



普通高等教育“十三五”创新型规划教材
电工电子实验精品系列

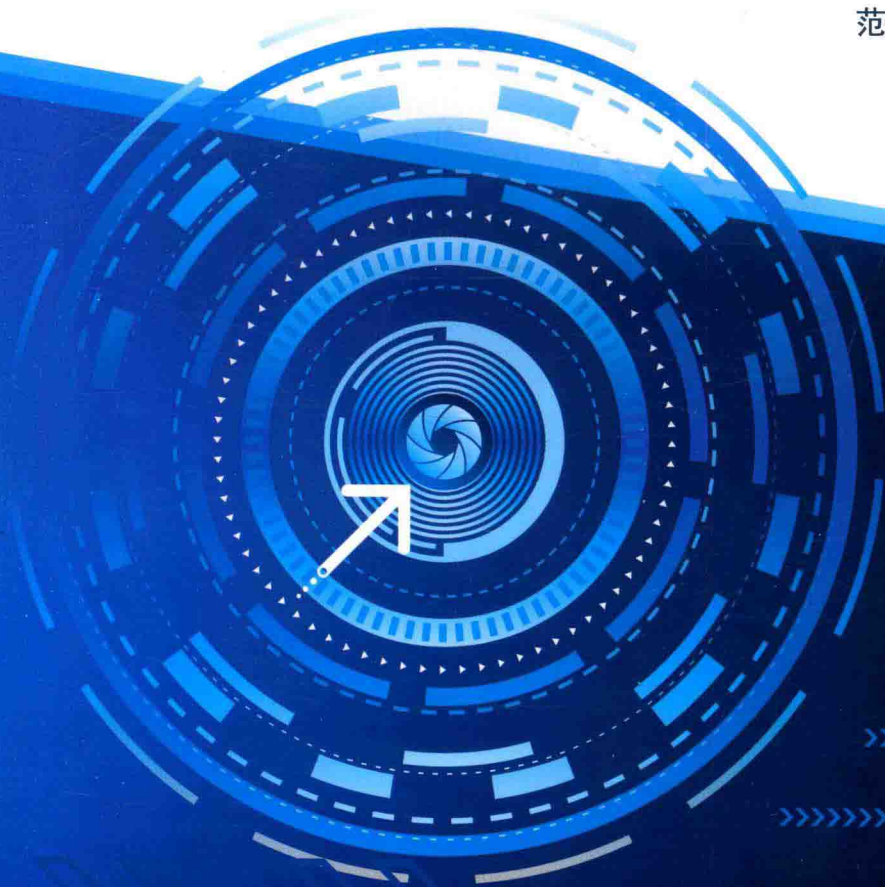
电学基础实验指导

电路部分

DIANXUE JICHU SHIYAN ZHIDAO

DIANLU BUFEN

范长胜 主 编 >>



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十三五”创新型规划教材·电工电子实验精品系列

电学基础实验指导 ——电路部分

范长胜 主 编



哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

《电学基础实验指导——电路部分》一书是密切配合“电路理论”“电工电子学”等基础课程电路部分教学的实验教材。本书共分为验证性实验,创新、设计、开放、综合性实验和安全用电三部分内容。通过电路实验的动手实践,学生能形成理论联系实际的工程观点,培养提高科学思维能力和实验研究能力。同时,作为相关理论课程电路部分的补充,可使学生掌握电路的基本理论和分析方法,培养学生勇于实践与创新的意识和精神,并为后续课程准备必要的电路知识和实践技能。

本书可作为普通高等院校电类及非电类专业的实验课教材或参考书,也可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电学基础实验指导:电路部分/范长胜主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2018.8
ISBN 978-7-5603-7621-9

I. ①电… II. ①范… III. ①电路-实验-教材
IV. ①TM13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 195411 号

策划编辑 王桂芝
责任编辑 李长波 张艳丽
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨久利印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 6.75 字数 150 千字
版 次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-7621-9
定 价 19.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

普通高等教育“十三五”创新型规划教材

电工电子实验精品系列

编 委 会

主 任 吴建强

顾 问 徐颖琪 梁 宏

编 委 (按姓氏笔画排序)

尹 明 付光杰 刘大力 苏晓东

李万臣 宋起超 果 莉 房国志

序

电工、电子技术课程具有理论与实践紧密结合的特点,是工科电类、非电类各专业必修的技术基础课程。电工、电子技术课程的实验教学在整个教学过程中占有非常重要的地位,对培养学生的科学思维方法、提高动手能力、实践创新能力及综合素质等起着非常重要的作用,有着其他教学环节不可替代的作用。

根据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010~2020)》及《卓越工程师教育培养计划》“全面提高高等教育质量”、“提高人才培养质量”、“提升科学研究水平”、支持学生参与科学研究和强化实践教学环节的指导精神,我国各高校在实验教学改革和实验教学建设等方面也都面临着更大的挑战。如何激发学生的学习兴趣,通过实验、课程设计等多种实践形式夯实理论基础,提高学生对科学实验与研究的兴趣,引导学生积极参与工程实践及各类科技创新活动,已经成为目前各高校实验教学面临的必须加以解决的重要课题。

长期以来实验教材存在各自为政、各校为政的现象,实验教学核心内容不突出,一定程度上阻碍了实验教学水平的提升,对学生实践动手能力的培养提高存有一定的弊端。此次,黑龙江省各高校在省教育厅高等教育处的支持与指导下,为促进黑龙江省电工、电子技术实验教学及实验室管理水平的提高,成立了“黑龙江省高校电工电子实验教学研究会”,在黑龙江省各高校实验教师间搭建了一个沟通交流的平台,共享实验教学成果及实验室资源。在研究会的精心策划下,根据国家对应用型人才培养的要求,结合黑龙江省各高校电工、电子技术实验教学的实际情况,组织编写了“普通高等教育‘十二五’创新型规划教材·电工电子实验精品系列”,包括《模拟电子技术实验教程》《数字电子技术实验教程》《电路原理实验教程》《电工学实验教程》《电工电子技术 Multisim 仿真实践》《电子工艺实训指导》《电子电路课程设计与实践》《大学生科技创新实践》等。该系列教材经过几年的使用,反响很好,故在原有基础上延续拓展,形成“普通高等教育‘十三五’创新型规划教材·电工电子实验精品系列”。

该系列教材具有以下特色:

1. 强调完整的实验知识体系

系列教材从实验教学知识体系出发统筹规划实验教学内容,做到知识点全面覆盖,杜绝交叉重复。每个实验项目只针对实验内容,不涉及具体实验设备,体现了该系列教材的普适通用性。

2. 突出层次化实践能力的培养

系列教材根据学生认知规律,按必备实验技能—课程设计—科技创新,分层次、分类型统一规划,如《模拟电子技术实验教程》《数字电子技术实验教程》《电工学实验教程》《电路原理实验教程》,主要侧重使学生掌握基本实验技能,然后过渡到验证性、简单的综合设计性实验;而《电子电路课程设计与实践》和《大学生科技创新实践》,重点放在让学生循序渐进掌握比较复杂的较大型系统的设计方法,提高学生动手和参与科

技创新的能力。

3. 强调培养学生全面的工程意识和实践能力

系列教材中《电工电子技术 Multisim 仿真实践》指导学生如何利用软件实现理论、仿真、实验相结合,加深学生对基础理论的理解,将设计前置,以提高设计水平;《电子工艺实训指导》中精选了 11 个符合高校实际课程需要的实训项目,使学生通过整机的装配与调试,进一步拓展其专业技能。并且系列教材中针对实验及工程中的常见问题和故障现象,给出了分析解决思路、必要的提示及排除故障的常见方法,从而帮助学生树立全面的工程意识,提高分析问题、解决问题的实践能力。

4. 共享网络资源,同步提高

随着多媒体技术在实验教学中的广泛应用,实验教学知识也面临着资源共享的问题。该系列教材在编写过程中吸取了各校实验教学资源建设中的成果,同时拥有与之配套的网络共享资源,全方位满足各校实验教学的基本要求和提升需求,达到了资源共享、同步提高的目的。

该系列教材由黑龙江省十几所高校多年从事电工电子理论及实验教学的优秀教师共同编写,是他们长期积累的教学经验、教改成果的全面总结与展示。

我们深信:这套系列教材的出版,对于推动高等学校电工电子实验教学改革、提高学生实践动手及科研创新能力,必将起到重要作用。

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会副主任委员
中国高等学校电工学会理事长
黑龙江省高校电工电子实验教学研究会理事长
哈尔滨工业大学电气工程及自动化学院教授



2016 年 7 月于哈尔滨



前 言

电路实验是电路课程教学中不可缺少的实践环节,目的是通过实验帮助学生获得必要的感性知识,进一步巩固和掌握所学的理论内容;通过实验,培养学生的实验技能,提高实际的动手操作能力,锻炼学生独立分析问题和解决问题的能力;通过实验,了解常用电工仪表的测量与使用方法,并掌握实验数据处理、结果分析、编写实验报告的方法;通过实验,培养学生严肃认真、实事求是的科学作风。

本实验指导书是根据电类专业“电路理论”和非电类专业“电工电子学”课程的教学大纲和要求,在已有的电路实验的基础上,结合实验设备和条件,根据近年来课程教学改革、学科发展要求,逐步修改、充实、完善而成。本实验指导书结合教学内容,编写了直流电路及交流电路的相关实验内容,在实验内容后均提出了实验报告的要求和预习思考题,以帮助学生更好地分析和总结相关实验的理论知识,提高对相关实验内容(包括仪器仪表的使用)和实验方法的认识。

由于编者的水平所限,书中难免存在疏漏和不足,欢迎广大读者提出宝贵意见,以便改进、完善。

编 者

2018年6月



目 录

第 1 章 验证性实验	1
实验 1 电路元件伏安特性的测绘	1
实验 2 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	6
实验 3 受控源 VCVS、VCCS、CCVS、CCCS 的实验研究	9
实验 4 基尔霍夫定律的验证	15
实验 5 电压源与电流源的等效变换	19
实验 6 叠加原理的验证	24
实验 7 戴维宁定理验证——有源二端网络等效参数测定	27
实验 8 交流电路等效参数的测量	32
实验 9 日光灯工作原理及功率因数的提高	36
实验 10 RC 一阶电路的响应测试	41
实验 11 三相交流电路电压、电流的测量	45
实验 12 三相电路功率的测量	49
实验 13 二端口网络测试	53
实验 14 直流电路分析与仿真	57
实验 15 交流电路分析与仿真	60
第 2 章 创新、设计、开放、综合性实验	63
实验 1 典型电信号的观察与测量	63
实验 2 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定	67
实验 3 减小仪表测量误差的方法	70
实验 4 基本电工仪表的使用及测量误差的计算	76
实验 5 仪表量程扩展实验	82
实验 6 直流电路仿真综合实验	86



第3章 安全用电	92
3.1 安全用电知识	92
3.2 电工安全操作知识	93
3.3 触电的危害性	93
参考文献	96



第 1 章 验证性实验

实验 1 电路元件伏安特性的测绘

一、实验目的

1. 学会识别常用电路元件的方法。
2. 掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的逐点测试法。
3. 掌握实验台上直流电工仪表和设备的使用方法。

二、原理说明

任何一个电气二端元件的特性均可用该元件上的端电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的函数关系 $I=f(U)$ 来表示,即用纵坐标表示电流 I 、横坐标表示电压 U ,以此画出 $U-I$ 曲线,这条曲线称为该元件的伏安特性曲线。

1. 线性电阻器的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线,如图 1.1.1 中的直线 a 所示,该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。

2. 一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态,其灯丝电阻随着温度的升高而增大,通过白炽灯的电流越大,其温度越高,阻值也越大,一般灯泡的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍甚至十几倍,所以它的伏安特性如图 1.1.1 中曲线 b 所示。

3. 一般的半导体二极管(简称二极管)是一个非线性电阻元件,其伏安特性如图 1.1.1 中曲线 c 所示。正向压降很小(锗管为 $0.2 \sim 0.3 \text{ V}$,硅管为 $0.5 \sim 0.7 \text{ V}$),正向电流随正向压降的升高而急骤上升,而反向电压从 0 V 一直增加到十几至几十伏时,其反向电流增加很小,粗略地可视为 0 mA 。可见,二极管具有单向导电性,但是如果反向电压加得过高,超过二极管的极限值,则会导致二极管击穿损坏。

4. 稳压二极管是一种特殊的二极管,其正向特性与普通二极管类似,但其反向特性较特别,如图 1.1.1 中第三象限的曲线 d 所示。在反向电压开始增加时,其反向电流几乎为 0 ,但当电压增加到某一数值(称为管子的稳压值,有各种不同稳压值的稳压管)时,电流将突然增

加,以后它的端电压将基本维持恒定,当外加的反向电压继续升高时其端电压仅有少量增加。

注意:流过二极管或稳压二极管的电流不能超过二极管的极限值,否则二极管会烧坏。

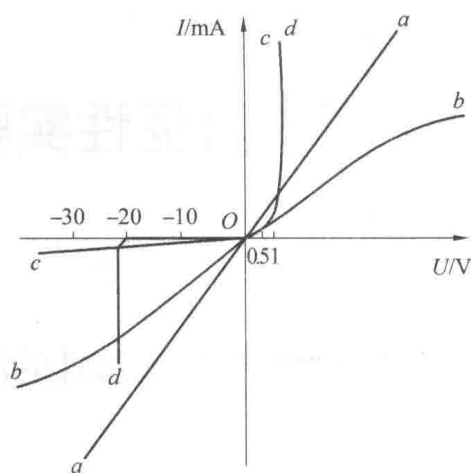


图 1.1.1

三、实验设备(表 1.1.1)

表 1.1.1

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0 ~ 30 V	1	
2	万用表	FM-30 或其他	1	
3	直流数字毫安表	0 ~ 500 mA	1	
4	直流数字电压表	0 ~ 300 V	1	
5	二极管	1N4007	1	HE-11
6	稳压二极管	2CW51	1	HE-11
7	白炽灯	12 V, 0.1 A	1	HE-11
8	线性电阻器	200 Ω, 510 Ω/2 W	1	HE-11

四、实验内容

1. 测定线性电阻器的伏安特性。

按图 1.1.2 所示电路接线,调节可调直流稳压电源的输出电压 U ,从 0 V 开始缓慢地增加,一直到 10 V,记下相应的电压表和电流表的读数 U_R 和 I ,将其填入表 1.1.2 中。

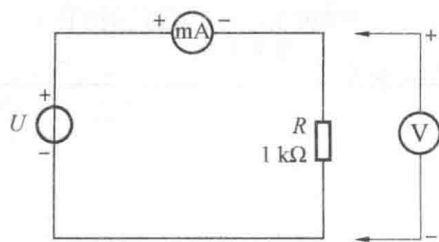


图 1.1.2

表 1.1.2

U_R/V	0	2	4	6	8	10
I/mA						

2. 测定非线性白炽灯的伏安特性。

将图 1.1.2 所示电路中的 R 换成一只 12 V、0.1 A 的白炽灯,重复实验内容 1 的测量。 U_L 为灯泡的端电压,将测量值填到表 1.1.3 中。

表 1.1.3

U_L/V	0.1	0.5	1	2	3	4	5
I/mA							

3. 测定二极管的伏安特性。

按图 1.1.3 所示电路接线, R 为限流电阻器。测二极管 D 的正向特性时,其正向电流不得超过 35 mA,二极管 D 的正向压降 U_{D+} 可在 0~0.75 V 之间取值,在 0.5~0.75 V 之间应多取几个测量点。测反向特性时,只需将图 1.1.3 中的二极管 D 反接,且其反向电压 U_{D-} 可加到 30 V。将测量值分别填到表 1.1.4、表 1.1.5 中。

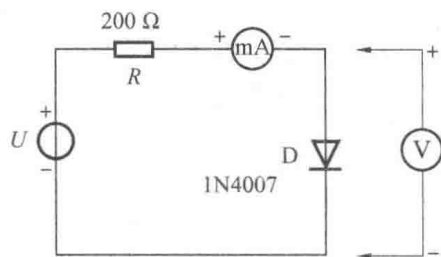


图 1.1.3

表 1.1.4

U_{D+}/V	0.10	0.30	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
I/mA								



表 1.1.5

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

4. 测定稳压二极管的伏安特性。

(1) 正向特性实验:将图 1.1.3 中的二极管 D 换成稳压二极管 2CW51,重复实验内容 3 中的正向特性测量步骤。 U_{z+} 为稳压二极管 2CW51 的正向电压降。将测量值填到表 1.1.6 中。

表 1.1.6

U_{z+}/V	
I/mA	

(2) 反向特性实验:将图 1.1.3 中的 R 换成 $510\ \Omega$,将稳压二极管 2CW51 反接,测量其反向特性。可调直流稳压电源的输出电压 U_0 在 $0\sim 20\ V$ 进行调节,测量稳压二极管 2CW51 的反向电压降 U_{z-} 及电流 I ,由 U_{z-} 可看出其稳压特性。将测量值填到表 1.1.7 中。

表 1.1.7

U_0/V	
U_{z-}/V	
I/mA	

五、实验注意事项

1. 测二极管正向特性时,可调直流稳压电源输出应由小至大逐渐增加,应时刻注意直流数字毫安表读数不得超过 $35\ mA$ 。可调直流稳压电源输出端切勿碰线,以免短路。
2. 如果要测定实验箱上二极管 2AP9 的伏安特性,则测正向特性的电压值应取 $0, 0.10, 0.13, 0.15, 0.17, 0.19, 0.21, 0.24, 0.30(V)$,测反向特性的电压值取 $0, 2, 4, \dots, 10(V)$ 。
3. 进行不同实验时,应先估算电压和电流值,合理选择仪表的量程,勿使仪表超量程,仪表的极性亦不可接错。

六、思考题

1. 线性电阻与非线性电阻的概念是什么?电阻器与二极管的伏安特性有何区别?
2. 设某器件伏安特性曲线的函数式为 $I=f(U)$,试问:在逐点绘制曲线时,其坐标变量应如何放置?

3. 稳压二极管与普通二极管有何区别? 其用途如何?
4. 在图 1.1.3 中, 设 $U=2\text{ V}$, $U_{D+}=0.7\text{ V}$, 则直流数字毫安表读数为多少?

七、实验报告

1. 根据各实验结果数据, 分别在方格纸上绘制出光滑的伏安特性曲线。(其中二极管和稳压二极管的正、反向特性均要求画在同一张图中, 正、反向电压可采用不同的比例尺)
2. 根据实验结果, 总结、归纳被测各元件的特性。
3. 进行必要的误差分析。
4. 心得体会及其他。

实验2 电位、电压的测定及电路电位图的绘制

一、实验目的

1. 用实验证明电路中电位的相对性和电压的绝对性。
2. 掌握电路电位图的绘制方法。

二、原理说明

在一个确定的闭合电路中,各点电位的高低因所选的电位参考点的不同而变化,但任意两点间的电位差(即电压)则是绝对的,它不因参考点电位的变动而改变。根据此性质,可用一只电压表测量出电路中各点相对于参考点的电位及任意两点间的电压。

电位图是一种平面坐标系中一、四两象限内的折线图,其纵坐标为电位值,横坐标为各被测点。要制作某一电路的电位图,先以一定的顺序对电路中各被测点编号。以图 1.2.1 所示的电路为例,图中的被测点为 A~F,在坐标横轴上按顺序、间隔均匀地标上 A、B、C、D、E、F、A。再根据测得的各点电位值,在各点所在的垂直线上描点。用直线依次连接相邻两个电位点,即得该电路的电位图。

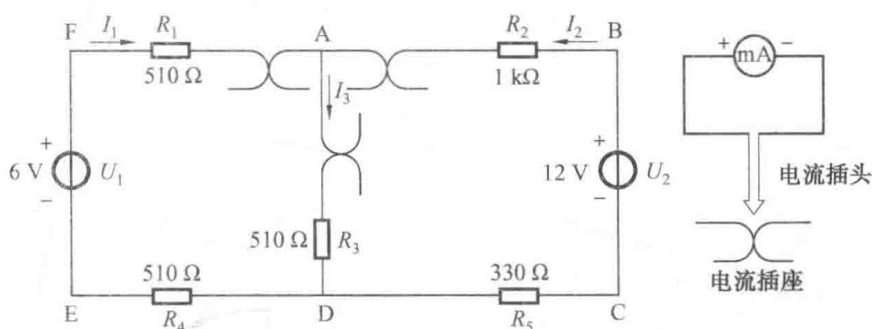


图 1.2.1

在电位图中,任意两个被测点的纵坐标值之差即为该两点之间的电压值。

在电路中,电位参考点可任意选定。对于不同的参考点,所绘出的电位图形是不同的,但其各点电位变化的规律却是一样的。

三、实验设备(表 1.2.1)

表 1.2.1

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0~30 V	两路	
2	万用表		1	自备
3	电压表	0~300 V	1	
4	电位、电压测定实验电路板		1	HE-12

四、实验内容

利用 HE-12 实验箱上的“基尔霍夫定律/叠加原理”线路,按图 1.2.1 所示电路接线。

1. 分别将两路可调直流稳压电源接入电路中,令 $U_1 = 6\text{ V}$, $U_2 = 12\text{ V}$ 。(先调准输出电压值,再接入实验线路中)

2. 以图 1.2.1 中的 A 点作为电位参考点,分别测量 B、C、D、E、F 各点的电位值 φ 及相邻两点之间的电压值 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DE} 、 U_{EF} 及 U_{FA} ,数据列于表 1.2.2 中。

3. 以 D 点作为电位参考点,重复实验内容 2 的测量,测得数据也列于表 1.2.2 中。

表 1.2.2

V

电 位 参考点	φ 与 U	φ_A	φ_B	φ_C	φ_D	φ_E	φ_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												

五、实验注意事项

1. 本实验线路板可多个实验通用,本次实验中不使用电流插头和插座。HE-12 实验箱上的 K_3 应拨向 $330\ \Omega$ 侧,三个故障按键均不得按下。

2. 测量电位时,若用指针式万用表的直流电压挡或用数显电压表测量时,则用负表棒(黑色)接电位参考点,用正表棒(红色)接被测各点。若指针正向偏转或数显电压表显示正值,则表明该点电位为正(即高于参考点电位);若指针反向偏转或数显电压表显示负值,此时应调



换表棒,然后读出数值,并在电位值之前加负号(表明该点电位低于参考点电位)。数显电压表也可不调换表棒,直接读出负值。

六、思考题

若以 F 点为电位参考点,实验测得各点的电位值;然后以 E 点作为电位参考点,试问此时各点的电位值应如何变化?

七、实验报告

1. 根据实验数据,绘制两个电位图形,并对照观察各对应两点间的电压变化情况。虽然两个电位图的参考点不同,但各点的相对顺序应一致,以便对照。

2. 完成数据表格中的计算,对误差做必要的分析。

3. 总结电位相对性和电压绝对性的原理。

4. 心得体会及其他。