



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电工实验 及计算机仿真

瞿 红 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育实验实训规划教材

电力技术类

电工实验 及计算机仿真

主 编	瞿 红				
编 写	钟永安	杨菊梅	谢小乐	熊木兰	
	刘 英	欧阳微频	王玉芳	杨超美	
主 审	黄问贵				



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材（电力技术类）。

全书共分4章，主要包括电工实验基础知识、电工实验、Multisim 软件简介、计算机仿真实验。本书通过33个电工实验项目和15个计算机仿真实验项目，介绍了一些常用仪器仪表的使用方法和一些常用的测试方法，以及使用Multisim 7软件进行仿真实验的方法和技巧。本书内容丰富，具有较强的综合性及典型性，配有电子教案，可满足不同专业的教学要求。

本书可作为高职高专院校电力技术类专业的电工基础、电路与磁路、电路分析、电工测量等课程实验教材，也可作为有关工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工实验及计算机仿真/瞿红主编. —北京：中国电力出版社，2009

普通高等教育实验实训规划教材·电力技术类

ISBN 978-7-5083-8097-1

I. 电… II. 瞿… III. 电工试验—计算机仿真—高等学校—教材 IV. TM—33

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第173185号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://jc.cepp.com.cn)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年1月第一版 2009年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 9.5印张 230千字

定价 15.20元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书是根据高职高专院校对电工实验课程的教学要求,结合在电工实验方面长期的教学经验而编写的。本书的主要特色包括:

(1) 传统实验与计算机仿真实验相结合,在介绍传统实验的同时,还介绍了计算机分析电路的方法和利用虚拟测试仪器对电路进行仿真实验的内容。其目的是使学生学会现代电路分析中先进的分析方法并会使用现代的工具软件,以提高学生解决工程问题的能力,适应现代电路分析、设计工作的需要。

(2) 验证性实验与设计性实验相结合,紧密联系工程实际,突出理论知识的实用性,注重实践能力和创新精神的培养。

(3) 本书实验内容丰富,便于教师根据教学重点和课时要求,灵活取舍或合并。

(4) 简明易学,可操作性强。为了便于教师采用现代化的教学手段进行教学,本书还配有各章节的教学课件,包括电工实验基础知识和每个实验的详细内容。对每一个计算机仿真实验的操作步骤都进行了直观、生动的演示,非常具体、形象,便于读者快速掌握使用 Multisim 软件进行仿真实验的方法和技巧。

全书共 4 章,各章主要内容如下:

第 1 章为电工实验基础知识,包括电工实验概论、电工测量基础知识、实验操作规范和安全用电知识、常用电工仪器仪表的选择和使用、常用电工工具的使用、电路故障的检查与处理等内容。

第 2 章为电工实验,包括直流电路、单相交流电路、三相交流电路、周期性非正弦交流电路、动态电路、电工测量等的基本实验及设计应用性实验内容,可根据不同专业的教学要求选取实验内容。其中,带“*”号的各节为设计性实验内容。

本章通过 33 个实验,介绍了电流表、电压表、万用表、功率表、功率因数表、稳压电源、示波器、函数发生器和晶体管毫伏表等一些常用仪器仪表的使用方法;介绍了一些常用的测试方法,如电压、电流、功率等物理量和电阻、电容、电感等元件参数的测量方法,信号波形的观测方法和特性曲线的测试方法。同时,还介绍了如何按照实验电路图正确连接实验电路,分析并排除一些简单故障,合理地读取和记录实验数据;如何自拟实验方案,合理设计实验电路,正确选择元器件、确定实验参数;如何整理实验数据,绘制相关曲线,分析并解释实验结果,撰写合格的实验报告。

第 3 章为 Multisim 软件简介,包括 Multisim 概述、Multisim 7 的主窗口界面、Multisim 7 的使用入门等内容。

第 4 章为计算机仿真实验,包括采用虚拟仪器测量电位和电压、测量电阻元件伏安特性、验证叠加定理、验证戴维南定理、测量线圈的参数、测试 RLC 串联电路、测定三相电源的相序、测量三相电路的电压和电流、测量三相电路的功率、对电路进行直流工作点分析得出各点电位、利用直流扫描分析测量电阻元件的伏安特性曲线、应用直流工作点分析功能计算节点电压、对动态电路作暂态分析、对动态电路作参数扫描分析等内容。

本书由江西电力职业技术学院瞿红主编,钟永安、杨菊梅、谢小乐、熊木兰、刘英、欧阳微频、王玉芳、杨超美参编。其中,钟永安编写了第1章和第2章的2.1、2.4、2.19、2.29节;杨菊梅编写了第2章的2.2、2.14、2.30~2.32节;谢小乐编写了第2章的2.3、2.20、2.28、2.33节;熊木兰编写了第2章的2.12、2.13、2.24、2.25节;刘英编写了第2章的2.10、2.11、2.21、2.26节;欧阳微频编写了第2章的2.16、2.17、2.22、2.23节;王玉芳编写了第2章的2.5、2.8、2.18、2.27节;杨超美编写了第2章的2.6、2.7、2.9、2.15节;瞿红编写了第3、4章。各个实验项目的验证工作由相应的编写人员完成。全书由瞿红统稿,并制作各个章节的教学课件。

本书的第2章内容是以校内自编《电工实验指导书》讲义为基础进行改写的,包含了参加该讲义编写工作的钟永安、杨菊梅、欧阳荣老师的辛勤劳动,在此表示深切的谢意。

九江职业技术学院黄问贵老师担任本书主审,对本书进行了仔细审阅,提出了许多宝贵意见,谨致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

编 者

2008年8月

目 录

前言

第1章 电工实验基础知识	1
1.1 概论	1
1.2 电工测量基础知识及安全用电	2
1.3 常用电工仪器仪表的选择和使用	7
1.4 常用电工工具的使用	12
1.5 电路故障的检查与处理	13
第2章 电工实验	15
2.1 电阻元件伏安特性的测量	15
2.2 电路中电位和电压的测量	17
2.3 基尔霍夫定律的验证	20
2.4* 电路故障的检查与处理	21
2.5 电阻的星形网络与三角形网络的等效变换	22
2.6 实际电源的外特性	25
2.7* 两个电源并联供电电路的研究	27
2.8 叠加定理的验证	28
2.9 戴维南定理的验证	30
2.10 电阻的测量 (一)	33
2.11* 电阻的测量 (二)	36
2.12 电压表、电流表的校验	39
2.13* 磁电系表头的应用	40
2.14 用示波器观察信号波形	41
2.15 RLC 串联电路的研究	44
2.16 线圈参数的测量	46
2.17* 无源二端网络的等效阻抗的测量	47
2.18 日光灯电路及功率因数的提高	48
2.19* 室内照明电路的设计	51
2.20 串联谐振电路	52
2.21* 互感电路的观测	55
2.22 三相负载的星形连接	57
2.23 三相负载的三角形连接	58
2.24 三相有功功率的测量	60
2.25 三相无功功率的测量	62
2.26 电能表的接线和测试	64
2.27 二端口网络	66
2.28 周期性非正弦交流电路	69
2.29* 非线性电阻的串联电路	71

2.30	一阶电路的研究	72
2.31	RC 微分电路和 RC 积分电路的研究	76
2.32	二阶电路的响应	77
2.33	交流铁芯线圈电路的研究	79
第 3 章	Multisim 软件简介	82
3.1	Multisim 概述	82
3.2	Multisim 7 的主窗口界面	83
3.3	Multisim 7 的使用入门	91
第 4 章	计算机仿真实验	97
4.1	采用虚拟仪器测量电位和电压	97
4.2	对电路进行直流工作点分析得出各点电位	101
4.3	采用虚拟仪器测量电阻元件伏安特性	103
4.4	利用直流扫描分析测量电阻元件的伏安特性曲线	105
4.5	应用直流工作点分析功能计算节点电压	109
4.6	叠加定理的验证	111
4.7	有源单口网络等效电路及其参数测定	114
4.8	测量线圈的参数	117
4.9	测试 RLC 串联电路	121
4.10	测定三相电源的相序	126
4.11	测量三相电路的电压、电流	129
4.12	测量三相电路的功率	132
4.13	用示波器观测动态电路的波形	137
4.14	对动态电路作暂态分析	139
4.15	对动态电路作参数扫描分析	142
参考文献		146

第1章 电工实验基础知识

1.1 概 论

一、实验课意义

随着社会的进步、科技的迅猛发展,当今急需一技多能的复合型人才。实验是培养学生一技多能的最基本的环节,是学生最重要的基本训练之一。任何自然科学理论离不开实验,科学实验是研究自然科学的重要手段,是科学技术得以发展的重要保证。对电工技术、电路课程来说,实验课是教学中一个重要的实践性环节,是基本实践技能训练的重要环节。

二、实验课目的

- (1) 进行实验的基本技能训练。
- (2) 支持理论教学,巩固、加深、扩大所学理论知识,培养运用基本理论来分析、解决实际问题的能力。
- (3) 培养实事求是、严肃认真、细致踏实的科学作风和实验习惯。

三、实验课须知

- (1) 实验前必须认真复习相关理论知识,阅读实验指导教材,明确实验目的、内容、步骤和方法等。实验课时,教师对预习的情况进行抽查提问,抽查提问不合格者,暂停本次实验。
- (2) 每个实验小组由组长负责。每次实验要有明确的分工,做到分工协作、相互促进。
- (3) 在指定的实验桌上进行实验,除本次实验设备外,不得擅自取用其他设备(包括其他实验桌设备)。接线完毕后,必须经教师检查后,方可接通电源进行实验,实验时要认真、严肃、集中精力做好实验,不得做与实验无关的事。在改接线路时,必须切断电源,不得带电操作。
- (4) 实验完毕后,首先自己检查实验数据是否符合要求,再请教师检查,经老师同意后可以拆线,并将导线整理好,设备放回原处,打扫卫生后离开实验室。
- (5) 仪器设备是国家财产,必须保护好,若有损坏,应立即报告指导教师,检查处理,不准任意搬动调换实验室仪器设备。
- (6) 实验室内禁止吸烟、喧哗、随地吐痰和乱写乱画,以保持安静、整洁的环境。
- (7) 实验过程中,若发现异常现象,如声响、发热、冒烟、焦臭等,应立即切断电源,保护现场,报告指导教师,共同分析事故发生原因。造成设备损坏者,应填写事故报告单,并酌情给予处理。
- (8) 注意仪器设备的规格、量程和操作规程,工作电压和电流不许超过额定值。不了解仪器设备性能和用法时,不能随意使用;使用时轻拿轻放、放置稳妥,不得私自拆开,以防损坏。
- (9) 实验报告要求文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、分析合理、讨论深入。实验报告内容一般包括实验名称、时间、小组成员、实验人、实验组别、实验目的、实验内容、设备和仪器、实验数据和计算结果(包括曲线)、实验结论分析及讨论。实验数据与计

算结果应列表格,报告中的波形、曲线一律画在坐标纸上,比例要适当,波形、曲线力求光滑,不得随意修改和拼凑实验数据。

(10) 实验中不服从安排、违反实验室规则和操作规程,且屡教不改的,指导教师可令其停止实验,实验成绩按零分处理。

1.2 电工测量基础知识及安全用电

一、电工测量基础知识

(一) 有效数字

1. 有效数字的概念

测量值一般都包含有误差,所以测量值是近似值。近似值的数字应取多少位,这是应该弄清楚的。例如,一个量程为 30V 的电压表,满刻度为 30 格,每格为 1V。电压表指针指在 6.5 格处的读数为 6.5V,其中小数点后的“5”是估读的(欠准确);指针在 20 格处的读数为 20V,应记为 20.0V;指针在 25 格处的读数为 25V,应记为 25.0V。如果该表量程为 3V,则各量应记为 0.65、2.00V 和 2.50V。这种仪表的测量值,最后一位是估读的数字(欠准数字),过多的位数是没有意义的,但位数少了,又会增加测量的误差。

一个数据,从左边第一个非零数字算起到最末一位数字为止,其间所有数字均为有效数字。有效数字的位数称为有效位数,有效位数越多,误差越小。

当“0”在第一个非零数字之前时,不是有效数字。例如 0.032,左边第一个和第二个“0”都不是有效数字,该数据只有 2 位有效数字;当“0”在数字中间或数尾时,就是有效数字,如 3002 中间的两个“0”都是有效数字,3200 和 32.00 数尾的两个“0”也都是有效数字。在小数点后的数尾不能随便增加或减少零。例如 32000,有 5 位有效数字,采用科学计数法应写作 3.2000×10^4 。

有效位数表征着近似值的准确程度。在数学中,3.2 和 3.20 是相等而没有区别的,但作为测量数据,二者是有区别的。前者表示误差出现在小数点后第一位,而后者表示误差出现在小数点后第二位。因此,后者要比前者更准确。

为了保证测量的准确度,仪表指示机构必须使读数有足够的位数,位数不够会增加仪表的测量误差,位数太多又没有必要。例如:数字式电压表的误差为万分之几,就应该设计 5 位读数;若仅有 4 位读数,则误差达千分之几;若设计 6 位读数,则第六位表示整个读数的十万分之几,比误差还小,所以这一读数已无意义。

2. 数据的修约规则

通常对测量或计算所得数据要进行舍入处理,以使其具有所需的位数,这个处理工作叫“修约”。例如,取 n 位有效数字,则第 n 位后面多余的数字的修约规则如下:

(1) 若第 $n+1$ 位数字小于 5,则舍去。例如 3.1415926...取 3 位有效数字,修约结果为 3.14;

(2) 若第 $n+1$ 位数字大于 5,则进 1。例如 3.1415926...取 5 位有效数字,修约结果为 3.1416;

(3) 若第 $n+1$ 位数字等于 5,则采用“偶数原则”:如果第 n 位为奇数,则进 1,如 3.1415926...取 4 位有效数字,修约结果为 3.142;如果第 n 位为偶数,则舍去,如 4.325

取3位有效数字,修约结果为4.32。总之,要使末位凑成偶数。这与“四舍五入”的一般规则不同,逢5就入会在大量的数字运算中造成累计,而根据末位的奇偶数来决定入或舍,可使入与舍的机会相等,提高了数据的准确度;

(4) 若需要舍去的尾数为两位以上数字时,不得进行连续修约,而是应该根据准备舍去的数字中左边第一个数字的大小,按上述规则一次修约出结果。例如1.2346,需要修约成3位数时,应为1.23,而不是先修约成1.235,再修约成1.24。

3. 数据的运算规则

(1) 加减运算。加减运算的一般步骤如下:

- 1) 对小数位数多的数据进行修约,使其比小数位数最少的数据只多1位小数;
- 2) 进行加减运算;
- 3) 对计算结果进行修约,使计算结果的小数位数与原数据中小数位数最少的数据的小数位数相同。

【例1-1】 计算 $36.765 + 1.2 - 4.8674521$ 。

解:对小数位数较多的数据先进行修约,使其比小数位数最少的数据只多1位。参加计算的3个数中,小数位数最少的数是1.2,因而将另外两个数修约到小数点后两位,即

$$36.765 \approx 36.76$$

$$4.8674521 \approx 4.87$$

进行加减运算,即

$$36.76 + 1.2 - 4.87 = 33.09$$

对计算结果进行修约,将计算结果修约到小数点后一位,结果为33.1。

(2) 乘除运算。乘除运算的一般步骤如下:

- 1) 先对有效数字位数多的数据进行修约,使其比有效数字位数最少的数据只多1位有效数字;
- 2) 进行乘除运算;
- 3) 对计算结果进行修约,使计算结果的有效数字位数与原数据中有效数字位数最少的数据的有效数字位数相同。

(二) 误差的分类及计算

1. 误差的分类

测量误差是指测量的结果与被测量的实际数值存在差别。误差可以分为以下三种:

(1) 系统误差。系统误差是指数值固定或遵循一定规律变化的误差。系统误差可以通过实验或理论计算来求得。

系统误差的产生原因如下:

1) 仪表本身的“固有误差”,即基本误差。各种准确度等级的仪表均有一定的允许误差。

2) 仪表的“使用误差”,即附加误差。

3) 测量方法的误差。

4) 测量人员的习惯性误差。

系统误差应控制在允许范围内。系统误差可通过与高一级的基准进行对比而得到校正。

(2) 随机误差。随机误差又称偶然误差,是由于周围环境(温度的微量变化、空气的扰

动、地面的微震、电源电压波动、电磁场微变等)对测量产生的综合影响造成的。随机误差的特点是在多次测量同一量时,误差的大小和符号均发生不可预知的变化。由于随机误差没有规律性,不为测量者所预知,也无法加以控制,所以不能用实验方法来消除,但可以通过获取大量测量值后求平均值来使之减小。

(3) 粗大误差。粗大误差是由于测量人员的疏忽而造成的误差。含有粗大误差的测量值称为坏值,应给予废弃。

2. 误差的三种表现形式

(1) 绝对误差。绝对误差是指测量值 A_N 与被测量的真值 A_0 之间的差值,用符号 Δ 表示,即

$$\Delta = A_N - A_0$$

上式中的真值 A_0 可用标准表测得的值 A 代替,标准表测得的值 A 称为实际值。

绝对误差有正、负之分,测量值大于实际值时为正,小于实际值时为负。绝对误差的单位与被测量的单位相同。

(2) 相对误差。相对误差是指绝对误差 Δ 与实际值 A 的比值,是一个无单位的数值,用符号 γ 表示。在电工测量中,通常用百分数表示相对误差,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A} \times 100\%$$

工程上还常用测量值 A_N 代替实际值 A 来计算相对误差,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_N} \times 100\%$$

相对误差可以表示测量结果的准确程度,却不能用来说明仪表本身特性的准确。

(3) 引用误差。引用误差是指绝对误差 Δ 与仪表最大刻度值 A_m 之比的百分数,记为 γ_n ,其表达式为

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

二、实验操作规范

(一) 实验安全操作规范

- (1) 实验电路未经指导教师检查同意;不得接通电源。
- (2) 实验中不得用手触碰 36V 以上带电部分。
- (3) 如需改接电路,应在断开电源后进行,不准带电操作。
- (4) 实验中如发生异常现象,应立即断开电源,报告指导教师。待查明原因、清除故障后,方可重新接通电源。
- (5) 更换熔丝时,不得随便加大熔丝容量,接完后要把熔断器盖盖好。
- (6) 未经教师许可,不得进入电源室或靠近电源屏。
- (7) 使用单相调压器、三相调压器、分压器和稳压电源时,合闸和拉闸之前应使其输出电压为零。合闸后,从 0V 慢慢升高电压,同时严密监视有关仪器、仪表。
- (8) 在被测量值的大小范围无法预先估计时,所用仪表应从高档位开始测试。
- (9) 每次接线完毕应重点检查有无短路现象,电流表是否串联在电路中,电压表是否并联在电路中。
- (10) 要切实遵守实验的各项安全操作规则,遵守“先接线后合电源”、“先断电后拆线”

的操作程序。

(二) 实验的主要步骤

实验包括课前预习、进行实验和编写实验报告三个环节。

1. 课前预习

实验能否顺利完成, 很大程度取决于预习是否充分。因此, 要求预习时仔细阅读指导教材有关内容, 明确目的任务, 了解实验原理、电路、方法和步骤, 明白要在实验中观察什么、测量什么。完成每个实验提出的预习要求, 包括对数据的估算和回答问题。预习不合格者, 不能进行实验。

2. 进行实验

(1) 检查实验设备。检查实验所用设备器件是否齐全, 并记录其编号与规格。对于要求自行选择的设备, 应注意设备容量、参数要适当, 工作电压、电流不能超过额定值。仪表种类、量程、准确度等级要合适, 要求尽可能使测量仪表对被测电路工作状态影响最小。

(2) 合理布局。对实验所用仪器设备进行合理布局。合理布局的原则是: 安全、方便、整齐、防止相互影响。

(3) 正确连线。接线步骤一般是根据电路的结构特点, “先串联后并联”、“先分后合”、“先主电路后辅助电路”。接线前要先弄清电路图上的节点与实验电路中各元件的接头的对应关系, 接线时要养成良好的接线习惯, 接线要合理、导线的长短要合适, 防止连线短路, 接线点不宜过于集中于某一点, 以防损坏仪表接头。

(4) 合理调整。调整是指在接通电源前, 对电路设备要做的调整。调整的内容有: 电路参数要调整到实验所需值, 分压器等可调设备的起始位置要调到最安全处, 仪表要选择好量程。

(5) 操作、观察、读数和记录。操作时要注意眼观全局, 先看现象, 再读数据。观察时要仔细, 特别要注意仪表指针数值的变化及实验现象的变化, 及时做好记录, 以便进行实验分析。

读数前要弄清量程和刻度, 读数时注意姿势正确, 要求“眼、针、影形成一线”。

记录要求完全清晰, 力求表格化, 一目了然, 要合理取舍有效数字(最后一位为估计数字), 数据记录时要尊重原始记录, 试验后不得随意涂改。

3. 编写实验报告

实验报告是在整理与计算实验记录的基础上写出的, 是对实验工作的全面总结, 要求文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、结论正确、分析合理、讨论深入。

三、安全用电知识

(一) 电流对人体的伤害及人体触电的形式

电流对人体的伤害有电击和电伤。电击是电流对人体内部组织的伤害, 如破坏人的神经系统、心脏、肺等器官的正常工作。电伤是电流对人体外部的伤害, 如电灼伤、电烙印、皮肤金属化、电光眼等。

人体触电的形式通常有: 单相触电、两相触电、跨步电压触电和接触电压触电等。单相触电是指人体触及一相带电体时造成的触电。两相触电是指人体同时与两相带电体接触造成的触电。跨步电压触电是指带电导体落在地上, 以落地点为中心, 在地面上形成不同的电位, 当人的两脚站在落地点附近, 两脚之间就会发生跨步电压而引起触电。接触电压触电是

人体与电气设备的带电外壳相接触而引起的触电。

(二) 防止人身触电的技术措施

1. 绝缘、屏护和间距

绝缘、屏护和间距是防止人体触及或过分接近带电体造成触电事故的主要安全措施。绝缘就是用绝缘材料把带电体隔离起来。屏护就是采用围栏、护罩、护盖、箱匣等把带电体同外界隔绝开来。间距就是保证必要的安全距离。

2. 接地和接零

接地和接零是为了防止人体触及绝缘损坏的电气设备所引起的触电事故而采取的有效措施。

(1) 保护接地。将故障情况下可能出现危险的的对地电压的金属部分与接地体相连接,称保护接地,如图 1-1 (a) 所示。保护接地的作用是当正常情况下不带电的金属部分(如电气设备的金属外壳)意外带电时,使其对地电压限制在规定的安全范围内,消除或减小触电的危险。保护接地最常用于低压不接地配电网中的电气设备。

(2) 保护接零。将故障情况下可能带电的金属部分与保护线连接,称保护接零,如图 1-1 (b) 所示。保护接零的作用是当正常情况下不带电的金属部分(如电气设备的金属外壳)带电时,造成单相短路,迫使保护装置动作,切断电源,保障人身安全。保护接零主要是用于中性点直接接地的三相四线制配电系统中的电气设备。

(3) 工作接地。在正常或故障情况下,为保证电气设备安全可靠工作,将电力系统中的某一点(如系统中变压器的中性点接地)直接或经特殊装置接地,称工作接地,如图 1-1 (b) 所示。工作接地的作用是降低人体的接触电压,迅速切断故障设备,降低电气设备和输电线路的绝缘水平,保持系统电位的稳定性,即减轻低压系统由高压窜入低压等原因所产生过电压的危险性。

(4) 重复接地。将中性线的多处通过接地装置与大地重复连接的接地,称重复接地,如图 1-1 (b) 所示。重复接地的作用是降低漏电设备外壳的对地电压,降低中性线断线时的触电危险,减轻中性线断线时负载的中性点位移。

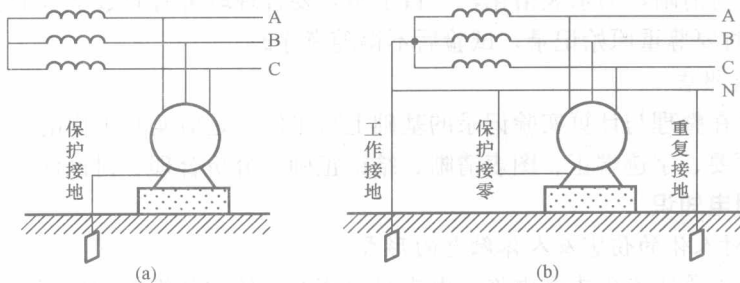


图 1-1 保护接地、保护接零、工作接地和重复接地

(a) 保护接地; (b) 保护接零、工作接地和重复接地

3. 安全电压

为了防止触电事故,将电压限制在某一范围之内,使得在这种电压下通过人体的电流不超过允许的范围,这种电压称为安全电压。根据具体条件和环境,我国一般规定的安全电压有 36、24V 和 12V。在干燥、温暖、无导电粉尘、地面绝缘的环境中也有以 65V 作为安全

电压的。

(1) 携带式作业灯、隧道照明、机床局部照明、距离地面高度 2.5m 的照明,以及部分手持电动工具等,安全电压均采用 36V。在地方狭窄、工作不便、潮湿阴暗,以及工作人员在工作中需要接触大面积金属表面等危险环境中(如在矿井、锅炉汽包内工作),必须采用 12V 的安全电压。

(2) 电焊设备的二次电压在开路时采用 65V 的安全电压。

(3) 电力电容器从电源上断开后,应通过放电装置进行放电,以保证运行和检修人员在停电的电容器上进行工作时的安全。无论电容器的额定电压应为多少,在切断电源后的 30s 之内,电容器端电压不得超过 65V。

(4) 采用降压变压器(即行灯变压器)取得安全电压,并应采用双绕组变压器,使安全电压的二次绕组与一次绕组间只有电磁交变的联系,而不发生直接的电气联系。此外,安全电压的供电网络的中性线或一根相线应接地,以防由电源电压引起的触电危险。

4. 装设漏电保护装置

当漏电电流超过允许值时,漏电保护装置能够自动切断电源或报警,从而防止由漏电引起触电事故和火灾,防止单相触电事故及监视或切除一相接地等故障,以保障人身和设备的安全。漏电保护装置可分为电压型和电流型两种,分别用于中性点不直接接地和中性点直接接地的低压供电系统中。漏电保护装置在保护人身安全方面效果显著,得到了广泛应用。

(三) 电气工作的安全措施

电气工作的安全措施分为保证安全的组织措施和保证安全的技术措施。

(1) 保证安全的组织措施有工作票制度,操作票制度,工作许可制度,工作监护制度,工作间断、转移和终结制度。

(2) 保证安全的技术措施有停电、验电、装设接地线、悬挂标示牌和装设遮栏。

1.3 常用电工仪器仪表的选择和使用

一、选择仪器仪表的具体要求

(一) 仪表类型

根据被测量电量的性质仪表可分为直流和交流两类。如果被测量是直流量,则广泛采用磁电系仪表进行测量。如果被测量是交流量,一般采用电磁系仪表。

(二) 仪表的量程

为了充分利用仪表的准确度,应按尽量使用标度尺后 $1/4$ 段这一原则选择仪表量程。一般认为,标尺度后 $1/4$ 段的测量误差即等于仪表的准确度等级,而仪表标度尺的中间位置的测量误差为准确度的 2 倍,应力求避免使用仪表尺度的前 $1/4$ 段。总之,选择仪表量程的原则是:仪表的额定量程(如额定电流、额定电压等)要大于被测量值,同时被测量值又处于标度尺全长的后 $1/4$ 段。在一般情况下,指针越接近标度尺的上限,测量误差就越小。

(三) 仪表的准确度

从提高测量准确度的观点考虑,测量仪表的准确度越高越好。但准确度高的仪表工作环境的要求一般很严格,如果工作条件没有满足要求时,其测量结果可能反而不准确。同时,准确度高的仪表,其成本也高。所以,仪表准确度的选择要从测量的实际出发,既满足测量

的要求,在经济上又合理。一般地,实验室多采用准确度为 0.5 级和 1.0 级的仪表。

(四) 仪表的内阻

仪表的内阻,反映的是仪表本身消耗功率的高低,同时必影响测量误差的大小。为使仪表接入电路后,不改变电路原来的工作状态,因此要求电压表或功率表的并联线圈的内阻应尽量大些,且量限越大,内阻越大;同时要求电流表或功率表的串联线圈的内阻应尽量小些,且量限越大,内阻应越小。

(五) 仪表的绝缘强度

应根据被测电量和电路电压的高低选择仪表及其附件的绝缘强度,以防止测量时损坏仪表,甚至发生人身事故。

总之选择仪表既要全面考虑,又要有所侧重。一般地,准确度和量限是选择仪表应考虑的主要方面,而测量高电阻电路的电压时,则仪器的内阻是选择仪表应考虑的主要方面。

二、常用电工仪器仪表的选择

(一) 电压表的选择

直流电路中,要选用直流电压表。电压表的量限要大于被测负载的电压。不能用小量程的电压表去测量大的电压,否则会打断指针或被烧坏;也不能用大量程的电压表去测量一个很小的电压,否则会增大测量误差。直流电压表的量程一般为 3、7.5、15、30、75V 等。若测量的负载电压约为 12V 左右,则量程应选择 15V 档,不能选 3V 档或 7.5V 档,也不能选 30V 档。

交流电路中,要选用交流电压表。交流电压表的量限一般比直流的大,其遵守的准则和直流电压表一样。

(二) 电流表的选择

直流电路中,一般选用直流毫安表或微安表。交流电路中,一般选用交流安培表,其遵守的准则和电压表一样。

(三) 自耦调压器的选择

自耦调压器是交流电路中常用的调节电压的设备,分为三相自耦调压器和单相自耦调压器。在三相交流电路中需要调节电压时,选用三相自耦调压器或将三个单相自耦调压器连接

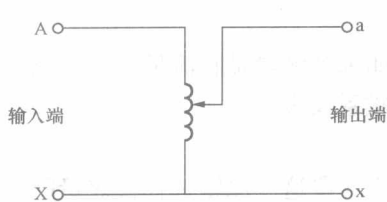


图 1-2 单相自耦调压器结构原理图

起来使用。在单相交流电路中需要调节电压时,选用单相自耦调压器。单相自耦调压器的构造原理如图 1-2 所示。它是一个均匀绕在环形铁芯上的多匝线圈,交流电源的电压加在线圈上的两个固定端 A、X,负载接在可动触头 a 和 x 两端。改变可动触头 a 的位置,就改变了可动触头 a 和 x 之间的线圈的匝数,也就改变了输出电压。可动触头调到零时,输出电压为零。

不论是在三相交流电路还是单相交流电路中,在选择调压器时,都应注意所选自耦调压器的额定容量[用 kVA(千伏安)表示]要大于被测负载的容量。同时,还应特别注意调压器的额定输出电流。

(四) 功率表的选择

功率表的选择,重在正确选择功率表的电流量限和电压量限。也就是说,电流量限应允许通过负载电流,电压量限应能承受负载电压。反之,选择时如果只注意测量功率的量程而

忽视电压、电流的量限是否与负载电压、电流相适应,是错误的。

例如,有一感性负载,其功率约为 800W、电压为 220V、 $\cos\varphi=0.8$,需用功率表来测量其功率,应如何选择功率表量限呢?

由于负载电压为 220V,故所选功率表的电压量限应为 250V 或 300V。而负载电流为

$$I = \frac{P}{U\cos\varphi} = \frac{800}{220 \times 0.8} = 4.54(\text{A})$$

故功率表的电流量限应选为 5A。

上例中若选择额定电压为 250V、额定电流为 5A 的功率表,其功率量限为 1250W,能满足测量要求。若选择额定电压为 150V、电流为 10A 的功率表,功率量限虽然为 1500W > 1250W,却不能满足测量要求,因为额定电压为 150V 的功率表不能承受 220V 负载电压。

(五) 万用表的选择

万用表是一种多用途的仪表,可以测量交流电压、直流电压、直流电阻、交流电流、电容、电感及晶体管参数等。由于万用表的携带及使用方便,所以是电气维修和测试最常用的仪表。但由于万用表精度不高,因此不用于精密测量。万用表有机械指针式万用表(如常用的 500 型万用表)和数字万用表。测量时,可根据需要来选择万用表的型号及测量范围。

三、常用电工仪器仪表的使用

(一) 电流表、电压表的使用方法

(1) 电流表应串联在电路中,电压表应并联在电路中。对于直流电流表、直流电压表,还要注意极性的正确连接,否则会使仪表指针反偏,易打断指针或损坏仪表。

(2) 选择合适的量程,即所选量程应使指针偏转在 $1/2$ 或 $2/3$ 以上刻度。注意各量程的换算,如一个 1.0 级的电压表有 3、7.5、15V 和 30V 四个量程。电压表的满刻度是 150 格,如要测量 12V 的电压时,可以选择的量程有 15V 档和 30V 档,但要使测量误差在该表的准确度 1.0 级以内,量程就应选 15V 档,使指针偏转在满刻度的 $2/3$ 以上,满足测量要求。选好量程后,需要进行量程换算,满刻度 150 是量程 15 的 10 倍,若该电压表指针应指在刻度 120 上面,则被测量的电压为 12V。当被测量的大小范围无法估计时,所用仪表应从高档位量程开始测试。

(3) 掌握正确的读数方法,以尽量减少读数引起的误差。一般要求读数时,偏差小于等于 5° 。正确的读数方法是:眼睛到指针的射线应与仪表的表面垂直。这时,指针与反光镜里的指针投影重合在一起,即要求“眼、针、影形成一线”时读取指针的指示值。

(二) 万用表的使用方法

万用表是多量程、多用途的仪表。使用时应做到正确及熟练,要了解各个旋钮的用途和使用方法,熟知各刻度标尺的用途,准确读出各被测量的数据。

1. 用万用表测量电流或电压

测量时,要注意量限的选择,并且还要根据被测对象,将转换开关旋到所需要的位置。例如测 80V 的直流电压,应选用“V”区间的 100V 量程档。

使用万用表测量电流或电压时,应注意以下事项:

- (1) 测量时,要有人监护,监护人的技术等级要高于测量人;
- (2) 测量时注意安全操作,不能用手触摸表笔的金属部分;
- (3) 不能在测量时旋动转换开关,尤其是在测量高电压或大电流时,更应避免转换开关

的触头产生电弧而损坏开关；

(4) 测量直流电流或电压时，注意极性的正确连接，红表笔接正极，黑表笔接负极，避免极性接反使指针反偏而碰断指针；

(5) 当被测量无法估计时，应以最高量程档起，然后再向低量程档转换。

2. 用万用表的欧姆档测电阻

用万用表测量电阻前，首先应检查表内电池电压是否足够。检查的方法是：将转换开关旋到电阻档，将倍率转换开关置于 $R \times 1$ 档，检查 1.5V 电池；将倍率转换开关置于 $R \times 10k$ 档，检查较高电压电池（如 9V 层叠电池）。将正、负表笔相碰后，观察指针是否在零位，如指针不指零位，则调整欧姆档零位调整旋钮，使指针指向电阻刻度线右端的零位。若无法将指针调到零位，则说明表内电池电压不足，应更换电池。

测电阻时，将转换开关旋到欧姆档，选择适当的倍率，使指针接近刻度尺的中心部分。指针在电阻标尺上的指示值乘以倍率，就是被测电阻的阻值。

用万用表的欧姆档测电阻时，应注意以下事项：

- (1) 每换一次倍率档，都要进行一次电气调零。
- (2) 禁止带电测量电阻。
- (3) 不能用手握住表笔的金属部分，否则会使测量值不准确。
- (4) 不能用万用表的欧姆档直接测量微安表表头和检流计的内阻。
- (5) 用万用表电阻档判断二极管极性时，要注意机械指针式万用表表笔的极性与内部电池的极性相反，数字式万用表则相同。测量晶体管参数时，应选择电池电压低的高倍率档。
- (6) 测量完毕后，应将转换开关掷于电压档或“OFF”位置。

(三) 自耦调压器的使用方法

(1) 电源接自耦调压器的输入端 A、X，一般要求 X 端接电源的零线，A 端接电源的相线（俗称火线）。负载接自耦调压器的输出端 a、x。

(2) 使用自耦调压器时，在合闸和拉闸之前应使其输出电压为零。合闸后，从 0V 慢慢升高电压，同时应严密监视有关仪表指针的偏转情况是否正常。测量完毕后，应先将调压器的输出电压退到零以后，再关掉电源闸刀。

使用自耦调压器时，应注意以下事项：①电流、电压不能超过调压器规定的额定电流值和额定电压值；②对于有中间抽头的调压器，其 110V 档不能接在 220V 的电源上，否则会烧坏调压器；③不能将调压器的输出端接电源、输入端接负载；④在合闸和拉闸之前应使其输出电压为零。

(四) 功率表的使用方法

使用前，首先要分清功率表的电流端子和电压端子，以及各量程的适用范围。根据选用的电压量程 U_N 、电流量程 I_N 、满刻度 A_m ，算出功率表的常数 C ，表达式为

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

电动系功率表中有两组线圈，一组是固定线圈；另一组是可动线圈。固定线圈与负载串联，反映负载电流，所以固定线圈支路称为电流支路，固定线圈称为电流线圈。可动线圈和附加电阻串联后与负载并联，反映负载电压，所以可动线圈支路称为电压支路，可动线圈称为电压线圈。