



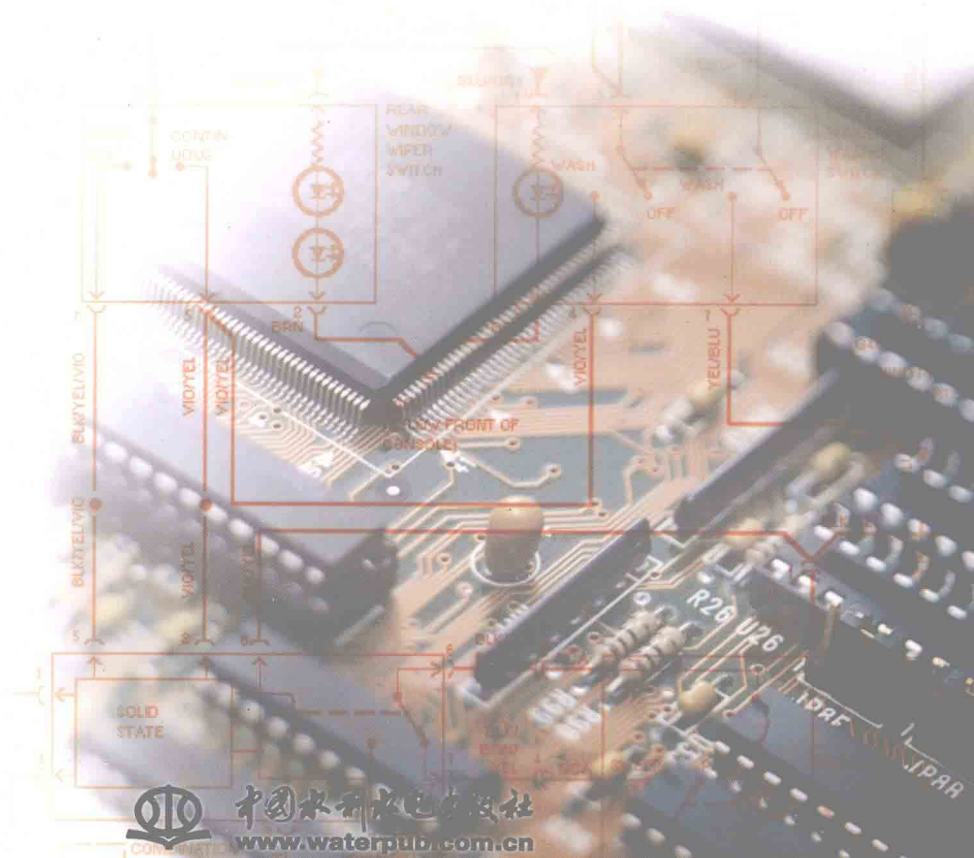
21世纪

智能化网络化电工电子实验系列教材

电路原理 实验指导书

DIAN LU YUAN LI SHI YAN ZHI DAO SHU

主 编 刘玉成 主 审 张跃宏



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

第 2 版

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电路原理 实验指导书

（适用于非电类专业）

主 编 陈 明 副 编 陈 明 陈 明

21 世纪智能化网络化电工电子实验系列教材

电路原理实验指导书

主 编 刘玉成

主 审 张跃宏

内 容 提 要

本指导书共收录了 27 个实验, 包括了直流基本实验、二端元器件伏安特性的测定、受控源、电路定理的验证、最大功率传输的实验研究、示波器的使用、一阶电路、二阶电路、负阻抗变换器、交流电路元件参数的测定、基尔霍夫定律的相量形式、阻抗的测量、功率因数的提高、串联谐振、互感电路、三相电路、双口网络、单相电能表的校验等方面的内容, 为培养学生独立实验的能力, 书中有些实验内容写得比较简略, 留有部分内容让学生自己完成, 并以附录形式对实验设备与主要的实验仪器仪表进行了介绍。

本指导书既可作为高等学校工科电类专业电路原理、电工基础课程的实验教材, 也可以作为单独的电路基本实验课教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路原理实验指导书 / 刘玉成主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2008

(21 世纪智能化网络化电工电子实验系列教材)

ISBN 978-7-5084-5666-9

I. 电… II. 刘… III. 电路理论—实验—高等学校—教学参考资料 IV. TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 145408 号

书 名	21 世纪智能化网络化电工电子实验系列教材 电路原理实验指导书
作 者	主 编 刘玉成 主 审 张跃宏
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 9.5 印张 232 千字
版 次	2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	19.00 元

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

序

电工电子实验是配合电工电子技术课程教学的一个非常重要的教学环节,通过实验能够巩固学生的电工电子技术基础理论知识,培养学生的实践技能、分析问题、解决问题的能力,启发学生的创新意识。

随着网络和信息技术的发展,作为工科专业所十分注重的实验教育也必须跟上时代的脚步,实验教学改革也成为了学校教学改革的一个热点。在实验教学改革中,提倡开放式实验教学,将研究学习和信息技术整合起来,因此基础实验的网络化显得尤为重要和迫切。然而,与之相关并具有针对性、反映当前科技发展的教材却较少。

由多所院校共同研讨,根据网络化、信息化实验设备的实际情况,结合天科公司实验设备的特点,组织编写了一套适合于网络化、信息化实验设备的系列教材——“21 世纪智能化网络化电工电子实验系列教材”,共计 5 本,分别是《电路原理实验指导书》,《数字电子技术实验指导书》,《模拟电子技术实验指导书》,《电机拖动与电气技术实验指导书》,《电工与电子技术实验指导书》。

本套丛书跟踪电工电子实验成熟的新技术、新原理,特别是计算机技术在电工电子实验的应用,结合天科公司研制开发的“局域网联网型”多媒体实验教学管理软件,重点论述了关于电工电子(网络型)实验系统的总体结构及基本功能,是一套能满足新的实验教学要求和课程设置所需要的教材。

本套丛书有以下特点:

(1) 紧密配合课程内容与课程体系改革和实验教学改革的要求。

(2) 内容详细完整,专业性、针对性强,软件系统能与大多数高等学校实验中心实验设备配套。

(3) 引进“局域网联网型”多媒体实验教学管理软件系统与实际工程实验有机结合,提供强大的实验管理功能和人性化操作界面。

本套丛书内容新颖、概念清晰、实用性强、通俗易懂。通过本丛书可以让广大读者很好地了解未来实验的新手段,非常感谢重庆科技学院苑尚尊和刘永刚老师对我公司的大力支持与帮助,为新的实验技术推广提供了较完整的技术资料。

杭州天科教仪设备有限公司

董事长 金仕斌

2008 年 5 月

前 言

实验是帮助学生学习和运用理论处理实际问题,验证、消化和巩固基本理论,培养学生的实验技能、动手能力和分析问题及解决问题的能力,获得创新思维能力和科学研究方法训练的重要环节。

本指导书是根据教育部《关于加强高等学校本科教育工作提高教学质量的若干意见》和《高等学校国家级实验教学示范中心建设标准》文件精神,并考虑到精品课建设要求而编写的一套适应 21 世纪教学改革要求的实验教材。本指导书适用于电类本科专业,在内容安排上注重对学生基本实验技能的训练,旨在通过实验使学生掌握连接电路、电工测量、故障排除等实验技巧,掌握常用电工仪器仪表的基本原理、使用方法以及数据采集、数据处理和各种故障现象的观察分析方法,培养学生用基本理论分析问题、解决问题的能力,严肃认真的科学态度,踏实细致的实验作风,增强学生的动手能力。

本指导书作为本科院校电类工科专业电路原理课程的实验教材,是按照模块化、网络化这一新的教学理念和教学体系而编写的,具有如下特点:

(1) 引进新技术,教学灵活多样。紧密配合课程体系改革和实验教学改革的需要,引入计算机虚拟实验和网络化管理技术,将计算机虚拟实验与传统的实际工程实验有机地结合,提供学生先进的实验技术以及充分发挥创新思维能力的空间。在教材编写中体现了将过去的单纯验证性实验转变为基础强化实验、将过去的小规模综合性实验转变为中规模应用性实验、将过去在实验室进行的单一化实验转变为不受时间、地点、内容限制的多元化的开放性实验的特点。

(2) 内容充实,注重实际技能的训练。本书共有 27 个实验。选择实验本着既能够验证理论、巩固加深理论知识,又能够使学生得到实际技能训练的原则,每个实验都经过编者的实际验证,保证了实验的合理性、可操作性和知识点的深度与广度。在实验任务的设计中,要求学生尽量多而反复地使用电压表、电流表、功率表、稳压电源、信号发生器、示波器等各种常规电工仪器仪表,目的是使学生在反复使用过程中真正掌握这些仪器仪表的使用方法,使之在后续课程乃至未来的工程实践中能够得心应手地应用这些仪器仪表。

(3) 通用性强。本指导书的实验能在各学校的电工电子实验中心的实验设备中运行,满足教学大纲要求,适应性强。使用本教材的教师可根据各院校的实际情况和教学大纲的实施方案,酌情选择全部或部分内容。

本指导书由刘玉成任主编,张跃宏任主审,提出了宝贵的意见。在编写过程中,得到了电路实验室徐小青老师、黄勤易老师的大力支持,在此致以深切的谢意!

要达到实验课教学目的并提高实验教学质量,需要有适用的实验教材。本指导书是编者的一次尝试,由于编者能力有限,加之时间紧迫,书中内容难免有欠妥之处,希望读者,特别是使用本书的教师和同学积极提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

编 者

2008 年 7 月

目 录

序

前言

绪论	1
实验一 基本电工仪表的使用及测量误差的计算	5
实验二 减小仪表测量误差的方法	9
实验三 电路元件伏安特性的测绘	14
实验四 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	18
实验五 基尔霍夫定律的验证	20
实验六 叠加原理的验证	22
实验七 电压源与电流源的等效变换	25
实验八 戴维南定理和诺顿定理的验证——有源二端网络等效参数的测定	29
实验九 最大功率传输条件的测定	34
实验十 受控源 VCVS、VCCS、CCVS、CCCS 的实验研究	37
实验十一 典型电信号的观察与测量	44
实验十二 RC 一阶电路的响应测试	52
实验十三 二阶动态电路响应的研究	56
实验十四 RLC 元件阻抗特性的测定	58
实验十五 用三表法测量电路等效参数	61
实验十六 正弦稳态交流电路相量的研究	65
实验十七 RC 选频网络特性测试	69
实验十八 RLC 串联谐振电路的研究	72
实验十九 双口网络测试	75
实验二十 负阻抗变换器	79
实验二十一 回转器	82
实验二十二 互感电路观测	86
实验二十三 单相铁芯变压器特性的测试	89
实验二十四 三相交流电路电压、电流的测量	92
实验二十五 三相电路功率的测量	95
实验二十六 单相电能表的校验	99
实验二十七 功率因数及相序的测量	102
附录 1 TKDG-2 型电工实验装置	105
附录 2 TKDDS-1 型全数字合成函数波形发生器	113
附录 3 DS 5000 系列示波器简介	116
参考文献	145

绪论

一、实验课的作用

电路基本理论实验课与电路理论课均为列入教学计划规定的必修课，它是培养电工、电子等工程技术人员实验基本技能的重要一环。电路实验的内容涉及到电路的基本理论与电路实践中的常见现象，通过实验能使将理论与实践相结合，巩固所学知识；培养学生电路连接、电工测量及故障排除等实验技巧；学习常用电工仪器仪表的基本原理、使用与选择方法；学习数据的采集与处理、各种现象的观察与分析等。而这些也正是培养电气工程技术人员的必要的基本训练。

总之，本实验课的根本目的就是对学生进行基本技能的训练，提高学生用基本理论分析问题与解决问题的能力；同时在实验过程中培养学生严肃认真的科学态度和细致踏实的实验作风，为今后的专业实验、生产实践与科学研究打下坚实的基础。

二、实验课的基本要求

(1) 实验仪器与仪表。正确使用电压表、电流表和万用表，会使用常用的一些电工设备；会初步使用功率表和一些电子仪器、仪表及电子设备，如示波器、直流稳压电源、晶体管毫伏表等。

(2) 测试方法。掌握电压、电流的测量方法，信号波形的观察方法，电阻器、电容器、电感器参数和电压、电流特性的测量及功率的测量。

(3) 实验操作。能正确布局和连接实验电路，认真观察实验现象和正确读取数据，并有初步的分析判断能力；能初步分析和排除实验故障，培养实事求是的科学态度。

(4) 实验报告。能写出合乎规格的实验报告，正确绘制实验曲线，作出初步的分析、解释。

三、实验课的进行

1. 课前预习

实验效果与实验的预习密切相关。学生应事先认真阅读实验指导书，经过思考后，编写出预习报告作为正式报告的一部分，做到对每个实验心中有数。只有心中有数，才能做到有条不紊，主动地去观察实验现象，发现并分析问题，取得最佳实验效果。如果学生没有充分预习，实验时必然手忙脚乱，完不成任务，达不到实验的目的与要求，甚至发生事故。预习工作的重点如下：

- (1) 明确实验目的、任务与要求，估算实验结果。
- (2) 复习有关理论，了解实验原理、方法，熟悉实验电路。
- (3) 了解所需的实验元件、仪器设备及其使用方法。

2. 熟悉设备和接线

学生在接线之前应了解第一次使用的仪器和设备的接线端、刻度、各旋钮的位置及作用、电源开关位置，确定所用仪表的极性。

学生应根据实验线路合理布置仪表及实验器材,以便接线、查对,便于操作及读数。对初学者来说,首先应按照电路图一一对应地进行布局与接线。较复杂的电路应先串联后并联,同时考虑元件、仪器仪表的同名端、极性和公共参考点等是否与电路设定的方位一致,最后再连接电源端。

接线时,应避免在同一端子上连接三根以上的连线(应分散接),避免因牵动(碰)一线而引起端子松动、接触不良或导线脱落。原则上电表的端子只接一根线。改接线路时,应力求改动量最小,避免拆光重接。

3. 通电操作及读数

线路接好后,经检查无误并请指导教师复查后方可接通电源。通电操作时必须集中注意力观察电路的变化,如有异常,如声响、冒烟等现象,应立即断开电源,检查原因。接通电源后将设备检查一遍,观察一下试验现象,判断结果是否合理。若不合理,则应立即切断电源重新检查线路并修正;若结果合理,则可正式操作。读数时要姿势正确,思想集中,防止误读。数据要记录在事先准备的表格中,凌乱和无序的记录常常是造成错误和失败的原因。为了获得正确的数据,有时需要重新读取数据。要养成科学的态度,尊重原始数据,在编写试验报告时若发现原始数据不合理,不得任意涂改,应当分析原因所在。需要读数时,数据点的分布可随曲线的曲率而异,曲率较大处可多读几点。

4. 试验结束

完成全部内容后,不要先急于拆除线路,应先检查试验数据有无遗漏或不合理的情况,经指导教师同意后方可拆除线路,整理桌面,摆放好各种试验器材、用具,离开实验室。

5. 安全操作问题

试验过程中应随时注意安全,包括人身与设备的安全。除上面已提到过的一些注意事项外,还需特别注意以下几点:

(1) 当电源接通,正常进行试验时,不可用手触及带电部分,改接或拆除电路时必须先断开电源。

(2) 使用仪器仪表设备时必须了解其性能和使用方法,切勿违反操作规定乱拨乱调旋钮,尤其应注意测量数值不得超过仪表的量程和设备的额定值。

(3) 如果试验中用到调节器、电位器以及可变电阻器等设备时,在电源接通前,应将其调节位置放在使用电路中的电流最小的地方,然后接通电源,再逐步调节电压、电流,使其缓慢上升,一旦发现异常,应立即切断电源。

四、试验故障的分析和处理

1. 故障的类型与原因

实验课中出现各种故障是难免的。学生可通过对电路简单故障的分析、具体诊断和排除,逐步提高分析问题和解决问题的能力。在电路实验中,常见的故障多为开路、短路或介于两者之间三种类型的故障。不论何种类型的故障,如果不及时发现并排除,都会影响实验的进行或造成损失。故障原因大致有以下几种:

(1) 实验线路连接错误或实验者对实验供电系统设施不熟悉。

(2) 元器件、仪器仪表、实验装置等设备的使用条件不符合或初始状态值给定不当。

(3) 电源、实验电路、测试仪器之间的公共参考点连接错误或参考点位置选择不当。

- (4) 接触不良或连接导线损坏。
- (5) 布局不合理, 电路内部产生干扰。
- (6) 周围有强电设备产生电磁干扰。

2. 故障检测

故障检测的方法很多, 一般是根据故障类型确定位置, 缩小范围, 再在可疑范围内逐点检查, 最后找出故障点并予以排除。

(1) 检测方法。简单实用的检测方法就是用万用表(选择电压挡或电阻挡)在通电或断电状态下检查电路故障。

1) 通电检测法: 用万用表电压挡(或电压表挡)在接通电源的情况下进行故障检测, 根据实验原理, 如果电路中的某两点应该有电压而万用表测不出电压; 或某两点不应该有电压而万用表测出了电压, 那么故障必在此两点间。

2) 断电检查法: 用万用表电阻挡在断开电源的情况下进行故障检测。根据实验原理, 如果电路中某两点应该导通(或电阻极小), 万用表测出开路(或电阻很大); 或两点间应该开路(或电阻很大), 但测得的结果为短路(或电路很小), 则故障在此两点。

有时电路中有多种或多个故障, 并且相互掩盖或影响, 但只要耐心细致地分析查找, 是能够检测出来的。

在选择检测方法时, 要针对故障类型和电路结构情况选择。例如, 短路故障或电路工作电压较高(200V 以上)时, 不宜用通电法(电阻挡)检测。因为在这两种情况下通电, 有损坏仪表、元件和触电的可能。

(2) 检测顺序。一般情况下, 可按故障位置直接检测, 当故障原因和部位不易确定时, 按下列顺序进行:

1) 检查电路接线有无错误。

2) 检查电源供电系统, 从电源进线、熔断器、闸刀开关至电路输入端子, 依次检查各部分有无电压, 电压是否符合标准。

3) 检查主、副电路中元件、仪器仪表、开关连接导线是否完好, 以及是否接触良好。

4) 检测仪器, 例如供电系统, 输入、输出调节, 显示及探头、接地点等。

五、数据整理与实验报告

1. 数据整理与曲线绘制

整理实验结果是实验的重要环节, 通过整理及编写报告可以系统地理解实验教学中所获得的知识, 建立起清晰的概念。实验结果包括数据、波形曲线、现象等。整理数据一般包括计算、描绘曲线、分析波形及现象, 找出其中典型的、能说明问题的特征, 并找到条件(参数)与结果之间的联系, 从而说明电路的性质。整理数据时必须注意到误差的判别。

实验曲线是以图形的形式更直观地表达实验结果的语言。作好实验曲线的基本要点是:

(1) 图纸选择要恰当。本书中涉及的实验主要采用毫米方格纸, 而频率特性曲线用单对数坐标绘制效果更好。除特殊要求外, 一般按得到正方形 1:1.5 矩形图面来选定单位比例尺。比例尺以处理后的实验数据为根据作合理选择。

(2) 坐标的分度要合理。坐标上以 X 轴代表自变量, Y 轴代表因变量, 坐标的分度就是坐标轴上每一格代表值的大小。分度的选择应使图纸上任一点的坐标容易读数。为了便于阅读,

应将坐标轴的分度值标记出来,且每个坐标轴必须注明名称和单位。

(3) 曲线绘制要细心。一般情况下把实验数据在坐标纸上用“O”、“*”或“△”符号标出即可。按照所描的点作曲线应使用曲线板、曲线尺等作图仪器,描出的曲线应光滑匀整,不必强使曲线通过所有的点,但应与所有的点相接近,同时使未被曲线经过的点大致均匀地分布在曲线的两侧。

(4) 加上必要的注释说明。在每一图形下将曲线经过的意义清楚明确地写出,使阅读者一目了然。

2. 实验报告的要求和内容

实验报告是实验者根据实测数据和在实验中观察和发现的问题,经过自己研究或分析讨论后写出的心得体会。实验报告应是学生进行实验的全过程总结,它既是完成教学环节的凭证,也是今后编写其他工程(实验)报告的参考资料。因此,实验报告要求文字简洁、工整,曲线图表清晰,实验结论要有科学根据和分析。实验报告应包括以下内容:

(1) 实验名称、专业班级、学号、姓名、实验日期。

(2) 实验目的。

(3) 实验原理与说明。

(4) 实验任务。列出具体任务与要求,画出实验电路图,拟定主要步骤和数据记录表格。

(5) 实验仪器与设备。记录实验中使用的仪器与设备的名称、型号、规格和数量。

(6) 数据的整理和计算。

(7) 按记录及计算的数据用坐标纸画出曲线,图纸尺寸不小于 $8\text{cm} \times 8\text{cm}$,曲线要用曲线尺或曲线板连成光滑曲线,不在曲线上的点仍按实际数据标出。

(8) 根据数据和曲线进行计算和分析,说明实验结果与理论是否符合,可对某些问题提出一些自己的见解并最后写出结论。

(9) 回答提出的思考题。

实验报告中的第(1)~(5)项应在预习时完成,实验中补充完善;第(6)~(9)项应在实验中基本完成,实验结束后整理完善。

六、实验安全操作规程

为了按时完成电路实验,确保实验时的人身安全与设备安全,应严格遵守如下规定的安全操作规程:

(1) 实验时,人体不可接触带电线路。

(2) 接线或拆线都必须在切断电源的情况下进行。

(3) 学生独立完成接线或改接线路后必须经指导教师检查和允许,并引起组内其他同学注意后方可接通电源。实验中如发生事故,应立即切断电源,查清问题和妥善处理事故后,才能继续进行实验。

(4) 应先检查功率表及电流表等仪表的量程是否符合要求,是否存在短路回路,以免损坏仪表或电源。

(5) 总电源或实验台控制屏上的电源应在实验指导人员允许后方可接通,其他人不得自行合闸。

实验一 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

为了准确地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 1-1 所示，PA 为被测内阻 (R_A) 的直流电流表。测量时先断开开关 S，调节直流电流源的输出电流 I 使 PA 表指针满偏转。然后合上开关 S，并保持 I 值不变，调节电阻箱 R_B 的阻值，使电流表的指针指向 1/2 满偏转位置，此时有：

$$I_A = I_S = I/2$$

$$\therefore R_A = R_B // R_1$$

R_1 为固定电阻器之值， R_B 可由电阻箱的刻度盘上读得。

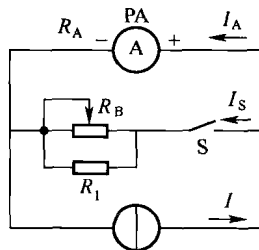


图 1-1 可调直流电流源

- (2) 用“分压法”测量电压表的内阻。

如图 1-2 所示，PV 为被测内阻 (R_V) 的直流电压表。测量时先将开关 S 闭合，调节直流稳压电源的输出电压，使电压表 PV 的指针为满偏转。然后断开开关 S，调节 R_B 使电压表 PV 的指示值减半。

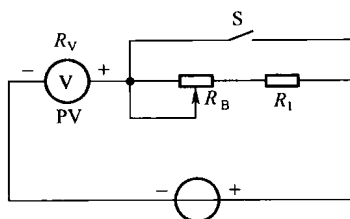


图 1-2 可调直流稳压源

此时有：

$$R_V = R_B + R_1$$

电压表的灵敏度为：

$$S = R_V / U \quad (\Omega/V)$$

式中 U 为电压表满偏时的电压值。

（3）仪表内阻引起的测量误差（通常称之为方法误差，而仪表本身结构引起的误差称为仪表基本误差）的计算。

以图 1-3 所示电路为例， R_1 上的电压为 $U_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$ ，若 $R_1 = R_2$ ，则 $U_{R1} = \frac{1}{2} U$ 。

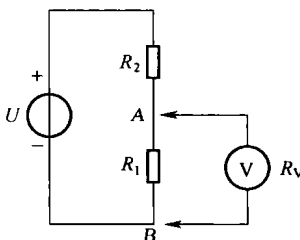


图 1-3 实线电路 1

现用一内阻为 R_V 的电压表来测量 U_{R1} 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 $U'_{R1} = \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} U$ 。

$$\text{绝对误差为 } \Delta U = U'_{R1} - U_{R1} = U \left(\frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)。$$

$$\text{化简后得 } \Delta U = \frac{-R_1^2 R_2 U}{R_V (R_1^2 + 2R_1 R_2 + R_2^2) + R_1 R_2 (R_1 + R_2)}。$$

若 $R_1 = R_2 = R_V$ ，则得 $\Delta U = \frac{U}{6}$ 。

相对误差 $\Delta U\% = \frac{U'_{R1} - U_{R1}}{U_{R1}} \times 100\% = \frac{-U/6}{U/2} \times 100\% = -33.3\%$ 。

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。

三、实验设备

- (1) 可调直流稳压电源 0~30V 一台
- (2) 可调直流恒流源 0~500mA 一台
- (3) 指针式万用表 MF-47 或其他 一只
- (4) 元件箱 TKDG-05 一挂箱

四、实验内容与步骤

根据“分流法”原理测定指针式万用表（MF-47 型或其他型号）直流 0.5mA 和 5mA 挡量限的内阻，线路如图 1-1 所示。测量数据记入表 1-1 中。

表 1-1

被测电流表量限 (mA)	S 断开时表读数 (mA)	S 闭合时表读数 (mA)	$R_B (\Omega)$	$R_1 (\Omega)$	计算内阻 $R_A (\Omega)$
0.5					
5					

(1) 根据“分压法”原理按图 1-2 接线，测量指针式万用表直流电压 2.5V 和 10V 挡量限的内阻，记录在表 1-2 中。

表 1-2

被测电压表量限 (V)	S 闭合时表读数 (V)	S 断开时表读数 (V)	R_B (k Ω)	R_1 (k Ω)	计算内阻 R_V (k Ω)	S (Ω/V)
2.5						
10						

(2) 用指针式万用表直流电压 10V 挡量限测量图 1-3 所示电路中 R_1 上的电压 U'_{R1} ，并计算测量的绝对误差与相对误差，记录在表 1-3 中。

表 1-3

U (V)	R_2 (k Ω)	R_1 (k Ω)	R_{10V} (k Ω)	计算值 U_{R1} (V)	实测值 U'_{R1} (V)	绝对误差 (V)	相对误差 (%)
10	10	50					

五、预习要求

- (1) 用量程为 10A 的电流表测量实际值为 8A 的电流时，实际读数为 8.1A，求测量的绝

对误差和相对误差。

(2) 图 1-4 (a)、(b) 为伏安法测量电阻的两种电路, 被测电阻的实际阻值为 R_x , 电压表的内阻为 R_v , 电流表的内阻为 R_A , 求两种电路测量电阻 R_x 的相对误差。

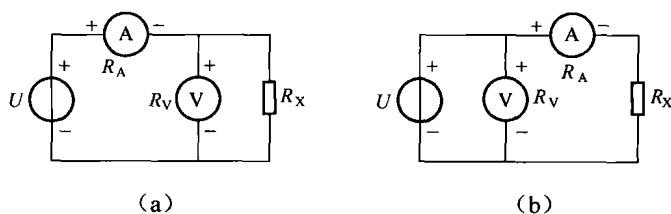


图 1-4 用伏安法测量电阻

六、注意事项

(1) 在开启 DG04 挂箱的电源开关前, 应将两路直流稳压电源的输出调节旋钮调至最小 (逆时针旋到底), 并将恒流源的输出粗调旋钮拨到 2mA 挡, 输出细调旋钮应调至最小。接通电源后, 再根据实验需要缓慢调节。

(2) 当恒流源输出端接有负载时, 如果需要将其粗调旋钮由低挡位向高档位切换, 必须先将其细调旋钮调至最小。否则输出电流会突增, 可能会损坏外接器件。

(3) 电压表应与被测电路并联, 电流表应与被测电路串联, 并且都要注意正、负极性与量程的合理选择。

(4) 实验内容 1、2 中, R_1 与 R_B 并联, 可使阻值调节比单只电阻容易。 R_1 的取值应与 R_B 相近。

(5) 本实验仅测试指针式仪表的内阻。由于所选指针表的型号不同, 实验中所列的电流、电压量程及选用的 R_B 、 R_1 等均不同, 实验时应按选定的表的型号自行确定。

七、思考题

根据实验内容 1 和 2, 若已求出 0.5mA 挡和 2.5V 挡的内阻, 可否直接计算得出 5mA 挡和 10V 挡的内阻?

八、实验报告要求

- (1) 列表记录实验数据, 并计算各被测仪表的内阻值。
- (2) 分析实验结果, 总结仪表应用规则。
- (3) 计算思考题。

实验二 减小仪表测量误差的方法

一、实验目的

- (1) 进一步了解电压表、电流表的内阻在测量过程中产生的误差及其分析方法。
- (2) 掌握减小因仪表内阻所引起的测量误差的方法。

二、实验原理

减小因仪表内阻而产生的测量误差的方法有以下两种。

1. 不同量限两次测量计算法

当电压表的灵敏度不够高或电流表的内阻太大时，可利用多量限仪表对同一被测量用不同量限进行两次测量，计算所得读数后可得到较准确的结果。

图 2-1 所示电路中，测量具有较大内阻 R_0 的电动势 U_S 的开路电压 U_0 时，如果所用电压表的内阻 R_v 与 R_0 相差不大，将会产生很大的测量误差。

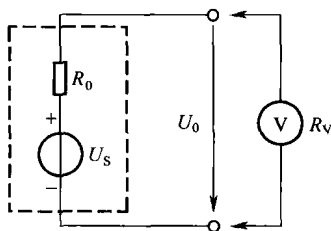


图 2-1 用电压表测量电动势

设电压表有两挡量限， U_1 、 U_2 分别为在这两个不同量限下测得的电压值，令 R_{v1} 和 R_{v2} 分别为这两个相应量限的内阻，则由图 2-1 可得出：

$$U_1 = \frac{R_{v1}}{R_0 + R_{v1}} U_S, \quad U_2 = \frac{R_{v2}}{R_0 + R_{v2}} U_S$$

对以上两式进行整理，消去电源内阻 R_0 ，化简为：

$$U_S = \frac{U_1 U_2 (R_{v2} - R_{v1})}{U_1 R_{v2} - U_2 R_{v1}}$$

由上式可知，根据上述的两次测量结果，即可计算出开路电压 U_0 的大小，而与电源内阻 R_0 的大小无关，其准确度要比单次测量好得多。

对于电流表，当其内阻较大时，也可用类似的方法测得较准确的结果。图 2-2 所示的电路中，不接入电流表时的电流为 $I = \frac{U_S}{R_0}$ ，接入内阻为 R_A 的电流表 A 时，电路中的电流变为

$$I' = \frac{U_S}{R_0 + R_A}。$$

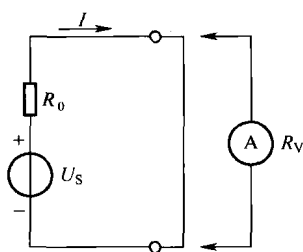


图 2-2 用电流表测量电动势

如果 $R_A = R_0$, 则 $I' = I/2$, 出现很大的误差。

如果用由不同内阻 R_{A1} 、 R_{A2} 的两挡量限的电流表作两次测量, 经过简单的计算就可得到较准确的电流值。

在图 2-2 所示电路中, 两次测量得到:

$$I_1 = \frac{U_S}{R_0 + R_{A1}}, \quad I_2 = \frac{U_S}{R_0 + R_{A2}}$$

由以上两式可解得:

$$I = \frac{U_S}{R} = \frac{I_1 I_2 (R_{A1} - R_{A2})}{I_1 R_{A1} - I_2 R_{A2}}$$

由上式可知, 通过两挡不同量限测量结果 I_1 、 I_2 , 可准确地计算出被测电流 I 的大小。

2. 同一量限两次测量算法

如果电压表 (或电流表) 只有一挡量限, 且电压表的内阻较小 (或电流表的内阻较大) 时, 可用同一量限两次测量法减小测量误差。其中, 第一次测量与一般的测量相同, 第二次测量时必须在电路中串联一个已知阻值的附加电阻。

(1) 电压测量。测量图 2-3 所示电路的开路电压 U_0 。设电压表的内阻为 R_V 。第一次测量, 电压表的读数为 U_1 。第二次测量时应与电压表串联一个已知阻值的电阻 R , 电压表读数为 U_2 。由图可知:

$$U_1 = \frac{R_V U_S}{R_0 + R_V}, \quad U_2 = \frac{R_V U_S}{R_0 + R + R_V}$$

由以上两式可解得 U_S :

$$U_S = U_0 = \frac{R_{U1} U_2}{R_V (U_1 - U_2)}$$

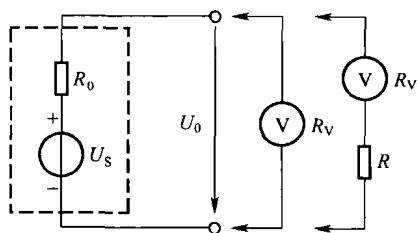


图 2-3 实验电路 I

(2) 电流测量。测量图 2-4 所示电路中的电流 I 。