

《电机与拖动基础》实验指导书

前言

本实验指导书是根据高等院校《电机与拖动基础》课程实验大纲的要求，针对求是公司 MEL 系列电机教学实验台的具体配置和相应的实验项目编写的，适合于 MEL 系列教学实验台的教师和学生使用。

该实验指导书在章节上共分两部分。第一部分为《电机教学实验台的使用说明》，对实验台的各部件进行了详细的说明，在开始实验前，应先阅读这部分内容。第二部分为实验内容，包含了“直流他励电动机机械特性”、“单相变压器”、“三相异步电动机在各种运行状态下的机械特性”、“直流伺服电机实验”、“三相异步电动机的起动与调速”、“步进电动机”等六个实验。

由于水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，衷心欢迎老师和同学提出改进意见。

目 录

第一部分 电机系统教学实验台使用说明	4
概述	4
主要结构部件	5
一. 电源控制屏	5
二. 测功机组件	6
三. 仪表屏	8
四. 220V 直流稳压电源和直流电机励磁电源	10
五. 同步电机励磁电源	11
六. 指针式交流电压表和交流电流表	12
七. 直流电压表、电流表、毫安表	13
八. 三相可变电阻器	14
九. 三相可变电抗器	15
十. 操作步骤	15
十一. 注意事项	16
十二. 易故障维修	16
十三. MEL— I 型电机教学实验台中各被试电机的额定值	17
第二部分 实验内容	19
实验一 变压器参数测定	19
实验二 他励直流电动机机械特性	26
实验三 三相异步电动机的机械特性	31
实验四 直流伺服电机实验	35
实验五 三相异步电动机的起动与调速	40

第一部分 电机系统教学实验台使用说明

概述

MEL—I 型电机系统教学实验台总体外观结构如图 1 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 4 的转速表直接读取。

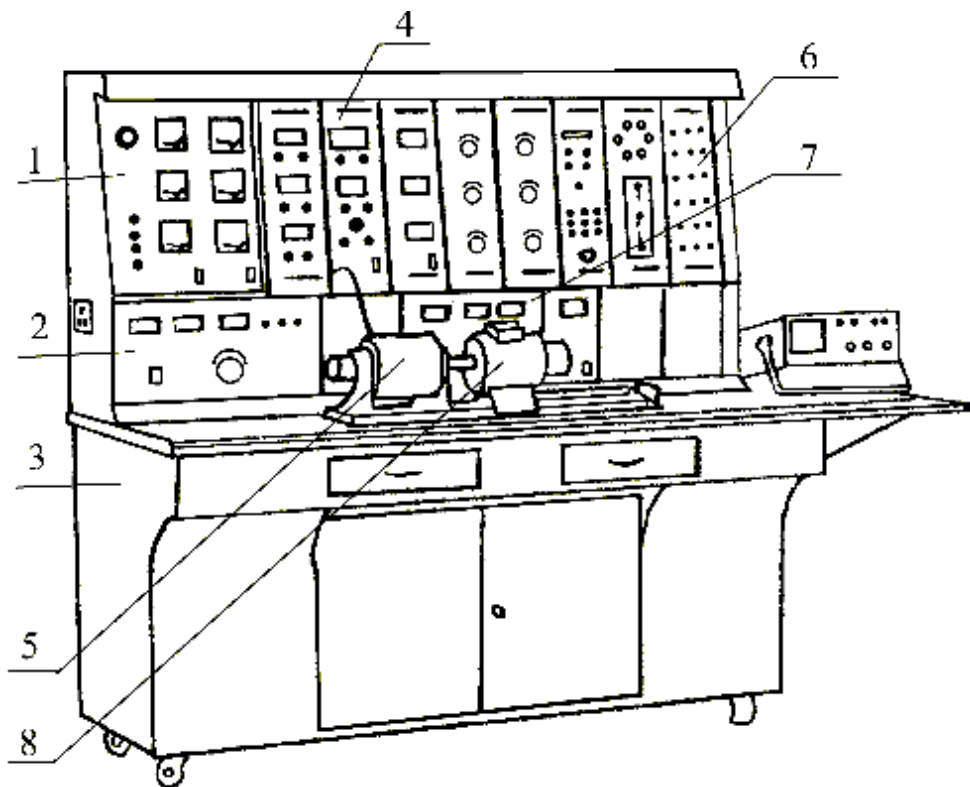


图 1 电机系统教学实验台总体外观

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

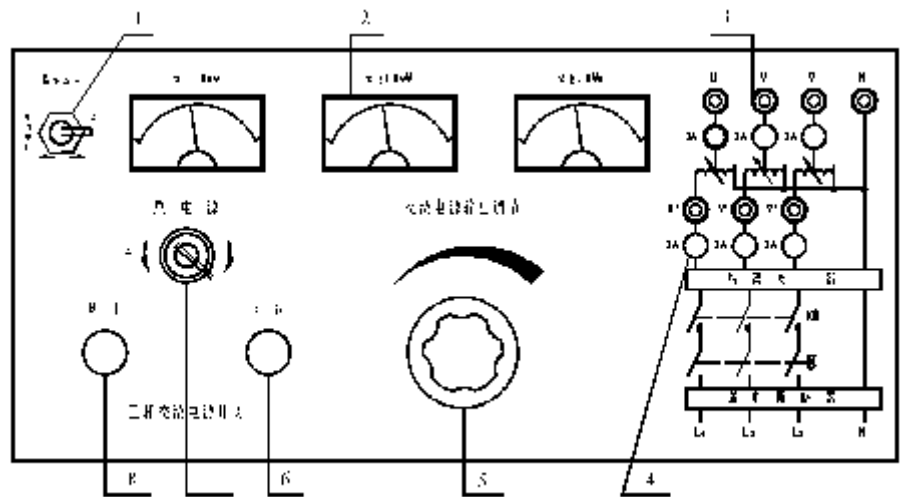


图 2 电源控制屏

面板图如图 2，图中各部件的序号为：

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 3A 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 1.5KVA，线电压 0~430V 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。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 3。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。

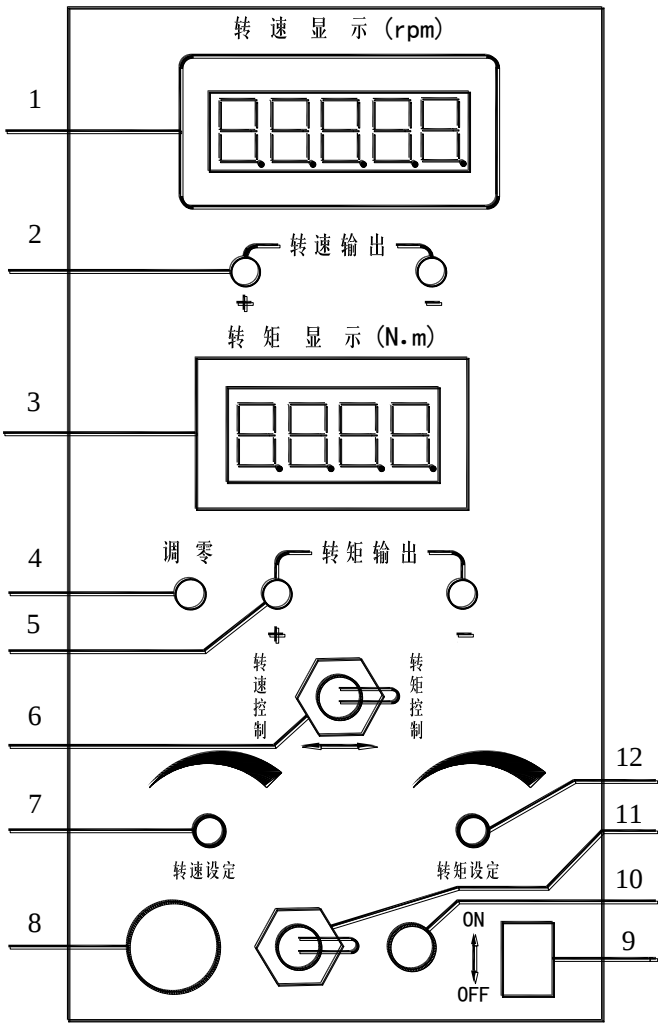


图3 测功机转速转矩测量面板图

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—±10V。

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. 6. 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 220V 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、转子销住，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

型号不同由所差别。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。

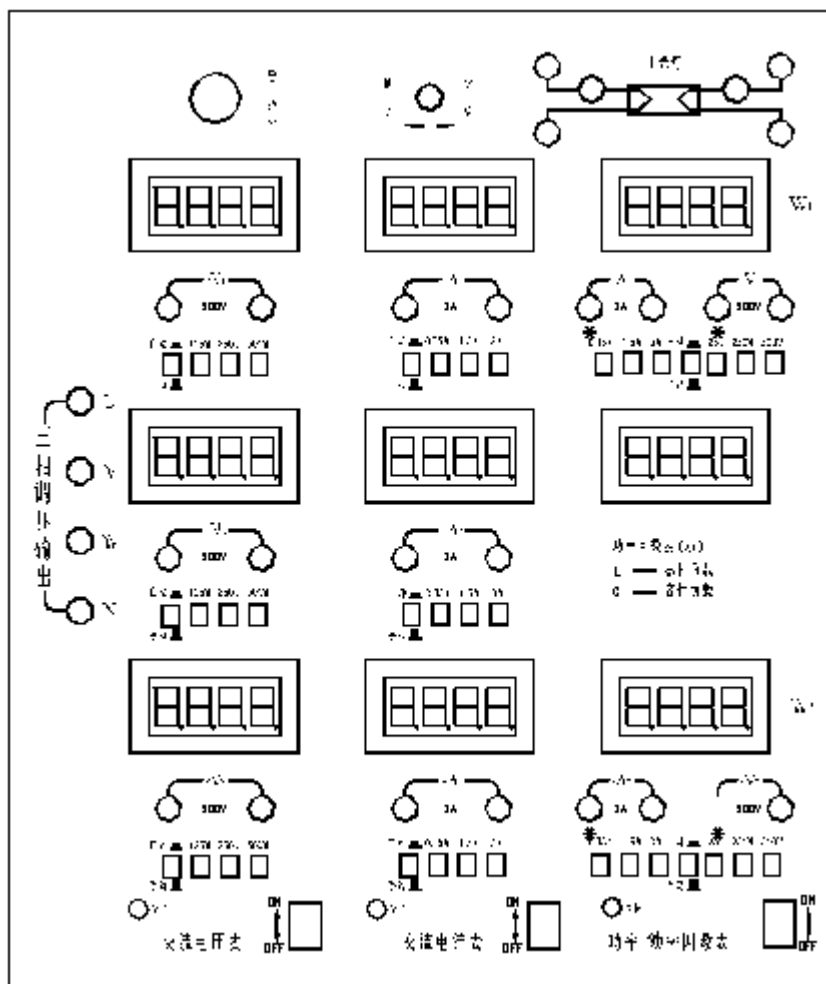


图 4 仪表屏

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。

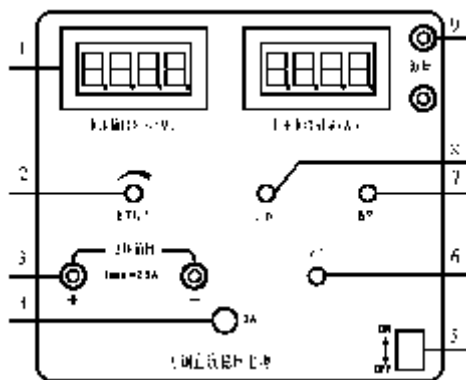
日光灯功能开关，当拨到左边时，日光灯接入 220V 交流电，作照明用；当拨到右边时，日光灯的四个接线柱引出可做日光灯实验用。

四. 220V 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 5 和图 6。

图 5 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：

- (1) 输出电压：90V~250V 连续可调
- (2) 输出电流： $I_{\max}=2A$
- (3) 负载调整率不大于 1V

图 5 可调直流稳压电源

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。一旦输出发生短路，过流保护动作，自动切断功率场效应管的脉冲信号，从而保护功率器件，只需按下复位按钮，就可重新建立电压。可调直流稳压电源的电压输出端子只能用作电压输出，不能作为测试端输入电压；

正常工作时，绿色发光二极管亮，过载后，红色告警发光二极管亮。电压调节电位器逆时针旋到底，输出电压最低不大于 90V，顺时针旋转，电压逐渐提高。

可调直流稳压电源带有电压表和电流表。其中电压表内部已接好，直接指示输出电压，而电流表的输入信号根据实验内容而定，可用作本装置的电流测量显示，也可用作外接电路电流的测量显示。

图 6 中各部件的序号分别是：

1. 直流毫安表接线柱
2. 直流励磁电源输出接线柱
3. 保险丝座
4. 电源控制船形开关
5. 工作指示发光二极管
6. 数字式直流毫安表

220V 直流电机励磁电源提供 220V~230V/0.5A 的直流电源，供直流电机励磁绕组使用，其电压输出端子只能输出电压，不能作为测试端输入电压，工作时工作指示灯亮。配置的直流毫安表即可用作直流电机励磁电源的电流测量显示，也可用作外接电路电流的测量显示，用作外接时注意电流不要超过 200mA。直流毫安表电源受可调直流稳压电源控制。

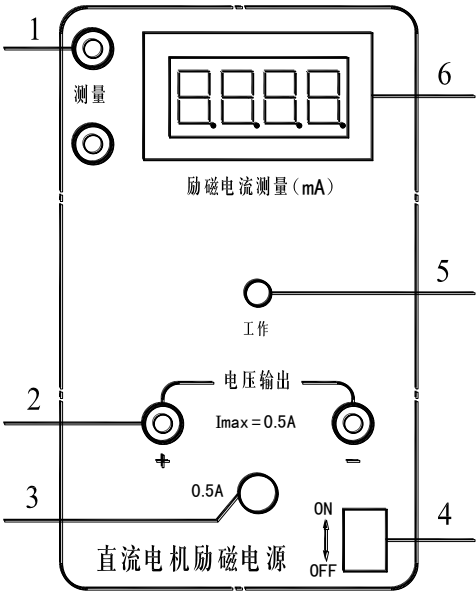


图 6 直流电机励磁电源

五. 同步电机励磁电源

面板如图 7，序号中各部件为：

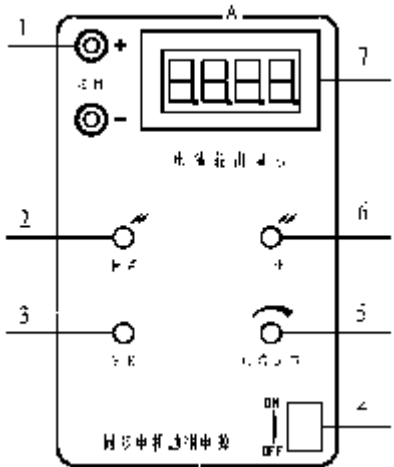


图 7 同步电机励磁电源

1. 励磁电源输出接线柱
2. 告警发光二极管
3. 复位按钮
4. 电源控制船形开关
5. 电流调节电位器
6. 工作发光二极管
7. 直流电流表

同步电机励磁电源属电流源，其调节范围为0~2.5A，最大输出电压为24V，带三位半数显监视输出电流，并具有开路保护功能。本电流输出显示只能供本装置使用，不可用作外接。电流调节顺时针增大，工作时工作指示灯亮，当告警时，可按下复位按钮即可正常工作。

六. 指针式交流电压表和交流电 流表

指针式表均由电子线路配上磁电系指针式表头构成，并具有超满量程切断电源及声光告警的功能。

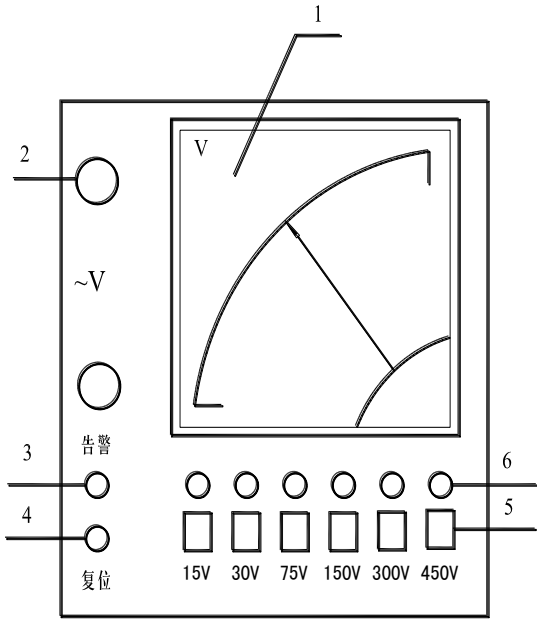
电压表分15V、30V、75V、150V、300V、450V六档，电流表分0.25A、0.5A、1A、2.5A、5A五档。

多量程电压表面板如图8。

量程选择琴键开关用于选择合适的测量量程，为了提高测量精度，应当当指针偏转2/3时进行读数。

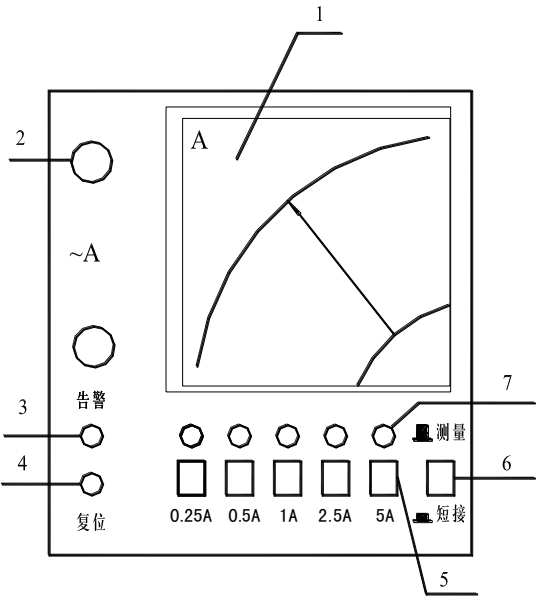
为了防止选择电压量程时，高压输入小量程测量，从而损坏仪表，指针表还设有过量程保护电路，一旦输入电压超过量程的5%~10%，则仪表告警电路自动切断主电源，同时，告警指示发光二极管发亮。当故障排除后，按下复位按钮，仪表恢复正常工作。

指针式交流电流表工作原理与交流电压表原理相似，面板如图9。不同之处在于电流表是用锰铜丝取样。为了防止过大的起动电流对仪表的冲击，并设置了短路直键开关4。设置键6的目的是避免电路瞬间过电流，例如电机起动时电流很大可能超过满量程告警，电源被切断电机不能进入



1. 表头 2. 被测电压输入 3. 告警发光二极管
4. 复位按钮 5. 量程选择琴键开关
6. 量程选择指示二极管

图8 指针式多量程交流电压表



1. 表头 2. 被测电流输入 3. 告警发光二极管 4. 复位按钮
5. 量程选择琴键开关 6. 测量短路选择开关
7. 量程选择指示二极管

图9 指针式多量程交流电流表

正常工作，这时可用键 6 在电机起动时将电流表短接使电流表不会出现告警，当电机起动后将键 6 打开，使电流表处于测量状态。应该指出，因接触电阻的存在，当短接时，电流表仍有指示值，这时不要将此指示值误认为是电路被测的电流值，因此，只有当测量指示灯亮时，电流表指示值才是被测电流值。

七. 直流电压表、电流表、毫安表

本实验台的直流仪表均采用数字式显示（ICL7107），直流电压表面板框图如图 10。

- 1. 测量输入接线柱
- 2. 告警发光二极管
- 3. 复位按钮
- 4. 电源控制开关
- 5. 量程选择开关
- 6. 数显表头

电压表量程分 2V、20V、300V 四档。

数字式仪表显示的数值为平均值，但由于告警电路是根据输入的最大值来整定的，因而当输入直流脉动电压或电流时，虽然显示未超量程，但告警线路仍可能工作。

设有过量程保护电路，一旦输入电压超过量程的 5%~10%，则仪表告警，同时，告警指示发光二极管发亮。当故障排除后，按下复位按钮，仪表恢复正常工作。

直流毫安表、电流表的面板框图如图 11、12。

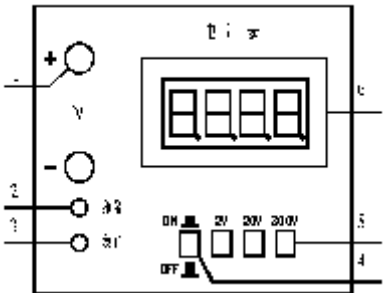


图 10 直流电压表面板

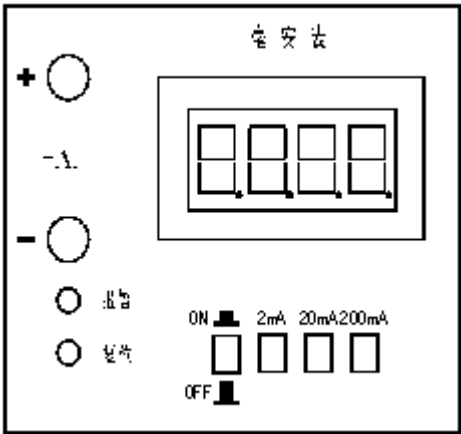


图 11 直流毫安表

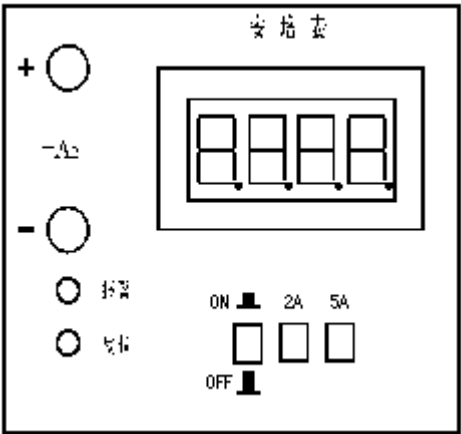


图 12 电流表

毫安表量程分 2mA、20mA、200mA。电流表量程分 2A、5A

八. 三相可变电阻器

三相可变电阻分 MEL-03、MEL-04 两种。

每相有两只电阻，每只电阻可调范围为 $0\sim 900\Omega$ (或 $0\sim 90\Omega$)，允许电流为 $0.41A$ (或 $1.3A$)。两只电阻作为可变电阻使用时可有串联或并联两种联接方法。串联接法如图 13 所示：将 A_3 接线柱不用， A_1A_2 两接线柱之间电阻可调范围为 $0\sim 2\times 900\Omega$ 。并联接法如图 14 所示：将 A_1 与 A_2 短接。 A_1A_3 两接线柱之间电阻可调范围为 $0\sim 900\Omega/2$ 。

由于实验的需要，A 相两只电阻除了作可变电阻使用外，还可采用电位器接法做分压器用。例如他励直流电机励磁电压调节就是采用电位器接法。作分压器时可以单只使用，也可并联使用。如图 15 面板图所示，固定电压施加在 A_2A_4 端，而可变电压可以从 A_3A_2 (或 A_3A_4) 端引出。

每只电阻间串有熔断器，实验时应注意电流不可超过熔断器允许的最大电流值。

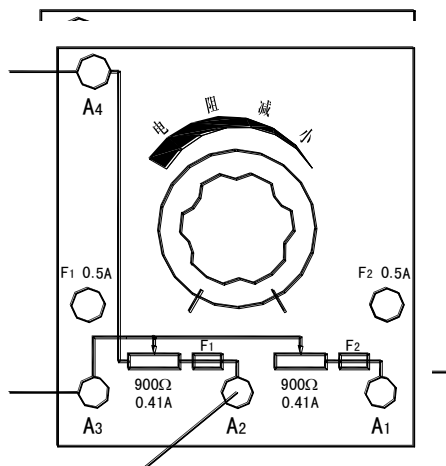


图15 电位器接法

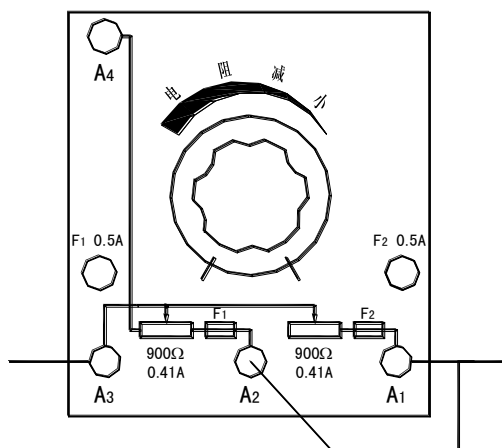


图14 电阻并联

九. 三相可变电抗器

三相可变电抗器面板如图 15 所示。

每相可变电抗均由一只 250VA 自耦变压器和一个 1.08H 的固定线电抗器所组成。其中自耦变压器允许最大电压为 250V，最大电流为 0.45A，电抗器允许最大电流为 0.5A。

当固定电抗器 L_1 和 X 接线柱分别与自耦变压器的 a 和 x 接线柱相连接时，移动自耦变压器触点 a，从 A 和 x 两端引出电抗即可改变。

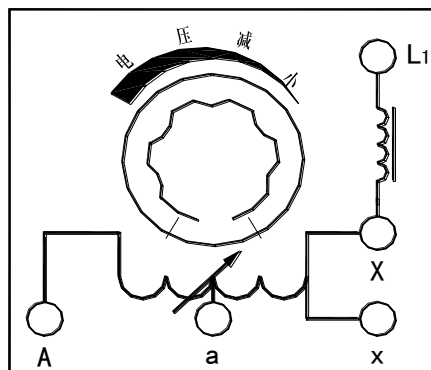


图16 三相可变电抗

十. 操作步骤

一. 上电步骤

1. 合上漏电保护器。
2. 把日光灯开关打向照明，看到日光灯会被点亮。
3. 把总电源开关打向“开”的位置，断开指示灯亮。控制屏上所有单相电源插座有交流 220V 电压输出，把“指示选择”开关打向电网电压侧，则三只指针表应有 380V 电压指示。这时，若将同步电机励磁电源的电源开关打向 ON 处，侧此设备工作指示灯亮，电流输出显示为 0；若将三相交流电压表、三相交流电流表的电源开关打向 ON 处，若打开主控屏上所挂挂箱的电源，上面的表头在漏电的情况下会有显示或指示。
4. 将三相调压器旋钮左旋到底，按下闭合按钮，听到继电器吸合声，断开按钮指示灯在，闭合按钮指示灯亮，将直流电机励磁电源和可调直流稳压电源的电源开关打向 ON 处，则直流电机励磁电源有 220V~230V 的直流电压输出。可调直流稳压电源告警灯亮，若按下复位按钮，则电压输出显示有电压指示，当调节电压调节旋钮，则会有 90~250V 的直流电压输出。
5. 将“指示选择”开关拨向调压输出侧，顺时针调节调压器旋钮，则三只指针表将会有相同幅值的电压输出，用万用表测量，U、V、W、N 将会有相电压显示。

6. 若需做实验，可按实验指导书上所要求来做。

二. 断电步骤

1. 按下断开按钮，断开指示灯亮，将所有实验挂箱及仪表电源开关打向 OFF 处，关闭日光灯。

2. 把钥匙开关打向关的位置。

3. 断电漏电保护器。

十一. 注意事项

1. 测功机只能输出信号，不能外接输入。
2. 电阻盘转动不要用力过猛，以免损坏电阻盘。
3. 电机与导轨连接时不要用力过猛，一定要连上橡皮连接头，加上固定螺丝。
4. 仪表使用时注意量程选择，防止乱告警。
5. 当电路告警或换做实验时，交流电源调节从零开始调。
6. 励磁电源不要和直流稳压电源混淆，以免损坏设备。
7. 设备中若有保险丝烧坏，可用同规格保险丝换上，不可过大或过小。
8. 挂箱搬动要轻拿轻放，因为里面有些电路板是插板式，以免松动。
9. 烙铁不要放在实验桌及主控屏上，以免烧坏实验桌和主控屏，还有导线、仪表。

十二、易故障维修

序号	故障现象	故障原因
1	漏电保护器合不上	1. 漏电保护器脱扣器弹出 2. 后面电路有严重短路

2	指针式仪表缺相	1. 总电源输入缺相 2. 电源插座没有插好 3. 输入保险丝、输出保险丝有损坏
3	上电告警	1. 调压器输出电压过高 2. 接线错误导致过压、过流 3. 测量仪表量程选的不对
4	测功机加不上载	保险丝烧坏
5	可调直流稳压电源，无输出电压	1. 3A 保险丝烧坏 2. 电源没有插好 3. 告警没有复位
6	励磁电源无输出	0.5A 保险丝烧
7	可调电阻箱电阻 ∞ 大	0.5A 保险丝烧坏 1.5A 保险丝烧坏

十三. MEL—I 型电机教学实验台中各被试电机的额定值

三相组式变压器 MEL—01 的额定值：

额定容量 $S_{1N}/S_{2N}=231/231VA$ ，额定电压 $U_{1N}/U_{2N}=380/95V$ ，额定电流 $I_{1N}/I_{2N}=0.35/1.4A$ ，Y/Y 接法。

三相芯式变压器 MEL—02 的额定值：

额定容量 $S_{1N}/S_{2N}/S_{3N}=152/152/152VA$ ，额定电压 $U_{1N}/U_{2N}/U_{3N}=220/63.5/55V$ ，额定电流 $I_{1N}/I_{2N}/I_{3N}=0.4/1.38/1.6A$ ，Y/ Δ /Y 接法。

直流发电机 M01 的额定值：

额定功率 $P_N=100W$ ，额定电压 $U_N=200V$ ，额定电流 $I_N=0.5A$ ，额定转速 $n_N=1600r/min$ 。E 级绝缘。

直流串励电动机 M02 的额定值：

额定功率 $P_N=120W$ ，额定电压 $U_N=220V$ ，额定电流 $I_N=0.5A$ ，额定转速 $n_N=1400r/min$ 。E 级绝缘。

直流并励电动机 M03 的额定值:

额定功率 $P_N=185\text{W}$, 额定电压 $U_N=220\text{V}$, 额定电流 $I_N=1.1\text{A}$, 额定励磁电流 $I_{fN}<0.16\text{A}$, 额定转速 $n_N=1600\text{r/min}$ 。E 级绝缘。

三相鼠笼式异步电动机 M04 的额定值:

额定功率 $P_N=100\text{W}$, 额定电压 $U_N=220\text{V}$, 额定电流 $I_N=0.48\text{A}$, 额定转速 $n_N=1420\text{r/min}$, 定子三相绕组 Δ 接法, E 级绝缘。

三相绕线式异步电动机 M09 的额定值:

额定功率 $P_N=100\text{W}$, 额定电压 $U_N=220\text{V}$, 额定电流 $I_N=0.55\text{A}$, 额定转速 $n_N=1420\text{r/min}$ 。定、转子三相绕组均为 Y 接法, E 级绝缘。

双速异步电动机 M11 的额定值:

额定功率 $P_N=120/90\text{W}$, 额定电压 $U_N=220\text{V}$, 额定电流 $I_N=0.7/0.7\text{A}$, 额定转速 $n_N=2900/1450\text{r/min}$ 。定子绕组 YY/ Δ 接法, E 级绝缘。

单相电容运转电动机 M06 的额定值:

额定功率 $P_N=120\text{W}$, 额定电压 $U_N=220\text{V}$, 额定电流 $I_N=1\text{A}$, 额定转速 $n_N=1430\text{r/min}$, E 级绝缘。

三相同步发电机 M08 的额定值:

额定容量 $S_N=170\text{VA}$, 额定电压 $U_N=220\text{V}$, 额定电流 $I_N=0.45\text{A}$, 额定转速 $n_N=1500\text{r/min}$, 额定功率因数 $\cos\varphi_N=0.8$, 额定励磁电压 $U_{fN}=14\text{V}$, 额定励磁电流 $I_{fN}=1.2\text{A}$, 定子三相绕组 Y 接法。E 级绝缘。

三相同步电动机 M08 的额定值:

额定功率 $P_N=90\text{W}$, 额定电压 $U_N=220\text{V}$, 额定电流 $I_N=0.35\text{A}$, 额定转速 $n_N=1500\text{r/min}$, 额定励磁电压 $U_{fN}=10\text{V}$, 额定励磁电流 $I_{fN}=0.8\text{A}$, 定子三相绕组 Y 接法。E 级绝缘。

交流伺服电机的额定值:

额定功率 $P_N=25\text{W}$, 额定控制电压 $U_N=220\text{V}$, 额定激磁电压 $U_N=220\text{V}$, 堵转转矩 $M=3000\text{g}\cdot\text{cm}$, 空载转速 $=2700\text{r/m}$

第二部分 实验内容

实验一 变压器参数测定

一、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。

二、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，各种仪表应怎样联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。

三、实验项目

1. 空载实验 测取空载特性 $U_0=f(I_0)$ ， $P_0=f(U_0)$ 。

2. 短路实验 测取短路特性 $U_k=f(I_k)$ ， $P_k=f(I_k)$ 。

3. 负载实验

(1) 纯电阻负载

保持 $U_1=U_{1N}$ ， $\cos\varphi_2=1$ 的条件下，测取 $U_2=f(I_2)$ 。

(2) 阻感性负载

保持 $U_1=U_{1N}$ ， $\cos\varphi_2=0.8$ 的条件下，测取 $U_2=f(I_2)$ 。

四、实验设备及仪器

1. MEL 系列电机教学实验台主控制屏（含交流电压表、交流电流表）
2. 功率及功率因数表（MEL-20 或含在主控制屏内）
3. 三相组式变压器（MEL-01）或单相变压器（在主控制屏的右下方）
4. 三相可调电阻 900Ω （MEL-03）
5. 波形测试及开关板（MEL-05）
6. 三相可调电抗（MEL-08）

五、实验方法

1. 空载实验

实验线路如图 2-1

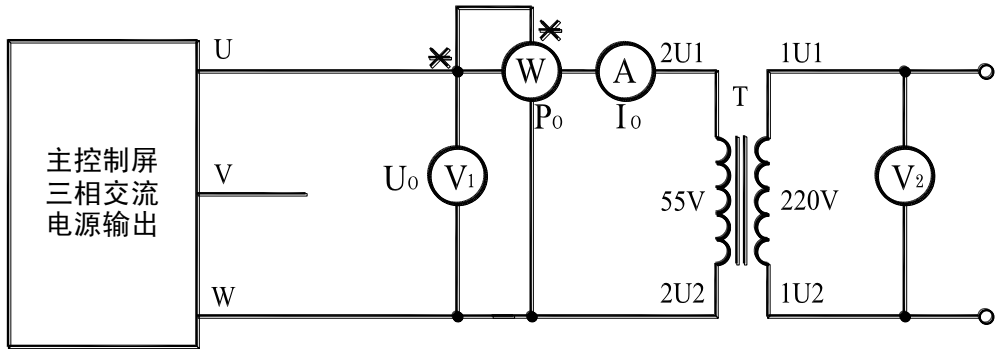


图2-1 空载实验接线图

变压器 T 选用 MEL-01 三相组式变压器中的一只或单独的组式变压器。实验时，变压器低压线圈 2U1、2U2 接电源，高压线圈 1U1、1U2 开路。

A、V₁、V₂ 分别为交流电流表、交流电压表。具体配置由所采购的设备型号不同由所差别。若设备为 MEL-I 系列，则交流电流表、电压表为指针式模拟表，量程可根据需要选择；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。仪表数量也可能由于设备型号不同而不同。若电压表只有一只，则只能交替观察变压器的原、副边电压读数，若电压表有二只或三只，则可同时接上仪表。

W 为功率表，根据采购的设备型号不同，或在主控屏上或为单独的组件（MEL-20 或 MEL-24），接线时，需注意电压线圈和电流线圈的同名端，避免接错线。

a. 在三相交流电源断电的条件下，将调压器旋钮逆时针方向旋转到底。并合理选择各仪表量程。

变压器 T 额定容量 $P_N=77W$ ， $U_{1N}/U_{2N}=220V/55V$ ， $I_{1N}/I_{2N}=0.35A/1.4A$

b. 合上交流电源总开关，即按下绿色“闭合”开关，顺时针调节调压器旋钮，使变压器空载电压 $U_0=1.2U_N$

c. 然后，逐次降低电源电压，在 $1.2\sim0.5U_N$ 的范围内；测取变压器的 U_0 、 I_0 、 P_0 ，共取 6~7 组数据，记录于表 2-1 中。其中 $U=U_N$ 的点必须测，并在该点附近测的点应密些。为了计算变压器的变化，在 U_N 以下测取原方电压的同时测取副方电压，填入表 2-1 中。

e. 测量数据以后，断开三相电源，以便为下次实验作好准备。

表 2-1

序 号	实 验 数 据				计算数据
	U_0 (V)	I_0 (A)	P_0 (W)	$U_{1U1} \cdot 1U2$	$\cos \varphi_2$
1					

2					
3					
4					
5					
6					
7					

2. 短路实验

实验线路如图 2-2。（每次改接线路时，都要关断电源）

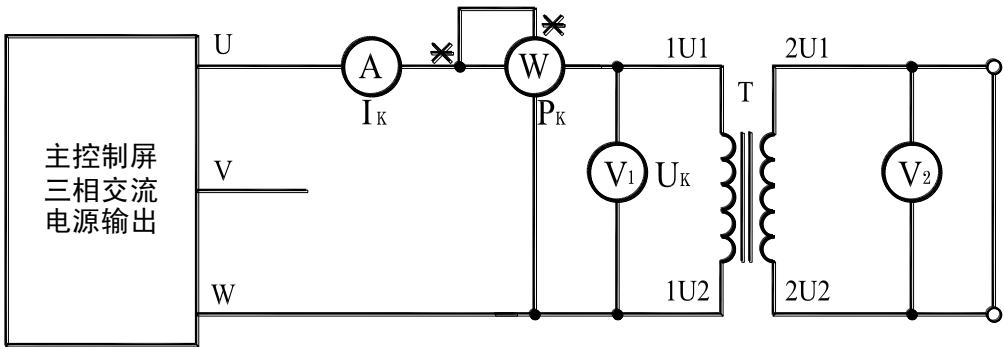


图2-2 短路实验接线图

实验时，变压器 T 的高压线圈接电源，低压线圈直接短路。

A、V、W 分别为交流电流表、电压表、功率表，选择方法同空载实验。

a. 断开三相交流电源，将调压器旋钮逆时针方向旋转到底，即使输出电压为零。

b. 合上交流电源绿色“闭合”开关，接通交流电源，逐次增加输入电压，直到短路电流等于 $1.1I_N$ 为止。在 $0.5\sim1.1I_N$ 范围内测取变压器的 U_K 、 I_K 、 P_K ，共取 6~7 组数据记录于表 2-2 中，其中 $I=I_K$ 的点必测。并记录实验时周围环境温度（℃）。

表 2-2室温 θ = ℃

序 号	实 验 数 据			计算数据
	U_K (V)	I_K (A)	P_K (W)	$\cos \varphi_k$
1				
2				
3				
4				
5				
6				

3. 负载实验

实验线路如图 2-3 所示。

变压器 T 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 MEL-03 的两只 900Ω 电阻相串联， X_L 选用 MEL-08。开关 S_1 、 S_2 采用 MEL-05 的双刀双掷开关，电压表、电流表、功率表（含功率因数表）的选择同空载实验。

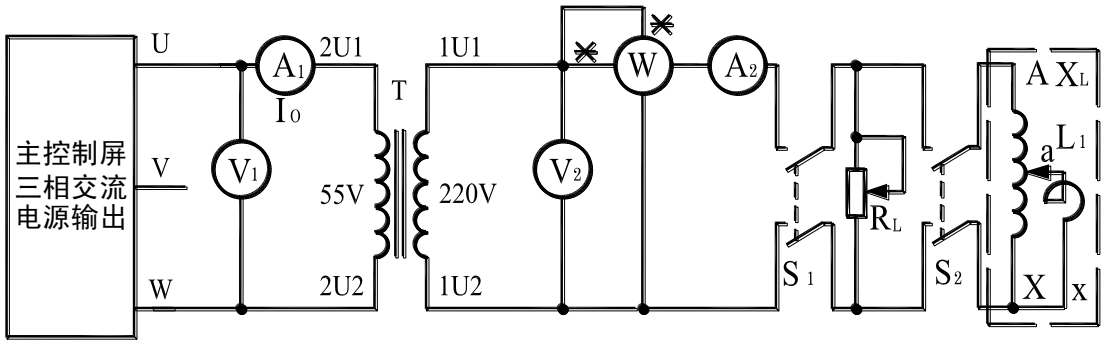


图2-3 负载实验接线图

(1) 纯电阻负载

- 未上主电源前，将调压器调节旋钮逆时针调到底， S_1 、 S_2 断开，负载电阻值调到最大。
- 合上交流电源，逐渐升高电源电压，使变压器输入电压 $U_1=U_N=55V$
- 在保持 $U_1=U_N$ 的条件下，合下开关 S_1 ，逐渐增加负载电流，即减小负载电阻 R_L 的值，从空载到额定负载范围内，测取变压器的输出电压 U_2 和电流 I_2 。
- 测取数据时， $I_2=0$ 和 $I_2=I_{2N}=0.35A$ 必测，共取数据 6~7 组，记录于表 3-3 中。

表 3-3 $\cos\varphi_2=1$ $U_1=U_N=55V$

序 号	1	2	3	4	5	6	7
U_2 (V)							
I_2 (A)							

(2) 阻感性负载 ($\cos\varphi_2=0.8$) (选做)

- 用电抗器 X_L 和 R_L 并联作为变压器的负载， S_1 、 S_2 打开，电阻及电抗器调至最大，即将变阻器旋钮和调压器旋钮，逆时针调到底。
- 合上交流电源，调节电源输出使 $U_1=U_N$
- 合上 S_1 、 S_2 ，在保持 $U_1=U_N$ 及 $\cos\varphi_2=0.8$ 条件下，逐渐增加负载，从空载到额定

负载的范围内，测取变压器 U_2 和 I_2 ，共测取数据 6-7 组记录于表 3-4 中，其中 $I_2=0$ 和 $I_2=I_{2N}$ 两点必测。

表 3-4				$\cos \varphi_2=0.8$		$U_1=U_{1N}=55V$	
序 号	1	2	3	4	5	6	7
U_2 (V)							
I_2 (A)							

六、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。
2. 短路实验操作要快，否则线圈发热会引起电阻变化。

七. 实验报告

1. 计算变比

由空载实验测取变压器的原、副方电压的三组数据，分别计算出变比，然后取其平均值作为变压器的变比 K 。

$$K=U_{1U1.U2} / U_{2U1.U2}$$

2. 绘出空载特性曲线和计算激磁参数

(1) 绘出空载特性曲线 $U_0=f(I_0)$ ， $P_0=f(U_0)$ ， $\cos \varphi_0=f(U_0)$ 。

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

(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 $U_K=f(I_K)$ 、 $P_K=f(I_K)$ 、 $\cos \varphi_K=f(I_K)$ 。

(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 θ ($^{\circ}\text{C}$) 短路参数。

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

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

$$X'_K = \sqrt{Z_K'^2 - r_K'^2}$$

折算到低压方

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

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

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

由于短路电阻 r_K 随温度而变化，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。

阻抗电压

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

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

$$U_{KX} = \frac{I_N X_K}{U_N} \times 100\%$$

$$I_K = I_N \text{ 时的短路损耗 } p_{KN} = I_N^2 r_{K75^{\circ}\text{C}}$$

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方的“ Γ ”型等效电路。

5. 变压器的电压变化率 ΔU

(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 ΔU

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

(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 。

$$\Delta U = (U_{Kx} \cos \varphi_2 + U_{Kx} \sin \varphi_2)$$

将两种计算结果进行比较，并分析不同性质的负载对输出电压的影响。

6. 绘出被试变压器的效率特性曲线

$$\eta = (1 - \frac{P_o + I_2^{*2} P_{KN}}{I_2^* P_N \cos \varphi_2 + P_o + I_2^{*2} P_{KN}}) \times 100\%$$

(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 2-5 中。

表 2-5 $\cos \varphi_2 = 0.8$ $P_o =$ W $P_{KN} =$ W

I_2^* (A)	P_2 (W)	η
0.2		
0.4		
0.6		
0.8		
1.0		
1.2		

式中： $I_2^* P_N \cos \varphi_2 = P_2$ (W)；

P_{KN} 为变压器 $I_K = I_N$ 时的短路损耗 (W)；

P_o 为变压器 $U_o = U_N$ 时的空载损耗 (W)。

(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 $\beta_m = \sqrt{\frac{P_o}{P_{KN}}}$ 。

实验二 他励直流电动机机械特性

一. 实验目的

了解直流电动机的各种运转状态时的机械特性

二. 预习要点

1. 改变他励直流电动机机械特性有哪些方法？
2. 他励直流电动机在什么情况下，从电动机运行状态进入回馈制动状态？他励直流电动机回馈制动时，能量传递关系，电动势平衡方程式及机械特性又是什么情况？
3. 他励直流电动机反接制动时，能量传递关系，电动势平衡方程式及机械特性。

三. 实验项目

1. 电动及回馈制动特性。
2. 电动及反接制动特性。
3. 能耗制动特性。

四. 实验设备及仪器

1. MEL 系列电机系统教学实验台主控制屏。
2. 电机导轨及转速表（MEL-13、MEL-14）
3. 三相可调电阻 900Ω （MEL-03）
4. 三相可调电阻 90Ω （MEL-04）
5. 波形测试及开关板（MEL-05）
6. 直流电压、电流、毫安表（MEL-06）
7. 电机起动箱（MEL-09）

五. 实验方法及步骤

1. 电动及回馈制动特性

接线图如图 5-1

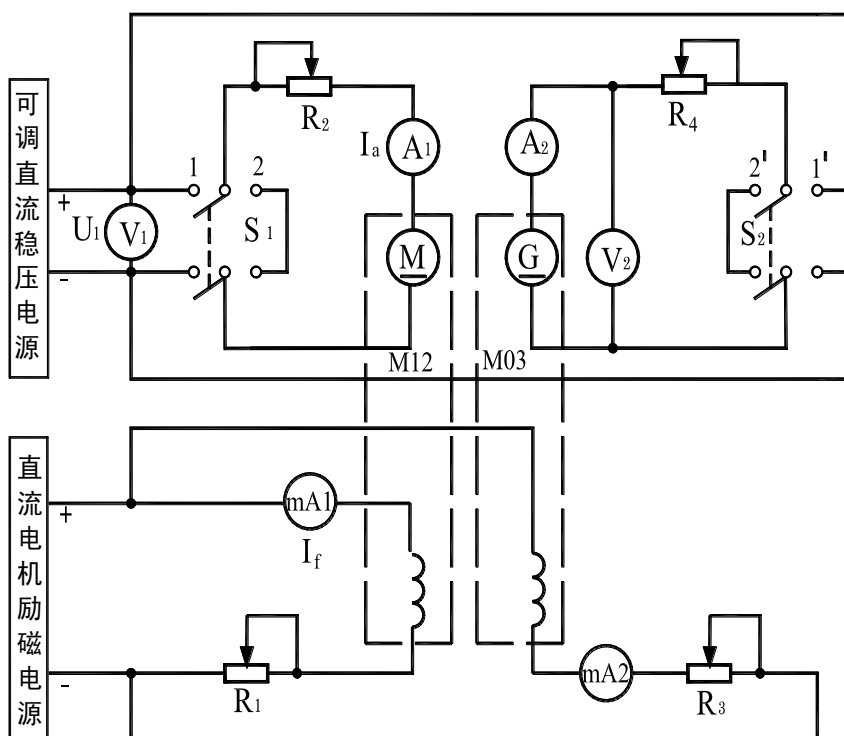


图5-1 直流他励电动机机械特性测定接线图

M 为直流并励电动机 M12（接成他励方式）， $U_N=220V$ ， $I_N=0.55A$ ， $n_N=1600r/min$ ， $P_N=80W$ ；励磁电压 $U_f=220V$ ，励磁电流 $I_f<0.13A$ 。

G 为直流并励电动机 M03（接成他励方式）， $U_N=220V$ ， $I_N=1.1A$ ， $n_N=1600r/min$ ；

直流电压表 V_1 为 220V 可调直流稳压电源自带， V_2 的量程为 300V（MEL-06）；

直流电流表 mA_1 、 A_1 分别为 220V 可调直流稳压电源自带毫安表、安培表；

mA_2 、 A_2 分别选用量程为 200mA、5A 的毫伏表、安培表（MEL-06）

R_1 选用 900 Ω 欧姆电阻（MEL-03）

R_2 选用 180 欧姆电阻（MEL-04 中两 90 欧姆电阻相串联）

R_3 选用 3000 Ω 磁场调节电阻（MEL-09）

R_4 选用 2250 Ω 电阻（用 MEL-03 中两只 900 Ω 电阻相并联再加上两只 900 Ω 电阻相串联）

开关 S_1 、 S_2 选用 MEL-05 中的双刀双掷开关。

按图 5-1 接线，在开启电源前，检查开关、电阻等的设置；

（1）开关 S_1 合向“1”端， S_2 合向“2”端。

（2）电阻 R_1 至最小值， R_2 、 R_3 、 R_4 阻值最大位置。

（3）直流励磁电源船形开关和 220V 可调直流稳压电源船形开关须在断开位置。

实验步骤。

a. 按次序先按下绿色“闭合”电源开关、再合励磁电源船型开关和 220V 电源船形开关，使直流电动机 M 起动运转，调节直流可调电源，使 V_1 读数为 $U_N=220$ 伏，调节 R_2 阻值至零。

b. 分别调节直流电动机 M 的磁场调节电阻 R_1 ，发电机 G 磁场调节电阻 R_3 、负载电阻 R_4 （先调节相串联的 900Ω 电阻旋钮，调到零用导线短接以免烧毁熔断器，再调节 900Ω 电阻相并联的旋钮），使直流电动机 M 的转速 $n_N=1600\text{r/min}$ ， $I_f+I_a=I_N=0.55\text{A}$ ，此时 $I_f=I_{fN}$ ，记录此值。

c. 保持电动机的 $U=U_N=220\text{V}$ ， $I_f=I_{fN}$ 不变，改变 R_4 及 R_3 阻值，测取 M 在额定负载至空载范围的 n 、 I_a ，共取 5-6 组数据填入表中。

表 5-1	$U_N=220$ 伏				$I_{fN}=$	A
I_a (A)						
n (r/min)						

d. 折掉开关 S_2 的短接线，调节 R_3 ，使发电机 G 的空载电压达到最大（不超过 220 伏），并且极性与电动机电枢电压相同。

e. 保持电枢电源电压 $U=U_N=220\text{V}$ ， $I_f=I_{fN}$ ，把开关 S_2 合向“1”端，把 R_4 值减小，直至为零（先调节相串联的 900Ω 电阻旋钮，调到零用导线短接以免烧毁熔断器）。再调节 R_3 阻值使阻值逐渐增加，电动机 M 的转速升高，当 A_1 表的电流值为 0 时，此时电动机转速为理想空载转速，继续增加 R_3 阻值，则电动机进入第二象限回馈制动状态运行直至电流接近 0.8 倍额定值（实验中应注意电动机转速不超过 2100 转/分）。

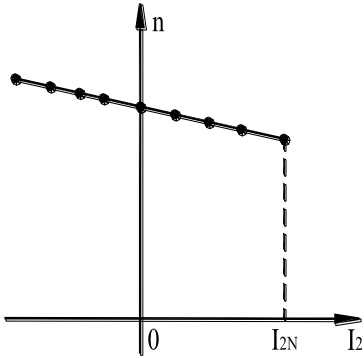


图5-2 直流他励电动机
电动及回馈制动特性

测取电动机 M 的 n 、 I_a ，共取 5-6 组数据填入表 5-2 中。

表 5-2	$U_N=220$ 伏				$I_{fN}=$	A
I_a (A)						
n (r/min)						

因为 $T_2=CM\phi I_2$ ，而 $CM\phi$ 中为常数，则 $T\propto I_2$ ，为简便起见，只要求 $n=f(I_a)$ 特性，见图 5-2。

2. 电动及反接制动特性。

在断电的条件下，对图 5-1 作如下改动：

(1) R_1 为 MEL-09 的 3000Ω 磁场调节电阻， R_2 为 MEL-03 的 900Ω 电阻， R_3 不用， R_4 不变。

(2) S_1 合向“1”端， S_2 合向“2”端（短接线拆掉），把发电机 G 的电枢二个插头对调。

实验步骤：

a. 在未上电源前， R_1 置最小值， R_2 置 300Ω 左右， R_4 置最大值。

b. 按前述方法起动电动机，测量发电机 G 的空载电压是否和直流稳压电源极性相反，若极性相反可把 S_2 含向“1”端。

c. 调节 R_2 为 900Ω ，调节直流电源电压 $U=U_N=220V$ ，调节 R_1 使 $I_f=I_{fN}$ ，保持以上值不变，逐渐减小 R_4 阻值，电机减速直至为零，继续减小 R_4 阻值，此时电动机工作于反接制动状态运行（第四象限）；

d. 再减小 R_4 阻值，直至电动机 M 的电流接近 0.8 倍 I_N ，测取电动机在第 1、第 4 象限的 n 、 I_2 ，共取 5-6 组数据记录于表 5-3 中。

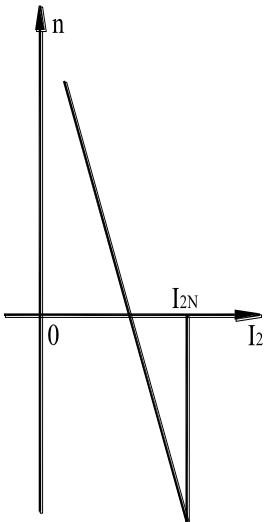


图5-3 直流他励电动机及反接制动特性

表 5-3				$R_2=900\Omega$		$U_N=220V$		$I_{fN}= \quad A$	
$I_2 \text{ (A)}$									
$n \text{ (r/min)}$									

为简便起见，画 $n=f(I_a)$ ，见图 5-3。

3. 能耗制动特性

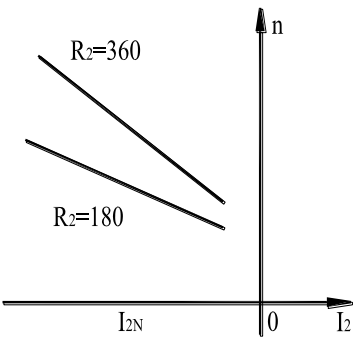


图5-4 直流他励电动机能耗制动特性

图 5-1 中， R_1 用 3000Ω ， R_2 改为 360Ω （采用 MEL-04 中只 90Ω 电阻相串联）， R_3 采用 MEL-03 中的 900Ω 电阻， R_4 仍用 2250Ω 电阻。

操作前，把 S_1 保向“2”端， R_1 、 R_2 置最大值， R_3 置最大值， R_4 置 300Ω （把两只串联电阻调至零位，并用导线短接，把两只并联电阻调在 300Ω 位置）， S_2 合向“1”端。

按前述方法起动发电机 G（此时作电动机使用），调节直流稳压电源使 $U=U_N=220$ 伏，调节 R_1 使电动机 M 的 $I_f=I_{fN}$ ，调节 R_3 使发电机 G 的 $I_f=80mA$ ，调节 R_4 并先使 R_4 阻值减小，使电机 M 的能耗制动电流 I_a 接近 $0.8I_{aN}$ 数据，

记录于表 5-4 中。

表 5-4				$R_2=360\Omega$		$I_{fN}= \quad mA$	
$I_a \text{ (A)}$							
$n \text{ (r/min)}$							

调节 R_2 的 180Ω ，重复上述实验步骤，测取 I_a 、 n ，共取 6-7 组数据，记录于表 5-5 中。

表 5-5		$R_2=180\Omega$			$I_{fN}=$		mA
I_a (A)							
n (r/min)							

当忽略不变损耗时，可近似为电动机轴上的输出转矩等于电动机的电磁转矩 $T=CM\Phi I_a$ ，他励电动机在磁通 Φ 不变的情况下，其机械特性可以由曲线 $n=f(I_a)$ 来描述。画出以上二条能耗制动特性曲线 $n=f(I_a)$ ，见图 5-4。

六. 实验注意事项

调节串并联电阻时，要按电流的大小而相应调节串联或并联电阻，防止电阻过流烧毁熔断丝。

七. 实验报告

根据实验数据绘出电动机运行在第一、第二、第四象限的制动特性 $n=f(I_a)$ 及能耗制动特性 $n=f(I_a)$ 。

八. 思考题

1. 回馈制动实验中, 如何判别电动机运行在理想空载点?
2. 直流电动机从第一象限运行到第二象限转子旋转方向不变, 试问电磁转矩的方向是否也不变? 为什么?
3. M, G 实验机组, 当电动机 M 从第一象限运行到第四象限, 其转向反了, 而电磁转矩方向不变, 为什么? 作为负载的 G, 从第一到第四象限其电磁矩方向是否改变? 为什么?

实验三 三相异步电动机的机械特性

一. 实验目的

了解三相绕线式异步电动机在各种运行状态下的机械特性。

二. 预习要点

1. 如何利用现有设备测定三相绕线式异步电动机的机械
2. 测定各种运行状态下的机械特性应注意哪些问题。
3. 如何根据所测得的数据计算被试电机在各种运行状态下的机械特性。

三. 实验项目

1. 测定三相绕线式异步电动机在电动运行状态和再生发电制动状态下机械特性。
2. 测定三相绕线式异步电动机在反接制动运行状态下的机械特性。

四. 实验设备及仪器

1. MEL 系列电机系统教学实验台主控制屏。
2. 电机导轨及测速表 (MEL-13、MEL-14)
3. 直流电压、电流、毫安表 (MEL-06 或主控制屏上)
4. 三相可调电阻器 900Ω (MEL-03)
5. 三相可调电阻器 900Ω (MEL-04)
6. 波形测试及开关板 (MEL-05)

五. 实验方法及步骤

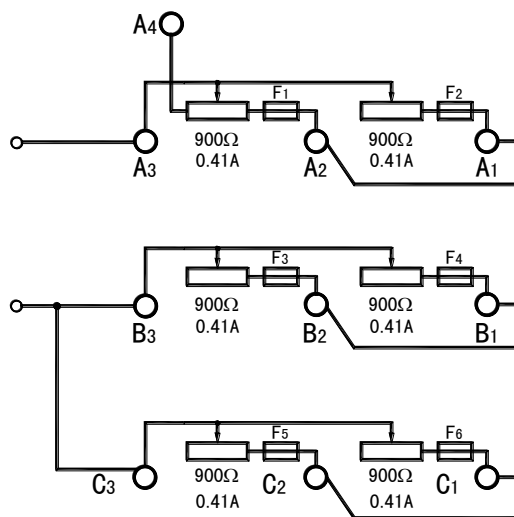
实验线路如图 5-5。

M 为三相绕线式异步电动机 M09, 额定电压 $U_N=220$ 伏, Y 接法;

G 为直流并励电动机 M03 (作他励接法), 其 $U_N=220$ 伏, $P_N=185W$

R_S 选用三组 90Ω 电阻 (每组为 MEL-04, 90Ω 电阻)

R_1 选用 675Ω 电阻 (MEL-03 中, 450



Ω 电阻和 225Ω 电阻相串联), 如右图。

R_f 选用 3000Ω 电阻 (电机起动箱中, 磁场调节电阻)

V_2 、 A_2 、mA 分别为直流电压、电流、毫安表, 采用 MEL-06 或直流在主控制屏上

V_1 、 A_1 、 W_1 、 W_2 为交流、电压、电流、功率表, 含在主控制屏上

S_1 选用 MEL-05 中的双刀双掷开关

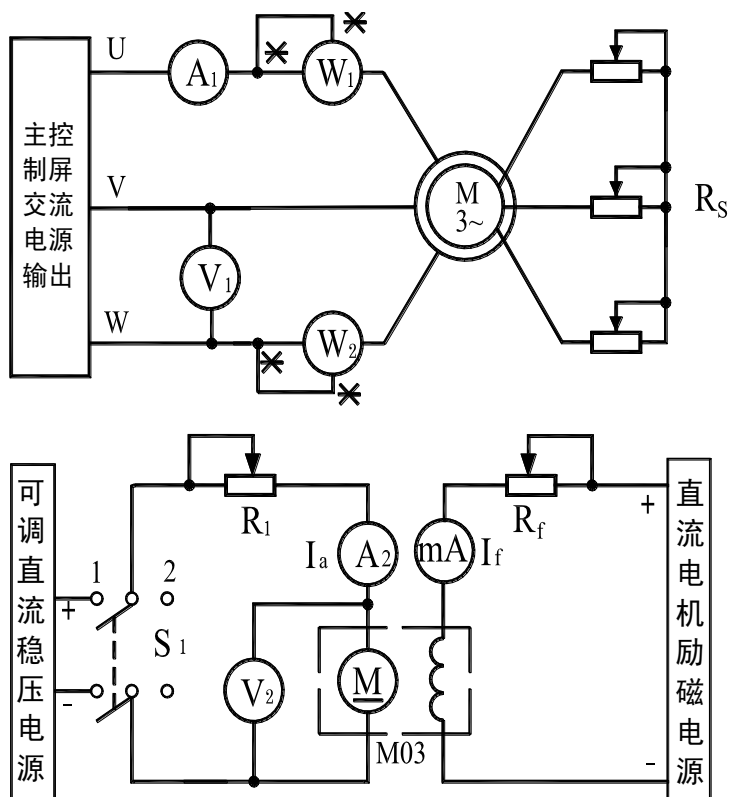


图5-5 绕线式异步电动机机械特性实验接线图

1. 测定三相绕线式异步电机电动及再发电制动机械特性

仪表量程及开关、电阻的选择:

(1) V_2 的量程为 $300V$ 档, mA 的量程为 $200mA$ 档, A_2 的量程为 $2A$ 档。

(2) R_S 阻值调至零, R_1 、 R_f 阻值调至最大。

(3) 开关 S_1 合向 “2” 端。

(4) 三相调压旋钮逆时针到底, 直流电机励磁电源船形开关和 $220V$ 直流稳压电源船形开关在断开位置。并且直流稳压电源调节旋钮逆时针到底, 使电压输出最小。

实验步骤:

(1) 按下绿色 “闭合” 按钮开关, 接通三相交流电源, 调节三相交流电压输出为 $180V$ (注意观察电机转向是否符合要求), 并在以后的实验中保持不变。

(2) 接通直流电机励磁电源，调节 R_f 阻值使 $I_f=95\text{mA}$ 并保持不变。接通可调直流稳压电源的船形开关和复位开关，在开关 S_1 的“2”端测量电机 G 的输出电压极性，先使其极性与 S_1 开关“1”端的电枢电源相反。在 R_1 为最大值的条件下，将 S_1 合向“1”端。

(3) 调节直流稳压电源和 R_1 的阻值（先调节 R_1 中的 450Ω 电阻，当减到 0 时，用导线短接，再调节 225Ω 电阻，同时调节直流稳压电源），使电动机从堵转（约 200 转左右）到接近于空载状态，其间测取电机 G 的 U_a 、 I_a 、 n 及电动机 M 的交流电流表 A、功率表 P_I 、 P_{II} 的读数。共取 8-9 组数据记录于 5-6 中。

表 5-6	U=200V				$R_S=0$		$I_f=$	mA
$U_a(\text{A})$								
$I_a(\text{A})$								
$n(\text{r/min})$								
$I_I(\text{A})$								
$P_I(\text{W})$								
$P_{II}(\text{W})$								

(4) 当电动机 M 接近空载而转速不能调高时，将 S_1 含向“2”位置，调换发电机 G 的电枢极性使其与“直流稳压电源”同极性。调节直流电源使其 G 的电压值接近相等，将 S_1 合至“1”端，减小 R_1 阻值直至为零（用导线短接 900Ω 相串联的电阻）。

(5) 升高直流电源电压，使电动机 M 的转速上升，当电机转速为同步转速时，异步电机功率接近于 0，继续调高电枢电压，则异步电机从第一象限进入第二象限再生发电制动状态，直至异步电机 M 的电流接近额定值，测取电动机 M 的定子电流 I_I 、功率 P_I 、 P_{II} ，转速 n 和发电机 G 的电枢电流 I_a ，电压 U_a ，填入表 5-7 中。

表 5-7	U=200 伏				$I_f=$		A
$U_a(\text{A})$							
$I_a(\text{A})$							
$n(\text{r/min})$							
$I_I(\text{A})$							
$P_I(\text{W})$							
$P_{II}(\text{W})$							

2. 电动及反接制动运行状态下的机械特性

在断电的条件下，把 R_S 的三只可调电阻调至 90Ω ，拆除 R_1 的短接导线，并调至最大 2250Ω ，直流发电机 G 接到 S_1 上的两个接线端对调，使直流发电机输出电压极性和“直流稳压电源”极性相反，开关 S_1 合向左边，逆时针调节可调直流稳压电源调节旋钮到底。

(1) 按下绿色“闭合”按钮开关，调节交流电源输出为 200 伏，合上励磁电源船形开关，调节 R_f 的阻值，使 $I_f=95\text{mA}$ 。

(2) 按下直流稳压电源的船形开关和复位按钮，起动直流电源，开关 S_1 合向右边，让异步电机 M 带上负载运行，减小 R_1 阻值（先减小 1800 欧 0.41A，当减至最小时，用导线短接，再接小 450 欧 0.82A），使异步发电机转速下降，直至为零。

(3) 继续减小 R_1 阻值或调离电枢电压值，异步电机即进入反向运转状态，直至其电流接近额定值，测取发电机 G 的电枢电流 I_a 、电压、 U_a 值和异步电动机 M 的定子电流 I_1 、 P_I 、 P_{II} 、转速 n ，共取 8-9 组数据填入表 5-8 中。

表 5-8				U=200 伏			U _f =95mA	
$U_a(A)$								
$I_a(A)$								
$n(r/min)$								
$I_1(A)$								
$P_I(W)$								
$P_{II}(W)$								

六. 实验注意事项

1. 调节串并联电阻时, 要按电流的大小而相应调节串联或并联电阻, 防止电阻器过流引起烧坏。

七. 实验报告

根据实验数据绘出三相绕线转子异步电机运行在三种状态下的机械特性。

八. 思考题

1. 再生发电制动实验中, 如何判别电机运行在同步转速点?
2. 在实验过程中, 为什么电机电压降到 200V? 在此电压下所得的数据, 要计算出全压下的机械特性应作如何处理?

实验四 直流伺服电机实验

一. 实验目的

1. 通过实验测出直流伺服电动机的参数 r_a 、 K_e 、 K_T
2. 掌握直流伺服电动机的机械特性和调节特性的测量方法
3. 测直流伺服电动机的机电时间常数，求传递函数

二. 预习要点

1. 对直流伺服电动机有什么技术要求
2. 直流伺服电动机有几种控制方式
3. 何谓直流伺服电动机的机械特性和调节特性

三. 实验项目

1. 用伏安法测出直流伺服电动机的电枢绕组电阻 r_a
2. 保持 $U_F=U_{FN}=220V$ ，分别测取 $U_a=220V$ 及 $U_a=110V$ 的机械特性 $n=f(T)$
3. 保持 $U_F=U_{FN}=220V$ ，分别测取 $T_2=0.8N \cdot m$ 及 $T_2=0$ 的调节特性 $n=f(U_a)$
4. 测直流伺服电动机的机电时间常数

四、实验设备及仪器

1. MEL 系列电机系统教学实验台主控制屏（MEL-I、MEL-IIA、B）
2. 电机导轨及测功机、转速转矩测量（MEL-13）
3. 直流并励电动机 M03（作直流伺服电机）
4. 220V 直流可调稳压电源（位于实验台主控制屏的下部）
5. 三相可调电阻 900Ω （MEL-03）
6. 三相可调电阻 90Ω （MEL-04）
7. 直流电压、毫安、安培表（MEL-06）。
8. 波形测试及开关板（MEL-05）

五. 实验说明及操作步骤

1. 用伏安法测电枢的直流电阻 r_a 。

接线原理图见图 6-11。

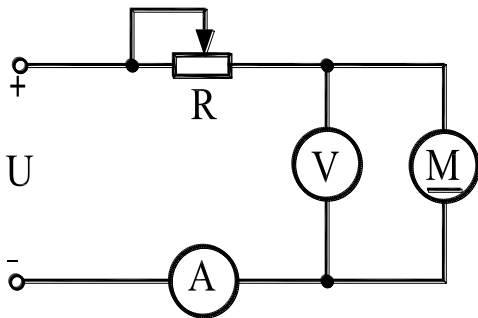


图6-11 测电枢绕组直流电阻接线图

- U: 可调直流稳压电源
- R: 1800Ω 磁场调节电阻 (MEL-03)
- V: 直流电压表 (MEL-06)
- A: 直流安培表 (MEL-06)
- M: 直流电机电枢

(1) 经检查接线无误后, 逆时针调节磁场调节电阻 R 使至最大。直流电压表量程选为 300V 档, 直流安培表量程选为 2A 档。

(2) 按顺序按下主控制屏绿色“闭合”按钮开关, 可调直流稳压电源的船形开关以及复位开关, 建立直流电源, 并调节直流电源至 220V 输出。

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, 如果此时电流太小, 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_M 和电流 I_a 。将电机转子分别旋转三分之一和三分之二周, 同样测取 U_M 、 I_a , 填入表 6-21。

取三次测量的平均值作为实际冷态电阻值 $R_a = \frac{Ra1 + Ra2 + Ra3}{3}$ 。

表 6-21 室温_____℃

序号	U_M (V)	I_a (A)	R (Ω)		R_{aref} (Ω)
1			R_{a1}	R_a	
2			R_{a2}		
3			R_{a3}		

表中 $R_a = (R_{a1} + R_{a2} + R_{a3}) / 3$

(3) 计算基准工作温度时的电枢电阻

由实验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℃。

θ_a ——实际冷态时电枢绕组的温度。(℃)

2. 测直流伺服电动机的机械特性

实验线路如图 6-12 所示。

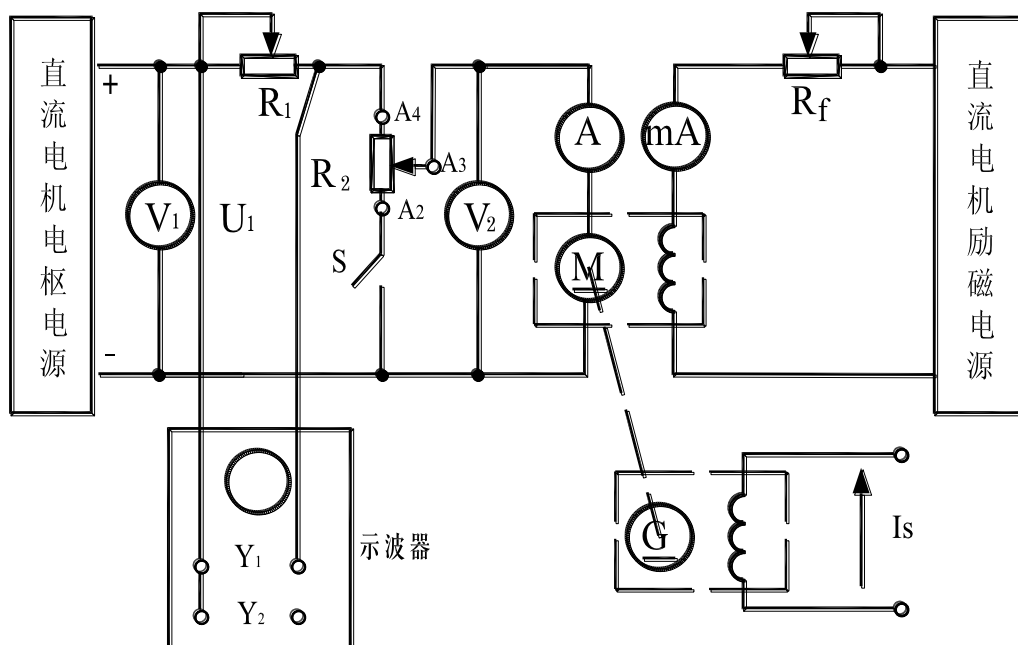


图6-12 直流伺服电动机接线图

R_1 : 180 Ω 电阻 (MEL-04 中两只 90 Ω 相串联)

R_f : 900 Ω 电阻 (MEL-03 中两只 900 Ω 相串联)

R_2 : 采用 MEL-03 最上端 900 Ω 电阻, 为电位器接法

开关 S 选用 MEL-05

M: 直流伺服电动机 M03:

G: 涡流测功机

I_s : 电流源, 位于 MEL-13, 由“转矩设定”电位器进行调节。实验开始时, 将 MEL-13 “转速控制”和“转矩控制”选择开关板向“转矩控制”, “转矩设定”电位器逆时针旋到底。

V_1 : 可调直流稳压电源自带电压表

V_2 : 直流电压表, 量程为 300V 档, 位于 MEL-06

A: 可调直流稳压电源自带电流表

mA: 毫安表, 位于直流电机励磁电源部。

a. 操作前先把 R_1 置最大值, R_f 置最小值, R_2 逆时针调到底, 使 U_{R3R4} 的电压为零,

并且开关 S 断开。测功机的励磁电流调到最小。

b. 先接通直流电机励磁电源。

c. 再接通直流稳压电源，电机运转后把 R_1 调到最小值，调节电枢绕组两端的 $U_a=U_N=220V$ 并保持不变。

d. 调节测功机负载，使电机输出转矩增加，并调节 R_f ，使 $n=1600r/min$ ， $I_a=I_{aN}$ ，此时电机励磁电流为额定电流。

保持此额定电流不变，调节测功机负载，记录空载到额定负载的 T 、 n 、 I_a ，并填入表 6—22 中。

表 6—22				$U_f=U_{fN}=220V$		$U_a=U_N=220V$	
$T(N\cdot m)$							
$n\ (r/min)$							
$I_a(A)$							

e. 调节直流稳压电源，使 $U_a=0.5U_N=110V$ ，重复上述实验步骤，记录空载到额定负载的 T 、 n 、 I_a ，并填入表 6—23 中

表 6—23				$U_f=U_{fN}=220V$		$U_a=0.5U_N=110V$	
$T(N\cdot m)$							
$n(r/min)$							
$I_a(A)$							

3. 测直流伺服电动机的调节特性

按上述方法起动电机，电机运转后，调节电动机轴上的输出转矩 $T=0.8N\cdot m$ ，保持该转矩及 $I_f=I_{fN}$ 不变，调节直流稳压电源（或 R_1 阻值）使 U_a 从 U_N 值逐渐减小，记录电机的 n 、 U_a 、 I_a 并填入表 6—24 中。

表 6—24				$U_f=U_{fN}=220V$		$T=0.8N\cdot m$	
$n(r/min)$							
$U_a(V)$							
$I_a(A)$							

使电动机和测功机脱开，仍保持 $I_f=I_{fN}$ ，在电机空载状态，调节直流稳压电源（或 R_1 阻值），使 U_a 从 U_N 逐渐减小，记录电动机的 n 、 U_a 、 I_a 并填入表 6—25 中。

表 6—25				$U_f=U_{fN}=220V$		$T=0N\cdot m$	
$n(r/min)$							
$U_a(V)$							
$I_a(A)$							

3*. 测直流伺服电动机的机电时间常数（选做）

先接通励磁电源，调节 R_f ，使 $I_f=I_{fN}$ ，再接通直流稳压电源，并调节输出电压，使电机能启动运转，利用数字示波器拍摄直流伺服电动机空载起动时的电时间常数 τ_e 和机械时间常数 τ_m ，从而求出传递函数。

4. 测空载始动电压

操作前先把 R_1 置最小值, R_f 置最小值, R_2 顺时针调到底, 使 U_{R2R3} 的电压为零, 并且开关 S 闭合。断开测功机的励磁电流。

启动电机前先接通励磁电源, 调节 $U_f=220V$, 再接通电枢电源, 调节 R_2 使输出电压缓慢上升, 直到转轴开始连续转动, 这时的电压为空载始动电压 U_a 。

正反二个方向各做三次, 取其平均值作为该电机始动电压, 将数据记录于表 6—26。

表 6-26

次数	1	2	3	平均
正向 U_a (V)				
反向 U_a (V)				

六. 实验报告

1. 根据实验记录, 计算 $75^{\circ}C$ 时电枢绕组电阻 $r_{a75^{\circ}C}$ 数值; K_e 、 K_t 等参数。
2. 根据实验测得的数据, 作出电枢控制时电机的机械特性 $n=f(t)$ 和调节特性 $n=f(U_a)$ 曲线。并求出电机空载时的始动电压。
3. 分析实验数值及现象。

实验五 三相异步电动机的起动与调速

一. 实验目的

通过实验掌握异步电动机的起动和调速的方法。

二. 预习要点

1. 复习异步电动机有哪些起动方法和起动技术指标。
2. 复习异步电动机的调速方法。

三. 实验项目

1. 异步电动机的直接起动。
2. 异步电动机星形——三角形（Y- Δ ）换接起动。
3. 自耦变压器起动。
4. 绕线式异步电动机转子绕组串入可变电阻器起动。
5. 绕线式异步电动机转子绕组串入可变电阻器调速。

四. 实验设备及仪器

1. MEL 系列电机系统教学实验台主控制屏（含交流电压表）。
2. 指针式交流电流表。
3. 电机导轨及测功机、转矩转速测量（MEL-13、MEL-14）。
4. 电机起动箱（MEL-09）。
5. 鼠笼式异步电动机（M04）。
6. 绕线式异步电动机（M09）。

五. 实验方法

1. 三相笼型异步电动机直接起动试验。

按图 3-5 接线，电机绕组为 Δ 接法。

起动前，把转矩转速测量实验箱（MEL-13）中“转矩设定”电位器旋钮逆时针调到底，“转速控制”、“转矩控制”选择开关扳向“转矩控制”，检查电机导轨和 MEL-13 的连接是否良好。

仪表的选择：交流电压表为数字式或指针式均可，交流电流表则为指针式。

- a. 把三相交流电源调节旋钮逆时针调到底，合上绿色“闭合”按钮开关。调节调压

器，使输出电压达电机额定电压 220 伏，使电机起动旋转。（电机起动后，观察 MEL-13 中的转速表，如出现电机转向不符合要求，则须切断电源，调整次序，再重新起动电机。）

b. 断开三相交流电源，待电动机完全停止旋转后，接通三相交流电源，使电机全压起动，观察电机起动瞬间电流值。

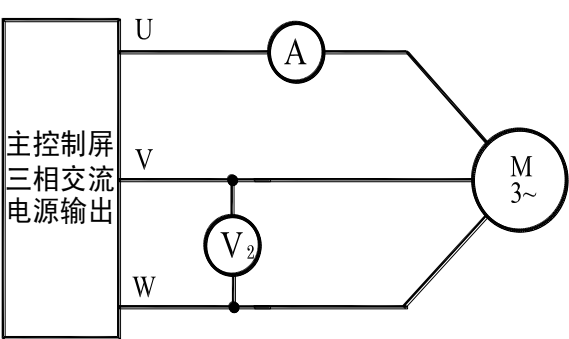


图3-5 异步电机直接起动实验接线图

注：按指针式电流表偏转的最大位置所对应的读数值计量。电流表受起动电流冲击，电流表显示的最大值虽不能完全代表起动电流的读数，但用它可和下面几种起动方法的起动电流作定性的比较。

c. 断开三相交流电源，将调压器退到零位。用起子插入测功机堵特孔中，将测功机定转子堵住。

d. 合上三相交流电源，调节调压器，观察电流表，使电机电流达 2~3 倍额定电流，读取电压值 U_K 、电流值 I_K 、转矩值 T_K ，填入表中，注意试验时，通电时间不应超过 10 秒，以免绕组过热。

对应于额定电压的起动转矩 T_{ST} 和起动电流 I 比按下式计算：

$$T_{ST} = \left(\frac{I_{ST}}{I_K}\right)^2 T_K$$

式中 I_K ：起动试验时的电流值，A；

T_K ：起动试验时的转矩值，N.m；

$$I_{ST} = \left(\frac{U_N}{U_K}\right) I_K$$

式中 U_K ：起动试验时的电压值，V；

U_N ：电机额定电压，V；

测 量 值			计 算 值	
U_K (V)	I_K (A)	T_K (N.m)	$T_{st}(N.m)$	$I_{st}(A)$

2. 星形——三角形 (Y-△) 起动

按图 3-6 接线，电压表、电流表的选择同前，开关 S 选用 MEL-05。

a. 起动前，把三相调压器退到零位，三刀双掷开关合向右边 (Y) 接法。合上电源开关，逐渐调节调压器，使输出电压升高至电机额定电压 $U_N=220V$ ，断开电源开关，待电机停转。

b. 待电机完全停转后，合上电源开关，观察起动瞬间的电流，然后把 S 合向左边 (△

接法)，电机进入正常运行，整个起动过程结束，观察起动瞬间电流表的显示值以与其它起动方法作定性比较。

3. 自耦变压器降压启动

按图 3-5 接线。电机绕组为 Δ 接法。

a. 先把调压器退到零位，合上电源开关，调节调压器旋钮，使输出电压达 110 伏，断开电源开关，待电机停转。

b. 待电机完全停转后，再合上电源开关，使电机就自耦变压器，降压启动，观察电流表的瞬间读数，经一定时间后，调节调压器使输出电压达电机额定电压 $U_N=220$ 伏，整个起动过程结束。

4. 绕线式异步电动机转子绕组串入可变电阻器启动。

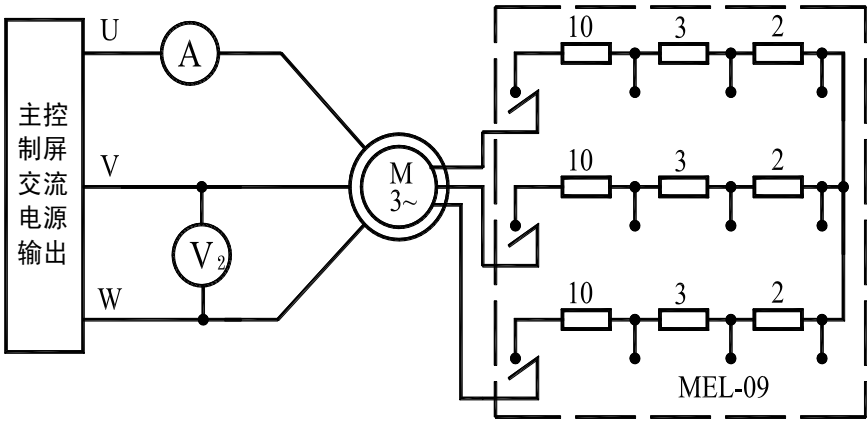


图3-7 绕线式异步电机转子绕组串电阻启动实验接线图

实验线路如图 3-7，电机定子绕组 Y 形接法。转子串入的电阻由刷形开关来调节，调节电阻采用 MEL-09 的绕线电机启动电阻（分 0，2，5，15， ∞ 五档），MEL-13 中“转矩控制”和“转速控制”开关扳向“转速控制”，“转速设定”电位器旋钮顺时针调节到底。

- 起动电源前，把调压器退至零位，起动电阻调节为零。
- 合上交流电源，调节交流电源使电机起动。注意电机转向是否符合要求。
- 在定子电压为 180 伏时，逆时针调节“转速设定”电位器到底，绕线式电机转动缓慢（只有几十转），读取此时的转矩值 I_{st} 和 I_{st} 。
- 用刷形开关切换启动电阻，分别读出启动电阻为 2Ω 、 5Ω 、 15Ω 的启动转矩 T_{st}

和起动电流 I_{st} ，填入表 3-9 中。

注意：试验时通电时间不应超过 20 秒的以免绕组过热。

表 3-9		U=180 伏		
$R_{st} (\Omega)$	0	2	5	15
$T_{st} (N.m)$				
$I_{st} (A)$				

5. 绕线式异步电动机绕组串入可变电阻器调速。

实验线路同前。MEL-13 中“转矩控制”和“转速控制”选择开关扳向“转矩控制”，“转矩设定”电位器逆时针到底，“转速设定”电位器顺时针到底。MEL-09 “绕线电机起动电阻”调节到零。

- a. 合上电源开关，调节调压器输出电压至 $U_N=220$ 伏，使电机空载起动。
- b. 调节“转矩设定”电位器调节旋钮，使电动机输出功率接近额定功率并保持输出转矩 T_2 不变，改变转子附加电阻，分别测出对应的转速，记录于表 3-10 中。

表 3-10 中		U=220 伏		$T_2=$	N.m
$R_{st} (\Omega)$	0	2	5		15
n (r/min)					

六. 实验报告

- 1. 比较异步电动机不同起动方法的优缺点。
- 2. 由起动试验数据求下述三种情况下的起动电流和起动转矩：
 - (1) 外施额定电压 U_N 。（直接法起动）
 - (2) 外施电压为 $U_N/\sqrt{3}$ 。（Y— Δ 起动）
 - (3) 外施电压为 U_k/K_A ，式中 K_A 为起动用自耦变压器的变比。（自耦变压器起动）。
- 3. 绕线式异步电动机转子绕组串入电阻对起动电流和起动转矩的影响。
- 4. 绕线式异步电动机转子绕组串入电阻对电机转速的影响。

七. 思考题

- 1. 起动电流和外施电压正比，起动转矩和外施电压的平方成正比在什么情况下才能成立？
- 2. 起动时的实际情况和上述假定是否相符，不相符的主要因素是什么？