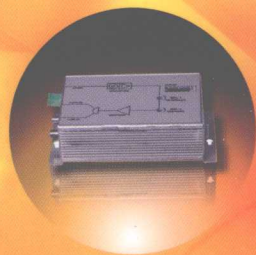
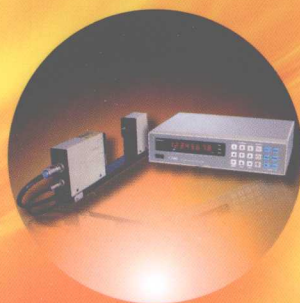
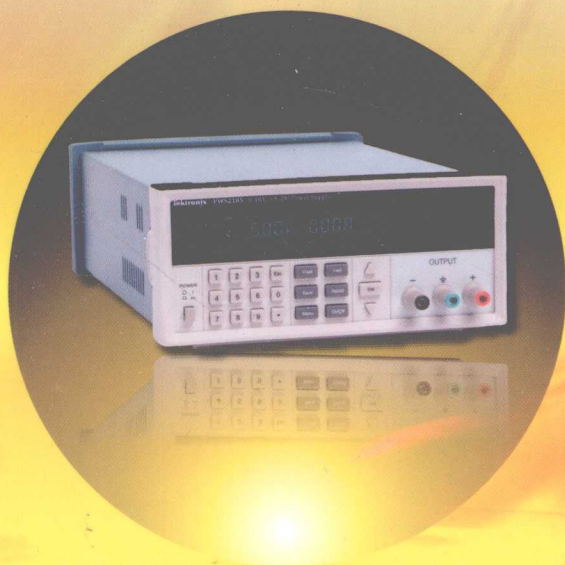


ZHILIU WENDING DIANYUAN

# 直流稳定电源

杨贵恒 张瑞伟 钱希森 罗洪君 等编著



化学工业出版社

TN86  
Y182

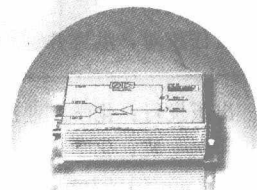
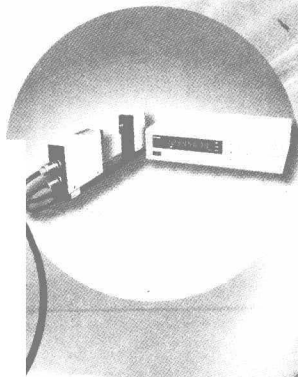
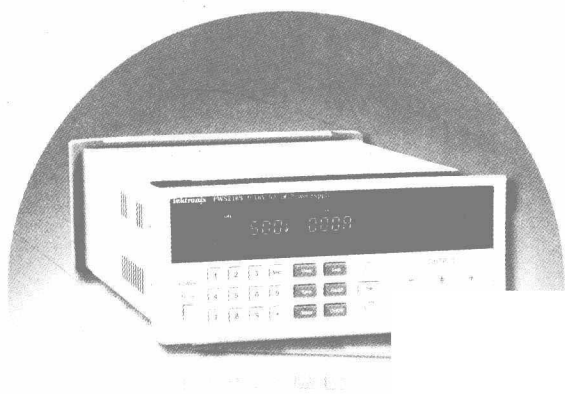
ZHILIU WENDING DIANYUAN

-18

# 直流稳定电源

杨贵恒 张瑞伟 钱希森 罗洪君 等编著

李龙 主审



TN86  
Y182



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

直流稳定电源/杨贵恒等编著. —北京: 化学工业出版社, 2010.1  
ISBN 978-7-122-07311-2

I. 直… II. 杨… III. 直流-稳定电源 IV. TN876.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 229662 号

---

责任编辑: 刘 哲  
责任校对: 洪雅姝

文字编辑: 鲍晓娟  
装帧设计: 周 遥

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 装: 化学工业出版社印刷厂  
787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 502 千字 2010 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 42.00 元

版权所有 违者必究



# 前 言

直流稳定电源是以电力电子技术为理论基础，电力、电子和控制三大电气工程技术领域之间的交叉学科，其核心内容是电能变换与处理。早期的直流稳定电源以线性电源和相控电源为主，随着新材料、新工艺、新技术和新器件的不断涌现，电力电子技术有了长足的发展，采用脉宽调制（PWM）技术的高频开关电源得到了广泛应用。

本书主要介绍直流稳定电源（线性稳定电源、相控稳定电源和高频开关电源）的工作原理以及典型设备的操作、使用与常见故障检修方法。全书共分五章。第一章介绍了直流稳定电源常用元器件，是全书的基础。第二章首先讲述线性稳定电源的基本结构与特点，然后讲述线性稳定电源中经常用到的不可控整流与滤波电路以及线性稳定电源电路的基本工作原理，最后以30V/3A线性稳压电源为例，讲述线性稳压电源各组成电路的工作过程及其常见故障检修。第三章主要讲述可控整流电路、晶闸管触发电路、典型相控稳定电源各组成电路工作原理以及相控稳定电源使用注意事项。第四章首先讲述高频开关电源各部分组成电路（DC/DC功率变换电路、控制电路、驱动电路、保护电路、辅助电源电路和功率因数校正电路等）的工作原理，然后以48V/5A开关稳压电源为例讲解其电路组成、工作原理、结构特点以及常见故障检修。第五章介绍直流稳定电源性能指标及其测试。在本书的最后还列出了三个附录，分别介绍了半导体器件型号命名方法及其主要参数、稳压二极管及其稳压电路以及高频开关电源常用集成控制器举例，以方便读者查阅。

本书由杨贵恒、张瑞伟、钱希森、罗洪君、张颖超、刘扬和强生泽等共同编写。绪论、第五章、附录2和附录3由钱希森、强生泽、刘凡、赵志旺和闫明华编写；第一章由罗洪君、张传富、金丽萍、周曲和蒋王莉编写；第二章和附录1由杨贵恒、曹均灿、龚伟、詹天文和王大伟编写；第三章由张颖超、张黎、蒲红梅、聂金铜和朱鹏涛编写；第四章由张瑞伟、刘扬、谭坚文、季占兴和余江编写。吴英女士做了部分文字的录入和校对工作。全书由杨贵恒统稿，李龙担任主审。在本书编写过程中，得到了重庆通信学院教保科和电力电子教研室全体同仁的大力支持与帮助，并提出了许多修改意见，在此一并致谢。

本书内容丰富、讲解深入浅出，紧密结合具体电路与产品，具有较强的实用性和针对性，可作为电源技术爱好者的自学读物，也可供通信电源工程技术人员阅读参考，还可作为大专院校以及职业技术学院相关专业师生的教学参考书。

由于本书所涉及的知识面广，相关技术发展迅猛，加之编者的水平和经验有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编著者  
2010年1月

# 目 录

绪论 .....	1
一、电源稳定问题的提出 .....	1
二、输出电压不稳的成因 .....	1
三、直流稳定电源及其分类 .....	2
第一章 直流稳定电源常用元器件 .....	4
第一节 常用无源功率元器件 .....	4
一、电阻器 .....	4
二、电容器 .....	12
三、电感器 .....	19
四、变压器 .....	23
第二节 电力电子器件 .....	28
一、电力二极管 .....	28
二、晶闸管 .....	32
三、电力晶体管 .....	38
四、功率场效应晶体管 .....	40
五、绝缘栅双极晶体管 .....	43
第三节 其他常用元器件 .....	47
一、光电耦合器 .....	48
二、霍尔传感器 .....	50
三、继电器 .....	54
习题与思考题 .....	63
第二章 线性稳定电源 .....	64
第一节 线性稳定电源的基本结构及特点 .....	64
一、线性稳定电源的基本结构 .....	64
二、线性稳定电源的特点 .....	65
第二节 不可控整流与滤波电路 .....	65
一、单相不可控整流电路 .....	66
二、三相不可控整流电路 .....	72
三、滤波电路 .....	79
第三节 线性稳定电源电路工作原理 .....	86
一、串联型晶体管稳压电路 .....	86
二、带有放大环节的串联型稳压电源电路 .....	88
三、改进的串联型稳压电源电路 .....	90
四、线性稳压电源的保护电路 .....	93
五、限流和恒流电路 .....	94
第四节 线性集成稳压电源 .....	95

一、集成稳压器的命名方法 .....	96
二、三端集成稳压器的封装形式与端子功能 .....	96
三、三端集成稳压器的典型应用 .....	98
四、三端集成稳压器的扩展应用 .....	100
五、用三端集成稳压器构成恒流源 .....	103
第五节 30V/3A 线性稳压电源使用与维修 .....	104
一、电路组成 .....	105
二、工作原理 .....	105
三、性能指标 .....	108
四、故障检修 .....	108
习题与思考题 .....	115
<b>第三章 相控稳定电源</b> .....	116
第一节 可控整流电路 .....	116
一、单相可控整流电路 .....	116
二、三相可控整流电路 .....	126
第二节 晶闸管触发电路 .....	140
一、对触发电路的要求 .....	140
二、触发电路的种类 .....	141
三、单结晶体管触发电路 .....	142
四、锯齿波同步触发电路 .....	145
五、集成触发电路 .....	150
六、触发电路与主回路的同步 .....	152
第三节 典型相控稳定电源 .....	155
一、主要技术指标及组成 .....	155
二、主回路工作原理 .....	156
三、调整系统工作原理 .....	157
四、信号保护电路工作原理 .....	161
五、开/停机工作原理 .....	162
六、使用维护注意事项 .....	163
习题与思考题 .....	164
<b>第四章 开关电源</b> .....	166
第一节 开关电源的结构与特点 .....	166
一、开关电源的基本结构 .....	166
二、开关电源的优点 .....	167
第二节 DC/DC 功率变换器 .....	168
一、升降压型变换器 .....	168
二、单端正激式变换器 .....	169
三、单端反激式变换器 .....	171
四、推挽式变换器 .....	172
五、全桥式变换器 .....	173
六、半桥式变换器 .....	174
七、各种功率变换器的比较与应用 .....	175
第三节 控制电路 .....	176

一、时间比例控制原理	176
二、集成 PWM 控制器	180
三、稳流控制电路	183
第四节 驱动电路	184
一、GTR 的基极驱动电路	184
二、功率 MOSFET 栅极驱动电路	185
三、IGBT 的栅极驱动电路	187
第五节 保护电路	188
一、过流保护电路	188
二、过电压保护电路	191
三、欠压保护电路	193
四、过热保护电路	194
第六节 辅助电源	195
一、串联线性调整型稳压电源	195
二、小功率开关稳压电源	197
第七节 功率因数校正技术	199
一、功率因数 (PF) 和总谐波畸变 (THD) 的定义	199
二、传统开关电源所存在的问题	199
三、功率因数校正的方法	200
四、典型功率因数校正电路	203
第八节 48V/5A 开关电源工作原理与常见故障检修	207
一、电路组成	207
二、工作原理	209
三、性能指标	211
四、故障检修的一般原则与基本方法	211
五、故障检修实例	212
习题与思考题	221
<b>第五章 直流稳定电源性能指标及其测试</b>	<b>223</b>
第一节 主要技术性能指标	223
一、输入技术指标	223
二、输出技术指标	224
三、功能指标	224
四、其他指标	225
第二节 主要性能指标测试	226
一、负载效应测试	226
二、源效应测试	227
三、温度效应测试	228
四、纹波电压测试	229
五、漂移测试	229
六、效率测试	229
七、与瞬态条件有关量的测试	230
八、电磁兼容测试	231
习题与思考题	232

附录	233
附录 1 半导体器件型号命名方法及其主要参数	233
一、半导体器件型号命名方法	233
二、二极管主要性能参数及其端子排列	235
三、三极管主要性能参数及其端子排列	241
附录 2 稳压二极管及其稳压电路	249
一、稳压二极管	249
二、稳压二极管稳压电路	250
三、稳压二极管和限流电阻的选择	251
四、稳压二极管的稳压性能	251
附录 3 高频开关电源常用集成控制器举例	252
一、TL494 脉宽调制 (PWM) 控制器	252
二、MC34262/MC33262 功率因数 (PFC) 控制器	260
三、FAN4803 (ML4803) 组合 (PWM+PFC) 控制器	267
参考文献	277



# 绪 论

## 一、电源稳定问题的提出

各种用电设备对供电质量都有一定的要求，这些要求包括供电电源应为交流还是直流、电压额定值及其变化范围、频率额定值及其变化范围、最大功率等，其中对供电电压的要求是最常见也是最重要的一项要求。例如，有的用电设备要求为之提供额定频率为 50Hz、额定电压为 220V 的交流电，而且电压的变化不超过额定值的  $\pm 10\%$ ，如达不到要求则可能导致用电设备工作不正常；采用锂离子电池的手机，要求为之配套的充电电源输出为直流，电压上限为 4.2V，且最大输出电流要控制在某数值以下，否则就有可能导致锂离子电池损坏或造成其他事故。由此可见，用电设备的供电电压应该具有一定的稳定性，最好是供电电压稳定不变。用电设备一经确定之后，为之供电的电压也就确定了。

一般来说，当供电电源电压的稳定性不能满足负载要求时，最简单的办法就是在负载前面加装一个调压器，这个调压器送给负载的可以是直流也可以是交流，通过调压器将负载上的电压调到规定值。但人工调整不但麻烦，有时甚至是不可能的，因此能够自动调压的稳压电源（稳压器）便应运而生。这种电源的功能就是能自动保持输出电压的稳定。当然，这里所说的“稳定”，是说电压的变化比较小，小到可以允许的范围内，并非绝对不变。

稳压电源的作用可以通过图 0-1 来说明。当输入电压  $U_i$  变化或负载电阻  $R_L$  变化时，稳压电源的输出电压  $U_o$  都应保持稳定。这个概念适用于直流稳压，也适用于交流稳压，即输入电压  $U_i$  和输出电压  $U_o$  可以是直流电压也可以是交流电压。

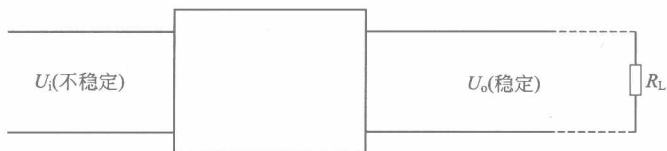


图 0-1 稳压电源的作用示意框图

当然，稳压电源本身对于供电电压  $U_i$  的变化范围也有相应的要求，只是这个要求相对较低。例如 HRG48-500J/50 48V/500A 一体化通信用高频开关电源系统，要求输入交流电压范围为 150~300V，输出直流电压 48~60V 可调。如果输入电压超出这个范围，稳压电源就不能保证达到规定的性能指标，甚至有损坏的可能。

由于为用电设备供电的电能量指标不止电压一个，还有诸如电流、频率、功率等，于是也就相应地有了保持输出电流稳定的稳流电源、保持输出频率稳定的稳频电源、保持输出功率稳定的恒功率源等。其中保持输出电压稳定的稳压电源出现得最早，应用也最为普遍，如各种常见的交流稳压器、开关电源等。本书重点介绍保持输出电压稳定的稳压电源，而且是针对输出为直流的稳压电源。

## 二、输出电压不稳的成因

用电设备无论是使用交流电还是直流电，其原始来源一定是源自于某种发电（储能）设备，

如水力发电机组、风力发电机组、柴油发电机组、核动力发电机组、太阳能电池、蓄电池和燃料电池等。这些发电（储能）设备所送出的电能，总会因设备自身原因或外界其他因素而导致性能参数不稳，如突发供电中断、供电电压不稳、频率漂移等。基于以上原因，人们才提出在用电设备前端设置稳压电源等装置以保证供电质量，希望通过稳压电源保证输出电压的恒定，但事实上，有了稳压电源，也不能保证输出电压绝对不变。从稳压电源的稳压原理来看，引起输出电压变化的因素主要有两个方面：一方面是输入电压的变化必然引起输出电压的变化；另一方面是由于负载电阻的变化而导致输出电流（负载电流）变化，也必然引起输出电压的变化。

认识到影响稳压电源输出电压变化的两个因素后，就必须在稳压电源产品设计过程中考虑减小因这两种因素而导致输出电压变化的措施，如选择技术先进的实现输出电压稳定的方案，选择性能优异和可靠性高的电路元器件，适当选择控制驱动电路中误差放大器的放大倍数等。与此同时，针对引起稳压电源输出电压变化的这两个因素，考察稳压电源稳定电压能力时，首先要看由于输入电压、输出电流变化而引起的输出电压变化的程度，也就是说，输入电压和输出电流变化引起稳压电源输出电压的变化要在规定的指标范围内尽可能小，不可能做到输出电压绝对不变。

上述引起稳压电源输出电压变化的两个因素，是从稳压原理方面来考虑的，并没有考虑电路中元器件参数的变化而引起输出电压的变化。事实上，稳压电路中的元器件参数值不可能一成不变，而是要随着使用时间、使用环境、使用条件的改变而变化。如晶体二极管的工作温度每升高 $1^{\circ}\text{C}$ ，其正向压降要下降 $2.5\text{mV}$ ；普通铝电解电容器的电容量，在温度为 $-40^{\circ}\text{C}$ 时，会比额定容量下降 $20\%$ 左右。电路中元器件参数的变化势必引起原有设定工作点的改变，从而导致输出电压发生变化，也就出现了输出电压随温度而变化 and 随使用时间而变化等漂移现象。于是即便是输入电压和负载电流都保持不变，稳压电源的输出电压也不会保持绝对稳定，这一点在高精度稳压电源产品设计中，必须给予足够的重视。

### 三、直流稳定电源及其分类

无论对于交流电源还是直流电源，如果其输出电压是稳定的，就在“电源”一词的前面再加上“稳压”一词，于是就有了“交流稳压电源”和“直流稳压电源”的称谓。当然，如果电源的输出电流是稳定的，就在“电源”一词的前面再加上“稳流”一词，于是也就有了“交流稳流电源”和“直流稳流电源”的称谓。“直流稳压电源”和“直流稳流电源”简称为“直流稳定电源”。

直流稳定电源输入的电能可以是交流电也可以是直流电。如果输入的是交流电，则将其称之为整流电源，也称之为整流器；如果输入的是直流电，则将其称之为直流变换电源，也称为直流变换器。按照这种对电源的称谓方式，人们注重的是电源所能实现的电能变换过程。按照前述对电源的称谓方式，人们注重的是一种电源的输出是否稳定以及稳定的是输出电压还是输出电流。一般来说，整流器和直流变换器通常都具有稳定输出电压或稳定输出电流的功能，因此对一种电源产品的称谓，可能随人们的关注点不同而有所不同。

由于绝大多数电子设备的主体是由电子电路构成，而电子电路常需要直流电源供电，可以说直流电源是电子设备必不可少的组成部分。这种电源在结构上既可以与电子设备一体化设计安装，也可以设计成独立的电源产品。从这种电源的输出特点上来看，可能是以稳定输出电压形式出现，也有可能是以稳定输出电流形式出现，其中绝大多数呈现的是输出电压稳定的稳压电源。从这种电源的输入电能形式上来看，可能是直流也可能是交流，当输入是交流电时，可能是源自于电网的交流电，也有可能是源自于其他交流发电装置；当输入是直流电时，可能是对电网的交流电经整流而获得，也有可能是源自于电池等其他装置。其中，最方便、最经济的电能来源是取自于电网的交流电。

在考虑具体的稳定输出直流电压电路时，首先必须考虑输入的电能形式，输入电能形式的不

同，必定会导致直流稳压电源电路的不同。当输入是交流电（无论是源自于电网还是源自于其他交流发电装置）时，可通过二极管整流和滤波电路将其变成直流电，因此无论直流稳压电源的输入是交流还是直流，其稳压的主体电路结构是基本相同的。该主体电路的基本功能是实现直流-直流变换并稳定输出电压，其组成多以晶体管为核心，如晶体三极管、晶闸管、功率场效应晶体管及绝缘栅双极型晶体管等。

以晶体管为核心的稳压电源，按照工作原理可分为参数稳压型（如稳压管稳压电路）和反馈调整型（如三极管串联调整型稳压电路及开关型稳压电路等）两类；按照控制方式可分为功率管为三极管的串联调整型（线性稳压）、功率管为晶闸管的相控型以及功率管为全控型元件的开关型等三类；按照稳压电路与负载的连接方式可分为并联调整型（线性稳压）和串联调整型两类。线性稳压电源具有技术成熟、原理简单、动态响应和稳压效果好等突出优点，但整个电源的体积大、重量功率比低、效率低，因此多应用在小功率场合。功率管为晶闸管的相控型稳压电源。虽然在效率上比线性稳压电源高，但仍然存在着体积大、设备笨重和动态响应慢的缺点，目前多用于电解、电镀等大功率的需求方面。功率管为全控型元件的开关型稳压电源具有体积小、重量功率比高、效率高、交流侧功率因数高和无可闻噪声等优点，应用领域非常广泛，但在稳压精度和输出纹波方面不及线性稳压电源。

# 第一章

## 直流稳定电源常用元器件

一般而言,直流稳定电源必须具有完成电能变换的主电路、相应的控制电路、操作显示电路和辅助电源等,而这些电路是由相应的元件和器件构成,主要包括电阻器、电容器、电感器、变压器及电力电子器件等。

### 第一节 常用无源功率元器件

常用的无源功率元件包括电阻器、电容器、电感器和变压器等。本节将分别讲述它们各自的结构、电路图形符号、种类、主要技术参数以及常用的检测方法。

#### 一、电阻器

电子在物体内做定向运动时会遇到阻力,这种阻力称为电阻。具有一定电阻数的元件称为电阻器,简称电阻。电阻器是直流稳定电源中应用最广泛的一种电子元器件,约占其元器件总数的30%以上,其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。电阻的国际单位是欧姆( $\Omega$ ),此外,在实际应用中,还常用千欧( $k\Omega$ )和兆欧( $M\Omega$ )等单位。它们之间的换算关系为: $1M\Omega=10^3k\Omega=10^6\Omega$ 。在电路图中,电阻的单位符号“ $\Omega$ ”通常省略。

通常将电阻器分为三类:固定电阻器、可变电阻器和敏感电阻器(特殊用途电阻器)。

##### (一) 固定电阻器

###### 1. 固定电阻器的作用及电路图形符号

固定电阻器的作用,一是稳定和调节电路中的电流和电压,二是作为分流器、分压器或负载使用。电流通过电阻器时,会消耗电能而发热,变成热能,因此电阻器是一种耗能元件。固定电阻器的电路图形符号如图1-1所示,在电路中通常用字母 $R$ 来表示。

图1-1 固定电阻器的电路图形符号

###### 2. 固定电阻器的种类

按制作材料和工艺不同,固定电阻器可分为薄膜(碳膜、金属膜、金属氧化膜和合成膜等)型电阻器、线绕电阻器、实心(无机合成材料和有机合成材料)电阻器和金属玻璃釉电阻器等几种类型。在电源电路中常用的固定电阻器有如下几种。

(1) 碳膜电阻器 碳膜电阻器采用碳膜作为导电层,属于薄膜型电阻器的一种。它是将气态碳氢化合物在高温和真空中热分解出的结晶碳沉积在柱形或管形陶瓷骨架上制成的。改变碳膜厚度和用刻槽的方法变更碳膜的长度,可以得到不同的阻值。这种电阻器的性能一般,但价格便宜,一般使用在功率不大、频率不是很高的场合,是电源电路上用得最多的一种电阻器。碳膜电阻器的外形及其结构如图1-2所示。

(2) 金属膜电阻器 金属膜电阻器采用金属膜作为导电层,也属于薄膜型电阻器的一种。这种电阻器是采用高真空加热蒸发(高温分解、化学沉积、烧渗等)技术,将合金材料蒸镀在陶瓷骨架上制成的。改变金属膜厚度和用刻槽的方法变更金属膜的长度,可以得到不同的阻值。这种电阻器的精度、稳定度和高频性能等都比碳膜电阻器好,经常用在频率和精度要求较高的场合。金属膜电阻器的外形及其结构如图1-3所示。

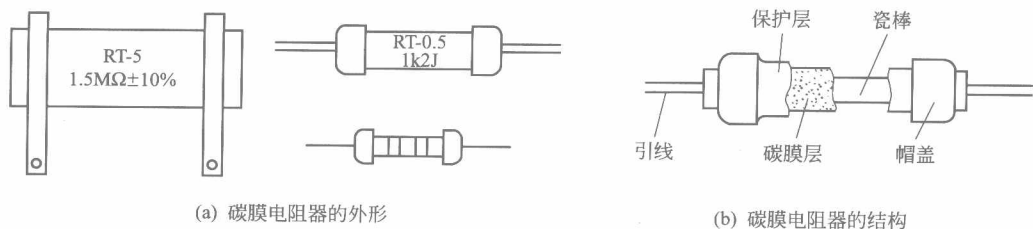


图 1-2 碳膜电阻器的外形及其结构

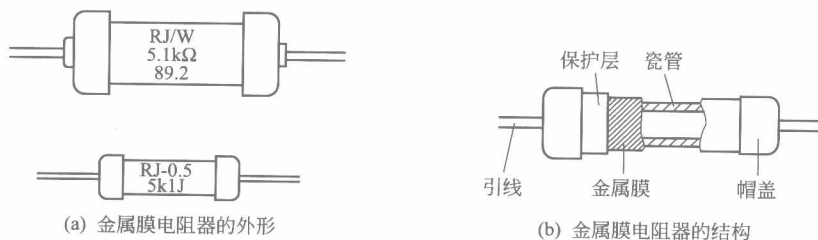


图 1-3 金属膜电阻器的外形及其结构

(3) 线绕电阻器 线绕电阻器是用电阻率较大的合金线（镍铬合金、锰铜合金、康铜丝）缠绕在绝缘基棒上制成的。其阻值大小由合金线的长短和粗细决定。这种电阻器具有耐高温、功率大（可高达 500W）、噪声低和电阻值精度高等优点，其缺点是有比较大的分布电感和电容，阻值做不到很大，只能应用在直流和低频交流的场所。线绕电阻器的外形如图 1-4 所示。

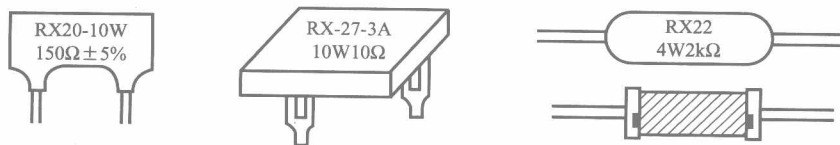


图 1-4 线绕电阻器的外形

### 3. 固定电阻器的型号

常用电阻器的型号一般由四部分组成，各部分有其确切的含义，如图 1-5 所示。其中每部分代表的含义如表 1-1 所示。

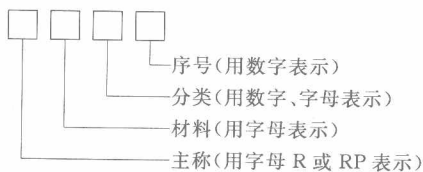


图 1-5 电阻器型号的组成部分

### 4. 固定电阻器的主要参数

固定电阻器的主要参数有三个：标称阻值（简称阻值）、额定功率和允许误差。了解电阻的这些参数，可以在设计电路时合理地选用电阻。

(1) 标称阻值 标称阻值通常是指电阻器上标注的电阻值。常用的有 E24(允许误差±5%)、E12(允许误差±10%) 和 E6(允许误差±20%) 三个系列，其中 E24 系列分别有 1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.6、3.9、4.3、4.7、5.1、5.6、6.2、6.8、7.5、8.2、9.1 乘以  $10^N$  ( $N=1, 2, 3, \dots$ ) 所得的数值；E12 系列分别有 1.0、

1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.6、6.8、8.2 乘以  $10^N$  ( $N=1, 2, 3, \dots$ ) 所得的数值；E6 系列分别有 1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8 乘以  $10^N$  ( $N=1, 2, 3, \dots$ ) 所得的数值。

表 1-1 电阻器的型号及各部分代表的含义

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)
符号	意义	符号	意义	符号	意义		用个位数或无数字表示。对主称和材料相同,仅尺寸和性能指标略有差别,但基本上不影响互换使用的产品,应给同一序号。如果尺寸、性能指标的差别影响互换使用时,则在序号后用大写字母予以区别
					电阻器	电位器	
R	电阻器			1	普通	普通	
				2	普通或阻燃	普通或阻燃	
		T	碳膜	3 或 C	高超频		
		J	金属膜	4	高阻		
		Y	氧化膜	5	高温		
		C	沉积膜	6	—		
		H	合成膜	7 或 J	精密	精密	
		P	硼碳膜	8	高压	特殊函数	
		U	硅碳膜	9	特殊	特殊	
		X	线绕	G	功率型		
R、RP(或 W)	电位器	S	有机实心	T	可调		
		N	无机实心	W		微调	
		I	玻璃釉膜	D		多圈	
				X	小型		
				L	测量用		

(2) 额定功率 电阻器的额定功率是指在一定条件下(如特定环境温度范围内),电阻器长期工作时所能承受的最大功率。电阻器的额定功率也有标称值,一般有 1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、3W、4W、5W 和 10W 等,其中 1/8W 和 1/4W 的电阻器较为常用。大功率电阻器因体积较大,其额定功率一般都直接标注在电阻器上,而小功率电阻器的额定功率往往不标注。在电路图中,有的用如图 1-6 所示的电路图形符号来表示。

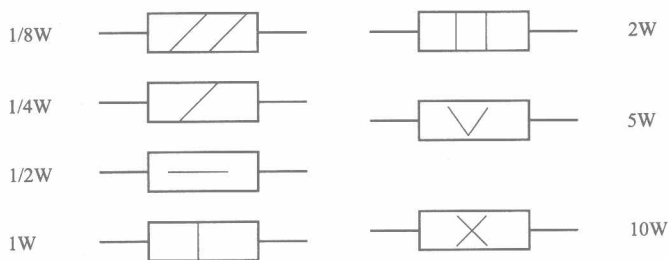


图 1-6 不同功率电阻器的图形符号

(3) 允许误差 一只电阻器的实际阻值不可能与标称阻值完全相等,两者之间总会存在一定的误差,电阻器允许的误差范围称为电阻器的允许误差。通常,普通电阻器的允许误差为  $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$  和  $\pm 20\%$ 。如 E24 系列电阻器的允许误差为  $\pm 5\%$ , E12 系列电阻器的允许误差为  $\pm 10\%$ , E6 系列电阻器的允许误差为  $\pm 20\%$ ,而高精度电阻器的允许误差范围可高达  $\pm 0.001\%$ 。允许误差小的电阻器,其阻值精度就越高,稳定性也越好,但其生产成本相对较高,价格较贵。

### 5. 固定电阻器的标识方法

电阻器的标识方法有直标法和色标法两种。

(1) 直标法 采用直标法的电阻器，其阻值（通常用阿拉伯数字表示）、允许误差（通常用百分数表示）和单位符号（用  $\Omega$ 、 $k\Omega$  和  $M\Omega$  表示）直接标注在电阻器的表面上。大功率电阻器的额定功率也直接标注在电阻器上。例如，电阻器表面上印有 RT-0.5-100 $\Omega$ ±10%，其含义是额定功率为 0.5W、阻值为 100 $\Omega$ 、允许误差为 ±10% 的碳膜电阻器；又如，电阻器表面上印有 RJ-4.7k $\Omega$ ±5%，其含义是阻值为 4.7k $\Omega$ ，允许误差为 ±5% 的金属膜电阻器。

在有的电阻器上，其电阻值和允许误差用数字和英文字母有规律地组合在一起表示。通常，英文符号 R、k、M 前面的数字表示整数电阻值，后面的数字表示小数电阻值，分别用英文字母 Y(±0.001%)、Z(±0.002%)、E(±0.005%)、L(±0.01%)、P(±0.02%)、W(±0.05%)、B(±0.1%)、C(±0.25%)、D(±0.5%)、F(±1%)、G(±2%)、J(±5%)、K(±10%)、M(±20%)、N(±30%) 表示电阻器相应的允许误差。例如，4k7J 表示电阻器的电阻值为 4.7k $\Omega$ ，其允许误差为 ±5%；又如，3R3K 表示电阻器的电阻值为 3.3 $\Omega$ ，其允许误差为 ±10%。

(2) 色标法 色标法是用标在电阻器上不同颜色的色环表示其阻值和允许误差。小功率电阻器的体积较小，用直标法表示电阻器的阻值和允许误差有时比较困难，所以广泛使用色标法。

一般用背景区别电阻器的种类。通常用浅色（浅绿色、浅蓝色、浅棕色）表示碳膜电阻器，用红色表示金属或金属氧化膜电阻器，用深绿色表示线绕电阻器。

用色环表示电阻器的阻值大小及其精度。普通精度电阻器大多用四色环表示其阻值和允许误差（如图 1-7 所示）。第一、二色环表示有效数字，第三色环表示倍率（倍乘数），与前三个色环距离较大的第四色环表示允许误差。有关色码标注的含义见表 1-2 所示。

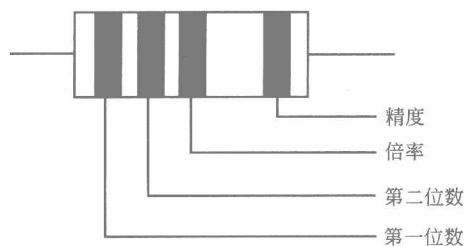


图 1-7 普通精度电阻器的色环表示法

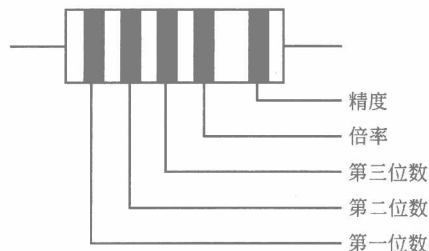


图 1-8 精密型电阻器的色环表示法

表 1-2 色环颜色及其含义

色环颜色	有效数字	乘数	误差/%	色环颜色	有效数字	乘数	误差/%
黑色	0	$10^0$	—	紫色	7	$10^7$	±0.1
棕色	1	$10^1$	±1	灰色	8	$10^8$	—
红色	2	$10^2$	±2	白色	9	$10^9$	—
橙色	3	$10^3$	—	金色	—	$10^{-1}$	±5
黄色	4	$10^4$	—	银色	—	$10^{-2}$	±10
绿色	5	$10^5$	±0.5	无色	—	—	±20
蓝色	6	$10^6$	±0.25				

例如，第一色环到第四色环的排列依次为黄、紫、橙、金。由表 1-2 可知，此色环电阻器的阻值为  $47 \times 10^3 \Omega$ ，即此电阻器的标称值为 47k $\Omega$ ，允许误差为 ±5%。牢记表 1-2 中各种颜色的色环所代表的数字，就可以很快地知道色环电阻器的阻值。

精密型电阻器常采用五色环表示其阻值和允许误差（如图 1-8 所示）。五色环的前三环表示有效数字，第四环表示倍率，与前四色环距离较大的第五环表示允许误差。由于多了一位有效数字，从而使电阻器的阻值表示更精确。

例如，第一色环到第五色环的排列依次为棕、黑、绿、棕、棕。由表 1-2 可知，此色环电阻器的阻值为  $105 \times 10^1 \Omega$ ，即此电阻器的标称值为  $1050 \Omega$ ，允许误差为  $\pm 1\%$ 。

### 6. 固定电阻器的检测方法

检测固定电阻器时，主要用万用表的欧姆挡检测电阻器的标称值。

#### (1) 使用万用表欧姆挡时的注意事项

① 对于指针式万用表，每次改换挡位时，都要重新调零。将红黑两表笔短接，旋转调零旋钮，使万用表指针指到欧姆刻度线的  $0 \Omega$  处。对数字式万用表，则不用调零。

② 要合理选择量程。万用表一般有  $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k$  和  $R \times 10k$  等挡，根据被测电阻值的大小选择合适的量程，可以准确地得到被测电阻器的阻值。如果量程选择不当，会使测量值不准确，误差大。

③ 检测方法要得当。检测时要避免人体对检测结果的影响，尤其是在测量阻值较大的电阻器时，用手触到电阻器就给电阻器并联了人体电阻，所测得的阻值就不准确。

#### (2) 用万用表检测固定电阻器的方法

① 不在路检测：将万用表置于适当的欧姆挡位并调零后，直接用两表笔接触电阻器的两端，即可在万用表表盘的欧姆刻度线上读出电阻值。

② 在路检测：在检修工作中，有时会怀疑某电阻器短路或断路，为了方便、省时间，往往不将电阻器焊下而直接用万用表的欧姆挡进行测量，这时要考虑到在路测量时其他元器件对测量值的影响，测得的电阻值为电路的等效电阻，只能供参考，要根据电路结构和经验进行电阻器的在路检测判断，如果无法判断，只能将电阻器焊下，对其进行不在路检测。

## (二) 电位器

### 1. 电位器的结构、电路图形符号及外形

电位器是一种阻值可以改变的电阻器，是一种具有普通电阻特性的特殊电阻，通常是由电阻体与转动或滑动系统组成，其结构如图 1-9(a) 所示。电位器在电路中用字母 R 或 RP(旧标准用 W) 表示，图 1-9(b) 所示是其电路图形符号。电位器通常将电阻体、活动触点密封在一个金属或塑料壳内，图 1-9(c) 所示是几种常见的电位器外形示意图。

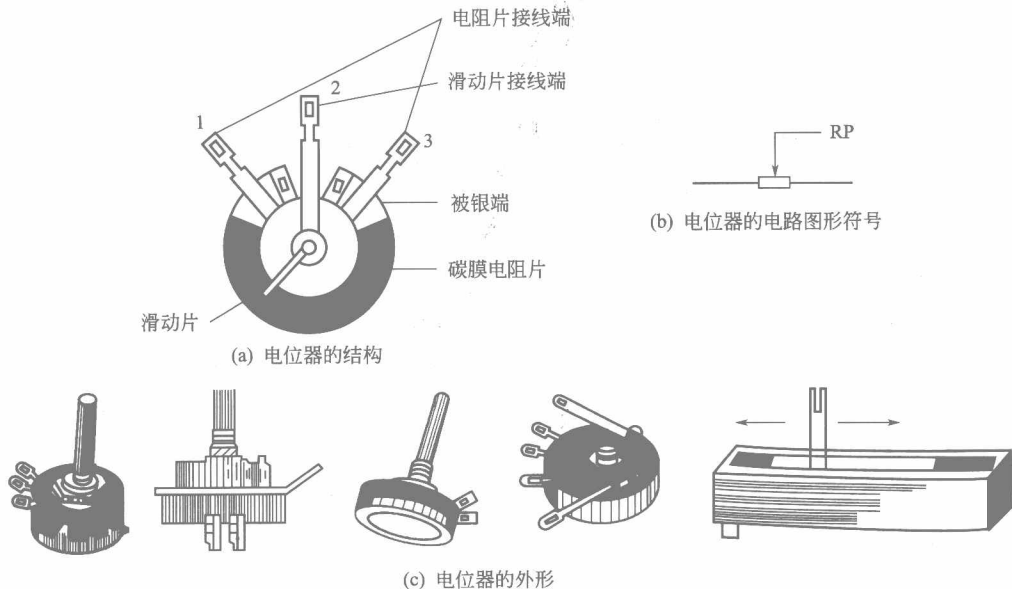


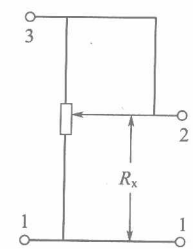
图 1-9 电位器的结构、电路图形符号及常见外形



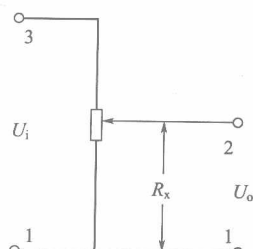
## 2. 电位器的主要作用

电位器的主要作用有两个，一是用作变阻器，二是用作分压器。

图 1-10(a) 所示为电位器用作变阻器。由于电位器的 3 端与电位器的活动触点 2 端已短接，电位器两端即 1、3 间的电阻值就为 1、2 端间的电阻值，随着活动触点 2 端的移动，1、3 点间电阻值就在  $0\Omega$  至电位器的标称值之间变化。



(a) 电位器用作变阻器



(b) 电位器用作分压器

图 1-10 电位器的作用

图 1-10(b) 所示为电位器用作分压器。电位器的输入电压  $U_i$  由 1、3 两端输入，输出电压  $U_o$  由 1、2 两端输出。2 端为电位器的活动触点。因为  $U_i$  等于 2、3 间电压  $U_{23}$  与 1、2 间电压  $U_{12}$  之和，即  $U_i = U_{23} + U_{12}$ 。输出电压  $U_o$  就是  $U_{12}$ ，改变活动触点 2 端在电位器上的位置，就改变了  $U_{12}$ ，即改变了输出电压  $U_o$ ，输出电压  $U_o$  可在  $0 \sim U_i$  间连续变化。

## 3. 电位器的种类及型号

电位器的种类繁多，可根据其材料、调节方式、结构特点和用途进行分类。常用的种类如图 1-11 所示。电位器的型号与固定电阻器相同，如图 1-5 和表 1-1 所示。

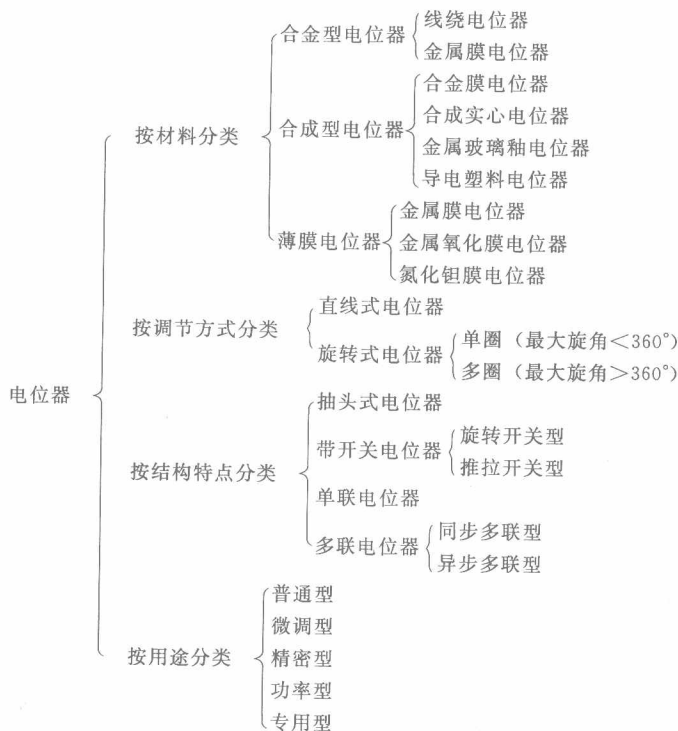


图 1-11 电位器的种类

## 4. 电位器的主要参数

电位器的主要参数有标称值、额定功率和阻值变化规律等。电位器的标称值标注通常有两种：一种是在外壳上直接标出其电阻最大值，其电阻最小值一般视为零；另一种是用三位有效数字表示，前两位有效数字表示电阻的有效值，第三位数字表示倍率。例如，标注为“332”的电位器，其最大阻值为： $33 \times 10^2 \Omega = 3300 \Omega = 3.3 \text{k}\Omega$ 。电位器的额定功率等级系列有  $0.025 \text{W}$ 、