

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONGXUE
SHIYAN ZHIDAOSHU

电工学 实验指导书

姜 娟 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONGXUE
SHIYAN ZHIDAOSHU

电工学 实验指导书

主 编 娄 娟
编 写 郭佩英 刘晓峰
主 审 赵莲清



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共分为四部分,主要包括电路实验、电机实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验。文后还附有部分常用电子元器件和仪器仪表的使用说明,便于学生对照查询。

本书可作为高等院校热能与动力工程、工程管理等非电类专业的电工学实验课教材,也可作为高职高专教材和相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工学实验指导书/姜娟主编. —北京:中国电力出版社, 2006

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 7-5083-4475-8

I. 电... II. 姜... III. 电工学—高等学校—教材
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 071564 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)
北京同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2006 年 8 月第一版 2006 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 11 印张 267 千字
印数 0001—3000 册 定价 16.80 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)



前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

《电工学实验指导书》是与《电工学》专业基础理论课程相配合的实验课教材,是为了适应教学改革,进行素质教育,培养学生实践动手能力和创新能力而编写的。

本实验教材是依据原国家教委电工电子相关课程教学指导委员会制订的课程基本要求,结合多数学校现有的实验设备条件编写的,内容包括电路实验、电机实验、模拟电子技术实验和数字电子技术实验。

本教材力求体现如下特点:

(1) 覆盖面广:涵盖电工技术和电子技术所要求的相关内容,本科和专科的电类及非电类相关专业的学生均可使用,结合不同专业内容具有可选性。

(2) 选材经典:教材中所选择的实验少而精,是学生必做的经典项目,具有很强的通用性,各学校亦可根据自身情况进行调整。

(3) 结合教改:设置了相应的设计性实验和扩展性实验,注重培养学生的实践动手能力和思维创新能力,有助于学生综合素质的培养。

(4) 以人为本:采用实验报告一体化便撕式设计,学生做完实验即可填写数据、绘图并上交,节省了重复抄写的时间,实用性强,受到学生好评。

(5) 编排新颖:页面设计美观,图文并茂,易学易用;重点内容清晰,使学生对实验目的更加明确;注意事项突出,最大限度地减少学生在实验过程中对设备的损坏。

本书是在结合多年的实验教学经验基础上编写的,由娄娟主编,刘晓峰、郭佩英为参编。为了了解学生对实验指导书的要求和感受,还请张撼难、唐梦娴和赵敌敌三位同学为本书出谋划策,并做了大量的文字图片录入工作,在此表示感谢。本书由华北电力大学赵莲清老师担任主审。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和疏漏之处,殷切希望采用本教材的教师和同学批评指正,以便完善和提高。

编 者

2005年11月

目 录

前言

电工学实验基本要求	1
第1部分 电路实验	3
1.0 电路教学实验台简介	3
1.1 基尔霍夫定律和叠加定理	7
1.2 等效电源定理	11
1.3 特勒根定理和互易定理	15
1.4 交流参数的测定	19
1.5 功率因数的提高	23
1.6 三相电路的电压和电流	29
1.7 三相电路功率的测量	35
1.8 一阶电路的响应	41
1.9 二阶电路的响应	47
1.10 非正弦周期电流电路	53
第2部分 电机实验	57
2.0 电机教学实验台简介	57
2.1 三相变压器特性	64
2.2 三相变压器的联结组别及电动势波形	71
2.3 三相鼠笼异步电动机的工作特性	79
2.4 三相同步发电机的运行特性	89
2.5 三相同步发电机的并联运行	97
第3部分 模拟电子实验	105
3.0 模拟电子综合实验仪简介	105
3.1 常用电子仪器的使用方法	106
3.2 单管电压放大器	111
3.3 负反馈放大器	117
3.4 差动放大器	121
3.5 集成运算放大器的线性应用	125
第4部分 数字电子技术实验	131
4.0 数字电子综合实验仪简介	131
4.1 门电路逻辑功能测试	133

4.2 组合逻辑电路的设计	137
4.3 集成译码器及其应用	141
4.4 时序触发器计数器	145
4.5 555 定时器的应用	149
附录	153
附录 1 部分常用器件介绍	153
附录 2 部分常用仪器仪表	162
参考文献	170

电工学实验基本要求

电工学实验是电工学课程教学环节之一,其目的是通过实验来验证和巩固所学理论知识。使学生掌握基本的实验方法与操作技能和技巧,使学生学会根据实验目的拟定实验线路,选择所需仪表,确定实验步骤,测量所需数据,进行计算与分析研究,得出必要结论,撰写实验报告。

现按实验过程提出下列基本要求。

一、实验前准备

实验前应复习相关理论知识,认真阅读本次实验的指导书,明确实验的目的、内容、方法与步骤,明确实验过程中应注意的问题。认真做好实验前的准备工作,对于培养学生独立工作能力、提高实验质量和效率都是很重要的。

二、实验的进行

(1) 建立小组,合理分工。每次实验以小组为单位进行,每组由2~3人组成,推选组长一人,组长负责组织实验的进行,务求在实验过程中操作协调、数据准确。

(2) 抄录铭牌,选择仪表。实验前应首先熟悉实验设备,记录铭牌上的相关数据,然后将仪表设备布置整齐,便于测量数据。

(3) 按图接线,力求简明。根据实验线路图及所选仪表设备,按图接线,线路力求简单明了。接线原则是先串联主回路,再接并联支路,也就是说,由电源开关后开始,连接主要的串联回路,如果是三相,则三根线一齐往下接;如果是单相或直流,则从一极出发,经过主要线路及各仪表、设备,最后返回到另一极。

(4) 按照计划,测量数据。预习时对实验内容与实验结果应事先做好理论分析,并预测实验结果的大致趋势,做到心中有数;正式实验时,便根据预习制定计划、测量数据。

(5) 认真负责,完成实验。实验完毕,应将数据交指导教师审阅,认可后,才允许拆线,并整理好实验台,归还仪表、工具等。

三、实验报告撰写

实验报告应根据实验目的、实验数据及在实验中观察和发现的问题,经过分析研究得出结论,或通过分析讨论得出心得体会。

实验报告要简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确。其内容包括:

(1) 实验名称、专业班级、姓名、同组同学姓名、实验台号、实验日期。

(2) 列出被试电机及使用的设备仪表编号、规格、铭牌数据。

(3) 扼要写出实验步骤(要自己总结)。

(4) 整理数据并绘制曲线。曲线绘制比例要适当,要用曲线尺或曲线板连成光滑曲线,不在曲线上的点仍按实际数据标出。

(5) 根据实验结果进行计算分析,最后得出结论,这是由实践再上升到理论的提高过程,是实验报告中重要的一部分。

每次实验每人独立做一份报告,按时收齐送交指导教师批阅。

四、实验成绩考核

- (1) 实验成绩考核主要是通过实验时的观察、提问及实验报告来确定。
- (2) 若实验为考查课，则考查不及格者不许参加理论考试。
- (3) 凡因病、因事及预习不合格者给一次补做实验的机会，无故缺席者另作处理。

第1部分 电路实验

1.0 电路教学实验台简介

一、DL-1 型通用电工（直流）实验台

直流实验台总体外观结构如图 1-0-1 所示。图中各部件及其序号为：①电源仪表控制屏；②直流部分实验模块；③自耦变压器；④直流电源及函数信号发生器；⑤实验桌，内可放置各种组件；⑥外挂万用表；⑦十进制可调电阻箱；⑧三相可调电阻器；⑨可调变阻器。

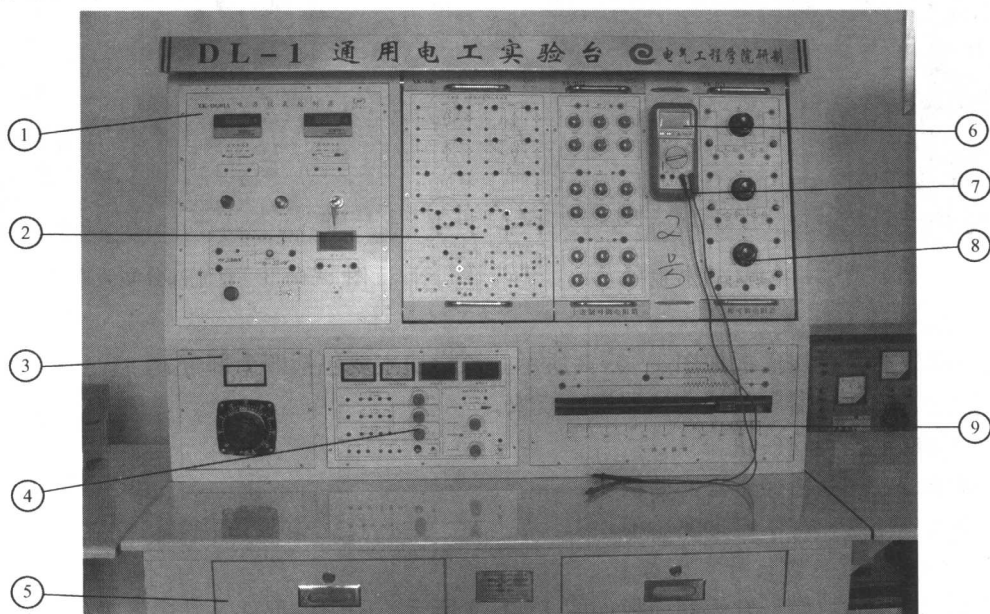


图 1-0-1 直流实验台总体外观

1. 电源仪表控制屏

电源仪表控制屏面板如图 1-0-2 所示，图中各部件及其序号为：

- ①直流电压表。其量程分为 200mV、2V、20V、200V 四档。
- ②直流电流表。其量程分为 20mA、200mA、2A 三档。
- ③电源总开关。当钥匙开关转向“开”的位置，电源控制屏接通电网。
- ④电源停止开关。按下此按钮开关，红灯亮绿灯灭，表明单相交流电源无电压输出。
- ⑤电源启动开关。当按下此开关时，绿灯亮红灯灭，主电路接触器闭合，输出单相交流电。
- ⑥主电源输出。输入 220V 交流电压，输出 0~220V 交流电压。
- ⑦电源指示灯。
- ⑧钮子开关。它能实现电网输入和调压输出间的切换。
- ⑨照明开关。
- ⑩频率计。

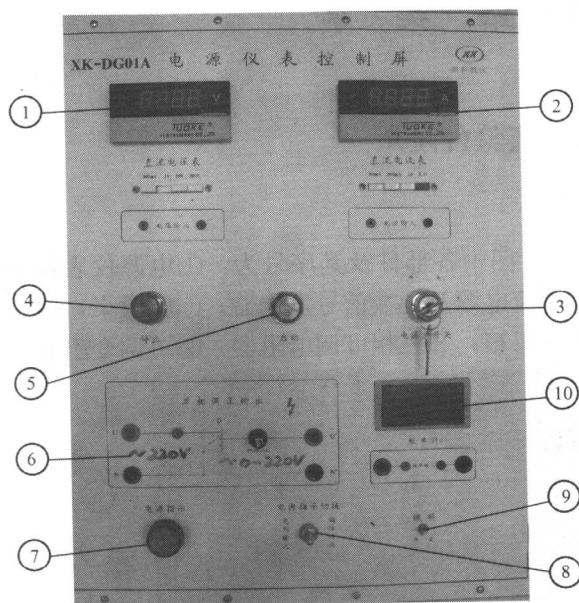


图 1-0-2 电源仪表控制屏

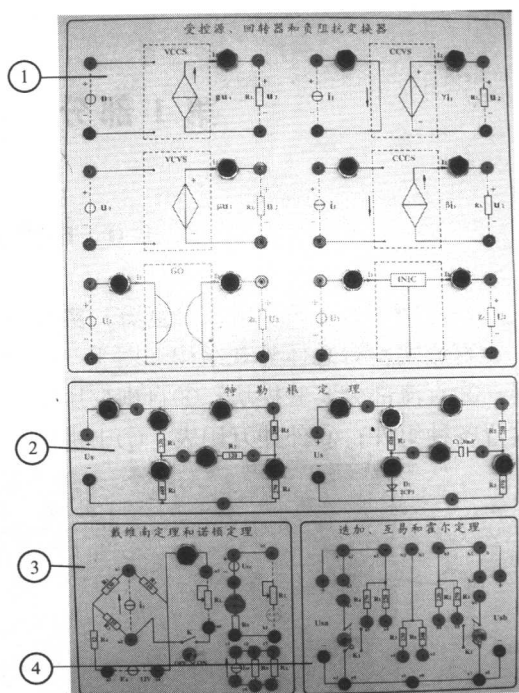


图 1-0-3 直流部分实验模块

2. 直流部分实验模块

直流部分实验模块面板如图 1-0-3 所示。该模块主要包括四个部分：

- ①受控源、回转器和阻抗变换器实验模块。
- ②特勒根定理实验模块。
- ③戴维南定理和诺顿定理实验模块。
- ④叠加、互易和霍尔定理实验模块。

3. 直流电源及函数信号发生器

直流电源及函数信号发生器面板如图 1-0-4 所示。图中各部件及其序号为：

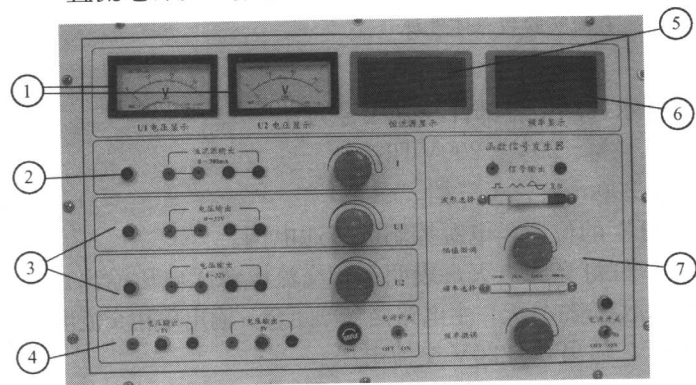


图 1-0-4 直流电源及函数信号发生器

①指针式 U_1 、 U_2 直流电压显示表。

②0~300mA 恒流源输出。

③ U_1 、 U_2 直流电压输出。

④+5V、-5V 直流电压输出，熔断器及电源开关。

⑤数字式恒流源电流显示。

⑥函数信号发生器输出信号频率显示。

⑦函数信号发生器。其输出频率可调、幅值可调的方波、三角波和正弦波，频率分为 100Hz、1kHz、10kHz、100kHz 四档。

角波和正弦波，频率分为 100Hz、1kHz、10kHz、100kHz 四档。

二、DL-1 型通用电工（交流）实验台

交流实验台总体外观结构如图 1-0-5 所示。图中各部件及其序号为：①电源仪表控制屏；②交流部分实验模块；③三相电压调节；④直流电源及函数信号发生器；⑤电容组件。

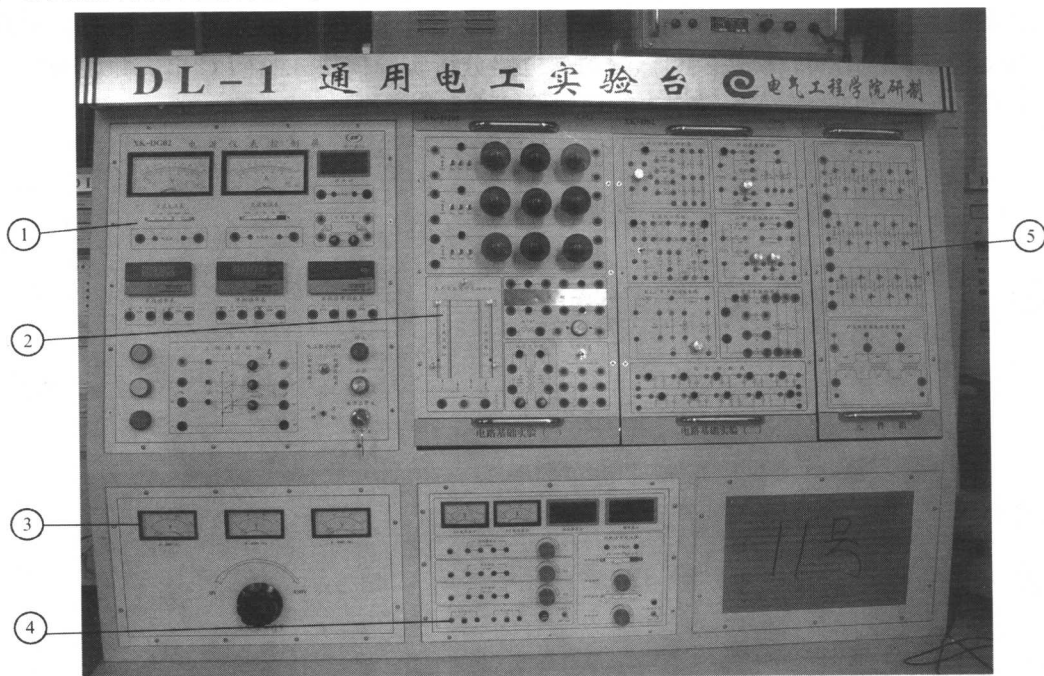


图 1-0-5 交流实验台总体外观

1. 电源仪表控制屏

电源仪表控制屏面板如图 1-0-6 所示，图中各部件及其序号为：

①交流电压表。其量程分 10V、30V、100V、300V、500V 五档。

②交流电流表。其量程分 0.3A、1A、3A、5A 四档。

③单相功率表。其电流量程为 0~5A，电压为 220V。

④三相调压输出。输入 220V 三相交流电压，输出 0~220V 三相交流电压。

⑤照明与实验切换开关。

⑥电源总开关。

⑦电源停止与启动指示灯。

⑧电压指示切换开关。

⑨单相功率因数表。其电流量程为 0~5A，电压为 220V。

⑩日光灯管。

⑪频率计。

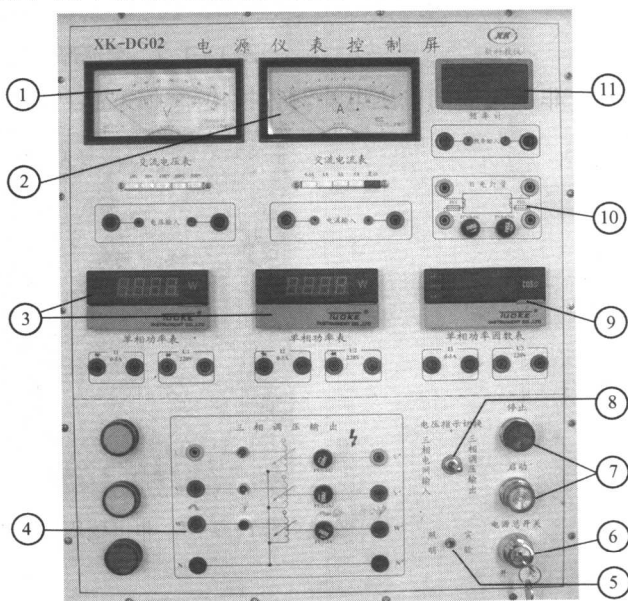


图 1-0-6 电源仪表控制屏

2. 交流部分实验模块

交流部分实验模块面板图如图 1-0-7 所示。图中各部件及其序号为：①三相灯组负载模块。②互感实验及同名端判断模块。③电流测试（替续器）及镇流器、发光器模块。④铁芯变压器模块。⑤三相开关。⑥元件伏安特性测量实验模块。⑦一阶动态电路分析实验模块。⑧无源双口网络实验模块。⑨二阶动态电路分析实验模块。⑩RLC 串、并联谐振实验模块。⑪交流参数的测定实验模块。⑫均匀传输线实验模块。

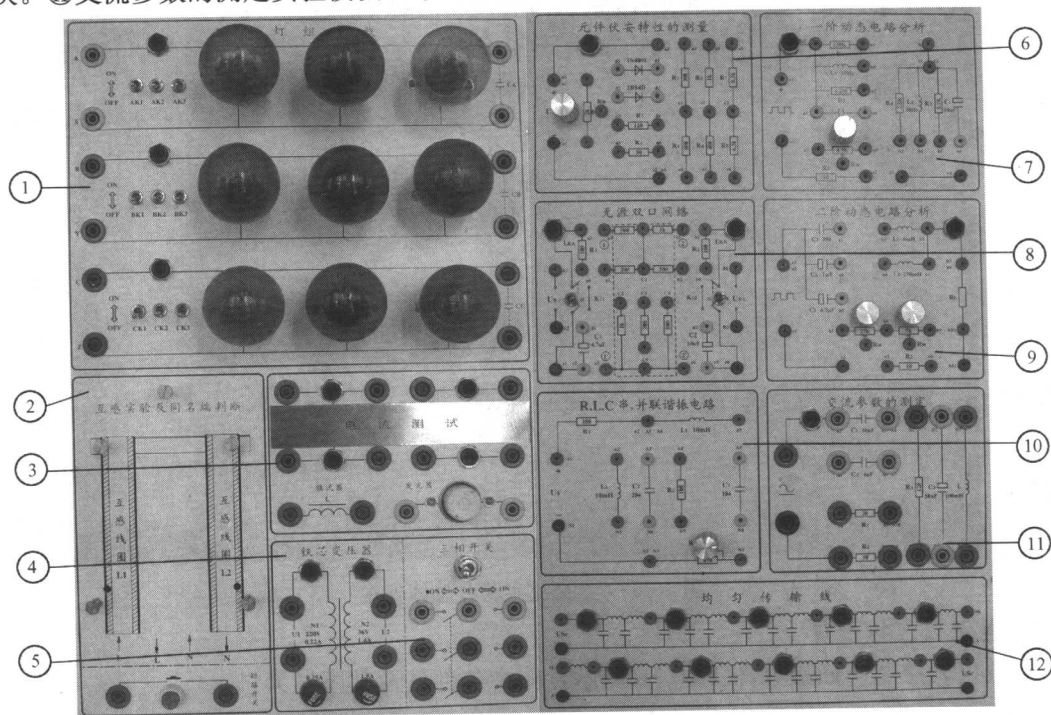


图 1-0-7 交流部分实验模块面板图

非正弦周期电压电流测量模块单独设置，其面板如图 1-0-8 所示。

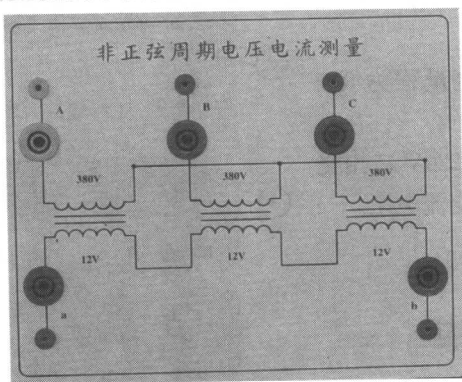


图 1-0-8 非正弦周期电压电流实验模块

1.1 基尔霍夫定律和叠加定理

一、实验目的

- (1) 验证基尔霍夫定律和叠加定理；
- (2) 加深对参考方向的理解；
- (3) 学习正确使用元件和设备。

二、实验仪器

- (1) 综合实验台
- (2) 直流稳压电源 1 台
- (3) 直流稳流电源 1 台
- (4) 直流电流表 1 块
- (5) 直流电压表 1 块

三、预习要求

- (1) 复习基尔霍夫定律和叠加原理；
- (2) 阅读仪表使用方法。

四、实验原理

(1) 基尔霍夫定律是电路理论中最基本最重要的定律之一，广泛应用于线性和非线性电路的分析计算中。

基尔霍夫电流定律 (KCL)：电路中任意时刻流入（或流出）任意节点的电流之代数和为零，可写为

$$\sum I = 0$$

通常规定：流出节点电流为正，流入节点电流为负。

基尔霍夫电压定律 (KVL)：电路中任意时刻沿任意闭合路径各段电路电压之代数和恒等于零，可写为

$$\sum U = 0$$

(2) 叠加定理：在任何由独立源、线性受控源、线性元件组成的电路中，每一支路的响应（电压或电流），都可以看成是各个独立电源单独作用时，在该支路中产生响应的代数和。这里所说一个独立电源单独作用，是指除了该独立电源外，其余独立电源均为零值。若电路巾存在着实际电源，则电源的内阻或电导应保留在原电路中。

叠加定理适用于线性电路中电压和电流的计算。但一般来讲，它不适用于功率的计算。

(3) 参考方向：为了分析计算电路方便，应假定一个电流（或电压）的正方向，称为参考方向。电路中只有确定了参考方向，电流（或电压）的正、负值才有意义。若参考方向与实际方向一致，则计为正；若参考方向与实际电流方向相反，则计为负。

五、实验内容



(1) 严禁将电压源输出端短路，在连接电路、换接电路、拆线前，应切断电源。

(2) 正确选择仪表的量程。测量时，仪表的表笔与测试点应接触牢靠，防止接触电阻对测量结果产生影响。

1. 验证基尔霍夫定律

(1) 按图 1-1-1 连接线路。 U_{s1} 和 U_{s2} 由直流稳压电源提供, 实验前应仔细调准 U_{s1} 和 U_{s2} 的值。若实验中改用电流源作为激励, 也应仔细调准直流稳流电源的输出值。

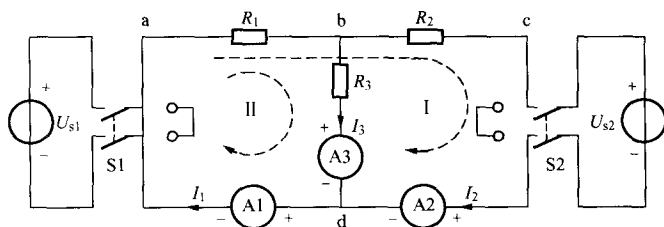


图 1-1-1

(2) 验证 KCL。

1) 接通电源, 将开关 S1、S2 分别合向 U_{s1} 、 U_{s2} 侧, 观察按参考方向接入的各电流表指针的偏转方向。



若发现电流表反向偏转时, 应及时断开电源, 将该表的正、负极性端子的接线对调, 其读数记为负。

2) 读取电流值 I_1 、 I_2 和 I_3 , 记入表 1-1-1 中, 验证 $\sum I = 0$ 。

(3) 验证 KVL。

1) 实验电路如图 1-1-1 所示。用电压表测量回路 I 中的 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{cd} 、 U_{da} ; 测量回路 II 中的 U_{ab} 、 U_{bd} 、 U_{da} , 记入表 1-1-2 中, 验证 $\sum U = 0$ 。

2) 改变 R_3 的阻值, 重新验证 $\sum U = 0$ 。



当测量 U_{ab} 时, 应将电压表的正、负极性端分别与 a、b 点相接触, 若电压表指针反向偏转, 应立即对调电压表的正负极性, 且将该表的读数记为负。

2. 验证叠加定理

实验线路如图 1-1-1 所示。

(1) 当 U_{s1} 单独作用时 ($U_{s2} = 0$, 即 S2 扳至短路侧), 测量出 I'_1 、 I'_2 、 I'_3 、 U'_{ab} 、 U'_{bd} 、 U'_{bc} 。

(2) 当 U_{s2} 单独作用时, 测量出 I''_1 、 I''_2 、 I''_3 、 U''_{ab} 、 U''_{bd} 、 U''_{bc} 。

(3) 当 U_{s1} 、 U_{s2} 共同作用时, 测量出 I_1 、 I_2 、 I_3 、 U_{ab} 、 U_{bd} 、 U_{bc} 。

以上测量数据均记入表 1-1-3 中。

(4) 将图 1-1-1 中的电压源 U_{s1} 改换为电流源 I_{s1} , 再验证叠加定理。数据记入表 1-1-4 中。

续表

序 号	测 量	R_1 支路		计算	R_2 支路		计算	R_3 支路		计算
		I_1	U_{ab}	P_1	I_2	U_{bc}	P_2	I_3	U_{bd}	P_3
3	U_{s1} 、 U_{s2} 同时作用									

结论：

表 1-1-4

验证叠加定理(2)

序 号	测 量	R_1 支路		计算	R_2 支路		计算	R_3 支路		计算
		I_1	U_{ab}	P_1	I_2	U_{bc}	P_2	I_3	U_{bd}	P_3
1	$I_{s1}=100\text{mA}$ 单独作用									
2	$U_{s2}=15\text{V}$ 单独作用									
3	I_{s1} 、 U_{s2} 同时作用									

结论：

三、思考题

1. 叠加定理的应用条件是什么？
2. 若实验电路中电源内阻不能忽略，应该如何处理？
3. 为什么线性电路中支路的电压、电流可以叠加而功率不能叠加？

1.2 等效电源定理

一、实验目的

- (1) 加深对戴维南定理和诺顿定理的理解;
- (2) 学习测量线性有源一端口网络等效电路参数的方法;
- (3) 熟悉直流仪表的使用方法。

二、实验仪器

- (1) 综合实验台
- (2) 直流稳压电源 1 台
- (3) 直流稳流电源 1 台
- (4) 直流电流表 1 只
- (5) 直流电压表 1 只
- (6) 电阻箱 2 只
- (7) 滑线变阻器 1 只
- (8) 检流计 1 只

三、预习要求

- (1) 复习戴维南定理和诺顿定理的内容;
- (2) 了解仪表内阻对测量准确度的影响, 提高正确选用仪表和分析误差的能力。

四、实验原理

(1) 戴维南定理: 任一线性有源一端口网络, 对端口外部的电路而言, 总可以用一条含电压源与电阻串联的支路来代替。该电压源的电压等于有源一端口网络的开路电压 u_{oc} , 电阻等于有源一端口网络化为无源网络后的入端等效电阻 R_{eq} 。

(2) 诺顿定理: 任一线性有源一端口网络, 对端口外部的电路而言, 总可以用一个电流源与电导的并联组合来代替。该电流源的电流等于有源一端口网络的短路电流 i_{sc} , 电导等于有源一端口网络化为无源网络后的入端等效电导 G_{eq} 。

戴维南定理和诺顿定理从不同角度, 把线性有源一端口网络概括为一个等效电源, 分别称为戴维南等效电路和诺顿等效电路, 二者等效变换的条件为

$$\begin{aligned} u_{oc} &= i_{sc} / G_{eq} & G_{eq} &= 1 / R_{eq} \\ i_{sc} &= u_{oc} / R_{eq} & R_{eq} &= 1 / G_{eq} \end{aligned}$$

线性有源一端口网络 N 的等效电路如图 1-2-1 所示。

(3) 测量线性有源一端口网络的入端等效电阻 R_{eq} 的几种方法:

1) 由戴维南定理和诺顿定理可知, 只要测出开路电压和短路电流, 就可以求出入端等效电阻, 即

$$R_{eq} = u_{oc} / i_{sc}$$

此法必须在短路电流 i_{sc} 的数值小于有源一

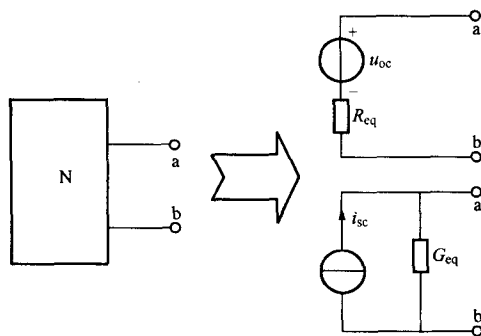


图 1-2-1 线性有源一端口网络 N 的等效电路