用在接口电路中,为了得到确定的电平,一般采用这种方法,以保证正确的电路状态,以免发生意外,比如,在电机控制中,逆变桥上下桥臂不能直通,如果它们都用同一个单片机来驱动,必须设置初始状态.防止直通!

2、定义:

1 上拉就是将不确定的信号通过一个电阻嵌位在高电平! 电阻同时起限流作用! 下拉同理!

2 上拉是对器件注入电流，下拉是输出电流

3 弱强只是上拉电阻的阻值不同，没有什么严格区分

4 对于非集电极（或漏极）开路输出型电路（如普通门电路）提升电流和电压的能力是有限的，上拉电阻的功能主要是为集电极开路输出型电路输出电流通道。

3、为什么要使用拉电阻:

1 一般作单键触发使用时，如果 IC 本身没有内接电阻，为了使单键维持在不被触发的状态或是触发后回到原状态，必须在 IC 外部另接一电阻。

2 数字电路有三种状态：高电平、低电平、和高阻状态，有些应用场合不希望出现高阻状态，可以通过上拉电阻或下拉电阻的方式使处于稳定状态，具体视设计要求而定!

3 一般说的是 I/O 端口，有的可以设置，有的不可以设置，有的是内置，有的是需要外接，I/O 端口的输出类似与一个三极管的 C, 当 C 接通过一个电阻和电源连接在一起的时候，该电阻成为上 C 拉电阻，也就是说，如果该端口正常时为高电平，C 通过一个电阻和地连接在一起的时候，该电阻称为下拉电阻，使该端口平时为低电平，作用吗:

比如：当一个接有上拉电阻的端口设为输如状态时，他的常态就为高电平，用于检测低电平的输入。

4 上拉电阻是用来解决总线驱动能力不足时提供电流的。一般说法是拉电流，下拉电阻是用来吸收电流的。

电感知识

电感元件的分类

概述：凡是能产生电感作用的原件统称为电感原件，常用的电感元件有固定电感器，阻流圈，电视机永行线性线圈，行，帧振荡线圈，偏转线圈，录音机上的磁头，延迟线等。电感线圈是由导线一圈靠一圈地绕在绝缘管上，导线彼此互相绝缘，而绝缘管可以是空心的，也可以包含铁芯或磁粉芯，简称电感。用 L 表示，单位有亨利(H)、毫亨利 (mH)、微亨利(uH)， $1H=10^3mH=10^6uH$ 。

按 电感形式 分类：固定电感、可变电感。

按导磁体性质分类：空芯线圈、铁氧体线圈、铁芯线圈、铜芯线圈。

按 工作性质分类：天线线圈、振荡线圈、扼流线圈、陷波线圈、偏转线圈。

按绕线结构分类：单层线圈、多层线圈、蜂房式线圈。

1 固定电感器：一般采用带引线的软磁工字磁芯，电感可做到在 10-22000uh 之间，Q 值控制在 40 左右。

2 阻流圈：他是具有一定电感得线圈，其用途是为了防止某些频率的高频电流通过，如整流电路的滤波阻流圈，电视上的行阻流圈等。

3 行线性线圈：用于和偏转线圈串联，调节行线性。由工字磁芯线圈和恒磁块组成，一般彩电用直流电流 1.5A 电感 116-194uh 频率：2.52MHZ

4 行振荡线圈：由骨架，线圈，调节杆，螺纹磁芯组成。一般电感为 5mh 调节量大于+-10mh.

电感线圈的主要特性参数

1、电感量 L

电感量 L 表示线圈本身固有特性，与电流大小无关。除专门的电感线圈（色码电感）外，电感量一般不专门标注在线圈上，而以特定的名称标注。

2、感抗 XL

电感线圈对交流电流阻碍作用的大小称感抗 X_L ，单位是欧姆。它与电感量 L 和交流电频率 f 的关系为 $X_L=2\pi fL$

3、品质因素 Q

品质因素 Q 是表示线圈质量的一个物理量， Q 为感抗 X_L 与其等效的电阻的比值，即： $Q=X_L/R$ 。线圈的 Q 值愈高，回路的损耗愈小。线圈的 Q 值与导线的直流电阻，骨架的介质损耗，屏蔽罩或铁芯引起的损耗，高频趋肤效应的影响等因素有关。线圈的 Q 值通常为几十到几百。

4、分布电容

线圈的匝与匝间、线圈与屏蔽罩间、线圈与底板间存在的电容被称为分布电容。分布电容的存在使线圈的 Q 值减小，稳定性变差，因而线圈的分布电容越小越好

常用线圈

1、单层线圈

单层线圈是用绝缘导线一圈挨一圈地绕在纸筒或胶木骨架上。如晶体管收音机中波天线线圈。

2 蜂房式线圈

如果所绕制的线圈，其平面不与旋转面平行，而是相交成一定的角度，这种线圈称为蜂房式线圈。而其旋转一周，导线来回弯折的次数，常称为折点数。蜂房式绕法的优点是体积小，分布电容小，而且电感量大。蜂房式线圈都是利用蜂房绕线机来绕制，折点越多，分布电容越小。

3、铁氧体磁芯和铁粉芯线圈

线圈的电感量大小与有无磁芯有关。在空芯线圈中插入铁氧体磁芯，可增加电感量和提高线圈的品质因素。

4、铜芯线圈

铜芯线圈在超短波范围应用较多，利用旋动铜芯在线圈中的位置来改变电感量，这种调整比较方便、耐用。

5、色码电感器

色码电感器是具有固定电感量的电感器，其电感量标志方法同电阻一样以色环来标记。

6、阻流圈（扼流圈）

限制交流电通过的线圈称阻流圈，分高频阻流圈和低频阻流圈。

7、偏转线圈

偏转线圈是电视机扫描电路输出级的负载，偏转线圈要求：偏转灵敏度高、磁场均匀、Q 值高、体积小、价格低

电感线圈的品质因数和固有电容

(1)电感量及精度

线圈电感量的大小，主要决定于线圈的直径、匝数及有无铁芯等。电感线圈的用途不同，所需的电感量也不同。例如，在高频电路中，线圈的电感量一般为 0.1uH—100Ho

电感量的精度，即实际电感量与要求电感量间的误差，对它的要求视用途而定。对振荡线圈要求较高，为 0. 2-0. 5%。对耦合线圈和低频扼流圈要求较低，允许 10—15%。对于某些要求电感量精度很高的场合，一般只能在绕制后用仪器测试，通过调节靠近边沿的线匝间距离或线圈中的磁芯位置来实现。

(2)线圈的品质因数

品质因数 Q 用来表示线圈损耗的大小，高频线圈通常为 50—300。对调谐回路线圈的 Q 值要求较高，用高 Q 值的线圈与电容组成的谐振电路有更好的谐振特性；用低 Q 值线圈与电容组成的谐振电路，其谐振特性不明显。对耦合线圈，要求可低一些，对高频扼流圈和低频扼流圈，则无要求。Q 值的大小，影响回路的选择性、效率、滤波特性以及频率的稳定性。一般均希望 Q 值大，但提高线圈的 Q 值并不是一件容易的事，因此应根据实际使用场合、对线圈 Q 值提出适当的要求。

线圈的品质因数为：

$$Q=\omega L/R$$

式中：

ω ——工作角频；

L——线圈的电感量；

R——线圈的总损耗电阻线圈的总损耗电阻，它是由直流电阻、高频电阻(由集肤效应和邻近效应引起)介质损

耗等所组成。”

为了提高线圈的品质因数 Q，可以采用镀银铜线，以减小高频电阻；用多股的绝缘线代替具有同样总裁面的单股线，以减少集肤效应；采用介质损耗小的高频瓷为骨架，以减小介质损耗。采用磁芯虽增加了磁芯损耗，但可以大大减小线圈匝数，从而减小导线直流电阻，对提高线圈 Q 值有利。

(3)固有电容

线圈绕组的匝与匝之间存在着分布电容，多层绕组层与层之间，也都存在着分布电容。这些分布电容可以等效成一个与线圈并联的电容 Co，如图示。

此主题相关图片如下：

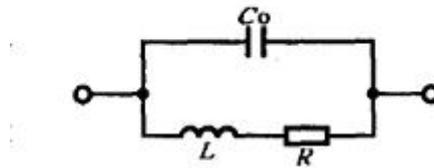


图 电感线圈的等效电路

这个电容的存在，使线圈的工作频率受到限制，Q 值也下降。图示的等效电路，实际为一由 L、R、和 Co 组成的并联谐振电路，其谐振频率称为线圈的固有频率。为了保证线圈有效电感量的稳定，使用电感线圈时，都使其工作频率远低于线圈的固有频率。为了减小线圈的固有电容，可以减少线圈骨架的直径，用细导线绕制线圈，或采用间绕法、蜂房式绕法。

此主题相关图片如下：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{LC_0}$$

(4)线圈的稳定性

电感量相对于温度的稳定性，用电感的温度系数 α_L 表示

此主题相关图片如下：

$$\alpha_L = \frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} (1/^\circ\text{C})$$

式中：L2 和 L1 分别是温度为 t2 和 t1 时的电感量。

对于经过温度循环变化后，电感量不再能恢复到原来值的这种不可逆变化，用电感的不稳定系数表示

此主题相关图片如下：

$$\beta_L = (L - L_1)/L$$

式中：L 和 L₁，分别为原来和温度循环变化后的电感量。

温度对电感量的影响，主要是因为导线受热膨胀，使线圈产生几何变形而引起的。减小这一影响的方法，可采用热法(绕制时将导线加热，冷却后导线收缩，以保证导线紧紧贴合在骨架上)温度增大时，线圈的固有电容和漏电损耗增加，也会降低线圈的稳定性。改进的方法是，将线圈用防潮物质浸渍或用环氧树脂密封，浸渍后由于浸渍材料的介电常数比空气大，其线匝间的分布电容增大。同时，还引入介质损耗，影响 Q 值。

(5)额定电流

主要是对高频扼流圈和大功率的谐振线圈

晶体管的选用经验

晶体管的品种繁多，不同的电子设备与不同的电子电路，对晶体管各项性能指标的要求是不同的。所以，应根据应用电路的具体要求来选择不同用途，不同类型的晶体管。

1. 一般高频晶体管的选用 一般小信号处理(例如图像中放、伴音中放、缓冲放大等)电路中使用的高频晶体管，可以选用特征频率范围在 30~300MHz 的高频晶体管，例如 3DG6、3DG8、3CG21、2SA1015、2SA673、2SA733、S9011、S9012、S9014、S9015、2N5551、2N5401、BC337、BC338、BC548、BC558 等型号的小功率晶体管，可根据电路的要求选择晶体的材料与极性，还要考虑被选晶体的耗散功率、集电极最大电流、最大反向电压、电流放大系数等参数及外形尺寸等是否符合应用电路的要求。

2. 末级视放输出管的选用 彩色电视机中使用的末级视放输出管，应选用特征频率高于 80MHz 的高频晶体管。

21in (in=0.0254m) 以下的中小屏幕彩色电视机中使用的末级视放输出管，其耗散功率应大于或等于 750mW，最大集电极电流应大于或等于 50mA，最高反向电压应大于 200V，一般可选用 3DG182J、2SC2229、2SC3942 等型号的晶体管。

25 英寸以上的大屏幕彩色电视机中使用的末级视放输出管，其耗散功率应大于或等于 1.5W，最大集电极电流应大于或等于 50mA，最高反向电压应大于 300V，一般可选用 3DG182N、2SC2068、2SC2611、2SC2482 等型号的晶体管。

3. 行推动管的选用 彩色电视机中使用的行推动管，应选用中、大功率的高频晶体管。其耗散功率应大于或等于 10W，最大集电极电流应大于 150mA，最高反向电压应大于或等于 250V。一般可选用 3DK204、2SC1569、2SC2482、2SC2655、2SC2688 等型号的三极管。

4. 行输出管的选用 彩色电视机中使用的行输出管属于高反压大功率晶体管，其最高反向电压应大于或等于 1200V，耗散功率应大于或等于 50W，最大集电极电流应大于或等于 3.5A（大屏幕彩色电视机行输出管的耗散功率应大于或等于 60W，最大集电极电流应大于 5A）。

21 英寸以下小屏幕彩色电视机的行输出管可选用 2SD869、2SD870、2SD871、2SD899A、2SD950、2SD951、2SD1426、2SD1427、2SD1556、2SD1878 等型号的晶体管。

25 英寸以上的大屏幕彩色电视机的行输出管可选用 2SD1433、2SD2253、2SD1432、2SD1941、2SD953、2SC3153、2SD1887 等型号的晶体管。

5. 开关三极管的选用 小电流开关电路和驱动电路中使用的开关晶体管，其最高反向电压低于 100V，耗散功率低于 1W，最大集电极电流小于 1A，可选用 3CK3、3DK4、3DK9、3DK12 等型号的小功率开关晶体管。

大电流开关电路和驱动电路中使用的开关晶体管，其最高反向电压大等于 100V，耗散功率高于 30W，最大集电极电流大于或等于 5A，可选用 3DK200、DK55、DK56 等型号的大功率开关晶体管。

开关电源等电路中使用的开关晶体管，其耗散功率大于或等于 50W，最大集电极电流大于或等于 3A，最高反向电压高于 800V。一般可选用 2SD820、2SD850、2SD1403、2SD1431、2SD1553、2SD1541 等型号的高反压大功率开关晶体管。

6. 达林顿管的选用 达林顿管广泛应用于音频功率输出、开关控制、电源调整、继电器驱动、高增益放大等电路中。

继电器驱动电路与高增益放大电路中使用的达林顿管，可以选用不带保护电路的中、小功率普通达林顿晶体管。而音频功率输出、电源调整等电路中使用的达林顿管，可选用大功率、大电流型普通达林顿晶体管或带保护电路的大功率达林顿晶体管。

7. 音频功率放大互补对管的选用 音频功率放大器的低放电路和功率输出电路，一般均采用互补推挽对管（通常由 1 只 NPN 型晶体管和 1 只 PNP 型晶体管组成）。选用时要求两管配对，即性能参数要一致。

低放电路中采用的中、小功率互补推挽对管，其耗散功率小于或等 1W，最大集电极电流小于或等于 1.5A，最高反向电压为 50~300V。常见的有 2SC945/2SA733、2SC1815/2SA1015、2N5401/2N5551、S8050/S8550 等型号。选用时应根据应用电路具体要求而定。

后级功率放大电路中使用的互补推挽对管，应选用大电流、大功率、低噪声晶体管，其耗散功率为 100~200W，集电极最大电流为 10~30A，最高反向电压为 120~200V。常用的大功率互补对管有 2SC2922/2SA1216、2SC3280/2SA1301、2SC3281/2SA1302、2N3055/MJ2955 等型号。

8. 带阻晶体管的选用 带阻晶体管是录像机、影碟机、彩色电视机中常用的晶体管，其种类较多，但一般不能作为普通晶体管使用，只能“专管专用”。

选用带阻晶体管时，应根据电路的要求（例如输入电压的高低、开关速度、饱和深度、功耗等）及其内部电阻器的阻值搭配，来选择合适的管型。

9. 光敏三极管的选用 光敏三极管和其它三极管一样，不允许其电参数超过最大值（例如最高工作电压、最大集电极电流和最大允许功耗等），否则会缩短光敏三极管的使用寿命甚至烧毁三极管。

另外，所选光敏三极管的光谱响应范围必须与入射光的光谱牧场生相互匹配，以获得最佳的响应特性。

电容基础知识讲座

第 1 讲：电容的特性(隔直通交)

电容器是一种能储存电荷的容器。它是由两片靠得较近的金属片，中间再隔以绝缘物质而组成的。按绝缘材料不同，可制成各种各样的电容器。如：云母、瓷介、纸介、电解电容器等。在构造上，又分为固定电容器和可变电容器。电容器对直流电阻力无穷大，即电容器具有隔直流作用。电容器对交流电的阻力受交流电频率影响，即相同容量的电容器对不同频率的交流电呈现不同的容抗。为开么会出现这些现象呢？这是因为电容器是依靠它的充放电功能来工作的，如图 1，电源开关 s 未合上时，电容器的两片金属板和其它普通金属板一样是不带电的。当开关 S 合上时，如图 2 所示，电容器正极板上的自由电子便被电源所吸引，并推送到负极板上。由于电容器两极板之间隔有绝缘材料，所以从正极板跑过来的自由电子便在负极板上堆积起来。正极板便因电子减少而带上正电，负极板便因电子逐渐增加而带上负电。电容器两个极板之间便有了电位差，当这个电位差与电源电压相等时，电容器的充电就停止了。此时若将电源切断，电容器仍能保持充电电压。对已充电的电容器，如果我们用导线将两个极板连接起来，由于两极板间存在的电位差，电子便会通过导线，回到正极板上，直至两极板间的电位差为零。电容器又恢复到不带电的中性状态，导线中也就没电流了。电容器的放电过程如图 3 所示。加在电容器两个极板上的交流电频率高，电容器的充放电次数增多；充放电电流也就增强；也就是说，电容器对于频率高的交流电的阻碍作用就减小，即容抗小，反之电容器对频率低的交流电产生的容抗大。对于同一频率的交流电，电容器的容量越大，容抗就越小，容量越小，容抗就越大。

第 2 讲：电容器的参数与分类

在电子产品中，电容器是必不可少的电子器件，它在电子设备中充当整流器的平滑滤波、电源的退耦、交流信号的旁路、交直流电路的交流耦合等。由于电容器的类型和结构种类比较多，因此，我们不仅需要了解各类电容器的性能指标和一般特性，而且还必须了解在给定用途下各种元件的优缺点，以及机械或环境的限制条件等。这里将对电容器的主要参数及其应用做简单说明。

1. 标称电容量（C R）。电容器产品标出的电容量值。云母和陶瓷介质电容器的电容量较低（大约在 5000pF 以下）；纸、塑料和一些陶瓷介质形式的电容器居中（大约在 0.005uF~1.0uF）；通常电解电容器的容量较大。这是一个粗略的分类法。

2. 类别温度范围。电容器设计所确定的能连续工作的环境温度范围。该范围取决于它相应类别的温度极限值，如上限类别温度、下限类别温度、额定温度（可以连续施加额定电压的最高环境温度）等。

3. 额定电压（ U_R ）。在下限类别温度和额定温度之间的任一温度下，可以连续施加在电容器上的最大直流电压或最大交流电压的有效值或脉冲电压的峰值。电容器应用在高电压场和时，必须注意电晕的影响。电晕是由于在介质 / 电极层之间存在空隙而产生的，它除了可以产生损坏设备的寄生信号外，还会导致电容器介质击穿。在交流或脉动条件下，电晕特别容易发生。对于所有的电容器，在使用中应保证直流电压与交流峰值电压之和不得超过电容器的额定电压。

4. 损耗角正切（ $\tan \delta$ ）。在规定频率的正弦电压下，电容器的损耗功率除以电容器的无功功率为损耗角正切。在实际应用中，电容器并不是一个纯电容，其内部还有等效电阻，它的简化等效电路如附图所示。对于电子设备来说，要求 R_S 愈小愈好，也就是说要求损耗功率小，其与电容的功率的夹角要小。

5. 电容器的温度特性。通常是以 20°C 基准温度的电容量与有关温度的电容量的百分比表示。

6. 使用寿命。电容器的使用寿命随温度的增加而减小。主要原因是温度加速化学反应而使介质随时间退化。

7. 绝缘电阻。由于温升引起电子活动增加，因此温度升高将使绝缘电阻降低。

电容器包括固定电容器和可变电容器两大类。其中固定电容器又可根据其介质材料分为云母电容器、陶瓷电容器、纸 / 塑料薄膜电容器、

第 3 讲:电容的类别和符号

电容的种类也很多，为了区别开来，也常用几个拉丁字母来表示电容的类别，如图 1 所示。第一个字母 C 表示电容，第二个字母表示介质材料，第三个字母以后表示形状、结构等。上图是小型纸介电容，下图是立式矩开密封纸介电容。表 1 列出电容的类别和符号。表 2 是常用电容的几项特性。

第 4 讲: 电解电容极性的判别

不知道极性的电解电容可用万用表的电阻挡测量其极性。

我们知道只有电解电容的正极接电源正（电阻挡时的黑表笔），负端接电源负（电阻挡时的红表笔）时，电解电容的漏电流才小（漏电阻大）。反之，则电解电容的漏电流增加（漏电阻减小）。

测量时，先假定某极为“+”极，让其与万用表的黑表笔相接，另一电极与万用表的红表笔相接，记下表针停止的刻度（表针靠左阻值大），然后将电容器放电（既两根引线碰一下），两只表笔对调，重新进行测量。两次测量中，表针最后停留的位置靠左（阻值大）的那次，黑表笔接的就是电解电容的正极。

测量时最好选用 $R \times 100$ 或 $R \times 1K$ 挡。用万用表判断电容器质量

第 5 讲:用万用表判断电容器质量

视电解电容器容量大小，通常选用万用表的 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1K$ 挡进行测试判断。红、黑表笔分别接电容器的负极（每次测试前，需将电容器放电），由表针的偏摆来判断电容器质量。若表针迅速向右摆起，然后慢慢向左退回原位，一般来说电容器是好的。如果表针摆起后不再回转，说明电容器已经击穿。如果表针摆起后逐渐退回到某一位置停位，则说明电容器已经漏电。如果表针摆不起来，说明电容器电解质已经干涸推失去容量。

有些漏电的电容器，用上述方法不易准确判断出好坏。当电容器的耐压值大于万用表内电池电压值时，根据电解电容器正向充电时漏电电流小，反向充电时漏电电流大的特点，可采用 $R \times 10K$ 挡，对电容器进行反向充电，观察表针停留处是否稳定（即反向漏电电流是否恒定），由此判断电容器质量，准确度较高。黑表笔接电容器的负极，红表笔接电容器的正极，表针迅速摆起，然后逐渐退至某处停留不动，则说明电容器是好的，凡是表针在某一位置停留不稳或停留后又逐渐慢慢向右移动的电容器已经漏电，不能继续使用了。表针一般停留并稳定在 $50 - 200K$ 刻度范围内。

第 6 讲: 略谈电解电容

一、电解电容在电路中的作用

1, 滤波作用，在电源电路中，整流电路将交流变成脉动的直流，而在整流电路之后接入一个较大容量的电解电容，利用其充放电特性，使整流后的脉动直流电压变成相对比较稳定的直流电压。在实际中，为了防止电路各部分供电电压因负载变化而产生变化，所以在电源的输出端及负载的电源输入端一般接有数十至数百微法的电解电容。由于大容量的电解电容一般具有一定的电感，对高

频及脉冲干扰信号不能有效地滤除，故在其两端并联了一只容量为 0.001--0.1pF 的电容，以滤除高频及脉冲干扰。

2、耦合作用：在低频信号的传递与放大过程中，为防止前后两级电路的静态工作点相互影响，常采用电容耦合。为了防止信号中高低频分量损失过大，一般总采用容量较大的电解电容。

二、电解电容的判断方法

电解电容常见的故障有，容量减少，容量消失、击穿短路及漏电，其中容量变化是因电解电容在使用或放置过程中其内部的电解液逐渐干涸引起，而击穿与漏电一般为所加的电压过高或本身质量不佳引起。判断电源电容的好坏一般采用万用表的电阻档进行测量。具体方法为：将电容两管脚短路进行放电，用万用表的黑表笔接电解电容的正极。红表笔接负极(对指针式万用表，用数字式万用表测量时表笔互调)，正常时表针应先向电阻小的方向摆动，然后逐渐返回直至无穷大处。表针的摆动幅度越大或返回的速度越慢，说明电容的容量越大，反之则说明电容的容量越小。如表针指在中间某处不再变化，说明此电容漏电，如电阻指示值很小或为零，则表明此电容已击穿短路。因万用表使用的电池电压一般很低，所以在测量低耐压的电容时比较准确，而当电容的耐压较高时，打时尽管测量正常，但加上高压时则有可能发生漏电或击穿现象。

三、电解电容的使用注意事项

1、电解电容由于有正负极性，因此在电路中使用不能颠倒联接。在电源电路中，输出正电压时电解电容的正极接电源输出端，负极接地，输出负电压时则负极接输出端，正极接地。当电源电路中的滤波电容极性接反时，因电容的滤波作用大大降低，一方面引起电源输出电压波动，另一方面又因反向通电使此时相当于一个电阻的电解电容发热。当反向电压超过某值时，电容的反向漏电阻将变得很小，这样通电工作不久，即可使电容因过热而炸裂损坏。

2. 加在电解电容两端的电压不能超过其允许工作电压，在设计实际电路时应根据具体情况留有一定的余量，在设计稳压电源的滤波电容时，如果交流电源电压为 220V 时变压器次级的整流电压可达 22V，此时选择耐压为 25V 的电解电容一般可以满足要求。但是，假如交流电源电压波动很大且有可能上升到 250V 以上时，最好选择耐压 30V 以上的电解电容。

3、电解电容在电路中不应靠近大功率发热元件，以防因受热而使电解液加速干涸。

4、对于有正负极性的信号的滤波，可采取两个电解电容同极性串联的方法，当作一个无极性的电容

本章小结:

电子制作中需要用到各种各样的电容器，它们在电路中分别起着不同的作用。与电阻器相似，通常简称其为电容，用字母 C 表示。顾名思义，电容器就是“储存电荷的容器”。尽管电容器品种繁多，但它们的基本结构和原理是相同的。两片相距很近的金属中间被某物质（固体、气体或液体）所隔开，就构成了电容器。两片金属称为的极板，中间的物质叫做介质。电容器也分为容量固定的与容量可变的。但常见的是固定容量的电容，最多见的是电解电容和瓷片电容。

不同的电容器储存电荷的能力也不相同。规定把电容器外加 1 伏特直流电压时所储存的电荷量称为该电容器的电容量。电容的基本单位为法拉 (F)。但实际上，法拉是一个很不常用的单位，因为电容器的容量往往比 1 法拉小得多，常用微法 (μF)、纳法 (nF)、皮法 (pF) (皮法又称微微法) 等，它们的关系是：1 法拉 (F) = 1000000 微法 (μF) 1 微法 (μF) = 1000 纳法 (nF) = 1000000 皮法 (pF)

在电子线路中，电容用来通过交流而阻隔直流，也用来存储和释放电荷以充当滤波器，平滑输出脉动信号。小容量的电容，通常在高频电路中使用，如收音机、发射机和振荡器中。大容量的电容往往是作滤波和存储电荷用。而且还有一个特点，一般 $1\mu\text{F}$ 以上的电容均为电解电容，而 $1\mu\text{F}$ 以下的电容多为瓷片电容，当然也有其他的，比如独石电容、涤纶电容、小容量的云母电容等。电解电容有个铝壳，里面充满了电解质，并引出两个电极，作为正 (+)、负 (-) 极，与其它电容器不同，它们在电路中的极性不能接错，而其他电容则没有极性。

把电容器的两个电极分别接在电源的正、负极上，过一会儿即使把电源断开，两个引脚间仍然会有残留电压（学了以后的教程，可以用万用表观察），我们说电容器储存了电荷。电容器极板间建立起电压，积蓄起电能，这个过程称为电容器的充电。充好电的容器两端有一定的电压。电容器储存的电荷向电路释放的过程，称为电容器的放电。

举一个现实生活中的例子，我们看到市售的整流电源在拔下插头后，上面的发光二极管还会继续亮一会儿，然后逐渐熄灭，就是因为里面的电容事先存储了电能，然后释放。当然这个电容原本是用作滤波的。至于电容滤波，不知你有没有用整流电源听随身听

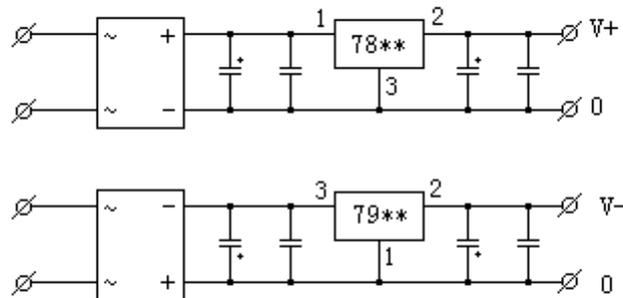
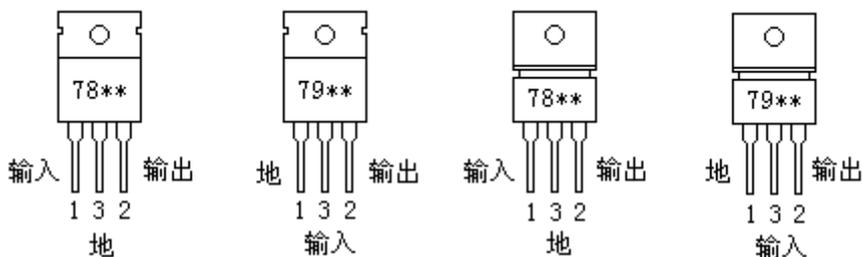
的经历，一般低质的电源由于厂家出于节约成本考虑使用了较小容量的滤波电容，造成耳机中有嗡嗡声。这时可以在电源两端并接上一个较大容量的电解电容（1000 μ F，注意正极接正极），一般可以改善效果。发烧友制作 HiFi 音响，都要用至少 1 万微法以上的电容器来滤波，滤波电容越大，输出的电压波形越接近直流，而且大电容的储能作用，使得突发的大信号到来时，电路有足够的能量转换为强劲有力的音频输出。这时，大电容的作用有点像水库，使得原来汹涌的水流平滑地输出，并可以保证下游大量用水时的供应。

电子电路中，只有在电容器充电过程中，才有电流流过，充电过程结束后，电容器是不能通过直流电的，在电路中起着“隔直流”的作用。电路中，电容器常被用作耦合、旁路、滤波等，都是利用它“通交流，隔直流”的特性。那么交流电为什么能够通过电容器呢？我们先来看看交流电的特点。交流电不仅方向往复交变，它的大小也在按规律变化。电容器接在交流电源上，电容器连续地充电、放电，电路中就会流过与交流电变化规律一致的充电电流和放电电流。

电容器的选用涉及到很多问题。首先是耐压的问题。加在一个电容器的两端的电压超过了它的额定电压，电容器就会被击穿损坏。一般电解电容的耐压分档为 6.3V，10V，16V，25V，50V 等。

三端稳压器管脚判断

在 78**、79** 系列三端稳压器中，最常用的是 TO-220 和 TO-18 两种封装。这两种封装的图形及引脚序号、引脚功能如下图所示。



三端稳压器（78、79 系列）管脚序号判断技巧

图中的引脚号的标注方法是按照引脚电位从高到低的顺序标注的，引脚①为最高电位，③脚为最低电位，②脚居中。从图中可以看出，不论 78 系列、还是 79 系列，②脚均为输出端。对于 78 正压系列，输入是最高电位，为①脚，地端为最低电位，为③脚。对于 79 负压系列，输入为最低电位，自然是③脚，而地端为最高电位，为①脚，输出为中间电位，为②脚。

此外，还应注意，散热片总是和最低电位的第③脚相连，这样在 78 系列中，散热片和地相连接，而在 79 系列中，散热片和输入端相连接。

用万用表判断三端稳压器的方法与三极管的判断方法相同，三端稳压器类似于大功率三极管。

常用元器件的检测方法

元器件的检测是家电维修的一项基本功，如何准确有效地检测元器件的相关参数，判断元器件的是否正常，不是一件千篇一律的事，必须根据不同的元器件采用不同的方法，从而判断元器件的正常与否。特别对初学者来说，熟练掌握常用元器件的检测方法和经验很有必要，以下对常用电子元器件的检测经验和方法进行介绍供对考。

一、电阻器的检测方法 with 经验：

1 固定电阻器的检测。

A 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。由于欧姆档刻度的非线性关系，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 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 或 $\pm 20\%$ 的误差。如不相符，超出误差范围，则说明该电阻值变值了。

B 注意：测试时，特别是在测几十 k Ω 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 $\times 1$ 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 用万用表的欧姆档测“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 $^{\circ}\text{C}$)：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。

二、电容器的检测方法与经验

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 $R \times 10k$ 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 $10\text{PF} \sim 0.01\mu\text{F}$ 固定电容器是否有充电现象,进而判断其好坏。万用表选用 $R \times 1k$ 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,使万用表指针摆动幅度加大,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 $0.01\mu\text{F}$ 以上的固定电容,可用万用表的 $R \times 10k$ 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, $1 \sim 47\mu\text{F}$ 间的电容,可用 $R \times 1k$ 挡测量,大于 $47\mu\text{F}$ 的电容可用 $R \times 100$ 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 $k\Omega$ 以上,否则,将不能正常工作。在测试中,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 用手轻轻旋动转轴，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 用一只手旋动转轴，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旋转几个来回，万用表指针都应在无穷大位置不动。在旋动转轴的过程中，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。

三、电感器、变压器检测方法 with 经验

1 色码电感器的检测 将万用表置于 $R \times 1$ 挡，红、黑表笔各接色码电感器的任一引出端，此时指针应向右摆动。根据测出的电阻值大小，可具体分下述三种情况进行鉴别：

A 被测色码电感器电阻值为零，其内部有短路性故障。

B 被测色码电感器直流电阻值的大小与绕制电感器线圈所用的漆包线径、绕制圈数有直接关系，只要能测出电阻值，则可认为被测色码电感器是正常的。

2 中周变压器的检测

A 将万用表拨至 $R \times 1$ 挡，按照中周变压器的各绕组引脚排列规律，逐一检查各绕组的通断情况，进而判断其是否正常。

B 检测绝缘性能 将万用表置于 $R \times 10k$ 挡，做如下几种状态测试：

(1) 初级绕组与次级绕组之间的电阻值；

(2) 初级绕组与外壳之间的电阻值；

(3) 次级绕组与外壳之间的电阻值。

上述测试结果分出现三种情况：

(1) 阻值为无穷大：正常；

(2) 阻值为零：有短路性故障；

(3) 阻值小于无穷大，但大于零：有漏电性故障。

3 电源变压器的检测

A 通过观察变压器的外貌来检查其是否有明显异常现象。如线圈引线是否断裂，脱焊，绝缘材料是否有烧焦痕迹，铁心紧固螺杆是否有松动，硅钢片有无锈蚀，绕组线圈是否有外露等。

B 绝缘性测试。用万用表 $R \times 10k$ 挡分别测量铁心与初级，初级与各次级、铁心与各次级、静电屏蔽层与初级、次级各绕组间的电阻值，万用表指针均应指在无穷大位置不动。否则，说明变压器绝缘性能不良。

C 线圈通断的检测。将万用表置于 $R \times 1$ 挡，测试中，若某个绕组的电阻值为无穷大，则说明此绕组有断路性故障。

D 判别初、次级线圈。电源变压器初级引脚和次级引脚一般都是分别从两侧引出的，并且初级绕组多标有 220V 字样，次级绕组则标出额定电压值，如 15V、24V、35V 等。再根据这些标记进行识别。

E 空载电流的检测。

(a) 直接测量法。将次级所有绕组全部开路，把万用表置于交流电流挡(500mA，串入初级绕组。当初级绕组的插头插入 220V 交流市电时，万用表所指示的便是空载电流值。此值不应大于变压器满载电流的 10%~20%。一般常见电子设备电源变压器的正常空载电流应在 100mA 左右。如果超出太多，则说明变压器有短路性故障。

(b) 间接测量法。在变压器的初级绕组中串联一个 $10 \Omega / 5W$ 的电阻，次级仍全部空载。把万用表拨至交流电压挡。加电后，用两表笔测出电阻 R 两端的电压降 U，然后用欧姆定律算出空载电流 $I_{空}$ ，即 $I_{空} = U/R$ 。F 空载电压的检测。将电源变压器的初级接 220V 市电，用万用表交流电压接依次测出各绕组的空载电压值(U_{21} 、 U_{22} 、 U_{23} 、 U_{24})应符合要求值，允许误差范围一般为：高压绕组 $\leq \pm 10\%$ ，低压绕组 $\leq \pm 5\%$ ，带中心抽头的两组对称绕组的电压差应 $\leq \pm 2\%$ 。G 一般小功率电源变压器允许温升为 $40^\circ C \sim 50^\circ C$ ，如果所用绝缘材料质量较好，允许温升还可提高。

H 检测判别各绕组的同名端。在使用电源变压器时，有时为了得到所需的次级电压，可将两个或多个次级绕组串联起来使用。采用串联法使用电源变压器时，参加串联的各绕组的同名端必须正确连接，不能搞错。否则，变压器不能正常工作。I. 电源变压器短路性故障的综合检测判别。电源变压器发生短路性故障后的主要症状是发热严重和次级绕组输出电压失常。通常，线圈内部匝间短路点越多，短路电流就越大，而变压器发热就越严重。检测判断电源变压器是否有短路性故障的简单方法是测量空载电流(测试方法前面已经介绍)。存在短路故障的变压器，其空载电流值将远大于满载电流的 10%。当短路严重时，变压器在空载加电后几十秒钟之内便会迅速发热，用手触摸铁心会有烫手的感觉。此时不用测量空载电流便可断定变压器有短路点存在

0 欧姆电阻的用途

模拟地和数字地单点接地

只要是地，最终都要接到一起，然后入大地。如果不接在一起就是“浮地”，存在压差，容易积累电荷，造成静电。地是参考 0 电位，所有电压都是参考地得出的，地的标准要一致，故各种地应短接在一起。人们认为大地能够吸收所有电荷，始终维持稳定，是最终的地参考点。虽然有些板子没有接大地，但发电厂是接大地的，板子上的电源最终还是返回发电厂入地。如果把模拟地和数字地大面积直接相连，会导致互相干扰。不短接又不妥，理由如上。有四种方法解决此问题：1、用磁珠连接；2、用电容连接；3、用电感连接；4、用 0 欧姆电阻连接。

磁珠的等效电路相当于带阻滤波器，只对某个频点的噪声有显著抑制作用，使用时需要预先估计噪声频率，以便选用适当型号。对于频率不确定或无法预知的情况，磁珠不合。

电容隔直通交，造成浮地。

电感体积大，杂散参数多，不稳定。

0 欧姆电阻相当于很窄的电流通路，能够有效地限制环路电流，使噪声得到抑制。电阻在所有频带上都有衰减作用(0 欧姆电阻也有阻抗)，这点比磁珠强。

跨接时用于电流回路

当分割地平面后，造成信号最短回路路径断裂，此时，信号回路不得不绕道，形成很大的环路面积，电场和磁场的影响就变强了，容易干扰/被干扰。在分割区上跨接 0 欧姆电阻，可以提供较短的回路路径，减小干扰。

配置电路

一般，产品上不要出现跳线和拨码开关。有时用户会乱动设置，易引起误会，为了减少维护费用，应用 0 欧电阻代替跳线等焊在板上。

空置跳线在高频时相当于天线，用贴片电阻效果好。

其他用途 布线时跨线

调试/测试用

临时取代其他贴片器件

作为温度补偿器件

更多时候是出于 EMC 对策的需要。另外，0 欧姆电阻比过孔的寄生电感小，而且过孔还会影响地平面（因为要挖孔）。

贴片元件手工焊接技巧

贴片元件手工焊接技巧

32—128 脚贴片元件“手工焊接”技巧，工具只要一把 20 元的烙铁和一把小镊子！焊接前，先在其中的一个焊盘点一点锡，最好在角上，然后把贴片元件沿着 PCB 平推到焊盘的位置，注意让元件的管脚和焊盘完全吻合，然后用烙铁点一下刚才点过锡的焊盘和管脚，把它们焊接在一起。这时芯片已经定位稳了，小心把对角的管脚也焊上，芯片就固定住了。

这时，采用堆锡的办法，把锡熔解后全堆到管脚上，使它们全部与焊盘管脚浸润，当然管脚间都短路了，不过不要紧，接下来是第三步。拿起 PCB 板，略微倾斜，用烙铁熔解管脚上的焊锡，然后沿着管脚的方向移动，把锡“带走”，管脚间就出现了整齐的空隙，过量的焊锡在重力的作用下会和焊盘脱离。注意用松香，加热时间不要过长。最后 3 个管脚可能会粘连，这时用吸锡器或用带松香的引线把多余的锡带走就行了。

按以上步骤重复操作，可以很快焊接完毕。熟练的话，焊接一个 100Pin 贴片元件的速度比焊接 40PIN DIP 插装元件还要快。注意焊接完成后，检查管脚是否有短路，并且要清楚多余的松香。

拆卸贴片元件时，会稍微麻烦一些，首先准备的烙铁功率最好足一些，但也不要太大，否则会损伤焊盘。还是采用堆锡的办法，不过这次应该多堆一些，然后用烙铁熔解焊锡，不断移动，尽量使所有焊锡“同时”熔化，注意尽量避免烙铁头与管脚接触，因为这样可以避免焊盘损坏。焊锡全部熔解后，用镊子或烙铁头轻轻一挑，芯片就下来了。

总之，掌握了以上技巧，焊接和拆卸比 DIP 的还快捷方便。

磁珠作用

磁珠由氧磁体组成，电感由磁心和线圈组成，磁珠把交流信号转化为热能，电感把交流存储起来，缓慢的释放出去。磁珠对高频信号才有较大阻碍作用，一般规格有 100 欧/100mMHZ，它在低频时电阻比电感小得多。电感的等效电阻可有 $Z=2X3.14xf$ 来求得。

铁氧体磁珠 (Ferrite Bead) 是目前应用发展很快的一种抗干扰元件，廉价、易用，滤除高频噪声效果显著。

在电路中只要导线穿过它即可（我用的都是象普通电阻模样的，导线已穿过并胶合，也有表面贴装的形式，但很少见到卖的）。当导线中电流穿过时，铁氧体对低频电流几乎没有什么阻抗，而对较高频率的电流会产生较大衰减作用。高频电流在其中以热量形式散发，其等效电路为一个电感和一个电阻串联，两个元件的值都与磁珠的长度成比例。

磁珠种类很多，制造商应提供技术指标说明，特别是磁珠的阻抗与频率关系的曲线。有的磁珠上有多个孔洞，用导线穿过可增加元件阻抗（穿过磁珠次数的平方），不过在高频时所增加的抑制噪声能力不可能如预期的多，而用多串联几个磁珠的办法会好些。

铁氧体是磁性材料，会因通过电流过大而产生磁饱和，导磁率急剧下降。大电流滤波应采用结构上专门设计的磁珠，还要注意其散热措施。

铁氧体磁珠不仅可用于电源电路中滤除高频噪声（可用于直流和交流输出），还可广泛应用于其他电路，其体积可以做得很小。特别是在数字电路中，由于脉冲信号含有频率很高的高次谐波，也是电路高频辐射的主要根源，所以可在这种场合发挥磁珠的作用。

铁氧体磁珠还广泛应用于信号电缆的噪声滤除。

以常用于电源滤波的 HH-1H3216-500 为例，其型号各字段含义依次为：

HH 是其一个系列，主要用于电源滤波，用于信号线是 HB 系列；

1 表示一个元件封装了一个磁珠，若为 4 则是并排封装四个的；

H 表示组成物质，H、C、M 为中频应用（50—200MHz），

T 低频应用（<50MHz），S 高频应用（>200MHz）；

3216 封装尺寸，长 3.2mm，宽 1.6mm，即 1206 封装；

500 阻抗（一般为 100MHz 时），50 ohm。

其产品参数主要有三项：

阻抗[Z]@100MHz (ohm) : Typical 50, Minimum 37;

直流电阻 DC Resistance (m ohm): Maximum 20;

额定电流 Rated Current (mA): 2500.

磁珠有很高的电阻率和磁导率，他等效于电阻和电感串联，但电阻值和电感值都随频率变化。他比普通的电感有更好的高频滤波特性，在高频时呈现阻性，所以能在相当宽的频率范围内保持较高的阻抗，从而提高调频滤波效果。磁珠主要用于高频隔离，抑制差模噪声等。

电容降压的工作原理

电容降压的工作原理并不复杂。他的工作原理是利用电容在一定的交流信号频率下产生的容抗来限制最大工作电流。例如,在 50Hz 的工频条件下,一个 1uF 的电容所产生的容抗约为 3180 欧姆。当 220V 的交流电压加在电容器的两端,则流过电容的最大电流约为 70mA。虽然流过电容的电流有 70mA,但在电容器上并不产生功耗,应为如果电容是一个理想电容,则流过电容的电流为虚部电流,它所作的功为无功功率。根据这个特点,我们如果在一个 1uF 的电容器上再串联一个阻性元件,则阻性元件两端所得到的电压和它所产生的功耗完全取决于这个阻性元件的特性。例如,我们将一个 110V/8W 的灯泡与一个 1uF 的电容串联,在接到 220V/50Hz 的交流电压上,灯泡被点亮,发出正常的亮度而不会被烧毁。因为 110V/8W 的灯泡所需的电流为 8W/110V=72mA,它与 1uF 电容所产生的限流特性相吻合。同理,我们也可以将 5W/65V 的灯泡与 1uF 电容串联接到 220V/50Hz 的交流电上,灯泡同样会被点亮,而不会被烧毁。因为 5W/65V 的灯泡的工作电流也约为 70mA。因此,电容降压实际上是利用容抗限流。而电容器实际上起到一个限制电流和动态分配电容器和负载两端电压的角色。

这一类的电路通常用于低成本取得非隔离的小电流电源。它的输出电压通常可在几伏到三几十伏，取决于所使用的齐纳稳压管。所能提供的电流大小正比于限流电容容量。采用半波整流时，每微法电容可得到电流（平均值）为：（国际标准单位）

$$\begin{aligned} I(AV) &= 0.44 * V / Z_c = 0.44 * 220 * 2 * \pi * f * C \\ &= 0.44 * 220 * 2 * 3.14 * 50 * C = 30000C \\ &= 30000 * 0.000001 = 0.03A = 30mA \end{aligned}$$

如果采用全波整流可得到双倍的电流（平均值）为：

$$\begin{aligned} I(AV) &= 0.89 * V / Z_c = 0.89 * 220 * 2 * \pi * f * C \\ &= 0.89 * 220 * 2 * 3.14 * 50 * C = 60000C \end{aligned}$$

$$=60000*0.000001=0.06A=60mA$$

一般地，此类电路全波整流虽电流稍大，但是因为浮地，稳定性和安全性要比半波整流型更差，所以用的更少。

采用电容降压时应注意以下几点：

- 1、未和 220V 交流高压隔离，请注意安全，严防触电！
- 2、限流电容须接于火线，耐压要足够大（大于 400V），并加串防浪涌冲击兼保险电阻和并放电电阻。
- 3、注意齐纳管功耗，严禁齐纳管断开运行。
- 4、根据负载的电流大小和交流电的工作频率选取适当的电容,而不是依据负载的电压和功率。
- 5、限流电容必须采用无极性电容,绝对不能采用电解电容。而且电容的耐压须在 400V 以上。最理想的电容为铁壳油浸电容。
- 6、电容降压不能用于大功率条件,因为不安全。
- 7、电容降压不适合动态负载条件。
- 8、同样,电容降压不适合容性和感性负载。
- 9、当需要直流工作时,尽量采用半波整流。不建议采用桥式整流。而且要满足恒定负载的条件。

检测小功率晶体二极管

1 检测小功率晶体二极管

A 判别正、负电极

(a) 观察外壳上的符号标记。通常在二极管的外壳上标有二极管的符号，带有三角形箭头的一端为正极，另一端是负极。

(b) 观察外壳上的色点。在点接触二极管的外壳上，通常标有极性色点(白色或红色)。一般标有色点的一端即为正极。还有的二极管上标有色环，带色环的一端则为负极。

(c)以阻值较小的一次测量为准，黑表笔所接的一端为正极，红表笔所接的一端则为负极。

B 检测最高工作频率 f_M 。晶体二极管工作频率，除了可从有关特性表中查阅出外，实用中常常用眼睛观察二极管内部的触丝来加以区分，如点接触型二极管属于高频管，面接触型二极管多为低频管。另外，也可以用万用表 $R \times 1k$ 挡进行测试，一般正向电阻小于 $1K$ 的多为高频管。

C 检测最高反向击穿电压 V_{RM} 。对于交流电来说，因为不断变化，因此最高反向工作电压也就是二极管承受的交流峰值电压。需要指出的是，最高反向工作电压并不是二极管的击穿电压。一般情况下，二极管的击穿电压要比最高反向工作电压高得多(约高一倍)。

2 检测玻封硅高速开关二极管

检测硅高速开关二极管的方法与检测普通二极管的方法相同。不同的是，这种管子的正向电阻较大。用 $R \times 1k$ 电阻挡测量，一般正向电阻值为 $5K \sim 10K$ ，反向电阻值为无穷大。

3 检测快恢复、超快恢复二极管

用万用表检测快恢复、超快恢复二极管的方法基本与检测塑封硅整流二极管的方法相同。即先用 $R \times 1k$ 挡检测一下其单向导电性，一般正向电阻为 $45K$ 左右，反向电阻为无穷大；再用 $R \times 1$ 挡复测一次，一般正向电阻为几 Ω ，反向电阻仍为无穷大。

4 检测双向触发二极管

A 将万用表置于 $R \times 1K$ 挡，测双向触发二极管的正、反向电阻值都应为无穷大。若交换表笔进行测量，万用表指针向右摆动，说明被测管有漏电性故障。

将万用表置于相应的直流电压挡。测试电压由兆欧表提供。测试时，摇动兆欧表，万用表所指示的电压值即为被测管子的 V_{BO} 值。然后调换被测管子的两个引脚，用同样的方法测出 V_{BR} 值。最后将 V_{BO} 与 V_{BR} 进行比较，两者的绝对值之差越小，说明被测双向触发二极管的对称性越好。

5 瞬态电压抑制二极管(TVS)的检测

A 用万用表 $R \times 1K$ 挡测量管子的好坏

对于单极型的 TVS，按照测量普通二极管的方法，可测出其正、反向电阻，一般正向电阻为 $4K\Omega$ 左右，反向电阻为无穷大。

对于双向极型的 TVS，任意调换红、黑表笔测量其两引脚间的电阻值均应为无穷大，否则，说明管子性能不良或已经损坏。

6 高频变阻二极管的检测

A 识别正、负极

高频变阻二极管与普通二极管在外观上的区别是其色标颜色不同，普通二极管的色标颜色一般为黑色，而高频变阻二极管的色标颜色则为浅色。其极性规律与普通二极管相似，即带绿色环的一端为负极，不带绿色环的一端为正极。

B 测量正、反向电阻来判断其好坏

具体方法与测量普通二极管正、反向电阻的方法相同，当使用 500 型万用表 $R \times 1k$ 挡测量时，正常的高频变阻二极管的正向电阻为 $5K \sim 55K$ ，反向电阻为无穷大。

7 变容二极管的检测

将万用表置于 $R \times 10k$ 挡，无论红、黑表笔怎样对调测量，变容二极管的两引脚间的电阻值均应为无穷大。如果在测量中，发现万用表指针向右有轻微摆动或阻值为零，说明被测变容二极管有漏电故障或已经击穿损坏。对于变容二极管容量消失或内部的开路性故障，用万用表是无法检测判别的。必要时，可用替换法进行检查判断。

8 单色发光二极管的检测

在万用表外部附接一节 15V 干电池，将万用表置 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 挡。这种接法就相当于给万用表串接上了 1.5V 电压，使检测电压增加至 3V(发光二极管的开启电压为 2V)。检测时，用万用表两表笔轮换接触发光二极管的两管脚。若管子性能良好，必定有一次能正常发光，此时，黑表笔所接的为正极，红表笔所接的为负极。

9 红外发光二极管的检测

A 判别红外发光二极管的正、负电极。红外发光二极管有两个引脚，通常长引脚为正极，短引脚为负极。因红外发光二极管呈透明状，所以管壳内的电极清晰可见，内部电极较宽较大的一个为负极，而较窄且小的一个为正极。

B 将万用表置于 $R \times 1K$ 挡，测量红外发光二极管的正、反向电阻，通常，正向电阻应在 30K 左右，反向电阻要在 500K 以上，这样的管子才可正常使用。要求反向电阻越大越好。

10 红外接收二极管的检测

A 识别管脚极性

(a) 从外观上识别。常见的红外接收二极管外观颜色呈黑色。识别引脚时，面对受光窗口，从左至右，分别为正极和负极。另外，在红外接收二极管的管体顶端有一个小斜切平面，通常带有此斜切平面一端的引脚为负极，另一端为正极。

(b) 将万用表置于 $R \times 1K$ 挡，用来判别普通二极管正、负电极的方法进行检查，即交换红、黑表笔两次测量管子两引脚间的电阻值，正常时，所得阻值应为一大一小。以阻值较小的一次为准，红表笔所接的管脚为负极，黑表笔所接的管脚为正极。

B 检测性能好坏。用万用表电阻挡测量红外接收二极管正、反向电阻，根据正、反向电阻值的大小，即可初步判定红外接收二极管的好坏。

11 激光二极管的检测

A 将万用表置于 $R \times 1K$ 挡，按照检测普通二极管正、反向电阻的方法，即可将激光二极管的管脚排列顺序确定。但检测时要注意，由于激光二极管的正向压降比普通二极管要大，所以检测正向电阻时，万用表指针仅略微向右偏转而已，而反向电阻则为无穷大。

效应管检测方法与经验

一、用指针式万用表对场效应管进行判别

(1) 用测电阻法判别结型场效应管的电极

根据场效应管的 PN 结正、反向电阻值不一样的现象，可以判别出结型场效应管的三个电极。具体方法：将万用表拨在 $R \times 1k$ 挡上，任选两个电极，分别测出其正、反向电阻值。当某两个电极的正、反向电阻值相等，且为几千欧姆时，则该两个电极分别是漏极 D 和源极 S。因为对结型场效应管而言，漏极和源极可互换，剩下的电极肯定是栅极 G。也可以将万用表的黑表笔（红表笔也行）任意接触一个电极，另一只表笔依次去接触其余的两个电极，测其电阻值。当出现两次测得的电阻值近似相等时，则黑表笔所接触的电极是栅极，其余两电极分别为漏极和源极。若两次测出的电阻值均很大，说明是 PN 结的反向，即都是反向电阻，可以判定是 N 沟道场效应管，且黑表笔接的是栅极；若两次测出的电阻值均很小，说明是正向 PN 结，即是正向电阻，判定为 P 沟道场效应管，黑表笔接的也是栅极。若不出现上述情况，可以调换黑、红表笔按上述方法进行测试，直到判别出栅极为止。

(2) 用测电阻法判别场效应管的好坏

测电阻法是用万用表测量场效应管的源极与漏极、栅极与源极、栅极与漏极、栅极G1与栅极G2之间的电阻值同场效应管手册标明的电阻值是否相符去判别管的好坏。具体方法：首先将万用表置于 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 档，测量源极S与漏极D之间的电阻，通常在几十欧到几千欧范围（在手册中可知，各种不同型号的管，其电阻值是各不相同的），如果测得阻值大于正常值，可能是由于内部接触不良；如果测得阻值是无穷大，可能是内部断极。然后把万用表置于 $R \times 10k$ 档，再测栅极G1与G2之间、栅极与源极、栅极与漏极之间的电阻值，当测得其各项电阻值均为无穷大，则说明管是正常的；若测得上述各阻值太小或为通路，则说明管是坏的。要注意，若两个栅极在管内断极，可用元件代换法进行检测。

(3) 用感应信号输入法估测场效应管的放大能力

具体方法：用万用表电阻的 $R \times 100$ 档，红表笔接源极S，黑表笔接漏极D，给场效应管加上1.5V的电源电压，此时表针指示出的漏源极间的电阻值。然后用手捏住结型场效应管的栅极G，将人体的感应电压信号加到栅极上。这样，由于管的放大作用，漏源电压VDS和漏极电流I_b都要发生变化，也就是漏源极间电阻发生了变化，由此可以观察到表针有较大幅度的摆动。如果手捏栅极表针摆动较小，说明管的放大能力较差；表针摆动较大，表明管的放大能力大；若表针不动，说明管是坏的。

根据上述方法，我们用万用表的 $R \times 100$ 档，测结型场效应管3DJ2F。先将管的G极开路，测得漏源电阻RDS为600Ω，用手捏住G极后，表针向左摆动，指示的电阻RDS为12kΩ，表针摆动的幅度较大，说明该管是好的，并有较大的放大能力。

运用这种方法时要说明几点：首先，在测试场效应管用手捏住栅极时，万用表针可能向右摆动（电阻值减小），也可能向左摆动（电阻值增加）。这是由于人体感应的交流电压较高，而不同的场效应管用不同电阻档测量时的工作点可能不同（或者工作在饱和区或者在不饱和区）所致，试验表明，多数管的RDS增大，即表针向左摆动；少数管的RDS减小，使表针向右摆动。但无论表针摆动方向如何，只要表针摆动幅度较大，就说明管有较大的放大能力。第二，此方法对MOS场效应管也适用。但要注意，MOS场效应管的输入电阻高，栅极G允许的感应电压不应过高，所以不要直接用手去捏栅极，必须用握螺丝刀的绝缘柄，用金属杆去碰触栅极，以防止人体感应电荷直接加到栅极，引起栅极击穿。第三，每次测量完毕，应当G-S极间短路一下。这是因为G-S结电容上会充有少量电荷，建立起VGS电压，造成再进行测量时表针可能不动，只有将G-S极间电荷短路放掉才行。

(4) 用测电阻法判别无标志的场效应管

首先用测量电阻的方法找出两个有电阻值的管脚，也就是源极S和漏极D，余下两个脚为第一栅极G1和第二栅极G2。把先用两表笔测的源极S与漏极D之间的电阻值记录下来，对调表笔再测量一次，把其测得电阻值记录下来，两次测得阻值较大的一次，黑表笔所接的电极是漏极D；红表笔所接的为源极S。用这种方法判别出来的S、D极，还可以用估测其管的放大能力的方法进行验证，即放大能力大的黑表笔所接的是D极；红表笔所接的是G极，两种方法检测结果均应一样。当确定了漏极D、源极S的位置后，按D、S的对应位置装人电路，一般G1、G2也会依次对准位置，这就确定了两个栅极G1、G2的位置，从而就确定了D、S、G1、G2管脚的顺序。

(5) 用测反向电阻值的变化判断跨导的大小

对VMOSN沟道增强型场效应管测量跨导性能时，可用红表笔接源极S、黑表笔接漏极D，这就相当于在源、漏极之间加了一个反向电压。此时栅极是开路的，管的反向电阻值是很不稳定的。将万用表的欧姆档选在 $R \times 10k\Omega$ 的高阻档，此时表内电压较高。当用手接触栅极G时，会发现管的反向电阻值有明显地变化，其变化越大，说明管的跨导值越高；如果被测管的跨导很小，用此法测时，反向阻值变化不大。

二、场效应管的使用注意事项

(1) 为了安全使用场效应管，在线路的设计中不能超过管的耗散功率，最大漏源电压、最大栅源电压和最大电流等参数的极限值。

(2) 各类型场效应管在使用时，都要严格按照要求的偏置接入电路中，要遵守场效应管偏置的极性。如结型场效应管栅源漏之间是PN结，N沟道管栅极不能加正偏压；P沟道管栅极不能加负偏压，等等。

(3) MOS场效应管由于输入阻抗极高，所以在运输、贮藏中必须将引出脚短路，要用金属屏蔽包装，以防止外来感应电势将栅极击穿。尤其要注意，不能将MOS场效应管放入塑料盒子内，保存时最好放在金属盒内，同时也要注意管的防潮。

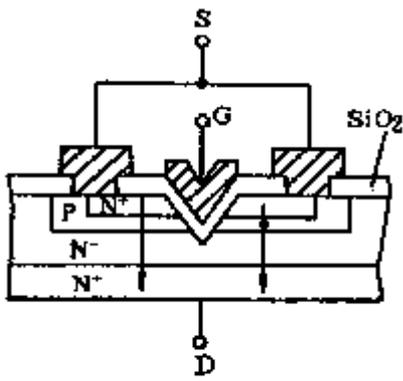


图 1

(4) 为了防止场效应管栅极感应击穿, 要求一切测试仪器、工作台、电烙铁、线路本身都必须有良好的接地; 管脚在焊接时, 先焊源极; 在连入电路之前, 管的全部引线端保持互相短接状态, 焊接完后才把短接材料去掉; 从元器件架上取下管时, 应以适当的方式确保人体接地如采用接地环等; 当然, 如果能采用先进的气热型电烙铁, 焊接场效应管是比较方便的, 并且确保安全; 在未关断电源时, 绝对不可以把管插入电路或从电路中拔出。以上安全措施在使用场效应管时必须注意。

(5) 在安装场效应管时, 注意安装的位置要尽量避免靠近发热元件; 为了防管件振动, 有必要将管壳体紧固起来; 管脚引线在弯曲时, 应当大于根部尺寸 5 毫米处进行, 以防止弯断管脚和引起漏气等。

对于功率型场效应管, 要有良好的散热条件。因为功率型场效应管在高负荷条件下运用, 必须设计足够的散热器, 确保壳体温度不超过额定值, 使器件长期稳定可靠地工作。

总之, 确保场效应管安全使用, 要注意的事项是多种多样, 采取的安全措施也是各种各样, 广大的专业技术人员, 特别是广大的电子爱好者, 都要根据自己的实际情况出发, 采取切实可行的办法, 安全有效地用好场效应管。

三.VMOS 场效应管

VMOS 场效应管 (VMOSFET) 简称 VMOS 管或功率场效应管, 其全称为 V 型槽 MOS 场效应管。它是继 MOSFET 之后新发展起来的高效、功率开关器件。它不仅继承了 MOS 场效应管输入阻抗高 ($\geq 10^8 \Omega$)、驱动电流小 ($0.1 \mu A$ 左右), 还具有耐压高 (最高 1200V)、工作电流大 ($1.5 A \sim 100 A$)、输出功率高 ($1 \sim 250 W$)、跨导的线性好、开关速度快等优良特性。正是由于它将电子管与功率晶体管之优点集于一身, 因此在电压放大器 (电压放大倍数可达数千倍)、功率放大器、开关电源和逆变器中正获得广泛应用。

VMOS 场效应功率管具有极高的输入阻抗及较大的线性放大区等优点, 尤其是其具有负的温度系数, 即在栅-源电压不变的情况下, 导通电流会随管温升高而减小, 故不存在由于“二次击穿”现象所引起的管子损坏现象。因此, VMOS 管的并联得到广泛应用。

众所周知, 传统的 MOS 场效应管的栅极、源极和漏极大大致处于同一水平面的芯片上, 其工作电流基本上是沿水平方向流动。VMOS 管则不同, 从图 1 上可以看出其两大结构特点: 第一, 金属栅极采用 V 型槽结构; 第二, 具有垂直导电性。由于漏极是从芯片的背面引出, 所以 I_D 不是沿芯片水平流动, 而是自重掺杂 N+ 区 (源极 S) 出发, 经过 P 沟道流入轻掺杂 N- 漂移区, 最后垂直向下到达漏极 D。电流方向如图中箭头所示, 因为流通截面积增大, 所以能通过大电流。由于在栅极与芯片之间有二氧化硅绝缘层, 因此它仍属于绝缘栅型 MOS 场效应管。

国内生产 VMOS 场效应管的主要厂家有 877 厂、天津半导体器件四厂、杭州电子管厂等, 典型产品有 VN401、VN672、VMPT2 等。

下面介绍检测 VMOS 管的方法。

1. 判定栅极 G

将万用表拨至 $R \times 1k$ 档分别测量三个管脚之间的电阻。若发现某脚与其余两脚的电阻均呈无穷大, 并且交换表笔后仍为无穷大, 则证明此脚为 G 极, 因为它和另外两个管脚是绝缘的。

2. 判定源极 S、漏极 D

由图 1 可见, 在源-漏之间有一个 PN 结, 因此根据 PN 结正、反向电阻存在差异, 可识别 S 极与 D 极。用交换表笔法测两次电阻, 其中电阻值较低 (一般为几千欧至十几千欧) 的一次为正向电阻, 此时黑表笔的是 S 极, 红表笔接 D 极。

3. 测量漏-源通态电阻 $R_{DS(on)}$

将 G-S 极短路, 选择万用表的 $R \times 1$ 档, 黑表笔接 S 极, 红表笔接 D 极, 阻值应为几欧至十几欧。

由于测试条件不同，测出的 $R_{DS(on)}$ 值比手册中给出的典型值要高一些。例如用 500 型万用表 $R \times 1$ 档实测一只 IRFPC50 型 VMOS 管， $R_{DS(on)} = 3.2W$ ，大于 $0.58W$ （典型值）。

4. 检查跨导

将万用表置于 $R \times 1k$ （或 $R \times 100$ ）档，红表笔接 S 极，黑表笔接 D 极，手持螺丝刀去碰触栅极，表针应有明显偏转，偏转愈大，管子的跨导愈高。

注意事项：

- (1) VMOS 管亦分 N 沟道管与 P 沟道管，但绝大多数产品属于 N 沟道管。对于 P 沟道管，测量时应交换表笔的位置。
- (2) 有少数 VMOS 管在 G-S 之间并有保护二极管，本检测方法中的 1、2 项不再适用。
- (3) 目前市场上还有一种 VMOS 管功率模块，专供交流电机调速器、逆变器使用。例如美国 IR 公司生产的 IRFT001 型模块，内部有 N 沟道、P 沟道管各三只，构成三相桥式结构。
- (4) 现在市售 VNF 系列（N 沟道）产品，是美国 Supertex 公司生产的超高频功率场效应管，其最高工作频率 $f_p = 120MHz$ ， $I_{DSM} = 1A$ ， $P_{DM} = 30W$ ，共源小信号低频跨导 $g_m = 2000\mu S$ 。适用于高速开关电路和广播、通信设备中。
- (5) 使用 VMOS 管时必须加合适的散热器后。以 VNF306 为例，该管子加装 $140 \times 140 \times 4$ （mm）的散热器后，最大功率才能达到 $30W$ 。
- (6) 多管并联后，由于极间电容和分布电容相应增加，使放大器的高频特性变坏，通过反馈容易引起放大器的高频寄生振荡。为此，并联复合管子一般不超过 4 个，而且在每管基极或栅极上串接防寄生振荡电阻。

热电偶和热电阻的区别

热电偶与热电阻均属于温度测量中的接触式测温,尽管其作用相同都是测量物体的温度,但是他们的原理与特点却不尽相同。

首先,介绍一下热电偶,热电偶是温度测量中应用最广泛的温度器件,他的主要特点就是测温范围宽,性能比较稳定,同时结构简单,动态响应好,更能够远传 $4-20mA$ 电信号,便于自动控制和集中控制。热电偶的测温原理是基于热电效应。将两种不同的导体或半导体连接成闭合回路,当两个接点处的温度不同时,回路中将产生热电势,这种现象称为热电效应,又称为塞贝克效应。闭合回路中产生的热电势有两种电势组成:温差电势和接触电势。温差电势是指同一导体的两端因温度不同而产生的电势,不同的导体具有不同的电子密度,所以他们产生的电势也不相同,而接触电势顾名思义就是指两种不同的导体相接触时,因为他们的电子密度不同所以产生一定的电子扩散,当他们达到一定的平衡后所形成的电势,接触电势的大小取决于两种不同导体的材料性质以及他们接触点的温度。目前国际上应用的热电偶具有一个标准规范,国际上规定热电偶分为八个不同的分度,分别为 B,R,S,K,N,E,J 和 T,其测量温度的最低可测零下 270 摄氏度,最高可达 1800 摄氏度,其中 B,R,S 属于铂系列的热电偶,由于铂属于贵金属,所以他们又被称为贵金属热电偶而剩下的几个则称为廉价金属热电偶。热电偶的结构有两种,普通型和铠装型。普通性热电偶一般由热电极,绝缘管,保护套管和接线盒等部分组成,而铠装型热电偶则是将热电偶丝,绝缘材料和金属保护套管三者组合装配后,经过拉伸加工而成的一种坚实的组合体。但是热电偶的电信号却需要一种特殊的导线来进行传递,这种导线我们称为补偿导线。不同的热电偶需要不同的补偿导线,其主要作用就是与热电偶连接,使热电偶的参比端远离电源,从而使参比端温度稳定。补偿导线又分为补偿型和延长型两种,延长导线的化学成分与被补偿的热电偶相同,但是实际中,延长型的导线也并不是用和热电偶相同材质的金属,一般采用和热电偶具有相同电子密度的导线代替。补偿导线的与热电偶的连线一般都是很明了,热电偶的正极连接补偿导线的红色线,而负极则连接剩下的颜色。一般的补偿导线的材质大部分都采用铜镍合金。

其次我们介绍一下热电阻,热电阻虽然在工业中应用也比较广泛,但是由于他的测温范围使他的应用受到了一定的限制,热电阻的测温原理是基于导体或半导体的电阻值随着温度的变化而变化的特性。其优点也很多,也可以远传电信号,灵敏度高,稳定性强,互换性以及准确性都比较好,但是需要电源激励,不能够瞬时测量温度的变化。工业用热电阻一般采用 Pt100,Pt10,Cu50,Cu100,铂热电阻的测温

的范围一般为零下 200-800 摄氏度,铜热电阻为零下 40 到 140 摄氏度。热电阻和热电偶一样的区分类型,但是他却不需要补偿导线,而且比热点偶便宜。

保险丝常识

何谓保险丝,其作用是什么?

保险丝也被称为熔断器,IEC127 标准将它定义为"熔断体 (fuse-link)".它是一种安装在电路中,保证电路安全运行的电器元件。保险丝的作用是:当电路发生故障或异常时,伴随着电流不断升高,并且升高的电流有可能损坏电路中的某些重要器件或贵重器件,也有可能烧毁电路甚至造成火灾。若电路中正确地安置了保险丝,那么,保险丝就会在电流异常升高到一定的高度和一定的时候,自身熔断切断电流,从而起到保护电路安全运行的作用。最早的保险丝于一百多年前由爱迪生发明,由于当时的工业技术不发达白炽灯很贵重,所以,最初是将它用来保护价格昂贵的白炽灯的。

保险丝的工作原理是怎样的?

我们都知道,当电流流过导体时,因导体存在一定的电阻,所以导体将会发热。且发热量遵循着这个公式: $Q=0.24I^2RT$; 其中 Q 是发热量, 0.24 是一个常数, I 是流过导体的电流, R 是导体的电阻, T 是电流流过导体的时间; 依此公式我们不难看出保险丝的简单的工作原理了。

当制作保险丝的材料及其形状确定了,其电阻 R 就相对确定了(若不考虑它的电阻温度系数)。当电流流过它时,它就会发热,随着时间的增加其发热量也在增加。电流与电阻的大小确定了产生热量的速度,保险丝的构造与其安装的状况确定了热量耗散的速度,若产生热量的速度小于热量耗散的速度时,保险丝是不会熔断的。若产生热量的速度等于热量耗散的速度时,在相当长的时间内它也不会熔断。若产生热量的速度大于热量耗散的速度时,那么产生的热量就会越来越多。又因为它有一定比热及质量,其热量的增加就表现在温度的升高上,当温度升高到保险丝的熔点以上时保险丝就发生了熔断。这就是保险丝的工作原理。们从这个原理中应该知道,您在设计制造保险丝时必须认真地研究您所选材料的物理特性,并确保它们有一致几何尺寸。因为这些因素对保险丝能否正常工作起了至关重要的作用。同样,您在使用它的时候,一定要正确地安装它。

保险丝的构造如何?各有什么功效?又有什么要求?

一般保险丝由三个部分组成:一是熔体部分,它是保险丝的核心,熔断时起到切断电流的作用,同一类、同一规格保险丝的熔体,材质要相同、几何尺寸要相同、电阻值尽可能地小且要一致,最重要的是熔断特性要一致;二是电极部分,通常有两个,它是熔体与电路联接的重要部件,它必须有良好的导电性,不应产生明显的安装接触电阻;三是支架部分,保险丝的熔体一般都纤细柔软的,支架的作用就是将熔体固定并使三个部分成为刚性的整体便于安装、使用,它必须有良好的机械强度、绝缘性、耐热性和阻燃性,在使用中不应产生断裂、变形、燃烧及短路等现象;

电力电路及大功率设备所使用的保险丝,不仅有一般保险丝的三个部分,而且还有灭弧装置,因为这类保险丝所保护的电路不仅工作电流较大,而且当熔体发生熔断时其两端的电压也很高,往往会呈现熔体已熔化(熔断)甚至已汽化,但是电流并没有切断,其原因就是在熔断的一瞬间在电压及电流的作用下,保险丝的两电极之间发生拉弧现象。这个灭弧装置必须有很强的绝缘性与很好的导热性,且呈负电性。石英砂就是常用的灭弧材料。

另外,还有一些保险丝有熔断指示装置,它的作用就是当保险丝动作(熔断)后其本身发生一定的外观变化,易于被维修人员发现,例如:发光、变色、弹出固体指示器等。

保险丝有哪些种类?

按保护形式分,可分为:过电流保护与过热保护。用于过电流保护的保险丝就是平常说的保险丝(也叫限流保险丝)。用于过热保护的保险丝一般被称为"温度保险丝"。温度保险丝又分为低熔点合金形与感温触发形还有记忆合金形等等(温度保险丝是防止发热电器或易发热电器温度过高而进行保护的,例如:电吹风、电熨斗、电饭锅、电炉、变压器、电动机等等;它响应于用电电器温升的升高,不会理会电路的工作电流大小。其工作原理不同于"限流保险丝")。

按使用范围分,可分为:电力保险丝、机床保险丝、电器仪表保险丝(电子保险丝)、汽车保险丝。

按体积分，可分为：大型、中型、小型及微型。

按额定电压分，可分为：高压保险丝、低压保险丝和安全电压保险丝。

按分断能力分，可分为：高、低分断能力保险丝。

按形状分，可分为：平头管状保险丝（又可分为内焊保险丝与外焊保险丝）、尖头管状保险丝、铡刀式保险丝、螺旋式保险丝、插片式保险丝、平板式保险丝、裹敷式保险丝、贴片式保险丝。

按熔断速度分，可分为：特慢速保险丝（一般用 TT 表示）、慢速保险丝（一般用 T 表示）、中速保险丝（一般用 M 表示）、快速保险丝（一般用 F 表示）、特快速保险丝（一般用 FF 表示）。

按标准分，可分为：欧规保险丝、美规保险丝、日规保险丝。

慢速保险丝是怎样一回事？

慢速保险丝也叫延时保险丝，它的延时特性表现在电路出现非故障脉冲电流时保持完好而能对长时间的过载提供保护。有些电路在开关瞬间的电流大于几倍正常工作电流，尽管这种电流峰值很高，但是它出现的时间很短，我们称它为脉冲电流也有称它为冲击电流或叫它为浪涌电流。普通的保险丝是承受不了这种电流的，这样的电路中若使用的是普通保险丝恐怕就无法正常开机了，若使用更大规格的保险丝，那么当电路过载时又得不到保护。延时保险丝的熔体经特殊加工而成，它具有吸收能量的作用，调整能量吸收量就能使它即可以抗住冲击电流又能对过载提供保护。标准对延时特性都有规定，若标准的规定特性无法满足您的要求，您可以与制造商联系以得到解决。

保险丝的额定电流是否就是使保险丝熔断的电流？

不是。应该仅将它看成是一种规格的标称，而流过保险丝的电流大到何种地步、何时熔断这在保险丝产品标准中对它有详细的规定，又因标准的不同而规定有所不同。保险丝有一个“熔断系数”其值大于“1”（一般在 1.1 至 1.5 之间），它是“常规不熔断电流”与“额定电流”的比值。由此可以看出，即使流过保险丝的电流大于它的额定电流而未超过常规不熔断电流，保险丝也不应该发生熔断现象。

如何理解保险丝的额定电压？

保险丝熔断与否取决于流过它的电流的大小，与电路的工作电压无关。保险丝的额定电压是从安全使用保险丝角度提出的，它是保险丝处于安全工作状态所安置的电路的最高工作电压。这说明保险丝只能安置在工作电压小于等于保险丝额定电压的电路中。只有这样保险丝才能安全有效地工作，否则，在保险丝熔断时将会出现持续飞弧和被电压击穿而危害电路的现象。

保险丝的电压降说明了什么？

保险丝的电压降是保险丝在额定电流条件下，其两端的电压降。它反映了保险丝的内阻，其值不应过大。若将内阻（电压降）过大的保险丝安装在电路中，它将影响电路的系统参数，使得电路不能正常工作。标准对电压降不仅有其值的上限规定，而且对其一致性也作了规定。

研究保险丝的温升有何意义？

保险丝的温升是指保险丝中流过 1.1 倍（110%）额定电流时，保险丝的温度上升值，即实测温度减去环境温度的值。UL 标准将其上限规定在 75Co。因为保险丝的熔体对温度较为敏感，在一定高的温度长时间的作用下，它的熔点及阻抗将发生变化，这种变化会影响保险丝的准确性。这就是通常说的保险丝老化。老化的保险丝使用于电路中是非常危险的，所以，我们在制作和使用保险丝时都应该注重保险丝的温升。同理，我们也应该注意到，即使经过长时间使用的保险丝未发生熔断，它也有可能已经老化了，此时最好进行更换。

保险丝的分断能力是什么意思？

当介于常规不熔断电流与相关标准规定的额定分断能力（的电流）之间的电流作用于保险丝时，保险丝应能满意地动作，而且不会危及周围环境。保险丝被安置的电路的预期故障电流必须小于标准规定的额定分断能力电流，否则，当故障发生保险丝熔断时

会出现持续飞弧、引燃、保险丝烧毁、连同接触件一起熔融、保险丝标记无法辨认等现象。当然，劣质保险丝的分断能力达不到标准规定的要求，使用时同样会发生上述的危害。

继电器种类和选型

继电器虽说在电视机中用的很少，但在其它小电器中用的还是蛮多的，了解它的特性也很重要。

一、继电器的工作原理和特性

继电器是一种电子控制器件，它具有控制系统（又称输入回路）和被控制系统（又称输出回路），通常应用于自动控制电路中，它实际上是用较小的电流去控制较大电流的一种“自动开关”。故在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。

1、电磁继电器的工作原理和特性

电磁式继电器一般由铁芯、线圈、衔铁、触点簧片等组成的。只要在线圈两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，从而产生电磁效应，衔铁就会在电磁力吸引的作用下克服返回弹簧的拉力吸向铁芯，从而带动衔铁的动触点与静触点（常开触点）吸合。当线圈断电后，电磁的吸力也随之消失，衔铁就会在弹簧的反作用力返回原来的位置，使动触点与原来的静触点（常闭触点）吸合。这样吸合、释放，从而达到了在电路中的导通、切断的目的。对于继电器的“常开、常闭”触点，可以这样来区分：继电器线圈未通电时处于断开状态的静触点，称为“常开触点”；处于接通状态的静触点称为“常闭触点”。

2、热敏干簧继电器的工作原理和特性

热敏干簧继电器是一种利用热敏磁性材料检测和控制温度的新型热敏开关。它由感温磁环、恒磁环、干簧管、导热安装片、塑料衬底及其他一些附件组成。热敏干簧继电器不用线圈励磁，而由恒磁环产生的磁力驱动开关动作。恒磁环能否向干簧管提供磁力是由感温磁环的温控特性决定的。

3、固态继电器（SSR）的工作原理和特性

固态继电器是一种两个接线端为输入端，另两个接线端为输出端的四端器件，中间采用隔离器件实现输入输出的电隔离。

固态继电器按负载电源类型可分为交流型和直流型。按开关型式可分为常开型和常闭型。按隔离型式可分为混合型、变压器隔离型和光电隔离型，以光电隔离型为最多。

二、继电器主要产品技术参数

1、额定工作电压

是指继电器正常工作时线圈所需要的电压。根据继电器的型号不同，可以是交流电压，也可以是直流电压。

2、直流电阻

是指继电器中线圈的直流电阻，可以通过万能表测量。

3、吸合电流

是指继电器能够产生吸合作的最小电流。在正常使用时，给定的电流必须略大于吸合电流，这样继电器才能稳定地工作。而对于线圈所加的工作电压，一般不要超过额定工作电压的 1.5 倍，否则会产生较大的电流而把线圈烧毁。

4、释放电流

是指继电器产生释放动作的最大电流。当继电器吸合状态的电流减小到一定程度时，继电器就会恢复到未通电的释放状态。这时的电流远远小于吸合电流。

5、触点切换电压和电流

是指继电器允许加载的电压和电流。它决定了继电器能控制电压和电流的大小，使用时不能超过此值，否则很容易损坏继电器的触点。

三、继电器测试

1、测触点电阻

用万能表的电阻档，测量常闭触点与动点电阻，其阻值应为 0；而常开触点与动点的阻值就为无穷大。由此可以区别出那个是常闭触点，那个是常开触点。

2、测线圈电阻

可用万能表 R×10Ω档测量继电器线圈的阻值，从而判断该线圈是否存在开路现象。

3、测量吸合电压和吸合电流

找来可调稳压电源和电流表，给继电器输入一组电压，且在供电回路中串入电流表进行监测。慢慢调高电源电压，听到继电器吸合声时，记下该吸合电压和吸合电流。为求准确，可以试多几次而求平均值。

4、测量释放电压和释放电流

也是像上述那样连接测试，当继电器发生吸合后，再逐渐降低供电电压，当听到继电器再次发生释放声音时，记下此时的电压和电流，亦可尝试多几次而取得平均的释放电压和释放电流。一般情况下，继电器的释放电压约在吸合电压的 10~50%，如果释放电压太小（小于 1/10 的吸合电压），则不能正常使用了，这样会对电路的稳定性造成威胁，工作不可靠。

四、继电器的电符号和触点形式

继电器线圈在电路中用一个长方框符号表示，如果继电器有两个线圈，就画两个并列的长方框。同时在长方框内或长方框旁标上继电器的文字符号“J”。继电器的触点有两种表示方法：一种是把它们直接画在长方框一侧，这种表示法较为直观。另一种是按照电路连接的需要，把各个触点分别画到各自的控制电路中，通常在同一继电器的触点与线圈旁分别标注上相同的文字符号，并将触点组编上号码，以示区别。继电器的触点有三种基本形式：

- 1.动合型（H 型）线圈不通电时两触点是断开的，通电后，两个触点就闭合。以合字的拼音字头“H”表示。
- 2.动断型（D 型）线圈不通电时两触点是闭合的，通电后两个触点就断开。用断字的拼音字头“D”表示。
- 3.转换型（Z 型）这是触点组型。这种触点组共有三个触点，即中间是动触点，上下各一个静触点。线圈不通电时，动触点和其中一个静触点断开和另一个闭合，线圈通电后，动触点就移动，使原来断开的成闭合，原来闭合的成断开状态，达到转换的目的。这样的触点组称为转换触点。用“转”字的拼音字头“Z”表示。

五、继电器的选用

- 1.先了解必要的条件：①控制电路的电源电压，能提供的最大电流；②被控制电路中的电压和电流；③被控电路需要几组、什么形式的触点。选用继电器时，一般控制电路的电源电压可作为选用的依据。控制电路应能给继电器提供足够的工作电流，否则继电器吸合是不稳定的。
- 2.查阅有关资料确定使用条件后，可查找相关资料，找出需要的继电器的型号和规格号。若手头已有继电器，可依据资料核对是否可以利用。最后考虑尺寸是否合适。
- 3.注意器具的容积。若是用于一般用电器，除考虑机箱容积外，小型继电器主要考虑电路板安装布局。对于小型电器，如玩具、遥控装置则应选用超小型继电器产品。

使用 CMOS 集成电路需注意的几个问题

集成电路按晶体管的性质分为 TTL 和 CMOS 两大类，TTL 以速度见长，CMOS 以功耗低而著称，其中 CMOS 电路以其优良的特性成为目前应用最广泛的集成电路。在电子制作中使用 CMOS 集成电路时，除了认真阅读产品说明或有关资料，了解其引脚分布及极限参数外，还应注意以下几个问题：

1、电源问题

（1） CMOS 集成电路的工作电压一般在 3—18V，但当应用电路中有门电路的模拟应用（如脉冲振荡、线性放大）时，最低电压则不应低于 4.5V。由于 CMOS 集成电路工作电压宽，故使用不稳压的电源电路 CMOS 集成电路也可以正常工作，但是工作在不同电源电压的器件，其输出阻抗、工作速度和功耗是不相同的，在使用中一定要注意。

（2） CMOS 集成电路的电源电压必须在规定范围内，不能超压，也不能反接。因为在制造过程中，自然形成许多寄生二极管，如图 1 所示为反相器电路，在正常电压下，这些二极管皆处于反偏，对逻辑功能无影响，但是由于这些寄生二极管的存在，一旦电源电压过高或电压极性接反，就会使电路产生损坏。

2、驱动能力问题

CMOS 电路的驱动能力的提高，除选用驱动能力较强的缓冲器来完成之外，还可将同一个芯片几个同类电路并联起来提高，这时驱动能力提高到 N 倍（N 为并联门的数量）。

3、输入端的问题

(1) 多余输入端的处理。CMOS 电路的输入端不允许悬空，因为悬空会使电位不定，破坏正常的逻辑关系。另外，悬空时输入阻抗高，易受外界噪声干扰，使电路产生误动作，而且也极易造成栅极感应静电而击穿。所以“与”门，“与非”门的多余输入端要接高电平，“或”门和“或非”门的多余输入端要接低电平。若电路的工作速度不高，功耗也不需特别考虑时，则可以将多余输入端与使用端并联。

(2) 输入端接长导线时的保护。在应用中有时输入端需要接长的导线，而长输入线必然有较大的分布电容和分布电感，易形成 LC 振荡，特别当输入端一旦发生负电压，极易破坏 CMOS 中的保护二极管。其保护办法为在输入端处接一个电阻，如图 3 所示， $R = V_{DD} / 1 \text{ mA}$ 。

(3) 输入端的静电防护。虽然各种 CMOS 输入端有抗静电的保护措施，但仍需小心对待，在存储和运输中最好用金属容器或者导电材料包装，不要放在易产生静电高压的化工材料或化纤织物中。组装、调试时，工具、仪表、工作台等均应良好接地。要防止操作人员的静电干扰造成的损坏，如不宜穿尼龙、化纤衣服，手或工具在接触集成块前最好先接一下地。对器件引线矫直弯曲或人工焊接时，使用的设备必须良好接地。

(4) 输入信号的上升和下降时间不易过长，否则一方面容易造成虚假触发而导致器件失去正常功能，另一方面还会造成大的损耗。对于 74HC 系列限于 $0.5 \mu\text{s}$ 以内。若不满足此要求，需用施密特触发器件进行输入整形。

(5) CMOS 电路具有很高的输入阻抗，致使器件易受外界干扰、冲击和静电击穿，所以为了保护 CMOS 管的氧化层不被击穿，一般在其内部输入端接有二极管保护电路，其中 R 约为 $1.5 - 2.5 \text{ K}\Omega$ 。输入保护网络的引入使器件的输入阻抗有一定下降，但仍在 $10^8 \Omega$ 以上。这样也给电路的应用带来了一些限制：

(A) 输入电路的过流保护。CMOS 电路输入端的保护二极管，其导通时电流容限一般为 1 mA 。在可能出现过大瞬态输入电流（超过 10 mA ）时，应串接输入保护电阻。例如，当输入端接的信号，其内阻很小、或引线很长、或输入电容较大时，在接通和关断电源时，就容易产生较大的瞬态输入电流，这时必须接输入保护电阻，若 $V_{DD} = 10 \text{ V}$ ，则取限流电阻为 $10 \text{ K}\Omega$ 即可。

(B) 输入信号必须在 V_{DD} 到 V_{SS} 之间，以防二极管因正向偏置电流过大而烧坏。因此在工作或测试时，必须按照先接通电源后加入信号，先撤除信号后关电源的顺序进行操作。在安装，改变连接，拔插时，必须切断电源，以防元件受到极大的感应或冲击而损坏。

(C) 由于保护电路吸收的瞬间能量有限，太大的瞬间信号和过高的静电电压将使保护电路失去作用。所以焊接时电烙铁必须可靠接地，以防漏电击穿器件输入端，一般使用时，可断电后利用电烙铁的余热进行焊接，并先焊其接地管脚。

(D) 要防止用大电阻串入 V_{DD} 或 V_{SS} 端，以免在电路开关期间由于电阻上的压降引起保护二极管瞬时导通而损坏器件。

4、CMOS 的接口电路问题

(1) CMOS 电路与运放连接。当和运放连接时，若运放采用双电源，CMOS 采用的是独立的另一组电源，即采用如图 6 所示电路，电路中， V_{D1} 、 V_{D2} 为钳位保护二极管，使 CMOS 输入电压处在 10 V 与地之间。 $15 \text{ K}\Omega$ 的电阻既作为 CMOS 的限流电阻，又对二极管进行限流保护。若运放使用单电源，且与 CMOS 使用的电源一样，则可直接相连。

(2) CMOS 与 TTL 等其它电路的连接。在电路中常遇到 TTL 电路和 CMOS 电路混合使用的情况，由于这些电路相互之间的电源电压和输入、输出电平及负载能力等参数不同，因此他们之间的连接必须通过电平转换或电流转换电路，使前级器件的输出逻辑电平满足后级器件对输入电平的要求，并不得对器件造成损坏。逻辑器件的接口电路主要应注意电平匹配和输出能力两个问题，并与器件的电源电压结合起来考虑。下面分两种情况来说明：

(A) TTL 到 CMOS 的连接。用 TTL 电路去驱动 CMOS 电路时，由于 CMOS 电路是电压驱动器件，所需电流小，因此电流驱动能力不会有问题，主要是电压驱动能力问题，

TTL 电路输出高电平的最小值为 2.4 V ，而 CMOS 电路的输入高电平一般高于 3.5 V ，这就使二者的逻辑电平不能兼容。

为此可采用图 7 所示电路，在 TTL 的输出端与电源之间接一个电阻 R（上拉电阻）可将 TTL 的电平提高到 3.5V 以上。

若采用的是 OC 门驱动，则可采用如图 8 所示电路。其中 R 为其外接电阻。R 的取值一般在 1—4.7KΩ。

(B) CMOS 到 TTL 的连接。CMOS 电路输出逻辑电平与 TTL 电路的输入电平可以兼容，但 CMOS 电路的驱动电流较小，不能够直接驱动 TTL 电路。为此可采用 CMOS / TTL 专用接口电路，如 CMOS 缓冲器 CC4049 等，经缓冲器之后的高电平输出电流能满足 TTL 电路的要求，低电平输出电流可达 4mA。实现 CMOS 电路与 TTL 电路的连接，如图 9 所示。需说明的时，CMOS 与 TTL 电路的接口电路形式多种多样，实用中应根据具体情况进行选择。

5、输出端的保护问题

(1) MOS 器件输出端既不允许和电源短接，也不允许和地短接，否则输出级的 MOS 管就会因过流而损坏。

(2) 在 CMOS 电路中除了三端输出器件外，不允许两个器件输出端并接，因为不同的器件参数不一致，有可能导致 NMOS 和 PMOS 器件同时导通，形成大电流。但为了增加电路的驱动能力，允许把同一芯片上的同类电路并联使用。

(3) 当 CMOS 电路输出端有较大的容性负载时，流过输出管的冲击电流较大，易造成电路失效。为此，必须在输出端与负载电容间串联一限流电阻，将瞬态冲击电流限制在 10mA 以下。

dbuV、dbm、dbw 的概念

在有线电视技术中我们常常遇到几个信号参数的量值，这几个量值是对数单位---分贝（db）。用分贝表示是为了便于表达、叙述和运算（变乘除为加减）。

分贝是表征两个功率电平比值的单位，如 $A=10\lg P_2/P_1=20\lg U_2/U_1=20\lg I_2/I_1$ 。分贝制单位在电磁场强计量测试中的用法有如下三种：

1、表示信号传输系统任意两点间的功率（或电压）的相对大小。如一个 CATV 放大器，当其输入电平为 70dbμV 时，其输出电平为 100dbμV，也就是说放大器的输出相对于输入来说相差 30db，这 30db 是放大器的增益。

2、在指定参考电平时可用分贝表示电压或电场强的绝对值，此参考电平通称为 0db。如定义 $1\mu V=0db\mu V$ 、 $1mW=0dbm$ 、 $1mV=0dbmV$ 。例如，现有一个信号 A 其电平为 3dbμV，换算成电压的表示方式为： $3=20\lg A/1\mu V$ 、 $A=2\mu V$ ，即这个 3dbμV 的信号电压为 2μV。

3、用分贝表示电压或场强的误差大小，如 $30\pm 3db$ 。

通常 db 是表征电路损耗、增益的量值；dbmV 和 dbμV 是表征信号的相对电平值，由于 $1mV=1000\mu V$ ，所以有 $0dbmV=60\lg 10=60db\mu V$ 。例如，信号电平是 70dbμV，用 dbmV 表示是 $70-60=10dbmV$ ；dbm 和 dbw 是表征信号的相对功率值，由于 $1W=1000mW$ ，所以有 $0dbW=30\lg 10=30dbm$ ，例如光功率为 9dbm，换算成功率的单位（瓦）有： $9=10\lg x$ 、 $x=7.9mW$ 。

功率与电平的换算（dbm 与 dbμV 的换算）：

在很多情况下，我们手里都只有一台场强计，它的量值单位通常是 dbμV，但在一些高频功率放大器中往往只给出输出信号的功率值，为此要将功率值换算成电平值，对于 50 欧阻抗的信号源来说，当其输出功率

为 1mW(0dbm)时，其端电压输出应为 $U=50P-E2 \times 1000000=223606.7978\mu V$,用分贝表示是： $20lg223606.7978=107db\mu V$ 。也就是说 0dbm 的 50 欧信源的输出电平为 107db μV 。

例如 1：一 50 欧的高频功率放大器其输出功率为 50dbm，求其输出电平，有：

$$107+50=157db\mu V。$$

例如 2：某 50 欧接收设备其最小接收功率为-90dbm，求其最小接收电平，有：

$$107-90=17db\mu V。$$

50Ω系统 dbm、db μV 、瓦换算表

功率 (dBm)	电平 (db μV)	功率 (瓦)	功率 (dBm)	电平 (db μV)	功率 (瓦)
+53	160	200w	0	107	1.0mw
+50	157	100w	-1	106	.80mw
+49	156	80w	-3	104	.50mw
+47	154	50w	-7	100	.20mw
+46	153	40w	-10	97	.10mw
+43	150	20w	-20	87	.01mw
+40	147	10w	-27	80	
+37	144	5w	-30	77	.001mw
+33	140	2w	-		
+30	137	1.0w	-		
+29	136	800mw	-		
+27	134	500mw	-		
+26	133	400mw	-		
+23	130	200mw	-		
+20	127	100mw	-		
+17	124	50mw	-		
+13	120	20mw	-		
+10	117	10mw	-		
+7	114	5mw			
+3	110	2.0mw			

什么是锁相环？

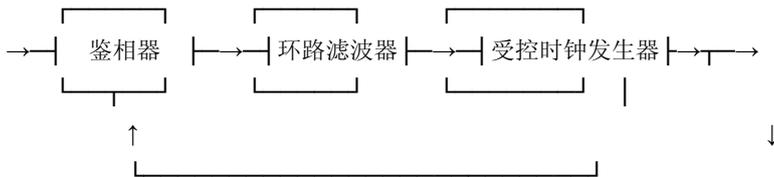
什么是**锁相环**？**锁相环**是指一种电路或者模块，它用于在通信的接收机中，其作用是对接收到的信号进行处理，并从其中提取某个时钟的相位信息。或者说，对于接收到的信号，仿制一个时钟信号，使得这两个信号从某种角度来看是同步的（或者说，相干的）。

由于锁定情形下（即完成捕捉后），该仿制的时钟信号相对于接收到的信号中的时钟信号具有一定的相差，所以很形象地称其为锁相器。

而一般情形下，这种**锁相环**的三个组成部分和相应的运作机理是：

- 1 鉴相器：用于判断锁相器所输出的时钟信号和接收信号中的时钟的相差的幅度；
- 2 可调相/调频的时钟发生器：用于根据鉴相器所输出的信号来适当的调节锁相器内部的时钟输出信号的频率或者相位，使得锁相器完成上述的固定相差功能；
- 3 环路滤波器：用于对鉴相器的输出信号进行滤波和平滑，大多数情形下是一个低通滤波器，用于滤除由于数据的变化和其他不稳定因素对整个模块的影响。

从上可以看出，大致有如下框图：



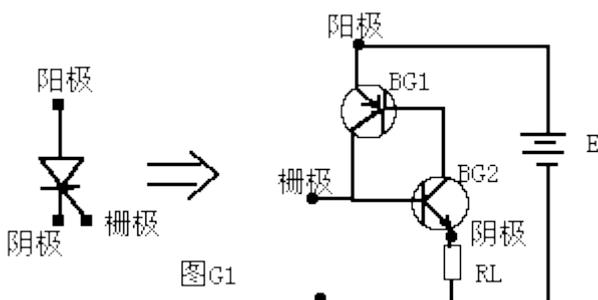
可见，是一个负反馈环路结构，所以一般称为**锁相环**（PLL: Phase Locking Loop）

锁相环有很多种类，可以是数字的也可以是模拟的也可以是混合的，可以用于恢复载波也可以用于恢复基带信号时钟

什么是可控硅

说明了什么是**可控硅**，以及用法，用处。

可控硅在自动控制控制，机电领域，工业电气及家电等方面都有广泛的应用。**可控硅**是一种有源开关元件，平时它保持在非道通状态，直到由一个较少的控制信号对其触发或称“点火”使其道通，一旦被点火就算撤离触发信号它也保持道通状态，要使其截止可在其阳极与阴极间加上反向电压或将流过**可控硅**二极管的电流减少到某一个值以下。



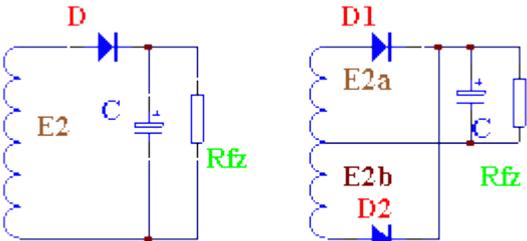


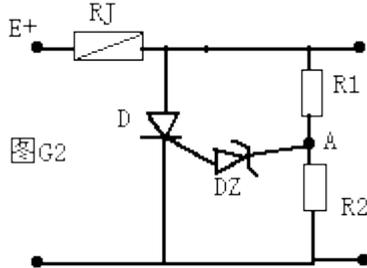
图 5.9 具有电容滤波器的整流电路 a b

可控硅二极管可用两个不同极性 (P-N-P 和 N-P-N) 晶体管来模拟, 如图 G1 所示。当**可控硅**的栅极悬空时, BG1 和 BG2 都处于截止状态, 此时电路基本上没有电流流过负载电阻 R_L , 当栅极输入一个正脉冲电压时 BG2 道通, 使 BG1 的基极电位下降, BG1 因此开始道通, BG1 的道通使得 BG2 的基极电位进一步升高, BG1 的基极电位进一步下降, 经过这一个正反馈过程使 B G1 和 BG2 进入饱和道通状态。电路很快从截止状态进入道通状态, 这时栅极就算没有触发脉冲电路由于正反馈的作用将保持道通状态不变。如果此时在阳极和阴极加上反向电压, 由于 BG1 和 BG2 均处于反向偏置状态所以电路很快截止, 另外如果加大负载电阻 R_L 的阻值使电路电流减少 BG1 和 BG2 的基电流也将减少, 当减少到某一个值时由于电路的正反馈作用, 电路将很快从道通状态翻转为截止状态, 我们称这个电流为维持电流。在实际应用中, 我们可通过一个开关来短路**可控硅**的阳极和阴极从而达到**可控硅**的关断。

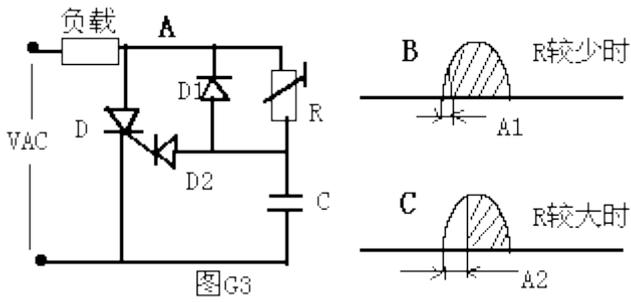
应用举例

可控硅在实际应用中电路花样最多的是其栅极触发回路, 概括起来有直流触发电路, 交流触发电路, 相位触发电路等等。

1. 直流触发电路: 如图 G2 是一个电视机常用的过压保护电路, 当 E+ 电压过高时 A 点电压也变高, 当它高于稳压管 DZ 的稳压值时 DZ 道通, **可控硅** D 受触发而道通将 E+ 短路, 使保险丝 RJ 熔断, 从而起到过压保护的作用。



2. 相位触发电路: 相位触发电路实际上是交流触发电路的一种, 如图 G3, 这个电路的方法是利用 RC 回路控制触发信号的相位。当 R 值较少时, RC 时间常数较少, 触发信号的相移 A_1 较少, 因此负载获得较大的电功率; 当 R 值较大时, RC 时间常数较大, 触发信号的相移 A_2 较大, 因此负载获得较少的电功率。这个典型的电功率无级调整电路在日常生活中有很多电气产品中都应用它。



滤波电路设计

交流电经过二极管整流之后, 方向单一了, 但是大小 (电流强度) 还是处在不断地变化之中。这种脉动直流一般是不能直接用来给无线电装供电的。要把脉动直流变成波形平滑的直流, 还需要再做一番“填平取齐”的工作, 这便是**滤波**。换句话说, **滤波**的任务, 就是把整流器输出电压中的波动成分尽可能地减小, 改造成接近恒稳的直流电。

电容滤波

电容器是一个储存电能的仓库。在**电路**中，当有电压加到电容器两端的时候，便对电容器充电，把电能储存在电容器中；当外加电压失去（或降低）之后，电容器将把储存的电能再放出来。充电的时候，电容器两端的电压逐渐升高，直到接近充电电压；放电的时候，电容器两端的电压逐渐降低，直到完全消失。电容器的容量越大，负载电阻值越大，充电和放电所需要的时间越长。这种电容带两端电压不能突变的特性，正好可以用来承担**滤波**的任务。

图 5-9 是最简单的电容**滤波电路**，电容器与负载电阻并联，接在整流器后面，下面以图 5-9 (a) 所示半波整流情况说明电容**滤波**的工作过程。在二极管导通期间， e_2 向负载电阻 R_{fz} 提供电流的同时，向电容器 C 充电，一直充到最大值。 e_2 达到最大值以后逐渐下降；而电容器两端电压不能突然变化，仍然保持较高电压。这时， D 受反向电压，不能导通，于是 U_c 便通过负载电阻 R_{fz} 放电。由于 C 和 R_{fz} 较大，放电速度很慢，在 e_2 下降期间里，电容器 C 上的电压降得不多。当 e_2 下一个周期来到并升高到大于 U_c 时，又再次对电容器充电。如此重复，电容器 C 两端（即负载电阻 R_{fz} 两端）便保持了一个较平稳的电压，在波形图上呈现出比较平滑的波形。图 5-10 (a) (b) 中分别示出半波整流和全波整流时电容**滤波**前后的输出波形。

显然，电容量越大，**滤波**效果越好，输出波形越趋于平滑，输出电压也越高。但是，电容量达到一定值以后，再加大电容量对提高**滤波**效果已无明显作用。通常应根据负载电用和输出电说的大小选择最佳电容量。表 5-2 中所列**滤波**电容器容量和输出电流的关系，可供参考。电容器的耐压值一般取的 1.5 倍。

表 5-3 中列出带有**滤波器**的整流**电路**中各电压的关系。表一、

输出电流	2A 左右	1A 左右	0.5-1A 左右	0.1-0.5A	100-50mA	50mA 以下
滤波 电容	4000u	2000u	1000u	500u	200u-500u	200u

采用电容**滤波**的整流**电路**，输出电压随时出电流变化较大，这对于变化负载（如乙类推挽**电路**）来说是很不利的。

二、电感滤波

利用电感对交流阻抗大而对直流用抗小的特点，可以用带铁芯的线圈做成**滤波器**。电磁**滤波**输出电压较低，相输出电压波动小，随负载变化也很小，适用于负载电流较大的场合。

三、复式滤波器。

把电容按在负载并联支路，把电感或电阻接在串联支路，可以组成复式**滤波器**，达到更佳**滤波**效果口这种**电路**的形状很象字母 π ，所以又叫 π 型**滤波器**。

图 5-12 所示是由电磁与电容组成的 LC 滤波器，其滤波效能很高，几乎没有直流电压损失，适用于负载电流较大、要求纹波很小的场合。但是，这种滤波器由于电感体积和重量大（高频时可减小），比较笨重，成本也较高，一般情况下使用得不多。

由电阻与电容组成的 RC 滤波器示于图 5-13 中。这种复式滤波器结构简单，能兼起降压、限流作用，滤波效能也较高，是最后用的一种滤波器。上述两种复式滤波器，由于接有电容，带负载能力都较差。

SMD 元器件的符号意义

SMD 片状电容

S	0805	N	101	J	JH	R	N
片式电容	尺寸	温度特性	容量代码	公差	额定电压	包装形式	端头特性
	0805 1206 1210 1812	N=NPO W=X7R Z=Z5U Y=Y5V	两位有效内+零的个数。例如： 10PF=100 100PF=101 1000PF=102 22.000PF=223 100.000PF=104	J=±5% K=±10% M=±20% Z=+80-20%	1E=25V 1H=50V 2A=100V 2E=250V 2H=500V 2J=630V	B: 散装 R: 编带 卷装	N=阻挡层 P=钎、镀电极 S=银

SMD 片状电阻

型号 TYPE	电阻温度系数 TCR	电阻值 RESISTANCE VALUE	误差 TOLERANCE	包装 PACKAGING CODES
RC-03 (0603) (0805) RC-06 (1206)	K<±100PPM/°C L<±200PPM/°C	1st two digits Are significant . 3rd digit is number of zeros following Letter R is Decimal Point	J=±5% G=±2% *F±1%	T=Paper tape,5,000 Pcs K=Embossed tape, 4,000Pcs B=Bulk,2,000 Pcs

*1%Type<100pmm/°C only

SMD 片状钽电容

代码	EIA 代码	L90.2 (0.126)	W+0.2(0.008) -0.1(0.004)	H+0.2(0.008) -0.1(0.004)	W1 0.2(0.008)	A+0.3(0.012) -0.2(0.008)	S Min.
A	3216	3.2(0.126)	1.6(0.063)	1.6(0.063)	1.2(0.047)	0.8(0.031)	1.1(0.043)
B	3528	3.50.138	2.8(0.110)	1.9(0.075)	2.2(0.087)	0.8(0.031)	1.4(0.055)
C	9032	6.00.126	3.2(0.126)	2.3(0.102)	3.2(0.087)	1.3(0.051)	2.9(0.114)
D	7343	7.30.287	4.3(0.169)	2.9(0.114)	2.4(0.094)	1.3(0.051)	4.4(0.173)
E	7343H	7.330.287	4.3(0.169)	4.1(0.162)	2.4(0.094)	1.3(0.051)	4.4(0.173)
M	426*	4.70.185	2.6(0.112)	2.1(0.083)	1.4(0.055)	0.8(0.031)	2.7(0.106)
N	58466*	5.80.228	4.6(0.181)	3.2(0.126)	2.4(0.094)	1.3(0.051)	2.8(0.110)

SMD RATINGS AND CASE CODES

Working Voits D-Cnotage Code							
4.0	6.3	10	16	20	25	35	50

	Std	Ext														
0.1													A		A	
0.15													A		B	A
0.22													A		B	
0.33																
47							A		A		A		B	A	C	B
0.68							A		A	A	A		B	A	C	
1.0					A					B		A	B		C	
1.5					A					B			C	B		C
2			A		B	A	B	A	B		B		C	B	D	C/E
3.3			A		B	A	B	A	B		C	B	C		D	E
4.7	A			A	B		C		C	B	C		D/E	C	D	
6.8	A	A	B	A	C	B	C	B	C		D		D/E			
									C							
10	B	A	B		C		D		D	C	D/E	C	D	E		
15	B		C	BB			D/E	C	D/E	C	D	E				
22	C	B	C		D/E	C/E	D	C	D	E		D/E				
33	C			C	D	C		E		D/E						
47	C/E	C	D/E	C		D		E								
68	D	C	D	E		D/E		D/E								
100		E	D	E		D		D								
120		D		D												
150		D														

CMOS 集成电路的性能及特点

CMOS 集成电路功耗低

CMOS 集成电路采用场效应管,且都是互补结构,工作时两个串联的场效应管总是处于一个管导通,另一个管截止的状态,电路静态功耗理论上为零。实际上,由于存在漏电流,CMOS 电路尚有微量静态功耗。单个门电路的功耗典型值仅为 20mW,动态功耗(在 1MHz 工作频率时)也仅为几 mW。

CMOS 集成电路工作电压范围宽

CMOS 集成电路供电简单,供电电源体积小,基本上不需稳压。国产 CC4000 系列的集成电路,可在 3~18V 电压下正常工作。

CMOS 集成电路逻辑摆幅大

CMOS 集成电路的逻辑高电平“1”、逻辑低电平“0”分别接近于电源高电位 VDD 及电源低电位 VSS。当 VDD=15V,VSS=0V 时,输出逻辑摆幅近似 15V。因此,CMOS 集成电路的电压电压利用系数在各类集成电路中指标是较高的。

CMOS 集成电路抗干扰能力强

CMOS 集成电路的电压噪声容限的典型值为电源电压的 45%,保证值为电源电压的 30%。随着电源电压的增加,噪声容限电压的绝对值将成比例增加。对于 VDD=15V 的供电电压(当 VSS=0V 时),电路将有 7V 左右的噪声容限。

CMOS 集成电路输入阻抗高

CMOS 集成电路的输入端一般都是由保护二极管和串联电阻构成的保护网络,故比一般场效应管的输入电阻稍小,但在正常工作电压范围内,这些保护二极管均处于反向偏置状态,直流输入阻抗取决于这些二极管的泄露电流,通常情况下,等效输入阻抗高达 10³~10¹¹ Ω,因此 CMOS 集成电路几乎不消耗驱动电路的功率。

CMOS 集成电路温度稳定性好

由于 CMOS 集成电路的功耗很低,内部发热量少,而且,CMOS 电路线路结构和电气参数都具有对称性,在温度环境发生变化时,某些参数能起到自动补偿作用,因而 CMOS 集成电路的温度特性非常好。一般陶瓷金属封装的电路,工作温度为-55 ~ +125℃;塑料封装的电路工作温度范围为-45 ~ +85℃。

CMOS 集成电路扇出能力强

扇出能力是用电路输出端所能带动的输入端数来表示的。由于 CMOS 集成电路的输入阻抗极高,因此电路的输出能力受输入电容的限制,但是,当 CMOS 集成电路用来驱动同类型,如不考虑速度,一般可以驱动 50 个以上的输入端。

CMOS 集成电路抗辐射能力强

CMOS 集成电路中的基本器件是 MOS 晶体管,属于多数载流子导电器件。各种射线、辐射对其导电性能的影响都有限,因而特别适用于制作航天及核实验设备。

CMOS 集成电路可控性好

CMOS 集成电路输出波形的上升和下降时间可以控制,其输出的上升和下降时间的典型值为电路传输延迟时间的 125%~140%。

CMOS 集成电路接口方便

因为 CMOS 集成电路的输入阻抗高和输出摆幅大,所以易于被其他电路所驱动,也容易驱动其他类型的电路或器件。

CMOS 集成电路使用操作准则

CMOS 集成电路使用操作准则

所有 MOS 集成电路(包括 P 沟道 MOS, N 沟道 MOS, 互补 MOS — CMOS 集成电路)都有一层绝缘栅,以防止电压击穿。一般器件的绝缘栅氧化层的厚度大约是 25nm 50nm 80nm 三种。在集成电路高阻抗栅前面还有电阻——二极管网络进行保护,虽然如此,器件内的保护网络还不足以免除对器件的静电损害(ESD),实验指出,在高电压放电时器件会失效,器件也可能为多次较低电压放电的累积而失效。

按损伤的严重程度静电损害有多种形式,最严重的也是最容易发生的是输入端或输出端的完全破坏以至于与电源端 VDD GND 短路或开路,器件完全丧失了原有的功能。稍次一等严重的损害是出现断续的失效或者是性能的退化,那就更难察觉。还有一些静电损害会使泄漏电流增加导致器件性能变坏。

由于不可避免的短时间操作引起的高静电电压放电现象,例如人在打腊地板上走动时会引起高达 4KV - 15KV 的静电高压,此高压与环境湿度和表面的条件有关,因而在使用 CMOS、NMOS 器件时必须遵守下列预防准则:

- 1 不要超过手册上所列出的极限工作条件的限制。
- 2 器件上所有空闲的输入端必须接 VDD 或 VSS，并且要接触良好。
- 3 所有低阻抗设备（例如脉冲信号发生器等）在接到 CMOS 或 NMOS 集成电路输入端以前必然让器件先接通电源，同样设备与器件断开后器件才能断开电源。
- 4 包含有 CMOS 和 NMOS 集成电路的印刷电路板仅仅是一个器件的延伸，同样需要遵守操作准则。从印刷电路板边缘的接插件直接连线到器件也能引起器件损伤，必须避免一般的塑料包装，印刷电路板接插件上的 CMOS 或 NMOS 集成电路的地址输入端或输出端应当串联一个电阻，由于这些串联电阻和输入电容的时间常数增加了延迟时间。这个电阻将会限制由于印刷电路板移动或与易产生静电的材料接触所产生的静电高压损伤。
- 5 所有 CMOS 和 NMOS 集成电路的储存和运输过程必须采用抗静电材料做成的容器，而不能按常规将器件插入塑料或放在普通塑料的托盘内，直到准备使用时才能从抗静电材料容器中取出来。
- 6 所有 CMOS 和 NMOS 集成电路应当放置在接地良好的工作台上，鉴于工作人员也能对工作台产生静电放电，所以工作人员在操作器件之前自身必须先接地，为此建议工作人员要用牢固的导电带将手腕或肘部与工作台表面连接良好。
- 7 尼龙或其它易产生静电的材料不允许与 CMOS 和 NMOS 集成电路接触。
- 8 在自动化操作过程中，由于器件的运动，传送带的运动和印刷电路板的运动可能会产生很高的静电压，因此要在车间内使用电离空气鼓风机和增湿机使室内相对湿度在 35% 以上，凡是能和集成电路接触的设备顶盖、底部、侧面部分均要采用接地的金属或其它导电材料。
- 9 冷冻室要用二氧化碳制冷，并且要放置隔板，而器件必须放在导电材料的容器内。
- 10 需要扳直外引线 and 用手工焊接时，要采用手腕接地的措施，焊料罐也要接地。
- 11 波峰焊时要采用下面措施：
 - a、波峰焊机的焊料罐和传送带系统必须接真地。
 - b、工作台采用导电的顶盖遮盖，要接真地。
 - c、工作人员必须按照预防准则执行。
 - d、完成的工件要放到抗静电容器中，优先送到下一道工序去。
- 12 清洗印刷电路板要采用下列措施：
 - a、蒸气去油剂和篮筐必须接真地，工作人员同样要接地。
 - b、不准使用刷子和喷雾器清洗印刷电路板。
 - c、从清洗篮中拿出来的工件要立即放入蒸汽去油剂中。
 - d、只有在工件接地良好或在工件上采用静电消除器后才允许使用高速空气和溶剂。

13 必须有生产线监督者的允许才能使用静电监测仪。

14 在通电状态时不准插入或拔出集成电路，绝对应当按下列程序操作：

a 、插上集成电路或印刷电路板后才通电。

b 、断电后才能拔出集成电路或印刷电路板。

15 告诫使用 MOS 集成电路的人员，决不能让操作人员直接与电气地相连，为了安全的原因，操作人员与地气之间的电阻至少应有 100K。

16 操作人员使用棉织品手套而不要用尼龙手套或橡胶手套。

17 在工作区，禁止使用地毯。

18 除非绝对必要外，都不准工作人员触摸 CMOS 或 NMOS 器件的引线端子。

电路图的基本知识

一、电子电路图的意义

电路图是人们为了研究和工程的需要,用约定的符号绘制的一种表示电路结构的图形。通过电路图可以知道实际电路的情况。这样,我们在分析电路时,就不必把实物翻来覆去地琢磨,而只要拿着一张图纸就可以了;在设计电路时,也可以从容地在纸上或电脑上进行,确认完善后再进行实际安装,通过调试、改进,直至成功;而现在,我们更可以应用先进的计算机软件来进行电路的辅助设计,甚至进行虚拟的电路实验,大大提高了工作效率。

二、电子电路图的分类

常遇到的电子电路图有原理图、方框图、装配图和印板图等

(一)原理图

原理图就是用来体现电子电路的工作原理的一种电路图,又被叫做“电原理图”。这种图,由于它直接体现了电子电路的结构和工作原理,所以一般用在设计、分析电路中。分析电路时,通过识别图纸上所画的各种电路元件符号,以及它们之间的连接方式,就可以了解电路的实际工作时情况。

(二)方框图(框图)

方框图是一种用方框和连线来表示电路工作原理和构成概况的电路图。从根本上说,这也是一种原理图,不过在这种图纸中,除了方框和连线,几乎就没有别的符号了。它和上面的原理图主要的区别就在于原理图上详细地绘制了电路的全部的元器件和它们的连接方式,而方框图只是简单地将电路按照功能划分为几个部分,将每一个部分描绘成一个方框,在方框中加上简单的文字说明,在方框间用连线(有时用带箭头的连线)说明各个方框之间的关系。所以方框图只能用来体现电路的大致工作原理,而原理图除了详细地表明电路的工作原理之外,还可以用来作为采集元件、制作电路的依据。

(三)装配图

它是为了进行电路装配而采用的一种图纸,图上的符号往往是电路元件的实物的外形图。我们只要照着图上画的样子,依样画葫芦地把一些电路元器件连接起来就能够完成电路的装配。这种电路图一般是供初学者使用的。

装配图根据装配模板的不同而各不一样,大多数作为电子产品的场合,用的都是下面要介绍的印刷线路板,所以印板图是装配图的主要形式。

在初学电子知识时,为了能早一点接触电子技术,我们选用了螺孔板作为基本的安装模板,因此安装图也就变成另一种模式。

(四)印板图

印板图的全名是“印刷电路板图”或“印刷线路板图”,它和装配图其实属于同一类的电路图,都是供装配实际电路使用的。

印刷电路板是在一块绝缘板上先覆上一层金属箔,再将电路不需要的金属箔腐蚀掉,剩下的部分金属箔作为电路元器件之间的连接线,然后将电路中的元器件安装在这块绝缘板上,利用板上剩余的金属箔作为元器件之间导电的连线,完成电路的连接。由于这种电路板的一面或两面覆的金属是铜皮,所以印刷电路板又叫“覆铜板”。印板图的元件分布往往和原理图中大不一样。这主要是因为,在印刷电路板的设计中,主要考虑所有元件的分布和连接是否合理,要考虑元件体积、散热、抗干扰、抗耦合等等诸多因素,综合这些因素设计出来的印刷电路板,从外观看很难和原理图完全一致;而实际上却能更好地实现电路的功能。

随着科技发展,现在印刷线路板的制作技术已经有了很大的发展;除了单面板、双面板外,还有多面板,已经大量运用到日常生活、工业生产、国防建设、航天事业等许多领域。

在上面介绍的四种形式的电路图中,电原理图是最常用也是最重要的,能够看懂原理图,也就基本掌握了电路的原理,绘制方框图,设计装配图、印板图这都比较容易了。掌握了原理图,进行电器的维修、设计,也是十分方便的。因此,关键是掌握原理图。

三、电路图的组成

电路图主要由元件符号、连线、结点、注释四大部分组成。

元件符号表示实际电路中的元件,它的形状与实际元件不一定相似,甚至完全不一样。但是它一般都表示出了元件的特点,而且引脚的数目都和实际元件保持一致。

连线表示的是实际电路中的导线,在原理图中虽然是一根线,但在常用的印刷电路板中往往不是线而是各种形状的铜箔块,就像收音机原理图中的许多连线在印刷电路板图中并不一定都是线形的,也可以是一定形状的铜膜。

结点表示几个元件引脚或几条导线之间相互的连接关系。所有和结点相连的元件引脚、导线,不论数目多少,都是导通的。

注释在电路图中是十分重要的,电路图中所有的文字都可以归入注释一类。细看以上各图就会发现,在电路图的各个地方都有注释存在,它们被用来说明元件的型号、名称等等。

如何选用滤波电容

滤波电容在开关电源中起着非常重要的作用,如何正确选择滤波电容,尤其是输出滤波电容的选择则是每个工程技术人员都十分关心的问题。

50Hz 工频电路中使用的普通电解电容器,其脉动电压频率仅为 100Hz,充放电时间是毫秒数量级。为获得更小的脉动系数,所需的电容量高达数十万 μF ,因此普通低频铝电解电容器的目标是以提高电容量为主,电容器的电容量、损耗角正切值以及漏电流

是鉴别其优劣的主要参数。而开关电源中的输出滤波电解电容器，其锯齿波电压频率高达数十 kHz，甚至是数十 MHz，这时容量并不是其主要指标，衡量高频铝电解电容优劣的标准是“阻抗-频率”特性，要求在开关电源的工作频率内要有较低的等效阻抗，同时对于半导体器件工作时产生的高频尖峰信号具有良好的滤波作用。

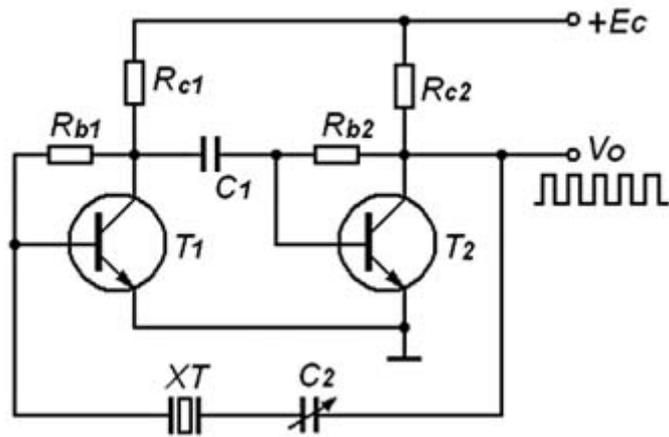
普通的低频电解电容器在 10kHz 左右便开始呈现感性，无法满足开关电源的使用要求。而开关电源专用的高频铝电解电容器有四个端子，正极铝片的两端分别引出作为电容器的正极，负极铝片的两端也分别引出作为负极。电流从四端电容的一个正端流入，经过电容内部，再从另一个正端流向负载；从负载返回的电流也从电容的一个负端流入，再从另一个负端流向电源负端。

由于四端电容具有良好的高频特性，为减小电压的脉动分量以及抑制开关尖峰噪声提供了极为有利的手段。高频铝电解电容器还有多芯的形式，即将铝箔分成较短的若干段，用多引出片并联连接以减小容抗中的阻抗成份。并且采用低电阻率的材料作为引出端子，提高了电容器承受大电流的能力。

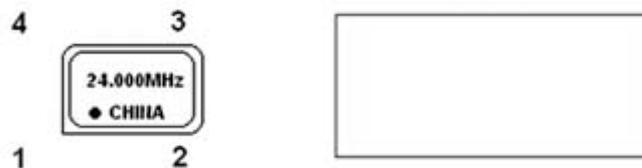
有源晶振与无源晶振

石英晶片之所以能当为振荡器使用，是基于它的压电效应：在晶片的两个极上加一电场，会使晶体产生机械变形；在石英晶片上加上交变电压，晶体就会产生机械振动，同时机械变形振动又会产生交变电场，虽然这种交变电场的电压极其微弱，但其振动频率是十分稳定的。当外加交变电压的频率与晶片的固有频率(由晶片的尺寸和形状决定)相等时，机械振动的幅度将急剧增加，这种现象称为“压电谐振”。

压电谐振状态的建立和维持都必须借助于振荡器电路才能实现。图 3 是一个串联型振荡器，晶体管 T1 和 T2 构成的两级放大器，石英晶体 XT 与电容 C2 构成 LC 电路。在这个电路中，石英晶体相当于一个电感，C2 为可变电容器，调节其容量即可使电路进入谐振状态。该振荡器供电电压为 5V，输出波形为方波。



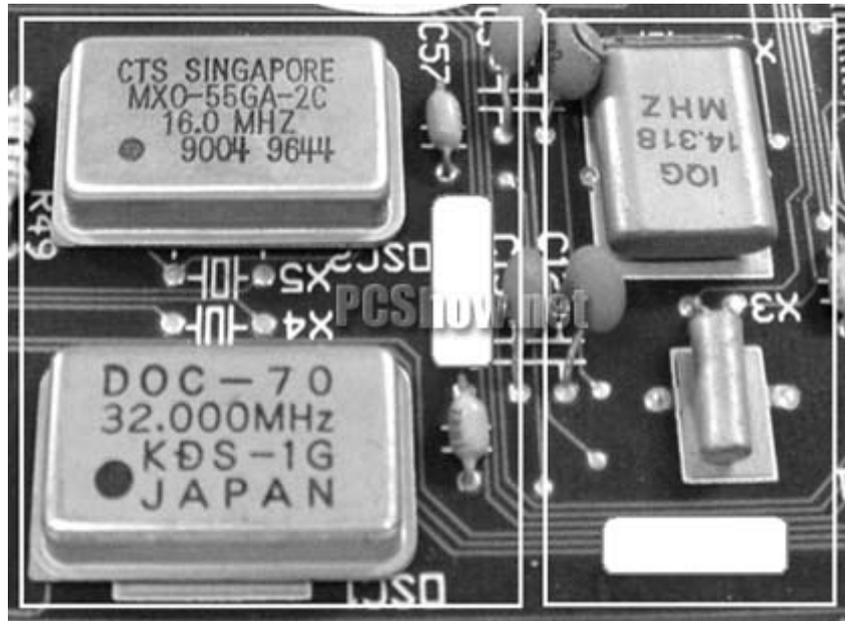
(a) PCSHOW.NET



(b)

有源晶体振荡器

在电子学上，通常将含有晶体管元件的电路称作“有源电路”（如有源音箱、有源滤波器等），而仅由阻容元件组成的电路称作“无源电路”。电脑中的晶体振荡器也分为无源晶振和有源晶振两种类型。无源晶振与有源晶振的英文名称不同，无源晶振为 crystal（晶体），而有源晶振则叫做 oscillator（振荡器）。无源晶振是有 2 个引脚的无极性元件，需要借助于时钟电路才能产生振荡信号，自身无法振荡起来，所以“无源晶振”这个说法并不准确；有源晶振有 4 只引脚，是一个完整的振荡器，其中除了石英晶体外，还有晶体管和阻容元件，因此体积较大。



石英晶体振荡器的频率稳定度可达 10^{-9} /日，甚至 10^{-11} 。例如 10MHz 的振荡器，频率在一日之内的变化一般不大于 0.1Hz。因此，完全可以将晶体振荡器视为恒定的基准频率源(石英表、电子表中都是利用石英晶体来做计时的基准频率)。从 PC 诞生至现在，主板上一直都使用一颗 14.318MHz 的石英晶体振荡器作为基准频率源。至于始终沿用 14.318MHz 这个频率的原因，或许是保持兼容性的需要吧。但是，笔者在显卡、闪存盘和手机中也发现了 14.318MHz 的晶振，就不知道是什么原因了。

主板上除了这颗 14.318MHz 的晶振，还能找到一颗频率为 32.768MHz 的晶振，它被用于实时时钟(RTC)电路中，显示精确的时间和日期。

钽电解电容简介

钽电解电容简介

固体钽电容器是 1956 年由美国贝乐试验室首先研制成功的，它的性能优异，是所有电容器中体积小而又能达到较大电容量的产品。钽电容器外形多种多样，并容易制成适于表面贴装的小型 and 片型元件。适应了目前电子技术自动化和小型化发展的需要。虽然钽原料稀缺，钽电容价格较昂贵，但由于大量采用高比容钽粉（30KuF.g-100KuF.V/g），加上对电容器制造工艺的改进和完善，钽电解电容器还是得到了迅速的发展，使用范围日益广泛。钽电容器不仅在军事通讯，航天等领域广泛使用，而且使用范围还在向工业控制，影视设备、通讯仪表等产品中大量使用。

目前生产的钽电解电容器主要有烧结型固体、箔形卷绕固体、烧结型液体等三种，其中烧结型固体约占目前生产总量的 95%以上，而又以非金属密封型的树脂封装式为主体。小型化、片式化配合 SMT 技术下方兴未艾，片式烧结钽电容器已逐渐成主流。

固体钽电容器电性能优良，工作温度范围宽，而且形式多样，体积效率优异，具有其独特的特征：

钽电解电容器的工作介质是在钽金属表面生成的一层极薄的五氧化二钽膜。

此层氧化膜介质完全与组成电容器的一端极结合成一个整体，不能单独存在。因此单位体积内所具有的电容量特别大。即比容量非常高，因此特别适宜于小型化。

在钽电解电容器工作过程中，具有自动修补或隔绝氧化膜中的疵点所在性能，使氧化膜介质随时得到加固和恢复其应有的绝缘能力，而不致遭到连续的累积性破坏。这种独特自愈性能，保证了其长寿命和可靠性的优势。

钽电解电容器具有非常高的工作电场强度，并较任何类型电容器都大，以此保证它的小型化。

钽电解电容器可以非常方便地获得较大的电容量，在电源滤波、交流旁路等用途上少有竞争对手。

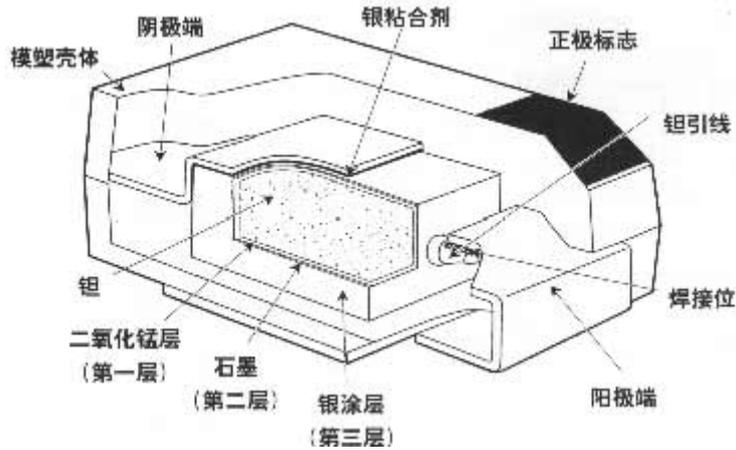
具有单向导电性，即所谓有“极性”，应用时应按电源的正、负方向接入电流，电容器的阳极（正极）接电源“+”极，阴极（负极）接电源的“-”极；如果接错不仅电容器发挥不了作用，而且漏电流很大，短时间内芯子就会发热，破坏氧化膜随即失效。

工作电压有一定的上限平值，但这方面的缺点对配合晶体管或集成电路电源，是不重要的。

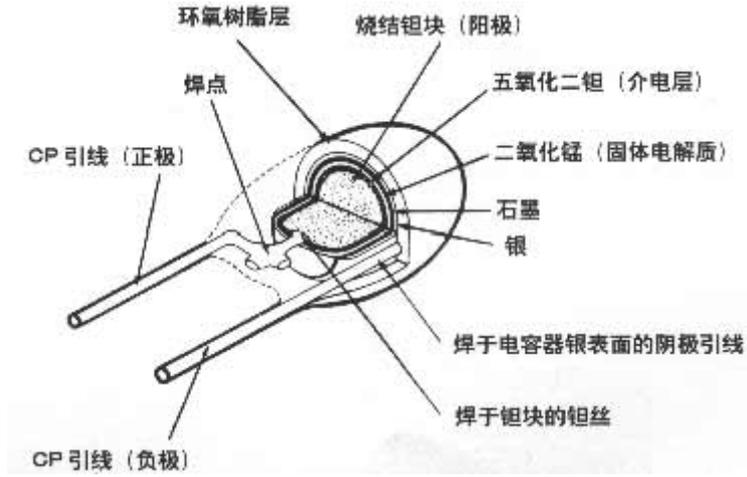
电解电容器一般认为是一种性能优良，使用寿命长的电子元件，它的失效率正常时可达七级。但它总还是符合电子元器件的失效普遍规律，即澡盆形失效曲线，前期失效可在老炼过程中剔除。因此只有随机失效的可能性。而这种无效即有制造工艺控制问题，还常常伴随产品在使用过程的不当或超载所致，综合说来大约有三种模式即电流型、电压型和发热型。

钽电解电容器具有储藏电量、进行充放电等性能，主要应用于滤波、能量贮存与转换，记号旁路，耦合与退耦以及作时间常数元件等。在应用中要注意其性能特点，正确使用会有助于充分发挥其功能，其中诸如考虑产品工作环境及其发热温度，以及采取降额使用等措施，如果使用不当会影响产品的工作寿命。

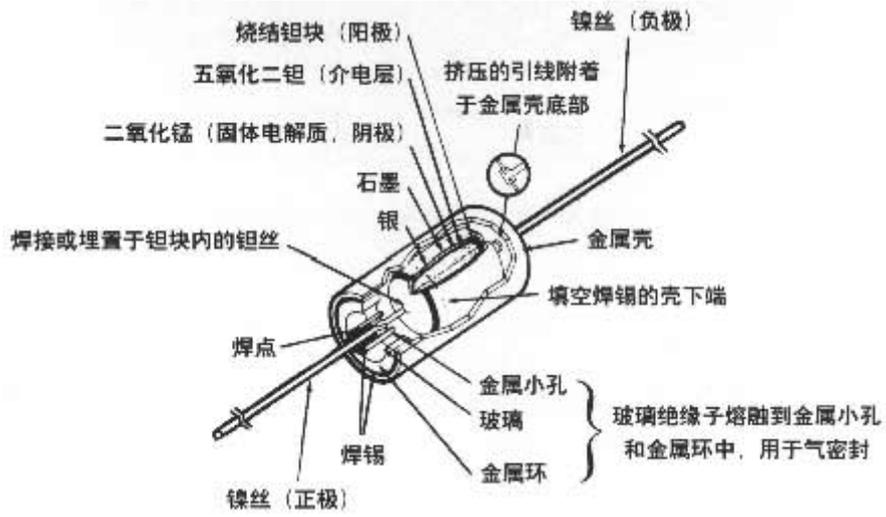
烧结型固体 电解质片状钽电容器



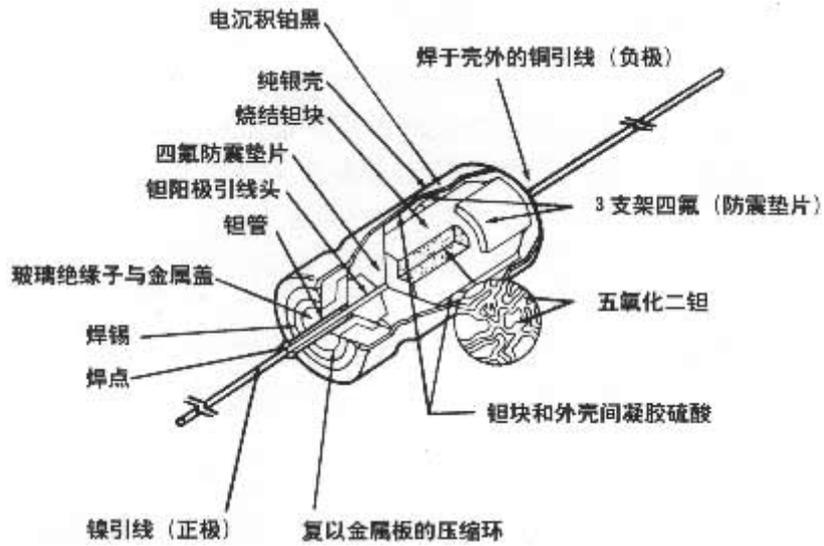
烧结型固体电解质柱状树脂包封钽电容器



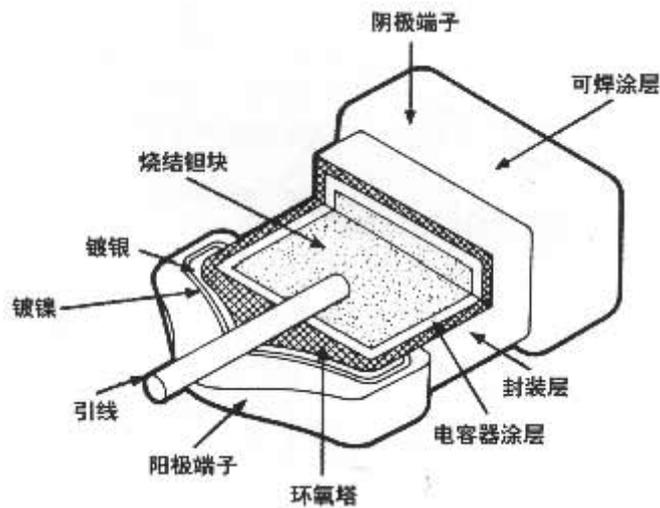
烧结型固体电解质金属壳钽电容器



烧结型液体电解质金属壳钽电容器

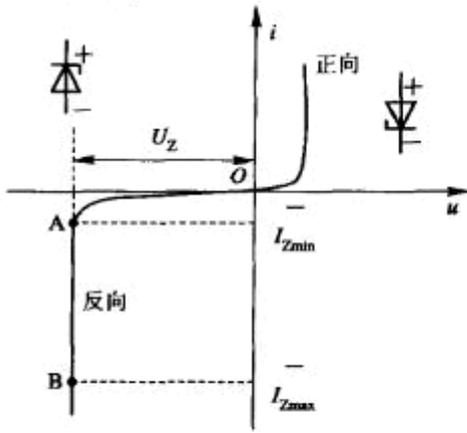


烧结型固体电解质端帽式钽电容器

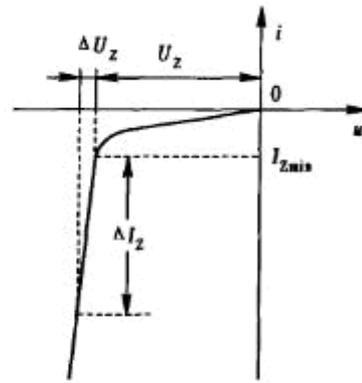


稳压二极管工作原理及故障特点

稳压管也是一种晶体二极管，它是利用 PN 结的击穿区具有稳定电压的特性来工作的。稳压管在稳压设备和一些电子电路中获得广泛的应用。我们把这种类型的二极管称为稳压管，以区别用在整流、检波和其他单向导电场合的二极管。如图画出了稳压管的伏安特性及其符号。



稳压管的伏安特性及符号



稳压管动态电阻

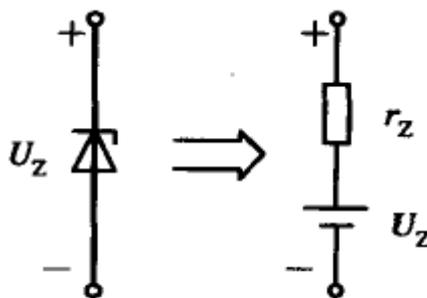
(1) 稳定电压 U_Z 就是 PN 结的击穿电压，它随工作电流和温度的不同而略有变化。对于同一型号的稳压管来说，稳压值有一定的离散性。

(2) 稳定电流 I_Z 稳压管工作时的参考电流值。它通常有一定的范围，即 I_{Zmin} — I_{Zmax} 。

(3) 动态电阻 r_z 它是稳压管两端电压变化与电流变化的比值，如上图所示，即这个数值随工作电流的不同而改变。通常工作电流越大，动态电阻越小，稳压性能越好。

$$r_z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

下图示出了稳压管工作时的动态等效电路，图中二极管为理想二极管。



稳压管等效电路

(4) 电压温度系数 它是用来说明稳定电压值受温度变化影响的系数。不同型号的稳压管有不同的稳定电压的温度系数，且有正负之分。稳压值低于 4V 的稳压管，稳定电压的温度系数为负值；稳压值高于 6V 的稳压管，其稳定电压的温度系数为正值；介于 4V 和 6V 之间的，可能为正，也可能为负。在要求高的场合，可以用两个温度系数相反的管子串联进行补偿（如 2DW7）。

(5) 额定功耗 P_Z 前已指出, 工作电流越大, 动态电阻越小, 稳压性能越好, 但是最大工作电流受到额定功耗 P_Z 的限制, 超过 P_Z 将会使稳压管损坏。

选择稳压管时应注意: 流过稳压管的电流 I_Z 不能过大, 应使 $I_Z \leq I_{Zmax}$, 否则会超过稳压管的允许功耗, I_Z 也不能太小, 应使 $I_Z \geq I_{Zmin}$, 否则不能稳定输出电压, 这样使输入电压和负载电流的变化范围都受到一定限制。

稳压二极管在电路中常用“ZD”加数字表示, 如: ZD5 表示编号为 5 的稳压管。

稳压二极管的稳压原理:

稳压二极管的特点就是击穿后, 其两端的电压基本保持不变。这样, 当把稳压管接入电路以后, 若由于电源电压发生波动, 或其它原因造成电路中各点电压变动时, 负载两端的电压将基本保持不变。

故障特点:

稳压二极管的故障主要表现在开路、短路和稳压值不稳定。在这 3 种故障中, 前一种故障表现出电源电压升高; 后 2 种故障表现为电源电压变低到零伏或输出不稳定。

常用稳压二极管的型号及稳压值如下表:

型号	1N4728	1N4729	1N4730	1N4732	1N4733	1N4734	1N4735	1N4744	1N4750	1N4751	1N4761
稳压值	3.3V	3.6V	3.9V	4.7V	5.1V	5.6V	6.2V	15V	27V	30V	75V

光敏二极管

光敏二极管是利用硅 P-N 结受光照后产生光电流的一种光电器件。光敏二极管的电路符号、外形见图 1 所示。其封装有金封和塑封两种 (即圆柱形和扁方形)。

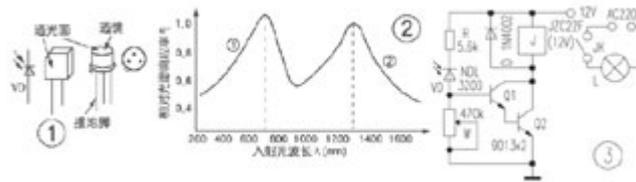
有的光敏二极管为了提高其稳定性, 还外加了一个屏蔽接地脚, 外形似光敏三极管。光敏二极管工作于反向偏压, 其光谱响应特性主要由半导体材料中所掺的杂质浓度所决定。

同一型号的光敏二极管在一定的反偏电压、相同强度和不同波长的入射光照射下, 产生的光电流并不相同, 但有一最大值。不同型号的光敏二极管在同一反偏电压、同一强度的入射光照射下, 所产生的光电流最大值也不相同, 且光电流最大值所对应的入射光的波长也不相同。

图 2 的曲线①、②分别是光敏二极管 NDL 3 2 0 0、NDL 5 8 0 0 C 的光谱响应特性曲线。由图可看出, 它们的光电流的最大值分别在可见光区和红外线区, 其中二极管 NDL 3 2 0 0 的光谱响应值最大。

由于光敏二极管的基本结构也是一个 P-N 结, 故其检测方法也与普通二极管相同, 其测得的正、反向电阻也类似于普通二极管, 但在测反向电阻遇光照时, 阻值会明显减小, 否则说明管子已损坏。附表给出部分光敏二极管的主要参数, 供参考。

图3是用光敏二极管构成的路灯自动控制电路。其原理是：白天受光照时光敏二极管反向电阻减小，足以使复合管（Q1、Q2）饱和导通的电流注入复合管基极，于是Q1、Q2饱和导通→继电器J得电→常闭触头被吸下→路灯供电回路被切断→灯泡熄灭。天黑时因光照很小→光敏二极管VD反向电阻大增→Q1、Q2退出饱和而截止→J失电→常闭触头复位→电灯供电回路接通→路灯点亮。



附表：部分光敏二极管参数

型号	最高反压 $U_{RM}(V)$	最大反向电流 $I_{RM}(A)$	最佳响应波长 $\lambda(mm)$	响应时间 $T_s(ns)$	最高工作结温 $T_n(^{\circ}C)$
NDL3200	2	0.085	670	<10	125
NDL3210	2	0.05	675	<10	125
NDL5603	2	0.015	1310	<5	125
NDL5604	2	0.02	1310	<5	125
NDL5733P	2	0.02	1310	<5	125
NDL5738P	2	0.02	1310	<5	125
NDL5800	2	0.015	1310	<5	125
NDL5801P	2	0.02	1310	<5	125
NDL5850	2	0.025	1550	<5	125

光敏二极管应用与检测

光敏二极管工作时加有反向电压，没有光照时，其反向电阻很大，只有很微弱的反向饱和电流（暗电流）。当有光照时，就会产生很大的反向电流（亮电流），光照越强，该亮电流就越大。光敏二极管是一种光电转换二极管，所以又叫光电二极管。

测量光敏二极管时，先用黑纸或黑布遮住光敏二极管的光信号接收窗口，然后用万用表的R×1k档测其正、反向电阻。正常时，正向电阻值在10~20kΩ之间，反向电阻值为∞（无穷大）。

再去掉黑纸或黑布，使其光信号接收窗口对准光源，正常时正、反向电阻值均会变小，阻值变化越大，说明该光敏二极管的灵敏度越高。

开关电源电感器的选用

开关电源一直以来都是电源业的主要产品。但是，随着全球对高效产品需求的不断增加，传统上采用更廉价但低能效的线性电源市场也将转向采用开关电源。在这一过渡时期，电源业为提高开关频率而不懈努力，以满足客户对功率更大、占用空间更小的电源的要求。这种发展趋势为开关电源开启了新的市场，并使部分设计工程师面临市场对开关电源设计的需求。

本文将阐明为非隔离式开关电源（SMPS）选用电感器的基本要点。所举实例适合超薄型表面贴装设计的应用，像电压调节模块（VRM）和负载点（POL）型电源，但不包括基于更大底板的系统。

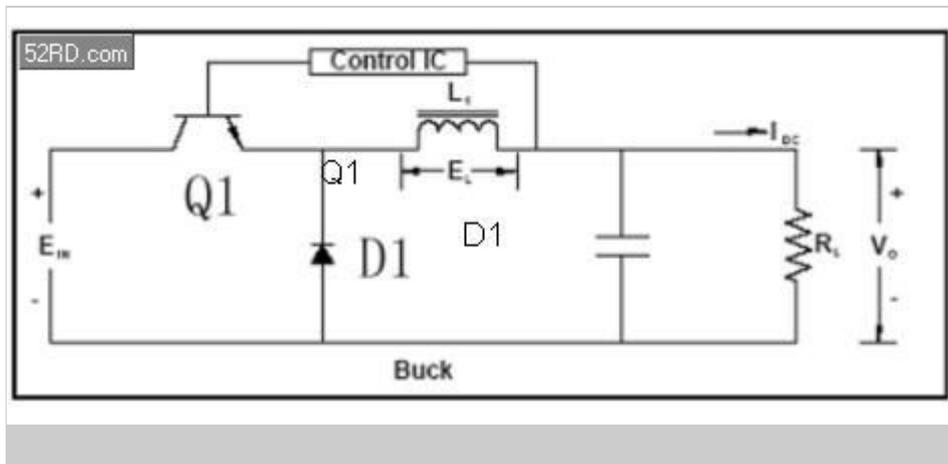


图1 典型的降压拓扑结构电源

图1所示为一个降压拓扑结构电源的架构，该构架广泛应用于输出电压小于输入电压的系统。在典型的降压拓扑结构电路中，当开关（Q1）闭合时，电流开始通过这个开关流向输出端，并以某一速率稳步增大，增加速率取决于电路电感。根据楞次定律， $di = E \cdot dt / L$ ，流过电感器的电流所发生的变化量等于电压乘以时间变化量，再除以这个电感值。由于流过负载电阻 R_L 的电流稳定增加，输出电压成正比增大。

在达到预定的电压或电流限值时，控制集成电路将开关断开，从而使电感周围的磁场衰减，并使偏置二极管 $D1$ 正向导通，从而继续向输出电路供给电流，直至开关再度接通。这一循环反复进行，而开关的次数由控制集成电路来确定，并将输出电压调控在要求的电压值上。图2所示为在若干个开关循环周期内，流过电感器和其它降压拓扑电路元件上的电压和电流波形。

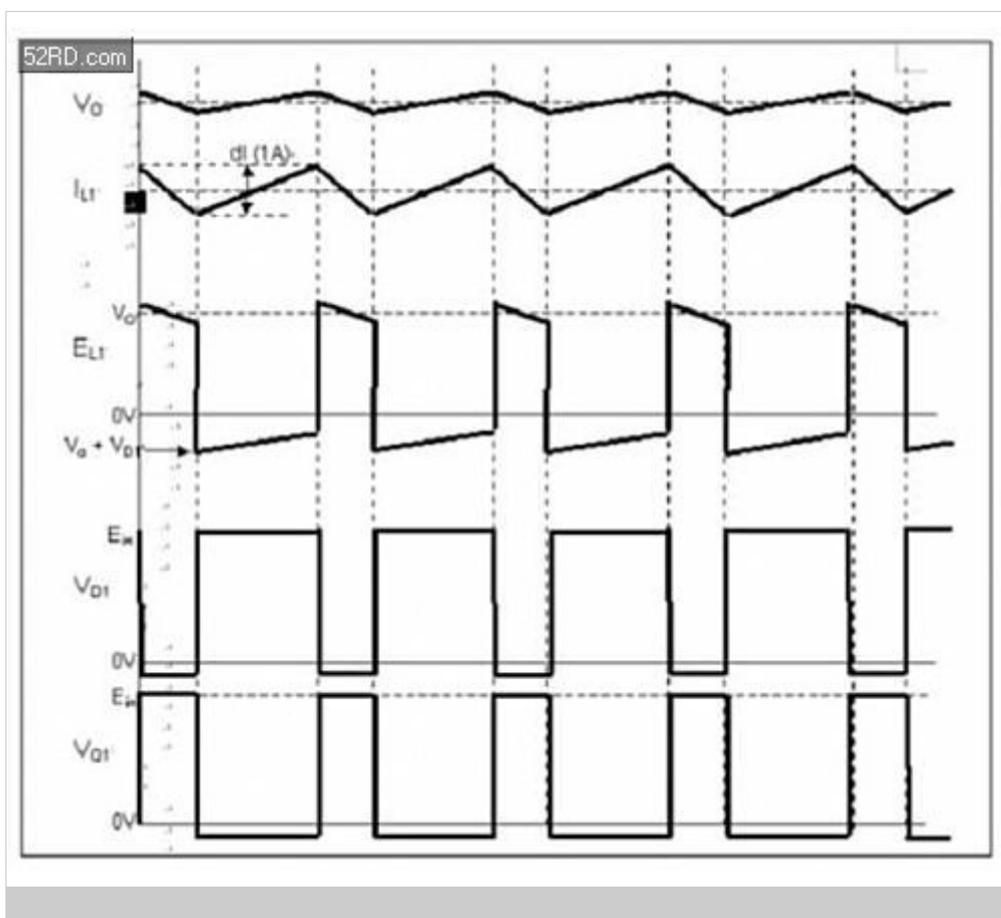


图2 采用降压拓扑结构的开关电源的开关动作波形图

电感值对于在开关断开期间保持流向负载的电流很关键。所以必须算出保持降压变换器输出电流所必需的最小电感值，以确保在输出电压和输入电流处于最差条件下，仍能够为负载供应足够的电流。为确定最小的电感值，需要知道如下信息：

- 输入电压范围
- 输出电压及其规定范围
- 工作频率（开关频率）
- 电感器纹波电流
- 运行模式；连续运行模式还是非连续运行模式

表 1 典型的降压电源系统技术规格

参数	数值	符号
输入电压	+ 20V至 + 30V	V_{in}
输出电压	+ 5V + /- 5%	V_o
开关频率	700kHz + /- 1%	f
直流输出电压	1A 至 20A	I_o
电感器脉动电流	0.5A	dI
开关 $Q1$ 在接通状态下的电压降	0.7V	V_{on}
运行模式	连续运行模式	--

下列公式用于计算降压变换器所需的电感值：

$$L_1 = V_o(1-V_o/(V_{in}-V_{on})) / (f*dI) \quad \text{连续运行模式下：} dI < 1/2I$$

为了算出适用于电源整个运行条件的最小电感值，对参数值的选择必须能够保证在各项参数处于最不利组合的条件下，所选择的这一电感值仍能将纹波电流保持在特定的数值范围内。而针对降压型电源，其最不利组合条件为：输入电压和频率均处于各自的最低数值时。此外，还要将输出电压也取为其最小规定值，以确定能够保持正常调节功能所需的最低电感值。设计者可以按照自己所习惯的方式，对这些数值进行控制，以达到最差条件成立的状态。

按照表 1 中所列出的数据，最小电感值计算如下：

$$L_{1(min)} = V_{o(min)} (1-V_{o(min)} / (V_{in(min)} - V_{on})) / (f_{(min)} * dI)$$

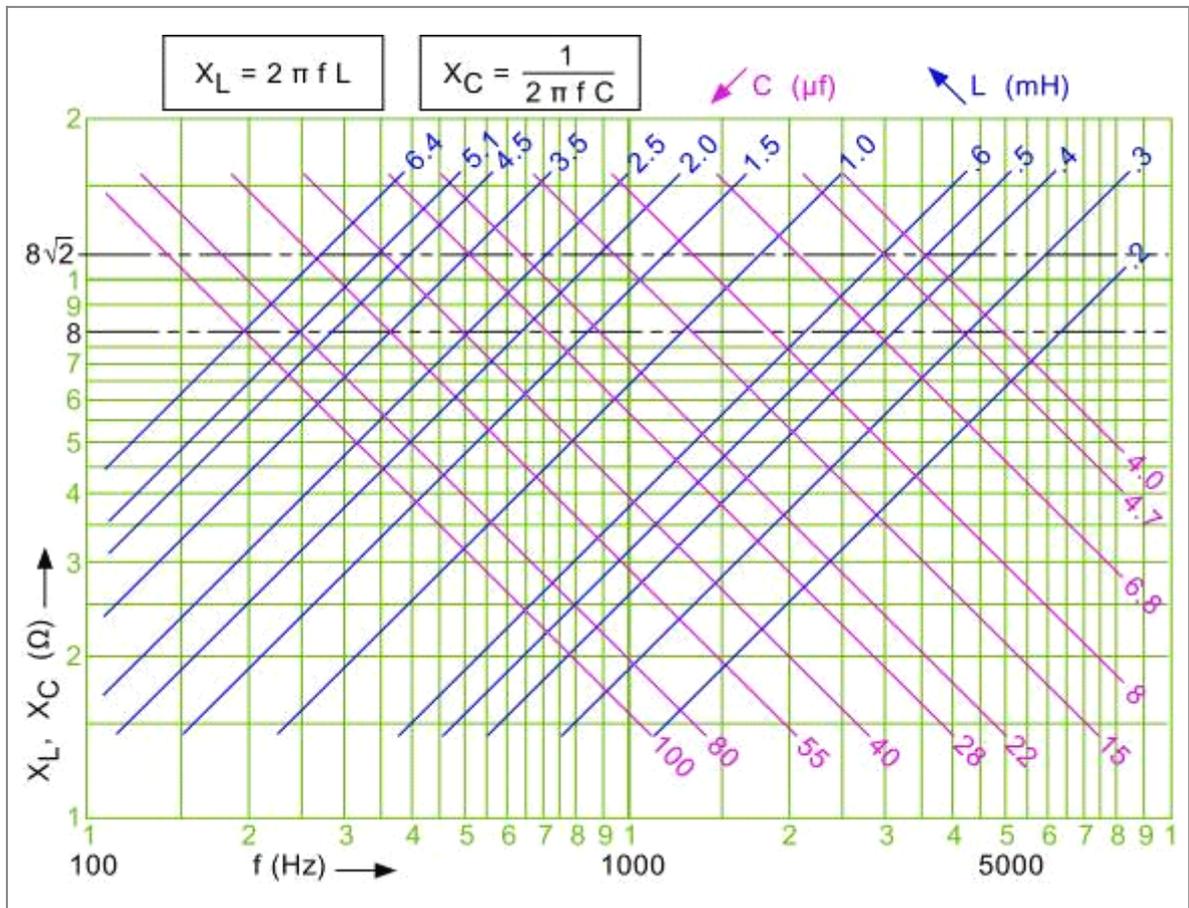
$$L_{1(min)} = 4.95V (1-4.95V / (20V-0.7V)) / (693,000Hz * 0.5A)$$

$$L_{1(min)} = 10.6\mu h$$

因此，在这一具体应用中，电感器的电感值至少为 10.6 μh ，而其电流额定值也要在最低的 20 安培的工作电流之上，并保持足够的安全系数。而如果选择一个电感值低于此最小值的电感器，就将导致降压变换器可能无法在最大电流下将其输出电压保持在规定范围内。

将电感值确定以后，实际电感器的设计必须符合相关电气标准、系统尺寸和安装方式等限制。许多磁性元件供应商均提供各种型号的标准产品，可满足绝大多数的设计标准要求。但是，在设计中采用现货供应的标准产品，有可能导致电感器的性能和尺寸方面有所不足，并可能最终对产品的销售造成不利影响。而幸运的是，包括泰科电子 CoEv 磁性组件部在内的一些供应商，能够提供必要的定制工程设计支持，以满足将特定电感值、电气性能和外形限制要求结合在一款完全成熟的产品上，促进设计的最优化。充分利用了业界的专业技术，从而最大程度地缩短了设计和测试的时间，加速产品的上市

感抗与容抗计算器



$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

工作频率: Hz, 希望的电抗值: Ohms

(eg: approx. 8 Ohms for first order crossover, 11.3 Ohms for second order crossover)

需要的电感量 L = mH, 需要的电容量 C = μf

重置

$$X_L = 2\pi f L$$

工作频率: Hz, 电感量: mH

电抗值计算结果: $X_L =$ Ohms

重置

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

工作频率: Hz, 电容量: μf

电抗值计算结果: $X_C =$ Ohms

重置

小小电容之大大观

A 什么是好电容。

1. 电容容量越大越好。

很多人在电容的替换中往往爱用大容量的电容。我们知道虽然电容越大，为 IC 提供的电流补偿的能力越强。且不说电容容量的增大带来的体积变大，增加成本的同时还影响空气流动和散热。关键在于电容上存在寄生电感，电容放电回路会在某个频点上发生谐振。在谐振点，电容的阻抗小。因此放电回路的阻抗最小，补充能量的效果也最好。但当频率超过谐振点时，放电回路的阻抗开始增加，电容提供电流能力便开始下降。电容的容值越大，谐振频率越低，电容能有效补偿电流的频率范围也越小。从保证电容提供高频电流的能力的角度来说，电容越大越好的观点是错误的，一般的电路设计中都有一个参考值的。

2. 同样容量的电容，并联越多的小电容越好，

耐压值、耐温值、容值、ESR(等效电阻)等是电容的几个重要参数，对于 ESR 自然是越低越好。ESR 与电容的容量、频率、电压、温度等都有关系。当电压固定时候，容量越大，ESR 越低。在板卡设计中采用多个小电容并连多是出与 PCB 空间的限制，这样有的人就认为，越多的并联小电阻，ESR 越低，效果越好。理论上是如此，但是要考虑到电容接脚焊点的阻抗，采用多个小电容并联，效果并不一定突出。

3. ESR 越低，效果越好。

结合我们上面的提高的供电电路来说，对于输入电容来说，输入电容的容量要大一点。相对容量的要求，对 ESR 的要求可以适当的降低。因为输入电容主要是耐压，其次是吸收 MOSFET 的开关脉冲。对于输出电容来说，耐压的要求和容量可以适当的降低一点。ESR 的要求则高一点，因为这里要保证的是足够的电流通过量。但这里要注意的是 ESR 并不是越低越好，低 ESR 电容会引起开关电路振荡。而消振电路复杂同时会导致成本的增加。板卡设计中，这里一般有一个参考值，此作为元件选用参数，避免消振电路而导致成本的增加。

4. 好电容代表着高品质。

“唯电容论”曾经盛极一时，一些厂商和媒体也刻意的把这个事情做成一个卖点。在板卡设计中，电路设计水平是关键。和有的厂商可以用两相供电做出比一些厂商采用四相供电更稳定的产品一样，一味的采用高价电容，不一定能做出好产品。衡量一个产品，一定要全方位多角度的去考虑，切不可把电容的作用有意无意的夸大。

B 电容爆浆之面面谈

爆浆的种类：

分两类，输入电容爆浆和输出电容爆浆。

对于输入电容来说，就是我是说的 C1，C1 对由电源接收到的电流进行过滤。

输入电容爆浆和电源输入电流的品质有关。过多的毛刺电压，峰值电压过高，电流不稳定等都使电容过于充放电过于频繁，长时间处于这类工作环境下的电容，内部温度升高很快。超过泄爆口的承受极限就会发生爆浆。

对于输出电容来说，就我说的 C2，对经电源模块调整后的电流进行滤波。此处电流经过一次过滤，比较平稳，发生爆浆的可能性相对来说小了不少。但如果环境温度过高，电容同样容易发生爆浆。

爆，报也。

采用垃圾东西自然要爆，报应啊。

欲知过去因者，见其现在果；欲知未来果者，见其现在因。

爆浆的原因：

电容爆浆的原因有很多，比如电流大于允许的稳波电流、使用电压超出工作电压、逆向电压、频繁的充放电等。但是最直接的原因就是高温。

我们知道电容有一个重要的参数就是耐温值，指的就是电容内部电解液的沸点。当电容的内部温度达到电解液的沸点时，电解液开始沸腾，电容内部的压力升高，当压力超过泄爆口的承受极限就发生了爆浆。所以说温度是导致电容爆浆的直接原因。

电容设计使用寿命大约为 2 万小时，受环境温度的影响也很大。电容的使用寿命随温度的增加而减小，实验证明环境温度每升高 10℃，电容的寿命就会减半。主要原因就是温度加速化学反应而使介质随时间退化失效，这样电容寿命终结。

为了保证电容的稳定性，电容在插板前要经过长时间的高温环境的测试。即使是在 100℃，高品质的电容也可以工作几千个小时。同时，我们提到的电容的寿命是指电容在使用过程中，电容容量不会超过标准范围变化的 10%。电容寿命指的是电容容量的问题，而不是设计寿命到达之后就发生爆浆。只是无法保证电容的设计的容量标准。

所以，短时期内，正常使用的板卡电容就发生爆浆的情况，这就是电容品质问题。

另外，不正常的使用情况也有可能发生电容爆浆的情况。比如热插拔电脑配件也会导致板卡局部电路电流、电压的剧烈变化，从而引发电容使用故障。

稳压二极管的温度系数

众所周知，稳压二极管在使用中一定要串联限流电阻，否则将被烧毁。稳压二极管的最大工作电流（最大工作电流是指稳压管工作时允许通过的最大电流）受稳压管最大耗散功率（指电流增大到最大工作电流时，管中散发出的热量会使管子损坏的功率）所限制。

如果稳压管的温度变化，它的稳定电压也会发生微小变化，温度变化 1℃ 所引起管子两端电压的相对变化量即是温度系数。一般说来稳压值低于 6V 属于齐纳击穿，温度系数是负的；高于 6V 的属雪崩击穿，温度系数是正的。温度升高时，耗尽层减小，耗尽层中，原子的价电子上升到较高的能量，较小的电场强度就可以把价电子从原子中激发出来产生齐纳击穿，因此它的温度系数是负的。雪崩击穿发生在耗尽层较宽电场强度较低时，温度增加使晶格原子振动幅度加大，阻碍了载流子的运动。这种情况下，只有增加反向电压，才能发生雪崩击穿，因此雪崩击穿的电压温度系数是正的。这就是为什么稳压值为 15V 的稳压管其稳压值随温度逐渐增大的，而稳压值为 5V 的稳压管其稳压值随温度逐渐减小的原因。

对电源要求比较高的场合，可以用两个温度系数相反的稳压管串联起来作为补偿。由于相互补偿，温度系数大大减小，可使温度系数达到 $0.0005\%/^{\circ}\text{C}$ 。

开关电源的 PCB 设计规范

开关电源的 PCB 设计规范

在任何开关电源设计中，PCB 板的物理设计都是最后一个环节，如果设计方法不当，PCB 可能会辐射过多的电磁干扰，造成电源工作不稳定，以下针对各个步骤中所需注意的事项进行分析：

一、从原理图到 PCB 的设计流程 建立元件参数→输入原理网表→设计参数设置→手工布局→手工布线→验证设计→复查→CAM 输出。

二、参数设置相邻导线间距必须能满足电气安全要求，而且为了便于操作和生产，间距也应尽量宽些。最小间距至少要能适合承受的电压，在布线密度较低时，信号线的间距可适当加大，对高、低电平悬殊的信号线应尽可能地短且加大间距，一般情况下将走线间距设为 8mil。

焊盘内孔边缘到印制板边的距离要大于 1mm，这样可以避免加工时导致焊盘缺损。当与焊盘连接的走线较细时，要将焊盘与走线之间的连接设计成水滴状，这样的好处是焊盘不容易起皮，而是走线与焊盘不易断开。

三、元器件布局实践证明，即使电路原理图设计正确，印制电路板设计不当，也会对电子设备的可靠性产生不利影响。例如，如果印制板两条细平行线靠得很近，则会形成信号波形的延迟，在传输线的终端形成反射噪声；由于电源、地线的考虑不周到而引起的干扰，会使产品的性能下降，因此，在设计印制电路板的时候，应注意采用正确的方法。每一个开关电源都有四个电流回路：(1). 电源开关交流回路

(2). 输出整流交流回路

(3). 输入信号源电流回路

(4). 输出负载电流回路输入回路通过一个近似直流的电流对输入电容充电，滤波电容主要起到一个宽带储能作用；类似地，输出滤波电容也用来储存来自输出整流器的高频能量，同时消除输出负载回路的直流能量。所以，输入和输出滤波电容的接线端十分重要，输入及输出电流回路应分别只从滤波电容的接线端连接到电源；如果在输入/输出回路和电源开关/整流回路之间的连接无法与电容的接线端直接相连，交流能量将由输入或输出滤波电容并辐射到环境中去。电源开关交流回路和整流器的交流回路包含高幅梯形电流，这些电流中谐波成分很高，其频率远大于开关基频，峰值幅度可高达持续输入/输出直流电流幅度的 5 倍，过渡时间通常约为 50ns。这两个回路最容易产生电磁干扰，因此必须在电源中其它印制线布线之前先布好这些交流回路，每个回路的三种主要的元件滤波电容、电源开关或整流器、电感或变压器应彼此相邻地进行放置，调整元件位置使它们之间的电流路径尽可能短。建立开关电源布局的最好方法与其电气设计相似，最佳设计流程如下：

· 放置变压器

· 设计电源开关电流回路

· 设计输出整流器电流回路

· 连接到交流电源电路的控制电路

· 设计输入电流源回路和输入滤波器 设计输出负载回路和输出滤波器根据电路的功能单元，对电路的全部元器件进行布局时，要

符合以下原则：

- (1) 首先要考虑 PCB 尺寸大小。PCB 尺寸过大时，印制线条长，阻抗增加，抗噪声能力下降，成本也增加；过小则散热不好，且邻近线条易受干扰。电路板的最佳形状矩形，长宽比为 3：2 或 4：3，位于电路板边缘的元器件，离电路板边缘一般不小于 2mm。
- (2) 放置器件时要考虑以后的焊接，不要太密集。
- (3) 以每个功能电路的核心元件为中心，围绕它来进行布局。元器件应均匀、整齐、紧凑地排列在 PCB 上，尽量减少和缩短各元器件之间的引线和连接，去耦电容尽量靠近器件的 VCC。
- (4) 在高频下工作的电路，要考虑元器件之间的分布参数。一般电路应尽可能使元器件平行排列。这样，不但美观，而且装焊容易，易于批量生产。
- (5) 按照电路的流程安排各个功能电路单元的位置，使布局便于信号流通，并使信号尽可能保持一致的方向。
- (6) 布局的首要原则是保证布线的布通率，移动器件时注意飞线的连接，把有连线关系的器件放在一起。
- (7) 尽可能地减小环路面积,以抑制开关电源的辐射干扰。

四、布线开关电源中包含有高频信号，PCB 上任何印制线都可以起到天线的作用，印制线的长度和宽度会影响其阻抗和感抗，从而影响频率响应。即使是通过直流信号的印制线也会从邻近的印制线耦合到射频信号并造成电路问题(甚至再次辐射出干扰信号)。因此应将所有通过交流电流的印制线设计得尽可能短而宽，这意味着必须将所有连接到印制线和连接到其他电源线的元器件放置得很近。印制线的长度与其表现出的电感量和阻抗成正比，而宽度则与印制线的电感量和阻抗成反比。长度反映出印制线响应的波长，长度越长，印制线能发送和接收电磁波的频率越低，它就能辐射出更多的射频能量。根据印制线路板电流的大小，尽量加粗电源线宽度，减少环路电阻。同时、使电源线、地线的走向和电流的方向一致，这样有助于增强抗噪声能力。接地是开关电源四个电流回路的底层支路，作为电路的公共参考点起着很重要的作用，它是控制干扰的重要方法。因此，在布局中应仔细考虑接地线的放置，将各种接地混合会造成电源工作不稳定。在地线设计中应注意以下几点：

1. 正确选择单点接地通常，滤波电容公共端应是其它的接地点耦合到大电流的交流地的唯一连接点，同一级电路的接地点应尽量靠近，并且本级电路的电源滤波电容也应接在该级接地点上，主要是考虑电路各部分回流到地的电流是变化的，因实际流过的线路的阻抗会导致电路各部分地电位的变化而引入干扰。在本开关电源中，它的布线和器件间的电感影响较小，而接地电路形成的环流对干扰影响较大，因而采用一点接地，即将电源开关电流回路（中的几个器件的地线都连到接地脚上，输出整流器电流回路的几个器件的地线也同样接到相应的滤波电容的接地脚上，这样电源工作较稳定，不易自激。做不到单点时，在其地接两二极管或一小电阻，其实接在比较集中的一块铜箔处就可以。

2. 尽量加粗接地线 若接地线很细，接地电位则随电流的变化而变化，致使电子设备的定时信号电平不稳，抗噪声性能变坏，因此要确保每一个大电流的接地端采用尽量短而宽的印制线，尽量加宽电源、地线宽度，最好是地线比电源线宽，它们的关系是：地线 > 电源线 > 信号线，如有可能，接地线的宽度应大于 3mm，也可用大面积铜层作地线用,在印制板上把没被用上的地方都与地相连接作为地线用。进行全局布线的时候，还须遵循以下原则：

- (1).布线方向：从焊接面看，元件的排列方位尽可能保持与原理图相一致，布线方向最好与电路图走线方向相一致，因生产过程中通常需要在焊接面进行各种参数的检测，故这样做便于生产中的检查，调试及检修（注：指在满足电路性能及整机安装与面板布局要求的前提下）。
- (2).设计布线图时走线尽量少拐弯，印刷弧上的线宽不要突变，导线拐角应 ≥ 90 度,力求线条简单明了。
- (3).印刷电路中不允许有交叉电路，对于可能交叉的线条，可以用“钻”、“绕”两种办法解决。即让某引线从别的电阻、电容、三极管

脚下的空隙处“钻”过去，或从可能交叉的某条引线的一端“绕”过去，在特殊情况下如何电路很复杂，为简化设计也允许用导线跨接，解决交叉电路问题。因采用单面板，直插元件位于 top 面，表贴器件位于 bottom 面，所以在布局的时候直插器件可与表贴器件交叠，但要避免焊盘重叠。 3. 输入地与输出地本开关电源中为低压的 DC-DC，欲将输出电压反馈回变压器的初级，两边的电路应有共同的参考地，所以在对两边的地线分别铺铜之后，还要连接在一起，形成共同的地。

五、检查 布线设计完成后，需认真检查布线设计是否符合设计者所制定的规则，同时也需确认所制定的规则是否符合印制板生产工艺的需求，一般检查线与线、线与元件焊盘、线与贯通孔、元件焊盘与贯通孔、贯通孔与贯通孔之间的距离是否合理，是否满足生产要求。 电源线和地线的宽度是否合适，在 PCB 中是否还有能让地线加宽的地方。注意：有些错误可以忽略，例如有些接插件的 Outline 的一部分放在了板框外，检查间距时会出错；另外每次修改过走线和过孔之后，都要重新覆铜一次。

六、复查根据“PCB 检查表”，内容包括设计规则，层定义、线宽、间距、焊盘、过孔设置，还要重点复查器件布局的合理性，电源、地线网络的走线，高速时钟网络的走线与屏蔽，去耦电容的摆放和连接等。

七、设计输出 输出光绘文件的注意事项：

- a. 需要输出的层有布线层（底层）、丝印层（包括顶层丝印、底层丝印）、阻焊层（底层阻焊）、钻孔层（底层），另外还要生成钻孔文件（NC Drill）
- b. 设置丝印层的 Layer 时，不要选择 Part Type，选择顶层（底层）和丝印层的 Outline、Text、Linec. 在设置每层的 Layer 时，将 Board Outline 选上，设置丝印层的 Layer 时，不要选择 Part Type，选择顶层（底层）和丝印层的 Outline、Text、Line。d. 生成钻孔文件时，使用 PowerPCB 的缺省设置，不要作任何改。

开关电源的测试

良好的开关电源必须符合所有功能规格、保护特性、安全规范（如 UL、CSA、VDE、DEMKO、SEMKO，长城等等之耐压、抗燃、漏电流、接地等安全规格）、电磁兼容能力（如 FCC、CE 等之传导与辐射干扰）、可靠性（如老化寿命测试）、及其他之特定需求等。

开关电源包括下列之型式：

- AC-DC：如个人用、家用、办公室用、工业用(电脑、周边、传真机、充电器)
- DC-DC：如可携带式产品(移动电话、笔记本电脑、摄影机，通信交换机二次电源)
- DC-AC：如车用转换器(12V~115/230V)、通信交换机振铃信号电源
- AC-AC：如交流电源变压器、变频器、UPS 不间断电源

开关电源的设计、制造及品质管理等测试需要精密的电子仪器设备来模拟电源供应器实际工作时之各项特性(亦即为各项规格)，并验证能否通过。开关电源有许多不同的组成结构(单输出、多输出、及正负极性等等)和输出电压、电流、功率之组合，因此需要具弹性多样化的测试仪器才能符合众多不同规格之需求。

电气性能(Electrical Specifications)测试

当验证电源供应器的品质时，下列为一般的功能性测试项目，详细说明如下：

一、功能(Functions)测试：

- 输出电压调整(Hold-on Voltage Adjust)
- 电源调整率(Line Regulation)
- 负载调整率(Load Regulation)
- 综合调整率(Conmine Regulation)
- 输出涟波及杂讯(Output Ripple & Noise, RARD)
- 输入功率及效率(Input Power, Efficiency)
- 动态负载或暂态负载(Dynamic or Transient Response)

•电源良好/失效(Power Good/Fail)时间

•起动(Set-Up)及保持(Hold-Up)时间

常规功能(Functions)测试

A. 输出电压调整:

当制造开关电源时, 第一个测试步骤为将输出电压调整至规格范围内。此步骤完成后才能确保后续的规格能够符合。通常, 当调整输出电压时, 将输入交流电压设定为正常值(115Vac 或 230Vac), 并且将输出电流设定为正常值或满载电流, 然后以数字电压表测量电源供应器的输出电压值并调整其电位器(VR)直到电压读值位于要求之范围内。

B. 电源调整率:

电源调整率的定义为电源供应器于输入电压变化时提供其稳定输出电压的能力。此项测试系用来验证电源供应器在最恶劣之电源电压环境下, 如夏天之中午(因气温高, 用电需求量最大)其电源电压最低; 又如冬天之晚上(因气温低, 用电需求量最小)其电源电压最高。在前述之两个极端下验证电源供应器之输出电源之稳定度是否合乎需求之规格。

为精确测量电源调整率, 需要下列之设备:

•能提供可变电压能力的电源, 至少能提供待测电源供应器的最低到最高之输入电压范围, (KIKUSUI PCR 系列电源能提供 0--300VAC 5-1000Hz 的稳定交流电源, 0---400V DC 的直流电源)。

•一个均方根值交流电压表来测量输入电源电压, 众多的数字功率计能精确计量 V A W PF。

•一个精密直流电压表, 具备至少高于待测物调整率十倍以上, 一般应用 5 位以上高精度数字表。

•连接至待测物输出的可变电子负载。

* 测试步骤如下: 于待测电源供应器以正常输入电压及负载状况下热机稳定后, 分别于低输入电压(Min), 正常输入电压(Normal), 及高输入电压(Max)下测量并记录其输出电压值。

电源调整率通常以一正常之固定负载(Nominal Load)下, 由输入电压变化所造成其输出电压偏差率(deviation)的百分比, 如下列公式所示:

$$V0(\max)-V0(\min) / V0(\text{normal})$$

电源调整率亦可用下列方式表示之: 于输入电压变化下, 其输出电压之偏差量须于规定之上下限范围内, 即输出电压之上下限绝对值以内。

C. 负载调整率:

负载调整率的定义为开关电源于输出负载电流变化时, 提供其稳定输出电压的能力。此项测试系用来验证电源在最恶劣之负载环境下, 如个人电脑内装置最少之外设卡且硬盘均不动作(因负载最少, 用电需求量最小)其负载电流最低和个人电脑内装置最多之外设卡且硬盘在动作(因负载最多, 用电需求量最大)其负载电流最高的两个极端下验证电源供应器之输出电源之稳定度是否合乎需求之规格。

* 所需的设备和连接与电源调整率相似, 唯一不同的是需要精密的电流表与待测电源供应器的输出串联。示:

测试步骤如下: 于待测电源供应器以正常输入电压及负载状况下热机稳定后, 测量正常负载下之输出电压值, 再分别于轻载(Min)、重载(Max)负载下, 测量并记录其输出电压值(分别为 Vmax 与 Vmin), 负载调整率通常以正常之固定输入电压下, 由负载电流变化所造成其输出电压偏差率的百分比, 如下列公式所示:

$$V0(\max)-V0(\min) / V0(\text{normal})$$

负载调整率亦可用下列方式表示: 于输出负载电流变化下, 其输出电压之偏差量须于规定之上下限电压范围内, 即输出电压之上下限绝对值以内。

D. 综合调整率:

综合调整率的定义为电源供应器于输入电压与输出负载电流变化时, 提供其稳定输出电压的能力。这是电源调整率与负载调整率的综合, 此项测试系为上述电源调整率与负载调整率的综合, 可提供对电源供应器于改变输入电压与负载状况下更正确的性能验证。

综合调整率用下列方式表示: 于输入电压与输出负载电流变化下, 其输出电压之偏差量须于规定之上下限电压范围内(即输出电压之上下限绝对值以内)或某一百分比界限内。

E. 输出杂讯(PARD):

输出杂讯(PARD)系指于输入电压与输出负载电流均不变的情况下, 其平均直流输出电压上的周期性与随机性偏差量的电压值。输出杂讯是表示在经过稳压及滤波后的直流输出电压上所有不需要的交流和噪声部份(包含低频之 50/60Hz 电源倍频信号、高于 20 KHz 之高频切换信号及其谐波, 再与其它之随机性信号所组成), 通常以 mVp-p 峰对峰值电压为单位来表示。一般的开关电源的规格均以输出直流输出电压的 1%以内为输出杂讯之规格, 其频宽为 20Hz 到 20MHz(或其它更高之频宽如 100MHz 等)。开关电源实际工作时最恶劣的状况(如输出负载电流最大、输入电源电压最低等), 若电源供应器在恶劣环境状况下, 其输出直流电压加上杂

讯后之输出瞬时电压，仍能够维持稳定的输出电压不超过输出高低电压界限情形，否则将可能会导致电源电压超过或低于逻辑电路(如 TTL 电路)之承受电源电压而误动作，进一步造成死机现象。

例如 5V 输出，其输出杂讯要求为 50mV 以内(此时包含电源调整率、负载调整率、动态负载等其它所有变动，其输出瞬时电压应介于 4.75V 至 5.25V 之间，才不致引起 TTL 逻辑电路之误动作)。在测量输出杂讯时，电子负载的 PARD 必须比待测之电源供应器的 PARD 值为低，才不会影响输出杂讯之测量。同时测量电路必须有良好的隔离处理及阻抗匹配，为避免导线上产生不必要的干扰、振铃和驻波，一般都采用双同轴电缆并以 50Ω 于其端点上，并使用差动式量测方法(可避免地回路之杂讯电流)，来获得正确的测量结果，日本计测 KEISOKU GEIKEN 的 PARD 测试仪具备此种功能。

F. 输入功率与效率：

电源供应器的输入功率之定义为以下之公式：

$$\text{True Power} = \text{Pav(watt)} = \int V1 \text{ Ai dt} = \text{Vrms} \times \text{Arms} \times \text{Power Factor}$$

即为对一周期内其输入电压与电流乘积之积分值，需注意的是 $\text{Watt} \neq \text{VrmsArms}$ 而是 $\text{Watt} = \text{VrmsArms} \times \text{P.F.}$ ，其中 P.F. 为功率因素 (Power Factor)，通常电源供应器的功率因素在 0.6~0.7 左右，而大功率之电源供应器具备功率因素校正器者，其功率因素通常大于 0.95，当输入电流波形与电压波形完全相同时，功率因素为 1，并依其不相同之程度，其功率因素为 1~0 之间。

电源供应器的效率之定义为：

$$\sum \text{Vout} \times \text{Iout} / \text{True Power (watts)}$$

即为输出直流功率之总和与输入功率之比值。通常个人电脑用电源供应器之效率为 65%~80% 左右。效率提供对电源供应器正确工作的验证，若效率超过规定范围，即表示设计或零件材料上有问题，效率太低时会导致散热增加而影响其使用寿命。由于近年来对于环保及能源消耗愈来愈重视，如电脑能源之星「Energy Star」对开关电源之要求：于交流输入功率为 30Wrms 时，其效率需为 60% 以上(即此时直流输出功率必须高于 18W)；又对于 ATX 架构开关电源于直流失能(DC Disable)状态其输入功率应不大于 5W。因此交流功率测试仪表需要既精确又范围宽广，才能合乎此项测试之需求。

G. 动态负载或暂态负载

一个定电压输出的电源，于设计中具备反馈控制回路，能够将其输出电压连续不断地维持稳定的输出电压。由于实际上反馈控制回路有一定的频宽，因此限制了电源供应器对负载电流变化时的反应。若控制回路输入与输出之相移于增益(Urity Gain)为 1 时，超过 180 度，则电源供应器之输出便会呈现不稳定、失控或振荡之现象。实际上，电源供应器工作时的负载电流也是动态变化的，而不是始终维持不变(例如硬盘、软驱、CPU 或 RAM 动作等)，因此动态负载测试对电源供应器而言是极为重要的。可编程电子负载可用来模拟电源供应器实际工作时最恶劣的负载情况，如负载电流迅速上升、下降之斜率、周期等，若电源供应器在恶劣负载状况下，仍能够维持稳定的输出电压不产生过高激(Overshoot)或过低(Undershoot)情形，否则会导致电源之输出电压超过负载组件(如 TTL 电路其输出瞬时电压应介于 4.75V 至 5.25V 之间，才不致引起 TTL 逻辑电路之误动作)之承受电源电压而误动作，进一步造成死机现象。

H. 电源良好/失效时间(Power Good、Power Fail 或 Pok)

电源良好信号，简称 PGS(Power Good Signal 或 Pok High)，是电源送往电脑系统的信号，当其输出电压稳定后，通知电脑系统，以便做开机程序之 C 而电源失效信号(Power Fail 或 Pok Low)是电源供应器表示其输出电压尚未达到或下降超过于一正常工作之情况。以上通常由一「PGS」或「Pok」信号之逻辑改变来表示，逻辑为「1 或 High」时，表示为电源良好(Power Good)，而逻辑为「0 或 Low」时，表示为电源失效(Power Fail)，请参考图 5 之时序图：

电源的电源良好(Power Good)时间为从其输出电压稳定时起到 PGS 信号由 0 变为 1 的时间，一般值为 100ms 到 2000ms 之间。电源的电源失效(Power Fail)时间为从 PGS 信号由由 1 变为 0 的时间起到其输出电压低于稳压范围的时间，一般值为 1ms 以上。日本计测 KEISOKU GEIKEN 的电子负载可直接测量电源良好与电源失效时间，并可设定上下限，做为是否合格的判别。

I. 启动时间(Set-Up Time)与保持时间(Hold-Up Time)

启动时间为电源供应器从输入接上电源起到其输出电压上升到稳压范围内为止的时间，以一输出为 5V 的电源供应器为例，启动时间为从电源开机起到输出电压达到 4.75V 为止的时间。

保持时间为电源供应器从输入切断电源起到其输出电压下降到稳压范围外为止的时间，以一输出为 5V 的电源供应器为例，保持时间为从关机起到输出电压低于 4.75V 为止的时间，一般值为 17ms 或 20ms 以上，以避免电力公司供电中于少了半周或一周之状况下而受影响。

启动时间与保持时间的时序如图 6 所示。

I. 其它

•Power Up delay: +5/3.3V 的上升时间(由 10%上升到 90%电压之时间)

- Remote ON/OFF Control: 遥控「开」或「关」之控制
- Fan Speed Control/Monitor: 散热风扇之转速「控制」及「监视」

二、保护动作(Protections)测试:

- 过电压保护(OVP, Over Voltage Protection)
- 短路保护(Short)
- 过电流保护(OCP, Over Current Protection)
- 过功率保护(OPP, Over Power Protection)

保护功能测试

A. 过电压保护(OVP)测试

当电源供应器的输出电压超过其最大的限定电压时, 会将其输出关闭(Shutdown)以避免损坏负载之电路组件, 称为过电压保护。过电压保护测试系用来验证电源供应器当出现上述异常状况时(当电源供应器内部之回馈控制电路或零件损坏时, 有可能产生异常之输出高电压), 能否正确地反应。过电压保护功能对于一些对电压敏感的负载特别重要, 如 CPU、记忆体、逻辑电路等, 因为这些贵重组件若因工作电压太高, 超过其额定值时, 会导致永久性的损坏, 因而损失惨重。电源供应器于过电压情形发生时, 其输出电压波形如图 7 所示。

B. 短路保护测试

, 电源供应器能否正确地反应。)可能是配线连接错误, 或使用电源之组件或零组件故障短路所致(当电源供应器的输出短路时, 则电源供应器应该限制其输出电流或关闭其输出, 以避免损坏。短路保护测试是验证当输出短路时

C. 过电流保护 OCP 测试

当电源供应器的输出电流超过额定时, 则电源供应器应该限制其输出电流或关闭其输出, 以避免负载电流过大而损坏。又若电源供应器之内部零件损坏而造成较正常大的负载电流时, 则电源供应器也应该关闭或限制其输出, 以避免损坏或发生危险。过电流保护测试是验证当上述任一种状况发生时, 电源供应器能否正确地反应。

D. 测试 ΠΠΠO过功保护

稍具变化。)等τρονΣ、ΠΧΟ、ΠςΟ(本项测试通常包含两组或数组输出功率之功率限制保护, 因此较上述单一输出之保护测试过功率保护测试是验证当上述任一种状况发生时, 电源能否正确地反应。超过额定时, 则电源应该限制其输出功率或关闭其输出, 以避免负载功率过大而损坏或发生危险。又若电源内部零件损坏而造成较正常大的负载功率时, 则电源也应该关闭或限制其输出, 以避免损坏。)可为单一输出或多组输出(当电源的输出功率

三、安全(Safety)规格测试:

- 输入电流、漏电电流等
- 耐压绝缘: 电源输入对地, 电源输出对地; 电路板线路须有安全间距。
- 温度抗燃: 零组件需具备抗燃之安全规格, 工作温度须于安全规格内。
- 机壳接地: 需于 0.1 欧姆以下, 以避免漏电触电之危险。
- 变压输出特性: 开路、短路及最大伏安(VA)输出

四、异常测试: 散热风扇停转、电压选择开关设定错误

五、电磁兼容(Electromagnetic Compliance)测试:

电源供应器需符合 CISPR 22、CLASS B 之传导与辐射的 4dB 余裕度, 电源供应器需在以下三种负载状况下测试: 每个输出为空载、每个输出为 50%负载、每个输出为 100%负载。

- 传导干扰/免疫: 经由电源线之传导性干扰/免疫
- 辐射干扰/免疫: 经由磁场之辐射性干扰/免疫

六、可靠性(Reliability)测试:

老化寿命测试: 高温(约 50-60 度)及长时间(约 8-24 小时)满载测试。

七、其它测试:

- ESD: Electrostatic Discharge 静电放电(人或物体经由直接接触或间隔放电引起)在 2-15KV 之 ESD 脉波下, 待测物之每个表面区域应执行连续 20 次的静电放电测试, 电源供应器之输出需继续工作而不会产生突波(Glitch)或中断(Interrupt), 直接 ESD 接触时不应造成过激(Overshoot)或欠激(Undershoot)之超过稳压范围之状况、及过电压保护(OVP)、过电流保护(OCP)等。另外, 于 ESD 放电电压在高达 25KV 下, 应不致造成组件故障(Failure)。
- EFT: Electrical Fast Transient or burst 一串切换杂讯经由电源线或 I/O 线路之传导性干扰(由供电或建筑物内引起)。
- Surge: 经由电源线之高能量暂态杂讯干扰(电灯之闪动引起)。

- VD/I: Dips and Interrupts 电源电压下降或中断(电力分配系统之故障或失误所引起, 例如供电过载或空气开关跳动所引起)
- Inrush: 开机输入冲击电流, 开关电源对供电系统的影响

贴片电容的种类和特点

详细内容:贴片电容的种类和特点

单片陶瓷电容器(通称贴片电容)是目前用量比较大的常用元件,就 AVX 公司生产的贴片电容来讲有 NPO、X7R、Z5U、Y5V 等不同的规格,不同的规格有不同的用途。下面我们仅就常用的 NPO、X7R、Z5U 和 Y5V 来介绍一下它们的性能和应用以及采购中应注意的订货事项以引起大家的注意。不同的公司对于上述不同性能的电容器可能有不同的命名方法,这里我们引用的是 AVX 公司的命名方法,其他公司的产品请参照该公司的产品手册。

NPO、X7R、Z5U 和 Y5V 的主要区别是它们的填充介质不同。在相同的体积下由于填充介质不同所组成的电容器的容量就不同,随之带来的电容器的介质损耗、容量稳定性等也就不同。所以在使用电容器时应根据电容器在电路中作用不同来选用不同的电容器。

一 NPO 电容器

NPO 是一种最常用的具有温度补偿特性的单片陶瓷电容器。它的填充介质是由铷、钶和一些其它稀有氧化物组成的。

NPO 电容器是电容量和介质损耗最稳定的电容器之一。在温度从 -55℃ 到 +125℃ 时容量变化为 $0 \pm 30 \text{ppm}/^\circ\text{C}$,电容量随频率的变化小于 $\pm 0.3 \Delta C$ 。NPO 电容的漂移或滞后小于 $\pm 0.05\%$,相对大于 $\pm 2\%$ 的薄膜电容来说是可以忽略不计的。其典型的容量相对使用寿命的变化小于 $\pm 0.1\%$ 。NPO 电容器随封装形式不同其电容量和介质损耗随频率变化的特性也不同,大封装尺寸的要比小封装尺寸的频率特性好。下表给出了 NPO 电容器可选取的容量范围。

封装 DC=50V DC=100V

0805 0.5---1000pF 0.5---820pF

1206 0.5---1200pF 0.5---1800pF

1210 560---5600pF 560---2700pF

2225 1000pF---0.033 μF 1000pF---0.018 μF

NPO 电容器适用于振荡器、谐振器的槽路电容,以及高频电路中的耦合电容。

二 X7R 电容器

X7R 电容器被称为温度稳定型的陶瓷电容器。当温度在 -55℃ 到 +125℃ 时其容量变化为 15%,需要注意的是此时电容器容量变化是非线性的。

X7R 电容器的容量在不同的电压和频率条件下是不同的,它也随时间的变化而变化,大约每 10 年变化 1% ΔC ,表现为 10 年变化了约 5%。

X7R 电容器主要应用于要求不高的工业应用,而且当电压变化时其容量变化是可以接受的条件下。它的主要特点是在相同的体积下电容量可以做的比较大。下表给出了 X7R 电容器可选取的容量范围。

封装 DC=50V DC=100V

0805 330pF---0.056 μF 330pF---0.012 μF

1206 1000pF---0.15 μF 1000pF---0.047 μF

1210 1000pF---0.22 μF 1000pF---0.1 μF

2225 0.01 μF ---1 μF 0.01 μF ---0.56 μF

三 Z5U 电容器

Z5U 电容器称为“通用”陶瓷单片电容器。这里首先需要考虑的是使用温度范围,对于 Z5U 电容器主要的是它的小尺寸和低成本。对于上述三种陶瓷单片电容来说在相同的体积下 Z5U 电容器有最大的电容量。但它的电容量受环境和工作条件影响较大,它的老化率最大可达每 10 年下降 5%。

尽管它的容量不稳定,由于它具有小体积、等效串联电感 (ESL) 和等效串联电阻 (ESR) 低、良好的频率响应,使其具有广泛的应用范围。尤其是在退耦电路的应用中。下表给出了 Z5U 电容器的取值范围。

封装 DC=25V DC=50V

0805 0.01 μ F---0.12 μ F 0.01 μ F---0.1 μ F

1206 0.01 μ F---0.33 μ F 0.01 μ F---0.27 μ F

1210 0.01 μ F---0.68 μ F 0.01 μ F---0.47 μ F

2225 0.01 μ F---1 μ F 0.01 μ F---1 μ F

Z5U 电容器的其他技术指标如下:

工作温度范围 +10 $^{\circ}$ C --- +85 $^{\circ}$ C

温度特性 +22% ---- -56%

介质损耗 最大 4%

四 Y5V 电容器

Y5V 电容器是一种有一定温度限制的通用电容器,在-30 $^{\circ}$ C 到 85 $^{\circ}$ C 范围内其容量变化可达+22%到-82%。

Y5V 的高介电常数允许在较小的物理尺寸下制造出高达 4.7 μ F 电容器。

Y5V 电容器的取值范围如下表所示

封装 DC=25V DC=50V

0805 0.01 μ F---0.39 μ F 0.01 μ F---0.1 μ F

1206 0.01 μ F---1 μ F 0.01 μ F---0.33 μ F

1210 0.1 μ F---1.5 μ F 0.01 μ F---0.47 μ F

2225 0.68 μ F---2.2 μ F 0.68 μ F---1.5 μ F

Y5V 电容器的其他技术指标如下:

工作温度范围 -30 $^{\circ}$ C --- +85 $^{\circ}$ C

温度特性 +22% ---- -82%

介质损耗 最大 5%

贴片电容器命名方法可到 AVX 网站上找到。不同的公司命名方法可能略有不同。

晶体振荡器选用指南

晶体振荡器选用指南

晶体振荡器被广泛应用到军、民用通信电台,微波通信设备,程控电话交换机,无线电综合测试仪,BP 机、移动电话发射台,高档频率计数器、GPS、卫星通信、遥控移动设备等。它有多种封装,特点是电气性能规范多种多样。它有好几种不同的类型:电压控制晶体振荡器 (VCXO)、温度补偿晶体振荡器 (TCXO)、恒温晶体振荡器 (OCXO),以及数字补偿晶体振荡器 (MCXO 或 DTCXO),每种类型都有自己的独特性能。如果您需要使您的设备即开即用,您就必须选用 VCXO 或温补晶振,如果要求稳定度在 0.5ppm 以上,则需选择数字温补晶振 (MCXO)。模拟温补晶振适用于稳定度要求在 5ppm~0.5ppm 之间的需求。VCXO 只适合于稳定度要求在 5ppm 以下的产品。在不需要即开即用的环境下,如果需要信号稳定度超过 0.1ppm 的,可选用 OCXO。

频率稳定性的考虑

晶体振荡器的主要特性之一是工作温度内的稳定性，它是决定振荡器价格的重要因素。稳定性愈高或温度范围愈宽，器件的价格亦愈高。工业级标准规定的-40~+75℃这个范围往往只是出于设计者们的习惯，倘若-30~+70℃已经够用，那么就不必去追求更宽的温度范围。设计工程师要慎密决定特定应用的实际需要，然后规定振荡器的稳定度。指标过高意味着花钱愈多。

晶体老化是造成频率变化的又一重要因素。根据目标产品的预期寿命不同，有多种方法可以减弱这种影响。晶体老化会使输出频率按照对数曲线发生变化，也就是说在产品使用的第一年，这种现象才最为显著。例如，使用10年以上的晶体，其老化速度大约是第一年的3倍。采用特殊的晶体加工工艺可以改善这种情况，也可以采用调节的办法解决，比如，可以在控制引脚上施加电压（即增加电压控制功能）等。

与稳定度有关的其他因素还包括电源电压、负载变化、相位噪声和抖动，这些指标应该规定出来。对于工业产品，有时还需要提出振动、冲击方面的指标，军用品和宇航设备的要求往往更多，比如压力变化时的容差、受辐射时的容差，等等。

输出

必须考虑的其它参数是输出类型、相位噪声、抖动、电压特性、负载特性、功耗、封装形式，对于工业产品，有时还要考虑冲击和振动、以及电磁干扰(EMI)。晶体振荡器可HCMOS/TTL兼容、ACMOS兼容、ECL和正弦波输出。每种输出类型都有它的独特波形特性和用途。应该关注三态或互补输出的要求。对称性、上升和下降时间以及逻辑电平对某些应用来说也要作出规定。许多DSP和通信芯片组往往需要严格的对称性(45%至55%)和快速的上升和下降时间(小于5ns)。

相位噪声和抖动

在频域测量获得的相位噪声是短期稳定度的真实量度。它可测量到中心频率的1Hz之内和通常测量到1MHz。

晶体振荡器的相位噪声在远离中心频率的频率下有所改善。TCXO和OCXO振荡器以及其它利用基波或谐波方式的晶体振荡器具有最好的相位噪声性能。采用锁相环合成器产生输出频率的振荡器比采用非锁相环技术的振荡器一般呈现较差的相位噪声性能。

抖动与相位噪声相关，但是它在时域下测量。以微微秒表示的抖动可用有效值或峰—峰值测出。许多应用，例如通信网络、无线数据传输、ATM和SONET要求必须满足严格的抖动指标。需要密切注意在这些系统中应用的振荡器的抖动和相位噪声特性。

电源和负载的影响

振荡器的频率稳定性亦受到振荡器电源电压变动以及振荡器负载变动的影晌。正确选择振荡器可将这些影响减到最少。设计者应在建议的电源电压容差和负载下检验振荡器的性能。不能期望只能额定驱动15pF的振荡器在驱动50pF时会有好的表现。在超过建议的电源电压下工作的振荡器亦会呈现较差的波形和稳定性。

对于需要电池供电的器件，一定要考虑功耗。引入3.3V的产品必然要开发在3.3V下工作的振荡器。

较低的电压允许产品在低功率下运行。现今大部分市售的表面贴装振荡器在3.3V下工作。许多采用传统5V器件的穿孔式振荡器正在重新设计，以便3.3V下工作。

封装

与其它电子元件相似，时钟振荡器亦采用愈来愈小型的封装。大普通信技术有限公司能够根据客户的需要制作各种类型、不同尺寸的晶体振荡器(具体资料请参看产品手册)。通常，较小型的器件比较大型的表面贴装或穿孔封装器件更昂贵。所以，小型封装往往要在性能、输出选择和频率选择之间作出折衷。

工作环境

晶体振荡器实际应用的环境需要慎重考虑。例如，高强度的振动或冲击会给振荡器带来问题。

除了可能产生物理损坏，振动或冲击可在某些频率下引起错误的动作。这些外部感应的扰动会产生频率跳动、增加噪声份量以及间歇性振荡器失效。

对于要求特殊 EMI 兼容的应用，EMI 是另一个要优先考虑的问题。除了采用合适的 PC 主板布局技术，重要的是选择可提供辐射量最小的时钟振荡器。

一般来说，具有较慢上升/下降时间的振荡器呈现较好的 EMI 特性。

检测

对于晶振的检测，通常仅能用示波器(需要通过电路板给予加电)或频率计实现。万用表或其它测试仪等是无法测量的。如果没有条件或没有办法判断其好坏时，那只能采用代换法了,这也是行之有效的。

晶振常见的故障有: (a)内部漏电; (b)内部开路; (c)变质频偏; (d)与其相连的外围电容漏电。从这些故障看,使用万用表的高阻档和测试仪的 VI 曲线功能应能检查出(C),(D)项的故障,但这将取决于它的损坏程度。

总结

器件选型时一般都要留出一些余量,以保证产品的可靠性。选用较高档的器件可以进一步降低失效概率,带来潜在的效益,这一点在比较产品价格的时候也要考虑到。要使振荡器的“整体性能”趋于平衡、合理,这就需要权衡诸如稳定度、工作温度范围、晶体老化效应、相位噪声、成本等多方面因素,这里的成本不仅仅包含器件的价格,而且包含产品全寿命的使用成本。

附注

下面介绍了几个足以表现出一个晶体振荡器性能高低的技术指标,了解这些指标的含义,将有助于设计工程师顺利完成设计项目,同时也可以大大减少整机生产厂家的采购成本。

总频差: 在规定的时间内, 由于规定的工作和非工作参数全部组合而引起的晶体振荡器频率与给定标称频率的最大频差。

说明: 总频差包括频率温度稳定度、频率常温准确度、频率老化率、频率电源电压稳定度(电压特性)和频率负载稳定度(负载特性)共同造成的最大频差。一般只在对短期频率稳定度关心, 而对其他频率稳定度指标不严格要求的场合采用。

频率温度稳定度: 在标称电源和负载下, 工作在规定温度范围内的不带隐含基准温度或带隐含基准温度的最大允许频偏。

说明:

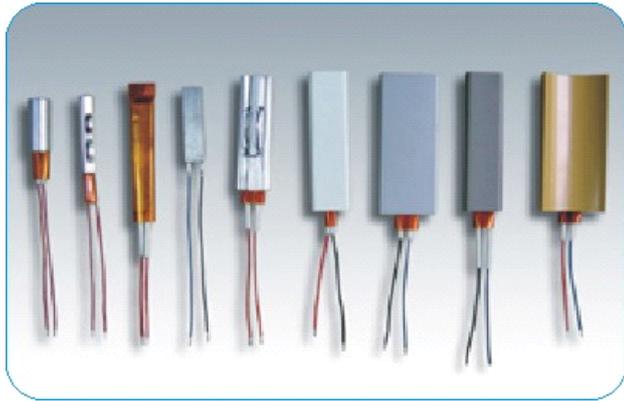
$$fT = \pm(f_{\max} - f_{\min}) / (f_{\max} + f_{\min})$$

$fT_{\text{ref}} = \pm \text{MAX} [| (f_{\max} - f_{\text{ref}}) / f_{\text{ref}} | , | (f_{\min} - f_{\text{ref}}) / f_{\text{ref}} |]$ fT : 频率温度稳定度(不带隐含基准温度)

fT_{ref} : 频率温度稳定度(带隐含基准温度)

PTC 热敏电阻的发展

1950年荷兰PHILIPS公司的海曼等人,在BaTiO₃材料中掺入稀土元素做半导化实验时,发现这种半导体材料的电阻率具有很高的正温度系数,存在很强的PTC效应,探索这种现象的机理很快成为引人瞩目的研究课题。



几十年来,在世界众多科学工作者的努力下,在许多方面取得了重大突破.不仅理论日臻成熟,其应用范围也在不断扩大.随着研发和设计工程师对PTC热敏电阻的了解越来越深刻,许多新用途不断被开发出来,目前已渗透到日常生活、工业技术、军事科学、通讯、宇航等各个领域。

在我国,从60年代开始PTC热敏电阻的科研工作并逐步发展到生产,1982年,“仪表材料学会”从敏感元件角度组织第一次PTC讨论会;1990年,《家电科技》杂志在广州组织家电轻工系统PTC讨论会,迄今已举行过八次;1990年,国家科委组织科研院所及厂家对PTC热敏电阻及应用器件进行攻关,使PTC热敏电阻进入快速发展时期,到目前已形成多个年产5000万只的骨干大厂,分布于山东、广东、浙江、四川、湖北、江苏等地。

目前大量被使用的PTC热敏电阻种类: 自动消磁用PTC热敏电阻

延时启动用PTC热敏电阻

恒温加热用PTC热敏电阻

过流保护用PTC热敏电阻

过热保护用PTC热敏电阻

传感器用PTC热敏电阻

半导体热敏电阻的工作原理

1 半导体热敏电阻的工作原理

按温度特性热敏电阻可分为两类,随温度上升电阻增加的为正温度系数热敏电阻,反之为负温度系数热敏电阻。

(1) 正温度系数热敏电阻的工作原理

此种热敏电阻以钛酸钡(BaTiO₃)为基本材料,再掺入适量的稀土元素,利用陶瓷工艺高温烧结而成。纯钛酸钡是一种绝缘材料,但掺入适量的稀土元素如镧(La)和铌(Nb)等以后,变成了半导体材料,被称半导体化钛酸钡。它是一种多晶体材料,晶粒之间存在着晶粒界面,对于导电电子而言,晶粒间界面相当于一个位垒。当温度低时,由于半导体化钛酸钡内电场的作用,导电电子可以很容易越过位垒,所以电阻值较小;当温度升高到居里点温度(即临界温度,此元件的“温度控制点”一般钛酸钡的居里点为120℃)时,内电场受到破坏,不能帮助导电电子越过位垒,所以表现为电阻值的急剧增加。因为这种元件具有未达居里点前电阻随

温度变化非常缓慢，具有恒温、调温和自动控温的功能，只发热，不发红，无明火，不易燃烧，电压交、直流3~440V均可，使用寿命长，非常适用于电动机等电器装置的过热探测。

(2) 负温度系数热敏电阻的工作原理

负温度系数热敏电阻是以氧化锰、氧化钴、氧化镍、氧化铜和氧化铝等金属氧化物为主要原料，采用陶瓷工艺制造而成。这些金属氧化物材料都具有半导体性质，完全类似于锗、硅晶体材料，体内的载流子（电子和空穴）数目少，电阻较高；温度升高，体内载流子数目增加，自然电阻值降低。负温度系数热敏电阻类型很多，使用区分低温（-60~300℃）、中温（300~600℃）、高温（>600℃）三种，有灵敏度高、稳定性好、响应快、寿命长、价格低等优点，广泛应用于需要定点测温的温度自动控制电路，如冰箱、空调、温室等的温控系统。

热敏电阻与简单的放大电路结合，就可检测千分之一度的温度变化，所以和电子仪表组成测温计，能完成高精度的温度测量。普通用途热敏电阻工作温度为-55℃~+315℃，特殊低温热敏电阻的工作温度低于-55℃，可达-273℃。

2 热敏电阻的型号

我国产热敏电阻是按部颁标准 SJ1155-82 来制定型号，由四部分组成。

第一部分：主称，用字母‘M’表示 敏感元件。

第二部分：类别，用字母‘Z’表示正温度系数热敏电阻器，或者用字母‘F’表示负温度系数热敏电阻器。

第三部分：用途或特征，用一位数字（0-9）表示。一般数字‘1’表示普通用途，‘2’表示稳压用途（负温度系数热敏电阻器），‘3’表示微波测量用途（负温度系数热敏电阻器），‘4’表示旁热式（负温度系数热敏电阻器），‘5’表示测温用途，‘6’表示控温用途，‘7’表示消磁用途（正温度系数热敏电阻器），‘8’表示线性型（负温度系数热敏电阻器），‘9’表示恒温型（正温度系数热敏电阻器），‘0’表示特殊型（负温度系数热敏电阻器）

第四部分：序号，也由数字表示，代表规格、性能。

往往厂家出于区别本系列产品的特殊需要，在序号后加‘派生序号’，由字母、数字和‘-’号组合而成。

例： M Z 1 1

序号

普通用途

正温度系数热敏电阻器

敏感元件

3 热敏电阻器的主要参数

各种热敏电阻器的工作条件一定要在其出厂参数允许范围之内。热敏电阻的主要参数有十余项：标称电阻值、使用环境温度（最高工作温度）、测量功率、额定功率、标称电压（最大工作电压）、工作电流、温度系数、材料常数、时间常数等。其中标称电阻值是在 25℃零功率时的电阻值，实际上总有一定误差，应在±10%之内。普通热敏电阻的工作温度范围较大，可根据需要从-55℃到+315℃选择，值得注意的是，不同型号热敏电阻的最高工作温度差异很大，如 MF11 片状负温度系数热敏电阻器为+125℃，而 MF5 3-1 仅为+70℃，学生实验时应注意（一般不要超过 50℃）。



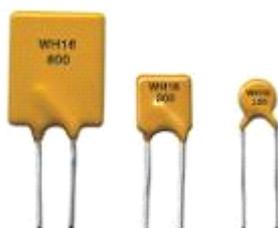
NTC 热敏电阻系列



热敏电阻温度传感器



PTC 热敏电阻系列



MYG 压敏电阻系列



MF11 温度补偿型热敏电阻

自恢复保险丝系列



MF52 测温型热敏电阻

陶瓷电容产品



MF58 玻封测温型热敏电阻



MF72 功率型热敏电阻



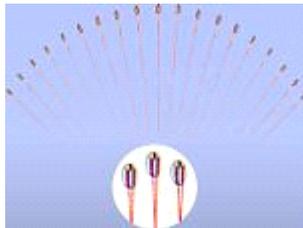
MF73 大功率型热敏电阻



MF74 超大功率型热敏电阻



SMD 测温 NTC 热敏电阻



MF51 单端玻封热敏电阻



MF55 绝缘薄膜型热敏电阻



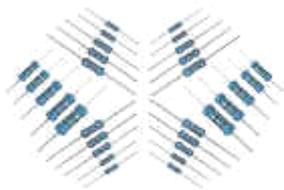
WMZ11A 灯丝预热型热敏电阻



WMZ11B 智能型 PTC 热敏电阻



WMZ12A 过流过热型热敏电阻



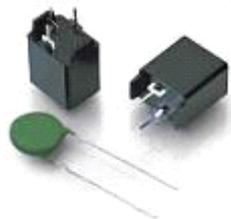
WMZD LED 恒流补偿热敏电阻



WMZ58 测温/补偿型 PTC 热敏电阻



WMZ6 温度控制型热敏电阻



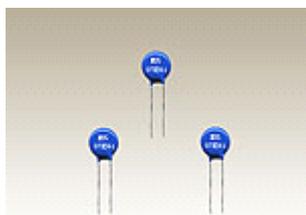
WMZ7 消磁型 PTC 热敏电阻



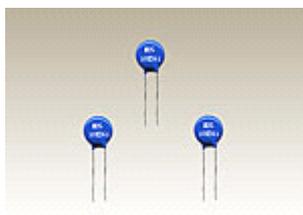
WMZ91 电机延时启动热敏电阻



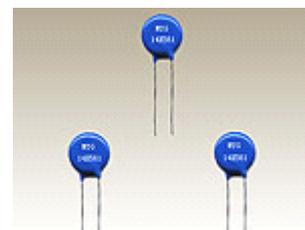
WMZ92 电机延时启动热敏电阻



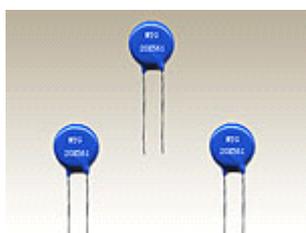
MYG07 压敏电阻系列



MYG10 压敏电阻系列



MYG14 压敏电阻系列



MYG20 压敏电阻系列



MYLA25 压敏电阻系列



MYLA32 压敏电阻系列



MYL 防雷压敏电阻系列



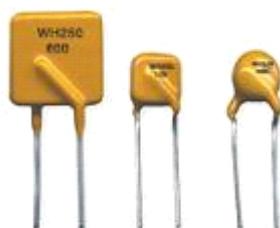
MYLS 防雷压敏电阻系列



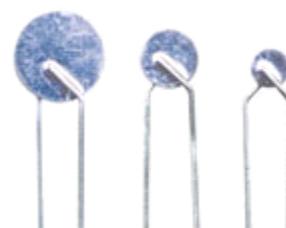
贴片压敏电阻系列



600V/400V 自恢复保险丝



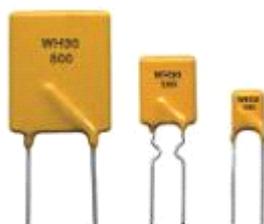
250V 自恢复保险丝



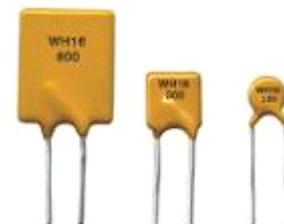
120V 自恢复保险丝



60V 自恢复保险丝



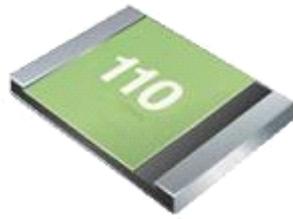
30V 自恢复保险丝



16V 自恢复保险丝



6V 自恢复保险丝



SMD 贴片自恢复保险丝



电池片用 PPTC 自恢复保险丝



圆型电池用 PPTC 自恢复保险丝



WMZ12A 陶瓷自恢复保险丝



独石电容、贴片电容



高压瓷片电容

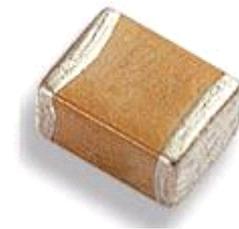
片式多层陶瓷电容器又称独石电容器，是世界上用量最大、发展最快的片式元件品种。根据所使用的材料，可分为三类，一类为温度补偿类，二类为高介电常数类，三类为半导体类，主要用于电子整机中的振荡、耦合、滤波、旁路电路中。是以电子陶瓷材料作介质，将预制好的陶瓷浆料通过流延方式制成厚度小于 10 微米陶瓷介质薄膜，然后在介质薄膜上印刷内电极，并将印有内电极的陶瓷介质膜片交替叠合热压，形成多个电容器并联，在高温下一次烧结成为一个不可分割的整体芯片，然后在芯片的端部涂敷外电极浆料，使之与内电极形成良好的电气连接，再经复温还原，形成片式陶瓷电容器的两极。其发展趋势是：1、片式化率迅速增长；2、尺寸不断缩小；3、厚度不断变薄变轻；4、生产规模不断扩大；5、复合度不断提高；6、技术不断更新。低失真率和冲击噪音小、寿命长、高安全性和高可靠性、低成本的片式多层陶瓷电容器不断涌现。



轴向引线独石电容



径向引线独石电容



贴片电容



CC1 50V 低压瓷片电容



CC81 1KV~10KV 高压瓷片电容



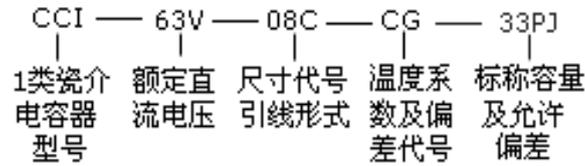
250ac,500Vac 交流安规电容

CC1 温度补偿型圆片瓷介电容器具有电容量变化与温度呈线性,容量稳定性高,低损耗,多种温度系数,适用于谐振回路及温度补偿效应的回路。

CC1 型 1 类瓷介电容器 (GB/T5967-96)

CC1 型 1 类固定瓷介电容器经中国电子元器件质量认证委员会于 1983 年认证通过。质量认证合格证书编号为“认字第 005 号”,质量认证合格产品表编号为“PRCQ—02—002”。CC1 型 1 类固定瓷介电容器详细规范 (GB5971-86) 符合国际电工委员会标准 IEC384—1 和 IEC384—8。

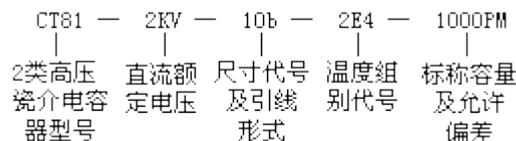
- 气候类别: 55/085/21
- 可靠性等级: L (置信度 60%)
- 可按 QZJ840624 七专技术条件供货。
- 用途: CCI 型 1 类瓷介电容器 Q 值高,容量稳定。用于谐振回路和需要补偿温度效应的电路中。
- 型号示例:



CC81 型高压瓷介电容器环氧树脂包封,具有容量稳定性高,稳定性高,低损耗,多种温度系数。

CC81 型 1 类高压瓷介电容器

- 气候类别: 25/085/21 40/085/21 55/085/21
- 特点: 损耗低、自身发热小、容量温度特性好, UL94V-0 阻燃环氧粉末包封。
- 可按军品供货。
- 用途: 直流 1~3KV 高压调谐电路, 开关电源的缓冲电路。
- 型号示例:
- 型号示例:



CT7 交流瓷介电容器环氧树脂包封,适用于需安认证的交流电路,X1,Y2 型。

CT7 型 交流瓷介电容器 (GB/T14472-1998)

- 气候类别: 25/085/21
- 可按军品供货。
- 用途: 各类电子、电器设备, 用于天线耦合, 开关电路及跨接电源线等。
- 型号示例:

CT7	—	400V _{AC}	—	10b	—	2B4	—	470PK
2类交流		额定交		尺寸代号		温度组		标称容量
瓷介电容		流电压		引线形式		别代号		及允许
器型号								偏差