

高等工科院校非电类专业系列实验教材

电工学实验指导

DIANGONGXUE SHIYAN ZHIDAO

李艳红 隋首钢 曲怀敬 徐红东 苗松池
吴延荣 王桂娟 张 涛 张坤艳 王 敏 编著



海军出版社

高等工科院校非电类专业系列实验教材

电工学实验指导

DIANGONGXUE SHIYAN ZHIDAO

李艳红 隋首钢 曲怀敬 徐红东 苗松池
吴延荣 王桂娟 张 涛 张坤艳 王 敏 编著

海洋出版社

2016年·北京

内 容 简 介

本书是根据电工学实验教学大纲编写的教材,全书从最基本的技能和知识点开始,辅以大量的实验作为导引,帮助读者掌握电工学实验的相关知识 with 操作技能。

全书共分为 15 章、1 个附录及 10 个实验报告练习,主要内容包括基尔霍夫定律及电位、电压关系的验证;叠加定理和等效电源定理;日光灯电路和功率因数的提高;三相交流电路;三相功率的测量;单相变压器;三相异步电动机的基本控制;三相异步电动机的顺序控制;单管交流电压放大电路;查分放大电路;基本运算放大电路;整流滤波与稳压电路;集成门电路与触发器的逻辑功能测试;计数器及其应用;数字电路设计实验等实验的目的、预习要求、实验内容、注意事项及实验报告要求等。附录部分为常用电工电子仪器仪表的使用。10 个实验报告练习分别为本书相关的重点实验。

适用范围:高等工科院校非电类专业系列实验课教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工学实验指导/李艳红等编著. -- 北京:海洋出版社,2016.9

ISBN 978-7-5027-9489-7

I. ①电… II. ①李… III. ①电工实验—高等学校—教材 IV. ①TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 123409 号

总 策 划: 刘斌

责任编辑: 刘斌

责任校对: 肖新民

责任印制: 赵麟苏

排 版: 海洋计算机图书输出中心 晓阳

出版发行: 海洋出版社

地 址: 北京市海淀区大慧寺路 8 号(707 房间)印
100081

经 销: 新华书店

技术支持: 010-62100059

发 行 部: (010) 62174379 (传真) (010) 62132549

(010) 62100075 (邮购) (010) 62173651

网 址: <http://www.oceanpress.com.cn/>

承 印: 北京朝阳印刷厂有限责任公司

版 次: 2016 年 9 月第 1 版

2016 年 9 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16

张: 7

字 数: 168 千字

印 数: 1~5000 册

定 价: 19.00 元

本书如有印、装质量问题可与发行部调换

前 言

《电工学实验指导》是电工学课程的配套实验指导书，适用于高等学校理工科非电专业，满足电工学实验课程的教学要求。本书体现了理论教学与实验教学的统一，通过实验环节的学习和实践，使学生深入理解和掌握电工学课程的理论知识，并能够将课堂所学的理论应用到实践中，利用所学知识解释实验中出现的现象，从而提高学生针对实际问题进行电子设计制作的能力。

《电工学实验指导》共包括 15 个实验，主要分为三部分：电工实验 8 个，模拟电子实验 4 个，数字电子实验 3 个，各种常用的实验仪器操作说明放在附录中，便于学生在实验操作过程中参考使用。本书实验内容丰富，包含基础性实验、综合性实验、设计性实验。基础性实验主要是与理论教学内容相对应的验证性原理实验，对每个实验原理作了详细的说明。综合性实验是在教学基本要求的基础上提高和扩展的内容，具有实用性、先进性和综合性，可扩大学生的知识面。设计性实验要求学生综合利用所学理论知识，查阅相关资料完成实验内容，学生们自行确定实验方案，设计电路，选择元件及仪器，完成实验内容。综合性实验和设计性实验检验学生实验技能的方式，既实现对学生基本技能的训练，又体现创新能力的培养，符合教学的先进性、实用性。

本书由山东建筑大学电工学教研室集体编写，其中电工实验部分（第 1 章~第 8 章）由李艳红编写，电子实验部分（第 9 章~第 15 章）由隋首钢编写，附录部分由曲怀敬编写，山东建筑大学电工学教研室主任曲怀敬及全体教师参与了书稿的整理及校核工作。在此，感谢各位对本书的大力支持和帮助。同时在本书的编写过程中，参考了有关资料、文献，在此一并对资料和文献的作者表示感谢。

由于作者水平有限，在本书编写过程中，难免会出现一些不当和错漏，诚盼读者指正。

山东建筑大学电工学教研室

2016 年 6 月

目 录

绪论	1
第 1 章 基尔霍夫定律及电位、电压关系的验证	3
1.1 实验目的	3
1.2 实验原理	3
1.3 实验仪器和设备	3
1.4 预习要求	4
1.5 实验内容及步骤	4
1.6 实验报告要求	5
第 2 章 叠加定理和等效电源定理	6
2.1 实验目的	6
2.2 实验原理	6
2.3 实验仪器和设备	7
2.4 预习要求	7
2.5 实验内容及步骤	7
2.6 实验报告要求	10
第 3 章 日光灯电路和功率因数的提高	11
3.1 实验目的	11
3.2 实验原理	11
3.3 实验仪器和设备	12
3.4 预习要求	12
3.5 实验内容及步骤	12
3.6 实验报告要求	13
第 4 章 三相交流电路	14
4.1 实验目的	14
4.2 实验原理	14
4.3 实验仪器和设备	14
4.4 预习要求	14

4.5 实验内容及步骤	15
4.6 注意事项	16
4.7 实验报告要求	16
第5章 三相功率的测量	17
5.1 实验目的	17
5.2 实验原理	17
5.3 实验仪器和器件	18
5.4 预习要求	18
5.5 实验内容及步骤	18
5.6 注意事项	19
5.7 实验报告要求	19
第6章 单相变压器	20
6.1 实验目的	20
6.2 实验原理	20
6.3 实验仪器和设备	21
6.4 预习要求	21
6.5 实验内容及步骤	21
6.6 实验报告要求	23
第7章 三相异步电动机的基本控制	24
7.1 实验目的	24
7.2 实验原理	24
7.3 实验仪器和设备	25
7.4 预习要求	26
7.5 实验内容及步骤	26
7.6 报告要求	26
第8章 三相异步电动机的顺序控制	26
8.1 实验目的	26
8.2 预习要求	26
8.3 实验内容	26
8.4 注意事项	26
8.5 报告要求	26
第9章 单管交流电压放大电路	28
9.1 实验目的	28

9.2 实验原理	28
9.3 实验仪器和设备	30
9.4 预习要求	30
9.5 实验内容及步骤	30
9.6 实验报告要求	31
第 10 章 差分放大电路	32
10.1 实验目的	32
10.2 实验原理	32
10.3 实验仪器和设备	33
10.4 预习要求	33
10.5 实验内容及步骤	33
10.6 实验报告要求	34
第 11 章 基本运算放大电路	35
11.1 实验目的	35
11.2 实验原理	35
11.3 实验仪器和设备	36
11.4 预习要求	36
11.5 实验内容及步骤	36
11.6 注意事项	38
11.7 实验报告要求	38
第 12 章 整流滤波与稳压电路	39
12.1 实验目的	39
12.2 实验原理	39
12.3 实验仪器和设备	40
12.4 预习要求	40
12.5 实验内容及步骤	40
12.6 注意事项	42
12.7 实验报告要求	42
第 13 章 集成门电路与触发器的逻辑功能测试	43
13.1 实验目的	43
13.2 实验原理	43
13.3 实验仪器设备	45
13.4 预习要求	46
13.5 实验内容及步骤	46

13.6	注意事项	47
13.7	实验报告要求	47
第 14 章	计数器及其应用	48
14.1	实验目的	48
14.2	实验原理	48
14.3	实验仪器和设备	49
14.4	预习要求	49
14.5	实验内容及步骤	50
14.6	实验报告要求	51
第 15 章	数字电路设计实验	52
15.1	实验目的	52
15.2	预习要求	52
15.3	实验内容	52
15.4	注意事项	52
15.5	实验报告要求	52
附录	常用电工电子仪器仪表的使用	53

绪 论

一、实验目的

《电工学》是高等学校理工科非电类各专业的一门实践性很强的专业基础课。电工学实验作为该课程的重要教学环节，对培养学生理论联系实际学风、研究问题和解决问题的能力、创新能力和协作精神，以及提高学生针对实际问题进行电子设计制作的能力具有重要的作用。

通过该课程的实验环节，可以使學生得到电工电子基本实践技能的训练，学会运用所学理论知识判断和解决实际问题，加深和扩大理论知识；学会常用电工仪表、电子仪器等基本实验设备的测量原理及使用方法；能根据要求合理布线和正确连接实验线路，能分析并排除实验中出现的故障；能运用理论知识对实验现象、结果进行分析和处理；能根据要求，进行简单电路的设计，并正确选择合适的电路元件及适用的仪器设备。

二、实验前预习

每次实验前，学生须仔细阅读本实验指导书的相关内容，明确实验目的、要求；明确实验步骤、测试数据及需观察的现象；复习与实验内容有关的理论知识；预习仪器设备的使用方法、操作规程及注意事项；做好预习要求中提出的其他事项。

三、实验注意事项

1. 实验开始前，应先检查本组的仪器设备是否齐全完备，了解设备使用方法及线路板的组成和接线要求。
2. 实验时每组同学应分工协作，轮流接线、记录、操作等，使每个同学受到全面训练。
3. 接线前应将仪器设备合理布置，然后按电路图接线。实验电路走线、布线应简洁明了、便于测量。
4. 完成实验系统接线后，必须进行复查，按电路逐项检查各仪表、设备、元器件的位置、极性是否正确。确定无误后，方可通电进行实验。
5. 实验中严格遵循操作规程，改接线路和拆线一定要在断电的情况下进行。绝对不允许带电操作。如发现异常声、味或其他事故情况，应立即切断电源，报告指导教师检查处理。
6. 测量数据或观察现象要认真细致，实事求是。使用仪器仪表要符合操作规程，切勿乱调旋钮、档位。注意仪表的正确读数。
7. 未经许可，不得动用其他组的仪器设备或工具等物。
8. 实验结束后，实验记录交指导教师查看并认为无误后，方可拆除线路。最后，应清

理实验桌面，清点仪器设备。

9. 爱护公物，发生仪器设备等损坏事故时，应及时报告指导教师，按有关实验管理规定处理。

10. 自觉遵守学校和实验室管理的其他有关规定。

四、实验总结

每次实验后，应对实验进行总结，即对实验数据进行整理，绘制波形和图表，分析实验现象，撰写实验报告。实验报告除写明实验名称、日期、实验者姓名、同组实验者姓名外，还包括：

1. 实验目的；
2. 实验仪器设备（名称、型号）；
3. 实验原理；
4. 实验主要步骤及电路图；
5. 实验记录（测试数据、波形、现象）；
6. 实验数据整理（按每项实验的“实验报告要求”进行计算、绘图、误差分析等）；
7. 回答每项实验的有关问答题。

第1章 基尔霍夫定律及电位、电压关系的验证

1.1 实验目的

1. 验证基尔霍夫电流定律和电压定律，巩固所学的理论知识。
2. 学习电位的测量方法，加深对电位、电压概念的理解。
3. 理解参考方向与实际方向的关系。

1.2 实验原理

基尔霍夫定律是电路的基本定律。它包括基尔霍夫电流定律 (KCL) 和基尔霍夫电压定律 (KVL)。

1. 基尔霍夫电流定律

对电路中的任一结点，任一瞬时，各支路电流的代数和等于零，即 $\sum I=0$ 。此定律阐述了电路任一结点上各支路电流间的约束关系，且这种约束关系与各支路元件的性质无关，无论元件是线性的或非线性的、含源的或无源的、时变的或非时变的。

2. 基尔霍夫电压定律

对任何一个电路，沿闭合回路的电压降的代数和为零，即 $\sum U=0$ 。此定律阐述了任一闭合电路中各电压间的约束关系，这种关系仅与电路结构有关，而与构成电路的元件性质无关。

3. 参考方向

KCL、KVL 表达式中的电流和电压都是代数量，除具有大小外，还有方向，其方向以量值的正负表示。通常，在电路中要先假定某方向为电流和电压的参考方向。当它们的实际方向与参考方向相同时，取值为正；相反时，取值为负。

4. 电位参考点

测量电位首先要选择零电位参考点，电路中某点的电位就是该点与参考点之间的电压。电位参考点的选择是任意的，且电路中各点的电位值随所选电位参考点的不同而变，但任意两点间的电位差即电压不因参考点的改变而变化。所以，电位具有相对性，而电压具有绝对性。

1.3 实验仪器和设备

1. 双路直流稳压电源 1 台
2. 直流毫安表 1 块
3. 直流电压表 1 块
4. 直流电路单元板 1 块
5. 导线若干

1.4 预习要求

- 1. 复习基尔霍夫定律，根据本次实验电路的参数，估算出待测电流、电压。
- 2. 复习电位、电压的概念及其计算方法，根据本次实验电路的参数，估算出不同参考点时的待测电位值及电压。

1.5 实验内容及步骤

1. 验证基尔霍夫电流定律 (KCL)

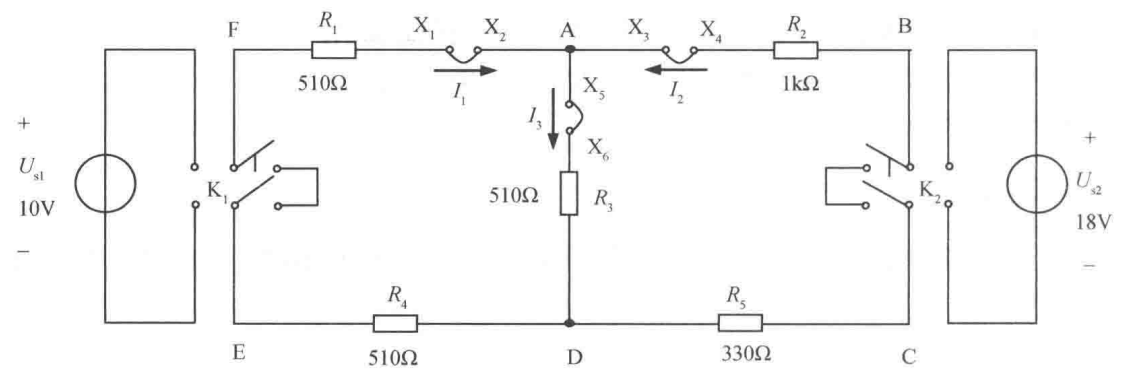


图 1.1 基尔霍夫定律及电位、电压关系的验证实验电路

本实验通过直流电路单元板进行，按图 1.1 搭建电路。电源 U_{S1} 、 U_{S2} 在接入之前，应先设定直流稳压电源输出电压。将直流稳压电源输出“细调”旋钮调至最小位置，然后打开电源开关，先调整“粗调”旋钮使输出电压接近设定值，再调整输出“细调”旋钮，使直流稳压电源两路输出分别为 $U_{S1} = 10V$ ， $U_{S2} = 18V$ 。直流稳压电源输出电压设置完成后，再将 U_{S1} 和 U_{S2} 接到电路上。

图中 X_1 - X_2 、 X_3 - X_4 、 X_5 - X_6 为电流插口，可将电流测量专用线一端的一个接头与电流表接好，然后再另一端的一个插头插入电流插口，即可从电流表上读数。当不进行电流测量操作时，即该点不插入测量电流专用线时，则其内部导线导通。将测量结果填入表 1.1。

表 1.1 测量结果 单位：mA

	计算值	测量值
I_1		
I_2		
I_3		
$\Sigma I = I_1 + I_2 - I_3$		

2. 验证基尔霍夫电压定律 (KVL)

实验电路同图 1.1，取回路 ADEFA 和回路 ABCDA，用电压表依次测量两个回路中的各支路电压 U_{AD} 、 U_{DE} 、 U_{EF} 、 U_{FA} 和 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DA} ，将测量结果填入表 1.2 中。测量时，可选顺时针绕行方向为正方向，如测量电压 U_{AB} ，将“正”表笔接在 A 点，“负”表笔接在 B 点，将数字显示读数填入表格。

表 1.2 测量结果

单位: V

	U_{AD}	U_{DE}	U_{EF}	U_{FA}	ΣU	U_{AB}	U_{BC}	U_{CD}	U_{DA}	ΣU
计算值										
测量值										

3. 电位、电压的测量

实验电路同图 1.1, 分别以电路的 E 点、C 点为参考点, 测量电路中的 A、B、C、D、E、F 各点电位, 将测量结果填入表 1.3 中。测电位时, 应将电压表的“正”表笔接在被测点, “负”表笔接在电位参考点上。

测量上述每两点间的电压 U_{FA} 、 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AD} 、 U_{CD} 、 U_{DE} 、 U_{EF} , 将测量结果填入表 1.4 中。根据以 E、C 点为参考点而测量的电位值, 分别计算上述电压值, 将计算结果也填入表 1.4 中。

表 1.3 测量结果

单位: V

电位 参考点	U_A	U_B	U_C	U_D	U_E	U_F
E						
C						

表 1.4 计算结果

单位: V

电压 参考点	U_{FA}	U_{AB}	U_{BC}	U_{AD}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EF}
E (测量)							
C (测量)							
E (计算)							
C (计算)							

1.6 实验报告要求

1. 写明本次实验所用仪器仪表的型号、规格及量程。
2. 利用表 1.1 和表 1.2 中的测量结果验证 KCL、KVL 定律。
3. 根据表 1.3 和表 1.4 中的数据, 总结电位和电压的关系, 分析参考点对电位和电压的影响。

第2章 叠加定理和等效电源定理

2.1 实验目的

1. 验证叠加定理和戴维宁定理。
2. 熟悉电路的开路和短路情况，掌握测量开路电压与等效内阻的方法。

2.2 实验原理

1. 叠加定理

在线性电路中，有多个电源同时作用时，任一支路的电流或电压都是电路中每个独立电源单独作用时在该支路中所产生的电流或电压的代数和。

2. 等效电源定理

任何一个线性有源二端网络，总可以用一个理想电压源和一个等效内阻相串联来代替，其理想电压源的电压等于该网络的开路电压 U_{oc} ，等效内阻等于该网络中所有独立电源为零时的等效电阻 R_0 。

(1) 开路电压的测试方法

① 一般情况下，把外电路断开，选万用表电压档测其两端电压值，即为开路电压。若电压表内阻远大于被测网络的等效电阻，其测量结果相当精确。若电压表内阻较小，则误差很大，必须采用补偿法。

② 补偿法：如图 2.1 所示，外加 U_s 和 R 构成补偿电路，调节 R 的值，使检测计 G 指示为零，此时电压表指示的电压值即为开路电压 U_{oc} 。

(2) 等效电阻 R_0 (内阻)的测试方法

① 用欧姆表测：若电源能与其内阻分开，则可将电源除去后用欧姆表测出电阻值。若电源与其内阻分不开(如干电池)就不能用此法。

② 测量网络两端的开路电压 U_{oc} 及短路电流 I_s 。按 $R_0 = U_{oc} / I_s$ 计算出等效电阻。此法适用于网络两端可以被短路的情况（建议该实验用此方法测 R_0 ）。

③ 外加电压 U_0 ，测其端电流 I ，按 $R_0 = U_0 / I$ 计算，用这种方法时，应先将有源二端网络的电源除去，若不能除去电源，或者网络不允许外加电源，则不能用此法。

④ 测量开路电压 U_{oc} 及有载电压 U_o ，如图 2.2 所示，按 $R_0 = (\frac{U_{oc}}{U_o} - 1)R_L$ 计算，若 R_L 采用一个精密电阻，则此法精度也较高。

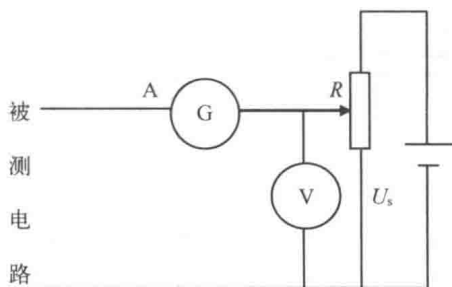


图 2.1 补偿法测开路电压

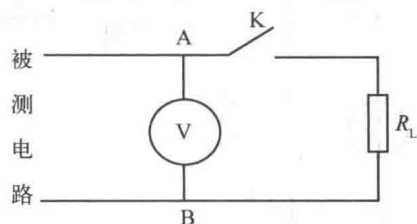


图 2.2 等效电阻的测量

2.3 实验仪器和设备

- | | |
|-------------|-----|
| 1. 双路直流稳压电源 | 1 台 |
| 2. 直流毫安表 | 1 块 |
| 3. 直流电压表 | 1 块 |
| 4. 直流电路 | 1 只 |
| 6. 导线 | 若干 |

2.4 预习要求

1. 复习叠加定理和等效电源定理。
2. 根据图 2.4 等效电源定理实验电路的参数，计算从 A、B 两端断开的二端网络的等效电源参数。

2.5 实验内容及步骤

1. 验证叠加定理

本实验在直流电路单元板上进行，按图 2.3 搭建电路。电源 U_{S1} 、 U_{S2} 在接入之前，应先设定直流稳压电源输出电压。将直流稳压电源输出“细调”旋钮调至最小位置，然后打开电源开关，先调整“粗调”旋钮使输出电压接近设定值，再调整输出“细调”旋钮，使直流稳压电源两路输出分别为 $U_{S1} = 14V$ ， $U_{S2} = 18V$ 。直流稳压电源输出电压设置完成后，再将 U_{S1} 和 U_{S2} 接到电路上。 U_{S1} 、 U_{S2} 是否作用于电路，分别由换路开关 K_1 、 K_2 控制，当开关投向短路一侧时，该电源不作用于电路。

(1) 接通电源 U_{S1} ，将 K_2 投向短路侧，测量 U_{S1} 单独作用时各支路电流和电压（测量方法可参考实验一中电流和电压的测量），将测量结果填入表 2.1 和表 2.2。测量中注意电流和电压的参考方向。

(2) 将 K_1 投向短路侧，接通电源 U_{S2} ，测量 U_{S2} 单独作用时各支路电流和电压，将测量结果填入表 2.1 和表 2.2。

(3) 接通电源 U_{S1} 和 U_{S2} ，测量 U_{S1} 和 U_{S2} 共同作用下各支路电流和电压，将测量结果填入表 2.1 和表 2.2。

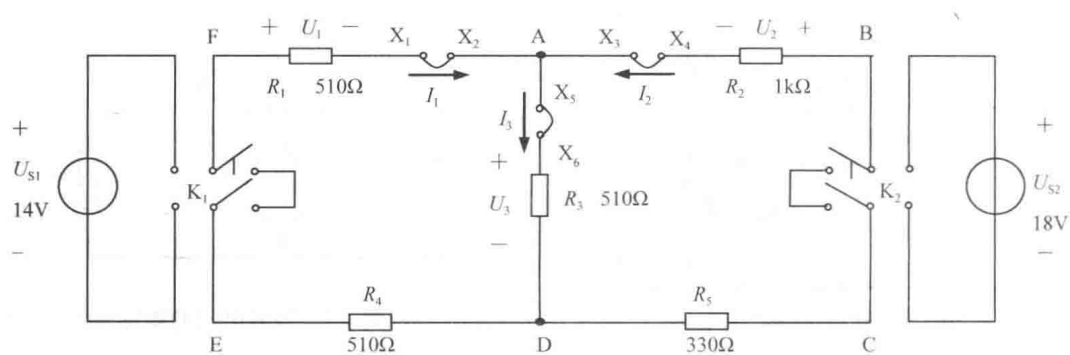


图 2.3 叠加定理实验电路

表 2.1 测量结果

单位: mA

电源	电流		
U_{S1} 单独作用	I'_1	I'_2	I'_3
U_{S2} 单独作用	I''_1	I''_2	I''_3
U_{S1} 和 U_{S2} 共同作用	I_1	I_2	I_3
验证 叠加定理	$I_1 = I'_1 + I''_1$	$I_2 = I'_2 + I''_2$	$I_3 = I'_3 + I''_3$

表 2.2 测量结果

单位: V

电源	电压		
U_{S1} 单独作用	U'_1	U'_2	U'_3
U_{S2} 单独作用	U''_1	U''_2	U''_3
U_{S1} 和 U_{S2} 共同作用	U_1	U_2	U_3
验证 叠加定理	$U_1 = U'_1 + U''_1$	$U_2 = U'_2 + U''_2$	$U_3 = U'_3 + U''_3$

2. 测量有源二端网络的外部伏安特性

本实验仍在直流电路单元板上进行。按图 2.4 接线, 即将图 2.3 中的 U_{S2} 去掉, 改接 R_L (R_L 选用 XKD01 实验箱的 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4), 并使 $U_{S1} = 25V$, 选择 B、C 两端左侧为有源二端网络。

调节有源二端网络外接电阻 R_L 的数值, 使其分别为表 2.3 中所示数值。测量通过 R_L 的电流 (可通过测量 R_2 的电流插孔得到, 但应注意 R_2 的电流与 R_L 的电流参考方向相反) 和 R_L 两端电压, 将测量结果填入表 2.3 中。

其中, $R_L = 0$ 时的电流为短路电流 I_S , $R_L = \infty$ 时的电压为开路电压 U_{OC} 。

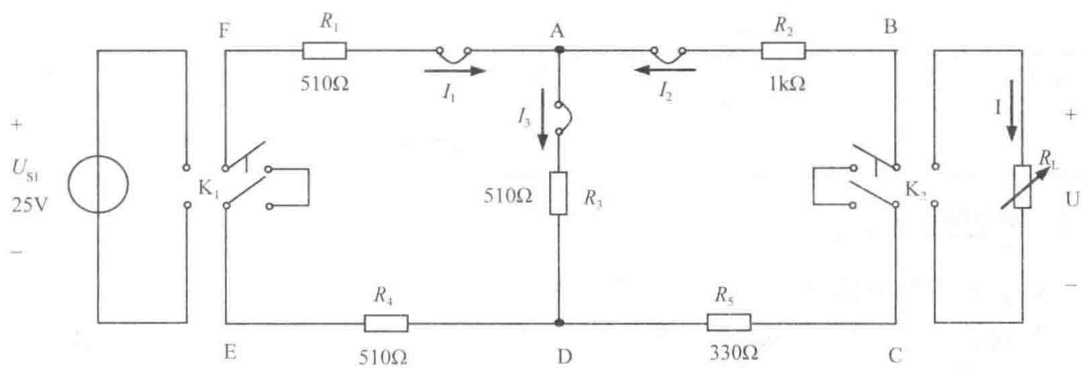


图 2.4 等效电源定理实验电路

表 2.3 测量结果 单位: V

$R_L (\Omega)$	0	200	1K	6.2K	10K	∞
$I \text{ (mA)}$						
$U \text{ (V)}$						

3. 测量等效电源的参数

根据步骤 2 的测量结果, 开路电压 $U_{OC} = \underline{\hspace{1cm}}$ V, 短路电流 $I_S = \underline{\hspace{1cm}}$ mA, 则二端网络的等效电源电压 $U_0 = \underline{\hspace{1cm}}$ V, 内阻 $R_0 = \underline{\hspace{1cm}}$ Ω 。

4. 实验验证等效电源定理 (选做)

用步骤 3 中的等效电源参数 U_0 、 R_0 代替二端网络, 按图 2.5 接入 R_L 。改变 R_L 阻值, 测量不同端电压下的电流值, 记于表 2.4。

表 2.4 测量结果 单位: V

$R_L (\Omega)$	0	200	1K	6.2K	10K	∞
$I \text{ (mA)}$						
$U \text{ (V)}$						

5. 理论验证等效电源定理

用步骤 3 中的等效电源参数 U_0 、 R_0 代替二端网络, 等效电路如图 2.5 所示。计算负载 R_L 不同阻值情况下的 I 、 U 值, 填入表 2.5 中。

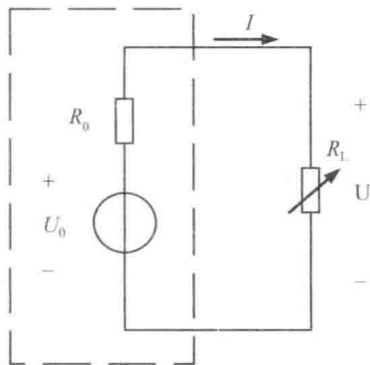


图 2.5 戴维宁定理等效电路图