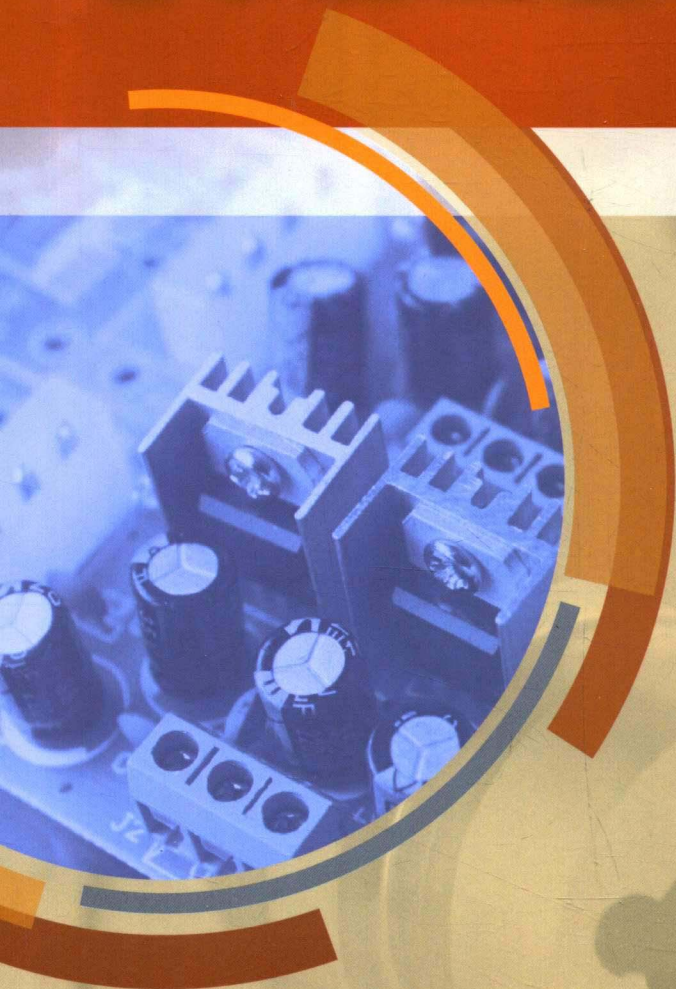




机械类 国家级实验教学示范中心系列规划教材

电子控制基础实验教程

霍 凯 白晓旭 主编



科学出版社

机械类国家级实验教学示范中心系列规划教材

电子控制基础实验教程

霍 凯 白晓旭 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

《电子控制基础实验教程》作为机械类国家级实验教学示范中心系列规划教材之一,用于指导“微机原理与接口技术”及“自动控制原理”等课程的实践性环节,包括了两门课程所涉及的实验项目和实践内容,同时介绍了与实验相关的电子元件和基本电路,为学生识别器件和分析电路提供参考。

本书分6章,涉及电子控制元器件、电子控制基础电路、自动控制原理实验、微机原理与接口技术实验和实践,重点介绍实验原理和实践要求。

本书可作为高等学校机电类专业基础平台实践类教材,也可作为机电类高职和中职学校师生及从事控制工程、机电一体化等相关专业的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子控制基础实验教程/霍凯,白晓旭主编. —北京:科学出版社, 2016.1

机械类国家级实验教学示范中心系列规划教材

ISBN 978-7-03-047040-9

I. ①电… II. ①霍… ②白… III. ①电子控制—实验—教材
IV. ①TM1-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第010825号

责任编辑:毛莹 张丽花 / 责任校对:胡小洁

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2016年1月第一次印刷 印张:10 1/4

字数:243 000

定价:32.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书主要介绍电子控制中所涉及的元器件、基础电路、实验项目和综合实践等,涵盖“微机原理与接口技术”和“自动控制原理”及其相关先修课程“电路基础”、“模拟与数字电子技术”、“测控电路设计”等多门课程的实验知识。

全书共分为6章。第1章介绍电子控制基础实验教学体系建立的目的与意义、教学方法和要求,以及教学框架结构。第2章介绍电子控制基础实验中所用到的元器件,包括电阻、电容、电感、晶体管、放大器、光电元件和插接件等。从元器件的分类、标识、基本特性及电路符号、应用方法等方面进行了详细的介绍,使学生能够快速辨识出元器件的相关参数,并能灵活地运用到实验设计中。第3章介绍电子控制基础实验用到的基础电路,主要包括基本运算电路、滤波器、信号发生电路、逻辑电路和集成稳压电路等。针对每个电路,都有对应的电路原理图及详细的电路分析,使学生能够跟随分析过程写出电路输出方程。在一些电路中还配有幅频特性图及输出信号图,能够让学生更直观地看到电路的运行结果。第4章介绍“自动控制原理”的相关实验,包括典型环节的模拟研究、典型系统的瞬态响应和稳定性及非线性系统设计等基础实验,还包括水箱水位控制系统、直流电机速度控制系统和温度控制系统等综合应用实验。第5章介绍“微机原理与接口技术”的基础实验,包括基本指令操作、外部中断处理、定时器和计数器应用、外部存储器扩展及A/D和D/A转换等基本实验,还包括按键及LED显示、LCD与点阵屏显示、单总线数字式温度传感器DS18B20应用和步进电机控制等综合应用实验。第6章介绍“微机原理与接口技术”的实践实验,包括交通信号灯模拟控制系统、教室人数统计系统、电梯模拟控制系统、数字温度传感器测温显示系统和采用实时时钟芯片打铃系统等综合实践项目。学生在实验中需要自行选取元器件,设计并完成电路的硬件搭建及软件程序编写调试,属于从理论到实践的综合实践实验。

本书由霍凯和白晓旭主编,参加编写的有赵嘉蔚和郭玉明。霍凯编写第1~3章,白晓旭编写第4章,霍凯和郭玉明编写第5章,赵嘉蔚编写第6章。

由于水平有限,时间仓促,若有疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015年10月于北京

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 电子控制基础实验教学体系建立的目的与意义	1
1.2 电子控制基础实验教学的方法和要求	2
1.3 电子控制基础实验教学框架结构及内容	3
1.4 本书的主要内容	5
第 2 章 电子控制元器件	7
2.1 电阻器和电位器	7
2.2 电容器	11
2.3 电感线圈和变压器	14
2.4 晶体二极管	17
2.5 晶体三极管	18
2.6 集成放大器	21
2.7 光电器件	23
2.8 开关、接插件和保险元件	27
思考题	34
第 3 章 电子控制基础电路	35
3.1 基本运算电路	35
3.2 滤波器	40
3.3 信号发生电路	42
3.4 逻辑电路	45
3.5 集成电源稳压器	48
思考题	49
第 4 章 自动控制原理实验	50
4.1 自动控制原理实验基础知识	50
4.2 自控原理实验设备简介	53
4.3 MATLAB 软件介绍	60
4.4 基础实验	77
4.5 综合应用	100
第 5 章 微机原理与接口技术实验	106
5.1 微机原理与接口技术实验目的和要求	106
5.2 实验仪功能简介	107

5.3	μ Vision4 集成开发环境	109
5.4	实验项目	116
5.5	综合应用	131
第 6 章	微机原理与接口技术实践	140
6.1	微机原理与接口技术实践的目的和要求	140
6.2	交通信号灯模拟控制系统	141
6.3	教室人数统计系统	144
6.4	电梯模拟控制系统	146
6.5	数字温度传感器测温显示系统	148
6.6	采用实时时钟芯片打铃系统	150
参考文献		152
附录		153

第1章 绪 论

随着技术的发展，社会对高等学校人才的要求已不再是单一的知识结构和单一的技能，不仅要有坚实的理论基础，而且要有工程技术开发能力、发明创造能力和解决生产科研中各种实际问题的能力，实验教学正是培养创新人才过程中至关重要的环节。

1.1 电子控制基础实验教学体系建立的目的与意义

实践教学和理论教学是高等院校教学体系中两个相辅相成的部分，两者紧密联系，相互促进，没有主次之分。从人才培养目标来看，要求学生系统地掌握本学科专业基础理论与基本知识；具有较强的专业基本技能、初步的实际工作能力和科学研究能力；具备较好的专业素养和较强的创新精神。一方面对学生掌握基本理论和基本知识提出要求，强调基础。另一方面对学生实际工作能力和科学研究能力提出要求，体现技能。

1.1.1 教学体系建立的目的

机电大类专业电子控制课程主要有“微机原理与接口技术”、“自动控制原理”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”等，其实验、综合实践等教学环节按学科类别分属于不同的课程，课程相互独立，导致实践教学独立实施，实验与综合实践缺乏全盘优化，学生综合素质和知识的应用能力较差，工程素质和能力更为欠缺。为此尝试建立实验与综合实践统筹全盘优化的电子控制基础实验教学体系，包括基础实验、综合应用及课程实践三个层次；打破各课程界限，按模块组织教学内容，按实验层次实施教学过程，建立“微机原理与接口技术”和“自动控制原理”的模块式基础实验体系；以工程素质和能力培养为主线，将综合实践与应用融为一体，提供实现创新能力培养的外部条件；建立相对独立的实践教学体系。

“微机原理与接口技术”课程为机电大类专业基础平台内的专业主干课程，授课对象是机电大类专业二年级本科生。该课程的主要任务是让学生了解计算机技术的发展概况；理解微型计算机的基本知识、基本组成原理、基本工作原理；掌握单片微型计算机硬件系统结构原理和硬件接口设计及扩展方法；掌握微型计算机指令系统的组成，掌握汇编语言编程和应用程序的设计方法，以及应用系统软硬件综合设计的基本流程与方法。

“自动控制原理”课程为机电大类专业基础平台内的专业主干课程，授课对象是机电大类专业三年级本科生。主要任务是了解自动控制系统的基本概念，区分开环与闭环控制系统；能够熟练建立机电系统的微分方程、传递函数这两种形式的数学模型，掌握复杂系统动态结构图的化简，学会用信号流程图来描述系统的方法及其简化原则；理解系统时域分析的基本概念，熟练求解一阶和二阶系统的响应，深刻理解系统稳定性的基本概念，掌握 Routh 稳定性判据的基本思想，熟练求解系统的稳态误差；掌握典型系统根轨迹的绘制原则；深刻理解频率法的基本概念，熟练掌握典型环节频率特性的绘制方法，重点掌握系统暂态特性和开环频率特性的关系。理解控制系统校正的一般概念，熟练掌握系统的串联校正、并联校正和前馈校正等补偿方法。

“微机原理与接口技术”和“自动控制原理”都是机电大类本科生重要的专业基础课，是理论与实践并重、强调突出实践环节重要作用的课程。通过加强实践环节的训练，着重培养学生理论和实践结合的能力，使学生在面对实际问题时，能够站在系统的角度来思考，为后续课程、毕业设计以及将来参加实际工作奠定基础。在课程建设过程中，从教学思想、模式、内容及形式都进行了研究与改革，形成内容密切联系实际、形式灵活多样、成效显著的全新实践环节，更加突出锻炼提高学生的动手能力，培养解决工程实际问题的基本素质和能力，强调培养知识、锻炼能力、提高素质并重，教学中可以收到较好的效果。

1.1.2 教学体系建立的意义

实验教学是学生加深对所学理论知识的理解并掌握的一个重要环节，对于培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力起到非常重要的作用。因此，开展对实验教学课程目标、内容和方法的研究，规范实验教学，建立与理论教学改革相协调的新实验教学体系，才能保证和提高实验教学质量，提高学生学习的主动性，培养学生的创新思想和精神；才能形成以学生为主体，充分调动学生自主学习的热情，以及理论与实践并重，突出能力培养，结合实践创新的教学模式。

1.2 电子控制基础实验教学的方法和要求

电子控制基础实验教学包含三个方面的基本训练：一是训练学生了解基本实验设备原理、掌握正确的操作方法；二是通过必要的验证性实验加深学生对所学基本理论的理解；三是设置综合性实验、设计性实验，对学生进行初步工程实践能力的训练。

1.2.1 实验教学方法

课程实验类型分为验证性、综合性和设计性三类。验证性实验是为了培养学生的实验操作、数据处理和计算技能，学生根据实验获得的数据，通过计算得出结果，与已知的结果相比较，得出正确结论或分析产生误差的原因。综合性实验是指实验内容涉及相关的综合知识或运用综合的实验方法、实验手段，对学生的知识、能力、素质进行综合学习与培养的实验。设计性实验是指学生在教师的指导下，根据给定的实验目的和实验条件，自己设计实验方案、确定实验方法、选择实验器材、拟定实验操作程序，自己加以实现并对实验结果进行分析处理的实验。课程实践是在对学生进行初步工程实践能力训练的基础上，以专题实践活动的形式在一段较集中的时间内进一步强化对他们实践能力的训练。实践内容即在确认题目之后，从查阅文献、提出方案、电路的设计、参数的计算、元器件选择、印制电路板的设计与制作到系统安装与调试均由学生在教师的指导下独立完成。

本书中的验证性实验比较简单，而综合性和设计性实验要求学生要在实验课之前根据实验要求查找资料、设计实验方案、选配实验仪器、拟定实验步骤，在实验阶段完成数据测量，针对实验中的问题进行分析，排除故障，培养分析解决问题的能力，最后写出实验报告。

电子控制基础实验教学建立模块式基础实验和综合实验项目，打破了课程界线，突出了基本知识的应用和基本技能的培养。模块式实验将分散的实验教学内容进行整合，可以不再按课时组织教学内容，而是按能力模块组织教学，一个模块中包括基本实验和设计性实验。

模块式实验大量删减了验证性实验,并根据模块内容大小确定实验时间。实验内容由简单到复杂,再到多个知识点的应用。综合模块实验注重培养学生基础知识的应用能力。综合实验模块包含电路、模拟电子技术、数字电子技术、单片机原理、电气制图、电子线路设计与仿真等课程内容。

1.2.2 实验教学要求

教学过程应是实践教学与理论教学紧密联系,学生在教师指导下以实际操作为主,获得感性知识和基本技能、提高综合素质的一系列教学活动的组合。因此,在教学方法上应注意突出其实践性强的特点,一方面贯彻自主式的教学思想,另一方面要充分发挥教师与学生、学生与学生之间的互动功能。实践教学的内容、特点要求在教学过程中更突出以学生为主体、教学要从以教为主向以学为主转移、模糊教与学的界限等特点,使实践教学成为一种自我导向式的活动。教师的作用主要在于引导学生在整个实践教学活动中对面临的实际问题如何去分析、怎样来解决,以提高自身的素质和能力。实践教学的形式应体现宽松、灵活的特点,鼓励学生大胆质疑,不唯师不唯书,在讨论中提升自身能力,营造宽松的实践教学氛围。

1.3 电子控制基础实验教学框架结构及内容

电子控制基础实验教程包括“微机原理与接口技术”和“自动控制原理”课程所涉及的实验项目和实践内容,介绍与实验相关的电子元器件和基本电路,为学生识别器件和分析电路提供参考,通过软件仿真验证了实验项目。

1.3.1 实验教学框架结构

“微机原理与接口技术”和“自动控制原理”都被评为北京交通大学校级精品课程,是机电大类本科生的专业基础课之一,都是理论与实践并重、尤其强调突出实践环节重要作用的课程。因此,在课程建设过程中,实践教学环节被作为重点建设内容之一,从教学思想、模式、内容及形式都进行了研究与改革,形成了内容联系实际、形式灵活多样、成效显著的全新的实践环节,更加强调、突出锻炼提高学生的动手能力,逐步培养解决工程实际问题的基本素质和能力。形成了以学生为主体,充分调动学生自主学习的热情;理论与实践并重,突出能力培养,结合实践创新的教学模式。强调培养知识、锻炼能力、提高素质并重,教学中收到较好的效果。

围绕着电子控制技术所涉及的“单片微型计算机”、“模拟与数字电子技术”、“机电控制元件”、“传感器原理及应用”、“自动控制原理”、“计算机控制技术”等多门课程,在以往教学过程中,每门课程均各自从自身的角度构建教学体系,各自有一套理论教学、实验教学、课程设计等方案。对于实践教学环节往往也是附属于课程进行的。这样,虽然各自实施起来较为方便,但由于教学课时数的限制,以实验教学为中心的实践性教学环节无论从教学内容上,还是教学方法、手段上都缺乏从上而下的顶层设计,难以达到最佳的效果。为此,我们运用系统科学的理论和方法,深入地分析相关专业对学生掌握电子控制技术的需求,对组成实践教学的相关要素进行整体设计,从教学目标体系、教学内容体系、教学方法体系三个方面构建电子控制类基础课程实践教学体系的基本框架,如图 1-1 所示。

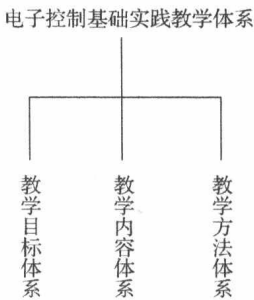


图 1-1 电子控制类基础课程实践教学体系基本框架示意图

教学目标体系是根据相关专业培养目标和基本规划要求，立足于电子控制类的基础课程，以工程实践能力培养为主线的实践教学目标体系，体现在对学生基础能力的训练和学生综合能力的训练两个方面上。

1.3.2 实验教学内容体系

教学内容体系是实践教学体系的最主要内容，主要围绕学生的基础能力训练和综合能力训练设置诸如基础实验、课程设计、科技制作、毕业设计等实践教学环节以及相应的实践性课题来展开。

着眼于对学生进行基础能力训练和综合能力训练的实践教学目标，我们打破了传统的仅仅附属属于各门课程的分散的实验教学，模糊了课程界限，以相关专业涉及的电子控制的基础知识、基本方法、基本技能、基本元器件、基本控制系统、基本测量仪器与设备等为主线，提炼出有关的实践性教学课题，形成了由基本性实验、综合性实验、设计性实验、专题性实验、科技小实验、工程应用实践六个基本模块构成的实践教学内容体系。并把这些实践性教学课题分解到实验教学、课程设计、科技制作和毕业设计几个环节中。从基本的实践技能的培养到综合实践能力的锻炼，落实于各个环节中，达到依托控制类基础课程，对学生进行比较系统性的实践能力培养的目的，其基本内容如图 1-2 所示。

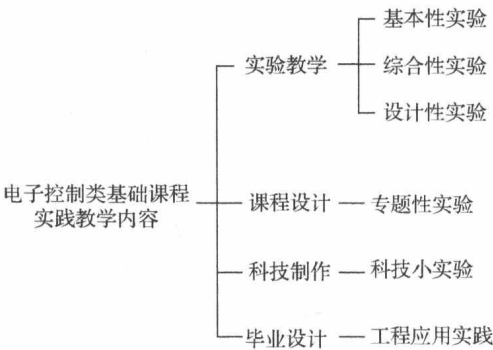


图 1-2 电子控制类基础课程实践教学内容体系

实验教学的内容主要依托相应的课程，包含三个方面的基本训练：一是训练学生了解基本实验设备原理、掌握正确的操作方法；二是通过必要的验证性实验加深学生对所学基本理论的理解；三是设置综合性实验和设计性实验对学生进行初步工程实践能力的训练。

1.3.3 实验教学方法体系

实验教学内容的顺利实施取决于与之相适宜的教学方法。在实验室,指导教师要少讲实验过程和步骤,要求学生独立完成实验。采用启发式指导方式,充分调动学生的实验积极性,培养学生独立的工作能力和动手能力。

根据演示和验证性实验、综合设计性实验的内容和特点不同而采用不同的实验教学方法。并采用传统实验教学与多媒体结合的方式完成实验教学,制作多媒体实验课件,使学生在实验中能更加直观地了解实验方法及现象。

针对演示和验证性实验,采用学生亲自动手操作、模型延时演示和课堂讨论相结合的教学方法,使学生成为实验活动的主体,调动学生实验的主动性。

综合性实验是培养学生综合工程设计能力、实际动手能力和创新能力的最好平台。在实验中更多地采用启发式的教学方法,教师引导学生从观察和实验中发现问题、解决问题,让学生多动脑、举一反三。

对于设计性实验,教师仅提供实验要求和目标,而实验全过程由学生独立完成。学生自己设计实验方案,确定实验方法,选择实验器材,拟定实验操作程序,并对实验结果进行分析处理。在这类实验中,学生通过预习和查阅资料,确定实验方案;由教师审核实验方案的可行性,之后交由学生根据自己的设计方案独立完成实验内容。通过这种自主式教学法,学生在准备和预习实验的过程中发现问题,并查阅资料,积极思考解决方案,从而学会研究问题的基本方法,养成良好的科学作风,提高学习主动性和创新意识。

教师根据自己设计的教学方法,建立符合实验教学特点、科学合理的考核体系,更有效地调动学生的学习积极性,对每位学生参加实验教学的整个过程进行全面综合的考核。

1.4 本书的主要内容

本书主要介绍电子控制中所涉及的元器件、基础电路、实验项目和综合实践等,涵盖“微机原理与接口技术”和“自动控制原理”及其相关先修课程“电路基础”、“模拟与数字电子技术”、“测控电路设计”等多门课程的实验知识。

全书共分6章。第1章介绍电子控制基础实验教学体系的目的与意义、教学方法和要求及教学框架结构。

第2章介绍电子控制基础实验中所用到的元器件,包括电阻、电容、电感、晶体管、放大器、光电元件和插接件等。从元器件的分类、标识、基本特性及电路符号、应用方法等方面进行详细的介绍,使学生能够快速辨识出元器件的相关参数,并能灵活地运用到实验设计中。

第3章介绍电子控制基础实验用到的基础电路,主要包括基本运算电路、滤波器、信号发生电路、逻辑电路和集成稳压电路等。针对每个电路都有对应的电路原理图及详细的电路分析,使学生能够跟随分析过程写出电路输出方程。在一些电路中还配有幅频特性图及输出信号图,能够让学生更直观地看到电路的运行结果。

第4章介绍“自动控制原理”的相关实验,包括典型环节的模拟研究、典型系统的瞬态响应和稳定性及非线性系统设计等基础实验,还包括水箱水位控制系统、直流电机速度控制系统和温度控制系统等综合应用实验。

第 5 章介绍“微机原理与接口技术”的基础实验，包括基本指令操作、外部中断处理、定时器和计数器应用、外部存储器扩展及 A/D 和 D/A 转换等基本实验，还包括按键及 LED 显示、LCD 与点阵屏显示、单总线数字式温度传感器 DS18B20 应用和步进电机控制等综合应用实验。

第 6 章介绍“微机原理与接口技术”的实践实验，包括交通信号灯控制系统、教室人数统计系统、电梯模拟控制系统、数字温度传感器测温显示系统和采用实时时钟芯片打铃系统等综合实践项目。学生在实验中需要自行选取元器件，设计并完成电路的硬件搭建及软件程序编写调试，属于从理论到实践的综合实践实验。

第 2 章 电子控制元器件

2.1 电阻器和电位器

2.1.1 分类

电阻器通常称为电阻，是电子产品中使用最多的元件之一。电阻产品的种类很多，有阻值不能改变的固定电阻，有阻值能调节的可变电阻和电位器，更有能在电路中各显神通的多种类型的特殊电阻。

1. 固定电阻

图 2-1 画出了几种常见的电阻元件外形，它们在各种电路中被普遍使用。固定电阻的阻值不能改变，在各种电路中使用最多，按其构造的不同有碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻等几种。

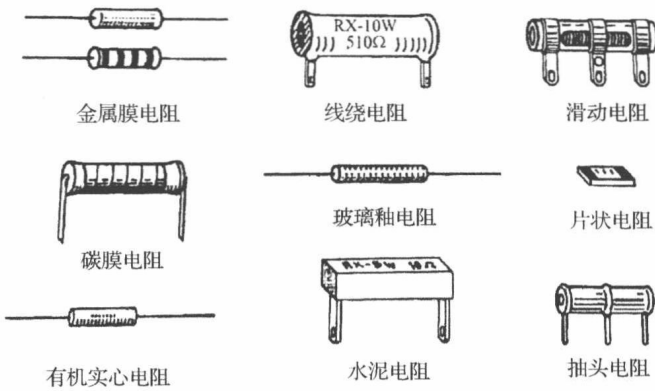


图 2-1 常用的几种固定电阻

2. 电位器

电位器的实质是阻值可变的电阻。电位器通常装有调节手柄或调节螺丝，当动臂在电阻体上滑动时，即可改变滑动触点与电阻体两端引脚之间的阻值。习惯上所称的电位器阻值变化范围较大，调整也方便，而将阻值调节范围较小或调节不方便的称为可变电阻、微调电阻。电位器的种类很多，从构造上分，常用的有旋转式电位器、带开关电位器、直滑式电位器、多圈电位器、微调电位器、双连电位器等。图 2-2 画出了常用的几种电位器外形。

3. 特殊电阻

特殊电阻包括热敏电阻、湿敏电阻、压敏电阻、光敏电阻、磁敏电阻等。这些元件的电阻值往往能随环境变化，在元件受到温度、湿度、电压、光线、磁场等的变化时，它的电阻值会有明显的改变。电器产品中，利用特殊电阻的这些本领，常将它们作为传感器，构成各种自动控制电路。图 2-3 画出了常用的一些特殊电阻外形。

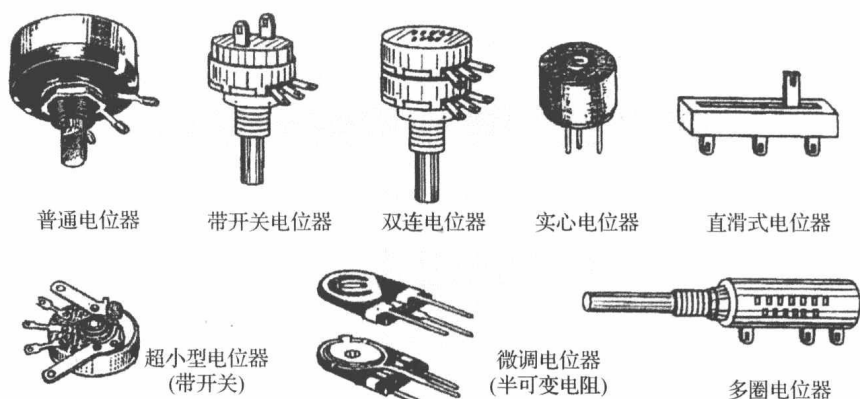


图 2-2 常见电位器的外形

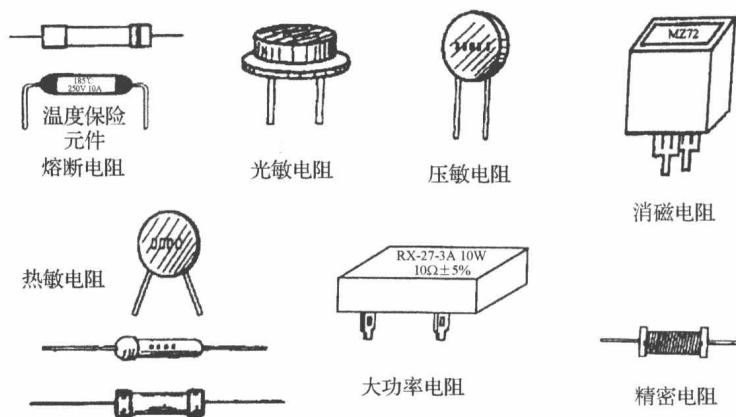


图 2-3 常用的几种特殊电阻外形

2.1.2 标识

1. 电阻的参数标识

电阻的主要参数是阻值大小、额定功率和误差等级，它们要明显地标注在电阻体的表面，让使用者能一目了然地识别。常用的标识方法有直标法、文字符号法和色环法。

1) 直标法

直标法是将有关参数直接标注在电阻元件的表面，阻值的大小用阿拉伯数字表示，单位用 Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 等字母表示(分别读作欧姆、千欧、兆欧)，允许误差则用百分数表示，如图 2-4 所示。

2) 文字符号法

文字符号法使用文字、符号按照统一规定组合起来，标注电阻的阻值及允许误差，如图 2-5 所示。阻值单位用字母 Ω 、K、M、G、T 等表示，在字母前面的数字表示阻值的整数部分，字母后面的数字表示阻值的小数部分。例如，用“ $\Omega 33$ ”表示 0.33Ω ，“ $2K2$ ”表示 $2.2k\Omega$ 。电阻的允许误差用字母表示，它们的对应关系见表 2-1。

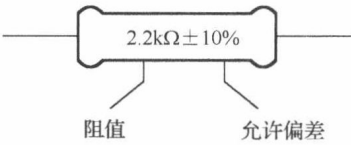


图 2-4 电阻的直标法

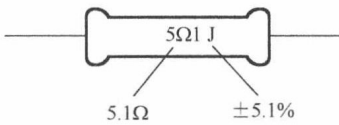


图 2-5 电阻的字符符号标注法

表 2-1 允许误差的字母表示

字母	B	C	D	F	G	J	K	M
允许误差/(±%)	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20

3) 色环法

色环法是在电阻的表面画上不同颜色的色环，用来表示它的阻值和允许误差。普通电阻用四色环表示，精密电阻用五色环表示，如图 2-6 所示。四色环电阻上，各颜色表示的意义见表 2-2。五色环电阻中，前 3 个色环分别表示电阻阻值的第一、二、三位数，第四色环表示倍率，第五色环表示允许误差。例如，图 2-6 中画出的四色环电阻阻值为 2.7kΩ、允许误差为±5%；五色环电阻的阻值为 47Ω、允许误差为±10%。



图 2-6 电阻的色环标注法

表 2-2 电阻四色环标注表示的意义

颜色	第一色环(第一位数)	第二色环(第二位数)	第三色环(倍率)	第四色环(允许误差/(±%))
金			0.1	±5
银			0.01	±10
黑	0	0	1	
棕	1	1	10	±1
红	2	2	100	±2
橙	3	3	1000	
黄	4	4	10000	
绿	5	5	10 ⁵	±0.5
蓝	6	6	10 ⁶	±0.25
紫	7	7	10 ⁷	±0.1
灰	8	8	10 ⁸	
白	9	9	10 ⁹	

另外，有的电阻表面还用罗马数字 I、II、III 表示它的允许误差，I 表示±5%，II 表示±10%，III 表示±20%。不同产品中，如果电阻表面没有标注允许误差，可按允许误差±20%使用。

4) 额定功率的标注

电阻的额定功率是它允许长时间通电而不损坏的最大耗电功率。大功率电阻的额定功率在表面直接用文字标注,例如,电阻表面有“4W”字样,表明它的额定功率是4W。一般小功率电阻的额定功率可以从它的颜色和体积大小判断,例如,直径1mm、长1cm的淡黄色或蓝色碳膜电阻的功率为1/8W;同样大小的红色金属膜电阻的功率是1/4W。同一种类的电阻体积越大,额定功率也越大。

2. 电阻的图纸标识

电路图中,各种电阻有完整的标识,以完整地表明它的类型、型号和主要参数。这些标识包括图形符号和旁边标注的元件序号及主要参数:图形符号表示元件的类别;序号表示这个元件在电路图中的特定位置,用以区别其他同类元件;标注的参数通常有阻值和功率。

电阻常用文字符号为 R ,电位器为 R_p ,有的图纸也用 W 、 R_W 等表示。特殊电阻的文字符号习惯上是在字母 R 后面加注相关字母或脚标,例如,用 R_t 、 R_T 、 R_θ 等表示热敏电阻。电阻和电位器的常见图形符号如图2-7所示。

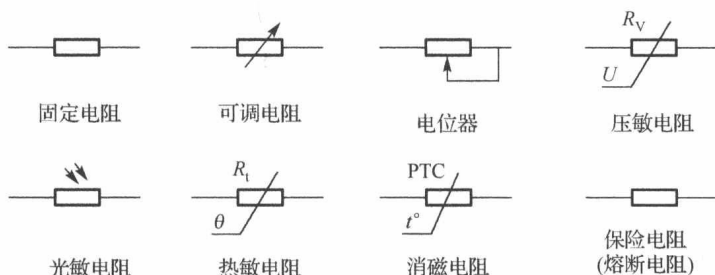


图 2-7 各种电阻的电路符号

2.1.3 电阻的封装和选用

1. 电阻的封装

电阻的封装形式指的是电阻器的外部形状及体积大小。按照封装形式,电阻器可以分为插针式电阻和贴片式电阻(SMD电阻器)。

插针式电阻是指在电路板上,元器件的焊盘位置必须钻孔(从顶层通到底层),让元器件引脚穿透PCB,然后才能在焊盘上对该元器件的引脚进行焊接。插针式电阻的封装名称通常为AXIAL0.3、AXIAL0.4等。AXIAL意思是轴状的,0.3和0.4指的是焊盘间距,单位是英寸。所以AXIAL0.4就是两个焊盘间距为0.4英寸。常见的插针式电阻外形与封装如图2-8所示。

贴片电阻就是电阻器的焊盘不需要钻孔,而直接在焊盘表面进行焊接的电阻器。目前很多电子产品都采用表面安装贴片电阻的方法来缩小PCB体积,提高电路稳定性。贴片电阻主要有7种系列尺寸,一般用两种尺寸代码来表示:一种是由4位数字组成的EIA代码(英制代码),这种代码的前两位与后两位分别表示贴片电阻的长和宽(单位为in,1in=2.54cm);另一种代码是由4位数字组成的米制代码(公制代码),它的前两位与后两位也分别表示贴片电阻的长和宽(单位为mm)。贴片电阻的封装代码及其尺寸如表2-3所示。

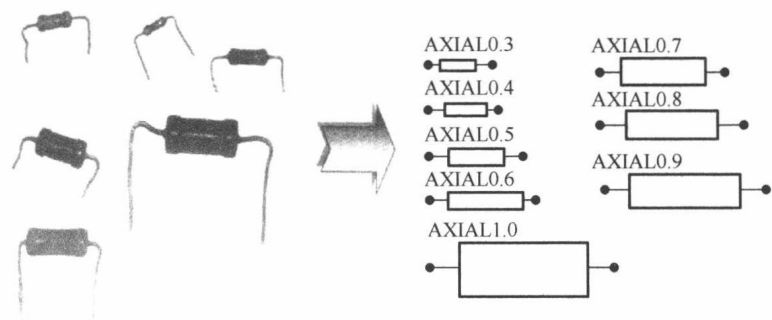


图 2-8 常见的插针式电阻器外形与封装

表 2-3 贴片电阻的封装代码及其尺寸

英制代码/in	公制代码/mm	长度/mm	宽度/mm	厚度/mm	额定功率/W
0402	1005	1.0	0.5	0.5	1/16
0603	1608	1.55	0.8	0.4	1/16
0805	2012	2.0	1.25	0.5	1/10
1206	3216	3.1	1.55	0.55	1/8
1210	3225	3.2	2.6	0.55	1/4
2010	5025	5.0	2.5	0.55	1/2
2512	6432	6.3	3.15	0.55	1

2. 电阻的选用

选择电阻器时，首先要确定所需要的电阻值是多少。电阻值以 Ω 为单位。若大于 1000Ω 时，则用 $k\Omega$ 来表示。若电阻值为 $1\times10^6\Omega$ ，则以 $M\Omega$ 来表示。选择电阻值，最好选用标称阻值的电阻器。如果无法在标称阻值中找到符合需求的电阻器阻值，则可以根据电阻值的容许误差来考虑选择最接近的阻值，或以串、并联方式获得所需电阻值。

电阻器通电后会发热，并消耗功率。若消耗功率超过电阻器能够负担的额度，电阻器就有可能被烧坏。因此，电阻器的额定功率必须高于所消耗的功率才能安全地使用。

因此，在阻值选择完毕后，要计算流过电阻器的电流大小，求出功率，并乘以安全系数（大于 1.5 即可），求得所需功率。最后依电路特性决定所需电阻器的种类。

在进行电路设计时，除了要选择合适的电阻器，也要考虑电阻器的成本（精度越高，成本越高）。如果对精度要求不高，可适当选用低精度的电阻器来降低成本。

2.2 电 容 器

2.2.1 分类

1. 固定电容

电容器是电器中常用的元件结构，通常简称为电容。它的结构原理是在两个相互靠近的导体中间夹一层不导电的绝缘介质。电容器的极板面积、距离大小和中间所夹的绝缘介质特