

# 电机与拖动 实验指导书

电工电子实验教学中心

2018年8月

# 实验一 直流电机认识实验

## 一、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、熟悉他励电动机(即并励电动机按他励方式)的接线、起动、改变电机转向与调速的方法。

## 二、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、直流电动机起动时，为什么在电枢回路中需要串接起动变阻器？不串接会产生什么严重后果？
- 3、直流电动机起动时，励磁回路串接的磁场变阻器应调至什么位置？为什么？若励磁回路断开造成失磁时，会产生什么严重后果？
- 4、直流电动机调速及改变转向的方法。

## 三、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、直流他励电动机的起动、调速及改变转向。

## 四、实验方法

### 1、实验设备

导轨、测速发电机及转速表 (DD03)、校正直流测功机 (DJ23)、直流并励电动机 (DJ15)、直流数字电压、毫安、安培表 (D31)、三相可调电阻器 (D41)、三相可调电阻器 (D42)、可调电阻器、电容器 (D44)、波形测试及开关板 (D51)

### 2、控制屏上挂件排列顺序：D31、D42、D41、D51、D31、D44

### 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，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

如测量电动机两端为 220V 的直流电压，选用直流电压表为 1000V 量程档。

## (2) 电流量程的选择

因为直流并励电动机的额定电流为 1.2A，测量电枢电流的电表  $A_3$  可选用直流电流表的 5A 量程档；额定励磁电流小于 0.16A，电流表  $A_1$  选用 200mA 量程档。

## (3) 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  $R_1$  可选用 D44 挂件的 1.3A 的  $90\Omega$  与  $90\Omega$  串联电阻，磁场回路  $R_{f1}$  可选用 D44 挂件的 0.41A 的  $900\Omega$  与  $900\Omega$  串联电阻。

## 4、直流他励电动机的起动准备

按图 1-1 接线。图中直流他励电动机 M 用 DJ15，其额定功率  $P_N=185W$ ，额定电压  $U_N=220V$ ，额定电流  $I_N=1.2A$ ，额定转速  $n_N=1600r/min$ ，额定励磁电流  $I_{fN}<0.16A$ 。校正直流测功机 MG 作为测功机使用，TG 为测速发电机。直流电流表选用 D31。 $R_{f1}$  用 D44 的  $1800\Omega$  阻值作为直流他励电动机励磁回路串接的电阻。 $R_{f2}$  选用 D42 的  $1800\Omega$  阻值的变阻器。作为 MG 励磁回路串接的电阻。 $R_1$  选用 D44 的  $180\Omega$  阻值作为直流他励电动机的起动电阻， $R_2$  选用 D41 的  $90\Omega$  电阻 6 只串联和 D42 的  $900\Omega$  与  $900\Omega$  并联电阻相串联作为 MG 的负载电阻。接好线后，检查 M、MG 及 TG 之间是否用联轴器直接联接好。

## 6、他励直流电动机起动步骤

(1) 检查按图 1-1 的接线是否正确，电表的极性、量程选择是否正确，电动机励磁回路接线是否牢靠。然后，将电动机电枢串联起动电阻  $R_1$ 、测功机 MG 的负载电阻  $R_2$ 、及 MG 的磁场回路电阻  $R_{f2}$  调到阻值最大位置，M 的磁场调节电阻  $R_{f1}$  调到最小位置，断开开关 S，并断开控制屏下方右边的电枢电源开关，作好起动准备。

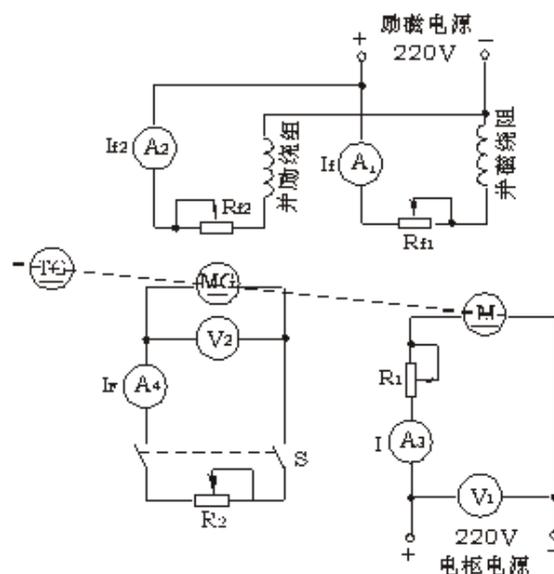


图 1-1 直流他励电动机接线图

(2) 开启控制屏上的电源总开关，按下其上方的“开”按钮，接通其下方左边的励磁电源开关，观察  $M$  及  $MG$  的励磁电流值，调节  $R_{f2}$  使  $I_{f2}$  等于校正值（100mA）并保持不变，再接通控制屏右下方的电枢电源开关，使  $M$  起动。

(3) 调节控制屏上电枢电源‘电压调节’旋钮，使电动机端电压为 220 伏。减小起动电阻  $R_1$  阻值，直至短接。

(4) 合上校正直流测功机  $MG$  的负载开关  $S$ ，调节  $R_2$  阻值，使  $MG$  的负载电流  $I_F$  改变，即直流电动机  $M$  的输出转矩  $T_2$  改变（按不同的  $I_F$  值，查对应于  $I_{f2}=100mA$  时的校正曲线  $T_2=f(I_F)$ ，可得到  $M$  不同的输出转矩  $T_2$  值）。

(5) 调节他励电动机的转速：分别改变串入电动机  $M$  电枢回路的调节电阻  $R_1$  和励磁回路的调节电阻  $R_{f1}$ ，观察转速变化情况。

(6) 改变电动机的转向

将电枢串联起动变阻器  $R_1$  的阻值调回到最大值，先切断控制屏上的电枢电源开关，然后切断控制屏上的励磁电源开关，使他励电动机停机。在断电情况下，将电枢（或励磁绕组）的两端接线对调后，再按他励电动机的起动步骤起动电动机，并观察电动机的转向及转速表示数的正负。

## 五、注意事项

1、直流他励电动机起动时，须将励磁回路串联的电阻  $R_{f1}$  调至最小，先接通励磁电源，使励磁电流最大，同时必须将电枢串联起动电阻  $R_1$  调至最大，然后方可接通电枢电源。使电动机正常起动。起动后，将起动电阻  $R_1$  调至零，使电机正常工作。

2、直流他励电动机停机时，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起动电阻  $R_1$  调回到最大值，励磁回路串联的电阻  $R_{f1}$  调回到最小值。给下次起动作好准备。

3、测量前注意仪表的量程、极性及其接法，是否符合要求。

4、若要测量电动机的转矩  $T_2$ ，必须将校正直流测功机  $MG$  的励磁电流调整到校正值：100mA，以便从校正曲线中查出电动机  $M$  的输出转矩。

## 六、实验报告

1、画出直流他励电动机电枢串电阻起动的接线图。说明电动机起动时，起动电阻  $R_1$  和磁场调节电阻  $R_{f1}$  应调到什么位置？为什么？

2、在电动机轻载及额定负载时，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直流电动机的转向？

4、为什么要求直流他励电动机磁场回路的接线要牢靠？起动时电枢回路必须串联起动变阻器？

5、如何估算电枢电阻的阻值？

## 实验二 直流发电机实验

### 一、实验目的

- 1、掌握用实验方法测定直流发电机的各种运行特性，并根据所测得的运行特性评定该被试电机的有关性能。
- 2、通过实验观察并励发电机的自励过程和自励条件。

### 二、预习要点

- 1、什么是发电机的运行特性？在求取直流发电机的特性曲线时，哪些物理量应保持不变，哪些物理量应测取。
- 2、做空载特性实验时，励磁电流为什么必须保持单方向调节？
- 3、并励发电机的自励条件有哪些？当发电机不能自励时应如何处理？

### 三、实验项目

#### 1、他励发电机实验

- (1) 测空载特性 保持  $n=n_N$  使  $I_L=0$ ，测取  $U_0=f(I_f)$ 。
- (2) 测外特性 保持  $n=n_N$  使  $I_f=I_{fN}$ ，测取  $U=f(I_L)$ 。
- (3) 测调节特性 保持  $n=n_N$  使  $U=U_N$ ，测取  $I_f=f(I_L)$ 。

#### 2、观察并励发电机自励过程

### 四、实验方法

#### 1、实验设备

导轨、测速发电机及转速表 (DD03)、校正直流测功机 (DJ23)、直流复励发电机 (DJ13)、直流电压、毫安、安培表 (D31)、可调电阻器、电容器 (D44)、波形测试及开关板 (D51)、三相可调电阻器 (D42)

#### 2、屏上挂件排列顺序：D31、D44、D31、D42、D51

3、按图 2-1 接线。图中直流发电机 G 选用 DJ13，其额定值  $P_N=100W$ ， $U_N=200V$ ， $I_N=0.5A$ ， $n_N=1600r/min$ 。校正直流测功机 MG 作为 G 的原动机（按他励电动机接线）。MG、G 及 TG 由联轴器直接连接。开关 S 选用 D51 组件。 $R_{f1}$  选用 D44 的  $1800\Omega$  变阻器， $R_{f2}$  选用 D42 的  $900\Omega$  变阻器，并采用分压器接法。 $R_1$  选用 D44 的  $180\Omega$  变阻器。 $R_2$  为发电机的负载电阻选用 D42，采用串并联接法（ $900\Omega$  与  $900\Omega$  电阻串联加上  $900\Omega$  与  $900\Omega$  并联），阻值为  $2250\Omega$ 。当负载电流大于  $0.4 A$  时用并联部分，而将串联部分阻值调到最小并用导线短接。直流电流表、电压表选用 D31、并选择合适的量程。

(1) 测空载特性

1) 把发电机 G 的负载开关 S 打开，接通控制屏上的励磁电源开关，将  $R_{f2}$  调至使 G 励磁电压最小的位置。

2) 使 MG 电枢串联起动电阻  $R_{11}$  阻值最大， $R_{f1}$  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，起动直流电动机 MG，其旋转方向应符合正向旋转的要求。

3) 电动机 MG 起动正常运转后，将 MG 电枢串联电阻  $R_{11}$  调至最小值，将 MG 的电枢电源电压调为 220V，调节电动机磁场调节电阻  $R_{f1}$ ，使发电机转速达额定值，并在以后整个实验过程中始终保持此额定转速不变。

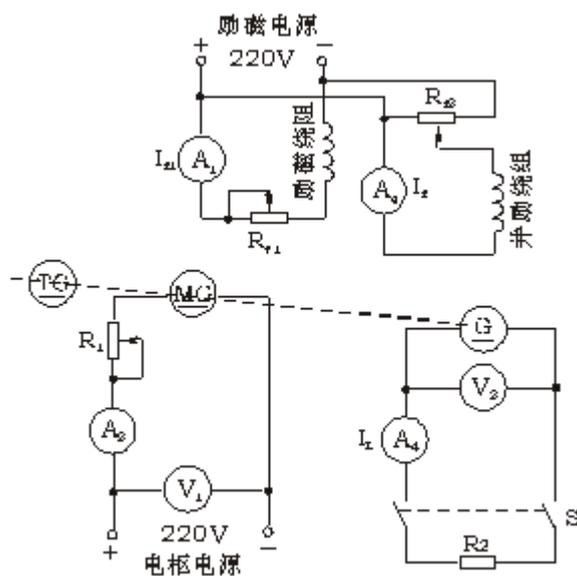


图 2-1 直流他励发电机接线图

4) 调节发电机励磁分压电阻  $R_{f2}$ ，使发电机空载电压达  $U_0=1.2U_N$  为止。

5) 在保持  $n=n_N=1600r/min$  条件下，从  $U_0=1.2U_N$  开始，单方向调节分压器电阻  $R_{f2}$  使发电机励磁电流逐次减小，每次测取发电机的空载电压  $U_0$  和励磁电流  $I_f$ ，直至  $I_f=0$  (此时测得的电压即为电机的剩磁电压)。

6) 测取数据时  $U_0=U_N$  和  $I_f=0$  两点必测，并在  $U_0=U_N$  附近测点应较密。

7) 共测取 7~8 组数据，记录于表 2-1 中。

表 2-1  $n=n_N=1600r/min$   $I_L=0$

$U_0$ (V)								
$I_f$ (mA)								

(2) 测外特性

1) 把发电机负载电阻  $R_2$  调到最大值，合上负载开关 S。

2) 同时调节电动机的磁场调节电阻  $R_{f1}$ ，发电机的分压电阻  $R_{f2}$  和负载电阻  $R_2$  使发电机的  $I_L = I_N$ ， $U = U_N$ ， $n = n_N$ ，该点为发电机的额定运行点，其励磁电流称为额定励磁电流  $I_{fN}$ ，记录该组数据。

3) 在保持  $n = n_N$  和  $I_f = I_{fN}$  不变的条件下，逐次增加负载电阻  $R_2$ ，即减小发电机负载电流  $I_L$ ，从额定负载到空载运行点范围内，每次测取发电机的电压  $U$  和电流  $I_L$ ，直到空载（断开开关  $S$ ，此时  $I_L = 0$ ），共取 6-7 组数据，记录于表 2-2 中。

表 2-2  $n = n_N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ r/min}$   $I_f = I_{fN} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$

U (V)							
$I_L$ (A)							

### (3) 测调整特性

1) 调节发电机的分压电阻  $R_{f2}$ ，保持  $n = n_N$ ，使发电机空载达额定电压。

2) 在保持发电机  $n = n_N$  条件下，合上负载开关  $S$ ，调节负载电阻  $R_2$ ，逐次增加发电机输出电流  $I_L$ ，同时相应调节发电机励磁电流  $I_f$ ，使发电机端电压保持额定值  $U = U_N$ 。

3) 从发电机的空载至额定负载范围内每次测取发电机的输出电流  $I_L$  和励磁电流  $I_f$ ，共取 5-6 组数据记录于表 2-3 中。

表 2-3  $n = n_N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ r/min}$   $U = U_N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

$I_L$ (A)							
$I_f$ (mA)							

### 4、观察并励发电机自励过程

1) 在断电的条件下将发电机  $G$  的励磁方式从他励改为并励，接线如图 2-2 所示。 $R_{f2}$  选用 **D42** 的  $900\Omega$  电阻两只相串联并调至最大阻值，打开开关  $S$ 。

2) 起动电动机，调节电动机的转速，使发电机的转速  $n = n_N$ ，用直流电压表量发电机是否有剩磁电压，若无剩磁电压，可将并励绕组改接成他励方式进行充磁。

3) 合上开关  $S$  逐渐减小  $R_{f2}$ ，观察发电机电枢两端的电压，若电压逐渐上升，说明满足自励条件。如果不能自励建压，将励磁回路的两个端头对调联接即可。

4) 对应着一定的励磁电阻，逐步降低发电机转速，使发电机电压随之下降，直至电压不能建立，此时的转速即为临界转速。

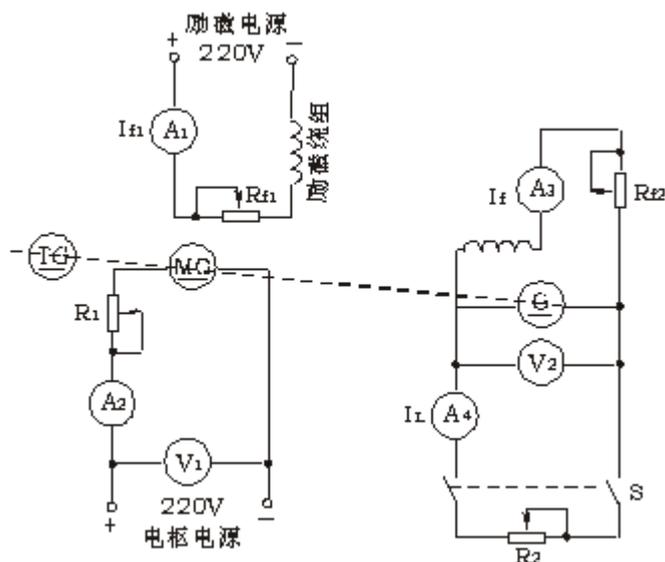


图 2-2 直流并励发电机接线图

## 五、注意事项

1、直流电动机 MG 起动时，要注意须将  $R_1$  调到最大， $R_{f1}$  调到最小，先接通励磁电源，观察到励磁电流  $I_{f1}$  为最大后，接通电枢电源，MG 起动运转。起动完毕，应将  $R_1$  调到最小。

2、做外特性时，当电流超过 0.4A 时， $R_2$  中串联的电阻调至零并用导线短接，以免电流过大引起变阻器损坏。

## 六、实验报告

1、根据空载实验数据，作出空载特性曲线，由空载特性曲线计算出被试电机的饱和系数和剩磁电压的百分数。

2、绘出他励发电机的外特性曲线。算出电压变化率： $\Delta U\% = \frac{U_0 - U_N}{U_N} 100\%$ 。

3、绘出他励发电机调整特性曲线，分析在发电机转速不变的条件下，为什么负载增加时，要保持端电压不变，必须增加励磁电流的原因。

## 七、思考题

1、并励发电机不能建立电压有哪些原因？

2、在发电机—电动机组成的机组中，当发电机负载增加时，为什么机组的转速会降低？为了保持发电机的转速  $n=n_N$ ，应如何调节？

## 实验三 直流伺服电动机稳态特性实验

伺服电动机在自动控制系统中作为执行元件又称为执行电动机,它把输入的控制电压信号变为输出的机械转矩或角速度。它的运行状态由控制信号控制,加上控制信号它应当立即旋转,去掉控制电压它应当立即停转,转速高低与控制信号成正比。

### 一、实验目的

- 1、通过实验测出直流伺服电动机的参数  $r_a$ 、 $C_e$ 、 $C_T$ 。
- 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。

### 二、预习要点

分析掌握直流伺服电动机的运行原理。

### 三、实验项目

- 1、测直流伺服电动机的机械特性  $T=f(n)$ 。
- 2、测直流伺服电动机的调节特性  $n=f(U_a)$ 。

### 四、实验方法

#### 1、实验设备

导轨、测速发电机及转速表 (DD03)、直流并励电动机(DJ15)、校正直流测功机 (DJ23)、直流电压、毫安、安培表 (D31)、三相可调电阻器 (D41)、三相可调电阻器 (D42)、可调电阻器、电容器 (D44)、波形测试及开关板 (D51)

#### 2、屏上挂件排列顺序: D31、D42、D51、D31、D42

#### 3、测取直流伺服电动机的机械特性

(1) 按图 3-1 接线,图中  $R_{f1}$ 、 $R_{f2}$  选用 D42 上 1800 $\Omega$  阻值,  $R_1$  选用 D41 上 6 只 90 $\Omega$  串联共 540 $\Omega$  阻值,  $R_2$  选用 D44 上 180 $\Omega$  阻值采用分压器接法,  $R_L$  选用 D42 上 1800 $\Omega$  加上 900 $\Omega$  并联 900 $\Omega$  共 2250 $\Omega$  阻值, 开关  $S_1$ 、 $S_2$  选用 D51,  $A_1$ 、 $A_3$  选用两只 D31 上 200mA 档,  $A_2$ 、 $A_4$  选用 D31 上安培表。

(2) 把  $R_{f1}$  调至最小,  $R_1$ 、 $R_L$  调至最大,  $R_2$  拨到最左侧, 开关  $S_1$ 、 $S_2$  打开, 首先接通励磁电源, 然后再接通电枢电源并调至 220V, 起动电机 DJ15, 起动完成后把  $R_1$  调至最小。

(3) 合上开关  $S_1$ , 调节校正直流测功机 DJ23 励磁电流  $I_{f2}=100\text{mA}$  校正值不变。逐渐减小  $R_L$  阻值(注: 先调 1800 $\Omega$  阻值, 调到最小后用导线短接, 再调节 450 $\Omega$  的电阻部分),

并增大  $R_{f1}$  阻值, 使电动机 DJ15 达到额定状态, 即同时满足  $n=n_N=1600\text{r/min}$ ,  $I_a=I_N=1.2\text{A}$ ,  $U=U_N=220\text{V}$ , 此时电动机的励磁电流即为额定励磁电流。

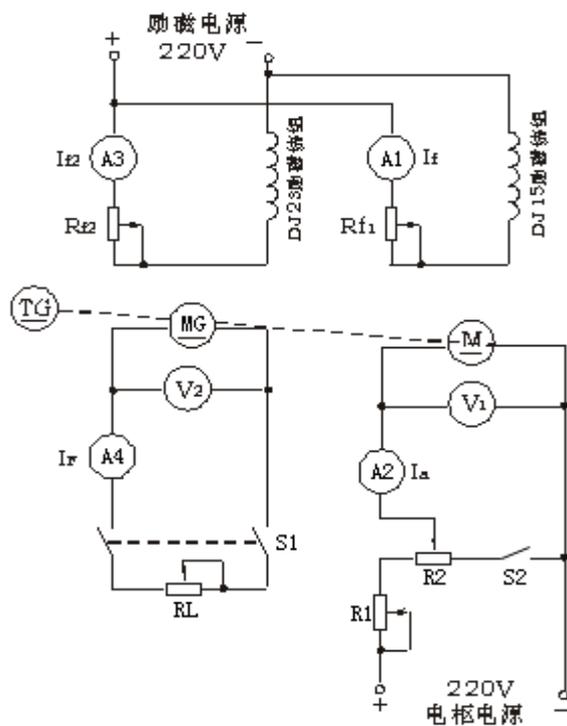


图 3-1 直流伺服电动机接线图

(4) 保持此额定励磁电流不变, 逐渐增加  $R_L$  阻值, 从额定负载到空载(断开开关  $S_1$ ), 测取其机械特性  $n=f(T)$ , 记录  $n$ 、 $I_a$ 、 $I_F$  共 7~8 组于表 3-1 中。

表 3-1  $U=U_N=220\text{V}$   $I_{f2}=\underline{\hspace{2cm}}\text{mA}$   $I_f=I_{fN}=\underline{\hspace{2cm}}\text{mA}$

$n(\text{r/min})$								
$I_a(\text{A})$								
$I_F(\text{A})$								
$T(\text{N.m})$								

(5) 调节电枢电压为  $U=160\text{V}$ , 调节  $R_{f1}$ , 保持电动机励磁电流的额定电流  $I_f=I_{fN}$ , 减小  $R_L$  阻值, 使  $I_a=1.2\text{A}$ , 再增大  $R_L$  阻值, 一直到空载, 其间记录 7~8 组于表 3-2 中。

表 3-2  $U=160\text{V}$   $I_{f2}=\underline{\hspace{2cm}}\text{mA}$   $I_f=I_{fN}=\underline{\hspace{2cm}}\text{mA}$

$n(\text{r/min})$								
$I_a(\text{A})$								
$I_F(\text{A})$								
$T(\text{N.m})$								

(6) 调节电枢电压为  $U=110\text{V}$ , 保持  $I_f=I_{fN}$  不变, 减小  $R_L$  阻值, 使  $I_a=1.2\text{A}$ , 再增大

$R_L$  阻值，一直到空载，其间记录 7~8 组于表 3-3 中。

表 3-3  $U=110V$   $I_{f2}=\underline{\hspace{2cm}}mA$   $I_f=I_{fN}=\underline{\hspace{2cm}}mA$

n(r/min)								
$I_a(A)$								
$I_F(A)$								
T(N.m)								

#### 4、测取直流伺服电动机的调节特性

(1) 按 3 中 (1)、(2)、(3) 步骤起动电动机，保持  $I_f=I_{fN}$ 、 $I_{f2}=100mA$  不变。调节  $R_L$  使电动机输出转矩为额定输出转矩时的  $I_F$  值并保持不变，即保持校正直流电机输出电流为额定输出转矩时的电流值（额定输出转矩  $T_N = \frac{P_N}{0.105n_N}$ ），调节直流伺服电动机电

枢电压（注：单方向调节控制屏上旋钮）测取直流伺服电动机的调节特性  $n=f(U)$ ，直到  $n=200r/min$  左右，记录 7~8 组数据记录于表 3-4 中

表 3-4  $I_{f2}=\underline{\hspace{2cm}}mA$   $I_f=I_{fN}=\underline{\hspace{2cm}}mA$   $I_F=\underline{\hspace{2cm}}A$  ( $T=T_N$ )

$U_a(V)$								
n(r/min)								

(2) 保持电动机输出转矩  $T=0.5T_N$ ，重复以上实验，记录 7~8 组数据记录于表 3-5 中。

表 3-5  $I_{f2}=\underline{\hspace{2cm}}mA$   $I_f=I_{fN}=\underline{\hspace{2cm}}mA$   $I_F=\underline{\hspace{2cm}}A$  ( $T=0.5T_N$ )

$U_a(V)$								
n(r/min)								

(3) 保持电动机输出转矩  $T=0$ （即校正直流测功机与直流伺服电动机脱开，直流伺服电动机直接与测速发电机同轴联接），调节直流伺服电动机电枢电压。当电枢电压调至最小后合上开关  $S_2$ ，减小分压电阻  $R_2$ ，直至  $n=0r/min$ ，其间取 7~8 组数据记录于表 3-6 中。

表 3-6  $I_f=I_{fN}=\underline{\hspace{2cm}}mA$   $T=0$

$U_a(V)$								
n(r/min)								

## 五、实验报告

1、由实验数据求得电机参数： $R_{ref}$ 、 $C_e$ 、 $CK_T$

$R_{\text{arct}}$ ——直流伺服电动机的电枢电阻

$$C_e = \frac{U_{aN}}{n_0} \text{——电势常数}$$

$$C_T = \frac{30}{\pi} C_e \text{——转矩常数}$$

2、由实验数据作出直流伺服电动机的三条机械特性和三条调节特性曲线。

## 六、思考题

1、转矩常数  $K_T$  的计算现采用  $C_T = \frac{30}{\pi} C_e$ ，而没有采用公式  $C_T = \frac{T_K \times R_a}{U_a}$  来求取，

这是为什么。用这两种方法所得之值是否相同，有差别时其原因是什么？

2、若直流伺服电动机正（反）转速有差别，试分析其原因？

## 实验四 单相变压器实验

### 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  $U_0 = f(I_0)$ 、 $P_0 = f(U_0)$ 、 $\cos \Phi_0 = f(U_0)$ 。
- 2、短路实验：测取短路特性  $U_K = f(I_K)$ 、 $P_K = f(I_K)$ 、 $\cos \Phi_K = f(I_K)$ 。
- 3、纯电阻负载实验：保持  $U_1 = U_N$ 、 $\cos \Phi_2 = 1$  的条件下，测取  $U_2 = f(I_2)$ 。

### 四、实验方法

#### 1、实验设备

交流电压表（D33）、交流电流表（D32）、单三相智能功率、功率因数表（D34-3）、三相组式变压器（DJ11）、三相可调电阻器（D42）、波形测试及开关板（D51）

#### 2、屏上排列顺序：D33、D32、D34-3、DJ11、D42、D43

#### 3、空载实验

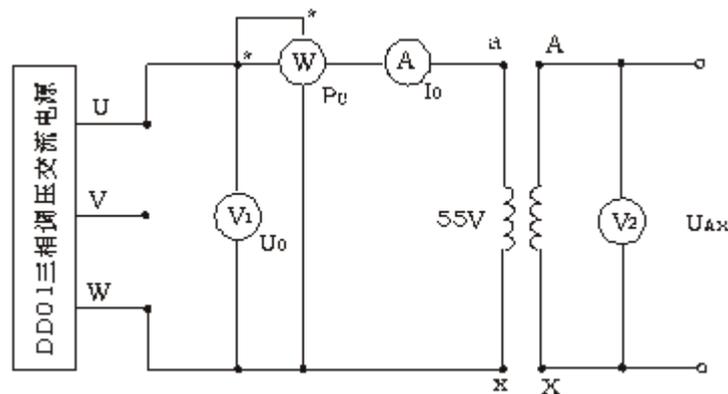


图 4-1 空载实验接线图

- 1) 在三相调压交流电源断电的条件下，按图 4-1 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  $P_N=77W$ ， $U_{1N}/U_{2N}=220/55V$ ， $I_{1N}/I_{2N}=0.35/1.4A$ 。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) 合上交流电源总开关，按下“开”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  $1.2\sim0.2U_N$  的范围内，测取变压器的  $U_0$ 、 $I_0$ 、 $P_0$ 。

4) 测取数据时， $U=U_N$  点必须测，并在该点附近测的点较密，共测取数据 7-8 组。按表 4-1 格式记录。

5) 为了计算变压器的变比，需在  $U_N$  以下测取原方电压的同时测出副方电压数据。

表 4-1

序号	实验数据				计算数据
	$U_0(V)$	$I_0(A)$	$P_0(W)$	$U_{AX}(V)$	$\cos\phi_0$

#### 4、短路实验

1) 按下控制屏上的“关”按钮，切断三相调压交流电源，按图 4-2 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。

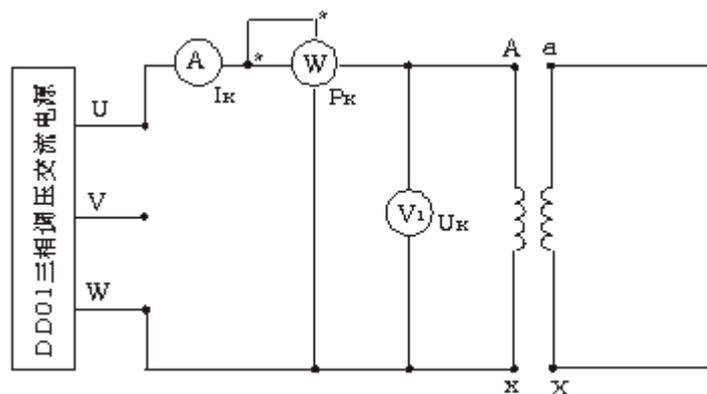


图 4-2 短路实验接线图

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) 接通交流电源，逐次缓慢增加输入电压，直到短路电流等于  $1.1I_N$  为止，在  $(0.2\sim1.1)I_N$  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 6-7 组，按表 4-2 格式记录。实验时记下周围环境温度。

表 4-2                      室温\_\_\_\_\_ °C

序号	实验数据			计算数据
	$U_K$ (V)	$I_K$ (A)	$P_K$ (W)	$\cos\phi_K$

### 5、负载实验

实验线路如图 4-3 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 D42 上  $900\Omega$  加上  $900\Omega$  共  $1800\Omega$  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

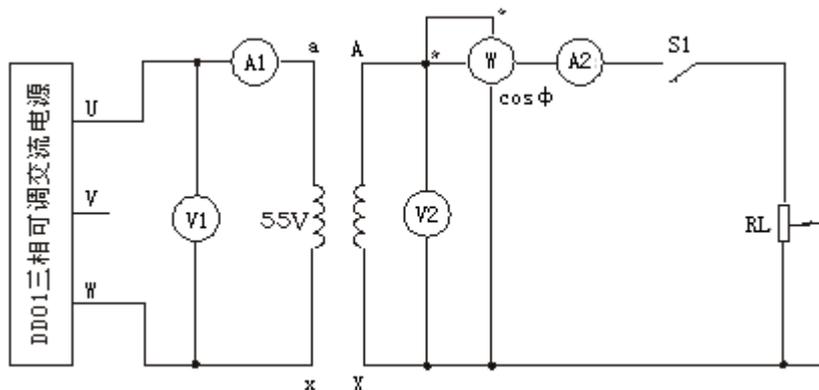


图 4-3 纯电阻负载实验接线图

- 1) 将调压器旋钮调到输出电压为零的位置， $S_1$  打开，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 6-7 组，按表 4-3 格式记录。

表 4-3  $\cos\phi_2=1$   $U_1=U_N=$ \_\_\_\_\_V

序号	1	2	3	4	5	6	7
$U_2$ (V)							
$I_2$ (A)							

### 五、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，否则线圈发热引起电阻变化。

### 六、实验报告

#### 1、计算变比

由空载实验测变压器的原副方电压的数据，分别计算出变比，然后取其平均值作为变

变压器的变比  $K$ 。

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:  $\cos\Phi_0 = P_0/U_0I_0$

(2) 计算激磁参数。

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。

4、利用实验测定的参数, 画出该变压器折算到低压方的“T”型等效电路。

5、绘出  $\cos\varphi_2=1$  时的外特性曲线  $U_2=f(I_2)$ 。

## 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、异步电动机有哪些起动方法和起动技术指标。
- 2、异步电动机的调速方法。

### 三、实验项目

- 1、直接起动
- 2、星形——三角形(Y- $\Delta$ )换接起动。
- 3、自耦变压器起动。
- 4、线绕式异步电动机转子绕组串入可变电阻器起动。
- 5、线绕式异步电动机转子绕组串入可变电阻器调速。

### 四、实验方法

#### 1、实验设备

导轨、测速发电机及转速表 (DD03)、三相鼠笼异步电动机 (DJ16)、三相线绕式异步电动机 (DJ17)、校正过的直流电机 (DJ23)、直流电压、毫安、安培表 (D31)、交流电流表 (D32)、交流电压表 (D33)、波形测试及开关板 (D51)、起动与调速电阻箱 (DJ17-1)

#### 2、屏上挂件排列顺序：D33、D32、D51、D31

#### 3、三相鼠笼式异步电机直接起动试验

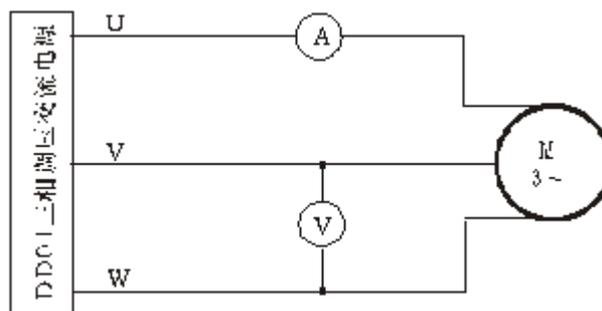


图 5-1 异步电动机直接起动

1) 按图 5-1 接线。电机绕组为  $\Delta$  接法。异步电动机直接与测速发电机同轴联接，不联接负载电机 DJ23。

2) 把交流调压器退到零位，开启电源总开关，按下“开”按钮，接通三相交流电源。

3) 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，(如电机旋转方向不符合要求需调整相序时，必须按下“关”按钮，切断三相交流电源)。

4)再按下“关”按钮，断开三相交流电源，待电动机停止旋转后，按下“开”按钮，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(按指针式电流表偏转的最大位置所对应的读数值定性计量)。

#### 4、星形——三角形(Y- $\Delta$ )起动

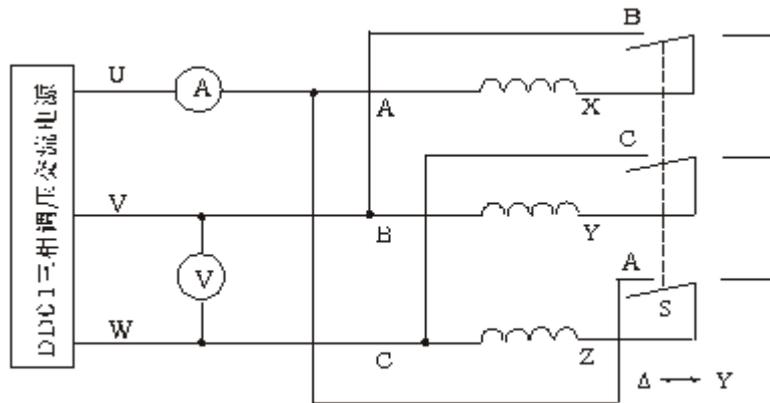


图 5-2 三相鼠笼式异步电机星形——三角形起动

1) 按图 5-2 接线。线接好后把调压器退到零位。

2) 三刀双掷开关合向右边(Y 接法)。合上电源开关，逐渐调节调压器使升压至电机额定电压 220 伏，打开电源开关，待电机停转。

3) 合上电源开关，观察起动瞬间电流，然后把 S 合向左边，使电机( $\Delta$ )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。

#### 5、自耦变压器起动。

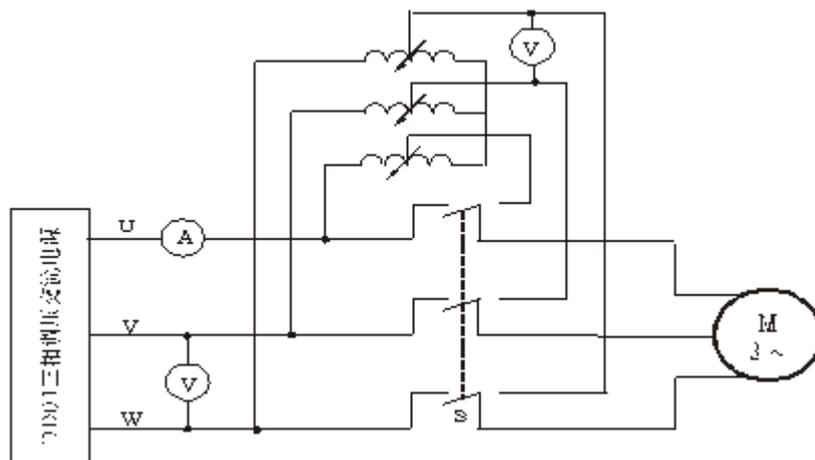


图 5-3 三相鼠笼式异步电动机自耦变压器法起动

1) 理论上应按图 5-3 接线。电机绕组为  $\Delta$  接法。

2) 由于三相调压器本身就是一个自耦变压器，故调压器电压由零位逐渐升至电机额定电压的过程就是电机由自耦变压器降压起动的过程。

3) 观察起动瞬间电流以作定性的比较。

6、线绕式异步电动机转子绕组串入可变电阻器起动

### 电机定子绕组 Y 形接法

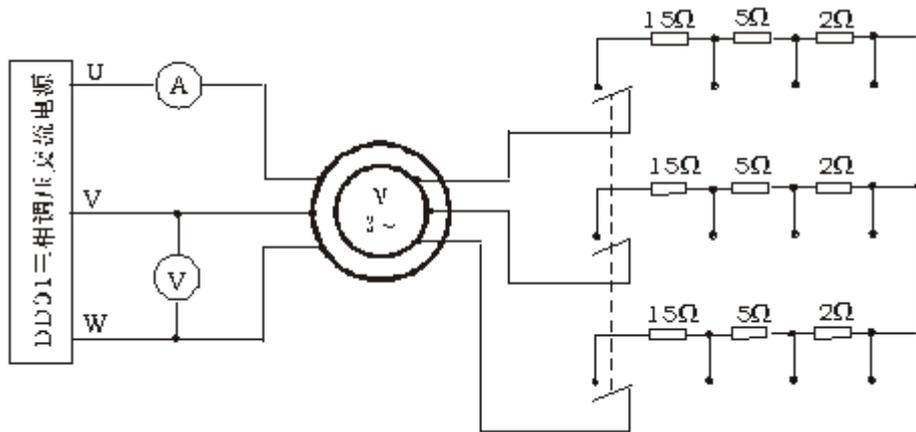


图 5-4 线绕式异步电机转子绕组串电阻起动

1) 按图 5-4 接线。

2) 转子每相串入的电阻可用 **DJ17-1** 起动与调速电阻箱。

3) 接通交流电源，调节输出电压(观察电机转向应符合要求)，在定子电压为 180 伏，转子绕组分别串入不同电阻值。

4) 试验时通电时间不应超过 10 秒以免绕组过热。数据记入表 5-1 中。

表 5-1

$R_{st}(\Omega)$	0	2	5	15
$I_{st}(A)$				

7、线绕式异步电动机转子绕组串入可变电阻器调速

1) 实验线路图同图 5-4。同轴联接校正直流电机 **MG** 作为线绕式异步电动机 **M** 的负载，**MG** 的实验电路参考图 3-1 左接线。电路接好后，将 **M** 的转子附加电阻调至最大。

2) 合上电源开关，电机空载起动，保持调压器的输出电压为电机额定电压 220 伏，转子附加电阻调至零。

3) 调节校正电机的励磁电流  $I_f$  为校正值(100mA)，再调节直流发电机负载电流，使电动机输出功率接近额定功率并保持这输出转矩  $T_2$  不变，改变转子附加电阻(每相附加电阻分别为 0Ω、2Ω、5Ω、15Ω)，测相应的转速记录于表 5-2 中。

表 5-2  $U=220V$   $I_f=$ \_\_\_\_\_mA  $T_2=$ \_\_\_\_\_N m

$r_{st}(\Omega)$	0	2	5	15
$n(r/min)$				

## 五、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- $\Delta$  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、线绕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、线绕式异步电动机转子绕组串入电阻对电机转速的影响。

## 六、思考题

- 1、起动电流和外施电压成正比，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？

附录:

实验中所用电机铭牌数据一览表

编号	名称	$P_N$ (W)	$U_N$ (V)	$I_N$ (A)	$n_N$ (r/min)	$U_{FN}(V)$	$I_{FN}$ (A)	绝缘等级	备注
DJ11	三相组式变压器	230/230	380/95	0.35/1.4					Y/Y
DJ12	三相芯式变压器	152/152/152	220/63.6/55	0.4/1.38/1.6					Y/ $\Delta$ /Y
DJ13	直流复励发电机	100	200	0.5	1600			E	
DJ15	直流并励(激)电动机	185	220	1.2	1600	220	<0.16	E	
DJ16	三相鼠笼式异步电动机	100	220( $\Delta$ )	0.5	1420			E	
DJ17	三相线绕式电机	120	220(Y)	0.6	1380			E	
DJ18	同步发电机	170	220(Y)	0.45	1500	14	1.2	E	
DJ23	校正过的直流电机	355	220	2.2	1500	220	<0.16	E	

## DDSZ-1 型电机及电气技术实验装置交流及直流电源操作说明

实验中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为：

1) 开启电源前。要检查控制屏下面“直流电机电源”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 0-450V（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。

### ■ 开启直流电机电源的操作：

1) 直流电源是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“开”按钮。

2) 在此之后，接通“励磁电源”开关，可获得约为 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 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 240V 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 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。若在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。

# 实验的基本要求和安全操作规程

## 实验的基本要求

实验课的目的旨在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。

### 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作好了实验前的准备,方可开始作实验。

认真作好实验前的准备工作,对于培养同学独立工作能力,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,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,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、起动电机,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,然后按一定规范起动电机,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作到心中有数。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) 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。

