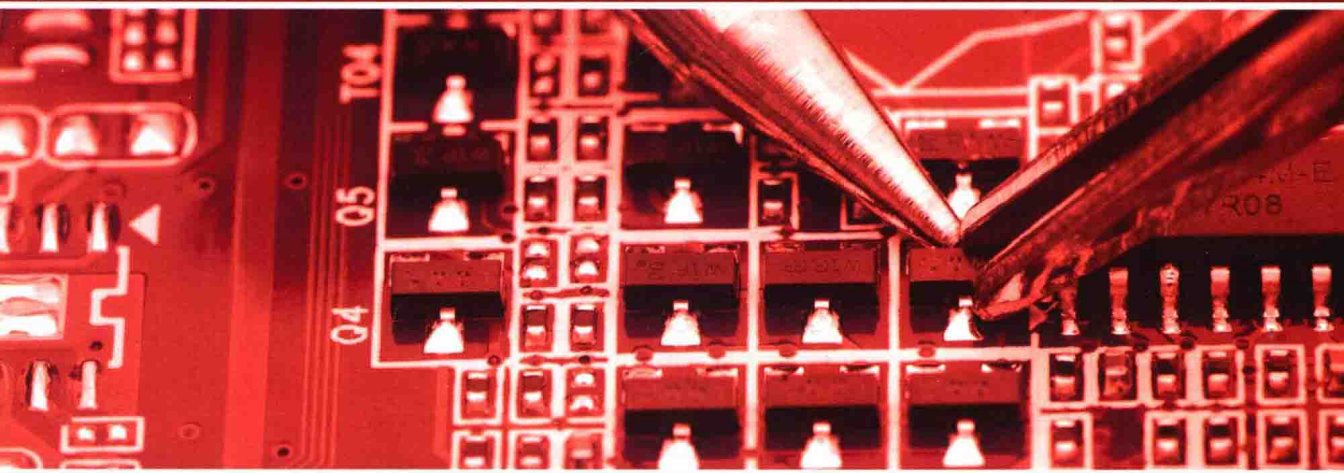




高等院校电子信息与电气学科系列规划教材



模拟电子技术实验

张维 赵二刚 李国峰 等编著

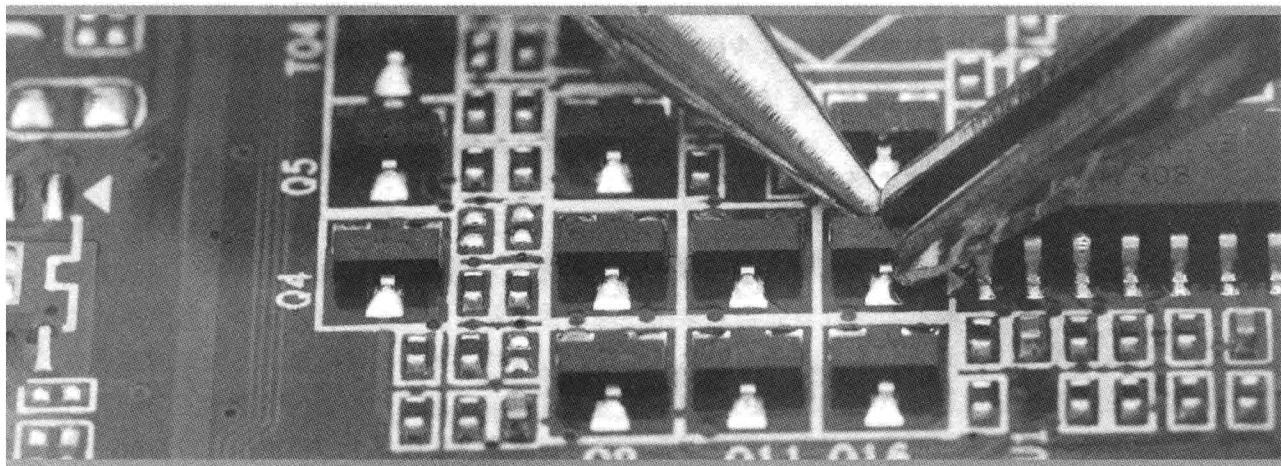
Analog Electronic
Technology Experiment



机械工业出版社
China Machine Press

高等院校电子信息与电气学科系列规划教材

模拟电子技术实验



张维 赵二刚 李国峰 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术实验 / 张维等编著. —北京: 机械工业出版社, 2015.1
(高等院校电子信息与电气学科系列规划教材)

ISBN 978-7-111-48603-9

I. 模… II. 张… III. 模拟电路—电子技术—实验—高等学校—教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 267557 号

本书是“模拟电子技术实验”课程的教材, 内容分为两大部分。第一部分是模拟电子技术实验基础知识, 主要介绍常用电子元器件和电子仪器仪表的使用方法及注意事项、电子测量方法和误差分析, 以及常用电路仿真软件 PSpice、Multisim 和 TINA-TI 的基本使用方法; 第二部分是模拟电子技术实验内容, 包括基本单元电路、综合性和设计性实验内容, 主要有常见放大器(分立器件和运算放大器)静态和动态参数测量、振荡器及稳压电源电路、功率放大器等实验内容。

本书重点介绍了模拟电子技术实验中的常见电路和测试方法, 充分调动学生的积极性, 培养学生的工程设计和动手能力, 加深对模拟电路基本知识的理解。本书可作为高等院校理工科电子类、通信类、自动控制类和计算机类等专业的本、专科学生的模拟电子技术实验教材, 也可作为相关工程技术人员的参考书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 张梦玲

责任校对: 董纪丽

印刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版次: 2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 185mm × 260mm 1/16

印张: 17.75

书号: ISBN 978-7-111-48603-9

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

前 言

“模拟电子技术实验”是高等院校理工科电子类专业实践教学环节的一个重要组成部分。通过这门课程的学习和实践，学生可将模拟电子技术基础理论与实际操作有机地联系起来，加深对所学理论课程的理解，逐步培养和提高自身的实验能力、实际操作能力、独立分析问题和解决问题的能力，以及创新思维和理论联系实际的能力。

本书是根据教育部电子科学与技术教学指导分委员会关于模拟电子技术基础课程教学大纲的基本要求，同时总结了近年来南开大学的实践教学经验，并按照当前教学改革的要求编写的。教材实验内容丰富，且遵从循序渐进的原则。基础实验部分以二极管、三极管、电阻、电容的测试开始，结合常用电子仪器的使用练习，让学生逐步对电子元器件及其测试方法有一定的了解，并掌握实验中常用电子仪器的使用和测量方法；之后通过基本放大电路、组合放大电路、功率放大电路等不同电路组态的实验，使学生掌握和熟练运用各种单元放大电路；再通过以运算放大器为核心的集成运放参数测试、算术运算电路、比较电路和低通、高通、带通滤波电路来加深学生对集成电路的实验与设计能力；最后通过 LC 、 RC 正弦波发生器电路实验和非正弦波发生器电路实验让学生对反馈与波形的产生有进一步认识。书中每一个实验都包含实验目的、实验原理、实验内容和思考题，旨在不仅要让学生知道怎样去做，而且要使学生弄懂为什么这样做，并启发学生独立思考。

本书的一大特点是将传统的原理性、验证性实验与以 PSpice、Multisim 和 TINA-TI 为代表的电路仿真软件紧密结合，将实际电路实验与虚拟仿真实验有机地、紧密地结合。通过虚拟仿真实验，可方便学生在实验课前预习和课后练习相关内容，同时还将许多实验室中无法进行的实验操作或实际操作难度大的实验内容通过计算机仿真实验来完成，极大地丰富了模拟电子技术的实验内容，而且不仅加强了学生的实际操作能力，又是对理论教学和虚拟仿真实验的验证。

本书共分为两大部分。第一部分是模拟电子技术实验基础知识，共分为 6 章。第 1 章主要介绍了常用电子元器件（无源器件和有源器件）的特性和使用方法；第 2 章详细讲述了模拟电路实验中常用的实验仪器的使用方法；第 3 章介绍了电子测量的基本概念和常用测量方法；第 4 章~第 6 章分别介绍了三种常用电路仿真软件的基本使用方法。第二部分是模拟电子技术实验内容部分，共分为 3 章。第 7 章主要介绍的是基本单元电路实验，该章对每个基本功能电路都有详细的电路原理说明、仿真分析结果、典型电路及调试过程

注：本书部分章节中的电路仿真图，其元器件符号、画法与国家标准不一致，由此相对应的电路原理图中的元器件符号、画法部分与国家标准也不一致，特此说明。

等；第8章主要介绍的是综合性实验，它是在基本单元电路的基础上，选取7个具有一定综合性和实用性的实验内容，通过对实验中的问题的解决，使学生进一步了解基本电路的功能和使用方法，也使其学会电路调试方法以及一些基本的电路设计方法；第9章主要介绍的是设计性实验，供学生根据自己的兴趣，在课外学习、设计符合题目要求的电路系统。

本教材是配合《模拟电子技术》课程的实验类教材，基本实验部分可以用48学时完成比较详细的实践教学，其中第1章、第2章各为2学时，第3、第4、第8、第9章各为3学时，其余实验各为4学时。综合设计类实验可以指导学生选作或在课外进行实践学习。

本书主要由张维、赵二刚、李国峰编写，王志红、张颖、王锦、王艳芳、张红宾等老师也参与了部分实验内容的编写以及资料的收集、整理工作。李国峰教授同时负责了本书的主审工作，并对实验内容提出了许多宝贵的意见和建议，在此对上述老师表示诚挚的感谢。

本书是在实验教学中通过不断思考和研究逐步形成的，今后也需要在实验教学中不断地进行改进。由于编写时间仓促加之作者水平有限，书中内容难免会有不妥之处，诚挚地欢迎广大读者对本书提出批评和指正。

编者

2014年7月

目 录

前言

第一部分 模拟电子技术实验基础知识

第 1 章 常用电子元器件简介 2

1.1 无源器件 2

1.1.1 电阻器 2

1.1.2 电容器 8

1.1.3 电感器 12

1.2 有源器件 18

1.2.1 二极管 18

1.2.2 三极管 21

1.2.3 集成电路 26

1.2.4 其他器件 29

第 2 章 常用电子仪器原理及使用

方法 33

2.1 仪器、仪表的使用和连接 33

2.2 直流稳压电源 34

2.2.1 主要技术指标与工作 原理 34

2.2.2 面板说明和使用方法 35

2.3 函数信号发生器 39

2.3.1 主要技术参数与工作 原理 39

2.3.2 面板及键盘功能说明 41

2.3.3 基本操作方法 42

2.4 交流毫伏表 54

2.4.1 主要技术指标 54

2.4.2 面板及键盘功能 54

2.4.3 基本操作 55

2.5 数字万用表 56

2.5.1 面板及键盘功能 56

2.5.2 基本测量操作 57

2.6 模拟示波器 58

2.6.1 面板及按键功能 58

2.6.2 基本操作 59

2.6.3 光标测量方法 64

2.6.4 测试方法 65

2.7 数字存储示波器 67

2.7.1 面板控制和连接器 67

2.7.2 水平控制 70

2.7.3 垂直控制 71

2.7.4 光标测量 73

2.7.5 自动测量 76

2.8 晶体管特性图示仪 76

2.8.1 面板功能介绍 77

2.8.2 基本操作步骤 80

2.8.3 测试实例 81

2.9 失真度测试仪 84

2.9.1 技术指标 85

2.9.2 面板说明 86

2.9.3 使用方法 87

第 3 章 电子测量技术 89

3.1 测量误差分析 89

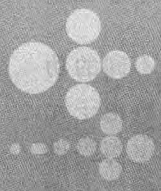
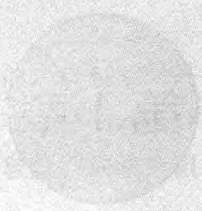
3.1.1 测量误差的基本原理 89

3.1.2 测量误差的来源 93

3.1.3 测量误差的分类 95

3.2 实验数据处理	96	5.3.3 例子	150
3.2.1 有效数字的处理	96	第6章 TINA-TI 电路仿真软件	154
3.2.2 等精度测量结果的处理	99	6.1 获得并安装 TINA-TI	
3.3 测量方法	99	软件	154
3.3.1 电压测量	99	6.2 绘制电路图	155
3.3.2 噪声测量	102	6.2.1 放置电路的元件及基本	
3.3.3 阻抗测量	104	仪器	155
3.3.4 失真度测量	105	6.2.2 元器件间连线	157
3.3.5 幅频特性测量	106	6.2.3 例子	157
3.3.6 频率、时间和相位		6.3 参数设置	158
测量	107	6.3.1 元器件参数设置	158
3.3.7 调幅系数测量	111	6.3.2 虚拟仪表参数设置	158
第4章 PSpice 电路仿真软件	112	6.4 仿真分析	159
4.1 绘制电路图	113	6.4.1 直流工作点分析	159
4.1.1 放置电路元件	115	6.4.2 交流分析	160
4.1.2 元件间连线	116	6.4.3 瞬态分析	161
4.1.3 例子	117	6.4.4 参数扫描分析	162
4.2 参数设置	118	第二部分 模拟电子技术实验内容	
4.2.1 元件参数设置	118	第7章 模拟电子技术基本单元	
4.2.2 仿真参数设置	120	电路	166
4.2.3 例子	120	实验一 常用电子仪器设备的	
4.3 仿真分析	123	使用	166
4.3.1 直流分析	123	实验二 电压测量	171
4.3.2 交流分析	126	实验三 基本放大器的调整与	
4.3.3 例子	128	测量	174
第5章 Multisim 电路仿真软件	133	实验四 负反馈放大器	177
5.1 绘制电路图	134	实验五 差动放大器	180
5.1.1 放置电路元件	136	实验六 集成运算放大器应用	185
5.1.2 元件间连线	138	实验七 RC有源滤波器	193
5.1.3 例子	139	实验八 文氏桥振荡器	199
5.2 参数设置	140	实验九 LC振荡电路	203
5.2.1 元件参数设置	140	实验十 比较器	207
5.2.2 虚拟仪表参数设置	140	实验十一 集成功率放大器	212
5.2.3 例子	145	实验十二 直流稳压电源	216
5.3 仿真分析	146	实验十三 锁相环电路	223
5.3.1 直流分析	146	实验十四 模拟乘法器及其应用	229
5.3.2 交流分析	148		

第 8 章 模拟电子技术综合实验	236	第 9 章 模拟电子技术设计性实验 ...	267
实验一 方波的分解与合成	236	实验一 测量放大器设计	267
实验二 正弦波特征提取	243	实验二 电压控制 LC 振荡器	268
实验三 模拟移相网络及相差测量 ...	246	实验三 宽带放大器设计	268
实验四 波形发生器	251	实验四 水温控制系统设计	269
实验五 压控恒流源	254	实验五 电压—频率转换器设计 ...	270
实验六 四路锁相环译码红外线 电源遥控器	257	实验六 光强度检测电路设计	270
实验七 集成运算放大器参数 测量	262	实验七 万用电表设计	271
		实验八 简易晶体管图示仪设计 ...	271
		参考文献	273



第一部分

模拟电子技术实验基础知识

本书共分五章。第一章为安全用电知识，第二章为常用电子元器件的识别与检测，第三章为常用电子元器件的选用与代换，第四章为常用电子元器件的焊接与装配，第五章为常用电子元器件的封装与封装技术。本书可作为高等院校非电类各专业、特别是工科专业的一门基础课教材，也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

本书在编写过程中参考了有关国家标准和行业标准，并参考了近年来出版的有关教材和文献资料。在编写过程中，得到了许多同仁的帮助和大力支持，特别是本书的责任编辑，为本书的出版付出了辛勤的劳动，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些不足之处，恳请广大读者在使用过程中提出宝贵意见和建议，以便今后进一步修订完善。

电子元器件是组成电子电路的最基本单元,利用它们的不同组合可以实现不同的功能。因此,要想设计出能实现特定功能且性能优良的电路,就必须清楚地了解各种电子元器件的特性及使用规范。电子元器件的种类繁多,按照正常工作时是否需要外加电源提供能量来区分,可以分为无源器件和有源器件两大类。无源器件包括:电阻、电容、电感等;有源器件包括:二极管、三极管、各种集成电路等。这一章将简要介绍常用电子元器件的基本知识。

1.1 无源器件

1.1.1 电阻器

电阻器是具有一定电阻值的电子器件,简称电阻。它是电子电路中应用最广泛的一类电子器件。它的种类繁多,形状各异,在电路中主要起控制电流、分配电压等作用。

1. 电阻器的分类

电阻器的种类很多,随着电子技术的发展,新型电阻器会日益增多。按材料来分,电阻器可以分为碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻等;按用途来分,可以分为精密电阻、功率电阻、高频电阻、保险电阻等;按构造来分,可以分为定值电阻、可变电阻、光敏电阻、热敏电阻等。常见电阻器的图形符号如图 1.1.1 所示。

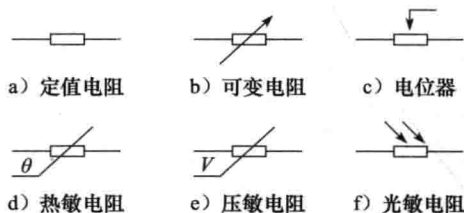


图 1.1.1 常见电阻器图形符号

(1) 碳膜电阻

碳膜电阻是使用最早、最广泛的一种电阻。

它是由碳沉积在瓷质管架上制成的,通过控制碳膜的厚度以及用刻槽方法改变长度,可以得到不同的阻值。其主要特点是阻值范围宽($1\Omega\sim 10M\Omega$)、稳定性好、成本低,而且电压和频率的变化对阻值的影响很小,但阻值会受温度的影响,具有负的温度系数。碳膜电阻的应用范围非常广泛,适合交流、直流和脉冲电路,多用于中低端的民用电子产品。

(2) 金属膜电阻

金属膜电阻是在真空条件下,在瓷质管架上沉积一层合金膜制成的,通过改变金属膜的厚度或长度可得到不同的阻值。其主要特点是耐热性好,当环境温度升高后,其阻值变化与碳膜电阻相比很小;而且它的调频特性好、噪声低、精度高、体积小,常在精密仪表和高稳定性设备中使用,同时也应用于各种要求较高的电子设备中。

(3) 线绕电阻

线绕电阻是用康铜丝、锰铜丝或镍铬丝缠绕在绝缘管架上制成的。它的优点包括耐高温、阻值精度很高、额定功率大、噪声低等；但由于结构上的原因，其分布电容和电感都比较大，调频特性差，不能在高频电路中使用；而且一般体积较大、阻值较低。线绕电阻主要应用于低频的精密仪表以及要求大功率、高稳定性的电子设备中。

(4) 保险电阻

保险电阻也叫熔断电阻，具有电阻和熔丝的双重功能。它在正常情况下具有普通电阻的电气特性，一旦电路中电压升高、电流增大或某个元器件损坏，超过其额定功率，保险电阻就会在规定时间内熔断，从而达到保护其他元器件的目的。保险电阻一般阻值和功率都较小，主要用于彩电、录像机等高档家用电器的电源电路中。

(5) 光敏电阻

光敏电阻是一种电导率随吸收的光量子多少而变化的敏感电阻，它是利用半导体的光电效应制成的，其电阻值随着光照的强弱而改变。根据光敏电阻的光谱特性，它可以分为三种类型，分别对紫外光、红外光和可见光比较灵敏。光敏电阻器一般用于光的测量、光的控制和光电转换，广泛应用于各种自动控制、光电计数、光电跟踪以及照相机的自动曝光等场合。

(6) 热敏电阻

热敏电阻是由半导体陶瓷材料制成的一类对温度敏感的电阻器，可以分为 NTC（负温度系数）、PTC（正温度系数）和 CTR（临界温度电阻）三种类型。NTC 热敏电阻具有负温度系数，其阻值随温度升高呈指数关系减小，可以稳定电路的工作点，因此，广泛应用于测温、温控、温度补偿等方面。PTC 热敏电阻具有正温度系数，在超过一定温度时，其电阻值随温度升高而急剧增大，这个临界温度称为居里温度，居里温度可以通过调整材料中各成分的比例而改变。PTC 热敏电阻在工业上用于温度的测量与控制，在家电产品中也被广泛使用，如过热保护、电视机的自动消磁、温度补偿等方面。临界温度热敏电阻（CTR）具有负电阻突变特性，在一定温度下，电阻值随温度增加而急剧减小，具有很大的负温度系数。CTR 能够用于控温报警等方面。

(7) 其他敏感电阻器

对各种条件敏感的电阻器还有很多，包括湿敏电阻、磁敏电阻、气敏电阻、力敏电阻、压敏电阻等，这些敏感电阻器在自动控制方面会起到重要的作用。

2. 电阻器型号的命名方法

在使用电阻器时，需要选择符合使用要求的型号，因此必须对它的命名方法有所了解。根据国家标准的规定，电阻器的型号是由一组字母和数字排列而成的。

其中第一部分为主称，用字母表示，R 表示电阻器，W 表示电位器；第二部分为电阻材料，用字母表示；第三部分为分类特征，用数字或字母表示；第四部分是数字表示的序号，用来区分外形尺寸和性能参数。各部分字母和数字的具体意义在表 1-1-1 中列出。

表 1-1-1 电阻器型号命名方法

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		用字母或数字表示分类		用数字表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	对主称、材料相同,仅性能指标、尺寸大小有差别,但基本不影响互换使用的产品,使用同一序号
R	电阻器	T	碳膜	1	普通	
W	电位器	P	硼碳膜	2	普通	
		U	硅碳膜	3	超高频	
		H	合成膜	4	高阻	
		I	玻璃釉膜	5	高温	
		J	金属膜	6	—	
		Y	氧化膜	7	精密	
		C	沉积膜	8	高压	
		N	无机实心	9	特殊	
		S	有机实心	G	高功率	
		X	线绕	J	精密	
		R	热敏	L	测量用	
		G	光敏	T	可调	
		M	压敏	X	小型	
				W	微调	
				D	多圈	

在电阻器和电位器的型号中,只有第一个字母不同,其他部分的含义通用。

例如一个标有 RJ71 0.125 5.1K I 的电阻器,其每部分的具体意义如表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 电阻器型号示例

R	J	7	1	0.125	5.1K	I
名称	材料	分类	序号	功率	标称阻值	允许误差
电阻器	金属膜	精密		1/8W	5.1kΩ	I 级±5%

3. 电阻器的标称阻值和精度

为了便于生产和使用,电阻器的阻值并不是随意选取的,而是规定了一系列标准阻值,这一系列阻值叫做电阻的标称阻值。标称阻值的选取由几何级数表达式(1-1-1)确定。

$$A_n = (10^{1/k})^{n-1} \quad (1-1-1)$$

这个几何级数表达式的公比为 $10^{1/k}$, n 为正整数,表示几何级数的项数。当 k 取 3 时,式(1-1-1)的公比为 2.154;按 $n=1, 2, 3$ 计算,得到 $A_n=1, 2.154, 4.64$,取整后的标称阻值为 1、2.2、4.7。当 k 取 6 时,其公比为 1.468,计算得到的标称阻值为 1、1.5、2.2、3.3、4.7 和 6.8,这些阻值称为 E₆ 系列标称阻值。表 1-1-3 给出了不同系列的标称阻值,实际电阻器的标称阻值就是将列表中的数字乘以 10^n (n 为整数)。

表 1-1-3 电阻器的标称阻值系列

系列	精度等级	标称电阻值 (Ω)											
E ₆	Ⅲ	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8						
E ₁₂	Ⅱ	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 ₂₄	I	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

一般来说,电阻器的实际值与标称值(电阻器表面所标注的电阻值)存在一定的差别,这种偏差称为电阻值的误差,用百分数来表示,计算方法如式(1-1-2)所示。电阻器的误差应在一定的允许范围之内,这个允许范围称为允许误差,用来表示电阻器的精度。

$$\text{电阻值的误差} = \frac{\text{实际阻值} - \text{标称阻值}}{\text{标称阻值}} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

普通电阻器分为三个精度等级:允许误差是 $\pm 5\%$ 的为I级,允许误差是 $\pm 10\%$ 的为II级,允许误差是 $\pm 20\%$ 的为III级。常见电阻器的精度大部分是I、II级,III级的很少使用。精密电阻器的标称阻值一般都是 E_{192} 、 E_{96} 、 E_{48} 系列,对应的精度等级分别为005、01和02。表1-1-4为电阻器精度等级所对应的允许误差,除了表中所规定的允许误差之外,精密电阻器的允许误差还可分为: $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.05\%$ 、 $\pm 0.02\%$ 、 $\pm 0.01\%$ 等。

表 1-1-4 电阻器精度等级与允许误差

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	精密电阻			普通电阻		

4. 电阻器的额定功率

电阻器的额定功率通常是指在一定温度和大气压下,电阻器长时间连续工作所允许消耗的最大功率。选择电阻器时,必须使其额定功率大于电阻实际消耗的功率,否则在长时间工作中,会使电阻的性能发生改变甚至烧毁电阻。电阻器的额定功率系列如表1-1-5所示。对于同一类电阻器,额定功率越大,其外形尺寸也越大。

表 1-1-5 电阻器的额定功率系列

类别	额定功率值 (W)													
	0.05	0.125	0.25	0.75	2	3	4	5	6	6.5	7.5	8	10	16
线绕电阻器	25	40	50	75	100	150	250	500						
非线性绕电阻器	0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100			

在电路图中表示电阻器的功率时,采用的符号如图1.1.2所示。

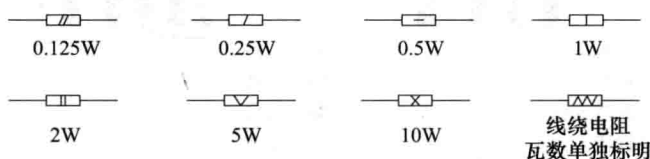


图 1.1.2 电阻器额定功率电路符号

5. 电阻器的标识方法

电阻器的标识方法主要分为四种:直标法、文字符号法、色标法和数码法。下面对这几种标识方法做简要介绍,其中重点说明色标法的标识规则。

(1) 直标法

直标法是用数字和单位符号在电阻器表面直接标出阻值,并用百分数直接标出允许误差的方法,如果未标注误差,则均为 $\pm 20\%$ 。

(2) 文字符号法

文字符号法是用阿拉伯数字和文字符号的组合来表示标称阻值，其允许误差也用字母符号表示。阻值部分用 R 表示 Ω ，K 表示 $k\Omega$ ，M 表示 $M\Omega$ 。同时为了防止小数点印刷不清引起误解，在这种标识方法的电阻上通常没有小数点，而是将小于 1 的数值放在英文字母后面。紧随阻值的是符号表示的允许误差，符号的意义分别是 D: $\pm 0.5\%$ 、F: $\pm 1\%$ 、G: $\pm 2\%$ 、J: $\pm 5\%$ 、K: $\pm 10\%$ 、M: $\pm 20\%$ 。

例如：7R5J 表示该电阻标称值为 7.5Ω ，允许误差为 $\pm 5\%$ ；1M5M 表示电阻标称值为 $1.5M\Omega$ ，允许误差为 $\pm 20\%$ ；R22F 表示电阻标称值为 0.22Ω ，允许误差为 $\pm 1\%$ 。

(3) 色标法

色标法是用不同颜色的色带或色点在电阻器表面标示出标称阻值和允许误差。小型化的电阻器一般都采用这种标注方法，各种颜色所对应的数值见表 1-1-6 所示。

表 1-1-6 电阻器色标法各种颜色对应的数值

颜色	有效数字	倍乘数 $n(10^n)$	允许误差 %
棕	1	1	± 1
红	2	2	± 2
橙	3	3	—
黄	4	4	—
绿	5	5	± 0.5
蓝	6	6	± 0.2
紫	7	7	± 0.1
灰	8	8	—
白	9	9	—
黑	0	0	—
金	—	-1	± 5
银	—	-2	± 10
无	—	—	± 20

从表 1-1-6 中可以看出，同一颜色在不同位置可以表示不同的意义。色标法主要分为四环标注（两位有效数字）和五环标注（三位有效数字）两种类型，其标注方式如图 1.1.3 所示。其中，表示允许误差的色环距离其他色环比较远。



图 1.1.3 电阻器的色标法

对于四环电阻，其读数规则为：第一、第二环表示两位有效数字，第三环表示数字后面添加“0”的个数，第四环表示允许误差。四环电阻色环读出实例如下。

例 1：如图 1.1.4 所示电阻。

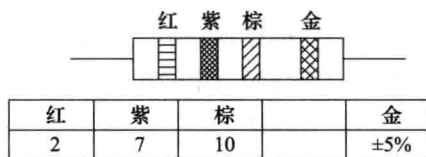


图 1.1.4 示例图（一）

其阻值是：27 后面添加“1 个 0”，单位为“欧姆”，即 270Ω ，误差为 $\pm 5\%$ 。

例 2：如果第 3 环是金色，如图 1.1.5 所示。

其阻值为：27 小数点向前移 1 位，单位为“欧姆”，即 2.7Ω ，误差为 $\pm 5\%$ 。

实际上，第三环用数学形式表达就是 10 的 n 次方的倍率，前面的情况分别可写作：

$$27 \times 10 = 270\Omega$$

$$27 \times 10^{-1} = 2.7\Omega$$

对于五环电阻而言，其读数规则为：第一、第二、第三环表示三位有效数字，第四环表示数字后面“0”的个数，第五环表示允许误差。五环电阻的色环读出实例如下。

例 3：如图 1.1.6 所示的电阻。

其阻值为：200 后面添加“3 个 0”，单位为“欧姆”，即 $200k\Omega$ ，误差为 $\pm 1\%$ 。

(4) 数码法

数码法是在电阻器上用三位数字来表示元件标称值的方法。这种标识方法常见于贴片电阻上。在三位数字中，第一、第二位为有效数字，第三位数字表示有效数字后面所加“0”的个数，单位为“欧姆”。

例如：标示为“103”的电阻，其阻值为 $10 \times 10^3 = 10k\Omega$ ；标示为“222”的电阻，其阻值为 $2.2k\Omega$ ；标示为“105”的电阻，其阻值为 $1M\Omega$ 。而标示为“0”或“000”的电阻，实际上是表示跳线（短路线），在有些电路中，阻值为 0Ω 的贴片电阻也用作保险电阻使用。

6. 电位器

电位器是常用的可调电子元件，它是一种阻值连续可调的电阻器，在电子设备中应用十分广泛。电位器的种类很多。从形状上可以分为圆柱形、长方体形等；从材料上可以分为碳膜、合成膜、金属玻璃釉、有机导电体、合金电阻丝等多种电阻体材料；从结构上可以分为直滑式、旋转式、带紧缩装置式、带开关式、单联式、多联式、多圈式、微调式、无接触式等。在电路中进行一般调节时，常采用价格低廉的碳膜电位器；而在精确调节时，可以采用多圈电位器或精密电位器。

在调节电位器时，其电阻值的变化规律也是不同的，从阻值变化特性上主要可以分为直线式、指数式和对数式。其中，直线式电位器的阻值变化与旋转角成线性关系，适合于要求均匀调节的场合，比如分压器电路、万用表调零电路等；指数式电位器的阻值在开始时变化平缓，之后变化剧烈，适合于先细调后粗调的电路，比如音量控制电路等；对数式电位器的阻值在开始时变化很大，而后变化缓慢，适合于先粗调后细调的电路，比如音调控制电路，显示对比度调节电路等。

电位器的规格标志一般采用直标法，即用字母和阿拉伯数字直接标注在电位器上，标注内容包括电位器的型号、类型、标称阻值和额定功率等。

7. 电阻器使用注意事项

1) 对于一般的电子电路而言，可选用碳膜电阻器，以降低成本；对稳定性、耐热性、



红	紫	金		金
2	7	0.1		$\pm 5\%$

图 1.1.5 示例图（二）



红	黑	黑	橙	棕
2	0	0	1000	$\pm 1\%$

图 1.1.6 示例图（三）

可靠性及噪声要求较高的电路,可选用金属膜电阻器;对要求工作频率低、功率大的电路,可选用线绕电阻器;在高频电子电路中,应选用薄膜电阻器或无感电阻器,不能使用实心电阻器和线绕电阻器。

2) 阻值应按标称值系列选取。对于不在标称值系列中的阻值,可以选择最接近的标称值电阻或者用多个电阻器串、并联来替代。

3) 电阻器在电路中实际消耗的功率不能超过其额定功率,为了保证其长期使用的稳定性,通常要求电阻器的额定功率高于实际消耗功率的两倍以上。

4) 在高压电路中,应注意电阻器的极限工作电压,防止电阻器被击穿或烧毁。

5) 电阻器的引线不要从根部弯曲,否则容易使引线折断。

1.1.2 电容器

电容器是由两个导电电极和中间填充的电介质(绝缘材料)所构成的,它是一种储存电能的元件,在电路中具有交流耦合、旁路、滤波、信号调谐、补偿等作用,它是电子线路中的基本元件之一。

1. 电容器的分类

电容器按结构可分为固定电容器、可变电容器、微调电容器三类;按绝缘介质材料的不同可分为空气介质电容器、固体介质(云母、陶瓷、涤纶等)电容器和电解介质电容器;按有无极性可分为有极性电容器和无极性电容器。

(1) 瓷介电容器

瓷介电容器的主要特点是介质损耗较低,电容量对温度、频率、电压和时间的稳定性都比较高。它主要用于高频电路,其容量范围不大。瓷介电容器有低压低功率和高压高功率的区分,其结构形式也分为圆片型、穿心型、管型等多种。瓷介电容器具有不同的温度系数,正温度系数的电容多用于滤波、旁路、隔直电路中,负温度系数的电容多用于振荡电路,温度系数很小的电容可以用在精密仪表中。独石瓷介电容器是瓷介电容器的一种,可用于旁路和低频隔直电路,特别适用于半导体电子电路,具有体积小、电容量大、特性稳定、电感小和高频性能好等优点。

(2) 云母电容器

云母电容器用于直流、交流和脉冲电路。云母电容器具有优良的电气性能,绝缘强度高、损耗小,而且温度、频率特性稳定,但抗潮湿性能差,而且价格较高。

(3) 金属化纸介电容器

金属化纸介电容器的体积仅相当于纸介电容器的 $1/4$ 。其主要特点是具有自愈作用,当介质在高压下发生击穿,当电压恢复正常后,其电气性能可恢复到击穿前的状态,但绝缘性能较差。该电容器广泛应用于自动化仪表和家用电器中,但不适用于高频电路,它的工作频率一般不宜超过几十千赫。

(4) 涤纶电容器

涤纶电容器是塑料薄膜电容器(聚苯乙烯、聚丙烯、涤纶、聚碳酸酯电容器等)中的一种,也是塑料薄膜电容器中产量较大、应用最广泛的一种。它具有良好的介电性能,机械强度高,其电容量范围和额定电压范围最宽。涤纶电容器的电参数随温度变化较大,因

此不宜用作功率交流电容器。为使电容量稳定，应在 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 下使用较好。

(5) 铝电解电容器

电解电容的优点是电容量大，在工作过程中可以自动修补氧化膜，具有一定的自愈能力，工作电压高于其他电容器。不过电解电容器一般都是有极性的，除正、负引出头外，外壳为负极，使用时接错有损坏的危险；电解电容器的工作电压也有一定的上限；而且其损耗角正切较大；当温度和频率改变时，其电性能的变化也较大。

铝电解电容器的价格便宜，用途广泛，其最高工作额定电压可达 500V 以上，常用于直流或脉冲电路中。

(6) 钽电解电容器

钽电解电容器主要用于替补铝电解电容器性能参数难以满足要求的电路中，例如，用于要求电容器体积小、上下限度范围宽、频率特性和阻抗特性要求高、产品稳定性、可靠性要求较高的电路。电视机、录像机、摄像机、高保真音响设备等也选用部分钽电解电容器，以提高整机质量。钽电解电容器没有漏液和产生气体导致爆炸的危险，但它的价格较高，而且易燃。

(7) 可变电容器

可变电容器是通过改变电极片面积使电容量变化的，电极片由定片和动片组成，所使用的电介质包括空气、塑料薄膜、陶瓷、云母等。

(8) 微调电容器

微调电容器也是一种可变电容器，只是其容量变化范围较小，通常只有几皮法到几十皮法。微调电容器可分为云母微调电容器、瓷介微调电容器、薄膜微调电容器、玻璃微调电容器等。常在各种调谐及振荡电路中作为补偿电容器或校正电容器使用。

2. 电容器的型号命名方法

根据国家标准的规定，电容器的型号是由一组字母和数字排列而成的，其每部分的具体意义为：

第一部分为主称，用字母 C 表示器件为电容器。

第二部分为介质材料，用字母表示，具体含义如表 1-1-7 所示。

表 1-1-7 电容器介质材料部分的符号和意义

介质材料符号	含义	介质材料符号	含义
A	钽电解	L	涤纶
B	聚苯乙烯	N	钽电解
C	高频陶瓷	O	玻璃膜
D	铝电解	Q	漆膜
E	其他材料电解	S、T	低频陶瓷
G	合金电解	V、X	云母纸
H	复合介质	Y	云母
I	玻璃釉	Z	纸介
J	金属化纸介		

第三部分为分类特征，用字母或数字表示，其具体含义如表 1-1-8 所示。