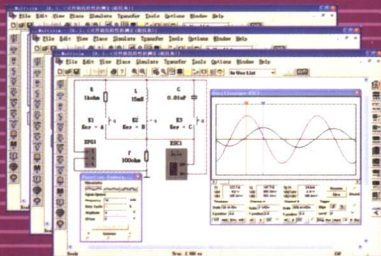


高等学校通用教材

电路仿真与 实验教程



田健仲 朱虹 编著
关永 主审

DIANLU FANGZHEN YU
SHIYAN JIAOCHENG



北京航空航天大学出版社

TM155

51C

2007

高等学校通用教材

电路仿真与 实验教程

田健仲 朱 虹 编著
关 永 主审

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是与北京高等教育精品教材《电路分析》配套的实验教材。内容分为电路实验基础知识、电路实验的基本方法和技能训练、Multisim 2001 使用简介以及电路的仿真与实验。精选 9 个核心实验,涵盖直流电路、动态电路和正弦稳态电路等电路分析课程所涉及的基本内容。每个实验都给出实验目的、实验原理、实验方法和实验内容,从虚拟仿真环境和实际操作环境两个方面加以展开,两者有机结合,相互补充。

本书可作为全日制高等学校计算机、电子信息和自动控制等专业的本科和专科学生的电路实验教材,也可作为高职高专、成人教育及民办大学等的实验教学用书,或相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电路仿真与实验教程/田健仲,朱虹编著. —北京:
北京航空航天大学出版社,2007.3
ISBN 978-7-81077-986-9

I. 电… II. ①田…②朱… III. ①电路—计算机
仿真—高等学校—教材②电路—实验—高等学校—教材
IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 004044 号

电路仿真与实验教程

田健仲 朱 虹 编著
关 永 主审
责任编辑 宋淑娟

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:9 字数:202 千字

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81077-986-9 定价:15.00 元

前言

“电路分析”是高等院校计算机、电子信息和自动控制等专业的一门十分重要的专业基础课,既具有较强的理论性,又具有广阔的工程应用背景。朱虹、孙卫真编著的《电路分析》教材自 2004 年 12 月出版以来,一直受到广大读者的欢迎,并于 2006 年被评为北京高等教育精品教材。为了加深理论知识的理解,进一步加强实践教学环节,培养面向 21 世纪的创新型人才,作者在北京高等学校实验教学示范中心(首都师范大学计算机科学与技术实验教学中心)的支持下编著了此书,与《电路分析》教材配套使用。

本书注重对学生基本实验技能的训练,通过实验掌握用计算机仿真和实际仪器仪表进行数据采集、观察、处理和分析的方法,培养学生用基本理论分析问题和解决问题的能力,开发学生的创新思维和创造能力。

按照教育部计算机科学与技术专业规范和教学大纲的要求,结合《电路分析》教材的教学内容,精选了 9 个核心实验。在内容安排上,所有实验都基于虚拟仿真环境和实际操作环境两个方面加以展开,开辟了电路实验教学的新途径,实现了理论教学与实验教学的有效对接。

全书分为 4 章。第 1 章是电路实验的预备知识,主要介绍电路实验的基本概念、基本规范、安全用电知识及对实验数据和实验现象的获取、分析、归纳和总结。第 2 章是电路实验的基本方法和技能训练,通过 5 个实验的练习,熟悉实验环境,学习常用电子仪器仪表的使用,保证实验教学的正常开展。第 3 章简要介绍电路仿真软件 Multisim 2001 的基本功能和使用方法,使学生掌握利用仿真软件对电路进行分析和计算。第 4 章是全书的核心,9 个实验涵盖了直流电路、动态电路及正弦稳态电路等电路分析课程所涉及的基本内容。每个实验都给出

了实验目的、实验原理、实验方法和手段,便于预习。实验时,先依据实验原理在 Multisim 2001 软件环境下进行仿真,得到仿真结果,然后在实验台上进行相应的实验,并对实验结果与仿真结果进行比较和分析。虚拟仿真与实际操作实验有机结合,相互补充,既可以保证实验的正确性,对于某种方法不易得到的实验数据或现象,又可采用另一种方法来获得。实验后的思考题留给学生课后完成,促进学生对实验现象及结果进行深入的思考和探索,逐步培养创新能力。

本书由田健仲、朱虹编著,朱虹负责统稿。编写过程中,得到了北京高等学校实验教学示范中心和首都师范大学信息工程学院的大力支持,关永教授仔细审阅了全稿,并提出了许多建设性意见。北京航空航天大学出版社的许传安、宋淑娟老师对本书的出版做了大量的工作,并提出了宝贵的意见,使本书得以顺利出版。在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中难免有错误和疏漏之处,恳请读者批评指正。

作 者

2006 年 12 月

目 录

第 1 章 电路实验基础知识

1.1 实验课的教学要求	1
1.1.1 课前预习	1
1.1.2 实验操作过程	2
1.1.3 实验报告规范	2
1.2 实验数据的处理	2
1.2.1 有效数字	3
1.2.2 曲线的绘制方法	4
1.3 实验的安全	5

第 2 章 电路实验的基本方法和技能训练

2.1 电位、电压的测定及电位图的绘制	6
2.2 直流电压与直流电流的测量	8
2.3 信号发生器的使用	13
2.4 示波器的使用	18
2.5 仪器、仪表综合使用实验	23

第 3 章 Multisim 2001 软件使用简介

3.1 软件界面及通用环境变量的设置	28
3.1.1 主窗口界面	28
3.1.2 菜单栏简介	28
3.1.3 系统工具栏	33
3.1.4 设计工具栏	33
3.1.5 元件工具栏	34
3.1.6 仪表工具栏	34
3.1.7 通用操作环境设置	35
3.2 创建电路	41
3.2.1 元件的放置	41

3.2.2	元件的移动和删除	43
3.2.3	虚拟元件参数设置和真实元件替换	44
3.2.4	放置文本	46
3.2.5	元件的连接	46
3.3	虚拟仪表的使用	46
3.3.1	指示器件库仪表的调用、设置与连线	47
3.3.2	仪表工具栏中仪表的调用、设置与连线	49
3.4	使用虚拟仪表进行仿真分析	57
3.5	使用分析功能进行仿真分析	57
3.5.1	直流工作点分析	58
3.5.2	交流分析	60
3.5.3	瞬态分析	62
3.5.4	直流扫描分析	63
3.5.5	参数扫描分析	64

第4章 电路的仿真与实验

4.1	基尔霍夫定律的验证	67
4.2	受控源的实验研究	72
4.3	叠加定理和齐次定理的验证	84
4.4	戴维南定理的验证	91
4.5	RC 一阶动态电路的响应	99
4.6	二阶动态电路的响应	109
4.7	电阻、电感、电容元件阻抗特性的测定	116
4.8	RLC 串联谐振电路的研究	124
4.9	互感电路的测量	130

参考文献

第 1 章 电路实验基础知识

电路分析实验是学习电路理论的重要实践环节,其目的在于通过实际的测试和操作实验,掌握实验的基本方法和基本技能,增强感性认识,巩固、加深并扩展所学理论知识;培养科学的分析问题和解决问题的能力,促进从能力向知识的转化;培养创新的思维方法,为进一步进行科学研究和新领域探索打下良好的实践基础。

随着计算机技术的飞速发展,各种 CAD(Computer Aided Design)、EDA(Electronic Design Automatic)软件不断进入电子电路领域,在理论教学、科学实验和电路设计中发挥了重要作用。电路的计算机辅助分析及仿真又称为虚拟实验,已经成为学习、研究电路理论的重要组成部分。本书以目前电路分析和设计领域中比较流行的 Multisim 2001 软件为平台,对电路分析课程中涉及的主干实验进行仿真和分析。

实验教学与理论教学有很大的不同,本章主要就电路实验的基本要求、实验操作的规范、实验数据处理的方法及实验的安全等基础知识做一个简要介绍。

1.1 实验课的教学要求

电路实验过程包括实验前预习、实验操作和实验总结等几个部分,每个部分都要认真完成。实验过程中,要高度重视人身及设备安全。

1.1.1 课前预习

为了避免盲目实验,提高实验的质量和效率,使实验顺利进行,并收到预期的实验效果,就必须做到课前充分预习。具体要求如下:

- ① 认真、仔细阅读实验教程和相关参考资料,熟悉与本次实验相关的理论知识。
- ② 明确实验目的、任务和方法,熟悉实验电路,清楚实验中要观察哪些现象、记录哪些数据及实验中要注意的事项。
- ③ 根据所学理论知识初步估算实验结果,预测实验数据的取值范围及曲线的走势,或用仿真软件对实验内容进行分析,得出仿真结果。
- ④ 熟悉实验中所用的各种仪器、设备的使用方法及注意事项。
- ⑤ 预习完成后及时撰写实验预习报告。

1.1.2 实验操作过程

① 认真听取指导教师对实验内容和注意事项的讲解。

② 到指定实验台做实验。实验前对本次实验中要使用的仪器、仪表进行检查和调试,如有问题,及时向指导教师提出以便处理。不得随便动用与本次实验无关的仪器设备。

③ 实验时认真接线,线路的连接、布线应简洁明了,尽量使用短线,防止短路。仪器、仪表应正确选择量程后再接入电路中。完成电路连接后,对照电路原理图认真、仔细地复查,确认无误后,方可通电进行实验。

④ 实验操作时同组同学要相互配合,尤其在通电前要通知同组同学,通电时先观察现象,再读取数据。

⑤ 数据记录要完整、清晰,合理取舍有效数字。实验后不得涂改实验数据。

1.1.3 实验报告规范

实验完成后,应按照要求正确书写实验报告。

(1) 实验报告的编写格式

① 填写实验名称、日期、班级、实验者及学号。

② 记录主要实验仪器、设备的名称及编号。

③ 简述实验原理。

④ 画出实验线路图。

⑤ 列出实验数据表格、主要计算公式及计算结果,用坐标纸绘制实验曲线图,分析观察到的现象,对测试结果进行理论分析,做出简明扼要的结论。

⑥ 完成实验习题。

(2) 实验报告的编写要求

① 实验报告要认真、独立完成,要求文字简洁、文理通顺、字迹工整、曲线清晰、结论明确,不能随意修改实验数据,更不能抄袭他人的实验数据。

② 实验后应对每一组实验数据进行整理、计算、分析,并得出结论。根据实验数据用坐标纸认真绘制实验曲线或波形图,标明曲线名称和坐标的分度及单位。

③ 回答思考题,用所学理论分析实验结果,并总结实验后的体会。

1.2 实验数据的处理

实验过程中要认真读取实验数据,根据所得数据绘制曲线,并分析实验结果。

1.2.1 有效数字

1. 有效数字的概念

有效数字指在数据测量时用近似数恰当地表达测量结果,它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。例如,从电压表测得电压值为 11.28 V,其中 11.2 是可靠数字,而末位上的 8 是欠准数字,则此数据为 4 位有效数字。

2. 有效数字的表示

表示有效数字的原则是:

① 第一个非“0”数字左边的“0”不是有效数字,例如,0.078 V 左边的两个“0”不是有效数字,该数据有 2 位有效数字。

② 有效数字中间的“0”是有效数字,例如,6.003 V 中的两个“0”都是有效数字,该数据有 4 位有效数字。

③ 如果测量仪表的误差已知,则有效数字的最后一位数应与仪表误差所在位对齐。如仪表误差为 ± 0.02 V,测得数为 1.487 0 V,其结果应写为 1.48 V。因为小数点后面第二位“8”所在的位已经产生了误差,所以小数点后面的“70”已经没有意义了,填写结果时应舍去。

④ 有效数字的位数不能因更改单位而改变。例如,2.31 V 不能写成 2 310 mV,这样有效数字就变成 4 位了,应写为 2.31×10^3 mV,“10”的方幂前面的数字都是有效数字。

3. 数据的舍入规则

为了使正、负舍入误差出现的机会大致相等,工程中一般采用如下舍入规则:小于 5 舍;大于 5 入;等于 5 时,若 5 之前为奇数则入,若 5 之前为偶数则舍。

4. 有效数字的运算规则

对一些精度不等的测量数据进行运算时,为了保证数据处理的准确度,一般应遵守以下规则:

① 加、减运算。对各数据进行比较,找出有效数字的小数位数最少的一个数据,对其余数据的小数位数先处理成与那个数据相同,然后再进行运算。

② 乘、除运算。对各数据进行比较,找出有效数字的小数位数最少的一个数据,对其余数据的小数位数先处理成比那个数据的小数位数多一位,然后再进行运算,运算结果的有效数字位数也应处理成与测量值中有效数字位数最少的数据相同。

③ 乘方或开方运算。运算结果应比原数据多保留一位有效数字。

④ 对数运算。取对数前后的有效数字位数应相等。

1.2.2 曲线的绘制方法

根据实验数据用坐标纸认真绘制实验曲线,标明曲线名称和坐标的分度及单位,用小圆点、十字叉等符号标出实验数据所对应的点。采用平滑法或分组平均法,将测量的离散实验数据绘制成一条连续光滑的曲线,并使其误差最小。应注意的是,绘制曲线前都要将整理好的实验数据按照坐标关系列表,适当选择横坐标与纵坐标的比例关系与分度,使得曲线的变化规律比较明显。

1. 平滑法

先将实验数据 (x_i, y_i) 用小圆点逐点描在直角坐标系上,再将各点 (x_i, y_i) 用折线相连,然后作一条平滑曲线,使其满足

$$\sum S_i = \sum S'_i \quad (1-2-1)$$

式中, $\sum S_i$ 是曲线以下的面积和, $\sum S'_i$ 是曲线以上的面积和,如图 1.2.1 所示。

2. 分组平均法

先将实验数据 (x_i, y_i) 用小圆点逐点描在直角坐标系上,将数据 (x_i, y_i) 分成若干组,每组取 2~4 个数据点,然后分别估取各组的几何重心,用十字叉符号标在图上,再将这些十字叉符号连成一条光滑的曲线,如图 1.2.2 所示。由于取几何重心的过程就是取平均值的过程,所以减小了随机误差的影响。

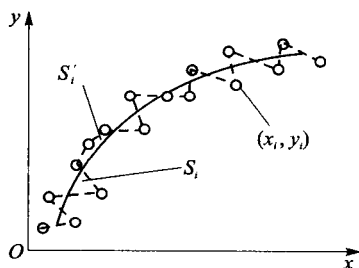


图 1.2.1 平滑法绘制的曲线

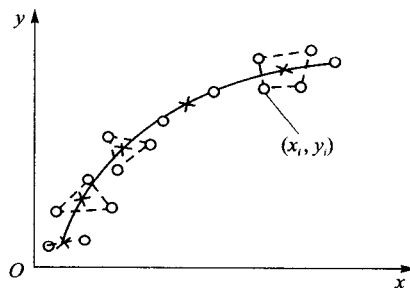


图 1.2.2 分组平均法绘制的曲线

1.3 实验的安全

为了顺利完成实验,确保实验时人身与设备安全,要严格遵守安全操作规程。

1. 人身安全

人身安全包括:

① 接线、拆线或改接电路时必须先断开电源开关,严禁带电操作。应养成先接线后通电、实验完毕先断电后拆线的良好操作习惯。

② 对于强电电路,接通电源后,人体严禁直接接触电路中未绝缘的金属导线和连接点等带电部分。

③ 万一不小心发生触电事故,应立即切断电源。如距离电源开关较远,可用绝缘器具将电源线断开,使触电者立即脱离电源并采取必要的急救措施。

2. 设备安全

设备安全包括:

① 每次实验之前,都要检查测量仪表、测试线和附件是否异常或损伤。如发现测试线断裂或磨损、仪器外观破裂、显示屏无读数等,请不要再使用。

② 实验中要有目的地调节仪器设备的开关、旋钮,切忌心急用力过猛造成损坏。

③ 实验时,尤其是刚闭合电源,设备投入运行时,要随时注意仪器设备的运行情况,如发现有过量程、过热、冒烟和火花、焦臭味或劈啪声及出现保险丝熔断等异常现象,应立即切断电源,查清问题并妥善处理故障后,才能继续进行实验。在故障未排除前不准再次闭合电源。

第2章 电路实验的基本方法和技能训练

本章通过几个具体的实验,讲解电路实验中常用仪器、仪表的正确使用方法及需注意的事项,使学生掌握实验电路的连接、电压和电流的测量、信号波形的观测等基本电路测试技术和实验技术,目的是为第4章电路实验的开展奠定基础。

2.1 电位、电压的测定及电位图的绘制

1. 实验目的

- ① 学会数字电压表的使用。
- ② 学会电压源的使用。
- ③ 用实验方法证明电路中电位的相对性和电压的绝对性。
- ④ 掌握电路电位图的绘制方法。

2. 实验原理与说明

在一个具体电路中,各点电位的高低由所选的电位参考点决定。但是任意两点间的电位差(即电压)则是绝对的,它不会因参考点的不同而不同。

电位图是表明电路中电位分布和变化情况的图形,横坐标为电阻值,纵坐标为电位值。从参考点出发绕电路一周,顺序测量各点电位,在坐标平面中标出,并把标出点按顺序用直线相连,就可得到电路的电位变化图。电位图中每一直线段表示该两点间电位的变化情况。由于电路中电位参考点可任意选定,所以对于不同的参考点,绘出的电位图是不同的,但其各点电位的变化规律却是一样的。

作电位图或实验测量时,必须正确区分电位的高低和电压的正负。用电压表测量时,若显示正值,则说明电压表正极(红表笔)的电位高于负极(黑表笔)的电位。

3. 实验仪器和器材

- ① 直流电压源 1 台 $0\sim 30\text{ V}$ 可调。
- ② 固定值电压源 1 台 $+12\text{ V}$ 。
- ③ 数字万用表 1 台。
- ④ 电阻 5 只 $51\ \Omega\times 3, 1\text{ k}\Omega\times 1, 330\ \Omega\times 1$ 。

- ⑤ 短接桥和连接导线若干 P8—1 和 50148。
- ⑥ 实验用 9 孔插件方板 1 块 297 mm×300 mm。

4. 实验内容及步骤

按图 2.1.1 所示连接实验电路,分别将两路直流稳压电源 U_1 和 U_2 接入电路,调节电压源的电压,使 $U_1=6\text{ V}$, $U_2=12\text{ V}$ 。实验步骤如下。

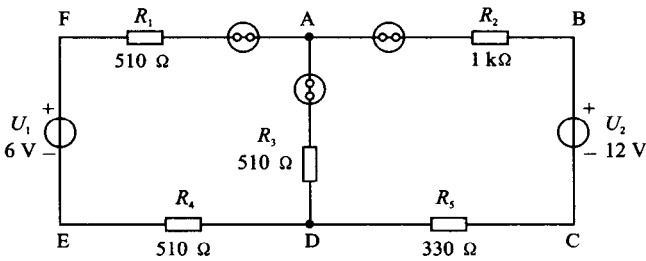


图 2.1.1 测量电位及电压的实验电路

① A 为参考点时电位和电压的测量。

在图 2.1.1 的电路中,以点 A 作为电位参考点,分别测量 B,C,D,E,F 各点的电位及相邻两点间的电压 U_{AB} , U_{BC} , U_{CD} , U_{DE} , U_{EF} 及 U_{FA} ,将数据记入表 2.1.1 中。

② D 为参考点时电位和电压的测量。

在图 2.1.1 的电路中,以点 D 为参考点,重复实验步骤①的测量,将测得数据记入表 2.1.1 中。

③ 将以上不同参考点时测得的电位和电压值作比较,得出结论。

表 2.1.1 电位及电压的测量

V													
参考点	测量项目 实验内容	U_A	U_B	U_C	U_D	U_E	U_F	U_{AB}	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EF}	U_{FA}
A	计算值												
	测量值												
	相对误差												
D	计算值												
	测量值												
	相对误差												

5. 注意事项

用模拟万用表的直流电压挡或数字直流电压表测量电位时,用负极(黑表笔)接参考电位点,用正极(红表笔)接被测点。若指针正向偏转或显示正值,则表明该点电位为正(即高于参考点电位);若指针反向偏转或显示负值,则表明该点电位为负,对于模拟万用表,这时应立即调换红、黑表笔,然后再做测量,读出数值,并在电位值前加负号。

6. 思考题

在图 2.1.1 电路中,如果以点 E 为参考点,已经测得各点的电位值,那么现以点 F 作为参考点,试问各点的电位值有何变化?

7. 实验报告要求

- ① 完成数据表格中的计算,对误差作必要的分析。
- ② 根据实验数据,分别绘制取两个不同参考点时的电位图。
- ③ 总结电位的相对性和电压的绝对性。

2.2 直流电压与直流电流的测量

1. 实验目的

- ① 学会用万用表的直流电压挡和直流电流挡分别测量直流电压和电流。
- ② 学会用直流电压表、直流电流表分别测量直流电压和电流。
- ③ 掌握串、并联电路的正确连接。
- ④ 学会电压源及电位器的正确使用。

2. 实验原理与说明

(1) 连接电流表的特殊插头及插座介绍

测量电流时,电流表必须串接在电路中。用一个电流表测量几条支路的电流,可以借助于特殊插头和插座。话筒插头和插座常用来连接电流表,如图 2.2.1(a)所示。电流表接在话筒插头的两个端子上,它们之间有绝缘体 1 隔开;插座串接在电路中,由两块接触的弹簧铜片 2 和 3 组成。测量电流时,将插头插入插座中即可,如图 2.2.1(b)所示。图 2.2.1(c)是另一种连接电流表的插头和插座,由两孔插座和短接桥组成;测量电流时,将短接桥拔掉,电流表的表笔插入插座的两个插孔中,如图 2.2.1(c)所示。测量完毕,将电流表的表笔拔出,插入短接桥,如图 2.2.1(d)所示。

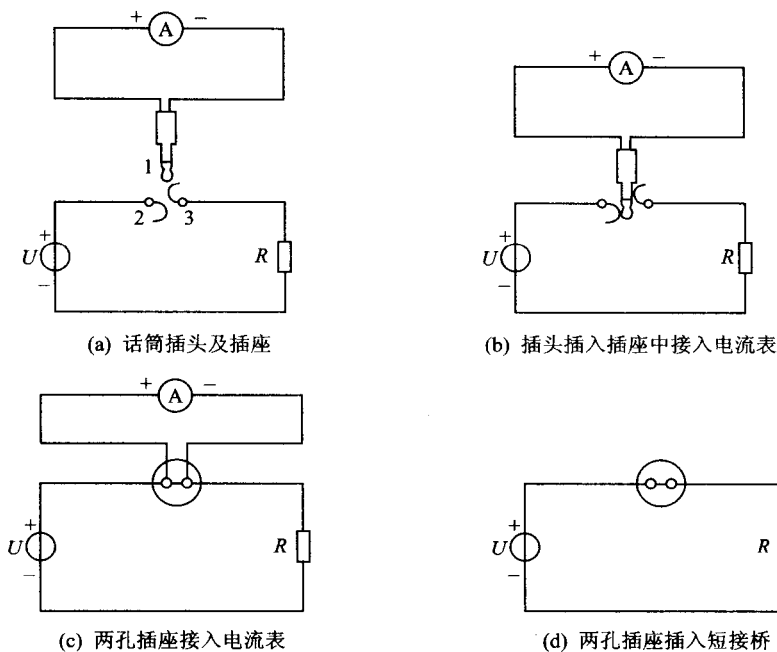


图 2.2.1 连接电流表的特殊插头及插座

(2) 电路的接线方法

按照实验原理图,在实验板上连接电路。先连接串联元件,后连接并联元件。从电源一端开始,依次将元件、测量仪表和短接桥连接起来,最后终止于电源另一端。电流表应串联在支路中,电压表并联在被测支路的两端,并且注意它们的极性应与参考方向一致。要注意的是,连接电路时,应将电源关闭,待电路全部接好并检查无误后,打开电源开关。实验完毕拆除电路时,必须先关掉电源,再拆电路。

(3) DT9208 型万用表直流电流挡的使用

万用表是电路测量与实验中一种常用的测量仪表,可测量电压、电流和电阻等。用万用表测量直流电流时,应正确选择量程开关的位置。DT9208 型万用表的量程开关有直流微安(μA)、毫安(mA)和安培(A)等几挡。其中 mA 挡有 20 和 200 两挡; μA 挡只有 20 一挡,A 挡只有 20 一挡。测量未知电流时,应从最高挡逐次向低挡调节,直至调到合适挡位。需要注意的是,测量微安或毫安级的电流时,应将万用表的红表笔插入带有“A”标志的插孔中,黑表笔插入带有“COM”标志的插孔中;测量安培级电流时,黑表笔依然插入带有“COM”标志的插孔中,而红表笔改插在带有“20A”标志的插孔中。

将 DT9208 型万用表连接到特殊插座后串联接入电路,并且注意连接的极性,显示屏上显示的数值为电流值,直接读取即可。值得注意的是,千万不能将电流表并联到电路中。如果把

电流表并联于电路中有电位差的两端,即使电压很低,也有可能烧坏电流表。这是因为电流表的内阻极小,会产生很大的电流。测量完毕,应及时关闭电源开关。

(4) 电压、电流方向的读取

从数字万用表上读取的数值前面的正、负号是电压、电流的实际方向,而实验原理图中标出的是参考方向。如果万用表接入电路的极性与参考方向相同,那么万用表显示屏中的符号位不显示(正值),说明被测电压或电流的实际方向与参考方向相同;如果万用表显示屏中的符号位显示“-”(负值),说明实际方向与参考方向相反。

3. 实验仪器和器材

- ① 直流电压源 1 台 1 组 $0 \sim 30 \text{ V}$ 可调,1 组 $+12 \text{ V}$ 固定。
- ② 数字万用表 1 块。
- ③ 直流电压、电流表各 1 块。
- ④ 电位器 2 只 $100 \Omega \times 1, 1 \text{ k}\Omega \times 1$ 。
- ⑤ 电阻 4 只 $100 \Omega \times 1, 330 \Omega \times 1, 510 \Omega \times 1, 1 \text{ k}\Omega \times 1$ 。
- ⑥ 短接桥和连接导线若干 P8—1 和 50148。
- ⑦ 实验用 9 孔插件方板 1 块 $297 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 。

4. 实验内容及步骤

(1) 串联电路电压、电流的测量

1) 连接线路

连接线路的步骤是:

- ① 将直流电压表连接到电压源的输出端钮上,打开电源开关,指示灯亮,根据实验要求调节输出电压为 $U = 6 \text{ V}$,关掉电源。
- ② 将电位器的活动端调到极限位置,使一个固定端与活动端之间的电阻最大。
- ③ 按图 2.2.2(a)所示实验原理图接线。先不接电源线,从点 A 出发串接测电流用的短接桥,然后顺序串接电阻 R_1, R_2 和电位器 R ,最后接到点 E,如图 2.2.2(b)所示。
- ④ 将点 A 接到电压源的正极,点 E 接到负极。接线完毕。

2) 测量回路电流

将连接电流表插座的短接桥去掉,把电流表按图 2.2.2(a)中给定的电流参考方向接入电路中,打开电源开关,测出回路电流 I ,记入表 2.2.1 中。

3) 测量各段电压

将电压表分别并联于各元件上,测出电压 $U_{AB}, U_{BC}, U_{CD}, U_{DE}, U_{EA}$ 的值,记入表 2.2.1 中。