

中国电子教育学会高教分会推荐

普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

11010.....
00101010
11001.....
101011

电工学实验与测量

李长霞 主编

中国电子教育学会高教分会推荐
普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

电工学实验与测量

李长霞 主编
窦勤耘 谢 辉 参编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书由5章组成,内容包括电工技术基础实验(直流电路基本定律验证、线性电路分析方法、单相交流电路分析、三相交流电路研究、单(三)相变压器、三相异步电动机的启动与极性测定以及正反转控制线路测定)、电子技术基础实验(常用电子仪器、半导体器件、基本放大电路、多级放大电路、集成运算放大电路、直流稳压电源和可控整流电路、数字电路基础知识、组合逻辑电路测试、时序逻辑电路应用)、综合设计性实验、常用元器件的选用、常用电工电子仪器仪表的使用。本书可供34~60学时使用。

本书可作为高等学校工科非电类(机械类、机电类、采矿类、冶金类、化工类、地质类、建筑类、轻工类)专业电工技术和电子技术课程的实验教材,也可作为高等专科院校、职业教育、成人教育、电视大学、网络教育、在职后续教育等同类专业的实验教材,还可作为工程技术人员的学习参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电工学实验与测量/李长霞主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2015.9

普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

ISBN 978-7-5606-3774-7

I. ①电… II. ①李… III. ①电工学—实验—高等学校—教材 ②电气测量—高等学校—教材 IV. ①TM1-33 ②TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 203049 号

策划编辑 毛红兵

责任编辑 阎 彬 杜希民

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 9.5

字 数 222千字

印 数 1~3000册

定 价 20.00元

ISBN 978-7-5606-3774-7/TM

XDUP 4066001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

电工学实验是配合电工学课程设置的一门实验课。作为高等工科院校的学生,除应掌握电工学的基本理论和基本方法外,还必须获得一定的实践知识和基本技能训练。为此,电工学实验课应与电工学的课堂教学密切配合。

电工学基础实验既要理论联系实际,又要通过实验使学生牢固而灵活地掌握所学电工理论知识。因此,本书所给实验注重培养学生的实际动手能力,训练学生的操作技能。根据本课程的教学大纲的要求,实验过程应循序渐进、由浅入深,实验内容应贯彻“少而精”的原则。本书的各个实验正是按照上述精神安排的,既适应教学又便于学生使用。

本书包括三个部分。第一部分为电工技术基础实验(第一章),着重培养学生的实验基本技能和动手能力,帮助学生巩固所学基本理论知识。第二部分为电子技术基础实验和综合设计性实验(第二、三章),着重培养学生对基本电工电子实验仪器的了解、掌握,以便能够在实验时正确地选择使用;培养学生对电子实验的测试、分析及处理实验结果的方法与能力,提高其整体的综合素质。第三部分介绍常用电工电子元器件及仪器仪表的使用(第四、五章),以供查阅。

在本书的编写过程中,得到了贵州大学电学基础部和实验中心老师的大力支持,并提出了许多宝贵的意见,编者谨致以诚挚的谢意。

本书内容丰富,涉及的实验基础性强,应用面宽;实验操作方案规范,实验步骤合理简洁,可满足不同学时、不同专业、不同层次的教学需要。

限于编者水平,本书不足在所难免,诚恳希望读者提出批评和改进意见,以便今后修订。

编 者
2015 年 6 月

目 录

实验须知	1
第一章 电工技术基础实验	3
实验一 直流电路基本定律的验证	3
实验二 日光灯电路及功率因数的提高	7
实验三 三相交流电路的研究	10
实验四 R 、 L 、 C 串联谐振电路	13
实验五 单相变压器	16
实验六 三相变压器	21
实验七 三相异步电动机的极性测定及启动	27
实验八 三相异步电动机的正反转控制线路	30
第二章 电子技术基础实验	34
实验一 常用电子仪器使用练习	34
实验二 小信号共射极放大器	38
实验三 电压串联负反馈放大器	41
实验四 集成运算放大器及其应用	44
实验五 单相整流、滤波和三端稳压电路	48
实验六 组合逻辑的设计与测试	52
实验七 触发器及其应用	54
实验八 计数器及其应用	58
第三章 综合设计性实验	64
实验一 多组灯具单开关控制器	64
实验二 音响放大器的设计	65
实验三 多功能数字钟的电路设计	67
第四章 常用元器件的选用	69
第一节 电阻器	69
第二节 电容器	76
第三节 电感器	84
第四节 变压器和继电器	85
第五节 半导体二极管	89
第六节 半导体三极管	94
第七节 集成运放和集成稳压器	101
第五章 常用电工电子仪器仪表的使用	106

第一节 测量的基本知识	106
第二节 电测量指示仪表	115
第三节 电测量电子仪器	124
附录 A 电阻器型号命名方法(GB2470 — 81)	142
附录 B 电容器型号命名方法(GB2470 — 81)	145
参考文献	146

实验须知

任何自然科学都离不开实验。科学实验是研究自然科学极为重要的环节，也是科学技术得以发展的重要保证。

一、实验目的

(1) 培养学生实事求是，一丝不苟，严格、严密、严肃的科学态度，以及独立工作的能力。

(2) 培养学生的基本实验技能，比如正确使用常用的电工电子仪器、仪表，掌握一些基本的电工、电子测试技术、试验方法以及数据分析处理知识。

(3) 巩固、加深并扩展所学到的理论知识，培养学生运用基本理论分析处理实际问题的能力。

二、对实验技能的要求

(1) 正确使用电流表、电压表、万用表、功率表以及常用的一些电工电子实验仪器。对于常用的电工、电子仪器仪表，应能进行选择，要求掌握其性能、用法和注意事项。

(2) 应能按照电路图连接实验电路，合理安排仪表和布线。能检查电路，初步分析并排除电路故障，并掌握人身及设备安全和防护知识。

(3) 认真观察实验现象，掌握观察、读取、选择、检查数据的方法，并具有判断实验结果合理性的能力。

(4) 能正确书写实验报告，计算和分析实验结果(掌握误差理论和有效数字等基本概念)，能够正确运用实验手段验证一些定理和结论。

三、实验要求

(1) 实验前必须按“预习要求”所提示的内容充分作好预习，明确实验目的和要求，掌握有关电路的基本原理，查阅相关资料，拟定实验方法和步骤，设计实验数据记录与处理表格，初步估算(试分析)实验结果，写好实验预习报告，并将预习报告交指导教师审阅。

(2) 开始实验前应首先检查所要用的仪器设备是否完好无损，如有损坏或不全，应及时报告指导教师处理。

(3) 实验中必须严格遵守操作规程，未经许可不得取用不是本次实验所用的设备。

(4) 实验中仪器设备如有损坏，应立即报告指导教师，听候处理。

(5) 实验完毕，应请指导教师检查实验记录和仪器设备，经指导教师许可并将实验器材整理归位后，方可离开实验室。

四、实验报告

- (1) 实验目的：填写实验目的和意义。
- (2) 实验仪器和设备：填写实验实际使用的设备名称、型号和数量。
- (3) 实验原理图：绘制实验原理电路图及实验线路图。
- (4) 实验内容：填写必要的实验步骤，列表记录实验数据，写出必要的数据处理过程。
- (5) 总结：对实验现象、数据进行分析，得出实验结论。

第一章 电工技术基础实验

实验一 直流电路基本定律的验证

一、实验目的

- (1) 了解电工实验的要求和一般程序及常用设备的使用。
- (2) 通过电路的连接掌握接线技能，学会检查电路故障和分析实验误差。
- (3) 掌握电流表、电压表、数字万用表和直流稳压电源的使用方法。
- (4) 验证欧姆定律、克希荷夫定律、叠加原理及戴维南定理。

二、预习要求

- (1) 复习理论课教材中的相关部分。
- (2) 了解实验原理、内容及步骤，并估算实验电路中各测量参数的大小。
- (3) 预习各仪器、仪表的使用方法及注意事项。

三、实验原理

- (1) 欧姆定律：通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，即 $\frac{U}{I} = R$ 。

(2) 克希荷夫定律：在线性电路中，任何时刻，对任一节点，所有支路电流的代数和恒等于零，即 $\sum I = 0$ 。

在线性电路中，任何时刻，沿任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零，即 $\sum U = 0$ 。

(3) 叠加原理：在线性电路中，任一支路电流(或支路电压)都是电路中各个电源分别单独作用时在该支路内产生的电流(或电压)的代数和。

(4) 戴维南定理：任何一个含独立电源、线性电阻和受控源的二端网络，对外电路来说，可以用一个电压源和电阻的串联组合来等效置换，该电压源的电压等于二端网络的开路电压，而电阻等于二端网络的全部独立电源置零后的输入电阻。

四、实验类型

用 GDJ-03 实验挂箱上“基尔霍夫定律/叠加原理”线路按图 1-1-1 接线。

1. 实验仪器及材料

序号	名 称	规格	数量	备注
1	双路直流稳压电源	0~30 V	二路	
2	数字万用表		1	
3	直流数字电压表	0~200 V	1	
4	直流数字电流表	0~500 mA	1	
5	GDJ-03 实验装置			
6	导线			

2. 实验内容及步骤

(1) 选定实验线路图,如图 1-1-1 所示,用 DGJ-03 挂箱上的“基尔霍夫定律/叠加原理”线路模块。

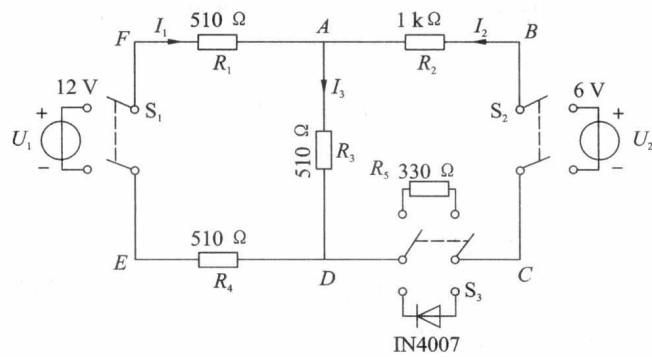


图 1-1-1

(2) 将直流稳压电路稳压电源 U_A 、 U_B 分别调成 12 V 和 6 V, 分别接入 U_1 输入端、 U_2 输入端。

(3) 令 U_1 电源单独作用(将开关 S_1 投向 U_1 侧, 开关 S_2 投向短路侧), 用直流电压表和直流电流表(或者数字万用表)分别测量各电阻元件两端电压, 将测量值填入表 1-1-1, 分别测量各支路电流, 并将数据填入表 1-1-2。

表 1-1-1

实验内容 测量条件	测量项目	U_{AB}/V	U_{AD}/V	U_{CD}/V	U_{DE}/V	U_{FA}/V
U_1 单独作用 ($U_1=12\text{ V}$)						
U_2 单独作用 ($U_2=6\text{ V}$)						
U_1 、 U_2 共同作用 ($U_1=12\text{ V}$, $U_2=6\text{ V}$)						
相对误差						

表 1-1-2

U_1 单独作用/mA	U_2 单独作用/mA	$U_1、U_2$ 共同作用/mA
$I'_1=$	$I''_1=$	$I_1=$
$I'_2=$	$I''_2=$	$I_2=$
$I'_3=$	$I''_3=$	$I_3=$

(4) 令 U_2 电源单独作用(将开关 S_2 投向 U_2 侧, 开关 S_1 投向短路侧), 用直流电压表和直流电流表(或数字万用表)分别测量各电阻元件两端电压, 将测量值填入表 1-1-1, 将各支路电流填入表 1-1-2。

(5) 令 U_1 和 U_2 电源共同作用(开关 S_1 和 S_2 分别投向 U_1 和 U_2 侧), 用直流电压表和直流电流表(或数字万用表)分别测量各电阻元件两端电压, 将测量值填入表 1-1-1, 将各支路电流填入表 1-1-2。

(6) 将 R_5 ($330\ \Omega$)电阻换成二极管 IN4007, 将开关 S_3 投向二极管 IN4007 侧, 重复(1)~(5)的测量过程, 将数据填入表 1-1-3。

(7) 任意按下某个故障按键, 重复实验内容(4)的测量和记录, 再根据测量结果判断出故障的性质。

根据图 1-1-1 的实测电阻 $R_1、R_2、R_3$ 及其实测电压, 即可得到电流叠加:

$$\begin{cases} I_1 = I'_1 + I''_1 \\ I_2 = I'_2 + I''_2 \\ I_3 = I'_3 + I''_3 \end{cases}$$

表 1-1-3

测量项目 实验内容	U_{AB}/V	U_{CD}/V	U_{AD}/V	U_{DE}/V	U_{FA}/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA
U_1 单独作用 ($U_1=12\ V$)								
U_2 单独作用 ($U_2=6\ V$)								
$U_1、U_2$ 共同作用 ($U_1=12\ V$ $U_2=6\ V$)								

3. 实验注意事项

(1) 用电流插头测量各支路电流时, 或者用电压表测量电压时, 必须弄清楚仪表的极性, 正确判断测得值的“+”、“-”号。

(2) 用数字万用表测量电压时, 正确接好电路, 用 DC 20V 直流电压挡测量, 注意电流参考方向。

(3) 更换仪表量程以对应所测参数的测量范围。

4. 预习思考题

(1) 在叠加原理实验中, 要令 U_1 、 U_2 分别单独作用, 应如何操作? 可否直接将不作用的电源(U_1 或 U_2) 短接置零?

(2) 实验电路中, 若有一个电阻器改为三极管, 试问叠加原理的迭加性与齐次性还成立吗? 为什么?

五、重要定律验证

1. 戴维南定律的验证

根据戴维南定理, 任何一个有源二端网络, 都可用一个电压源和电阻串联的等效电路来替换。

(1) 按图 1-1-2 所示电路接线, 调节 E_1 、 E_2 分别为 6 V、12 V, 断开负载电阻 R_3 , 在有源二端网络输出开路时, 用数字万用表 DCV20V 挡直接测量其开路电压 U_{OC} , 然后再将输出端短路, 用 DCA200mA 挡(注意表笔插孔)测出短路电流 I_{SC} , 算出有源二端网络等效内阻 R_0 。

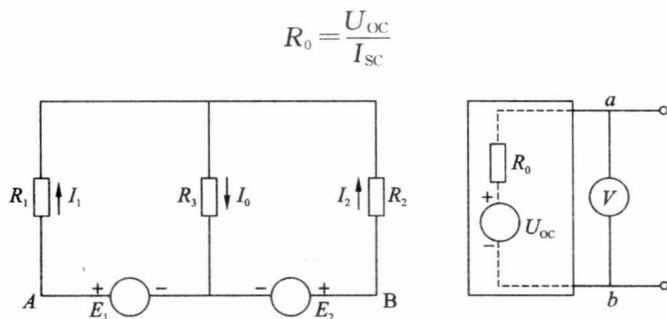


图 1-1-2 有源二端网络等效内阻测量法电路

(2) 按图 1-1-3 所示电路接线, 用数字万用表测量出 R_1 、 R_2 并联后的等效电阻 R_0 , 并与用 $R_0 = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$ 算出的 R_0 进行比较。

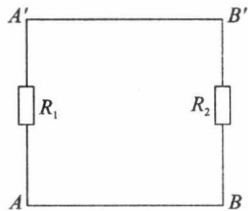


图 1-1-3 等效电阻测量电路

2. 诺顿定律的验证

根据诺顿定律, 任何一个线性有源二端网络, 都可用一个电流源与一个电阻并联的等效电路来替换, 此时电流源 I_S 等于这个有源二端网络的短路电流 I_{SC} , 其等效内阻 R_0 等于

该网络中所有独立源均置为零时的等效电阻。

(1) 按图 1-1-4 所示电路接线。用短路电流法测定诺顿等效电路的 I_{sc} 、 R_0 ，并接入恒流源 $I_s = 10\text{ mA}$ ，不接入 R_L 测出 I_{sc} 。

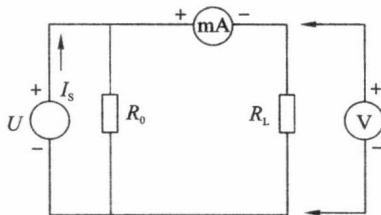


图 1-1-4

(2) 用开路电压法测定戴维南等效电路的 U_{oc} 、 R_0 ，并接入稳压电流 $U_s = 12\text{ V}$ ，不接入毫安表，测出 U_{oc} 。将测量的数据填入表 1-1-4，将测得的 R_0 与计算值进行比较。

表 1-1-4

U_{oc}/V	I_{sc}/mA	R_0/Ω	$R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$

实验二 日光灯电路及功率因数的提高

一、实验目的

- (1) 了解 R 、 L 、 C 在日光灯电路中的作用，学会日光灯电路的安装以及故障的排除。
 - (2) 学会正确使用单相功率表。
 - (3) 理解提高功率因数的实际意义，掌握提高功率因数的方法。
 - (4) 熟悉 R 、 L 、 C 元件在交流电路中的特性。
- ① 掌握交流串联电路中，总电压和分电压的关系。
 - ② 掌握交流并联电路中，总电流和分电流的关系。

二、预习要求

- (1) 复习教材中的相关部分。
- (2) 阅读实验指导书，了解实验原理和步骤，并估算各测量参数。
- (3) 预习各仪器、仪表的使用方法及注意事项。

三、实验原理

1. 各部件的结构及作用

日光灯电路由灯管、镇流器和启辉器组成，如图 1-2-1 所示。

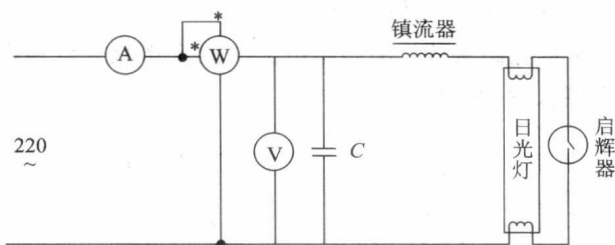


图 1-2-1 日光灯实验电路图

灯管：是一支玻璃管，内壁涂有一层较薄的荧光粉；管内抽尽空气，并注入少量氩气和水银蒸气，管的两端各有一个阳极和灯丝，灯丝用钨丝烧制而成，为发射电子用，灯丝上焊有两根镍丝作为阳极，用以吸收电子。

灯管工作时可看成一电阻元件，但它和一般线性电阻不一样，它具有负阻效应，其阻值与流经灯管的电流成反比。

镇流器：是一个带铁芯的电感线圈，与日光灯串联，其作用有两个：① 利用它产生足够的自感电势，使灯管易于起燃（放电）工作；② 限制灯管的工作电流，避免灯管工作时由于具有负阻效应使工作电流不断升高以致烧坏灯管。

启辉器：是一只小的辉灯管，内装有两个电极，一个为直线固定电极，另一个为倒 U 形可动电极（由线膨胀系数不同的两种金属片制成），其作用是在灯管启辉时，为电路的自动开关。两电极间并联一小纸介电容，其作用是减少触点断开时所产生的火花，并消除灯管启动时对附近无线电设备的干扰。

2. 工作原理

当日光灯接通电源后，日光灯并未立即点燃，电源电压全部加在启辉器的两个电极的触头之间，其间隙发生辉光放电，电弧加热双金属片，使其向左边伸开，两触头接触，接通灯丝电路，加热灯丝。同时，启辉器两触头闭合后，其间电阻减少，电流经过时产生的热量很少，使双金属片冷却，两触头断开，切断灯丝电路。与此同时，镇流器两端产生高的自感电势与电源电压一起加在灯管两端，使灯丝发射的电子急速飞向阳极，电子急速运动的过程中，和管内氩气、水银蒸气分子相碰撞，使其电离产生辉光放电，在放电过程中会产生大量的紫外线，照射管壁上的荧光粉而发光，供照明用。

灯管放电（起燃）后，有一半以上的电压降在镇流器上，灯管两端电压（即启辉器上的电压）较低，不足以使启辉器放电，保持两触头处于分开状态，日光灯正常工作。

由于电源电压为交流电，灯管两端极性随时间不断变化，故灯管甲、乙两端交替为阳极，哪端为高电位，哪端便是阳极，吸收电子，低电位端则发射电子。

3. 电感性负载电路功率因素的提高

日光灯电路为电感性电路，电感性负载由于有电感 L_1 的存在，功率因素都较低，因此必须设法提高电感性负载的功率因数。常用的方法是在电感性负载的两端并联一个容量适当的电容器，这在实用上有很重要的意义。

在电感性负载两端并联一个适当的电容器，该电容有以下作用：

(1) 由于 I_L 和 I_C 反相而相互抵消，使电路总电流 I 减少很多，如图 1-2-2 所示。电

路消耗的功率从 $P=UI_1\cos\varphi_1$ 变为 $P=UI\cos\varphi$ 。

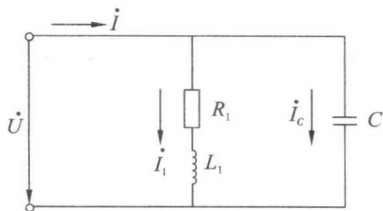


图 1-2-2

(2) 相位差角大大减小, 即 $\varphi < \varphi_1$, 使整个电路的功率因素提高很多。功率因素表达式为

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI}$$

日光灯电路可近似地当做 RC 串联电路, 并联电容器前日光灯电路的功率因数较低, 一般为 0.5 左右, 并联适当的电容器后, 功率因数可提高至近于 1, 所需并联的电容器电容值可按下式计算, 即

$$C = \frac{1}{\omega U^2} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi), f = 50 \text{ Hz}$$

四、实验仪器及材料

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	交流电压表	0~500 V	1	
2	交流电流表	0~5 A	1	
3	功率表		1	DGJ-07
4	镇流器	与 30 W 日光灯配用	1	DGJ-04
5	电容器	1 μF , 4.7 μF /500 V	1	DGJ-05
6	日光灯	25 W/220 V	1	DGJ-04
7	启辉器		1	DGJ-04
8	自耦调压器		1	

五、实验内容

- (1) 研究日光灯电路中各部分的结构及作用。
- (2) 学习单相功率表的正确使用。
- (3) 按实验电路图 1-2-1 进行接线, 将日光灯各部件及仪表连接好, 经检查无误后通电进行实验。
- (4) 不接电容器 C 时, 分别测量电路中的 P 、 U 、 U_R 、 U_L 、 I , 填入表 1-2-1。
- (5) 并联电容器 C ($C=1 \mu\text{F}$) 时, 分别测量电路中的 P 、 U 、 U_R 、 U_L 、 I , 填入表 1-2-1。
- (6) 将电容器换为 $C=2.2 \mu\text{F}$ 及 $C=4.7 \mu\text{F}$, 重复以上实验, 并将数据填入表 1-2-1 中。

表 1-2-1

测量 条 件		测 量 值						计 算 值				
		$C/\mu\text{F}$	P/W	U/V	U_R/V	U_L/V	I/A	S/VA	Q/var	$\cos\varphi$	φ	矢量图
不接电容器		—										
并 联 电 容 器	$C=1\ \mu\text{F}$											
	$C=2.2\ \mu\text{F}$											
	$C=4.7\ \mu\text{F}$											

六、实验总结

- (1) 总结串联交流电路中总电压与各元件上的电压间的关系，并联电路中总电流与支路电流之间的关系。
- (2) 并联电容后，为什么总电流会减小？此时日光灯吸收的功率是否减少？为什么？

实验三 三相交流电路的研究

一、实验目的

- (1) 学习三相负载的星形连接和三角形连接。
- (2) 验证对称三相电路中负载星形连接时相电压和线电压、相电流和线电流的关系。
- (3) 验证对称三相电路中负载三角形连接时相电压和线电压、相电流和线电流的关系。
- (4) 了解三相电路的对称与不对称的概念以及不对称负载星形连接时中线的作用。
- (5) 学习用二瓦特计测定三相功率。

二、预习要求

- (1) 复习理论课教材中的相关部分。
- (2) 阅读实验指导书，了解实验原理和步骤，并估算各测量参数。
- (3) 预习各仪器、仪表的使用方法及注意事项。

三、实验原理

1. 三相负载的连接

三相负载有星形连接和三角形连接两种方式。在星形连接中，分为有中线和无中线两种情况。

2. 负载对称三相电路的基本关系

负载星形连接时

$$U_L = \sqrt{3}U_\varphi, I_L = I_\varphi$$

负载三角形连接时

$$U_L = U_\varphi, \quad I_L = \sqrt{3} I_\varphi$$

3. 负载不对称的情况

星形无中线不对称三相负载, 各相负载电压不对称, 会造成各相负载不能正常工作。为使各相电压对称, 星形连接时均有中线, 称为三相四线制。

4. 三相功率的测定

(1) 三相四线制的功率的测定用三瓦特计法, 其接线如图 1-3-1(a) 所示, 每一瓦特计测出一相功率, 三相总功率则等于三表指示值之和。在实验中, 用一个功率表分别测出各相功率, 然后相加。对于负载对称的情况也可用测一相再乘 3 的办法。

(2) 对于三相三线制, 由于没有中线, 有 $I_A + I_B + I_C = 0$ 关系, 因而可用二瓦特计法测出三相功率。在对称条件下, 三相总功率为 $P = 3P_\varphi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$, 其中 φ 为相电压与相电流间的相位差, 其接线方法如图 1-3-1(b) 所示。

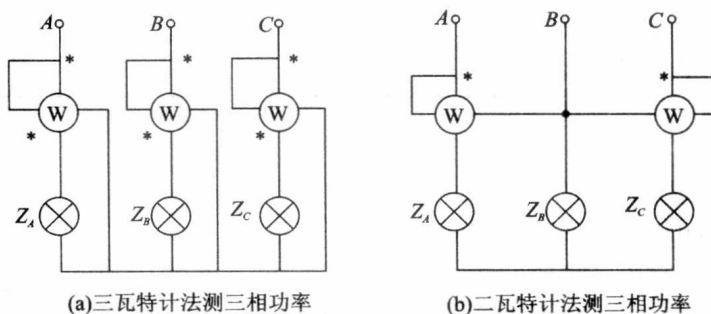


图 1-3-1 三相功率的测定

5. 中线的作用

在不对称星形负载没有中线时, 负载线电压对称, 但相电压不对称, 负载中性点发生位移, 如图 1-3-2 所示。若把电路中性点和负载中性点用中线连接起来, 则负载各相电压就对称了, 因而中线有稳定负载电压的作用, 但中线的电流不为零。在负载对称时, 中线电流等于零。三角形连接时, 当三相负载不对称, 负载的各相电压仍然对称, 把三只瓦特计分别接到三个相电压中测量, 三只瓦特计读数的和便是三相总功率。没有中线的三相三线制瓦特可以用二瓦特计来测量三相功率, 测量方法是将两只瓦特计的电流线圈分别串

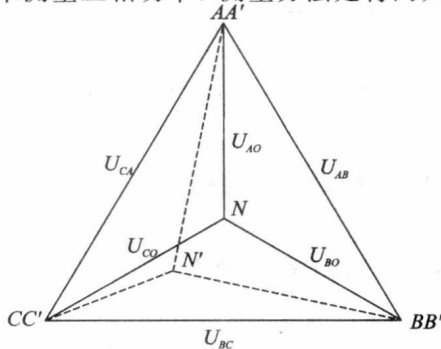


图 1-3-2 位形图