

● 电子工程类 ●



高等学校『十一五』规划教材

(第2版)

电路分析实验

韦宏利 等编

西北工业大学出版社

NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY PRESS

2.7/1.2 V 可调稳压电源... 电路分析实验...
V.12 V...
2.4 调节... 具有比例保护...

高等学校“十五”规划教材

电路分析实验

(第2版)

韦宏利 张荷芳 编
孙 钊 贺为婷

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书的编写旨在培养和训练学生的实验能力,其主要内容包括工科电路分析 I 的基本技能实验,工科电路分析 II 的部分技能提高实验以及计算机仿真实验。

本书可作为普通高等学校自动控制、通信、计算机、测控技术与仪器等专业实验课的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路分析实验/韦宏利等编. —2 版. —西安:西北工业大学出版社,2008.12
ISBN 978-7-5612-1867-9

I. 电… II. 韦… III. 电路分析—实验—高等学校—教材 IV. TM133-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 131768 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:9.25

字 数:215 千字

版 次:2008 年 12 月第 2 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

定 价:15.00 元

教材编委会

主 任：程光伟

副主任：雷志勇 齐 华

雷 斌 郑长风

出版说明

西安工业大学于1955年建校,是一所中央与地方共建,以陕西省管理为主的全日制普通高等学校。经过50多年的建设与发展,已经成为一所办学水平较高、办学规模较大、学科门类齐全的多科性普通高等学校。

在我国高等教育事业实现跨越式发展的同时,扩大规模和提高质量已成为高等教育发展的两大主题。而教材作为教学内容、教学方法和知识传播的有形载体和基本工具,能够适时地将学校办学水平、培养目标、质量标准等信息传递给学生。“十五”期间,学校立足自身定位,坚持教材建设研究,统一规划,加强管理,资助出版了多部特色教材,这些教材从体系到内容都充分体现了学校的办学定位和办学特色。

2006年,为了适应社会和学校教育事业的发展,学校对办学指导思想进行了重新确定,进一步明确了办学定位、培养目标及服务方向。“十一五”期间,学校将在更新教育理念、提高办学水平、实现快速发展的思想指导下,坚持科学的教育发展观,围绕培养定位、培养模式、专业建设、课程改革等方面做大量的研究、探索和实践,并通过加强科学研究带动学科建设。为使这些教学研究改革及学科建设、科研成果及时得以固化并更好推广,我们将在系统调研、认真审阅的基础上,对已形成专著的研究内容规划整理成为适合教学的教材,并将工程实践中已获得应用的先进技术和内容提炼后纳入新编教材中,突出专业特色及学科建设成果,把教材建设目标和人才培养目标统一起来,从总体上提高人才培养质量,促进教学工作上台阶,促进培养目标的实现。

我校“十一五”规划出版的各学科系列教材,将全面系统地融入教学改革和科学研究的优秀成果,为各学科和专业发展奠定坚实的基础。我们衷心希望这些教材能对广大读者在夯实基础、强化素质、提高能力方面起到积极作用。

西安工业大学
教学工作委员会教材工作分会
2006年7月

第2版前言

本书初版于2005年1月,这次修订再版,是在原书的基础上进行的。作为电路基础实验独立设课的教材,修订中保留了原书以下一些内容:

第1章基本技能实验,共有11个实验,主要是工科电路分析Ⅰ的实验内容,包括电流、电压、功率、阻抗、动态响应等的测量;第2章技能提高实验,共有8个实验,主要是工科电路分析Ⅱ的部分内容及选做的实验内容;第3章是计算机仿真实验;最后一部分附录,主要包括电工测量的基本知识和常用电工仪器仪表的介绍和使用方法。

在这次修订中,除了更正错漏,还修改和补充了以下一些内容:

(1)电路基础名词采用中英文对照的形式列出,这样为学生自学或者进行双语教学建立了一个良好的基础。

(2)采用最先进的Multisim 9.0计算机仿真工具,对基础技能实验项目的实验,均增加计算机仿真的内容。

参加这次修订工作的有西安工业大学电工电子实习中心贺为婷副教授和孙钊副教授以及电信学院自动化系张荷芳副教授,电信学院07级研究生严旭东参与了部分仿真实验的工作。韦宏利对全书进行整理定稿。西安工业大学电子信息与技术学院尚宇副院长和电工电子实习中心主任倪原教授审核并提出了许多修改意见。西安工业大学电工电子教研室和电工电子实习中心的各位老师对此书也提出了许多建议和意见,教务处副处长齐华教授和教材科王春景科长对教材的修订出版也很关心,在此一并表示深切的谢意。

由于编者水平有限,虽对书稿进行多次修改,书中不妥和疏漏之处在所难免,热忱欢迎使用本书的广大教师和学生批评指正。

编 者

2008年5月

第 1 版前言

电路分析是实践性很强的专业基础课,实验占有重要地位。培养实验能力和实际操作技能是高等工业学校教育的重要内容之一。通过实验,学生能验证、消化和巩固所学理论知识,提高动手能力,并培养严谨的科学作风。根据教学大纲要求和西安工业学院电工电子实验中心的具体情况,为加强实验教学,掌握先进的科学实验技术,经过学习与调研,我们撰写了这本新的电路分析实验教材。本书充实了部分实验内容,引入了计算机虚拟实验(PSPICE 的应用)。

本书分为三章。第一章是基本技能实验,共有 11 个实验,主要是工科电路分析 I 的实验内容,包括电流、电压、功率、阻抗、动态响应等的测量。学生通过这一部分的学习,可以掌握基本的测量方法,具备初步的实验技能,能够正确选用仪器、仪表,制定合理的实验方案,对实验中各种现象进行观察和判断,正确处理实验数据,编写实验报告等。

第二章是技能提高实验,共有 8 个实验,主要是工科电路分析 II 的部分内容及选做的实验内容。

第三章是计算机仿真实验,主要介绍了 PSPICE 及其在电路分析中的仿真实验。主要有直流稳态、正弦交流稳态、RC 充放电电路、二阶电路及电路谐振等的仿真。

最后一部分是附录,主要包括电工测量的基本知识及常用电工仪器仪表的介绍和使用方法。

本书第一、二章和附录部分由韦宏利编写,第三章由张荷芳编写。西安工业学院电信学院齐华院长和电工电子教研室主任郑长风审核本书并提出修改意见,张荷芳对全书进行整理定稿。西安工业学院电工电子教研室和电工电子实习中心各位老师对本书也提出了许多宝贵的意见,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中不当之处企盼使用本书的广大教师和学生批评指正。

编 者

2004 年 3 月

目 录

绪论.....	1
第 1 章 基本技能实验.....	4
1.1 电阻元件伏安特性的测试.....	4
1.2 叠加定理、基尔霍夫定律和电位的研究.....	8
1.3 戴维南定理、诺顿定理、电源等效变换、最大功率传输定理 ...	13
1.4 电子示波器和信号发生器的使用.....	18
1.5 一阶电路暂态过程的研究.....	23
1.6 交流参数的测量(一)——三表法.....	27
1.7 交流参数的测量(二)——电桥法.....	31
1.8 RLC 串联谐振电路的研究	32
1.9 并联谐振及功率因数的提高.....	36
1.10 三相电路中电压和电流的测量	40
1.11 三相电路功率的测量	44
第 2 章 技能提高实验	47
2.1 非正弦周期电流电路的研究.....	47
2.2 特勒根定理与互易定理的研究.....	49
2.3 耦合电感的研究.....	53
2.4 受控源电路的研究.....	57
2.5 无源滤波器和有源滤波器的研究.....	63
2.6 二阶电路的响应与状态轨迹的研究.....	68
2.7 负阻抗变换器及应用.....	72
2.8 二端网络参数的测定.....	78
第 3 章 计算机仿真实验——Multisim 9.0 的应用	82
3.1 Multisim 9.0 介绍.....	82

3.2 仿真电路设计举例	100
附录.....	109
附录 1 电工测量的基本知识	109
附录 2 磁电式、电磁式、电动式仪表的工作原理	113
附录 3 电流、电压的测量	117
附录 4 万用表及其使用方法	118
附录 5 双路晶体管直流稳压电源	121
附录 6 调压变压器的使用	122
附录 7 功率表的使用方法	122
附录 8 QS18A 万能电桥使用说明	124
附录 9 NY4510 型交流毫伏级电压表使用说明	127
附录 10 低频信号发生器使用说明	128
附录 11 POS9020 双踪示波器及其使用方法	131
附录 12 EEL—2 型电工电子实验台简介.....	135

绪 论

一、实验课的作用

实验对于人们认识世界和改造世界都具有十分重要的意义。实验是大学本科教学中一个重要的实践性教学环节,是理论联系实际的重要手段。通过实验教学,学生可以验证和巩固所学的理论知识,提高实验技能,培养实际工作能力。对于电路基础实验课,应通过实验达到以下目的:

- (1) 培养学生实事求是、一丝不苟、“三严”(严格、严密、严肃)的科学态度,养成良好的电工实验习惯和作风。
- (2) 训练学生基本的实验技能,如正确使用常见的电工仪器、仪表和电子仪器,掌握一些基本的电工测试技术、实验方法及数据分析处理的方法。
- (3) 培养学生通过实验来观察和研究基本电磁现象及规律的能力,以巩固和扩展所学到的理论知识。

二、实验目的

- (1) 通过实验巩固并加深电路课程的基本理论,培养学生运用基本理论分析、处理实际问题的能力。
- (2) 通过实验训练,学生应具备以下几方面的基本技能:
 - 1) 学会正确使用常用电工仪表、电子仪器及其他常用电器等设备。
 - 2) 了解常用电工仪器的结构、工作原理及电工测量的基本知识。
 - 3) 能阅读简单的电气设备原理电路图。
 - 4) 能独立地按照要求正确连接线路,掌握简单的交、直流电路一般性故障的检查与排除的方法。
 - 5) 能准确地读取数据,测绘曲线和波形,分析实验结果,编写清晰的实验报告。
 - 6) 掌握一般的安全用电常识,遵守操作规则。
- (3) 通过实验培养实事求是、严肃认真的工作习惯,养成严谨的科学工作作风。

三、实验课的要求

1. 实验课的准备工作的准备工作

学生在每次实验课前,必须认真预习并完成预习报告。具体要求是:



(1) 阅读实验指导书,明确实验的目的和要求,并要求结合实验原理复习有关理论知识,了解实验的方法和步骤,准备实验数据的记录表格,认真思考并解答预习思考题。

(2) 理解并记住指导书中提出的注意事项,对实验中所用仪器设备的作用及使用方法要有初步的了解。

2. 实验过程中的工作

(1) 实验前,要先检查本次实验所需用的仪表及实验设备是否齐全,了解各种仪表及设备的额定值、使用方法等,同时将所用仪表及设备的型号、规格及编号记录下来,以便在分析实验结果时,了解在实验中所得数据的准确性和可靠性。

(2) 实验所用仪表及设备,在连接时应根据线路清晰、调节顺手和读数观察方便的原则合理布局。

(3) 连线可按先串联后并联的原则,先接无源部分,再接电源部分,两者之间必须经过开关。接线时应将所有电源开关断开,并将可调设备的旋钮、手柄置于最安全的位置。接好线后,经检查无误,教师复查后才能接通电源。合电源时,要告诉实验小组其他同学集中注意力,要注意各仪表的偏转是否正常。

(4) 实验中要大胆心细,一丝不苟,认真观察现象,仔细读取数据,随时分析研究实验结果的合理性。如发现异常现象,应及时查找原因。

(5) 实验完毕,先切断电源,再根据实验要求核对实验数据,然后请教师审核,经认可后再拆线,并将仪器设备摆放整齐。

(6) 注意仪器设备及人身的安全。

3. 实验课后的整理工作

实验课后的整理工作主要是撰写实验报告。这是对实验的总结,应认真完成。报告内容应包括:

(1) 实验目的。

(2) 实验方法及步骤:主要是画出线路图,对特殊的实验方法加以说明。至于一般的方法、步骤和原理,可以简单叙述,不要求照抄实验指导书。

(3) 数据处理:包括实验数据及计算结果的整理、分析和误差原因的估计等。在做实验报告时,必须实事求是,不得任意更改或杜撰实验数据。

(4) 实验使用的主要仪器及实验设备。

此外,实验报告中还应包括实验中发现的问题、现象及事故的分析,实验的收获及心得体会,并回答思考题。

四、实验守则

(1) 实验课前要认真预习实验指导书及相关的理论知识,做好必要的准备工作,如画数据记录表格等。

(2) 进入实验室,要保持室内整洁和安静。按照实验要求认真检查并熟悉仪器设备,未经许可,不得擅自挪换仪器设备。

(3) 接完线路,应先自行检查,再请教师复查后才能接通电源。改接线路,必须先切断

电源。

(4) 观察实验现象,记录测试数据,都要认真仔细,实事求是。实验完毕,实验数据经教师审阅认可后,方能拆去接线。

(5) 注意人身和设备的安全,发生事故或出现异常现象时,应立即切断电源,保持现场并报告教师处理。

(6) 要爱护仪器设备,实验操作要谨慎。凡损坏仪器设备者,应填写损失单。对于不听从教师指导和违反操作规程而损坏实验仪器设备者,除写出书面检讨外,还要按规定赔偿。

第 1 章 基本技能实验

1.1 电阻元件伏安特性的测试

一、实验目的

- (1) 学习测量电阻元件伏安特性及电源外特性的方法。
- (2) 掌握应用伏安特性判断电阻元件类型的方法。
- (3) 学习常用直流电工仪表与稳压电源等设备的使用,掌握电压、电流的测量方法。

二、实验原理与说明

伏安特性(Voltage-Current Characteristic) 又称外特性,是被测元件两端电压与电流之间的关系。独立电源和电阻元件的伏安特性可用电压表和电流表测量。

1. 电阻元件伏安特性的测量

二端电阻元件的伏安特性是指元件的端电压与通过该元件的电流之间的函数关系。通过一定的测量电路,用电压表、电流表可测定电阻元件的伏安特性,由测得的伏安特性可判定电阻元件的类型。通过测量得到元件伏安特性的方法称为伏安测量法,简称伏安法。

线性电阻元件的伏安特性满足欧姆定律。在关联参考方向下,可表示为 $U = RI$, 其中 R 为常量,称为电阻的阻值。其伏安特性是一条过坐标原点的直线,具有双向性,如图 1.1.1(a) 所示。

非线性电阻的阻值 R 不是一个常量,其伏安特性是一条过坐标原点的曲线。非线性电阻的种类很多,在此给出几个实验中可能遇到的非线性电阻的伏安特性曲线,图 1.1.1(b), (c), (d), (e) 分别表示钨丝灯泡、普通二极管、稳压二极管和恒流管的伏安特性曲线。

2. 独立电源外特性的测量

(1) 理想电压源输出固定幅值的电压,输出电流的大小由外电路决定。因此,它的外特性是平行于电流轴的直线,如图 1.1.2(a) 中实线所示。实际电压源的外特性,如图 1.1.2(a) 中虚线所示,在线性工作区它可以用一个理想电压源 U_s 和内电阻 R_s 相串联的电路模型来代替,如图 1.1.2(b) 所示。图 1.1.2(a) 中的角 θ 越大,说明实际电压源内阻 R_s 值越大。实际电压源的电压 U 和电流 I 的关系式为 $U = U_s - R_s I$ 。

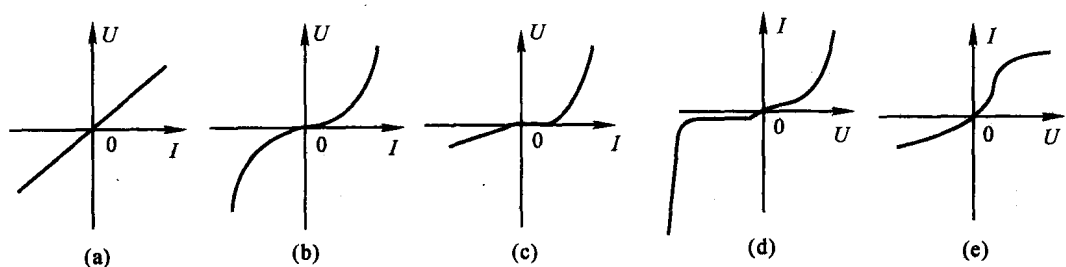


图 1.1.1 电阻伏安特性曲线

(a) 线性电阻伏安特性曲线；(b) 钨丝灯泡伏安特性曲线；(c) 普通二极管伏安特性曲线；
(d) 稳压二极管伏安特性曲线；(e) 恒流管伏安特性曲线

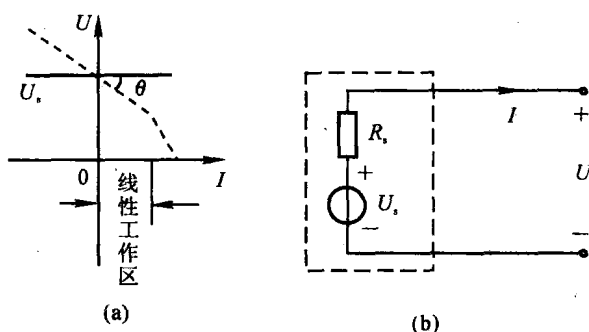


图 1.1.2 电压源外特性

(2) 理想直流电流源输出固定幅值的电流,其端电压由外电路决定,因此它的外特性是平行于电压轴的直线,如图 1.1.3(a) 中实线所示。实际电流源的外特性,如图 1.1.3(a) 中虚线所示,在线性工作区它可以用一个理想电流源 I_s 和内电导 G_s ($G_s = 1/R_s$) 相并联的电路模型来表示,如图 1.1.3(b) 所示。图 1.1.3(a) 中的角 θ 越大,说明实际电流源内电导 G_s 值越大。实际电流源的电流 I 和电压 U 的关系为 $I = I_s - G_s U$ 。

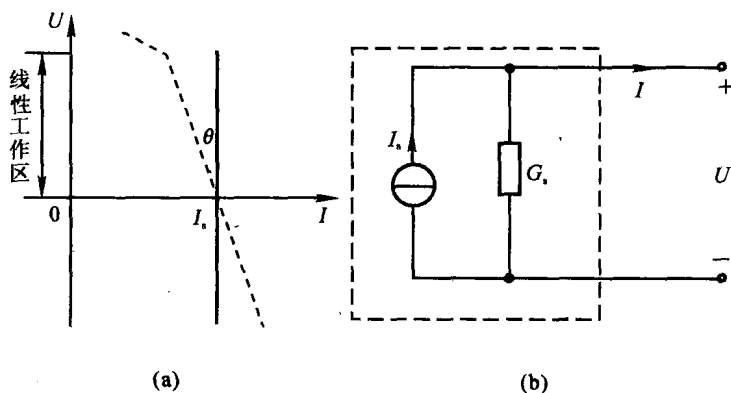


图 1.1.3 电流源外特性

三、实验内容

1. 电阻元件伏安特性的测量

(1) 线性电阻元件伏安特性的测量。

1) 实验电路采用图 1.1.4 所示的电流表内接方式,取被测电阻 $R = 100\ \Omega$ 。调节稳压电源的输出电压,使电压表的读数为表 1.1.1 中所列数值,将相应的电流记录在表 1.1.1 中。

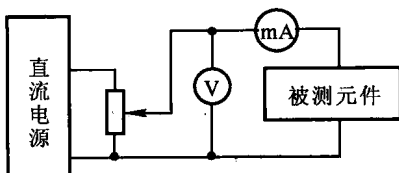


图 1.1.4 电流表内接方式

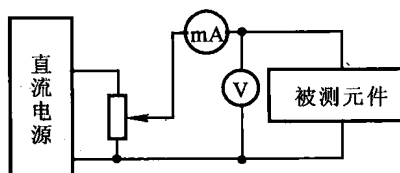


图 1.1.5 电流表外接方式

2) 将实验电路改接为图 1.1.5 所示的电流表外接方式,重复上述过程。

3) 将上述两种测量结果的伏安特性曲线画在一张坐标纸上,分析电压表和电流表的内阻对测量结果的影响。

(2) 非线性电阻元件伏安特性的测量。

1) 实验电路如图 1.1.4 所示。测量二极管的正向特性时,其正向电流不得超过 $25\ \text{mA}$,二极管的压降可在 $0 \sim 0.75\ \text{V}$ 之间取值,尤其是在 $0.5 \sim 0.75\ \text{V}$ 之间应多取几个测量点。做反向特性实验时,需将图 1.1.4 中二极管两端的电压反接,且反向电压可加到 $30\ \text{V}$ 。将正向特性测量数据记入表 1.1.2 中,将反向特性测量数据记入表 1.1.3 中,并用坐标纸画出伏安特性曲线。

2) 将上述电路中的二极管换成稳压二极管,重复以上实验内容。

表 1.1.1 电阻元件的伏安特性测量数据

被测元件		测量值									
线性电阻	电 流 表 内 接	U/V	0	1	2	3	4	5	6	7	8
		I/mA									
	电 流 表 外 接	U/V									
		I/mA									

表 1.1.2 二极管正向特性测量数据

U/V	0	0.2	0.4	0.5	0.55	...	0.75
I/mA							

表 1.1.3 二极管反向特性测量数据

U/V	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
I/mA							

2. 独立电源外特性的测量

(1) 测量电压源 U_s 和电阻 R 串联的电路模型的外特性,实验电路如图 1.1.6 所示,图中 $U_s=12\text{ V}$ 。调节电阻 R_L ,使电压表的读数为表 1.1.2 中所列数值,将相应的电流记入表 1.1.2 中;再用坐标纸画出外特性曲线。

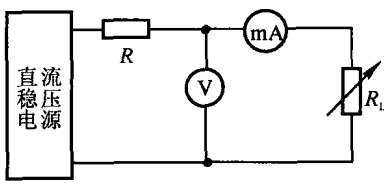


图 1.1.6 电压源外特性

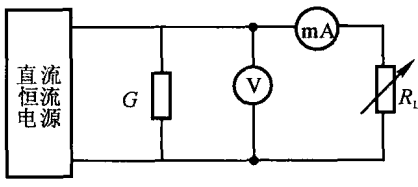


图 1.1.7 电流源外特性

(2) 测量电流源 I_s 和电导 G (取 $1/R$) 并联的电路模型的外特性,实验电路如图 1.1.7 所示,图中 $I_s=30\text{ mA}$ 。调节电阻 R_L ,测量电流和电压值,记入表 1.1.4 中;再用坐标纸画出外特性曲线。

表 1.1.4 独立电源的外特性曲线

$R_s=200\ \Omega$	R_L/Ω							
电压源	U/V							
	I/mA							
电流源	U/V							
	I/mA							

四、仿真实验

- (1) 在 Multisim 9.0 平台上建立如图 1.1.8 所示的电路(注意:在所有的虚拟实验中都要求把所选择的参考低电位接地),然后激活电路,即打开仿真开关。
- (2) 按照“实验内容”1—(1)—1) 中的要求,用鼠标双击电源,打开电源的属性编辑窗口,使电源电压依次取为 0 V,1 V,2 V,3 V,4 V,5 V,6 V,7 V 和 8 V,记录每次电压表和电流表的显示数。
- (3) 按照“实验内容”的要求依次完成仿真实验。

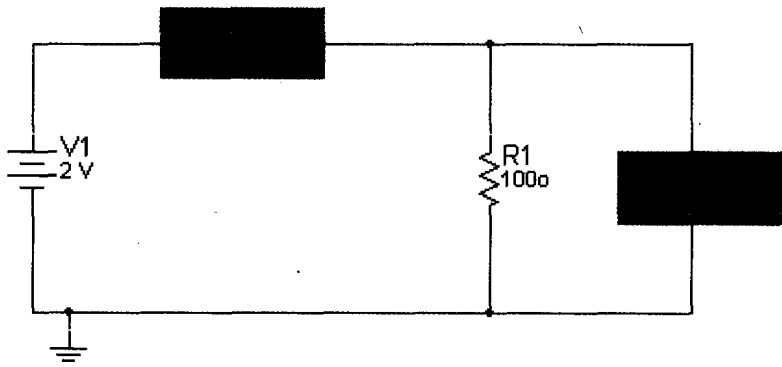


图 1.1.8 仿真实验电路

五、预习与思考

- (1) 实验前弄清本次实验的目的和具体内容。
- (2) 画出各实验内容的具体电路图。
- (3) 定性做出各图的外特性曲线。
- (4) 测量电阻元件伏安特性时, 电流表内接和电流表外接, 哪种接法在该实验中比较准确?

六、实验注意事项

- (1) 实验过程中, 注意电压源不能短路, 电流源不能开路。
- (2) 注意电压表和电流表的量程。
- (3) 每次启动电源时, 应将电源输出电压调节到零。

七、实验报告的要求

- (1) 简述实验目的、原理, 整理实验数据, 画出实验电路图。
- (2) 根据测量数据, 用坐标纸分别绘制出电压源、电流源外特性及各电阻元件的伏安特性曲线。
- (3) 根据伏安特性曲线, 判断各元件的性质, 由线性电阻的特性曲线求出其电阻值。
- (4) 回答思考题。

八、实验仪器

- (1) 直流实验板或电路理论综合实验台挂箱。
- (2) $200\ \Omega$ 滑线变阻器, 直流电阻箱。
- (3) 直流电压表或万用表、直流电流表。
- (4) 直流电源。

1.2 叠加定理、基尔霍夫定律和电位的研究

一、实验目的

- (1) 验证叠加定理, 加深对该定理的理解。
- (2) 验证基尔霍夫电流定律(KCL) 和电压定律(KVL)。
- (3) 通过电路中各点电位的测量来加深对电位、电压以及它们之间关系的理解。
- (4) 在验证各定理的过程中, 离不开参考方向的概念, 通过实验加强对参考方向的掌握和运用能力。
- (5) 熟练掌握电路故障的检查与排除方法。

二、实验原理与说明

1. 叠加定理

叠加定理(Superposition Theorem) 说明, 对于一个具有唯一解的线性电路, 由几个独立