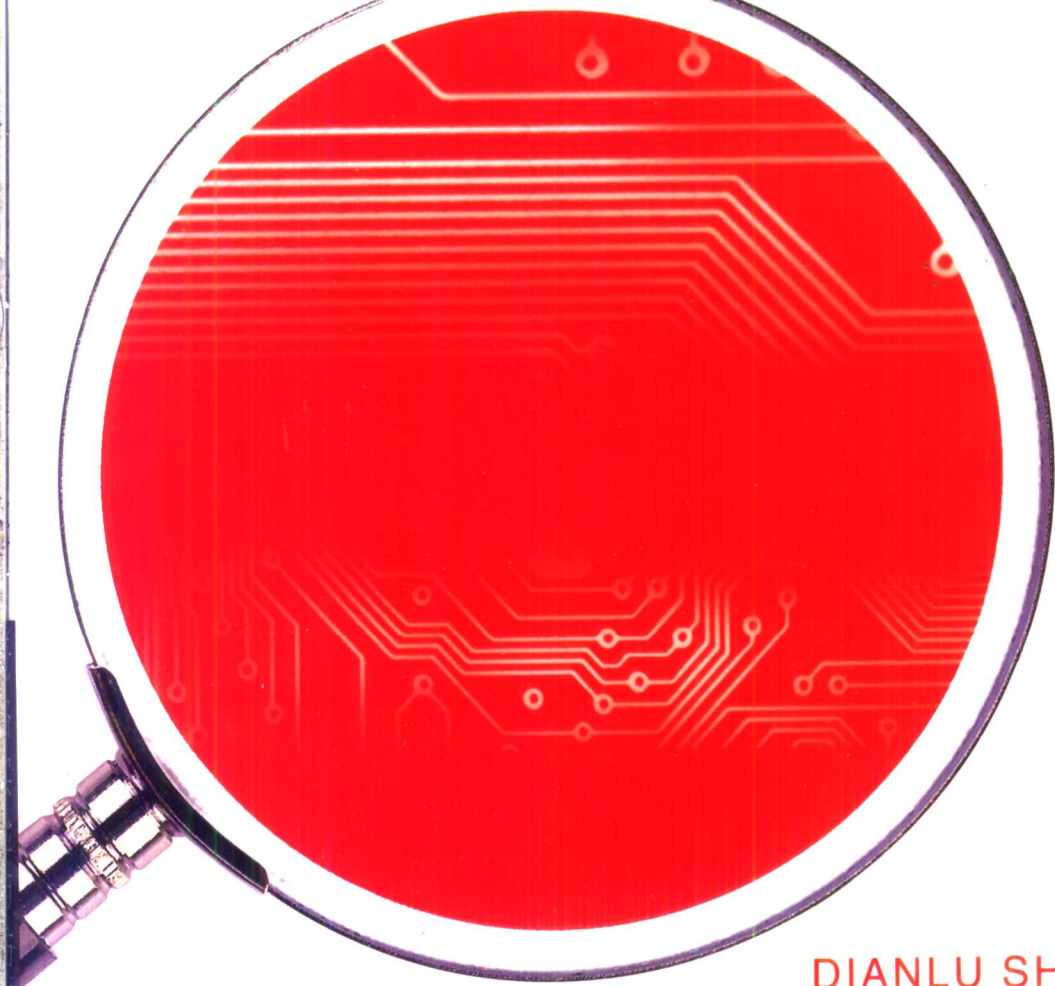




DIANLU SHIYAN YU
FANGZHEN SHEJI
JIAOCHENG

21 世纪电子信息课程系列教材 |

电路实验与 仿真设计教程

陈晓平 / 主 编
温军玲 / 副主编

8-33

4



东南大学 出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

电路实验与仿真设计教程

主 编 陈晓平

副主编 温军玲

主 审 孙玉坤

东南大学出版社

内 容 提 要

电路实验与仿真设计是电路课程必要的实践教学环节,本书主要内容有电路实验须知、实际操作实验内容、仿真实验内容及电路设计实验内容4大部分。实际操作实验内容涉及元件特性的伏安测量法、戴维宁定理、一阶电路的响应、二阶电路的响应与状态轨迹、交流参数的测量、RLC 串联谐振电路、并联交流电路的谐振及功率因数的提高、交流电路中的互感、三相电路的电压、电流及功率、非正弦周期电流电路、二端口网络参数的测定、负阻抗变换器及其应用、回转器等13个实验。仿真实验内容包括线性直流电路、动态电路、谐振电路、非正弦交流电路、二端口网络、负阻抗变换器等6个实验。电路设计实验内容含有电阻温度计的设计、衰减器的分析与设计、一端口网络等效参数测量与最大功率传输电路设计、数字模拟信号转换器的设计、波形发生器的设计、简易白炽灯调光器的设计、阻容移相装置的设计、相序仪的分析与设计、RC 低通滤波器频率特性设计、非正弦信号的滤波设计等10个开发性实验。另有3个附录,分别对虚拟电路实验台(EWB 5.0)、常用电工仪表和电子仪器、ETL 系列电路实验系统作了介绍。

本书是根据《电路教学大纲》以及由邱关源主编、高等教育出版社1999年出版的《电路》(第四版)一书的内容和体系编写的。适合普通高等学校电类(强、弱电)专业师生使用,也可供科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路实验与仿真设计教程/陈晓平主编. —南京:东南大学出版社,2005.8

(21世纪电子信息课程系列教材)

ISBN 7-5641-0099-0

I. 电... II. 陈... III. ①电路—实验—高等学校—教材 ②电路—计算机仿真—高等学校—教材
IV. TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第089267号

电路实验与仿真设计教程

出版发行 东南大学出版社

出版人 宋增民

社 址 南京市四牌楼2号

邮 编 210096

电 话 025-83792954 025-83362442(传真)

电 邮 zhu_min_seu@163.com

经 销 全国各地新华书店

印 刷 丹阳市兴华印刷厂印刷

开 本 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张 12.25

字 数 303千字

版 次 2005年9月第1版

印 次 2005年9月第1次印刷

印 数 1—4000册

定 价 15.00元

(凡因印装质量问题,请与我社读者服务部联系。电话:025-83792328)

前 言

培养实验能力和实际操作技能是高等工科学教育的重要内容之一。实验教学是帮助学生学习 and 运用理论处理实际问题,验证、消化和巩固基本理论,获得实验技能和训练科学研究方法的重要环节。为了加强电路实验教学,我们根据《电路教学大纲》以及由邱关源主编、1999年高等教育出版社出版的《电路》(第四版)一书的内容和体系,在江苏大学电路教研室原实验指导书的基础上,经过多年的教学实践不断补充、修订逐步完善起来的,并考虑科学技术的更新与发展而编写的《电路实验教程》(东南大学出版社2001年8月出版)。在此书的基础上,增加了电路设计实验内容而重编《电路实验与仿真设计教程》一书。

本书内容共分4章。第1章是电路实验须知,主要介绍电路实验前学生所必须了解的预备知识。第2章是实际操作实验内容,主要是利用实际的元器件进行的实验内容。通过这部分内容要使学生掌握常用的电子仪器、仪表的使用以及基本电路的搭制与测量。第3章是虚拟仿真电路实验内容,主要是利用 EWB 5.0 (Electronics Workbench 5.0) 软件进行电路仿真实验内容,通过这部分内容要使学生学会 EWB 5.0 软件的使用以及利用计算机分析电路问题的基本方法。第4章是电路设计内容,通过这部分内容的训练使学生能运用所学到的电路基础知识设计出实际应用电路,掌握理论应用于实际的基本方法与技巧。

为了加强实验理论教学,本书编有3个附录:附录A比较系统地介绍EWB 5.0的组成及特点,EWB 5.0对电路描述语句、分析命令和菜单命令的使用都给予了详细说明;附录B介绍了常用的电工仪表和电子仪器;附录C为ETL系列电路实验系统。这些内容以学生自学为主,目的是为了充实学生的实际知识和提高动手能力。

本书由陈晓平副教授任主编,温军玲讲师任副主编,并共同负责确定全书的内容与章、节以及全书的统稿。参与编写的还有陆晋工程师、李长杰讲师、傅海军讲师。其中,第2章的实验1~4、6、10、12、13,第3章的实验1、2由陈晓平编写;第2章的实验5、7~9、11,第3章的实验3、4由李长杰编写;第3章的实验5、6由温军玲编写;第4章由陈晓平、温军玲、傅海军共同编写;附录A由陈晓平、李长杰、温军玲共同编写;第1章及附录B由陆晋编写;全书由孙玉坤教授主审。在本书编写过程中,得到江苏大学电气信息工程学院领导的关心以及电气信息工程学院中心实验室全体同志的支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本实验教程中难免有不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年6月

目 录

■ 电路实验须知	(1)
1.1 实验目的和实验要求	(1)
1.2 实验的步骤	(2)
1.3 实验中的几个问题	(3)
■ 实际操作实验内容	(7)
2.1(实验1) 元件特性的伏安测量法	(7)
2.2(实验2) 戴维宁定理	(13)
2.3(实验3) 一阶电路的响应	(17)
2.4(实验4) 二阶电路的响应与状态轨迹	(22)
2.5(实验5) 交流参数的测量	(26)
2.6(实验6) RLC 串联谐振电路	(31)
2.7(实验7) 并联交流电路的谐振及功率因数的提高	(36)
2.8(实验8) 交流电路中的互感	(42)
2.9(实验9) 三相电路的电压、电流及功率	(47)
2.10(实验10) 非正弦周期电流电路	(51)
2.11(实验11) 二端口网络参数的测定	(54)
2.12(实验12) 负阻抗变换器及其应用	(59)
2.13(实验13) 回转器	(66)
■ 虚拟仿真实验内容	(71)
3.1(实验1) 线性直流电路	(71)
3.2(实验2) 动态电路	(73)
3.3(实验3) 谐振电路	(76)
3.4(实验4) 非正弦交流电路	(80)
3.5(实验5) 二端口网络	(82)
3.6(实验6) 负阻抗变换器	(85)
■ 电路设计内容	(90)
4.1 电阻温度计的设计	(90)
4.2 衰减器的分析与设计	(92)
4.3 一端口网络等效参数测量与最大功率传输电路设计	(94)
4.4 数字模拟信号转换器的设计	(95)
4.5 波形发生器的设计	(98)
4.6 简易白炽灯调光器的设计	(101)
4.7 阻容移相装置的设计	(103)

4.8	相序仪的分析与设计	(105)
4.9	RC 低通滤波器频率特性设计	(108)
4.10	非正弦周期信号的滤波设计	(111)
附录A	虚拟电路实验台使用简介	(114)
A.1	概述	(114)
A.2	EWB 5.0 的组成及特点	(115)
A.2.1	EWB 5.0 的组成	(115)
A.2.2	EWB 5.0 的特点	(115)
A.3	EWB 5.0 的基本操作方法	(116)
A.3.1	EWB 5.0 的操作界面	(116)
A.3.2	EWB 5.0 的菜单	(117)
A.3.3	元件库和仪器仪表库(Part Bin)	(138)
A.4	EWB 5.0 的常用操作	(144)
A.4.1	元件的使用	(144)
A.4.2	元件之间及与仪器的连接	(145)
A.4.3	仪器及仪表的使用	(146)
A.4.4	电路的仿真	(152)
A.5	EWB 5.0 的分析功能	(152)
A.5.1	六种基本分析功能	(152)
A.5.2	四种扫描分析功能	(154)
A.5.3	两种高级分析功能	(154)
A.5.4	两种统计分析功能	(154)
附录B	常用电工、电子仪器原理及使用	(156)
B.1	指示仪表的正确使用	(156)
B.2	常用电工仪表	(157)
B.2.1	万用表	(157)
B.2.2	直流电压表和直流电流表	(160)
B.2.3	交流电压表和交流电流表	(161)
B.2.4	功率表	(163)
B.2.5	交流毫伏表	(166)
B.3	常用电子仪器	(168)
B.3.1	YB4249 型双踪示波器	(168)
B.3.2	YB1639 型函数发生器	(175)
B.3.3	调压器	(178)
附录C	ETL 系列电路实验系统(台)	(180)
C.1	概述	(180)
C.2	组成及功能	(180)
C.3	注意事项	(183)
C.4	使用说明	(184)

C.4.1 ETL-1 型电源箱使用说明	(184)
C.4.2 ETL-1A 型直流电路实验箱使用说明	(184)
C.4.3 ETL-1B 型交流电路实验箱使用说明	(185)
参考文献	(186)

■ 电路实验须知

电路实验教学是电路课程教学的重要组成部分,是培养学生科学精神、独立分析问题和解决问题能力的重要环节。通过必要的实验技能训练和验证性实验,使学生将理论与实践相结合,巩固所学知识。通过实验培养有关电路连接、电工测量及故障排除等实验技巧,学会掌握常用仪器仪表的基本原理、使用与选择方法。在实验测量中学习数据的采集与处理、各种现象的观察与分析。随着计算机应用的广泛普及,电路的计算机辅助分析成为电路理论分析的重要组成部分。所以利用计算机对电路性能进行分析和仿真成为培养电气工程技术人员必需的基本训练。总之,电路实验课及电路仿真设计训练可为今后从事工程技术工作、科学研究以及开拓技术领域工作打下坚实的基础。

1.1 实验目的和实验要求

1.1.1 实验目的

- (1) 进行实验基本技能训练。
- (2) 巩固加深并扩大所学到的理论知识,培养运用基本理论分析、处理实际问题的能力。
- (3) 培养实事求是、严肃认真、细致踏实的科学作风和良好的实验习惯,为今后的专业实践与科学研究打下坚实基础。

1.1.2 实验课程的要求

通过电路实验课,学生在实验技能方面应达到下列要求:

- (1) 正确使用万用表、电流表、电压表、晶体管毫伏表、功率表及常用的一些电工实验仪表。初步掌握实验中用到的信号发生器、示波器、稳压电源、变压器等实验仪器和 ETL 系列电路实验系统的使用方法。
- (2) 根据各个实验的要求,正确地设计电路,选择实验设备及器件。学会按电路图连接实验电路。要求做到连线正确、布局合理、测试方便。
- (3) 能够认真观察和分析实验现象,运用正确的实验手段,采集实验数据,绘制图表、曲线,科学地分析实验结果,正确书写实验报告。
- (4) 正确地运用实验手段来验证一些定理和理论。
- (5) 对设计型实验,要根据实验任务,在实验前确定实验方案,设计实验电路,正确选择仪器、仪表、元器件,并能独立完成实验要求的内容。
- (6) 实验技能是一项基本功,应注意积累,逐步提高水平,练好这项基本功。
- (7) 了解 EWB 5.0(Electronics Workbench 5.0)软件,利用 EWB 5.0 所提供的元件来搭制模拟电路。通过 EWB 5.0 所提供的测量仪器仪表,来观察电路现象,由此来提高实验分析

和研究的能力。

1.2 实验的步骤

实验课一般分为课前预习、实验过程及课后写实验报告三个阶段。

1.2.1 课前预习

实验能否顺利进行和收到预期效果,很大程度上取决于预习准备是否充分。因此,在预习过程中应仔细阅读实验教程和其他参考资料。明确实验的目的、内容,了解实验的基本原理以及实验的方法、步骤。清楚实验中哪些现象要观察,哪些数据要记录以及哪些事项应注意。

学生必须认真预习,做好预习报告后方可进入实验室。不预习者,不得进入实验室进行实验。

1.2.2 实验过程

良好的工作方法和操作程序,是使实验顺利进行的有效保证,一般实验按照下列程序进行:

(1) 教师在实验前讲授实验要求及注意事项。

(2) 学生在规定的桌位上进行实验。做好以下准备工作:

① 按本次实验的仪器设备清单清点设备,注意仪器设备类型、规格和数量,辅助设备是否齐全,同时了解设备的使用方法 & 注意事项。

② 做好实验桌面的整洁工作,暂不用的设备在一边放整齐。

③ 做好记录的准备工作。

(3) 连接电路。仪表设备应布置到便于操作和读数的位置。接线时,按照电路图先接主要串联电路(由电源的一端开始,顺次而行,再回到电源的另一端),然后再连接分支电路。应尽量避免同一端上接很多的导线,连线完毕后,不要急于通电,应仔细检查,经自查无误并请老师复查同意后,才能够通电开始实验。

(4) 设备的操作与数据的记录。按照实验教程上实验步骤进行操作。操作时要注意:手合电源,眼观全局;先看现象,再读数据。读数据前要弄清仪表量程及刻度。读数时要注意姿势正确,要求“眼、针、影成一线”。记录要完整清晰,一目了然。数据记录在事先准备好的统一的实验原始数据记录纸上,要尊重原始记录,实验后不得涂改。

当需要把读数绘成曲线时,应以足够描绘一条光滑而完整的曲线为准,来确定读数的多少。读取数据后,可先把曲线粗略地描绘一下,发现不足之处,应及时弥补。

(5) 结束工作。完成全部规定的实验内容后,不要先急于拆除线路。应先自行核查实验数据,有无遗漏或不合理的情况,再经老师复查记分后,方可进行下列结尾工作:

① 拆除实验线路(注意:一定先断电,再拆线)。

② 做好仪器设备、桌面、环境清洁的管理工作。

③ 经教师同意后方可离开教室。

做完实验后应及时将实验数据进行整理,一般情况下,可以直接对实验记录的数据进行计算,得出结果。

1.2.3 课后书写实验报告

书写实验报告是对实验工作的全面总结,是实验课的重要环节。其目的是为了培养学生严谨的科学态度,要用简明的形式将实验结果表达出来。实验报告一律用专用实验报告纸来写,报告要求文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、结论正确、分析合理、讨论深入。

实验报告应包括下列内容:

- (1) 实验目的。
- (2) 实验原理:包括实验原理和公式。
- (3) 实验内容:列出具体的实验内容与要求,画出实验电路图,拟定主要步骤和数据记录表格。
- (4) 实验仪器与设备:列出实验所需用的仪器与设备的名称、型号、规格和数量等。
- (5) 注意事项:实验中应注意哪些问题。
- (6) 实验结论与分析:根据实验数据分析实验现象,对产生的误差,分析其原因,得出结论。并将原始数据或经过计算的数据整理为数据表,如需画出曲线或相量图,应绘制在方格纸上。对实验中出现的问题进行讨论,得出体会。
- (7) 回答提出的思考题。

学生在实验后,应及时写好实验报告。每次实验报告与实验原始数据记录纸装订一起,按指定时间准时交给指导教师,否则不得进行下次实验。

1.3 实验中的几个问题

1.3.1 学生实验守则

学生在实验前应仔细阅读实验守则并严格执行,其内容如下:

- (1) 实验课前必须认真预习教程,写好预习报告,未预习者,不得进行本次实验。
- (2) 实验室内要保持安静和整洁。
- (3) 遵守“先接线后通电源,先断电源后拆线”的操作程序。严禁带电操作,遇到事故应立即关断电源,并报告教师处理。
- (4) 接线完毕后要仔细检查并经教师复查,确认无误后才能接通电源。做完实验,将数据整理后交给教师检查数据,检查结果正常后,方可拆除电路(注意:一定要先断电源,后拆线),做好整理工作。
- (5) 爱护国家财产,实验中因违反操作规则,损坏仪器设备者按制度负责赔偿。

1.3.2 人身安全和设备安全

要求切实遵守实验室各项安全操作规程,以确保实验过程中的安全。为此,应注意以下几个方面:

- (1) 不得擅自接通电源。
- (2) 不得触及带电部分,遵守“先接线后通电源,先断电源后拆线”的操作程序。
- (3) 发现异常现象(声响、过热、焦臭味等)应立刻断开电源,并及时报告指导教师检查。

(4) 注意仪器设备的规格、量程和操作规程,不了解性能和用法时不得随意使用该设备。

1.3.3 仪器仪表的选择与使用

注意仪器设备容量、参数要适当。工作电源电压不能超过额定值。仪器仪表种类、量程、准确度等级要合适。

1) 仪表量程的选择

(1) 电流表、电压表

仪表量程应大于被测电量,加大幅度一般在 1.1~1.5 倍,以减少测量误差。选用仪表时,被测值愈接近仪表的量程,则所测值精确度愈高。

例如:一只 300 V、0.5 级电压表,用来测量 250 V 和 25 V 电压时,其相对误差是大不相同的。因为该电压表的精度等级为 S,而 S 表达式为:

$$S\% = \frac{\Delta U_a}{U_m} \times 100\%$$

式中: U_m ——仪表量程值;

ΔU_a ——测量的最大绝对误差。

因此在 $S = \pm 0.5$, $U_m = 300$ V 时,测量的最大绝对误差 ΔU_a 为:

$$\Delta U_a = \frac{S \times U_m}{100} = \pm 0.5 \times \frac{300}{100} = \pm 1.5 \text{ V}$$

当用此表测 250 V 电压时引入的相对误差 R_{a1} 为:

$$R_{a1} = \pm \left(\frac{1.5}{250} \right) \times 100\% = \pm 0.6\%$$

而该表测 25 V 电压时引入的相对误差 R_{a2} 为:

$$R_{a2} = \pm \left(\frac{1.5}{25} \right) \times 100\% = \pm 6\%$$

可见,用 300 V 量程的电压表来测量 25 V 电压是不恰当的,故选用仪表时被测值愈接近仪表量程,所测值精确度愈高。

(2) 功率表

功率表的量程是电流量程与电压量程的乘积。但功率表一般不标功率量程,只标明电流量程和电压量程。因此,在选用功率表时,要使功率表中电流线圈和电压线圈的额定值(即量程值)大于被测负载的最大电流值和最大电压值。

(3) 调压器

交流实验中的电源有时采用调压器,调压器的输出电压是可调的。实验时,在将调压器接入电路前,应先将调压器的调节手轮(或旋钮)逆时针旋转到“0”位。如果调节调压器手轮(或旋钮)的丝杆滑丝,可将电压表接在调压器的副边通电检查,使电压表指示为零伏,以确保实验时,调压器的输出电压从零伏开始。当顺时针旋转调节手轮(或旋钮)时,要使实验电压从零伏缓慢上升,同时注意仪表指示是否正确,有无声响、冒烟、焦臭味及设备发烫等异常现象。一旦发生上述现象,应立即切断电源或把调压器的调节手轮(或旋钮)退到零位再切断电源,然后根据现象分析原因,查找故障。

2) 使用电子仪器的一般规则

(1) 预热

实验中常用的电子仪器有示波器、信号发生器、毫伏表、直流稳压电源,这些仪器都需要交流供电。为了保证仪器运行的稳定性和测量精度,一般需预热 3~5 min 后才能使用。

(2) 接地

实验中信号电压或电流在传递和测量时,易受到干扰。一般应注意以下两点:第一,各仪器和实验装置应实现共地,即把各仪器和实验装置的接地端可靠地接在一起。第二,各仪器及实验装置之间的连线尽可能短。

1.3.4 线路的连接

1) 合理布局

将仪器设备合理布置,使之便于操作、读数和接线。合理布局的原则是:安全、方便、整齐,防止相互影响。

2) 正确连线

接线前先弄清楚电路图上的结点与实验电路中各元件接头的对应关系,先把元件参数调到应有的数值,调压设备及电源设备应放在输出电压最小的位置上,然后按电路图接线。

根据电路的结构特点,选择合理的接线步骤,一般是“先串后并,先主后辅”。实验线路应力求接得简单、清楚、便于检查。走线要合理,导线的长度、粗细选择适当,防止连线短路。接线端头不要过于集中于某一点,电表接头上非不得已不接两根导线。接线松紧要适当,不允许在线路中出现没固定端钮的裸露接头。

1.3.5 操作、观察、读数和记录

操作时要注意:手合电源、眼观全局;先看现象,再读数据。数据测量和实验观察是实验的核心部分,读数前一定要先弄清仪表的量程和表盘上每一小格(刻度)所代表的实际数值,仪表的实际读数为:

$$\text{实际读数} = \frac{\text{使用量程}}{\text{刻度极限值}} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

对于普通功率表,其读数值为:

$$\text{实际读数} = \frac{\text{电压量程} \times \text{电流量程}}{\text{刻度极限值}} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

对于低功率因数功率表,其读数值为:

$$\text{实际读数} = \frac{\text{电压量程} \times \text{电流量程} \times 0.2}{\text{刻度极限值}} \times \text{指针指数} = K \times \text{指针指数}$$

上列式中, K 为仪表某量程时每一小格代表的数值。

正确读取数据,读数时注意姿势要正确。要求“眼、针、影成一线”,即读数时应使自己的视线同仪表的刻度标尺相垂直。当刻度标尺下有弧形玻璃片时,要看到指针和镜片中的指针影子完全重合时,才能开始读数。要随时观察和分析数据。测量时既要忠实于仪表读数,又要观

察和分析数据的变化。

数据记录要求完整,力求表格化,一目了然。数据须记在规定的实验原始数据记录纸上,要尊重原始记录,实验后不得随意涂改。交报告时须将原始记录一起附上。

波形、曲线一律画在坐标纸上,坐标要适当。在标轴上应注明量的符号和单位,标明比例和波形、曲线的名称。

1.3.6 故障的分析

实验过程中常会遇到因断线、接错线等原因造成的故障,使电路工作不正常,严重时可能损坏设备,甚至危及人身安全。为尽量避免故障的出现,实验前一定要预习,实验中,按电路图有顺序地接线,避免在同一段钮上接很多导线,接线完毕后应对电路认真检查,不要急于通电。

在实验课上出现一些故障是难免的,关键是学生在出现故障时能够通过自己的分析,检查并找出故障原因,使实验顺利进行下去,从而提高分析问题和解决问题的能力。

处理故障的一般步骤是:

(1) 若电路出现短路现象或其他损坏设备的故障时,应立即切断电源查找故障。一般首先检查接线是否正确。

(2) 根据出现的故障现象和电路的具体结构判断故障的原因,确定可能发生故障的范围。

(3) 逐步缩小故障范围,直到找出故障点为止。

另外,也可用万用表、电压表来检查故障。

总之,在实验过程中遇到故障时,要耐心细致地去分析查找或请老师帮助检查,切不可遇难而退,只有动脑筋分析查找故障,才能提高自己分析问题和解决问题的能力,才能在实验过程中培养严肃认真的科学态度和细致踏实的实验作风。具有良好的实验基本技能,才能为今后的专业实验、生产实践与科学研究打下坚实的基础。

实际操作实验内容

本章共有 13 个实验,它覆盖了《电路》教科书的主要内容。实验课可根据实际教学时数选做其中部分实验。

2.1(实验 1) 元件特性的伏安测量法

2.1.1 实验目的

- (1) 学习测量线性和非线性定常电阻伏安特性的方法。
- (2) 加深线性元件的可加性和齐次性的理解。
- (3) 学习用图解法作出线性电阻的串并联特性。
- (4) 研究实际独立电源的外特性。
- (5) 学会直流稳压电源和直流电压表、电流表的使用方法。

2.1.2 实验原理

(1) 电阻的伏安特性

线性定常电阻的伏安特性曲线是由 $u-i$ 平面(或 $i-u$ 平面)上的一条通过原点的直线来表示,如图 2.1.1(a)所示。非线性定常电阻的伏安特性曲线则是由 $u-i$ 平面上的一条曲线来表示。非线性电阻可分双向型(对称原点)和单向型(不对称原点)两类。图 2.1.1(b)、(c)、(d)、(e)、(f)分别为钨丝电阻(灯泡)、稳压管、充气二极管、隧道二极管和普通二极管的 $u-i$ 特性曲线。

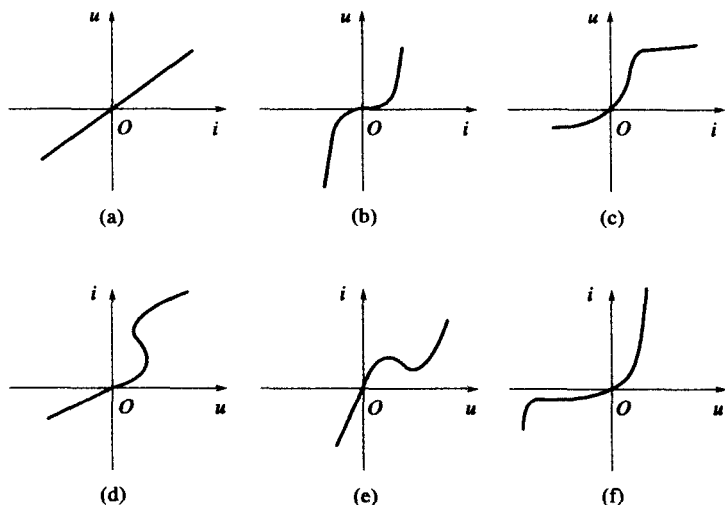
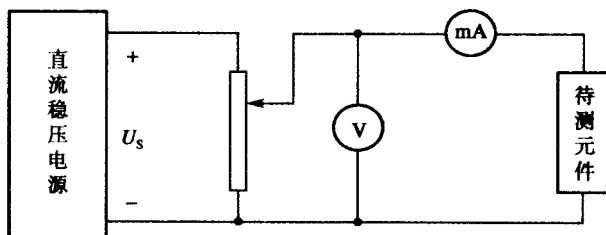


图 2.1.1 电阻的伏安特性曲线

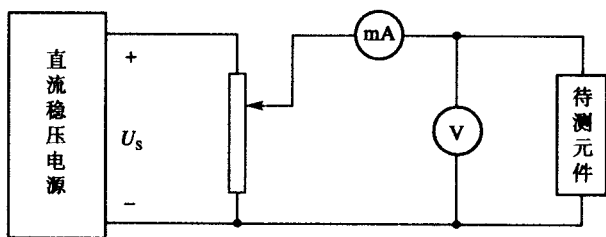
其中图 2.1.1(c)、(d)为电流控制型非线性电阻,图 2.1.1(e)为电压控制型非线性电阻,其余(b)、(f)为单调型非线性电阻。非线性电阻种类很多,由于它们的特性各异,被广泛应用在工程检测(传感器)、保护和控制电路中。

(2) 电阻伏安特性的测量

电阻的伏安特性可以通过在电阻上施加电压,测量电阻中的电流来获得,如图 2.1.2 所示,在测量过程中,只用到电压表(伏特表)、电流表(安培表),此法称为伏安法。伏安法的最大优点是不仅能测量线性电阻的伏安特性,而且能测量非线性电阻的伏安特性。由于电压表的内阻不是无限大,电流表的内阻不为零,因此,无论图 2.1.2(a)或(b)的接线方式都会给测量带来一定的误差。比较而言,电压表的前接法(图 2.1.2(a)),适合于测量阻值较大的电阻,而电压表的后接法(图 2.1.2(b)),适用于测量阻值较小的电阻。



(a) 电压表的前接法



(b) 电压表的后接法

图 2.1.2 测量电阻伏安特性的电路

(3) 电阻端电压与电流的关系

线性定常电阻的端电压 $u(t)$ 与其电流 $i(t)$ 之间的关系符合欧姆定律,即

$$u(t) = Ri(t)$$

或

$$i(t) = Gu(t)$$

式中, R 称为电阻, G 称为电导,都是与电压、电流和时间无关的常量。上式表明,对于线性定常电阻, $u(t)$ 是 $i(t)$ 的线性函数(或 $i(t)$ 是 $u(t)$ 的线性函数),满足可加性和齐次性。亦即:

若

$$u_1(t) = Ri_1(t)$$

$$u_2(t) = Ri_2(t)$$

则有

$$u(t) = R[i_1(t) + i_2(t)] = u_1(t) + u_2(t)$$

又若

$$u_1(t) = Ri_1(t)$$

则有

$$u(t) = R[\alpha i_1(t)] = \alpha u_1(t)$$

(4) 电阻的串联和并联

线性定常电阻的端电压 $u(t)$ 是其电流 $i(t)$ 的单值函数, 反之亦然。两个线性电阻串联后的 $u-i$ 特性曲线可由 u_1-i 和 u_2-i 对应的 i 叠加而得(对应于图 2.1.3(b)中的 $u = f(i)$ 特性曲线)。对于两个线性电阻并联后的 $i-u$ 特性曲线可由 i_1-u 和 i_2-u 对应的 u 叠加而得到(对应于图 2.1.4(b)中的 $i = g(u)$ 特性曲线)。

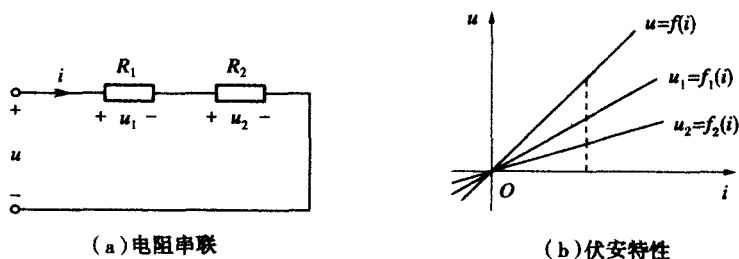


图 2.1.3 电阻的串联及其特性曲线

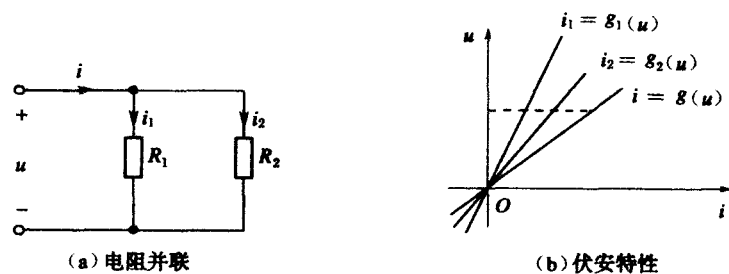


图 2.1.4 电阻的并联及其特性曲线

(5) 电压源的伏安特性

理想电压源的端电压 $u_s(t)$ 是确定的时间函数, 与流过电压源中的电流大小无关。如果 $u_s(t)$ 不随时间变化(即为常数), 则该电压源称为理想的直流电压源 U_s , 其伏安特性曲线如图 2.1.5 中曲线 a 所示。实际电压源的特性曲线如图 2.1.5 中曲线 b 所示, 它可以用一个理想电压源 U_s 和电阻 R_s 相串联的电路模型来表示(图 2.1.6)。显然, R_s 越大, 图 2.1.5 中的角 θ 也越大, 其正切的绝对值代表实际电压源的内阻值 R_s 。

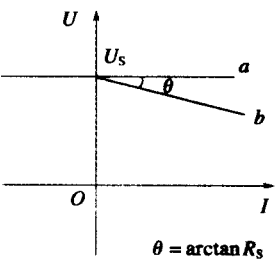


图 2.1.5 电压源的伏安特性

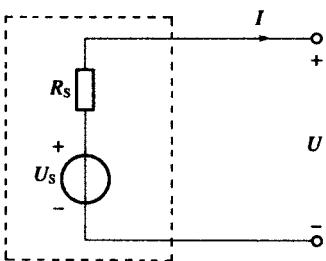


图 2.1.6 实际电压源的电路模型

2.1.3 实验任务

- (1) 采用图 2.1.2(b)的电路分别测定小阻值线性电阻 R_1 和 R_2 的伏安特性曲线。
 - (2) 采用同一电路测定电阻 R_1 和 R_2 串联后的总电阻的伏安特性曲线。
 - (3) 采用同一电路测定电阻 R_1 和 R_2 并联后的总电阻的伏安特性曲线。
- 以上三项任务的测试数据记录在表 2.1.1 中。

表 2.1.1 实验任务(1)~(3)测量数据

任务	待测项目	1	2	3	4	5	6	7	8
	$u(V)$								
1	流过 R_1 的电流(mA)								
	流过 R_2 的电流(mA)								
2	R_1 和 R_2 串联时的总电流(mA)								
3	R_1 和 R_2 并联时的总电流(mA)								

(4) 采用图 2.1.7 所示电路,测量一非线性电阻(二极管 D)的伏安特性曲线。图 2.1.7(a)为测量二极管正向特性的连接图,图 2.1.7(b)为测量二极管反向特性的连接图。串联电阻 R_0 作为限流保护电阻。在测二极管反向特性时,电流表换接微安表,电压表一端接在微安表正极上。在测二极管正向特性时,正向电流值不要超过二极管最大整流电流值 ($I_m=16\text{ mA}$)。实验数据记录于表 2.1.2 中(注意 $470\text{ }\Omega$ 电位器电阻 R 应先调至最小值后再接入电路)。直流稳压电源输出电压 $U_S=6\text{ V}$ 。

表 2.1.2 实验任务(4)测量数据

正向实验	电压(V)	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9		
	电流(mA)								$<10\text{ mA}^*$
	动态电阻(Ω)								
反向实验	电压(V)	1	2	3	4	5	6		
	电流(μA)								
	动态电阻(Ω)								

* 注:为了防止二极管损坏,通过二极管的正确电流应小于 10 mA 。