

项目一

了解电路及常用元器件

项目要点

- 利用万用表测量常用的元器件

引言

电子元器件是电子电路中具有独立电气功能的基本单元。熟悉常用电子元器件的性能、特点，掌握常用电子元器件的识别方法和检测方法，是选择、使用电子元器件的基础，也是组装、调试电子线路必须具备的基本技能。本项目主要介绍最基础的 5 种常用电子元器件：电阻器、电容器、电感器、二极管、三极管。

任务：利用万用表测量常用的元器件

任务描述

小张是某电脑维修中心的员工，目前，他需要对一台电脑主板上的某些元器件进行测试，以判断电脑主板是否存在问题。

任务分析

常用的元器件主要有电阻器、电容器、电感器、半导体二极管、半导体三极管等器件，由于万用表对以上各元器件均有作用，因此，小张决定使用万用表进行测试。

准备知识

1. 电路

(1) 基本概念

电路是指：由金属导线和电气以及电子部件组成的导电回路，称其为电路。直流电通过的电路称为“直流电路”；交流电通过的电路称为“交流电路”。

电流流过的回路叫做电路，又称导电回路。最简单的电路，是由电源、负载、导线、开关等元器件组成。电路导通叫做通路。只有通路，电路中才有电流通过。



知识链接

电路某一处断开叫做断路或者开路。如果电路中电源正负极间没有负载而是直接接通叫做短路，这种情况是决不允许的。另有一种短路是指某个元件的两端直接接通，此时电流从直接接通处流经而不会经过该元件，这种情况叫做该元件短路。开路（或断路）是允许的，而第一种短路决不允许，因为电源的短路会导致电源、用电器、电流表被烧坏等现象的发生。

(2) 电路

1) 逻辑电路

逻辑电路是电流所流经的路径。

电路规模的大小，可以相差很大，小到硅片上的集成电路，大到高低压输电网。

根据所处理信号的不同，电子电路可以分为模拟电路和数字电路。

是由电气设备和元器件，按一定方式连接起来，电路其实是在电压作用下，有自由电子移动或自由离子移动形成的。

是由自然界产生周期性变化的连续性的物理自然变量，在将连续性物理自然变量转换为连续的电信号，并通过运算连续性电信号的电路即称为模拟电路。

模拟电路对电信号的连续性电压、电流进行处理。

最典型的模拟电路应用包括：放大电路、振荡电路、线性运算电路（加法、减法、

乘法、除法、微分和积分电路)。运算连续性电信号,亦称为逻辑电路。

2) 数字电路

将连续性的电信号,转换为不连续性定量的电信号,并运算不连续性定量电信号的电路,称为数字电路。



知识链接

数字电路中,信号大小为不连续并量化的电压状态。

多数采用布尔代数逻辑电路对定量后信号进行处理。典型数字电路有,振荡器、寄存器、加法器、减法等。运算不连续性定量电信号。

3) 集成电路

集成电路亦称为 IC (IntegRated CIRCUIt)。

运用集成电路设计程式 (IC 设计),将一般电路设计到半导体材料里的半导体电路 (一般为硅片),称为集成电路。

利用半导体技术制造出集成电路 (IC)。

(3) 串联和并联

串联是连接电路元件的基本方式之一。将电路元件 (如电阻、电容、电感、用电器等) 逐个顺次首尾相连接,将各用电器串联起来组成的电路叫串联电路。



知识链接

开关在任何位置控制整个电路,即其作用与所在的位置无关。电流只有一条通路,经过一盏灯的电流一定经过另一盏灯。如果熄灭一盏灯,另一盏灯一定熄灭。

优点:在一个电路中,若想控制所有电器,即可使用串联的电路;

缺点:只要有某一处断开,整个电路就成为断路。即所相串联的电子元件不能正常工作。

串联电路中总电阻等于各电子元件的电阻和,各处电流相等,总电压等于各处电压之和。

并联电路是使在构成并联的电路元件间电流有一条以上的相互独立通路的联结方式,是电路组成两种基本的方式之一。例如,一个包含两个电灯泡和一个 9V 电池的简单电路。若两个电灯泡分别由两组导线分开地连接到电池,则两灯泡为并联。

特点:用电器之间互不影响。一条支路上的用电器损坏,其他支路不受影响。

并联电路中,总电阻 $1/R=1/R_1+1/R_2+1/R_3+\dots+1/R_n$,各处电压相等。

1) 串联电路的特点

- 电流处处相等: $I_{\text{总}}=I_1=I_2=I_3=\dots=I_n$;
- 总电压等于各处电压之和: $U_{\text{总}}=U_1+U_2+U_3+\dots+U_n$;
- 等效电阻等于各电阻之和: $R_{\text{总}}=R_1+R_2+R_3+\dots+R_n$;

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

(增加用电器相当于增加长度,增大电阻)

- 总功率等于各功率之和: $P_{\text{总}}=P_1+P_2+P_3+\cdots+P_n$;
- 总电功等于各电功之和: $W_{\text{总}}=W_1+W_2+W_3+\cdots+W_n$;
- 总电热等于各电热之和: $Q_{\text{总}}=Q_1+Q_2+Q_3+\cdots+Q_n$;
- 等效电容量的倒数等于各个电容器的电容量的倒数之和:
 $1/C=1/C_1+1/C_2+1/C_3+\cdots+1/C_n$;
- 电压分配、电功、电功率和电热率跟电阻成正比 (t 相同);
- $U_1/U_2=R_1/R_2$, $W_1/W_2=R_1/R_2$, $P_1/P_2=R_1/R_2$, $Q_1/Q_2=R_1/R_2$ 。
 或写成 $U_1/U_2=W_1/W_2=P_1/P_2=Q_1/Q_2=R_1/R_2$;
- 在一个电路中,若想控制所有电器,即可使用串联电路。

2) 并联电路的特点

- 各支路两端的电压都相等,并且等于电源两端电压:
 $U_{\text{总}}=U_1=U_2=U_3=\cdots=U_n$;
- 干路电流(或说总电流)等于各支路电流之和:
 $I_{\text{总}}=I_1+I_2+I_3+\cdots+I_n$;
- 总电阻的倒数等于各支路电阻的倒数之和:
 $1/R_{\text{总}}=1/R_1+1/R_2+1/R_3+\cdots+1/R_n$ 或写为: $R=1/(1/R_1+1/R_2+1/R_3+\cdots+1/R_n)$;
 (增加用电器相当于增加横截面积,减少电阻)
- 总功率等于各功率之和: $P_{\text{总}}=P_1+P_2+P_3+\cdots+P_n$;
- 总电功等于各电功之和: $W_{\text{总}}=W_1+W_2+\cdots+W_n$;
- 总电热等于各电热之和: $Q_{\text{总}}=Q_1+Q_2+Q_3+\cdots+Q_n$;
- 等效电容量等于各个电容器的电容量之和: $C_{\text{总}}=C_1+C_2+C_3+\cdots+C_n$;
- 在一个电路中,若想单独控制一个电器,即可使用并联电路。

在使用插座时,一般电源的插座距离地面要达到 30cm,而开关的插座要达到 1.4m,如果有特殊的要求,比如要使用壁挂式的空调插座,则按特殊情况来处理,可以采用单独走线来进行完成。而且同一个室内的电源和电话、电视机等插座的面板要在同一个水平高度上,一般高度的差距也要低于 5mm,卫生间的插座在使用之时还应该使用防溅型的插座,防止水溅入其中引发触电危险。

电线的管道与热水器管道以及煤气管道不能够彼此靠近,相互之间必须保持一定的距离,煤气的管道不能被封死,必须要走明管,如果需要对管道进行移动,则应该找专业的燃气公司来进行操作,防止出现事故,或者是移管不准确。在使用水管时,热水的管道全部要使用 PPR 水管,而下水管道则是采用 PVC 管道,在验收时,也要特别注意,应该是左边进热水,右边进冷水的,还要确保所有的水管都不会出现漏水的现象。

静电放电(ESD)是从事硬件设计和生产的工程师都必须掌握的知识。很多开发人员往往会遇到这样的情形:实验室中开发的产品,测试完全通过,但客户使用一段

时间后,即会出现异常现象,故障率也不是很高。一般情况下,这些问题大多由于浪涌冲击、ESD 冲击等原因造成。在电子产品的装配和制造过程中,超过 25% 的半导体芯片的损坏归于 ESD。随着微电子技术的广泛应用及电磁环境越来越复杂,人们对静电放电的电磁场效应如电磁干扰(EMI)及电磁兼容性(EMC)问题越来越重视。



知识链接

电路设计工程师一般通过一定数量的瞬间电压抑制器(TVS)器件增加保护。如固态器件(二极管)、金属氧化物变阻器(MOV)、可控硅整流器、其他可变电压的材料(新聚合物器件)、气体电子管和简单的火花隙。随着新一代高速电路的出现,器件的工作频率已经从几 kHz 上升到 GHz,对用于 ESD 保护的高容量无源器件的要求也越来越高。

例如,TVS 必须迅速响应到来的浪涌电压,当浪涌电压在 0.7ns 达到 8kV(或更高)峰值时,TVS 器件的触发或调整电压(与输入线平行)必须足够低以便作为一个有效的电压分配器。安森美半导体的 NUC2401 是一款带集成低电容 ESD 保护功能的共模滤波器,能提供高速 USB 2.0 信号必要的带宽、恰当的共模衰减及敏感的内部电路 ESD 保护,保持了信号的完整性。Vishay 公司 VBUS054B-HS3 是一种单芯片 ESD 解决方案,线路电容间的差别非常小,可保护双高速 USB 端口,以防瞬态电压信号。还可对略低于接地电平的负瞬态进行钳位,同时在略高于 5V 工作电压范围对正瞬态进行钳位。



知识链接

尽管低成本的硅二极管(或变阻器)的触发/箝位电压非常低,但其高频容量和漏电流无法满足不断增长的应用需求。聚合物 ESD 抑制器在频率高达 6GHz 时的衰减小于 0.2 dB,对电路的影响几乎可以忽略不计。

电磁兼容和电路保护对所有电子产品的设计而言都是无法回避的问题。电路设计工程师除了熟悉电磁兼容相关标准,设计中还需综合考虑器件本身的性能、寄生参数、产品性能、成本以及系统设计中的每个功能模块,通过布局布线优化、增加去耦电容、磁珠、磁环、屏蔽、PCB 谐振抑制等措施来确保 EMI 在控制范围之内。在制定电路保护设计方案时,最重要的是首先掌握技术方案和设计手段,并据此选择正确的 ESD 保护器件。

电池与电源有内阻,所以得出下面的计算公式:

$$I(\text{电流})=E(\text{电动势})/(R[\text{用电器电阻}]+R_d[\text{检测器电阻}]+R[\text{电源内阻}])$$

$$R(\text{电阻})=U(\text{电压})/I(\text{电流}) \quad (I=U/R, U=IR)$$

(4) 组成

电路由电源、负载、连接导线和辅助设备四大部分组成。实际应用的电路都比较复杂,因此,为了便于分析电路的实质,通常用符号表示组成电路实际原件及其连接线,即画成所谓电路图。其中导线和辅助设备合称为中间环节。

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07chapter
08

电源是提供电能的设备。电源的功能是把非电能转变成电能。例如，电池是把化学能转变成电能；发电机是把机械能转变成电能。由于非电能的种类很多，转变成电能的方式也很多。电源分为电压源与电流源两种，只允许同等大小的电压源并联，同样也只允许同等大小的电流源串联，电压源不能短路，电流源不能断路。

在电路中使用电能的各种设备统称为负载。负载的功能是把电能转变为其他形式能。例如，电炉把电能转变为热能；电动机把电能转变为机械能；等等。通常使用的照明器具、家用电器、机床等都可称为负载。

连接导线用来把电源、负载和其他辅助设备连接成一个闭合回路，起着传输电能的作用。

辅助设备是用来实现对电路的控制、分配、保护及测量等作用的。辅助设备包括各种开关、熔断器、电流表、电压表及测量仪表等。

(5) 物理量

电路的作用是进行电能与其他形式的能量之间的相互转换。因此，用一些物理量来表示电路的状态及各部分之间能量转换的相互关系。



知识链接

电流在实用上有两个含义：第一，电流表示一种物理现象，即电荷有规则的运动就形成电流。第二，本来，电流的大小用电流强度来表示，而电流强度是指在单位时间内通过导体截面积的电荷量，其单位是安培（库/秒），简称安，用大写字母 A 表示。但电流强度平时人们多简称电流。所以电流又代表一个物理量，这是电流的第二个含义。

电流的真实方向和正方向是两个不同的概念，不能混淆。

习惯上总是把正电荷运动的方向，作为电流的方向，这就是电流的实际方向或真实方向，它是客观存在，不能任意选择，在简单电路中，电流的实际方向能通过电源或电压的极性很容易地确定下来。

但是，在复杂直流电路中，某一段电路里的电流真实方向很难预先确定，在交流电路中，电流的大小和方向都是随时间变化的。这时，为了分析和计算电路的需要，引入了电流参考方向的概念，参考方向又叫假定正方向，简称正方向。

所谓正方向，就是在一段电路里，在电流两种可能的真实方向中，任意选择一个作为参考方向（即假定正方向）。当实际的电流方向与假定的正方向相同时，电流是正值；当实际的电流方向与假定正方向相反时，电流就是负值。

换一个角度看，对于同一电路，可以因选取的正方向不同而有不同的表示，它可能是正值或者是负值。要特别指出的是，电路中电流的正方向一经确定，在整个分析与计算的过程中必须以此为准，不允许再更改。

从数值上看， AB 两点之间的电压是电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点时所做的功；而电场中某点的电位等于电场力将单位正电荷自该点移动到参考点所做的功。比较电压和电位的概念可以看出，电场中某点的电位就是该点到参考点之间的电压，

电位是电压的一个特殊形式。对于电位来说，参考点是至关重要的。在同一电路中，当选定不同的参考点，同一点的电位数值是不同的。

原则上说，参考点可以任意选定。在电工领域，通常选电路里的接地点为参考点，在电子电路里，常取机壳为参考点。



知识链接

在实际应用时，仅知道两点间的电压往往不够，还要求知道这两点中哪一点电位高，哪一点电位低。例如，对于半导体二极管来说，还要其阳极电位高于阴极电位时才导通；对于直流电动机来说，绕组两端的电位高低不同，电动机的转动方向可能是不同的。由于实际使用的需要，要求我们引入电压的极性，即方向问题。

电路中因其他形式的能量转换为电能所引起的电位差，叫做电动势。用字母 E 表示，单位是伏特。在电路中，电动势常用符号 δ 表示。

在物理学中，用电功率表示消耗电能的快慢，电功率用 P 表示，它的单位是瓦特，简称瓦，符号是 W，电流在单位时间内做的功叫做电功率。以灯泡为例，电功率越大，灯泡越亮。灯泡的亮暗由实际电功率决定，不由所通过的电流、电压、电能、电阻决定！

在电路中：如果指定流过元件的电流参考方向是从标以电压的正极性的一端指向负极性的一端，即两者的参：在同一电路中，导体中的电流跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻阻值成反比，基本公式是 $I=U/R$ （电流 = 电压 / 电阻）。

诺顿定理：任何由电压源与电阻构成的两端网络，总可以等效为一个理想电流源与一个电阻的并联网路。

戴维宁定理：任何由电压源与电阻构成的两端网络，总可以等效为一个理想电压源与一个电阻的串联网路。



知识链接

分析包含非线性器件的电路，则需要一些更复杂的定律。实际电路设计中，电路分析更多的通过计算机分析模拟来完成。

它是线性元件的一个重要定理。在线性电阻中，某处电压或电流都是电路中各个独立电源单独作用时，在该处分别产生的电压或电流的叠加。

对于一个具有 n 个结点和 b 条支路的电路，假设各条支路电流和支路电压取关联参考方向，并令 (I_1, I_2, \dots, I_b) 、 (U_1, U_2, \dots, U_b) 分别为 b 条支路的电流和电压，则对于任何时间 t ，有 $I_1*U_1+I_2*U_2+\dots+I_b*U_b=0$ 。

在对偶电路中，某些元素之间的关系（或方程）可以通过对偶元素的互换而相互转换。对偶的内容包括：电路的拓扑结构、电路变量、电路元件、一些电路的公式（或方程）甚至定理。

所有的电路在工作时，每一个元件或线路都会有能量的工作运用，即电能运用，而所有电路里的电能工作运用即称为电路功率。

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

电路或电路元件的功率定义为：功率 = 电压 × 电流 ($P=UI$)。

自然界里能量不会消灭，固有一定律：能量不灭定律。

电路总功率 = 电路功率 + 各电路元件功率。



知识链接

在电路中的能量有时会变为热能或辐射能等其他能量到空气中，这就是电路或电路元件会发热的原因，不会全部形成电能于电路中，根据【总能量 = 电能 + 热能 + 辐射能 + 其他能量】。

(6) 提高电子电路抗干扰能力的方法

1) 减小来自电源的噪声

电源在向系统提供能源的同时，也将其噪声加到所供电的电源上。电路中微控制器的复位线，中断线，以及其他一些控制线最容易受外界噪声的干扰。

电网上的强干扰通过电源进入电路。即使电池供电的系统，电池本身也有高频噪声。模拟电路中的模拟信号更经受不住来自电源的干扰。因此设计电源时要采取一定的抗干扰措施：输入电源与强电设备动力线分开；采用隔离变压器；采用低通滤波器；采用独立功能块单独供电等。

2) 减小信号传输中的畸变

微控制器主要采用高速 CMOS 技术制造。信号输入端静态输入电流在 1mA 左右，输入电容 10pF 左右，输入阻抗相当高。高速 CMOS 电路的输出端都有相当的带载能力，即相当大的输出值，将一个门的输出端通过一段很长线引到输入阻抗相当高的输入端，反射问题就很严重。它会引起信号畸变，增加系统噪声。当 $T_{pd} > T_R$ 时，就成了一个传输线问题，必须考虑信号反射、阻抗匹配等问题。

(7) 印刷板

信号在印制板上的延迟时间与引线的特性阻抗有关，即与印制线路板材料的介电常数有关。可以粗略地认为，信号在印制板引线的传输速度，约为光速的 1/3 到 1/2 之间。微控制器构成的系统中常用逻辑电子元件的 T_r (标准延迟时间) 为 3 ~ 18ns 之间。

印刷线路板设计规则：信号在印刷板上传输，其延迟时间不应大于所用器件的标称延迟时间。



知识链接

在印制线路板上，信号通过一个 7W 的电阻和一段 25cm 长的引线，线上延迟时间大致在 4 ~ 20ns 之间。也就是说，信号在印刷线路上的引线越短越好，最长不宜超过 25cm。而且过孔数目也应尽量少，最好不多于 2 个。

当信号的上升时间快于信号延迟时间时，就要按照快电子学处理。此时要考虑传输线的阻抗匹配，对于一块印刷线路板上的集成块之间的信号传输，要避免出现 $T_d > T_{rd}$ 的情况，印刷线路板越大系统的速度就越不能太快。

(8) 电路的基础知识

电源电路：产生各种电子电路的所需求电源。

电子电路：亦称电气回路。

基频电路：基频，低频率，使用基频元件。

高频电路：高频，高频率，使用高频元件。

基频、高频混合电路

被动元件：如电阻、电容、电感、二极管等，有分基频被动元件、高频被动元件。

主动元件：如电晶体、微处理器等有分基频主动元件、高频主动元件。

微处理器电路：亦称微控制器电路，形成计算机，游戏机，播放器影、音，各式各样家电，滑鼠，键盘，触控等。

电脑电路：为微处理器电路进阶电路，形成桌上型电脑、笔记型电脑、掌上型电脑、工业电脑等各样电脑。

通讯电路：形成电话、手机、有线网路、有线传送、无线网路、无线传送、光通讯、红外线、光纤、微波通讯、卫星通信等。

显示器电路：形成萤幕、电视、仪表等各类显示器。

光电电路：如太阳能电路。

电机电路：常运用于大电源设备，如电力设备、运输设备、医疗设备、工业设备等。

串联电路：使同一电流通过所有相连接器件的联结方式。

2. 常用的元器件

(1) 电阻器

电阻是所有电子装置中应用最为广泛的一种元件，也是最便宜的电子元件之一。它是一种线性元件，在电路中的主要用途有：限流、降压、分压、分流、匹配、负载、阻尼、取样等。



知识链接

各种材料对通过它的电流呈现一定的阻力，这种阻力就称为电阻。具有集总电阻这种物理性质的元件叫电阻器，通常也称为电阻，用符号 R 来表示。

电阻最基本的特性是：某一电阻 R 两端电压 U 和通过该电阻的电流 I 成正比。用公式表示就是：

$$R=U/I \text{ 或 } I=U/R, U=IR$$

电流、电压和电阻间的这种关系通常叫欧姆定律。

电阻的这种性能在无线电工程中，占有特殊的地位，利用电阻对电能的吸收作用，可使电路中各元件按需要分配电能。例如在一台电视接收机中使用着几百只电阻器，它们以各种规格的形式在电路中起到特定的作用：用作电源的去耦电阻；确定各晶体

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07chapter
08

管工作点的偏置电阻；各匹配网络中的匹配电阻；级间耦合电阻；分压电阻；等等。因此，电阻器在无线电技术中的用途是极其广泛的，它是无线电最基本的元件之一。

电阻器通常称为电阻，是电子设备中使用最多的基本元件之一。电阻的主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，其次电阻还可与电容配合起滤波作用。常用电阻的电路符号如图 1-1 所示。

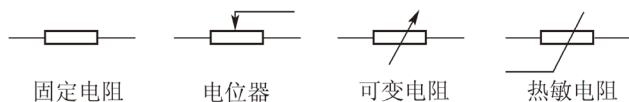


图 1-1 电阻的电路符号

1) 电阻的分类

电阻的种类繁多，按电阻的制作材料来分，可分为：金属膜电阻、碳膜电阻、合成膜电阻等。

按电阻的数值能否变化来分，可分为：固定电阻、可变电阻（电阻值变化范围小）、电位器（电阻值变化范围大）等。

按电阻的用途来分，可分为：高频电阻、高温电阻、光敏电阻、热敏电阻等。

按其材料可分为薄膜电阻和线绕电阻两大类；按其结构可分为固定电阻、可变电阻和敏感电阻。

下面简要介绍几种常用电阻的结构、特点及应用。

①碳膜电阻。

碳膜电阻是由碳沉积在瓷质基体上制成的，通过改变碳膜的厚度或长度得到不同的电阻值。碳膜电阻的主要特点是稳定性好、阻值范围宽、价格便宜、精度差。因此，碳膜电阻是目前使用最广泛的一种电阻，常用于精度要求不高的电子产品中。

②金属膜电阻。

金属膜电阻是由金属合金粉沉积在瓷质基体上制成的，通过改变金属膜的厚度或长度得到不同的电阻值。与碳膜电阻相比，金属膜电阻的稳定性更好、阻值范围更宽、精度高，而且耐高温，但价格较贵。因此，金属膜电阻常用于精密仪器仪表等电子产品中。

③线绕电阻。

线绕电阻是用康铜丝或锰铜丝缠绕在绝缘骨架上制成的。其主要特点是耐高温、精度高、噪声小、功率大，但高频特性差（因为其电感较大）。因此，线绕电阻常用于低频的精密仪器仪表等电子产品中。

④热敏电阻。

热敏电阻是阻值随温度变化而显著变化的敏感元件。阻值随温度升高而减小的称为负温度系数热敏电阻；阻值随温度升高而增大的称为正温度系数热敏电阻。因此，热敏电阻在控制电路中可用于控制电流的大小和通断，常作为测温、控温、补偿、保护等电路的感温元件。

⑤光敏电阻。

光敏电阻是阻值随外界光线强弱变化而显著变化的敏感元件。当外界光线增强时，阻值逐渐减小；当外界光线减弱时，阻值逐渐增大。因此，光敏电阻常用于光电自动控制器、电子照相机、光电开关和光报警器等电路中。

⑥可变电阻。

可变电阻是指其阻值在规定的范围内可任意调节的变阻器。



知识链接

可变电阻通常又分为半可调电阻和电位器两类。半可调电阻是指电阻值虽然可以调节，但在使用时经常固定在某一阻值上的可变电阻器；电位器是通过旋转轴来调节阻值的可变电阻器。

半可调电阻在电路中常用于电压或电流的微调。电位器在电路中常用作分压器和变阻器。

2) 电阻的型号与命名

电阻的型号很多，根据国家标准 GB 2470—1995 规定，国产电阻的型号一般由 4 个部分组成：产品名称、产品制作材料、产品分类、产品序列号。

①产品名称的表示。

产品名称用字母表示，R 表示电阻，W 表示电位器。

②产品制作材料的表示。

产品制作材料用字母表示，具体见表 1-1。

表 1-1 电阻材料与字母对照表

字母	H	I	J	N	S	T	X	Y
材料	合成膜	玻璃釉膜	金属膜	无机实心	有机实心	碳膜	线绕	氧化膜

③产品分类的表示。

产品分类用数字或字母表示，具体见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 电阻产品分类与数字对照表

数字	1	2	3	4	5	7	8	9
产品分类	普通	普通	超高频	高阻	高温	精密	高压	特殊

表 1-3 电阻产品分类与字母对照表

字母	G	T	X	L	W	D
产品分类	高功率	可调	小型	测量用	微调	多圈

④产品序列号的表示。

产品序列号用数字表示，例如，RJ-71 表示精密金属膜电阻，RXT-2 表示可调线

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07chapter
08

绕电阻。

3) 电阻的主要性能指标

电阻的主要性能指标有标称阻值、允许偏差、额定功率、最高工作电压等。



知识链接

对有特殊要求的，还要考虑温度系数、噪声系数、高频特性、稳定性等。

①标称阻值。

标称阻值是指电阻上标出的“名义”阻值，单位为 Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 。国家标准规定的标称阻值有 E6、E12、E24、E48、E96、E192 几种系列，其中 E6、E12、E24 比较常用，见表 1-4。

表 1-4 标称阻值系列表

系列代号	标称阻值												允许偏差	精度等级
E6	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8							$\pm 20\%$	Ⅲ
E12	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2	$\pm 10\%$	Ⅱ
E24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	$\pm 5\%$	Ⅰ
	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1		

标称阻值是不连续分布的，将表中各数乘以 10^n 可得到不同阻值的电阻，如 1.1×10^3 为 $1.1 k\Omega$ 电阻。

②允许偏差。

允许偏差是指电阻的标称阻值与实际阻值之差。允许偏差越小，电阻的精确度越高。国家标准规定普通电阻的允许偏差分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 三个等级。允许偏差等级见表 1-5。

表 1-5 允许偏差等级表

级别	005	01	02	I	II	III
允许偏差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

③额定功率。

额定功率是指在一定的条件下，电阻能长期连续运行而不改变性能的允许功率，单位为瓦 (W)。当超过额定功率时电阻的阻值将发生变化，甚至发热烧毁。



知识链接

额定功率分 9 个等级：1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、3W、5W、10W、20W，一般用数字印在电阻的表面上。其中 1/4W、1/2W、1W、2W 在实际工作中应用较多。

④最大工作电压。

最大工作电压是指由电阻最大电流密度、电阻体击穿及其结构等因素所规定的工

作电压限度。当工作电压过高时，虽然功率不超过额定值，但是将会导致电阻变质、损坏。

4) 电阻的识别方法

对于电阻的型号和规格，一般可从其表面标记直接读出阻值和精度，有时也可以从电阻上印刷的不同色环来判断它的阻值和精度。

① 固定电阻的识别。

固定电阻的常用标识方法有 3 种：直标法、色标法和文字符号法。

a. 直标法。

直标法是指将电阻的主要参数和技术性能指标直接印刷在电阻的表面上。例如电阻上印有“RJ7 100k Ω \pm 5%”，则表示阻值为 100 k Ω 、允许偏差为 \pm 5% 的精密金属膜电阻。

直标法适用于体积较大(大功率)的电阻。

b. 色标法。

色标法是指用不同颜色的色环表示电阻的标称阻值和允许偏差。普通电阻采用 4 环表示，见表 1-6。精密电阻采用 5 环表示，见表 1-7。

表 1-6 普通电阻的色标法

色环颜色	第一色环 第一位数	第二色环 第二位数	第三色环 倍率	第四色环 误差
黑	0	0	10^0	—
棕	1	1	10^1	—
红	2	2	10^2	—
橙	3	3	10^3	—
黄	4	4	10^4	—
绿	5	5	10^5	—
蓝	6	6	10^6	—
紫	7	7	10^7	—
灰	8	8	10^8	—
白	9	9	10^9	—
金	—	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
银	—	—	10^{-2}	$\pm 10\%$
无	—	—		$\pm 20\%$

表 1-7 精密电阻的色标法

色环颜色	第一色环	第二色环	第三色环	第四色环	第五色环
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	—

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07chapter
08

色环颜色	第一色环	第二色环	第三色环	第四色环	第五色环
黄	4	4	4	10^4	—
绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	—
白	9	9	9	10^9	—
金	—	—	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
银	—	—	—	10^{-2}	

【例 1-1】某一电阻的色标如图 1-2a 所示，试指出其标称阻值和允许偏差。

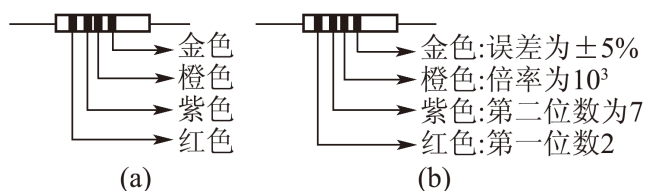


图 1-2 例 1-1 图

解：由表 1-6 可知，4 条色环的含义如图 1-2b 所示。因此，

标称阻值为： $27 \times 10^3 = 27 \text{ k}\Omega$ 。

允许偏差为： $\pm 5\%$ 。

【例 1-2】某一电阻的色标如图 1-3a 所示，试计算其标称阻值和允许偏差。

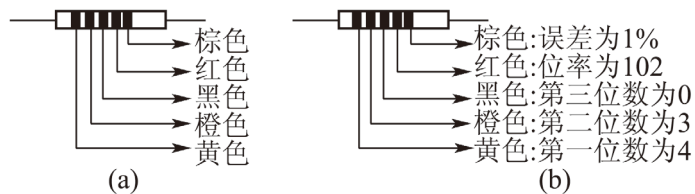


图 1-3 例 1-2 图

解：由表 1-7 可知，5 条色环的含义如图 1-3b 所示。因此，

标称阻值为： $430 \times 10^2 = 43 \text{ k}\Omega$ 。

允许偏差为： $\pm 1\%$ 。

c. 文字符号法。

文字符号法是用字母和数字符号有规律的组合来表示电阻的标称阻值。



知识链接

其规律是：用字母 R、k、M、G、T 来表示电阻值的数量级别，字母前面的数字表示阻值的整数部分，字母后面的数字表示阻值的小数部分。

例如，R3 表示 0.3Ω ，3k6 表示 $3.6k\Omega$ ，8M2 表示 $8.2M\Omega$ 。

② 电位器的识别。

电位器一般采用直标法，标识内容分为 4 个部分：主称、导体材料、性能形状、序号。其后用数字及单位直接标明电位器的额定功率、标称阻值及电位器阻值变化特性。电位器各部分的含义见表 1-8。

例如，“WH1 4.7 k Ω ”表示合成膜电位器，阻值为 4.7 k Ω ；“WSX1 150 Ω ”表示小型实心电位器，阻值为 150 Ω 。

表 1-8 电位器各部分的含义

第一部分（主称）		第二部分（导体材料）		第三部分（性能形状）		第四部分（序号）
字母	含义	字母	含义	字母	含义	
W	电位器	T	碳膜	G	高功率	用数字、字母表示，包括标称阻值、额定功率、阻值变化特性等
		J	金属膜	R	耐热	
		H	合成膜	W	微调	
		Y	氧化膜	J	精密小型	
		S	实心		实心	
		X	线绕		线绕	
		D	导电塑料		导电塑料	

5) 电阻器的主要参数

① 标称阻值与允许偏差。



知识链接

为了满足使用者的要求，工厂生产了各种不同阻值的电阻器，即便如此，也无法做到你要什么样阻值的电阻器就会有怎么样电阻器的成品。为了便于生产和满足使用者的需要，国家规定了一系列阻值作为产品的标准，这一系列阻值就叫做电阻的标称阻值。

在实际生产中，加工出来的电阻器的阻值无法做到和标称阻值完全一样，即阻值具有一定分散性。为了便于生产的管理和使用，又规定了电阻器的精度等级，确定了电阻器在不同等级下的允许偏差。

允许偏差可从下式求得：

$$\delta = (R - R_R) / R_R \cdot 100\%$$

式中 δ ——允许偏差；

R ——电阻器的实际阻值；

R_R ——电阻器的标称阻值。

电阻器的阻值范围很宽，一般通用电器的阻值可从 $10\Omega \sim 10M\Omega$ 。按规定，电阻器的标称阻值应符合阻值系列所列数值。

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

②额定功率。

额定功率是在正常条件下，电阻长时间工作而不损坏，或不显著改变其性能时，所允许消耗的最大功率。对于同一类电阻器，额定功率的大小决定它的几何尺寸和表面积。

③最大工作电压。

电阻器的额定工作电压 U_R ，在量值上用下式计算：

$$U_R = (P_R \cdot R_R)^{1/2}$$

式中 P_R ——额定功率；

R_R ——标称阻值。

电阻器的工作电压不超过额定工作电压使用，否则电阻器承受的功率将超过额定功率而导致损坏。最大工作电压值用下式计算：

$$U_{\max} = (P_R \cdot R_{ij})^{1/2}$$

式中 R_{ij} 为临界阻值，它根据电阻器的额定功率以及它的结构、外形尺寸等因素确定。在实际使用中，当 $R < R_{ij}$ 时，一定要使电阻器低于额定工作电压工作。当 $R > R_{ij}$ 时，则必须低于最高工作电压，以免烧坏或产生极间击穿和飞弧现象。

6) 电阻器的选用

①型号的选取。

民用和一般用途，可选择通用型电阻器，它们的价格很便宜，货源充足。



知识链接

军用和特殊场合使用的电阻器，应选择专用型电阻器，以保证电路的性能指标并稳定可靠地工作。线绕电阻器即使无感绕法的，其分布电感也比非线绕电阻器大得多，因此不宜用在高频电路中。

②阻值和精度的选取。

电阻值应根据电路实际需要的计算值选择系列表中近似的标称值。若有高精度要求的，则应选择精密电阻器。

在某些场合，也可从 I、II、III 级电阻器挑选使用，也可采用串、并联方式以满足精度要求。

③额定功率的选择。

电阻器的额定功率，应选得比计算的耗散功率 ($12R$) 大，在一般情况下，选择为耗散功率的两倍以上。若功率较大，应选用功率电阻器。在某些场合，也可将小功率电阻器串、并联使用，以满足功率的要求。

当电阻器在脉冲状态下工作时，只要脉冲平均功率不大于额定功率即可。

④注意最高工作电压的限制。

每个电阻器都有一定的耐压，超过这个电压，电阻器就会击穿、烧坏或产生飞弧现象。电阻器在高压下使用时，对于高阻值电压器，其应用值应小于最高工作电压。



知识链接

使用中应注意的事项:

- 为了减少电阻器在随使用时间增长而变化的不稳定性, 在电阻器使用前, 应先对其进行人工老化。
- 较大功率的电阻器应采用螺钉和支架固定, 以防折断引线或造成短路。
- 电阻器的引线不要从根部打弯, 否则容易折断。
- 焊接电阻器时动作要快, 不要使电阻器长期受热, 以免引起阻值变化。
- 电阻器的功率大于 10W 时, 应保证有散热的空间。
- 电阻器在存放和使用过程中, 都要保持漆膜的完整, 更不允许用锉、刮电阻膜的方法来改变电阻器的阻值。因为漆膜脱落后, 电阻器的防潮性能变坏, 无法保证正常工作。

(2) 电容器

电容器通常称为电容, 是在两个金属电极之间夹一层绝缘材料(介质)构成的, 具有储存电能的作用。

1) 电容器的参数

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。



拓展提高

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 0.005 ~ 1.0 μ F); 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。

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07chapter
08



拓展提高

电容器应用在高电压时，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图 1-4 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。由于温度升高引起电子活动增加，因此温度升高将使绝缘电阻降低。



知识链接

电容具有“隔直通交”的特点，在电路中主要用于调谐、滤波、交流耦合、旁路和能量转换等。

常用电容的电路符号如图 1-4 所示。



图 1-4 电容的电路符号

2) 电容的分类

电容的种类很多，按照不同的分类标准，可以分成不同的类型。按其结构，电容可分为固定电容、可变电容和微调电容；按其介质，电容可分为空气介质电容、固体介质（云母、独石、陶瓷、涤纶等）电容和电解电容；按有无极性，电容可分为有极性电容和无极性电容。

下面简要介绍几种常用电容的结构、特点及应用。

①固定电容。

固定电容的电容量是固定不变的，即不可以进行调整。

②可变电容。

可变电容的电容量是可变的，可以在一定范围内连续调整。

③微调电容。

微调电容的电容量可在较小的范围内调整变化。其可变容量一般为十几到几十皮法，以陶瓷为介质时最高可达 100pF。微调电容适用于整机调整后电容量不需要经常改变的场合。

④ 电解电容。

电解电容是以铝、钽、铌、钛等金属氧化膜作为介质的电容器，其中铝电解电容应用最广。



知识链接

铝电解电容的优点是容量大、体积小、耐压高，常用于交流旁路和滤波。铝电解电容的缺点是容量误差大，随频率变动，绝缘电阻低。因此，在要求较高的地方常用钽、铌或钛电容，它们比铝电解电容的漏电流小、体积小，但成本较高。

电解电容有正、负极之分。一般电容器的外壳为负端，另一接头为正端，在外壳上标记有“+”、“-”号；如无标记时，引线长的视为“+”端，引线短的视为“-”端，使用时必须注意。若接反，电解作用会反向进行，氧化膜很快变薄，漏电流急剧增加。



知识链接

如果所加的直流电压过大，则电解电容会很快发热，甚至会引起爆炸。

⑤ 云母电容。

云母电容是以云母片作为介质的电容器。其特点是高频性能稳定、损耗小、漏电流小、耐高压（几百至几千伏特），但其容量小（几十至几万皮法）。

⑥ 瓷介质电容。

瓷介质电容是以高介电常数、低损耗的陶瓷材料为介质的电容器。瓷介质电容的优点是体积小、损耗低、温度系数小，可工作在超高频范围；瓷介质电容的缺点是耐压较低（一般为 60 ~ 70V）、容量较小（一般为 1 ~ 1000 pF）。

3) 电容的型号与命名

电容的型号很多，根据国家标准规定，国产电容的型号一般由 4 部分组成：主称、材料、特征、序号。各部分的表示方法和含义见表 1-9。

在实际应用中，除了标注上述内容外，电容器上一般还标有标称容量、额定电压、精度和其他技术指标。

例如，电容器 CJX-250-0.33 ± 10% 各部分的含义如下所述。

- C——主称：电容器。
- J——材料：金属化纸。
- X——特征：小型。

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

- 250——额定工作电压：250V。
- 0.33——标称电容量：0.33 μF 。
- $\pm 10\%$ ——允许偏差： $\pm 10\%$ 。

表 1-9 电容器型号命名规则

第一部分 (主称)		第二部分 (材料)		第三部分 (特征)		第四部分 (序号)
字母	含义	字母	含义	字母	含义	字母或数字
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、标称值允许偏差、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 (聚酯)			
		S	聚碳酸酯			
		Q	漆膜			
		H	纸膜复合			
		D	铝电解			

4) 电容的主要性能指标

电容的主要性能指标有标称电容量、允许偏差、额定工作电压、绝缘电阻等。

① 标称电容量。

电容量是指电容器加上一定的电压后储存电荷的能力，其单位为法拉 (F)、微法 (μF) 和皮法 (pF)。

标称电容量是指标示在电容器上的“名义”电容量。国家标准规定：固定式电容的标称电容量有 E6、E12、E24 三种系列 (在电阻部分已介绍)，电解电容的标称电容量参考系列为 1、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8 (以 μF 为单位)。

② 允许偏差。

允许偏差是指实际电容量对于标称电容量的最大允许偏差范围。固定电容的允许偏差分为 8 个等级，见表 1-10。

表 1-10 电容器的允许偏差等级

级别	0.05	01	02	I	II	III
允许偏差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

③额定工作电压。

额定工作电压是指电容器在规定的工作温度范围内长期、可靠地工作所能承受的最高电压。



知识链接

常用固定式电容的直流工作电压系列为 6.3、10、16、25、40、63、100、160、250、400(以 V 为单位)。

④绝缘电阻。

绝缘电阻是加在电容器上的直流电压与通过它的漏电流的比值。绝缘电阻一般应在 $5000\text{M}\Omega$ 以上, 优质电容器可达 $\text{T}\Omega$ 级 ($10^{12}\Omega$)。

5) 电容的识别方法

电容器的标称电容量、允许偏差和额定工作电压一般都标注在电容器的外壳上, 其标注方法有直标法、色标法、数码法和文字符号法。

①直标法。

直标法是将容量、偏差、耐压等参数直接标注在电容体上, 常用于电解电容参数的标注。

例如, $0.22\ \mu$ 表示 $0.22\ \mu\text{F}$, 510p 表示 510pF , $33\text{n}2$ 表示 $33.2\ \text{nF}$ 。

②色标法。

色标法是将容量、偏差用色环(或色点)标示在电容体上, 其颜色所代表的数字与电阻器的色环完全一致, 单位为 pF 。此外电容器的耐压也可以用颜色来表示, 见表 1-11。色标法只适用于小型电解电容, 并且色点应标在正极引线的根部。

表 1-11 电容器工作电压的色标法

颜色	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰
工作电压(V)	4	6.3	10	16	25	32	42	50	63

③数码法

在一些瓷片电容上, 常用 3 位数字表示其标称电容量, 单位为 pF 。第一、第二位数字表示容量的有效数值, 第三位数字表示倍率, 即 10^n , $n=1\sim 9$, 值得注意的是 $n=9$ 表示 10^{-1} 。

例如, 103 表示 $10 \times 10^3\text{pF}=10000\text{pF}=0.01\ \mu\text{F}$, 479 表示 $47 \times 10^{-1}\text{pF}=4.7\text{pF}$ 。

④文字符号法。

使用文字符号法时, 容量的整数部分写在容量单位符号的前面, 容量的小数部分写在容量单位符号的后面。

例如, P68 表示 0.68pF , 6p8 表示 6.8pF 。

6) 电容的质量判断及电解电容极性的判别方法

电解电容器容量大小, 通常选用万用表的 $\text{R} \times 10$ 、 $\text{R} \times 100$ 、 $\text{R} \times 1\text{k}$ 档进行测试

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07chapter
08

判断。红、黑表笔分别接电容器的正负极（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。



拓展提高

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 $50 \sim 200k$ 刻度范围内。

(3) 电感器

电感器通常称为电感，是用漆包线在绝缘骨架上绕制而成的一种能储存磁场能量的电子元件。



知识链接

电感器有通直流、阻交流，通低频、阻高频的特性。在电路中主要用于滤波、扼流、振荡、延时等。

常用电感的电路符号如图 1-5 所示。



图 1-5 电感的电路符号

1) 电感的分类

电感的种类很多，按照不同的分类标准，可以分成不同的类型。按电感是否可调，可分为固定电感、可变电感和微调电感；按电感的导磁体性质，可分为带铁心和不带铁心电感；按电感的滤波特性，可分为低通电感和高通电感；按电感的绕线结构，可分为单层、多层、蜂房式线圈电感。

下面简要介绍几种常用电感的结构、特点及应用。

① 小型固定电感。

小型固定电感是用铜线直接绕在磁性材料骨架上，然后再用环氧树脂或塑料封装起来的。



知识链接

其外形结构主要有立式和卧式两种。小型固定电感的特点是体积小、重量轻、结构牢固、安装方便，在电子产品中应用广泛。

②可变电感。

可变电感是在线圈中插入磁心，并通过调节其在线圈中的位置来改变电感量。可变电感的特点是体积小、损耗小、分布电容小，电感量可在一定范围内连续调节。如收音机中的磁棒天线就是可变电感改装制成的。

③微调电感。

微调电感是在线圈中间装有可调节的磁帽或磁芯，通过旋转磁帽或磁芯可调节它们在线圈中的位置，从而改变电感量。



知识链接

微调电感可以满足整机调试的需要和补偿电感生产中的分散性，一次调好后，一般不再变动。

2) 电感的型号与命名

电感的型号很多，根据国家标准规定，国产电感的型号一般由3部分组成：第一部分用字母表示主称；第二部分用字母与数字混合或数字来表示电感量；第三部分用字母表示误差范围，见表1-12。

表 1-12 电容器型号命名规则

第一部分（主称）		第二部分（电感量）			第三部分（误差范围）	
字母	含义	字母与数字	字母	含义	字母	含义
L	电感器	2R2	2.2	2.2 μH	J 或 I	$\pm 5\%$
ZL	阻流圈	100	10	10 μH	K 或 II	$\pm 10\%$
		101	100	100 μH	M 或 III	$\pm 20\%$
		102	1000	1mH		
		103	10000	10mH		

3) 电感的主要性能指标

电感的主要性能指标有电感量、品质因数、额定电流等。

①电感量。

电感量是指电感器通过变化电流时产生感应电动势的能力，其常用单位为亨利(H)、毫亨(mH)和微亨(μH)。



知识链接

电感量的大小与电感线圈的匝数、线圈的截面积以及内部有无铁心或磁心有关。在同等条件下，匝数多的比匝数少的电感量大；有磁心的比无磁心的电感量大。

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07chapter
08

②品质因数。

品质因数是指电感器在某一频率的交流电压下工作时，其储存能量与消耗能量的比值。品质因数反映了电感器传输能量的本领，品质因数越大，传输能量的本领越大，即损耗越小。

③额定电流。

额定电流是指电感器在规定的工作环境下长期、可靠地工作所能承受的最大电流。当工作电流大于额定电流时，电感器会因发热而改变参数，甚至被烧毁。

4) 电感的识别方法

电感器的识别方法与电容器的识别方法类似。对于小型固定电感，参数的标注方法有直标法、色标法、数码法。

①直标法。

直标法是将电感量、误差值、额定电流等参数用文字直接标注在电感的外壳上。其中，额定电流常用字母 A、B、C、D、E 标注，见表 1-13。

表 1-13 小型固定电感器额定电流的直标法

字母	A	B	C	D	E
额定电流 (mA)	50	150	300	700	1600

例如，某电感器外壳上标有“3.9mH、A、Ⅱ”字标，则表示其电感量为 3.9mH，误差为Ⅱ级 ($\pm 10\%$)，额定电流为 A 挡 (50 mA)。

②色标法。

色标法是指在电感器的外壳上用各种不同颜色的环来标注其主要参数。色环通常有 4 条：最靠近某一端的第一条色环表示电感量的第一位有效数字；第二条色环表示电感量的第二位有效数字；第三条色环表示 10^n 倍乘数；第四条色环表示误差。其颜色与数字的对应关系同电阻色标法相同，单位为微亨 (μH)。

例如，某一电感器的色环标识依次为棕、红、红、银，则表示其电感量为 $12 \times 10^2 \mu\text{H} = 1200 \mu\text{H}$ ，允许误差为 $\pm 10\%$ 。

③数码法。

在一些小型固定电感上，常用 3 位数字表示其电感量，单位为 μH 。第一、第二位数字表示容量的有效数值，第三位数字表示倍率，即 10^n ， $n=1 \sim 9$ 。例如，101 表示 $10 \times 10^1 \mu\text{H} = 100 \mu\text{H}$ 。

(4) 半导体二极管

在自然界中存在着各种物质，它们的导电性能各不相同。



知识链接

按其导电能力的强弱，可以分为 3 大类：导体、半导体和绝缘体。

①导体——导电能力特别强的物质，如铜、铝、银等金属。

②绝缘体——导电能力非常差，几乎不传导电流的物质，如橡皮、塑料、陶瓷、木材等。

③ 半导体——导电能力介于导体与绝缘体之间的一类物质，如硅、锗、硒、砷化镓、一些硫化物和氧化物等。

把完全纯净的、具有晶体结构的半导体称为本征半导体；用特殊工艺掺入适量的杂质后形成的半导体称为杂质半导体。

半导体中有两种载流子：自由电子和空穴。本征半导体中两种载流子的浓度相同，杂质半导体中两种载流子的浓度不同。



拓展提高

杂质半导体有 N 型和 P 型之分：在 N 型半导体中，自由电子多，空穴少；在 P 型半导体中，自由电子少，空穴多。本征半导体和杂质半导体都是电中性的。

1) 半导体二极管的结构

N 型半导体和 P 型半导体结合后，在它们的交界面附近会形成一个很薄的空间电荷区，这就是所谓的 PN 结，如图 1-6 所示。

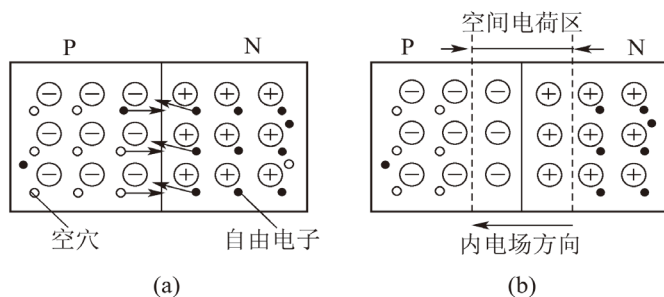


图 1-6 PN 结的形成

PN 结的基本特性是单向导电性。将 PN 结的 P 区接外加电源的正极，N 区接外加电源的负极，如图 1-7a 所示，称为给 PN 结加正向偏置电压（简称正偏），此时 PN 结处于导通状态，正向电阻很小；将 PN 结的 P 区接外加电源的负极，N 区接外加电源的正极，如图 1-7b 所示，称为给 PN 结加反向偏置电压（简称反偏），此时 PN 结处于截止状态，反向电阻很大。

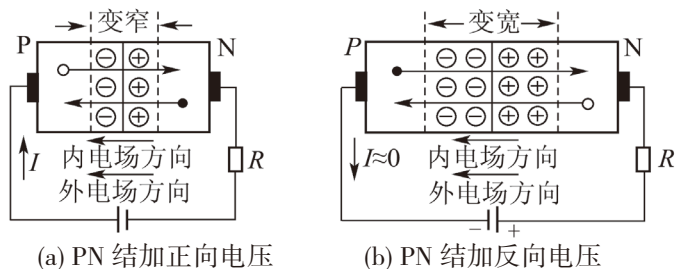


图 1-7 PN 结的单向导电性

chapter
01

chapter
02

chapter
03

chapter
04

chapter
05

chapter
06

chapter
07

chapter
08

把一个 PN 结加上两根引线，再加上外壳密封起来，便构成了二极管。从 P 区引出的电极称为二极管的阳极 A(或“+”极)，从 N 区引出的电极称为二极管的阴极 K(或“-”极)，如图 1-8 所示。



图 1-8 二极管的电路符号

2) 半导体二极管的分类

二极管的种类很多，按照不同的分类标准，可以分成不同的类型。



拓展提高

按其材料可分为硅二极管、锗二极管、砷化镓二极管等。按其制作工艺可分为点接触型二极管和面接触型二极管；按用途可分为整流二极管、检波二极管、稳压二极管、变容二极管、发光二极管、光电二极管、开关二极管等；按其封状形式可分为塑封二极管、玻封二极管、金属封二极管等。

各类二极管的电路符号如图 1-9 所示。

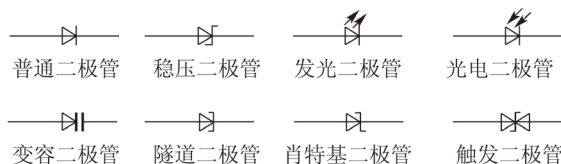


图 1-9 各类二极管的电路符号

常用二极管的原理、特点及应用见表 1-14。

表 1-14 常用二极管的原理、特点及应用

名称	原理、特点	用途
整流二极管	多用硅半导体制成，利用 PN 结的单向导电性	把交流电变为脉动直流电，即整流
稳压二极管	二极管反向击穿时，两端电压不变	稳压限幅，过载保护，广泛用于稳压电源装置中
开关二极管	正偏压时二极管电阻很小，反偏压时电阻很大，具有单向导电性	在电路中对电流进行控制，起到“接通”或“关断”的开关作用
检波二极管	常用点接触式，高频特性好	把调制在高频电磁波上的低频信号检出来
光电二极管	利用光电效应制成的单 PN 结光敏器件，随着光照强度的增大，其反向电阻急剧减小	常用于光电式传感器、光电输入机、光电转换自动控制以及光电读出装置中
发光二极管	正向电压为 1.5~3V 时，只要正向电流通过，就可发光	用于指示，可组成数字或符号

3) 半导体二极管的主要技术参数

① 半导体二极管的伏安特性曲线描述半导体二极管的电压 U 与流过它的电流 I 之间的关系的曲线称为伏安特性曲线, 如图 1-10 所示。

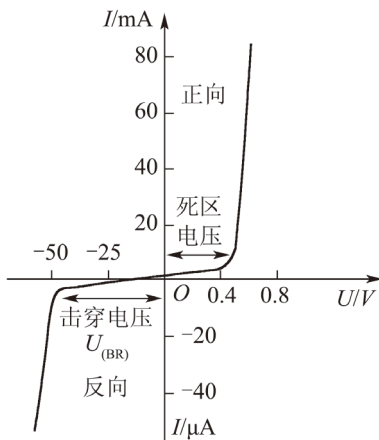


图 1-10 半导体二极管的伏安特性曲线

a. 正向特性。

对应于图 1-10 中 U 大于 0 的曲线段称为正向特性。当二极管承受的正向电压很低时, 二极管的正向电流很小, 这一区段称为死区; 当二极管的正向电压超过死区电压后, 正向电流明显增加, 并且随着正向电压的增大而迅速增大, 此时二极管的正向电阻变得很小。当二极管充分导通后, 二极管的正向电压基本保持不变, 这一区段称为正向导通区。

b. 反向特性。

对应于图 1-10 中 U 小于 0 的曲线段称为反向特性。



拓展提高

当二极管承受的反向电压较低时, 二极管的反向电流极小, 这一区段称为反向截止区; 当二极管的反向电压超过某一数值时, 反向电流急剧增大, 这种现象称为反向击穿。

在室温下, 硅管和锗管的死区电压、正向导通电压及反向饱和电流见表 1-15。

表 1-15 二极管的伏安特性参数

管型 参数	死区电压 / V	正向导通电压 / V	反向饱和电流 / μ A
硅管	0.5	0.6 ~ 0.7	小于 1
锗管	0.1	0.2 ~ 0.3	几至几十

② 半导体二极管的主要技术参数。

了解二极管的技术参数是正确使用二极管的前提, 不同型号的二极管有不同的参数值。

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07chapter
08



拓展提高

最大整流电流是指半导体二极管长时间工作时，允许通过的最大正向平均电流。使用二极管时，电路的最大电流不能超过此值，否则二极管就会因发热而烧坏。点接触型二极管的最大整流电流在几十毫安以下，面接触型二极管的最大整流电流较大。

最高反向工作电压是指保证二极管安全可靠工作的最高反向电压，通常为二极管反向击穿电压的 1/2 或 2/3。使用二极管时，反向电压不能超过该值，否则会有击穿的危险。点接触型二极管的最高反向工作电压一般是数十伏，面接触型二极管可达数百伏。

最大反向电流是指在最高反向工作电压下允许流过二极管的反向电流。它的大小反映了二极管单向导电性能的好坏，其值越小，表明二极管的质量越好。硅管的最高反向电流一般在几微安以下，锗管的最高反向电流一般在几十至几百微安。

最高工作频率是指二极管在正常工作下的最高频率。若通过二极管的电流频率大于此值，二极管就不能正常工作。

4) 半导体二极管的命名规定

二极管的型号很多，根据国家标准规定，半导体二极管的型号一般由 5 个部分组成。

第一部分用数字 2 表示二极管。

第二部分用字母表示材料和极性，见表 1-16。

第三部分用字母表示类型，见表 1-17。

第四部分用数字表示序号。

第五部分用字母表示规格。

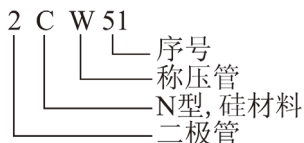
表 1-16 二极管型号第二部分字母含义

字母	A	B	C	D
含义	N 型，锗材料	P 型，锗材料	N 型，硅材料	P 型，硅材料

表 1-17 二极管型号第三部分字母含义

字母	含义	字母	含义	字母	含义
P	普通管	Z	整流管	U	光电器件
V	微波管	L	整流堆	K	开关管
W	稳压管	S	隧道管	B	雪崩管
C	参量管	N	阻尼管		

例如，



(5) 半导体三极管

半导体三极管(又称晶体管)是电子电路中一种极其有用的半导体器件，它的放大作用和开关作用是电子电路的重要基础。



拓展提高

要学好计算机电路，就必须很好地理解三极管的放大及开关原理，并掌握它的外部特性。

1) 半导体三极管的结构

半导体三极管是由两个 PN 结、3 个电极组成的，根据 PN 结组合方式的不同，分为 NPN 型和 PNP 型两种类型，如图 1-11 所示。

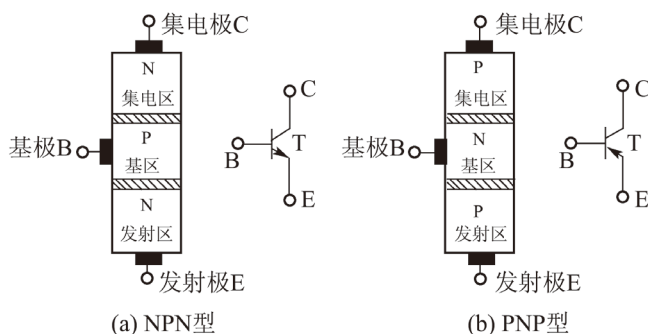


图 1-11 三极管的结构示意图及电路符号

不论是 NPN 型还是 PNP 型的三极管，都有 3 个区，即发射区、基区和集电区，以及分别从这 3 个区引出的电极：发射极 (E)、基极 (B) 和集电极 (C)。图中发射极箭头所示方向表示发射结正向电流的流向，NPN 管流出，PNP 管流入。

2) 半导体三极管的分类与型号

半导体三极管的种类很多，按照不同的分类标准，可以分成不同的类型。按所用的半导体材料来分，有硅管和锗管。按功率来分，有大功率管和小功率管。按工作频率来分，有高频管和低频管。目前生产的硅管多数为 NPN 型 (3D 系列)，锗管多数为 PNP 型 (3A 系列)。

国产半导体三极管的型号通常由以下 4 个部分组成。

第一部分用数字 3 表示三极管。

第二部分用字母表示材料和极性，见表 1-18。

表 1-18 三极管型号第二部分字母含义

字母	A	B	C	D
含义	PNP 型锗管	NPN 型锗管	PNP 型硅管	NPN 型硅管

第三部分用字母表示类型，见表 1-19。

表 1-19 三极管型号第三部分字母含义

字母	X	G	D	A
含义	低频小功率管	高频小功率管	低频大功率管	高频大功率管

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

第四部分用数字和字母表示序号和档级，用于区别同类三极管器件的某项参数的不同。

例如，3AX31A —— PNP 型低频小功率锗三极管；

3DG6A —— NPN 型高频小功率硅三极管；

3DD102B —— NPN 型低频大功率硅三极管；

3AD30C —— PNP 型低频大功率锗三极管；

3AA1 —— PNP 型高频大功率锗三极管。

3) 半导体三极管的输出特性曲线

半导体三极管的特性曲线是指半导体三极管各电极之间电压与电流的关系曲线，它直观地表达出半导体三极管内部的物理变化规律，描述出半导体三极管的外部特性。

拓展提高

输出特性是指当基极电流 i_B 为常数时，集电极电流 i_C 与集电极—发射极电压 U_{CE} 之间的关系曲线。

下面以图 1-12 所示的共发射极电路为例来讨论其输出特性曲线。

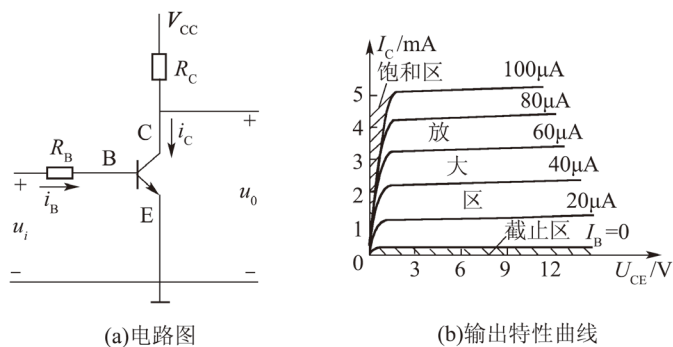


图 1-12 半导体三极管的输出特性

通常输出特性曲线分为 3 个工作区：截止区、放大区、饱和区。

①截止区。

$I_B=0$ 时的特性曲线以下的区域称为截止区，特征是集电结反偏，发射结反偏或零偏，此时三极管就像一个断开的开关，如图 1-13a 所示。

②饱和区。

特性曲线靠近纵轴的区域称为饱和区，特征是集电结正偏，发射结正偏，此时三极管就像一个闭合的开关，如图 1-13b 所示。

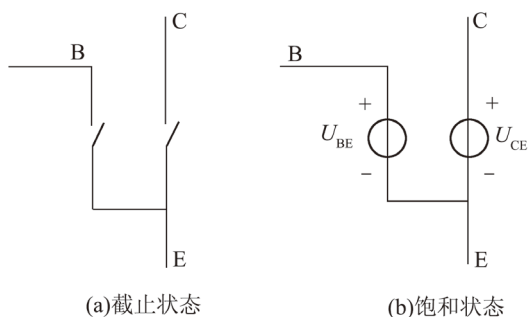


图 1-13 半导体三极管的开关等效电路

③放大区。

特性曲线近似水平直线的区域称为放大区，特征是集电结反偏，发射结正偏，此时三极管可看作一个受基极电流控制的受控理想电流源。



拓展提高

在数字电路中，三极管通常是作为一个开关来使用的，因此不允许它工作在放大状态，而只能工作在饱和导通状态或截止状态。

4) 半导体三极管的主要技术参数

技术参数是设计电路、选用三极管的依据。半导体三极管的参数主要有以下几类。

①电流放大系数。

电流放大系数主要用来表示三极管的电流放大能力，有直流放大系数和交流放大系数之分，在共射状态下分别用 $\bar{\beta}$ 和 β 表示。

$$\bar{\beta} = \frac{I_C - I_{CE0}}{I_B} \approx \frac{I_C}{I_B} \quad \beta = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{U_{CE} = \text{常数}}$$

②极间反向电流。

极间反向电流用来表示三极管工作时的稳定情况，主要有集电极 - 基极反向电流 I_{CBO} 和集电极 - 发射极反向电流 I_{CEO} (又称为穿透电流) 两个。

I_{CBO} 是指发射极开路时，集电极与基极之间的反向饱和电流。受温度影响，这个电流变化剧烈。此值越小说明三极管的温度稳定性越好。在室温下，一般小功率锗管约 $10 \mu\text{A}$ ，硅管更小些。硅管的温度稳定性优于锗管。

I_{CEO} 是指基极开路时，集电极与发射极之间的反向电流。

通常 $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ 。

③极限参数。

极限参数用来表示三极管正常稳定工作时所必须满足的技术条件，主要有集电极最大允许电流 I_{CM} 、集电极最大允许耗散功率 P_{CM} 和集电极 - 发射极反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$ 三个。

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05chapter
06chapter
07chapter
08

5) 半导体三极管的极性识别

三极管主要有金属管壳封装和塑料外壳封装两种，如图 1-14 所示。

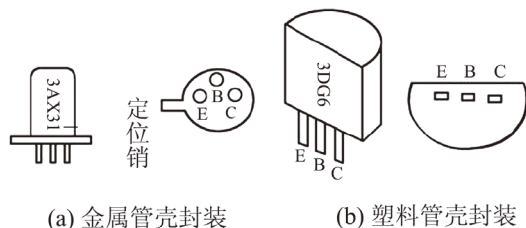


图 1-14 半导体三极管的极性识别



拓展提高

金属管壳封装的三极管极性识别通常有以下几种方法。

- ①管脚排列呈等腰三角形，顶点是 B 极，有凸出定位销的一边为 E 极，另一边为 C 极；
- ②管脚排列呈等腰三角形，顶点是 B 极，有红色点的一边为 C 极，另一边为 E 极；
- ③管脚排列呈等腰三角形，顶点与管壳上的红点标记相对应的是 C 极，与白点相对应的是 B 极，与绿点相对应的是 E 极；
- ④管脚排列呈一条直线且距离相等，管壳带红点的一边是 E 极，中间是 C 极，另一脚是 B 极；
- ⑤管脚排列呈一条直线但距离不相等，距离较近的两脚之中靠外的管脚是 E 极，靠里的是 B 极，另一脚是 C 极；
- ⑥对于塑料外壳封装的三极管，可将剖去一个平面或去掉一角的标记朝向自己，则从左至右依次为 E 极、B 极、C 极。

6) 场效应晶体管简介

场效应晶体管简称 FET，是一种电压控制型的半导体器件。它与三极管一样也有 3 个电极：源极 (S 极)、栅极 (G 极) 和漏极 (D 极)，分别类似于普通三极管的发射极 (E 极)、基极 (B 极)、集电极 (C 极)。场效应晶体管具有电阻高 (可达 $10^9 \sim 10^{15} \Omega$)，噪声低，受温度、辐射等外界条件的影响小，耗电省，便于集成等优点，因此得到广泛应用。

按结构的不同，场效应晶体管可分为结型场效应管 (简称为 J-FET) 和金属 - 氧化物 - 半导体绝缘栅型场效应管 (简称为 MOS 场效应管)。按工作性能的不同，场效应晶体管可分为耗尽型和增强型。



拓展提高

按所用基片材料的不同，场效应晶体管可分为 P 型沟道和 N 型沟道 (沟道就是电流通路)。

因此，场效应晶体管有结型 P 沟道和 N 沟道、绝缘栅耗尽型 P 沟道和 N 沟道、绝缘栅增强型 P 沟道和 N 沟道等 6 种类型。图 1-15 为上述 6 种场效应晶体管的电路符号。

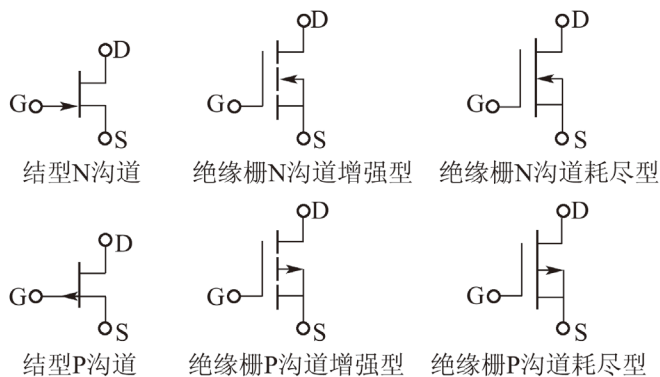


图 1-15 场效应晶体管的电路符号

任务实施

电脑主板上含有电容器、电感器、二极管和三极管等元器件，先分别进行测试。

(1) 电容器的测试

电解电容器质量的优劣（如漏电、容量衰减或失效等），也可以利用万用表的电阻挡进行简单的测试。具体方法如下所述。

操作技巧

根据电容量的大小，适当选择万用表的电阻挡“ $R \times 10k$ ”、“ $R \times 1k$ ”或“ $R \times 100$ ”，容量越小挡位越高。

然后，将黑表笔接电容器的正极，红表笔接电容器的负极，若表针摆动大，且返回慢，返回位置接近 ∞ ，说明该电容器正常，且电容量大；若表针摆动虽大，但返回时，表针显示的 Ω 值较小，说明该电容漏电电流较大；若表针摆动很大，接近于 0Ω ，且不返回，说明该电容器已击穿；若表针不摆动，则说明该电容器已开路，失效。

另外，如果需要对电容器再一次测量时，必须将其放电后才能进行。

(2) 电感器的测试

电感器的直流电阻及电感量也可以利用万用表进行简单的测试。

电感器线圈的直流电阻可用公式 $R = \rho L/S$ 来表示。式中 ρ 为导线的电阻率， L 为导线的长度， S 为导线的截面积。若已知各参数值，根据计算可得电阻值。在各参数值未知的情况下，可适当选择万用表的电阻挡来测量线圈的直流电阻。测量方法如图 1-16a 所示。

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08



(a) 测量电感器的直流电阻

(b) 测量电感器的电感量

图 1-16 电感器的直流电阻及电感量的测量

若测量出的阻值为无穷大, 说明内部线圈已开路, 电感器已损坏; 若测量出一定的阻值且在正常范围内, 说明此电感器正常; 若测量出的阻值偏小或阻值为 0, 说明导线的匝与匝 (或层与层) 之间有局部短路或完全短路。

操作技巧

在测量电路板上的电感器时, 应注意将电感器与外电路断开, 以免外电路的元器件与线圈起串、并联作用, 引起测量误差。

用带电感刻度线的万用表 (如 U-101) 将 10V 交流辅助电源和被测电感器串联后, 接在万用表的“10V”挡上, 如图 1-16b 所示, 在万用表的刻度盘上便可直接读出电感量的数值。

(3) 二极管的测试

二极管的好坏及电极的判别。选择万用表的“ $R \times 10k$ ”挡, 用红、黑两表笔分别接触二极管的两个电极, 测出其正、反向电阻值。二极管的正向电阻一般为几十欧到几千欧, 反向电阻为几百千欧以上, 正、反向电阻差值越大越好。若正、反向电阻都为零, 则管子内部短路; 若正、反向电阻均为 ∞ , 则管子内部开路; 若正、反向电阻接近, 则管子性能差。用上述测法测得阻值较小的那次, 黑表笔所接触的电极是二极管的正极, 另一端为负极。

二极管类型的判别。经验证明, 用 500 型万用表的 $R \times 1k$ 挡测二极管的正向电阻时, 硅管为 $6\Omega \sim 20k\Omega$, 锗管为 $1\Omega \sim 5k\Omega$ 。用 2.5V 或 10V 电压挡测二极管的正向导通电压时, 一般锗管的正向电压为 $0.1 \sim 0.3V$, 硅管的正向电压为 $0.5 \sim 0.7V$ 。

(4) 三极管的测试

判断基极和管子类型。由于三极管的基极对集电极和发射极的正向电阻都较小, 据此, 可先找出基极。选择万用表的“ $R \times 100$ ”或“ $R \times 1k$ ”挡, 当红表笔接触某一电极时, 将黑表笔分别与另外两个电极接触, 如果两次测得的电阻值均为几十至上百千欧的高电阻时, 则表明该管为 NPN 型管, 且这时红表笔所接触的电极是基极, 其测量示意图如图 1-17a 所示。同理, 当红表笔接触某一电极时, 将黑表笔分别与另外

两个电极接触，如果两次测得的电阻值均为几百欧姆的低电阻时，则表明该管为 PNP 型管，且这时红表笔所接触的电极为基础。其测量示意图如图 1-17b 所示。

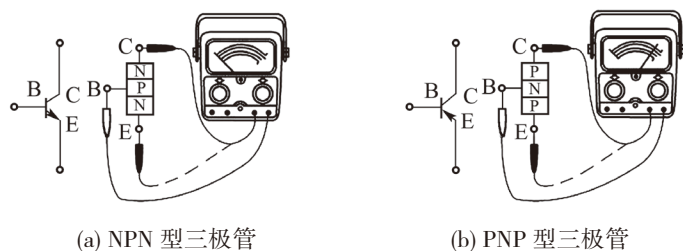


图 1-17 用万用表判断三极管的基极和类型

判断集电极和发射极。

操作技巧

在判别出管型和基极的基础上，任意假定一个电极为 E 极，一个为 C 极。

对于 PNP 型管，将红表笔接假定的 C 极，黑表笔接 E 极，再用手同时捏住管子的 B、C 极，注意不要将两电极直接相碰，如图 1-18 所示，同时注意万用表指针向右摆动的幅度，然后使假设的 E、C 极对调，再次进行测量，若第一次观测时的摆动幅度大，则说明对 E、C 极的假设是对的，若第二次观测时的摆动幅度大，则说明第二次的假设是对的。

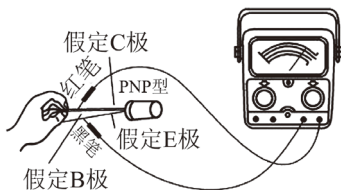


图 1-18 判断晶体三极管的集电极和发射极

对于 NPN 型管，也可采用同样的方法来处理，具体操作可以自己动手测试。在上述检测过程中，若万用表指针向右摆动的幅度太小，可将手指湿润一下重测。

项目小结

本项目主要讲解了计算机电路中常用的一些元器件，其主要包括电阻器、电容器、电感器、半导体二极管、半导体三极管等。

chapter
01

chapter
02

chapter
03

chapter
04

chapter
05

chapter
06

chapter
07

chapter
08

项目考核



填空题

- (1) _____ 通常称为电阻,是电子设备中使用最多的基本元件之一。
- (2) 电容器通常称为电容,是在两个金属电极之间夹一层 _____ 构成的,具有 _____ 的作用。
- (3) 电感器按电感是否可调,可分为 _____、_____、_____。



判断题

- (1) 小型固定电感是用铜线直接绕在磁性材料骨架上,然后再用环氧树脂或塑料封装起来的。()
- (2) 开关二极管把调制在高频电磁波上的低频信号检出来。()
- (3) 半导体三极管(又称晶体管)是电子电路中一种极其有用的半导体器件,它的放大作用和开关作用是电子电路的重要基础。()



问答题

- (1) 写出下列电阻标识文字符号的意义: R5, 4K3, 4M7, RJ7-1.2k Ω \pm 0.25%。
- (2) 已知某一电阻器按最靠近某一端的色码带排列顺序为橙、黑、红、金色,该电阻器的阻值是多少?若按最靠近某一端的色码带排列顺序为绿、棕、橙、无色,则该电阻器的阻值是多少?
- (3) 若某瓷片电容上标有数字“104”,则该电容的电容量是多少?
- (4) 完成下面电阻、电容、电感参数的单位换算。
 $110\Omega = ()M\Omega = ()k\Omega$
 $0.33\mu F = ()pF = ()F$
 $39\mu H = ()MH = ()H$
- (5) 什么是P型半导体和N型半导体?其多数载流子和少数载流子各是什么?能否说P型半导体带正电、N型半导体带负电?
- (6) 什么是二极管的死区电压?为什么会出现死区电压?二极管的死区电压的典型值约为多少?
- (7) 三极管是由两个PN结组成的,是否可以用两个二极管组成一个三极管使用?
- (8) 在数字电路中,三极管主要工作在什么状态?