

主 编 肖海荣 张晓军
副主编 刘文江 张建军
参 编 杨 娜

电工实验教程

DIANGONG SHIYAN JIAOCHENG

电工实验教程

主 编 肖海荣 张晓军
副主编 刘文江 张建军
参 编 杨 娜

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书介绍了电工技术实验基础知识、电工测量与仪表基础知识、常用电工仪表仪器等内容；对电路基础实验、动态电路分析实验、交流电路分析实验、三相交流电路实验、二端口网络分析实验以及电动机控制实验等内容做了相应的实验安排；考虑到现代控制技术的发展，又对可编程控制器的常见应用安排了一定的实验。

本书可作为高等职业院校“电路”、“电工技术”、“电工学”等课程及相关学科专业的实验教材，也可供相关技术人员阅读参考。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电工实验教程/肖海荣, 张晓军主编. --北京: 清华大学出版社, 2014

ISBN 978-7-302-37389-6

I. ①电… II. ①肖… ②张… III. ①电工实验—教材 IV. ①TM—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 162988 号

责任编辑: 孙 坚

封面设计: 常雪影

责任校对: 赵丽敏

责任印制: 刘海龙

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 三河市少明印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 9.75 字 数: 238 千字

版 次: 2014 年 9 月第 1 版 印 次: 2014 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 22.00 元

产品编号: 060775-01

电工学是研究电能在技术领域中的应用的技术基础课程,它也是研究电磁现象及其应用的学科。电能广泛应用于国民经济和社会生活的方方面面,像基础工业(运输、铁路、冶金、化工、机械)、高新技术(生物、光学、半导体、卫星、空间站、核弹、导弹等)都离不开电能的支持。实践是学好电工学的必要条件,电工实验教程对相应的实验做了较详细的安排。

本书从提高学生综合素质的角度出发,使初学者对电器元件及电路的联接与调试有一定的感性和理性认识,了解一些线路原理以及通过线路图联接、调试的方法;对电工技术等方面的知识做初步的理解。锻炼学生的实际动手能力,使理论知识与实践充分地结合,培养不仅具有专业知识,而且还具有较强的实际操作能力能分析问题和解决问题,并且注重团队合作、共同探讨、共同前进的精神的高素质人才。

本书的具体结构可分为两大部分:第一部分是电工学基础知识实验,例如:元件的线性非线性实验、电工仪表误差、电路原理定律等实验、动态电路分析实验、交流电路分析实验、三相交流电路实验、二端口网络分析实验等。第二部分是电气控制实验,例如:三相异步电动机点动、长动,降压启动以及可编程控制器的实验。

该书的附录介绍了常用仪器仪表的知识,可作为常识阅读。

教程中的实验大多是验证性的,缺乏开放性的和设计性的实验,这需要进一步的工作以适应更高级别的教学要求,做到与时俱进。

由于作者的学术水平的局限性和写作过程中的疏漏,书中肯定有不正确、不准确的地方出现,希望广大的读者不吝赐教,以便改正。

编者
2014年6月

CONTENTS

目 录

实 验 一	电工仪表的使用与测量误差的计算	1
实 验 二	线性与非线性元件伏安特性的测绘	5
实 验 三	电位、电压的测定及电路电位图的绘制	9
实 验 四	基尔霍夫定律的验证	12
实 验 五	线性电路叠加性和齐次性验证	15
实 验 六	电压源、电流源及其电源等效变换	18
实 验 七	戴维南定理和诺顿定理的验证	22
实 验 八	最大功率传输条件的研究	27
实 验 九	受控源研究	30
实 验 十	直流双口网络的研究	36
实 验 十 一	互易定理	40
实 验 十 二	典型周期性电信号的观察和测量	44
实 验 十 三	RC 一阶电路的响应测试	47
实 验 十 四	二阶动态电路响应的研究	51
实 验 十 五	R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定	55
实 验 十 六	RC 串、并联选频网络特性的测试	59
实 验 十 七	R 、 L 、 C 串联谐振电路的研究	63
实 验 十 八	交流电路等效参数的测量	66
实 验 十 九	正弦稳态交流电路相量的研究	69
实 验 二 十	单相变压器特性的测试	73

实验二十一	三相电路电压、电流的测量	78
实验二十二	三相电路功率的测量	82
实验二十三	单相电度表的校验	86
实验二十四	功率因数表的使用及相序测量	89
实验二十五	负阻抗变换器	92
实验二十六	回转器特性测试	96
实验二十七	三相异步电动机的继电接触控制	100
实验二十八	三相异步电动机顺序控制	103
实验二十九	用 PLC 进行三相异步电动机正、反转控制线路设计	106
实验三十	用 PLC 进行三相异步电动机 Y/ Δ 启动控制线路设计	109
实验三十一	用 PLC 进行十字路口交通灯的控制线路设计	112
实验三十二	用 PLC 进行机械手的控制线路设计	116
实验三十三	用 PLC 进行四层电梯的控制线路设计	121
附录		143
参考文献		150

实验一

电工仪表的使用与测量误差的计算

一、实验目的

1. 熟悉实验台上仪表的使用及布局。
2. 熟悉恒压源与恒流源的使用及布局。
3. 掌握电压表、电流表内阻的测量方法。
4. 掌握电工仪表测量误差的计算方法。

二、实验原理

在实际电路测量中,电压表在测量两节点电压时应与该两节点并联联接,电流表在测量某一支路电流时应串接在该支路中,因此,必须要求电压表内阻为无穷大,电流表内阻为零,但实际使用的电工仪表一般都不能满足上述要求,它们不可能为无穷大或者为零,因此当仪表接入电路时都会使电路原来的状态发生变化,使被测的读数值与电路原来实际值之间产生误差,这种测量误差的大小与仪表本身内阻的大小密切相关。

1. 电工仪表内阻测量方法

(1) 电流表内阻的测量方法

本实验测量电流表内阻采用“分流法”,如图 1-1 所示,A 为被测内阻(R_A)的直流电流表,测量前先断开开关 S,调节电流源的输出电流 I 使 A 表指针满偏转然后合上开关 S,并保持 I 不变,调节电阻箱 R 的阻值,使电流表 A 的指针指在 $1/2$ 满偏位置,此时

$$I_A = I_S = \frac{I}{2}$$

$$R_A = R // R_1 = \frac{R \cdot R_1}{R + R_1}$$

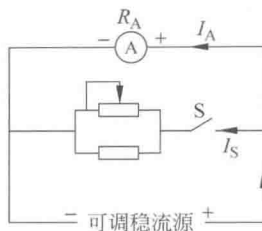


图 1-1

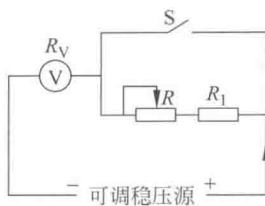


图 1-2

(2) 电压表内阻的测量方法

测量电压表的内阻采用分压法,如图 1-2 所示。 V 为被测内阻(R_V)的电压表,测量时先将开关 S 闭合,调节直流稳压源的输出电压,使电压表 V 的指针满偏转指示为 V_1 ,然后断开开关 S ,调节 R 使电压表 V 的指示值减半。此时有:

$$R_V = R + R_1$$

在十进制可变电阻箱上读出 R 加上固定电阻 R_1 ,即为被测电压表的内阻值,此时,电压表的灵敏度为:

$$S = R_V/V_1$$

2. 电工仪表测量误差的算法

仪表内阻引入的测量误差称为方法误差,而仪表本身构造上引起的误差称为仪表基本误差。现在暂时不考虑仪表基本误差,用下面的电路来说明方法误差的计算,如图 1-3 所示。

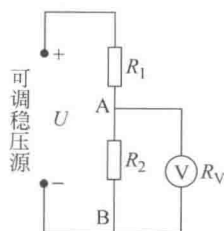


图 1-3

R_2 上的电压为:

$$U_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U, \quad \text{若 } R_1 = R_2, \quad \text{则 } U_{R2} = U/2$$

现用一内阻 R_V 的电压表来测量 U_{R2} 值,当 R_V 与 R_2 并联后, $R_{AB} =$

$\frac{R_V R_2}{R_V + R_2}$, 以此来代替上式的 R_2 , 则得:

$$U'_{R2} = \frac{\frac{R_V R_2}{R_V + R_2}}{\frac{R_V R_2}{R_V + R_2} + R_1} U$$

绝对误差为:

$$\Delta U = U'_{R2} - U_{R2} = U \left[\frac{\frac{R_V R_2}{R_V + R_2}}{\frac{R_V R_2}{R_V + R_2} + R_1} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

化简后得:

$$\Delta U = \frac{-R_2^2 R_1}{R_V (R_1^2 + 2R_1 R_2 + R_2^2) + R_1 R_2 (R_1 + R_2)} U$$

若 $R_1 = R_2 = R_V$, 则得

$$\Delta U = \frac{U}{6}$$

相对误差

$$\Delta U\% = \frac{U'_{R2} - U_{R2}}{U_{R2}} \times 100\% = -\frac{\frac{U}{6}}{\frac{U}{2}} \times 100\% = -33.3\%$$

三、实验设备

1. 万用表 500 型或其他型号。
2. EEL-06(或 EEL-18)组件上的十进制可变电阻箱。
3. EEL-06(或 EEL-18)组件上的电阻 $10\text{k}\Omega$ 。
4. 电压源 $0\sim 30\text{V}$ 。
5. 电流源 $0\sim 20\text{mA}$ 。

四、实验内容和步骤

1. 电流表内阻的测量

据“分流法”原理测定 500 型万用表直流 1mA 和 10mA 挡量程(或 MF47 型万用表直流电流 0.5mA 和 5mA 挡量程或实验台上直流数字电表 20mA 挡量程)的内阻,线路如图 1-1 所示。其中 R 为 EEL-06(EEL-18)十进制可变电阻箱, R_1 为 EEL-06(EEL-18)上 $10\text{k}\Omega/8\text{W}$ 电阻。测量结果填入表 1-1 中。

表 1-1 电流表内阻测量

被测表量程	S 断开时 I_A	S 闭合时 I_A	R	R_1	计算内阻 R_A
200mA					
20mA					

2. 电压表内阻的测量

根据“分压法”原理按图 1-2 接线测定万用表电压 25V (或 2.5V)和 100V (或 10V)挡量程(或用实验台上直流数字电压表 20V 挡量程)的内阻,其中 R 为 EEL-06(EEL-18)组件上十进制可变电阻箱, R_1 为该组件上的 $10\text{k}\Omega/8\text{W}$ 电阻。测量结果填入表 1-2 中。

表 1-2 电压表内阻测量

被测表量程	S 闭合时表读数	S 断开时表读数	R	R_1	计算 R_V
2V					
20V					

3. 测量误差的计算

用万用表直流电压 50V 挡量程测量图 1-3 电路中 R_2 上的电压 U_{R2} 之值。并计算测量的绝对误差和相对误差,其中 $R_1 = 20\text{k}\Omega$ 、 $R_2 = 10\text{k}\Omega$ 。测量结果填入表 1-3 中。

表 1-3 电表内阻产生的测量误差

电源电压 U	R_1	R_2	R_V	计算值 U_{R2}	实测值 U'_{R2}	绝对误差 $\Delta U = U'_{R2} - U_{R2}$	相对误差 $\Delta U / U_{R2} \times 100\%$
20V	20Ω	10Ω					

五、实验注意事项

1. 实验台上的组件恒压源、恒流源均可通过粗调(分段调)波动开并和细调(连续调)旋钮调节其输出量,并由该组件上数字电压表、数字毫安表显示其输出量的大小,在启动上面两个电源时,应先使其输出旋钮置零位,待实验时慢慢增减。
2. 恒压源输出不允许短路,恒流源输出不允许开路。
3. 电压表并联测量,电流表串入测量,并且要注意极性与量程的合理选择。

六、思考题与计算题

1. 根据实验内容 1 和 2,若已求出 1mA 挡和 25mA 挡内阻,可否直接计算出 10mA 挡和 100V 挡的内阻?
2. 用量程为 10A 的电流表测量实际值为 8A 电流时,仪表读数为 8.1A,求测量的绝对误差和相对误差?
3. 图 1-4(a)、(b)为伏安法测量电阻的两种电路,被测电阻的实际值为 R_X ,电压表的内阻为 R_V ,电流表的内阻为 R_A ,求两种电路测量电阻 R_X 的相对误差。

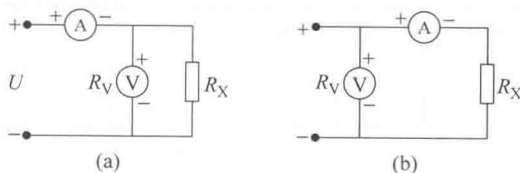


图 1-4

七、实验报告

1. 列表记录实验数据,并计算各被测仪表的内阻值。
2. 计算实验内容 3 的绝对误差与相对误差。
3. 思考题的计算。
4. 初次实验的体会。

实验二

线性与非线性元件伏安特性的测绘

一、实验目的

1. 掌握线性电阻、非线性电阻元件伏安特性的逐点测试法。
2. 学习恒电源、直流电压表、电流表的使用方法。

二、实验原理

任一二端电阻元件的特性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 $U=f(I)$ 来表示,即用 $U-I$ 平面上的一条曲线来表征,这条曲线称为该电阻元件的伏安特性曲线。根据伏安特性的不同,电阻元件分两大类:线性电阻和非线性电阻。线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线,如图 2-1(a)所示,该直线的斜率只由电阻元件的电阻值 R 决定,其阻值为常数,与元件两端的电压 U 和通过该元件的电流 I 无

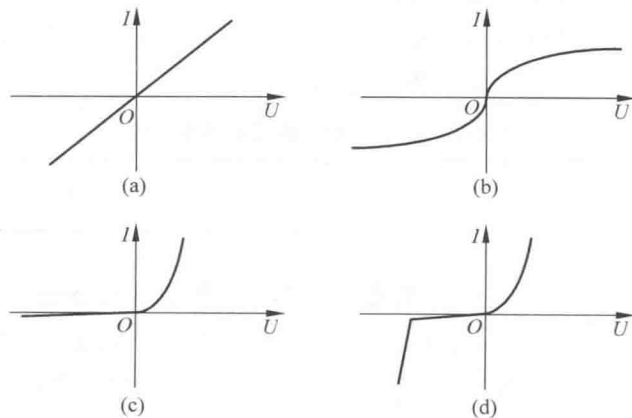


图 2-1

关；非线性电阻元件的伏安特性是一条通过坐标原点的曲线，其阻值 R 不是常数，即在不同的电压作用下，电阻值是不同的，常见的非线性电阻如白炽灯丝、普通二极管、稳压二极管等，它们的伏安特性如图 2-1(b)、(c)、(d) 所示。在图 2-1 中， $U > 0$ 的部分为正向特性， $U < 0$ 的部分为反向特性。

绘制伏安特性曲线通常采用逐点测试法，即在不同的端电压作用下，测量出相应的电流，然后逐点绘制出伏安特性曲线，根据伏安特性曲线便可计算其电阻值。

三、实验设备

1. 直流电压、电流表。
2. 电压源(双路 $0 \sim 30\text{V}$ 可调)。
3. EEL-51N 组件。

四、实验内容

1. 测定线性电阻的伏安特性

按图 2-2 接线，图中的电源 U 选用恒压源的可调稳压输出端，通过直流数字毫安表与 $1\text{k}\Omega$ 线性电阻相连，电阻两端的电压用直流数字电压表测量。

调节恒压源可调稳压电源的输出电压 U ，从 0 伏开始缓慢地增加(不能超过 10V)，在表 2-1 中记下相应的电压表和电流表的读数。

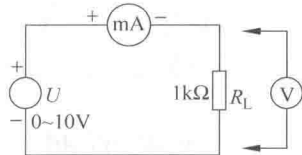


图 2-2

表 2-1 线性电阻伏安特性数据

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

2. 测定 6.3V 白炽灯泡的伏安特性

将图 2-2 中的 $1\text{k}\Omega$ 线性电阻换成一只 6.3V 的灯泡，重复 1 的步骤，电压不能超过 6.3V，在表 2-2 中记下相应的电压表和电流表的读数。

表 2-2 6.3V 白炽灯泡伏安特性数据

U/V	0	1	2	3	4	5	6.3
I/mA							

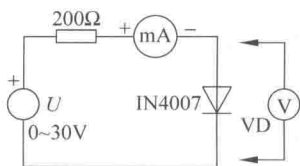


图 2-3

3. 测定半导体二极管的伏安特性

按图 2-3 接线， R 为限流电阻，取 200Ω (十进制可变电阻箱)，二极管的型号为 IN4007。测二极管的正向特性时，其正向电流不得超过 25mA ，二极管 VD 的正向压降可在 $0 \sim 0.75\text{V}$ 之间取值。特别是在 $0.5 \sim 0.75\text{V}$ 之间更应取几个测

量点；测反向特性时，将可调稳压电源的输出端正、负连线互换，调节可调稳压输出电压 U ，从 0 伏开始缓慢地减少（不能超过 -30V ），将数据分别记入表 2-3 和表 2-4 中。

表 2-3 二极管正向特性实验数据

U/V	0	0.2	0.4	0.45	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
I/mA										

表 2-4 二极管反向特性实验数据

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

4. 测定稳压管的伏安特性

将图 2-3 中的二极管 IN4007 换成稳压管 2CW51，重复实验内容 3 的测量，其正、反向电流不得超过 $\pm 20\text{mA}$ ，将数据分别记入表 2-5 和表 2-6 中。

表 2-5 稳压管正向特性实验数据

U/V	0	0.2	0.4	0.45	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
I/mA										

表 2-6 稳压管反向特性实验数据

U/V	0	-1	-1.5	-2	-2.5	-2.8	-3	-3.2	-3.5	-3.55
I/mA										

五、实验注意事项

1. 测量时，可调稳压电源的输出电压由 0 缓慢逐渐增加，应时刻注意电压表和电流表，不能超过规定值。
2. 稳压电源输出端切勿碰线短路。
3. 测量中，随时注意电流表读数，及时更换电流表量程，勿使仪表超量程。

六、预习与思考题

1. 线性电阻与非线性电阻的伏安特性有何区别？它们的电阻值与通过的电流有无关系？
2. 如何计算线性电阻与非线性电阻的电阻值？
3. 请举例说明哪些元件是线性电阻，哪些元件是非线性电阻，它们的伏安特性曲线是什么形状？
4. 设某电阻元件的伏安特性函数式为 $I=f(U)$ ，如何用逐点测试法绘制出伏安特性曲线？

七、实验报告要求

1. 根据实验数据,分别在方格纸上绘制出各个电阻的伏安特性曲线。
2. 根据伏安特性曲线,计算线性电阻的电阻值,并与实际电阻值比较。
3. 根据伏安特性曲线,计算白炽灯在额定电压(6.3V)时的电阻值,当电压降低 20% 时,阻值为多少?
4. 回答思考题。

实验三

电位、电压的测定及电路电位图的绘制

一、实验目的

1. 学会测量电路中各点电位和电压的方法,理解电位的相对性和电压的绝对性。
2. 学会电路电位图的测量、绘制方法。
3. 掌握直流稳压电源、直流电压表的使用方法。

二、实验原理

在一个确定的闭合电路中,各点电位的大小视所选的电位参考点的不同而异,但任意两点之间的电压(即两点之间的电位差)则是不变的,这一性质称为电位的相对性和电压的绝对性。据此性质,我们可用一只电压表来测量出电路中各点的电位及任意两点间的电压。

若用电路中的电位值作纵坐标,电路中各点位置(电阻或电源)作横坐标,将测量到的各点电位在该坐标平面中标出,并把标出点按顺序用直线相联接,就可得到电路的电位图,每一段直线段即表示该两点电位的变化情况。而且,任意两点的电位变化,即为该两点之间的电压。

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

三、实验设备

1. 直流电压、电流表。
2. 电压源(双路 0~30V 可调)。
3. EEL-53 组件。

四、实验内容

实验电路如图 3-1 所示,图中的电源 U_{S1} 用恒压源 I 路 $0 \sim +30V$ 可调电源输出端,并将输出电压调到 $+6V$, U_{S2} 用 II 路 $0 \sim +30V$ 可调电源输出端,并将输出电压调到 $+12V$ 。

1. 测量电路中各点电位

以图 3-1 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。

用电压表的黑笔端插入 A 点,红笔端分别插入 B、C、D、E、F 各点进行测量,数据记入表 3-1 中。

以 D 点作为电位参考点,重复上述步骤,测得数据记入表 3-1 中。

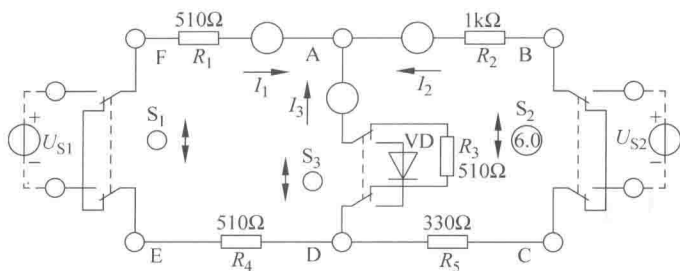


图 3-1

2. 测量电路中相邻两点之间的电压值

在图 3-1 中,测量电压 U_{AB} : 将电压表的红笔端插入 A 点,黑笔端插入 B 点,读电压表读数,记入表 3-1 中。按同样方法测量 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DE} 、 U_{EF} 及 U_{FA} ,测量数据记入表 3-1 中。

表 3-1 电路中各点电位和电压数据

V

电位参考点	V_A	V_B	V_C	V_D	V_E	V_F	U_{AB}	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EF}	U_{FA}
A	0											
D				0								

五、实验注意事项

1. EEL-53 组件中的实验电路供多个实验通用,本次实验没有用到电流插头和插座。
2. 实验电路中使用的电源 U_{S2} 用 $0 \sim +30V$ 可调电源输出端,应将输出电压调到 $+12V$ 后,再接入电路中。并防止电源输出端短路。
3. 使用数字直流电压表测量电位时,用黑笔端插入参考电位点,红笔端插入被测各点,若显示正值,则表明该点电位为正(即高于参考点电位);若显示负值,表明该点电位为负(即该点电位低于参考点电位)。
4. 使用数字直流电压表测量电压时,红笔端插入被测电压参考方向的正(+)端,黑笔端插入被测电压参考方向的负(-)端,若显示正值,则表明电压参考方向与实际方向一致;

若显示负值,表明电压参考方向与实际方向相反。

六、预习与思考题

1. 电位参考点不同,各点电位是否相同? 任两点间的电压是否相同,为什么?
2. 在测量电位、电压时,为何数据前会出现 $+$ / $-$ 号,它们各表示什么意义?
3. 什么是电位图形? 不同的电位参考点电位图形是否相同? 如何利用电位图形求出各点的电位和任意两点之间的电压?

七、实验报告要求

1. 根据实验数据,分别绘制出电位参考点为 A 点和 D 点的两个电位图形。
2. 根据电路参数计算出各点电位和相邻两点之间的电压值,与实验数据相比较,对误差作必要的分析。
3. 回答思考题。