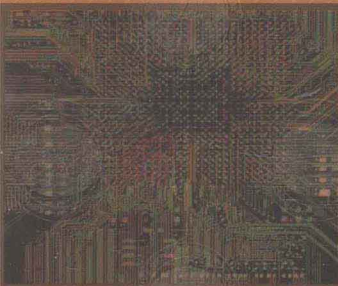


高等学校电工电子类系列教材



电路实训教程

CIRCUIT TRAINING COURSE

主编 / 刘宁 公茂法



中国石油大学出版社

高等学校电工电子类系列教材

电路实训教程

主 编：刘 宁 公茂法

副主编：陈升刚 刘庆雪

参 编：于昊昱 胡晓君 马 进

中国石油大学出版社

内容简介

本书按照国家教育部工科电工课程教学指导委员会关于电路课程、电路实验教学的基本要求及高等学校基础课实验教学示范中心的建设标准编写而成。

全书共分4章。第1章介绍电路实验与实训基础。第2章讲解基础实验内容。第3章是综合设计性实训内容。第4章是计算机仿真实训内容。

本书是将电路基本理论与现代实验、实训技术结合起来的颇具特色的教材,可与《电路基础》、《电路分析》和《电工学》等教材配套使用,作为高等工科院校电气类、机械类和信息技术类等专业的实验、实训教材,也可作为相关行业岗位培训教材或供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路实训教程/刘宁,公茂法主编. —东营:中国石油大学出版社,2010.7
ISBN 978-7-5636-3149-0

I. ①电… II. ①刘… ②公… III. ①电路—高等学校—教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 118022 号

电路实训教程

主 编:刘 宁 公茂法
责任编辑:魏 瑾

出 版 者:中国石油大学出版社(山东 东营,邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: cbs2006@163.com
印 刷 者:青岛锦华信包装有限公司
发 行 者:中国石油大学出版社(电话 0546—8391810)
开 本:185×260 印张:9 字数:230 千字
版 次:2010年7月第1版第1次印刷
定 价:15.80 元

版权专有,翻印必究。举报电话:0546—8391810

本书封面覆有带中国石油大学出版社标志的激光防伪膜。

本书封面贴有带中国石油大学出版社标志的电码防伪标签,无标签者不得销售。

编审委员会

BIANSHEN WEIYUANHUI

高等学校电工电子类系列教材 ◀◀

主 任 王志功 (东南大学)

副 主 任 马家辰 (哈尔滨工业大学(威海))

曹茂永 (山东科技大学)

编委会成员 (以姓氏笔画为序)

于海生 (青岛大学)

王宝兴 (聊城大学)

刘法胜 (山东科技大学)

李贻斌 (山东大学)

张 勇 (济南大学)

周绍磊 (海军航空工程学院)

武玉强 (曲阜师范大学)

侯加林 (山东农业大学)

韩 力 (北京理工大学)

谭博学 (山东理工大学)

王培进 (烟台大学)

卢 燕 (青岛理工大学)

刘庆华 (中国石油大学出版社)

李 明 (中国矿业大学)

郑永果 (山东科技大学)

周应兵 (山东交通学院)

孟祥忠 (青岛科技大学)

唐述宏 (潍坊学院)

褚东升 (中国海洋大学)

蔡星光 (山东轻工业学院)

编委会秘书 刘 静 (中国石油大学出版社)

出版说明

电工电子技术作为当前信息技术的基础,在国民经济和社会发展中起着越来越直接和越来越重要的作用。在高校中,由于广阔的技术应用和良好的就业前景,使电工电子类专业成为近年来发展势头最强劲的专业之一。在学生人数激增、学科应用拓展、学科发展加速的现实背景下,要使高校的专业教学跟上发展的步伐,适应社会的需求,则必须进行课程体系和课程内容的改革。这是摆在电工电子类专业从教者面前的一项重要而紧迫的任务。

正是在这种共同认识的驱动下,我们 20 多所高校——一些平时在教学改革方面颇多交流、在学科建设方面颇多借鉴的院校,走到了一起。我们这些院校各有所长,在一起切磋、比较、学习,搭建了一个很好的学习和交流的平台,共同推动了教育教学改革,促进了各自的发展。经验告诉我们,教改的核心是课程体系和课程内容的改革,但课程体系和课程内容改革的成果呈现在学生面前的最主要资源便是构架完备系统的教材。因此,课程改革与教材建设同步,编写出一套适合当前教学改革要求、结构体系完备、体现教学改革思路的好教材,成了我们共同的追求。

教材指导教学,教材体现教改。根据现实的教学需求和进一步的发展规划,我们把这套教材的建设构架为三个方面,也可以说是三个模块:

第一个方面是电工电子的基础理论与技术教材,主要针对工科类学生的通识课或者基础课,包括信号与系统、电路分析、电子线路、模拟电子技术、数字电子技术、单片机原理及应用、微机原理及应用、电气控制及 PLC 技术、计算机控制技术、电机与电气控制技术、传感器与检测技术、电机与拖动等,涵盖电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术等专业的基础知识。为确保教材的权威性、科学性,各书主编及主要撰写者,均由具有多年教学经验的教授和专家担任。教材的覆盖面广、知识面宽,以高校的精品课建设为基础,着重基本概念和基本物理过程的论述,注重教学内容的内拓和精选,突出先进性、针对性和实用性。

第二个方面是实验与实训类教材。实验教学是培养学生基本工程素质、提高工程实践能力的重要手段,是高校工科教育教学改革的核心课题。为此,我们这些高校都极其重视实验教学改革与教材建设,不断更新实训教育理念,注重学生创新能力和动手能力的综合发展。国家级实验教学示范中心是高等学校实验教学研究改革的基地,对全国高等学校实验教学改革具有示范作用。我们的整套实训教材以山东科技大学和青岛大学“国家级电工电子实验教学示范中心”为依托,将任务驱动与项目引领相结合,融基础实验与综合技能训练、系统设计与综合应用、工程训练和创新能力培养为一体,体系完整、内容丰富、工程实践性强,以期达到加强学生的系

统综合设计能力和训练学生工程思维的目的。这一类教材主要包括电路实训教程、模拟电子技术实验教程、数字电路逻辑设计与实训教程、电子工艺与实训教程、PLC 应用实训教程、电子工程实训教程、电气工程实训教程等。相信这部分教材对加强、规范和引导相关高校的实验教学会有一定的借鉴作用。

第三个方面则是我们独具特色的电工电子类专业的双语教学教材。我们本着自编和引进并重的原则,打造适合我国高等教育发展的电工电子类双语教材体系。我们拥有具有东西方不同教学体系下丰富教学经验的外国专家和教授,他们以纯正的英语语言直接面向我们的大学生编写教材,这在国内恐属首创。比如这套教材中的双语教材之一《Introductory Microcontroller Theory and Applications》就是由英籍专家 Michael Collier 主编完成的英文版双语教材。该教材已在试用中得到了教师和学生的很高评价。在编写原创双语教材的同时,为了提供更丰富的双语教材资源,弥补原创双语教材在数量上的不足,各校将在共同讨论的基础上,引进相对适应性广泛的原版教材。另外,电工电子类双语教学网站也在同步建设中,为师生提供双语教学资源,打造师生互动平台。

诸事万物,见仁见智。对一套好教材的追求是我们的愿望。但当我们倾力追求教材对于学校现实的适用性时,又惧怕它们或许已离另一些学校更远。站在不同的起点或角度进行教材构架时,这种差异有时会影响人们对教材的评判。这就时刻提醒我们参与教材编写的院校,在追求教材对于自身的适用性的同时,需要努力与其他院校做更多的沟通和了解,以使自身更好地融入全国教改的主流,同时使这套教材具有更好的普适性,有更广泛的代表意义和借鉴作用。

教材是教学之本。我们希望这套教材:不仅能符合专业培养要求,而且能顺应专业培养方向;不仅能符合教育教学规律,而且能符合学生的接受能力和知识水平;不仅能蕴含和体现丰富的教学经验和思想,而且能为学生呈现良好的学习方法,能指导学生学会自主学习,能调动学生的创造力和学习热情……我们将为此继续努力!

编委会
2010年6月

前言 PREFACE

本书是面向高等工科院校电气类、机械类和信息技术类等专业的电路实验与实训教材。电路实验与实训是实践教学的重要环节,它对学生掌握基本理论、训练基本技能、提高工程素质和培养科研创新精神起着重要的作用。本书按照国家教育部工科电工课程教学指导委员会关于电路课程、电路实验教学的基本要求及高等学校基础课实验教学示范中心的建设标准,结合当前社会对新型人才及创新教育的需求编写而成。

全书共分4章。第1章讲解电路实验与实训基础,包括测量方法及误差分析、实验与实训的基本要求、常用电工仪器的使用介绍等。第2章讲解基础实验内容,包括基本的实验理论、实验方法和实验技能等。学生奠定了坚实的实验基础,就会有很强的适应性,随着环境的变化迅速学习新的实验知识与技能。第3章是综合设计性实训内容,主要介绍了焊接电路、安全用电、安装日光灯等项目。其中,既有课程各知识点的综合,又有实验技能、测试方法的应用,可提高学生对电工电子知识的综合应用能力。第4章介绍了应用 Multisim 10 软件对电路进行计算机仿真的实训内容,并与第2章内容对照编写,所选项目既可以在实验室操作,也可以用计算机仿真,软硬结合、虚实兼用,具有很强的示范性和可操作性。

本书依据教学体系建设的需要,充分考虑了各种教学模式和不同层次学生的需要和使用,将内容由浅入深地进行安排。各学校各专业可以根据实验学时的不同和教学要求的不同,选择其中部分内容使用。通过本书的教学内容,学生可以掌握如下技能:

(1) 认识常用电子元器件。能用仪器仪表测试其参数或直接读出其参数。

(2) 熟练使用常用电子仪器,包括电压表、电流表、万用表、功率表、直流稳压电源、函数信号发生器、示波器等。

(3) 能用实验方法对所学理论知识进行验证,并能自行设计和连接电路,科学合理地安排实验步骤。

(4) 根据所学理论知识及实践经验,能排除实验中出现的故障,具有一定的分析问题和解决问题的能力。

(5) 对实验数据进行处理和分析。

(6) 具有使用计算机辅助分析电路的能力。

(7) 具有解决日常生活中常见的电路安装、供电故障等问题的能力。

在本书的编写过程中,许多同行给予了热情的帮助、指导和关心,提出了宝贵的意见,在此致以诚挚的谢意!

限于编者水平,本书难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者
2010年7月

目 录 Contents

第1章 电路实验与实训基础	1	2.2.5 戴维南定理和诺顿定理的验证	64
1.1 电路实训概述	1	2.2.6 受控源特性的研究	67
1.1.1 电路实训的目的和意义	1	2.2.7 RC 一阶电路动态特性的研究	70
1.1.2 电路实训的类别和特点	1	2.2.8 二阶动态电路响应的研究	74
1.2 实验与实训的基本要求	2	2.2.9 交流电路参数的测定	75
1.2.1 电路实验与实训的操作程序	2	2.2.10 正弦稳态交流电路相量的研究	78
1.2.2 实验报告的基本格式	4	2.2.11 RLC 串联谐振电路的研究	80
1.2.3 实训报告的基本格式	5	2.2.12 互感电路观测	82
1.3 测量和误差分析	6	2.2.13 三相交流电路电压、电流的测量	84
1.3.1 主要电路参量的测量	6	2.2.14 三相电路功率的测量	86
1.3.2 测量误差的分析	9	2.2.15 功率因数及相序的测量	88
1.4 常用仪器仪表	11	第3章 电路实训	91
1.4.1 概述	11	3.1 概述	91
1.4.2 直流稳压电源	17	3.1.1 电路实训的总体目标	91
1.4.3 函数信号发生器	18	3.1.2 电路实训的要求	91
1.4.4 电压表	20	3.1.3 电路实训的考核标准	92
1.4.5 电流表	24	3.2 电路实训的知识准备	92
1.4.6 万用表	27	3.2.1 供电及安全用电	92
1.4.7 交流毫伏表	28	3.2.2 焊接常识	94
1.4.8 示波器	29	3.3 电路实训的主要项目	96
1.4.9 单相调压器	43	3.3.1 日光灯的安装	96
第2章 电路基础实验	45	3.3.2 单相电能表的校验	99
2.1 电工技术实验装置介绍	46	3.3.3 家庭供电线路的配置	102
2.1.1 DGJ-2 型电工技术实验装置	46	第4章 计算机辅助分析与仿真性实训	105
2.1.2 TX 型电路实验台	49	4.1 Multisim 10 软件介绍	105
2.2 基础电路实验	51	4.2 Multisim 10 仿真分析	107
2.2.1 电工测量仪表的测量与使用	51	4.2.1 直流工作点分析	107
2.2.2 电路元件伏安特性的测绘	55	4.2.2 交流分析	108
2.2.3 基尔霍夫定律与叠加定理的验证	59		
2.2.4 电压源与电流源的等效变换	61		

4.2.3 瞬态分析	109	4.3.6 一阶电路的仿真实验研究 ...	120
4.3 Multisim 10 仿真实验	111	4.3.7 二阶电路的仿真实验研究 ...	123
4.3.1 元器件伏安特性的仿真实验 研究	111	4.3.8 提高功率因数的仿真实验 研究	124
4.3.2 线性电路的仿真实验研究 ...	113	4.3.9 <i>RLC</i> 串联谐振电路的仿真实验 研究	127
4.3.3 电流源与电压源等效变换的 仿真实验研究	115	4.3.10 测量三相电路电压、电流的 仿真实验研究	129
4.3.4 基尔霍夫定律的仿真实验 研究	116	4.3.11 测量三相电路有功功率的 仿真实验研究	131
4.3.5 戴维南定理和诺顿定理的 仿真实验研究	118	参考文献	134

第1章 电路实验与实训基础

1.1 电路实训概述

1.1.1 电路实训的目的和意义

实验室、实训基地的建设是高等教育教学基本建设的重要组成部分,是培养高等技术应用性专门人才的基本条件之一。实验和实训作为课程的重要教学环节,对培养学生的创新能力和协作精神,理论联系实际学风以及研究问题和解决问题的能力,提高学生针对实际问题进行电子设计、制作的能力具有重要的作用。电路实验的重点在于培养学生的基本实践技能,学会运用所学理论知识判断和解决实际问题,加深和扩大理论知识;学会常用电工仪表、电子仪器等基本实验设备的测量原理及使用方法;学会用电子设计与仿真软件对电路进行设计与仿真;能根据要求合理布线并正确连接实验线路;能分析并排除实验中出现的故障;能运用理论知识对实验现象、结果进行分析和处理;能根据要求进行简单电路的设计,并正确选择合适的电路元件及适用的仪器设备。电路实训着重培养学生的动手能力以及发现问题、分析问题和解决问题的能力;培养学生电路接线、参数测量、图形图像分析和误差计算等基本技能,为今后从事机械、电气、信息技术和计算机工程等方面的工作打下坚实的基础。电路实验与实训可以使学习比较完整、系统地学习电路的基础理论,从而获得在电工测量方面必备的操作技能,并起到巩固、扩展所学理论知识的作用。

1.1.2 电路实训的类别和特点

一般来说,电路实训包括基本技能性实训、设计性实训和综合性实训三大类。

1. 基本技能性实训

基本技能性实训主要包括认识性实训、验证性实训和技能性实训。通过这三类实训,巩固并加深对电路基础理论的理解。由浅入深,由表及里地培养学生掌握实验原理、实验方法、测量技术、数据采集、信号图形观察分析以及图表绘制等技能。基本技能性实训项目一般是常规性的实验内容,其覆盖面广并具有代表性。

2. 设计性实训

设计性实训是为了提高学生的科技创新能力和工程实践能力而编制的。它是在基本技能性实训的基础上进行的高一级的实训项目,其重点是应用所学知识,设计较为复杂的功能电路,

意在提高学生的电路设计水平和操作技能,培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力。设计性实训要求学生根据项目要求,拟订实训步骤,画出电路图,选择元器件、实验设备和仪表,进行参数测量并独立完成实训项目。

3. 综合性实训

综合性实训是培养学生综合应用电路理论、操作技能和仿真技术,独立设计方案,独立完成的更高一级的实训项目,对提升学生的综合素质和工程能力是非常有益的。综合性实训项目是从科研教学、生产实践和毕业设计等项目中精心提炼出来的。学生可以通过查阅资料、拟订方案、设计电路、连接安装、测量参数、误差处理和撰写报告等全过程,得到全面的专业技能锻炼,为今后的电工考级、电工电子技术竞赛和毕业设计等奠定基础。

1.2 实验与实训的基本要求

1.2.1 电路实验与实训的操作程序

1. 课前准备

电路实验课与理论课不同,它的特点是学生在教师的指导下自己动手,独立完成实验任务,所以预习尤其重要。预习主要有以下几个方面:

(1) 明确实验任务。明确实验中需要测量的电路物理量以及每个被测量分别应用的测量方法。

(2) 理解实验原理。

(3) 初步了解实验仪器。知道需要使用哪些仪器,并对所要使用仪器的相关知识进行初步学习(特别是仪器的操作要领、注意事项)。

(4) 尝试总结实验所体现的思想,并与教师上课所讲授的内容进行比较、归纳,以提高后期实验报告的质量。

总之,实验前要认真阅读教材。要明确实验目的和要求,理解实验原理,掌握测量方案。要初步了解仪器的构造原理和使用方法,并根据实验要求,在实验室开放时间内到实验室进行预习,了解和熟悉本次实验所用仪器、仪表等实验设备,认真检查实验设备的电源线和实验用连接导线的外表绝缘层是否有破损。对于基础性实验(验证性实验),要画出使用的实验电路,并记录实验参数;对于设计性、综合性实验,要记录由实验室提供的元器件参数以备使用,在此基础上写好预习报告。

实验预习报告和实验报告使用同一份报告纸。应注意以下事项:

(1) 在预习报告上除了要写出实验名称、实验目的、实验仪器设备外,还要画出实验电路图及等效电路图,标出电压 U 、电流 I 的参考方向等。

(2) 设计性、综合性实验要画出所设计的电路图,标出所选用和确定的电路参数。

(3) 根据需要设计合适的实验表格,其中包括计算值、测量值及相对误差等相关项目或栏目。计算值要写入预习报告,测量值在实验测量后填写,并与计算值相对照计算出相对误差,以验证是否正确。

(4) 验证性实验要对电路进行计算,并把计算值填入已设计好的表格,计算步骤写在表格旁边;设计性、综合性实验要验算所确定的参数是否合理,如果不合理,则需要重新确定参数,再一次验算,并对电路进行计算。

(5) 验证性实验要在实验开始时把预习报告交给实验指导教师;设计性实验、综合性实验要按教师规定,在实验前交给实验指导教师,如果设计不合理,应该重做预习报告或修改参数,直至合适。

2. 实验与实训的操作注意事项

(1) 按规定时间到达实验室,认真听取指导教师的讲解,自觉遵守实验室的规章制度。

(2) 开始实验前应注意以下事项:

① 检查所用电源、仪器仪表和实验设备是否齐全,能否满足实验要求。

② 检查实验板或实验装置,查看有没有断线及脱焊等情况,并将实验电路、设备及仪表合理布局。布局的一般原则为:被测电路居中放置,直读仪器仪表放在操作者的左侧,信号发生器、示波器等单独仪表放在操作者的右侧,严禁仪表歪斜摆放和随意搬动。

③ 检查使用的电阻、电感、电容等元件,不仅要注意其参数应与实验要求符合,还应注意电阻的额定电流(功率)、电容的额定电压、电感的额定电流等。实验中元件的电流和电压不能超过其额定值,否则有可能使元件损坏。要熟悉元器件的安装位置,便于实验时能够迅速准确地找到测量点。

(3) 正确选择和使用仪表的注意事项如下:

① 根据被测量信号的性质选择直流或交流仪表。决不允许用直流电表测量交流信号;决不允许用电流表测量电压信号。

② 正确选择仪表的量程。被测量应小于所选量程,指示式仪表能使指针偏转在量程的 $2/3$ 到满偏之间较好。

③ 注意正确连线。直流电路注意电流、电压的方向;交流电路注意特殊仪表(如功率表)的接线。

④ 正确读数。根据选择的量程读数,并加上单位。

⑤ 测量仪表应在无电的情况下接入或拆出电路,不能带电接线或拆线,以保证人身安全和避免电路中的电流或电压的冲击损坏仪表。

(4) 电路连接的注意事项如下:

① 接线时先关闭电源。电压源不能短路;电流源不能开路;可调电源接入电路前,其输出应调至最小。

② 接线时主电路应从电源的一端开始,先接主要的串联电路,后接各并联支路,终止于电源的另一端。须经指导教师同意后方可接通电源。连线应整洁清楚,便于调节,读数方便,操作安全。为减少接线差错,每个接头或焊接端所连接的线头一般不超过 2 个。

③ 接线和拆线时要插拔导线的插头,不要直接拉扯导线,以免损坏。插拔的正确方法是将插头边转边插或边转边拉。如需加长导线,可将导线插头对插或迭插,也可借用某一闲置元件的一个插孔作单头支点(切不可形成电流通路)。应特别注意人身及设备的安全。对 220 V 以上的电压要特别小心。严禁带电接、拆线路,人体严禁接触电路中带电的金属部位,以免发生人身触电事故。最好养成单手操作的习惯,以确保人身安全。

④ 实验过程中,测量数据和调整仪器时要认真仔细,必须随时把观察到的现象和实验数据如实地记录在记录本上,应养成良好的做原始记录的习惯。

⑤ 实验中如发现异常声音、火花、异常气味、超量程等不正常现象时,应立即切断电源。先用自己学过的知识,独立思考加以解决,努力培养独立分析问题和解决问题的能力。如自己不能解决可与指导教师共同讨论研究,提出解决问题的办法。待找出原因并排除故障后,经指导教师同意后方可继续进行实验。

⑥ 实验内容完成后,实验结果须经指导教师认可,在教师同意后才能拆线。拆线前必须先切断电源,最后应将全部仪器、设备及器材复位,整理好导线、工具、元器件等,方可离开实验室。

⑦ 凡是违章操作损坏设备者,要写出事故原因,并按实验室有关规定接受处理。

3. 实验与实训课后的整理

整理工作是对实验或实训的总结,主要是编写实验报告或实训报告,这是培养理论联系实际及分析问题能力的重要环节,从报告质量可以看出实验成功与否,可体现出实验者的动手能力、综合分析能力。

报告内容应包括实验目的,原理说明,主要仪器、设备,实验内容、方法、步骤,实验结果记录,数据处理(实验数据及计算结果的整理、分析,误差原因的估计等),对验证性实验要有结论。此外,实验报告中还应包括实验中发现的问题、现象和事故的分析,实验的收获及心得体会,并回答思考题。

1.2.2 实验报告的基本格式

实验报告的撰写是知识系统化的吸收和升华过程,因此,实验报告应该体现完整性、规范性、正确性、有效性的特点。实验报告正文部分反映本次实验的预习、要点、要求以及完成过程等情况,包括以下四个方面。

1. 实验预习

(1) 实验目的:本次实验所设计并要求掌握的知识点和目的要明确,在理论上,验证定理、公式、算法,并使实验者获得深刻和系统的理解;在实践上,掌握使用实验设备的技能技巧和程序的调试方法。

(2) 实验方法和原理分析:简单但要抓住要点,要写出实验原理所对应的公式表达式、公式中各参量的名称和含义、公式成立的条件等,画出简单原理图等。

(3) 实验环境:实验所使用的软件、硬件及实验条件,仪器名称及主要规格(包括量程、分度值、精度等)。

(4) 实验内容与实验步骤:要简明扼要地写出主要操作步骤,不要照抄实验指导书;还应画出实验流程图或实验装置的结构示意图,并配以相应的文字说明。

2. 实验过程

实验过程包括实际实验方法、步骤、操作过程及注意事项,实验设计方案(设计性实验),实验现象,原始数据记录等。

3. 实验数据分析处理

实验数据的分析处理包括对实验现象的描述、实验数据的处理等。原始资料应附在本次实验主要操作者的实验报告上。对于实验结果的表述,一般有以下3种方法:

(1) 文字叙述。根据实验目的将原始资料系统化、条理化,用准确的专业术语客观地描述实验现象和结果。要有时间顺序以及各项指标在时间上的关系。

(2) 图表。用表格或坐标图的方式使实验结果突出、清晰,便于相互比较。每一图表应有标题和计量单位,说明一定的中心问题。

(3) 曲线图。用于记录仪器绘制的曲线图。其反映的指标变化趋势形象生动、直观明了。

在实验报告中,可任选其中一种或几种方法并用,以获得最佳效果。

4. 结论

根据相关的理论知识对所得到的实验结果进行解释和分析。若所得到的实验结果与预期的结果一致,那么它可以验证什么理论,实验结果有什么意义,说明了什么问题;若所得到的实验结果与预期的结果不一致,不能用已知的理论或生活经验硬套在实验结果上,更不能由于所得到的实验结果与预期的结果或理论不符而随意取舍甚至修改实验结果,而应该分析其异常的可能原因。如果本次实验失败了,应找出失败的原因及以后实验应注意的事项。不应简单地复述课本上的理论而缺乏自己主动思考的内容。另外,也可以列写一些本次实验的心得以及提出一些问题或建议等。

1.2.3 实训报告的基本格式

实训是对理论学习的综合训练,实训报告则对实训中见到的各种专业现象加以综合、分析和概括,并用简练流畅的文字表达出来。撰写实训报告是对实训内容的系统化、巩固和提高的过程,是撰写专业报告的入门尝试,是进行专业思维的训练过程。实训报告要求以实训收集的专业素材为依据,要有鲜明的主题、确切的依据、严密的逻辑性,并且要简明扼要、图文并茂。报告必须是通过自己的组织加工撰写出来的,切勿照抄书本。

学生应结合实训过程撰写出实训报告,为提高报告的质量,规范报告的撰写、打印及装订格式,并便于储存、检索、利用及交流等,提出如下要求:

- (1) 报告应有封面、题目、专业、班级、姓名、日期等。
- (2) 文字要工整,语言要流畅。
- (3) 图表要美观整洁,布局合理,不准徒手画,必须按国家规定的绘图标准绘制。
- (4) 毕业实训报告字数不少于 5 000 字。

实训报告的具体书写格式包括:

- (1) 封面。写明系别、专业、班级、姓名、指导教师、报告题目等。
- (2) 摘要。作为报告部分的第 1 页,为中文摘要,字数一般为 150 字,是报告的中心思想。
- (3) 目录。报告的提纲,也是报告组成部分的小标题。
- (4) 正文。报告的核心,内容可根据实训内容和性质而不同,主要包括以下几项。

① 实训目的或研究目的。包括实训目的和意义,选题的发展情况及背景简介,方案论证,或实训单位的发展情况及实训要求等。

② 实训内容。

③ 实训结果。

④ 实训总结或体会。对实训的体会和最终的、总体的结论,不是正文中各段小结的简单重复。

⑤ 参考文献。实训过程中查阅过的、对实训过程和实训报告有直接作用或有影响的书籍与论文。

1.3 测量和误差分析

电路实验、实训的重要任务是定量地测量相关电路物理量,而对事物定量地描述又离不开数学方法和实验数据的处理。因此,测量方法、误差分析和数据处理是电路实验课的基础。

常用的电工测量方法有电压、电流和功率等物理量的测量,电阻、电容和电感等元件参数的测量,信号波形的观察分析以及特性曲线的测定等。测量方法的正确与否,直接关系到实验能否正常进行,所以选择正确的测量方法是实验过程中至关重要的一步。

通过仪器仪表直接得到被测量值的测量方法称为直接测量法。通过计算或观测分析取得被测量值的测量方法称为间接测量法。例如测量电阻时,可用万用电表的电阻挡直接测出电阻阻值,这是直接测量法,直接得到电阻阻值;若身边没有万用表,只有电流表和电压表,则可以先测出电阻两端的电压和流经电阻的电流,再根据欧姆定理算出电阻值,这是间接测量法,间接得到电阻阻值。

在实验中往往采用直接测量和间接测量相结合的方法,例如测量负载功率时,可以用功率表直接测出负载功率(直接测量),但测量时往往还需要记录流经负载的电流、负载两端的电压和负载的功率因数,则可以通过公式 $P=UI\cos\varphi$ 计算出负载功率(间接测量),再进行比较分析,并进行误差处理。

1.3.1 主要电路参量的测量

1. 电压、电流的测量

1) 电压的测量

电压测量是电子电路测量的一个重要内容。在集总参数电路里,表征电信号能量的三个基本参数是电压、电流和功率,但是从测量的观点来看,测量的主要参量是电压,因为在标准电阻的两端若测出电压值,就可通过计算求得电流或功率。

电压的测量方法主要有电压表测量法和示波器测量法两种。

(1) 电压表测量法

电压表总的可分为两大类:模拟式电压表和数字式电压表。

模拟式电压表是指针式的,用磁电式电流表作为指示器,并在电流表表盘上以电压(单位)刻度指示。模拟式电压表由于电路简单、价格低廉,特别是在测量高频电压时,精度较高的模拟式电压表的测量准确度不亚于数字电压表,故在目前和今后一段时间内,在电压测量中仍将占有重要的地位。

数字式电压表首先将模拟量通过模/数(A/D)变换器转换为数字量,然后用电子计数器计数,并以十进制数字显示被测电压值。将电压表并联于被测电路两端,直接由电压表的读数决定测量结果的测量方法称为电压表的直接测量法。这种方法简便直观,是电压测量的基本方法。测量电压除了直接测量法外,还可用补偿法和微差法。

(2) 示波器测量法

用示波器测量电压最主要的特点是能够正确地测定波形的峰值及波形各部分的大小,因此在需要测量某些非正弦波形的峰值或某部分波形的大小时,用示波器进行测量便成为必需的方法。

法了,主要有直接法和比较法两种。

① 直接法(又称标尺法):双踪示波器的Y轴灵敏度已标出($\text{mV} \sim \text{V}/\text{cm}$),使用前,要用校准信号校准各挡灵敏度,灵敏度微调旋钮要调制在校正位置。然后,将被测信号加于示波器Y轴输入端,从荧光屏上直接读出被测电压波形的高度(cm),则被测电压幅值=灵敏度(V/cm 或 mV/cm) $\times$ 高度(cm)。该测量方法会由于Y轴放大器增益的不稳定性而产生测量误差。

② 比较法:用没有标出Y轴灵敏度的示波器测电压时,需用比较法。测量时,先给示波器输入峰-峰值为5V的方波(或直流)信号(常称为比较信号),调节Y轴增幅,使其在荧光屏的Y轴上占5cm,则Y轴灵敏度成为1V/cm(注意调好后保持Y轴增幅不变)。对被测信号进行观察,即可读出信号的峰-峰值。若正弦信号的峰-峰值为4V,则幅值为2V,有效值为 $\sqrt{2}$ V。

这种测量方法会由于荧光屏上光迹和标尺刻度不在同一平面上而产生读数误差。用示波器测幅值时应注意,被测信号电压必须从直流输入端加入,否则将会被滤去直流成分,只剩下交流成分,而不能反映真实情况。

2) 电流的测量

测量直流电流通常都采用磁电式电流表。由于测量时,电流表是串接在被测电路中的,为了减小对被测电路工作状态的影响,要求电流表的内阻越小越好,否则将产生较大的测量误差。

测量交流电流通常采用电磁式电流表。由于交流电流的分流与各支路的阻抗有关,而且阻抗分流很难做得很精确,所以通常使用电流互感器来扩大交流电流表的量程。钳形电流表就是用互感器扩大电流表量程的实例。钳形电流表使用非常方便,但准确度不高。

实际操作中要特别注意,电流表(钳形电流表除外)是串联在电路中的,绝不能和被测电路并联。否则由于其内阻很小,将有很大的电流流经电流表,易把电流表烧坏。用示波器也可以测量电流的波形。这时在被测电流支路中串入一个小电阻,被测电流在该电阻上产生电压,用示波器测量这个电压,便得到电流的波形。

串联电阻 R 的选择应考虑下列几方面: R 的值应足够小,当它串入被测电路中时应对被测电路无影响; R 的值也不能过小,否则因被测电流 I 在其上产生的电压太小而使示波器的光点偏转太小,影响用示波器测量电流的精确度。

2. 功率的测量

电路中的功率与电压和电流的乘积有关,所以用来测量功率的仪表要有两个线圈分别反映负载电压和电流,因此测量功率常用电动式仪表。

1) 直流和单相交流功率的测量

在直流电路中,功率 $P=UI$;在单相交流电路中, $P=UI\cos\varphi$ 。因此功率表上有4个端钮,其中电压端钮并接在负载两端,反映负载电压;电流端钮串接在负载回路中,反映负载电流。面板直接按功率刻度。

(1) 功率表的正确接线

功率表是电动式仪表,指针转矩方向与两线圈的电流方向有关,因此要规定一个能使指针正向偏转的“公共端”。“公共端”用符号“*”或“ $\pm$ ”表示,接线时要使两线圈的“公共端”接在电源的同一极性上,以保证两线圈电流都能从该端子流入。按此规定,功率表的正确接线有两种方式,如图1-1所示,图中 R_d 为与电压线圈串联的附加电阻。除此之外的接线方式都是错误的,可能造成指针反偏或不能读出功率。在一般情况下,考虑到电流线圈的功耗比电压线圈的功耗小,如果负载电阻较大,可略去电流线圈的功耗不计,这时采用电压线圈接电源端的接线方式较

好,见图 1-1(a)。在精密测量时,若电源本身的功率不大而仪表的损耗不能忽略时,则功率表的读数中应引入校正,即从读数中减去仪表本身的消耗功率。此时采用电压线圈接负载端的方式较好,见图 1-1(b)。

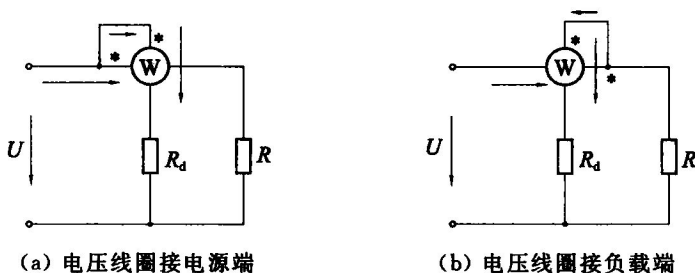


图 1-1 功率表的正确接线方式

(2) 功率表量程的选择

选择功率表的量程时要分别选择电压额定值和电流额定值。一定要使电压量程能承受负载电压,电流量程大于负载电流,不能只考虑功率大小。当功率因数很低时,即使电压和电流均达到额定值,功率 $P=UI\cos\varphi$ 也不能达到额定值。可见功率表量程的选择,实则是选择电压和电流的额定值。在实际测量中,还应接入电流表和电压表,以监视负载电流和电压不超过功率表的额定电压和额定电流值。

(3) 多量程功率表的读数方法

一般多量程的功率表的标度尺不标瓦特(W)数,只标分格数,可按下式算出每一分格所代表的瓦特数:

$$C = \frac{U_N I_N}{\alpha_m}$$

式中: U_N 是所选择功率表的电压量程, I_N 是电流量程, α_m 是标度尺满刻度的分格数。测量时,读出指针偏转格数 α 后,再乘以 C 就等于所测功率数值,即 $P=C \cdot \alpha$ 。

测量交流低功率因数时,应采用低功率因数功率表,这是因为普通功率表满偏的条件是额定电压、额定电流、额定功率因数($\cos\varphi=1$)。当负载的功率因数很低(如变压器、电机空载运行)时,功率表读数很小,从而给测量结果带来不容许的误差。低功率因数功率表专门适应低功率因数状态下功率的测量。它采用补偿线圈或补偿电容的办法减少误差,同时采用带光标指示器的张丝结构,减小摩擦力矩的影响,以提高仪表灵敏度。

2) 三相功率的测量

(1) 一瓦特表法测三相对称负载功率

一瓦特表法适用于三相四线制供电的三相星形连接的负载。用一只功率表测量各相的有功功率 P_A 、 P_B 、 P_C ,则三相负载的总有功功率 $\Sigma P=P_A+P_B+P_C$ 。这就是一瓦特表法。测量电路如图 1-2 所示。

(2) 二瓦特表法测三相对称负载功率

二瓦特表法适用于三相三线制供电的任意连接方式的三相负载,其测量电路如图 1-3 所示。其特点是两功率表的电流线圈串入任意两根火线(“*”或“±”端接电源侧),电压线圈的对应端与电流线圈相连接,电压线圈的另一端应与没有电流线圈串入的那根火线相连接。可以证明两只功率表读数 P_1 、 P_2 之和恰好等于三相交流总功率,即三相总功率 $\Sigma P=P_1+P_2$ 。

除图 1-3 的 I_A 、 U_{AC} 与 I_B 、 U_{BC} 接法外,还有 I_B 、 U_{AB} 与 I_C 、 U_{AC} 以及 I_A 、 U_{AB} 与 I_C 、 U_{BC} 两种接法。