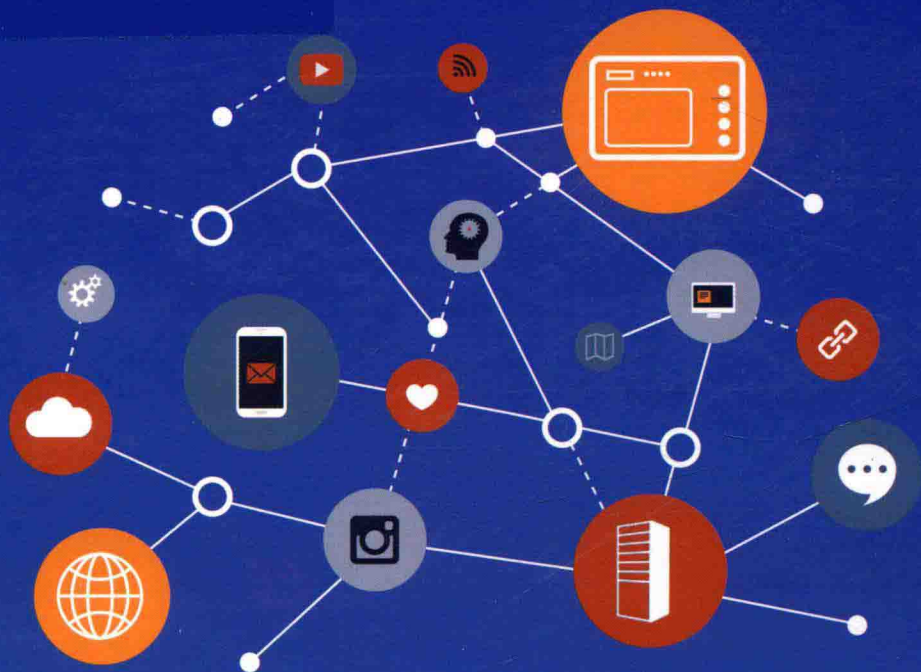




普通高等教育“十三五”规划教材
规划教材·开源口袋实验室系列

LEI 雷实验
Lab of Electronics Intelligence



电工电子学实践教程

孙晖 / 主编

张冶沁 潘丽萍 / 副主编

姜国均 应群民 熊素铭 / 编

蒋黔麟 / 主审

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高
新工科

材
实验室系列

电工电子学实践教程

孙 晖 主 编

张冶沁 潘丽萍 副主编

姜国均 应群民 熊素铭 编

蒋黔麟 主 审



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是电工电子学实验课程教材，共6章，主要内容包括电工电子学实验基础知识、常用仪器仪表与实验系统、Multisim 仿真基础、Verilog HDL 基础及 Vivado 设计工具使用、基础实验和综合实验。本书编写力求理论联系实际，叙述上由浅入深、通俗易懂；编排上循序渐进、融会贯通。本书实验内容及实验方法既方便课堂教学，也适合学生自主性和开放性实验使用。

本书配套齐全的教辅资料，包括：微课视频、A+D Lab 实验操作视频、电子课件、参考教学设计、程序代码、习题参考答案、实验参考结果、实验设备说明等。

本书可作为高等学校非电类专业电工电子系列课程的实验教材和理论教学参考书，也可作为从事电工电子工作的科技人员的技术参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子学实践教程 / 孙晖主编. —北京: 电子工业出版社, 2018.8

ISBN 978-7-121-34823-5

I. ①电… II. ①孙… III. ①电工学—高等学校—教材②电子学—高等学校—教材 IV. ①TM1②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 173180 号

策划编辑: 王羽佳

责任编辑: 裴 杰

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 16 字数: 410 千字

版 次: 2018 年 8 月第 1 版

印 次: 2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 39.90 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：(010) 88254535, wylj@phei.com.cn。

前 言

本书是工科非电类专业学生学习电工电子系列课程的实验教材。本书内容充分考虑了电工电子学实验的基本要求，使学生得到电工电子学的基本技能训练，编写力求理论联系实际，培养学生分析问题和解决问题的能力。

在教学内容上，本书采用分层次方法设计实验，设计了 26 个基础实验，内容涵盖电工电子学理论的各方面。同时还设计了 6 个综合性实验，均组合了若干个不同的知识点，实验内容面向电工电子学理论在不同领域的应用。

在教学方法上，本书吸收了浙江大学电工电子国家级实验教学示范中心近年来优秀的实验教学成果，注重学生课外预习和综合实践。在课外预习上，注重仿真软件和便携式实验平台的使用：通过对实验线路进行仿真，与理论分析、实际实验结果相比较，更能深化对相关理论的理解；便携式实验平台集成了示波器、函数信号发生器、电压表等常用的仪器设备，学生可通过使用便携式实验平台在课外随时随地开展实验操作。在本书部分实验项目的预习要求中，增加了学生使用便携式实验平台验证实际电路的内容。实际电路来自于简化的实验室实验电路，预习能促进学生在实验室完成实验，进一步加深对相关理论的理解，以及拓宽便携式实验设备的应用范围。

考虑到不同学校的需求，除设计较多的基础实验和综合性实验外，在教材内容的编排上，突出灵活性和服务性。实验室设备的说明上传至出版社网站，并不断更新。对每个实验准备了足够多的预习要求，内容包括理论分析、仿真处理、利用便携式实验平台进行实验验证等各项内容，教师可根据实际需求进行取舍。为适应科技发展，本书引进了 Basys3 教学开发板进行数字电子技术实验，同时也保留了采用传统中小规模器件实施组合和时序逻辑电路的分析和设计。此外，Basys3 作为综合性实验的基本实验平台，学生可充分利用 Basys3 集成的丰富资源，或通过附带的 Pmod 接口扩充各类功能，与外部电路相结合，完成某一实际工程应用。

本书配套齐全的教学辅助资料，包括：微课视频、A+D Lab 实验操作视频、电子课件、参考教学设计、程序代码、习题参考答案、实验参考结果、实验设备说明等。

本书第 1 章，第 2 章 2.1 节、2.2 节、2.8 节、2.9 节，第 5 章 5.10 节、5.11 节、5.13 节、5.14 节，第 6 章 6.1 节~6.5 节由孙晖执笔。第 2 章 2.3 节~2.5 节、2.7 节、2.10 节，第 3 章，第 5 章 5.8 节~5.9 节、5.16 节、5.17 节、5.22 节由张冶沁执笔，5.7 节由张冶沁、孙晖共同执笔。第 1 章 1.4 节初稿、第 5 章 5.23 节~5.26 节、第 6 章 6.6 节由潘丽萍执笔。

第5章 5.18节~5.21节由姜国均执笔。第2章 2.6节、第5章 5.1节、5.2节、5.4~5.6节由应群民执笔。第5章 5.3节由熊素铭执笔，第2章 2.11节、第4章、5.12节、5.15节由熊素铭和孙晖共同执笔。有关便携式实验平台的实验内容由孙晖执笔。第5章 5.23节~5.26节、第6章 6.6节由潘丽萍统稿，其余章节由孙晖统稿。全书由孙晖主编。

赵江萍做了基于便携式实验平台的相关实验内容的验证和修订工作，沈远做了第4章和基于 Basys3 教学开发板的相关实验内容的验证和修订工作。

本书由浙江大学蒋黔麟教授主审，蒋教授在审稿中极为严谨，提出了很多宝贵的意见，使编者受益匪浅，在此深表谢意。

本书的撰写得到了教育部在线教育研究中心智慧教学平台（雨课堂）智慧实验项目负责人李甫成先生的大力支持和帮助，在此深表谢意。

本书得到了浙江大学电工电子国家级实验教学示范中心领导和同仁的支持，也得到了电子工业出版社的大力支持，在此深表感谢。

限于编者的水平和时间，书中不妥和错误之处，恳请批评指正。

编 者

2018年7月于浙江大学求是园

目 录

第 1 章 电工电子学实验基础知识	1	2.11.2 主要硬件构成	28
1.1 学习目的和实验任务	1	第 3 章 Multisim 仿真基础	33
1.2 课程基本要求	1	3.1 概述	33
1.3 课程学习方法与步骤	2	3.2 Multisim 的基本界面	33
1.3.1 实验前预习	2	3.2.1 菜单栏	34
1.3.2 实验操作	2	3.2.2 工具栏	35
1.3.3 实验报告的书写	3	3.2.3 常用虚拟仪器介绍	37
1.3.4 排除故障的基本方法	5	3.3 Multisim 的基本操作	42
1.4 安全用电	5	3.3.1 电路板总体设计流程	42
1.5 常用电子元器件认识	6	3.3.2 建立电路	43
1.5.1 电阻器	6	3.3.3 电路仿真	53
1.5.2 电容器	9	3.4 Multisim 仿真实例	62
1.5.3 电感器	11	3.4.1 二极管伏安特性曲线 测量	62
第 2 章 常用仪器仪表与实验系统	13	3.4.2 三相交流电路	62
2.1 概述	13	3.4.3 单管放大电路	66
2.2 直流电源	13	第 4 章 Verilog HDL 基础及 Vivado 设计工具使用	71
2.3 万用表	13	4.1 数字电路 EDA 技术	71
2.4 示波器	14	4.1.1 EDA 技术概述	71
2.5 函数信号发生器	14	4.1.2 FPGA	71
2.6 电工电子综合实验台	15	4.1.3 硬件描述语言	72
2.7 模拟电子技术实验箱	15	4.1.4 FPGA 开发工具	72
2.8 数字电子技术实验箱	15	4.2 Verilog HDL 程序结构与 关键字	72
2.9 可编程控制器	15	4.3 模块	73
2.10 A+D Lab 理工实验套件	16	4.3.1 模块结构	73
2.10.1 A+D Lab 理工实验 套件概述	16	4.3.2 模块的描述方式	76
2.10.2 “雷实验”软件及硬件 仪器的配套软件 界面	17	4.3.3 模块测试	77
2.10.3 应用实例	22	4.4 Verilog HDL 语法	78
2.11 Basys3 数字电路教学 开发板套件	28	4.4.1 标识符	78
2.11.1 Basys3 概述	28	4.4.2 注释	78

4.4.3	常量与变量	79	5.15	基础实验 15 计数、译码和显示—基于 Basys3	162
4.4.4	运算符与表达式	81	5.16	基础实验 16 集成运算放大器应用 (I) ——模拟信号运算电路	166
4.4.5	非阻塞赋值与阻塞赋值	86	5.17	基础实验 17 集成运算放大器应用 (II) ——比较器、波形发生及脉宽调制	169
4.4.6	条件语句与循环语句	87	5.18	基础实验 18 低频功率放大电路	173
4.5	Vivado 设计套件简介	90	5.19	基础实验 19 波形振荡电路	176
4.5.1	Vivado 设计套件概述	90	5.20	基础实验 20 集成定时器及其应用	180
4.5.2	Vivado 设计流程	90	5.21	基础实验 21 有源滤波器	185
4.5.3	Vivado 窗口界面	91	5.22	基础实验 22 直流稳压电源	189
4.5.4	Vivado 软件设计实例	94	5.23	基础实验 23 三相异步电动机的启动及运动控制 (I)	193
第 5 章	基础实验	108	5.24	基础实验 24 三相异步电动机的启动及运动控制 (II)	197
5.1	基础实验 1 基本电量测量及常用仪器仪表的使用	108	5.25	基础实验 25 可编程控制器基本编程 (I)	201
5.2	基础实验 2 电路元件伏安特性测量	111	5.26	基础实验 26 可编程控制器基本编程 (II)	213
5.3	基础实验 3 叠加定理和等效电源定理验证	114	第 6 章	综合实验	216
5.4	基础实验 4 单相交流电路特性及功率因数提高	117	6.1	综合实验 1 温度监测系统	216
5.5	基础实验 5 三相交流电路	120	6.2	综合实验 2 薄膜压力传感器信号获取与应用	221
5.6	基础实验 6 电路频率特性的研究	124	6.3	综合实验 3 音响放大器	227
5.7	基础实验 7 一阶 RC 电路的瞬态分析	128	6.4	综合实验 4 直流电机转速控制、测量和显示系统	234
5.8	基础实验 8 单管电压放大电路	132	6.5	综合实验 5 电动气压止血带设计	238
5.9	基础实验 9 放大电路静态工作点稳定性研究	136	6.6	综合实验 6 三层立体停车库的 PLC 控制	243
5.10	基础实验 10 门电路和组合逻辑电路	139	参考文献		250
5.11	基础实验 11 触发器和时序逻辑电路	145			
5.12	基础实验 12 计数、译码和显示	148			
5.13	基础实验 13 门电路和组合逻辑电路—基于 Basys3	153			
5.14	基础实验 14 触发器和时序逻辑电路—基于 Basys3	157			

第1章 电工电子学实验基础知识

1.1 学习目的和实验任务

电工电子学实验课程以电工电子学理论为基础，侧重于操作技能的培训及综合能力的提高，是一门工程性、技术性、实践性很强的课程。

电工电子学实验课程的学习目的是通过各种实验方法和实验手段，使学生理解和巩固电工电子学的基本理论知识，包括电路原理、模拟电子技术、数字电子技术、电气控制技术等内容；熟悉电工电子技术中常用的仪器设备、仪表以及电子元器件的使用方法；掌握一定的实验技能，包括基本的发现故障、解决故障的能力，积累实验经验，培养良好的实验习惯。同时，培养严谨、细致的科学作风，树立工程实践观，初步具备观察、分析和解决实际问题的能力，为进一步创新能力的培养打下基础。

实验项目是实验的载体，完成实验项目是实验的总体任务。为达到上述目的，实验开展也要循序渐进。电工电子学实验包括基础验证性实验和综合性实验两类，前者主要通过验证电工电子学理论课程的有关原理，使学生能掌握包括电路识图、绘图、接线规范、仪器仪表使用、电路测试等基本技能，熟悉实验的一般程序和规范，培养学生的一般性实践操作技能；综合性实验则以项目应用为背景，根据给定的实验原理，由学生自行拟定实验方案，正确选择仪器仪表，理论联系实际，培养学生的自主实践能力。

1.2 课程基本要求

根据教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会的电工电子学课程教学基本要求，对本课程应体现的能力培养目标，提出以下的教学基本要求。

- ◆ 掌握基本电子仪器、电工仪表的基本功能和使用方法。
- ◆ 理解实验的基本原理，巩固加深基础理论知识。
- ◆ 通过基础验证性实验，能学会识别和绘制电路图，合理布局和连接实验线路，正确测试、准确读取和记录数据，能准确分析实验电路的简单故障，并正确消除。
- ◆ 通过综合性实验，培养一定的自主学习和自主实践能力，包括学会查阅相关技术手册和网上查询资料，自主制定实验方案，设计实验电路，正确选择和使用常用的电子仪器、电工仪表，完成实验连接和性能测试任务。
- ◆ 学会使用至少一款仿真软件，对实验电路进行仿真分析和辅助设计。
- ◆ 用细致、严谨的科学态度观测处理实验数据，同时有一定的工程估算能力。

- ◆ 独立撰写实验报告，学会从实验数据和实验现象中进行归纳、分析和总结。

1.3 课程学习方法与步骤

1.3.1 实验前预习

每次实验前，学生必须做好预习。学生应认真阅读实验指导书和电工电子学理论书籍，明确本次实验的目的，熟悉相关理论知识和实验原理、实验方法。要求学生必须完成实验预习思考题，做好实验内容的理论值计算，以备实验操作时心中有数。

仿真分析是运用计算机软件对电路特性进行分析和调试的虚拟实验手段，在虚拟环境中，不需要真实电路的介入，不必顾及设备短缺和时间环境的限制，已经获得了越来越多的应用。将软件仿真引入电工电子学实验课程，并将其作为实验的一种基本工具贯穿于各个实验中。学生在搭建和测试实际电路之前，可以先通过仿真软件对所设计的电路进行测试，并和理论计算的结果相互印证。

学生应该理解，实验元器件与仪器仪表不同于理想元件和理想的仪器仪表，实际的电子元器件在不同的条件下，有不同的等效模型；有时在电路中接入测量仪表，需要考虑到测量仪表对电路的影响；电源接上不同的负载，电源的输出电压也会受到影响等，从而导致测试的结果与理论计算或仿真的结果出现偏差。学生对此应有一定的工程思维，通过预先查阅所使用的元器件的型号数据、阅读所需使用的仪器设备的使用说明书，了解操作注意事项，熟悉各开关、旋钮、按键的功能和作用等方式，以便进行实验时能顺利操作和测量，同时以备总结时进行误差分析。

实验前预习还包括确定观察内容，画出电路接线图，拟定好待测数据和记录数据的表格。

对于综合性实验，除了上述要求外，还应预先设计电路，了解并选择相关的器件，画出原理图，拟定实验方法和步骤。

学生可通过图书馆、网络等信息资源，更多地了解相关知识，拓宽预习范围，这对积累实验经验、缩短实验时间、提高实验效果和培养实践能力有很大的帮助。不过网上资源有时不具有权威性，也可能存在错误，学生应该注意鉴别。

便携式实验平台也叫“口袋仪器实验室”，是指将实验室的常规仪器的大部分功能集成在一块面积较小的开发板上，学生借助配套软件，可以随时随地开展实践活动。作为实验前预习的补充，学生可利用便携式实验平台在课外实施简单的基于电工电子学课程的硬件实验，同时为在实验室实施硬件实验做好理论和实践的准备。本书中使用的便携式实验平台同时结合了微信交互技术，提供“以学生为中心”的“全过程”线上线下预习和实践体验。

1.3.2 实验操作

为保证实验室的正常运行和实验的顺利进行，学生应该严格遵守相关的实验守则，听从实验指导教师和实验室管理老师的指导。

实验操作前仔细检查仪器仪表是否工作正常,各类接线端子是否完好,连接导线是否无断线。按照实验电路接线图进行接线,连接线路时,通常先连接电源回路,从电源的一端开始,依次连接各元器件,最后到电源的另一端;先连接串联支路,后连接并联支路,先连接大环回路,后连接小环回路;对于较为复杂的电路先连接各个局部电路,后连接成一个整体。仪器和实验板之间的布线顺序可以采用不同颜色的连线来加以区别,以便于检查。如电源正极或高电位常用红色或暖色线,电源负极、低电位或公共地线常用黑色或冷色的连线。接线要连接可靠,以免接触不良,或因连线脱落而造成短路。严禁带电接线、拆线或改接线路。

通电前必须仔细检查实验线路连接是否正确,有无错接、漏接和多接,特别是检查各个接线端子连线是否接触不良。可采用从信号输入到信号输出的次序,也可以围绕主要器件的相关引线为出发点进行。检查电源正负极、电解电容正负极是否接错,各元器件有无漏接或虚焊、连接处有无接触不良、电路是否碰线或电源是否短路、集成电路的方向有没有插反等。检查公共接地是否可靠。检查电源电压和极性是否符合实验要求。特别是针对36V以上的实验电路,接完线路后一定要遵循学生自查、同学互查的程序,确认接线无误。

根据被测电路判断被测量点的信号的数量级,检查各种电工电子仪器仪表面板上测量旋钮的量程是否适当,并调至正确位置。如不能确定被测对象的数值大小,则应将电工电子仪器仪表面板上测量旋钮的位置调到最大量程挡位,待测试过程中再从大到小逐挡改变量程,找到最佳测量所需的挡位。

通电后要集中注意力,仔细观察,谨慎操作,认真读数。如果出现冒烟、有焦糊味、有异常响声等异常现象,应立即关闭电源,保持现场,请示指导教师,待故障处理后再继续实验操作。实验电路调试一般分为由前向后逐级进行基本单元调试和总体电路调试两个阶段。在各个基本单元的调试过程中可以逐个发现问题而逐一解决,最后完成整体总调。在调试过程中一般进行多次“测量-判断-调整-再测量”过程。为使调试顺利进行,在实验电路图上最好标明有关测试点的理论数值以及相应的波形图。

实验的数据要与计算值、仿真值进行比较,找出差距,分析原因,加深理解。针对综合性实验,如有必要,还应尝试改变实验设计思路,重新进行实验。

每次实验完毕,必须关闭实验设备的电源。待检查实验测试内容没有遗漏和错误后再拆线,整理归位所用仪器、设备、导线等工具及器材,搞好实验台台面和周围的清洁卫生,经指导教师同意后,方可离开实验室。

1.3.3 实验报告的书写

实验报告是实验结果的总结和反映,是学生在在校期间应当培养的一项重要技能。对一个实验的评价在很大程度上取决于实验报告质量的高低,因此对撰写实验报告必须予以充分的重视。

1. 实验名称

实验名称是对实验内容的高度概括。一般实验名称写在实验报告的封面或第一页的上方,同时注明实验类型、实验者(包括同组实验人)专业班级、姓名、学号、指导教师及实验日期、实验地点等。要求采用规范的实验报告用纸。

2. 实验目的

实验目的是实验需要达到的目标和效果,用文字简短地描述。

3. 实验设备

在实验中所使用的仪器直接影响实验数据的可靠性和准确性，因此实验报告必须列出所使用的仪器、电源及其他实验装置的类型和型号。这为其他人员得到相同的实验结果提供条件，同时也以备以后复核。

4. 实验原理

实验原理是指通过理论的扼要陈述，画出电路原理图，应用有关公式进行理论计算，对实验结果有科学的预测，把握理论对实验的指导作用。

5. 预习要求

为方便学生预习，实验指导书往往在“预习要求”中给出了一些简答题或计算题等习题，学生需要在做实验之前进行解答，并将相关内容加入到实验报告中。

6. 实验内容

报告中应简短地描述实验方法，附实验电路接线图，简要说明实验操作步骤，对某些复杂或关键步骤及注意事项则需特别指出。但对众所周知的基本知识无须详细说明，例如没有必要写“电压表的红表笔与电源的正极相连，电压表的黑表笔与电源负极相连”等等，而只须写“测量电源电压”即可。

实验数据记录包括原始数据、实测值、理论数据等，可采用列表和作图等方法，必须详细记录数据的来源、数值、单位。作图时，要采用坐标系绘制成曲线，采用坐标系方格纸绘图，必须标注坐标系的原点、坐标含义、坐标刻度等，并合理选择坐标刻度的起点位置（坐标起点不一定要从零开始），当标尺范围很宽时，可采用对数坐标纸来记录。在波形图上通常还应标明被测波形的幅值、周期等参数。可借助计算机工具软件辅助分析和作图，比如采用“Excel”软件等。

7. 实验总结

实验总结是指做实验的收获和体会，按照实验指导书的对应要求展开，主要内容包括实验是否按照实验指导书的设计步骤完成实验，是否达到了实验目标；实验数据是否和理论结果、仿真结果相一致；从实验经历与能力提高等角度撰写实验心得等等。

在书写时还应注意：

(1) 应围绕实验目的写结论，不要写与实验目的不相关的结论，更不要写未经实验证实的结论。

(2) 在没掌握大量数据的情况下，不要作广泛推广的结论。

(3) 在结论中应避免使用“证明”的词。如结论中不要说“结果证明了基尔霍夫定律”，而应说“结果符合基尔霍夫定律”，因为没有任何实验研究可以绝对地证明任何理论。

(4) 用数字说明结论更为清楚。例如可以写，由频率响应数据表明在 1.5kHz 时，增益下降 3dB，则说明低端截止频率是 1.5kHz。

(5) 误差分析是实验报告中的一个重要部分，它包括分析误差产生的因素、误差源、如何和为什么成为误差源、产生误差的大小，应尽可能将误差源产生的误差量化并与实验中产生的总误差联系起来。通过误差计算和分析要找出主要和次要的误差源，以及误差的趋势。

(6) 对实验过程中发现的问题（包括错误操作、出现故障等），要能说明现象、如何查找原因及其过程和解决问题的措施，并总结在处理问题过程中的经验和教训。有时实验可

以发现与实验目的不相符的一些事实,虽然所发现的事实并不是本实验的目的,但必须把这些内容写进实验报告中,并加以分析。

(7) 在报告中,实验者可以提出关于完成此实验的有关建议,例如为测量误差改进实验方法等方面的建议等。若有希望老师给予指导的问题,也可写在实验报告中。

1.3.4 排除故障的基本方法

在实验过程中,出现故障常常是不可避免的。分析故障、排除故障可以提高学生分析和解决问题的能力,也是电工电子学实验的培养目标之一。分析和排除故障的过程,要在反复观察、测试与分析的基础上,逐步缩小故障源的范围,逐步排除某些可能发生故障的元器件,最后在一个小范围内,找到产生故障的原因。

实验中的故障包括电源故障、仪器仪表本身的故障、元器件故障和实验线路故障等。

当电路出现故障时,首先应检查电源的接线,包括电源是否接反,电压幅度是否满足要求,集成块、晶体管等电路中主要元件的供电是否正常等。

检查仪器仪表本身是否出现故障,可尝试根据仪器仪表说明书的要求进行测试确认。

对于实验线路故障,可采用断电检查法、通电检查法、替换法等方式分析处理。断电检查法是指对电路断电后,利用万用表的“欧姆”挡或“二极管”挡,对照实验电路图,对每个元件和接线逐一检查,看有无短路、断路或接线错误等现象;通电检查法是将实验线路根据功能分成若干独立功能模块,明确每个模块的输入和输出,利用示波器、万用表等仪器检查模块内部的端子电压或波形是否满足理论的要求。有时可尝试将模块的输入和前级模块的输出断开,以及将模块的输出和后级模块的输入断开,利用信号源提供模块的输入信号,检查模块中各个端子的电压参数、信号波形等是否满足理论的要求;替换法是指对怀疑有问题的部分采用正常的模块或器件来替换,如果故障现象消失了,电路能够正常工作,则说明故障出现在被替换下来的部分,这样可以缩小故障范围,以便于进一步查找故障原因和部位。

1.4 安全用电

用电安全包括人身安全和设备安全。若伤及人身,轻则灼伤,重则死亡;若发生设备事故,则会损坏设备,而且容易引起火灾或爆炸。因此必须十分重视安全用电并具备安全用电的基本知识。学生做实验时,必须遵循以下安全用电操作规范:

- ◆ 在实验前必须先检查用电设备,再接通电源。
- ◆ 实验结束后,先关仪器设备,再关闭电源。
- ◆ 如遇突然断电,应关闭电源。
- ◆ 电气设备在未验明无电时,一律认为有电,不能盲目触及。
- ◆ 切勿带电插、拔、连接电气线路。
- ◆ 在做需要带电操作的低电压电路实验时,单手操作比双手操作安全。

人体触电是指人作为一种导体,触及有电位差的带电体后,电流流过人体造成伤害。

触电对人体的伤害程度与通过人体的电流大小、电流频率、电流通过人体的路径、触电持续时间等因素有关。当通过人体的电流很微小时，仅使触电部分的肌肉发生轻微痉挛或刺痛。一般认为当通过人体的电流超过 50mA 时，肌肉的痉挛加剧，使触电者不能自行脱离带电体，持续一定时间便导致中枢神经系统麻痹，严重时可能引起死亡。

人触电后，由于痉挛或失去知觉，会紧握带电体而不能自己摆脱电源。因此，若发现有人触电，应采取一切可行的措施，迅速使其脱离电源，这是救活触电者的一个重要方法。

实验研究和统计都表明，如果从触电后 1min 即开始救治，则有 90% 的可能性救活触电者；如果从触电后 6min 即开始救治，则有 10% 的可能性救活触电者；而从触电后 12min 才开始救治，则救活的可能性就极小。因此当发现有人触电时，应立即争分夺秒，采用一切可能的办法迅速进行救治，以免错过时机。

现场人员应沉着迅速地做出判断，果断地断开与触电处电源有联系的所有各侧电源的断路器，根据现场指示及其他信号，证明触电者触及的电气设备确已断电，然后做好自我保护措施，尽可能利用现场绝缘用具，如穿绝缘靴，戴绝缘手套，设法让触电者身体与导体分开，将其救至安全地点，迅速施行触电急救。

触电后的急救方法应随触电者所处的状态而定。通常，在所有触电情况下无论触电者状况如何，都必须立即请医务人员前来救治。在医务人员到来之前，应迅速实施以下相应的急救措施：

如果触电者尚有知觉，但在此以前处于昏迷状态或者长时间触电，则应该使其舒适地躺在木板上，并盖好衣服；在医务人员来到之前，应保持安静，不断地观察其呼吸状况和测试脉搏。

如果触电者已失去知觉，但仍有平稳的呼吸和脉搏，也应使其舒适地躺在木板上，并解开他的腰带和衣服，保持空气流通和安静，有可能时要让他闻氨水和往其脸上洒些水。

如果触电者呼吸困难（呼吸微弱、发生痉挛、发现唏嘘声），则应进行人工呼吸和心脏按摩。

如果触电者已无生命特征（呼吸和心跳均停止没有脉搏），也不得认为其已死亡，因为触电者往往有假死现象。在这种情况下应立即进行人工呼吸和心脏按摩。

急救一般应在现场就地进行。只有当现场继续威胁着触电者，或者在现场施行施救存在很大困难（黑暗、拥挤、下雨、下雪等）时，才考虑把触电者抬到其他安全地点。

1.5 常用电子元器件认识

1.5.1 电阻器

1. 电阻器概述

电阻器在电路中常用作负载、分压器、分流器和限流器等，是属于消耗电能的一种电路器件。按照其制作材料，实验室经常采用的电阻器有线绕电阻器、炭质电阻器、碳膜电阻器、金属膜电阻器和金属氧化镁电阻器等。

电阻器的等效电路如图 1.5-1 所示，图 1.5-1 (a) 适用于直流稳态电路以及低频电路中

使用的电阻器,是电阻器最常用也是最简单的等效电路;在频率较高的电路中,有时考虑电阻器上附加电感的影响,采用如图 1.5-1 (b) 所示的等效电路;而对于高阻值的电阻器有时需要考虑其附加电容的影响,采用如图 1.5-1 (c) 所示的等效电路。这些附加的 L 或 C 值与电流通过电阻器时所产生的磁场和电场相关联,所以具体应用中要具体分析,选择合适材质的电阻可以尽可能减小甚至忽略这些附加参数的影响。

电阻器按结构可分为固定式和可变式两大类。固定式电阻器的阻值固定不变;可变式电阻器的阻值随人为调节变化或某一特性呈规律性变化。可人为调节的电阻器称为电位器,它是一种具有两个固定端和一个滑动端头的可变电阻器,有些电位器还带有开关;按外部特性呈规律变化的属于特殊电阻器,例如光敏电阻器、压敏电阻器、热敏电阻器等,随着光照亮度、压力强度、热体温度的变化而改变电阻值。

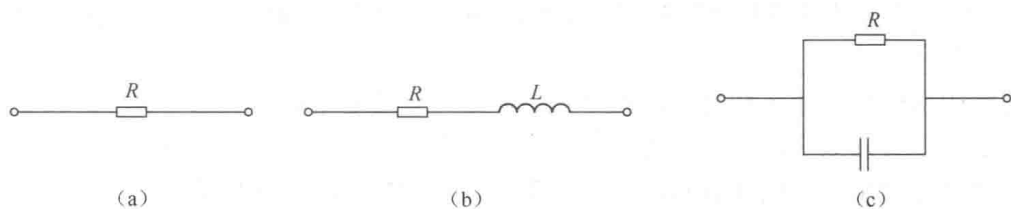


图 1.5-1 电阻器等效电路

2. 电阻器的主要参数

电阻器的主要参数包括标称阻值、允许误差(精度等级)、额定功率、温度系数、噪声、最高工作电压、高频特性等。在选用电阻器时一般只考虑标称阻值、允许误差和额定功率这三项参数,其他参数在有特殊需要时才考虑。

(1) 额定功率

额定功率是指在标准大气压和规定的环境温度(20℃)、电阻器长期连续工作而不改变其性能的前提下,电阻器上允许消耗的最大功率。它的规格有 19 个等级,实际使用中较多的有 1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W 等。在实际使用中,当使用功率超过了额定功率时,会使电阻器因过热而改变阻值甚至被烧毁。为保证安全使用,一般选用的额定功率应大于实际消耗功率的 1.5~2 倍以上。

(2) 标称阻值

标称阻值是指厂家标注在电阻上的阻值,其单位为欧姆(Ω)、千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$),它们三者的关系为

$$1\Omega = 10^{-3}k\Omega = 10^{-6}M\Omega$$

各系列电阻器产品标称阻值的间隔有一定的规定,在电路设计时,计算出的电阻值要尽量选择成标称系列值,这样才能在市场上选购到所需的电阻器。

(3) 允许误差

允许误差是指电阻器实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围,它表示产品的精度。允许误差等级见表 1.5-1。

表 1.5-1 电阻器允许误差等级

级别	005	01	02	I	II	III
允许误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

3. 电阻器的命名方法

电阻器的命名标准见表 1.5-2。如 RJ71-0.25-10KI 型电阻器的命名含义如图 1.5-2 所示。

4. 电阻器的标志方法

(1) 直标法

将电阻器参数直接标注在电阻器上，一般只写标称值和误差。超过 2W 的电阻器通常还写上额定功率。

在直接标注法中，可将文字、数字两者有规律组合起来表示电阻器的阻值，如 $3.5k\Omega=3K5$ ； $6.2\Omega=6R2=6\Omega 2$ 。

(2) 数字法

将电阻器标称值用有效数字和倍率数字标注在电阻器上，最后 1 位数字 n 表示 10 的 n 次方（倍率）。例如 $103=10 \times 10^3\Omega=10k\Omega$ ； $4501=450 \times 10^1\Omega=4.5k\Omega$ ； $5600=560 \times 10^0\Omega=560\Omega$ 。

(3) 色环法

将电阻器的标称值·和允许误差用色环标注。普通电阻用四个色环表示，其中前 2 个色环表示 2 位有效数字，第 3 个色环表示倍率，第 4 个色环表示允许误差，如图 1.5-3 (a) 所示；精密电阻用 5 个色环表示，其中前 3 位是有效数字，第 4 位是倍率，最后 1 位是允许误差，如图 1.5-3 (b) 所示。

表 1.5-2 电阻器命名标准

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
主称：用字母表示		材料：用字母表示		特征：用数字或字母表示		序号：用数字表示
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
R RP	电阻器 电位器	T	碳膜	1,2	普通	包括额定功率、阻值、允许误差、精度等级
		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	
		J	金属膜（箔）		电位器-特殊函数	
		Y	氧化膜	9	特殊	
		S	有机实心	G	高功率	
		N	无机实心	T	可调	
		X	线绕	X	小型	
		R	热敏	L	测量用	
		G	光敏	W	微调	
M	压敏	D	多圈			

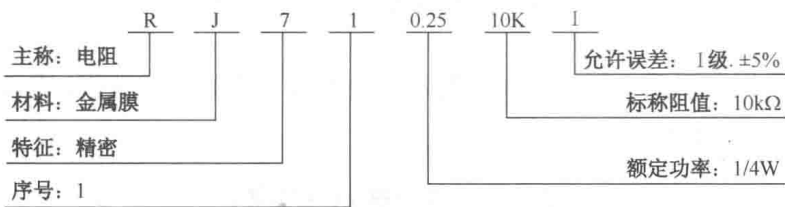


图 1.5-2 RJ71-0.25-10KI 型电阻器的命名含义

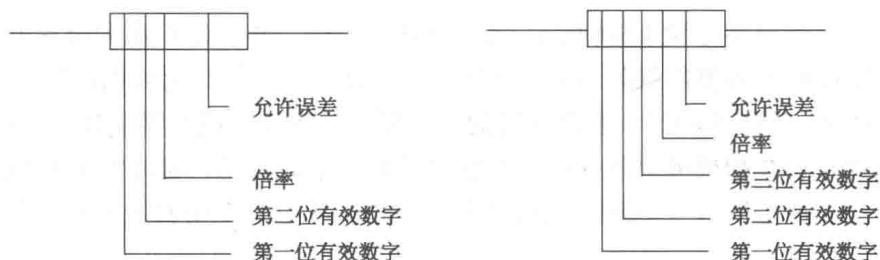


图 1.5-3 电阻器色环所表示的含义

表 1.5-3 给出了电阻色环对应的数字和允许误差。

表 1.5-3 电阻色环对应的数字和允许误差

颜色	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	本色
数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
允许误差%		±1	±2			±0.5	±0.25				±5	±10	±20

四环电阻器多以金色（±5%允许误差）或银色（±10%允许误差）作为允许误差环，五环电阻器多以棕色（±1%允许误差）作为允许误差环。为方便识别，允许误差环（最后色环）和倍率环（倒数第二环）之间的间距往往比其他环之间的间距大。

例如某电阻器的色环颜色为黄、紫、橙、金，则表示电阻阻值为 $47 \times 10^3 \Omega = 47\text{k}\Omega$ ，允许误差为 $47000 \times (\pm 5\%) = \pm 2350\Omega = \pm 2.35\text{k}\Omega$ 。

若色环电阻器标记不清或个人辨色能力差时，只能用可测电阻的仪表比如万用表测量其电阻值。

1.5.2 电容器

1. 电容器概述

电容器是由极间放有绝缘电介质的两金属板电极构成的电路器件，在电路中属于储能元件，主要用于隔直流、通交流、阻低频、通高频等应用。电容器按其工作电压可分为高压电容器和低压电容器；按结构可分为固定电容器、可变电容器和微调电容器；按介质材料可分为云母电容器、瓷介电容器、电解电容器、纸介电容器等；按电容量与电压的关系，电容器可分为线性电容器和非线性电容器；按电容器在电路中的应用，可分为隔直电容器、旁路电容器、耦合电容器、滤波电容器、调谐电容器等。

实验室常用的电容器包括瓷介电容器和电解电容器，其中瓷介电容器以高介电常数、低损耗的陶瓷材料作为介质的电容器。它的特点是体积小、损耗小、温度系数小，可工作在超高频范围，耐压较低、容量较小。电解电容器是以铝、钽、铌、钛等金属氧化膜作为介质的电容器。和瓷介电容器相比，电解电容器容量大、体积大、耐压高。电解电容的缺点是容量误差大、且随频率而变动，绝缘电阻低。电解电容有正、负之分，一般在电容器外壳上标有“-”记号，对应“-”记号的引脚为负端，另外一端为正端。一般引脚引线的为“+”端，引线短的为“-”端。使用时务必将电解电容的“+”端引脚接在电路的正极性端，若接反，电解作用会反向进行，氧化膜很快变薄，漏电流急剧增加。如果所加的直流电压过大，则电容器很快发热，甚至会引起爆炸。

电容器的等效电路如图 1.5-4 所示。图 1.5-4 (a) 中, 其电容 C 由介质中的电场储能能力决定, 电导 G 由电容器的损耗决定, 包括介质的直流泄漏和交流极化损耗, 一般应用时, 可忽略 G 的影响 (视为断开)。当电容器的工作频率较高或是电容器极板尺寸相对较大时, 需要考虑电流在引线和极板上传导所引起的损耗和产生的磁场, 这时要采用如图 1.5-4 (b) 或图 1.5-4 (c) 所示的等效电路。大尺寸电容在超高频电路中则要采用具有分布参数的等效电路。

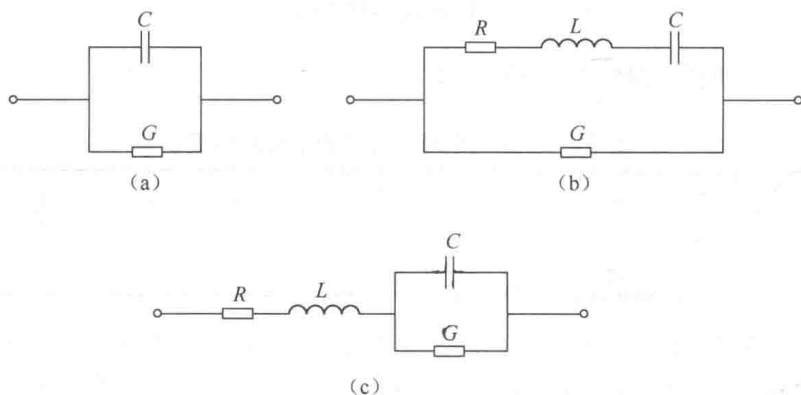


图 1.5-4 电容器等效电路图

2. 电容器的主要参数

电容器的主要参数有标称电容量、允许误差、耐压等。

(1) 标称电容量

电容量的标称电容量也叫电容量的标称值, 是指该电容器在正常工作条件下的电容量, 其单位有皮法 (pF)、纳法 (nF)、微法 (μF)、法 (F)。它们之间的关系为

$$1\text{pF}=10^{-3}\text{nF}=10^{-6}\mu\text{F}=10^{-12}\text{F}$$

各系列电容器产品标称电容的间隔有一定的规定, 在电路设计时, 计算出的电容量要尽量选择成标称系列值, 这样才能在市场上选购到所需的电容器。

(2) 允许误差

允许误差是实际电容量对于标称电容量的最大允许偏差范围。固定电容器的允许误差分 8 级, 见表 1.5-4。

表 1.5-4 固定电容器允许误差等级

级别	01	02	I	II	III	IV	V	VI
允许误差	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	20%~-30%	50%~-20%	100%~-10%

(3) 耐压

耐压值是指电容器在规定的工作温度范围内, 在电路中能够长期可靠工作所能承受的最高电压, 与介质的种类和厚度有关。如果电容器工作在交流电路中, 则交流电压的峰值不得超过额定电压。从安全性考虑, 选择电容器的耐压值应不小于实际工作电压的 $\sqrt{2}$ 倍, 以免击穿电容器。

3. 电容器的命名方法

电容器的命名标准见表 1.5-5。