

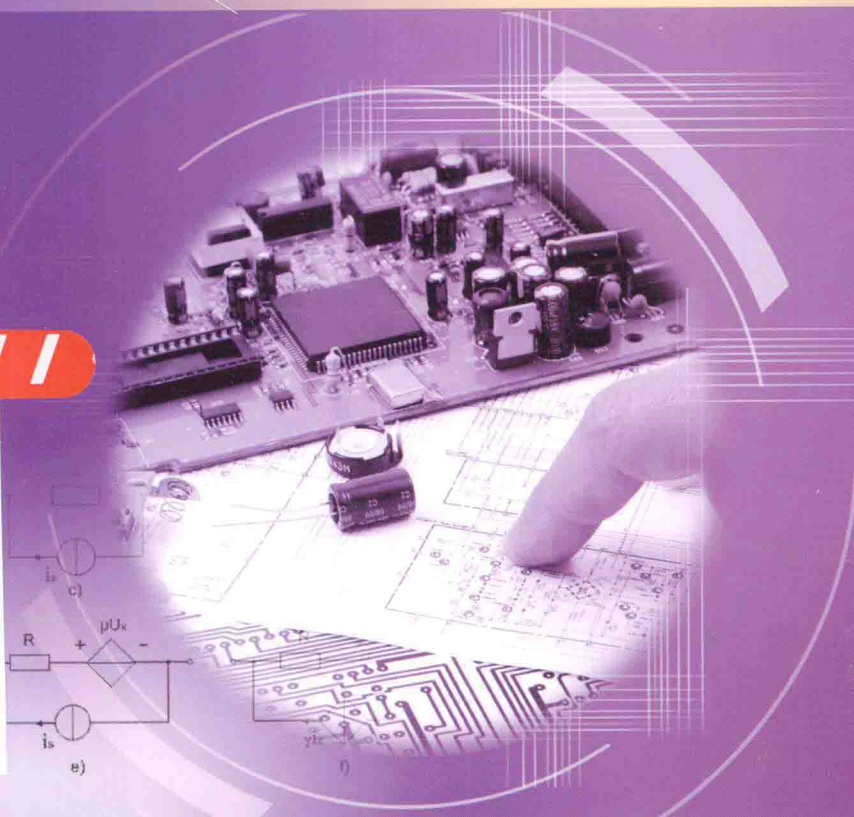


普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材

电路电子技术实验 与课程设计

第2版

付扬 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材

电路电子技术实验 与课程设计

第2版

主编 付 扬
参编 肖 青 黎 明 梁 丽
张宏建 李 文 陈媛媛



机械工业出版社

本书是根据教育部电工电子基础课程教学指导分委员会对电路、电子技术课程教学的基本要求,结合电路电子技术实验教学改革而修订的。全书覆盖了实验必备的基础知识、电路电子技术课程的基础实验、设计应用实验、课程设计实例和设计题目等内容。

全书共分八章,前三章主要介绍实验的基本知识、电子元器件的识别与测试、常用实验仪器的使用,第四章介绍电路实验,第五、六章分别介绍模拟电子技术、数字电子技术基础性实验和设计应用性实验,第七章介绍电子技术课程设计实例和课程设计题目,第八章介绍现代设计技术——Multisim。

本书具有很强的系统性、实用性和先进性,可作为电子信息类、电气类以及相近专业本科生的实验教材,也可作为学生电子竞赛、毕业设计的参考资料,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路电子技术实验与课程设计/付扬主编. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2015. 2

普通高等教育“十二五”电工电子基础课程规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 48992 - 4

I. ①电… II. ①付… III. ①电子电路 - 实验 - 高等学校 - 教材
②电子电路 - 课程设计 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 034731 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:徐凡 责任编辑:徐凡

版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉 刘秀丽

责任印制:刘岚

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 2 月第 2 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.75 印张·384 千字

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 48992 - 4

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

“电路电子技术实验与课程设计”是电子信息类专业重要的实践课程。本书作为课程的配套教材，从2007年出版以来，被编者学校和一些院校长期使用。师生普遍反映，该教材重基础、重实用，是一本对电路和电子技术实践课程比较适用的教材。

随着社会对创新型人才需求的增加，实践教学改革越来越深入，电子信息类专业的人才培养更加强调厚基础、强实践、重创新。本书的编写以培养和提升学生实践能力和创新精神为目标，基于实践教学体系、内容和方法的改革，在实验体系上实现基础、应用、创新多个层次以及课内、课后延续，实验教学网站等多平台的实践教学；在确保基础、加强基本技能训练的基础上，在实验内容上加强设计应用实验，实现系统的综合分析和设计；实验方法上实现教师从实验辅导到实验引导，使学生在实验活动中由被动变为主动，引导学生如何发现问题、分析问题，培养学生的实践能力和创新能力。

为适应实验教学体系和内容的改革，本书在保证经典的基础实验和在保留原有实验教材系统性、综合性和先进性的基础上，更加强调设计应用和综合实践。本次修订，编者做了如下工作：

(1) 加强电子技术设计应用。如在模拟电子技术实验中，比较器设计实验增加了万用表自动关机电路，进一步加强对比较器的应用；直流稳压电源实验增加了串联型稳压电源设计和多路输出集成直流稳压电源的设计；增加了运放和集成芯片组成的方波—三角波产生电路设计等。在电子技术中增加了很多设计应用性内容，如在数字电子技术实验中，加强了中规模芯片的组合逻辑和时序逻辑的综合设计，在脉冲电路中，增加了555定时器在分频器、开关控制电路、报警电路中的设计应用；在A/D与D/A转换实验中，增加了A/D和D/A转换器设计应用等。

(2) 加强课程设计内容，实现系统综合设计。为开阔学生系统设计的思路，方便自学，增加了课程设计的实例，同时拓展了课程设计的题目，使课程设计题目覆盖面广，可操作性强。力图通过课程设计，加深系统的概念，以实现模数融合、光电融合，并有效地将设计、综合和系统有机地结合起来，实现学生实践创新能力的升华。

(3) 跟踪电子技术新技术的发展，更新Multisim仿真软件在电路电子技术设计中的应用，将该软件的应用由原来的Multisim 7升级为Multisim 10，为电子设计提供更好的软件平台，加强了EDA实验内容，强调硬件和软件的有机结合。

(4) 增加了DDS函数发生器和数字毫伏表的原理及使用指南，方便学生既能使用传统仪器又会使用先进仪器，以完成多平台的自主实验。

参加本书编写的教师多年来均从事电路电子技术的教学和改革，有着丰富的实验教学经验。本书第一、二、三、五、八章由付扬编写，第四章由黎明编写，第六章和第七章的第四节由肖青编写，第七章的第一节由梁丽编写，第七章的第二节和第三节由梁丽、张宏建、李文、陈媛媛共同编写。付扬任本书主编，并负责全书的组织、修订和定稿。

本书的修订过程，得到了张晓力、李建峰等老师的大力帮助，在此表示衷心的感谢。

由于我们的能力和水平有限，书中难免有不妥之处，敬请兄弟院校的老师 and 读者提出改进建议。

编者

目 录

前言

第一章 实验的基本知识 1

第一节 实验的目的、意义和要求 1

一、实验的目的和意义 1

二、实验课程的要求 1

三、实验室的安全操作规则 2

第二节 实验电路故障与排除 3

一、常见的故障现象 3

二、故障排除 3

第二章 电子元器件的识别与测试 5

第一节 电阻器 5

一、电阻器的分类及特点 5

二、电阻器的型号命名 7

三、电阻器的主要性能参数 8

四、电阻器的选择与测试 10

第二节 电容器 11

一、电容器的分类及特点 11

二、电容器的型号命名 13

三、电容器的主要性能参数 14

四、电容器的选择与测试 15

第三节 电感器 16

一、电感器的分类 16

二、电感器的主要性能参数 17

三、电感器的选择与测试 17

第四节 半导体器件 18

一、半导体二极管 19

二、晶体管 21

三、场效应晶体管 24

四、晶闸管 25

第五节 集成电路器件 26

一、集成电路的分类 26

二、集成电路的命名 26

三、集成电路引脚的识别 27

四、集成电路使用注意事项 28

第三章 常用实验仪器的使用 29

第一节 万用表 29

一、UT50 系列数字万用表外部结构 29

二、数字万用表的基本使用方法 29

三、数字万用表的安全操作准则 32

第二节 示波器 32

一、示波器面板结构及使用 32

二、示波器屏幕显示 38

第三节 交流毫伏表 39

一、HG2170 型双通道交流毫伏表 39

二、SM1030 数字交流毫伏表 41

第四节 信号发生器 46

一、GAG—809 音频发生器 46

二、TFG2003G DDS 函数信号发生器 48

第五节 可跟踪直流稳定电源 55

一、使用方法 56

二、注意事项 57

第六节 数字式电参数综合测量仪 57

一、测量范围和精度 57

二、面板说明 57

三、功能及使用 58

第四章 电路实验 63

实验一 电路元器件伏安特性的测试 63

实验二 叠加原理的验证 65

实验三 戴维南定理 67

实验四 双口网络测试 70

实验五 互感电路观测 73

实验六 交流电路参数的测量 75

实验七 功率因数的提高 77

实验八 三相电路 80

实验九 RC 一阶电路的响应测试 83

实验十 R、L、C 串联谐振电路的研究 86

实验十一 受控源 VCVS、VCCS、CCVS、CCCS 的研究 89

第五章 模拟电子技术实验	94	三、电容测量电路	190
基础性实验	94	四、数字式温度监测电路	195
实验一 常用电子仪器使用	94	第三节 设计题目	200
实验二 单管共射放大电路	97	一、函数发生器	200
实验三 多级放大电路	101	二、低频信号发生及处理系统	201
实验四 电压串联负反馈放大电路	105	三、语音放大电路	201
实验五 差分放大电路	108	四、光电开关控制伺服电动机的起停	202
实验六 集成运算放大器组成的基本运算 电路	111	五、实用低频功率放大器的设计	202
实验七 RC 正弦波振荡电路	118	六、设计实现晶体管 β 值筛选器	203
实验八 功率放大电路	120	七、用通用型运算放大器实现仪用放大 电路的设计	203
设计应用性实验	125	八、线形集成运放组成的稳压电源 设计	204
实验九 有源滤波器	125	九、水温控制电路	204
实验十 电压比较器	129	十、电冰箱保护器	205
实验十一 电压/频率及电流/电压转换 电路	133	十一、可编程增益放大器设计	205
实验十二 直流稳压电源	135	十二、数字式日历牌	206
实验十三 方波—三角波产生电路	143	十三、交通灯控制电路	206
第六章 数字电子技术实验	146	十四、数字频率计	208
基础性实验	146	十五、可预置数的定时报警电路设计	209
实验一 门电路的测试	146	十六、多模式 4 路彩灯控制电路	210
实验二 组合电路 (一)	149	十七、数字抢答器设计	210
实验三 触发器的测试	151	十八、拔河游戏机	211
实验四 时序电路 (一)	155	十九、数字式电容测试仪	212
设计应用性实验	158	二十、自动售票机	212
实验五 组合电路 (二)	158	二十一、简易电话计时器	213
实验六 时序电路 (二)	161	二十二、电子密码锁	214
实验七 脉冲电路	164	第四节 常用数字集成电路器件表	215
实验八 A/D 与 D/A 转换电路	167	一、C4000 系列数字集成电路	215
实验九 虚拟实验	172	二、TTL74 系列数字集成电路	217
第七章 电子技术课程设计	177	第八章 电子电路现代设计技术—— Multisim	221
第一节 电子技术课程设计概述	177	第一节 Multisim 功能概述	221
一、电子技术课程设计教学目的与 要求	177	第二节 Multisim10 使用指南	222
二、电子技术课程设计教学安排	177	一、Multisim10 操作界面	222
三、电子技术课程设计报告要求	178	二、Multisim10 基本操作	224
第二节 电子系统设计举例	178	第三节 基于 Multisim 的电路与电子技术 实验举例	237
一、扩音机的电路设计	178	参考文献	246
二、数字电子钟	186		

第一章 实验的基本知识

第一节 实验的目的、意义和要求

一、实验的目的和意义

电路和电子技术是重要的技术基础课，而实验是这些课程的重要组成部分。通过实验，不仅可使学生巩固和深化所学的基本概念和基础理论，而且可在理论和实践相结合的基础上，进一步掌握电路、电子线路的设计、安装、调试和测量技术。实验既可以验证理论的正确性和实用性，又可以找出理论的近似性和局限性，发现新问题，启发新思路，产生新设想。通过学习和实践，有所锻炼和提高，有所创新和发展，这就是实验的目的。

电路和电子技术又是实践性很强的课程，具有工程特点，所以加强实践，进行严格的工程训练和技能培训是培养学生工程素质，提高学生创新能力必不可少的教学环节。在学校里，这种实践和训练主要是通过实验课程来完成的。通过实验，不仅使学生树立理论联系实际的良好学风和严谨求实的科学态度，而且培养了勤于动手、勇于创新 and 探索的实践精神，以适应新技术的发展和未来服务于社会的需要。因此，实验教学在人才培养中具有十分重要的作用。

二、实验课程的要求

为培养良好的学风，充分发挥学生的主观能动作用，促使其独立思考、独立完成课堂教学内容并有所创造，应该使学生在实验前、实验中和实验后，按照课程的基本要求，根据教师的课堂指导完成实验任务，因此实验课程要求学生完成好实验预习、实验操作和实验报告3个环节。

（一）实验预习

必须重视实验前的准备和预习。实验能否顺利进行并达到预期目的，在很大程度上取决于实验前的准备工作是否充分。实验前要仔细阅读相关的理论和实验教材，明确实验的目的和任务，掌握实验的理论和方法，了解实验的内容和设备的使用方法，还要掌握有关思考题，并在此基础上写出实验预习报告。预习报告应拟定详细的实验步骤，包括实验电路的调试步骤、测试内容与方法，尤其需要设计相应的数据记录表格。

（二）实验操作

1) 自觉遵守实验室规则。遵守纪律，按编号有序入座，一般应自始至终固定实验台组，不得随意调换设备和座位。保证室内安静，不大声喧哗和随意走动。

2) 实验前应认真检查所配发的实验用元器件，看型号、规格和数量是否符合要求，并检查所用仪器仪表设备状态是否完好，如发现问题应及时报告。做完实验应再次清点元器件

和仪器设备，并请老师当面检查验收。

3) 认真听课，尤其应重视指导教师提出的须注意的问题，根据实验内容合理布置实验现场，按实验方案连接实验电路和测试电路。

4) 实验中坚持严肃认真的科学态度，切实按照拟订的步骤进行，认真记录所得数据和相关波形。测量时不要盲目“凑数据”和急于求成，对于实验结果的大概趋向要基本上“心中有数”，所观察的数据和波形要符合理论结果，即具有“合理性”，尤其是一些验证性的实验，要实事求是，不得抄袭和弄虚作假，以培养良好的科学素养。

5) 如果实验中出现事故，应立即切断电源并报告指导教师，等待处理。

6) 实验结束时，数据和结果要送交指导教师审阅签字，确认正确无误后方可拆除电路，清理现场，整理好实验台。

(三) 实验报告

实验结束后，必须及时地认真撰写实验报告。实验报告是实验结果的总结和反映。一个实验的价值，很大程度上取决于实验报告的质量高低。

撰写实验报告要求具有事实求是的科学态度。实验数据与实验结果是对电路进行分析研究的依据，因此，实验取得的资料，如数据、图形等应真实地反映到实验报告中去，不允许更改、抄袭或主观臆断。如因操作错误使数据违背规律时，应当重做实验，重新取得数据。

报告形式应规范，实验报告应文字流畅，词语准确，书写清楚整齐，数据完整，图表规范，分析合理，结论有据。

实验报告的主要内容如下：

- 1) 写清楚实验名称，实验日期，实验者班级、姓名及学号，实验组别，同组人姓名。
- 2) 写清实验目的、实验仪器与设备，并简述实验原理、内容和步骤等。
- 3) 规范地画出实验电路图或测试电路图，标明元器件和参量或仪器仪表设备名称等。
- 4) 把实验记录整理成数据表格，按实验目的和要求对测试结果进行理论分析和计算，通过分析，得出结论。若需绘制曲线，应采用坐标纸完成。
- 5) 完成相关思考题，写出实验的心得体会、收获及对实验的改进和建议。

三、实验室的安全操作规则

在实验中，为了防止仪器仪表设备的损坏，保证人身安全，实验者必须严格遵守以下安全操作规则：

- 1) 熟悉实验室的直流与交流电源，了解其电压、电流额定值和控制方式，区分直流电源的正负极和交流电源的相线与中性线。
- 2) 知道仪器仪表的规格、型号、使用方法，特别要注意额定值和量程。
- 3) 通电前应通知全组人员，有准备后再接通电源。
- 4) 实验中不得用手触摸电路中带电的裸露导体。改、拆接电路应在断开电源的情况下进行（包括安全电压和安全电流，安全电压为 36V 以下，安全电流为 100mA 以下），电容应用导线短接放电。
- 5) 发现异常现象，如仪表指针猛打（剧烈偏转），有焦味、冒烟、闪弧及有人触电等，立即切断电源，报告指导老师，查找原因，排除故障。

6) 实验要规范有序, 不要忙乱。应按操作步骤实施实验, 与本次实验无关的仪器设备不要乱动。实验完毕后, 仪器设备开关旋钮等恢复正常位置, 并切断电源。

第二节 实验电路故障与排除

在电子电路的设计、安装与调试过程中, 不可避免地会出现各种各样的故障现象, 因此检查和排除故障是电子技术工程人员必备的技能。

一般故障诊断的过程是从故障现象出发, 通过反复测试, 做出分析判断, 逐步找出故障原因。

一、常见的故障现象

- 1) 放大电路没有输入信号, 而有输出波形。
- 2) 信号源有输出电压 U_0 , 放大电路没有输入信号 U_1 , 或 $U_1 > U_0$ 。
- 3) 放大电路有输入信号, 但没有输出电压, 或输出电压很小。
- 4) 放大电路有输入信号, 但没有输出波形, 或输出波形严重失真。
- 5) 串联稳压电源无电压输出, 或输出电压过高、过低, 并且不能调, 或输出稳压性能变坏, 输出电压不稳定等。
- 6) 振荡电路不产生振荡, 或振荡波形异常。
- 7) 计数器输出波形不稳定, 或不能正确计数。
- 8) 收音机中出现“嗡嗡”的交流声或汽船声等。
- 9) 定型产品使用一段时间后出现故障, 严重影响电子设备的正常运行。
- 10) 发射机输出频率不稳, 或输出功率小甚至无输出, 或反射大、作用距离小等。
- 11) 仪器使用不正确引起的故障, 共地问题处理不当而引入的干扰等。
- 12) 各种干扰引起的故障。

二、故障排除

查找故障的顺序可以从输入到输出, 也可从输出到输入。查找故障的一般方法如下:

1) 直接观察法: 不用任何仪器, 利用人的视、听、嗅、触等手段来发现问题, 寻找和分析故障。

直接观察又包括通电前检查和通电后观察两个方面:

①通电前主要检查仪器的选用和使用是否正确, 元器件引脚有无错接、反接、短路、电子元件和布线是否合理等;

②通电后主要观察直流稳压电源上的电流指示值是否超出电路正常值, 元器件有无发烫、冒烟, 变压器有无焦味等。

这种方法比较简单, 也比较有效, 故可作为对电路初步检查之用。

2) 测试电压法: 用万用表检查电路各级的静态工作点。

3) 信号寻迹法: 用示波器由前级到后级 (或者相反), 逐级观察波形及幅值的变化情况, 进而分析故障原因, 判断故障点。

4) 部件替换法: 用正常的元器件、插件板等替换有故障的部件, 便于缩小故障范围,

进一步查找故障。

5) 旁路法：当电路有寄生振荡时，可用适当容量的电容器，跨接在检查点与接地点之间，检查振荡产生在哪一级电路中。

6) 短路法：采取临时性短接一部分电路来寻找故障的方法。

7) 断路法：对检查短路故障最有效，也是一种逐步缩小故障范围的方法，若断开某一支路后电路恢复正常，则说明故障就发生在该支路上。

在实际调试中，检查和排除故障的方法是多种多样的，上面仅列举了几种常用的方法。这些方法的使用可根据设备条件、故障情况灵活掌握，对于简单的故障或许用一种方法即可查找出故障点，但对于较复杂的故障则需采用多种方法，并互相补充、互相配合，最后才能找出故障点。

第二章 电子元器件的识别与测试

任何电子电路都是由元器件组成的，而常用的主要元器件是电阻器、电容器、电感器和各种半导体器件（如二极管、晶体管、集成电路等）。为了能正确地选择和使用这些元器件，就必须掌握它们的性能、结构等有关知识。

第一节 电阻器

电阻器简称电阻，是电路中应用最广泛的一种元件，在电子设备中约占元器件总数的30%以上，其质量的好坏对电路的稳定性有极大影响。电阻器主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，其次还可作为分流器、分压器和消耗电能的负载等。

一、电阻器的分类及特点

根据电阻器的工作特性及其在电路中的作用来分，可分为固定式电阻器、可变式电阻器（电位器）两大类。

（一）常用固定式电阻器

阻值固定的电阻器，由于制作材料和工艺的不同，可分为薄膜电阻器、合金电阻器、合成电阻器和敏感电阻器等几种类型。常用电阻器外形及图形符号如图 2-1 所示。



图 2-1 常用电阻器外形及图形符号

1. 薄膜电阻器

在玻璃或陶瓷基体上沉积一层碳膜、金属膜、金属氧化膜等形成电阻薄膜，膜的厚度一般在几微米以下。薄膜电阻器主要包括：

碳膜电阻器（型号 RT）：该电阻器稳定性好，电压的改变对阻值影响小，阻值范围宽（几十欧至几十兆欧），负温度系数，体积比金属膜电阻器大，制作成本低，价格便宜，常用额定功率为 $1/8 \sim 10\text{W}$ ，精度等级为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ ，在一般电子产品中大量使用。

金属膜电阻器（型号 RJ）：该电阻器温度系数小、金属膜电阻器和碳膜电阻器外形相似，它除了具有碳膜电阻器的特征外，比碳膜电阻器的精度更高，稳定性更好，使用温度范围广，温度系数小，噪声低，体积小，阻值范围宽。它最明显的特点是耐热性能超过碳膜电阻器。金属膜电阻器目前是组成电子电路应用最广泛的电阻器之一，常用功率有 $1/8$ 、 $1/4$ 、 $1/2$ 、 1 、 2W 等，标称值在 $10\Omega \sim 10\text{M}\Omega$ 之间。

金属氧化膜电阻器（型号 RY）：金属氧化膜电阻器的外形及性能均与金属膜电阻器相同，

具有极好的脉冲、高频和过载性，力学性能好，坚硬，耐磨，且制造工艺简单，成本较低，但阻值范围窄，温度系数比金属膜电阻器大，在精度要求不太高时可以代替金属膜电阻器使用。

2. 合金电阻器

用块状电阻合金拉制成合金线或碾压成合金箔制成。合金电阻器主要包括：

线绕电阻器（型号 RX）：线绕电阻器的特点是精度高、稳定性好、噪声低、功率大，一般可承受 3~100W 的额定功率，而且耐高温，可以在 150℃ 高温下正常工作。但由于它体积大，阻值不高（10MΩ 以下），因此适用于大功率电路中。此外，精密的线绕电阻器可用于标准电阻箱、测量仪器等场合。由于线绕电阻器的固有电感较大，因而不适宜在高频电路中使用。

精密合金箔电阻器（型号 RJ）：该电阻器最大特点是具有自动补偿电阻温度系数功能，故精度高、稳定性好、高频响应好。这种电阻器的精度可达 $\pm 0.001\%$ ，稳定性为 $\pm (5 \times 10^{-4})\%/年$ ，温度系数为 $\pm 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。可见它是一种高精度电阻器。

3. 合成电阻器

将导电材料与非导电材料按一定比例混合成不同电阻率的材料后制成的电阻器。该电阻器的最突出的优点是可靠性高，但电特性比较差，常在某些特殊的领域内使用（如航空航天工业、海底电缆等）。合成电阻器有金属玻璃釉电阻器（型号为 RI）、实芯电阻器（型号 RS）、合成膜电阻器（型号 RH）。合成膜电阻器可制成高压型和高阻型。高阻型电阻器的阻值范围为 $10 \sim 10^6 \text{M}\Omega$ ，允许误差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 。高压型电阻的阻值范围为 $47 \sim 100 \text{M}\Omega$ ，耐压分为 10kV 和 35kV 两档。

4. 敏感电阻器

根据不同材料和制作工艺，通常有热敏、压敏、光敏、温敏、磁敏、气敏、力敏等不同类型的电阻器，广泛用于测试技术和自动化等各个领域的传感器中。

（二）电位器

电位器是一种具有 3 个端头的可变电阻器。电位器有可以改变阻值的可动触点，使用电位器时需要考虑它的阻值变化特性、接触的可靠性、材料的耐磨性。常用电位器外形及图形符号如图 2-2 所示。



图 2-2 常用电位器的外形及图形符号

电位器的分类有以下几种：

按电阻体材料分，可分为薄膜和线绕两种。

按调节机构的运动方式分，有旋转式、直滑式。

按结构分，可分为单联、多联、带开关、不带开关等；开关形式又有旋转式、推拉式、按键式等。

按用途分，可分为普通电位器、精密电位器、功率电位器、微调电位器和专用电位器等。

按输出特性的函数关系，又可分为线性和非线性电位器。电位器在旋转时，阻值变化规律有3种不同形式，电位器阻值变化特性曲线如图2-3所示。

它们的特点分别为：

X式（直线式）：阻值随旋转角度均匀变化，适于分压、调节电流用。

D式（对数式）：阻值随旋转角度依对数关系变化，用于电路的特殊调节，如常用于电视机的黑白对比度调节电位器，其特点是先粗调后细调。

Z式（指数式）：阻值随旋转角度依指数关系变化，普遍用在音量调节电路中。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。

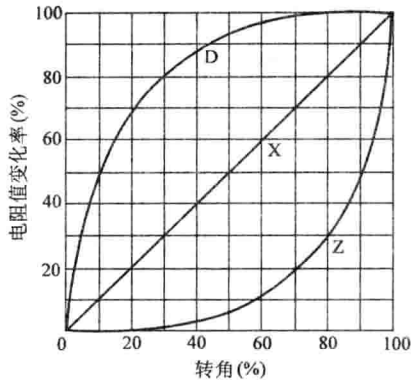


图2-3 电位器阻值变化特性曲线

二、电阻器的型号命名

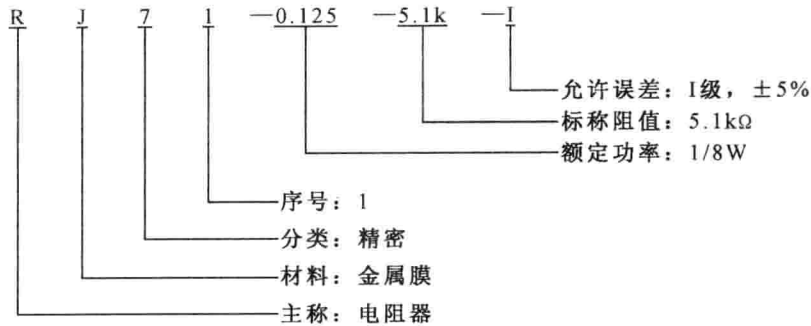
电阻器及电位器的型号命名方法一般由4部分组成，其表示方法及意义见表2-1。

表2-1 电阻器和电位器的型号命名方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
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	
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（箔）	9	特殊	
		Y	氧化膜	C	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					

电阻器的阻值标记：一般是 1Ω 以下的电阻器，在阻值数字后面要加“ Ω ”的符号，如 0.5Ω ； 1000Ω 以下的电阻器，可以只写数字不写单位，如 6.8Ω 可写成6.8， 200Ω 可写成200； $1000\Omega \sim 1\text{M}\Omega$ 的电阻器，以千为单位，符号是“k”，如 6800Ω 可写成6.8k； $1\text{M}\Omega$ 以上的电阻器，以兆欧为单位，符号是“M”，如 $1\text{M}\Omega$ 可写成1M。

标记举例：RJ71—0.125—5.1k—I型电阻器



由此可见，这是精密金属膜电阻器，其额定功率为 $1/8\text{W}$ ，标称电阻值为 $5.1\text{k}\Omega$ ，允许误差为 $\pm 5\%$ 。

三、电阻器的主要性能参数

(一) 允许偏差及精度

电阻器的实际值与标称值之间有一定的差别，称为电阻值偏差，如果该偏差在允许的范围内就称为电阻值允许偏差。它表示电阻器的精度，固定电阻器的精度等级和允许偏差一般分为6级，见表2-2。固定电阻器I级和II级能满足一般应用的要求；02、01、005级电阻器，仅供测量仪器及特殊设备使用。

表2-2 固定电阻器的精度等级和允许偏差

精度等级	005	01	02	I	II	III
允许误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
类型	精密型			普通型		

(二) 额定功率

电阻器的额定功率是指在标准大气压和规定的环境温度下，电阻器长期连续负荷而不改变其性能的允许功率。额定功率分为 $1/20$ 、 $1/8$ 、 $1/4$ 、 $1/2$ 、1、2、3、5、7、10、20、…、500等19个等级，单位为W（瓦）。电阻器的额定功率与体积的大小有关。电阻器的体积越大，额定功率数值越大。实际应用中，电阻器的额定功率应大于电路中耗散功率的2倍。非线绕电阻器额定功率的表示符号如图2-4所示。

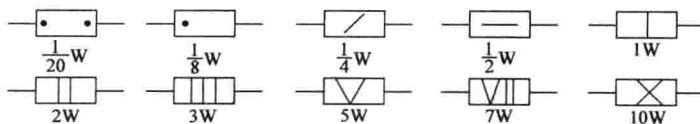


图2-4 非线绕电阻器额定功率的表示符号

非线性绕电阻器实际应用较多的有 1/4、1/2、1、2W。线绕电阻器应用较多的有 2、3、5、10W 等。

(三) 标称阻值及表示方法

1. 标称阻值

由于大批量生产的电阻器不可能满足使用者对阻值的所有要求，为保证使用者能在一定的阻值范围内选用电阻器，就需要按一定的科学规律设计电阻器的阻值数列。电阻器的阻值是厂家按照这种标准系列生产的，表 2-3 列出了固定电阻器的各种偏差标准系列产品标称值。

表 2-3 固定电阻器的各种偏差标准系列产品标称值

系 列	误差与精度等级	电阻器的标称值
E24	I 级: $\pm 5\%$	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	II 级: $\pm 10\%$	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
E6	III 级: $\pm 20\%$	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

表 2-3 中所列数值乘以 1、10、100、 10^3 、 10^4 、 10^5 、 10^6 、 10^7 就可以得到 $1\Omega \sim 91M\Omega$ 的电阻值。注意，日常使用的电阻器只能按标称值选取。

2. 阻值的表示方法

电阻值及允许误差有 4 种表示方法，即直标法、文字符号法、色标法和数码表示法。

1) 直标法是指在元件（电阻器、电容器）表面直接标出它的主要参数和技术性能的一种方法。阻值用阿拉伯数字，允许误差用百分数表示，如 $2k\Omega \pm 5\%$ 。

2) 文字符号法是用数字与符号组合在一起表示元件的主要参数和技术性能的方法。组合规律是文字符号 Ω 、k、M 前面的数字表示整数阻值，文字符号后面的数字表示小数点后的小数阻值。允许误差用文字符号，其中，J 为 $\pm 5\%$ ，K 为 $\pm 10\%$ ，M 为 $\pm 20\%$ 。例如 $5\Omega 1J$ 表示 5.1Ω ，误差为 $\pm 5\%$ 。若电阻上未标注误差，则误差均为 $\pm 20\%$ 。

文字符号规定如下：

欧姆用“ Ω ”表示：如 0.1Ω 表示为 0.1Ω ；

千欧 ($10^3\Omega$)，用“k”表示：如 $1k\Omega$ 表示为 $1k$ ；

兆欧 ($10^6\Omega$)，用“M”表示：如 $2.2M$ 表示为 $2M2$ ；

吉欧 ($10^9\Omega$)，用“G”表示：如 $5.6 \times 10^9\Omega$ 表示为 $5G6$ ；

太欧 ($10^{12}\Omega$)，用“T”表示：如 $4.7 \times 10^{12}\Omega$ 表示为 $4T7$ 。

3) 色标法是用色环、色点或色带在电阻器表面标出标称阻值和允许误差，它具有标志清晰、各个角度都能看到的特点。对于 $1/8 \sim 1/2 W$ 的小功率电阻，一般采用国际通用的色标表示法。色标法标称电阻值的色环表示一般有四色环、五色环等表示法。

四色环色标法：普通精度的电阻器用四色环表示，四色环如图 2-5 所示。左边（与端部距离最近的）为第一色环，顺次向右为第二、第三、第四色环。各色环所代表的意义：第一色环、第二色环相应代表阻值的第一、二位有效数字，第三色环表示倍率

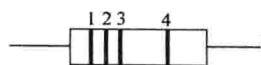


图 2-5 四色环电阻器

(第一、二位数之后加“0”的个数), 第四色环代表阻值的允许误差。

五色环色标法: 精密电阻器大多采用五色环色标法来标注。五色环中的前3条色环分别表示阻值第一、第二、第三位数字, 第四色环表示倍率(第一、二、三位数之后加“0”的个数), 第五条色环表示允许误差范围。电阻器的色环标志颜色见表2-4。

表2-4 电阻器的色环标志颜色

颜色 意义	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银
有效数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	—	—
乘数	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^0	10^{-1}	10^{-2}
允许误差	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	—	—	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.1\%$	—	—	—	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$

例如, 一个四色环电阻器的第一、二、三、四色环分别为蓝、灰、橙、金色, 则阻值为

$$R = 68 \times 10^3 \Omega = 68000 \Omega = 68 \text{ k}\Omega (\text{允许误差为 } \pm 5\%)$$

一个五色环电阻器的第一、二、三、四、五色环分别为棕、黑、绿、棕、棕色, 则阻值为

$$R = 105 \times 10^1 \Omega = 1050 \Omega = 1.05 \text{ k}\Omega (\text{允许误差为 } \pm 1\%)$$

4) 数码表示法是在电阻器上用3位数码表示标称值的方法。基本单位是 Ω , 前两位数字表示数值的有效数字, 第三位数字表示数值的倍率 10^n (即在前两位数后加0的个数)。如100表示其阻值为 $10 \times 10^0 \Omega = 10 \Omega$; 223表示其阻值为 $22 \times 10^3 \Omega = 22 \text{ k}\Omega$ 。

(四) 最高工作电压

最高工作电压是由电阻器、电位器最大电流密度、电阻体击穿及结构等因素所规定的电压限度。对阻值较大的电阻器, 当工作电压过高时, 虽功率不超过规定值, 但内部会发生电弧火花放电, 导致电阻器变质损坏。一般1/8W碳膜电阻器和金属膜电阻器的最高工作电压分别不能超过150V和200V。

四、电阻器的选择与测试

(一) 电阻器的选择

类型选择: 对于一般的电子电路, 若没有特殊的要求, 可选用碳膜电阻器, 以降低成本; 对于稳定性、耐热性、可靠性及噪声要求较高的电路, 宜选用金属膜电阻器; 对于工作频率低、功率大且对耐热性能要求较高的电路, 可选用线绕电阻器; 在高频电子电路中, 应选薄膜电阻器或无感电阻器, 不能用实心电阻器或线绕电阻器。

选用电位器时, 除要注意其性能参数之外, 还应注意尺寸大小和旋转轴柄的长短、轴端式样, 以及轴上是否需要锁紧装置等。

阻值及误差的选择: 阻值应按标称值系列选取。有时需要的阻值不在标准值系列, 此时可以选择最接近这个阻值的标称值。当然, 也可以用两个或两个以上的电阻器的串、并联来代替所需的电阻器。误差选择应根据该电阻器在电路中所起的作用, 除一些对精度有特别要求的电路(如仪器仪表电路、测量电路等)外, 一般电子电路中所需电阻器误差可选用I、