

21 世纪高等学校实践类教材

基础电子电路设计与实践

戴伏生 主编

毛兴鹏 王好贤 柏军 副主编

张秀珍 主审

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

基础电子电路设计与实践 / 戴伏生主编. —北京:
国防工业出版社, 2002 (2003.6 重印)

ISBN 7-118-02820-7

. 基... . 戴... . 电子电路—电路设计
.TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 010380 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 29 $\frac{1}{2}$ 682 千字
2002 年 4 月第 1 版 2003 年 6 月北京第 2 次印刷
印数: 4001—7000 册 定价: 40.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

电子技术是高等工科院校的重要专业基础课程之一，是一门理论性和实践性都很强的课程。本书是电子技术基础理论和实践相结合的教材，目的在于将模拟电子技术和数字电子技术理论教学与实践各环节有机地结合起来，加强对学生基本设计能力和实践能力的培养，使学生既丰富了知识又锻炼了能力，最终综合素质得到提高。

本书从常用电子元器件基本知识和基本应用电路开始介绍，然后才进入基础电子电路设计问题的讨论，接下来介绍了电子测量的知识和电子产品装配与调试技术，最后对电子电路设计自动化方面的知识进行了简介。内容安排上符合由浅入深循序渐进、由经典到现代的教学模式和教学规律，只要教师给予适当指导，学生完全能够掌握书中的内容。编写本书时我们注意了以下几方面问题。

1. 注重学生掌握常用电子元器件的知识和使用常识

万丈高楼从一砖一瓦建起，同样电子电路设计也应从一点一滴做起，只有让学生很好地掌握常用电子元器件性能、结构及应用条件，才能够使学生具备正确选用电子元器件的能力，进而设计出符合工程要求的电子电路。如忽视该方面的培养，学生设计出的电路往往只能停留在原理上，无法很好地与实际相结合。

2. 侧重基础电子电路的设计

考虑到本教材主要是针对初学电子技术的学生使用，所以在选题上特别侧重基础电子电路方面的设计，并不过分追求“新、奇、特”，目的是使课堂理论教学能够同实践紧密地结合在一起。由于电子技术发展非常迅速，新的器件、新的设计方法、新的设计手段不断涌现，如果过分追求时尚，必然与课堂理论教学脱节，而不利于学生对基础知识的掌握。因此，本书不但要求学生掌握基础理论知识，而且侧重对基本设计方法和基本技能的训练。

3. 重视培养学生分析问题和解决问题的能力

书中讨论了基础电子电路的设计方法，详细地介绍了电信号的各种概念，探讨了元器件参数的测量方法和电路各项常用指标的测量方法。练习题目可参考本书介绍的方法，由教师根据具体条件提出相应的设计题目，给出指标要求，电路完全由学生设计完成，并提出测试方案、选择测试仪器，通过调试电路达到设计指标的要求。这有助于培养学生分析问题和解决问题的能力。本书充分体现了当前教学改革思路。

4. 锻炼学生的动手能力

书中编排了小型电子产品的装配与调试内容。麻雀虽小但五脏俱全，学生通过这一整套的操作过程训练，动手能力会有很大提高。

5. 引入现代化设计手段和设计方法

电子设计自动化 (Electronic Design Automation , EDA) 技术已成为设计现代电子

系统必不可少的工具和手段,为此书中编入了 MAX-PLUS 应用,并介绍了利用该软件开发 Altera 公司生产的超大规模集成芯片 EPM7128S 实现逻辑电路的方法;从实践需求角度介绍了 Protel99 软件的使用方法;从仿真设计角度介绍了 Pspice9.0 软件的基本应用。

本书是参照全国高等学校电子技术课程指导小组制定的“电子技术课程教学大纲基本要求”,并遵照新世纪培养知识型人才的方针——知识、能力、素质要协调发展——编写而成的。全书共分为 4 部分 15 章,建议使用方法如下。

(1)作为电类专业本科生“模拟电子技术”和“数字电子技术”两门课程的实践环节设计性实验教材或实践环节独立设置课程教材,参考学时为 60 学时~80 学时,建议 20 学时讲授设计课题的难点,进行课题的总结、讨论及考核,40 学时~60 学时用于电路设计、仿真、调试与实验研究。考虑到与课堂理论相衔接,设计课题的内容应稍滞后理论课的内容。提倡并鼓励学生广开思路、开拓创新,充分发挥主动性和创造性,设计出更有特色的电路。采取理论和实践相结合的考核方式。

(2)作为非电类专业本科生电工学中电子技术部分的实验教材,实验电路可选用书中课题的举例电路,让学生选择仪器、仪表,自己设计实验步骤进行测试。可选择几个课题作为设计性课题,通过设计、仿真和实验等过程,锻炼学生的动手能力。

(3)作为电子技术课程设计主要参考教材;课程设计时一般由教师提供几个可选择题目,并提出要求,由学生独立完成其中一个题目的设计和调试,并撰写出设计报告。书中介绍的设计思想、设计方法、常用电子元件表、复杂可编程逻辑器件 CPLD 应用设计、Pspice 仿真等内容,都充分考虑了课程设计需要。

(4)作为电子工艺实习培训的主要参考教材,电子工艺实习一般包括原理图绘制、印制板制做和加工、电子元器件焊接练习、产品组装、整机调试等内容。书中 Protel99、电子产品装配调试技术等内容,就是主要针对电子工艺实习培训而编入的。

本书由戴伏生策划并担任主编,毛兴鹏、王好贤、柏军为副主编。具体分工如下:

戴伏生编写完成第(1、2、3、4、6、7、8、9)章及附录 1 和附录 2;毛兴鹏编写完成第(10、11、12、13)章及附录 5;王好贤编写完成第 5 章及附录 3 和附录 4;柏军编写完成第(14、15)章。另外,胡屏、孙正熏、马秀娟、周风永、赵涛、徐慧、宋立众等同志,配合主编和副主编也都参加了各章节的编写工作。

在本书编写过程中,得到了学校各级领导及教研室全体同志的关心、支持和大力帮助,张秀珍教授在百忙之中审阅全部文稿,并提出了中肯的修改建议。在此一并表示感谢。

因学生用书急迫,编写时间仓促,书中难免存在错误和不足,恳请广大师生和读者不吝指正。

编者

2001 年 12 月于

哈尔滨工业大学威海校区

目 录

第一部分 常用电子元器件的基本知识与基本应用电路

第一章 常用分立电子元器件的基本知识	1
1.1 阻容元器件	1
1.1.1 电阻器	1
1.1.2 电容器	8
1.2 电感器与变压器	14
1.2.1 电感器	14
1.2.2 变压器	17
1.3 半导体二极管、半导体三极管与场效应管	20
1.3.1 国产半导体器件型号命名法	20
1.3.2 二极管	22
1.3.3 三极管	24
1.3.4 场效应管	26
1.4 继电器	27
1.4.1 超小型电磁继电器	27
1.4.2 固态继电器	29
第二章 常用中小规模集成元器件的基础知识	34
2.1 数字集成电路	34
2.1.1 数字集成电路的分类	34
2.1.2 集成电路的型号命名法	34
2.1.3 数字集成电路简介和使用注意事项	35
2.2 模拟集成电路	38
2.2.1 模拟集成电路的类型、特点和结构	38
2.2.2 常用模拟集成电路	38
第三章 常用电子元器件基本应用电路	48
3.1 半导体管基本应用电路	48
3.1.1 二极管的基本应用	48
3.1.2 三极管的基本应用举例	52
3.1.3 场效应管的基本应用举例	54
3.2 集成运算放大器的基本应用	55
3.2.1 反相放大器	55

3.2.2	同相放大器	55
3.2.3	差动放大器	56
3.2.4	加(减)法器	56
3.2.5	微分器	57
3.2.6	积分器	58
3.2.7	窗比较器	58
3.2.8	正弦波振荡器	59
3.2.9	方波发生器	60
3.2.10	阶梯波发生器	60
3.2.11	交流电压放大器	61
3.2.12	单电源供电的交流电压放大器	62
3.3	集成逻辑门及其基本应用	63
3.3.1	TTL 门电路的主要参数及使用规则	63
3.3.2	CMOS 电路的主要参数及使用规则	64
3.3.3	集成逻辑门的基本应用	65
3.4	集成触发器及其基本应用	69
3.4.1	集成触发器的触发方式与选用规则	69
3.4.2	D 触发器的基本应用	70
3.4.3	J-K 触发器的基本应用	71
3.4.4	单稳态触发器的基本应用	73
3.5	集成电路定时器 555 及其基本应用	76
3.5.1	555 的内部结构及性能特点	76
3.5.2	555 组成的基本电路及应用	77

第二部分 基础电子电路设计

第四章	模拟电子电路设计	83
4.1	电子电路的设计方法概论	83
4.1.1	选择总体方案	83
4.1.2	设计单元电路	83
4.1.3	参数计算	83
4.1.4	选择元器件	84
4.1.5	绘总体电路图	86
4.1.6	电路的组装与调试	86
4.1.7	设计报告的撰写	88
4.2	基本放大电路的设计	89
4.2.1	双极型晶体管单管放大电路的设计	89
4.2.2	场效应管单管放大电路的设计	98
4.2.3	具有恒流源的差分放大电路的设计	101

4.3	负反馈放大电路的设计	104
4.3.1	设计的原则及设计时要考虑的问题	105
4.3.2	设计方法及举例	106
4.4	功率放大电路设计	113
4.4.1	由功放管构成的乙类推挽功率放大电路的一般考虑	113
4.4.2	功放管组成的功率放大器分析与设计示例	113
4.4.3	集成功率放大器	115
4.5	RC 有源滤波器的设计	117
4.5.1	有源滤波器设计的一般考虑	117
4.5.2	滤波器的传输函数与性能参数	119
4.5.3	滤波器的快速设计方法	119
4.5.4	设计举例	127
4.6	波形产生电路	129
4.6.1	正弦波振荡电路	129
4.6.2	LC 振荡电路的设计考虑与调试问题	132
4.6.3	函数发生器的设计	135
4.7	集成稳压电源设计	141
4.7.1	集成稳压电源的性能指标	141
4.7.2	固定式集成稳压电源的设计	142
4.7.3	固定式集成稳压电源的扩展应用	144
4.7.4	可调式集成稳压电源设计	146
第五章	数字电路的设计	149
5.1	常用组合逻辑电路的设计	149
5.1.1	组合逻辑电路的设计	149
5.1.2	利用中规模集成电路设计组合逻辑电路	151
5.1.3	组合逻辑电路设计中的扇入限制	159
5.2	时序逻辑电路的设计	160
5.2.1	触发器激励信号和转移特性之间的关系	160
5.2.2	时序逻辑电路的设计方法	161
5.2.3	利用中规模集成电路设计时序逻辑电路	169
5.3	数字系统设计简介	176
5.3.1	数字系统设计步骤	176
5.3.2	数字系统设计方法	181
5.3.3	TTL 和 CMOS 电路的接口	189
5.3.4	数字电路的安装与调试技术	190

第三部分 电子测量知识与电子产品装配调试技术简介

第六章	电子测量的基本知识与电子元器件的测量	193
-----	--------------------------	-----

6.1 电子测量的基本知识	193
6.1.1 电子测量的方法	193
6.1.2 测量误差的基本知识	196
6.1.3 测量数据的处理	197
6.2 电路基本元器件参数的测量	199
6.2.1 电阻的测量	199
6.2.2 电容的测量	202
6.2.3 电感的测量	203
6.2.4 二极管的测量	205
6.2.5 三极管的测量	207
6.2.6 场效应管主要参数的测量	208
6.2.7 集成运算放大器参数的测量	209
第七章 常用电信号的测量	213
7.1 电压和电流的测量	213
7.1.1 直流电压的测量	213
7.1.2 交流电压的测量	215
7.1.3 分贝测量法	219
7.1.4 直流电流的测量	220
7.1.5 交流电流的测量	221
7.2 信号波形参数的测量	222
7.2.1 时间的测量	222
7.2.2 频率的测量	224
7.2.3 相位的测量	225
第八章 电路基本性能指标的测量	227
8.1 放大器静态的测量	227
8.1.1 双极型半导体管单级放大电路	227
8.1.2 场效应管单级放大电路	228
8.1.3 晶体管多级放大电路	228
8.1.4 差分放大电路	229
8.1.5 集成运算放大器	230
8.2 放大器放大倍数的测量	231
8.2.1 电压放大倍数的测量	231
8.2.2 差分放大器放大倍数的测量	231
8.2.3 功率放大倍数的测量	233
8.3 放大器输入阻抗的测量	233
8.3.1 输入电阻 R_i 的测量	233
8.3.2 高输入阻抗放大电路 Z_i 的测试	235
8.4 放大器输出阻抗的测量	236
8.4.1 伏—安法测试输出电阻值 R_o	237

8.4.2	半电压法测试输出电阻值 R_o	237
8.5	失真度的测量	237
8.5.1	非线性失真度的定义	238
8.5.2	抑制载波法测量非线性失真度	238
8.6	放大器幅—频特性的测量	239
8.6.1	点频法测试放大器幅—频特性曲线	239
8.6.2	扫频测试法测试放大器幅—频特性曲线	240
8.6.3	大信号带宽的测试	240
8.7	放大器相—频特性的测量	241
8.8	放大器动态范围的测量	241
8.9	电路传输特性曲线的测量	242
8.9.1	差分放大器传输特性曲线的测试	242
8.9.2	电压比较器传输特性曲线的测试	243
8.10	振荡电路的测量	244
8.10.1	振荡幅度的测量	244
8.10.2	振荡频率的测量	244
8.10.3	频率稳定度的测量	244
8.10.4	静态工作点电流 I_{CQ} 的测量	244
第九章	电子产品装配与调试技术简介	245
9.1	超外差式半导体收音机的基本工作原理	245
9.2	超外差式收音机的整机装配	247
9.2.1	机心部件装配工序	247
9.2.2	咏梅 83-833A 型袖珍收音机的整机装配工序	247
9.3	超外差式收音机的整机调试	248
9.3.1	外观检查	248
9.3.2	调试工作点电流和开机试听	248
9.3.3	调试低频放大部分的最大功率输出和总增益及额定输出时的失真度	249
9.3.4	调整中频	250
9.3.5	统调外差跟踪(校准频率刻度和调整补偿)	251
9.3.6	全部性能测试	253
9.4	收音机常见故障分析与排除	254
9.4.1	完全无声故障检修	254
9.4.2	电台声音时响时不响故障检修	255
9.4.3	本机振荡电路故障检修	255

第四部分 电子设计自动化 (EDA) 技术

第十章	可编程逻辑器件概述	257
10.1	可编程逻辑器件的发展历程	257

10.2	FPGA、CPLD 和 ASIC 比较	257
10.3	Altera 公司 MAX7000 系列产品简介	258
10.3.1	概述	259
10.3.2	功能描述	260
10.3.3	器件描述	260
第十一章	MAX+PLUS 入门和AHDL简介	262
11.1	MAX+PLUS 入门	262
11.1.1	MAX+PLUS 学习版的安装	262
11.1.2	菜单界面简介	264
11.1.3	逻辑设计的原理图输入和文本输入	266
11.2	项目的编译、仿真和器件编程	273
11.2.1	设计项目的编译	273
11.2.2	波形文件的建立和模拟仿真	278
11.2.3	定时分析	280
11.2.4	器件编程	281
11.3	AHDL 基础	283
11.3.1	AHDL 的基本元素	284
11.3.2	AHDL 设计的基本结构	290
11.3.3	AHDL 设计实例与练习	304
第十二章	Protel99 原理图设计	307
12.1	Protel软件的发展演变	307
12.2	Protel99 的组成特点	307
12.2.1	原理图设计系统 Schematic 的特点	308
12.2.2	印制电路板设计系统 PCB 的特点	309
12.3	Protel99 初步	310
12.3.1	电路板设计的基本步骤	311
12.3.2	Protel99 的启动和退出	311
12.3.3	Protel99 菜单栏	312
12.3.4	工具栏	313
12.3.5	进入各种编辑器	313
12.4	原理图的设计	316
12.4.1	原理图的设计步骤	316
12.4.2	原理图文件的管理	316
12.4.3	原理图文件的绘制	318
12.4.4	原理图文件的输出	326
12.5	生成网络表文件	328
12.5.1	网络表的作用与格式	329
12.5.2	由原理图生成网络表	329
第十三章	Protel99 印制电路板设计	331

13.1	印制电路板的布线流程	331
13.2	进入 PCB 编辑器	332
13.3	PCB 画面管理	332
13.3.1	画面的放大	333
13.3.2	自定义放大区域	333
13.3.3	显示以光标为中心的屏幕	333
13.3.4	画面的缩小	333
13.3.5	将屏幕缩放到可显示整个电路板	333
13.3.6	采用上次显示比例显示	334
13.3.7	更新画面	334
13.3.8	窗口管理	334
13.3.9	PCB 编辑器各工具栏、状态栏、管理器的打开与关闭	335
13.4	设计电路板工作层面	335
13.4.1	工作层面的类型说明	335
13.4.2	Protel99 工作层面的设计步骤	337
13.4.3	Protel99 工作层面显示颜色的设定	338
13.4.4	设置各项特殊功能	339
13.5	印制电路板的制作	340
13.5.1	手动制版	340
13.5.2	自动制版	342
13.6	双面板设计	365
第十四章 OrCAD Pspice 简介与电路图绘制		368
14.1	OrCAD Pspice 概述	368
14.1.1	EDA 技术与 Pspice 的起源	368
14.1.2	OrCAD Pspice 的特点	369
14.1.3	OrCAD Pspice 中的常用术语	371
14.2	OrCAD Capture 与电路图绘制	373
14.2.1	启动 OrCAD Capture 环境	373
14.2.2	新建项目及载入元件库	375
14.2.3	绘图页环境设置	377
14.2.4	绘制电路原理图	380
第十五章 OrCAD Pspice 仿真分析		393
15.1	Pspice 基本仿真分析	394
15.1.1	直流工作点分析 (Bias Point Detail)	394
15.1.2	直流扫描分析 (DC Sweep)	396
15.1.3	交流扫描分析 (AC Sweep)	401
15.1.4	瞬态特性分析 (Transient Analysis)	408
15.1.5	Pspice 仿真分析的应用实例	410
15.2	Pspice 数/模混合电路仿真分析	412

15.2.1 组合逻辑电路仿真	412
15.2.2 时序逻辑电路仿真	415
15.2.3 数字模拟混合电路仿真	416
附录 1 部分常用半导体管主要参数	419
附 1.1 半导体二极管类	419
附 1.1.1 普通半导体二极管、稳压管	419
附 1.1.2 发光二极管	420
附 1.1.3 双基极二极管 (单结晶体管)	420
附 1.1.4 晶闸管	421
附 1.1.5 整流桥	421
附 1.2 半导体三极管及场效应管	421
附 1.2.1 半导体三极管	421
附 1.2.2 场效应半导体管	422
附录 2 部分常用集成运算放大器及集成定时器简介	424
附 2.1 部分集成运算放大器极限参数及引脚排列	424
附 2.2 集成运算放大器一些补偿及调整引脚举例说明	428
附 2.2.1 失调调整引脚 (OA) 举例说明	428
附 2.2.2 增益频率补偿引脚 (COMP) 举例说明	429
附 2.2.3 偏置/程控电流引脚 (BI) 举例说明	429
附 2.3 集成定时器 555 及 556 引脚排列及功能表	430
附录 3 常用 TTL 数字集成电路	431
附 3.1 TTL 数字集成电路索引	431
附 3.2 常用 TTL 数字集成电路引脚及功能	434
附录 4 常用 CMOS 数字集成电路	452
附 4.1 CMOS 数字集成电路索引	452
附 4.2 常用 CMOS 数字集成电路引脚及功能	454
附录 5 部分常用元器件符号对照表	458
参考文献	459

内 容 简 介

新世纪培养知识型人才的方针是“知识、能力、素质要协调发展”。本书是遵循该精神并参照全国高等学校电子技术课程指导小组制定的“电子技术课程教学大纲基本要求”而编写的。在体系安排上既重视理论知识的传授又注重能力的培养和素质的提高。

全书共分为4个部分：第1部分介绍常用电子元器件的基本知识与基本应用电路；第2部分介绍基础电子电路设计，包括“模拟电子技术”和“数字电子技术”基础电路的设计方法；第3部分介绍电子测量和电子产品装配与调试技术方面的知识；第4部分介绍电子设计自动化 EDA 知识。在内容选择上侧重基础理论、基础知识、基本方法的讨论，同时引入了代表现代电子技术发展的 EDA 设计方法，并力求讲解详尽，使学生能尽快掌握电子电路的设计方法和提高实验兴趣，进而逐步提高自我分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高等工科院校电类及相近各专业本科“模拟电子技术基础”和“数字电子技术基础”课程相配套的实践类教材，也完全可用作非电类电工学课程电子技术部分实验教材，又可作为电子技术课程设计及电子工艺实习培训参考教材，并可供从事电子技术工作的工程技术人员及广大电子技术爱好者自学使用。

第一部分 常用电子元器件的 基本知识与基本应用电路

第一章 常用分立电子元器件的基本知识

1.1 阻容元器件

1.1.1 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 1.1.1 所示。

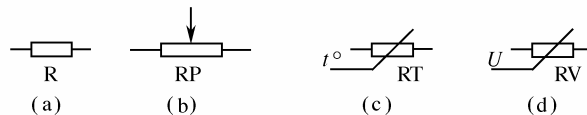


图 1.1.1 电阻器的符号

(a) 固定电阻器；(b) 可变电阻器；(c) 热敏电阻器；(d) 压敏电阻器。

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、实心型电阻器、玻璃釉膜电阻器。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、颈向引线的和同向引线的等。按电阻器保护层材料分类，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）。碳膜电阻器是以小磁棒或瓷管作骨架，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（ $100 \sim 10\text{M}\Omega$ ），适应于高频电路。碳膜电阻器的外形如图 1.1.2 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，阻值范围在 $100 \sim 10\text{M}\Omega$ 。它广泛应用于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 1.1.3 所示。

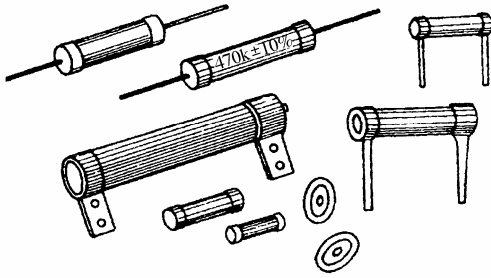


图 1.1.2 碳膜电阻器的外形

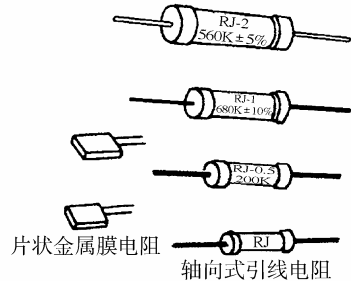


图 1.1.3 金属膜电阻的外形

（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（ $10 \sim 200\text{k}\Omega$ ）。

（4）实心碳质电阻器（RS 型）。这种电阻器是用石墨粉做导电材料，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 1.1.4 是目前生产的 RS11 型有机实心电阻器的外形图。

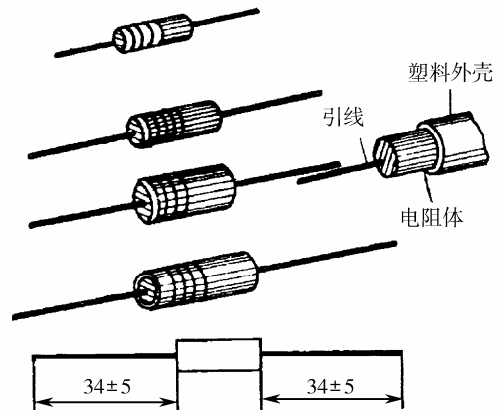


图 1.1.4 有机实心电阻器的外形

（5）线绕电阻器（RX 型）线绕电阻器是用金属电阻丝烧制在陶瓷或其他绝缘材料的骨架上，表面涂以保护漆或玻璃釉膜制作而成。线绕电阻器的优点是阻值精确（电阻值在 $50 \sim 56\text{k}\Omega$ 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。

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，在一定范围内连续可调。电位器的图形符号如图 1.1.5 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 型有机实心电位器、WTJ 型精密合成电位器和 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 $0.25\text{W} \sim 50\text{W}$ 左右,阻值范围为 $100\Omega \sim 100\text{k}\Omega$ 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。

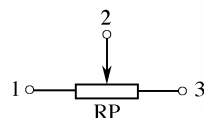


图 1.1.5 电位器图形符号

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,接触刷在电阻体上做旋转运动,如多数的微调 and 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做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。

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 1.1.6 所示(图中 RP_{1-2}/RP_{1-3} 表示可变电阻与最大电阻的比值)。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 1.1.7 所示。

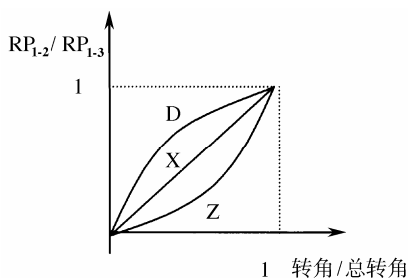


图 1.1.6 电位器输出特性的函数关系

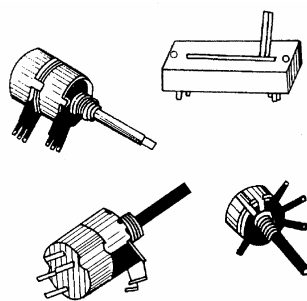


图 1.1.7 几种常用电位器的外形

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。他们几乎都是使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。

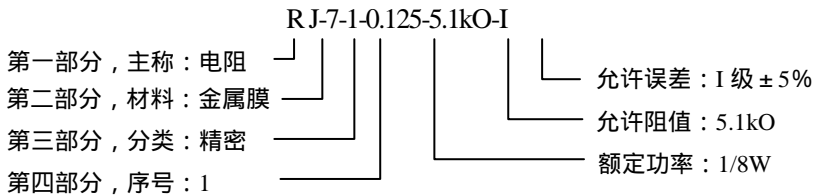
二、电阻器和电位器的型号命名法

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 1.1.1 所列。

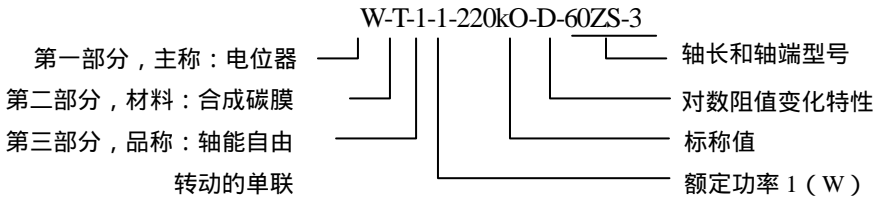
表 1.1.1 电阻器和电位器的型号命名法

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（高压型） 电位器（特殊函数型）	
		J	金属膜	9	特殊	
		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			

示例 1：精密金属膜电阻器：RJ71-0.125-5.1KI 型电阻器



示例 2：220kO 单联合成碳膜电位器



示例 3：微调 47kO 有机实心电位器

