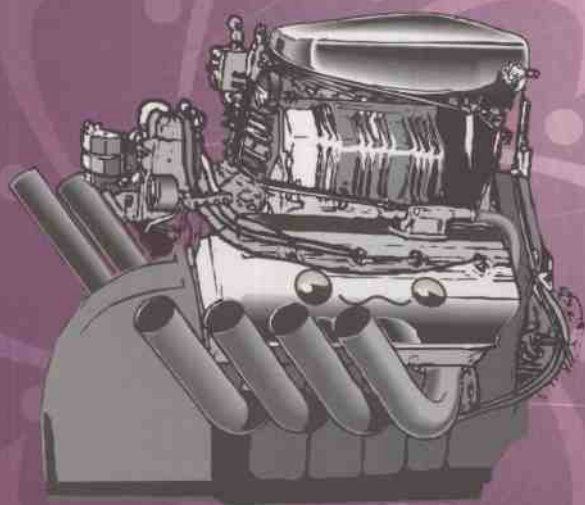




21st CENTURY

实用规划教材 21世纪全国应用型人才培养规划教材 工程技术系列

电子综合实训



◆ 单海校 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型人才培养规划教材·工程技术系列

电子综合实训

单海校 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书按照电子常用元件器的选用、基本测量仪器的使用以及印制电路板的制作、焊接、整机装配与调试等过程,详细阐述了电子制作过程中的原理,特别对其制作工艺进行了详细介绍,本书着眼于培养学生的技能操作能力,内容具有针对性、实用性。第8章有技能操作训练与实训电路供学生训练,以供选用。

本书从工程技术实训教学实际出发,内容安排与实际生产过程结合,突出应用。本书可作为高等院校工程类专业的实训教材,也可作为职业教学的培训教材,还可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子综合实训/单海校编. —北京:北京大学出版社, 2008.6

(21世纪全国应用型人才培养规划教材·工程技术系列)

ISBN 978-7-301-13185-5

I. 电… II. 单… III. 电子技术—教材 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第186531号

书 名: 电子综合实训

著作责任者: 单海校 编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-13185-5/TM · 0020

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 426千字

2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

定 价: 30.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

丛书序言

随着我国制造业的快速发展,“中国制造”正在迅速崛起,2007 年我国制造业在世界制造业产值中占据 10%以上,在总量上仅次于美国和日本,是世界第三大制造国。中国已经成为一个名副其实的“世界工厂”,越来越成为世界制造加工业的中心。“中国制造”的迅速崛起,使我国的高等教育面临着巨大的机遇和挑战。一方面,由于制造业的高速发展,使得工程技术人才紧缺;另一方面,目前高等学校的教育同企业的要求相差甚远,教学内容同企业的实际需求脱节。即使对口专业毕业的学生,也需要经过几年时间的实际工作锻炼,才能适应本专业的工作。因此,改革传统的教学内容迫在眉睫。工程类专业教学改革的重中之重就是改革传统的实践教学模式,即通过加强工程技能的训练,学习工艺知识,锻炼工程技能,提高工程素质,激发创新意识和培养创新能力,适应社会需求。

《工程技术系列》教材就是根据现代工程技术实训的需求编写的。本系列教材包括《电工工艺与船舶电气系统》、《电子综合实训》、《船机设备维修技术》、《制冷与空调技术》、《计算机组装与维护》5 本书。

本系列教材主要体现两个方面的要求:

- (1) 覆盖面较宽,以满足更多工程类专业的需要。
- (2) 考虑了生产实际的需要,并突出了海洋工程类人才培养的特色。

在教材内容选取上,以较多篇幅论述工程技术的基本知识和实践技能,也适当介绍了新技术的应用。在教材的试用阶段,广泛征求了学生的意见。试用阶段表明该系列教材特色比较明显,在实训中学生积极性较高。所以教材的出版将有助于提高学生工程技能训练的兴趣,提高实际工程技能水平,对学生的就业将会起到积极作用。

本系列教材的主要特点是:

(1) 本系列教材反映浙江省新世纪高等教育教学改革研究项目(创建高校工程技术实训中心的研究与实践)和浙江省省属高校专项资金项目(工程技术实训中心建设)的研究成果。

(2) 本系列教材的编写,贯彻了工程技术实训的教育教学目标;学习工程技术的工艺知识,增强工程实践能力,培养创新精神,提高综合素质。

(3) 本系列教材结合海洋工程类的特点,强调实用性和实践性,广泛适用于各工程技术类专业。

本系列教材由浙江海洋学院刘国平教授主编,由大连海事大学王贤惠教授主审。其中,《电工工艺与船舶电气系统》由刘国平编写,《电子综合实训》由单海校编写,《船机设备维修技术》由史晓敏编写,《制冷与空调技术》由沈雅钧编写,《计算机组装与维护》由杨永华编写。

在编写此套教材的过程中,得到了浙江海洋学院有关领导、专家的大力支持和热情帮助,北京大学出版社有关专家对教材也提出了修改意见,在此一并表示诚挚的谢意。

刘国平

2008.1

前 言

电子技术是一门实践性很强的学科。随着电子产品的迅速发展,新知识、新技术、新工艺、新器件的不断更新出现,对工程技术人员的综合技能要求也越来越高。电子综合实训是应用型高等学校工科类人才培养中一门重要的实践课程,主要是加强实践环节的教学,培养学生深入理解工程概念,提高学生实践动手能力,弥补从基础理念到工程实践之间的不足。本书既具有相对的独立性,又与相关基础课和后续专业课程有密切联系。

本书是根据编者多年的实践教学经验,结合应用型高等学校工科类专业实践教学的特点而编写的。本书的特点是:重视基础知识、基本技能的培养和训练,突出内容的实用性和实践性,注重培养学生独立分析问题和解决问题的能力。

本课程是电子技术课程的后续课程。不少学生学了电子技术课程后,还不能把学过的电子技术理论运用到电路设计和电子仪器试制的实践中去。本课程就是为了弥补这一缺陷,重点讲授学生在实践中还需掌握的有关基本知识、技术与工艺,并和操作实践结合起来进行教学,尽可能做到理论与实践的密切结合。

本书共分8章:第1章常用电子器件的选用,第2章基本测量仪器的使用,第3章印制电路板制作工艺,第4章焊接工艺技术,第5章整机装配与调试,第6章无线遥控技术,第7章电路原理图和印制电路板的计算机绘制,第8章技能操作训练与实训电路。从电子元器件、基本仪器使用、电路板制作和焊接工艺到整机装配来编写,使学生了解电子产品的整个设计生产制作的全过程。通过 Protel 软件的学习提高学生运用计算机进行电子电路辅助设计的能力,第8章结合具体实训项目帮助学生进一步掌握所学的知识与技能。

本书的教学参考学时数为58,其中理论26学时,实训32学时。实训和理论课互相配合,穿插进行,使学生既能学到实际技术,又能懂得其中的道理。当然各校也可结合自身情况选做各部分实训项目,酌情增减学时。

教学课时分配参考表

章 名	理论课时	实训课时
第1章 常用电子器件的选用	4	2
第2章 基本测量仪器的使用	2	2
第3章 印制电路板制作工艺	2	4
第4章 焊接工艺技术	4	4
第5章 整机装配与调试	2	4
第6章 无线遥控技术	4	4
第7章 电路原理图和印制电路板的计算机绘制	4	2
第8章 技能操作训练与实训电路	4	10

目 录

第 1 章 常用电子器件的选用	1	1.8 LED 数码管和 LCD 液晶显示器	34
1.1 电阻器	1	1.8.1 LED 数码管	34
1.1.1 电阻器的参数和种类	1	1.8.2 LCD 液晶显示器	39
1.1.2 电阻器的标志法	2	1.9 传感器及其他	44
1.1.3 电阻器的测量与质量判别	4	1.9.1 传感器	44
1.2 电位器	4	1.9.2 其他元件	52
1.2.1 电位器的种类和参数	4	实训 1 万用表的使用及电子元器件的 识别与检测	55
1.2.2 电位器的表示法	6	第 2 章 基本测量仪器的使用	56
1.2.3 电位器的选用	6	2.1 万用表	56
1.2.4 电位器质量的判别方法	7	2.1.1 指针表和数字表的选用	56
1.3 电容器	7	2.1.2 数字万用表的使用方法	56
1.3.1 电容器的参数和种类	7	2.1.3 万用表使用注意事项	59
1.3.2 电容器的表示法	9	2.2 示波器	59
1.3.3 电容器质量的测试	11	2.2.1 示波器的组成与使用	60
1.4 电感器与变压器	12	2.2.2 示波器使用注意事项	63
1.4.1 电感器	12	2.3 函数信号发生器和计数器	64
1.4.2 变压器	13	2.3.1 函数信号发生器	65
1.5 开关、接插元件和继电器	14	2.3.2 计数器	67
1.5.1 开关	15	2.4 低频信号发生器	68
1.5.2 接插元件	16	2.5 高频信号发生器	68
1.5.3 接插件及开关的选用	16	2.6 频域测量仪器	69
1.5.4 继电器	17	2.6.1 频率特性测试仪	70
1.6 半导体分立器件	18	2.6.2 频谱分析仪	72
1.6.1 常用半导体分立器件的分类	18	2.7 电桥	74
1.6.2 晶体二极管	18	2.7.1 直流电桥	74
1.6.3 三极管	22	2.7.2 交流电桥	75
1.6.4 晶闸管	25	2.8 高频 Q 表	77
1.7 半导体集成电路	27	2.9 用半导体管特性图示仪	79
1.7.1 常用集成电路	27	2.10 通用计数器	81
1.7.2 半导体集成电路型号 命名方法	31	实训 2 示波器、信号发生器和 毫伏表的使用	83
1.7.3 半导体集成电路使用 注意事项	33		

实训 3 函数信号发生器的使用	85	4.3 焊接技巧	113
实训 4 电子计数器的使用	86	4.3.1 印制板焊接技巧	113
第 3 章 印制电路板制作工艺	87	4.3.2 导线焊接技巧	114
3.1 印制电路板的类型和特点	87	4.3.3 铸塑元件的锡焊技巧	114
3.2 覆铜箔板	89	4.3.4 弹簧片类元件的锡焊技巧	115
3.2.1 覆铜箔板的构成	89	4.3.5 集成电路的焊接技巧	115
3.2.2 常用覆铜箔板的种类	89	4.3.6 在金属板上焊接导线的 技巧	115
3.2.3 覆铜箔板的选用	90	4.4 焊接要点	115
3.3 印制电路板的设计	91	4.4.1 手工焊接要点	115
3.3.1 印制电路板的排版布局	91	4.4.2 手工烙铁焊锡的基本 步骤	117
3.3.2 一般元器件的安装与布局	93	4.4.3 焊点质量检查	118
3.4 手工绘图印制板底图	96	4.5 先进的焊接工艺与焊接工具简介	120
3.4.1 底图的设计原则	96	4.5.1 波峰焊	120
3.4.2 印制板草图设计	97	4.5.2 超声焊	123
3.4.3 双面印制板草图设计	98	4.5.3 电子束焊接	123
3.4.4 绘制黑白图(照相底图)	98	4.5.4 激光焊接	123
3.5 印制电路的装连技术	100	4.5.5 浸焊	123
3.5.1 导线连接	100	4.5.6 再流焊接	124
3.5.2 插接件连接	100	4.5.7 高频加热焊	125
3.5.3 特殊器件的装插方法及 要求	102	4.5.8 脉冲加热焊	125
3.6 印制电路板制板工艺	103	4.6 拆焊知识	125
3.6.1 印制板制作的基本工序	103	4.7 表面组装技术(SMT)简介	126
3.6.2 自制印制电路板的 印制方法	104	4.7.1 SMT 的特点	127
3.6.3 多层印制电路板制作 简介	105	4.7.2 SMT 组装技术的组成和 工艺流程	128
实训 5 手工制作印制电路板 技能训练	106	4.7.3 表面安装材料	129
第 4 章 焊接工艺技术	107	4.7.4 SMT 的装卸方法	131
4.1 焊接的基本知识	107	实训 6 手工焊接技能训练	133
4.2 常用焊接工具	108	第 5 章 整机装配与调试	134
4.2.1 电烙铁	108	5.1 整机装配	134
4.2.2 焊锡	110	5.1.1 整机结构的特点	134
4.2.3 助焊剂	111	5.1.2 整机总体结构和设计 的基本原则	134
4.2.4 阻焊剂	112	5.1.3 电路元件的布局工艺	135
4.2.5 其他工具	112	5.1.4 其他结构设计要求	139

5.1.5 总装接线工艺	141	7.1.2 原理图设计	199
5.1.6 整机装配工艺	142	7.2 印制电路板设计	209
5.2 整机调试	144	7.2.1 PCB 编辑器的各种 基本操作	210
5.2.1 测试仪表的选择原则	145	7.2.2 设置参数	212
5.2.2 整机调试方案和方法	148	7.2.3 规划电路板	217
5.2.3 故障的查找和排除方法	149	7.2.4 元件装入及布局	222
5.3 电子产品的技术文件	153	7.2.5 自动布线	226
5.3.1 电子产品的工艺文件	153	7.2.6 手工布线	229
5.3.2 电子产品的设计文件	153	7.2.7 手工调整	235
实训 7 元器件安装和整机装配训练	155	7.2.8 生成报表	237
实训 8 电子产品调试训练	156	7.2.9 PCB 元件库编辑器的使用	240
第 6 章 无线遥控技术	158	第 8 章 技能操作训练与实训电路	244
6.1 无线遥控的基本原理	158	8.1 每周响一次电路	244
6.2 红外线遥控技术	161	8.2 万能报警器	248
6.2.1 红外线遥控系统的构成	161	8.3 声控开关	249
6.2.2 红外线光的调制	163	8.4 光电进出计数器	253
6.2.3 光噪声的抑制	165	8.5 可控数字钟	260
6.2.4 红外接收的前置放大 集成电路	167	8.6 红外遥控开关	263
6.2.5 编译码集成电路及其应用	169	8.7 语音音乐	266
6.2.6 应用电路	180	8.8 其他实用电路	268
6.3 无线电遥控技术	186	8.8.1 集成稳压器应用 电路设计	268
6.3.1 无线电遥控的基本原理	186	8.8.2 应用热敏传感器的 实用电路	275
6.3.2 无线电遥控发射与 接收集成电路	187	8.8.3 利用 555 定时器的 实用电路	277
6.3.3 应用电路	190	8.8.4 应用光电传感器的 实用电路	281
第 7 章 电路原理图和印制电路板的 计算机绘制	196	参考文献	284
7.1 电路原理图设计	196		
7.1.1 打开	196		

第 1 章 常用电子器件的选用

一个实际电路能否达到令人满意的功能和性能，除了取决于所选用的电路类型外，元器件的选用是否得当也是一个决定性的因素。由于电子元器件的品种繁多，新品种不断涌现，只有经常上网或查阅近期的有关资料，走访电子元器件生产厂家和销售商店，及时熟悉最新元器件，不断丰富自己的电子器件知识，才能设计出符合时代要求的先进电路。本章主要简单地介绍一些最常用电子元器件的主要性能、规格及其表示方法。

1.1 电 阻 器

电阻器是电子技术中应用最广泛的元器件之一，常用电阻器的阻值在几欧到 $10\text{M}\Omega$ 之间。

1.1.1 电阻器的参数和种类

1. 电阻器的参数

为便于生产和选用，规定一系列的阻值作为产品的标准值，叫做电阻器的标称阻值；又规定其标称阻值的最大允许百分偏差，叫做电阻器的允许偏差。电阻器的参数主要包括标称阻值、额定功率和允许偏差。国产电阻器的允许偏差和标称阻值系列见表 1-1，表列的数值可乘以 10^n ，其中 n 为正整数或负整数。固定电阻器一般使用允许偏差为 $\pm 5\%$ 的电阻器。

表 1-1 电阻器的允许偏差和标称阻值系列

系列	允许偏差	标称阻值											
E24	$\pm 5\%$	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
E12	$\pm 10\%$	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	4.7	6.8			
E6	$\pm 20\%$	1.0	1.5	2.2	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2			

电阻器的额定功率是指在规定的环境温度下，在直流或交流电路中，长期连续负荷时，在电阻器上允许消耗的最大功率。常用电阻器的额定功率为 0.125W (碳膜电阻器)和 0.25W (金属膜电阻器)两种。一般应选额定功率为电阻器实际承受功率的 $1.5\sim 2$ 倍。

电阻器的额定功率还需要根据其工作电压来选择。 0.125W 碳膜电阻器的最大工作电压为 100V ；而 0.25W 金属膜电阻器的最大工作电压为 250V ， 0.5W 的最大工作电压为 350V ， 1W 的最大工作电压为 500V ， 2W 的最大工作电压则为 750V 。

温度每变化 1°C ，阻值变化的百分数叫做电阻器的温度系数，它反映电阻器阻值的温度稳定性。碳膜电阻器的温度系数约为 $\sim 10^{-3}/^\circ\text{C}$ 数量级；金属膜电阻器的温度系数约为 $\pm(10^{-3}\sim 10^{-1})/^\circ\text{C}$ 数量级；而线绕电阻器的温度稳定性更高，其温度系数约为 $10^{-4}/^\circ\text{C}$ 数量级。

2. 电阻器的种类和特点

常用电阻器可分为固定电阻器和可变电阻器两种。几种常用电阻器的特点见表 1-2。

表 1-2 几种常用电阻器的特点

名称	型号	特点
碳膜电阻器	RT	稳定性较好, 温度系数小, 噪声低, 运用频率高, 价格低, 应用广泛 阻值范围为 $10\Omega \sim 10M\Omega$ 额定功率为 0.125W
金属膜电阻器	RJ	耐热性及稳定性均比碳膜电阻器好, 体积小, 价格稍贵。适用于对稳定性和可靠性要求较高的电路中, 目前应用广泛 阻值范围为 $10\Omega \sim 10M\Omega$ 额定功率有 0.125W、0.25W、0.5W、1W 和 2W 这几种。以 0.25W 的为最常用
线绕电阻器	RX(固定式) RX-T(可变式)	工作稳定可靠, 耐热性能好, 允许偏差范围小, 额定功率大; 但自身电感比较大, 阻值范围小。适用于要求额定功率大、数值精密、稳定性高的低频电路中 阻值范围为 $5\Omega \sim 56k\Omega$ 额定功率为 0.05 瓦到几百瓦

1.1.2 电阻器的标志法

电阻器常用的标志方法有直标法、文字符号法、色标法和数码标志法 4 种。

1. 直标法

直标法是用阿拉伯数字和单位符号在电阻器表面直接标出标称阻值, 其允许偏差用百分数表示。

电阻器型号规格的填写示例如下。

(1) RT	—	0.125	—	27k Ω	—	$\pm 5\%$	
碳膜电阻器		额定功率(W)		标称阻值		允许偏差	
(2) RJ	—	0.25	—	100 Ω	—	$\pm 5\%$	A
金属膜电阻器		额定功率(W)		标称阻值		允许偏差	噪声电动势组别(仅标 A 组)
(3) RXYC	—	50	—	T	—	1.5 k Ω	$\pm 10\%$
耐潮被釉线绕电阻器		额定功率(W)		可变式		标称阻值	允许偏差

2. 文字符号法

文字符号法是用阿拉伯数字和单位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。文字符号表示的允许偏差见表 1-3。

表 1-3 文字符号表示的允许偏差

文字符号	允许偏差	文字符号	允许偏差
B	$\pm 0.1\%$	J	$\pm 5\%$
C	$\pm 0.25\%$	K	$\pm 10\%$
D	$\pm 0.5\%$	M	$\pm 20\%$
F	$\pm 1\%$	N	$\pm 30\%$
G	$\pm 2\%$	—	—

3. 色标法

色标法是用不同的颜色的色带或色点在电阻器表面标出标称阻值和允许偏差。现在普遍采用色标法，常见的有四环色标法和五环色标法，如图 1.1 所示。色标法颜色的意义见表 1-4。

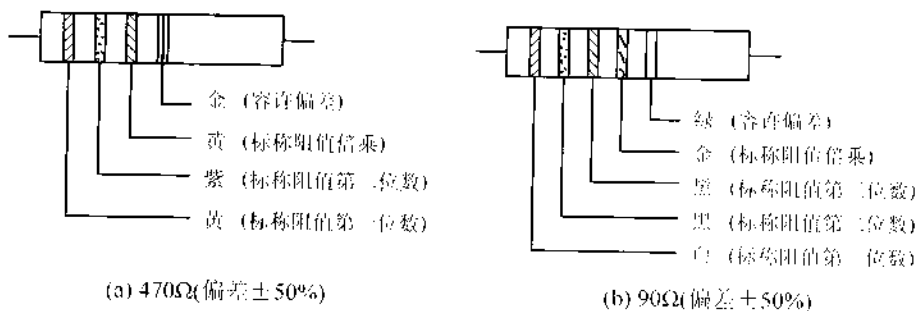


图 1.1 电阻器色标法

表 1-4 电阻器色标法颜色的意义

颜色	有效数字	倍率	允许偏差(%)	颜色	有效数字	倍率	允许偏差(%)
银	—	10^{-2}	+10(K)	绿	5	10^5	-0.5(D)
金	—	10^{-1}	±5(J)	蓝	6	10^6	±0.2(C)
黑	0	10^0	—	紫	7	10^7	±0.1(B)
棕	1	10^1	±1(F)	灰	8	10^8	—
红	2	10^2	±2(G)	白	9	10^9	±5, 20
橙	3	10^3	—	无色	—	—	±20(M)
黄	4	10^4	—	—	—	—	—

4. 数码标志法

数码标志法常见于集成电阻器和贴片电阻器等。例如在集成电阻器表面标出 503，代表其电阻值为 $50 \times 10^3 \Omega = 50 \text{ k}\Omega$ 。

电阻器的额定功率一般按其外形尺寸来识别，线绕电阻器的额定功率也是直接印在电阻体表面上的。

在电路原理图中，电阻器的文字符号是 R，其图形符号表示法如图 1.2 所示。

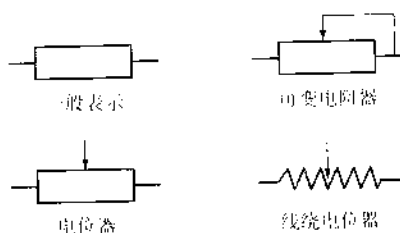


图 1.2 电阻器和电位器的图形符号表示法

在使用前,电阻器的阻值应经过测量。一般测量可用万用表的欧姆挡,工厂中大批测量时可使用数字欧姆表。

1.1.3 电阻器的测量与质量判别

一般电阻器的测量采用万用表的欧姆挡来进行测量。测量前,先将万用表调零。测量时应注意以下 3 点。

- (1) 选挡要合适,即挡值要略大于被测电阻器的标称阻值。如果没有标称阻值,可以先用较高挡进行测试,然后逐步逼近正确挡位。
- (2) 测量时不可用两手同时抓住被测电阻器的两端引出线。
- (3) 若测量电路中的某个电阻器,必须将电阻器的一端从电路中断开,以防电路中的其他元件影响测量结果。

电阻器的质量判别方法如下。

- (1) 看电阻器引线有无折断及外壳有无烧焦现象。
- (2) 用万用表测试热电阻时,因热电阻是根据金属导体的电阻随温度的升高而增加的原理制成的,如常用的铂热电阻 PT-100,它表示在 0°C 时,它的电阻是 100Ω ,当温度升高至 100°C 时,它的电阻是 138.5Ω 。用万用表的 $R\times 1$ 挡或 $R\times 10$ 挡测量两接线柱间的电阻值,若测得电阻是 ∞ ,该热电阻开路;若测得电阻是 0,说明内部短路。用万用表的 $R\times 10k$ 挡测量接线柱与金属外壳电阻若不是 ∞ ,说明绝缘不好,可能内部的绝缘瓷管破碎。

1.2 电 位 器

电位器是一种可调电阻器。对外有 3 个引出端,其中两个为固定端,另一个为滑动端(也称中心抽头)。在电路中,常用电位器来调节电阻值或电压。

1.2.1 电位器的种类和参数

电位器的质量参数基本上和电阻器的相同,此外,还要确定阻值和动点位置间的关系。对于旋转式电位器,其阻值和旋转角之间的关系有 3 种形式,如图 1.3 所示。对于直线式精密多圈线绕电位器,还需确定阻值偏离直线关系的线性偏差,一般有 $\pm 0.1\%$ 到 $\pm 2\%$ 等多种偏差值。

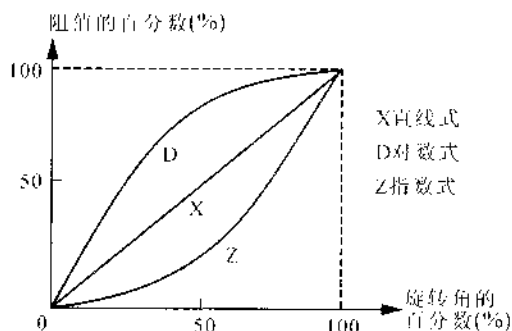


图 1.3 电位器阻值和旋转角之间的关系

1. 种类

电位器的种类很多。按所用材料可分为线绕电位器和非线绕电位器两大类。非线绕电位器又可分为合成碳膜、有机实芯、无机实芯、金属膜、氧化膜和玻璃釉膜等几种。一般情况下，非线绕电位器的阻值范围较宽(几百欧到几兆欧)，允许偏差为 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ ，功率为 $0.5\sim 2\text{W}$ ，其中以合成碳膜电位器和有机实芯电位器用得最多。线绕电位器的阻值范围较窄(几欧到几十千欧)，功率较大，用在稳定性要求高、功率大、使用频率低的电路中。

此外，电位器按调节活动机构的运动情况分，有旋转式电位器和直滑式电位器两种；按电位器的组合形式分，有单联电位器和多联电位器两种；按轴的固定情况分，有轴能自由旋转的电位器和锁紧式电位器两种，锁紧式电位器适用于作一次性固定的调节之用；按轴能自由旋转的角度分，有单圈电位器和多圈电位器两种，多圈电位器适用于电路中作精密调节之用，其圈位要由附带的指示器指示出来；按是否带开关分，有不带开关电位器和带开关电位器两种。在选择旋转式电位器时，还要考虑旋转轴的长度和轴端的形式，以便与调节方式和调节工具相配合。电位器轴端形式有光轴、带起子槽和铣平面3种，见表1-5。其中带起子槽的电位器便于用螺钉旋具调节，适用于作内部调整；带铣平面的电位器为了能固定旋钮，适用于面板上的调节。轴的长度是指从安装面到轴端的长度，有4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、16mm、20mm、25mm、32mm、40mm、50mm、60mm、80mm等多种规格。

表 1-5 电位器的轴端形式

轴端型号	形式	
ZS-1	光轴	
ZS-3	带起子槽	
ZS-5	铣平面	

2. 主要参数

电位器的参数一般有标称阻值、额定功率、滑动噪声、极限电压、电阻变化规律、分辨力、电位器的轴长与轴端结构等。

1) 标称阻值

标在电位器上的阻值,其系列与电阻器的标称阻值系列相同。根据不同的精确等级,实际阻值与标称阻值的允许偏差范围为 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 几种,精确电位器的精度可达到 $\pm 0.1\%$ 。

2) 额定功率

电位器的额定功率是指两个固定端之间允许耗散的功率。一般电位器的额定功率系列为0.063W、0.125W、0.25W、0.5W、0.75W、1W、2W、3W;线绕电位器的额定功率比较大,有0.5W、0.75W、1W、1.6W、3W、5W、10W、16W、25W、40W、63W、100W这几种。

3) 滑动噪声

当电刷在电阻体上滑动时,电位器中心端与固定端的电压出现无规则的起伏,这种现象称为电位器的滑动噪声。它是由材料电阻率的分布不均匀性以及电刷滑动无规律变化引起的。

4) 分辨力

对输出量可实现的最精细的调节能力,称为电位器的分辨力。线绕电位器的分辨力较差。

5) 阻值变化规律

调整电位器的滑动端,其电阻值按照一定规律变化。常见电位器的阻值变化规律有线性变化(X型——适于做分压、偏流的调整)、指数变化(Z型——适于做音量控制)和对数变化(D型——适于做音调控制和黑白电视机的黑白对比度调整)3种。

1.2.2 电位器的表示法

电位器的型号规格填写示例如下。

(1) WTH	—	1	—	1	—	A	—	220k Ω	—
合成碳膜电位器	轴能自由旋转的单联	额定功率(W)	绝缘电阻组别	标称阻值					
D	—	60	ZS-3						
阻值变化特性(对数式)	轴长(mm)	轴端形式(带起子槽)							
(2) WS	—	1	—	0.5	—	4.7 k Ω	—	$\pm 10\%$	—
有机实芯电位器	非锁紧型	额定功率(W)	标称阻值	允许偏差					
X	—	16	ZS-3						
阻值变化特性(直线式)	轴长(mm)	轴端形式(带起子槽)							
(3) WX	1	—	1	—	100 Ω	$\pm 5\%$	—	20	ZS-3
线绕电位器	额定功率(W)	非锁紧型	标称阻值	允许偏差	轴长(mm)	轴端形式(带起子槽)			

在电路原理图中,电位器的文字符号是W,其图形符号表示法如图1.2所示。

1.2.3 电位器的选用

电位器规格品种很多,在选用时,不仅要根据具体电路的使用条件(电阻值及功率要求)来确定,还要考虑调节、操作及成本方面的要求。下面给出的是针对不同用途而推荐的电位器选用类型。

(1) 普通电子仪器:合成碳膜电位器或有机实芯电位器。

(2) 大功率低频电路、高温情况:线绕电位器或金属玻璃釉电位器。

- (3) 高精度电路：线绕、导电塑料电位器或精密合成碳膜电位器。
- (4) 高分辨力电路：各类非线性绕电位器或多圈式微调电位器。
- (5) 高频、高稳定性电路：薄膜电位器。
- (6) 调节后无需再动情况：轴端锁紧式电位器。
- (7) 几个电路同步调节情况：多连电位器。
- (8) 精密、微量调节电路：带慢轴调节机构的微调电位器。
- (9) 要求电压均匀变化：直线式电位器。
- (10) 音量控制电位器：指数式电位器。

1.2.4 电位器质量的判别方法

用万用表欧姆档测量电位器两个固定端的电阻，并与标称值核对阻值。如果万用表指针不动或比标称值大得多，表明电位器已坏；如表针跳动，表明电位器内部接触不好。再测滑动端与固定端的阻值变化情况。移动滑动端，如阻值从最小到最大连续变化，而且最小值很小，最大值接近标称值，说明电位器质量较好；如阻值间断或不连续，说明电位器滑动端接触不好，则不能选用。

1.3 电 容 器

电容器也是电子技术中常用的基本元件，它的基本结构是在两个相互靠近的导体之间敷一层不导电的绝缘材料(介质)。电容器是一种储能元件，存储电荷的能力用电容量来表示，基本单位是法[拉]，以 F 表示，常用单位有微法(μF)和皮法(pF)。常用电容器的电容量在几皮法到 5000 μF 之间。电容器在电路中具有隔断直流电、通过交流电的特点，因此，多用于电路级间耦合、滤波、去耦、旁路和信号调谐等方面。

1.3.1 电容器的参数和种类

1. 电容器的参数

1) 标称容量和允许偏差

电容器的标称容量和允许偏差是标志电容器上电容的名义容量，它的容量也是一个系列，不同的材料制造的电容器，其标称容量系列也不一样。常见电容的允许误差分为 3 级：I 级为 $\pm 5\%$ ，II 级为 $\pm 10\%$ ，III 级为 $\pm 20\%$ 。对于稳定性较差或允许偏差范围很大的电容器，如铝和钽电解电容器等，允许偏差可达 $-20\% \sim 50\%$ 和 $-10\% \sim 100\%$ ，所取的标称容量又比其系列值有所减少。常见电容的容量标称值见表 1-6。

表 1-6 电容的容量标称值

级别	允许偏差	容量标称值											
I 级	$\pm 5\%$	100pF $\sim$ 1 μF	1.0	1.5	2.2	3.3	3.9	4.7	5.6	6.3	6.8	8.2	
II 级	$\pm 10\%$	1 $\sim$ 100 μF			1	2	4	6	8	10	15	20	
III 级	$\pm 20\%$	只取表中值			30	50	60	80	100				

当然允许偏差的精度高的还有 $\pm 1\%$ (01 级)和 $\pm 2\%$ (02 级)两种。

2) 额定工作电压

额定工作电压是指电容器在电路中规定的工作温度范围内,可连续工作而不被击穿的最高电压。电容器的额定工作电压值也有一个电压值系列。电容器的额定直流工作电压一般为击穿电压的一半。一般应选为实际电路中所承受电压的两倍以上,但对电解电容器则应选为实际电路所承受电压的 $1.4 \sim 2$ 倍之间,太高反而容易使电容器的损耗增大。

理想的电容器,两极板间的电阻应是无穷大。但实际电阻值总是有限的,叫做电容器的绝缘电阻。电容器的绝缘电阻愈大愈好,云母电容器的绝缘电阻值在 $1000\text{M}\Omega$ 以上,大容量的铝电解电容器的绝缘电阻值则只有几兆欧。绝缘电阻过小,漏电和损耗增大,会影响电路的正常工作。

在交流电路中,理想的电容器不消耗能量,即有功功率为零。但实际上由于漏电现象的存在和其他原因,都会有能量损耗,而且它随着工作频率的升高而增大,这种能量损耗叫做电容器的损耗。这种损耗不仅会降低电容器的寿命,有时还会严重影响电路工作,特别是在高频电路中。通常用损耗角正切 $\tan \delta$ 表示电容器损耗的相对大小,它是损耗功率和电容器无功功率之比。常用电容器的 $\tan \delta$ 值在 $10^{-3} \sim 0.2$ 之间,铝电解电容器的损耗最大,损耗最小的是瓷介电容器和云母电容器,所以后者常用于高频电路中。

3) 电容器的温度系数

电容器的温度系数指温度每变化 1°C 所引起电容量的相对变化量。该值决定于电容器介质材料的温度特性及电容器的结构。铝电解电容器的温度系数最大,接近于 $10^{-2}/^\circ\text{C}$ 数量级,瓷介电容器和云母电容器的温度系数最小,约为 $10^{-4}/^\circ\text{C}$ 数量级。

2. 电容器的种类和选用

电容器的选用是根据电路的具体要求及电容器在电路中的作用来决定的,并以电容器的容量与额定工作电压作为主要依据。当作为耦合或旁路电容时,一般用容量较大而精度级别相对低的电解电容,此时必须注意其极性。当用于滤波器、振荡器、定时器时,应根据电路要求选用某一数值容量相对稳定、精度级别较高的瓷介、云母、玻璃釉等电容器。对于电容器额定电压的选择,通常选取为实际电压值的两倍。

电容器的种类繁多,一般都是按其所用的电介质材料来分类的,根据这些电容器的主要性能,大致可归为以下3大类。

(1) 高频电容器:这类电容器的主要性能是自身电感小,漏电和高频损耗都很小,容量的稳定性好,温度系数小,常用于高频电路和要求容量稳定的电路(如定时电路)中。这类电容器的缺点是容量较小,其大致范围为几皮法到几千皮法。

高频电容器有云母电容器(CY 型)、高频瓷介电容器(CC1 型)以及高频独石瓷介电容器(CC4 型)等。微调瓷介电容器(CCW3 型)也属于这一类。

高频电容器的电容量允许偏差为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 几种;额定直流工作电压有 100V 、 250V 和 500V 等多种。

(2) 低频电容器:这类电容器的主要特点是电容量大($1 \sim 5000\mu\text{F}$),宜用于电源滤波和

低频旁路电路中。缺点是损耗大,绝缘电阻小,容量的稳定性也差,凡有极性,不能用于正负交替的电路中。

低频电容器有铝电解电容器(CD10型和CD11型)以及钽电解电容器(CA型)等。钽电容器的性能要比铝电容器好,但价格高。

低频电容器的电容量允许偏差为 $\pm 20\%$ 、 $20\% \sim 50\%$ 和 $-10\% \sim 100\%$ 。

对于电解电容器来说,其额定直流工作电压不能选得比电路实际所承受电压大两倍以上,所以这类电容器的额定直流工作电压的规格很多,如6.3V、10V、16V、25V、32V、50V、63V等。

(3) 耦合电容器:这类电容器的性能介于上述两类电容器之间,常用在级间耦合电路中。

耦合电容器的种类较多,有金属化纸介电容器(CJ10和CJ11型)、低频瓷介电容器(CT1型)、低频独石瓷介电容器(CT4型)以及有机薄膜介质电容器等。表1-7介绍几种有机薄膜介质电容器的性能,其中聚苯乙烯电容器(CB型)的性能较优,接近第一类电容器的性能,可用于高频电路和要求容量稳定的电路中。聚四氟乙烯电容器能耐高温($<250^{\circ}\text{C}$)和化学腐蚀,但价格高。

各种电容器的分类和主要性能见表1-7。

表 1-7 几种有机薄膜介质电容器的性能

名称	介质 极性	容量范围 μF	允许偏差 /%	损耗角正切 值($\times 10^{-4}$)	额定直流工 作电压/V	绝缘电阻 $/\Omega$
聚苯乙烯电容器	非极性	$10^{-6} \sim 2$	$\pm 0.1 \sim \pm 20$	< 15	40~30000	10^{11}
聚丙烯电容器	非极性	$10^{-3} \sim 5$	$\pm 2 \sim \pm 20$	< 10	63~1000	10^{11}
聚四氟乙烯电容器	非极性	$10^{-4} \sim 0.5$	$\pm 5 \sim \pm 20$	< 10	250~25000	10^{12}
涤纶电容器	极性	4.7×10^{-4} ~ 10	$\pm 5 \sim \pm 20$	< 100	63~24000	—
聚碳酸酯电容器	极性	$10^{-4} \sim 5$	$\pm 5 \sim \pm 20$	< 15	50~250	—

因电容器的种类很多,还有的分类方法有以下几种形式。

按结构可分为:固定电容器、可变电容器、半可变电容器。

按介质材料可分为:气体介质电容器、液体介质电容器(如油浸电容器)、无机固体介质电容器(如云母电容器)、陶瓷电容器、电解质电容器(由电解质的不同形式又可分为液式和干式两种)。

按极性可分为:有极性电容器和无极性电容器。

按阳极材料可分为:铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器。

1.3.2 电容器的表示法

电容器型号规格的填写示例如下。

(1) CJ10 — 160 — 0.1 — $\pm 10\%$
 轴向引出式金属化纸介电容器 额定直流工作电压(V) 标称容量(μF) 允许偏差