



普通高等工科教育机电类规划教材

电子实习教程

南京机械高等专科学校 郭永贞 主 编
郑州工业高等专科学校 陈国防 副主编

机械工业出版社



本教材是根据原国家教委颁布的《高等学校工程专科电工(电子)实习教学基本要求(试行)》、由全国高等学校工程专科电气类专业指导委员会组织编写的。全书共八章,包括:常用电子元器件的基本知识与测试方法,电子产品的安装与焊接技术,常用电子仪器的原理与使用方法,常用电子线路的调试,电子电路 CAD,印制电路板的设计,电子产品的生产过程和技术文件,电子产品的整机装配与调试。每章均围绕实习教学基本要求,介绍必需的理论知识、应用知识和实际操作方法,安排了具体实习项目,并附有复习思考题。本书可作为高等工程专科学校电气类专业电子实习教材,以及电子技术类课程实践训练的辅助教材,也可作为有关工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子实习教程/郭永贞主编. — 北京:机械工业出版社: 1999. 10 (2001. 10 重印)
普通高等工科教育机电类规划教材
ISBN 7-111-07112-3

I. 电… II. 郭… III. 电子技术-实习-高等学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 042825 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:韩雪清 版式设计:霍永明 责任校对:韩晶
封面设计:姚毅 责任印制:路琳
北京大地印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002 年 7 月第 1 版第 3 次印刷
开本:787mm×1092mm¹/16 15.5 印张 378 千字
14001-16000 册
定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527
封面无防伪标均为盗版

前 言

电工、电子实习是高等工程专科学校电气类专业学生在校期间获得工程师素质培养的基本教学环节。为了加强这一重要教学环节,原国家教委于[1994] 99号文颁布了《高等学校工程专科电工(电子)实习教学基本要求(试行)》(以下简称《基本要求》)以及试行的评估指标体系。之后,全国有多所高等工程专科学校按照《基本要求》重建了电工电子实习基地并进行实习教学,江苏省南京机械高等专科学校、南京电力高等专科学校等多所学校接受了专家组的检查评估,获得好评,并取得较丰富的经验。在此基础上,为了进一步贯彻好《基本要求》,统一实习教学内容,提高实习教学水平,全国高等学校工程专科电气类专业指导委员会根据实际需求把电子实习教材列为“九五”规划教材。

本教材力求体现《基本要求》,紧扣高等工程专科学校电气类专业培养目标,着眼于学生工程应用能力的培养,具有以下特点:

(1) 教材内容力求具有先进性,理论分析以必需够用为度。

(2) 教材突出电子工程师技能训练,文理通顺,便于自学。学生通过自学、实践、教学指导可以获得工程师的初步训练。

(3) 教材按实习项目组织基本知识、基本技能和相关的工程知识等教学内容。每章都列出较多的实习项目供选用。

(4) 全书教学内容按《基本要求》构成应用能力培养体系,但每章内容又相对独立,因此在安排实习教学时灵活性大,既可连续进行又可分段安排,可全部进行也可部分进行。

(5) 符号、图表使用新国标。

本书由南京机械高等专科学校郭永贞任主编,并编写第七、八章和附录C、D、E;湘潭机电高等专科学校厉雅萍编写第一、二章和附录A、B;哈尔滨理工大学工业技术学院张凯利编写第三、四章;郑州工业高等专科学校陈国防编写第五、六章。本书由南京电力高等专科学校胡宴如教授任主审。本教材在编写过程中得到全国高等学校工程专科电气类专业指导委员会的指导,同时得到南京机械高等专科学校、郑州工业高等专科学校、哈尔滨理工大学工业技术学院、湘潭机电高等专科学校、南京电力高等专科学校、承德石油高等专科学校的支持和配合,在此一并表示衷心感谢。

限于编者水平,错误、疏漏在所难免,恳请专家批评指正。

编 者

目 录

前言	
第一章 常用电子元器件的基本 知识与测试方法	1
第一节 阻容元器件	1
一、电阻器	1
二、电容器	8
第二节 电感器与变压器	14
一、电感器	14
二、变压器	17
第三节 半导体二、三极管与 场效应管	20
一、国产半导体器件型号命名法	20
二、半导体二极管	21
三、半导体三极管	24
四、场效应管	27
第四节 数字集成电路	28
一、数字集成电路的分类	28
二、数字集成电路的型号命名法	28
三、数字集成电路简介和使用注 意事项	29
四、数字集成电路的测试	31
第五节 模拟集成电路	32
一、模拟集成电路的类型、特点 和结构	32
二、常用模拟集成电路	33
第六节 常用电子元器件的识别与 检测实习	40
一、实习项目	40
二、实习评分标准	42
复习思考题	42
第二章 电子产品的安装与焊接 技术	43
第一节 焊接工具和材料	43
一、焊接工具	43
二、焊料	45
三、焊剂	46
第二节 电子元器件的引线成型和 插装	48
一、电子元器件的引线成型要求	48
二、电子元器件引线成型的方法	49
三、电子元器件的插装方法	49
第三节 手工焊接的基本要求与 方法	51
一、锡焊焊点的基本要求	51
二、锡焊的条件	52
三、手工焊接的基本操作方法	52
四、电子产品的工业焊接技术 简介	55
第四节 电子元器件安装和焊接 实习	56
一、实习项目	56
二、实习评分标准	56
复习思考题	56
第三章 常用电子仪器的原理与 使用方法	58
第一节 示波器	58
一、示波器的工作原理	58
二、示波器使用及注意事项	61
第二节 低频信号发生器	64
一、XD-2 型低频信号发生器	64
二、YB-1631 型函数发生器	65
第三节、交流毫伏表	67
一、概述	67
二、GB-9 型电子管毫伏表	68
三、DA-16 型晶体管毫伏表	70
第四节 直流稳压电源	71
一、直流稳压电源工作原理	71
二、直流稳压电源使用及注意事项	72
第五节 其它常用电子仪器	72
一、高频信号发生器	73
二、JT-1 型晶体管特性图示仪	76
三、数字式万用表	80
第六节 误差分析和数据处理	84
一、测量误差产生的原因和分类	84

二、误差的几种表示方法	84	第三节 计算机辅助绘制简单电子	
三、减小和消除系统误差的主要		电路原理图实习	125
措施	85	一、实习项目	125
四、一次测量时的误差估计	86	二、实习评分标准	126
五、测量数据有效数字的处理	86	复习思考题	127
第七节 常用电子仪器使用实习	87	第六章 印制电路板的设计	128
一、实习项目	87	第一节 印制电路板的设计原则	128
二、实习评分标准	89	一、元件的安装	128
复习思考题	89	二、元件排列的原则	128
第四章 常用电子线路的调试	91	三、布线的原则	129
第一节 电子线路的一般测试技术	91	第二节 印制电路板图的绘制	129
一、静态测试技术	91	一、生成网络表	130
二、动态测试技术	92	二、启动 TRAXEDIT	131
三、测试注意事项	93	三、文件的加载和存盘	131
第二节 常用电子线路的测试与调整	95	四、退出 TRAXEDIT	132
一、低频放大电路的调试	95	五、编辑前的准备工作	132
二、正弦波振荡器的调试	98	六、元件布局	135
三、功放电路的调试	100	七、人工布线	137
四、数字集成电路的调试	102	八、自动布线	137
第三节 电子线路中故障的分析与		九、其它命令	140
处理	103	十、TRAXEDIT 主菜单功能分类	140
一、排除故障的步骤	103	十一、部分热键定义	141
二、基本检修方法	103	十二、印制电路板图的输出	141
三、收音机常见故障分析与排除	105	第三节 印制电路板的制作方法	144
第四节 常用电子线路调试实习	108	一、印制电路板的手工制作方法	144
一、实习项目	108	二、印制电路板的工业制作过程	145
二、实习评分标准	111	第四节 计算机辅助绘制简单	
复习思考题	111	印制电路板图实习	145
第五章 电子电路 CAD	112	一、实习项目	145
第一节 应用软件简介	112	二、实习评分标准	146
一、简介	112	复习思考题	146
二、PROTEL 软件的有关内容	112	第七章 电子产品的生产过程	
三、PROTEL 的工作流程	113	和技术文件	148
四、按键的书面表示及菜单		第一节 电子产品的生产过程	148
选择的书面表示	113	一、电子产品的种类和特点	148
第二节 电子电路原理图的绘制方法	114	二、电子产品生产的基本过程	148
一、启动 SCHEDIT	114	三、安全与文明生产	150
二、设置当前操作状态	115	第二节 电子产品技术文件的分类和	
三、原理图编辑	116	要求	151
四、常用热键的定义	120	一、技术文件的分类	151
五、原理图的存盘和调出	120	二、技术文件的标准化要求	151
六、原理图的输出	121	三、技术文件的编写要求	152
七、原理图元件库的编辑	123		

第三节 电子产品的设计文件	152	三、整机调试程序和方法	190
一、设计文件的分类	152	第三节 电子产品的可靠性测试	193
二、设计文件的组成和编号	153	一、什么是电子产品的可靠性	193
三、设计文件的格式及填写方法	155	二、影响电子产品可靠性的因素	193
四、电子产品常用设计文件简介	161	三、可靠性的技术措施	194
第四节 电子产品的工艺文件	165	四、可靠性的主要技术指标	195
一、工艺文件的分类和组成	165	五、可靠性试验的定义与原理	197
二、工艺文件的编制原则	166	六、电子产品的整机可靠性试验	197
三、工艺文件的编制要求	166	第四节 简单电子产品的整机	
四、工艺文件的编制方法	167	装配与调试实习	199
五、电子产品常用工艺文件简介	168	一、简单电子产品的整机装配与	
六、工艺文件的管理	169	调试举例	199
第五节 电子产品技术文件编制		二、整机装配与调试实习项目	206
实习	169	三、实习用简单电子产品参考	
一、设计文件编制实习	169	项目	207
二、工艺文件编制实习	172	复习思考题	213
复习思考题	182	附录 A 常用数字集成电路外引线	
第八章 电子产品的整机装配与		排列图	214
调试	183	附录 B IC 测试仪简介	224
第一节 电子产品的整机装配	183	附录 C MF47 型万用电表使用	
一、电子产品整机装配的特点与方法	183	说明书	226
二、电子产品的整机结构形式	183	附录 D C3124 收音机使用说明	230
三、整机的布局和布线	184	附录 E 简单电子产品——超	
四、整机装配技术	185	外差式收音机的整机	
第二节 电子产品的整机调试	188	装配与调试举例	232
一、调试工艺文件	189	参考文献	242
二、调试仪器的选择使用及布局	189		

第一章 常用电子元器件的基本知识与测试方法

基本要求：①熟悉常用电子元器件的类别、型号、规格、性能及使用范围，能查阅电子元器件手册；②能正确识别和选用常用电子元器件并能熟练使用万用表检验之；③了解电子元器件的老化、筛选等工艺。

第一节 阻容元器件

一、电阻器

电阻器是电子设备中应用最广泛的元件之一，在电路中起限流、分流、降压、分压、负载、与电容配合作滤波器及阻抗匹配等作用。

(一) 电阻器的分类

电阻器的种类繁多，若根据电阻器的电阻值在电路中的特性来分，可分为固定电阻器、可变电阻器(电位器)和敏感电阻器三大类，它们的符号如图 1-1 所示。

1. 固定电阻器

固定电阻器按组成材料可分为非线绕电阻器和线绕电阻器两大类。非线绕电阻器可分为薄膜电阻

器、实芯型电阻器、金属玻璃釉电阻器，其中薄膜电阻器又可分为碳膜电阻和金属膜电阻两类。按用途进行分类，电阻器可分为普通型(通用型)、精密型、功率型、高压型、高阻型等。按形状不同电阻器可分为圆柱状、管状、片状、钮扣状、马蹄状、块状电阻器。按引出线的结构形式电阻器可分为轴向引线的、经向引线的和同向引线的等。按电阻器保护层材料分又有涂漆的、烧法琅的或塑封的等等。下面介绍几种常用固定电阻器的结构、特点及型号。

(1) 碳膜电阻器(RT 型) 碳膜电阻器是以小瓷棒或瓷管作骨架，在真空和高温下，沉积一层碳膜作导电膜，瓷管两端装上金属帽盖和引线，并外涂保护漆制作而成。碳膜电阻器的特点是：稳定性好(指电压、温度的变化对阻值的影响较小)、噪声低、价格便宜、阻值范围宽($10\Omega \sim 10M\Omega$)，适应于高频电路。碳膜电阻器的外形如图 1-2 所示。

(2) 金属膜电阻器(RJ 型) 金属膜电阻器的结构与碳膜电阻器相似，只是导电膜是由合金粉蒸发而成的金属膜。它各方面的性能均优于碳膜电阻，且体积远小于同功率的碳膜电阻，

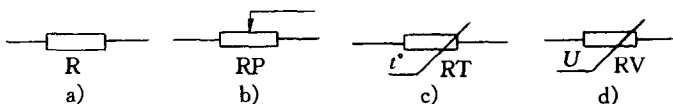


图 1-1 电阻器的符号

a) 固定电阻器 b) 可变电阻器 c) 热敏电阻器 d) 压敏电阻器

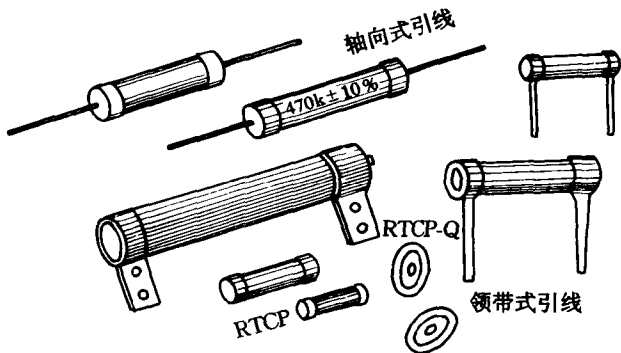


图 1-2 碳膜电阻器的外形

阻值范围在 $10\Omega \sim 10M\Omega$ 。它广泛应用在稳定性及可靠性要求较高的电路中。普通金属膜电阻器外形如图 1-3 所示。

(3) 金属氧化膜电阻器(RY 型) 金属氧化膜电阻器的结构与金属膜电阻器相似,不同的是导电膜为一层氧化锡薄膜,其特点是性能可靠、过载能力强、额定功率大(最大可达 $15kW$),但其阻值范围较小($1\Omega \sim 200k\Omega$)。

(4) 实芯碳质电阻器(RS 型) 这种电阻器是用石墨粉作导电材料,用粘土、石棉作填充剂,另加有机粘合剂经加热压制而成。其优点是过负荷能力强,可靠性较高。缺点是噪声大、精度差、分布电容和分布电感大,不适宜要求较高的电路。图 1-4 是目前生产的 RS11 型有机实芯电阻器的外形图。

(5) 线绕电阻器(RX 型) 线绕电阻器是用金属电阻丝绕制在陶瓷或其它绝缘材料的骨架上,表面涂以保护漆或玻璃釉制作而成。线绕电阻器的优点是阻值精确(电阻值在 $5\Omega \sim 56k\Omega$ 范围)、功率范围大、工作稳定可靠、噪声小、耐热性能好,主要用于精密和大功率场合。它的缺点是体积较大、高频性能差、时间常数大、自身电感较大,不适用于高频电路。

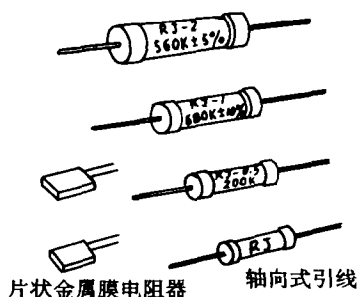


图 1-3 金属膜电阻器的外形

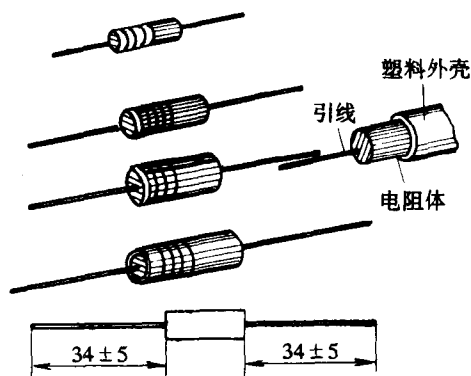


图 1-4 有机实芯电阻器的外形

2. 电位器(可变电阻器)

电位器是靠一个电刷(运动接点)在电阻体上移动而获得变化的电阻值,其阻值可在一定范围内连续可调。电位器的图形符号如图 1-5 所示。电位器是一种机电元件,可以把机械位移转换成电压变化。电位器的分类有以下几种:

按电阻体材料分,可分为薄膜(非线绕)电位器和线绕电位器两种。薄膜电位器又可分为 WTX 型小型碳膜电位器、WTH 型合成碳膜电位器、WS 型有机实芯电位器、WHJ 型精密合成膜电位器和 WHD 型多圈合成膜电位器等。线绕电位器的代号为 WX 型,这种电位器由于电阻体由金属线绕制而成,能承受较高的温度,因此可制成功率型的电位器,其额定功率范围一般为 $0.25 \sim 50W$ 左右,阻值范围为 $100\Omega \sim 100k\Omega$ 左右。一般线绕电位器的误差不大于 $\pm 10\%$,非线绕电位器的误差不大于 $\pm 2\%$,其阻值、误差和型号均标在电位器上。

按结构分,有单圈、多圈、单联、双联和多联电位器;按有无开关可分为带开关和不带开关电位器,开关形式有旋转式、推拉式、按键式等。

按调节活动机构的运动方式可分为旋转式和直滑式电位器。旋转式电位器调节时,接触刷在电阻体上作旋转运动,如多数的微调和半可调电位器,普通单圈和多圈电位器等都属这类。直滑式电位器的电阻体为板条形,通过与滑座相连的滑柄作直线运动使电阻值发生变化。

按用途又有普通电位器、精密电位器、功率电位器、微调电位器和专用电位器之分。

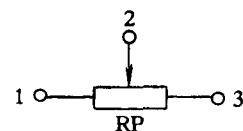


图 1-5 电位器图形符号

按输出特性的函数关系,又可分为线性电位器和非线性电位器,如图 1-6 所示。图中, X 式(直线式)常用于示波器的聚焦和万用表的调零,其线性精度为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.3\%$ 、 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.05\%$; D 式(对数式)常用于电视机的黑白对比调节,其特点是先粗调后细调; Z 式(指数式)常用于收音机的音量调节,其特点是,先细调后粗调。X、D、Z 字母符号一般印在电位器上,使用时应注意。常用电位器的外形如图 1-7 所示。

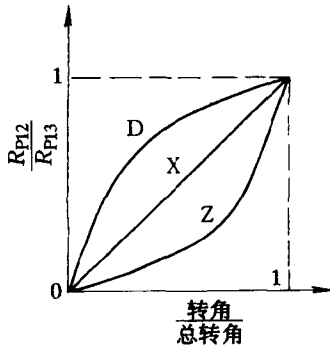


图 1-6 电位器输出特性的函数关系

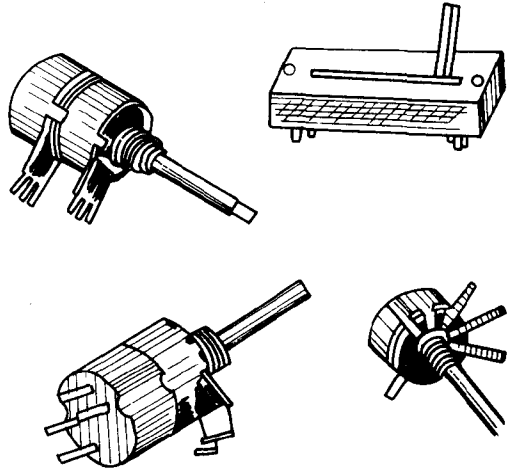


图 1-7 几种常用电位器的外形

3. 敏感电阻器

其电特性(例如电阻率)对温度、光、机械力等物理量表现敏感,如光敏、热敏、压敏、气敏电阻器等。它们几乎都是用半导体材料做成的,因此这类电阻器也叫做半导体电阻器。

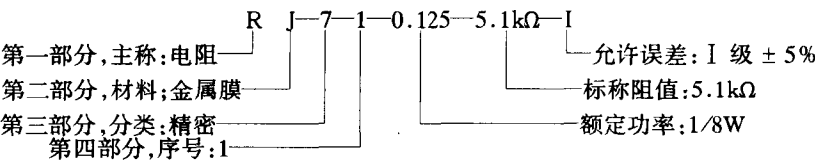
(二) 电阻器和电位器的型号命名法

根据国家标准 GB2470—81《电子设备用电阻器、电容器型号命名法》的规定,电阻器、电位器的型号由四个部分组成,如表 1-1 所示。

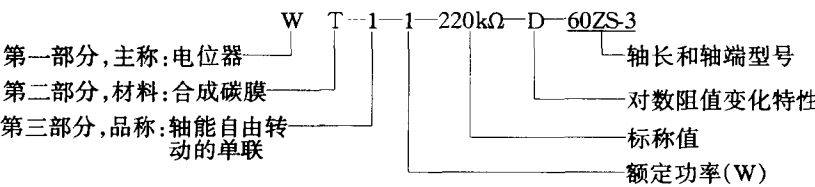
表 1-1 电阻器和电位器的型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主体		用字母表示材料		用数字或字母表示特征		用数字表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
R	电阻器	T	碳膜	1, 2	普通	包括: 额定功率 阻值 允许误差 精度等级
W	电位器	P	硼碳膜	3	超高频	
		U	硅碳膜	4	高阻	
		C	沉积膜	5	高温	
		H	合成膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	电阻器——高压 电位器——特殊函数	
		J	金属膜	9	特殊	
		Y	氧化膜	G	高功率	
		S	有机实芯	T	可调	
		N	无机实芯	X	小型	
		X	线绕	L	测量用	
		R	热敏	W	微调	
		G	光敏	D	多圈	
		M	压敏			

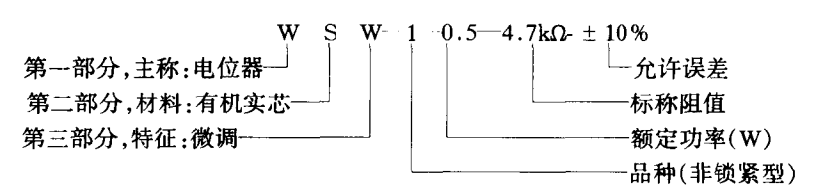
示例 1. 精密金属膜电阻器：RJ71-0.125-5.1KI 型电阻器



示例 2. 220k Ω 单联合成碳膜电位器



示例 3. 微调 47k Ω 有机实芯电位器



(三) 线性电阻器和电位器的主要性能指标

1. 电阻器的主要参数

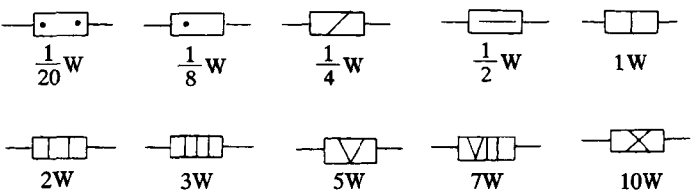
(1) 额定功率 指在规定的环境温度和湿度下, 假设周围空气不流通, 在长期连续工作而不损坏或基本不改变电阻器性能的情况下, 电阻器上允许消耗的最大功率。功率的单位为瓦 (用 W 表示)。当超过其额定功率范围时, 电阻器的阻值及性能将会发生变化, 甚至发热烧毁。一般选用额定功率时要有余量 (大 1~2 倍)。常用电阻器的额定功率系列如表 1-2 所示。在电路图中电阻器额定功率的符号表示如图 1-8 所示。

表 1-2 常用电阻器额定功率系列

种 类	电阻器额定功率系列/W															
线 绕	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	10	16	25	40	50	75	100	150 250 500
非线绕	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100					

(2) 标称阻值 (简称标称值) 及允许误差 标志在电阻器上的电阻值称为标称值。电阻器的实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围称为电阻器的允许误差, 它表示着产品的精度。标称值是产品标志的“名义”阻值, 其单位为欧姆 (Ω)、千欧 (k Ω)、兆欧 (M Ω), 它们之间的关系是: 1M Ω = 10³k Ω = 10⁶ Ω 。通用电阻的标称值系列和允许误差等级如表 1-3 所示, 任何电阻器的标称阻值都应符合表 1-3 所列数值乘以 10ⁿ Ω , 其中 n 为整数。精密电阻

图 1-8 电阻器额定功率的符号表示



的误差等级有±0.05%、±0.2%、±0.5%、±1%、±2%等。

表 1-3 通用电阻的标称值系列

系列	允许偏差	电 阻 标 称 值 系 列																	
E ₂₄	Ⅰ级 ±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	5.1	5.6
		6.2	6.8	7.5	8.2	9.1													
E ₁₂	Ⅱ级 ±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						
E ₆	Ⅲ级 ±20%	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8												

电阻器的阻值和误差的标注方法有三种。

1) 直标法是将电阻器的主要参数和技术性能用数字或字母直接标注在电阻体上。

2) 文字符号法是将需要标志出的主要参数与技术性能用文字、数字符号两者有规律的组合起来标志在电阻器上。如 0.1Ω 标志为 Ω1, 3.3Ω 标志为 3Ω3, 3.3kΩ 标志为 3k3, 10MΩ 标志为 10M 等。

3) 色标法 (又称色环表示法) 是用不同颜色的色环来表示电阻器的阻值及误差等级。各色环颜色所代表的含义见表 1-4 所示, 色环法表示的电阻值一律是欧姆。图 1-9 为电阻器色标示例, 其中图 1-9a 为四环道电阻器, 图 1-9b 为五环道电阻器。

表 1-4 色环颜色所代表的含义

颜色	所代表的有效数字	乘数	允许误差	误差的英文代码	颜色	所代表的有效数字	乘数	允许误差	误差的英文代码
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		
橙	3	10 ³	—		无色	—	—	±20%	M
黄	4	10 ⁴	—						

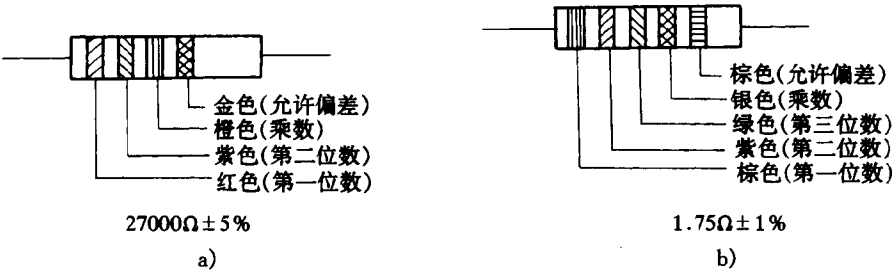


图 1-9 电阻器色标示例

(3) 最高工作电压 指电阻器长期工作不发生过热或电击穿损坏的工作电压限度。

2. 电位器的主要参数

电位器的主要参数除了有与一般电阻器相同的标称阻值、额定功率等参数外, 还有阻值变化规律和滑动噪声等参数。

(1) 阻值变化规律 常用的电位器阻值变化规律有直线式 (X)、指数式 (Z)、对数式 (D) 三种, 如图 1-6 所示。

(2) 滑动噪声 电位器的接触刷在电阻体上移动时,除了有用信号外还有起伏不定的噪声(用示波器观测时有一种无规律的幅度变化的电压),这就是电位器的滑动噪声。产生滑动噪声的主要原因有电阻体不均匀性、转动系统公差配合不当、接触刷滑动时接触电阻的无规则变化等多种因素。滑动噪声应在一定范围内,否则影响电子设备的正常工作。

(四) 固定电阻器的选择和使用

1. 选择电阻器的基本方法

- 1) 根据电子设备的技术指标和电路的具体要求选用电阻器的标称阻值和误差等级。
- 2) 选用电阻器的额定功率必须大于实际承受功率的两倍。
- 3) 在高增益前置放大电路中,应选用噪声电动势小的金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、线绕电阻器、碳膜电阻器等。线绕电阻器分布参数较大,不宜用于高频前置电路中。
- 4) 根据电路的工作频率选择电阻器的类型。RX 型线绕电阻器的分布电感和分布电容都比较大,只适用于频率低于 50kHz 的电路中;RH 型合成膜电阻器和 RS 型有机实芯电阻器可在几十 MHz 的电路中工作;RT 型碳膜电阻器可用于 100MHz 左右的电路中;而 RJ 型金属膜电阻器和 RY 型氧化膜电阻器可在高达数百 MHz 的高频电路中工作。

5) 根据电路对温度稳定性的要求,选择温度系数不同的电阻器。线绕电阻器由于采用特殊的合金导线绕制,它的温度系数小,阻值最为稳定。金属膜、金属氧化膜、玻璃釉膜电阻器和碳膜电阻器都具有较好的温度特性,适合于稳定度要求较高的场合。实芯电阻器温度系数较大,不宜用于稳定性要求较高的电路中。

2. 电阻器的简单测试

测量电阻可用欧姆表、电阻电桥和万用表的欧姆档来直接测量,也可以根据欧姆定律 $R = U/I$,通过测量流过电阻的电流 I 及电阻上的压降 U 来间接测量电阻值。下面介绍用万用表测量电阻的步骤。

①首先将万用表的功能选择波段开关置“ Ω ”档位置,量程波段开关置适合档;②将两表笔短接,表头指针应在 Ω 刻度线的零点位置,若不在零点,则要用万用表的调零旋钮调到零点位置;③两表笔分别接被测电阻的两端,表头指针即指示出电阻值。测量时注意不要用手同时触及电阻的引线两端,以免将人体电阻并联至被测电阻,影响测量准确性。

3. 电阻器的使用注意事项

- 1) 在使用前首先检查外观有无损坏,用万用表测量其阻值是否与标志值相符合。
- 2) 在安装时,应先将其引线刮光镀锡,以保证焊接可靠,不产生虚焊。高频电路中电阻器的引线不宜过长,以减小分布参数。小型电阻器的引线不应剪得过短,一般不要小于 5mm。焊接时应用尖嘴钳和镊子夹住引线根部,以免过热使电阻器变值。装配时应使电阻器的标志部分朝上,以便调试和维修查对。
- 3) 电阻器引线不可反复弯曲和从根部弯曲,否则易将引线折断。安装、拆卸时不可过分用力,以免电阻体与接触帽之间松动造成隐患。安装精密电子设备时,非线绕电阻器必须经过人工老化处理,以提高其稳定性。
- 4) 使用时应注意电阻器的额定功率和最高工作电压的限制。超过额定功率,电阻器会受热损坏;超过最高工作电压,电阻器内部会产生火花,使电阻器击穿烧坏。额定功率在 10W 以上的线绕电阻器,安装时必须焊接在特制的支架上,并留有一定的散热空间。

(五) 电位器的选择和使用

1. 选择电位器的基本方法

1) 根据需选择不同结构形式和调节方式的电位器。如有旋转式开关电位器（动接点对电阻体有磨损）、推拉式开关电位器（动接点对电阻体无磨损）。开关有单刀单掷、单刀双掷、双刀双掷等之分，选择时应根据需要确定。

2) 根据电路要求选择不同技术性能的电位器。各种电位器的特点如下。

线绕电位器接触电阻低、精度高、温度系数小，缺点是分辨力较差，可靠性差，不宜用于高频电路。标称阻值一般低于 100Ω ，既有小功率型也有大功率型。

实芯电位器体积小、耐温耐磨、分辨力高。

合成碳膜电位器分辨力高、阻值范围宽，但阻值的稳定性及耐温耐湿性差。

金属膜电位器耐温性能好、分辨力高，但阻值范围较窄。

金属玻璃釉电位器分辨力高、阻值范围宽、可靠性高、高频特性好、耐温耐湿耐磨，有通用型、精密型、微调型等品种。

块金属电位器具有线绕和非线绕电位器的长处，阻值范围为 $2\Omega \sim 5k\Omega$ ，噪声小，最大等效噪声电阻不大于 20Ω ，稳定性高，分辨力无限，分布电感小，适用于高频电路。

导电塑料电位器特别耐磨，寿命可达 500 万次，分辨力高、平滑性良好、接触可靠，阻值宽 ($10\Omega \sim 10M\Omega$)，工作温度范围为 $-55 \sim +125^\circ\text{C}$ 。

2. 电位器的简单测量、安装及调节

(1) 测量 安装前先用万用电表的欧姆档测量电位器的最大阻值是否与标称值相符，然后再测量中心滑动端和电位器任一固定端的电阻值。测量时旋转转轴观察万用表指针应平稳移动、阻值变化连续且没有跳动现象。转动转轴时应感到内触点滑动灵活、松紧适中，听不到“滋滋”的噪声，表示电位器的电阻体良好，动接点接触可靠。

(2) 安装 使用时应用紧固零件将电位器安装牢靠，特别是带开关的电位器，开关常常与电源线相接，若安装不牢固，电位器在调节时易引起松动而发生短路的危险。

电位器的端子应正确连接。

如图 1-10 所示，电位器的三个

引线端子分别用 A、B、C 表示，中间的端子 B 连接电位器的动接点，当转轴按顺时针旋转时，动接点 B 从 A 端向 C 端滑动。在连接线路时应根据这一规律接线。例如在音量控制电路中，A 端应接信号地端，而 C 端应接信号高端。若 A、C 接反，则顺时针调节时音量越来越小，不符合人们的习惯。电位器用来作可变电阻时常按图 1-11 连接。这样即使动接点与电阻体接触不良，也不致使电路造成开路。

(3) 调节 在使用中应注意调节时用力均匀，带开关的电位器不要猛开猛关。

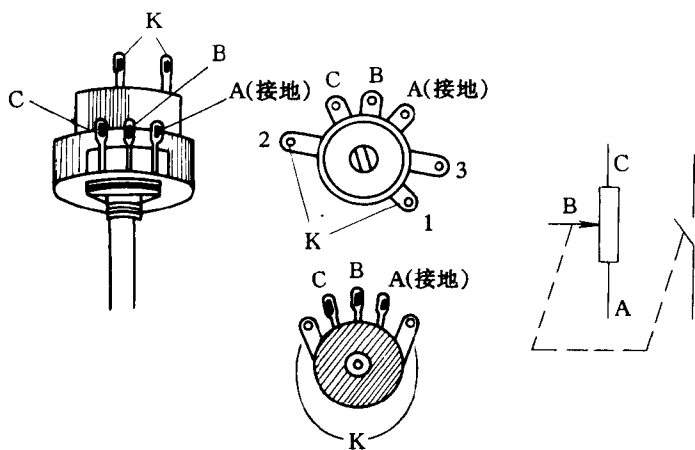


图 1-10 电位器端子的正确连接

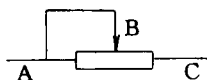


图 1-11 电位器作可变电阻时的连接方法

(六) 电阻器的人工老化

有温度循环老化和电老化两种方法。

(1) 温度循环老化 将电阻放在 $90 \pm 5^\circ\text{C}$ 的高温箱中 4h 后取出，自然冷却至室温，再置于低温箱 (-40°C) 中 4h 后取出，自然恢复至室温，按此过程进行三次循环。

(2) 电老化 在电阻两端加直流电压，使电阻所承受的功率为额定功率的 1.5 倍（但不应超过最大工作电压），通电 5min 后在常温下恢复 30min。

二、电容器

电容器是由两个金属电极，中间夹一层电介质构成。在两个电极之间加上电压时，电极上就储存电荷，所以说电容器是一种储能元件。在电路中用于调谐、滤波、隔直、交流旁路和能量转换等。

(一) 电容器的分类

电容器的种类很多，按介质不同，可分为空气介质电容器、纸质电容器、有机薄膜电容器、瓷介电容器、玻璃釉电容器、云母电容器、电解电容器等；按结构不同，可分为固定电容器、半可变电容器、可变电容器等。

(1) 固定电容器 固定电容器的容量是不可调的，常用的几种固定电容器的外形和图形符号如图 1-12 所示。

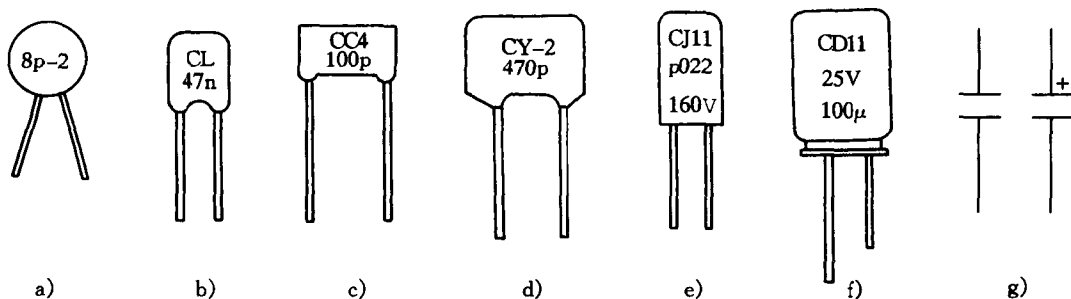


图 1-12 常用固定电容器的外形和图形符号

a) 瓷介质 b) 涤纶电容器 c) 独石电容器 d) 云母电容器
e) 金属化纸介质电容器 f) 铝电解电容器 g) 图形符号

(2) 半可变电容器 半可变电容器又称微调电容器或补偿电容器。其特点是容量可在小范围内变化，可变容量通常在几 pF 或几十 pF 之间，最高可达 100pF（陶瓷介质时）。半可变电容器通常用于整机调整后，电容量不需经常改变的场合。它的图形符号及常见的几种电容器外形如图 1-13 所示。

(3) 可变电容器 可变电容器的容量可在一定范围内连续变化，它由若干片形状相同的金属片并接成一组（或几组）定片和一组（或几组）动片。动片可以通过转轴转动，以改变动片插入定片的面积，从而改变电容量。其介质有空气、有机薄膜等。可变电容器有“单联”、“双联”和“三联”之分，外形及电路符号如图 1-14 所示。

(二) 电容器的型号命名法

电容器型号由四个部分构成，如表 1-5 所示。

(三) 电容器的主要性能指标

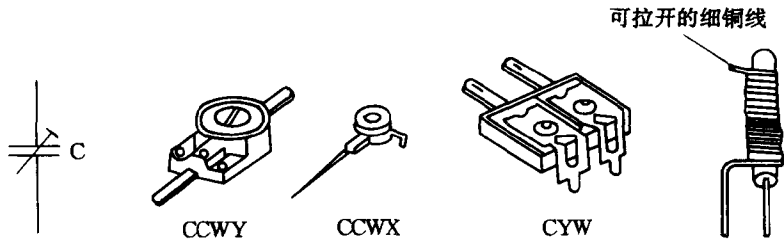


图 1-13 常用半可变电容器的图形符号和外形

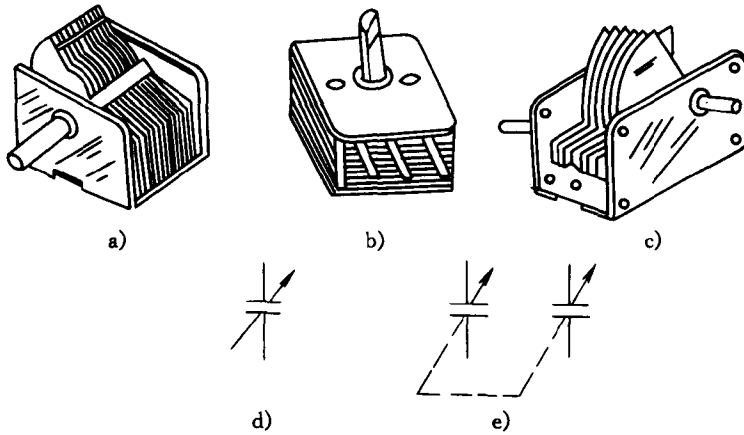


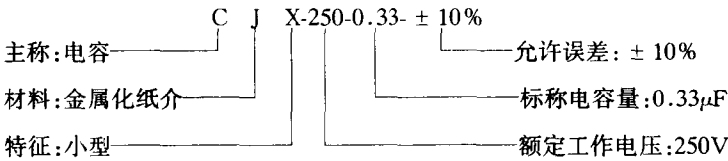
图 1-14 单、双联可变电容器外形及符号

a) 空气双联 b) 密封双联 c) 空气单联 d) 单联符号 e) 双联符号

表 1-5 电容器型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主体		用字母表示材料		用字母表示特征		用字母或数字表示符号
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(聚酯)			
		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	钽电解			
		M	压敏			
		E	其它材料电解			

示例：CJX-250-0.33- ± 10% 电容器



1. 标称容量与允许误差

电容器的容量表示电容储存电荷的能力。单位是法拉 (F)、微法 (μF)、纳法 (nF) 和皮法 (pF)，它们之间的关系是：1F = 10⁶μF = 10⁹nF = 10¹²pF。

标称容量是标志在电容器上的名义电容量，常用电容器容量的标称值系列如表 1-6 所示。任何电容器的标称容量都满足表 1-6 中数据乘以 10ⁿ (n 为整数)。

表 1-6 常用电容器容量的标称值系列

电容器类别	标 称 值 系 列
高频纸介质、云母介质	1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4
玻璃釉介质	2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2
高频（无极性）有机薄膜介质	6.8 7.5 8.2 9.1
纸介质、金属化纸介质	1.0 1.5 2.0 2.2 3.3 4.0 4.7 5.0 6.0
复合介质	6.8 8.0
低频（有极性）有机薄膜介质	
电解电容器	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

实际电容器的容量与标称值之间的最大允许偏差范围，称为电容量的允许误差。固定电容器的允许误差分为 8 级，如表 1-7 所示。

表 1-7 允许误差等级

级 别	01	02	I	II	III	IV	V	VI
允许误差	1%	± 2%	± 5%	± 10%	± 20%	+ 20% ~ - 30%	+ 50% ~ - 20%	+ 100% ~ - 10%

一般电容器的容量及误差都标志在电容器上。体积较小的电容器常用数字和文字标志。采用数字标志容量时用三位整数，第一、二位为有效数字，第三位表示有效数字后面加零的个数，单位为皮法 (pF)。如：“223”表示该电容器的容量为 22000pF (或 0.022μF)。需要注意的是当第三个数为 9 时是个特例。如“339”表示的容量不是 33 × 10⁹pF，而是 33 × 10⁻¹pF (即 3.3pF)。采用文字符号标志电容量时，将容量的整数部分写在容量单位标志符号的前面，小数部分放在容量单位符号的后面。例如：0.68pF 标志为 p68，3.3pF 标志为 3p3，1000pF 标志为 1n，6800pF 标志为 6n8，2.2μF 可标志为 2μ2 等。

误差的标志方法一般有三种：

- 1) 将容量的允许误差直接标在电容器上。
- 2) 用罗马数字 “I”、“II”、“III” 分别表示 ± 5%、± 10%、± 20%。
- 3) 用英文字母表示误差等级。用 J、K、M、N 分别表示 ± 5%、± 10%、± 20%、

$\pm 30\%$ ；用 D、F、G 分别表示 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ ；用 P、S、Z 分别表示 $\pm \frac{100}{0}\%$ ， $\pm \frac{50}{20}\%$ ， $\pm \frac{80}{20}\%$ 。

电容器的容量及误差除按上述方法标志外，也有采用色标法来标志，电容器的色标法原则上与电阻器色标法相同（参阅表 1-4），单位为皮法（pF）。

2. 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（又称耐压值）。常用固定式电容器的耐压值有：1.6V、4V、6.3V、10V、16V、25V、32V（*）、40V、50V（*）、63V、100V、125V、160V、250V、300V（*）、400V、450V（*）、500V、630V、1000V 等，其中有“*”符号的只限于电解电容用。耐压值一般都直标在电容器上，但也有些电解电容在正极根部标上色点来代表不同的耐压等级。如棕色表示耐压值为 6.3V，红色代表 10V，灰色代表 16V 等。

3. 绝缘电阻（又称漏阻）

理想电容器的绝缘电阻应为无穷大，但实际电容器的绝缘电阻往往达不到无穷大。可用下式表示

$$R = U/I_L$$

式中， R 为绝缘电阻，单位为 $M\Omega$ ； U 为加在电容器两端的直流电压，单位为 V； I_L 为漏电流，单位为 μA 。

一般电容器的绝缘电阻应在 $5000M\Omega$ 以上。绝缘电阻大，电容器的漏电小，性能好。优质电容器的绝缘电阻可达 $T\Omega$ ($10^{12}\Omega$ ，称太欧) 级。

4. 介质损耗

理想电容器应没有能量损耗，但实际上电容在工作时总有一部分电能转换成热能而损耗能量，包括漏电流损耗和介质损耗两部分。小功率电容器主要是介质损耗。介质损耗，是指介质反复极化和介质导电所引起的损耗。电容器损耗的大小通常用损耗系数即损耗角的正切值来表示，即

$$\tan\delta = \frac{\text{损耗功率}}{\text{无功功率}}$$

在容量、工作条件相同的情况下，损耗越大，电容器传递能量的效率就越低。损耗角大的电容不宜用在高频电路中。

（四）几种常用电容器的结构及特点

（1）纸介电容器（CZ 型） 其电极用铝箔或锡箔，绝缘介质用浸蜡的纸。优点是容量大而体积小（容量可达 $1\sim 20\mu F$ ）。缺点是化学稳定性差、易老化、吸湿性大，要密封。工作温度一般在 $85\sim 100^\circ C$ 以下。主要用于低频电路的旁路和隔直。

（2）金属化纸介电容器（CJ 型） 这种电容器用蒸发的方法使金属附着于纸上作为电极。因此体积小。其最大的优点是具有自愈作用，即当工作电压过高电容器被击穿后，由于金属膜很薄可蒸发，使电容在脱离高压后能自愈。

（3）有机薄膜电容器 是用聚苯乙烯（CB 型）、聚四氟乙烯或涤纶（CL 型）等有机薄膜代替纸介质构成的电容器。优点是体积小，耐压高，损耗小，绝缘电阻大，稳定性好，但温度系数大。