



“十三五”普通高等教育规划教材

DIANGONG YU DIANQI JISHU JICHU SHIYAN

电工与电气技术 基础实验

贾红芳 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育

电工与电气技术 基础实验

主编 贾红芳

编写 武成香 孟祥丽

主审 牛萍娟



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。

本书为广东省高等学校教学质量与教学改革工程——岭南师范学院电工电子实验教学示范中心建设项目成果，是根据社会发展及教学改革的新形势，基于培养社会需求的高素质应用型人才的目的而编写的。本书共分为6章，内容包括电路原理实验、电力拖动控制实验、电力电子技术虚拟仿真实验、供配电技术实验、电力系统自动化实验、继电保护技术实验。

本书主要作为应用型本科院校及高职高专院校电类专业相关课程的实验课程教材，也可作为电气技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电气技术基础实验/贾红芳主编. —北京: 中国电力出版社, 2016.7

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5123-8617-4

I. ①电… II. ①贾… III. ①电工技术-实验-高等学校-教材
IV. ①TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 084293 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 7 月第一版 2016 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10 印张 240 千字

定价 20.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书是根据社会发展及教学改革的新形势,基于培养适应社会需求的高素质应用型人才的目的,依托广东省省级电工电子实验教学示范中心的电类与非电类专业相关课程(电工技术、电气技术基础)的基本实验要求而编写的实验类教材。

本实验教材共有6章,内容包括电路原理实验、电力拖动控制实验、电力电子技术虚拟仿真实验、供配电技术实验、电力系统自动化实验、继电保护技术实验。本书既可作为电路原理、电力拖动控制、供用电设备、供用电系统、发电厂电气部分、继电保护技术等课程的实验教材,又可作为维修电工实训的实践指导教材。本书中的实验可以根据学时的多少、内容的深浅自由选做,以满足不同层次学生的要求,同时为开放性实验和个性培养创造了条件。

本书原理阐述简明扼要,实验指导突出可操作性,适用于本科及高职高专院校电类专业相关课程的实验课程教材或教学参考书,也可作为非电类相关课程的实践教学参考书,同时可供电气技术人员参考。

本书由贾红芳任主编,具体编写分工如下:第1章由武成香编写,第2、4、5、6章由贾红芳编写,第3章由孟祥丽编写。全书由贾红芳统稿、定稿。

天津工业大学牛萍娟教授担任本书的主审,提出了许多宝贵的指导意见。在编写过程中,编者阅读了许多专家、同行的教材、著作和论文,同时得到岭南师范学院省级电工电子实验教学示范中心领导、老师的大力支持并提出许多宝贵意见,在此谨致诚挚的谢意。

限于编者水平,书中难免有不妥和错误之处,殷切期望读者批评和指正。

编者

2016年3月

目 录

前言

1 电路原理实验	1
1.1 电工仪器、仪表的使用	1
1.2 减小仪表测量误差的方法	2
1.3 电路元件伏安特性的测绘	5
1.4 基尔霍夫定律的验证	8
1.5 叠加定理和戴维南定理	9
1.6 电压源与电流源的等效变换	11
1.7 RC 一阶电路的暂态过程	14
1.8 RLC 元件阻抗特性的测定	16
1.9 RLC 串联谐振电路的研究	18
1.10 荧光灯电路及其功率因数的提高	21
1.11 互感电路观测	22
1.12 单相铁心变压器特性的测试	24
1.13 三相交流电路电压、电流的测量	26
1.14 交流电路功率的测量	28
2 电力拖动控制实验	30
2.1 三相异步电动机的直接起动控制	30
2.2 三相异步电动机接触器点动控制线路	31
2.3 三相异步电动机单向起动、停止及自锁控制电路	33
2.4 接触器连锁的三相异步电动机正反转控制线路	34
2.5 按钮连锁的三相异步电动机正反转控制线路	36
2.6 双重连锁的三相异步电动机正反转控制线路	38
2.7 三相异步电动机星形/三角形起动控制线路	40
2.8 定子串电阻降压起动手动控制线路	42
2.9 定子串电阻降压起动自动控制线路	44
2.10 工作台自动往返控制线路	46
2.11 带点动的自动往返控制线路	48
2.12 三相异步电动机的多地控制	50
2.13 两台三相异步电动机手动顺序起动控制线路	51
2.14 两台三相异步电动机自动顺序起动控制线路	53
2.15 三相异步电动机反接制动控制电路	55
2.16 三相异步电动机能耗制动控制线路	56
2.17 接触器控制双速电动机的控制线路	58

2.18	时间继电器控制双速电机的控制线路	60
3	电力电子技术虚拟仿真实验	62
3.1	单相半波可控整流电路仿真	64
3.2	单相桥式可控整流电路仿真	66
3.3	三相桥式可控整流电路仿真	68
3.4	直流降压斩波电路仿真	69
3.5	直流升压斩波电路仿真	71
4	供配电技术实验	73
4.1	电力变压器认知	73
4.2	高压电器认识	76
4.3	常用低压电器的认识与使用	79
4.4	开关柜基础认知	85
4.5	供配电网络的运行与调试	91
5	电力系统自动化实验	94
5.1	ZC-23 型冲击继电器	94
5.2	重复动作手动复归中央信号装置	96
5.3	重复动作自动复归中央信号装置	98
5.4	具有灯光监视的断路器控制回路	100
5.5	具有灯光和音响监视的断路器控制回路	102
5.6	闪光继电器构成的闪光装置	105
5.7	装设跳跃闭锁继电器的断路器控制回路	106
6	继电保护技术实验	111
6.1	电磁型电流继电器和电压继电器	111
6.2	电磁型时间继电器	114
6.3	组合型信号继电器	116
6.4	中间继电器	119
6.5	6~10kV 线路过电流保护	122
6.6	电流闭锁电压速断保护	124
6.7	DH-3 型三相一次自动重合闸装置	126
6.8	自动重合闸前加速保护	129
6.9	自动重合闸后加速保护	131
6.10	单侧电源辐射式输电线路三段式电流保护	134
6.11	过电流保护与三相自动重合闸装置综合实验	137
附录 A	实验须知	140
附录 B	THWD-3 型操作台布局、操作使用及电气线路安装要求	142
附录 C	THWD-3 型操作台电器元件列表	144
附录 D	THWD-3 型操作台各元件内部结构示意图	145
附录 E	电力自动化及继电保护设备文字符号对照表	146
附录 F	TKDZB-2 型电力自动化及继电保护实验装置电源使用说明	148
附录 G	ZB03 型数字式电秒表使用说明	149
	参考文献	153

1 电 路 原 理 实 验

1.1 电工仪器、仪表的使用

1.1.1 实验目的

- (1) 熟悉实验台上各种仪表、恒压源与恒流源、信号发生器的布局及使用。
- (2) 初步掌握用示波器观察电信号波形，定量测出正弦信号和脉冲信号的波形。

1.1.2 实验原理

(1) 在实际电路测量中，电压表在测量某两节点电压时应与该两节点并联，电流表在测量某一支路电流时应串联在电路中。

(2) 正弦交流信号和方波脉冲信号是常用的电激励信号，由信号发生器提供。

正弦信号的波形参数是幅值 V_m 、周期 T （或频率 f ）和初相；脉冲信号的波形参数是幅值 V_m 、脉冲重复周期 T 及脉宽 t_k 。本实验台提供频率为 $10\text{Hz}\sim 100\text{kHz}$ ，幅值在 $0\sim 15\text{V}$ 连续可调。由五位数码管显示信号的频率，输出信号由波形选择来选取。

(3) 电子示波器是一种信号图形测量仪器，可定量测出电信号的波形参数，从荧光屏的 Y 轴刻度尺并结合其量程分挡选择开关（Y 轴输入电压灵敏度 V/div 分挡选择开关）读得电信号的幅值；从荧光屏的 X 轴刻度尺并结合其量程分挡（X 轴时间扫描速度 t/div 分挡选择开关）选择开关，读得电信号的周期、脉宽、相位差等参数。一台双踪示波器可以同时观察和测量两个信号波形。

1.1.3 实验仪器

恒压源 $0\sim 30\text{V}$ ；恒流源 $0\sim 20\text{mA}$ ；电压表、电流表；双踪示波器；信号源及频率计；交流毫伏表。

1.1.4 实验内容及步骤

(1) 熟悉各种电压表、电流表的使用方法。

(2) 双踪示波器的自检。将“标准信号”插口，用双踪示波器 Y 轴输入插口 YA 或 YB 端，开启电源，调节示波器面板“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”、“X 轴位移”、“Y 轴位移”等旋钮，使荧光屏中心显示线条细而清晰、亮度适中的方波波形；选择幅值和扫描速度灵敏度，并将微调旋钮旋至“校准”位置，从荧光屏上读“标准信号”幅值与频率，与标称值（ 0.5V ， 1kHz 的信号）比较。

(3) 正弦波信号的观测。接通电源，调节频率旋钮，输出频率分别为 50Hz 、 1.5kHz 和 20kHz （频率计读数），幅值分别为有效值 0.5 、 1 、 3V （交流毫伏表读数），调节示波器 Y 轴和 X 轴灵敏度，从荧光屏上读幅值及周期，记入表 1-1 中。

表 1-1 正弦波、方波信号的测定

测试项目	正弦波信号的测定			方波信号的测定		
频率计读数（Hz）	50	1500	20000	100	3000	30000
交流毫伏表读数（V）	0.5	1	3	0.5	1	1.5

续表

测试项目	正弦波信号的测定			方波信号的测定		
示波器“t/div”位置						
一个周期占有的格数						
信号周期 (s)						
实测频率 (Hz)						
示波器“V/div”位置						
峰—峰值波形格数						
峰值 (V)						
实测电压 (有效值) (V)						

(4) 方波脉冲信号的测定。

1) 调节信号源输出幅值为 0.5、1、1.5V (用交流毫伏表测定), 分别观测 100Hz、3kHz 和 30kHz 方波信号的波形参数。

2) 使信号频率保持在 3kHz, 调节幅值和脉宽旋钮, 观察波形参数的变化, 记入表 1-1 中。

1.1.5 实验注意事项

(1) 实验台下组件恒压源、恒流源均可通过粗调 (分段调) 波动开关和细调 (连续调) 旋钮调节其输出量, 并由数字电压表、数字毫安表显示其输出量的大小。

(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, 电流表串联测量, 并且要注意极性与量程的合理选择。

(4) 示波器的辉度不要过亮。

(5) 调节仪器旋钮时, 动作不要过猛。

(6) 调节示波器时, 要注意触发开关和电平调节旋钮的配合使用, 以使示波器的波形稳定。

(7) 做定量测定时, “t/div” 和 “V/div” 的微调旋钮应旋置 “标准” 位置。

(8) 为防止外界干扰, 信号发生器的接地端与示波器的接地端相连一致 (共地)。

1.1.6 预习与思考

示波器面板上 “t/div” 和 “V/div” 的含义是什么?

1.1.7 实验报告

(1) 归纳总结实验中所用仪器的使用方法及观测电信号的方法。

(2) 用示波器观察正弦信号时, 荧光屏上如果出现如图 1-1 所示的情况, 在实验中如何调节?

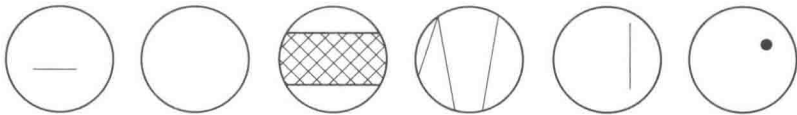


图 1-1 示波器荧光屏波形图

1.2 减小仪表测量误差的方法

1.2.1 实验目的

(1) 了解电压表、电流表的内阻在测量过程中产生的误差及其分析方法。

(2) 掌握仪表内阻引起的测量误差的减小方法。

1.2.2 实验原理

减小因仪表内阻而产生测量误差的方法有两种。

1. 不同量限两次测量计算法

(1) 电压表不同量限两次测量计算法。当电压表的灵敏度不够高或电流表的内阻太大时,可利用多量限仪表对同一被测量用不同量限进行两次测量,所得读数经计算后可得到非常准确的结果。

如图 1-2 所示电路,欲测量具有较大内阻 R_0 的电动势 E 的开路电压 U_0 时,如果所用电压表的内阻 R_V 与 R_0 相差不多,将会产生很大的测量误差。

设电压表有两挡量限, U_1 、 U_2 分别为在这两个不同量限下测得的电压值,令 R_{V1} 和 R_{V2} 分别为这两个量限相应的电压表的内阻,则由图 1-2 可得

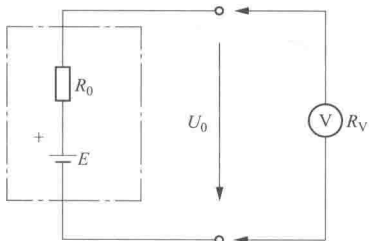


图 1-2 电压表实验接线图

$$U_1 = \frac{R_{V1}}{R_0 + R_{V1}} E \quad (1-1)$$

$$U_2 = \frac{R_{V2}}{R_0 + R_{V2}} E \quad (1-2)$$

由式 (1-1) 得

$$R_0 = \frac{R_{V1} E}{U_1} - R_{V1} = R_{V1} \left(\frac{E}{U_1} - 1 \right) \quad (1-3)$$

将式 (1-3) 代入式 (1-2) 可得

$$E = \frac{U_2 (R_0 + R_{V2})}{R_{V2}} = \frac{U_2 \left(\frac{R_{V1} E}{U_1} - R_{V1} + R_{V2} \right)}{R_{V2}} \quad (1-4)$$

从式 (1-4) 中解得 E , 并经化简后得到

$$E = \frac{U_1 U_2 (R_{V2} - R_{V1})}{U_1 R_{V2} - U_2 R_{V1}} \quad (1-5)$$

由式 (1-5) 可知: 不论电源内阻 R_0 相对电压表的内阻 R_V 有多大, 通过上述两次测量结果, 经计算后可准确地测量出开路电压 U_0 的大小。

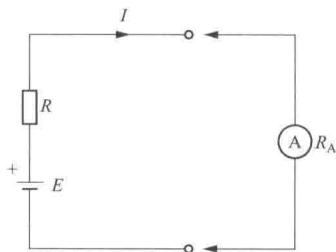


图 1-3 电流表实验接线图

(2) 电流表不同量限两次测量计算法。对于电流表, 当其内阻较大时, 也可用类似的方法测得准确的结果。如图 1-3 所示电路, 不接入电流表时的电流为

$$I = E/R \quad (1-6)$$

接入内阻为 R_A 的电流表 A 时, 电路中的电流变为

$$I' = \frac{E}{R + R_A} \quad (1-7)$$

如果 $R_A = R$, 则 $I' = I/2$, 将出现很大的误差。

如果用有不同内阻 R_{A1} 、 R_{A2} 的两挡量限的电流表做两次测量, 经简单计算就可得到准确的电流值。

按图 1-3 所示电路, 两次测量得

$$I_1 = \frac{E}{R + R_{A1}}, I_2 = \frac{E}{R + R_{A2}}$$

解得

$$I = \frac{E}{R} = \frac{I_1 I_2 (R_{A1} - R_{A2})}{I_2 R_{A1} - I_1 R_{A2}} \quad (1-8)$$

2. 同一量限两次测量计算法

如果电压表（或电流表）只有一挡量限，且电压表的内阻较小（或电流表的内阻较大）时，可用同一量限进行两次测量计算法减小测量误差。其中，第一次测量与一般的测量并无两样，只是在进行第二次测量时必须要在电路中串入一个已知阻值的附加电阻。

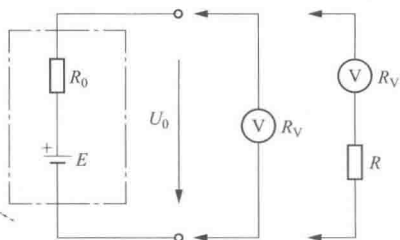


图 1-4 电压测量实验接线图

(1) 电压测量——测量图 1-4 所示电路的开路电压 U_0 。第一次测量，电压表的读数为 U_1 （设电压表的内阻为 R_V ），第二次测量时应与电压表串接一个已知阻值的电阻器 R ，电压表的读数为 U_2 ，由图可知

$$U_1 = \frac{R_V}{R_0 + R_V} E, \quad U_2 = \frac{R_V}{R_0 + R + R_V} E$$

解上述两式，可得

$$E = \frac{R U_1 U_2}{R_V (U_1 - U_2)} \quad (1-9)$$

(2) 电流测量——测量图 1-5 所示电路的电流 I 。第一次测量电流表的读数为 I_1 （设电流表的内阻为 R_A ），第二次测量时应与电流表串接一个已知阻值的电阻器 R ，电流表读数为 I_2 ，由图可知

$$I_1 = \frac{E}{R_0 + R_A}, \quad I_2 = \frac{E}{R_0 + R_A + R}$$

解得

$$I = \frac{E}{R_0} = \frac{I_1 I_2 R}{I_2 (R_A + R) - I_1 R_A} \quad (1-10)$$

由上分析可知：采用多量限仪表测量法或单量限仪表两次测量法，不管电表内阻如何，总可以通过两次测量和计算得到比单次测量准确得多的结果。

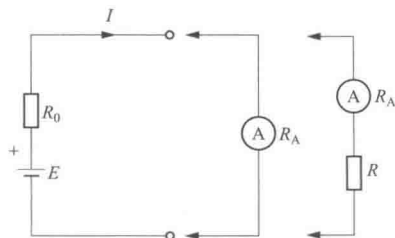


图 1-5 电流测量实验接线图

1.2.3 实验设备

万用表；直流数字毫安表 0~20mA；十进制可变电阻箱 EEL-06；恒压源 0~30V。

1.2.4 实验内容及步骤

1. 双量限电压表两次测量法

如图 1-4 所示电路，实验中 E 通过实验台上的 +12V 直流稳压电源获取， R_0 选取 12kΩ（十进制电阻箱）。

用万用表的直流电压 25V 和 100V 两挡量限进行两次测量，测量数据记入表 1-2 中，最后计算出开路电压 U_0 。其中， R_{25} 和 R_{100} 参照实验一的结果。

表 1-2

双量限电压表实验数据

万用表量限	内阻	测量值	U_0	测量值 U_0	绝对误差 ΔU	相对误差 $\Delta U/U \times 100\%$
25V	$R_{25} =$	$U_1 =$				
100V	$R_{100} =$	$U_2 =$				

2. 单量限电压表两次测量法

实验线路如图 1-4 所示, 用上述万用表直流电压 25V 量限挡串接 $R=10\text{k}\Omega$ 的附加电阻器进行两次测量, 测量数据记入表 1-3 中, 并准确地计算出开路电压 U_0' 。

表 1-3 单量限电压表实验数据

实际计算值 U_0	两次测量值		测量计算值 U_0'	绝对误差 ΔU	相对误差 $\Delta U/U \times 100\%$
	U_1	U_2			

3. 双量限电流表两次测量法

按如图 1-5 所示线路进行实验, $E=12\text{V}$, $R_0=12\text{k}\Omega$, 用万用表 1mA 和 10mA 两挡电流量限进行两次测量, 测量数据记入表 1-4 中, 并计算出电路中的测量电流值 I 。其中, R_{A1} 和 R_{A2} 参照实验一的结果。

表 1-4 双量限电流表实验数据

电流表量限	内阻	测量值	电路计算值 I	两次测量计算值 I'	绝对误差 ΔI	相对误差 $\Delta I/I \times 100\%$
1mA	$R_{A1} =$	$I_1 =$				
10mA	$R_{A2} =$	$I_2 =$				

4. 单量限电流表两次测量法

实验线路如图 1-5 所示, 用万用表 1mA 挡电流量限, 串联附加电阻 $R=10\text{k}\Omega$ 进行两次测量, 测量数据记入表 1-5 中, 并求出电路中的实际电流 I 。

表 1-5 单量限电流表实验数据

实际计算值 I	两次测量值		测量计算值 I'	绝对误差 ΔI	相对误差 $\Delta I/I \times 100\%$
	I_1	I_2			

1.2.5 实验注意事项

实验注意事项同 1.1.5。

1.3 电路元件伏安特性的测绘

1.3.1 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。

1.3.2 实验原理

任一二端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, 这条曲线称为该元件的伏安特性曲线, 如图 1-6 所示。

(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 1-6 中直线 a 所示, 该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。

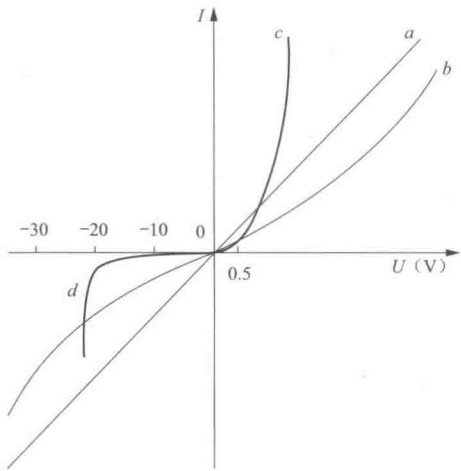


图 1-6 各类电路元件伏安特性曲线图

(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”的阻值可相差几倍至十几倍，所以它的伏安特性如图 1-6 中曲线 *b* 所示。

(3) 一般的半导体二极管是一个非线性电阻元件，其特性如图 1-6 中曲线 *c* 所示。正向压降很小（一般的锗管为 0.2~0.3V，硅管为 0.5~0.7V），正向电流随正向压降的升高而急剧上升；而反向电压从零一直增加到十多至几十伏时，其反向电流增加很小，粗略地可视为零。可见，二极管具有单向导电性，但反向电压增加得过高，超过管子的极限值，则会导致管子击穿损坏。

(4) 稳压二极管是一种特殊的半导体二极管，其正向特性与普通二极管类似，但其反向特性较特别，如图 1-6 中曲线 *d* 所示。在反向电压开始增加时，其反向电流几乎为零，但当电压增加到某一数值时（称为管子的稳压值，有各种不同稳压值的稳压管）电流将突然增加，以后它的端电压将维持恒定，不再随外加的反向电压升高而增大。

1.3.3 实验设备

万用表；直流数字毫安表 0~20mA；恒压源 0~30V；EEL-06 组件；直流数字电压表。

1.3.4 实验内容及步骤

1. 测定线性电阻器的伏安特性

如图 1-7 所示接线，调节稳压电源的输出电压 *U*，从 0V 开始缓慢地增加，一直至 10V，记下相应的电压表和电流表的读数，将数据记入表 1-6 中。其中，*R_L* 为十进制可变电阻箱 EEL-06。

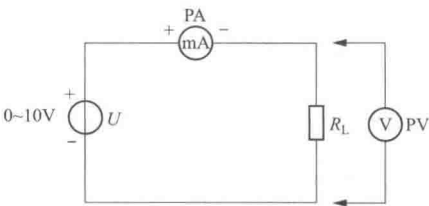


图 1-7 线性电阻器接线图

表 1-6 线性电阻器伏安特性实验数据

<i>U</i> (V)	0	2	4	6	8	10
<i>I</i> (mA)						

2. 测定非线性白炽灯泡的伏安特性

将如图 1-8 所示电路中的 *R* 换成一只 6.3V 的灯泡，重复实验内容 1 的步骤，将数据记入表 1-7 中。

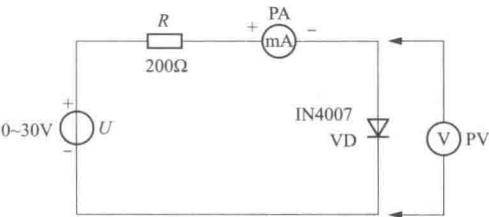


图 1-8 导体二极管接线图

表 1-7 非线性白炽灯泡伏安特性实验数据

$U(V)$	0	2	4	6	8	10
$I(mA)$						

3. 测定半导体二极管的伏安特性

如图 1-8 所示接线， R 为限流电阻器，取 200Ω （十进制可变电阻箱），测量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 $0\sim 0.75V$ 取值，特别是在 $0.5\sim 0.75$ 更应多取几个测量点。做反向特性实验时，只需将图 1-8 中的二极管 VD 反接，且其反向电压可加到 $30V$ ，将数据记入表 1-8 中。

表 1-8 半导体二极管伏安特性实验数据

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
$I(mA)$										
反向特性实验数据										
$U(V)$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30			
$I(mA)$										

4. 测定稳压二极管的伏安特性

只要将图 1-8 中的二极管 IN4007 换成稳压二极管 2CW51（最大电流为 $20mA$ ），重复实验内容 3 的测量，将数据记入表 1-9 中。

表 1-9 稳压二极管伏安特性实验数据

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
$I(mA)$										
反向特性实验数据										
$U(V)$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30			
$I(mA)$										

1.3.5 实验注意事项

（1）测量二极管正向特性时，稳压电源输出应由小至大逐渐增加，应时刻注意电流表读数不超过 $25mA$ ，稳压源输出端切勿碰线短路。

（2）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。

1.3.6 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？

1.3.7 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。
- （2）根据实验结果，总结、归纳被测各元件的特性。

1.4.5 实验注意事项

- (1) 所有需要测量的电压值,均以电压表测量的读数为准,不以电源表盘指示为准。
- (2) 防止电源两端碰线短路。
- (3) 若用指针式电流表进行测量时,要识别电流插头所接电流表的“+、-”极性,倘若不互换极性,则电表指针可能反偏(电流为负值时),此时必须调换电流表极性,重新测量,此时指针正偏,但读得的电流值必须冠以负号。

1.4.6 预习思考题

- (1) 根据图 1-9 所示电路参数,计算出待测电流 I_1 、 I_2 及 I_3 及各电阻上的电压值,记入表 1-10 中。以便实验测量时,可正确地选定毫安表和电压表的量程。
- (2) 实验中,若用万用表直流毫安挡测各支路电流,什么情况下可能出现毫安表指针反偏,应如何处理?在记录数据时应注意什么?若用直流数字毫安表进行测量时,则会显示什么?

1.4.7 实验报告

- (1) 根据实验数据,选定实验电路中的任一个节点,验证基尔霍夫电流定律的正确性。
- (2) 根据实验数据,选定实验电路中的任一个闭合回路,验证基尔霍夫电压定律的正确性。
- (3) 误差原因分析。

1.5 叠加定理和戴维南定理

1.5.1 实验目的

- (1) 验证叠加定理、戴维南定理的正确性。
- (2) 验证齐性定理和基尔霍夫电流、电压定律。

1.5.2 实验原理

(1) 叠加定理。在几个独立源共同作用下的线性电路中,通过每一个元件的电流或其两端的电压,可以看成是由每一个独立源单独作用时在该元件上所产生的电流或电压的代数和。

(2) 齐性定理。当激励信号(独立源)增加 K 倍或减小 $1/K$ 倍时,电路的响应将增加 K 倍或减小 $1/K$ 倍。

(3) 戴维南定理。任何一个线性有源网络,总可以用一个等效电压源代替;该电压源的电动势等于这个有源二端网络的开路电压 U_{oc} ,等效内阻等于该网络中所有独立源均置零(理想电压源短接,理想电流源开路)时的等效电阻 R_{eq} 。

(4) 有源二端网络等效参数的测量方法

1) 开路电压、短路电流法。在有源二端网络输出端开路时,用电压表直接测其输出端的开路电压 U_{oc} ,然后再测其短路电流 I_{sc} ,内阻为 $R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$ 。

2) 伏安法。用电压表、电流表测出有源二端网络的外特性如图 1-10 所示。根据外特性曲线求出斜率 $\tan\varphi$,则内阻为 $R_0 = \tan\varphi = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$ 。

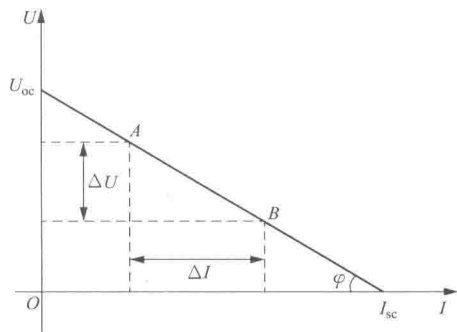


图 1-10 有源二端网络的外特性图

1.5.3 实验设备

直流电压表 20V 挡；直流毫安表；恒压源 6、12、0~30V；EEL-01 组件；EEL-06 组件；恒流源。

1.5.4 实验内容及步骤

1. 叠加定理验证

(1) 如图 1-11 所示实验电路，取 E_1 为 +12V， E_2 为 +6V。

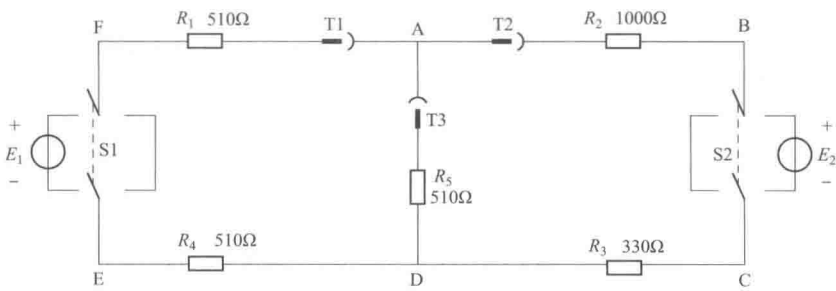


图 1-11 叠加定理实验接线图

(2) 令 E_1 单独作用时（将开关 S1 投向 E_1 侧，开关 S2 投向短路侧），用直流数字电压表和毫安表（接电流插头）测量各支路电流及各电阻元件两端的电压，测量数据记入表 1-11 中。

(3) 令 E_2 电源单独作用时（开关 S1 投向短路侧，开关 S2 投向 E_2 侧），重复实验步骤 (2)。

(4) 令 E_1 和 E_2 同时作用时（开关 S1 和 S2 分别投向 E_1 和 E_2 侧），重复上述测量和记录。

(5) 将 E_2 的数值调至 12V（即 $2E_2$ ）时，重复上述测量和记录。

表 1-11 验证叠加定理、齐性定理、基尔霍夫定律的实验数据

被测量	E_1 (V)	E_2 (V)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)	U_{AB} (V)	U_{CD} (V)	U_{AD} (V)	U_{DE} (V)	U_{FA} (V)
E_1										
E_2										
$E_1、E_2$										
$2E_2$										

2. 戴维南定理实验

被测有源二端网络如图 1-12 (a) 所示。

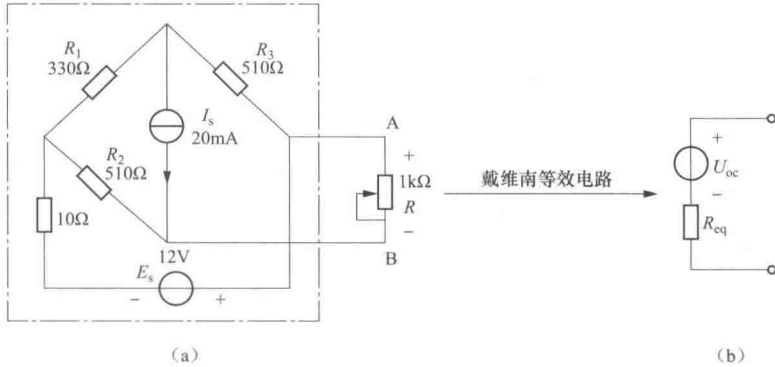


图 1-12 被测有源二端网络图

(a) 被测有源网络；(b) 戴维南等效电路

(1) 在图 1-12 (a) 所示电路中接入稳压源 $E_s=12V$ 、恒流源 $I_s=20mA$ (注意方向) 及可变电阻 R 。先断开 R 测 U_{AB} , 即为 U_{oc} , 再短接 R 测 I_{sc} , 则 $R_0=U_{oc}/I_{sc}$, 记入表 1-12 中。

表 1-12 开路电压、短路电流测等效电阻

$U_{oc}(V)$	$I_{sc}(mA)$	$R_0=U_{oc}/I_{sc}$

(2) 外特性曲线的测量。如图 1-12 (a) 所示接线, E_s 取 12V, 改变 R 的数值, 测量有关数值, 并记入表 1-13 中。根据表 1-13 画出特性曲线, 并求出 E_0 和 R_0 。

表 1-13 伏安法测等效电阻

被测量	1	2	3	4	5	6	7	8
$U(V)$								
$I(mA)$								
$R_{eq}(\Omega)$								
R_{eq} 均值			$R_{eq}=$					

1.5.5 实验注意事项

- (1) 在进行叠加定理实验时, 测量各支路电流时应注意仪表的极性, 及记录数据的“+、-”。
- (2) 测量过程中应注意根据被测量的大小, 及时更换仪表量程。
- (3) 改接电路时, 要先关掉电源。

1.5.6 预习与思考

- (1) 叠加定理实验中, E_1 、 E_2 分别单独作用时, 应如何操作? 可否直接将不作用的电源短接置零?
- (2) 在求戴维南等效电路时, 做短路试验, 测 I_{sc} 的条件是什么?

1.5.7 实验报告

- (1) 根据表 1-11 的实验数据, 进行分析、比较、归纳、总结实验结论, 即验证线性电路的叠加定理与齐性定理、基尔霍夫定律。
- (2) 根据表 1-12、表 1-13 的实验数据, 计算出 U_{oc} 和 R_{eq} , 分析产生误差的原因。

1.6 电压源与电流源的等效变换

1.6.1 实验目的

- (1) 掌握电源外特性的测试方法。
- (2) 验证电压源与电流源等效变换的条件。

1.6.2 实验原理

(1) 直流稳压电源在一定电流范围内, 具有很小的内阻, 实用中可视为理想电压源, 即其输出电压不随负载电流而变, 其外特性, 即伏安特性 $U=f(I)$ 是一条平行于 I 轴的直线。

实用中, 恒流源在一定电压范围内, 可视为一个理想电流源。其输出电流不随负载电压