

普通高等教育“十三五”规划教材

电机实训

主编 张宁



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

电机实训

主编 张宁



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书在总结长期实践教学经验和分析各类不同的实训、实验教材的基础上,针对高等院校农业工程类本科教育学科的要求进行编写,以补充知识结构中的薄弱环节,解决长期以来理论教学中缺乏完善、系统的实践指导教材的问题。全书共七章,包括单相、三相变压器实验,单相、三相异步电动机实验,同步发电机和同步电动机实验,直流电动机和直流发电机实验,直流他励和三相异步电动机机械特性的测定,及电力拖动继电器接触控制等内容。

本书适用于电气工程及自动化、农业机械化工程及自动化、热能与动力工程、水利水电工程等农业工程学科专业的课程教学,也可供非电专业学生和农村电气从业人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

电机实训 / 张宁主编. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2019.7
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-7890-6

I. ①电… II. ①张… III. ①电机学—高等学校—教材 IV. ①TM3

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第165368号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 电机实训
作 者	DIANJI SHIXUN 主编 张宁
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 刷	清淞永业(天津)印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9.75印张 250千字
版 次	2019年7月第1版 2019年7月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书在总结长期教学实践经验和分析各类不同的实训、实验教材基础上，针对高等院校农业工程类本科教育学科的要求进行编写，以补充知识结构中的薄弱环节，解决长期以来理论教学中缺乏完善、系统的实践指导教材的问题。

本书主要按《电机与拖动》教学大纲的教学内容顺序，将属于交流部分的变压器实验、异步电机实验和同步电机实验集中调整到第2~4章，直流电机部分调整到第5章。本书坚持实训内容叙述的完整性和电路的清晰度，从电机类型、内部电磁原理、外部运行和工作特性入手，指导和操作相结合，着重对电机的基本实验与新型控制方法进行系统阐述，强调通过实践深入探讨电机理论。

全书共7章，包括单相、三相变压器实验，单相、三相异步电动机实验，同步发电机和同步电动机实验，直流电动机和直流发电机实验，直流他励和三相异步电动机机械特性的测定，以及电力拖动继电接触控制等内容。主要从电机及电气技术实训的基本要求和安全操作规程入手，围绕变压器、异步电机、同步电机和直流电机四大主机，进行各电机的运行、工作和机械特性测试，并做并联、不对称运行和分析，电力拖动继电控制及电动机的启动、调速、制动等操作。每个环节都编写有实验报告、思考题。

本书由张宁任主编，王红雨、张巍、陈春玲任副主编。各章编写分工如下：第1章由王红雨、张巍、陈春玲编写，第2~7章由张宁编写，全书由张宁统稿。本书在编写过程中得到了西北农林科技大学和天煌科技实业有限公司的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

本书适用于电气工程及自动化、农业机械化工程及自动化、热能与动力工程、水利水电工程等农业工程学科专业的课程教学，也可供非电专业学生和农村电气从业人员使用。

由于编者学识有限，书中难免存在失误和疏漏之处，敬请广大读者不吝批评指正。

编者

2019年4月

目 录

前 言

第 1 章 基本要求和安全操作规程	1
1.1 基本要求	1
1.2 安全操作规程	2
1.3 交流及直流电源操作	2
第 2 章 变压器实验	4
2.1 单相变压器	4
2.2 三相变压器	10
2.3 三相变压器的连接组和不对称短路	17
2.4 三相三绕组变压器	26
2.5 单相变压器的并联运行	29
2.6 三相变压器的并联运行	32
第 3 章 异步电机实验	35
3.1 三相鼠笼异步电动机的工作特性	35
3.2 三相异步电动机的启动与调速	43
3.3 单相电容启动异步电动机	47
3.4 单相电容运转异步电动机	51
3.5 单相电阻启动异步电动机	54
3.6 双速异步电动机	57
3.7 三相鼠笼异步电动机不对称运行	60
第 4 章 同步电机实验	62
4.1 三相同步发电机的运行特性	62
4.2 三相同步发电机的并网运行	67
4.3 三相同步电动机	72
4.4 三相同步发电机参数的测定	76
4.5 三相同步发电机突然短路	80
4.6 三相同步发电机不对称运行	85

第 5 章 直流电机实验	89
5.1 认识实验	89
5.2 直流发电机	93
5.3 直流并励电动机	98
5.4 直流串励电动机	102
第 6 章 电机机械特性的测定	105
6.1 直流他励电动机在各种运行状态下的机械特性	105
6.2 三相异步电动机在各种运行状态下的机械特性	109
6.3 三相异步电动机 $T-s$ 曲线测绘	114
第 7 章 电力拖动继电接触控制	119
7.1 三相异步电动机点动和自锁控制线路	119
7.2 三相异步电动机正反转控制线路	122
7.3 顺序控制线路	126
7.4 三相鼠笼异步电动机降压启动控制线路	129
7.5 三相线绕式异步电动机启动控制线路	134
7.6 三相异步电动机能耗制动控制线路	136
7.7 三相异步电动机单向启动及反接制动控制线路	138
7.8 两地控制线路	140
7.9 工作台自动往返循环控制线路	142
7.10 车床电气控制线路	144
7.11 电动葫芦电气控制线路	146
参考文献	148
附录 1 受试电机铭牌数据一览表	149
附录 2 标准直流测功机测试典型值及校正曲线	150

第 1 章 基本要求和安全操作规程

1.1 基本要求

电机实训的目的在于培养学生掌握基本的实验方法与操作技能，培养学生能根据实验目的、实验内容及实验设备来拟定实验线路，选择所需仪表，确定实验步骤，测取所需数据，进行分析研究，得出必要结论，从而完成实验报告。在整个实验过程中，学生必须集中精力，及时认真做好实验。现按实验过程对学生提出下列基本要求。

1.1.1 准备工作

实验前，应复习教科书有关章节，认真研读电机实训，了解实验目的、项目、方法与步骤，明确实验过程中应注意的问题，有些内容可到实验室对照实验预习，如熟悉组件的编号、使用及其规定值等，并按照实验项目准备记录抄表等。

实验前，应写好预习报告，经检查认为确实做好了实验前的准备，方可开始做实验。

认真做好实验前的准备工作，对于培养学生独立工作能力，提高实验质量和保护实验设备都是很重要的。

1.1.2 操作过程

1. 建立小组，合理分工

每次实验都以小组为单位进行，每组 2~3 人，实验进行中的接线、调节负载、保持电压或电流、记录数据等工作每人应有明确的分工，以保证实验操作协调，记录数据准确可靠。

2. 选择组件和仪表

先熟悉该次实验所用的组件，记录电机铭牌和选择仪表量程，然后依次排列组件和仪表便于测取数据。

3. 按图接线

根据实验线路图及所选组件、仪表，按图接线，线路力求简单明了。一般的接线原则是先接串联主回路，再接并联支路。为查找线路方便，每路可用相同颜色的导线。

4. 启动电机，观察仪表

在开始正式实验之前，先熟悉仪表刻度，并记下倍率，然后按一定规范启动电机，观察所有仪表是否正常，如指针正、反向是否超满量程等。如果出现异常，应立即切断电源，排除故障；如果一切正常，即可正式开始实验。

5. 测取数据

预习时，对电机的试验方法及所测数据的大小做到心中有数。正式实验时，根据实验步骤逐次测取数据。

6. 认真负责，实验有始有终

实验完毕，须将数据提交审核。经认可后，才允许拆线并将实验所用的组件、导线及仪

器等物品整理好。

1.1.3 撰写报告

撰写报告是根据实测数据和在实验中观察和发现的问题，经过分析研究或分析讨论后写出的心得体会。

实验报告应简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确。

实验报告包括以下内容：

- (1) 实验名称、专业班级、学号、姓名、实验日期、室温。
- (2) 列出实验中所用组件的名称及编号，电机铭牌数据 (P_N 、 U_N 、 I_N 、 n_N) 等。
- (3) 列出实验项目并绘出实验时所用的电路图，并注明仪表量程、电阻器阻值、电源端编号等。
- (4) 数据的整理和计算。
- (5) 按记录及计算的数据用坐标纸画出曲线，图纸尺寸不小于 $8\text{cm} \times 8\text{cm}$ 。曲线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。
- (6) 根据数据和曲线进行计算和分析，说明实验结果与理论是否相符，可对某些问题提出一些自己的见解并给出最后结论。实验报告应写在一定规格的报告纸上，保持整洁。
- (7) 每次实验每人独立完成一份报告，按时送交批阅。

1.2 安全操作规程

为了按时完成电机实训任务，确保实验时人身与设备安全，要严格遵守安全操作规程。

- (1) 实验时，人体不可接触带电线路。
- (2) 接线或拆线都必须在切断电源的情况下进行。
- (3) 独立完成接线或改接线路后，必须经检查和允许，并使组内其他同学引起注意后方可接通电源。实验中如发生事故，应立即切断电源，查清问题和妥善处理故障后，才能继续进行实验。
- (4) 电机如直接启动，则应先检查功率表及电流表的电流量程是否符合要求，有否短路回路存在，以免损坏仪表或电源。
- (5) 总电源或实验台控制屏上的电源接通应由实验指导人员控制，其他人只能在指导人员允许后方可操作，不得自行合闸。

1.3 交流及直流电源操作

1.3.1 开启及关闭电源操作

开启及关闭电源都在控制屏上操作。开启三相交流电源的步骤如下：

- (1) 开启电源前，要检查控制屏下方“直流电机电源”的“电枢电源”开关（右下方）及“励磁电源”开关（左下方）都须在关断的位置。控制屏左侧端面上安装的调压器旋钮必须在零位，即必须将它逆时针旋转到底。
- (2) 检查无误后，开启“电源总开关”，“停止”按钮指示灯亮，表示实验装置的进线接到电源，但还不能输出电压。此时在电源输出端进行实验电路接线操作是安全的。

(3) 按下“启动”按钮，“启动”按钮指示灯亮，表示三相交流调压电源输出插孔 U、V、W 及 N 上已接电。实验电路所需的不同大小的交流电压，都可适当旋转调压器旋钮用导线从三相四线制插孔中取得。输出线电压为 0~450V（可调）并由控制屏上方的三只交流电压表指示。当电压表下面左边的“指示切换”开关拨向“三相电网电压”时，指示三相电网进线的线电压；当“指示切换”开关拨向“三相调压电压”时，指示三相四线制插孔 U、V、W 和 N 输出端的线电压。

(4) 实验中如果需要改接线路，必须按下“停止”按钮以切断交流电源，保证实验操作安全。实验完毕，还需关断“电源总开关”，并将控制屏左侧端面上安装的调压器旋钮调回到零位。将“直流电机电源”的“电枢电源”开关及“励磁电源”开关拨回到关断位置。

1.3.2 开启直流电机电源操作

(1) 直流电源由交流电源变换而来，开启“直流电机电源”，必须先完成开启交流电源，即开启“电源总开关”并按下“启动”按钮。

(2) 在此之后，接通“励磁电源”开关，可获得约 220V、0.5A 不可调的直流电压输出。接通“电枢电源”开关，可获得 40~230V、3A 可调节的直流电压输出。励磁电源电压及电枢电源电压都可由控制屏下方的一只直流电压表指示。当该电压表下方的“指示切换”开关拨向“电枢电压”时，指示电枢电源电压；当将它拨向“励磁电压”时，指示励磁电源电压。但在电路上，“励磁电源”与“电枢电源”，“直流电机电源”与“交流三相调压电源”都是经过三相多绕组变压器隔离的，可独立使用。

(3) “电枢电源”是脉宽调制型开关式稳压电源，输入端接有滤波用的大电容，为了不使过大的充电电流损坏电源电路，采用了限流延时的保护电路。所以本电源在开机时，从“电枢电源”开关合闸刀直流电压输出有 3~4s 的延时，这是正常的。

(4) 电枢电源设有过电压和过电流指示告警保护电路。当输出电压出现过电压时，会自动切断输出，并告警指示。此时需要恢复输出，必须先将“电压调节”旋钮逆时针旋转调低电压到正常值（约 240V 以下），再按“过电压复位”按钮，即能输出电压。当负载电流过大（即负载电阻过小）超过 3A 时，也会自动切断输出，并告警指示，此时需要恢复输出，只要调小负载电流（即调大负载电阻）即可。有时候在开机时出现过电流告警，说明在开机时负载电流太大，需要降低负载电流，可在电枢电源输出端增大负载电阻甚至暂时拔掉一根导线（空载）开机，待直流输出电压正常后，再插回导线加正常负载（不可短路）工作。若为空载时开机仍发生过电流告警，这是气温或湿度明显变化，造成光电耦合器 TIL117 漏电使过电流保护起控点改变所致，一般经过空载开机（即开启交流电源后，再开启“电枢电源”开关）预热几十分钟，即可停止告警，恢复正常。所有这些操作到直流电压输出都有 3~4s 的延时。

(5) 在做直流电动机实验时，要注意开机时须先开“励磁电源”后开“电枢电源”；在关机时，则要先关“电枢电源”而后关“励磁电源”的次序。同时要注意在电枢电路中串联启动电阻以防止电源过电流保护。

第2章 变压器实验

2.1 单相变压器

2.1.1 实验目的

- (1) 通过空载和短路实验测定变压器的变比和参数。
- (2) 通过负载实验测定变压器的运行特性。

2.1.2 预习要点

- (1) 变压器的空载和短路实验有什么特点？实验中电源电压一般加在哪一方较合适？
- (2) 在空载和短路实验中，各种仪表应怎样连接才能使测量误差最小？
- (3) 如何用实验方法测定变压器的铁耗及铜耗？

2.1.3 实验项目

1. 空载实验

空载特性： $U_0 = f(I_0)$ ， $P_0 = f(U_0)$ ， $\cos\varphi_0 = f(U_0)$ 。

2. 短路实验

短路特性： $U_k = f(I_k)$ ， $P_k = f(I_k)$ ， $\cos\varphi_k = f(I_k)$ 。

3. 负载实验

(1) 纯电阻负载：保持 $U_1 = U_N$ 、 $\cos\varphi_2 = 1$ 的条件下， $U_2 = f(I_2)$ 。

(2) 阻感性负载：保持 $U_1 = U_N$ 、 $\cos\varphi_2 = 0.8$ 的条件下， $U_2 = f(I_2)$ 。

2.1.4 选用组件

1. 实验设备

实验设备见表 2.1。

表 2.1 实验设备表

序号	名称	数量	序号	名称	数量
1	数/模交流电压表	1	5	三相可调电阻器	1
2	数/模交流电流表	1	6	三相可调电抗器	1
3	智能型功率、功率因数表	1	7	波形测试及开关板	1
4	三相组式变压器	1			

2. 屏上挂件排列顺序

数/模交流电压表，三相组式变压器，数/模交流电流表，智能型功率、功率因数表，波形测试及开关板，三相可调电阻器，三相可调电抗器。

2.1.5 实验方法

1. 空载实验

(1) 在 3 相调压交流电源断电的条件下，按图 2.1 接线。被测变压器选用三相组式变压

2.1 单相变压器

器中的一只作为单相变压器，其额定容量 $P_N = 77\text{V} \cdot \text{A}$ ， $U_{1N}/U_{2N} = 220\text{V}/55\text{V}$ ， $I_{1N}/I_{2N} = 0.35\text{A}/1.4\text{A}$ 。变压器的低压线圈 a、x 接电源，高压线圈 A、X 开路。

(2) 选好所有测量仪表量程。将控制屏左侧调压器旋钮逆时针旋转到底，即将其调到输出电压为零的位置。

(3) 合上交流电源总开关，按下“启动”按钮，便接通了三相交流电源。调节三相调压器旋钮，使变压器空载电压 $U_0 = 1.2U_N$ ，然后逐次降低电源电压，在 $(1.2 \sim 0.3)U_N$ 范围内测量变压器的 U_0 、 I_0 、 P_0 。

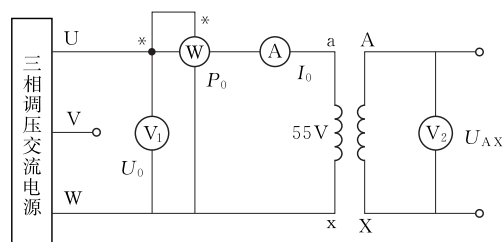


图 2.1 空载实验接线图

(4) 测数据时， $U_0 = U_N$ 点必须测，并在该点附近测的点较密，共测 7~8 组，记录于表 2.2。

(5) 为了计算变压器的变比，当一次电压低于 U_N 时，将测出的二次电压数据记录于表 2.2 中。

表 2.2 数据记录表

序号	U ₀ /V	I ₀ /A	P ₀ /W	U _{AX} /V	cosφ ₀

2. 短路实验

(1) 按下控制屏上的“停止”按钮，切断三相调压交流电源，按图 2.2 接线（以后每次改接线路，都要关断电源）。将变压器的高压线圈接电源，低压线圈直接短路。

(2) 选好所有测量仪表量程，将交流调压器旋钮调到输出电压为零的位置。

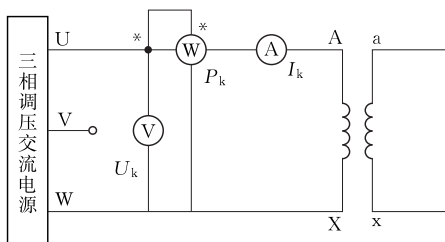


图 2.2 短路实验接线图

(3) 接通交流电源，逐次缓慢增加输入电压，直至短路电流等于 $1.1I_N$ ，在 $(0.2 \sim 1.1)I_N$ 范围内测量变压器的 U_k 、 I_k 、 P_k 。

(4) 测数据时， $I_k = I_N$ 点必须测，共测 6~7 组，记录于表 2.3。实验时记下周围环境温度。

3. 负载实验

实验线路如图 2.3 所示。变压器低压线圈接电源，高压线圈经过开关 S_1 和 S_2 接到负载电阻 R_L 和电抗 X_L 上。 R_L 选用三相可调电阻器上 4 只 900Ω 变阻器相串联共 3600Ω 阻值， X_L 选用三相可调电抗器，功率因数表选用智能型功率、功率因数表，开关 S_1 和 S_2 选用波形测试及开关

2.1 单相变压器

表 2.5

数据记录表

$\cos\varphi_2 = 0.8, U_1 = U_N = \underline{\quad} \text{ V}$

序号							
U_2/V							
I_2/A							

2.1.6 注意事项

- (1) 在变压器实验中，应注意电压表、电流表、功率表的合理布置及量程选择。
- (2) 短路实验操作要快，否则线圈发热会引起电阻变化。

2.1.7 实验报告

1. 计算变比

由空载实验测变压器的一次、二次电压，分别计算出变比，然后取其平均值作为变压器的变比 k 。

$$k = U_{\text{AX}} / U_{\text{ax}}$$

2. 绘制空载特性曲线和计算激磁参数

- (1) 绘制空载特性曲线 $U_0 = f(I_0)$ ， $P_0 = f(U_0)$ ， $\cos\varphi_0 = f(U_0)$ 。

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 I_0}$$

(2) 计算激磁参数。从空载特性曲线上查出对应于 $U_0 = U_N$ 时的 I_0 和 P_0 值，并由下式算出激磁参数。

$$r_m = \frac{P_0}{I_0^2}$$

$$Z_m = \frac{U_0}{I_0}$$

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2}$$

3. 绘制短路特性曲线和计算短路参数

- (1) 绘制短路特性曲线 $U_k = f(I_k)$ 、 $P_k = f(I_k)$ 、 $\cos\varphi_k = f(I_k)$ 。

(2) 计算短路参数。从短路特性曲线上查出对应于短路电流 $I_k = I_N$ 时的 U_k 和 P_k 值，由下式算出实验环境温度为 $\theta(^{\circ}\text{C})$ 时的短路参数。

$$Z'_k = \frac{U_k}{I_k}$$

$$r'_k = \frac{P_k}{I_k^2}$$

$$X'_k = \sqrt{Z_k'^2 - r_k'^2}$$

折算到低压侧，则

$$Z_k = \frac{Z'_k}{k^2}$$

$$r_k = \frac{r'_k}{k^2}$$

$$X_k = \frac{X'_k}{k^2}$$

由于短路电阻 r_k 随温度变化, 因此, 算出的短路电阻应按国家标准换算到基准工作温度 75°C 时的阻值。

$$r_{k75^\circ\text{C}} = r_{k\theta} \frac{234.5 + 75}{234.5 + \theta}$$

$$Z_{k75^\circ\text{C}} = \sqrt{r_{k75^\circ\text{C}}^2 + X_k^2}$$

式中: 234.5 为铜导线的常数, 若用铝导线常数应改为 228。

计算短路电压 (阻抗电压) 百分数, 即

$$u_k = \frac{I_N Z_{k75^\circ\text{C}}}{U_N} \times 100\%$$

$$u_{kr} = \frac{I_N r_{k75^\circ\text{C}}}{U_N} \times 100\%$$

$$u_{kX} = \frac{I_N X_k}{U_N} \times 100\%$$

$I_k = I_N$ 时短路损耗 $P_{kN} = I_N^2 r_{k75^\circ\text{C}}$ 。

4. 计算变压器的一次和二次电阻

利用空载和短路实验测定的参数, 画出被试变压器折算到低压侧的 T 型等效电路。要分离一次和二次电阻, 可用万用表测出每侧的直流电阻, 设 R'_1 为一次绕组的直流电阻折算到二次侧的数值, R_2 为二次绕组的直流电阻。 r_k 已折算到二次侧, 应有

$$r_k = r'_1 + r_2$$

$$r'_1 / R'_1 = r_2 / R_2$$

联立方程组求解可得 r'_1 及 r_2 。一次侧和二次侧的漏阻抗无法用实验方法分离, 通常取 $X'_1 = X_2 = X_k/2$ 。

5. 计算变压器的电压变化率

(1) 绘出 $\cos\varphi_2 = 1$ 和 $\cos\varphi_2 = 0.8$ 两条外特性曲线 $U_2 = f(I_2)$, 由特性曲线计算出 $I_2 = I_{2N}$ 时的电压变化率。

$$\Delta u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\%$$

(2) 根据实验求出的参数, 算出 $I_2 = I_{2N}$ 、 $\cos\varphi_2 = 1$ 和 $I_2 = I_{2N}$ 、 $\cos\varphi_2 = 0.8$ 时的电压变化率 Δu 。

$$\Delta u = u_{kr} \cos\varphi_2 + u_{kX} \sin\varphi_2$$

将两种计算结果进行比较, 并分析不同性质的负载对变压器输出电压 U_2 的影响。

6. 绘制被试变压器的效率特性曲线

(1) 用间接法算出 $\cos\varphi_2 = 0.8$ 不同负载电流时的变压器效率, 记录于表 2.6。

$$\eta = \left(1 - \frac{P_0 + I_2^{*2} P_{kN}}{I_2^* P_N \cos\varphi_2 + P_0 + I_2^{*2} P_{kN}} \right) \times 100\%$$

$$I_2^* P_N \cos\varphi_2 = P_2$$

式中: P_{kN} 为变压器 $I_k = I_N$ 时的短路损耗, W; P_0 为变压器 $U_0 = U_N$ 时的空载损耗, W; $I_2^* = I_2 / I_{2N}$ 为二次电流标么值。

2.1 单相变压器

表 2.6

数据记录表 $\cos\varphi_2=0.8$, $P_0=$ ___ W, $P_{kN}=$ ___ W

I_2^*	P_2/W	η	I_2^*	P_2/W	η
0.2			0.8		
0.4			1.0		
0.6			1.2		

(2) 由计算数据绘制变压器的效率曲线 $\eta=f(I_2^*)$ 。

(3) 计算被试变压器 $\eta=\eta_{\max}$ 时的负载系数 β_m 。

$$\beta_m = \sqrt{\frac{P_0}{P_{kN}}}$$

2.2 三相变压器

2.2.1 实验目的

- (1) 通过空载和短路实验，测定三相变压器的变比和参数。
- (2) 通过负载实验，测定三相变压器的运行特性。

2.2.2 预习要点

- (1) 如何用双瓦特计法测三相功率，空载和短路实验应如何合理布置仪表？
- (2) 三相芯式变压器的三相空载电流是否对称，为什么？
- (3) 如何测定三相变压器的铁耗和铜耗？
- (4) 变压器空载和短路实验时应注意哪些问题？一般电源应加在哪一侧比较合适？

2.2.3 实验项目

1. 测定变比

计算变比，并求平均变比， $k = \frac{1}{3}(k_{AB} + k_{BC} + k_{AC})$ 。

2. 空载实验

空载特性 $U_{0L} = f(I_{0L})$ ， $P_0 = f(U_{0L})$ ， $\cos\varphi_0 = f(U_{0L})$ 。

3. 短路实验

短路特性 $U_{kL} = f(I_{kL})$ ， $P_k = f(I_{kL})$ ， $\cos\varphi_k = f(I_{kL})$ 。

4. 纯电阻负载实验

保持 $U_1 = U_N$ 、 $\cos\varphi_2 = 1$ 的条件下， $U_2 = f(I_2)$ 。

2.2.4 选用组件

1. 实验设备

实验设备见表 2.7。

表 2.7 实验设备表

序号	名称	数量	序号	名称	数量
1	数/模交流电压表	1	4	三相芯式变压器	1
2	数/模交流电流表	1	5	三相可调电阻器	1
3	智能型功率、功率因数表	1	6	波形测试及开关板	1

2. 屏上挂件排列顺序

数/模交流电压表，数/模交流电流表，三相芯式变压器，智能型功率、功率因数表，波形测试及开关板，三相可调电阻器。

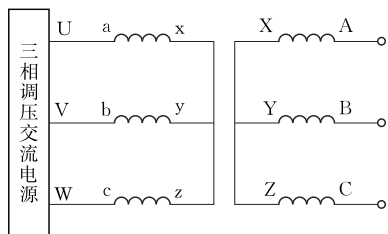


图 2.4 三相变压器变比实验接线图

2.2.5 实验方法

1. 测定变比

实验线路如图 2.4 所示，被测三相芯式变压器选用三相三线圈芯式变压器，额定容量 $P_N = 152/152/152\text{V} \cdot \text{A}$ ， $U_N = 220/63.6/55\text{V}$ ， $I_N = 0.4/1.38/1.6\text{A}$ ，Y/△/Y 接法。实验时只用高、低压两组线圈，低压线圈接电源，

高压线圈开路。将三相交流电源调到输出电压为零的位置。开启控制屏上钥匙开关，按下“启动”按钮，电源接通后，调节外施电压 $U = 0.5U_N = 27.5V$ ，测量高、低压线圈的线电压 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 、 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} ，记录于表 2.8。

表 2.8 数据记录表

高压绕组线电压/V		低压绕组线电压/V		变比 k	
U_{AB}		U_{ab}		k_{AB}	
U_{BC}		U_{bc}		k_{BC}	
U_{CA}		U_{ca}		k_{CA}	

计算变比 k ，其中

$$k_{AB} = \frac{U_{AB}}{U_{ab}} \quad k_{BC} = \frac{U_{BC}}{U_{bc}} \quad k_{CA} = \frac{U_{CA}}{U_{ca}}$$

则平均变比为

$$k = \frac{1}{3}(k_{AB} + k_{BC} + k_{CA})$$

2. 空载实验

(1) 将控制屏左侧三相交流电源的调压旋钮逆时针旋转到底，使输出电压为零。按下“停止”按钮，在断电条件下，按图 2.5 接线。变压器低压线圈接电源，高压线圈开路。

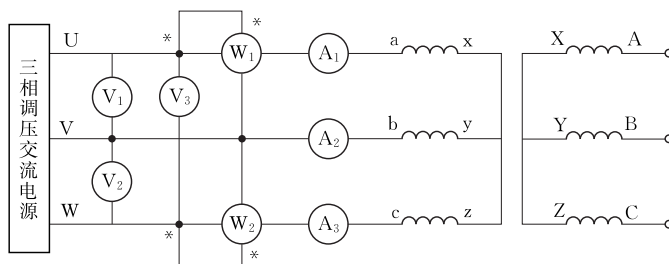


图 2.5 三相变压器空载实验接线图

(2) 按下“启动”按钮接通三相交流电源，调节电压，使变压器的空载电压 $U_{0L} = 1.2U_N$ 。

(3) 逐次降低电源电压，在 $(1.2 \sim 0.2)U_N$ 范围内，测量变压器三相线电压、线电流和功率。

(4) 测数据时， $U_{0L} = U_N$ 点必测，且在其附近多测几组，共测 8~9 组，记录于表 2.9。

表 2.9 数据记录表

序号	实验数据							计算数据				
	U_{0L}/V			I_{0L}/A			P_0/W		U_{0L}/V	I_{0L}/A	P_0/W	$\cos\varphi_0$
	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	I_{a0}	I_{b0}	I_{c0}	P_{01}	P_{02}				
1												
2												
3												
4												