



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

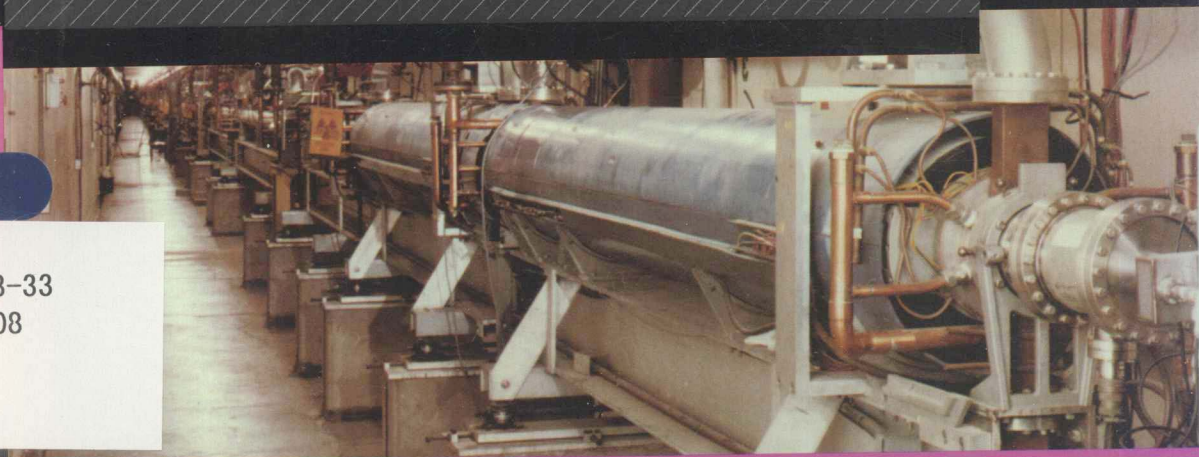
Experiment of Electrical Machinery and Towage

电机与拖动 实验教程

毛永明 主编

王长涛 陈楠 副主编

TM3-33
08



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

013063199

TM3-33
08



21 世纪高等院校电气工程与自动化规

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Autom

Experiment of Electrical Machinery and Towage

电机与拖动 实验教程

毛永明 主编

王长涛 陈楠 副主编



北航

C1671307

TM3-33
08

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与拖动实验教程 / 毛永明主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2013. 8
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-31650-9

I. ①电… II. ①毛… III. ①电机—实验—高等学校—教材②电力传动—实验—高等学校—教材 IV.
①TM3-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第118210号

内 容 提 要

本书从实验教学角度出发, 满足基本教学需要, 同时适应于社会发展需要, 提高学生工程实践能力。全书共分 3 个部分, 第一部分是电机与拖动实验的基本要求和方法 (第 1 章), 第二部分是电机与拖动实验中一些基本物理量的测量与用电安全 (第 2 章), 第三部分是电机与拖动实验 (第 3 章~第 7 章)。

本书在编写过程中注重文字言简意赅, 内容深入浅出, 突出实用性。

本书可作为理工类院校本科、专科及高职的相关专业学生实践环节的指导书, 也可作为相关工程技术人员参考书。

-
- ◆ 主 编 毛永明
 - 副 主 编 王长涛 陈 楠
 - 责任编辑 刘 博
 - 责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 8
字数: 198 千字
 - 2013 年 8 月第 1 版
2013 年 8 月北京第 1 次印刷
-

定价: 25.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

目 录

前 言

本书是《电机学》和《电机与拖动基础》理论课程配套用的实验教材,目的在于培养学生的创新能力,培养学生掌握理论指导下的实验方法,锻炼学生的实际操作能力以及常规电机的正确使用方法,使学生学会利用理论知识对测得的实验数据进行合理分析,作出正确结论,并在此基础上进行分析研究。由于电机学等课程理论性强、概念抽象、实践性强、涉及的基础理论较广,它对培养学生的科学思维能力、工程能力,提高学生分析问题和解决问题的能力起着至关重要的作用。

根据教育部“卓越工程师培养计划”的精神,为满足本科相关专业实验能力培养的需要,着力强化基础训练和应用训练,加深理解课堂知识,提高学生的工程实践能力,编写了本书。本书在编写过程中,注重实践教学与理论教学内容紧密结合,大量吸取近年来电机学相关课程教学改革的新成果,突出验证性实验与设计性实验的结合。

本书立足于本科应用型人才培养目标,适应于社会发展需要,提高学生工程实践能力。本书在编写过程中,参考了部分院校的教学大纲和相关实验课程运行情况,以满足基本实验教学需要和有较宽适应面。本书包含了3部分内容:第一部分是电机与拖动实验的基本要求和方(第1章);第二部分是电机与拖动实验中一些基本物理量的测量与用电安全(第2章);第三部分是电机与拖动实验(第3章~第7章)。

本书由毛永明任主编,王长涛、陈楠任副主编。阚凤龙、张东伟、吕九一、阚洪亮、刘阳、魏溯华、华海荣、左传文花费大量时间为实验项目进行了调研和预试,程娟为本书英文参考资料做了大量整理翻译工作,在此谨致以深切的谢意。

本书主审是沈阳建筑大学信息与控制工程实验中心主任黄宽高级实验师,对本书提出了不少宝贵意见和建议,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2013年1月

目 录

第1章 电机与拖动实验的基本要求和 方法	1	实验二 直流电动机	29
1.1 DDSZ-1 型电机系统教学实验台 简介	1	第4章 变压器实验	35
1.1.1 DDSZ-1 型电机实验装置的 主要结构部件使用说明	1	实验一 单相变压器	35
1.1.2 DDSZ-1 型电机实验装置中 各种类型被测试电机的额 定值	6	实验二 三相变压器	40
1.2 电机与拖动实验的基本要求	7	第5章 异步电机实验	47
1.3 电机与拖动实验室安全操作 规程	8	实验一 三相鼠笼异步电动机的工作 特性	47
第2章 实验中一些基本物理量的测量与 用电安全	9	实验二 三相异步电动机的启动与 调速	55
2.1 电机与拖动实验中一些基本物理 量的测量	9	实验三 单相异步电动机	59
2.2 测量误差	12	第6章 电机机械特性的测定	66
2.3 触电与安全用电	17	实验一 直流他励电动机在各种运转 状态下的机械特性	66
2.3.1 触电定义及分类	18	实验二 三相异步电动机在各种运行 状态下的机械特性	69
2.3.2 常见的触电方式	18	第7章 电力拖动系统继电器接触控制 实验	74
2.3.3 常见触电的原因	19	实验一 三相异步电动机的启动与能 耗制动控制实验	74
2.4 安全用电与触电急救	20	实验二 三相异步电动机单、双向启动 及反接制动控制实验	83
2.4.1 基本安全措施	20	实验三 直流电动机的启动、调速与 控制实验	87
2.4.2 安全操作	21	参考文献	92
2.4.3 接地与接零	21	实验报告	93
2.4.4 触电急救	22		
第3章 直流电机	24		
实验一 直流发电机	24		

第

章

电机与拖动实验的基本要求和方法

1.1 DDSZ-1 型电机系统教学实验台简介

1.1.1 DDSZ-1 型电机实验装置的主要结构部件使用说明

1. 电源控制屏简介

- (1) 三相 0~450V 可调交流电源, 同时可得实验所需 0~250V 可调交流电源。
- (2) 直流电机实验所需的 220V、0.5A 励磁电源, 40~230V、3A 可调电枢电源。
- (3) 三相电网电压与三相调压输出电压由 3 只指针式交流电压表 (量程为 0~450V) 表头指示, 用切换开关切换; 直流电机的励磁电源电压和电枢电源电压由 1 只直流数字电压表 (量程为 0~300V) 指示, 用表下的一只切换开关切换。

2. 电源控制屏的启动和关闭

- (1) 关闭所有的电源开关, 将交流电压表的切换开关置于“三相电网”一侧, 将三相调压器旋钮旋到零位。
- (2) 接好机壳的接地线, 插好三相四芯电缆线插头, 接通三组 380V、50Hz 的交流市电。
- (3) 开启钥匙式三相“电源总开关”, 红色按钮灯亮 (按钮“关”, 则红色灯亮), 三只电压表将指示三相电网线电压值, 同时屏右侧面上的 2 只单相三芯插座有 220V 交流电压输出。
- (4) 按下“开”按钮, 红色灯灭, 绿色灯亮, 同时可听到屏内交流接触器瞬间吸合声, 三相可调端 3 只发光二极管亮, 屏正面大凹槽底部 6 处单相三芯 220V 圆形插座及屏左侧面单相二芯 220V 电源插座和三相四芯 380V 电源插座均有电压输出, 电源控制屏启动完毕。
- (5) 控制屏挂件处凹槽底部设有 5 处四芯信号插座, 在按钮“关”或按钮“开”时, 插座后方两针均有 32V 交流电源输出, 与指针式仪表相连, 给仪表供电。当仪表超量程时, 保护电路通过信号插座切断电源, “告警”指示灯亮, 蜂鸣器响, 并发出告警声。
- (6) 实验完毕, 按下“关”按钮, 绿色指示灯灭, 红色指示灯亮, 然后关闭三相“电源总开关”, 红色指示灯灭, 并检查一下各开关 (包括直流“电枢电源”和“励磁电源”开关) 是否都恢复到“关”的位置, 三相调压器是否调回到零位, 最后关闭电网闸刀。

3. 三相可调交流电源输出电压调节

- (1) 将交流电压表指示切换开关置于“三相调压”一侧, 3 只电压表指针回零。
- (2) 按顺时针方向 (即标志牌上“大”一侧) 缓缓旋动三相自耦调压器的调节旋钮,

3 只电压表随之偏转,指示三相可调输出电压的 U、V、W 两两之间的线电压之值,实验完毕,将调节旋钮调回零位。

(3) 三相电源主电路中设有 3A 带灯熔断器,若某相短路(或负载过大等),则熔断器指示灯亮,表明缺相,要及时更换熔断管,并检查问题所在。三相可调输出端设有 3 只 3A 熔断器,若某相无输出,应检查熔断管是否有断开或其他问题。在长时间运行时,输出电流不允许超过 2A,否则会损坏三相自耦调压器。控制回路(接触器控制回路,日光灯照明电路,控制屏内外漏电保护装置供电电路,信号插座供电电路及屏右侧面单相三芯插座供电等)设有 1.5A 熔断器,如控制回路失灵,检查熔断管是否完好及问题所在。

4. 励磁电源、电枢电源的使用

先按照电源控制屏的启动方法启动交流电源控制屏。

(1) 励磁电源的启动:将控制屏左下方励磁电源开关置于“开”,此时励磁电源“工作”指示灯亮,说明励磁电源正常。将电压指示切换开关置于“励磁电源”一侧,直流电压表指示“励磁电源”电压值约为 220V(熔丝额定电流为 0.5A)。

(2) 电枢电源的操作

① 将电枢电源“电压调节”电位器按逆时针方向旋到底,并将电压指示“切换开关”置于“电枢电压”一侧,然后,将电枢电源开关置于“开”,经 4~5s 后可听到屏内接触器的瞬间吸合声,此时“工作”指示灯亮,电压表指示“电枢电源”输出电压(熔丝额定电流为 3A)。

② 顺时针旋转电枢电源输出电压调节电位器,输出电压增大,输出调节范围为 40~230V。

③ 电枢电源的保护系统:电枢电源具有过压、过流、过热及短路保护功能。

a. 过压保护:当电源输出电压超过保护设定值时,可听到屏内中间继电器瞬间吸合声,自动切断输出回路,此时蜂鸣器响,过压保护指示灯亮,电压表指示慢慢回至 0V。在调低电压后,按过压复位按钮,或停机后重新开机可恢复正常工作(有 4~5s 延时)。

b. 过流保护:当电源输出回路中的电流超过保护设定值时,交流接触器瞬时动作,自动切断输出回路,此时蜂鸣器响,过流保护指示灯亮,电压指示回零。当输出回路中的电流减小到低于 2.5A 时,电路自动恢复输出电压,正常工作。

c. 过热保护:当电源调整管温度过高时,温度保护器将动作,实现过热保护,保护过程类同过压保护。此时过压指示灯亮,蜂鸣响起。发生过热保护后必须停机让调整管自然冷却方可重新开机。

d. 短路保护:当电源开机时输出回路中的电流大于 2.5A 或输出短路时,电源不能正常启动,此时过流指示灯亮,蜂鸣器响;当输出电压低于 2.5A 时电源便可正常启动,启动过程同上。在工作过程中,若出现意外或人为短路,则电源电压降为 0V,电流降为 0A,过流指示灯亮,蜂鸣器发出警声,消除故障,电源自动恢复工作。本电源采用的是软截止保护技术。

5. 日光灯的使用

开启钥匙式开关(红色按钮灯亮),将面板右上方的转换开关置于“照明”一侧,日光灯亮。反之则关闭日光灯。

6. 无源挂件的使用

属于无源挂件的有 DJ11、DJ12、D41、D42、D44、D51、D62、D63 各 1 个,它们没有外拖电源线,可直接钩挂在控制屏的两根不锈钢管上并沿钢管左右随意移动。

(1) DJ11 组式变压器

由 3 只相同的双绕组单相变压器组成, 每只单相变压器的高压绕组额定值为 220V、0.35A, 低压绕组的额定值为 55V、1.4A。

3 只变压器可单独作单相变压器实验, 也可将其连成三相变压器组进行实验, 此时, 三相高压绕组的首端分别用 A、B、C 标号, 其对应末端用 X、Y、Z 标号, 三相低压绕组的首端用小写 a、b、c 标号, 其对应末端用小写 x、y、z 标号。

(2) DJ12 三相芯式变压器

三相芯式变压器是一个三柱铁芯结构的三相三绕组变压器。每个铁芯柱即每相上安装有高压、中压和低压 3 个绕组, 每个高压绕组的额定值为 127V、0.4A, 每个中压绕组的额定值为 63.6V、0.8A, 每个低压绕组的额定值为 31.8V、1.6A。三相高压绕组的首端分别为 A、B、C 标号, 其对应末端用 X、Y、Z 标号; 三相中压绕组的首端分别为 Am、Bm、Cm 标号, 其对应末端用 Xm、Ym、Zm 标号; 三相低压绕组的首端分别为 a、b、c 标号, 其对应末端用 x、y、z 标号。所以 18 个接线端在内部互不连接, 可按实验指导书要求进行各种连接。

(3) D41 三相可调电阻器

由 3 只 $90\Omega \times 2$, 1.3A、150W 可调瓷盘电阻器组成。每只 90Ω 电阻串接 1.5A 保险丝, 以作过载保护。其中第一个电阻器设有两组 90Ω 固定阻值的接线柱, 做实验时可作为电机负载及启动电阻使用, 也可他用。

(4) D42 三相可调电阻器

由 3 只 $900\Omega \times 2$, 0.41A、150W 可调瓷盘电阻器组成。每只 900Ω 电阻串接 0.5A 保险丝, 以作过载保护。其中第一个电阻器设有两组 900Ω 固定阻值的接线柱, 做实验时可作为电机负载及励磁电阻使用, 也可他用。

(5) D44 可调电阻器、电容器

由 $90\Omega \times 2$, 1.3A、150W 可调瓷盘式电阻器, $900\Omega \times 2$, 0.41A、150W 瓷盘电阻器, $35\mu\text{F}$ (450V)、 $4\mu\text{F}$ (450V) 电力电容器各一只及两只单刀双掷开关组成。每只 90Ω 和 900Ω 电阻器都串接有保险丝保护, 其中 90Ω 电阻器设有两组 90Ω 固定阻值的接线柱。

$90\Omega \times 2$ 电阻器一般用于直流他励电动机与电枢串联的启动电阻, $900\Omega \times 2$ 电阻器一般用于与励磁绕组串联的励磁电阻。

$35\mu\text{F}$ (450V) 电容器为单相电容启动异步电动机的启动电容器。

$4\mu\text{F}$ (450V) 电容器为单相电容运转异步电动机的运行电容器。

(6) D51 波形测试及开关板

本挂件由波形测试部分和一个三刀双掷开关、两个双刀双掷开关组成。

波形测试部分: 用于测试三相组式变压器及三相芯式变压器不同接法时的空载电流、主磁通。相电势、线电势及三角形 (Δ 形) 连接的闭合回路中三次谐波电流的波形。面板上方“Y₁”和“ $\perp$ ”两个接线柱接示波器的输入端, 任意按下 5 个琴键开关中的一个时 (不能同时按下 2 个或 2 个以上的琴键), 示波器屏幕上显示与该琴键开关上所标的指示符号相对应的波形。S₁、S₂、S₃ 三个开关, 用作 Y/ Δ 换接的手动切换开关, 或另作他用。

(7) D62、D63 继电器接触挂件

本挂件提供中间继电器 (线圈电压 220V) 2 只, 热继电器 1 只, 熔断器 3 只, 转换开关 3 只, 按钮 1 只, 行程开关 4 只, 信号灯、保险丝座各 1 只。还提供交流接触器 (线圈电压 380V) 2 只, 热继电器 1 只, 时间继电器 1 只, 变压器 (220V/26V/6.3V)、整流电路、能耗

制动电阻 ($100\Omega/20W$) 各一组, 按钮三组。

7. 有源挂件的使用

有源挂件是 D31 两件, D32、D33、D34、D35、D36、D52 各 1 件, 共 8 件, 它们的共同点都是需要外接交流电源, 因此都有一根外拖的电源线。对于 D31、D34、D35、D36、D52 五个挂件, 要外拖一根三芯护套线和 220V 三芯圆形电源插头 (配控制屏挂件凹槽处的 220V 三芯插座); 对于 D32 交流电流表和 D33 交流电压表两个挂件, 要外拖一根四芯护套和航空插头, 插于控制屏挂件凹槽处的四芯插座。

(1) D31 直流数字电压、电流表

① 将此挂件挂在钢管上, 并移动到合适的位置, 插好电源线插头。挂件在钢管上不能随便移动, 否则会损坏电源线及插头等。

② 电压表的使用: 通过导线将“+”、“-”两极并接到被测对象的两端, 对 4 挡琴键开关进行操作, 完成电压表的接入和对量程的选择。电压表的“+”、“-”两极要与被测量的正负端对应, 否则电压表表头的第一个数码管将会出现“-”, 表示极性接反。

关	2V	20V	200V	1000V

在使用过程中要特别注意应预先估算被测量的范围, 以此来正确选择适当的量程, 否则易损坏仪表。

③ 毫安表的使用: 通过导线将“+”、“-”两端串接在被测电路中, 对 4 挡琴键开关进行操作, 完成毫安表的接入和对量程的选择。如果极性接反, 毫安表表头的第一个数码管将会出现“-”。

关	2mA	20mA	200mA

④ 电流表 (5A 量程) 的使用: 将“+”、“-”两端串接在被测电路中, 按下开关按钮, 数码管便显示被测电流之值。如果极性接反, 电流表表头的第一个数码管将会出现“-”。

(2) D32 交流电流表

① 挂好此挂件, 接插好电源信号线插座。

② 挂件上共有 3 个完全相同的多量程指针式交流电流表, 各表都设置 4 个量程 (0.25A、1A、2.5A 及 5A), 并通过琴键开关进行切换。

③ 实验接线要与被测电路串联, 量程换挡及不需要指示测量值时, 将“测量/短接”键处于“短接”状态; 需要测量时, 将“测量/短接”键处于“测量”状态。

④ 当测量电流小于 0.25A 时, 选择“0.25A”、“*”这 2 个输入口; 当测量电流大于 0.25A 小于 1A 时, 选择“1A”、“*”这 2 个输入口; 当测量电流大于 1A 小于 2.5A, 选择“2.5A”、“*”这 2 个输入口; 当测量电流大于 2.5A 小于 5A 时, 选择“5A”、“*”这 2 个输入口。使用前要估算被测量的大小, 以此来选择适当的量程, 并按下该量程按键, 相应的指示灯亮, 指针指示出被测量值。

⑤ 若被测量值超过仪表某量程的量限, 则告警指示灯亮, 蜂鸣器发出告警信号, 并使控制屏内接触器跳开。将该超量程仪表的“复位”按钮按一下, 蜂鸣器停止发出声音, 重新选择量程或将测量值减小到原量程测量范围内, 再启动控制屏, 方可继续实验。

(3) D33 交流电压表

① 挂好此挂件，接插好电源信号线插座。

② 挂件上共有 3 个完全相同的多量程指针式交流电压表，各表都设置 5 个量程（30V、75V、150V、300V 及 450V），并通过琴键开关进行切换。

③ 实验接线要与被测电路并联，并估算被测量的大小，以此选择合适的量程按键，相应的绿色指示灯亮，指针指示出被测量值。

④ 若被测量值超过仪表某量程的量限，则告警指示灯亮，蜂鸣器发出告警信号，并使控制屏内接触器跳开。将该超量程仪表的“复位”按钮按一下，蜂鸣器停止发出声音，重新选择量程或将测量值减小到原量程测量范围内，再启动控制屏，方可继续实验。

(4) D34 单相智能数字功率、功率因数表

本产品主要由微电脑、高精度 A/D 转换芯片和全数字显示电路构成。为了提高电压、电流的测量范围和测试精度，在硬、软件结构上，均分为 8 挡测试区域，测试过程中皆自动换挡。主要功能如下：① 单相功率及三相功率 P_1 、 P_2 、 P （总功率）测量，输入电压、电流量程分别为 450V、5A；② 功率因数 $\cos\phi$ 测量，同时显示负载性质（感性或容性）以及被测电压、电流的相位关系；③ 频率和周期测量，测量范围分别为 1.00~99.00Hz 和 1.00~99.00ms；④ 对测试过程中数据进行储存，可记录 15 组测试数据（包括单相功率、三相功率 $[P_1$ 、 P_2 、 $P]$ 、功率因数 $\cos\phi$ 等），可随时检阅。测量接线与一般功率表相同，即电流线圈与被测电路串联，电压线圈与被测电路并联。

8. 交直流电机的使用

(1) 直流电机：DJ13 直流复励发电机、DJ14 直流串励电动机、DJ15 直流并励电动机。

各电机的电枢绕组和励磁绕组的端子都已引到接线板上，接线时红色接线柱接电源的正端，黑色接线柱接负端，直流电动机即可正转，直流发电机发出以红色接线柱为正端，黑色接线柱为负端的直流电压。

(2) 三相电机：DJ16 三相鼠笼式异步电动机、DJ17 三相线绕式异步电动机、DJ22 三相双速异步电动机。各电机的三相绕组均已引到接线板上，接线时把电机绕组接线端与控制屏交流电源输出端的彩帽颜色对应起来（黄、绿、红），电机即可正转。三相鼠笼式异步电动机是三角形接法（额定电压 220V），三相绕线式异步电动机和三相同步电动机是星形接法（额定电压 220V）。其中 DJ17 右边的 4 个接线柱中红色的表示 3 个转子的一端，黑色接线柱表示 3 个转子的公共端，转子绕组即可串接电阻，也可直接短路。

(3) 单相电动机：D19 单相电容启动异步电动机、DJ20 单相电容运转异步电动机、DJ21 单相电阻启动异步电动机。各电机的绕组均已引到接线板上，实验时，只要从控制屏三相交流输出处取两相 220V 电压即可。其中 DJ19 要用 D44 挂件中的 35 μ F 启动电容，DJ20 要用 D44 中的 4 μ F 运转电容，DJ21 单相电阻启动异步机的启动电阻已经安装在电机内部，只需按实验指导书接线即可。

(4) DJ23 校正过的直流电机。作测功机时，它是发电机，根据某一特定励磁电流下发电机的电枢电流，查出转矩曲线上对应的转矩 T ，即可算出功率（ $P = 0.1045 \times T \times n$ ）。同时，DJ23 也可作为直流电动机使用，如带动同步发电机、作电机机械特性实验等。接线时励磁绕组和电枢绕组的红接线柱接电源正端，黑色接线柱接负端，即可正转或发出相应的直流电压。

(5) DJ 三相鼠笼电动机。接法同 DJ16，三角形接法时工作电压为 220V，星形接法时工

作电压为 380V。用来做继电接触控制实验和工厂电气控制实验。

9. 导轨及转速表的使用

出厂时，这 3 个部件已由厂方安装调试完毕，可以直接使用。

使用时，转速表一端应在桌面电源控制屏一侧，并以实验内容的不同适当改变位置。安装电机时，首先要把电机底座有燕尾槽的一侧与测速发电机转轴的联轴器相连（不宜太紧），然后用偏心螺丝把电机与导轨固定。电机与电机相连也是按照此方法进行。

转速表面板上设有“正向”与“反向”、“1800”与“3600”的转换开关。测速时，以测速发电机轴顺时针方向旋转为正向，反之为反向。而板上正反向的指示应与电机转向一致，否则，指针反偏。当电机转速低于 1800r/min 时，转速切换开关应选择“1800”挡；高于 1800r/min 时，则选择“3600”这一挡。

10. 测力矩支架、测力矩圆盘及弹簧称的使用

这是测试电机启动力矩的实验装置。

实验时，将测力矩支架固定在导轨上适当的位置（用内六角螺丝固定，固定时，4 颗螺丝要均匀用力）。测力矩圆盘用内六角螺丝固定在电机装有联轴器的一端，并将尼龙绳一端穿过圆盘边缘上的一个小孔（尼龙绳一端要打结，且不能穿过圆孔，另一端打结挂在弹簧称的挂钩上）。弹簧称挂在支架上适当的沟槽内。

圆盘外圆直径为 110mm，沟槽低形成的圆直径 D 为 110mm，弹簧称测量单位为牛顿(N)，通过公式： $T = F \times \frac{D}{2}$ ，即可求出力矩，单位为“牛顿·米”。

注意：圆盘上的小槽应与弹簧称在一条直线上，测试时，电机一定要固定紧。

1.1.2 DDSZ-1 型电机实验装置中各种类型被测试电机的额定值

DDSZ-1 型电机实验装置中各种类型被测试电机的额定值如表 1-1 所示。

表 1-1 DDSZ-1 型电机及电气技术实验装置被测试电机铭牌数据一览表

序号	编号	名 称	$P_N(\text{W})$	$U_N(\text{V})$	$I_N(\text{A})$	n_N (r/min)	U_{FN} (V)	$I_{\text{FN}}(\text{A})$	绝缘 等级	备注
1	DJ11	三相组式变压器	230/230	380/95	0.35/ 1.4					Y/Y
2	DJ12	三相芯式变压器	152/152/ 152	220/63. 6/55	0.4/ 1.38/ 1.6					Y/△/Y
3	DJ13	直流复励发电机	100	200	0.5	1 600			E	
4	DJ14	直流串励电动机	120	220	0.8	1 400			E	
5	DJ15	直流并励电动机	185	220	1.2	1 600	220	<0.16	E	
6	DJ16	三相鼠笼式异步电动机	100	220(△)	0.5	1 420			E	
7	DJ17	三相线绕式电机	120	220(Y)	0.6	1 380			E	
10	DJ19	单相电容启动电机	90	220	1.45	1 400			E	$C=35\mu\text{F}$
11	DJ20	单相电容运转电机	120	220	1.0	1 420			E	$C=4\mu\text{F}$
14	DJ23	校正直流测功机	355	220	2.2	1 500	220	<0.16	E	

1.2 电机与拖动实验的基本要求

电机及电气技术实验课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。学生在整个实验过程中必须集中精力,及时认真做好实验。现按实验过程对学生提出下列基本要求。

一、实验前的准备

实验前应复习教科书有关章节,认真研读实验指导书,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,经指导教师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。

二、实验的进行

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

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,一般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。

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。

三、实验报告

实验报告是根据实测数据和在实验中观察和发现的问题,经过自己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、电源端编号等。

(4) 对数据整理和计算。

(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。

1.3 电机与拖动实验室安全操作规程

为了按时完成电机及电气技术实验, 确保实验时人身安全与设备安全, 要严格遵守如下规定的安全操作规程。

(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) 学生独立完成接线或改接线路后必须经指导教师检查和允许, 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, 经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, 是否有短路回路存在, 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来控制, 其他人只能由指导人员允许后方可操作, 不得自行合闸。

第2章

实验中一些基本物理量的测量与用电安全

2.1 电机与拖动实验中一些基本物理量的测量

用来测量电流、电压、功率等电量的仪器、仪表,称为电工测量仪表。它不仅可以用来测量各种电量,还可以利用相应变换器的转换来间接测量各种非电量,如温度、压力等。在种类繁多的电工仪表中,应用最广、数量最大的是指针式仪表。另外,随着科学技术的发展,数字仪表、智能仪表和虚拟仪表也逐渐应用于电工测量中。

1. 电工指示仪表的基本组成和工作原理

电工指示仪表的基本工作原理都是将被测电量或非电量转换成指示仪表活动部分的偏转角位移量。如图 2-1 所示,电工指示仪表一般由测量线路和测量机构 2 个部分组成。

被测量往往不能直接加在测量机构上,一般需要将测量转换成测量机构以测量的过渡量,这个将被测量转换为过渡量的结构部分称



图 2-1 电工指示仪表的基本组成

为测量线路。将过渡量按某一关系转换成偏转角的机构称为测量机构,它由活动部分和固定部分组成,是仪表的核心。

测量线路的作用是利用测量机构把被测电量或非电量转换为能直接测量的电量。测量机构的主要作用是产生使仪表指示器偏转的转动力矩,以及产生使指示器保持平衡和迅速稳定的反作用力矩及阻尼力矩。

它的活动部分可在偏转力矩的作用下偏转。同时测量机构产生反作用力矩的部件所产生的反作用力矩也作用在活动部件上,当转动力矩与反作用力矩相等时,可动部分便停止下来。由于可动部分具有惯性,以至于可动部分达到平衡时不能迅速停止下来,而是在平衡位置附近来回摆动。测量机构中的阻尼装置产生的阻尼力矩使指针迅速停止在平衡位置上,指示出被测量的大小,这就是电工指针仪表的基本工作原理。

2. 常用电工仪表的分类

电工测量仪表种类繁多,分类方法也各有不同,了解电工测量仪表的分类,有助于认识它们所具有的特性,对了解电工测量仪表的原理有一定的帮助。下面介绍几种常见的电工测量仪表的分类方法。

(1) 按仪表的工作原理分类

根据测量仪表的工作原理,指示式仪表有几种类型:磁电系仪表、电磁系仪表、电动系

仪表、感应系仪表、电子系和整流系仪表等。

(2) 按测量对象分类

根据测量对象的不同,指示式仪表有电流表、电压表、功率表、电阻表、频率表以及多种用途的万用表等。

(3) 按测量电量的种类分类

根据测量电量的类型不同,指示式仪表分为直流仪表、单相交流表、交直两用表和三相交流表等。

(4) 按测量准确度分类

根据测量准确度等级,仪表有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 共 7 个等级。

(5) 按仪表的内部结构分类

根据仪表的内部结构,仪表有模拟仪表、数字仪表、智能仪表等。

3. 电工测量仪表的发展

(1) 电工测量仪表的发展

电工测量仪表的发展大体经历了如下 4 个阶段。

- ① 模拟仪表。模拟仪表基本结构是电磁机械式的,借助指针来显示测量结果。
- ② 数字仪表。数字仪表将模拟信号的测量转换为数字信号的测量,并以数字方式输出测量结果。

③ 智能仪表。智能仪表内置微处理器和 GPIB 接口,既能进行自动测量又具有一定的数据处理能力。它的功能模块全部以软件或固化软件形式存在,但在开发或应用上缺乏灵活性。

④ 虚拟仪器。虚拟仪器是一种功能意义上的仪器,在微型计算机上添加强大的测试应用软件和一些硬件模块,具有虚拟仪器面板和测量信息处理系统,使用户操作微机就像操作真实仪器一样。虚拟仪器强调软件的作用,提出“软件就是仪器”的概念。

(2) 现代电工测量技术的发展趋势

随着微电子技术、计算机技术及数字信号处理(DSP)等先进技术在测试技术中的应用,就共性和基础技术而言,现代电工测量技术的发展趋势是:集成仪器、测试系统的体系结构、测试软件、人工智能测试技术等方面,以下着重讲述集成仪器和测试软件两个方面。

① 集成仪器概念。仪器与计算机技术的深层次结合产生了全新的仪器结构概念。从虚拟仪器、卡式仪器、VXI 总线仪器……直至集成仪器概念,至今还未有正式的定义。一般说来,将数据采集卡插入计算机空槽中,利用软件在屏幕上生成虚拟面板,在软件引导下进行信号采集、运算、分析和处理,实现仪器功能并完成测试的全过程,这就是所谓的虚拟仪器。即由数据采集卡、计算机、输出(D/A)及显示器这种结构模式组成仪器通用硬件平台,在此平台基础上调用测试软件完成某种功能的测试任务,便构成该种功能的测量仪器,成为具有虚拟面板的虚拟仪器。在此同一平台上,调用不同的测试软件就可构成不同功能的虚拟仪器,故可方便地将多种测试功能集于一体,实现多功能集成仪器。因此,出现了“软件就是仪器”的概念,如对采集的数据通过测试软件进行标定和数据点的显示就构成一台数字存储示波器;若对采集的数据利用软件进行快速傅里叶变换(FFT),则构成一台频谱分析仪。

② 测试软件。在测试平台上,调用不同的测试软件就构成不同功能的仪器,因此软件在系统中占有十分重要的地位。在大规模集成电路迅速发展的今天,系统的硬件越来越简化,软件越来越复杂,集成电路器件的价格逐年大幅下降,而软件成本费用则大幅上升。测试软件不论对大的测试系统还是单台仪器子系统来讲都是十分重要的,而且是未来发展和竞争的

焦点。有专家预言：“在测试平台上，下一次大变革就是软件。”

信号分析与处理要求取的特征值，如：峰值、有效值、均值、均方根值、方差、标准差等，若用硬件电路来获取，其电路极为复杂，若要获得多个特征值，电路系统则很庞大；而另一些数据特征值，如相关函数、频谱、概率密度函数等则是不可能用一般硬件电路来获取的，即使是具有处理器的智能化仪器，如频谱分析仪、传递函数分析仪等。而在测试平台上，信号数据特征的定义式用软件编程很容易实现，从而使得那些只能是“贵族式”分析仪器才具有的信号分析与测量功能得以在一般工程测量中实现，使得信号分析与处理技术能够广泛应用于工程生产实践。

软件技术对于现代测试系统的重要性，表明计算机技术在现代测试系统中的重要地位。但不能认为，掌握了计算机技术就等于掌握了测试技术。这是因为，计算机软件永远不可能全部取代测试系统的硬件，不懂得测试系统的基本原理不可能正确地组建测试系统和正确应用计算机。一个专门的程序设计者，可以熟练而又巧妙地编制科学算法的程序，但若不懂测试技术则根本无法编制测试程序。测试程序是专业程序编制人员无法编写的，而必须由精通测试技术的工程人员来编写。因此，现代测试技术既要求测试人员熟练掌握计算机应用技术，更要深入掌握测试技术的基本理论。

因此，通用集成仪器平台的构成技术与数据采集、数字信号处理的软件技术是决定现代测试仪器、系统性能与功能的两大关键技术。以虚拟/集成仪器为代表的现代测试仪器、系统与传统测试仪器相比较的最大特点是：用户在集成仪器平台上根据自己的要求开发相应的应用软件，就能构成自己需要的实用仪器和实用测试系统，其仪器的功能不限于厂家的规定。因此，学习了解测量原理是非常必要的。

4. 电工仪表的选择

电工仪表的选择应从以下几个方面进行考虑。

(1) 仪表类型的选择

根据被测量是直流量还是交流量来选用直流仪表或交流仪表。若被测量是直流量时，常采用磁电式仪表，也可选用电动式仪表；若被测量是正弦交流量时，只需测出其有效值即可换算出其他值，可用任何一种交流仪表；若被测量是非正弦量，测量有效值用电动式或电磁式仪表测量，测量平均值用整流式仪表测量，测量瞬时值则用示波器。应该注意，如果被测量是中频或高频，应选择频率范围与之相适应的仪表。

(2) 准确度的选择

应根据测量所要求的准确度来选择相适应的仪表等级。仪表的准确度越高，造价就越高。因此，从经济角度考虑，实际测量中，在满足测量精度要求的情况下，不要选用高准确度的仪表。

通常准确度等级为 0.1 级、0.2 级的仪表为标准表，也可用于精密测量；0.5 级、1.0 级的仪表可用于实验室；而工程实际中对仪表准确度的要求较低，在 1.5 级以下。

(3) 量限的选择

被测量的值越接近仪表的满刻度值，测量值的准确度就越高，但同时还要兼顾可能出现的最大值，通常应使被测量不小于量限的 $2/3$ 。

(4) 内阻的选择

仪表内阻的大小反映了仪表本身的功耗，仪表的功耗对被测对象的影响越小越好。应根据被测量阻抗的大小和测量线路来合理选择仪表内阻的大小。

(5) 根据仪表的工作条件选择

要根据仪表所规定的工作条件，并考虑使用场所、环境温度、湿度、外界电磁场等因素

的影响选择合适的仪表,否则将引起一定的附加误差。总之,在选择仪表时,不应片面追求仪表的某一项指标,应根据被测量的特点,从以上几方面进行全面考虑。

2.2 测量误差

任何测量仪器的测得值都不可能完全准确地等于被测量的真值。在实际测量过程中,人们对于客观事物认识的局限性,测量工具不准确,测量手段不完善,受环境影响或测量工作中的疏忽等,都会使测量结果与被测量的真值在数量上存在差异,这个差异称为测量误差。

随着科学技术的发展,对于测量精确度的要求越来越高,要尽量控制和减小测量误差,使测量值接近真值,所以测量工作的值取决于测量的精确程度。当测量误差超过一定限度时,由测量工作和测量结果所得出的结论将是没有意义的,甚至会给工作带来危害,因此对测量误差的控制就成为衡量测量技术水平乃至科学技术水平的一个重要方面。但是,由于误差存在的必然性与普遍性,人们只能将它控制在尽量小的范围,而不能完全消除它。

实验证明,无论选用哪种测量方法,采用何种测量仪器,其测量结果总会含有误差。即使在进行高准确度的测量时,也会经常发现同一被测对象的前次测量和后次测量的结果存在差异,用这一台仪器和用那一台仪器测得的结果也存在差异,甚至同一位测量人员在相同的环境下,用同一台仪器进行的两次测量也存在误差,且这些误差又不一定相等,被测对象虽然只有一个,但测得的结果却往往不同。当测量方法先进,测量仪器准确时,测得的结果会更接近被测对象的实际状态,此时测量的误差小,准确度高。但是,任何先进的测量方法,任何准确量的误差都不会等于零。或者说,只要有测量,必然有测量结果,有测量结果必然产生误差。误差自始至终存在于一切科学实验和测量全过程之中,不含误差的测量结果是不存在的,这就是误差公理。重要的是要知道实际测量的精确程度和产生误差的原因。

研究误差的目的,归纳起有如下几个方面。

- ① 正确认识误差产生的原因和性质,以减小测量误差。
- ② 正确处理测量数据,以得到接近真值的结果。
- ③ 合理地制定测量方案,组织科学实验,正确地选择测量方法和测量仪器,以便在条件允许的情况下得到理想的测量结果。
- ④ 在设计仪器时,由于理论不完善,计算时采用近似公式,忽略了微小因素的作用,从而导致了仪器原理设计误差,它必然影响测量的准确性。因此设计时必须要用误差理论进行分析并适当控制这些误差因素,使仪器的测量准确程度达到设计要求。

可见,误差理论已经成为从事测量技术和仪器设计、制造技术的科技人员所不可缺少的重要理论知识,它同任何其他科学理论一样,将随着生产和科学技术的发展而进一步得到发展和完善,因此正确认识与处理测量是十分重要的。

1. 测量误差的表示方法

测量误差可表示为4种形式。

(1) 绝对误差

绝对误差为由测量所得的示值与真值之差,即

$$\Delta A = A_x - A_0 \quad (2-1)$$