

DIANJI YU DIANLI

TUODONG SHIYAN JIAOCHENG

电机与电力拖动实验教程

黄永龙 王晓雪 隋榕生 编



厦门大学出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

THOMSON'S STANDARD

THOMSON'S STANDARD

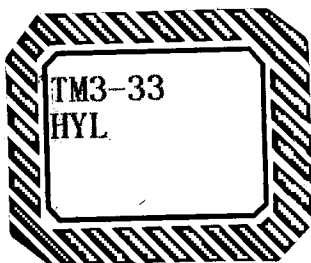
电机与电力拖动实验教程

THOMSON'S STANDARD



电机与电力拖动实验教程

黄永龙 王晓雪 隋榕生 编



厦门大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机与电力拖动实验教程/黄永龙等编. —厦门:厦门大学出版社, 2008. 3

(高等院校信息技术实验教程丛书)

ISBN 978-7-5615-2984-3

I. 电… II. 黄… 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. TM3-33 TM921-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 026308 号

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门大学 邮编:361005)

<http://www.xmupress.com>

xmup@public.xm.fj.cn

南平市武夷美彩印中心印刷

2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15.75

字数:398 千字 印数:0 001-3 000 册

定价:22.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换

内容简介

电机与拖动实验作为一门基础技术类实验课程,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和计算机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。

本书实验包括直流电机、异步电机、变压器、同步电机、控制电机以及电机拖动控制等实验内容,主要针对 DDSZ-1 和 MEL 系列电机教学实验系统进行介绍。书中安排了较多的实验题目和项目,其内容和难易程度基本上可满足不同层次的教学需要。

高等院校信息技术实验教程丛书编委会

主任委员:彭侠夫

副主任委员:隋榕生 李名世

委员:程曙艳 胡晓毅 黄联芬 李名世 林聪仁 刘舜奎
彭侠夫 隋榕生 王晓雪 姚 铭 游佰强

序

21 世纪,科学技术的发展日新月异,信息化时代的来临使信息科学与技术深入社会生活的各个领域。其发展水平已成为衡量一个国家科技实力的重要标志之一。各国都把培养大量高水平的信息科学人才作为科技发展的重要战略目标。

培养高水平的信息科学人才,应重视学生的工程素质和实践能力的培养,提高学生分析实际问题解决实际问题的能力,这也是当前社会对毕业生专业技能的要求。各高校通过实验课程、课程设计、毕业设计、毕业实习以及组织各种竞赛来提高学生的实践能力、设计与制作能力。

实验是自然科学的基础,是一切科学创造的源泉。学生在本科阶段存在课程多,学时少,实验、实践锻炼的机会更少的问题。一方面由于扩招引起的指导教师、实验资源不足;另一方面也缺少一批实用、高效的实验教材。在厦门大学出版社的大力支持下,我们组织完成了这套“高等院校信息技术实验教程丛书”的编写工作。参与编写该丛书的作者都是担任相关课程的老师或实验指导老师,该丛书是在相关课程经过多年实验使用的实验讲义的基础上编制而成,收集了较多不同难度的实验项目,供实验课选择。

“高等院校信息技术实验教程丛书”包括《电子技术实验教程》、《电机与电力拖动实验教程》、《可编程控制器(PLC)实验教程》、《自控原理实验教程》、《过程控制实验教程》、《单片机实验教程》、《电磁场与微波实验教程》、《数据库实验教程》、《汇编程序设计实践教程》、《数字信号处理(DSP)实验教程》十本实验指导书。

在此,我们向所有支持和参与该丛书出版的单位和同志表示感谢,特别要向李茂青教授、许茹教授在该丛书的编写、出版中做出的指导性工作表示感谢。同时,感谢该丛书中使用的实验设备的生产厂家提供的支持。

由于作者的水平与能力有限,丛书中的不足与问题难免,恳请广大师生批评指正。

高等院校信息技术实验教程丛书编委会
2008 年 1 月于厦门大学海韵园

目 录

第一章 电机与拖动实验的基本要求和安全操作规程	(1)
1-1 电机系统教学实验台使用说明	(1)
1-2 实验安全操作规程	(18)
1-3 电机实验网络管理系统使用说明	(18)
第二章 直流电机实验	(33)
2-1 认识实验	(33)
2-2 直流发电机	(38)
2-3 直流并励电动机	(46)
2-4 直流串励电动机	(52)
2-5 直流他励电动机在各种运转状态下的机械特性	(56)
第三章 变压器实验	(63)
3-1 单相变压器	(63)
3-2 三相变压器	(71)
3-3 三相变压器的联接组和不称短路	(82)
3-4 三相三绕组变压器	(101)
3-5 单相变压器的并联运行	(104)
3-6 三相变压器的并联运行	(107)
第四章 异步电机实验	(112)
4-1 三相鼠笼异步电动机的工作特性	(112)
4-2 三相异步电动机的起动与调速	(120)
4-3 单相电阻起动异步电动机	(124)
4-4 单相电容起动异步电动机	(127)
4-5 单相电容运转异步电动机	(130)
4-6 双速异步电动机	(133)
4-7 三相异步发电机	(135)
4-8 三相异步电动机在各种运行状态下的机械特性	(139)
第五章 控制微电机实验	(147)
5-1 永磁式直流测速发电机	(147)

5-2	步进电动机	(148)
5-3	伺服电动机	(158)
5-4	自整角机	(172)
第六章 电力拖动继电接触控制		(180)
6-1	三相异步电动机点动和自锁控制线路	(180)
6-2	三相异步电动机的正反转控制线路	(183)
6-3	工作台自动往返循环控制线路	(186)
6-4	顺序控制线路	(188)
6-5	两地控制线路	(191)
6-6	三相鼠笼式异步电动机的降压起动控制线路	(193)
6-7	三相线绕式异步电动机的起动控制线路	(197)
6-8	双速异步电动机的控制线路	(198)
6-9	三相异步电动机的制动控制线路	(201)
第七章 同步电机实验		(206)
7-1	三相同步发电机的运行特性	(206)
7-2	三相同步发电机的并联运行	(215)
7-3	三相同步电动机	(224)
7-4	三相同步电机参数的测定	(230)
附录 I 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		(239)
附录 II MEL-I 型电机教学实验台中各被试电机的额定值		(240)
参考文献		(242)

第一章 电机与拖动实验的基本要求和安全操作规程

1-1 电机系统教学实验台使用说明

一、DDSZ-1 型电机系统教学实验台概述

(一) DDSZ-1 型电机系统教学实验台

总体外观结构如图 1-1 所示。

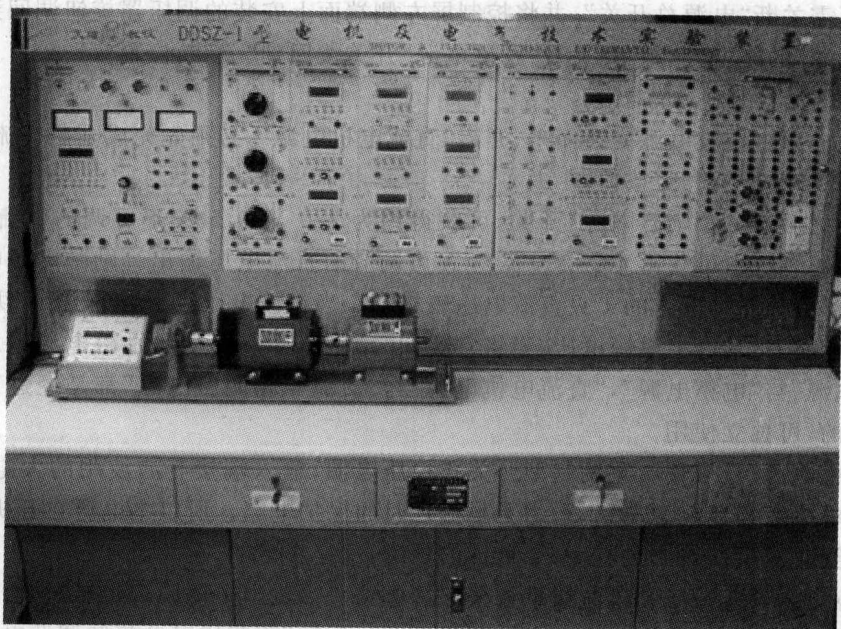


图 1-1 SSDZ-1 电机系统教学实验台总体外观

主要部件包括：

1. 电源控制屏，配置指针式和数字式电压表，通过调压器输出单相或三相连续可调的交流电源。
2. 实验桌，内可放置各种组件及电机，桌面上放置测功机及导轨、被试电机的转速表。
3. 仪表屏，为实验时所需的仪表，可调电阻器，可调电抗器和开关箱等组件。这些组件在实验台的控制屏上可任意移动。组件内容可以根据实验要求进行搭配。
4. 测试电机，安装在电机工作台上的被试电机。被试电机可以根据不同的实验内容进行更换。在机组安装时，将各电机之间通过联轴器同轴联结，被试电机的底脚安放在电机工作台

的导轨上,旋紧两只底脚螺钉,就能准确达到各电机快速安装的目的。

(二)电源的开启与关闭

实验中开启及关闭电源都在控制屏上操作。

1. 开启三相交流电源的步骤为

(1)开启电源前。要检查控制屏下面“直流机电源”的“电枢电源”开关(右下角)及“励磁电源”开关(左下角)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,即必须将它向逆时针方向旋转到底。

(2)检查无误后开启“电源总开关”,“关”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“开”按钮,“开”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这三相四线制插孔中取得。输出线电压为 0~450 V(可调)并可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,它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,它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“关”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“直流机电源”的“电枢电源”开关及“励磁电源”开关拨回到“关”断位置。

2. 开启直流机电源的操作

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

(2)在此之后,接通“励磁电源”开关,可获得约为 220 V、0.5 A 不可调的直流电压输出。接通“电枢电源”开关,可获得 40~230 V、3 A 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 1 只直流电压表指示。当将该电压表下方的“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”是采用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,从电枢电源开合闸到直流电压输出约有 3~4 秒钟的延时,这是正常的。

(4)电枢电源设有过压和过流指示告警保护电路。当输出电压出现过压时,会自动切断输出,并告警指示。此时需要恢复电压,必须先将“电压调节”旋钮逆时针旋转调低电压到正常值(约 240 V 以下),再按“过压复位”按钮,即能输出电压。当负载电流过大(即负载电阻过小)超过 3 A 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或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流告警,这是由于气温或湿度明显变化,造成光电耦合器 TIL117 漏电使过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 3~4 秒钟的延时。

(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起动电阻以防止电源过流保护。具体操作要严格遵照实验指导书中有关内容的说明。

* 二、MEL—I 电机系统教学实验台使用说明

MEL—I 型电机系统教学实验台总体外观结构如图 1-2 所示。图中序号 5 为涡流测功机及其导轨,序号 8 为安装在电机工作台上的被试电机。被试电机可以根据不同的实验内容进行更换。为了实验时机组安装方便和快速的要求,实验台的各类电机均设计成相同的中心高。同时,各电机的底脚采用了与普通电机不同的特殊结构形式。在机组安装时,将各电机之间通过联轴器同轴联结,被试电机的底脚安放在电机工作台的导轨上,只要旋紧两只底脚螺钉,不需做任何调整,就能准确保证各电机之间同心度,达到快速安装的目的。当测量被试电动机输出转矩时,可从序号 4 的测功机力矩显示窗中直接读取。被试电机的转速是通过与测功机同轴联接的直流测速发电机来测量的。转速高低可以从图 1-4 的转速表直接读取。

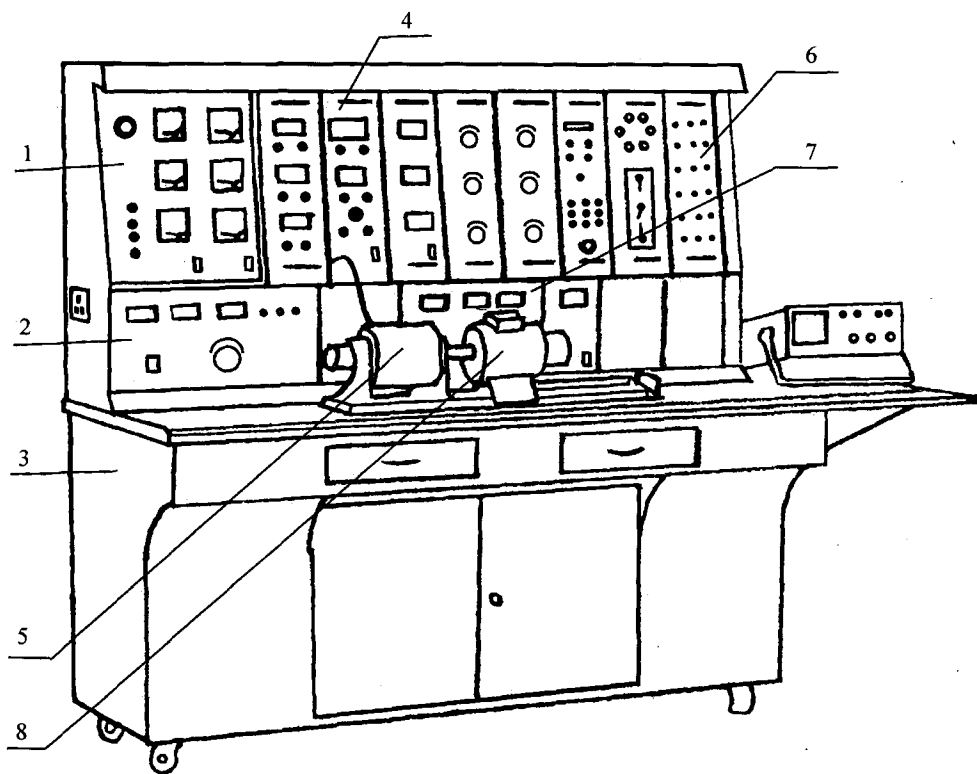


图 1-2 MEL—I 电机系统教学实验台总体外观

序号 2 为电源控制屏,通过调压器输出单相或三相连续可调的交流电源。

序号 1 为仪表屏,根据用户的需要配置指针式和数字式表。

序号 3 为实验桌,内可放置各种组件及电机,桌面上放置测功机及导轨。

序号 6 为实验时所需的仪表,可调电阻器,可调电抗器和开关箱等组件。这些组件在实验台上可任意移动。组件内容可以根据实验要求进行搭配。

主要结构部件:

(一) 电源控制屏

面板图如图 1-3, 图中各部件的序号为:

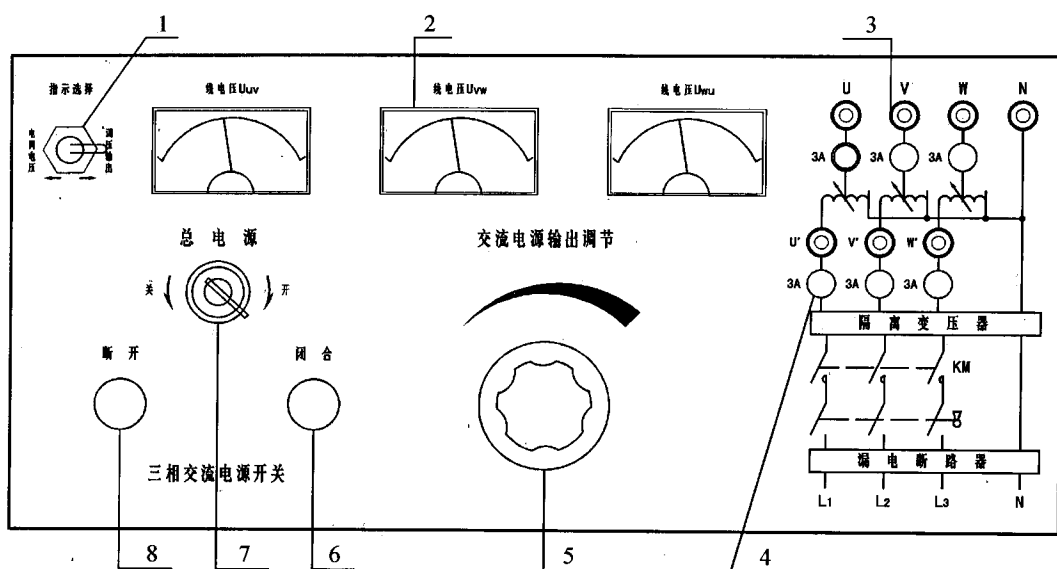


图 1-3 主电源控制屏

1. 钮子开关。当开关拨向“电网电压”时,三相电压表指示为电网输入到主控制屏的三相电压值;当开关拨向“调压输出”时,电压表指示三相输出可变电压值。

2. 电压表。可指示实验台输入的电压和交流电源输出的线电压,通过指针表旁边的开关切换。

3. 三相主电源 U、V、W 输出。

4. 保险丝座。3 只 3 A 保险丝分别是 U、V、W 三相电源输出的保险丝,进行电源的短路保护,一旦电网电压对称输入,而电源输出不对称,则有可能烧毁保险丝。

5. 调压器。三相调压器的容量为 1.5 KVA,线电压 0~430 V 连续可调,为了保证实验者的实验,电网与三相调压器之间接有隔离变压器或漏电保护器。三相调压器可调节单相或三相电压输出。当沿逆时针旋到底输出电压最小,改变旋钮位置,即可调节输出交流电源电压的大小。

6. 主电源控制开关。当按下此开关时,红灯灭绿灯亮,主电路接触器闭合,U、V、W 输出交流电。

7. 电源钥匙开关。当钥匙开关转向“开”的位置,带红色按钮指示灯亮,电源控制屏接通电网。

8. 交流电源断开开关。按下此按钮开关,绿灯灭红灯亮,表明三相交流电源 U、V、W 无电压输出。

(二) 测功机组件

测功机组件含 MEL-13 和电机导轨及测功机两部分,主要完成四个功能:

①对电机进行加载;②测量电机的转矩;③测量电机的转速;④对异步电机进行 M~S 曲线测绘。

1. 涡流测功机

涡流测功机如图 1-1。实心圆盘与它的转轴由被试电动机驱动,磁极、励磁绕组、指针和转轴为一个整体,可以对机座支架左右偏转。当励磁绕组通过直流电流后,磁极产生的磁通,经气隙、钢盘,气隙回到相邻的磁极而闭合。被试电动机带动钢盘旋转切割磁力线,在钢盘中产生涡流,此涡流与磁场相互作用产生电磁转矩(制动转矩),则磁极将受到与此制动转矩大小相等方向相反的电磁转矩,使磁极顺电机旋转方向偏转一角度,并与平衡钟随之偏转而产生的转矩相平衡,于是指针在刻度盘上指示转矩值,改变励磁电流,即可改变制动转矩,而被试电动机负载也随之改变。

涡流测功机结构简单,调节方便,运行稳定,但输入钢盘的大部分由涡流损耗转换成热能,此热量主要散发在周围空气中,一部分被钢盘及轴承吸收,将使钢盘、轴承等温度升高。因此,涡流测功机运行时要采取散热措施。此外,当转速很小时制动转矩很小,所以涡流测功机不能测量低速电动机转矩和电机的堵转矩。

2. 加载及转矩测量

测功机是一台定、转子均可转动的异步电机。它既可以做异步电动机运行,也可以作测功机用。作为测功机用时,定子绕组施加直流电压产生恒定磁场,当被试电动机拖动异步电机旋转时,转子将产生制动性质的电磁转矩,异步电机处于制动状态。若在异步电机定子上配备测力装置,即可测得被试电动机输出转矩,该测功机的优点是无电刷以及不需要外接电阻负载。当改变施加在测功机上直流励磁电压时,电磁转矩就随着变化,即被试电动机的负载大小就发生改变。在测功机的下部安装一电阻应变式压力传感器,根据压力传感器输出力的大小即可得出力矩值。

3. 转速的测量

转速的测量可采用永磁直流测速发电机和光电编码器。测速发电机的优点是信号处理简单,但存在安装不方便、线性度、对称性较大的缺陷。本组件采用光电码盘,即在测功机的转轴上安装一光栅,两边各有一发射管和接收管,根据接收管收到的脉冲周期用单片机进行处理,即可测得转速。它具有和转轴无机械接触、安装方便、读数精度高等优点。

4. 导轨

导轨的作用是安装电机。为了实验时机组安装方便和快速的要求,被试电机均设计成相同的中心高。电机的底脚采用了与普通电机不同的特殊结构形式。在机组安装时,各电机之间通过联轴器同轴联接,被试电机的底脚安放在电机导轨上,只要旋紧两只底脚螺钉,不需做调整,就能准确保证各电机之间的同心度,达到快速安装的目的。

5. M~S 曲线测绘

电机的 M~S 曲线测绘指电机转速从 0~额定转速时,转矩和转速的曲线关系。由于交流电机存在不稳定区域,因而在转速开环情况下,当负载增大到超过最大转矩时,电机转速迅速下降,无法读出转速值。此时,必须利用转速反馈,根据转速的高低动态地调整加载的转矩,使电机能够在任何一个转速条件下稳定运行。

6. MEL-13 的说明

面板如图 1-4。图中各部件的序号为:

(1)转速表。电机系统教学实验台转速的测量是采用光电码盘,用单片机进行处理,计算脉冲的宽度,即可测得转速。较早的测速是采用永磁直流测速发电机,将测速发电机输出的电压通过限流电阻接到直流电流表上,就构成了测量电机转速的转速表。

(2)转速模拟量输出。将脉冲信号经过 D/A 转换,再进行滤波输出,幅值为 0~±10 V。

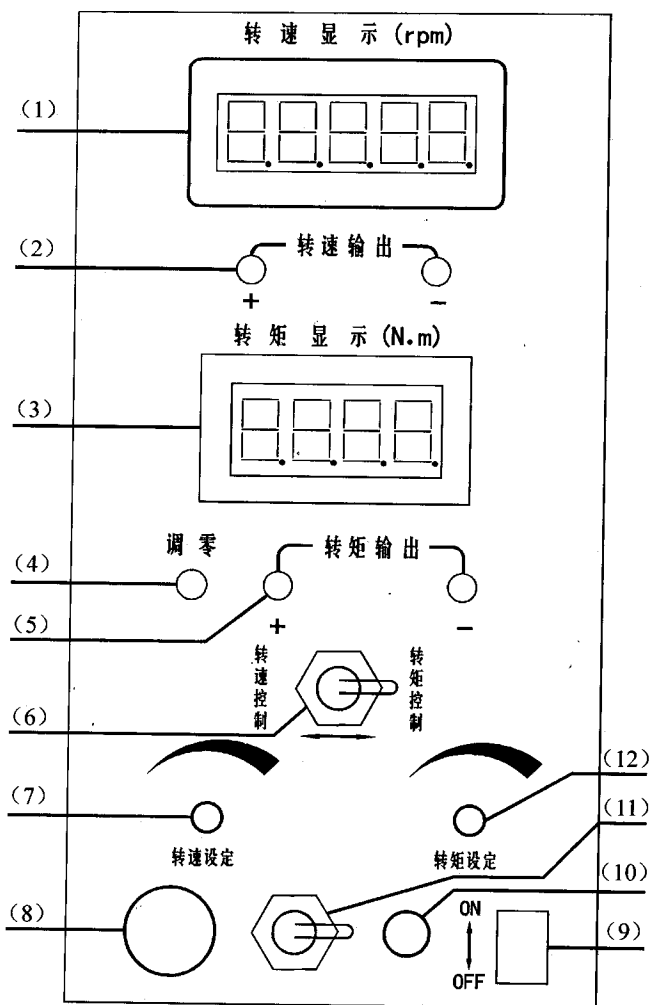


图 1-4 测功机转速转矩测量面板图

(3)转矩显示。测功机进行加载时,测功机的定子将反向偏转一角度,通过电阻应变式压力传感器测出力的大小,进行换算后,可显示转矩大小。

(4)转矩调零电位器。

(5)转矩模拟量输出。

(6)“转矩控制”、“转速控制”选择开关。

(7)“转速设定”电位器,可对电机转速进行控制,顺时针转到底,转速最高。

(8)航空插座。与测功机相连,提供测功机所需的励磁电流以及转速、转矩反馈信号。

(9)电源控制船形开关。

(10)保险丝座。

(11)突加突减负载开关。当开关往下扳时,电机处于空载状态,当开关往上扳时,负载的大小由“转矩设定”电位器和“转速设定”电位器进行控制。

(12)“转矩设定”电位器。

目前,实验台上加载采用两种方式:

(1) 自耦调压器的输出电压经过整流向测功机励磁绕组提供电流。通过改变自耦调压器的输出电压,也就改变了测功机励磁电流,从而改变输出转矩。

(2) 采用电流源控制。采用电流源控制后,易于实现转速的闭环调节,即使在电机转速的不稳定区域也能保持电机转速稳定,从而测出电机的 $M-S$ 曲线,存在的缺点是对异步电机而言,存在较大的加载死区。操作方法为:

将电机导轨及测功机的信号线通过一塑料软管与 MEL-13 相连。MEL-13 挂件的电源和交流 220 V 相连。

a. 将 MEL-13 的“转矩控制”、“转速控制”选择开关打向“转矩控制”,启动电机,则通过调节“转矩设定”电位器,即可方便地对被试电机进行加载试验。可分别从上下两个数显窗中读出转速和转矩值。逆时针旋到底,被试电动机的负载为零,顺时针转动,被试电动机负载增加。当需要测取电动机的堵转转矩时,可在测功机定子销紧孔中插入一根圆棒,将测功机定、转子锁住,即可测取堵转转矩。

b. 将 MEL-13 的“转矩控制”、“转速控制”选择开关打向“转速控制”,则通过调节“转速设定”电位器,使电机可稳定地运行于任何一转速(最低转速为 300 转/分左右),从而可通过测量转矩、转速画出电机的 $M-S$ 曲线。

(三) 仪表屏

为电机实验提供需要的交流电流表、交流电压表、功率表。具体配置由所采购的设备型号不同有所差别。若设备为 MEL-I 系列,则交流电流表、电压表为三组指针式模拟表,量程可根据需要选择,功率表采用单独的组件(MEL-20 或 MEL-24);若设备为 MEL-II 系列,则上述仪表为智能型数字仪表,量程可自动也可手动选择,功率表含在主控屏上如图 1-5 所示。仪表数量也可能由于设备型号不同而不同。故不同的实验台,其接线图也不同。

功率表接线时,需注意电压线圈和电流线圈的同名端,避免接错线。

所有仪表具有过压过流,错接线路不损坏仪表等功能。

日光灯功能开关,当拨到左边时,日光灯接入 220 V 交流电,作照明用;当拨到右边时,日光灯的四个接线柱引出可做日光灯实验用。

(四) 220 V 直流稳压电源和直流电机励磁电源

本实验台提供两组直流电源,分别是供直流电机励磁绕组用的直流电机励磁电源以及供电枢绕组用的可调直流稳压电源。面板如图 1-6 和图 1-7。

图 1-6 中各部件的序号分别是:

1. 数字式直流电压表
2. 直流电压幅度调节电位器
3. 直流电源输出接线柱
4. 保险丝座
5. 电源控制船形开关
6. 复位按钮
7. 过流指示发光二极管
8. 工作指示发光二极管
9. 直流电流表接线柱

可调稳压电源具体技术指标为:

输出电压:90~250 V 连续可调

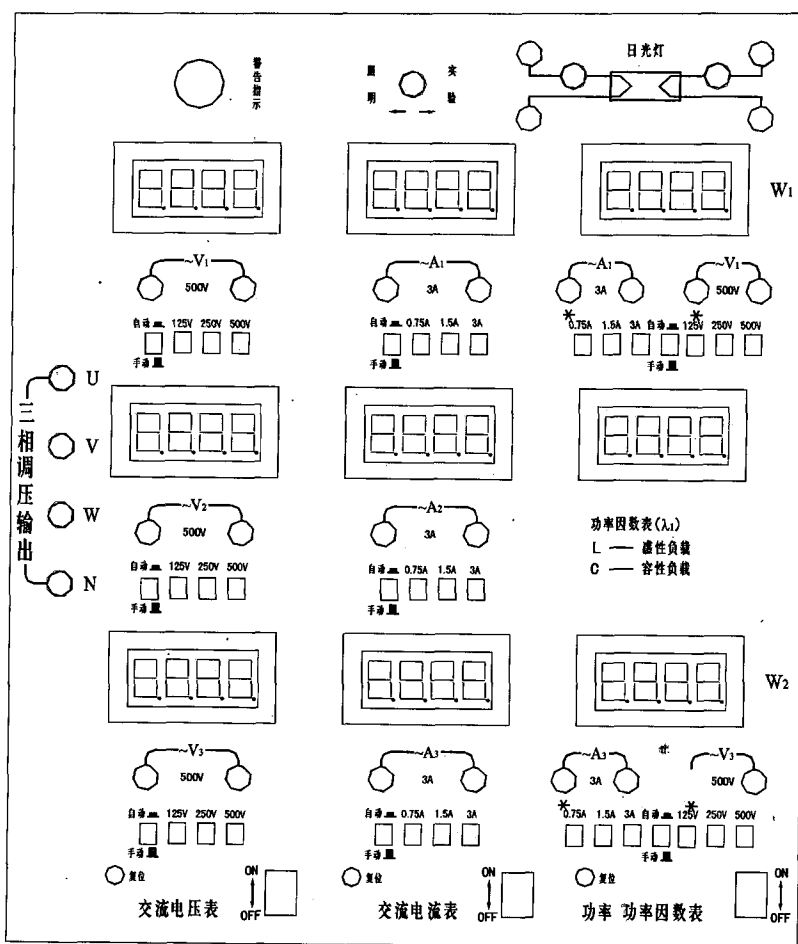


图 1-5 仪表面板图

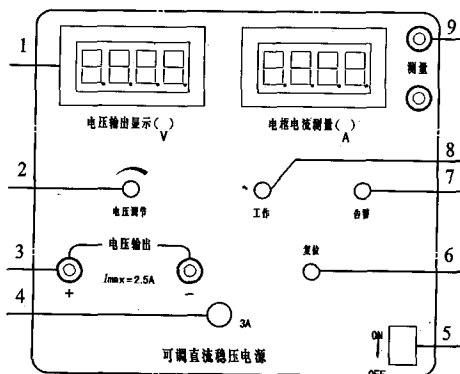


图 1-6 可调直流稳压电源

输出电流: $I_{\max} = 2 \text{ A}$

负载调整率不大于 1 V

电源带有完善的过压、过流保护措施, 以确保学生误操作时不至于损坏电源。一旦输出