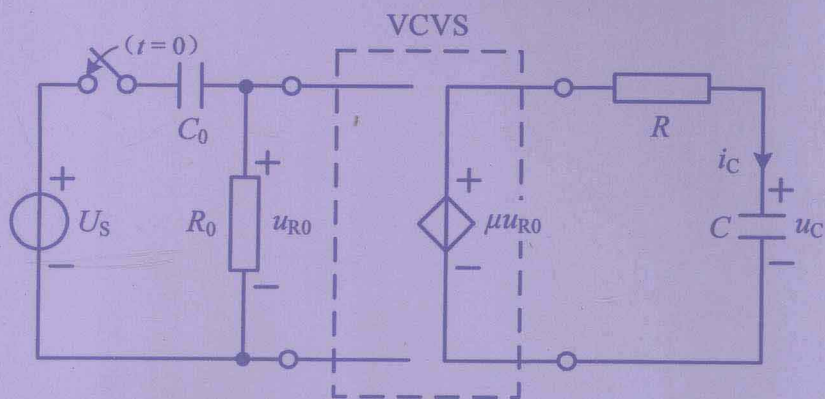


电路与电工原理研究性实验教程

DIANLU YU DIANGONGYUANLI YANJIUXING SHIYAN JIAOCHENG

编 著 沈一骑 孔令红



南京大学出版社

电路与电工原理研究性实验教程

编 著 沈一骑 孔令红



 南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路与电工原理研究性实验教程 / 沈一骑, 孔令红
编著. —南京: 南京大学出版社, 2012. 7

ISBN 978 - 7 - 305 - 10234 - 9

I. ①电… II. ①沈… ②孔… III. ①电路理论—实
验—教材②电工—理论—实验—教材 IV. ①TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 152083 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
网 址 <http://www.NjupCo.com>
出 版 人 左 健

书 名 电路与电工原理研究性实验教程
编 著 沈一骑 孔令红
责任编辑 王秉华 吴 华 编辑热线 025-83592146

照 排 江苏南大印刷厂
印 刷 南京人民印刷厂
开 本 787×960 1/16 印张 9.5 字数 166 千
版 次 2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷
ISBN 978 - 7 - 305 - 10234 - 9
定 价 21.00 元

发行热线 025-83594756
电子邮箱 Press@NjupCo.com
Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

电路与电工原理实验作为理工科的基础性实验,对于巩固学生的理论知识、提高动手能力和分析能力起着重要的作用,受到普遍重视。然而这类基础性实验大多为普通验证性实验,内容比较单调,趣味性和创造性不足,对学生的实验兴趣和实验热情有所影响。为了适应新时期的迫切需求,培养具有独立思考能力和开拓创新精神的新型人才,将电路与电工原理实验由普通验证性实验改革为研究性自主性实验,以提高学生对实验的重视程度和提高教学质量,也已成为各高校的广泛共识。

鉴于大学低年级学生的知识结构,电路与电工原理的研究性自主性实验也应是验证性的。但和普通验证性实验不同,是由学生在熟悉理论的前提下自行设计的验证性实验,在自行设计验证方案和电路之中必然带有一定的研究性,这就极大地增加了验证性实验的难度,对学生的综合素质也提出了更高的要求。研究性自主性实验还带有一定的综合性,这一综合性是指复杂实验模块的综合使用,如对偶原理研究实验中加入受控源模块,理论设计和实验难度也将大大增加。为了顺利完成这类研究性自主性实验,除了加强教师的引导外,应先安排普通验证性实验作为预备实验,使学生了解实验模块的性能和使用方法、掌握实验技巧、验证实验思路,以及对研究性自主性实验作出前期的探索等。

本教程以两个普通验证性实验和一个研究性自主性实验为一组,共安排七组,其中电路原理部分六组,电工学电机控制部分一

组,普通验证性实验还都设有一个研究性自主性小实验。电路原理部分包括电路定理、直流电路、交流电路、暂态电路和三相电路以及受控源、负阻变换器和回转器研究等;电机控制部分包括三相异步电动机和继电接触器控制系统。

本教程的通用性较大,可以适合不同的教学要求,而且所有的实验均无需依托特定的实验装置。如果只要求普通验证性实验,可略去研究性部分;如果仅为电路原理实验,则可略去电机控制实验。建议普通验证性实验每实验为2~3学时,撰写实验报告;研究性自主性实验每实验为4~6学时,撰写实验论文。对于研究性自主性实验的难度,可根据学生情况作出调整,并以过程性为主。

本教程的研究性自主性实验由著者根据多年电路、电工理论和实验的教学心得设计,并经南京大学电子科学与工程学院、工程管理学院等多届学生的实践而逐步完善。由于著者水平有限,加之时间仓促,误漏之处恳请读者批评指正。

沈一骑

2012年5月于南京大学

目 录

绪论	1
研究性自主性实验说明	5
安全用电	7
实验一 基本电工仪表与测量误差	13
1. 电表内阻引起的测量误差	19
2. 利用单量程两次测量法减少电表的测量误差	19
研究性自主性小实验：电子式直流电表内阻的测量	21
实验二 基尔霍夫定律与特勒根定理	22
1. 验证基尔霍夫定律	23
2. 验证特勒根定理	23
研究性自主性小实验：验证互易定理	25
研究性自主性实验一 叠加定理研究	26
实验三 电源与受控源的基本特性	28
1. 电源的基本特性与等效变换	29
2. 受控源的基本特性	30
研究性自主性小实验：受控源的级联	34
实验四 替代定理与戴维宁定理	35

1. 验证替代定理	36
2. 验证戴维宁定理	36
研究性自主性小实验: 验证诺顿定理	38
研究性自主性实验二 对偶原理研究	39
实验五 RLC 电路的谐振	41
1. 电路元件电流电压的相位关系与频率特性	42
2. RLC 串联电路的谐振	43
研究性自主性小实验: 复杂 RLC 电路的谐振	46
实验六 负阻变换器与回转器的基本特性	47
1. 负阻变换器的基本特性	49
2. 回转器的基本特性	49
研究性自主性小实验: 回转器特性的进一步研究	52
研究性自主性实验三 密勒定理研究	54
实验七 一阶电路的瞬态响应	56
1. RC 电路的瞬态响应	57
2. RC 微分和积分电路	58
研究性自主性小实验: 强迫跃变研究	59
实验八 二阶电路的瞬态响应	61
1. RLC 二阶串联电路的瞬态响应	62
2. RLC 二阶串联电路的等幅、增幅振荡	63
研究性自主性小实验: RLC 二阶混联电路瞬态响应研究	65
研究性自主性实验四 冲激响应研究	66
实验九 交流电路功率因素的提高	68
1. 三表法测量镇流器的等效参数	70
2. 荧光灯电路功率因素的提高	70
研究性自主性小实验: 工频交流电路的相量法研究	72
实验十 互感电路与变压器特性	73
1. 串接空心互感线圈的去耦等效及互感系数测量	75

2. 铁心变压器的电压、电流及阻抗变换	76
研究性自主性小实验：双副绕组变压器的电压、电流及阻抗变换 研究	78
研究性自主性实验五 变压器等效电路和复功率研究	79
实验十一 三相交流电路的电流与电压	81
1. 三相电路的相序	82
2. 三相电路电流与电压相量的测量	82
研究性自主性小实验：复杂三相电路 KCL 的验证	86
实验十二 三相交流电路的功率	87
1. 一瓦表法测量三相电路有功功率和无功功率	89
2. 二瓦表法测量三相电路有功功率和无功功率	89
研究性自主性小实验：复杂三相电路总功率的测量	91
研究性自主性实验六 非线性复杂三相电路的相量法研究	93
实验十三 继电器接触器控制系统	95
1. 电灯的简单继电器控制	99
2. 电灯的复杂继电器控制	99
研究性自主性小实验：电灯交替工作的单时间继电器控制	100
实验十四 三相异步电动机的继电器控制	101
1. 三相异步电动机的简单继电器控制	105
2. 三相异步电动机的复杂继电器控制	106
研究性自主性小实验：三相异步电动机的复杂控制	108
研究性自主性实验七 多功能电风扇运行的继电器模拟控制	109
附录一 常用电子元件性能简介	111
附录二 常用电气测量方法	119
附录三 COS-620 型示波器使用说明	128
附录四 DS1022C 型数字示波器使用说明	133
参考文献	144

绪 论

一、课程目的

电路与电工原理研究性实验是大学理工科的一门基础性实验课程,它有以下的目的:

(1) 通过电路与电工原理的普通验证性实验,巩固理论知识,学习和掌握基本实验技能,提高动手能力,培养严谨、细致、扎实的科学作风和良好的实验习惯。

(2) 通过研究性自主性实验,初步培养查阅科技文献能力、独立研究能力、分析与解决实际问题能力,以及对实验的完整设计能力。

二、实验程序

实验程序一般分为实验课前预习、进行实验和编写实验报告三个阶段。

1. 预习

由于电路与电工原理研究性实验的难度很大,课时有限,能否顺利按时完成和达到预期的实验效果,完全取决于预习和实验准备工作是否充分。在预习时,必须仔细阅读实验教程,复习有关理论知识,明确实验目的和内容,了解实验原理、电路、方法和步骤,熟悉实验所用仪表的使用方法。估算实验电路中的电流、电压与功率以及元件参数,以便于确定仪表量程和与实验数据进行比照。对于研究性实验,必须进行理论设计,尤其必须计算所用元件的功率,以免损坏元件。建议根据电路图进行“思想实验”,即在脑海里把实验完整地做一遍,包括实验连线、测量和数据记录等,真正做到心中有数。为培养学生的独立工作能力,实验课不安排全体讲解,教师只作现场指导,故未作预习者,不得进行实验。

2. 实验

(1) 准备工作

按实验教程所列的实验组件,核对本实验使用的各仪表和实验单元,并

按方便实验的原则排列整齐。各种电源应保证从 0 起调。按预习估算的数值选择各表的量程。为安全起见,实验桌上不能放置与实验无关的任何物品。

(2) 连接实验电路

连线应在断电情况下进行。连线前可用万用表检查导线是否完好。可采用电路图元件和对应的实际元件上、下、左、右侧各自对应,上与左、下与右侧相互对应的原则连线。可按照电路的结构特点,先连主要的串联电路,再连分支电路。对于复杂电路可先把电路分解成几个比较简单的部分,分别连接后再依次连成完整电路。教程中大部分电路图为清晰起见未画测量电表的接线图。在接线时可将电流表串联于被测电流的回路,若为直流电流表,须使电流流入其“+”端;可将电压表并联于被测元件的两端,若为直流电压表,须使其“+”端接于高电势处。实验导线分为强电和弱电两种形式,强电为护套型,弱电为普通型,实验时万不可互插,尤其是不能将弱电导线插入强电的护套型插孔。线路连好后应收走多余的导线,特别是应保证没有一端悬空的导线,否则极易发生触电事故。导线插头不易过分集中于一点,应尽量分开接插。应用手指捏住插头拔插导线,不能拽线拔插,否则极易折断导线。

(3) 检查实验线路

实验电路连好后,应认真自查和互查,确信无误后方可接通电源。

(4) 接通实验电源

接通电源前必须通知同组人员。接通后必须密切注意各实验组件的情况是否正常,如指针式仪表有无反转、超量程,有无冒烟、发热、异味和异响。发现异常应立刻断电检查,消除故障后方可重新接通电源。

(5) 操作和记录

操作前应做到心中有数、目的明确。操作时应聚精会神、胆大心细和沉着冷静。认真观察实验现象和测量实验数据,并根据理论知识分析其是否正常。实验现象和实验数据的记录必须真实、合理、完整和清晰。

在实验过程中如需改接线,一般应切断电源和将电容短路后进行。

(6) 结束工作

在完成实验内容并请指导老师审核实验数据无误后再结束实验。应先关闭各直流电源的开关,再关闭实验台总电源开关,并将三相交流可调电源的旋钮左旋至零;然后拆线,将各实验组件摆放整齐,将实验导线按类型整理收好,桌椅摆正归位,并做好环境清洁工作。

3. 完成实验报告

对实验现象和数据的处理、分析与研究,是获得实验成果(结论)的关键环节,也是培养和提高综合分析能力和科研能力的重要步骤。实验报告是实验工作的全面总结,应以简明确切的形式将实验结果完整、真实地表达出来,力求字迹端正、条理清楚、数据真实、图表清晰、分析合理、讨论深入、结果正确。虽然实验报告与科学论文在结构、侧重和内涵上有所不同,但两者在对实验现象和数据的分析、总结与讨论上是完全一致的,故在重现已知科学规律及实验现象的同时,应密切注意实验中出现的任何新现象、新问题,进而进行研究,以充实实验报告中分析、讨论部分的比重,把实验报告写成有一定科学意义的学术论文。

实验报告应包含以下内容:

- (1) 实验日期、班级、组别、本人及同组实验者的姓名和学号;
- (2) 实验名称;
- (3) 实验目的;
- (4) 实验台号、实验组件(名称、型号、主要规格和编号);
- (5) 实验原理(可缩写);
- (6) 实验内容、实验电路和实验步骤(实验步骤可省略);
- (7) 实验数据、图表及计算;
- (8) 实验结论及分析与建议;
- (9) 实验特殊现象与故障的分析;
- (10) 思考题和自拟问题的研究。

三、电工实验安全规则

电工实验室属强电实验室,为确保人身和仪器设备的安全,学生进入实验室后必须严格遵守电工实验安全规则:

- (1) 实验中应始终牢记“安全第一、实验第二”、“强电伤人、胆大心细”的原则。
- (2) 实验前必须充分预习,明确实验目的、内容、方法、步骤和应注意事项,未预习者不得进行实验。
- (3) 实验中不得用手触摸任何可能带电的金属部分,养成只触摸绝缘部分的习惯。
- (4) 按导线类型连好实验电路,认真自查和互查,并收走多余导线,特别

是应保证没有一端悬空的导线,在通知同组人员后,才可接通电源。

(5) 改接实验电路及拆线必须在切断电源、电容器用导线短接放电后进行。

(6) 实验中要随时注意有无异常现象。如果发生故障,应立即切断电源,保留现场,并报告有关人员进行检查处理。

(7) 不得随意在实验仪器上乱动乱摸。不得擅自动用与本次实验无关的仪器设备。不得擅自打开实验机柜和拆卸任何仪器设备。实验台上不得放置水杯、雨具等含水物品和其他与实验无关的物品。

(8) 实验课不得迟到或无故离开。实验室应保持安静和整洁。不做与规定实验无关的事。

(9) 对违反操作规定而造成实验仪器损坏者,应作出检查。对情节严重者,除对其进行批评教育、停止实验外,还要按学校有关规定进行赔偿。

(10) 实验结束后,应立即切断各种电源。

研究性自主性实验说明

研究性自主性实验是一种具有挑战性的新颖实验,在一定意义上也是一项科学研究。在学生现有知识水平和实验室现有设备的条件下,若选择验证科学定理作为命题,必须有一定的理论和实验难度以体现研究性;学生根据命题,需自行确定技术指标和设计方案、自行设计电路和软件,自行调试和解决各种问题,体现出自主性和设计性。研究性自主性实验还体现过程性,在实验过程中的有所发现、创造和进步都是实验成功的具体表现,重在过程而非结果。

做好研究性自主性实验,除了必须在思想上高度重视,把它看成是对自己能力的挑战和培养,是独立工作的预演和实践之外,还必须注意以下几个方面:

- (1) 加深对原理的理解并补充有关知识;
- (2) 重视研究性自主性实验之前的预备性实验;
- (3) 对验证性的课题,应作出详尽的理论计算;
- (4) 对贴近生活的课题,应实地考察便于提出切实可行的方案;
- (5) 对一些较难的课题或测量,应想方设法采用直接或间接的方法进行;
- (6) 须根据实验室现有设备设计或调整方案,一般不宜超出现有条件;
- (7) 应做一些相关的小实验来验证方案的可行性;
- (8) 应注意实验设备的额定参量、元器件的额定功率以及测量仪表的量程和精度;
- (9) 要有锲而不舍的精神,遇到困难应仔细分析找出原因,不轻言失败;
- (10) 要多与老师和同学交流。

由于研究性自主性实验具有科研的性质,实验报告应采用论文格式撰写。论文的参考格式为:

- (1) 题目(中/英文);
- (2) 摘要(中/英文);
- (3) 关键词(中/英文);
- (4) 引言;

- (5) 理论介绍;
- (6) 验证方法、实验设计和理论计算;
- (7) 原理性、技术性问题的探索过程和解决方法;
- (8) 实验数据及处理、分析与结论;
- (9) 存在问题及后续研究展望、致谢;
- (10) 参考文献。

安全用电

在电路与电工原理实验和日常工作、生活中,安全用电极为重要。安全用电包括人身安全和设备安全。当发生人身安全事故时,轻则灼伤,重则死亡;当发生设备安全事故时,轻则损坏设备,重则引发火灾,其危害均是非常严重的,因此掌握安全用电知识十分必要。

一、电流对人体的危害

由于不慎接触带电体,人体会受到各种伤害。根据伤害的性质,触电事故可分为电击和电伤两种。

电击是指电流通过人体使内部器官受到的伤害。如果触电者不能迅速脱离带电体,最后将导致死亡。

电伤是指电弧等对人体外部的伤害,如烧伤、金属溅伤等。

根据对触电事故资料的分析和实验,证实电击所引起的伤害程度与下列因素有关:

1. 人体电阻的大小

人体电阻愈大,通过人体的电流就愈小,伤害程度也就愈轻。当皮肤有完好角质外层并且很干燥时,人体电阻大约为 $10^4 \sim 10^5 \Omega$ 。当角质外层被破坏时,则降到 $800 \sim 1\,000 \Omega$ 。

2. 电流通过时间的长短

电流通过人体的时间愈长,伤害愈严重。

3. 电流的大小

如果通过人体的电流小于 50 mA ,仅触电部分的肌肉发生痉挛。如果超过 50 mA ,肌肉的痉挛迅速加剧,使触电者不能自觉脱离带电体,最后因中枢神经系统麻痹,使呼吸和心跳停止而危及生命。一般来说,接触 36 V 以下电压时,通过人体的电流不致超过 50 mA ,故把 36 V 电压定为安全电压。若在

潮湿场所,安全电压则为 24 V 或 12 V。

此外,电击的伤害程度还与电流通过人体的路径以及与带电体接触的面积和压力等有关。

二、触电方式

1. 接触正常带电体

(1) 电源中性点接地的单相触电,如图 0-1 所示。此时人体处在相电压之下,电流经过人体由脚流入大地构成回路,危险性较大。如果人体与地面绝缘不好,如身体出汗或湿脚着地,回路中电阻减小,危险性将大增。如果绝缘较好,危险性可有所降低。

(2) 电源中性点不接地的单相触电,如图 0-2 所示。电源中性点不接地,似乎不构成电流通过人体的回路,但实际上导线与地面之间存在着分布电容,之间的绝缘也可能不良(对地绝缘电阻 R'),甚至有一相接地,即可构成电流的通路,故此种触电也有危险。

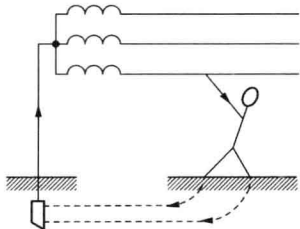


图 0-1 电源中性点接地的单相触电

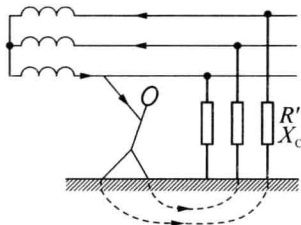


图 0-2 电源中性点不接地的单相触电

(3) 两相线间的触电(图 0-3)和相线与零线间的触电(图 0-4)虽不常见,但最为危险。一是人体处于相、线电压之下,二是线路的安全保护装置因无法判断线路连接的是正常负载还是人体而无法动作,从而造成极为严重的触电事故。

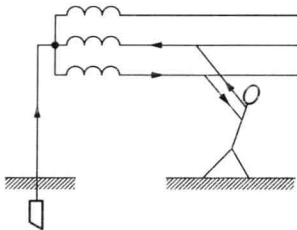


图 0-3 两相线间的触电

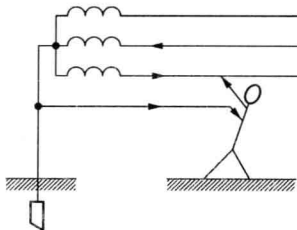


图 0-4 相线与零线间的触电

2. 接触正常时不带电的金属体

触电的另一种情形是接触在正常情况下不带电的金属部分。譬如,电机(或其他电气设备)的外壳本来是不带电的,由于绕组绝缘损坏而与外壳接触使之带电。人手触及带电的电机外壳,相当于单相触电。大多数触电事故属于此类。为了防止此类触电事故,常对电气设备采用保护接地和保护接零。

三、接地和接零

为了人身安全和电力系统工作需要,要求电气设备采取接地措施。按接地目的不同,可分为工作接地、保护接地和保护接零三种,如图 0-5 所示。图中的接地体是埋入地中并且直接与大地良好接触的金属导体(要求接地电阻小于 $4\ \Omega$)。

1. 工作接地

电力系统由于运行和安全的需要,常将中性点接地(图 0-5),称之为工作接地。工作接地有以下目的:

(1) 降低触电电压

在中性点不接地的系统中,当一相接地而人体触及另外两相之一时,触电电压为线电压;而在中性点接地的系统中,触电电压可减小为相电压。

(2) 迅速切断故障设备

在中性点不接地的系统中,一般情况下导线和地面间存在的阻抗很大,一相接地时接地电流很小,不足以使保护装置动作而切断电源,接地故障不易发现,长期存在对人身安全不利。而在中性点接地的系统中,一相接地后的接地电流较大(接近单相短路),保护装置可迅速动作切断电源。

(3) 降低电气设备对地的绝缘要求

在中性点不接地的系统中,一相接地时将使另外两相的对地电压升高到线电压。而在中性点接地的系统中,则接近于相电压,故可降低电气设备和输电线的绝缘要求,节省投资。

但是,中性点不接地也有好处。一是一相接地往往是瞬时的,能自动消除,在中性点不接地的系统中,就不会跳闸而发生停电事故;二是一相接地故障可允许短时间存在,以便于寻找故障和进行修复。