

普通高等教育“十三五”规划教材

# 电气技能 基础训练

主编 张宁 李宗平



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

# 电气技能 基础训练

主编 张宁 李宗平



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

本书在总结长期教学实践经验、分析研究各类不同实验教材的基础上,吸收现有教材优点,针对高等院校农业工程类学科的要求进行编写。本书引入电气基础理论与实验证明并进的写作方法,坚持教材的理论完整性和逻辑性,从电工、模拟电子、数字电子和电力拖动入手,结合理论指导和实践操作,强调通过电气技能训练深入领略电气理论的精髓,主要内容包括实验基础、电工与电路实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、综合训练和电力拖动实验。

本书适用于电气工程及自动化、农业机械化工程及自动化、农业信息技术、热能与动力工程、水利水电工程等农业工程学科专业的课程教学,也可作为非电专业学生和农村电气从业人员自学教材使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

电气技能基础训练 / 张宁, 李宗平主编. — 北京 :  
中国水利水电出版社, 2018.7  
普通高等教育“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-5170-6646-0

I. ①电… II. ①张… ②李… III. ①电工技术—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第201708号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 <b>电气技能基础训练</b> DIANQI JINENG JICHU XUNLIAN
作 者	张宁 李宗平 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	天津嘉恒印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9印张 214千字
版 次	2018年7月第1版 2018年7月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>24.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

为了培养电气人才实践教学的创新思维能力,电气技能基础训练需要依靠坚实的理论基础,精湛的专业技能,独特的思维方式。电气技能基础训练是在电工、电子技术和电力拖动一系列电气基础课程教学中,进行实验和基本技能训练的实践性教学中的一个非常重要环节,是高等院校电气实践课程的一个重要组成部分。本书在总结长期教学实践经验,分析研究各类不同实验教材的基础上,吸收现有教材优点,针对高等院校农业工程类学科的要求进行编写,以补充知识结构中的薄弱环节,解决长期以来理论教学缺乏系统完善的实践指导教材的问题。

本书引入电气基础理论与实验证明并进的写作方法,坚持教材的理论完整性和逻辑性,从电工、模拟电子、数字电子和电力拖动入手,结合理论指导和实践操作,强调通过电气技能训练深入领略电气理论的精髓。教材内容精选出最能代表电气技能训练的方法,着重对传统电气基本实验与新型电气技能训练方法进行系统的讲解。实验编写根据具体实验内容设有预习要求、实验报告、思考题、讨论题、实验注意事项和故障分析等环节。

全书分为六章,主要包括实验基础、电工与电路实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、综合训练和电力拖动实验。从电气技术实验基本要求和安全操作规程入手,围绕电工、电子和电机,进行基本电工仪表的使用及测量误差分析、基尔霍夫定律的验证、三相交流电路电压和电流的测量、晶体管共射极放大器实验、串联型晶体管直流稳压电源实验、组合逻辑电路设计、计数和译码电路实验、超外差式收音机的安装与调试、机床工作台往返循环控制、X62W 铣床模拟控制和调试分析等操作。

本书得到陕西省重点教改项目——服务“一带一路”的水利类复合型、创新型人才培养模式研究,西安市科技计划项目农业科技创新计划(NC1504(1))的支持,由西北农林科技大学和天煌科技实业有限公司联合组织。由张

宁、李宗平任主编，陈帝伊、王红雨任副主编。各章编写分工如下：第一章由陈帝伊、王红雨编写，第二、三、四、五章由李宗平编写，第六章由张宁编写。其他参编人员有王孝俭、谭亲跃、陈春国、王少坤等。全书由张宁统稿。

由于编者学识有限，书中难免存在失误和疏漏之处，敬请广大读者不吝批评指正。

编者

2018年4月

# 目 录

前言	
第一章 实验基础	1
第二章 电工与电路实验	8
第一节 基本电工仪表的使用及测量误差的计算	8
第二节 基尔霍夫定律的验证	11
第三节 叠加原理的验证	13
第四节 戴维南定理	15
第五节 RLC 串联谐振电路	18
第六节 日光灯电路及其功率因数的提高	20
第七节 三相交流电路电压、电流的测量	22
第八节 RC 一阶电路的响应测试	24
第九节 二阶动态电路的响应测试	27
第十节 三相电动机正反转控制	29
第三章 模拟电子技术实验	33
第一节 常用电子仪器的使用	33
第二节 晶体管共射极单管放大器	37
第三节 负反馈放大器	43
第四节 差动放大电路	47
第五节 低频功率放大器	50
第六节 模拟运算电路	54
第七节 串联型晶体管直流稳压电源	58
第四章 数字电子技术实验	64
第一节 组合逻辑电路的设计	64
第二节 触发器及其应用	68
第三节 计数、译码和显示电路	72
第四节 555 时基电路及其应用	77
第五节 三位半直流数字电压表	81
第六节 电子秒表	85

<b>第五章 综合训练</b> .....	90
第一节 超外差式收音机的装调实训 .....	90
第二节 数字万用表的组装 .....	97
<b>第六章 电力拖动实验</b> .....	103
第一节 三相异步电动机点动和自锁控制电路 .....	103
第二节 三相异步电动机的正反转控制电路 .....	105
第三节 顺序控制电路 .....	108
第四节 三相鼠笼式异步电动机的降压启动控制电路 .....	111
第五节 三相绕线式异步电动机的启动控制电路 .....	114
第六节 三相异步电动机能耗制动控制电路 .....	116
第七节 三相异步电动机单向启动及反接制动控制电路 .....	117
第八节 两地控制电路 .....	118
第九节 工作台自动往返循环控制电路 .....	120
第十节 C620 车床的电气控制电路 .....	122
第十一节 电动葫芦的电气控制电路 .....	123
第十二节 三相异步电动机双向启动及反接制动控制电路 .....	124
第十三节 双速异步电动机的控制电路 .....	127
第十四节 M7130 平面磨床的电气控制电路 .....	129
第十五节 X62W 铣床模拟控制电路的调试分析 .....	131
第十六节 直流电动机启动 .....	133
第十七节 直流电动机调速 .....	134
第十八节 直流电动机的正反转 .....	135
第十九节 直流电动机的正反转带能耗制动 .....	137

# 第一章 实验基础

## 一、概述

电气技能基础训练是电工、电子技术一系列课程教学中,进行实验和基本技能训练的实践教学的一个非常重要环节,是高等院校电工、电子技术课程的一个重要组成部分。其实践技能训练的目的如下:

- (1) 配合课堂教学内容,验证、巩固和深化理解所学的理论知识。
- (2) 进行实验基本技能训练,使学生能正确使用和操作常用的电工、电子仪器、仪表及设备,掌握一般的电工、电子测量技术,为今后进行科学实验打下扎实的基础,同时进一步提高操作技能。
- (3) 学会处理实验数据,分析实验结果,撰写实验报告。
- (4) 培养严谨、实事求是的科学态度和一丝不苟的工作作风,养成自觉遵守安全操作规程、安全用电和节约用电的良好习惯。

## 二、实验的基本步骤和要求

### 1. 实验前的准备工作

- (1) 认真预习实验指导书,明确实验目的、原理和任务。
  - (2) 复习与实验有关的理论知识,设计或分析实验线路图,写出实验步骤,画出数据记录表格。
  - (3) 实验前对实验中可能产生的数据应有粗略的估计,做到实验时心中有数,避免产生错误数据,少走弯路。
  - (4) 对初次使用的仪器、仪表,要了解其工作原理、基本性能和使用方法。
- 准备工作要求在实验前1天完成。

### 2. 实验操作程序

良好的操作习惯和严谨、认真的工作作风是确保实验、实训顺利进行的前提,因此必须按实验操作程序进行。

- (1) 学生进入实验室后应按自己的小组座位就座。实验应在任课老师和实验老师的指导下进行。
- (2) 实验前要对照实验内容,清点实验器材,并了解所使用仪器的使用方法。要认真听老师讲解实验规范和要求,观察老师演示操作方法,做好笔记,避免违章操作。
- (3) 接线前要合理布局,尤其是使用的仪器、仪表、电器或电子元件和设备,以便于操作和数据的读取。
- (4) 正确连接电路。
  - 1) 导线的长短和两端接头的种类选择要合适。
  - 2) 连接导线应尽可能少用,并力求简洁清楚,尽量避免导线间的交叉及重复接线。

3) 接头要紧固, 每个接线柱上一般只允许安装 2 根导线。

4) 接线的原则一般应按照先接串联电路, 再接并联电路; 先接主电路, 再接辅助电路, 最后接通电源电路的顺序进行。

5) 电路接好后, 先由同组同学进行检查, 再经指导教师复查后, 方可通电进行实验。

(5) 合理选择仪表的量程。先估计被测量值的大小, 选择适当的量程。对不能估计的被测量进行测量时, 仪表应选择最大量程, 在测量过程中再根据实际被测数据的大小选择合适的量程, 但必须注意, 在测量过程中不要转换仪表的量程。对指针式仪表的读数, 一般应在刻度尺的  $2/3$  以上区域为合适, 切记测量前必须对指针进行机械调零。

(6) 正确读取实验数据。读数时视线应垂直于指针面板, 并注意仪表的量程和单位, 读取多少个数据应视具体情况而定。

(7) 做好实验记录。记录项目包括仪器、仪表及设备的规格、型号, 被测量的名称、单位及数值。

(8) 注意人身及设备安全。实验中要严格按照《电工电子实验安全操作规程》进行操作, 确保操作人员的人身安全及所使用的设备安全。

(9) 做好整理工作。实验操作完毕, 应将结果检查后送交老师复查, 经老师许可后方可拆除线路, 并将仪器仪表及设备和工具、导线整理摆放整齐, 才可离开实验室。

### 3. 实验安全事项

由于电工电子实验有一定的潜在危险性, 因此在整个实验过程中要严格按照《电工电子实验安全操作规程》进行操作。其操作规程规定如下:

(1) 接线前必须仔细检查所用的仪器、仪表和设备的规格是否正确, 在未熟悉其使用方法前不得使用。

(2) 任何线路的连接和改动必须在断电情况下进行, 而且必须经过老师检查后才可接通电源, 通电前必须确知所用电源电压的数值。

(3) 接通电源以前必须通知在场的所有人员, 确认无人接触导电部分后方可通电。

(4) 接通电源后不能触及电压高于 24V 的带电部分, 而且不可离开实验台。

(5) 接通电源应用一只手操作, 合闸要迅速并使开关接触紧密, 同时眼睛要观察各仪表及电路的各个部分, 注意有无异常现象发生、仪表读数和各元器件是否正常, 如发现异常, 应立即切断电源。

(6) 电路通电后, 应经常注意仪表的读数及电路的工作状态, 如有熔体熔断, 电路发生火花、异味、冒烟、响声等现象, 仪器出现调节失灵、读数过大、电阻过热等异常情况时, 应立即切断电源, 保持现状, 并报告老师, 在查出并清除产生故障的根源后, 才可重新通电。

(7) 在进行任何操作以前, 都必须仔细考虑将会产生的后果, 不得盲目操作。电路中电压、电阻的调节应仔细、缓慢地进行, 不可突然改变。

(8) 使用金属外壳的仪器、设备时, 应将外壳妥善接地。电容器用毕, 拆除后应立即放电。

(9) 取用仪器、仪表要轻拿轻放, 以免损坏。在使用仪器、仪表测量或调试过程中不得随意扳动开关和旋钮, 以免损坏仪器。

(10) 仪器或仪表使用完毕, 要将各种旋钮恢复原位或零位, 关闭电源开关。

(11) 元件上机焊接前, 必须先检查其是否合格, 然后再刮腿、上锡、整形, 最后上机焊接, 不得超越程序。

(12) 一般元件的焊接应选择 20~25W 的电烙铁, 不要太大, 也不要太小, 以免损坏元件和造成虚焊或假焊。

(13) 电烙铁使用前, 要检查是否漏电, 以免发生事故。

(14) 焊接时要用镊子夹住元件的腿, 帮助散热, 焊接时间不要过长, 以免烧坏元件。焊点要匀, 表面光滑明亮, 不得有虚焊或假焊现象。

(15) 电烙铁不用时要放在烙铁架上, 不能随意摆放, 以免烧坏实验台和其他物品。

(16) 实验完毕后, 将电烙铁拔下, 待放凉后再收起。

(17) 与本次实验无关的其他开关、设备、仪表等不得乱动, 未经允许不得靠近电源总控制柜或进入电源室。

(18) 要及时填写本次实验情况记录, 并由任课老师和实验老师检查验收后方可下课离开。

#### 4. 实验报告要求

实验报告是对整个实验过程的总结, 是把实验情况和结果用文字的形式表达出来, 因此, 实验报告应包括下列内容:

(1) 实验名称、编写者姓名、班级、组别及实验日期。

(2) 实验目的和要求。

(3) 使用的仪表和设备, 包括规格、型号、数量及编号。

(4) 实验电路图。

(5) 实验中记录的数据。

(6) 实验计算结果及绘制曲线。

(7) 分析与讨论。

拟写实验报告的目的是培养学生的综合分析能力, 为此, 在拟写实验报告时必须做到以下几点:

(1) 实验报告是对实验的总结, 必须实事求是独立完成。教材所介绍的实验内容、电路图、仪器设备仅是指导性的, 不能一一照抄, 而应根据实际实验情况进行编写。

(2) 实验记录的数据应重新整理, 并填写在实验报告的数据表中。要求计算数据时要写出计算公式和过程, 但同类型的计算不必重复写出公式和过程, 写出结果即可。

(3) 绘制曲线一般采用平面直角坐标系, 坐标轴应标出所表示的物理量名称、单位和数值。曲线的图幅以能表达数据的末位数字为宜, 曲线上与数据对应的各点应以“·”或“×”号标出, 位置要准确。所绘曲线不必通过所有测试点, 可将各点分布在曲线两旁, 曲线要画得平滑, 不能画成折线。

对于若干条有关的曲线, 可画在同一坐标系内, 以便于分析比较, 且每条曲线旁都应注明标题和条件。

(4) 讨论是带有分析总结性的, 因此, 要从以下几方面考虑:

1) 回答指导书中的讨论题或老师给定的思考题。

2) 分析实验误差。

3) 对实验中遇到的意外情况或实验结果中出现的特殊情况, 应说明原因并提出解决办法。

4) 根据实验结果谈体会, 并对实验提出改进意见。

### 三、测量的基本知识

#### 1. 电流的测量

测量电路中的电流值, 要按被测电流的种类及量值大小来选择合适量程的交流电流表或直流电流表, 并将电流表串联在被测电路中, 以使被测电流通过电流表, 如图 1-1 所示。

由于电流表内阻很小, 切不可将电流表并联在电路中, 以免烧坏电流表。

使用直流电流表时, 接线要注意极性, 应使被测电流由电流表的正极流向负极, 否则指针偏转将无法读数, 甚至将指针打弯, 电流表损坏。

#### 2. 电压的测量

测量电路电压时, 可根据被测电压的性质和高低选择合适的电压表, 测量时要将电压表并联到被测电路两端, 如图 1-2 所示。

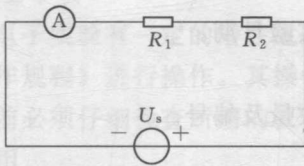


图 1-1 电流的测量

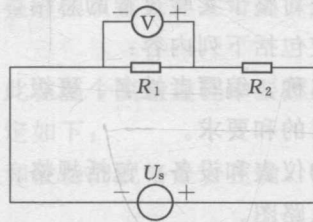


图 1-2 电压的测量

电压表本身内阻很大, 不可将电压表串入某一支路, 以免影响整个电路的正常工作。

测量直流电压时, 还应注意电压表的极性, 将正极接被测电压的高电位端, 负极接被测电压的低电位端。

#### 3. 功率的测量

测量负载消耗功率的功率表一般是电动式的, 它既可测量电路直流功率, 也可测量交流有功功率。直流电路中负载所消耗的功率, 可用测量负载的电流和电压的乘积求得, 而交流电路的功率一般要用功率表进行测量。

使用功率表应根据表上所注明的电压、电流量程, 将电流线圈 (固定线圈) 串联在被测电路中, 电压线圈 (可动线圈) 并联在被测电路两端。图 1-3 中的 “\*” 端子称为发

电机端, 接线时一般应将电流线圈和电压线圈的发电机端接在电路的同一极性上。

功率表一般有两个电流量限、两个或多个电压量限, 以适应测量不同负载功率的需要, 表内有两个完全相同的电流线圈, 其接线端钮分别引出到表面, 可通过金属片将两个电流线圈串联或并联使用, 如图 1-4 所示。为了减少测量

误差, 根据被测负载阻抗的大小, 采用不同的接线方法。图

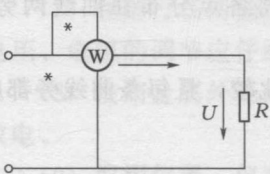


图 1-3 功率的测量

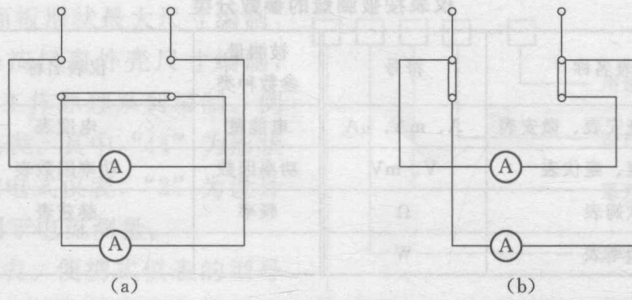


图 1-4 功率表电流线圈接法  
(a) 串联接法; (b) 并联接法

1-4 (a) 适用于负载阻抗较大的测量, 图 1-4 (b) 适用于负载阻抗较小的测量。并连接法时的电流量限是串联时的 2 倍。电压线圈通过串联不同的附加电阻以扩大电压量限, 如图 1-5 所示。

由于功率表是多量限的, 所以它的标度尺上只标有分格数, 在选用不同的电流和电压量限时, 每一分格代表的功率数值是不同的, 在读数时要注意实际值与指示值的换算关系。若以  $C$  (W/格) 表示功率表常数, 则有

$$C = \frac{U_m I_m}{N_m} \quad (1-1)$$

式中  $U_m$  —— 电压线圈的量限值;

$I_m$  —— 电流线圈的量限值;

$N_m$  —— 功率表满刻度格数。

则被测功率的数值为

$$P = CN \quad (1-2)$$

式中  $N$  —— 功率表指示格数。在被测负载的功率因数很低时, 应选用低功率因数的功率表进行测量, 低功率因数功率表的使用方法与普通功率表相同, 只是其功率常数变为

$$C = \frac{U_m I_m \cos \varphi_m}{N_m} \quad (1-3)$$

式中  $\cos \varphi_m$  —— 仪表在满刻度时的额定功率因数, 此值一般标注在表盘上。

#### 四、常用的电工电子仪表

##### 1. 常用电工电子仪表的主要分类方法

电工电子仪表的种类繁多, 分类方法也有多种, 现将几种主要分类方法介绍如下:

(1) 按被测量的参数分。根据被测量的参数的不同, 常用仪表可分为电流表、电压表、欧姆表、功率表、频率表、相位表、功率因数表等, 见表 1-1。

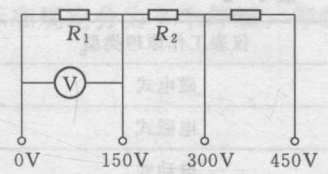


图 1-5 功率表扩大电压量限方法

表 1-1 仪表按被测量的参数分类

被测量参数种类	仪表名称	符号	被测量参数种类	仪表名称	符号
电流	安培表、毫安表、微安表	A、mA、 $\mu$ A	电能量	电度表	W·h
电压	伏特表、毫伏表	V、mV	功率因数	功率因数表	cos $\varphi$
电阻	欧姆表	$\Omega$	频率	赫兹表	Hz
电功率	功率表	W			

(2) 按工作原理分。按工作原理仪表可分为磁电式 (C)、电磁式 (T)、电动式 (D)、感应式 (G)、磁电整流式 (L)、铁磁电动式 (TD) 等, 见表 1-2。

表 1-2 仪表按工作原理分类

仪表工作原理类型	符号	测量参数
磁电式	C	直流电压、电流、电阻
电磁式	T	直流及工频交流电压、电流
电动式	D	直流及交流电压、电流、功率、功率因数
感应式	G	交流电能
磁电整流式	L	工频或较高频正弦电压、电流
铁磁电动式	TD	工频电压、电流、功率

(3) 按准确度分。按准确度仪表可分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共 7 个等级。

(4) 按使用条件分。按使用条件仪表可分为 A、B、C 三组, 见表 1-3。

(5) 按放置位置分。按放置位置仪表可分为水平、垂直、一定倾斜角等, 见表 1-4。

表 1-3 仪表按使用条件分类

组别	周围气温/ $^{\circ}$ C	相对湿度/%
A	0~40	<85
B	-20~50	<85
C	-40~60	<98

表 1-4 仪表按放置位置分类

放置位置	符号	意义
水平	— →	水平放置使用
垂直	⊥ ↑	垂直放置使用
一定倾斜角	$\angle 30^{\circ}$ 、 $\angle 45^{\circ}$ 、 $\angle 60^{\circ}$	按一定倾斜角放置使用

(6) 按防御外磁、电场的能力分。按防御外磁、电场能力仪表可分为 I、II、III、IV 四个等级, 它表示仪表防御外磁、电场的能力依次减弱, 一般实验室用的仪表都是 II、III 级的。

(7) 按使用方式分。按使用方式仪表可分为开关板式和便携式两种。

为使用方便, 通常将仪表的各种分类方法和使用条件以特定标记符号标注在仪表的刻度盘上, 使用仪表时, 必须首先观察表面的各种标记符号, 以确定该仪表是否符合测量需求。

仪表上的一些特殊符号及其含义可查阅《电工手册》。

## 2. 电工仪表的型号

(1) 开关板式仪表。开关板式仪表的型号如图 1-6 所示。图 1-6 中形状第 1 位代号

(数字)是按仪表面板形状最大尺寸编制,形状第2位代号是按仪表外壳尺寸编制,系列代号是按仪表工作原理系列编制。例如:44C2—A型电表,其中“44”为形状代号,“C”表示磁电式仪表,“2”为设计序号,“A”表示用于电流测量。

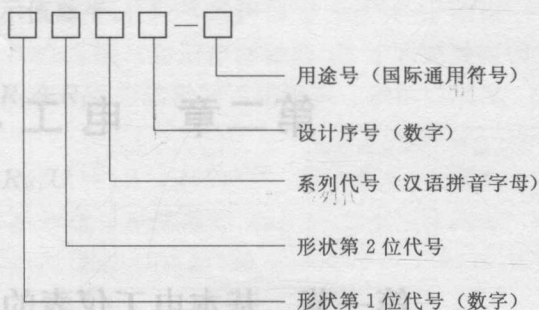


图 1-6 开关板式仪表的型号

(2) 便携式仪表。便携式仪表的型号除不用形状代号外,其他与开关板式仪表完全相同。

(3) 电工仪表的准确度等级。准确度等级反映了电工仪表的准确程度,目前我国电工仪表按国家标准规定分为7个等级,等级的划分是由仪表的最大引用误差大小决定的,即

$$\beta H = \frac{\Delta m}{A_m} \times 100\%$$

式中  $\beta H$ ——仪表的最大引用误差;

$\Delta m$ ——仪表的最大绝对误差;

$A_m$ ——仪表的量程。

通常,0.1和0.2级仪表常作为标准仪表,0.5~1.5级仪表作为实验室用表,2.5~5.0级作为生产过程的指示仪表。

一般来说,等级高的仪表(0.1级、0.2级)比等级低的仪表(2.5级、5.0级)测量结果更准确,但是量程的选择对测量结果的准确程度也有很大影响。使用仪表时,选择其量程要使测量越接近满刻度越好,一般应使指针偏转超过满刻度值的一半。

例 有两只0.1级的电流表,量程分别为100A和50A,现用来测量40A的电流,分别求测量结果的最大相对误差。

解 (1) 用量程为100A电流表测量时,有

$$\Delta m = \beta H A_m = \pm 1\% \times 100A = \pm 1A$$

故用此表测量40A电流时的最大相对误差为

$$\beta_1 = \frac{\Delta m}{I} = \frac{\pm 1}{40} = \pm 2.5\%$$

(2) 用量程为50A电流表测量时,有

$$\Delta m = \beta H A_m = \pm 1\% \times 50A = \pm 0.5A$$

故用此表测量40A电流时的最大相对误差为

$$\beta_2 = \frac{\Delta m}{I} = \frac{\pm 0.5}{40} = \pm 1.25\%$$

## 第二章 电工与电路实验

### 第一节 基本电工仪表的使用及测量误差的计算

#### 一、实验目的

- (1) 熟悉实验台上各类电源及各类测量仪表的布局和使用方法。
- (2) 掌握指针式电压表、电流表内阻的测量方法。
- (3) 熟悉电工仪表测量误差的计算方法。

#### 二、实验原理

##### 1. 测量指针式仪表内阻的方法

为了准确测量电路中实际的电压和电流，必须保证仪表接入电路后不会改变被测电路的工作状态。这就要求电压表的内阻为无穷大，电流表的内阻为零。而实际使用的指针式电工仪表都不能满足上述要求。因此，测量仪表一旦接入电路，就会改变电路原有的工作状态，这就导致仪表的读数与电路原有的实际值之间出现误差。误差的大小与仪表本身内阻的大小密切相关。只要测出仪表的内阻，即可计算出由其产生的测量误差。以下介绍几种测量指针式仪表内阻的方法。

(1) 用分流法测量电流表的内阻。如图 2-1 所示，A 为被测内阻 ( $R_A$ ) 的直流电流表。测量时先断开开关 K，调节电流源的输出电流  $I$  使 A 表指针满偏转。然后合上开关 K，并保持  $I$  值不变，调节电阻箱  $R_B$  的阻值，使电流表的指针指在 1/2 满偏转位置，此时有

$$I_A = I_S = I/2$$

故

$$R_A = R_B // R_1$$

式中  $R_1$ ——固定电阻器之值；

$R_B$ ——可由电阻箱的刻度盘上读得。

(2) 用分压法测量电压表的内阻。如图 2-2 所示，V 为被测内阻 ( $R_V$ ) 的电压表。测量时先将开关 K 闭合，调节直流稳压电源的输出电压，使电压表 V 的指针为满偏转。

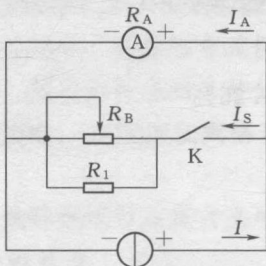


图 2-1 分流法原理图

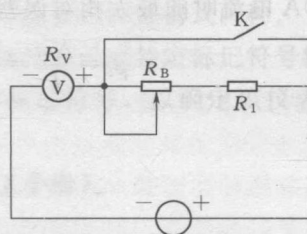


图 2-2 分压法原理图

然后断开开关 K, 调节  $R_B$  使电压表 V 的指示值减半。

此时有

$$R_V = R_B + R_1$$

电压表的灵敏度为

$$S = R_V / U$$

式中:  $U$  为电压表满偏时的电压值。

2. 仪表内阻引起的测量误差的计算

(1) 以图 2-3 所示电路为例,  $R_1$  上的电压为  $U_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$ , 若  $R_1 = R_2$ , 则

$$U_{R_1} = \frac{1}{2} U$$

现用一内阻为  $R_V$  的电压表来测量  $U_{R_1}$  值, 当  $R_V$  与  $R_1$  并联后,  $R_{AB} = \frac{R_V R_1}{R_V + R_1}$ , 以此来替代上式中的  $R_1$ , 则得

$$U'_{R_1} = \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} U$$

(2-1)

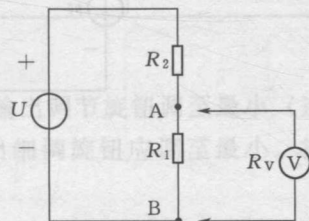


图 2-3 电压测量

绝对误差为

$$\begin{aligned} \Delta U &= U'_{R_1} - U_{R_1} = U \left[ \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right] \\ &= U \left[ \frac{R_V R_1}{R_V R_1 + R_2 (R_V + R_1)} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right] \end{aligned}$$

化简后得

$$\Delta U = U \frac{-R_1^2 R_2}{R_V (R_1^2 + 2R_V R_1 R_2 + R_2^2) + R_1 R_2 (R_1 + R_2)} \quad (2-2)$$

若  $R_1 = R_2 = R_V$ , 则得

$$\Delta U = -\frac{U}{6}$$

相对误差为

$$\Delta U(\%) = \frac{U'_{R_1} - U_{R_1}}{U_{R_1}} \times 100\% = -\frac{U/6}{U/2} \times 100\% = -33.33\% \quad (2-3)$$

由此可见, 当电压表的内阻与被测电路的电阻相近时, 测量的误差是非常大的。

(2) 伏安法测量电阻的原理: 测出流过被测电阻  $R_X$  的电流  $I_R$  及其两端的电压降  $U_R$ , 则其阻值  $R_X = U_R / I_R$ 。实际测量时, 有两种测量线路, 即相对于电源而言, ① 电流表 A (内阻为  $R_A$ ) 接在电压表 V (内阻为  $R_V$ ) 的内侧; ② A 接在电压表 V 的外侧。两种线路如图 2-4 (a)、(b) 所示。

由图 2-4 (a) 线路可知, 只有当  $R_X \ll R_V$  时,  $R_V$  的分流作用才可忽略不计, 电流表 A 的读数接近于实际流过  $R_X$  的电流值。图 2-4 (a) 的接法称为电流表的内接法。

由图 2-4 (b) 线路可知, 只有当  $R_X \gg R_A$  时,  $R_A$  的分压作用才可忽略不计, 电压表 V 的读数接近于  $R_X$  两端的电压值。图 2-4 (b) 的接法称为电流表的外接法。

实际应用时, 应根据不同情况选用合适的测量线路, 才能获得较准确的测量结果。以下举一实例。

在图 2-4 中, 设:  $U=20\text{V}$ ,  $R_A=100\Omega$ ,  $R_V=20\text{k}\Omega$ 。假定  $R_X$  的实际值为  $10\text{k}\Omega$ 。

如果采用图 2-4 (a) 线路测量, 经计算, A、V 的读数分别为  $2.96\text{mA}$  和  $19.73\text{V}$ , 故  $R_X=19.73 \div 2.96=6.667(\text{k}\Omega)$ , 相对误差为

$$(6.667-10) \div 10 \times 100\% = -33.3\%$$

如果采用图 2-4 (b) 线路测量, 经计算, A、V 的读数分别为  $1.98\text{mA}$  和  $20\text{V}$ , 故  $R_X=20 \div 1.98=10.1(\text{k}\Omega)$ , 相对误差为

$$(10.1-10) \div 10 \times 100\% = 1\%$$

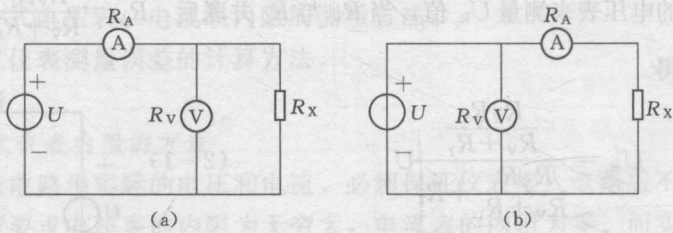


图 2-4 伏安法测量电阻

(a) 内接法; (b) 外接法

### 三、实验设备与器件

实验设备与器件见表 2-1。

表 2-1

实验设备与器件

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0~30V	两路	
2	可调恒流源	0~200mA	1	
3	指针式万用表	MF-500 或其他	1	自备
4	可调电阻箱	0~9999.9Ω	1	DGJ-05
5	电阻器	按需选择		DGJ-05

### 四、实验内容

(1) 根据分流法原理测定指针式万用表 (MF-500 或其他型号) 直流电流  $10\text{mA}$  和  $100\text{mA}$  挡量程的内阻, 线路如图 2-1 所示,  $R_B$  可选用 DGJ-05 中的电阻箱。按表 2-2 各项记录实验数据。

表 2-2

实验数据记录表

被测电流量限	S 断开时的表读数 /mA	S 闭合时的表读数 /mA	$R_B$	$R_I$ /Ω	计算内阻 $R_A/\Omega$
10mA			选 470Ω 滑线变阻器	510	
100mA			选 470Ω 滑线变阻器	510	