



普通高等教育“十三五”规划教材
电工电子基础课程规划教材

电路实验与实践教程

■ 张志立 邓海琴 余定鑫 主编



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>

普通高等教育“十三五”规划教材
电工电子基础课程规划教材

电路实验与实践教程

张志立 邓海琴 余定鑫 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书内容涵盖基础性实验与综合性实践项目,帮助学生较为全面地掌握电路实验和工程实践的技能。全书共分为九章,主要内容包括:绪论,常用电子元器件基础知识,常用电测量仪表及仪器的使用,实验数据基本知识,电路实验内容,Multisim10 仿真实验,安全用电的常识,焊接技术,电路实训项目。本书配有多媒体电子教案。

本书既可作为高等工科学校电气、信息类专业的电路实验与实践教材,也可供相关领域的工程技术人员学习、参考。

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

电路实验与实践教程/张志立,邓海琴,余定鑫主编. —北京:电子工业出版社,2016.3

电工电子基础课程规划教材

ISBN 978-7-121-27506-7

I. ①电… II. ①张… ②邓… ③余… III. ①电路—实验—高等学校—教材 IV. ①TM13-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第263668号

策划编辑:王晓庆

责任编辑:郝黎明

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:787×1092 1/16 印张:14.75 字数:378千字

版 次:2016年3月第1版

印 次:2016年3月第1次印刷

印 数:3000册 定价:36.00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。

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。

服务热线:(010)88258888。

前 言

随着电气、电子信息科学技术的迅猛发展，高等教育对电气信息类专业课程体系的改革、课程内容的更新和实践动手能力的培养等提出了更高的要求。在高等学校加强通识教育、素质教育、创新能力培养的大背景下，实践教学在高等教育中的地位不断提升。

“电路实验”课程是高等学校本科电气信息类专业的第一门重要的专业基础实践课程，与之相对应的理论课程为“电路”。通过电路实验的动手实践，对学生树立严肃认真的科学作风，形成理论联系实际的工程观点，获得实验研究能力、科学分析能力、现代化工具使用能力和工程实践能力等方面都具有重要的作用。同时，作为电路理论课程的补充，可使学生在掌握电路的基本理论和分析方法的同时，掌握实践技能、仿真分析和系统装配的初步技能。培养学生研究实践、主动学习、自主动手和独立解决工程问题的研究能力和创新意识，为后续专业课程和从事工程技术奠定电路实践基础，是我们编写这本教材的根本目的与宗旨。

该教材有如下特色：

- 明确实验预习要求，引导学生在动手实验之前进行有针对性的预习工作，提高学生在整个电路实验教学中自主学习的动力和主体地位。
- 在内容及描述上，强调电路理论与实践应用的有机结合，将理论知识形象化和具体化，帮助学生加深对电路理论的理解和掌握。
- 重视实践教学，培养学生动手能力和工程实践技能。介绍安全用电常识及手工焊接方法，结合工程性、功能性和趣味性共提供了 13 个基础实验项目和 3 个具有实用性的综合电子产品装配实训。
- 该教材注重将计算机技术的最新发展适当地引入到教学中来，保持了教学内容的先进性。选择了一种仿真软件（Multisim），结合软件使用方法和仿真实验内容，介绍其在电路分析中的应用。

全书共分 9 章和附录 A、B。教材主要内容：绪论介绍电路实验课程的教学方式和基本要求；第 1 章讲述常用电子元器件基础知识，介绍识别与使用电阻器、电容器、电感器和常用半导体器件相关的基础知识；第 2 章讲述常用电测量仪表及仪器的使用；第 3 章讲述实验数据基本知识；第 4 章讲述基础电路实验内容，共包括 13 个基础实验项目；第 5 章讲述 Multisim10 仿真，介绍如何使用该仿真软件对电路进行分析；第 6 章讲述安全用电的常识，介绍供电基本知识与安全用电基本知识；第 7 章讲述焊接技术，介绍手工焊接的方法；第 8 章讲述电路实训项目，介绍 3 个完整的电子产品的装配方法；附录 A、B 介绍电路实验中需要用到的电工实验板与电工技术实验系统。

通过学习本书，你可以：

- 了解常用电子元器件基础知识。
- 认识常用电测量仪表及仪器。
- 掌握电路实验基本测量及分析方法。
- 学会使用 Multisim 仿真软件分析电路。
- 能够手工焊接制作一个实用的电子小产品。

本书语言简明扼要、通俗易懂，具有很强的专业性、技术性和实用性。本书可作为高等学校电气、信息类专业的电路实验与实践教材，也可供相关领域的工程技术人员学习、参考。

教学中，可以根据教学对象和学时等具体情况对书中的内容进行删减和组合，也可以进行适当扩展，参考学时为 16~24 学时。为适应教学模式、教学方法和手段的改革，本书配有多媒体电子教案，请登录华信教育资源网（<http://www.hxedu.com.cn>）注册下载。

本书第 1、4、5 章由张志立编写，绪论、第 2、6、7、8 章及附录 A、B 由邓海琴编写，第 3 章由余定鑫编写。电子工业出版社的王晓庆编辑为本书的出版做了大量工作，在此一并表示感谢！

本书的编写参考了大量近年来出版的相关技术资料与教材，吸取了许多专家和同仁的宝贵经验，在此向他们深表谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者提出批评和改进意见。

编 者
2016 年 1 月

目 录

绪论	1
0.1 电路实验的目标与任务	1
0.2 电路实验的教学方式	2
0.3 电路实验的基本要求	3
0.4 电路实验室安全用电须知	7
第 1 章 常用电子元件基础知识	10
1.1 电阻器、电容器和电感器	10
1.1.1 常用电阻器	10
1.1.2 常用电容器	15
1.1.3 常用电感器	18
1.2 常用半导体器件	20
1.2.1 晶体二极管	20
1.2.2 晶体三极管	23
1.2.3 场效应晶体管	26
第 2 章 常用电测量仪表及仪器的使用	29
2.1 常用电测量仪表及其使用	29
2.1.1 常用电测量仪表的分类与选用	29
2.1.2 磁电式、电磁式、电动式测量仪表	31
2.1.3 万用表	41
2.1.4 其他电测量仪表	44
2.2 常用电子仪器及其使用	46
2.2.1 直流稳压电源	47
2.2.2 单相调压变压器	48
2.2.3 函数信号发生器	49
2.2.4 交流毫伏表	51
2.2.5 示波器	52
第 3 章 实验数据基本知识	60
3.1 测量误差及误差分析	60
3.1.1 测量误差的分类	60
3.1.2 误差的处理	61
3.1.3 测量误差的表示方法	61
3.2 实验数据的处理	62

3.2.1	测量中有效数字的处理	62
3.2.2	实验数据的处理方法	64
第 4 章	电路实验内容	65
4.1	电路元件的伏安特性	65
4.2	基尔霍夫定律的验证	68
4.3	叠加定理的验证	71
4.4	戴维南定理、诺顿定理和最大功率传输定理的验证	73
4.5	运算放大器和受控电源的实验研究	78
4.6	交流电路参数的测定	85
4.7	功率因数的提高	91
4.8	三相电路	95
4.9	互感电路	99
4.10	常用电子仪器的使用	104
4.11	串联谐振电路的研究	109
4.12	RC 网络频率特性的研究	114
4.13	一阶 RC 电路的时域响应	119
第 5 章	Multisim 10 仿真实验	125
5.1	概述	125
5.2	Multisim 10 基本界面简介	125
5.2.1	Multisim 10 的主菜单栏	126
5.2.2	Multisim 10 的系统工具栏	129
5.2.3	Multisim 10 的设计工具栏	130
5.2.4	Multisim 10 的仿真开关	130
5.2.5	Multisim 10 的元器件工具栏	130
5.2.6	Multisim 10 的虚拟仪器工具栏	133
5.3	Multisim 10 仿真分析直流电路定理	138
5.4	Multisim 10 仿真分析受控源特性	144
5.5	Multisim 10 仿真分析三相电路	147
5.6	Multisim 10 仿真分析动态电路时域响应	151
5.7	Multisim 10 仿真分析无源滤波器频率特性	155
第 6 章	安全用电的常识	159
6.1	供电基本知识	159
6.1.1	电能的生产	159
6.1.2	电能的输送	160
6.1.3	电能的分配	161
6.1.4	电能的使用	163
6.2	安全用电基本知识	163
6.2.1	安全用电	163

6.2.2	电气事故	164
6.2.3	触电	165
6.3	触电急救与预防	168
6.3.1	触电急救的措施	168
6.3.2	触电急救的方法	169
6.3.3	触电的预防	171
6.4	实验室安全用电知识	172
第 7 章	焊接技术	174
7.1	焊接技术简介	174
7.1.1	焊接技术基础	174
7.1.2	锡焊	175
7.2	手工焊接技术	178
7.2.1	常用手工焊接工具及材料	178
7.2.2	手工焊接过程	182
7.2.3	手工焊接注意事项	186
7.3	手工焊接的分类	187
7.3.1	电子元件的焊接	187
7.3.2	导线的焊接	190
7.3.3	拆焊	191
第 8 章	电路实训项目	194
8.1	电路实训概述	194
8.1.1	电路实训	194
8.1.2	电路实训的准备知识	195
8.1.3	电路实训的过程	195
8.2	MF47 型指针式万用表的组装与调试	197
8.3	声光控延时灯的组装与调试	214
8.4	充电器的组装与调试	218
附录 A	DGL-I 电工实验板	226
附录 B	DGL-I 型电工技术实验系统	227
参考文献		228

绪 论

“电路实验”是高等学校本科电气信息类专业的第一门重要的专业基础实践课，是电路理论课程的重要环节，在培养学生实验验证理论、实验实践动手能力等方面起着举足轻重的作用。电路实验把抽象的电路理论知识演绎于感性层面，并注重理论指导下实验与实践技能的提高，可以培养学生积极思考、主动学习、自主动手和独立解决工程问题的研究能力和创新意识，为后续专业课程的学习和从事工程技术领域奠定基础。

0.1 电路实验的目标与任务

电路实验作为专业基础实践课，已经由单一的验证原理和掌握实验操作技能，拓展为一门综合技能训练的实践课程，成为实验技能基本训练的重要环节。因此，电路实验教学首先要注重训练学生的基本实验技能，要求学生熟练使用基本的实验仪器，掌握基础的实验方法；其次电路实验要实现多层次、多类型的实验教学内容，引导学生在具备扎实的基本功之后，发挥能动性和创造性；再次，电路实验可引入实践性强、趣味性强的实践内容，激发学生学习的兴趣。

根据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会拟定的电路基础课程教学基本要求，结合高级应用型人才培养目标，电路实验教学基本要求如下：

① 能正确使用常用的电测量仪表、电子仪器、实验设备和电工工具，熟悉电子电路中常用的元器件的性能。

② 将理论联系实际，学会识别电路原理图，用理论知识指导实验与实践；通过实验，加深理论与实践的联系，体会理论对实践的指导意义。

③ 具备实验与实践的实际动手能力。能够完成实验电路的合理布局、接线、测试、准确读取和记录数据，能够排除实验电路的简单故障和解决实验电路中常见的问题；能够在教师的指导下完成电路实训产品的组装与调试工作。

④ 具备一定的实际工作能力，能够独立完成实验任务与实训项目，独立撰写实验报告与实训总结；能够正确整理实验数据、绘制曲线图表和误差分析，具有一定的工程估算能力；能够从实验现象、实验结果中归纳、分析和创新实验方法。

⑤ 学会查阅相关技术手册和网上查询资料，并通过查询到的资料完成实验与实训相关课外知识的自主学习；学会使用 Multisim 等仿真软件，对实验电路进行仿真分析和辅助设计。

⑥ 在实验过程中，要求做到“一人一组，独立操作”，要求遵守纪律、遵守电学实验室的相关操作规程，实验过程中态度要严肃认真，操作与数据记录要实事求是，要勤奋钻研、勇于创新。

⑦ 特别注意的是，必须要掌握一般的安全用电常识，做到安全用电、安全实验！

0.2 电路实验的教学方式

1. 电路实验与实践课程安排

针对应用型人才培养目标，在本科第三学期，面向电类专业开设的电路实验与实践课程体系如图 0.2.1 所示。

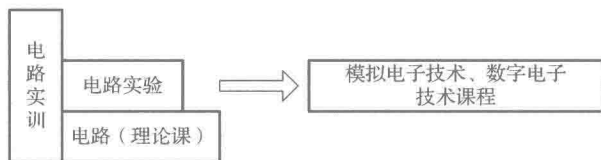


图 0.2.1 电路实验与实践课程体系示意图

图 0.2.1 说明了我校电类专业的电路课程结构是：先由实践课程（实训、实习）入门，让学生对相应课程的内容有初步而形象的认识（通过具体而形象的实践项目激发学生对该课程的兴趣），然后将电路理论教学与电路实验教学“双管齐下”，让抽象的电路理论在实验中得到直观的验证，使学生学习电路理论的难度大大下降，同时也提高学生实验与实践的能力。因此，完整的电路实验与实践课程在内容设置上分为 3 种：①电路实训：在教师指导下，由学生独立完成一项具有应用意义的产品的组装和调试（如 MF47 指针式万用表），培养学生工程实践能力，激发学生的实验与实践兴趣；②基础性验证性实验：即以元器件特性、参数测量和基本单元为实验电路，根据实验目的、实验任务和实验步骤，验证电路理论课程的有关原理，巩固所学的理论知识，掌握包括电路识图、接线规范、仪器仪表的使用、简单故障排除、数据记录分析、处理常见问题等基本技能；③提高性实验：给定实验电路，由学生自行拟定实验方案（包括理论依据），正确选择仪器，完成电路连接和性能测试任务，并能够解决实验中出现的故障（包括故障排除）。在完成电路理论、实验与实践课程之后，学生将会进入模拟电子技术、数字电子技术的理论与实验、实习、课程设计等相关课程的学习，从而形成完整的专业基础课程体系。

2. 电路实验过程

电路实验要求“一人一组，独立完成”。弱电实验每班由 1 名教师讲解、指导，负责实验任务、原理、仪器使用方法、操作注意事项等内容的讲解，并检查学生预习情况，指导学生正确的实验操作方法，解答学生在实验中所出现的问题，处理实验故障，检查实验结果，批改实验报告，在期末考核学生的实验能力及评定成绩。强电实验每班增加 1 名指导教师，共同检查实验接线，负责实验过程中的安全用电。

良好的实验操作方法与正确的操作程序是实验顺利进行的有效保证。每次上电路实验课时，学生应提前预习实验内容，熟悉设备，撰写预习报告，并提交上一次实验报告。如图 0.2.2 所示为常规实验的操作方法，其详细说明见 0.3 节电路实验的基本要求。



图 0.2.2 电路实验课操作方法

3. 电路实验成绩评定方法

电路实验与实践由两门学时、学分独立的课程组成，即电路实训、电路实验。电路实训的评分标准据具体实训项目给定；电路实验成绩评定的方法如表 0.2.1 所列。

表 0.2.1 电路实验成绩评定方法

占总成绩比例项	说明	平时与考试内容	每项内容比例
平时成绩 60%	每个实验单独计算成绩，不同实验计分比例有调整	实验预习	30%
		实验操作	30%
		实验报告	40%
考试成绩 40%	由实验理论考试与实验操作考试共同构成	实验理论考试	40%
		实验操作考试	60%
备注	以上比例会有调整，总分以百分制提交		

0.3 电路实验的基本要求

一个电路实验，从相关知识的预习开始，经过实验电路的连接、实验现象的观察，到实验数据的测量与记录、数据处理，以及实验过程中异常现象与故障的排除，直至撰写出完整的实验报告，每个环节都会直接影响实验效果。因此，电路实验应按以下要求做好相关阶段的工作。

1. 预习要求

实验课前的预习准备是关系到实验能否顺利进行和收到预期效果的重要前提，否则可能事倍功半，甚至会损坏实验仪器、设备或发生人身安全事故。因此，在实验开始前，教师应对学生的预习情况进行检查，不了解实验内容和无预习报告者不能参加实验。

预习的主要要求如下：

① 实验教材中每个实验都已明确提出预习要求。学生必须在实验课前根据具体实验预习要求认真预习。

② 认真阅读实验教程，了解实验内容和目的，明确实验任务与实验条件。

③ 查阅理论教材、实验指导书或通过其他途径查阅相关资料，掌握实验相关的理论知识，理解电路原理。

④ 查阅本书第二章内容，预习、了解实验仪器、仪表的使用方法。

⑤ 了解实验方法、实验步骤与注意事项，熟悉实验接线图。

⑥ 根据实验任务，拟好实验数据与结果记录表格。

⑦ 认真撰写预习报告，并回答预习要求中所列出的习题与思考题。

注意：预习报告是实验报告的一部分，预习报告需要撰写的详细内容参见实验报告要求。

2. 实验要求

实验过程中首先要严格遵守电路实验室的相关操作规程与安全用电守则；然后在预习报告的指导下，按照操作步骤有条不紊地进行实验操作。实验操作包括：熟悉、检验和使用元器件与仪器设备，连接实验线路，实验测试与数据记录以及实验后的仪器、设备整理等工作程序。

(1) 熟悉、检验和使用元器件与仪器设备。

首先，实验器件与仪器设备不同于理想元件，同一种性质（类型）的器件或者仪器设备会因型号和用途的不同，在外观上存在一定差异，在标称值和精度等特性方面也有很大差别；其次，实验器件与仪器设备在实验室是反复使用的，在每次使用过程中会有磨损，甚至会有意外的损坏。因此，在实验前必须了解、熟悉它们的功能、基本原理和操作方法，并简单检查实验器件与仪器设备的工作状态、磨损情况，然后在实验过程中正确选用。

(2) 连接实验线路。

连接实验线路是实验过程中的关键性工作，应该养成良好的操作习惯，并逐步积累实践经验，不断提高实验操作水平。连接实验线路时需要做好以下三方面的工作。

① 合理摆放实验对象。实验用电源、负载、测量仪器等设备应遵循的摆放原则为：实验设备摆放后应使得电路布局合理、连线简单（连接线短且用量少），便于进行调整和读取数据等操作，设备的位置、各设备间的距离及跨接线长短应对实验结果的影响尽量小；对于信号频率较高的实验还应注意干扰与屏蔽等问题。

② 有序连接线路。连接线路的顺序应视电路的复杂程度和个人技术熟练程度而定。一般来说，应按电路图一一对应接线。对于复杂的实验电路，通常是先连接最外面的串联回路，然后连接并联支路（先串联后并联）；先连接主回路，后连接其他回路；先连接各个局部，后连接成一个整体。在连接主回路时，应从电源的一端（正极或相线）开始，依次连接各元件，最后连接到电源的另一端，即形成回路。连线的同时要考虑元件、仪器仪表的极性、参考方向、公共参考点与电路图的对应关系。

目前，在电路实验室，使用的是一定规格的实验板与实验台，利用板块上的插孔就可以直接连接实验电路，不需剥线、焊线，这给连接线路带来了便捷，但也容易因接线不当、导线磨损而发生故障。为此，应注意以下几点：

- 使用实验板与实验台插接电路之前，先要细心检查待插元件、器件的外形，看是否有绝缘皮脱落、引脚断裂、引脚互碰等现象，如果有，应先进行处理再实验。
- 巧用颜色导线。导线在使用之前，可以简单检查外观，看是否有绝缘皮脱落，金属丝外露，甚至断裂现象，如果有，应对导线进行绝缘处理或者更换。为了便于查错，接线可用不同颜色的导线来区分，例如：电源“+”极或（交流）“相”端用红色导线，电源“-”极或“中性”端用黑色导线，“地”用绿色导线。连接导线的插孔或接线柱要拧紧，防止接触不良或脱落。
- 注意地端连接。电路的公共地端和各种仪器设备的接地端应接在一起，既可作为电路的参考零点，又可避免引起干扰。在测量时，要特别注意防止因仪器和设备之间的“共地”而导致被测电路或局部短路。

③ 细心检查连线。对照电路图，由左至右或由电路图上有明显标志处（如电源的“+”端或“相”端）开始，以每一结点上的连线数量为依据，检查实验线路对应的导线数，不能

漏掉图中任何一根连线。图物对照,以图校物。特别强调的是针对强电(36V 以上)的实验电路,连接好线路以后一定要先自查,然后经教师复查无误后,方可接通实验电源。

(3) 实验测试与数据记录。

实验测试阶段需要记录的是实验的原始数据,记录的时候要确切,有效数字要完整,单位不要遗忘。具体操作中要注意。

① 接通电源以后,先进行一次“粗测”,观察实验数据的变化和分布规律与预习时预测的数据是否一致。依据具体情况做必要的调整,然后进行正式的实验操作和数据的记录工作。

② 测量读取数据时,读数姿势要正确,思想集中,防止误读。对于指针式仪表应看清楚指示的刻度,使针、影重叠成一条线,将数据记录在事先撰写的数据记录表格中。记录数据的多少要根据数据变化快慢而定,在变化较快或剧烈处应多取一些数据,以保证数据能够全面记录实验的变化规律。有效数字的取舍应该根据实验数据的数量级与仪表的量程、表盘的等级等实际情况综合考虑。

③ 记录数据时,应同时记录测量该数据时所用的仪器的量程。对于多次实验中测量的原始数据,应一一记录,不要当场取舍,以利于实验后分析。

④ 测试完毕后,应认真检查实验数据有无遗漏或不合理的情况,在保证所记录的数据合理、可信后,断开实验电源,送指导教师处检查签字验收。

(4) 实验后的仪器、设备整理。

在线指导教师签字验收实验数据后,拆除实验电路,将所用仪器、设备复归原位,导线整理成束,清理实验桌面,方可离开实验室。

(5) 安全问题。

实验的安全问题是学生在实验操作过程中必须要密切注意的事项。安全包括人身与设备安全。在实验过程中,要周密地计划,正确地操作,对设备和实验要有深刻的理解,要有严肃认真的实验作风,以提高实验的安全性。具体注意事项如下:

① 在接通电源前,要检查线路连接是否正确,要保证“源”特别是带有功率输出信号源的输出幅值为零。

② 接通电源后,逐渐增大电压或电流的幅值,同时注意观察各仪表的显示是否正常、量程是否合适,负载工作状况是否正常,电路有无异常现象,如异响、冒烟、异味等。如有异常情况应立即切断电源并保护现场,仔细检查事故发生的原因。

③ 实验结束时,首先必须切断实验电路电源,然后再进行拆线、仪器整理等工作。注意,严禁带电操作,实验操作中需要拆除或改接线路时,必须首先切断电源,再进行拆线、改接操作。

(6) 实验故障分析及排除。

实验进行过程中,出现故障是非常常见的。分析和排除故障是培养学生综合分析问题能力的一个重要方面。实验过程中遇到故障时,不要轻易拆除线路重新安装,而是应该运用所学知识,认真观察故障现象,仔细分析故障原因,最后查找到故障部位进行排除。故障的检查通常采用以下5种方法。

① 断电检查法。它是指当实验接错线,造成电源或负载短路或严重过载,特别是发现实验电路或设备的异常现象(如有声响、冒烟、有焦糊味以及发烫等)将导致故障进一步恶化时,应立即断开电源进行检查。处理方法如下:

a. 对照原理图,对实验电路的每个元器件及连线逐一进行外部(直观)检查,观察元器

件的外观有无断裂、变形、焦痕和损坏,引脚有无错接、漏接或短接;观察仪器仪表的摆放、量程选择、读数方式是否正确。

b. 使用数字万用表的“ η ”(蜂鸣器)挡,检查各支路是否连通,元器件是否良好。若万用表的蜂鸣器有响声,则表示线路导通;若指示为“1”且无声响,表示线路断开。也可以通过使用万用表的电阻挡测量元器件的阻值大小来判断电路的连接情况。对于电容、电感(包括电动机和变压器)元件,可用电桥测量;对于集成电路,则需要使用专用仪器测试,或用好芯片替换来判断。

② 通电检查法。它是使用测试仪器检测电路参数来判断故障部位的在线检查方法。一般是先直观检查,再进行参数测试。

a. 直观检查法。它是电路在通电状况下对工作状况进行直接观察检查的方法,包括听各种声音、看显示数值、查运行状态、摸元件外表温度、嗅现场气味等外部现象,来确认电路是否正常。有时还要配合不同操作动作,使呈现的现象更明显。

b. 参数测试法。最常见的是利用万用表进行电压测量,主要检查电源输出端到电路输入端有无电压,电子类仪器仪表的工作电压是否正常,各支路输入输出信号是否正常,各元器件和仪器的电压是否符合给定值等。对于动态参数,需要借助示波器观察波形及可能存在的干扰信号,有利于故障分析。

③ 替换法。当故障比较隐蔽时,在对电路进行原理分析的基础上,对怀疑有问题的部分用正常的模块或元器件来替换,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,这样可缩小故障范围,便于进一步查找故障原因和部位。

④ 断路法。在实验电路中通过断开某部分电路,可以起到缩小故障范围的作用。例如,直流稳压电源,接入一个带有局部短路故障的电路,其输出电流明显过大。若断开该电路中的某支路时恢复了正常,说明故障就是该支路,进一步查找即可发现故障部位。

⑤ 此外,目前有不少仿真软件(如 Multisim)都能够用于设置各种故障源,可以让实验人员通过软件仿真来重现故障现象,了解故障产生的原因及后果,直观认识故障现场,提供了安全、无损和便捷的工具。因此,我们还应该掌握、使用仿真工具,以达到事半功倍的效果。

3. 实验报告要求

每个实验结束后都必须撰写实验报告。实验报告每人撰写一份,目的是培养学生对实验结果的处理和分析能力、文字表达能力以及严谨的科学作风。

实验数据通常用列表及作图两种方法进行处理,关系曲线图应作在坐标纸及对数坐标纸上。每条曲线用一种符号表示。实验曲线应该是平滑的,应尽量使各点均匀地分布在曲线两侧,并可明显偏离远的点去除,不能简单地把各点连成折线。

波形的描绘、记录应在实验观测时进行,力求真实,并注意坐标的选取应能表示出波形的特征。波形图应记录在坐标纸上,其时间轴(横)不宜小于 8cm(记录一至两个周期的完整波形),其幅值轴(纵)不宜小于 4cm。

实验报告一般分为两个阶段。第一阶段,在实验前一周完成,即实验前的预习报告(下列①~④项内容);第二阶段,实验结束后,在预习报告后补充完整(下列⑤~⑧项内容),形成合格的实验报告。一份完整的实验报告应该包括:实验目的,实验仪器设备,实验原理,实验内容及步骤,实验数据记录及结果整理,实验现象及结果的分析讨论,实验的总结、收获、体会和建议,以及实验思考题。实验报告应采用统一的实验报告纸,按如下顺序撰写。

- ① 实验目的。
- ② 实验仪器设备。实验过程中所使用仪表的名称与型号、元器件。
- ③ 实验原理。简述实验原理，给出电路原理图。
- ④ 实验内容及步骤。实验步骤可按实验指导书上的编写，也可根据实验原理自行编写，但必须按照实际操作详细如实写下。其内容应包括：
 - 简述实验步骤。
 - 各步骤的实验接线图。
 - 列出各步骤的测量数据记录表格，每项数据应有理论计算值与实测值两项。理论计算值在实验预习阶段完成，以便在实验测量时与实测值进行比较。

预习时完成

⑤ 实验数据记录及结果整理。根据实验原始数据记录和实验数据处理要求，整理实验数据。表中各项数据若是直接测量得到，要注意有效数字的表示；如果是计算所得，必须列出所用公式，并以一组数据为例进行计算，其他组数据可直接填入表格。如需绘制曲线图，要按图示法的要求选择合适的坐标和刻度绘图。

⑥ 实验现象及结果的分析讨论。根据实验过程与实验结果如实分析，内容应包括：

- 对实验过程中发现的问题（包括错误操作、出现的故障），要说明现象、查找原因的过程和解决问题的措施，并总结在处理问题过程中的经验与教训。
- 对实验结果进行分析，并与预习报告进行对比，看实验任务的完成情况，是否达到了实验目的，是否按照设计步骤进行实验。
- 对实验进程与理论分析进行比照，看是否验证了经验性的调试方法、公式的计算结果、技术指标的数据；是否体验到理论与实验的异同之处；是否符合应用性乃至理论性研究成果。

实验后完成

⑦ 实验的总结、收获、体会和建议。

⑧ 实验思考题。

4. 实验考试

在学期末，所有实验任务完成以后，还要参加实验考试，即在规定的时间内完成规定的实验任务。实验操作考试采用实验理论与实验操作相结合的考核方式。

实验理论考试：考核的内容包括本课程所有实验涉及的相关电路理论知识、电路实验操作常识以及实验过程中使用的仪器设备使用方法与注意事项。

实验操作考试：考核的内容为一项具体的实验项目，给出实验内容、要求、电路，由学生独立完成实验操作、数据记录、数据处理。考查学生对仪器设备的熟练使用能力、实验操作的动手能力以及实验数据的处理与整理能力。

0.4 电路实验室安全用电须知

人体是导体，当人体不慎触及电源或带电导体时，电流将通过人体，使人体带电，简称触电。为了防止在电路实验过程中发生触电事故，要求每位学生在实验前都参加实验室组织的安全用电教育课程，熟悉安全用电常识，并在实验过程中严格遵守电路实验室安全用电规则。因此，每位参与电路实验的学生在实验开始前，务必仔细阅读本节内容，完成安全用电常识自测题，并在本节末尾处签名。没有接受安全用电教育和未在此规定上签字者，不得参加电路实验！

1. 电路实验室操作规程

(1) 实验前, 了解相关仪器设备的性能规格和使用方法, 熟悉用电安全规定, 提交预习报告。没有预习报告不得参加实验。

(2) 学生进入实验室进行实验操作时, 必须穿橡胶底鞋, 并保持干燥状态; 进入实验室后, 首先应检查实验台上设备的外观情况, 包括导线绝缘情况, 清点设备和耗材数量, 发现问题应及时报告。

(3) 在实验内, 禁止擅自合上电源闸刀或私自动用与实验无关的设备; 不得私自调换座位或设备, 保持手机处于静音或关机状态, 保持实验室整洁和良好的秩序。

(4) 实验过程中, 连接线路时, 严格遵守“先接线后通电, 先断电后拆线”的操作程序。不允许将连接电源的导线空置, 以免发生电源短路、烧坏仪器或使人体触电。线路连接好后, 多余或暂时不用的导线都要拿开。

(5) 特别注意: 进行 36V 以上电压的强电实验或其他具有危险性的实验时, 学生不得单人在实验室内进行操作, 且在连接好线路后, 必须先自查, 再由教师复查, 确认无误后才允许通电实验。

(6) 电源接通后, 应遵守“单手操作”规范, 严禁人体接触电源或带电体, 禁止双手带电操作。实验中如发生漏电、触电、短路等危急情况, 必须立即切断电源, 向老师报告处理。

(7) 完成实验内容后, 应首先断开实验台电源, 检查实验数据是否记录完整, 将实验数据交给指导教师签字确认。

注意: 没有教师签字的实验视为当次实验无效。

(8) 实验结束时, 应检查仪器设备以及电源开关是否都已处于断电状态, 拆除实验电路, 交还实验器材, 整理好实验仪器与导线。

2. 安全用电知识简述

(1) 电击和电伤。

人体触电时, 电流对人体的伤害分为电击、电伤两种。电击是电流通过人体, 给人体的内部组织造成的病理性伤害。当电流通过人体内部时, 会影响人的呼吸、心脏和神经系统, 造成人体内部组织的破坏, 若不及时救助, 会导致人死亡。电伤是指电流的热效应、化学效应或机械效应对人体外部造成的局部伤害, 包括灼伤、电烙印和皮肤金属化。

(2) 电流对人体的作用。

通过人体的电流	对人体的作用
$<0.7\text{mA}$	人体无感觉
1mA	人体有轻微感觉
$1\sim3\text{mA}$	有刺激感, 一般电疗仪器取此电流
$3\sim10\text{mA}$	感到痛苦, 但可自行摆脱
$10\sim30\text{mA}$	引起肌肉痉挛, 短时间无危险, 长时间有危险
$30\sim50\text{mA}$	强烈痉挛, 时间超过 60s 即有生命危险
$50\sim250\text{mA}$	产生心脏室性纤颤, 丧失知觉, 严重危害生命
$>250\text{mA}$	短时间内 (1 秒以上) 造成心脏骤停, 体内产生电灼伤

(3) 触电急救遵循的原则是“迅速、就地、准确、坚持”。

(4) 漏电保护装置也叫漏电开关, 用于防止由电气设备漏电引起的接地短路事故或人体

触电事故。当电气设备绝缘损坏漏电，使设备的外壳带电或是发生人体触电时，漏电开关可以立即动作，切断电源，消除设备外壳或人体上的对地电压。

(5) 各种电气设备，尤其是移动式电气设备，应建立经常的与定期的检查制度，如发现故障或与有关规定不符合时，应及时处理。

(6) 使用各种电气设备时，应严格遵守操作制度，不得将三脚插头擅自改为二脚插头，也不得将线头直接插入插座内用电。

(7) 带金属外壳电器的外接电源插头，一般都要用三脚插头，其中有一根为接地线，一定要可靠接地。如果借用自来水管做接地体，则必须保证自来水管与地下管道有良好的电气连接，中间不能有塑料等不导电的接头。绝对不能利用煤气管道作为接地体使用。另外还需注意电器插头的相线、零线应与插座中的相线、零线一致。插座规定的接法为：面对插座看，上面是接地线，左边接零线、右边接相线。

(8) 在低压线路或用电设备上做检修和安装工作时，应随身携带低压测电笔，分清火线、零线；断开导线时，应先断火线，后断零线。搭接导线时的顺序与上述相反。人体不得同时接触两根线头。

(9) 开关、熔断线、电线、插座等损坏应及时修复。平时不要随便触摸。在移动电气设备时，先要拔出插头，切断电源。开关必须装在火线上。

3. 安全用电知识自测

(1) 触电急救的错误方法是()。

- A. 迅速切断电源 B. 打强心针 C. 进行人工呼吸

(2) 照明灯开关应接到灯的()。

- A. 相线 B. 工作零线

(3) 有人为了安全，将家用电器的外壳接到自来水管或暖气管上，试问这样能否保证安全？()

- A. 能 B. 不能

(4) 金属外壳电器的电源线插头应采用()脚插头。

- A. 2 B. 3

(5) 若遇电气设备冒烟起火，用来灭火的错误方法是()。

- A. 沙土 B. 二氧化碳 C. 四氯化碳 D. 水

(6) 在实验过程中拆线、改接线路的顺序是()。

- A. 直接改接 B. 先断电，再拆线、改接线路

(7) (多选) 在实验过程中，以下哪些现象属于异常现象，需要立即切断电源。()

- A. 测量仪表指针满偏或反偏
B. 负载或者电源异响，甚至冒烟
C. 实验电路中某器件或设备发热或发出焦糊的异味
D. 实验设备、元器件在通电后急剧发热

以上内容本人已认真阅读并理解《电路实验室安全用电规则》，并将在实验中严格遵守操作规程。

学生姓名：_____ 学号：_____ 日期：_____