

第一章 电子元器件识别与检测

一、 实验目的

1. 了解元器件的基本概念和安装前的处理。
2. 掌握元器件的主要功能及挑选元器件的思考角度。
3. 了解常用测量仪器的功能，并掌握其使用方法。

二、 实验原理

1. 基本概念

每一台电子产品整机，都由具有一定功能的电路、部件和工艺结构所组成。其各项指标，包括电气性能、质量和可靠性等的优劣程度，不仅取决于电路原理设计、结构设计、工艺设计的水平，还取决于能否正确地选用电子元器件及各种原材料。并且，电子元器件和各种原材料是实现电路原理设计、结构设计、工艺设计的重要依据。电子行业的每一个从业人员都应该熟悉和掌握常用元器件的性能、特点及其使用范围。

电子元器件是在电路中具有独立电气功能的基本单元，在各类电子产品中占有重要的地位，特别是通用电子元器件，如电阻器、电容器、电感器、晶体管、集成电路和开关、接插件等，更是电子设备中必不可少的基本材料。电子元器件可以分为有源元器件和无源元器件两大类。有源元器件在工作时，其输出不仅依靠输入信号，还要依靠电源，或者说，它在电路中起到能量转换的作用。例如，晶体管、集成电路等就是最常用的有源元器件。无源元器件一般又可以分为耗能元件、储能元件和结构元件三种。电阻器是典型的耗能元件；储存电能的电容器和储存磁能的电感器属于储能元件；接插件和开关等属于结构元件。这些元器件各有特点，在电路中起着不同的作用。通常，称有源元器件为“器件”，称无源元器件为“元件”。

通常，对电子元器件的主要要求是可靠性高、精确度高、体积微小、性能稳定、符合使用环境条件等。电子元器件总的发展趋向是集成化、微型化、提高性能、改进结构。

2. 常用元器件

1) 电阻器

电阻器是电子整机中使用最多的基本元件之一，从阻值方面可分为固定电阻器(电阻器)、可变电阻器(电位器)和特种电阻器三大类。在电路中用于稳定、调节、控制电压或电流的大

小，起到限流、降压、偏置、取样、调节时间常数、抑制寄生振荡等作用。电阻的主要技术指标包括标称阻值、额定功率和阻值精度（允许偏差）三个，另外还有温度系数、非线性、噪声和极限电压等。

主要技术指标

- 标称阻值：通常是指电阻表面上标注的阻值。在实际应用中，电阻的单位是欧姆（简称欧），用“ Ω ”表示。为了对不同阻值的电阻进行标注，还会用千欧（ $k\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ）等单位。其换算关系为： $1M\Omega=1000k\Omega$ ； $1k\Omega=1000\Omega$ 。
- 额定功率：是指电阻器在电路中长时间连续工作，不损坏或不显著改变其性能所允许消耗的最大功率。它并不是电阻器在电路中工作时一定要消耗的功率，而是电阻器在电路中工作时，允许消耗功率的限额。电阻实质上是把吸收的电能转换成热能的换能元件。电阻在电路中消耗电能，并使自身的温度升高，其负荷能力取决于电阻在长期稳定工作的情况下所允许发热的温度。在选择电阻时，额定功率大约为在电路中实际功耗的 1.5~2 倍以上。
- 阻值精度（允许偏差）：一只电阻的实际阻值不可能与标称阻值绝对相等，两者之间会存在一定的偏差，实际阻值与标称阻值的相对误差为阻值精度，允许相对误差的范围叫做允许偏差。允许偏差小的电阻器，其阻值精度就越高，稳定性也好，但其生产成本相对较高，价格也贵。通常，普通电阻的允许偏差可分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等，而高精度电阻的允许偏差有 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、……、 $\pm 0.001\%$ 等十多个等级。

电阻的参数标注方法

电阻器的在电路中的参数标注方法有 3 种，即直标法、色标法和数标法。

a、直标法是将电阻器的标称值用数字和文字符号直接标在电阻体上，其允许偏差则用百分数或字母表示，未标偏差值的即为 $\pm 20\%$ 。

b、数码标示法主要用于贴片等小体积的元器件。在三位数码中，从左至右第一、二位数表示有效数字，第三位表示 10 的幂次。若用 R 表示则为 0。如：472 表示 $47 \times 10^2 \Omega$ （即 $4.7k\Omega$ ）；R22 表示 0.22Ω 。

c、色环标注法使用最多，普通的色环电阻器用 4 环表示，精密电阻器用 5 环表示。紧靠电阻体一端头的色环为第一环，露着电阻体本色较多的另一端头为末环。现举例如下：

如果色环电阻器用四环表示，前面两位数字是有效数字，第三位是 10 的倍幂，第四环是色环电阻器的允许偏差（见图 1-1）。

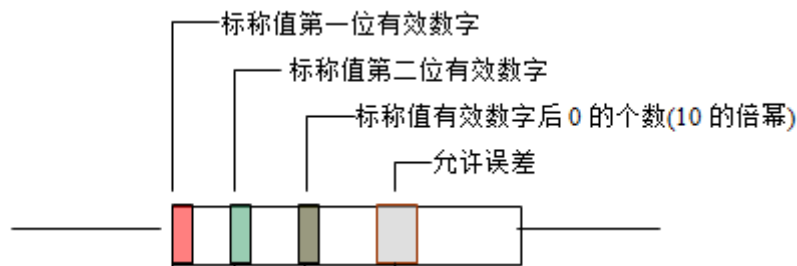


图 1-1 四色环电阻器示意图

如果色环电阻器用五环表示，前面三位数字是有效数字，第四位是 10 的倍幂，第五环是色环电阻器的允许偏差（见图 1-2 错误!未找到引用源。）。

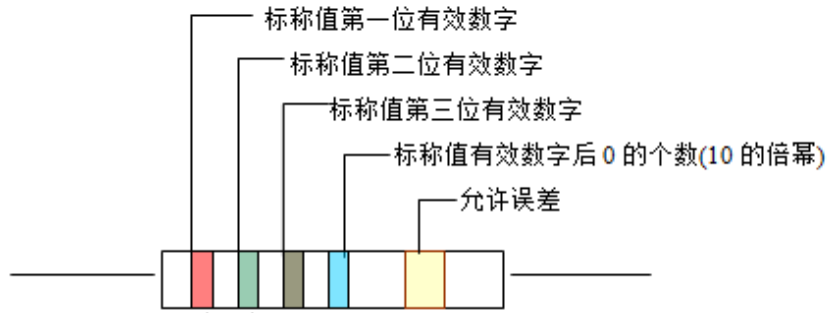
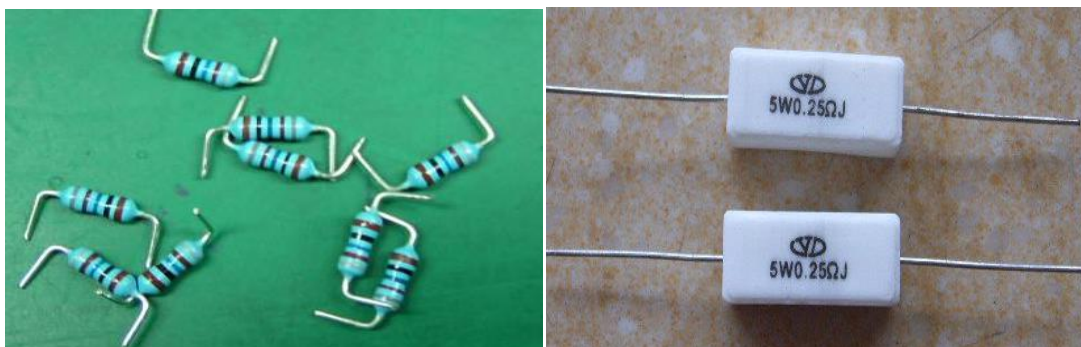


图 1- 2 五色环电阻器（精密电阻）示意图

各种颜色代表的具体含义见附录。

常用的几种电阻及其特点

- 金属膜电阻：温度系数小，稳定性好，噪声低，体积小，多用于对稳定性和可靠性有较高要求的电路中。
- 碳膜电阻：体积略大于金属膜电阻，温度系数为负值，价格低廉，常在电子产品中大量使用。
- 水泥电阻：耐震耐湿，耐热性优且散热良好，温度系数小，耐大电流，但体积较大，精度不高，广泛应用于电源适配器、音响设备、电视机、汽车等设备中。
- 贴片电阻：体积小，重量轻，稳定性好，耐潮湿和高温，温度系数小，高频特性优越，可大大节约电路空间成本，使设计更精细化。多用于高端计算机、高科技多媒体电子设备、通讯设备及医疗设备中。
- 可调电阻器（电位器）：对外有三个引出端，其中两个为固定端，另一个是滑动端（中心抽头）。



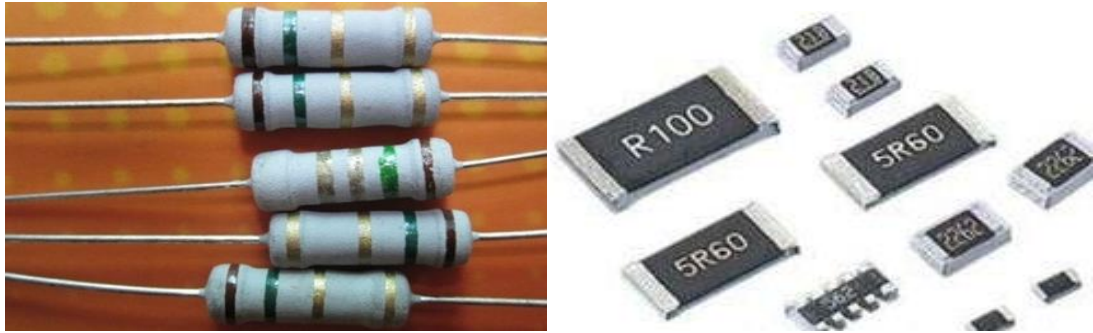


图 1-3 各种常见电阻

电阻器的合理选用

在选用电阻时，不仅要求其各项参数符合电路的使用条件，还要考虑外形尺寸和价格等多方面的因素，仔细分析电路的具体要求。那些对稳定性、耐热性、可靠性要求比较高的电路，应选用金属膜或金属氧化膜电阻；如果要求功率大、耐热性能好，工作频率又不高，则可选用绕线电阻；对于无特殊要求的一般电路，可使用碳膜电阻，以便降低成本。

2) 电容器

电容器在各类电子线路中是一种必不可少的重要元件，它的主要物理特征是储存电荷，就像蓄电池一样可以充电和放电，部分种类的电容区分极性。它在电路中主要的作用是滤波、耦合、延时等。电容的主要技术指标包括标称容量及偏差、额定电压、温度系数、频率特性等。

主要技术指标

- 标称容量及偏差：是指电容上标注的容量值。电容使用的单位是法拉 (F)。由于 F 的单位太大，实际应用中，多采用微法 (μF)、纳法 (nF)、皮法 (pF) 等单位。其换算关系为： $1\text{F}=10^6\mu\text{F}$ ； $1\mu\text{F}=10^3\text{nF}$ ； $1\text{nF}=10^3\text{pF}$ 。电容器的容量偏差等级有许多种，一般偏差都比较大，均在 $\pm 5\%$ 以上，最大的可达 $-10\%\sim+100\%$ 。
*注：某些电容器的体积过小，在标注容量时常常只标数值不标单位符号，这时就需要根据电容器的材料、外形尺寸、耐压等因素加以判断，以读出真正的容量值。
- 额定电压：是指电容器在电路中能够保证长期稳定、可靠工作而不被击穿时承受的最大电压，即电容的耐压值。一般情况下，相同结构、介质的电容耐压越高体积也就越大。选用电容时应注意，电容的额定电压一般应高于电容器工作电压的 1~2 倍。
- 温度系数：是在一定温度范围内，温度每变化 1°C 电容量的相对变化的值。温度系数越小的电容质量越好。
- 频率特性：是指电容的电参数随电场频率变化而变化的特性。在高频条件下工作的电容由于介电常数比低频时小，所以容量会相应减少，损耗也会随频率的升高而增加。另外，在高频工作时，电容的极片电阻、引线和极片间的电阻、极片的自身电感、引线电感等分布参数都会影响电容的性能，导致电容的使用频率受到限制。不同品种电容的使用频率不同，小型云母电容的使用频率多低于 250MHz，圆片型瓷介电容的使用频率可达到 300MHz，小型纸介电容的使用频率约为 80MHz。

电容的参数标注方法

电容器的识别方法与电阻的识别方法基本相同，分直标法、数标法和色标法 3 种。

a、直标法是将电容的标称值用数字和单位在电容的本体上表示出来。

b、数标法又称数码标示法，一般用三位数字表示容量的大小，前两位表示有效数字，第三位表示 10 的倍幂。如 104 表示 $10 \times 10^4 \text{pF} = 100000 \text{pF} = 100 \text{nF} = 0.1 \mu\text{F}$ 。

c、色标法是指用色环或色点表示电容器的主要参数。读法与电阻相同。

常用的几种电容及其特点

- 薄膜电容器：以有机薄膜作为介质的一类电容器，不区分正负极，最常见的是涤纶薄膜电容器，具有体积小，容量范围大，耐热耐湿性好的优点，且其频率特性较好，但容量一般较小。
- 电解电容器：以金属氧化膜为介质，有正负极性之分，使用时必须注意极性——脚长的是正极，脚短的是负极。由于介质单向极化的性质，它不能用于交流电路，极性不能接反，否则会影响介质的极化，使电容器漏液、容量下降，甚至发热、击穿、爆炸。由于介质特性，相同容量下电解电容器的体积明显小于其他电容器。在要求大容量的场合（如滤波电路等）均选用电解电容器。但其损耗大，温度特性、频率特性、绝缘性能差，除体积小外，其他性能均远不如其他类型的电容器。
- 可变电容器：主要用在需要经常调整电容量的场合，如收音机的频率调谐电路。



图 1-4 各种常见电容

电容器的种类繁多，性能各异，合理选用电容器对于产品设计十分重要。所谓合理选用，就是要在满足电容要求的前提下，综合考虑体积、质量、成本、可靠性等各方面的因素。为了合理选用电容器，应该广泛收集产品目录，及时掌握市场信息，熟悉各类电容器的性能特点；了解电路的使用条件和要求及每个电容器在电路中的作用，如耐压、频率、容量、允许偏差、

工作环境、体积、价格等因素。

一般来说，电路极间耦合多选用金属化纸介电容器或薄膜电容器；电源滤波和低频旁路宜选用铝电解电容器；高频电路和要求电容量稳定的地方应该用高频瓷介电容器、云母电容器等；如果使用电容量要经常调整，可选用可调电容器。

3) 电感器

电感器的应用范围很广泛，它在调谐、振荡、耦合、匹配、滤波、延时、补偿等电路中都是必不可少的。电感的主要技术指标包括电感量、电感器的固有电容、品质因数、额定电流等。

主要技术指标

- 电感量：在没有非线性导磁物质存在的条件下，一个载流线圈的磁通量 φ 与线圈中的电流 I 成正比，其比例常数称为自感系数，用 L 表示，简称电感。电感的基本单位是亨利 (H)，实际工作中的常用单位有毫亨 (mH)、微亨 (μH) 和毫微亨 (nH)。
- 品质因数 (Q 值)： Q 值反映线圈损耗的大小， Q 值越高，损耗功率越小，电路效率越高，选择性越好。
- 电感器的固有电容：电感线圈的各匝绕组之间通过空气、绝缘层和骨架而存在着分布电容。同时，在屏蔽罩之间、多层绕组的每层之间、绕组与底板之间也都存在着分布电容。这样，电感器实际上可以等效成如错误!未找到引用源。所示的电路。图中的等效电容 C_0 就是电感器的固有电容。分布电容的存在使线圈的 Q 值减小，稳定性变差，且由于固有电容的存在，使线圈有一个固有频率或谐振频率，记为 f_0 ，其值为：

$$f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC_0})$$

使用电感线圈时，应使其工作频率远低于线圈的固有频率。因而线圈的分布电容越小越好。

- 额定电流：电感线圈中允许通过的最大电流。

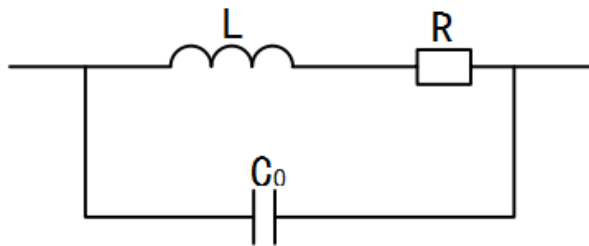


图 1-5 电感器的等效电路

常用的几种电感及其特点

- 色码电感：或称色环电感。用绝缘导线一圈挨一圈地绕在纸筒或胶木骨架上，然后封装在环氧树脂中。这样的固定电感器通常用色码标注其电感量，外形与色环电阻类似。具有体积小、质量轻、结构牢固、防潮性能好、安装方便等优点，常用在滤波、扼流、延迟等电路中。
- 绕线电感：用金属漆包线与环形磁石自行绕制，一般无标记；也有将金属漆包线绕到工字形铁芯上，作电源滤波用电感。

- 变压器：变压器也是一种电感器，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。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）。主要用于交流电压、电流或阻抗的变换，用来传递功率和缓冲隔离等，是电子整机中不可缺少的重要元件之一。

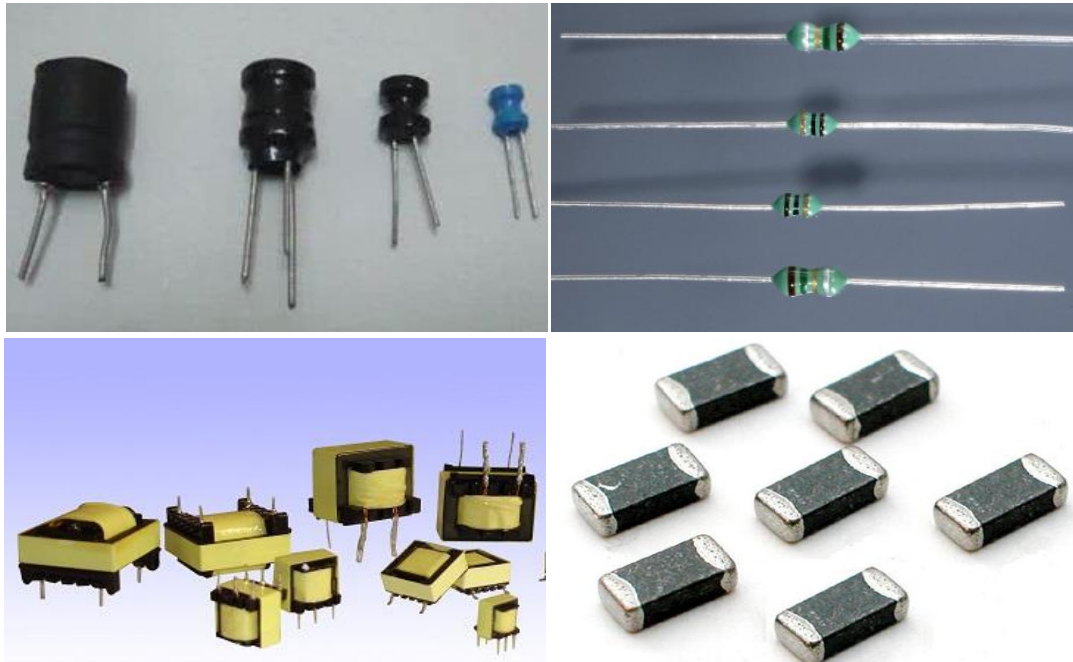


图 1-6 各种常见电感

电感的参数标注方法

电感一般有直标法和色标法，色标法与电阻类似。

4) 二极管

二极管也叫晶体二极管，它是利用硅、锗、砷化镓等半导体制成的，最主要的特性是单向导电性，如图 1-7 所示。

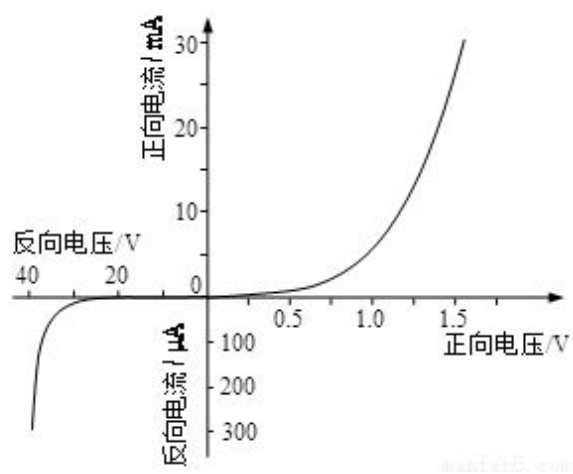


图 1-7 二极管的伏安特性曲线

1) 正向特性: 加到二极管两端的正向电压低于死区电压时(锗管低于 0.1V, 硅管低于 0.5V), 管子不导通, 处于“死区”状态, 当正向电压超过死区电压, 达到起始电压后, 二极管开始导通。二极管导通后, 电流会随着电压稍微增大而急剧增加。不同材料的二极管起始电压不同。

2) 反向特性: 当二极管两端加上反向电压时, 反向电流应该很小, 随着反向电压逐渐增大时, 反向电流也基本不变, 这时的电流称为反向饱和电流。不同材料的反向电流大小不同, 硅管约为一微安到几十微安, 锗管可高达数百微安, 另外, 反向电流受温度变化的影响很大, 锗管的稳定性比硅管差。当二极管两端的反向电压增大到某一数值, 反向电流会急剧增大, 二极管将失去单向导电特性, 这种状态称为二极管的击穿。不同结构、工艺和材料制成的二极管, 其反向击穿电压值有较大不同, 最高可达数千伏。

二极管应按照极性接入电路, 大部分情况下, 应使二极管的正极接电路的高电位端, 而稳压二极管的负极要接电源的正极, 其正极接电源负极。

主要技术指标

- 额定正向工作电流: 是指二极管长期连续工作时允许通过的最大正向电流值。因为电流通过管子时会使管芯发热, 温度上升, 温度超过容许限度(硅管为 140°C 左右, 锗管为 90°C 左右)时, 就会使管芯过热而损坏。所以, 二极管使用中不要超过二极管额定正向工作电流值。
- 最高反向工作电压: 加在二极管两端的反向电压高到一定值时, 会将管子击穿, 失去单向导电能力。为了保证使用安全, 规定了最高反向工作电压值。
- 反向电流: 指二极管在未击穿时的反向电流。其值越小, 管子的单向导电性能越好。

常用的几种二极管及其特点

- 整流二极管: 利用 PN 结的单向导电特性, 把交流电变成脉动直流电。对于整流二极管, 管子上有银色圈的一端为负极。
- 稳压二极管: 利用 PN 结的反向击穿特性, 其电流可在很大范围内变化而电压基本不变的现象, 制成的起稳压作用的二极管。管子上有黑色圈的一端为负极。
- 发光二极管: 简称 LED, 采用砷化镓、镓铝砷、和磷化镓等材料制成, 其内部结构为一个 PN 结, 具有单向导电性。当在发光二极管 PN 结上加正向电压时, PN 结势垒降低, 载流子的扩散运动大于漂移运动, 致使 P 区的空穴注入到 N 区, N 区的电子注入到 P 区, 这样相互注入的空穴与电子相遇后会产生复合, 复合时产生的能量大部分以光的形式出现, 因此而发光。引脚长的为正极, 短的为负极。如果引脚被剪得一样长了, 管体内部金属极较小的是正极, 大的片状的是负极。

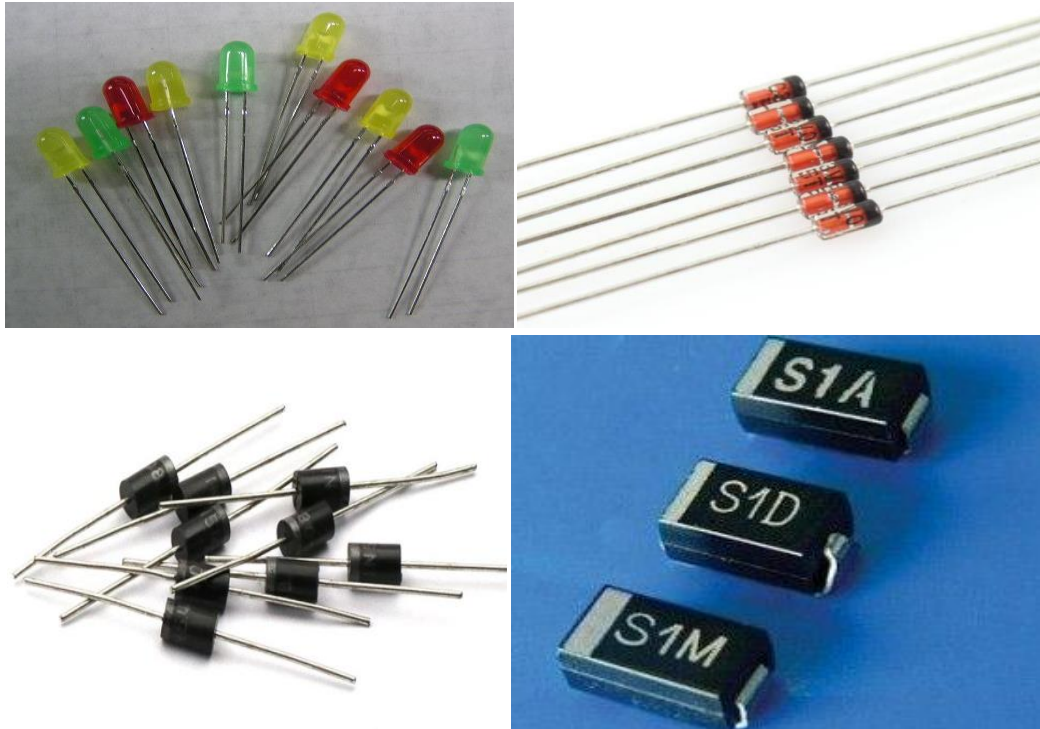


图 1-8 各种常见二极管

5) 晶体三极管

晶体三极管是通过一定的工艺,将两个 PN 结结合在一起的器件,由于 PN 结的相互影响,使其表现出不同于单个 PN 结的特性而具有电流放大作用。两个 PN 结把整块半导体分成三部分,中间部分是基区,两侧部分是发射区和集电区,排列方式有 PNP 和 NPN 两种,从三个区引出相应的管脚,分别为基极 b、发射极 e 和集电极 c。三极管的三种工作状态:放大、饱和、截止。三极管的主要技术指标包括直流电流放大倍数、交流放大倍数、集电极最大功耗等。

主要技术指标

- 直流电流放大倍数: 在共射极电路中,三极管基极输入信号不变化的情况下,三极管集电极电流与基极电流的比值就是直流电流放大倍数,它是衡量三极管直流放大能力的最重要参数之一。
- 交流放大倍数: 在共射极电路中,三极管基极输入交流信号的情况下,三极管集电极电流的变化量与基极电流变化量的比值就是交流放大倍数。
- 集电极最大功耗: 当三极管工作时,集电极电流在它的 CE 结电阻上产生的压降与集电极电流的乘积就是集电极最大功耗 P_c ,因 P_c 将转换为热能使三极管温度升高,所以当 P_c 值超过规定的功率值后,三极管 PN 结的温度会急剧升高,导致三极管过热损坏。

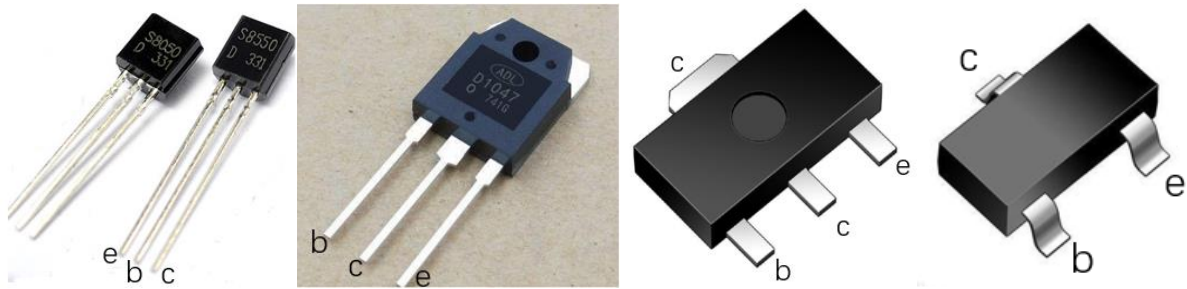


图 1-9 各种常见三极管及其管脚

晶体三极管的主要特性可以从输入特性曲线和输出特性曲线反应出来，如图 1-10 所示。用三极管设计的一系列功能性电路都是通过合理利用其输入输出特性而得到的。按材料分有硅管和锗管两种；按功率分可分为小功率管、中功率管、大功率管；从外形上看主要分为插件型和贴片型，在电路中选择晶体三极管时，除了根据电路性能选择合适参数的管子，还应考虑到外形和空间上的设计。

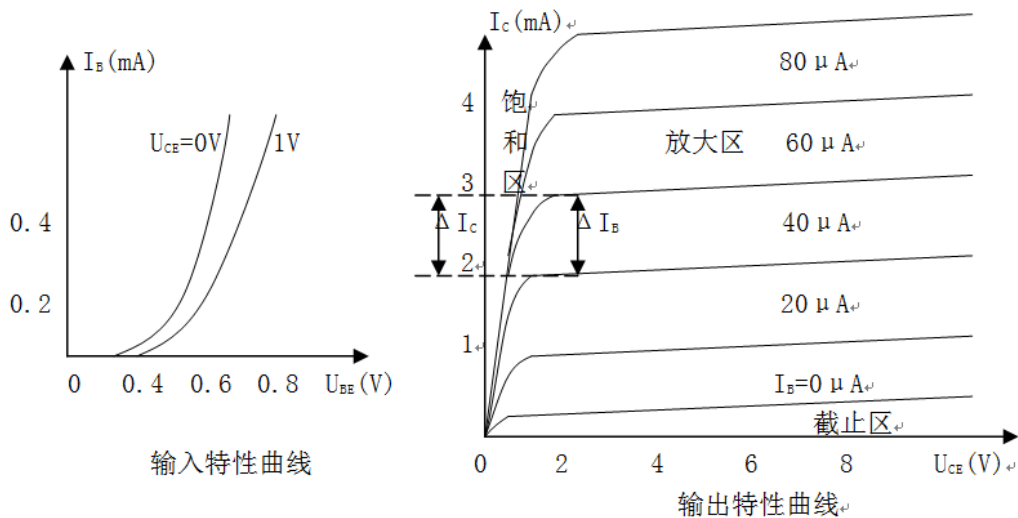


图 1-10 晶体三极管输入输出特性曲线

6) 集成电路

把一个电子单元电路或某些功能、甚至某一整机的功能电路制作在一个晶片或瓷片之上，再封装在一个便于安装焊接的外壳之中，即为半导体集成电路。这种器件打破了电路的传统概念，实现了材料、元器件、电路的三位一体，与分立元器件组成的电路相比，具有体积小、功耗低、性能好、质量轻、可靠性高、成本低等许多优点。半导体集成电路习惯称“集成块”或“集成片子”，英文缩写“IC”，在线路板上一般用“U”表示。

常见的几种集成电路：

- 数字集成电路：能够传输“0”和“1”两种状态信息并完成逻辑运算的电路。与模拟电路相比，数字电路的工作形式简单、种类较少、通用性强、对元器件的精度要求不高。数字电路中最基本的逻辑关系有“与”、“或”、“非”三种，再由它们组合成各类门电路和某一特定功能的逻辑电路，如触发器、计数器、寄存器、译码器等。此外，常见的大规模数字集成电路

还有 CPU 及各种可编程器件等。

- 模拟集成电路：除了数字集成电路，其余的集成电路统称为模拟集成电路。模拟集成电路的精度高、种类多、通用性小。常见的模拟集成电路主要有集成运算放大器、集成直流稳压器、集成功率放大器等。

使用注意事项

由于集成电路种类繁多，功能各异，其外形也存在着较大差别，但在使用集成电路时，都应遵循如下的通用注意事项：

- 使用集成电路时，其各项电性能指标(电源电压、静态工作电流、功率损耗、环境温度等)应符合规定要求。
- 在电路的设计安装时，应使集成电路远离热源；对输出功率较大的集成电路应采取有效的散热措施。
- 进行整机装配焊接时，一般最后对集成电路进行焊接。
- 不能带电焊接或插拔集成电路。
- 正确处理好集成电路的空脚，不能擅自将空脚接地、接电源或悬空，应根据各集成电路的实际情况进行处理。

3. 元器件安装前的处理

为了保证电子整机产品能够稳定、可靠地长期工作，并且经得起应用环境和其他可能因素的考验，必须在装配前对所使用的电子元器件进行检查和筛选。使用筛选的项目包括外观质量检验、功能性筛选和老化筛选（后两者可合称为电气性能使用筛选）。

外观质量检查

在电子整机产品的生产厂家中，对元器件外观质量检查的一般标准是：

- 1) 外形尺寸、电极引线的位置和直径应该符合产品标准外形图的规定。
- 2) 外观应该完好无损，其表面无凹陷、划痕、裂口、污垢和锈斑；外部涂层不能有起泡、脱落和擦伤现象。
- 3) 电极出引线应该镀层光洁，无压折或扭曲，没有影响焊接的氧化层、污垢和伤痕。
- 4) 各种型号、规格标志应该完整、清晰、牢固；特别是元器件参数的分档标志、极性符号和集成电路的种类型号，其标志、字符不能模糊不清或脱落。
- 5) 对于电位器、可变电容或可调电感等元器件，在其调节范围内应该活动平顺、灵活，松紧适当，无机械杂音；开关类元件应该保证接触良好，动作迅速。

各种元器件用在不同的电子产品中，都有自身的特点和要求，除上述共同点以外，往往还有特殊要求，应根据具体的应用条件区别对待。

电气性能使用筛选

电子整机中使用的元器件，一般需要在长时间连续通电的情况下工作，并且要受到环境条件和其他因素的影响，因此要求它们必须具有良好的可靠性和稳定性。要使电子整机稳定可靠地工作，并能经受环境和其他一些不可预见的不利条件的考验，对元器件进行必要的筛选老化，是非常重要的一个环节。

老化筛选的原理及作用是，给电子元器件施加热的、电的、机械的或者多种结合的外部应力，模拟恶劣的工作环境，使它们内部的潜在缺陷加速暴露出来，然后进行电气参数测量，筛选剔除那些失效或变值的元器件，尽可能把早期失效消灭在正常使用之前。

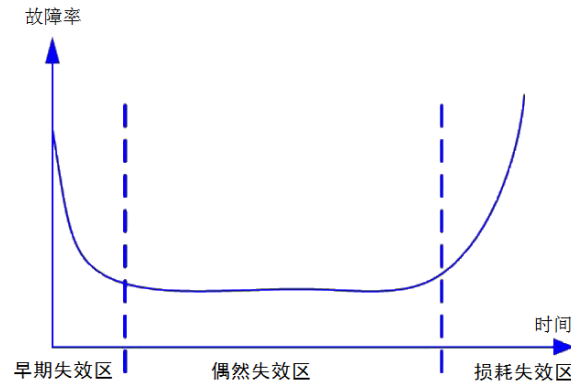


图 1- 11 电子元器件的效能曲线

人们在长期的生产实践中发现新制造出来的电子元器件，在刚投入使用的时候，因元器件制造过程中原材料、设备、工艺等缺陷而导致失效率较高，叫做早期失效，经过早期失效后，电子元器件便进入了正常的使用期阶段，一般来说，在这一阶段中，电子元器件的失效率会大大降低。过了正常使用阶段，电子元器件便进入了耗损老化期阶段，那将意味着寿终正寝。这个规律，恰似一条浴盆曲线，人们称它为电子元器件的效能曲线，如错误!未找到引用源。所示。

在生产过程中，筛选老化包括高温存储老化，高低温循环老化，高低温冲击老化和高温功率老化等。随着元器件生产水平的提高，要按不同产品要求、国家和企业标准选择不同的老化筛选要求和工艺。对于可靠性要求极高的电子产品或设备中使用的典型元器件，需 100%进行筛选，对要求不高的民品中使用的元器件，要采用抽样检测方式；对一般的电子产品研制和制造中使用的元器件，应采用自然老化和简易电老化方式。

参数性能测量

经过外观检验及老化的元器件，应该进行电气参数测量，淘汰已失效的元器件。检测前，应对电子元器件检测中常见问题及解决方案有一个全面的了解。要根据元器件的质量标准或实际使用的要求，选用合适的专用仪表或通用仪表，并选择正确的测量方法和恰当的仪表量程。例如，一般性的电子设计或电子设备中使用的元器件，应运用万用表等普通仪表检测。在万用表不能满足测试要求时，可选择使用 LCR 测试仪测量电阻、电容和电感及品质因数等参数，或使用晶体管特性图示仪测试半导体管的特性。测量结果应该符合该元器件的有关指标，并在标称值允许的偏差范围内。

4. 常用测量仪器

万用表

万用表又称为复用表、多用表、三用表、繁用表等，是电力电子等部门不可缺少的测量仪表，一般以测量电压、电流和电阻为主要目的。万用表按显示方式分为指针万用表和数字万用表。是一种多功能、多量程的测量仪表，一般万用表可测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻和音频电平，有的还可以测交流电流、电容量、电感量及半导体的一些参数等。

*使用注意事项：

- 万用表是多功能档仪表，只有正确选择相应档位，才能保证准确、安全的测量。必须养成“先调档再测量”的良好习惯，测量前根据估测合理选择档位，没有把握时先选择最大量程档位。使用完毕，应将转换开关置于交流电压最大档。
- 使用过程中不能用手接触表笔的金属部分，从而保证测量精度和人身安全。
- 此外，对于模拟万用表在使用前先进行“机械调零”，即在没有被测元器件时，使万用表指针指在零电压或零电流的位置上；且在使用过程中必须水平放置，以避免重力影响度数的准确性，同时也要注意避免外界磁场对万用表的影响。

LCR 测试仪

LCR 测试仪能准确并稳定地测定各种各样的元件参数，主要是用来测试电感、电容、电阻的测试仪。它具有功能直接、操作简便等特点，能以较低的预算来满足生产线质量保证、进货检验、电子维修业对器件的测试要求。

晶体管特性图示仪

晶体管特性图示仪是一种专用示波器，它能直接观察各种晶体管特性曲线及曲性簇。例如：晶体管共射、共基和共集三种接法的输入、输出特性及反馈特性；二极管的正向、反向特性；稳压管的稳压或齐纳特性；它可以测量晶体管的击穿电压、饱和电流、 α 、 β 参数等。

5. 利用常用测量仪器的快速检测方法

检测电阻的好坏

首先将万用表的档位旋钮调到欧姆档的适当档位，然后将万用表的两表笔分别和电阻器的两端相接，表针应指在相应的阻值刻度上，如果表针不动和指示不稳定或指示值与电阻器上的标示值相差很大，则说明该电阻器已损坏。

检测电容的好坏

采用万用表欧姆档。在检测前，先将电容的两根引脚相碰，以便放掉电容内残余的电荷。

当表笔刚接通时，表针向右偏转一个角度，然后表针缓慢地向左回转，最后表针停下。表针停下来所指示的阻值为该电容的漏电电阻，此阻值愈大愈好，最好应接近无穷大处。如果漏电电阻只有几十千欧，说明这一电解电容漏电严重。表针向右摆动的角度越大（表针还应该向左回摆），说明这一电解电容的电容量也越大，反之说明容量越小。

检测电感的好坏

采用万用表欧姆档测线圈的直流电阻，并与原已知的正常电阻值进行比较。如果检测值比正常值显著增大，或指针不动，可能是电感器本体断路。若比正常值小许多，可判断电感器本体严重短路。

检测二极管的正负及好坏

用万用表欧姆档测量二极管的电阻，正向电阻与反向电阻值应在不同数量级上，且正向电阻越小越好，反向电阻越大越好。若正向电阻无穷大，说明二极管内部断路；若反向电阻为零，表明二极管已击穿。内部断开或击穿的二极管均不能使用。此外，用万用表二极管测试档测发光二极管时，正向接入时灯泡会亮，反向接入则不会。如果不论怎么接入，发光二极管都不发光，则发光二极管已损坏。

检测三极管的类型及管脚

采用万用表欧姆档，判别三极管的基极：用万用表黑表笔固定三极管的某一个电极，红表笔分别接半导体三极管另外两个电极，观察指针偏转，若两次的测量阻值都大或是都小，则该脚所接就是基极（两次阻值都大的为 NPN 型管，两次阻值都小的为 PNP 型管），若两次测量阻值一大一小，则用黑笔重新固定半导体三极管一个引脚极继续测量，直到找到基极。

采用万用表二极管测试档，判别三极管的集电极和发射级：确定基极后，对于 NPN 管，用万用表红表笔接基级，黑表笔分别接另外两个管脚，测试出两种不同的电压。电压略高的为发射极，略低的为集电极（若是 PNP 型管则红黑表笔所接电极相反）。

三、 实验仪器与设备

数字万用表

LCR 测试仪

晶体管特性图示仪

四、 实验注意事项

在本次实验过程中，涉及到多种测量仪器和多种元器件。检测时务必确认使用了正确的元器件和正确的测量仪器去测量所需的测量量，抱有疑虑的问题务必请教老师和助教，以免损坏仪器，甚至造成人身伤害。测量前请仔细学习测量仪器的使用方法，测量仪器的详细使用方法

见附录。

特别注意：不要随意触碰晶体管特性图示仪的电压选择范围按钮！

五、 实验内容与步骤

(1) 安全测试

根据老师的课堂讲解及慕课上提供的资料,学习安全操作的相关知识,完成安全测试习题。

(2) 电子元器件的初步识别及初筛

根据所学知识,从外观上初步识别实验台上准备的电子元器件,并按照电子元器件安装前的处理原则,对元器件进行外观质量检查,使用数字万用表粗略检测各元器件是否完好。

(3) 电容频率特性的测量

将 LCR 测试仪电源线连接电源插座,打开电源开关,等待 2~3 秒后显示屏亮起。为提高实验效率,课前已对 LCR 测试仪进行了归零校正,可直接开始测量。(注意:若不慎将测试夹具拔下,需安装后重新进行校正!)

将 LCR 通过 USB 口连接至电脑,双击打开软件 ZM237xApplication。

利用附录中 LCR 测试仪的使用方法,分别将给定的薄膜电容和电解电容夹在夹具上,将 LCR 测试仪的主测量量选择为“Cs”,以便测量电容的容值,测量频率设为 **100Hz-4MHz**,利用“Sweep”功能测试电容在不同工作频率下的容值,并将数据导出为.csv 文件,触发源 Trigger Source 选择 Internal,其余设置按默认设置进行,按下“Upload”键,将设置导入仪器中,然后单击“Start”开始运行。(注:电容在测试之前应先将其管脚与适当阻值的电阻管脚相碰,放掉残余电荷;或使用专用设备给电容放电)。待测试完毕后,简单处理导出的数据,以频率为横轴,容量为纵轴,绘制电容的频率特性曲线,读出两种电容的谐振频率点,并从频率特性的角度总结两种电容的特点;

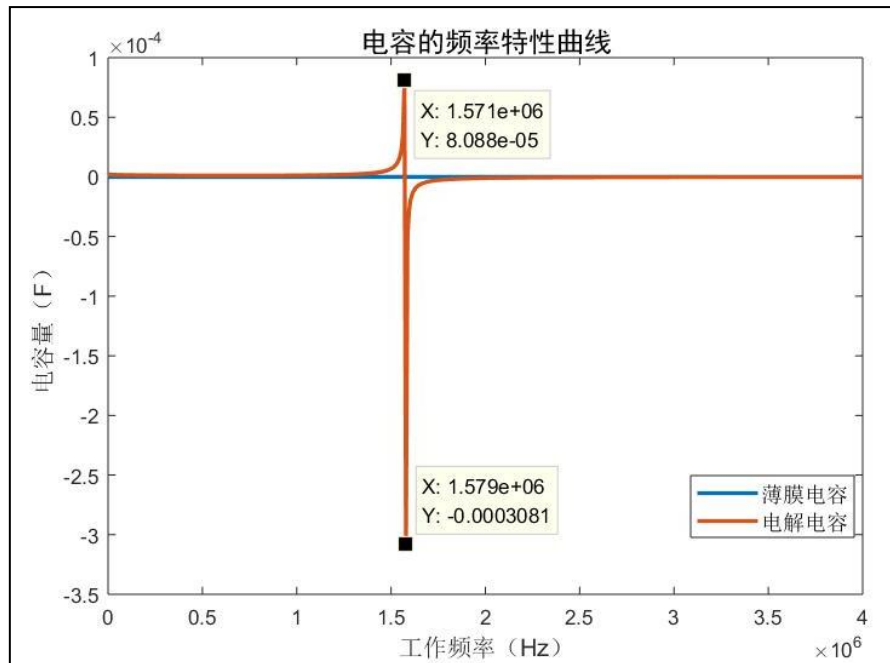


图 1-16 电容频率特性曲线示例图

注意：在该步骤中需要使用 LCR 测试仪对相关元器件进行测量。在将元器件夹入夹具时要注意正极接入“HIGH”一端，负极接入“LOW”一端。

(4) 晶体三极管的管脚判别及特性曲线测量

利用数字万用表按照快速检测方法判断给定的小功率三极管的管型和管脚，然后将三极管按照管脚顺序插入晶体管特性图示仪中，打开晶体管特性图示仪的开关，待机器开机预热 20 分钟以后（课前已完成），将“扫描电源%”百分比旋钮逆时针旋到 0 的位置。将仪器背面的 USB DEVICE 接口通过 USB 连线连接至电脑，仪器显示“USB ON”，打开电脑上的“杭州五强图示仪 D”软件，在软件界面上选择“上传模式”，连接状态显示为“已连接”。

依次操作仪器前面板各个区域设置好测试参数。

使用晶体管特性图示仪测量并记录下三极管的输出特性曲线图，绘制成图表。

测量三极管的输出特性曲线时，对晶体管特性图示仪各参数设置如下：

扫描电源量程：10V

电源极性：NPN(+)

测试模式：重复

功耗电阻：100Ω

栅极电阻：0Ω

“垂直（电流/格）”：I_c 5.0mA/格

垂直移位：0.000μA；

“水平（电压/格）”：V_{CE} 1.0V/格

水平移位：0.000mV；

阶梯模式：电流正常

阶梯（电流/级）：20 μ A/级

阶梯偏置：Z₀=0.000 μ A；

阶梯极性：NPN(+)

阶梯级数：5 级

按下“运行/停止”按键启动测试，沿顺时针方向缓慢调节“扫描电源%”百分比旋钮，直到获得完整的输出特性曲线，然后再次按下“运行/停止”按键，使画面停止闪烁。根据 I_c、V_c 的增量值，可计算输出阻抗。根据坐标刻度所在档位读出 I_c 值和阶梯选择开关得到 I_b 值，可计算输出放大系数。

按下仪器前面板的“存储”按键，根据提示选择“通信接口”，按下“确认”，电脑软件界面上显示出相应曲线。点击软件上的“另存”将三极管输出特性曲线测试结果图片及 excel 数据表格保存好，然后将“扫描电源%”百分比旋钮逆时针旋回到 0 的位置，使仪器断电。参照视频《三极管输出特性曲线数据处理方法》，可将 excel 表格绘制成图表，或直接在测试结果图片的基础上添加必要的坐标图元素，并读出相应的计算结果。

（选做）根据输出特性曲线的获取方法，利用晶体管特性图示仪得到晶体三极管的转移特性曲线。（提示：三极管的转移特性曲线以 I_b 为 X 轴，I_c 为 Y 轴，可以更直观地观察到输出电流 I_c 与输入电流 I_b 之间的关系，从而得到输出放大系数。）

六、 实验报告要求

- (1) 根据课上老师的讲解，完成慕课上的安全测试题。
- (2) 根据课上老师的讲解，完成实验报告中的客观题部分。
- (3) 根据实验数据，绘制电容的频率特性曲线和晶体三极管的输出特性曲线、晶体三极管的转移特性曲线（选做），根据绘制出的曲线填写实验报告。
- (4) 总结本实验的收获和体会

附录

一、常用仪器设备使用方法

1. 数字万用表使用方法



万用表 (FLUKE 287C)

开关：亮灯，开

！为避免损害仪器，首先选择大的量程档位！

测量量选择端口：
A: A级电流
mA, μ A: 小电流
COM: 参考地
二极管，温度，电容，电压，电阻档位

✈ : 二极管测量
 \sim , \overline{A} : A级交直流电流
 $\mu\overline{A}$, μA : 微安交直流电流
mA, \overline{mA} : 毫安交直流
 Ω : 电阻测量
⊕ : 电容测量
! : 温度测量
ns: 通断测量，通则有响声
 \sim V : 交流电压
 \overline{mV} : 毫伏电压
 \overline{V} : 直流电压

！旋转档位要和端口连线对应！
注意检查！！



万用表 (FLUKE 287C)

功能选择键：F1 F2 F3 F4 分别对应屏幕最下方的4个功能方块。
比如：如图，当选择测试直流电压后，按下F1 Menu按键，则出现AC+DC, AC, DC, DC, AC, close的选择菜单，可进行直流电压的直流分量和交流分量的测试

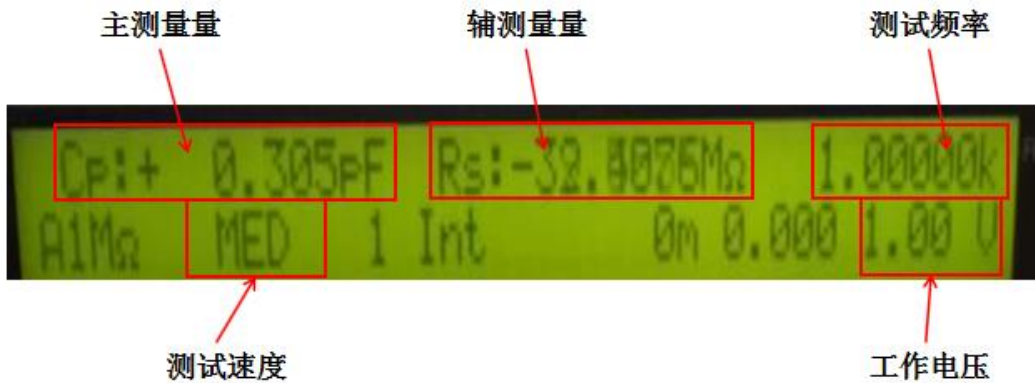


2. LCR 测试仪使用说明

NF ZM2376



step1: 插电，打开主机后边的开关。等待数秒后，显示屏亮起，正常的显示状况如下图所示。



step2: 若测试夹具是首次插入主机，需要进行调零校正。

开路校正：按下 SHIFT+7 (OPEN)，——NEXT——LowFREQ (设置最低测试频率) —— UppFREQ (设置最高工作频率) ——Measure，等待约几十秒至几分钟，完成后听到“滴”的一声，则校正成功。

短路校正：将夹具的两端插入一小节铜线进行短路，然后按下 SHIFT+8 (SHORT)，其他操作同上。

step3: 开始测量。

注：使用该设备进行元器件参数测量时，既可以使用按键进行参数设置，也可以使用数据线将设备与 ZM237X 软件相连，通过软件设置测量参数并进行测量。操作方法如下文。

A: 按键操作方法：

主测量量的调节：按下 Pri (Δ Pri)，选择主测量量（若无特殊需求可以选择 Auto 档，仪器将会自动检测并选择测量的参数），然后选择串行/并行的测量方式（若无特殊需求可以选择 Auto 档，仪器将会自动检测并选择测量的方式）、

辅测量量的调节：按下 Sec (Δ Sec)，选择辅测量量，操作方式同上。

测试频率的调节：按下 FREQ (LIST)，进入频率设置选择，如：0) 120 1)1K 2)10k 3)100k 4)1M 5)ENTRY。如果选择中有需要的测试频率，则直接选择对应数字，如果没有按 5，进行自行输入。例如：需要工作频率为 123KHz，则按数字 5，输入 123，按“EXP”+”——“组合键，则设置

完成，按 ENTR 返回测量界面。

测试速度的调节：按下 SPEED，选择合适的测试速度。

工作电压的调节：按下 LEVEL，手动输入工作电压。（注：为方便测试有极性的元器件如电解电容，一般此处工作电压应小于 1.5V，默认为 1V）

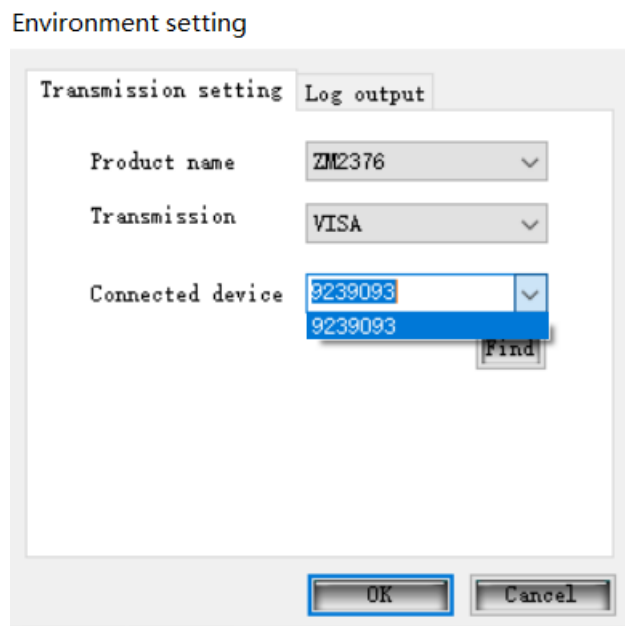
由于设备机械按键较多，操作较为繁琐，我们引入了软件程控，通过软件操作设备进行测量。

B: 软件程控操作步骤：

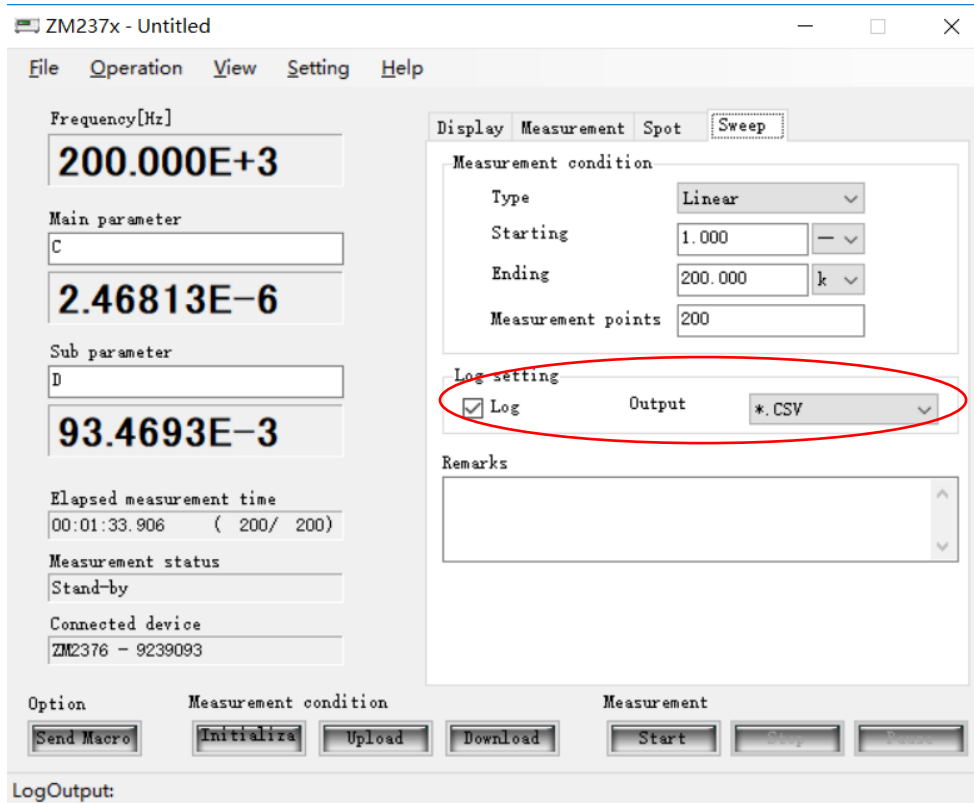
1. 打开 LCR 测试仪主机后边的电源开关，将数据线接到电脑 USB 口，双击电脑桌面上的软件图标。



2. 打开软件主界面，选中“Setting”——“Environment setting”，在 Transmission 一栏中选中“VISA”选项，然后单击“Find”，在 Connected device 的下拉列表中选中当前连接的设备，如下图所示。（若在 VISA 中找不到当前设备，可在 USBTMC 选项中再次尝试寻找）



3. 在“Display”部分选择好需要的主测量量（Main parameter）和辅测量量（Sub parameter）。
若需要单点测量，则在“Measurement”部分输入需要测量的测试频率（Frequency[Hz]）和工作电压（Measurement voltage），其他均按照默认设置进行；
若需要扫频测量以观察元器件在某个频率区间的频率特性，则在“Sweep”部分输入需要测量的最低频率（Starting）和最高频率（Ending）以及测量总点数（Measurement points），并将数据通过 Log setting 导出为 excel 表格，如下图所示。



4. 完成上述全部设置后，按下“Upload”键，将设置导入仪器中，然后单击“Start”开始运行，运行的结果会实时显示在软件主界面的左侧。（注意：若使用 Sweep 的扫频功能，整个测试过程会持续几十秒至几分钟，具体情况视测试内容而定）

5. 结果分析：

若为单点测量，则最终结果显示在软件主界面的左侧

若为扫频测量，则最终结果保存在设置时导出的 excel 表格中。导出的 excel 表格格式如后图所示。最后可利用导出的数据在 Excel 表格、Matlab 等软件中进行数据分析。

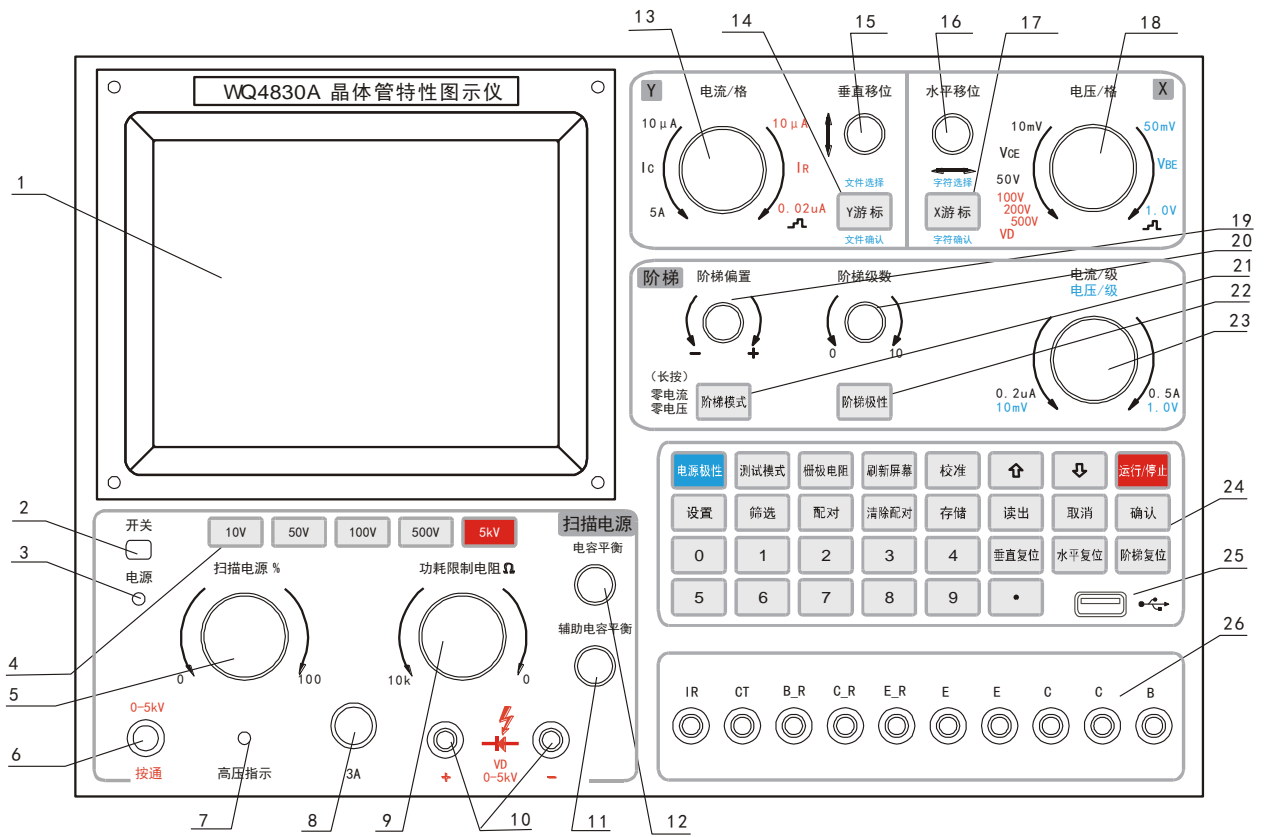
step4: 测试完毕后，将元件取下，若通过软件程控操作则需先点击软件中的“Initialize”键以解除软件对设备的控制，拔掉 USB 数据线，最后关闭电源。

	A	B	C	D	E	F
1	[MeasureCondition]					
2	Display	Main par	Label	C		
3	Display	Main par	Type	C		
4	Display	Main par	Deviation	ABS		
5	Display	Main par	Deviation	#####		
6	Display	Main par	Label	D		
7	Display	Sub para	Type	D		
8	Display	Sub para	Deviation	ABS		
9	Display	Sub para	Deviation	#####		
10	Measurem	Frequenc	Frequency	#####		
11	Measurem	Signal 1	Fixed vol	OFF		
12	Measurem	Signal 1	Measuremer	1		测试
13	Measurem	Signal 1	Fixed curr	#####		
14	Measurem	Range	Auto conve	ON		文本
15	Measurem	Range	Measuremer	100 Ohm		记录
16	Measurem	Trigger	Trigger sc	Internal		
17	Measurem	Trigger	Trigger de	0.008		
18	Measurem	Mesurement	Mesurement	MED		
19	Measurem	DC bias	Enable	OFF		
20	Measurem	DC bias	Setting	0		
21	Measurem	Averagin	Enable	OFF		
22	Measurem	Averagin	Averaging	1		
23	Remarks	Remarks	Remarks			
24						
25	[SweepSetting]					
26	Type	Linear				
27	Starting	#####				
28	Ending f	#####				
29	Measurem	50				
30	Remarks					
31						
32	[Sweep Result]		测试频率		主测量量	辅测量量
33	No.	Pass Tim	Frequency	Result		
34	1	00:06.4	1.00E+00	0	3.30E-08	1.43E-02
35	2	00:09.5	4.08E+03	0	3.19E-08	1.70E-02
36	3	00:09.5	8.16E+03	0	3.18E-08	1.75E-02
37	4	00:09.6	1.22E+04	0	3.18E-08	1.80E-02
38	5	00:09.6	1.62E+04	0	3.17E-08	1.82E-02

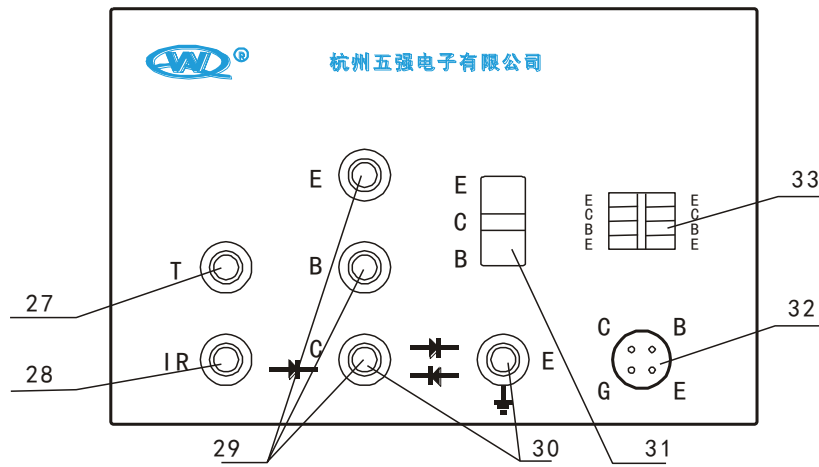
3. 晶体管特性图示仪使用说明

(1) 操作说明。

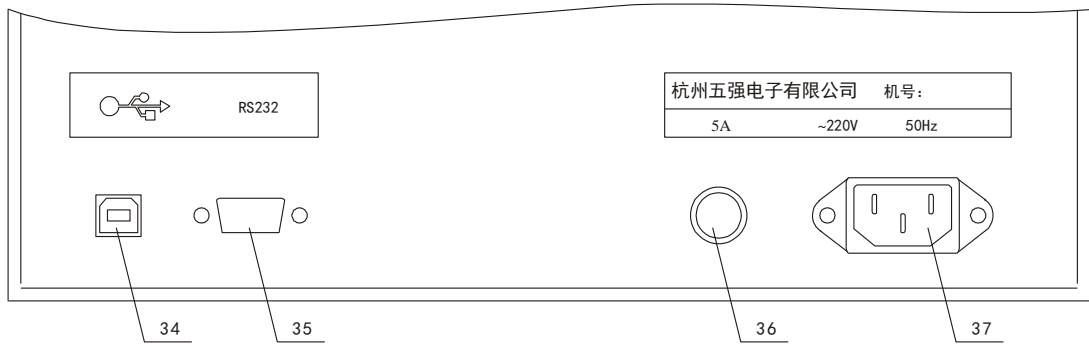
面板旋钮及按键功能说明、测试台面板说明、后面板功能说明详见主面板示意图、测试台面板示意图、后面板示意图和功能说明表格。



主面板示意图



测试台面板示意图



后面板示意图

主要旋钮及按键功能说明表：

序号	旋钮或按键名称	功能说明
1	显示屏	640×480 TFT 彩色液晶显示器
2	电源开关	开、关整机电源
3	电源指示灯	整机电源开，该灯亮
4	扫描电源选择键	选择扫描电压峰值范围 10V,50V,100V,500V,5kV,注：选择 5kV 时电压从高压测试孔输出。
5	扫描电源%	连续增、减扫描电压峰值。 注意操作该旋钮时一定要动作缓慢，否则瞬间增加的电压可能损害被测器件！
6	高压接通	只有按牢该按钮，高压测试孔才会输出高压，扫描电源选择 5kV 时该按钮才有效。
7	高压指示灯	扫描电源 5kV 按下，该灯亮
8	保险丝	扫描电源保险丝 5A
9	功耗限制电阻	选择功耗限制电阻
10	高压测试座	可测试 0—5kV 高压器件。
11	辅助电容平衡	与“电容平衡”旋钮配合使用，可以使容性电流影响降至最小。
12	电容平衡	与“辅助电容平衡”旋钮配合使用，可以使容性电流影响降至最小。
13	电流/格	垂直方向（电流）档位
14	Y 游标	第一功能：Y 游标显示开关。 第二功能：读出文件时，可以按该键确认需要读取的文件。
15	垂直移位	第一功能：Y 游标显示状态下，则 Y 游标垂直方向移位。 第二功能：Y 游标关闭状态下，则图形曲线垂直方向移位。 第三功能：读出文件时，可以通过该旋钮选择需要读取的文件。
16	水平移位	第一功能：X 游标显示状态下，则 X 游标水平方向移位。 第二功能：X 游标关闭状态下，则图形曲线水平方向移位。 第三功能：存储或者读出文件时，可以通过该旋钮选择输入文件名中的字符。
17	X 游标	第一功能：X 游标显示开关 第二功能：存储或者读出文件时，可以按该键确认输入文件名中的字符。
18	电压/格	水平方向（电压）档位
19	阶梯偏置	在每一级阶梯上都叠加上一个固定偏置值，阶梯偏置范围±1 级阶梯。

20	阶梯级数	0 到 10 级阶梯。阶梯级数=0 时，关闭阶梯	
21	阶梯模式	短按该键，切换阶梯电压与阶梯电流。在阶梯电压模式下，长按该键，切换“电压正常”与“零电压”；在阶梯电流模式下，长按该键，切换“电流正常”与“零电流”。	
22	阶梯极性	切换阶梯极性：NPN(正)/PNP(负)。注意：切换电源极性时，阶梯极性也会自动改变。某些应用需要单独切换阶梯极性，则按该键。	
23	阶梯档位：“电流/级”或“电压/级”	选择阶梯电流或阶梯电压值，如：1.0mA/级，则阶梯电流范围(0—10mA)+阶梯偏置值，如：1.0V/级，则阶梯电压范围(0—10V)+阶梯偏置值。	
24	键 盘	电源极性	切换扫描电源极性：NPN(正)/PNP(负)/交流
		测试模式	切换测试模式：重复/单次。注：垂直档位（电流/格） $\geq 5.0A/格$ ，或阶梯档位（电流/级） $\geq 0.5A/级$ 时，会自动切换到单次测试，以保护被测器件及仪器。
		栅极电阻	在阶梯电压模式下，用该键来切换串连在被测器件栅极的电阻。可选择的电阻有 0 Ω 、10k Ω 、1M Ω 。在阶梯电流模式下，栅极电阻不起作用。
		屏幕刷新	在停止状态下按该键，刷新屏幕，运行状态下该键不起作用。
		运行/停止	用该键来启动测试或停止测试。在停止状态下，仪器将切断扫描电源输出及阶梯输出。但是，原来测试到的图形曲线及参数会继续显示在屏幕上，直到各设置参数被改变。
		存储	用于存储图形及参数，具体操作见后面详解。
		读出	用于读出图形及参数，具体操作见后面详解。
		取消	取消当前的操作，具体操作见后面详解。
		确认	确认当前的操作，具体操作见后面详解。
		设置	进入设置状态，具体操作见后面详解。
		筛选	选择筛选内容： β/gm 筛选、电压筛选、电流筛选
		配对	按该键，将当前采样到的动态图形保存到静态图形区域，以便与其他被测器件进行比对。
		清除配对	清除“配对”操作时保存的静态图形
		\uparrow, \downarrow	上下移动，选择菜单内容
		校准	使仪器进入校准状态。该键仅限厂家使用
垂直复位	垂直移位（移位 Y0=）快速归零		
水平复位	水平移位（移位 X0=）快速归零		

	阶梯复位	阶梯偏置（偏置 Z0=）快速归零
	.0123456789	数字键，可以输入存储/读出单元号，或者输入文件名中的数字，或者输入筛选参数上下限值。
25	USB HOST 接口	可以插 USB flash disk(即 U 盘)或者移动硬盘，磁盘文件系统为 FAT32
26	连接座	主机与测试台之间的连接座。一般情况下应该将测试台插入主机连接座子以后才可以进行测试。
27	仪器测试端 T	仅限仪器校准时使用：从 T 和 E 端输入标准电流。
28	二极管反向电流（IR）测试座	配本厂附件可测试二极管反向漏电流。
29	中电流测试座	配合本厂附件可测试三极管特性，测试电流范围 0—10A
30	二极管测试座	配合本厂附件可测试二极管正反向特性，测试电流范围 0—10A
31	大电流测试座	测试电流范围 0—50A
32	小电流测试座	测试电流范围 0—1A
33	中电流测试座	测试电流范围 0—10A
34	USB DEVICE 接口	用 USB 连线连接电脑
35	RS232 接口	本厂测试用，不对用户开放
36	电源保险丝	保险丝型号见标牌
37	电源线插座	与 220V 市电连接

(2) 安全操作规程。

实验前：

- 确保仪器四周未覆盖任何物体，以保证仪器对流散热。
- 应该将测试台和仪器主机可靠连接后才能进行测试。
- 仪器内部电脑系统不允许频繁、快速地开/关机，在关机后必须等待 5 秒钟以上才能再次开机。
- 仪器打开电源后应预热 20 分钟以上才可以开始测量。
- 仪器开机后，应先检查确认液晶显示屏右上角的扫描电压档位。再检查仪器左下角的高压指示灯是否亮起，如有亮起，则立即调整扫描电压档位到合理值。

实验中：

- 开始测试前，应先将“扫描电源%”旋钮逆时针旋到 0 位置，设置好与该器件相适应的各种参数。插上器件，然后徐徐增加扫描电压，以免对被测器件造成冲击。测试结束后，先将“扫描电源%”旋回到 0，再取下器件，以防止电击。
- 特别注意，在 IR 测试时，即使已经停止测试，并且“扫描电源%”旋到 0.0%位置，但是由于电容上储存的电量不能马上释放到 0，因此要等待足够长时间（约 10 秒钟）或者戴绝缘手套才可以接触被测器件！
- “扫描电源”档级应和“水平：电压/格”档级配合设置。一般“水平：电压/格”档级推荐值为 \geq

(“扫描电源”档级/10) /格，比如“扫描电源”档级为 50V，则“水平：电压/格”档级设定为 $\geq 5V/格$ 。如果“水平：电压/格”档级需要低于推荐值，则应首先将“扫描电源%”调至 0，再徐徐加大。操作“扫描电源%”旋钮时一定要动作缓慢，否则瞬间增加的电压可能损害被测器件！

- 当输出扫描电压较大时，请勿触摸 C 极与管子外壳，以免遭电击。严禁将各输出端任意长时间短路。
- 选取合适的“功耗电阻”不仅能够取得满意的测量结果，还能有效保护被测器件及仪器。功耗电阻选取的一般原则是：测量电流较小时，应选取较大的功耗电阻，反之，测量电流较大时，应选取较小的功耗电阻。在测量器件的击穿电压（耐压）时，建议选取功耗电阻 1k Ω 以上。
- 基极（栅极）注入电流（电压）应与被测管的功率、最大集电极电流相适应，一般情况注入电流由小逐档增加（同时应估算上述二指标，不致电流、功率击穿）。
- 测试台上各种插座及接线柱都有规定的最大测试电流，不得将大电流器件插在小电流插座上进行测试。
- 测量高压二极管的反向击穿特性时，垂直参数应小于 1mA/格。

实验后：

- 先将“扫描电源%”旋回到 0，再取下器件，以防止电击。
- 关机前，将扫描电压档位调到 10V。

注 1：集电极扫描电源，基极阶梯信号源和垂直，水平系统都可以独立使用，但不能超越其承受功率和测试范围。

注 2：由于不同半导体管的特性不同，在液晶显示屏上显示时会有较大的区别。在对所测管的特性无任何了解时，应尽量选择更大的显示量程，并从 0 开始小心增大峰值电压。确保设备安全后且显示出正常图像后再挑选合适的量程和合适的峰值电压。

二、 色环对应表

四色环

颜色	第一位有效值	第二位有效值	倍率	允许偏差
黑	0	0	10^0	
棕	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	-20% ~ +50%
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

五色环

颜色	第一位有效值	第二位有效值	第三位有效值	倍率	允许偏差
黑	0	0	0	10^0	
棕	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	± 0.25
紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	$-20\% \sim +50\%$
金				10^{-1}	$\pm 5\%$
银				10^{-2}	$\pm 10\%$