

普通高等院校电气电子类规划系列教材

PUTONG GAODENG YUANXIAO DIANQI DIANZILEI GUIHUA XILIE JIAOCAI

电工技术 实验指导

DIANGONG JISHU
SHIYAN ZHIDAO

杨乃琪 魏香臣 \ 主编
胡学林 \ 主审

普通高等院校电气电子类规划系列教材

电工技术实验指导

杨乃琪 魏香臣 主 编
胡学林 主 审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

电工技术实验指导 / 杨乃琪, 魏香臣主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2011.3
普通高等院校电气电子类规划系列教材
ISBN 978-7-5643-1070-7

I. ①电… II. ①杨…②魏… III. ①电工技术—实
验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 017001 号

普通高等院校电气电子类规划系列教材

电工技术实验指导

杨乃琪 魏香臣 主编

责任编辑	高 平
特邀编辑	宋彦博
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	9.875
字 数	241 千字
版 次	2011 年 3 月第 1 版
印 次	2011 年 3 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-1070-7
定 价	18.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

《电工技术实验指导》是根据西南交通大学峨眉校区非电类专业的电工技术类课程的主要内容和教学要求，在原有的《电路实验指导书》及《电机实验指导书》基础上结合校区实验室现有的实验设备状况而编写的针对性较强的配套实验用书。本书主要面向机械、计算机、土木等非电类专业，满足非电类专业“电工技术实验”课程中电路及电机部分教学大纲的要求。编写此书的目的在于加深学生对理论知识的理解，提高其应用动手能力。

本书共分为两大部分，第一部分为电路实验，共 10 个实验；第二部分为电机实验，共 16 个实验，其中包含 6 个设计性实验。

电路实验部分，内容全面，覆盖面较广，便于在教学过程中根据实际需要安排实验，使学生有机会多看、多练、多动手，使电工实验成为电工类课程的有机部分。这部分内容在强调通过实验验证课堂教学中所讲理论的同时，更加注重实验过程中的测试技能和测试方法的基本训练，以及对实验过程中的误差处理等，使学生在掌握基本实验的同时，通过实验学会一些电压、电流及功率变量的测试方法。

电机实验部分，主要针对西南交通大学峨眉校区电气工程系自行设计的直流电机实验台、交流电机实验台，依据实验教学大纲的要求进行编写。实验台采用的是现场实际使用的小型交、直流电动机，而不是实验使用的微型电动机，这样更能使学生体验到生产现场的状况。同时，根据实验教学需要，这部分还增设了一些设计性实验环节，不仅提高了学生将理论与实际相结合的能力，还增加了学生的学习兴趣。

另外，本书附录中介绍了常用的电工仪表以及电机实验室的设备，同时介绍了测量误差的相关理论和处理方法。

本书电路实验部分由杨乃琪编写，电机实验部分由魏香臣编写。郭宏宇参与编写了直流电机实验以及附录部分内容。胡学林老师对全书进行了认真细致的审阅，实验室魏洪兵等老师对本书修订也提供了不少宝贵意见。

本书的编写得到了西南交通大学峨眉校区电气工程系领导的关心和鼓励及电工电子实验中心各位老师的支持和帮助。西南交通大学出版社副社长、总编张雪老师对本书的出版给予了大力支持，在此一并表示由衷的感谢！

由于编者学识水平有限，书中难免有不当之处，欢迎同行专家及读者提出宝贵意见，便于下次修订。

编 者

二〇一〇年十二月于峨眉

目 录

第一部分 电路实验

实验一	电路元件的伏安特性	3
实验二	电路的基本定律及叠加定理、互易定理的验证	7
实验三	实际电压源与实际电流源的等效变换	12
实验四	戴维南定理（有源二端网络等效参数的测定）	16
实验五	用三表法测量交流电路等效参数	20
实验六	日光灯电路及功率因数的提高	26
实验七	互感特性的研究	31
实验八	RLC 串、并联谐振电路的测量	36
实验九	三相电路电压、电流的测量	41
实验十	三相电路功率的测量	46

第二部分 电机实验

实验十一	直流电机认识实验	51
实验十二	他励直流发电机	54
实验十三	并励直流发电机	58
实验十四	并励直流电动机特性实验	61
实验十五	单相变压器的参数测定	65
实验十六	三相变压器的参数测定	70
实验十七	三相变压器连接组别的判别	76
实验十八	三相交流异步电动机参数测定	80
实验十九	三相交流异步电动机的工作特性与机械特性	84
实验二十	三相交流异步电动机的启动与调速	88
实验二十一	三相交流异步电动机的启动	91
实验二十二	三相交流异步电动机的点动与长动控制	93
实验二十三	三相交流异步电动机的正反转控制	95
实验二十四	两地控制一台三相交流异步电动机	97
实验二十五	三相交流异步电动机的自动往返控制	99
实验二十六	两台三相交流异步电动机之间的电气连锁顺序控制	101

附录 A 常用电工仪表的选用	103
附录 B 常用电工测量仪表	107
B.1 交、直流电压表与电流表	107
B.2 电动系功率表	117
B.3 可调式直流稳压、稳流电源	119
B.4 函数信号发生器	122
B.5 晶体管毫伏表	124
B.6 示波器	125
附录 C 测量误差	134
附录 D 测量结果的处理	138
附录 E	142
E.1 电机基础	142
E.2 直流电动机实验系统简介	144
E.3 交流电动机实验系统简介	146
E.4 扭矩仪使用说明	147
实验须知和实验室安全用电规则	149

第一部分

电路实验

实验一 电路元件的伏安特性

一、实验目的

- (1) 加深对参考方向的理解。
- (2) 学习测量线性电阻伏安特性的方法。
- (3) 研究实际电压源的外特性。
- (4) 学会可调式直流稳压、稳流电源和直流电压表、电流表的使用方法。

二、实验原理

1. 线性电阻的伏安特性

电阻元件是一种对电流呈现阻碍作用的元件。当电流流过电阻元件时，必然消耗能量，沿着电流流动的方向会产生电压降，其大小等于电流的大小与电阻的乘积，即欧姆定律：

$$U = \begin{cases} IR & \text{电压、电流为关联参考方向} \\ -IR & \text{电压、电流为非关联参考方向} \end{cases}$$

参考方向：图 1.1 为某网络中的一条支路 ab ，在事先不知道该支路电压极性的情况下，可先假定一个方向，如 a 为“+”， b 为“-”，则电压的方向是由 a 至 b ，这就是电压的参考方向。若用电压表的+、-极分别接入 a 、 b 两端，电压表指针正向偏转，说明所选参考方向与真实方向一致，参考方向电压 U 取“+”；反之，电压表指针反向偏转，则说明所选参考方向与真实方向相反，参考方向电压 U 取“-”。同样，在测量电流时也如此。

当电压、电流方向一致时称为关联参考方向，反之称为非关联参考方向，如图 1.2 (a)、(b) 所示。

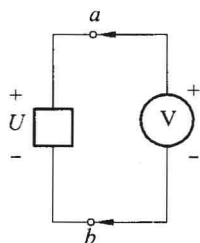


图 1.1 参考方向

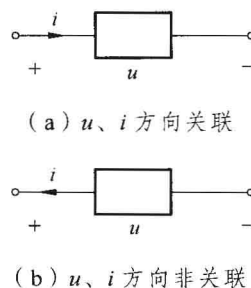


图 1.2 电流、电压参考方向

线性电阻的特性曲线由 $u-i$ 平面上的一条通过原点的直线来表示，如图 1.3 所示。

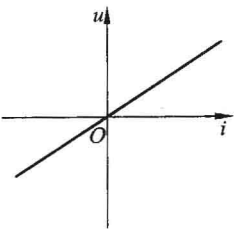


图 1.3 线性电阻的伏安特性曲线

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，测量电阻中的电流而获得。在测量中需使用电压、电流表，故此方法称为伏安法。由于电压表的内阻不是无穷大，电流表的内阻不为零，在测量接线时应根据实际情况将电压、电流表放在适当的位置，否则会造成较大的误差。电压、电流表的接线位置有两种情况，如图 1.4 所示。比较而言，图 1.4 (a) 适用于测量电阻值较大的电阻，而图 1.4 (b) 适用于测量电阻值较小的电阻。

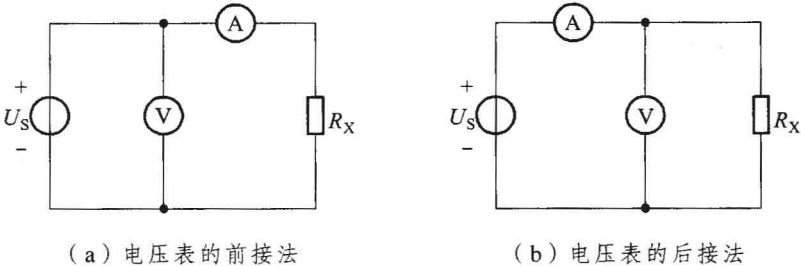


图 1.4 伏安法测量电阻电路

3. 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，与流过电源中的电流大小无关，其伏安特性曲线见图 1.5 中的曲线 1。实际上，理想电压源是不存在的，电源总是具有一定的内阻，这样，实际电压源可以用一个电阻与一个理想电压源串联来表示，如图 1.6 所示，其伏安特性曲线见图 1.5 中的曲线 2。

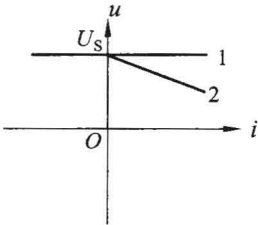


图 1.5 电压源的伏安特性曲线

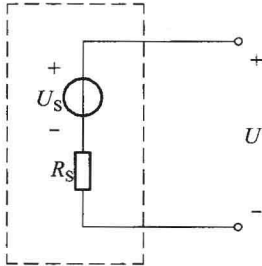


图 1.6 实际电压源的电路模型

三、实验设备

- 双路可调式直流稳压、稳流电源 1 台
- 直流毫安表 1 只
- 直流电压表 1 只
- 可调电阻箱 3 只
- 开关板 1 套

四、实验内容与步骤

1. 测量线性电阻的伏安特性

按图 1.7 所示线路接线，依次调节直流稳压电源的输出电压为表 1.1 中所示的数值，并将相应的电流值记录于表 1.1 中。

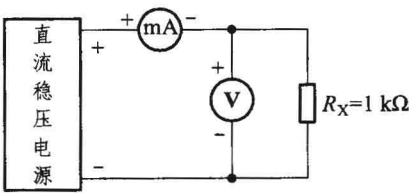


图 1.7 测量线性电阻伏安特性的实验接线图

表 1.1 线性电阻的实验数据

$U\text{ (V)}$	0	2	4	6	8	10
$I\text{ (mA)}$						

2. 测量实际电压源的伏安特性

按图 1.8 所示线路接线，在实验中用一台直流稳压电源串联一个电阻来模拟实际电压源。 R_0 为限流电阻。

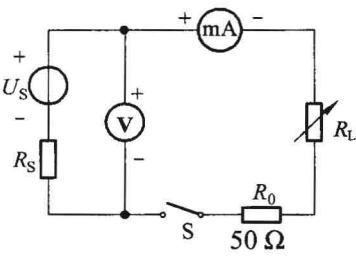


图 1.8 测量实际电压源伏安特性的电路

(1) 断开开关 S，把直流稳压电源输出电压 U_S 及电阻 R_S 调至给定的数值 ($U_S=6\text{ V}$, $R_S=200\ \Omega$)。

(2) 接通开关 S，依次调节 R_L 为表 1.2 中所示的数值，以改变电路中的电流，分别测量对应的电流和电压数值，将测量数据记录在表 1.2 中。

表 1.2 实际电压源的实验数据

给定值	$R_L\ (\Omega)$	50	150	250	350	550
计算值	$I\ (\text{mA})$					
	$U\ (\text{V})$					
测量值	$I\ (\text{mA})$					
	$U\ (\text{V})$					

五、实验注意事项

(1) 认真阅读附录 B 中关于双路可调式直流稳压、稳流电源的内容，避免因操作不当造成电源的损坏。实验过程中直流稳压电源不能短路。

(2) 直流稳压电源的输出电压必须用电压表校对。

(3) 使用各种仪表时，必须注意量程的选择。量程选大了将增加测量误差，选小了可能损坏仪表。在无法确定合适的量程时，采用从大到小的原则，先采用最高量程，然后根据测量结果，逐渐改变至合适量程再进行测量。

六、实验报告要求

- (1) 根据实验数据，画出所测元件的伏安特性曲线，并写出实际电压源的伏安关系式。
- (2) 回答思考题。

七、思考题

(1) 已知某一支路的电流约为 3 mA ，现有量程分别为 5 mA 和 10 mA 的两只电流表，你将使用哪只电流表进行测量？为什么？

(2) 利用实际电压源的伏安特性曲线求出实际电压源的内阻值，并与实验给定的内阻值进行比较，看是否相同。如果不同，为什么？

实验二 电路的基本定律及叠加定理、互易定理的验证

一、实验目的

- (1) 理解电位的相对性和电压的绝对性。
- (2) 通过实验验证基尔霍夫定律、叠加定理及互易定理的正确性，加深对定律的理解。
- (3) 进一步加深对参考方向的理解。
- (4) 掌握用电流插头、插座测量各支路电流的方法。

二、实验原理

1. 电位与电压

电位与电压是电路中的重要物理量。在电路分析中，常选一个节点，令其电位为零，这个点称为电位的参考点。实际电路中，常将参考点接地。在一个确定的闭合电路中，某点的电位就是该点到参考点的电压。电位与参考点的选择有关。电压是任意两点间的电位差，电压与参考点的选择无关。实验中可用电压表来测量电路中各点的电位及任意两点间的电压。

2. 电路的基本定律

在集中参数电路中，各电压、电流之间遵循着一定的规律，此即基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

基尔霍夫电流定律：在集中参数电路中，任一瞬间，流出（流入）任一节点的电流的代数和恒为零，亦即 $\sum i = 0$ 。

基尔霍夫电压定律：在集中参数电路中，任一瞬间，沿闭合回路各元件（或支路）电压的代数和恒等于零，亦即 $\sum u = 0$ 。

3. 叠加定理

在任何含有多个独立源的线性电路中，每一支路的电流（电压）都可看成是各个独立源单独作用时在该支路产生的电流（电压）的代数和。

4. 互易定理

在线性电路中只有一个电压源的情况下，当此电压源在电路的某支路 A 作用时，其在另一支路 B 所产生的电流（大小和方向）等于把电压源换到 B 支路作用时其在 A 支路所产生的电流（大小和方向），就像电压源和电流表互相易位一样，而读数不变。

5. 齐性原理

在线性电路中只有一个激励的条件下，任意一条支路上响应（电流、电压）的大小与激励的大小成正比。

三、实验设备

直流稳压电源	1 台	直流毫安表	1 只
直流电压表	1 只	电阻箱	5 只
开关板	1 套		

四、实验内容与步骤

1. 电位与电压的测定

按图 2.1 所示线路正确接线，将直流稳压电源调至 $U_1=8\text{ V}$ ， $U_2=4\text{ V}$ 。

(1) 以图 2.1 中的 b 点为电位参考点，分别测量 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 各点的电位及相邻两点之间的电压值 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{cd} 、 U_{de} 、 U_{ef} 、 U_{fa} ，将测得的数据填入表 2.1 中。

(2) 以 e 点作为参考点，重复实验步骤 (1)，将测得的数据填入表 2.1 中。

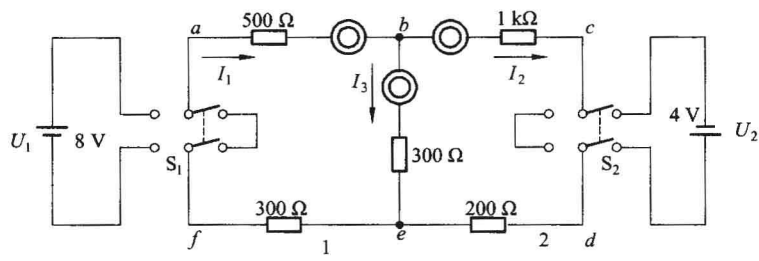


图 2.1 电位、电压测量实验线路

—●— 为电流插座

表 2.1 电位与电压测定实验数据

电位参考点	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}
b	计算值												
	测量值												
	相对误差												

续表 2.1

电位参考点	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}
e	计算值												
	测量值												
	相对误差												

2. 基尔霍夫电流定律的验证

(1) 熟悉电流插头的结构（见图 2.2），将电流插头的两端接至直流电流表的“+”、“-”两端，注意量程的正确选择。

(2) 按图 2.1 所示线路正确接线。为了用同一电流表来测量多个支路电流，电流表并不直接串入电路，而是利用电流插座。图中“ $\text{---}\bigodot\text{---}$ ”为电流插座，平时为接通状态，当接有电流表的插头插入其中时，该处电路自行断开，电流表经过插头串联接入电路中，电流表的读数就是该支路流过的电流大小。实验前先任意设定三条支路的电流参考方向，如图 2.1 中的 I_1 、 I_2 、 I_3 。

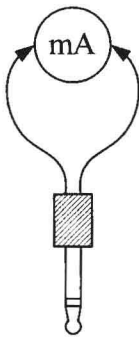


图 2.2 电流插头

(3) 用直流电流表测量各支路的电流。测量时只需将接有电流插头的电流表依次插入三个电流插座中，即可分别读取 I_1 、 I_2 、 I_3 的数值。在将插头插入插座时，应注意观察电流表指针偏转方向，如果是逆时针偏转，应迅速拔出插头，调换电流表极性后再重新插入并读取数据，此时该电流应取负值。

实验前，开关 S_1 、 S_2 置于短接线一端，先调好 $U_1=8\text{ V}$ ， $U_2=4\text{ V}$ ，再将开关置于电源 U_1 、 U_2 端。将测量值填入表 2.2 中（注意将正负号一起记入表格中）。

表 2.2 测量数据

待测量	I_1	I_2	I_3	U_{ab}	U_{bc}	U_{cd}	U_{de}	U_{ef}	U_{fa}	U_{be}
计算值										
测量值										
相对误差										

电 流	验证流入节点 b 的电流 代数和 $\sum I=0?$	验证回路 $abefa$ $\sum U=0?$	验证回路 $bcdeb$ $\sum U=0?$
	计算值		
	测量值		

3. 基尔霍夫电压定律的验证

实验线路同前，步骤同前，用电压表依次测量回路 $abcdefa$ 中各支路电压，将测量结果填入表 2.2 中（注意将正负号一起记入表格）。

4. 叠加定理的验证

实验线路同前。

(1) 开关 S_1 置于电源端, S_2 置于短接线一端, 测量 U_1 单独作用时的 I_1 、 I_2 、 I_3 , 将测量结果记入表 2.3 中 (注意将正负号一起记入表格)。

(2) 开关 S_1 置于短接线一端, S_2 置于电源端, 测量 U_2 单独作用时的 I_1 、 I_2 、 I_3 , 将测量结果记入表 2.3 中 (注意将正负号一起记入表格)。

(3) 开关 S_1 、 S_2 均置于电源端, 测量 U_1 、 U_2 共同作用时的 I_1 、 I_2 、 I_3 , 将测量结果记入表 2.3 中 (注意将正负号一起记入表格)。

表 2.3 测量数据

电 流	I_1			I_2			I_3		
	测 量	计 算	误 差	测 量	计 算	误 差	测 量	计 算	误 差
U_1 单独作用									
U_2 单独作用									
U_1 、 U_2 共同作用									

5. 互易定理的验证

(1) 电源 $U_1=6\text{ V}$ 单独作用于支路 1 (图 2.1 中所标 1) 时, 测量支路 2 的电流 I_{12} 。

(2) 电源 $U_2=6\text{ V}$ 单独作用于支路 2 (图 2.1 中所标 2) 时, 测量支路 1 的电流 I_{21} 。

(3) 将电源调节为 $U_2=4\text{ V}$, 重复步骤 (2), 测量支路 1 的电流 I_{211} 。

(4) 验证下式是否成立。

$$I_{12} = I_{21} \text{ (互易定理)}$$

$$I_{211} = \frac{4}{6} I_{12} \text{ (齐性定理)}$$

五、实验注意事项

- (1) 注意接线图中的电流参考方向。
- (2) 对于每个测量电流插座, 应该能够分清所对应的电流。
- (3) 电流表反偏时, 应马上拔出插头, 调换电流表极性后再插入。

六、实验报告要求

- (1) 利用测量结果验证基尔霍夫定律、叠加定理以及互易定理。
- (2) 计算各支路的电压、电流, 并计算相对误差, 分析产生误差的原因。
- (3) 分析实验结果, 得出相应结论。

(4) 回答思考题。

七、思考题

- (1) 电压与电位的区别是什么？
- (2) 在验证叠加定理时，如果电源内阻不能忽略时，实验应该如何进行？
- (3) 说明在应用叠加原理时对不起作用的电压源及电流源如何处理？可否直接将不作用的电源置零（将其输出调为零）？
- (4) 利用实验数据验证功率是否满足叠加原理。
- (5) 若将实验电路中的一个电阻改为二极管，叠加性和齐次性还成立吗？为什么？