



普通高校“十二五”规划教材

电子工艺基础

(第2版)

主 编 付 蔚 童世华
副主编 吕霞付 罗 萍
王大军 陈绍明



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



配有课件

014061603

TN-43
70-2



普通高校“十二五”规划教材

电子工艺基础

(第2版)

主 编 付 蔚 童世华

副主编 吕霞付 罗 萍

王大军 陈绍明



北京航空航天大学出版社



北航

C1748072

TN-43

70-2

803130710

内 容 简 介

本书是根据国家大力恢复工业制造业、推动高校生产实习基地建设、提高生产实习教学质量的文件精神以及结合编者多年实践教学经验编写的。全书共6章,以电子产品整机制造工艺为主线,分别介绍了常用电子元器件的识别与检测、常用电子测试仪器的原理及应用、绘图原理及PCB制板工艺、元器件的焊接工艺、电子装配工艺、典型电子工艺实训案例。通过本书的学习,能够帮助读者掌握电子产品生产、制作的基本技能,了解电子产品先进的生产工艺和生产手段。

本书可作为高等院校电子信息类专业及相关专业的电子工艺实训教材或教学参考书,同时也可供职业教育、技术培训及有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺基础 / 付蔚, 童世华主编. —2版. —北
京: 北京航空航天大学出版社, 2014.8

ISBN 978-7-5124-1370-2

I. ①电… II. ①付… ②童… III. ①电子技术—高
等学校—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 192365 号

版权所有,侵权必究。

电子工艺基础(第2版)

主 编 付 蔚 童世华

副主编 吕霞付 罗 萍

王大军 陈绍明

责任编辑 董云凤 张金伟 罗晓莉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316524

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:16 字数:410千字

2014年8月第2版 2014年8月第1次印刷 印数:3 000册

ISBN 978-7-5124-1370-2 定价:32.80元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

“电子工艺基础”是高等院校电子信息类专业及相关专业的一门非常重要的实践性很强的技术基础课程,是工程训练中的重要环节之一。随着当前电子技术的飞速发展和其在国民经济各行各业中的日益渗透,电子工业已成为国民经济的支柱产业。目前,社会对人才的需求,尤其是对具有创新性、实践性人才的需求越来越高,因此,要求我们在工科学生的培养方面必须加强实践环节的教学,使学生从在校期间开始熟悉电子元器件,了解电子工艺的一般知识,掌握最基本的装焊操作技能,接触电子产品的生产过程。这样,既有利于今后的专业实验、课程设计、毕业设计等,也提高了学生的实践动手能力,为毕业后从事实际工作奠定良好的基础。

本书是根据国家大力恢复工业制造业、推动高校生产实习基地建设、提高生产实习教学质量的文件精神以及结合编者多年实践教学经验编写的。全书共6章,以电子产品整机制造工艺为主线,分别介绍了常用电子元器件的识别与检测、常用电子测试仪器的原理及应用、绘图原理及PCB制板工艺、元器件的焊接工艺、电子装配工艺、典型电子工艺实训案例。通过本书的学习,能够帮助读者掌握电子产品生产、制作的基本技能,了解电子产品先进的生产工艺和生产手段。

本书可作为高等院校电子信息类专业及相关专业的电子工艺实训教材或教学参考书,同时也可供职业教育、技术培训及有关技术人员参考。

本书由付蔚、童世华担任主编,吕霞付、罗萍、王大军、陈绍明担任副主编。第1章和第2章由付蔚编写;第3章由吕霞付、王大军编写;第4章由吕霞付、陈绍明编写;第5章由罗萍编写;第6章由童世华编写。研究生梁丽瑛、何培、干超、方健、张浩森参与了部分工作,林海波、吴界益在本书编写过程中,提出了很多宝贵意见,在此表示诚挚的谢意!本书在编写过程中,参阅了相关同类教材和资料,在此向其编者表示感谢。

由于电子工艺技术发展较快,加上编者的经验有限、时间仓促,书中难免有错误和不足之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

2014年5月

目 录

第 1 章 常用电子元器件的识别与检测	1
1.1 电阻元件的识别与检测	1
1.1.1 电阻的分类	1
1.1.2 电阻的命名方法及符号	2
1.1.3 电阻的性能参数	4
1.1.4 阻值和误差的标注方法	6
1.1.5 电阻的选择	7
1.1.6 电阻的测试	10
1.1.7 常用电阻器	11
1.2 电容元件的识别与检测	14
1.2.1 电容的作用	14
1.2.2 电容器的分类	15
1.2.3 电容器的命名及符号	16
1.2.4 电容器的标注方法	17
1.2.5 电容器的性能参数	18
1.2.6 电容器的选用	20
1.2.7 常用电容的特性	23
1.2.8 电容器的测试	25
1.3 电感元件的识别与检测	26
1.3.1 电感线圈	26
1.3.2 电感的符号与单位	26
1.3.3 电感的作用	27
1.3.4 电感的分类	27
1.3.5 电感的命名方法	28
1.3.6 电感的主要特性参数	28
1.3.7 常用电感线圈	29
1.3.8 常用电感的型号和规格	29
1.3.9 电感的选用	31
1.3.10 电感的测试	31
1.3.11 电感在使用中的注意事项	31
1.4 变压器	32
1.4.1 变压器的分类	32
1.4.2 电源变压器的特性参数	32

1.4.3 音频变压器和高压变压器的特性参数	32
1.5 半导体分立元件的识别与检测	33
1.5.1 二极管的识别与检测	33
1.5.2 三极管的识别与检测	41
1.5.3 场效应管的识别与检测	51
1.6 电位器元件的识别与检测	55
1.6.1 电位器的分类和相关型号	55
1.6.2 电位器的检测	56
1.7 驱动继电器的芯片	56
1.8 光 耦	56
1.9 光电管	57
1.9.1 真空光电管	57
1.9.2 充气光电管	57
1.9.3 光电倍增管	58
1.10 电声器件	58
1.10.1 电声器件型号命名方法	59
1.10.2 扬声器分类	59
1.10.3 扬声器主要特性参数	59
1.11 机电元件的识别与检测	60
1.11.1 继电器	60
1.11.2 开 关	64
1.12 集成电路的识别与检测	68
1.12.1 集成电路的分类	68
1.12.2 集成电路的命名	69
1.12.3 集成电路的封装与引脚识别	70
1.12.4 常用集成电路介绍	72
1.12.5 集成电路的使用注意事项	77
1.12.6 集成电路的检测方法	81
1.13 微处理器	81
1.13.1 常用单片机	82
1.13.2 ARM 系列单片机	82
1.13.3 看门狗电路	83
1.13.4 晶 振	84
思考题	85
第2章 常用电子测试仪器的原理及应用	87
2.1 万用表的应用	87
2.1.1 指针式万用表	87
2.1.2 数字式万用表	88

2.2 示波器的原理及应用	90
2.2.1 示波器的基本结构	90
2.2.2 示波器的示波原理	91
2.2.3 示波器的使用	92
2.3 信号发生器的应用	97
2.3.1 信号发生器的分类和主要质量指标	97
2.3.2 信号发生器的使用	98
2.4 直流稳压电源的原理及应用	103
2.4.1 直流稳压电源简介	103
2.4.2 直流稳压电源的使用	104
2.5 逻辑笔的应用	108
思考题	109
第3章 绘图原理及PCB制板工艺	110
3.1 Protel 99SE 内容简介	110
3.2 Protel 99SE 简明使用方法	111
3.2.1 Protel 99SE 的安装	111
3.2.2 原理图设计	111
3.2.3 原理图仿真	117
3.2.4 PCB 设计	118
3.2.5 快捷键说明	123
3.3 PCB 设计规则	126
3.3.1 PCB 设计的一般原则	126
3.3.2 PCB 设计中应注意的问题	129
3.3.3 PCB 及电路抗干扰措施	131
3.4 元器件的封装	132
3.4.1 定 义	132
3.4.2 元器件的封装形式	132
3.4.3 Protel 元件封装库总结	134
3.5 PCB 制板工艺	136
3.5.1 PCB 的发展历史	136
3.5.2 PCB 在电子设备中的地位和功能	137
3.5.3 PCB 的特点	137
3.5.4 PCB 的种类	138
3.5.5 PCB 的制造原理	138
3.5.6 PCB 的制造方法	138
3.5.7 PCB 的制造工艺	139
3.5.8 小工业制板流程	140
思考题	145

第4章 元器件的焊接工艺	146
4.1 元器件的手工焊接技术	146
4.1.1 手工焊接原理	146
4.1.2 助焊剂的作用	146
4.1.3 焊锡丝的组成与结构	147
4.1.4 电烙铁的基本知识	148
4.1.5 手工焊接	149
4.2 SMT 流程	152
4.2.1 焊膏印刷	153
4.2.2 贴片	154
4.2.3 焊接	154
4.2.4 SMT 生产中的静电防护技术	155
思考题	160
第5章 电子装配工艺	162
5.1 工艺文件	162
5.1.1 工艺文件的作用	162
5.1.2 工艺文件的编制方法	162
5.1.3 工艺文件格式填写方法	163
5.2 电子设备组装工艺	163
5.2.1 概述	163
5.2.2 电子设备组装的内容和方法	164
5.2.3 组装工艺技术的发展	164
5.2.4 整机装配工艺过程	165
5.3 印制电路板的插装	165
5.3.1 元器件加工(成形)	165
5.3.2 印制电路板装配图	167
5.3.3 印制电路板组装工艺流程	167
5.4 连接工艺和整机总装	167
5.4.1 连接工艺	167
5.4.2 整机总装	169
5.5 整机总装质量的检测	170
5.5.1 外观检查	170
5.5.2 性能检查	170
5.5.3 出厂试验	171
思考题	171

第 6 章 典型电子工艺实训案例	172
6.1 半导体收音机	172
6.1.1 无线电波基础知识	172
6.1.2 无线电信号的传送与接收	173
6.1.3 怎样装调收音机	175
6.2 万用表	194
6.2.1 万用表原理与安装实习的目的与意义	195
6.2.2 指针式万用表的结构、组成与特征	195
6.2.3 指针式万用表的工作原理	197
6.2.4 MF47 型万用表安装步骤	200
思考题	214
附录 A HX108-2 型 7 管半导体收音机焊接、装配、调试实例	215
A.1 HX108-2 型 7 管半导体收音机电路原理	215
A.2 电路原理图	215
A.3 电子元器件的识别、质量检验及整机装配	217
A.4 整机调试	220
A.5 故障检测	221
A.5.1 故障排除的一般方法	221
A.5.2 HX108-2 型超外差式收音机一般故障排除方法	222
附录 B TF2010 型手机万能充电器焊接、装配、调试实例	224
附录 C 常用电工与电子学图形符号	228
参考文献	243

第1章 常用电子元器件的识别与检测

1.1 电阻元件的识别与检测

1.1.1 电阻的分类

① 按电阻的阻值特性分类：固定电阻、可调电阻和特种电阻(敏感电阻)。固定电阻的阻值是固定不变的,阻值的大小就是它的标称值,固定电阻器的文字符号常用字母 R 表示。阻值可变的电阻为可调电阻。特种电阻的阻值会根据一些外界因素的变化而变化,如受光影响的电阻称为光敏电阻;受外界压力影响的电阻称为压敏电阻;还有热敏电阻、气敏电阻、电敏电阻等。

② 按制造材料分类：金属膜电阻、碳膜电阻、水泥电阻、线绕电阻、薄膜电阻等。

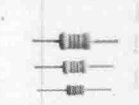
③ 按用途分类：限流电阻、降压电阻、分压电阻、保护电阻、启动电阻、取样电阻、去耦电阻、信号衰减电阻等。

④ 按安装方式分类：插件电阻、贴片电阻。贴片电阻按形状分有两种：长方形的和圆柱形。

⑤ 按功率分类：1/16 W、1/8 W、1/4 W、1/2 W、1 W 等。

图 1-1 为电阻的分类,表 1-1 为常用电阻的外形和特点。

表 1-1 常用电阻的外形和特点

名称	碳膜电阻 (RT)	金属膜电阻 (RJ)	线绕电阻 (RX)	金属氧化膜 (RY)	水泥电阻	片状电阻	集成电阻
外形							
结构	陶瓷管架上高温沉积碳氧化合物电阻材料,通过厚度和刻槽控制阻值,表面涂有保护漆。	陶瓷管架上用真空蒸发或烧渗法形成金属膜(镍铬合金),表面涂有保护漆。	合金丝(康铜、锰铜或镍铬合金)绕在陶瓷管支架上,表面涂有保护漆。	金属盐溶液在陶瓷管架上水解沉积成膜而成。	将电阻线绕在耐热瓷片上,或用氧化膜电阻等,用特殊不燃性耐热水泥填充密封而成。	采用高稳定性金属膜在陶瓷基体上蒸发而成。	采用高稳定性金属膜在陶瓷基体上蒸发或溅射而成的高精度网络。
阻值及功率	1 Ω~10 MΩ 0.125 W~10 W	1 Ω~620 MΩ 0.125 W~5 W	0.1 Ω~5 mΩ 0.125 W~500 W	1 Ω~1 mΩ 25 W~50 kW	1 Ω~200 kΩ 0.5 W~50 W	1 Ω~1 MΩ 1/32 W~3 W	51 Ω~33 kΩ

续表 1-1

名称	碳膜电阻 (RT)	金属膜电阻 (RJ)	线绕电阻 (RX)	金属氧化膜 (RY)	水泥电阻	片状电阻	集成电阻
特点	稳定,电压频率影响小,负温度系数,价廉	耐热,稳定性和温度系数都优于碳膜电阻,体积小,精度高,可达0.5%~0.05%	噪声低,线性度高,温度系数小,稳定度高,工作温度可达315℃	抗氧化性和耐高温,高温下热稳定性优于金属膜电阻	具有耐高功率、散热性好、稳定性高等特点	体积小,精度高,稳定性好,温度系数小,高频特性好	精度高、稳定性好、噪声低、温度系数小、高频特性好
应用	民用低挡电子产品	要求较高的电子产品	大功率、高稳定性、高温工作场合	补充金属膜大功率及低阻值部分	用于电源和功率电路中的分流和降压	计算机、通信及家用电器、精密仪器仪表等	计算机、仪器、仪表及特殊要求电路

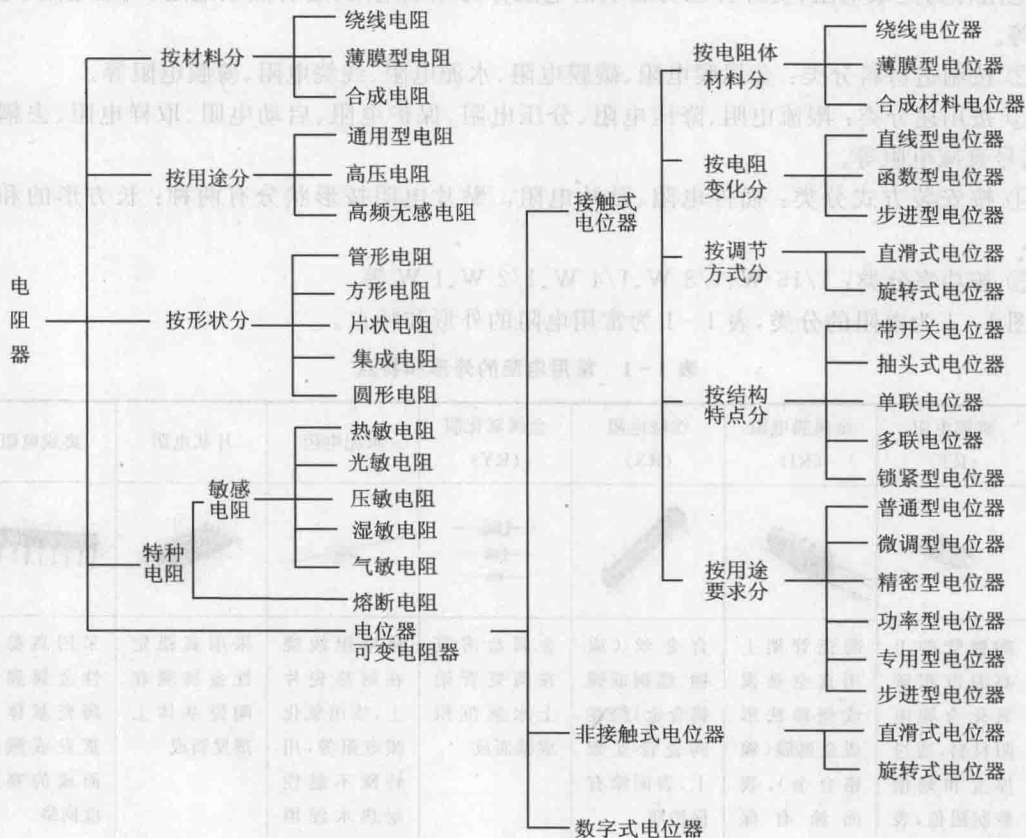


图 1-1 电阻的分类

1.1.2 电阻的命名方法及符号

根据国家标准 GB 2470—1995 的规定,电阻器及电位器的型号由 4 部分组成,如表 1-2

所列。

表 1-2 电阻(位)器的型号命名法

第1部分		第2部分		第3部分		第4部分	
用字母表示主称		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	符 号	意 义
R	电阻器	T	碳膜	1、2	普通	无固定	额定功率
W	电位器	H	合成膜	3	超高频	标识	阻值
		P	硼碳膜	4	高阻		允许误差
		U	硅碳膜	5	高温		精度等级等
		C	沉积膜	7	精密		
		I	玻璃釉膜	8	电阻器—高压		
		J	金属膜	9	电位器—特殊函数		
		Y	氧化膜	G	高功率		
		S	有机实心	T	可调		
		N	无机实心	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				

【例 1】 有一电阻器为 RJ71-0.25-4.7k I 型,则其表示含义如下:

R—主称,电阻;J—材料为金属膜;7—分类,为精密型;1—序号为 1;0.25—额定功率为 1/4 W;4.7k—标称阻值为 4.7 k Ω ;I—允许误差为 I 级,±5%。

【例 2】 有一电阻器为 WSW-1-0.5-4.7 k Ω ±10 型,则其表示含义如下:

W—主称,电位器;S—材料,为有机实心;W—特征,为微调型;1—品种,为非紧锁型;0.5—额定功率为 0.5 W;4.7 k Ω —标称阻值;±10%—允许误差。

排阻:厚膜网络电阻,通过在陶瓷基片上丝网印刷形成电极和电阻并印有玻璃保护层。排阻有坚硬的钢夹接线柱,用环氧树脂包封,适用于密集度高的电路装配。

排阻命名方法:

RP ———A ———08 ———472 ———J

产品型号 电路类型 针数 阻值代号 误差代号

网络排阻 A、B、C、D、E、F、G 4-14PIN, F=±1%, G=±2%, J=±5%。

其中, A: 多个电阻共用一端,共用端左端引出;

B: 每个电阻各自引出,且彼此没有相连;

C: 各个电阻首尾相连,各个端都有引出;

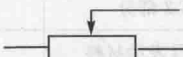
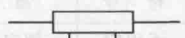
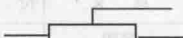
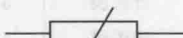
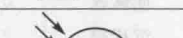
D: 所有电阻共用一端,共用端中间引出;

E: 所有电阻共用一端,共用端两端都有引出;

F 和 G 比较复杂。

常用电阻的图形符号如表 1-3 所列。

表 1-3 常用电阻器的图形符号

图形符号	名 称	图形符号	名 称
	固定电阻		可调电位器
	带抽头的固定电阻		微调电位器
	可调电阻(变阻器)		热敏电阻
	微调电阻		光敏电阻

1.1.3 电阻的性能参数

在电阻的使用中,必须正确应用电阻的参数。电阻的性能参数包括标称阻值及允许偏差、额定功率、极限工作电压、电阻温度系数、频率特性和噪声电动势等。对于普通电阻使用中最常用的参数是标称阻值、允许偏差和额定功率。

1. 标称阻值

标称在电阻器上的电阻值称为标称值。单位为 Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 。标称值是根据国家制定的标准系列标注的,不是生产者任意标定的,不是所有阻值的电阻都存在。

标称阻值组成的系列称为标称系列,表 1-4 为固定电阻的标称阻值系列,电阻的标称阻值应符合表列数值之一(或表列数值再乘以 10^n ,其中 n 为正整数或负整数)。

表 1-4 常用固定电阻的标称系列

系列代号	允许误差	电阻系列标称值											
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						

2. 允许误差

电阻器的实际阻值对于标称值的最大允许偏差范围称为允许误差,它直接以允许偏差的百分数表示。常用电阻的允许误差有 5 个等级,如表 1-5 所列。

表 1-5 常用电阻允许误差等级

允许误差/(%)	±0.5	±1	±5	±10	±20
等 级	005	01	I	Ⅱ	Ⅲ
文字符号	D	F	J	K	M
系列代号	E192	E96	E24	E12	E6

目前生产的固定电阻多为 I 级或 II 级, III 级已甚少见, 一般电子线路采用 I 级或 II 级电阻已能满足要求, 某些要求高的线路(如分压器、测试仪表)则应采用精度更高的电阻。

3. 额定功率

指在规定的环境温度下, 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, 电阻器上允许的消耗功率。常见的功率有 1/16 W、1/8 W、1/4 W、1/2 W、1 W、2 W、5 W、10 W。在电阻的使用中, 应使电阻的额定功率大于电阻在电路中实际功率值的 1.5~2 倍以上。

电路图中, 若不进行说明, 电阻的额定功率一般为 1/16~1/8 W, 较大功率时用文字标注或用符号表示。

表 1-6 列出电阻额定功率系列, 图 1-2 描述电阻额定功率的符号表示。

表 1-6 电阻额定功率系列

种 类	电阻额定功率系列/W										
线绕电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	3	4	8	10	
	16	25	40	50	75	100	150	250	500		
非线绕电阻	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100

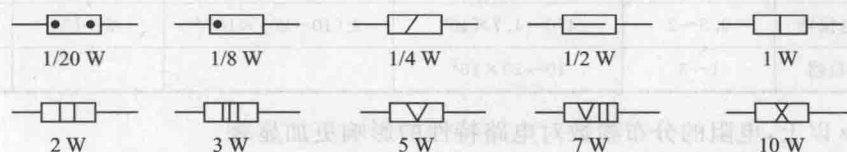


图 1-2 电阻额定功率的符号表示

4. 电阻的温度系数

当温度每变化 1℃ 时, 阻值的相对变化叫做电阻的温度系数。一般手册上给出的电阻温度系数是在使用条件下, 某一温度范围内的平均值, 即:

$$\rho_R = \frac{R_1 - R_2}{R_1(t_1 - t_2)} (1/^\circ\text{C})$$

式中: ρ_R 是电阻的平均温度系数; t_1 、 t_2 是规定的两个温度; R_1 、 R_2 分别对应于 t_1 、 t_2 温度时的阻值。温度系数与阻值大小有关, 阻值越大, ρ_R 也越大。碳膜电阻有负的温度系数, 温度升高, 阻值减小, 而其他类型电阻的温度系数有些为正, 有些为负。

5. 电阻的噪声

由于电阻器本身的结构和热效应作用, 通过电流时, 电阻器两端会产生一定的噪声电压。当信号很微弱时, 噪声电压将产生显著的干扰。线绕电阻器的噪声只决定于热噪声, 它仅与阻值、温度、外界电压的频率有关, 可用以下公式表示:

$$U^2 = 4kT\Delta fR$$

式中: U 为热噪声有效电压, 单位为 V; T 为绝对温度; $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K, 称为波耳兹曼常数; Δf 为外界电压的频带, 单位为 Hz。

非线绕电阻除了热噪声外, 还有电流噪声, 这是由于在外加电压作用下, 导电微粒间产生不规则的振动, 使阻值起伏变化, 对电流起了调制作用, 这种噪声与外加电压成正比。

常用电阻器的温度系数和噪声电势见表 1-7。

表 1-7 常用电阻器技术特性

名称和型号	额定功率 /W	标称阻值 范围/ Ω	温度系数/ (1/ $^{\circ}\text{C}$)	噪声电势 ($\mu\text{V/V}$)	运用频率
RT 型碳膜电阻	0.05	$10\sim 100\times 10^3$	$-(6\sim 20)\times 10^{-4}$	1~5	10 MHz 以下
	0.125	$5.1\sim 510\times 10^3$			
	0.25	$5.1\sim 910\times 10^3$			
	0.5	$5.1\sim 2\times 10^6$			
	1.2	$5.1\sim 5.1\times 10^6$			
RU 型硅碳膜电阻	0.125, 0.25	$5.1\sim 510\times 10^3$	$\pm(7\sim 12)\times 10^{-4}$	1~5	10 MHz 以下
	0.5	$10\sim 1\times 10^6$			
	1.2	$10\sim 10\times 10^6$			
RJ 型金属膜电阻	0.125	$30\sim 510\times 10^3$	$\pm(6\sim 10)\times 10^{-4}$	1~4	10 MHz 以下
	0.25	$30\sim 1\times 10^6$			
	0.5	$30\sim 5.1\times 10^6$			
	1.2	$30\sim 10\times 10^6$			
RXYC 型线绕电阻	2.5~100	$5.1\sim 56\times 10^6$			低频
WTH 型碳膜电位器	0.5~2	$470\sim 4.7\times 10^6$	$\pm(10\sim 20)\times 10^{-4}$	5~10	几百 kHz 以下
WX 型线绕电位器	1~3	$10\sim 20\times 10^3$			低频

10 MHz 以上,电阻的分布参数对电路特性的影响更加显著。

6. 电阻器的极限工作电压

电阻器两端的耐压也是有限度的,当加于电阻器的电压超过极限工作电压时,即使没有超过它的额定功率,也会产生击穿和表面飞弧现象而损坏。一般说来,极限工作电压 U 由阻值 R 和额定功率 P 决定,即:

$$U = \sqrt{PB}$$

对于阻值较高的电阻,手册中给出的极限工作电压小于上式的计算值,使用时必须注意。

1.1.4 阻值和误差的标注方法

1. 直标法

将电阻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。对小于 $1\,000\,\Omega$ 的阻值只标出数值,不标单位;对 $\text{k}\Omega$ 、 $\text{M}\Omega$ 只标注 k、M。精度等级标 I 或 II 级,III 级不标明,如图 1-3 所示。

2. 文字符号法

将数字与特殊符号两者有规律组合起来表示电阻的主要参数。常见符号有 M、K、R。如 $4\text{k}7$ ($4.7\,\text{k}\Omega$), $3\text{R}3$ ($3.3\,\Omega$), 如图 1-4 所示。

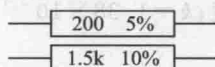


图 1-3 直标法

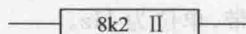


图 1-4 文字符号法

3. 数码法

用3位数字表示元件的标称值。从左至右,前两位表示有效数位,第3位表示 10^{-n} ($n=0\sim8$)。当 $n=9$ 时为特例,表示 $10^{-(-1)}$ 。而标志是0或000的电阻器,表示是跳线,阻值为 $0\ \Omega$ 。数码法标注时,电阻单位为 Ω 。

$0\sim10\ \Omega$ 带小数点电阻值表示为XRX,RXX,例如:2R2表示 $2.2\ \Omega$,471表示 $470\ \Omega$,105表示 $1\ \text{M}\Omega$ 。

贴片电阻多用数码法标注,例如,512表示 $5.1\ \text{k}\Omega$ 。

4. 色环标注法

对体积很小的电阻和一些合成电阻,其阻值和误差常用不同颜色的色环来标注,色环标注法有4环和5环两种。普通电阻一般用4环表示,精密电阻用5环表示。

4环电阻的一端有4道色环,前两道色环表示两位有效数字;第3道色环表示10的乘方数(10^n , n 为颜色所表示的数字);第4道色环表示允许误差,由于表示误差的色环只有金色或银色,色环中的金色或银色一定是第4环。若无第4道色环,则误差为 $\pm 20\%$ 。色环电阻的单位一律为 Ω 。

5环电阻用5道色环标注,前3道色环表示3位有效数字;第4道色环表示 10^n (n 为颜色所代表的数字);第5道色环表示阻值的允许误差。

在读色环电阻时,应正确识别第1色环,一般第1色环距电阻头较近,如图1-5所示。

$$\text{阻值} = \text{有效数字} \times \text{倍率}$$

允许误差直接由允许误差环读出。

注:有的电阻表面只有3道色环,这个电阻其实用的是4道色环表示法,只不过它的允许误差环为本色,即允许误差为 $\pm 20\%$ 。

固定电阻的色环举例:

标称阻值为 $27\ 000\ \Omega$,允许误差 $\pm 5\%$,其表示为红紫橙金;

标称阻值为 $17.5\ \Omega$,允许误差 $\pm 1\%$,其表示为棕紫绿金棕;

标称阻值为 $47\ 000\ \Omega$,允许误差 $\pm 20\%$,其表示为黄紫橙。

1.1.5 电阻的选择

1. 通用型电阻

通用型电阻种类较多、规格齐全、生产批量大,且阻值范围、外观形状、体积大小都有挑选的余地,便于采购、维修。

2. 根据电路特点、用途和电路板大小选用

高频电路及对整机质量和工作稳定性、可靠性要求较高的电路一般要求分布参数越小越好,应选用金属膜电阻或金属氧化膜电阻。

低频电路和对性能要求不高的电子线路可选用绕线电阻、碳膜电阻。普通线绕电阻常用于低频电路中作为限流电阻、分压电阻、泄放电阻或大功率管的偏压电阻。精度较高的线绕电阻多用于固定衰减器、电阻箱、计算机及各种精密电子仪器中。

功率放大电路、偏置电路、取样电路对稳定性要求比较高,应选温度系数小的电阻。退耦电路和滤波电路对阻值变化没有严格要求,任何类电阻都适用。

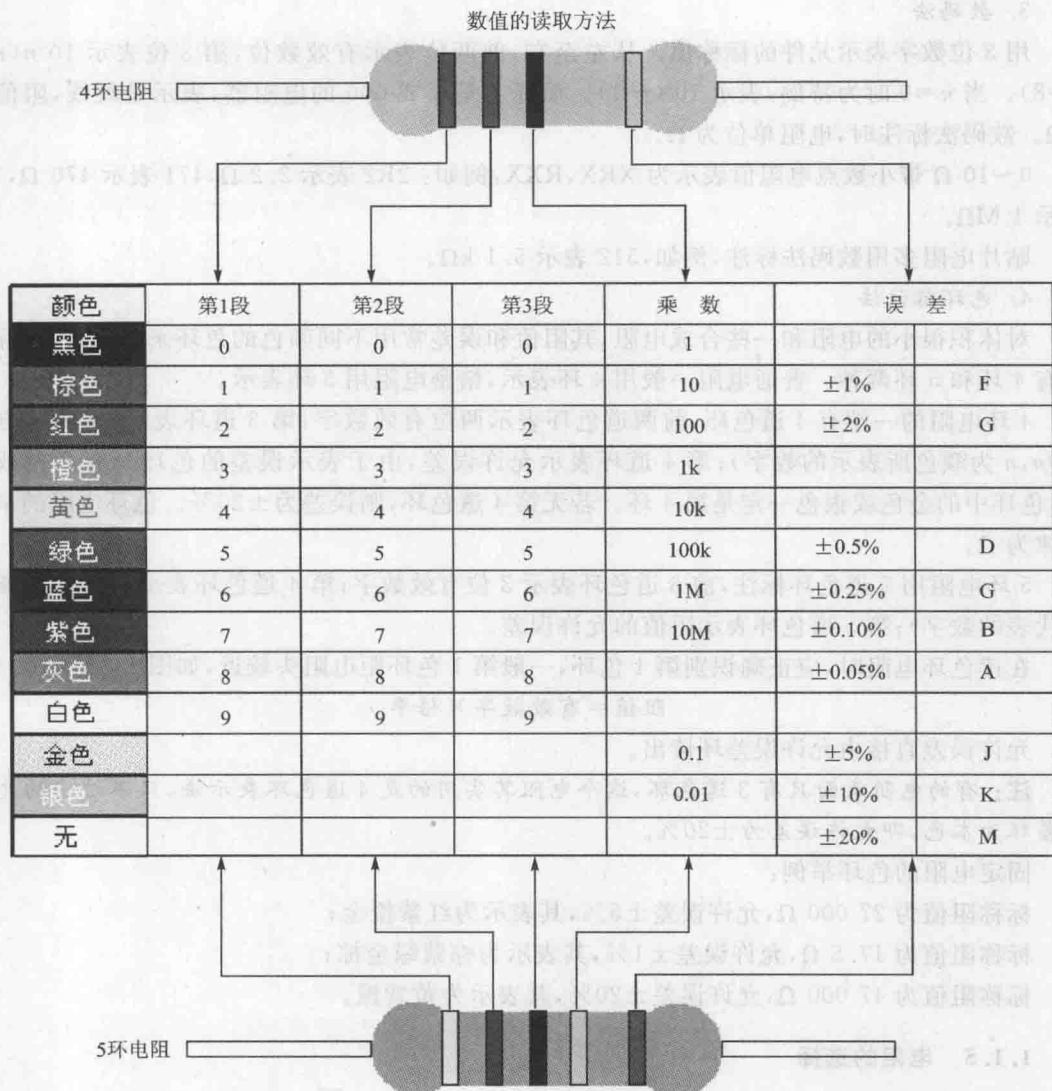


图 1-5 色环颜色所表示的有效数字和允许误差

还要根据电路板大小选用电阻。

3. 电阻的阻值和误差选用

阻值选用：所用电阻的标称阻值与所需电阻器阻值相差越小越好。

误差选用：时间常数 RC 电路所需电阻的误差尽量小，一般可选 5% 以内；对退耦电路、反馈电路、滤波电路和负载电路对误差要求不太高，可选 10%~20% 的电阻。

4. 电阻的极限参数选择

额定电压：当实际电压超过额定压时，即便满足功率要求，电阻器也会被击穿损坏。

额定功率：所选电阻器的额定功率应大于实际承受功率的两倍以上才能保证电阻在电路中长期工作的可靠性。