

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息

兰州大学教材建设基金资助项目



数字电路实验教程

饶增仁 安红心 汤书森 赵洁 编著
苏友平 主审

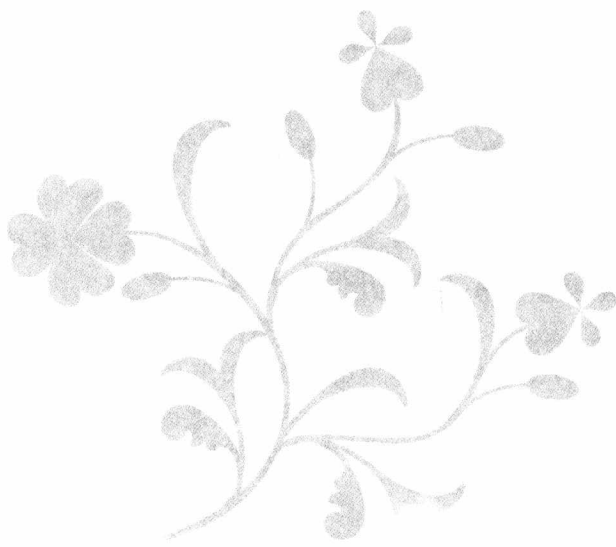
清华大学出版社

013030218

TN79-33

44

21世纪高等学校规划教材 | 电



数字电路实验教程

饶增仁 安红心 汤书森 赵洁 编著



清华大学出版社



北航

C1635984

TN79-33

44

内 容 简 介

本书是根据教育部高等院校理工科数字电路实验基本教学要求编写的。全书分为7章和6个附录,主要介绍数字电路实验基础知识及课程设计要求,示波器的使用和基本门电路特性测量实验,组合逻辑电路与时序逻辑电路实验,半导体存储器、D/A转换及定时器实验,可编程逻辑器件和EDA技术实验,综合性实验和数字电路仿真实验。

本书可作为高等院校电气类、电子与信息类、通信类、计算机与自动化控制工程类专业本专科学生的实验指导教材,也可作为毕业设计、电子设计竞赛等的参考用书,还可供工程技术人员参阅。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电路实验教程/饶增仁等编著. —北京:清华大学出版社,2013.3

21世纪高等学校规划教材·电子信息

ISBN 978-7-302-31228-4

I. ①数… II. ①饶… III. ①数字电路—实验—高等学校—教材 IV. ①TN79-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第001683号

责任编辑:郑寅堃 张为民

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:11.75

字 数:295千字

版 次:2013年3月第1版

印 次:2013年3月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:19.50元

编审委员会成员

东南大学	王志功	教授
南京大学	王新龙	教授
南京航空航天大学	王成华	教授
解放军理工大学	邓元庆	教授
	刘景夏	副教授
上海大学	方 勇	教授
上海交通大学	朱 杰	教授
	何 晨	教授
华中科技大学	严国萍	教授
	朱定华	教授
华中师范大学	吴彦文	教授
武汉理工大学	刘复华	教授
	李中年	教授
宁波大学	蒋刚毅	教授
天津大学	王成山	教授
	郭维廉	教授
中国科学技术大学	王煦法	教授
	郭从良	教授
	徐佩霞	教授
苏州大学	赵鹤鸣	教授
山东大学	刘志军	教授
山东科技大学	郑永果	教授
东北师范大学	朱守正	教授
沈阳工业学院	张秉权	教授
长春大学	张丽英	教授
吉林大学	林 君	教授
湖南大学	何怡刚	教授
长沙理工大学	曾喆昭	教授
华南理工大学	冯久超	教授

西南交通大学

重庆工学院

重庆通信学院

重庆大学

重庆邮电学院

西安电子科技大学

西北工业大学

集美大学

云南大学

东华大学

冯全源 教授

金炜东 教授

余成波 教授

曾凡鑫 教授

曾孝平 教授

谢显中 教授

张德民 教授

彭启琮 教授

樊昌信 教授

何明一 教授

迟 岩 教授

刘惟一 教授

方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail:weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

数字电子技术是目前发展最为迅速、渗透力最大的领域,技术换代日新月异,新器件层出不穷。数字电路实验的教学内容正从中小规模集成电路过渡到可编程器件,从单元电路过渡到数字系统,其理论基础、设计方法都需要较大的更新、充实和完善。针对电子信息类专业创新人才的培养,课程体系的改革、课程内容的更新必须富有时代特色。本书在编写过程中,阐述了仍然有着广泛应用的中、小规模集成电路的设计和实验,突出了已成为数字电路系统设计方法的主流和教学热点,以 FPGA(现场可编程器件)为主要对象的 EDA(电子设计自动化)实验,同时开拓了数字系统新领域的仿真实验,因其在实验教学中的技术优势弥补了实验经费不足的缺憾,扩展了学生的实践空间和实验内容,有利于学生开展探索性研究性实验。

本书主要包括四部分:

- (1) 基础实验,包括门电路静态测试和动态测试实验。
- (2) 基本集成逻辑电路的功能与应用实验,包括一般的大、中、小规模集成电路(TTL 和 CMOS)和可编程逻辑器件(PLD)。关于前者的应用,采用传统的设计方法;而对 PLD 的应用,采用计算机辅助设计的 EDA 技术。
- (3) 综合性(数字系统)实验,这部分实验既有采用 EDA 技术进行设计的 PLD 电路,也有采用传统设计方法设计的普通 TTL 和 CMOS 电路。
- (4) 仿真实验,使用已有的仿真工具,通过在计算机上模拟仿真,完成数字电路的全部实验测量过程。

本书力图在总体结构和内容编排上具有系统性、启发性和实用性,在做实验的过程中,领会和掌握基本理论知识,在完成实验后争取达到理论的升华。本书内容阐述深入浅出,详略得当,从基础实验到综合实验,提高了学习效率和效果,培养了学生分析问题、解决问题的素质和能力,注重基础性和创新性的统一,目的是适应教学改革的需要,加强实践教学环节。

为了使学生做起实验来不枯燥,激发他们做实验的热情,引导并开发他们的创造能力,本书力图把器件的功能和测试放在电路中。关于如何做好实验,我们建议:思想上重视是做好实验的前提,认真预习是做好实验的保证,坚持“多想少动”是做好实验的诀窍,写好总结报告是实验的重要一环。此外,充分利用网络工具、查阅器件手册和阅读仪器使用说明书也是实验的一项基本功,应注意这方面的应用训练。

数字电路实验是高等院校电子、电气、通信、计算机与自动化控制工程及相关专业的基础实践课程,对于培养和提高学生的创新能力、解决实际问题的技能起着十分重要的作用。本书所列实验,无论是在题目的数量上,还是在每个题目的实验内容上,都超出了课时计划所规定的量。因此要根据具体情况适当选择哪些实验内容作为教学。

本书获“兰州大学教材建设基金”、“甘肃省信息科学与技术培养基地”项目资助。在编写过程中得到兰州大学信息科学与工程学院马义德教授、马义忠教授、杨凌副教授和靳天玉高级实验师的指导,也得到了王玉增、毕淑桂等许多老前辈的热情支持和帮助,在此谨向他们表示衷心的感谢!

限于作者学识和经验,书中错误在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2012 年 10 月

目 录

第 1 章 数字电路实验基础知识及课程设计要求	1
1.1 数字电路实验的目的及其意义	1
1.2 数字电路实验的一般要求	2
1.2.1 实验前的要求	2
1.2.2 实验中的要求	3
1.2.3 实验后的要求	3
1.3 数字电路基本元器件知识	4
1.3.1 电阻	4
1.3.2 电容	5
1.3.3 电感	6
1.3.4 晶体二极管	6
1.3.5 晶体三极管	7
1.3.6 场效应晶体管放大器	7
1.4 误差分析与测量结果的处理	7
1.4.1 误差分析	7
1.4.2 测量结果的处理	8
1.5 数字电路的测试和故障的查找与排除	10
1.5.1 数字电路的测试	10
1.5.2 故障的查找与排除	11
1.6 数字电路课程设计的的基础知识和设计方法	12
1.6.1 明确系统的设计任务要求	12
1.6.2 方案的选择	12
1.6.3 单元电路的设计、参数计算和器件选择	12
1.6.4 电路图的绘制	13
1.7 数字电路的组装和调试	14
1.7.1 数字电路的组装	14
1.7.2 数字电路的调试	15
1.8 课程设计的总结报告	17
第 2 章 示波器的使用和基本门电路特性测量实验	18
实验 1 示波器的使用	18
实验 2 门电路静态特性的测量	21

实验 3 门电路的延迟时间	25
第 3 章 组合逻辑电路与时序逻辑电路实验	30
实验 4 集成门电路的组合电路	30
实验 5 编码器和译码器	33
实验 6 加法器	37
实验 7 触发器	39
实验 8 计数器和移位寄存器	44
实验 9 顺序脉冲发生器的设计与调试	49
实验 10 序列信号的产生和检测	51
第 4 章 半导体存储器、D/A 转换及定时器实验	53
实验 11 RAM 存储器	53
实验 12 $3\frac{1}{2}$ 位数字直流电压表的安装调试	56
实验 13 D/A 转换器	59
实验 14 555 定时器的应用	62
第 5 章 可编程逻辑器件与 EDA 技术实验	68
实验 15 基于 GAL 的可编程逻辑器件应用	68
实验 16 基于 FPGA 的数字系统设计	76
第 6 章 综合性实验	99
实验 17 智力竞赛抢答器的设计与调试	99
实验 18 具有程序控制的反馈移位寄存器的设计与调试	103
实验 19 周期性同步数制转换系统设计与调试	106
实验 20 PLD 自动售票系统的设计与调试	114
实验 21 用 TTL 实现自动售票系统的设计与调试	116
实验 22 路口交通灯管理系统的设计与调试	120
实验 23 数字钟的设计与调试	122
实验 24 密码电子锁的设计与调试	125
实验 25 基于 FPGA 的十进制计数器的设计	127
实验 26 基于 FPGA 的 7 段数码管的设计	128
第 7 章 数字电路仿真实验	131
实验 27 使用仿真工具进行基本门电路测量	131
实验 28 单片机最小系统仿真	136
附录 A 半导体集成电路型号命名法及其封装形式	146
A.1 国产半导体集成电路型号命名方法	146

A.2 国产 TTL 产品系列及国外 TTL 电路型号含义	147
A.3 国产 CMOS 产品系列及国外 CMOS 型号命名法	149
A.4 常用集成电路的封装形式	150
附录 B 常用电路元器件型号及其主要性能参数	153
B.1 电阻器	153
B.2 电容器	154
B.3 半导体器件	157
附录 C 示波器的基本原理	158
C.1 示波管	158
C.2 示波器的基本组成	159
附录 D KENWOOD 示波器的操作面板说明	160
D.1 前方面板	160
D.2 后方面板	164
D.3 探针	164
附录 E 器件引脚图	167
附录 F 电子电路仿真设计与制版软件综述	171
F.1 美国 Cadence 公司的 OrCAD 软件	171
F.2 加拿大 Interactive Image Technologies 公司的 EWB 软件	172
F.3 制版软件 Ultiboard 7 简介	173
F.4 澳大利亚 Altium 公司的 Protel 软件	173
F.5 美国 Mentor Graphics 公司的 PADS 软件	173
F.6 英国 Labcenter Electronics 公司的 Proteus 软件	174
F.7 关于 EDA 软件的选用和业余制版注意事项	174
F.8 电子线路的设计过程	175
参考文献	176

第1章

数字电路实验基础知识及 课程设计要求

数字电子技术是当前发展最快,应用最广泛的高科技学科之一。集成电路规模越来越大,组成越来越复杂,对现代的数字电路的设计与分析来说,仅仅靠理论知识是不够的。在数字化的今天,数字电路是数字电子技术的基础之一。为适应科技的发展,本书将脉冲电路、数字电路、逻辑系统的设计归于数字电子技术的基础部分。

1.1 数字电路实验的目的及其意义

大家知道,科学和技术的发展离不开实验,实验是促进科技发展的重要手段。我国著名科学家张文裕在为《著名物理学实验及其在物理学发展中的作用》一书所写的序言中,精辟论述了科学实验的重要地位。他说:“科学实验是科学理论的源泉,是自然科学的根本,也是工程技术的基础。”他又说:“基础研究、应用研究、开发研究和生产四个方面如果结合得好,经济建设和国防建设势必会兴旺发达。要把上述四个方面结合在一起,必然有一条红线,这条红线就是科学实验。”

数字电路实验是一门实践性很强的课程,它的任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题和解决问题的能力。为此,应加强各种形式的实践环节。

对于数字电路技术基础这样一门具有工程特点和实践性很强的课程,主要是加强学生的工程训练,特别是对他们技能的培养,对于培养工程人员的素质和能力具有十分重要的作用。现在,有部分大学在学完模拟电子技术基础和数字电子技术基础课程后,又增设了综合实验及课程设计课程,这对提高学生综合动手能力和工程设计能力是非常重要的。

数字电路实验培养学生测试电子电路和使用电子仪器的能力。通过电子元器件识别、性能测试和对各种电子电路性能指标的测量,巩固所学电子技术理论知识,学会正确使用仪器和科学地测量电路的方法,并通过综合性实验进行电路组装、调试、故障排除等训练,提高实践动手能力,为今后从事生产和科研工作打下良好基础。

数字电路实验,按性质可分为验证性和训练性实验、综合性实验、课程设计性实验三大类。

验证性和训练性实验主要是针对电子技术本门学科范围,为理论论证和实际技能的培养奠定了基础。这类实验除了巩固、加深某些重要的基础理论外,主要在于帮助学生认识现

象,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。

综合性实验属于应用性实验,实验内容侧重于某些理论知识的综合应用,其目的是培养学生综合运用所学理论的能力和解决较复杂的实际问题的能力。

课程设计性实验对于学生来说既有综合性又有探索性,它主要侧重于某些理论知识的灵活运用。例如,完成特定功能的数字电路的设计、安装和调试等。要求学生在教师指导下,独立进行查阅资料、设计方案与组织实验等工作,并写出实验报告。这类实验对于提高学生的素质和科学实验能力非常有益。

自 20 世纪 90 年代以来,数字电子技术发展呈现出系统集成化、设计自动化、用户专业化和测试智能化的优势,为了培养 21 世纪数字电子技术人才和适应电子信息时代的要求,除了完成常规的硬件实验外,在数字电路技术实验中引入电子电路计算机辅助分析与设计的 EDA(Electronic Design Automation,电子设计自动化)的内容(其中包括若干仿真实验和通过计算机来完成设计的小系统)是必要的,也是很有益的。

总之,数字电路实验应突出基础技能、设计性综合能力、创新能力和计算机应用能力的培养,以适应培养面向 21 世纪人才的要求。

1.2 数字电路实验的一般要求

实验的基本过程应包括:确定实验内容,选定最佳的实验方法和实验线路,拟出较好的实验步骤,合理选择仪器设备和元器件,进行连接安装和调试,最后写出完整的实验报告。

尽管数字电路各个实验的目的和内容不同,但为了培养良好的学风,充分发挥学生的主观能动作用,促使其独立思考、独立完成实验并有所创造,在进行数字电路实验时,充分掌握和正确利用集成器件及其构成的数字电路独有的特点和规律,可以收到事半功倍的效果。对于完成每一个实验,对实验前、实验中和实验后分别提出如下基本要求。

1.2.1 实验前的要求

为了避免盲目性,实验者应对实验内容进行预习,认真预习是做好实验的关键。预习好坏,不仅关系到实验能否顺利进行,而且直接影响实验结果。预习应按本书的实验预习要求进行,在每次实验前,首先明确实验目的和要求,掌握有关电路的基本原理(课程设计则要完成设计任务),拟出实验方法和步骤,设计实验表格,对思考题作出解答,初步估算(或分析)实验结果(包括参数和波形),最后写出一份预习报告,其内容包括:

(1) 绘出设计好的实验电路图。该图应该是逻辑图和连线图的混合,既便于连接线,又反映电路原理,并在图上标出器件型号、使用的引脚号及元件数值,必要时还必须用文字说明。

(2) 拟定实验方法和步骤。

(3) 拟好记录实验数据的表格和波形坐标。

(4) 列出元器件单。

1.2.2 实验中的要求

(1) 参加实验者要自觉遵守实验室规则。

(2) 根据实验内容合理布置实验现场,准备好实验所需仪器和安放适当装置,按实验方案连接实验电路和测试电路。

(3) 实验记录是实验过程中获得的第一手资料。测试过程中所测试的数据和波形必须和理论基本一致,所以记录必须清楚、合理、正确,若不正确,则要在现场及时重复测试,找出原因。实验记录应包括如下内容:

① 实验任务、名称及内容。

② 实验数据和波形以及实验中出现的现象,从记录中应能初步判断实验的正确性。

③ 记录波形时,应注意输入输出波形的时间相位关系,在坐标中上下对齐。

④ 实验中实际使用的仪器型号和编号以及元器件使用情况。

(4) 发生故障应立即切断电源,并报告指导教师和实验室工作人员,等待处理。发生故障应独立思考,耐心排除,并记下排除故障的过程和方法,以便在实验后进行分析和讨论。

(5) 实验结束后,可将记录送指导老师审阅、签字。经指导老师同意后方可拆除线路,清理现场。如果发现有元器件损失和仪器不正常的现象,应及时向指导老师报告。

实验过程中不顺利,不一定是坏事,常常可以从分析故障中增强独立工作能力。做好实验的目的是独立解决实验中所遇到的问题,把实验做成功。

1.2.3 实验后的要求

实验后要求学生认真总结,写好实验报告。

1. 实验报告的内容

(1) 列出实验条件,包括何时与何人共同完成什么实验,当时的环境条件,使用仪器名称及编号等。

(2) 认真整理和处理测试的数据和用坐标纸描绘出波形,并用表格列出数据或用坐标纸画出曲线。用方框图、逻辑图(或测试电路)、状态图、真值表以及文字进行说明。对于设计性课题,还应有整个设计过程和关键的设计技巧说明。

(3) 对测试结果进行理论分析,给出简明扼要的结论。一般应对重要的实验现象、结论加以讨论,以便进一步加深理解。此外,对实验中的异常现象,可做一些简要说明。找出产生误差原因,提出减小实验误差的措施。

(4) 记录产生故障的情况,说明排除故障的过程和方法。

(5) 写出对本次实验的心得体会以及改进实验的建议。

2. 实验报告的要求

实验报告是培养学生科学实验的总结能力和分析思维能力的有效手段,也是一项重要的基本功训练,它能很好地巩固实验成果,加深对基本理论的认识和理解,从而进一步扩大知识面。实验报告是一份技术总结,基本要求:文理通顺,书写简洁;符号标准,图表齐全;讨论深入,结论简明。

1.3 数字电路基本元器件知识

1.3.1 电阻

电阻在电路中用“R”加数字表示,如: R_{15} 表示编号为 15 的电阻。电阻在电路中的主要作用为分流、限流、分压、偏置、滤波(与电容器组合使用)和阻抗匹配等。

1. 识别方法

电阻的单位为欧姆(Ω),倍率单位有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等。换算方法是: 1 兆欧 = 1000 千欧 = 1 000 000 欧。标注方法有 3 种,即直标法、色标法和数标法。

(1) 数标法用三位数字表示元件的标称值。从左至右,前两位表示有效数位,第三位表示 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 0Ω 。主要用于贴片等小体积的电路,如: 472 表示 $4.7k\Omega$; 104 则表示 $100k\Omega$ 。

(2) 色环标注法使用最多(见图 1-1 和图 1-2),如四色环电阻,五色环电阻(精密电阻)。

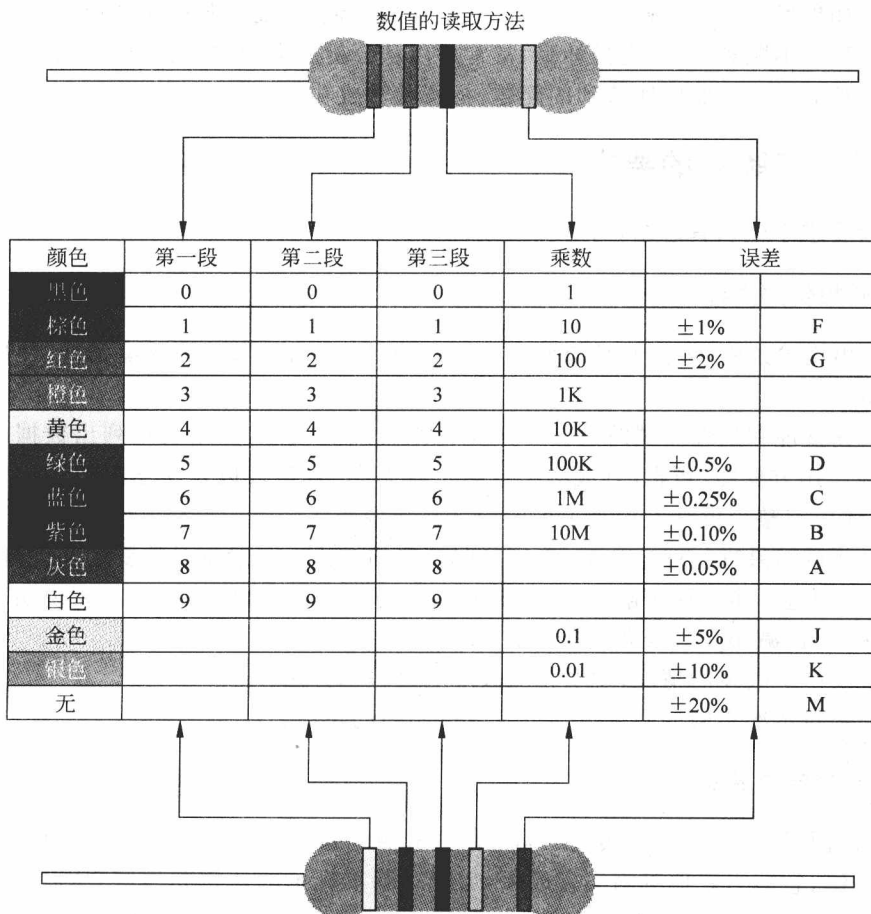


图 1-1 两端电阻色环颜色

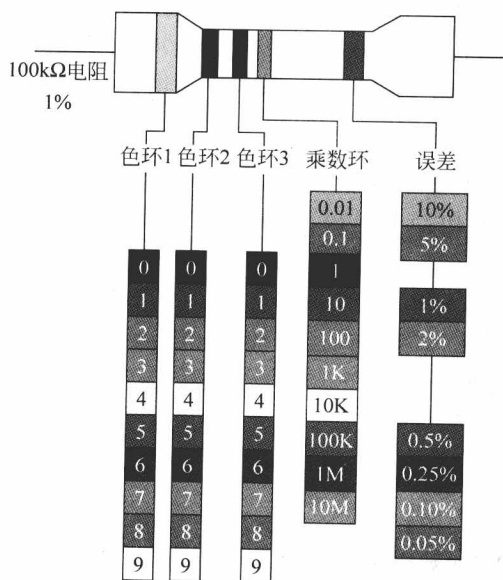


图 1-2 色环识别

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。误差代码是 F、G、J、K……常见的误差范围是 0.01%、0.05%、0.1%、0.5%、0.25%、1%、2%、5%……

3. 额定功率

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。常见的有 1/16W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、5W、10W。

4. 色环和电阻器的阻值与误差的关系

色环和电阻器的阻值与误差的关系如表 1-1 所示。

表 1-1 色环和电阻器的阻值与误差的关系

色 别	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	本色
对应数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
误 差											±5%	±10%	±20%

1.3.2 电容

电容在电路中一般用“C”加数字表示,例如, C_{25} 表示编号为 25 的电容。电容是由两片金属膜紧靠,中间用绝缘材料隔开而组成的元件。电容的特性主要是隔直流通交流。

1. 识别方法

电容的识别方法与电阻的识别方法基本相同,分直标法、色标法和数标法 3 种。电容的