

XIANDAI DIANLU JISHU
SHIJIAN JIAOCHENG

现代电路技术 实践教程

舒 洪 主编 吴彩虹 戴伟华 副主编 —●—



现代电路技术实践教学

舒 洪 主 编
吴彩虹 戴伟华 副主编

北京邮电大学出版社
· 北 京 ·

内 容 简 介

本书为适应我国高等工程教育与教学改革形势,根据教学的要求,着重强调了实验环节的重要性,增加了综合设计性实验内容,突出能力的培养和技能的训练。本书侧重于基本技能的训练、各种电路的测量方法和实践经验的积累。系统地介绍了实验室各种仪器仪表的性能指标、使用方法,各种常用元器件的性能及识别方法,以及生产生活中的安全用电等。对学生的技能训练还提出了具体的要求。本书的实验内容包括电路、机电控制及综合设计性实验三大部分,全方位地训练了学生独立工作的能力和工程意识。

图书在版编目(CIP)数据

现代电路技术实践教程/舒洪主编. —北京:北京邮电大学出版社,2007

ISBN 978-7-5635-1477-9

I. 现… II. 舒… III. 电路—高等学校—教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 116566 号

书 名:现代电路技术实践教程

主 编:舒 洪

副 主 编:吴彩虹 戴伟华

责任编辑:张珊珊

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

北方营销中心:电话:010-62282185 传真:010-62283578

南方营销中心:电话:010-62282902 传真:010-62282735

E-mail:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市梦宇印务有限公司

开 本:787 mm×960 mm 1/16

印 张:7.5

字 数:162 千字

印 数:1—3 000 册

版 次:2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1477-9/TM·12

定 价:12.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系 •

前 言

本书是根据教学大纲的要求,并结合现有实验设备的条件编写的。本书在教学基本要求中强调了实验环节的重要性,并且根据现有条件增加了综合性、设计性的实验内容。指出了实验是本课程重要的实践性教学环节,实验的目的不仅是要帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,更重要的是要训练他们的实验技能和严谨的科学作风,使学生能独立进行实验。在教学基本要求中,对于学生的实验技能训练还提出了如下的具体要求:

- (1) 能使用常用的电工仪表、仪器及电工设备;
- (2) 能使用常用的电子仪器;
- (3) 能按电路图接线、查线和排除简单的线路故障;
- (4) 学习查阅手册,对常用的电路元件和半导体器件具有使用的基本知识;
- (5) 能进行实验操作、读取数据、观察实验现象和测绘波形曲线;
- (6) 能整理分析实验数据、绘制曲线,并写出整洁、条理清楚、内容完整的实验报告。

本书以动手实验内容为主,包括电路电机控制及综合设计性实验三大部分,总共 22 个实验,本书是一个电类及非电类专业学生使用的基本实验教材,其目的是对学生进行规范化的实验能力训练及独立工作能力的培养,同时又要求学生掌握必要的实验基础知识。

本书是在南昌大学信息工程学院电工电子中心电路教研室的老师们多年实验、教学经验的基础上组织编写的。本书由舒洪主编并对全书进行统稿。全书共分 8 章,第 1 章由朱敏编写,第 2、8 章由舒洪编写,第 3 章由戴伟华编写,第 4、5 章由吴彩虹编写,第 6、7 章由黎晓贞编写,全书由何俊审稿,插图由张严绘制。

由于我们的水平有限,所编教材中难免存在不足之处,衷心希望使用本教材的师生给予批评、指正。

编 者

目 录

绪 论	1
第 1 章 直流电路测试技术	
1.1 元件的伏安特性	5
1.2 负载获得最大功率	6
1.3 基尔霍夫定律	8
1.4 戴维南定理	10
1.5 叠加原理	11
第 2 章 正弦稳态电路测试技术	
2.1 交流电路的基本量测量	14
2.2 功率因数的提高	17
2.3 三相电路电压与电流测量	19
2.4 三相功率的测量	22
2.5 非正弦电路	24
2.6 单相变压器	27
2.7 鼠笼式三相异步电动机	30
2.8 异步电动机有联锁的正、反转控制线路	33
2.9 按顺序启动的异步电动机控制电路	36
第 3 章 动态电路测试技术	
3.1 一阶网络的零状态响应及零输入响应	38
3.2 二阶网络方波响应的研究	40
3.3 R 、 L 、 C 串联电压谐振电路	42
3.4 受控源	45
第 4 章 综合设计性实验测试技术	
4.1 移相器的设计与测试	49

4.2	波形变换器的设计与测试	51
4.3	万用表的设计与测量	54
4.4	循环灯电路的制作与调试	56
第5章 元件的识别		
5.1	电阻器	58
5.2	电位器	60
5.3	电容器	61
5.4	电感器	63
5.5	二极管	65
5.6	晶体三极管	67
第6章 测量仪表		
6.1	电测量指示仪表的基本知识	71
6.2	磁电系仪表	76
6.3	万用表	81
6.4	电磁系仪表	85
6.5	电动系仪表	87
6.6	机电式电测量仪表的选用	90
第7章 常用电子仪器及其使用方法		
7.1	直流稳压电源	92
7.2	交流毫伏表	94
7.3	信号发生器	96
7.4	示波器	99
第8章 安全用电		
8.1	用电环境的安全知识	107
8.2	静电保护	110
8.3	电流对人体的作用和伤害程度	111
	复习思考题	112
	参考文献	113

绪 论

1. 实验的重要性

实验是人们认识自然、设计制造和进行科学研究工作的重要手段,一切真知都是来源于实践,同时又通过时间来检验其正确性,实验就是一种重要的实践方式。

从 20 世纪 50 年代初期出现半导体晶体管,一直到 60 年代出现半导体集成电路,直至今日超大规模集成电路的普遍使用都反映了半导体技术、微电子技术的飞速发展。目前由于各种电力电子器件的出现,并且在各种电源变换装置中广泛地采用电子器件,使得电子技术不仅在计算机、通信、信号测量与变换等领域中占主导地位,而且在电力系统、工业控制系统中亦得到广泛的应用。以上这些成就都是由无数的科学家、工程技术人员在实验中取得的。无论是电工技术或者电子技术的发展,或是一个新概念、新理论的建立,一项新产品的开发成功,一种新方法的应用与推广,都离不开实验的研究与检验,并通过实验进一步完善。

实验在电工技术与电子技术中的重要意义还在于:实验是观察与感知电现象与电路中物理过程的重要手段。电现象及电路中的物理过程并不是直观的,电压的变化、电流的流动都是看不见、摸不到的,只有通过检测仪表间接地观察;而且电压、电流瞬息万变,观察的时效性很强,只有熟悉电工仪表、电子仪器的使用,掌握正确的测试方法,了解电路中电压与电流变化的基本规律,才能对所设计的电路或装置进行研究和测试。

掌握电工及电子实验的基本手段是工科大学的教学要求之一,为了实现这一目标,加强实验动手能力的培养,目前已经把电工及电子实验单独设课,单独考试及记分,以引起教师、学生对实验环节的重视。

2. 电工及电子实验课的任务

在现代科学技术及工程建设中,电工技术及电子技术的应用可以说是随处可见,非电类专业的学生同样要掌握现代电工技术及电子技术的基础知识及基本实验技能。在教学学时缩减、教学内容更新的情况下,更增加了完成教学要求的难度。

(1) 对学生实验技术训练的具体要求

① 能正确使用常用的电工仪表及电工设备。常用电工仪表是指直流电流表或电压表、交流电流表或电压表、功率表、万用表、数字万用表、兆欧表等。正确使用是指要了解仪表的工作原理及使用场合,了解仪表的准确度等级,掌握仪表的正确读数方法(如量程选择、分度值、避免读数误差方法)。常用电工设备是指单相变压器、接触式调压变压器、

三相异步电动机、日光灯、小型直流并励电动机、常用控制电器(如空气开关、接触器、热继电器、按钮)、变频调速器等。正确使用是指了解电工设备的工作原理及使用场合,掌握电工设备的正确接线方法及正确的操作方法。

② 会用常用的电子仪器。常用电子仪器是指直流稳压电源、双线通用示波器、晶体管毫伏表(单路、双路)、正弦波信号发生器、函数发生器、数字频率计。正确使用是指要了解仪器的组成及功能,了解仪器的主要技术性能,掌握仪器的正确接线方法、主要操作旋钮及操作开关的功能及正确调节方法、正确观察及读数方法。

③ 能按电路图接线、查找和排除简单的线路故障。要求具有熟练的接线能力,默记简单的电路图,能判别电路的正常工作状态及故障现象,能够检查线路中的断线及接触不良,特别是不能因接线错误而出现短路。了解实验接线板的功能及接线要求,能够正确地把仪器、仪表接入接线板。

④ 会使用半导体二极管、三极管、集成电路运算放大器、集成稳压器及主要的数字集成电路(如门电路、触发器、寄存器、计数器、译码器)。要求能够判别二极管的特性、识别三极管、集成电路的管脚,了解所用集成电路的功能及典型接线方法,了解集成电路的主要工作电压范围。

⑤ 能进行实验操作,读取数据,观察实验现象和测绘波形曲线。

⑥ 能整理分析实验数据,绘制曲线,并写出整洁、条理清楚、内容完整的实验报告。

(2) 对实验基础知识及实验内容的要求

① 电路部分。通过电路实验应掌握电路基本物理量的测量方法,电信号波形参数的测量方法,掌握电路的基本规律。掌握交流电能传输电路的基本构成及电路特性,掌握RC电路的频率特性和暂态特性的测量方法。电路实验中必做的实验为直流网络定理、单相交流电路、三相交流电路、RC电路的暂态响应及其应用等。

② 电机及控制部分。本部分实验内容侧重在控制,通过实验应掌握单相变压器的基本性能,掌握三相异步电动机的常用控制方法,了解直流并励电动机的接线和操作。

③ 模拟电子技术部分。本部分实验内容要求学生熟悉基本模拟电子器件,掌握其基本性能及使用方法。实验中涉及的电子器件有晶体三极管、稳压二极管、集成运算放大器等。模拟电子技术实验中必做的实验为单管电压放大电路的测试、集成运算放大器的基本运算电路、集成电压比较器、直流稳压电源等。

④ 数字电子技术部分。本部分实验内容系统地反映了数字电路的各个典型环节及其应用,要求学生掌握其中的基本内容,即基本逻辑门的逻辑功能、集成触发器的逻辑功能,熟悉常用的组合逻辑电路及计数、译码显示电路的构成,了解集成定时器、数/模转换器及模/数转换器的功能及应用。数字电子技术实验中必做的实验为集成逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、集成计数器及译码显示电路等。

3. 实验课的进行方式

(1) 实验课的预习

学生应认真阅读实验教材,熟悉实验接线图及操作步骤,拟好实验数据及实验结果记录表格,做好充分的预习。

在实验课开始时指导教师应在实验内容、实验接线图、主要操作步骤、实验注意事项等方面检查学生的预习情况。

(2) 熟悉设备与接线

教师讲解以后,学生首先检查所用仪器设备是否齐全,并记录其型号规格,然后再熟悉第一次使用的仪器设备的接线端、刻度、各旋钮位置及作用、电源开关的位置、仪表量程变换的方法、接线端极性标志等。

接线前应根据实验线路合理布置仪表及实验器材,以便于接线、读数及操作,并做到整齐美观。布置仪表时应避免电感线圈过于靠近电表而造成读数不准。

接线时应注意选择适当长度和线径的导线,不要选用过长和过细的导线,并注意检查导线与接线叉、香蕉插头或鳄鱼夹是否已连接好。接线柱要旋紧,插头要插准、插紧,不要把几根导线都接到一个接线端上。

电子仪器的输入/输出信号线一律用屏蔽电缆线,其芯线接红色鳄鱼夹表示信号接线端,其屏蔽层接黑色鳄鱼夹表示信号接地端。电子仪器的接地端应连在一起形成公共接地点,以避免引入干扰信号。

学生在预习的基础上应逐步培养默记线路图、熟练地按图接线及查线的能力,养成按回路依次接线的习惯,在有串/并联电路的场合,应先接串联回路再接并联回路。

接线完成后应按图找线,最好与相邻的同学交换检查,这样容易查出接线错误。

在改接线路时应事先考虑如何改接,力求改动量最小,避免全部拆开重接,也应该注意避免因该拆的线没有拆去而造成短路事故。

(3) 通电操作及读数

接线完成经检查无误后,再检查仪表的零位、电子仪器各旋钮的位置、接触式调压变压器的零位、滑线变阻器电刷的位置、稳压电源输出电压的挡级位置是否正常,以避免通电瞬间发生事故。

线路及仪表设备检查通过后才能通电,通电时操作者必须密切注意线路的工作状态变化,若有异常应立即断开电源,检查原因。

在正常情况下就可以根据实验要求进行操作、观察和读数,仪表读数时应弄清仪表的量程及每一格所代表的数值,注意仪表应按规定位置(水平或垂直)放置,注意指针应与表面镜子中的影子重合,以避免读数产生视差。仪表读数的位数根据仪表精度确定,对于0.5级仪表,其最大相对误差是量程的 $\pm 0.5\%$,其读数精度为量程(亦应为量程)的 $\pm 1/200$,故低于量程 $1/200$ 的尾数是无效的。

实验完成后应对实验数据进行估算,以检查数据是否正确,实验结果是否合理。若发现错误,可以立即重新测定,只有在确认实验结果正确合理时,才能断开电源,拆除线路。

(4) 整理实验结果与编写实验报告

实验报告应每人写一份,其目的是培养学生对实验结果的处理和分析能力、文字表达能力及严谨的科学作风。实验报告应包括实验目的、仪器设备、实验内容及线路图、实验数据记录及整理结果、对实验现象及结果的分析讨论、实验的收获和体会、意见建议等。

4. 实验中的安全操作

一般情况下,80~90 V 的交流或直流电压作用于人体就会有生命危险,因此在直接采用市电电源的电路实验及电机实验中,要始终注意安全用电。在实验操作中应注意以下各点。

(1) 在电路通电时,手不能触及电路中的带电部位,如不绝缘的金属导线或连接点。只有在切断电源后才能拆线或改接电路,拆线时应首先拆除电源线。

(2) 接通电源应该在指导教师检查接线后允许通电时进行,电路改接后亦应经指导教师同意才能通电。

(3) 接通电源必须通知同组同学,防止触电。

(4) 电路的接线要整理好,防止钩住电机转轴、衣扣或其他移动物品而发生事故。

(5) 不能用电流表及万用表的电阻档或电流挡去测量电压,也不允许把功率表的电流线并联在电路中。

(6) 电动机转轴转动时,应防止其他物品卷入,特别要防止手套、围巾及头发等卷入轴内。禁止用手或脚压住转轴使电机制动。用手持式转速表测速时,也应特别小心。

(7) 所有接线的连接应十分牢固,防止实验过程中线头拉脱造成碰线短路或触电事故,或因直流并励电流机励磁线圈断开造成飞车事故。

(8) 电烙铁在使用时应妥善放在散热支架上,周围不能有塑料制品及易燃物品,不能把电烙铁平放在木制桌面上,以防止烫坏物品或引起燃烧。

(9) 在规定需要接地的场合,必须妥善接地。在不能接地的地方,不允许接地线。特别是在用带有三眼插头的示波器观测交流电路中的波形时,示波器地线(信号接地端)绝不能接电源的相线端,否则会造成电源短路。若要把相线电路内的信号接入示波器观察时,必须把三眼插头内的地线拆断,此时示波器的金属外壳将会带电,操作时不能触及金属外壳,并将示波器的外壳与其他金属物品隔开,最好养成用右手进行单手操作的习惯,并注意人体与地的绝缘,避免发生触电事故。

第 1 章 直流电路测试技术

1.1 元件的伏安特性

1.1.1 实验目的

了解线性电阻元件和非线性电阻元件的伏安特性及其测量方法。

1.1.2 原理说明

对于线性电阻元件,其电压、电流关系可以用欧姆定律 $R = U/I$ 来描述。电阻 R 与电流电压的大小和方向关系具有双向特性,它的伏安特性曲线是一条通过原点的直线,直线的斜率就是电阻的阻值 R 。

非线性电阻元件的电压、电流关系不能用欧姆定律来表示,它的伏安特性一般为曲线。图 1.1.1 绘出了钨丝灯泡、二极管及电阻的伏安特性曲线。

钨丝灯泡的伏安特性曲线相对原点对称的,它具有明显的方向性。

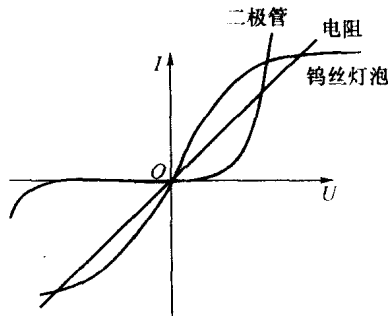


图 1.1.1 伏安特性曲线图

1.1.3 实验内容

按图 1.1.2 接线,分别测定线性电阻、小电珠和晶体二极管的正、反向伏安特性,图中 R (瓷盘电阻,作分压器用) 为 $600\ \Omega$, a, b 两端分别接被测元件,电源用直流稳压电源,对晶体二极管应先用万用表判定它的正、反方向,然后将被测元件的电流和电压记录在表 1.1.1 中。

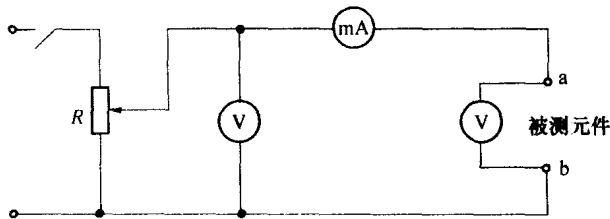


图 1.1.2 实验 1.1 电路图

表 1.1.1 被测元件电流、电压结果记录表

正 向	U/V					
	I/mA					
反 向	U/V					
	I/mA					

1.1.4 仪器设备

名 称	型号规格	数 量	名 称	型号规格	数 量
直流电压表	PZ114	1	直流毫安表	PA15A	1
瓷盘电阻	自制	1	线性元件:电阻	-	1
非线性元件:小电珠、晶体二极管	-	1	直流稳压电源	MCH-300	1

1.1.5 注意事项

1. 直流电压表和直流毫安表都具有极性,测量时应注意它的极性,并注意量程。
2. 测定小电珠的伏安特性时,电压不允许超过小电珠的额定电压 6.3 V。

1.1.6 报告要求

1. 根据实验测得的电压、电流,作出元件的伏安特性曲线。
2. 回答下列思考题。
 - (1) 线性电阻元件的平均阻值为多少?
 - (2) 小电珠的电阻值是随电流的增大而增大还是减小? 为什么?
 - (3) 晶体二极管的正向电阻是随电流的增大而增大还是减小?

1.2 负载获得最大功率

1.2.1 实验目的

1. 学习电工实验的基本技术。
2. 学习仪表、稳压电源等仪器设备的使用方法。
3. 验证获得最大功率的条件。

1.2.2 原理说明

通过改变负载电阻的大小测量负载所获功率的变化,以证明最大功率匹配条件是:负载电阻 R_L 等于电源的内阻 R_s 。

1.2.3 实验内容

1. 在实验板上按图 1.2.1 接好线路,图中直流电源 E 由晶体管稳压电源提供,输出电压调到 10 V,负载电阻 R_L 由可调电阻提供。其等效电阻如图 1.2.2 所示。

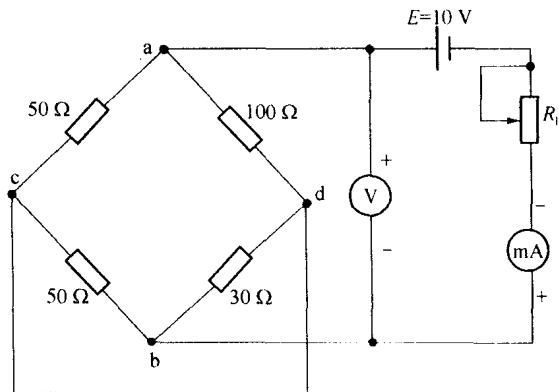


图 1.2.1 参考电路图

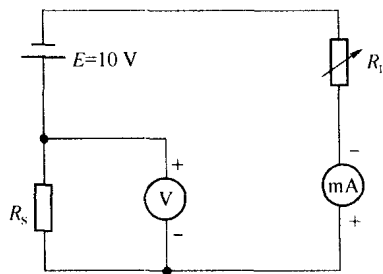


图 1.2.2 等效电路

2. 接通电源测出内阻压降 U_s , 线路电流 I_0 , 计算出电源内阻 R_s , 然后, 调电阻 R_L 并在表 1.2.1 中记录电压、电流的变化。

表 1.2.1 cd 短接时实验结果记录表

	当 $I_0 =$ mA 时			$U_s =$ V		
I/mA						
U_s/V						
$R_L = \frac{E - U_s}{I} / \Omega$						
$P = (E - U_s) I / \text{W}$						

3. 将 cd 短接线拆除, 重复上述实验, 结果记录在表 1.2.2 中。
4. 计算输出功率, 在同一坐标上绘制两条功率传输曲线 $P = f(R_L)$ 。
5. 理论计算并与实验测量值进行比较, 验证学过的理论与公式。

表 1.2.2 cd 断开时实验结果记录表

	当 $I_0 =$	mA 时	$U_s =$	V			
I/mA							
U_s/V							
$R_L = \frac{E - U_s}{I} / \Omega$							
$P = (E - U_s) I / \text{W}$							

1.2.4 仪器设备

名 称	型号规格	数 量	名 称	型号规格	数 量
直流稳压电源	MCH-300	1	直流毫安表	PA15A	1
直流电压表	PZ114	1	可调电阻箱	自制	1
实验板	自制	1	-	-	-

1.3 基尔霍夫定律

1.3.1 实验目的

1. 验证基尔霍夫电流定律和电压定律。
2. 加深对参考方向的理解。

1.3.2 原理说明

基尔霍夫定律是电路理论中最基本也是最重要的定律之一,它概括了电路中电流和电压分别应遵循的基本规律。基尔霍夫定律的内容有两条:一是基尔霍夫电流定律,二是基尔霍夫电压定律。

基尔霍夫电流定律:在电路中,任意时刻流进和流出节点的电流的代数和等于零,即 $\sum I = 0$ 。

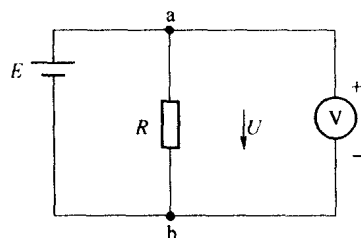


图 1.3.1 原理图

基尔霍夫电压定律:在电路中,任意时刻沿闭合回路电压降的代数和恒等于零,即 $\sum U = 0$ 。

以上结论与回路中元件的性质无关,不论这些元件是线性或非线性的,有源或无源的,时变或时不变的都适用。

参考方向如图 1.3.1 所示:设电压降的方向是

从 a 到 b;电压表的正极与 a 端相连,负极与 b 端相连。若电压表的指针顺时针偏转,则读数为正,说明参考方向与实际方向一致。若电压表的指针为逆时针偏转,则读数为负,说明参考方向与实际方向相反,对电流也一样。

1.3.3 实验内容

1. 按图 1.3.2 接线。

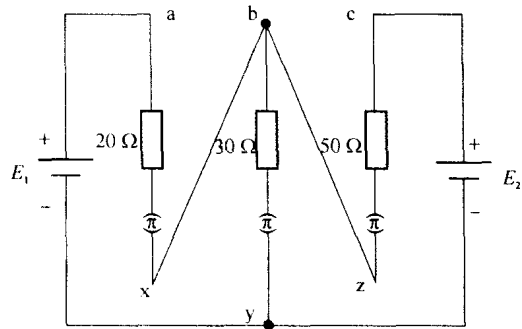


图 1.3.2 实验图

- 验证基尔霍夫电流定律。测量数据记入表 1.3.1 中。
- 验证基尔霍夫电压定律。测量数据记入表 1.3.2 中。

$$\sum U = \sum E$$

$$U_{ax} + U_{by} = U_{ay}$$

$$U_{cz} + U_{by} = U_{cy}$$

$$U_{ax} - U_{cz} = U_{ay} - U_{cy}$$

表 1.3.1 实验内容 2 结果记录表

	计算值	测量值	误差(%)
I_{ax}			
I_{by}			
I_{cz}			

表 1.3.2 实验内容 3 结果记录表

	计算值	测量值	误差(%)
U_{ax}			
U_{by}			
U_{cz}			

1.3.4 仪器设备

名 称	型号规格	数 量	名 称	型号规格	数 量
直流稳压电源	MCH-300	1	直流毫安表	PA15A	1
直流电压表	PZ114	1	实验板	自制	1

1.3.5 报告要求

1. 利用测量结果验证基尔霍夫定律,并与计算值相比较,求出其相对误差。

2. 回答下列思考题。

(1) 已知某支路电流约为 3 mA 左右,现有量程分别为 5 mA 和 10 mA 的电流表两只,你选用哪一只?为什么?

(2) 电压降和电位的区别是什么?

1.4 戴维南定理

1.4.1 实验目的

1. 加深对线性电路中戴维南定理的理解。

2. 熟悉直流稳压电源、直流电压表、直流电流表的使用。

3. 通过求测含源一端口网络外特性曲线,达到掌握一般电源外特性的测量方法。

1.4.2 原理说明

任何一个线性含源一端口网络,对外电路来说,可以用一条有源支路来等效替代,该有源支路的电动势 E 等于含源一端口网络的开路电压 U_{abK} ,其电阻等于含源一端口网络化为无源网络后的输入端电阻 R 。

1.4.3 实验内容

1. 按图 1.4.1 接线,测量开路电压 U_{abK} 。

$$E = U_{abK} = \quad \text{V}$$

2. 按图 1.4.2 接线,测量入端电阻 R 。

$$U = \quad \text{V}$$

$$I = \quad \text{A}$$

$$R = U/I = \quad \Omega$$

含源一端口网络等效电路如图 1.4.3 所示。

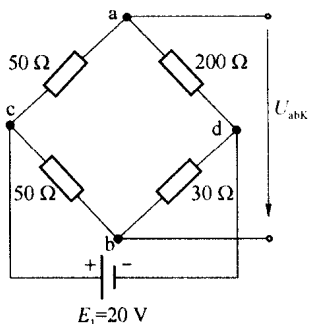


图 1.4.1 开路电压电路图

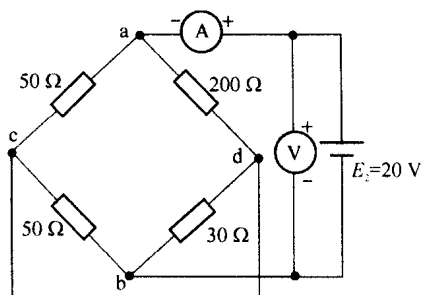


图 1.4.2 等效电阻电路图

3. 按图 1.4.4 接线,测量含源一端口网络外特性曲线 $U = f(I)$ 。

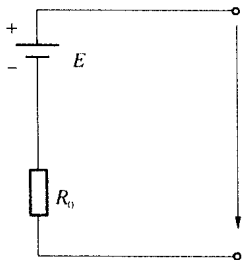


图 1.4.3 含源一端口等效电路图

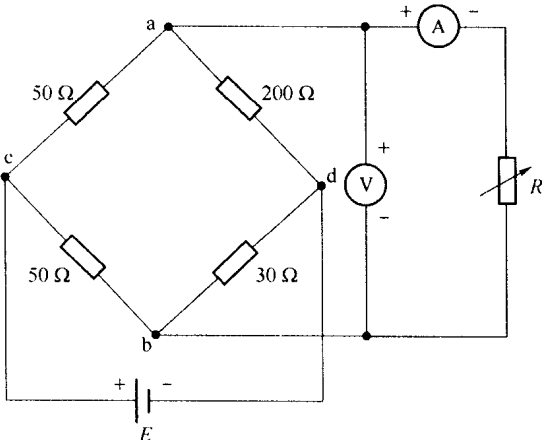


图 1.4.4 外侧性电路图

4. 测量结果记录到表 1.4.1 中。

表 1.4.1 测量记录表

U/V									
I/mA									

1.4.4 仪器设备

名 称	型号规格	数 量	名 称	型号规格	数 量
直流稳压电源	MCH-300	1	直流毫安表	PA15A	1
直流电压表	PZ114	1	可调电阻箱	自制	1
实验板	自制	1	-	-	-

1.4.5 注意事项

注意直流电压表和直流毫安表的极性及量程。

1.5 叠加原理

1.5.1 实验目的

验证叠加原理,加深对叠加原理的理解。