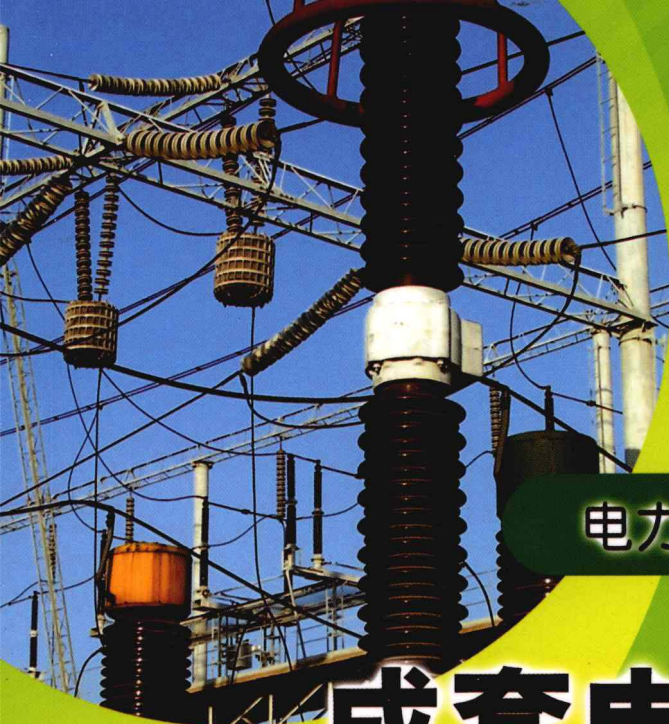




电力系统工程实践系列丛书

成套电机 装置工程实验

吴志明 尹忠东 黄华圣 编著

CHENGTAO DIANJI

ZHUANGZHI GONGCHENG SHIYAN



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

成套电机 装置工程实验

吴志明 尹忠东 黄华圣 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共 5 章, 内容包括实验基本要求和安全操作规程、变压器实验、同步电机实验、异步电机实验和直流电机实验, 涵盖电力系统生产实践中的发电、变电和用电各个环节。一方面结合电机实验, 讲解电机学原理及电机学实验原理, 使学生加深对课堂所学内容的理解; 另一方面, 通过详细介绍实验步骤, 指导学生自主进行实验, 使其熟练掌握电力生产活动中电机实验的常用方法。

本书可作为高等院校本科相关专业的学生在专业基础课后的工程实践教材, 也可作为电力系统职工培训和自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

成套电机装置工程实验/吴志明, 尹忠东, 黄华圣编
著. —北京: 中国水利水电出版社, 2008
ISBN 978-7-5084-5646-1

I. 成… II. ①吴…②尹…③黄… III. 成套电器: 电机—
实验—高等学校—教材 IV. TM3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 085491 号

书 名	成套电机装置工程实验
作 者	吴志明 尹忠东 黄华圣 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 5.5 印张 131 千字
版 次	2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	18.00 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

《成套电机装置工程实验》

编委会名单

编 著：吴志明 尹忠东 黄华圣

参 编：杨晓静 王永武 李广森

前 言

现代社会生产需要大量具有实践动手能力、具备创新精神的人才，这就要求高校培养学生时更加注重学生实践能力的培养。为把学生培养成为能力强、能很快适应工作岗位需求的人才，应在注重学生理论学习的同时，大力加强学生的工程训练与实践。

本书正是顺应当前社会需要，本着重实践的思路，结合原理，设置与《电机学》课程相关的实验项目，内容包括电力系统生产实践中的发电、变电和用电各个环节。学生通过参考本书的实验步骤介绍，能自主进行实验，熟练掌握电力生产活动中常规电机实验的方法。

由于编者水平有限，书中的错误之处在所难免，敬请广大读者批评、指正。

编 者

2008 年 6 月

目 录

前言

第 1 章 实验基本要求和安全操作规程	1
1.1 实验的基本要求	1
1.2 认识实验	2
1.3 实验安全操作规程	5
第 2 章 变压器实验	6
2.1 单相变压器	6
2.2 三相变压器	12
2.3 三相变压器的连接组和不对称短路	18
2.4 单相变压器的并联运行	29
第 3 章 同步电机实验	32
3.1 三相同步发电机的运行特性	32
3.2 三相同步发电机的并联运行	38
3.3 三相同步电机参数的测定	42
第 4 章 异步电机实验	48
4.1 三相笼型异步电动机的工作特性	48
4.2 三相异步电动机的启动与调速	56
4.3 单相电容启动异步电动机	60
第 5 章 直流电机实验	65
5.1 直流发电机	65
5.2 直流并励电动机	70
5.3 直流串励电动机	74
附录 A DDSZ-1 型电机及电气技术实验装置受试电机铭牌数据一览表	78
附录 B DDSZ-1 型电机实验装置交流及直流电源操作说明	79
附录 C 校正直流测功机 $T_2 - I_F$ 图	81
参考文献	82

第1章 实验基本要求和安全操作规程

1.1 实验的基本要求

实验的目的在于培养学生掌握基本的实验方法与操作技能；培养学生学会根据实验目的、实验内容及实验设备拟定实验线路，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，必须集中精力，及时、认真做好实验。现按实验过程提出下列基本要求。

1.1.1 做好准备

为避免学生到实验室还不知道要做什么，实验前应做好预习报告，经指导教师检查认为确实做好了实验前的准备，方可开始作实验。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 进行实验

1. 建立小组，合理分工

每次实验都以小组为单位进行，每组由两三人组成，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

做实验前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，按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或插头。

4. 启动电机，观察仪表

在正式实验开始之前，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，并排除故障；如果一切正常，即可正式开始实验。

5. 测取数据

预习时对电机的实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，须将数据交指导教师审阅。经指导教师认可后，才允许拆线并把实验所用

的组件、导线及仪器等物品整理好。

1.1.3 实验报告

实验报告是根据实测数据和在实验中观察及发现的问题,经过自己的分析研究或分析讨论后写出的心得体会。

实验报告要简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确。

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($^{\circ}\text{C}$)。

(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线路图,并注明仪表量程、电阻器阻值及电源端编号等。

(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符合,可对某些问题提出一些自己的见解并最后写出结论。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,按时送交指导教师批阅。

1.2 认 识 实 验

1.2.1 实验目的

(1) 学习电机实验的基本要求与安全操作注意事项。

(2) 认识在直流电机实验中所用的电机、仪表、变阻器等组件及使用方法。

(3) 认识校正直流测功机的接线、启动、改变电机转向与调速的方法。

1.2.2 预习要点

(1) 如何正确选择使用仪器、仪表。特别是电压表、电流表的量程。

(2) 学习认识实验线路图,识别仪表,按图接线,认清主回路与并联支路。

(3) 了解校正直流测功机启动时,电枢回路中串接启动变阻器、励磁回路串接的磁场变阻器,它们的起始值有何不同。了解若励磁回路断开造成失磁时,会产生什么严重后果。

1.2.3 实验项目

(1) 了解 DD01 电源控制屏中的电枢电源、励磁电源、校正过的直流电机、变阻器、多量程直流电压表、电流表及直流电动机的使用方法。

(2) 用伏安法测直流电动机和直流发电机的电枢绕组的冷态电阻。

1.2.4 实验设备及控制屏上挂件排列顺序

1. 实验设备

实验设备见表 1-1。

2. 控制屏上挂件排列顺序

其排列按 D31、D42、D41、D51、D44 的顺序进行。

表 1-1 实 验 设 备

序 号	型 号	名 称	数 量
1	DD03	导轨、测速发电机及转速表	各 1 件
2	DJ23	校正直流测功机	1 件
3	D31	直流数字电压、毫安、安培表	2 件
4	D42	三相可调电阻器	1 件
5	D44	可调电阻器、电容器	1 件
6	D51	波形测试及开关板	1 件
7	D41	三相可调电阻器	1 件

1.2.5 实验说明及操作步骤

1. 实验前的准备工作

由实验指导人员介绍 DDSZ-1 型电机及电气技术实验装置各面板布置及使用方法，讲解电机实验的基本要求、安全操作规程和注意事项。

2. 用伏安法测电枢的直流电阻

(1) 按图 1-1 所示接线，电阻 R 用 D44 上 1800Ω 和 180Ω 串联共 1980Ω 阻值并调至最大。A 表选用 D31 直流数字电压表、毫安表、安培表，量程选用 5A 挡。开关 S 选用 D51 挂箱。

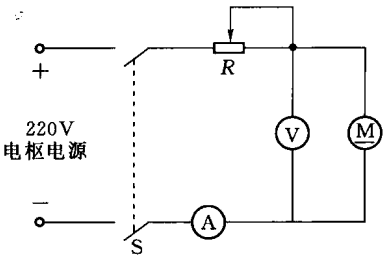


图 1-1 测电枢绕组直流电阻接线

(2) 经检查无误后接通电枢电源，并调至 220V。调节 R 使电枢电流达到 0.2A（如果电流太大，可能由于剩磁的作用使电机旋转，测量无法进行；如果电流太小，可能由于接触电阻产生较大的误差），迅速测取电机电枢两端电压 U 和电流 I 。将电机分别旋转 $1/3$ 周和 $2/3$ 周，同样测取 U 、 I 3 组数据列于表 1-2 中。

取 3 次测量的平均值作为实际冷态电阻值：

表 1-2 测取 U 、 I 3 组数据的记录表 室温 _____ $^{\circ}\text{C}$

序 号	$U(\text{V})$	$I(\text{A})$	$R(\text{平均})(\Omega)$		$R_a(\Omega)$	$R_{a\text{ref}}(\Omega)$
1			$R_{a11} =$	$R_{a1} =$		
			$R_{a12} =$			
			$R_{a13} =$			
2						
3						

$$R_a = \frac{1}{3} (R_{a1} + R_{a2} + R_{a3})$$

表中:

$$R_{a1} = \frac{1}{3} (R_{a11} + R_{a12} + R_{a13}); R_{a2} = \frac{1}{3} (R_{a21} + R_{a22} + R_{a23}); R_{a3} = \frac{1}{3} (R_{a31} + R_{a32} + R_{a33})$$

(3) 计算基准工作温度时的电枢电阻。由实验直接测得电枢绕组电阻值, 此值为实际冷态电阻值。冷态温度为室温。按下式换算到基准工作温度时的电枢绕组电阻值:

$$R_{aref} = R_a \frac{235 + \theta_{ref}}{235 + \theta_a}$$

式中 R_{aref} ——换算到基准工作温度时电枢绕组电阻, Ω ;

R_a ——电枢绕组的实际冷态电阻, Ω ;

θ_{ref} ——基准工作温度, 对于 E 级绝缘为 75°C ;

θ_a ——实际冷态时电枢绕组的温度, $^\circ\text{C}$ 。

3. 直流仪表、转速表和变阻器的选择

直流仪表、转速表量程是根据电机的额定值和实验中可能达到的最大值来选择的, 变阻器根据实验要求来选用, 并按电流的大小选择串联、并联或串并联的接法。

(1) 电压量程的选择。如测量测功机两端为 220V 的直流电压, 选用直流电压表为 1000V 量程挡。

(2) 电流量程的选择。因为测功机的额定电流为 2.2A , 测量电枢电流的电表 A_2 可选用直流电流表的 5A 量程挡; 额定励磁电流小于 0.16A , 电流表 A_1 选用 200mA 量程挡。

(3) 电机额定转速为 1500r/min , 转速表选用 1800r/min 量程挡。

(4) 变阻器的选择。变阻器选用的原则是根据实验中所需的阻值和流过变阻器最大的电流来确定, 电枢回路 R 可选用 D44 挂件的 1.3A 的 90Ω 与 90Ω 串联电阻, 磁场回路 R_f 可选用 D44 挂件的 0.41A 的 900Ω 与 900Ω 串联电阻。

4. 直流测功机 MG 的启动与调速

按图 1-2 所示接线。校正直流测功机 MG 作为直流他励电动机使用。TG 为测速发电机。直流电流表选用 D31。 R_f 用 D44 的 1800Ω 阻值作为 MG 励磁回路串接的电阻。 R 选用 D44 的 180Ω 阻值作为 MG 启动电阻。

(1) 使 MG 电枢串联启动电阻 R 阻值最大, 励磁回路 R_f 阻值最小。仍先接通控制屏下方左边的励磁电源开关, 在观察到 MG 的励磁电流为最大的条件下, 再接通控制屏下方右边的电枢电源开关, 启动直流电动机 MG, 其旋转方向应符合正向旋转的要求。

(2) 增大电枢电压, 电动机 MG 启动后, 分别改变 MG 电枢串联电阻 R 和电动机磁场调节电阻 R_f 时, 观察 MG 转速的变化情况。

(3) 改变校正直流测功机 MG 的转向。将 MG 电枢

串联启动变阻器 R 的阻值调回到最大值, 先切断控制屏

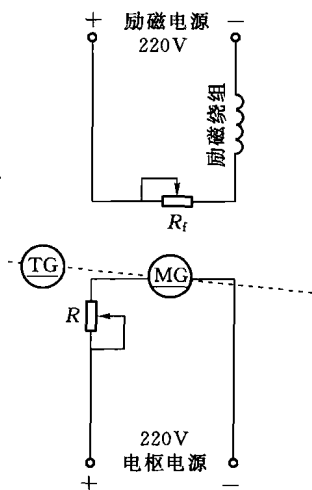


图 1-2 校正直流测功机 MG 接线

上的电枢电源开关,然后切断控制屏上的励磁电源开关,使MG停机。在断电情况下,将MG电枢(或励磁绕组)的两端接线对调后,再按他励电动机的启动步骤启动MG,并观察MG的转向及转速表指针偏转的方向。

1.2.6 注意事项

(1)校正直流测功机MG启动时,须将励磁回路串联的电阻 R_f 调至最小,先接通励磁电源,使励磁电流达到最大,同时必须将电枢串联启动电阻 R 调至最大,然后方可接通电枢电源。启动后,将启动电阻 R 调至零,使电机正常工作。

(2)校正直流测功机MG停机时,必须先切断电枢电源,然后断开励磁电源。同时必须将电枢串联的启动电阻 R_f 调回到最大值,励磁回路串联的电阻 R_n 调回到最小值,为下次启动做好准备。

(3)测量前注意仪表的量程、极性及其接法,是否符合要求。

1.2.7 实验报告

实验报告需要回答以下几个问题:

(1)校正直流测功机MG电枢串电阻启动的接线。说明测功机MG启动时,启动电阻 R 和磁场调节电阻 R_f 应调到什么位置?

(2)在校正直流测功机MG轻载及额定负载时,增大电枢回路的调节电阻,电机的转速如何变化?增大励磁回路的调节电阻,转速又如何变化?

(3)用什么方法可以改变校正直流测功机MG的转向?

1.3 实验安全操作规程

应遵守以下安全操作规程:

- (1)认真填写实验登记。
- (2)做实验的同学应注意穿着,女同学长头发应戴安全帽,以免卷入旋转部件或触电。
- (3)学生开始做实验前,应确保切断电源。
- (4)学生接线或改线后,必须经指导教师检查,得到允许后方可通电实验。
- (5)如有冒烟、气味或声音等异常现象,第一反应就是切断电源。
- (6)每做一项实验的实验数据,应及时找指导教师核查,无误后再继续。
- (7)所有数据经指导教师核查后,整理好实验台,请教师签字之后才可离开。

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) 通过负载实验测取变压器的运行特性。

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 实验项目及原理

1. 短路实验

短路实验是把变压器二次绕组短路，一次绕组上加一可调的低电压。调节外加低电压，使短路电流达到所需几组电流值，选取额定电流时的一次电压、输入功率和电流，由此即可确定等效漏阻抗。

短路实验要测取短路特性：

$$U_K = f(I_K); P_K = f(I_K); \cos\phi_K = f(I_K)$$

2. 空载实验

空载实验是把变压器二次绕组开路，一次绕组上加一可调的电压。调节外加电压，使一次绕组所加电压达到所需几组电压值，选取额定电压时的一次电压、输入功率和电流，由此即可算出励磁阻抗。

空载实验要测取空载特性：

$$U_0 = f(I_0); P_0 = f(U_0); \cos\phi_0 = f(U_0)$$

3. 负载实验

变压器的一次绕组接到交流电源，二次绕组接到负载时，二次绕组便有电流流过，这种情况称为变压器的负载运行。

- (1) 纯电阻负载。保持 $U_1 = U_N$ ， $\cos\phi_2 = 1$ 的条件下，测取 $U_2 = f(I_2)$ 。
- (2) 阻感性负载。保持 $U_1 = U_N$ ， $\cos\phi_2 = 0.8$ 的条件下，测取 $U_2 = f(I_2)$ 。

2.1.4 实验方法

1. 实验设备

实验设备见表 2-1。

表 2-1

实验设备

序 号	型 号	名 称	数 量
1	D33	交流电压表	1 件
2	D32	交流电流表	1 件
3	D34—3	单三相智能功率、功率因数表	1 件
4	DJ11	三相组式变压器	1 件
5	D42	三相可调电阻器	1 件
6	D43	三相可调电抗器	1 件
7	D51	波形测试及开关板	1 件

2. 屏上排列顺序

其排序按 D33、D32、D34—3、DJ11、D42、D43 的顺序进行。

3. 短路实验

(1) 在 三相调压交流电源断电的条件下, 按图 2-1 所示接线。被测变压器选用三相组式变压器 DJ11 中的一只作为单相变压器, 其额定容量 $P_N=77\text{W}$, $U_{1N}/U_{2N}=220/55\text{V}$, $I_{1N}/I_{2N}=0.35/1.4\text{A}$ 。变压器的高压绕组 A、X 接电源, 低压绕组 a、x 短路。

(2) 选好所有电表量程，将交流调压器旋钮调到输出电压为零的位置。

(3) 合上交流电源总开关, 按下“开”按钮, 便接通了三相交流电源。逐次缓慢增加输入电压, 直到短路电流等于 $1.1I_N$ 为止, 在 $(0.2 \sim 1.1) I_N$ 范围内测取变压器的 U_K 、 I_K 、 P_K 。

(4) 测取数据时, $I_K = I_N$ 点必须测, 共测取数据六七组记录于表 2-2 中。实验时记下周围环境温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

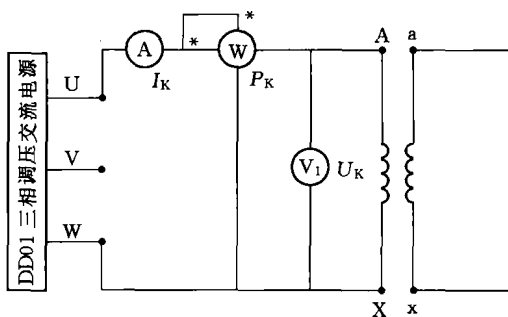


图 2-1 短路实验接线

表 2-2

短路实验数据记录表

室温 °C

[illegible]

4. 空载实验

(1) 按下控制屏上的“关”按钮，切断三相调压交流电源，按图 2-2 所示接线（以后每次改接线路，都要关断电源）。将变压器的低压绕组 a、x 接电源，高压绕组 A、X 开路。

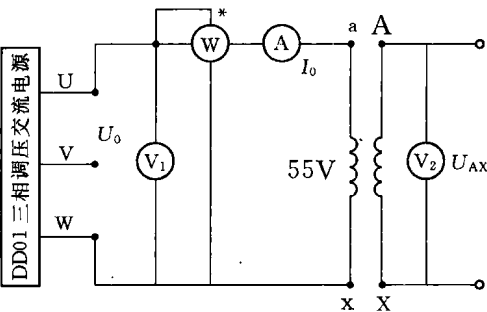


图 2-2 空载实验接线

(2) 选好所有电表量程。将控制屏左侧调压器旋钮向逆时针方向旋转到底，即将其调到输出电压为零的位置。

(3) 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 $1.2 \sim 0.2U_N$ 的范围内，测取变压器的 U_0 、 I_0 、 P_0 。

(4) 测取数据时， $U_0 = U_N$ 点必须测，并在该点附近测的点较密，共测取数据七八组。记录于表 2-3 中。

(5) 为了计算变压器的变比，在 U_N 以下测取原边电压的同时测出副边电压数据也记录于表 2-3 中。

表 2-3 空载实验数据记录表

序 号	实 验 数 据				计 算 数 据
	U_0 (V)	I_0 (A)	P_0 (W)	U_{AX} (V)	$\cos\phi_0$

5. 负载实验

实验线路如图 2-3 所示。变压器低压绕组接电源，高压绕组经过开关 S_1 和 S_2 ，接到负载电阻 R_L 和电抗 X_L 上。 R_L 选用 D42 上 900Ω 加上 900Ω 共 1800Ω 阻值， X_L 选用 D43，功率因数表选用 D34-3，开关 S_1 和 S_2 选用 D51 挂箱。

(1) 纯电阻负载。

1) 将调压器旋钮调到输出电压为零的位置， S_1 、 S_2 断开，负载电阻值调到最大。

2) 接通交流电源，逐渐升高电源电压，使变压器输入电压 $U_1 = U_N$ 。

3) 保持 $U_1 = U_N$ ，合上 S_1 ，逐渐增加负载电流，即减小负载电阻 R_L 的值，从空载到额定负载的范围内，测取变压器的输出电压 U_2 和电流 I_2 。

4) 测取数据时， $I_2 = 0$ 和 $I_2 = I_{2N} = 0.35A$ 必测，共取数据六七组，记录于表 2-4 中。

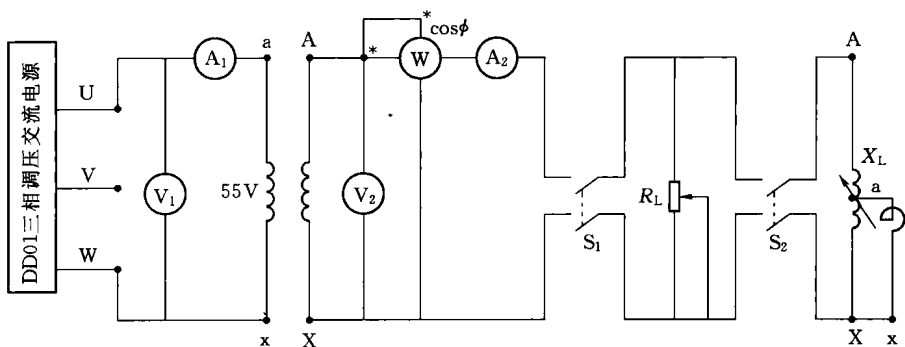


图 2-3 负载实验接线

表 2-4

纯电阻负载数据记录表

$\cos\phi_2 = 1, U_1 = U_N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

序 号							
$U_2 \text{ (V)}$							
$I_2 \text{ (A)}$							

(2) 阻感性负载 ($\cos\phi_2 = 0.8$)。

1) 用电抗器 X_L 和 R_L 并联作为变压器的负载, S_1 、 S_2 断开, 电阻及电抗值调至最大。

2) 接通交流电源, 升高电源电压至 $U_1 = U_{1N}$ 。

3) 合上 S_1 、 S_2 , 在保持 $U_1 = U_N$ 及 $\cos\phi_2 = 0.8$ 条件下, 逐渐增加负载电流, 从空载到额定负载的范围内, 测取变压器 U_2 和 I_2 。

4) 测取数据时, 其 $I_2 = 0$ 、 $I_2 = I_{2N}$ 两点必测, 共测取数据六七组, 记录于表 2-5 中。

表 2-5

阻感性负载数据记录表

$\cos\phi_2 = 0.8; U_1 = U_N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

序 号							
$U_2 \text{ (V)}$							
$I_2 \text{ (A)}$							

2.1.5 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, 否则绕组发热会引起电阻变化。

2.1.6 实验报告

1. 计算变比

由空载实验测变压器的原边、副边电压的数据, 分别计算出变比, 然后取其平均值作为变压器的变比 K 。

$$K = U_{AX} / U_{ax}$$

2. 绘出空载特性曲线和计算励磁参数

(1) 绘出空载特性曲线:

$$U_0 = f(I_0); P_0 = f(U_0); \cos\phi_0 = f(U_0)$$

$$\cos\phi_0 = \frac{P_0}{U_0 I_0}$$

(2) 计算励磁参数。

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, 并由下式算出励磁参数为:

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

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

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

3. 绘出短路特性曲线和计算短路参数

(1) 绘出短路特性曲线:

$$U_K = f(I_K); P_K = f(I_K); \cos\phi_K = f(I_K)$$

(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 $\theta(^{\circ}\text{C})$ 时的短路参数。

$$Z'_K = \frac{U_K}{I_K}$$

$$r'_K = \frac{P_K}{I_K^2}$$

$$X'_K = \sqrt{Z'^2_K - r'^2_K}$$

折算到低压侧:

$$Z_K = \frac{Z'_K}{K^2}$$

$$r_K = \frac{r'_K}{K^2}$$

$$X_K = \frac{X'_K}{K^2}$$

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——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:

$$u_K = \frac{I_N Z_{K75^{\circ}\text{C}}}{U_N} \times 100\%$$

$$u_{Kr} = \frac{I_N r_{K75^{\circ}\text{C}}}{U_N} \times 100\%$$

$$u_{Kx} = \frac{I_N X_K}{U_N} \times 100\%$$

$I_K = I_N$ 时短路损耗 $P_{KN} = I_N^2 r_{K75^{\circ}\text{C}}$ 。

4. 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 形等效电路

5. 变压器的电压变化率 Δu

(1) 绘出 $\cos\phi_2 = 1$ 和 $\cos\phi_2 = 0.8$ 两条外特性曲线 $U_2 = f(I_2)$ ，由特性曲线计算出 $I_2 = I_{2N}$ 时的电压变化率为

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

(2) 根据实验求出的参数，算出 $I_2 = I_{2N}$ 、 $\cos\phi_2 = 1$ 和 $I_2 = I_{2N}$ 、 $\cos\phi_2 = 0.8$ 时的电压变化率 Δu 为

$$\Delta u = u_{Kr} \cos\phi_2 + u_{Kx} \sin\phi_2$$

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. 绘出被试变压器的效率特性曲线

(1) 用间接法算出 $\cos\phi_2 = 0.8$ 不同负载电流时的变压器效率，记录于表 2-6 中。

$$\eta = \left(1 - \frac{P_0 + I_2^{*2} P_{KN}}{I_2^* P_N \cos\phi_2 + P_0 + I_2^{*2} P_{KN}} \right) \times 100\%$$

其中

$$I_2^* P_N \cos\phi_2 = P_2 (\text{W})$$

式中 P_{KN} ——变压器 $I_K = I_N$ 时的短路损耗，W；

P_0 ——变压器 $U_0 = U_N$ 时的空载损耗，W；

I_2^* ——副边电流标么值， $I_2^* = I_2 / I_{2N}$ 。

表 2-6 不同负载电流时的数据记录表

$\cos\phi_2 = 0.8; P_0 = \text{ } \text{W}; P_{KN} = \text{ } \text{W}$					
I_2^*	$P_2 (\text{W})$	η	I_2^*	$P_2 (\text{W})$	η
0.2			0.8		
0.4			1.0		
0.6			1.2		

(2) 由计算数据绘出变压器的效率曲线 $\eta = f(I_2^*)$ 。

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

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