

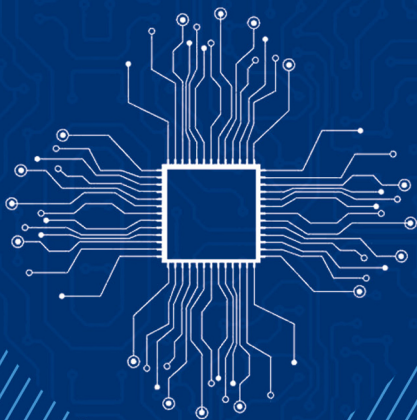


高等院校电子信息类规划教材

# 电子电路测量与设计实验

DIANZI DIANLU CELIANG YU SHEJI SHIYAN (第2版)

陈凌霄 孙丹丹 张晓磊 高英 编著



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com



高等院校电子信息类规划教材

# 电子电路测量与设计实验

(第2版)

陈凌霄 孙丹丹 张晓磊 高 英 编著



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

## 内 容 简 介

本书内容共分4篇8章。第1篇为基础知识篇,含第1、2两章,介绍了基本的电子元器件和常用电子测量仪表的相关知识。第2篇为基本技能篇,含第3、4两章,介绍了电子电路的安装与调测的方法和技巧,以及基本电参数的测量方法。第3篇为EDA工具篇,含第5、6两章,分别介绍了电路仿真软件Multisim和PCB设计软件Altium Designer 19的使用方法。第4篇为实验篇,含第7、8两章,第7章为基础型实验,共有9个实验题目,内容涵盖元器件的识别、各种电信号的测量和各种基本单元电路的调测,侧重于基本技能和电路基础知识的培养和掌握。第8章为设计和应用型实验,同样有9个实验题目,均要求实验者根据给定的条件或应用场景,进行电路的类型选择、电路的设计仿真以及实际调测与实现,侧重于电路知识综合应用能力的培养和提高。所有实验项目均有详细预习要求,并根据实验内容配有一定数量的预习思考题和课后思考题。书的最后附有实验报告格式以供读者参考。

本书适合用作高等学校电子类、通信类和自动化类专业学生的电子测量和模拟电子电路实验教学教材,也可用作电子工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子电路测量与设计实验 / 陈凌霄等编著. -- 2版. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2020.8  
ISBN 978-7-5635-6187-2

I. ①电… II. ①陈… III. ①电子电路—测量②电子电路—电路设计—实验 IV. ①TN710  
②TN702-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第150010号

策划编辑: 刘纳新 姚 顺 责任编辑: 刘 颖 封面设计: 七星博纳

---

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路10号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷:

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 19.25

字 数: 470千字

版 次: 2015年8月第1版 2020年8月第2版

印 次: 2020年8月第1次印刷

---

ISBN 978-7-5635-6187-2

定价: 48.00元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

# 写在前面的话

拿到这本书,你可能即将开始一类新的实验课——电子电路实验课的学习。在学习之前,你也许会有以下思考:

“电子电路实验课与其他课有所不同吗?”

“在这门课的学习中我能有什么收获和提高?”

“在学习的过程中我应注意什么?”

……

下面,我们就这些问题一一讨论。

## 电子电路实验课的特点

电子电路实验课是一门专业基础课程,与电子信息类专业的其他课程相比有明显不同的特点。

### 1. 与理论课不同

从课程内容上看,理论课内容的知识点之间有内在的关联,前后连贯、一致性好、理论性强难度大;而电子电路实验课的知识点分散、内容庞杂,有一些为规则性和经验性的知识,容易理解。

从教学方式看,大多数理论课以课堂学习为主,学生通过听讲、作业、答疑等环节,理解和掌握所学知识。而电子电路实验课则是以学生的实验操作为主,通过实际操作,在一定的时间内完成一定的实验任务,加深对相关电路知识的理解并学会运用,同时掌握相关技能并积累实践经验。

### 2. 与验证性实验课不同

作为理工科学生,之前一定有多种实验课的学习经历,但电子电路实验课与之前的验证性实验课相比,在目的、形式等各方面都有所不同。

从目的上看,验证性实验课是通过实际操作或实物展示,加深实验者对相关理论知识的理解和掌握;而电子电路实验课对于电子信息类工科专业学生来说,其更重要的意义在于通过实验掌握相关实践技能,培养实际工作能力,为成为一个合格的工程技术人员打下良好的专业基础。

从课程设置上看,验证性实验课一般附属于相关理论课程,作为理论课程的一部分;而电子电路实验课一般独立设课,有更多课时、独立的教学大纲和完整的教学环节。

## 电子电路实验课的学习目的

当今世界电子技术领域的发展日新月异,先进通信技术、人工智能等方面的飞速发展改变人们的生活和社会生态。电子电路相关知识是电子技术应用的基本理论基础之一,电子电路实验在学生理论学习和实践应用之间,起到不可或缺的桥梁作用,担当着引领学生运用理论进行工程实践的重任,同时肩负着激发创新意识、培养创新能力的使命。

电子电路实验的基本目标,包括以下各项:

- (1) 能够正确识别、选择、检测和使用各种常用电子元器件;
- (2) 认识、学习和应用种类繁多的新器件、新电路;
- (3) 了解常用仪器仪表的基本原理并掌握其使用方法;
- (4) 掌握电子电路的设计、安装和调测技术;
- (5) 能够将电子电路与实际应用相结合,设计并完成实用的电子电路制作;
- (6) 学习通过互联网等渠道,搜集、查阅、分析相关器件资料,锻炼独立工作能力;
- (7) 了解电子电路EDA技术,并能够利用相关EDA工具进行电子电路的分析和设计;
- (8) 能够撰写结构合理规范、内容翔实客观、表达清晰严谨的实验报告。

## 电子电路实验课的基本流程及学习方法

由于电子电路实验课有着与其他课程不同的特点,在进行学习时应采用适当的方法,使实验达到预期目的,取得良好学习效果。

### 1. 进行实验前做充分预习和准备

任何课程的学习都提倡提前预习,但电子电路实验课的预习是必须的环节,缺少这一环节,实验无法顺利进行。理论课程的学习如果缺少预习环节,则学习过程可以从踏进课堂听老师讲课开始,对老师所讲授的内容可以暂时不能全部领会,课后通过作业、答疑、复习等环节逐步理解掌握所学知识。而实验课程的相关要求及完成任务的方案和步骤必须在踏进实验室之前了解掌握,这样在实验操作过程中才能做到有的放矢,减少出错的几率,最大限度利用实验室的资源进行实际动手操作,提高学习效率和实验室的利用率。具体说来,实验前应做好以下几项准备工作:

- 认真阅读实验教材,深入了解实验目的,理解实验任务;
- 查阅相关器件资料了解所用元器件特性;
- 理解实验电路的工作原理或设计好实验电路;
- 制订实验测试步骤,掌握相关测试原理和具体测量方法;
- 设计实验测试用数据表格;
- 了解实验中的注意事项,等等。

### 2. 实验过程中认真操作

实验室中的动手操作是进行实验课程学习的核心环节,实验课程学习的意义不在于得到正确的实验结果,而在于实验操作过程中遇到问题、思考分析问题、解决问题。通过这一过程,积累实践经验和学会运用知识解决问题。所以实验课程的学习是一个过程的学习,只有在实验操作的过程中通过对各种问题和状况进行分析、判断和处理,才能积累经验、锻炼

能力,使工程素质得到提高。

具体说,在实验室中进行操作,应该做到以下几点:

- 严格按照规范合理使用元器件及仪表;
- 严格按照规范进行操作,注意实验安全;
- 仔细观察、勤于思考、勇于探索,善于从各种实验现象中发现问题、分析解决问题;
- 注意培养独立工作能力,操作中遇到问题冷静分析,必要时请求老师的指导并注意从中学习分析问题和解决问题的方法;
- 在实验中严谨认真,规范记录测量的原始数据,培养实事求是的科学态度;
- 实验时按部就班、有条不紊、保持操作台整洁,培养良好的工作习惯和作风。

### 3. 实验后认真总结、撰写实验报告

将已经完成的工作进行归纳、分析和总结,形成一份专业性的书面报告,是工程技术人员的基本素质之一。因此在实验操作完成后认真总结,撰写完整的实验报告,是实验课学习的重要环节。

撰写实验报告时应注意:

- 报告内容完整;
- 对实验结果的分析总结要专业、细致;
- 对实验操作过程中遇到的问题,要仔细进行总结和分析,特别是问题的解决方法和思路应及时总结记录;
- 报告应用词准确、文理通顺;
- 报告应该格式工整,页面整洁。

总之,实验课的各个环节都是做好实验的关键,而做好每一个实验,将使你获得多方面的锻炼、提高和成就感。

## 第2版前言

随着信息技术和移动互联的发展,全民信息化改变了教育的目的、内容、形式等方方面面,实验教学在培养学生工程实践能力、激发创新意识、培养创新能力方面发挥了越来越重要的作用。实验教材需要适应教学需要,为教学效果提供内容上的保障。

本书根据当前的时代特点,综合实际教学需要,在第1版的基础上,做了较大的调整、修订和补充。

### 1. 采用了新的编写架构,使全书内容划分明确、层次清晰

根据内容特点,全书分为4篇,分别是基础知识篇、基本技能篇、EDA工具篇和实验篇。其中基础知识篇包含基本元器件和常用仪表的介绍两章;基本技能篇包含电路安装和调测的方法和技巧以及基本电参数的测量方法两章;EDA工具篇分别介绍了一款电路仿真软件和一款PCB设计软件的使用;实验篇则分为基础型实验和设计应用型实验两章,每章9个实验题目,共给出18个实验题目,实验题目按序列出,改变了第1版中实验题目隐藏在章节中的做法,使相关内容更加直观。

### 2. 内容进行了调整和优化,使之更适应目前实验教学的实际需要

#### ① 删除过时的内容

目前,随着高校实验室建设步伐的加快,实验教学中指针式的模拟式仪表已不见踪影,取而代之的是更加先进的数字式仪表。本书删除了指针式万用表的相关内容,指针式仪表的相关实验项目也一并删除。

#### ② 增加需要的内容

随着越来越重视对创新能力的培养,很多电子信息类相关专业鼓励低年级学生动手设计完成一些电子小制作,学生对掌握手工焊技术的需求提前。因此,在本书的基本技能篇中,增加了手工焊技术的相关内容。同样原因,在EDA工具篇中,在原有的仿真软件使用介绍的基础上,又增加了一款PCB设计软件的介绍。

#### ③ 对保留的内容进行了优化

对保留下来的基本元器件知识、仪器仪表原理、仿真软件介绍等部分进行了仔细梳理,语言表述力求更加简洁准确,更换了部分插图。介绍的仿真软件更新为最新版本,方便读者参考使用。

### 3. 增加了实验项目和实验内容,使实验所涵盖的电路形式更加全面

#### ① 增加了实验项目

在原有的基本技能训练、基本放大电路、波形变换电路等相关实验的基础上,增加了电源、有源滤波、集成功率放大、多谐振荡以及单稳态定时器等实验项目,完善了知识体

系,为进一步地综合设计实验打下基础。

② 扩充了已有的实验项目

部分实验项目由于实验仪表的更新换代,增加了新的测试手段和测试项目。例如,研究放大电路时增加了数字示波器测量输入输出的相位差、测量输出信号的均方根、周期均方根等;用函数信号发生器产生扫频信号作为输入,同时用数字示波器观察输出信号幅度随频率变化的情况,直观感受电路的幅频特性。

另外,还引入多种实用元器件,如敏感电阻、发光二极管、扬声器等,使实验更具实用性和趣味性。

本次教材的修订是以第1版应用于北京邮电大学电路实验中心实验教学的实践为基础,在学校的大力支持下进行的,是编者团队团结协作的结果。修订过程中,电路实验中心领导和老师们给予了大力的支持,并提出了很多宝贵的意见和建议,电子院崔岩松老师也贡献了一部分内容,在此一并表示衷心的感谢!

鉴于编者水平所限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

作者  
2020年3月

# 第1版前言

本书是一本电子电路实验课教材。电子电路实验课的目的是培养学生电子技术的工程实践能力,包括基本测量技能和电路设计与调测能力。因此教材内容的选择特别是实验内容的选择必须根据学生的认知规律,引导学生从简单到复杂、循序渐进地掌握电子电路的实践技能,为学生在相关领域的进一步学习和发展打下坚实基础。

本书各部分内容具有以下特点:

## 1. 元器件介绍图文并茂

在介绍相关元器件时从学生的实际需要出发,重点介绍其性能特点、命名规则、选用原则和检测方法,并配以大量图片,使学生直观认识相关元器件。

## 2. 仪器仪表选取重点类型介绍基本工作原理

近些年来,数字式仪表以其功能多样、测量精确等优点逐渐成为实验室的主角。因此本书有选择性地介绍了数字式万用表和指针式万用表、数字示波器和模拟示波器四种仪表的工作原理和使用原则。在信息传输手段高度发达的今天,各种仪表都会附有详细的用户使用手册等电子资料。仪表厂家甚至为用户提供使用技术培训,因此本书不再涉及具体型号仪表的使用方法,学生仪器仪表的使用训练可根据实验室仪表的具体型号,有针对性地进行。

## 3. 基本测量方法集中介绍,电路参数的测量方法与具体实验项目结合

本书第4章集中介绍了各种基本电参数的测量方法,而各种电路参数和性能指标的测量方法则与相关实验内容和任务紧密结合,使学生能够在实践中有效掌握相关知识和技能。

## 4. 基本电路的测量注重从示范引导到独立自主的过渡

电子电路实验课程的目的是培养学生独立工作能力,因此本书第5章中,有些实验项目示范引导性地给出了实验操作步骤、实验数据表格和操作注意事项,其余实验项目要求学生根据示范,自主拟定实验操作步骤并列出注意事项,培养学生面对任务和问题时的独立自主意识,并锻炼其独立工作能力。

(注:书中带有\*的章节为引导和示范章节,含有相关实验操作步骤、实验数据表格和操作注意事项。学生在进行实验预习时,可以参考这些章节自主进行相关实验操作过程的拟定)

## 5. 典型电路的设计从电路实际应用出发

第6章电路设计与调测部分的一些实验项目,从实际应用的角度提出电路设计任务,引导学生以一个电路设计者的思维进行思考,这样不仅能培养锻炼学生的实际工作能力,还可以更好地激发学生的学习兴趣 and 热情。

## 6. 引导学生有效利用 EDA 工具软件进行电子电路的设计

EDA 软件是当今电路设计的必备工具。本书选择了目前较为流行的 Multisim 软件进行介绍,并在实验项目中对 EDA 工具的使用做了明确要求,促使学生掌握现代化的电子电路设计手段。

本书的撰写是以北京邮电大学电路实验中心几十年的电子电路实验教学实践为基础的,是电路实验中心一代代实验教学工作者辛勤劳动和智慧的积淀,撰写的过程也得到中心领导和老师们的大力支持,在此一并表示敬意和感谢!

鉴于作者水平所限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

作者  
2015年6月

# 目录

## 第 1 篇 基础知识篇

第 1 章 常用电子元器件	3
1.1 电阻器	3
1.1.1 固定电阻器	3
1.1.2 可调电阻器	11
1.1.3 敏感电阻器	15
1.1.4 几种特殊类型电阻器	18
1.2 电容器	20
1.2.1 电容器的分类及命名方法	20
1.2.2 固定电容器的技术指标与标识	22
1.2.3 电容器的选用与测量	24
1.3 电感器	25
1.3.1 电感器的分类及技术指标	26
1.3.2 电感器的标识与检测	27
1.4 常用半导体分立器件	29
1.4.1 半导体分立器件的分类	30
1.4.2 半导体分立器件的型号命名方法	30
1.4.3 半导体分立器件的主要参数	33
1.4.4 半导体分立器件的选用	35
1.4.5 半导体分立器件的检测	36
1.5 集成电路	37
1.5.1 集成电路分类	37
1.5.2 集成电路的型号命名	37
1.5.3 集成电路使用注意事项	39

<b>第2章 常用电子测量仪表</b> .....	42
2.1 数字式万用表 .....	42
2.1.1 数字式万用表基本原理 .....	42
2.1.2 数字式万用表使用注意事项 .....	45
2.2 通用模拟示波器 .....	45
2.2.1 通用模拟示波器工作原理 .....	45
2.2.2 通用模拟示波器的正确使用 .....	53
2.3 数字存储示波器 .....	54
2.3.1 数字存储示波器原理 .....	54
2.3.2 数字存储示波器的使用 .....	58

## 第2篇 基本技能篇

<b>第3章 电子电路的安装与调测</b> .....	63
3.1 电子电路的安装 .....	63
3.1.1 电子电路安装的一般原则 .....	63
3.1.2 在面包板上插接电路 .....	64
3.1.3 手工焊接电路 .....	66
3.2 电子电路的调测 .....	71
3.2.1 电子电路调测的仪表及方法 .....	71
3.2.2 电子电路常见故障的诊断 .....	73
3.3 电子电路中的抗干扰技术 .....	75
3.3.1 噪声与干扰 .....	75
3.3.2 抑制噪声的方法 .....	76
3.3.3 接地技术 .....	78
<b>第4章 基本电子测量方法</b> .....	83
4.1 电压的测量 .....	83
4.1.1 直流电压的测量 .....	83
4.1.2 交流电压的测量 .....	85
4.1.3 噪声电压的测量 .....	88
4.2 电流的测量 .....	89
4.2.1 直流电流的测量 .....	89

4.2.2 交流电流的测量	91
4.3 与时间相关的参数的测量	92
4.3.1 周期的测量	92
4.3.2 时间间隔的测量	93
4.3.3 频率的测量	95
4.3.4 相位差的测量	97
4.4 测量误差与数据处理	99
4.4.1 误差的来源、分类和表示方法	99
4.4.2 测量数据的读取和处理	101

### 第 3 篇 EDA 工具篇

<b>第 5 章 Multisim 仿真软件的使用</b>	107
5.1 Multisim 软件的基本情况	107
5.1.1 Multisim 软件的技术特点	107
5.1.2 Multisim 元器件库介绍	110
5.2 Multisim 软件的基本使用方法	111
5.2.1 建立和保存电路文件	112
5.2.2 观察仿真结果	119
5.2.3 数据分析功能	121
<b>第 6 章 Altium Designer 19 的使用</b>	128
6.1 电路原理图设计	128
6.1.1 新建 PCB 工程	128
6.1.2 新建原理图文件	129
6.1.3 在原理图文件中放置器件	131
6.1.4 在原理图中连接电路	135
6.1.5 在原理图中放置网络标号	136
6.1.6 编译并验证原理图	137
6.2 电路 PCB 设计	138
6.2.1 在工程中添加 PCB 文件并导入原理图设计	138
6.2.2 在 PCB 中对元件进行布局	140
6.2.3 PCB 设计规则的定义与管理	141
6.2.4 在 PCB 上交互式布线	147

6.2.5	PCB 设计规则检查和验证 .....	152
6.2.6	在 3D 视角中查看 PCB .....	154
6.2.7	生成 PCB 制造输出文件 .....	154

## 第 4 篇 实验篇

<b>第 7 章</b>	<b>基础型实验 .....</b>	<b>159</b>
实验一	元器件的识别和检测 .....	159
实验二	戴维南定理和诺顿定理的验证 .....	163
实验三	受控源的实验研究 .....	168
实验四	信号的观察与测量 .....	172
实验五	一阶 RC 电路的实验研究 .....	178
实验六	单级晶体管放大电路的调测 .....	183
实验七	OTL 功率放大器的研究 .....	192
实验八	集成运算放大器基本特性研究 .....	196
实验九	集成功率放大器的测试 .....	201
<b>第 8 章</b>	<b>设计和应用型实验 .....</b>	<b>205</b>
实验一	线性直流稳压电源的设计与实现 .....	205
实验二	单级共射晶体管放大电路的设计与调测 .....	216
实验三	差分放大器的设计与调测 .....	227
实验四	集成运算放大器的线性应用 .....	235
实验五	二阶有源滤波器的设计与调测 .....	245
实验六	电压比较器的设计和应用 .....	257
实验七	运放构成的波形产生电路 .....	265
实验八	正弦振荡电路的设计与调测 .....	274
实验九	脉冲信号产生电路的设计与调测 .....	281
<b>参考文献 .....</b>	<b>291</b>	
<b>附录</b>	<b>实验报告格式 .....</b>	<b>292</b>

# 第 1 篇 基础知识篇

电子元器件是电路实验课程的基础,熟悉电子元器件特性并正确运用是电子电路实验课程的基本目标之一。本篇选取常用的元器件进行了详细介绍,以满足实验课程的基本需要。而随着实验课学习的推进,也鼓励学生学习利用互联网获取相关元器件的知识。

仪器仪表是电子测量的必要工具,本篇介绍了两种具有代表性的常用数字式仪表基本工作原理,并列岀使用注意事项,以帮助读者尽快熟练掌握相关仪表使用,并能够在仪表使用方面举一反三,在以后的实践中,面对不同品牌不同型号类似仪表也能从容应对,得心应手。



# 常用电子元器件

电子电路由各种电子元器件组成。电子元器件种类繁多,最常用的有电阻器、电容器、电感器和半导体器件(二极管、晶体管、场效应管、集成电路等)。

## 1.1 电 阻 器

电阻器是电子线路中应用最为广泛的基本元件。在电子设备中,电阻器主要用来稳定和调节电路中的电流和电压,还起到负载和匹配的作用。电阻器按应用特点可以分为固定电阻器、可调电阻器和敏感电阻器三大类别。

### 1.1.1 固定电阻器

固定电阻器的电阻值是固定不变的,其阻值用其标称阻值表示。固定电阻器符号如图 1.1.1 所示。固定电阻器的产品类型繁多(如图 1.1.2 所示),一般按照其组成材料和结构形式进行分类。目前由于电子产品复杂化和小型化的要求,贴片元件逐渐大行其道,贴片电阻器产品也非常丰富,但在实验中,传统的引线式电阻器仍最为常见。

各种固定电阻器既具有共同的电阻性能,又各有不同的特点。

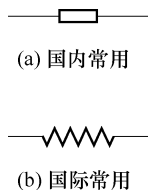


图 1.1.1 固定电阻器符号

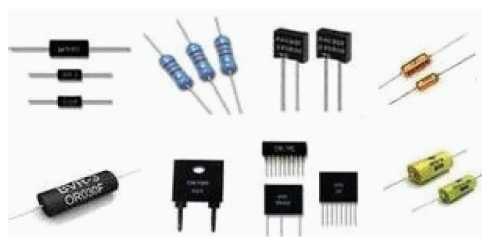


图 1.1.2 各种常见的固定电阻器

#### 1. 几种常见固定电阻器

##### (1) 膜式电阻器

膜式电阻器是最为常见的电阻器,根据膜材料的不同又有碳膜电阻器、金属膜电阻器和金属氧化膜电阻器等,如图 1.1.3 所示。