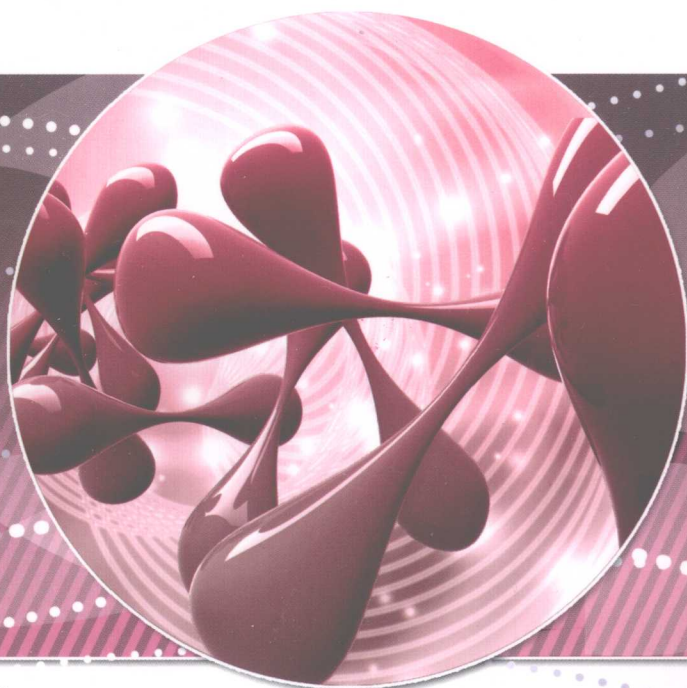


中等职业教育电类专业规划教材

电工基础 实验与实训

◎ 王家元 主编

◎ 程 周 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业教育电类专业规划教材

电工基础实验与实训

王家元 主编

程周 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书由上、下篇两部分组成。上篇是电工基础实验,主要包括直流电路,磁与电磁,单相正弦交流电路,三相交流电路;下篇是电工基础实训,主要包括万用表的组装实训,照明装置的安装实训,三相异步电动机的结构、拆装实训,安全用电常识。

本书以项目形式编排,各个项目之间既相互呼应,又相互独立,其内容采用理论和实际相结合的方式,图文并茂,可操作性强。

本书可作为中等职业学校电工电子类、机电类及相关专业的实验与实训教材,同时也可作为社会各电类专业培训班的培训教材。

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

电工基础实验与实训/王家元主编. —北京:电子工业出版社, 2008.8
中等职业教育电类专业规划教材
ISBN 978-7-121-07138-6

I. 电… II. 王… III. 电工试验—专业学校—教材 IV. TM-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 108268 号

策划编辑: 白 楠

责任编辑: 李雪梅

印 刷: 北京市通州大中印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

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: 6 字数: 145.9 千字

印 次: 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 10.00 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

电工基础实验与实训是中等职业学校电类专业的一门实践课。本书是根据教育部对中等职业学校的定位以及电类专业对电工实验和技能要求而编写的,任务是使学生具备初、中级专门人才所必须具备的电气测量基础知识、基本方法和基本技能,并成为高素质的电气工作者。本书的主要特点为:

(1) 既紧扣电工基础教材,完成教材中规定的基本实验,又独立成册,完成电工基本的测量与装配要求。

(2) 理论与实践相结合,培养学生的综合实践能力。电工实训环节根据目前中等职业学校生的特点进行设计,图文并茂,易读易懂,可操作性强,重视基本原理与工艺,删除了部分理论性较深的内容。

(3) 打破传统的实验书模式,采用任务式教学,通过实验与实训相结合的方式完成项目规定的模块。

(4) 电工仪表方面,除了必要的理论叙述和实验外,重点阐述了万用表等仪表的使用方法和装配工艺。

本书实验环节需 38 学时,实训环节需 44 学时。各实验相关的知识部分,可根据实际情况穿插在相关实验前进行课堂理论教学。其中,项目 1 的实验完成后可以直接进行万用表的组装调试实训;项目 3 的实验完成后可以直接进行照明电路的安装实训;项目 4 的实验完成后可以直接进行三相异步电动机的结构、拆装实训。各学校也可根据实际情况把实验与实训分开进行。

本书各模块学时方案建议如下表,供参考。

综合实验

序 号	实验内容	实验知识	学 时
1	认识实验室	实验室规章要求、安全用电常识、实验操作规程; 实验室的设备、仪器仪表及指示装置的配置; 练习使用直流电源,认识最简单的电路特征	2
2	电源的外特性	电源端电压和负载电流的关系及影响端电压的因素; 实验的操作步骤及电流表、电压表的使用方法	2
3	电压、电位的测量	验证电位值的相对性和电压值的绝对性; 熟悉万用表的使用及其测量方法	2
4	电工测量及误差	电工测量的基本方法、误差产生的原因和消除方法; 测量误差的表示方法及合理选择量程的意义	2
5	磁电系仪表	磁电系测量机构的结构、工作原理、技术特性和应用范围; 初步学会对测量数据的分析处理	2

续表

序 号	实验内容	实验知识	学 时
6	电磁系仪表	电磁系测量机构的结构、工作原理、技术特性和应用范围; 用电磁系电流表和电压表测量交流电流和电压	2
7	电动系仪表	电动系测量机构的结构、工作原理、技术特性和应用范围; 用两个功率表测量三相三线制功率的原理和接线方法, 根据不同负载合理地进行接线	2
8	万用表的使用	万用表的面板结构, 使用方法	2
9	兆欧表、电度表	兆欧表、电度表的工作原理和使用方法	2
10	欧姆定律	验证部分电路欧姆定律的正确性	2
11	负载获得最大功率的条件	负载获得最大功率的条件: 负载电阻等于电源内阻; “匹配”的含义及电力系统中输电效率的意义	2
12	基尔霍夫定律	验证基尔霍夫定律的正确性, 从而加深对基尔霍夫定律的理解	2
13	电容器	测绘 RC 电路充电和放电曲线; 测量 RC 电路的时间常数	2
14	楞次定律、互感现象	验证楞次定律, 熟悉楞次定律的应用; 线圈相对位置及不同材料做铁芯时对互感的影响	2
15	单相交流电路	串联、并联电路中总电压与各分电压的关系	2
16	谐振电路	串联谐振电路的特点、测绘串联谐振电路的谐振曲线	2
17	日光灯电路及功率因数的改善	日光灯电路的接线; 并联电路中总电流和各分电流的关系; 提高功率因数的方法和意义	2
18	三相负载的星形连接	三相负载星形连接的方法; 观察负载中中性点位移现象, 了解中性线的作用; 三相对称负载星形连接时, 负载电压、电流的测量	2
19	三相负载的三角形连接	三相负载三角形连接的方法; 三相对称负载三角形连接时, 电压、电流的测量	2

综合实训

序 号	实训内容	实训知识	学 时
1	万用表的组装与调试	进一步熟悉指针式万用表的工作原理; 掌握焊接技术的工艺要领; 会调试组装指针式万用表, 会判断并排除常见的故障; 培养耐心细致、一丝不苟的工作作风	12
2	照明电路的安装	熟悉照明电路的结构、工作原理、接线方法; 掌握照明装置的安装工艺	10
3	三相异步电动机的结构、拆装	三相异步电动机内部结构及构造; 熟悉电动机的定子绕组的缠绕方法	18
4	安全用电常识	掌握安全用电的常识; 了解安全用电的操作规程	4

本书由安徽机械工业学校王家元主编, 并编写项目 1、3、4 的实验和项目 5、6、7 的实训。安徽机械工业学校何冬琼老师编写项目 2 实验及项目 8 实训。全书由王家元统稿, 安徽职业技术学院程周主审。

本书在编写过程中得到了安徽能源学校姚成秀老师的帮助, 在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者学识有限，书中难免存在缺点和疏漏，恳请广大读者批评指正。

为了方便教师教学，本书还配有教学指南、电子教案及习题答案（电子版），请有此需要的教师登录华信教育资源网（www.huaxin.edu.cn 或 www.hxedu.com.cn）免费注册后再进行下载，有问题时请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系（E-mail:hxedu@phei.com.cn）。

编 者
2008 年 5 月



目 录

上篇 电工基础实验

项目 1 直流电路	2
任务 1: 认识实验室	2
任务 2: 电参数的测量	5
实验 1: 电源的外特性实验	5
实验 2: 电压、电位的测量实验	7
任务 3: 电工常用仪表	8
实验 1: 电工测量及误差	8
实验 2: 磁电系电流表、电压表的使用方法	11
实验 3: 电磁系电流表、电压表的使用方法	14
实验 4: 功率表的使用方法	18
实验 5: 万用表、兆欧表、电度表的原理与使用方法	21
任务 4: 欧姆定律	34
实验 1: 欧姆定律的验证	34
实验 2: 负载获得最大功率的条件	36
任务 5: 基尔霍夫定律	37
任务 6: 电容器	39
项目 2 磁与电磁	42
任务 1: 楞次定律的验证	42
任务 2: 互感现象实验	44
项目 3 单相正弦交流电路	46
任务 1: 单相交流电路实验	46
任务 2: 串联谐振电路实验	49
任务 3: 日光灯电路及功率因数的改善实验	51
项目 4 三相交流电路	54
任务 1: 三相负载的星形连接	54
任务 2: 三相负载的三角形连接	56

下篇 电工基础实训

项目 5 万用表的组装实训	60
项目 6 照明装置的安装实训	68
项目 7 三相异步电动机的结构、拆装实训	74
项目 8 安全用电常识	80
参考文献	86

电工基础实验

实验指导书

上篇

电工基础实验



项目 1 直流电路



项目 2 磁与电磁



项目 3 单相正弦交流电路



项目 4 三相交流电路



项目1 直流电路

任务1: 认识实验室

1. 实验目的

- ① 了解实验室规章、要求、安全用电常识、实验操作规程。
- ② 了解实验室现有设备、仪器仪表及指示装置的配置。
- ③ 练习使用直流稳压电源, 认识最简单的电路特征。

2. 实验器材

- | | |
|-----------------------|-----|
| ① 实验室的实验台 | |
| ② 直流稳压电源 (或实验台输出直流电源) | 1 台 |
| ③ 直流电流表 | 1 只 |
| ④ 直流电压表 | 1 只 |
| ⑤ 开关 | 1 个 |
| ⑥ 定值电阻 (或小灯泡) | 1 只 |

3. 实验内容与步骤

(1) 认识实验室

指导老师介绍实验室里实验台的组成部分及交流电源和直流稳压电源的情况, 了解 220 V、380V 交流调压装置, 电源指示仪表, 电源插座或接线柱, 交流电源开关的位置。认识实验室实验操作规程、安全用电要求、紧急事故处理办法、灭火装置、安全通道的位置及使用方法。

(2) 直流稳压电源的使用

学会各路直流稳压电源的指示、输出、调节装置及使用方法。调节直流稳压电源的开关, 分别调出 3V、6.5V、12V 的电压。

(3) 电路的组成

按照图 1.1.1 连接电路, 调节直流稳压电源, 输出 6.5 V 稳定电压, 闭合和断开开关, 观测电路状态, 并在表 1.1.1 中记录两种状态下的电压值和电流值。

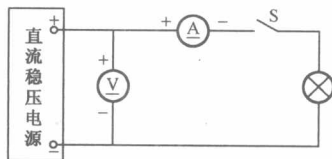


图 1.1.1 实验电路

表 1.1.1 电压值和电流值

项 目	电压值 (V)	电流值 (mA)
电路状态		
闭合		
断开		



注意事项

① 实验电路接好后，需经指导老师确认后方可接入电源。实验台电源的操作要求先闭合总电源开关，再闭合分电源开关，按实验要求调节好直流电压数据后方可接入电路，并注意直流稳压电源正负极性不能接反，否则仪表指针会反偏。

② 实验过程中要根据实验电路的要求合理地选择仪表量程，量程选大了会造成较大的测量误差，量程选小了可能会损坏仪表。若无法估算电路合适的量程，应选用仪表的最大量程进行测量，根据指示值适当调节量程，直至合适为止。

电压表内阻很大，要求并联在被测器件两端；电流表内阻很小，只能串联在被测电路中。另外，在直流电路的连接中要注意“+”“-”极性的正确连接。

③ 合理地调节实验台上直流稳压电源的开关，使电压值与负载（小灯泡）额定值相匹配，否则灯泡会因过载而烧毁。



问题与思考

- ① 通过实验，你对实验室了解多少？掌握了哪些关于安全用电的常识？
- ② 电路组成的要素有哪些？通过观察灯泡的亮与灭，怎样理解电路中电流与电压的关系？



相关知识

(1) 安全用电常识

1) 电流对人体的危害

① 电流强度。成年男性的平均感知电流为 1 mA，摆脱电流为 10 mA，致命电流为 50 mA，通电时间在 1 s 以上（触电致死的生理现象是心室颤动）。

② 电流通过人体的途径。电流通过心脏、中枢神经、呼吸系统是最危险的。因此，从左手到前肢是最危险的电流途径，这时心脏、肺部、脊髓等重要器官都处于电路内；从右手到脚的电流途径其危险性要小些，但会因痉挛而摔伤。

③ 作用于人体的电压。触电死亡的直接原因在于电流在人体内引起的生理病变。显然，此电流的大小与作用于人体的电压有关，电压越高，电流越大，由于人体电阻将随着作用于人体的电压升高而呈非线性急剧减小，致使通过人体的电流显著增大，使电流对人体的伤害更加严重。人体电阻一般可按 $1000 \sim 2000 \Omega$ 计，一般环境中 1 s 的安全电流可按 30 mA 计，于是一般环境下的电压范围为 $0.03 \times (1000 \sim 2000) = 30 \sim 60 \text{ V}$ ，所以我国规定一般环境的安全电压为 36 V。

2) 实验室安全操作

- ① 区分实验装置，交、直流电源，强、弱电源的位置。



② 实验电路连接完毕, 必须请实验指导老师检查确认后方可接通电源, 送电时闭合主电源开关, 再闭合负载开关。

③ 实验过程中, 严禁触摸带电导线的裸露部分, 切勿带电更换测量仪表量程。一旦发生实验电气事故, 应立即切断主电源, 然后报告实验指导老师, 查明原因排除故障后方可继续实验。

④ 实验结束后, 应先切断实验中使用的各路电源, 再拆除实验电路。若电路中有大容量的电容器, 则应先放电, 然后再拆除实验电路。

(2) 电路的构成

电路由电源、用电器(负载)、导线和开关(控制器件)组成。

电源负责把其他形式的能量转换成电能; 用电器(负载)把电能转变成其他形式的能量; 导线是用来连接电源与用电器的金属线; 开关则是接通或断开电源与用电器的器件。

(3) 电路的串联与并联原理

1) 串联电路

把电阻一个一个地首尾相互连接起来, 就组成串联电路, 如图 1.1.2 所示。串联电路的特点如下。

- ① 电路中的电流处处相等: $I=I_1=I_2=I_3$ 。
- ② 电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和: $U=U_1+U_2+U_3$ 。
- ③ 总电阻等于各个导体的电阻之和: $R=R_1+R_2+R_3$ 。

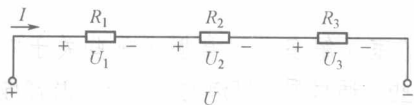


图 1.1.2 串联电路

2) 并联电路

把一个电阻首首相接, 尾尾相接, 并列连接起来, 就组成了并联电路, 如图 1.1.3 所示。并联电路的特点如下。

- ① 电路中各支路两端的电压相等: $U=U_1=U_2=U_3$ 。
- ② 电路的总电流等于各支路的电流之和: $I=I_1+I_2+I_3$ 。
- ③ 并联电路的总电阻的倒数, 等于各个导体的电阻的倒数之和: $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$ 。

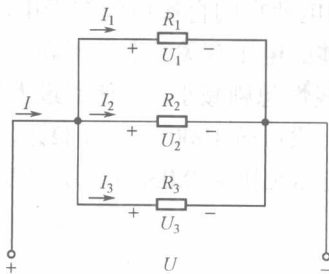


图 1.1.3 并联电路

任务 2: 电参数的测量

实验 1: 电源的外特性实验

1. 实验目的

- ① 理解电源端电压和负载电流的关系及影响端电压的因素。
- ② 熟悉实验的操作步骤及电流表、电压表的使用方法。

2. 实验器材

- | | |
|----------|-----|
| ① 直流稳压电源 | 1 台 |
| ② 万用表 | 1 只 |
| ③ 直流毫安表 | 1 只 |
| ④ 定值电阻 | 若干 |

3. 实验内容与步骤

- ① 在实验板上按照图 1.2.1 连接好电路。
- ② 当 S 断开时, 读出电流表和电压表的数值, 并记录入表 1.2.1 和表 1.2.2 中。
- ③ 当 S 闭合时, 分别接入负载电阻 $200\ \Omega$ 、 $300\ \Omega$ 、 $1\ \text{k}\Omega$, 在 $R_1=1\ \Omega$ 和 $R_1=10\ \Omega$ 两种情况下读出三种不同负载电阻对应的电流表和电压表的数值, 分别记录入表 1.2.1 和表 1.2.2 中。

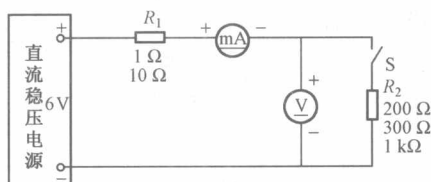


图 1.2.1 实验 1 电路

表 1.2.1 电流表和电压表的数值 ($R_1=1\Omega$)

测量内容	S 断开	S 闭合		
		$R_2=200\ \Omega$	$R_2=300\ \Omega$	$R_2=1\ \text{k}\Omega$
电流值 (mA)				
电压值 (V)				

表 1.2.2 电流表和电压表的数值 ($R_1=10\Omega$)

测量内容	S 断开	S 闭合		
		$R_2=200\ \Omega$	$R_2=300\ \Omega$	$R_2=1\ \text{k}\Omega$
电流值 (mA)				
电压值 (V)				



注意事项

- ① 实验中使用的直流电流表、直流电压表,除了极性不能弄错外,还要根据电流参数合理地选用仪表的量程。仪表量程选择的依据是实验电路的实际电路参数。
- ② 实验电路的最大电流不允许超过直流稳压电源的额定电流,防止直流稳压电源过载损坏。
- ③ R_2 阻值与 R_1 阻值相差愈大,测量电压值愈相近,注意指针式仪表的准确读数。



问题与思考

- ① 根据表中记录的实验数据,分别测绘出 $R_1=1\ \Omega$ 和 $R_1=10\ \Omega$ 时,端电压 U 随负载电流 I 变化的外特性曲线,比较两曲线的区别。
- ② 影响端电压的因素有哪些?
- ③ 何谓电压表、电流表合适的量程?量程过大或过小会引发什么问题?



相关知识——电源的外特性

电源内部存在一种非静电力,称为电源力。它能使电源内部导体中的正负电荷分离,形成正负两极,两极间具有一定的电位差。电源的电动势在数值上等于电源力把单位正电荷从电源负极经过内电路移到电源正极所做的功。电动势的实际方向规定为由电源负极指向电源正极,即由低电位指向高电位。接通外电路后,电流由电源负极通过电源内部流向电源正极,可见电源中的电流与电动势同向。

具有电动势 E 、内电阻 R_0 的电源与外电路接通后,全电路中就有电流 I 通过。设外电路的电阻为 R ,则有全电路欧姆定律

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

上式也可写成如下形式

$$U = E - R_0 I$$

式中, U 是外电路的端电压,又称路端电压。若忽略连接导线的电阻, R 只是负载的电阻,则 U 就是负载的端电压。

反映端电压 U 与电路中电流 I 之间关系的曲线 $U=f(I)$,称为电源的外特性曲线,简称电源外特性。一般 E 和 R_0 都是常量,端电压与电器中电流的函数关系可以绘出电源的外特性曲线,它是一条直线,如图 1.2.2 所示,该直线在纵坐标上的截距就等于电源的电动势 E 。内电阻愈大的电源,其外特性愈陡;反之,内阻愈小,外特性愈接近于水平线。

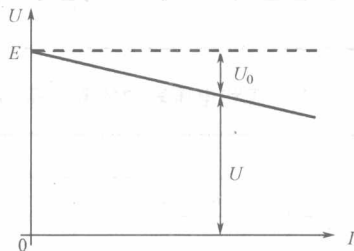


图 1.2.2 电源的外特性曲线

实验2：电压、电位的测量实验

1. 实验目的

- ① 通过对电位、电压的测量，验证电位值的相对性和电压值的绝对性。
- ② 练习简单直流电路的接线方法。
- ③ 熟悉万用表的使用及其测量方法。

2. 实验器材

- | | |
|----------|-----|
| ① 直流稳压电源 | 1 台 |
| ② 万用表 | 1 只 |
| ③ 电阻 | 若干 |
| ④ 开关 | 1 个 |

3. 实验内容及步骤

- (1) 在实验台上按图 1.2.3 连接好电路。
- (2) 检查电路，连接无误后，将直流稳压电源电压调至与电路需求电压相同，并接入电路中。
- (3) 用万用表进行测量（量程调至 10 V 以下直流挡）。
 - ① 以 D 点为参考点，分别测量 A、B、C、H、G 各点电位值及电压值 U_{HB} 、 U_{BA} 、 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DA} 、 U_{HG} ，将测量数据记入表 1.2.3 中。
 - ② 以 A 点为参考点，重复步骤①。

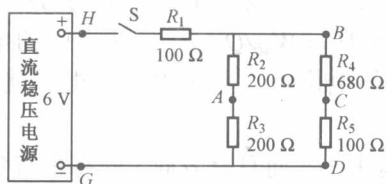


图 1.2.3 实验 2 电路

表 1.2.3 各点电位值和电压值

测量内容 参考点	U_A	U_B	U_C	U_D	U_H	U_G	U_{BA}	U_{BC}	U_{CD}	U_{DA}	U_{HB}	U_{HG}
D												
A												



注意事项

- ① 测量电位时，用万用表的负表棒（黑色）接参考点，正表棒（红色）接被测点。若表针正向偏转，则电位值为正；若表针反向偏转，应调换表棒，然后读出数值，此时电位值为负值。



② 测量电压时,若红色表棒接高电位点,表针正向偏转,则电压值为正值;若发现表针反向偏转时,应调换表棒,此时的电压值为负值。

③ 使用万用表测量未知电量时,应养成“点触法”的测量习惯,即对未知电量测量时,一支表笔与被测量接牢,另一支笔触及被测量另一端后迅速离开,判断是否反向偏转或超过量程,以更好地保护测量仪表。



问题与思考

选择不同参考点时,电路中各点的电位有无变化?这时,任意两点间的电压有无变化?为什么?



相关知识

(1) 电位

电路中各点电位是相对的物理量,若不选定参考点,就只能比较两点电位的高低,而无从确定各点的电位值。参考点的电位通常规定为零,所以参考点又叫零电位点。习惯上取大地为参考点,这是因为大地容纳电荷的能力非常强,它的电位很稳定,这个道理与地理上计算高度常选定海平面为零点是相似的。

规定:电场力把单位正电荷从电场中的某点移到参考点所做的功,称为该点的电位(物理学中称电势)。要计算某点的电位,简单地说,就是从该点出发,沿着任选的一条路径“走”到零电位点,该点的电位就等于“走”这条路径所经过的全部电位降(即电压)的代数和。

(2) 电压

电压是衡量电场做功本领大小的物理量。若电场力将电荷 Q 从 a 点移到 b 点所做的功为 W_{ab} ,则两点间的电压 $U_{ab}=W_{ab}/Q$ 。 a 、 b 两点间的电位之差就是 a 、 b 两点间的电压,因此电场中两点之间的电位差,称为电压。电位就是电场中某点和参考点之间的电压。

电压和电流一样,不但有大小,而且有方向,即有正有负。电压的规定方向是由高电位指向低电位,当电压采用双下标记法时,表明电压方向为从第一个下标指向第二个下标。

任务3: 电工常用仪表

实验1: 电工测量及误差

1. 实验目的

- ① 了解电工测量的基本方法、误差产生的原因和消除方法。
- ② 测量误差的表示方法及合理选择量程的意义。

2. 实验内容

(1) 电工测量

电工测量就是借助于测量设备,把未知的电量或磁量与作为测量单位的同类标



准电量或标准磁量进行比较,从而确定这个未知电量或磁量(包括数值和单位)的过程。

一个完整的测量过程通常包含测量对象、测量方法、测量设备等几个方面。当然,测量过程中还必须建立测量设备所必需的工作条件,认真操作和记录数据,并考虑测量条件的实际情况,进行数据处理,以确定测量结果和测量误差。

(2) 测量的方法

1) 直接测量法

在测量过程中,采用直接指示的仪器、仪表可以读取被测量数值,而无需度量器直接参与的测量方法叫做直接测量法。如用欧姆表测电阻、电流表测电流、电压表测电压等都属于直接测量法。由于仪表接入测量电路后,会使工作状态发生变化,直接测量法的准确度比较低。

2) 比较测量法

在测量过程中,需要度量器的直接参与,并通过比较仪器来确定被测量数值的测量方法叫做比较测量法。根据被测量与标准量比较方式的不同又分为以下几种方法。

① 零值法,又称平衡法,即在测量过程中,通过改变标准量使它和被测量相等,当两者差值为零时,确定出被测量数值的测量方法。如用电桥测电阻,用电位差计测电动势等。

② 差值法,又称较差法,即在测量过程中,通过测出被测量与标准量的差值,从而确定被测量数值的测量方法。采用这种方法可以到达较高的准确度。如用不平衡电桥测量电阻。

③ 代替法,又称替代法,即在测量过程中,将被测量与已知标准量分别接入同一测量装置,若维持仪表读数不变,这时被测量就等于已知标准量。由于替代前后仪器的工作状态是一样的,因此这种方法能有效克服所有外界因素对测量结果的影响。

3) 间接测量法

根据被测量和其他量的函数关系,先测得其他量,然后按函数式把被测量计算出来的一种方法叫间接测量法。如用伏安法测电阻。间接测量法的误差较大,在准确度要求不高的场合或直接测量有困难时采用。

(3) 测量误差与消除

1) 误差的分类及产生的原因

① 系统误差。系统误差是一种遵循一定规律,在测量过程中保持不变的误差。造成系统误差的原因有:

- 测量设备的误差。标准度量器或测量仪器、仪表本身具有的误差。如刻度不准确等造成的系统误差。
- 测量方法的误差。测量方法不够完善,测量仪表安装或配线不当,外界环境变化以及测量人员操作技能和经验不足等造成的系统误差。如引进近似公式、接触电阻等影响造成的误差。

② 偶然误差。偶然误差是一种大小和符号都不固定的误差。这种误差主要是由外界环境(如温度、湿度、电场、磁场等)的偶发性变化引起的。在重复进行同一个量的测量



过程中其结果往往不完全相同。

③ 疏失误差。疏失误差是一种严重歪曲测量结果的误差，它是由测量时的粗心和疏忽造成的。如读数错误、记录错误等。

2) 测量误差的消除

① 系统误差的消除方法。

- 对度量器、测量仪器、仪表进行校正。在准确度要求较高的测量结果中，引入校正正值进行修正。

- 消除误差产生的根源。即正确选择测量方法和测量仪器，改善仪表安装质量和配线方式，尽量使测量仪表在规定的使用条件下工作，消除各种外界因素造成的影响。

- 采用特殊的测量方法。如正负误差补偿法、替代法等。如用电流表测量电流时，考虑到外磁场对读数的影响，可以把电流表转动 180° ，进行两次测量。在两次测量中，必然出现一次读数偏大而另一次读数偏小的现象时，取两次读数的平均值作为测量结果，其正负误差抵消，可以有效地消除外磁场对测量结果的影响。

② 偶然误差的消除方法。

在同一条件下，对被测量进行足够多次的重复测量，取其平均值作为测量结果。根据统计学原理可知，在足够多次的重复测量中，正误差和负误差出现的可能性几乎相同，因此偶然误差的平均值几乎为零。所以，在测量仪器、仪表选定后，测量次数是保证测量精度的前提。

③ 疏失误差的消除方法。

疏失误差严重歪曲了测量结果，因此，包含有疏失误差的测量结果应该抛弃。

(4) 测量误差的表示方法

① 绝对误差。仪表指示值 A_x 和被测量的实际值 A_0 之间的差值，叫做绝对误差，用 Δ 表示，即

$$\Delta = A_x - A_0$$

在计算绝对误差时，常用标准表指示值作为被测量的实际值。

绝对误差有正负之分，正误差说明测量值比真实值大，负误差说明测量值比真实值小。对同一被测量而言，测量的绝对误差越小，测量就越准确。

② 相对误差。绝对误差与被测量的实际值比值的百分数，叫做相对误差，用 γ 表示，即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

由于在测量不同大小的被测量时，不能简单地用绝对误差来判断其准确程度，而在实际测量中，通常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

③ 引用误差。把绝对误差与仪表最大读数（量程）比值的百分数，叫做引用误差，用 γ_m 表示，即

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