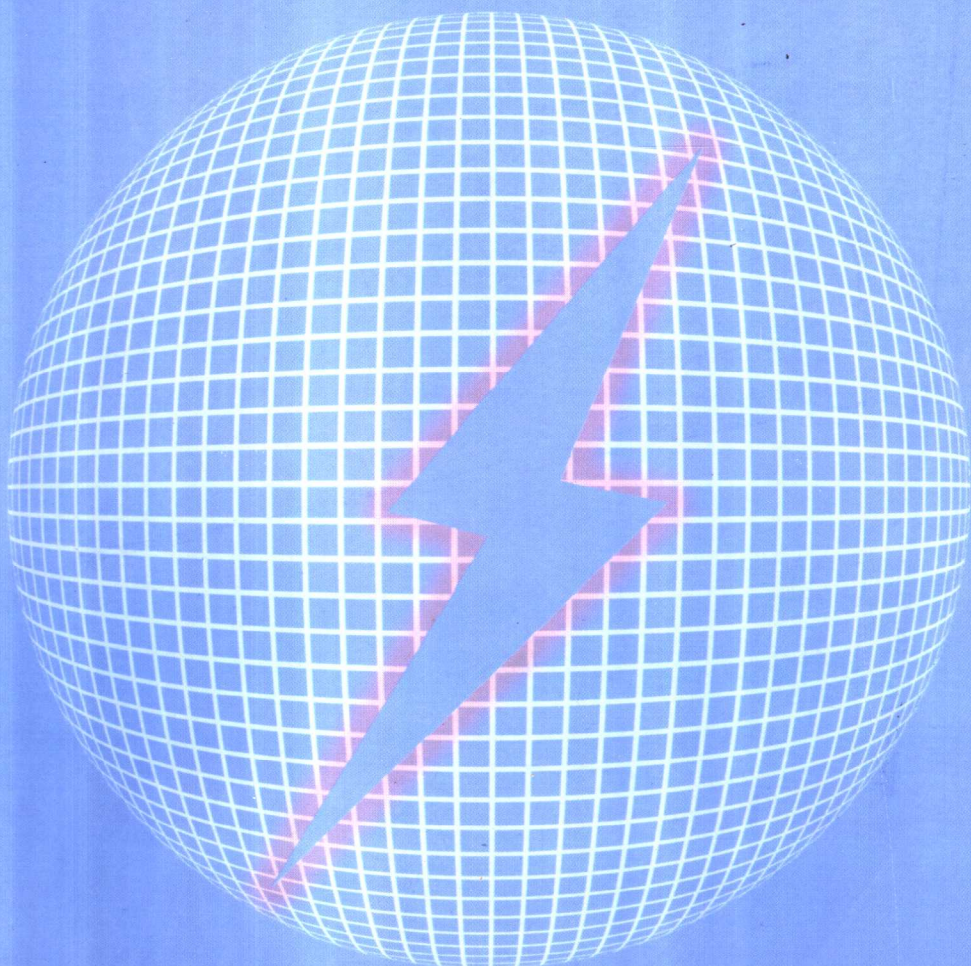


电工技术实验教程

DIANGONGJISHUSHIYANJIAOCHENG

主编 陆晋 褚南峰



东南大学出版社

电工技术实验教程

主 编 陆 晋 褚南峰
副主编 包正山 杨国华
主 审 郁汉琪

东南大学出版社

内 容 简 介

全书共分为9章。分别介绍了电工学实验的基本知识、常用电工电子仪器仪表的使用、直流电路实验、交流电路实验、电器控制及PLC控制实验、EDA技术应用实验、电工基本操作技能训练等内容。重点介绍了电工技术实验中各个实验的目的、原理、方法、步骤、注意事项等。附录中还对实验仪器及装置的使用方法及EWB软件的操作进行了说明。本书中所选用的实验装置为ETL系列电工技术实验系统。

本书可作为普通高等学校“电工基础”、“电工电子学”、“电路与电器控制”、“电路分析基础”、“电路”等课程实验教学的教材以及专科、高职及函授的实验、实习教材,同时也可作为学生课程设计、毕业设计的指导书及电气工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术实验教程/陆晋,褚南峰主编. —南京:东南大学出版社,2004.10

ISBN 7-81089-698-9

I. 电... II. ①陆... ②褚... III. 电工技术—实验—高等学校—教材 IV. TM-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第076297号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南京工大印务有限公司印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:21 字数:524千字

2004年10月第1版 2004年10月第1次印刷

印数:1—3500册 定价:30.00元

(凡因印装质量问题,可直接向发行部调换。电话:025-83795801)

前 言

实验能力和实验操作技能是高等工科院校学生应培养的重要能力之一。本书旨在帮助学生验证、消化和巩固基本理论,运用理论处理实际问题,获得实验技能和科学研究方法。

结合我国当前电工实验教学体系、内容和方法上的改革和目前电工实验教学的实际水平,以及工科院校多年实验教学、改革研究的成果,在不削弱传统的工程实验教学的情况下,系统地、科学地培养学生的实际动手能力、理论联系实际与创新能力显得尤为重要。

本教材在编写上充分考虑了学生的学习特点和 21 世纪人才培养的要求,具有以下特点:

1. 层次性、实用性强。在内容的安排上由浅入深、循序渐进,在加强基础的同时,侧重实用性,以提高学生的学习兴趣和能力,满足不同专业、不同层次的需要。

2. 叙述详略得当。对一些理论课上学过的内容、原理叙述从略,主要通过思考题,促使学生主动思考、提高能力。对一些延伸和扩展的内容,则作了较为详细的分析说明(如 EDA 技术和 PLC 控制技术)。

3. 注重能力的培养。通过增加设计性实验的分量、设置思考题、明确实验报告要求等多种途径,全面提高学生分析问题和解决问题的能力。

4. 注重先进性。将先进的 EDA 技术引入实验教学中,使学生接触到现代化的电子技术手段,跟上现代电工电子技术的发展。

为了适应新形势、新要求,本书在注重内容的广度和深度的同时,注重拓宽学生的知识面,提高学生对电工实验的学习兴趣,加强学生综合应用、设计电路的能力。本书在使用时可根据实验室的具体条件对实验内容进行删选和调整,同样的题目既可以用计算机进行仿真实验,也可以用实物搭接来实现,拓宽了学生的思路。

本书由江苏大学的陆晋老师负责第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章的编写。南京工程学院的褚南峰老师负责第 7 章、第 8 章、第 9 章的编写。江苏大学的包正山老师负责第 6 章及附录 C、附录 D 的编写。南京工程学院的杨国华老师负

责第5章及附录A、附录B的编写。南京工程学院的郁汉琪副教授担任本书的主审,并对教材的体系和内容提出了宝贵的意见和建议。

该书的出版得到了东南大学出版社、南京工程学院和江苏大学的大力支持,对此深表感谢。本书在编写过程中,参考了参考文献中的有关内容,在此向有关的老师表示谢意。另外,在文字录入过程中得到钱厚亮等同学的帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者,特别是使用本书的教师和同学们批评、指正,提出宝贵的意见。

编 者

2004年4月

目 录

1 电工学实验基本知识	(1)
1.1 电工学基本概念	(1)
1.2 电工学实验须知	(4)
1.3 实验步骤	(4)
1.4 实验的基本规则	(5)
1.5 实验中几个要注意的问题	(6)
1.6 常见故障的分析与检查	(10)
1.7 实验报告的编写及要求	(12)
2 常用电工电子仪器仪表的使用	(13)
2.1 电工测量基础知识	(13)
2.2 指示仪表的正确使用	(15)
2.3 基本电量的测量	(16)
2.4 常用电工仪表	(19)
2.5 常用电子仪器	(31)
3 直流电路实验	(41)
3.1(实验 1) 元件特性的伏安测量法	(41)
3.2(实验 2) 直流电路中电位的测量	(46)
3.3(实验 3) 叠加原理	(48)
3.4(实验 4) 戴维南定理	(50)
3.5(实验 5) 一阶电路的响应	(54)
3.6(实验 6) 二阶电路的响应与状态轨迹	(59)
4 交流电路实验	(63)
4.1(实验 1) 交流电路的测量	(63)
4.2(实验 2) RLC 串联谐振电路	(68)
4.3(实验 3) 日光灯电路及功率因数的提高	(72)
4.4(实验 4) 三相交流电路的测量	(78)
4.5(实验 5) 单相变压器参数的测量	(82)
4.6(实验 6) 互感线圈参数的测量	(84)
4.7(实验 7) 非正弦交流电路的测量	(87)
4.8(实验 8) 二端口网络参数的测量	(90)
4.9(实验 9) 负阻抗变换器及其应用	(94)
4.10(实验 10) 回转器	(100)

5	交流电动机控制实验	(105)
5.1(实验 1)	三相异步电动机的使用和单向直接启动接触器控制实验	(105)
5.2(实验 2)	电动机点动和正反转控制实验	(109)
5.3(实验 3)	三相异步电动机的顺序控制实验	(111)
5.4(实验 4)	三相异步电动机的时间控制、多地控制实验	(112)
5.5(实验 5)	具有自动往返的正反转控制电路实验	(113)
5.6(实验 6)	具有延时功能的自动往返的控制电路实验	(115)
5.7(实验 7)	三相异步电动机的能耗制动实验	(117)
5.8(实验 8)	三相异步电动机的反接制动实验	(118)
5.9(实验 9)	三相异步电动机的变频调速实验	(120)
6	可编程序控制器基本实验	(125)
6.1(实验 1)	可编程序控制器认识及编程操作实验	(125)
6.2(实验 2)	基本指令实验	(132)
6.3(实验 3)	置位、复位及脉冲指令实验	(136)
6.4(实验 4)	栈及主控指令实验	(142)
6.5(实验 5)	定时器、计数器指令实验	(147)
6.6(实验 6)	步进顺控指令实验	(151)
6.7(实验 7)	分支及汇合指令实验	(154)
6.8(实验 8)	移位寄存器指令实验	(159)
7	可编程序控制器综合实验	(164)
7.1(实验 1)	交通信号灯的自动控制实验	(164)
7.2(实验 2)	机械手的 PLC 自动控制实验	(168)
7.3(实验 3)	驱动步进电动机的 PLC 控制实验	(172)
7.4(实验 4)	舞台艺术灯饰的 PLC 控制实验	(176)
7.5(实验 5)	四层电梯的 PLC 控制实验	(180)
7.6(实验 6)	LED 数码显示控制实验	(188)
7.7(实验 7)	PLC 功能指令实验	(193)
7.8(实验 8)	PLC 与变频器控制电动机实验	(196)
7.9(实验 9)	PLC 控制多台电动机顺序运行实验	(201)
7.10(实验 10)	交流电动机 Y/ Δ 启动的 PLC 控制实验	(205)
7.11(实验 11)	PLC 控制气动元件实验	(208)
8	EDA 技术应用实验	(212)
8.1(实验 1)	线性直流电路的分析	(212)
8.2(实验 2)	交流电路的分析	(213)
8.3(实验 3)	电路的频域分析	(215)
8.4(实验 4)	一阶电路的响应	(217)
8.5(实验 5)	串联谐振电路	(218)
8.6(实验 6)	二端口网络	(221)

8.7(实验7) 负阻抗变换器	(224)
9 电工基本操作技能的训练	(228)
9.1 电工工具及使用方法	(228)
9.2 安全用电基础	(238)
9.3 线路的安装与维护	(244)
9.4 低压电器的使用与维护	(252)
附录	
附录 A ETL 系列电工技术实验系统(台)	(270)
A1 概述	(270)
A2 装置的组成及功能	(270)
A3 装置的特点	(273)
A4 使用中的注意事项	(273)
A5 使用说明	(275)
附录 B 虚拟电路实验台(EWB5.0)	(278)
B1 概述	(278)
B2 EWB 5.0 的组成及特点	(278)
B3 EWB 5.0 的应用基础	(279)
B4 EWB 5.0 的基本操作方法	(285)
B5 仪器及仪表的使用	(287)
B6 子电路的生成与使用	(298)
B7 单元电路的建立和简单测试	(298)
B8 EWB 5.0 的基本分析方法	(300)
附录 C 常用低压电器	(305)
C1 低压电器的基本知识	(305)
C2 常用低压电器介绍	(307)
附录 D 可编程序控制器(PLC)	(321)
D1 可编程序控制器的基本原理	(321)
D2 三菱 FX 系列可编程序控制器的指令一览表	(322)
参考文献	(327)

1 电工学实验基本知识

1.1 电工学基本概念

电工学是研究电工技术、电子技术的理论和应用的技术基础课程。现代科学技术发展突飞猛进,而当代一切新的科学技术无不与电有着密不可分的关系。因此,电工学是现代高等学校的一门重要的技术基础课程,它具有基础性、应用性、先进性和实践性。

1.1.1 电路的作用与组成

电流的通路称为电路。它是由电工设备或元件为了满足某种电气功能的需要按照一定的方式组合而成的。它的作用主要有两种:一种是用于实现电能的传输和转换,另一种是用于传递和处理信号。第一种电路形式包括电源、负载和中间连接环节三个组成部分。发电机和电池等是电源,它们是将热能、水能、核能以及其他形式的能量转换成电能。电灯、电动机、电炉等都是负载,是获取电能的设备,它们分别将电能转换为光能、机械能和热能。变压器和输电线是中间连接环节,它们是连接电源和负载的部分,起到传输和分配电能的作用。第二种电路形式包括信号源、信号处理放大环节、负载三个部分。例如收音机和电视机,由接受天线(信号源)将载有语音、音乐、图像信息的电磁波接受后转换为相对应的电信号,通过信号处理放大环节电路对信号进行传递和处理(调谐、变频、检波、放大等),最后送到扬声器和显像管(负载),再还原为原始的信号。

1.1.2 电路模型

组成实际电路的各电路元件或器件,电磁特性一般都较为复杂。为了便于对实际电路进行分析和数学抽象,往往将实际元件和电路理想化,也就是在一定的条件下将电路及其中的元件的次要因素忽略,而将主要电磁特性突出,近似地看作理想的电路和元件。这些理想的电路和元件构成的电路,就称为实际电路的电路模型。它是对实际电路的科学概括和抽象。用理想电路元件组成的电路等效地模拟实际电路的功能,称为电路模型。图 1.1.1 给出了电路元件模型的电路符号和文字符号。

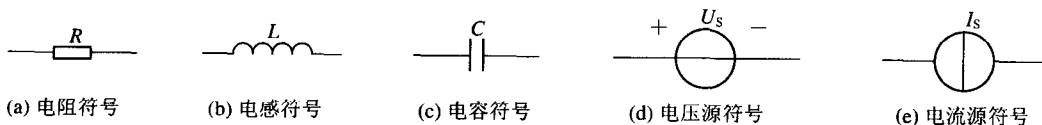


图 1.1.1 电路的基本模型

1.1.3 电流和电压的参考方向

电路中的主要物理量有电压、电流、电动势和能量,而在分析计算中常常用到的变量是

电流和电压。为了对电路进行正确的分析和计算,需要在电路图中用箭头标示或“+”、“-”号标出电路中的基本物理量电流 I 、电压 U 和电动势 E 的方向或极性,从而列出正确的电路方程。

1) 电流、电压的实际方向

物理学中规定,正电荷的移动方向为电流的实际方向。电压的实际方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即电位降低的方向。电动势的方向规定为在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即电位升高的方向。图 1.1.2 就是一个简单的电路模型。

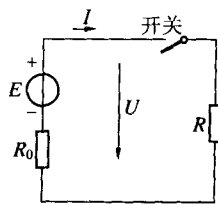


图 1.1.2 电路模型及电流、电压方向

2) 电流、电压的参考方向

在交流电路中,由于电流或电压的方向随时间而变,无法用一个箭头来表示它们在某一瞬间的实际方向;在较为复杂的直流电路中,也难以判断出电流或电压的实际方向。因此为了方便地分析和计算电路,通常选定一个方向作为电流或电压的参考方向(也称为正方向),然后根据选定的参考方向列出分析计算的电路方程,从计算结果中得到它们的实际方向和大小。若计算结果为正值,则说明参考方向和实际方向一致;若计算结果为负值,则说明参考方向和实际方向相反。图 1.1.3 中,用方框泛指电路元件,电流的方向为参考方向。图 1.1.3(a)中由于没有指定电流的参考方向,所以电流的数值就失去了意义;图 1.1.3(b)中电流在所示参考方向下数值为正,说明电流的实际流向与参考方向相同,因此电流是从 a 端流向 b 端;图 1.1.3(c)中电流在所示参考方向下,其值为负,说明电流的实际流向与参考方向相反,即从 b 流向 a。

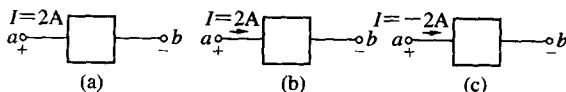


图 1.1.3 电流及其参考方向

参考方向常采用箭头标示,此外,还可以用“+”、“-”号或双下标表示。其中,“+”号表示高电位、“-”号表示低电位;而双下标的表示方法是首字母表示高电位、次字母表示低电位,如图 1.1.3 中,电流或电压可分别表示为 I_{ab} 、 U_{ab} 、 I_{ba} 、 U_{ba} 等。

需要注意的是:在分析电路时,一旦电路中电流或电压的参考方向确定了,那么在电路的整个分析与计算过程中就不能再作变动。

3) 电流、电压的关联方向

当一个元件或一段电路上的电流和电压参考方向一致时,则称它们为关联的参考方向。否则就是非关联参考方向。如图 1.1.4(a)所示。图中,电压、电流之间采用了关联的参考方向,这时电阻 R 的端电压为

$$U = RI$$

而图 1.1.4(b)则采用了非关联参考方向,这时电阻 R 的端电压为

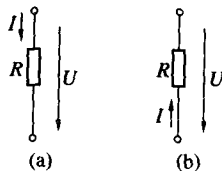


图 1.1.4 参考方向的关联性

$$U = -RI$$

必须指出,上述两式中的正负号是根据电压、电流的参考方向得出的。除此之外,电压、电流本身还有正值和负值之分。

在一般情况下,为方便起见,常常定义某一元件端电压的参考极性与电流的参考方向一致,即电流的参考方向就是电压降的参考方向。

1.1.4 电路的功率

电路的作用之一是将电能转换成其他形式的能量,描述能量的转换速率的物理量是电功率(简称功率)。一个电路元件(或一段电路)上的电功率等于该元件(或该段电路)两端的电压与流过该元件(或该段电路)的电流的乘积,即 $P=UI$ (直流电路)或 $p=ui$ (交流电路)

(1) 当电压、电流取关联参考方向时,有

$$P=UI \quad (1.4.1)$$

$$p=ui \quad (1.4.2)$$

(2) 当电压、电流取非关联参考方向时,有

$$P=-UI \quad (1.4.3)$$

$$p=-ui \quad (1.4.4)$$

在此规定下,若计算结果 $P>0$ ($p>0$),表示元件(或该段电路)吸收功率;若 $P<0$ ($p<0$),表示元件(或该段电路)发出功率。

功率的单位有 W(瓦特)、kW(千瓦)、mW(毫瓦)。

$$1\text{ W}=10^{-3}\text{ kW}=10^3\text{ mW} \quad (1.4.5)$$

【例 1.1】 电路如图 1.1.5 所示。已知 $U_1=14\text{ V}$, $I_1=2\text{ A}$, $U_2=10\text{ V}$, $I_2=1\text{ A}$, $U_3=-4\text{ V}$, $I_4=-1\text{ A}$,求:各方框电路中的功率,并说明是负载还是电源。

【解】 由于方框 1 两端的电压与通过其的电流为非关联方向,所以

$$P_1 = -U_1 \times I_1 = -14 \times 2 = -28\text{ W}$$

$$P_2 = U_2 \times I_2 = 10 \times 1 = 10\text{ W}$$

$$P_3 = -U_3 \times I_1 = -(-4) \times 2 = 8\text{ W}$$

$$P_4 = -U_2 \times I_4 = (-10) \times (-1) = 10\text{ W}$$

由于 $P_1<0$,说明方框 1 发出功率,是电源; P_2 、 P_3 、 P_4 均大于 0,说明方框 2、3、4 吸收功率,是负载。

在一个完整的电路中,负载吸收的功率总和等于电源发出功率的总和,或 $\sum P=0$,这反映了电路中的能量守恒。

$$\text{如上例中, } \sum P = -28 + 10 + 8 + 10 = 0$$

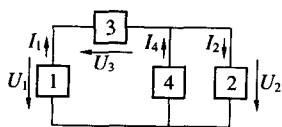


图 1.1.5 例 1.1 图

1.1.5 电路的三种工作状态

电路通常工作于三种状态:有载、开路、短路。接通电源与负载,这就是电源有载工作。电路中电压与电流的关系满足欧姆定律, $I=E/(R_0+R)$ 。其中 R_0 为电源的内阻, E 是电源的电动势, R 是负载, I 是回路中电流。当电源不接负载时,处于开路(空载)状态。此时电源的端电压称为开路电压,它等于电源电动势。当电源两端被接在一起时,电源则被短路。

此时流过电源的电流称为短路电流,它等于电源电动势除以电源的内阻。因为电源的内阻很小,所以短路电流很大,一般会对电路造成破坏,因此,应该尽力预防。

1.2 电工学实验须知

1.2.1 实验目的

- (1) 进行实验基本技能训练。
- (2) 巩固、加深和扩大所学到的理论知识,培养运用基本理论来分析、处理实际问题的能力。
- (3) 培养实事求是、严肃认真、细致踏实的科学作风和良好的实验习惯,为今后的专业实践与科学研究打下坚实基础。

1.2.2 实验课程的要求

通过电工学实验课,学生在实验技能方面应达到下列要求:

- (1) 正确使用万用表、电流表、电压表、晶体管毫伏表、功率表及常用的一些电工实验仪表;初步掌握实验中用到的函数发生器、示波器、稳压电源、调压器等实验仪器和 ETL 系列电工技术实验系统的使用方法。
- (2) 根据各个实验的要求,正确设计电路,选择实验设备及器材;学会按电路图连接实验电路,要求做到连线正确、布局合理、测试方便。
- (3) 能够认真观察和分析实验现象,运用正确的实验手段,采集实验数据,绘制图表、曲线,科学地分析实验结果,正确书写实验报告。
- (4) 正确地运用实验手段来验证一些定理和理论。
- (5) 对设计型实验,要根据实验任务,在实验前确定实验方案,设计实验电路,正确选择仪器、仪表、元器件,并具有独立完成实验要求的能力。
- (6) 实验技能是一项基本功,应注意积累,逐步提高水平,练好这项基本功。
- (7) 了解 EWB 5.0 软件,利用 EWB 5.0 所提供的元件来搭制模拟电路;通过 EWB 5.0 所提供的测量仪器、仪表,来观察电路现象,由此提高实验分析和研究的能力。
- (8) 掌握可编程序控制器的基本实验和综合运用。

1.3 实验步骤

实验课一般分为课前预习、进行实验和课后书写实验报告三个阶段。

1.3.1 课前预习

实验能否顺利进行和收到预期效果,很大程度上取决于预习准备得是否充分。因此,在预习过程中应仔细阅读实验教程和其他参考资料。明确实验目的、内容,了解实验的基本原理以及实验的方法、步骤。搞清楚实验中哪些现象要观察,哪些数据要记录以及哪些事项应注意。

学生必须认真预习,做好预习报告后方可进入实验室。不预习者,不得进入实验室进行

实验。

1.3.2 实验过程

良好的工作方法和操作程序,是使实验顺利进行的有力保证。实验一般按照下列程序进行:

(1) 教师在实验前讲授实验要求及注意事项。

(2) 学生在规定的实验台上进行实验。在实验过程中应注意以下事项:

① 按本次实验设备和主要器材清单进行清点。注意仪器设备类型、规格和数量,辅助设备和器材是否齐全,同时了解设备的使用方法及注意事项。

② 做好实验桌面的整洁工作,暂不用的设备整齐地放在一边。

③ 做好记录的准备工作。

(3) 连接电路。实验设备应布置到便于操作和读数的位置。接线时,按照电路图先连接主要串联电路(由电源的一端开始,顺次而行,再回到电源的另一端),然后再连接分支电路。应尽量避免同一端点上连接多根导线。连线完毕后,不要急于通电,应仔细检查,经查无误并请教师复查同意后,才能够通电开始实验。

(4) 设备操作与数据记录。按照实验教程中的实验步骤进行操作。操作时要注意:手合电源,眼观全局;先看现象,再读数据。读数前要弄清仪表量程及刻度。读数时要注意姿势正确,要求“眼、针、影成一线”。记录要完整清晰,一目了然。数据记录在事先准备好的统一的实验原始数据记录纸上,要尊重原始记录,实验后不得涂改。实验过程中如果发生事故应立即切断电源,保持现场,报告指导教师。

当需要把读数绘成曲线时,应以足够能描绘出一条光滑而完整的曲线为准,来确定读数的多少。读取数据后,可先把曲线粗略地描绘一下,发现不足之处,应及时弥补。

(5) 结束工作。完成全部规定的实验内容后,不要先急于拆除线路,应先自行核查实验数据,有无遗漏或不合理的情况。实验完毕,原始记录应交指导教师审阅签字,经教师同意后能拆除线路,而后将仪器整理复原,并进行下列结尾工作:

① 拆除实验线路(注意:一定要先断电、再拆线);

② 做好实验设备、桌面、环境清洁的管理工作;

③ 在经教师复查、记分、认可后,方可离开教室。

做完实验后应及时整理实验数据,一般情况下,可以直接对实验记录的数据进行计算。

1.4 实验的基本规则

1.4.1 学生实验守则

学生在实验前应仔细阅读实验守则,并严格执行。实验守则的内容如下:

(1) 实验课前必须认真预习教程,写好预习报告,未预习者不得进行本次实验。

(2) 实验室内要保持安静和整洁。

(3) 遵守“先接线后通电源,先断电源后拆线”的操作程序;严禁带电操作,遇到事故应立即关断电源,并报告教师处理。

(4) 接线完毕后要仔细检查并经教师复查,确认无误后才能接通电源;做完实验,将数据整理后交给教师检查数据,检查结果正常后方可拆除电路(注意:一定要先断电源,后拆线),做好整理工作。

(5) 爱护国家财产,实验中因违反操作规则损坏实验设备者按制度负责赔偿。

1.4.2 实验室安全用电规则

为了做好实验,确保人身和设备的安全,在做实验时,必须严格遵守下列安全用电规则:

(1) 不得擅自接通电源。接线、改接、拆线都必须在切断电源的情况下进行,不得触及带电部分,遵守“先接线后通电源,先断电源后拆线”的操作程序。

(2) 接线完毕后,要认真复查,确认无误后,再通知同组同学,方可接通电源。

(3) 在电路通电情况下,人体严禁接触电路中不绝缘的金属导线或连接点等裸露的带电部分,万一遇到触电事故,应立即切断电源,进行必要的处理。

(4) 实验中,特别是设备刚投入运行时,要随时注意仪器设备的运行情况,如发现有超量程、发热、异味、异声、冒烟、火花等,应立即切断电源,并请教师检查。

(5) 室内仪器设备不能任意搬动调换,非本次实验所用的仪器设备,未经教师允许不得动用。在没有看懂仪表、仪器、设备及元器件的使用方法前,不得进行实验。若损坏仪器设备,必须立即报告教师,作书面检查,若为责任事故则要酌情赔偿。

(6) 注意仪器仪表允许的安全电压(或电流),切勿超过。当被测量的量大小未知时,应从仪表最大量程开始测试,然后逐渐减小量程。

1.5 实验中几个要注意的问题

1.5.1 线路的连接

1) 合理布局

将仪器、仪表合理布置,使之便于操作、读数和接线。合理布局的原则是:安全、方便、整齐、防止相互影响。

2) 正确连线

接线前先弄清楚电路上的节点与实验电路中各元件接头的对应关系,先把元件参数调到应有的数值,调压设备及电源设备应放在输出电压最小的位置上,然后按电路图接线。

根据电路的结构特点,选择合理的接线步骤,一般是“先串后并,先主后辅”,养成良好的接线习惯。实验线路的连接应力求简便、清楚、便于检查;走线要合理,导线的长度、粗细选择适当,防止连线短路。接线端头不要过于集中于某一点,电表接头上不宜接多根导线。接线松紧要适当,不允许在线路中出现没有固定端钮的裸露接头。

1.5.2 测量结果的处理

测量结果通常用数字或曲线图形表示,测量结果的处理就是要对测量数据进行计算、分析、整理和归纳,以得出正确的科学结论。

1) 测量结果的数字处理

由于在实验过程中不可避免地存在误差,所以测量结果一定是近似值,这就涉及如何用

近似值恰当地表达测量结果的问题,即有效数字的问题。

读数时,若指针所指示的位置在两条分度线之间可估计一位数字。例如用电流表测电流时,电流表指针停留在 2.1 A 和 2.2 A 刻度线之间,这时的读数就要凭眼睛来估计一位数字,比如说估计为 2.16 A,那么,最后一位“6”不是准确的读数,称为欠准数字,而前面的“2.1”是准确的,称为准确数字。能够正确而有效地表示测量和实验结果的数字称为有效数字,它由准确数字和一位欠准数字组成。如上面提到的“2.16 A”就是被测电流的有效数字。有效数字的位数取决于测量仪表的精度。有效数字是指从左边第一个非 0 数字算起,直到右边最后一位数字为止的所有数字,例如,375 k Ω 、2.50 mA、7.09 V、0.0436 MHz 等都是三位有效数字。0.0436 MHz,可以写成 43.6 kHz,但不能写成 43.600 Hz,后者为五位有效数字,两者的意义不同,所以有效数字不能因选用的单位变化而改变。若用“10”的方幂来表示数据,则“10”的方幂前面的数字都是有效数字,如 30.40×10^3 Hz,它的有效数字是四位。测量中有效数字是几位,要视具体情况而定,但可以根据舍入规则保留有效数字为几位。关于有效数字的运算规则,在物理实验中已有介绍,这里不作复述。

2) 测量结果的列表处理

列表处理就是将一组测量数据中自变量、因变量的各个数值按一定的形式和顺序——对应列出来。一个完整的表格应包括表的序号、名称、项目(应用单位)、说明及数据。这种方法的优点是同一表格内可以同时表示出几个变量的关系,数据便于比较,形式紧凑,而且简单易行。

3) 测量结果的曲线处理

测量结果除了常用数字表示外,还常用各种曲线表示。在分析两个(或多个)物理量之间的关系时,用曲线比数字或公式表示更形象和直观,通过对曲线的形状、特性和变化趋势的分析研究,可以给我们许多启示,从而有利于得出正确的结论。要作出一条符合客观规律、反映真实情况的曲线,应注意以下几点:

- (1) 合理选择坐标,最常用的是直角坐标,横坐标表示自变量,纵坐标表示因变量。
- (2) 合理选择坐标分度,标明坐标所代表的物理量和单位。
- (3) 合理选择测量点,并准确标记各测试点。
- (4) 修正曲线。

1.5.3 表的正确选择与使用

仪器、仪表的容量、参数应适当,工作电源电压不能超过额定值,仪器、仪表的种类、量程、准确度等级要合适。

1) 仪表量程的选择

(1) 电流表、电压表

仪表量程应大于被测电量,加大幅度一般在 1.1~1.5 倍,以减少测量误差。选用仪表时被测值越接近仪表的量程,则所测精确度越高。

例如:一只 300 V、0.5 级电压表,用来测量 250 V 和 25 V 电压时,其相对误差大不相同。因为该电压表的精度等级为 S,所以

$$S\% = (\Delta V_n / V_m) \times 100\%$$

式中: V_m ——仪表量程值;

ΔV_n ——测量的最大绝对误差。

因 $S = \pm 0.5$, $V_m = 300 \text{ V}$, 故

$$V_n = (S \times V_m) / 100 = \pm 0.5 \times 300 / 100 = \pm 1.5 \text{ V}$$

因此,用它来测量 250 V 电压时引入的相对误差为:

$$r = \pm (1.5 / 250) \times 100\% = \pm 0.6\%$$

用它来测量 25 V 电压时引入的相对误差为:

$$r = \pm (1.5 / 25) \times 100\% = \pm 6\%$$

可见,用 300 V 量程的电压表来测量 25 V 电压是不恰当的,故选用仪表时被测值越接近仪表量程,则所测值精确度越高。

(2) 功率表

功率表的量程是电流量程与电压量程的乘积。功率表一般不标功率量程,只标明电流量程和电压量程。因此,在选用功率表时,要使功率表中电流线圈和电压线圈的额定值(即量程值)大于被测负载的最大电流和最大电压值。

(3) 调压器

交流实验中的电源有时要采用调压器,调压器的输出电压是可调的。实验时,在将调压器接入电路前,应先将调压器的调节手轮(或旋钮)逆时针旋转到“0”位。调节调压器手轮(或旋钮)的丝杆,将电压表接在调压器的副边通电检查,使电压表指示为 0 V ,以确保在实验时调压器的输出电压从 0 V 开始。当顺时针旋转调节手轮(或旋钮)时,要使实验电压从 0 V 缓慢上升,同时注意仪表指示是否正确,有无声响、冒烟、焦味及设备发烫等异常现象。一旦发生上述现象,应立即切断电源或把调压器手轮(或旋钮)退到“0”位,再切断电源,然后根据现象分析原因,查找故障。

2) 使用电子仪器的一般规则

(1) 预热

实验中常用的电子仪器有示波器、函数发生器、毫伏表、直流稳压电源等,这些仪器都需要交流供电。为了保证仪器运行的稳定性和测量精度,一般需预热 $3 \sim 5 \text{ min}$ 后才能使用。

(2) 接地

实验中,信号电压或电流在传递和测量时易受到干扰,一般应注意:各仪器和实验装置实行共地,即把各仪器和实验装置的接地端可靠地接在一起;各仪器和实验装置之间的连线尽可能短。

1.5.4 操作、观察、读数和记录

操作时要注意:手合电源,眼观全局;先看现象,再读数据。数据测量和实验观察是实验的核心部分,读数前一定要先弄清仪表的量程和表盘上每一格所代表的实际数值;仪表的实际读数值为:

$$\text{实际读数} = \{\text{使用量程} / \text{刻度极限值}\} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

式中: K ——仪表在某量程时每一刻度(div)代表的数值。

对于普通功率表,其读数值为:

$$\text{实际读数} = \{(\text{电压量程} \times \text{电流量程}) / \text{刻度极限值}\} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

对于低功率因数功率表,其读数值为:

$$\text{实际读数} = \{(\text{电压量程} \times \text{电流量程} \times 0.2) / \text{刻度极限值}\} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

读数时应注意姿势要正确,要求“眼、针、影成一线”,即读数时应使自己的视线同仪表的刻度标尺相垂直。当刻度标尺下有弧形玻璃片时,应当在看到指针和镜片中的指针影子完全重合时,才开始读数,要随时观察和分析数据。测量时既要忠实于仪表读数,又要观察和分析数据的变化。

数据记录要求完整,力求表格化,一目了然。数据须记录在规定的实验原始数据记录纸上,要尊重原始记录,实验后不得随意涂改。交报告时须将原始记录一起附上。

波形、曲线一律要画在坐标纸上,坐标值的大小要适当。在坐标轴上应注明量的符号和单位的符号,标明比例和波形、曲线的名称。

1.5.5 测量误差及测量结果的处理

1) 测量误差

在实验中必然要用各种仪器仪表进行测量,但由于测量仪器的不准确、测量方法的不完善以及测量环境、测量人员本身等各种因素,会使实验中测得的值和被测量的真实值之间造成差异,即产生测量误差。人们进行测量是为了获得尽可能接近真实值的测量结果,如果测量误差超过一定限度,测量工作以及由测量结果所得出的结论就失去了意义,因此为了得到要求的测量精度和可靠的测试结果,需要认识测量误差的规律,合理选择测量仪器和测量方法,力求减小测量误差。

根据误差的性质可分为系统误差、随机误差和粗差三类。

(1) 系统误差

在相同条件下,多次测量同一量时,所出现误差的绝对值和符号保持恒定,或在条件改变时,与某一个或几个因素成函数关系的有规律的误差,称为系统误差。它产生的主要原因是仪器仪表制造、安装或使用方法不正确,也可能是测量人员一些不良的读数习惯等。

系统误差可以通过分析研究,在技术上采取一定措施来减小和消除,但在实际测量中,系统误差的发现和消除都不容易做到。

(2) 随机误差

相同条件下,重复测量某一量时,每次测量的数据或大或小、或正或负、不能预知的误差,称为随机误差。它是由很多复杂因素,如电磁场的微变、空气扰动、气压及温度、湿度的变化等对测量值的综合影响所造成的。

单次测量的随机误差没有规律,但多次测量的结果总体服从统计规律,通过对测量数据的统计处理,可以在理论上估计随机误差对测量结果的影响。

(3) 粗差

粗差是一种明显地歪曲了测量结果的误差,如测错、读错、记错以及在未达到预定要求的实验条件下匆忙做实验,都会引起粗差。含有粗差的测量值称为异常值,应予以剔除。

正确处理测量中的异常数据是测量实践中经常碰到的问题,除了采用能分析出物理或