

电机与拖动实验指导书

闫章修编

电工电子实验中心

电机与拖动实验实验守则

- 1、对来实验室做实验的人员必须进行安全教育及爱护国家财产的教育。
- 2、学生做实验时，在接好线路及改接线路之后，都必须经指导教师检查同意后方能接通电源。
- 3、严禁带电拆线、接线或接触带电线路的裸露部分。实验时注意衣服、围巾、发辫及实验用的导线等物，以免卷入电机的旋转部分。
- 4、实验室内禁止吸烟、打闹、大声喧哗、随地吐痰或吃东西。
- 5、要正确使用仪器设备。未经许可，各种仪器设备不许过载运行或做其他非正常运行。非本实验所用的仪器设备，一律不得动用。
- 6、禁止蹬、坐在各种仪器设备及实验桌上。
- 7、若发生事故，不要惊慌，必须立即切断电源，要保持现场并报告老师，以便查明情况，酌情处理。
- 8、因违章操作造成各种损失时，事故责任者负责赔偿。
- 9、实验完毕应将所用仪器放回原处，各种导线分类放好，经教师验收后方可离去。

目 录

- 实验一 直流发电机
- 实验二 并励直流电动机的工作特性与调速性能的测定
- 实验三 并励直流电动机机械特性的测定
- 实验四 单相变压器
- 实验五 三相变压器的极性和联接组的测定
- 实验六 异步电动机的参数测定
- 实验七 三相异步电动机的工作特性与机械特性的测定
- 实验八 三相同步发电机的并联运行

实验一 直流发电机

一、实验目的

(一) 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被测电机的有关性能。

(二) 掌握直流发电机的自励条件并观察自励过程。

二、预习要点

(一) 在求取直流发电机各种运行特性曲线时，应搞清楚必须保持哪些参数不变，读取哪些数据。

(二) 做空载特性时励磁电流为何不能忽大忽小，并须单方向调节？

(三) 并励直流发电机的自励条件有哪些？

三、实验内容

(一) 他励发电机

1、空载特性：保持 $n=n_N$, $I=0$, $U_o=f(I_f)$ 。

2、外特性：保持 $n=n_N$, $I_f=I_N$ 测取 $U=f(I)$ 。

3、调节特性：保持 $n=n_N$, $U=U_N$, 测取 $I_f=f(I)$ 。

(二) 并励发电机

1、自励过程

2、外特性：保持 $n=n_N$, $R_f=$ 常数，测取 $U=f(I)$

四、实验线路及操作步骤

(一) 他励发电机

1、空载特性

按图 1-1 接线，经检查无误后 (K_3 断开, R_f 最大)，合上电动机电源开关 K_1 ，观察 ZF 的转向是否与标致方向一致，若不一致，可改变交流电动机任两相的接线。然后闭合励磁回路的电源开关 K_2

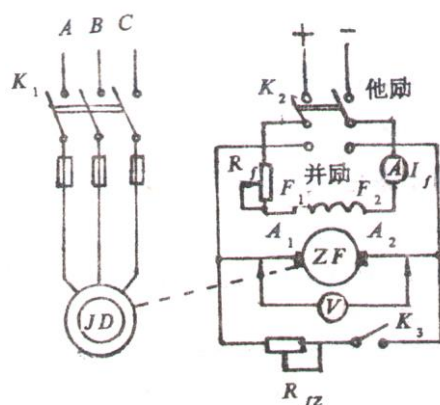


图 1-1 直流发电机接线图

(他励)。再减小 R_f , 使发电机空载电压 $U_0=1.2U_N$ 左右, 在保持发电机转速为额定值的条件下, 从 $U_0=1.2U_N$ 开始, 将发电机的励磁电流逐渐减小, 每次记下发电机空载电压 U_0 及励磁电流 I_f , 直到 $I_f=0$, 共读取 5~7 组数值, 记录于表 1-1 中, 当 $I_f=0$ 时测得的电压即为发电机的剩磁电压。注意, 减小 I_f 时只能单方向调节。

表 1-1 $n=n_N=$ 转/分

U_0 (伏)									
I_f (安)									

2. 外特性

将开关 K_2 倒向他励位置, 调节发电机的励磁电流, 使发电机的输出电压在额定电压左右, 将发电机负载电阻 R_{fz} 调到最大位置 (即灯泡全不亮), 合上 K_3 , 逐步减小负载电阻 (增加灯泡数量), 使发电机负载电流增加, 同时调节电压及转速, 使三者均达到额定值, 即 $I=I_N$, $U=U_N$, $n=n_N$, 该点为发电机的额定运行点, 此时的励磁电流 $I_f=I_{fN}$ 为额定励磁电流, 记下该组数据。然后保持 $I_f=I_{fN}$ 及 $n=n_N$ 不变, 逐次增加负载电阻 (逐次关掉灯泡), 即减小发电机的负载电流 I , 每次记下发电机输出电流 I 和输出电压 U , 直到空载 (灯泡全关掉)。共读取 5~7 组数据, 记录于表 1-2 中。

表 1-2 $n=n_N=$ 转/分 $I_f=I_{fN}=$ 安

U (伏)									
I (安)									

3、调节特性:

调节发电机励磁电流 I_f , 使发电机空载时达到额定电压, 在保持 $n=n_N$ 的条件下, 逐渐增加发电机的输出电流 I (即增加灯泡数)。当电流 I 增加后, 相应调节励磁电流 I_f , 使端电压 U 仍保持额定值 $U=U_N$, 直到 $I=I_N$ 为止。每次读下负载电流 I 及励磁电流 I_f , 共读取 5~7 组数据, 记录于表 1-3 中。

表 1-3 $n=n_N=$ 转/分 $U=U_N=$ 伏

I (安)									
I_f (安)									

(二) 并励发电机

1、观察自励过程

(1) 检查剩磁：并励发电机是依靠电机内部剩磁自励而建立电压的，有无剩磁是能否自励的必要条件。步骤是先打开 K_2 、 K_3 合上 K_1 ，用电压表测量发电机是否有剩磁电压，如无剩磁电压，则将 K_2 倒向“他励”位置对电机充磁。

(2) 绕组连接：调节发电机励磁绕组串联电阻 R_f 到最大值，将 K_2 倒向“并励”位置，逐步减小 R_f ，观察电枢两端电压，如电压上升则说明发电机励磁绕组产生的磁通与剩磁方向相同。反之，如电压下降，则说明发电机励磁绕组产生的磁通与剩磁方向相反，应将开关 K_2 打开，调换发电机励磁绕组极性（注意，不可在 K_2 未打开就带电操作），或改变发电机旋转方向，但两者不能同时改变。

如果满足上述两个条件，当励磁回路总电阻小于临界电阻，并且电刷接触情况良好，就能够建立起稳定电压，对应着一定的励磁电阻，逐步降低转速，发电机电压随之下降，直至电压不能建立，此时转速即为临界转速。

2、外特性

将开关 K_3 打开，按照“他励”发电机类似的操作方法将发电机电压调到额定值左右，合上 K_3 逐步增大发电机负载（增加灯泡），使 $n=n_N, U=U_N, I=I_N$ ，保持此时的 R_f 及 $n=n_N$ 不变。逐次减小负载（减少灯泡数量），直到 $I=0$ ，每次记下负载电压 U 与电流 I ，共读取 5~7 组数据（包括空载时 U_0 ），记录于表 1-4 中。

表 1-4 $n=n_N$ 转/分 R_f =常数

U (伏)									
I (安)									

五、实验报告

1、根据空载实验数据，做出空载特性曲线。

2、在同一坐标上绘制出他励、并励发电机的外特性曲线，分别计算两种励磁方式时的电压变化率 $\Delta u = \frac{U_0 - U_N}{U_N} \times 100\%$ ，并讨论差异的原因。

3、绘出他励发电机的调节特性曲线，分析负载增加时，要保持端电压不变必须增加励磁的原因。

实验二 并励直流电动机的工作特性与调速性能的测定

一、实验目的

学习用实验方法求直流电动机的工作特性，并了解直流电动机的调速方法。

二、实验内容

1、在额定电压与额定励磁电流的条件下，测定直流电动机的工作特性。

*2、在负载基本不变的情况下，分别改变电枢回路电阻 R_2 和电枢电压 U 与励磁电流 I_f 的大小，测量直流电动机的转速。

三、实验线路及操作步骤

1、做电机的负载实验

(1) 按图 2-1 接好线后， R_{f1} 调到最小位置、 R_{f2} 调到最大位置、 $R_1=0$ ，合上电源开关 K_1 ，空载起动直流电动机 ZD。调节 R_{f1} ，使 $n=n_N$ ，调节 R_{f2} 使发电机建立正常电压，在保持电动机端电压 $U=U_N$ 及 $n=n_N$ 的条件下，逐步增加发电机负载电流，使电动机的负载增加，直到电动机输入电流达到额定电流为止，该点即为电动机的额定运行点（即 $U=U_N$ 、 $I=I_N$ 、 $n=n_N$ ），而此时的励磁电流即为电动机的额定励磁电流 $I_{f1}=I_{fN}$ 。

(2) 做直流电动机的负载实验，在 $U=U_N$ 、 $I_{f1}=I_{fN}$ 及 R_2 不变的条件下，逐步减小发电机输出电流（减小灯泡数量），直到 $I_f=0$ 为止，每次记下电动机的电枢电流 I_a 与转速 n ，共读取 5~7 组数据（包括额定点），记录于表 2-1 中

表 2-1 $U=U_N=$ 伏 $I_{f1}=I_{fN} =$ 安

I_a (安)									
n (转/分)									

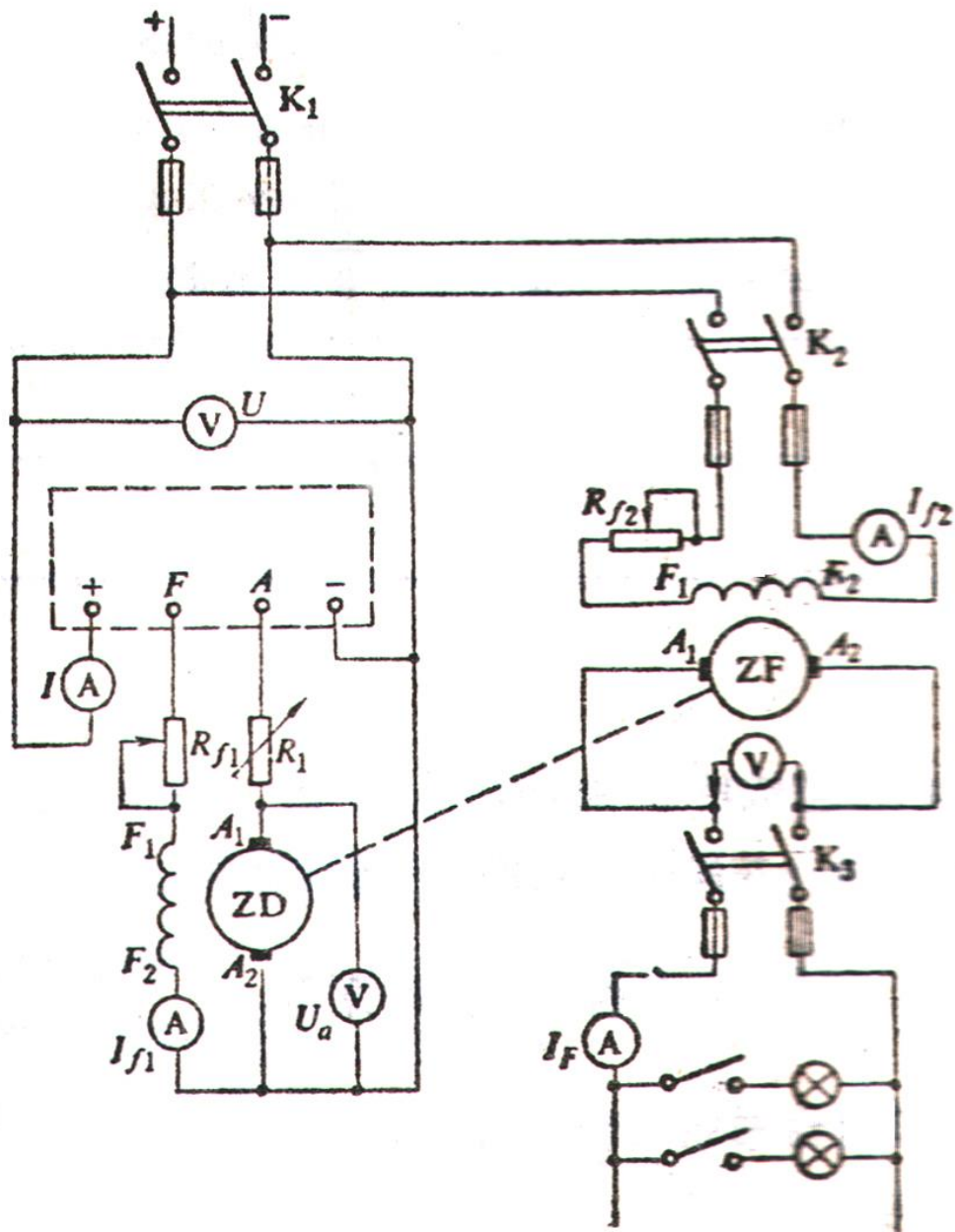


图2-1 并励电动机接线图

*2.改变电动机电枢回路电阻 R_1 的调速方法

实验线路如图 2-1 所示。

(1) 起动直流电动机。实验条件为 $U=U_N$, $I_{f1}=I_{fN}$, 在调速过程中电动机带一个恒转矩的负载。将电源电压和电动机的励磁电流均调到额定值。为使发电机等效于一个恒转矩负载, 设法在整个调速过程中保持发电机的励磁电流与电枢电流均不变, 具体操作如下: 合上 K_2 调节 R_{f2} 使发电机励

磁电流等于额定值，再合上 K_3 ，并调节发电机的负载电阻 R_2 （灯泡数量），选择发电机的负载电流为一恒定值（ $0.5I_N$ ）。

(2) 将电机电枢回路电阻 R_1 从零开始逐渐增大，当 R_1 变化时，转速会发生变化，使发电机的感应电势发生变化，所以这时必须调节一下 R_2 ，才能使 I_F 仍维持为原先的数值（ $0.5I_N$ ）。测量转速 n ，将所串电阻 R_1 与对应的转速 n 分别记录于表 2-2 中，测 5 组数据即可。

表 2-2

R_1 (欧)									
n (转/分)									

(由于转速变化时发电机的空载转矩不可能为一常数，所以电动机的负载严格说来还不是一个恒转矩负载)

*3 电动机改变电压的调速方法

实验电路参照图 2-1

(1) 空载起动直流电动机，实验条件保持为： $I_{f1}=I_{fN}$ ；电枢回路不串电阻，即 $R_1=0$ ；电动机带一个恒转矩负载，办法如上面所述。

(2) 调节电源电压。电压从额定值往下调节，测量电枢电压 U 及转速 n ，并将测量结果记录于表 2-3 中，测 5 组数据即可。

表 2-3

U (伏)									
n (转/分)									

*4 电动机改变励磁电流的调速方法

实验线路参照图 2-1

(1) 空载起动直流电动机，实验条件保持为： $U=U_N$ ； $R_1=0$ ；带恒定转矩负载，办法如前所述。

(2) 调节直流电动机的励磁电流 I_{f1} (调节 R_{f1})。当 R_{f1} 由小变大时， I_{f1} 有大变小，测量励磁电流与对应的转速，将测量结果记录于表 2-4 中，测 5 组数据即可。注意电机最高转速不要超过 $1.2n_N$ 。

表 2-4

I_{f1} (安)									
n (转/分)									

四 实验报告

1、根据实验数据绘出并励直流电动机的工作特性曲线： $n=f(I_a)$; $M=f(I_a)$; $\eta=f(I_a)$ 。

2、说明：本实验中直流电动机的负载可以是直流发电机，也可以是涡流闸、测功器等。如果利用后两种设备测量，则电动机的输出转矩 M_2 可以直接读到，如果用直流发电机测电动机的工作特性时，需要进行一定的计算，下面以图 2-1 实验线路为例，对如何求取工作特性作一些说明。

(1) 电动机的电枢回路电阻 R_a 由实验室给出，如果没有给出，则需要测量，并折合为 75°C 时的值。

$$R_{a75^\circ\text{C}} = \frac{234.5 + 75}{234.5 + \theta} R_{a\theta^\circ\text{C}}$$

其中 θ 为环境温度。

(2) 如果不知道电动机的空载损耗曲线 $P_0=f(n)$ ，则需求出 P_0 ，由于电动机从空载到满载速度变化不是很大，所以可以近似地认为空载损耗 P_0 不变。

P_0 可这样求得：直流电动机起动后，电动机加额定电压 U 与额定励磁电流 I_{FN} ，发电机也加额定励磁电流，但空载，由于同轴的两台电机容量、体积差不多，所以，可以近似地认为他们的空载损耗相等，且是常数。电动机的输入功率近似于两台电机的空载损耗之和。（因这时电动机的铜耗很小，可以不计）。即 $p_1=p_{oD}+p_{oF}=2P_0$ （其中 p_{oD} 、 p_{oF} 分别为电动机和发电机的空载损耗， P_0 为平均损耗）。所以，

$$P_0 = \frac{1}{2} U_N I_a$$

(3) 电动机的输出功率 P_2 可以根据输入功率 P_1 减去电动机的全部损耗求得，其中 $P_1=U_N I_a$ （这里已不考虑励磁铜耗），全部损耗：

$$\sum p = p_{cna} + p_0 = R_{a75^\circ\text{C}} I_a^2 + p_0$$

(4) 电动机的电磁转矩为

$$M = \frac{p_m}{\Omega} = \frac{P_1 - P_{cna}}{2\pi n} \times 60$$

工作特性的各点可表列计算如下：

$U_N =$ 伏 $R_{a75^\circ C} =$ 欧

所求各量	电枢电流 I _a (安)	转速 (转/分)	输入功率 P ₁ (瓦)	电枢铜耗 P _{cu_a} (瓦)	电磁功率 P _{MM} (瓦)	电磁转矩 M(牛·米)	输出功率 (瓦)	效率 η
算式 测点	实测	实测	$P_1 = U_N I_a$	$P_{cu_a} = I_a^2 R_{a75}$	$P_{MM} = P_1 - P_{cu_a}$	$M = \frac{P_M}{2\pi n} \times 60$	$P_2 = P_M - P_0$	$\eta = P_2 / P_1$
1								
2								
3								
4								
5								

实验三 并励直流电动机机械特性的测定

一、实验目的

测定直流电动机在各种运行情况下的机械特性。

二、实验内容

- 1、测定并励直流电动机的固有机机械特性
- 2、测定电枢回路串电阻 R_2 时的人为特性
- 3、测定改变电源电压时的人为特性
- 4、减弱电动机励磁磁通时的人为特性
- *5、测定回馈制动的机械特性
- *6、测定转速反向的反接制动机械特性

三、实验线路及操作步骤

实验线路见图 3-1。

1、测固有机械特性

实验中保持条件： $U=U_N$ ， $I_{f1}=I_{fN}$ 。

(1)按图 3-1 接线，经检查无误后，空载起动直流电动机，给直流电动机加上额定负载，使之工作于额定点 (U_N , n_N , I_N)，记下额定励磁电流。

(2)保持 $U=U_N$ ， $I_{f1}=I_{fN}$ ，逐步减小直流电动机的负载（即减小发电机的负载或发电机的励磁电流），以测得不同负载下的电动机的电枢电流 I_a 和转速 n ，记录于表 3-1 中，测 5 组数据即可。

表 3-1 $U_N=$ 伏 $I_N=$ 安

I_a (安)									
n (转/分)									

2、测定电枢回路串电阻 R_2 时的人为特性

实验中保持条件： $U=U_N$ ， $I_{f1}=I_{fN}$ ， $R_1 \neq 0$

测完固有特性后，将直流电动机电枢回路的可变电阻 R_1 由零调至某值。在测此人为特性时， R_1 保持此值不变。

逐步调节直流电动机的负载，测量电动机的电枢电流 I_a 和转速 n ，记录于表 3-2 中，测 5 组数据即可。

表 3-2 $U_N=$ 伏 $I_N=$ 安

I_a (安)									
n (转/分)									

3. 测改变电源电压时的人为特性

实验中保持条件： $I_{f1}=I_{fN}$ ， $R_1=0$ ， $U \neq U_N$ 。

做完实验内容 2 后，切除 R_1 ，并将电源电压 U 从 U_N 调节至某一值。在测此人为特性时，保持此励磁电流不变。

逐步调节直流电动机的负载，测量不同负载时电动机的电枢电流 I_a 和转速 n 。记录于表 3-3 中，

测 5 组数据即可。

表 3-3 $U_N=$ 伏 $I_{fN}=$ 安

I_a (安)									
n (转/分)									

4、测改变电动机励磁电流时的人为特性

实验中保持条件： $U=U_N$ ， $R_i=0$ ， $I_{f1} \neq I_{fN}$ 。

做完实验内容 3 后，将电源电压 U 调节至额定值 U_N ，并将直流电动机的励磁电流从额定值调至小于额定值的某一值，即 $I_f < I_{fN}$ ($n \leq 1.2n_N$)。测此人为特性时，保持此励磁电流值不变。

逐步调节直流电动机的负载，测量不同负载时电动机的电枢电流 I_a 和转速 n 。记录于表 3-4 中，测 5 组数据即可。

表 3-4 $U_N=$ 伏 $I_{f1}=$ 安

I_a (安)									
n (转/分)									

*5 测回馈制动的机械特性

实验线路如图 3-1 所示

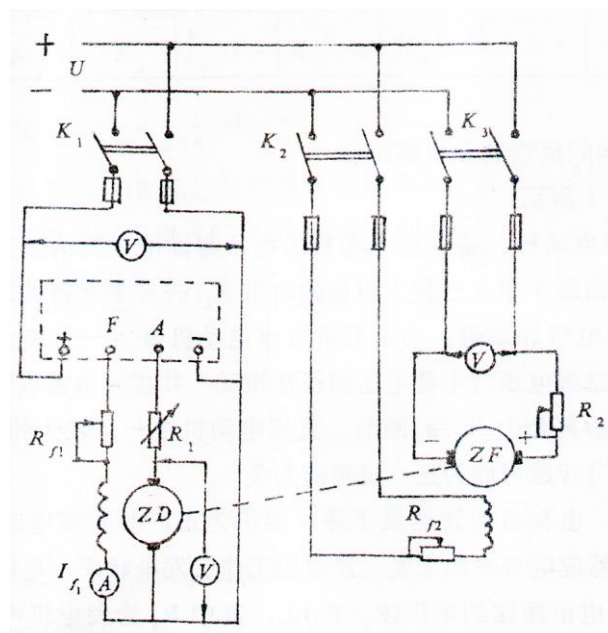


图 3-1 测回馈制动的机械特性的线路

(1) 空载起动直流电动机, 使其电压等于额定电压, 励磁电流等于额定励磁电流, 即 $U=U_N$, $I_{f1}=I_{fN}$ 并且为使回馈制动的机械特性不至太硬, 直流电动机电枢回路可串入一适当电阻, 即 $R_1 \neq 0$, 在测此特性时, 保持此电阻值不变。

(2) 直流发电机并网, 合上 K_2 , 调节 R_{f2} , 使发电机的空载端电压等于电网电压, 并判断一下发电机的极性与电网的两端子的极性是否相同。只有当极性相同 (如图 3-1 所示), 且电压数值相等时, 直流发电机方可并网, 并网时, 因发电机的感应电势等于电网电压, 所以发电机的电枢电流为零, 即发电机为浮接, 此时直流电动机工作于电动状态。

(3) 增大发电机的励磁回路电阻 R_{f2} , 即减小发电机的励磁电流, 这样发电机的感应电势随之减小, 直流电动机工作于电动状态。当 R_{f2} 增大到某一数值时, 可测得电动机的电枢电流 $I_a=0$, 即直流电动机工作于理想空载点。

(4) 继续增大 R_{f2} , 即继续减小直流发电机的励磁电流, 这时由于工作于电动状态的发电机的转矩将继续增大, 所以转速将继续上升, 直流电动机的转速就超过了理想空载转速, 进入了回馈制动状态。

测量直流电动机的电枢电流 I_a 与转速 n , 将回馈制动状态下各点的 I_a 与 n 分别记录于表 3-5 内。注意, 电动机的最高转速不要超过 $1.2n_N$, 共测 5 个点即可。

表 3-5

I_a (安)									
n (转/分)									

*6 测定转速反向的反接制动机械特性

实验线路如图 3-1 所示。

(1) 空载起动直流电动机, 将直流电动机的电压与励磁电流均调到额定值, 并保持不变。在电动机的电枢回路中串入一较大阻值的电阻 R_1 , 并在测此特性时保持阻值不变。

(2) 合上 K_2 , 给发电机加励磁, 为了能给直流电动机带上一个较大的且方向不变的负载转矩, 让发电机的空载电压与电源电压的极性相反, 并在发电机电枢回路中必须串入一可变限流电阻 R_2 , 之后再合上 K_3 , 合闸后, 直流电动机在一个较大的负载转矩的作用下, 转速迅速下降, 其稳定转速可能为正, 也可能为负。

假定合上 K_3 后, 电动机的转速虽下降, 但仍为正, 即直流电动机仍工作于电动状态。直流发电

机由于感应电势方向未变，所以仍工作于发电状态，电网与发电机送出的功率全部消耗在发电机电枢回路的电阻（ R_c+R_2 ）上，其中 R_c 为发电机电枢回路中不串接电阻时的等效回路电阻。

这时如增大发电机的电磁转矩（可调节 R_{f2} 或 R_2 ）就能使直流电动机的转速继续降低，直到转速为零。（在转速很低的情况下，调节电动机的负载转矩主要靠调节 R_2 ）

当电动机转速为零后，继续减小 R_2 ，就会使电动机的转速反向，进入转速反向的反接制动状态，而直流发电机便运行于电动机状态了。不断减小 R_2 ，测量直流电动机的电枢电流 I_a 与转速 n ，并记于表 3-6 中，测量 5 个直流电动机在转速反接制动状态的运行点。

表 3-6 $R_1=$ 欧

I_a (安)									
n (转/分)									

四、实验报告

做出直流电动机的下列机械特性曲线：

- 1、固有特性
- 2、电枢回路串入电阻 R_1 时的人为特性
- 3、某个电源电压下的人为特性
- 4、某个励磁电流下的人为特性
- 5、回馈制动的机械特性
- 6、转速反向的反接制动机械特性

各点的电磁转矩 M 可这样求得：

$$P_M = I_a E_a = I_a [U - (R_a + R_1) I_a]$$

$$M = \frac{P_M}{\Omega} = \frac{P_M}{2\pi n} 60$$

所以除了各点的电枢电流 I_a 与转速 n 都已知外，直流电动机的电枢电阻 R_a 与测每条机械特性曲线时电枢回路新串入的电阻 R_1 也应知道。

每条曲线的各点可列表计算如下：

I_a (安)							
P_M (瓦)							
M (牛·米)							
N (转/分)							

实验四 单相变压器

一、实验目的

用实验的方法求单相变压器的参数和工作特性。

二、实验内容

1、测定变压器的变比，

2、做变压器的空载实验。

(1) 求 $I_0=f(U_0)$ $P_0=f(U_0)$ $\cos\varphi=f(U_0)$ 。

(2) 求出在额定电压时空载电流 I_{0N} 、功率因数 $\cos\varphi_{0N}$ 及空载损耗 P_{0N} 。

3、做变压器的短路实验

测量 $I_k=I_N$ 时的短路电压 U_k 和短路损耗 P_k 。

三、实验线路及步骤

1、测定变压器的变化 K ：

接线如图 4-1 所示。

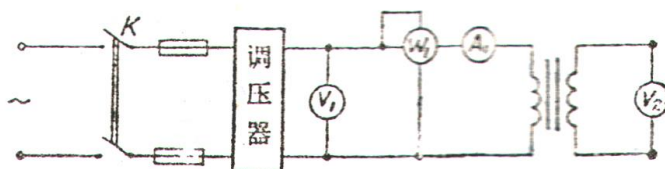


图 4-1 测定变压器变比的接线图

变压器原边 AX (高压侧) 开路，副边接调压器的输出端，使调压器的输出分别为 55V、110V 时，

分别测出原边电压 U_{AX} 的值并填入表 4-1 中

表 4-1

测量值		计算值
U_{AX}	U_{ax}	$K = U_{AX}/U_{ax}$

2、变压器的空载实验

接线如图 4-1 所示，变压器的副边 ax（低压侧）经调压器接至电源，原边开路，逐步调节副边电压自 $0.5U_N$ 至 U_N （55V~110V），测绘~7 个分点，分别记录 U_0 ， I_0 ， P_0 于表 4-2 中。

表 4-2

测量值			计算值
U_0	I_0	P_0	$\cos \varphi_0$

3、单相变压器短路实验

接线如图 4-2 所示。

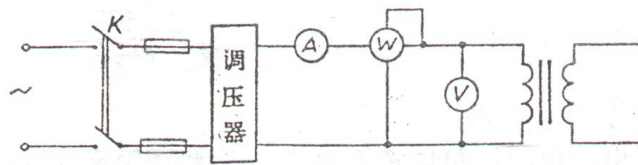


图 4-2 单相变压器短路实验接线图

副边 ax 短接，而原边经调压器接电源。一定要注意在接通电源前调压器应调到输出电压为零的位置，然后，接通电源，缓慢细调电压 U_k ，当电流表的指示达到额定 I_N 值时（ $I_k = I_N$ ），记录这时的 U_k 、

I_k 、 P_k 填入表 4-3 中，由于变压器短路时线圈易发热，所以实验应在短时间内完成。

表 4-3 室温 $\theta =$ $^{\circ}\text{C}$

U_k	I_k	P_k

四、实验报告

1、空载实验

(1) 求出变压器的激磁参数：

$$Z_m = \frac{U_0}{I_0} \quad r_m = \frac{P_0}{I_0^2} \quad X_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2}$$

(2) 在同一坐标中绘出 $I_0=f(U_0)$ ， $p_0=f(U_0)$ ， $\cos\Phi_0=f(U_0)$ 的曲线。

2、短路实验

求出等值短路阻抗 Z_k ，电阻 r_k 及电抗 X_k ，功率因数 $\cos\varphi_k$ ，

$$\text{其中, } Z_k = \frac{U_k}{I_k} \quad r_k = \frac{P_k}{I_k^2}$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} \quad \cos\Phi_k = \frac{P_k}{U_k I_k}$$

把上述参数折算到 75°C 值，即

$$r_{k(75^{\circ}\text{C})} = r_k \frac{234.5 + 75}{234.5 + \theta}$$

θ 是测量时的室温，如果变压器为铝线制成，应将 234.5 改为 228。

$$Z_{k(75^{\circ}\text{C})} = \sqrt{r_{k(75^{\circ}\text{C})}^2 + x_k^2}$$

$$P_{k(75^{\circ}\text{C})} = I_k^2 r_{k(75^{\circ}\text{C})}$$

$$\cos\Phi_{k(75^{\circ}\text{C})} = \frac{P_{k(75^{\circ}\text{C})}}{U_{k(75^{\circ}\text{C})} I_k}$$

五、思考题

为什么短路实验因电压很低，可以把铁耗略去不计？而空载实验因电流很小，可以把铜耗略去不计？

实验五 三相变压器的极性和联接组的测定

一、实验目的

- 1、掌握用实验测定三相变压器绕组极性的方法。
- 2、学会用实验确定变压器的联接组号。
- 3、研究三相变压器的三次谐波电势。

二、实验内容

- 1、测定三相变压器绕组极性。
- 2、把三相变压器联成 Y/Y-12, 并校对之。
- 3、把三相变压器联成 Y/ Δ -11, 并校对之。
- *4、将组式变压器接成 Y/Y-12, 测其相电压、线电压, 看 $U_{\text{线}}$ 是否等于 $\sqrt{3}U_{\text{相}}$, 以研究三次谐波电势。
- *5、将组式变压器接成 Y/ Δ -11, 测三角形回路中的三次谐波电流和开口电压。
- *6、用芯式变压器进行上述 4、5 两项内容的实验。

三、实验线路及操作步骤

- 1、测定三相变压器原、副边的极性和芯式变压器的相间极性。

- (1) 先用万用表测出变压器上哪两个出线端是属于同一绕组的, 标上标号。
- (2) 确定每相原、副边绕组的极性 (按 I/I-12 定)。

将 Y、y 用导线相联 (如图 5-1), 在 BY 上加 (50~70)% U_e 的电压, 测电压 U_{Bb} 、 U_{BY} 、 U_{by} , 若 $U_{Bb} = |U_{BY} - U_{by}|$, 则标号正确; 若 $U_{Bb} = |U_{BY} + U_{by}|$, 则需把 b, y 的标号对调, 同理, 其它两相也可依此做法定出。

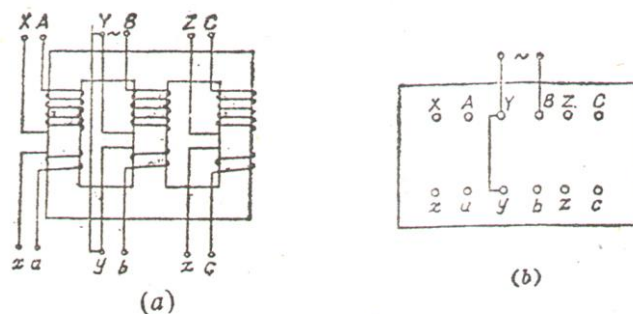


图5-1 测定变压器绕组极性接线图

(3) 确定芯式变压器高压边 A、B、C 三相间极性的方法。

对于芯式变压器，除测定原、副边绕组极性外，还应测定三相间的极性，其方法为：

把芯式变压器的 X、Z 用导线相联（如图 5-2），在 B 相加（50~70）% U_e 的电压，测电压 U_{AC} 、 U_{AX} 、 U_{CZ} ，若 $U_{AC} = |U_{AX} - U_{CZ}|$ ，则标号正确；其标号如图 5-2 所示。若 $U_{AC} = |U_{AX} + U_{CZ}|$ ，则相间标号不正确，应把 A、C 相中任一相端点标号互换（A、X 换成 X、A）。

同理，可定 A、B 相（或 B、C 相）的相同间极性，因而三相的高压边绕组相互间极性可以定出。

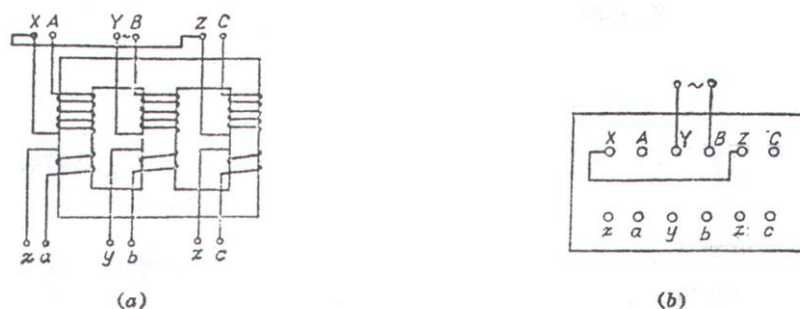


图 5-2 测定芯式变压器绕组极性接线图

(4) 仪表选择

根据变压器名牌上给定的原、副边电压值选择仪表，要搞清相值和线值。例如，一台变压器原、副边额定相电压之比为 $U_{1e}/U_{2e}=220/110$ （注意：一般三相变压器名牌给定为原、副边线电压之比，同时给定联接组号，同学自己要由线值找到相值），则

$$U_{BY} = (50 \sim 70) \% U_{1e} = (50 \sim 70) \% \times 220 = 110 \sim 154 \text{ 伏}$$

$$U_{by} = U_{BY} / k = \frac{1}{2} (110 \sim 154) = 55 \sim 77 \text{ 伏}$$

最大可能电压为

$$U_{Bb} = |U_{BY} + U_{by}| = 165 \sim 231 \text{ 伏}$$

所以可选 250 伏交流电压表一块。

另外还要选输出电压大于 250 伏的调压器一台。

2、Y/Y-12 联接组校核。

(1) 将三相变压器接成 Y/Y-12，如图 5-3 所示。

(2) 用导线把 A、a 联起来，如图 5-3 (a) 的虚线所示，在高压边加 50% U_e ，测量 U_{AB} 、 U_{ab} 、 U_{Bb} 、 U_{Cc} 、 U_{Bc} ，可确定联接组号。

设线电压之比为

$$k = \frac{U_{AB}}{U_{ab}}$$

校核公式

$$U_{Bb} = U_{Cc} = (K - 1) U_{ab}$$

$$U_{Bc} = \sqrt{K^2 - K + 1} U_{ab}$$

且 $\frac{U_{Bc}}{U_{Bb}} > 1$

便可确定是 Y/Y-12 的联接组号了 (Y/Y-12 联接组号的电势位形图如图 5-4 所示)。

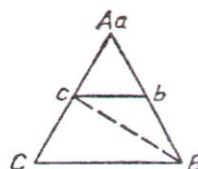
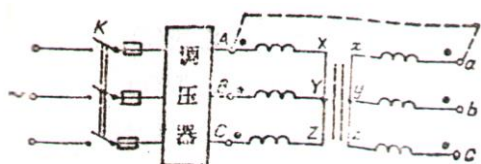


图 5-3 Y/Y-12 联接组校核接线图

图 5-4 Y/Y-12 联接组号电势位形图

(3) 将测量值和校核值记录于下表。

测量值					校核值		
U_{AB}	U_{ab}	U_{Bb}	U_{Bc}	U_{Cc}	U_{Bb}	U_{Cc}	U_{Bc}

3. Y/Δ-11 联接组校核

(1) 将三相变压器接成 Y/Δ-11，如图 5-5 所示。

(2) 把 A、a 联起来，如图 5-5 中的虚线所示，在高压边加 50% U_e ，测量 U_{AB} 、 U_{ab} 、 U_{Bb} 、 U_{Bc} 、 U_{Cc} ，可确定联组号。

设线电压之比为

$$k = \frac{U_{AB}}{U_{ab}}$$

校核公式

$$U_{Bb} = U_{Bc} = U_{Cc} = \sqrt{K^2 - \sqrt{3}K + 1} U_{ab}$$

便可确定是Y/△-11的联接组号了（Y/△-11联接组号的电势位形图如图5-6所示）。

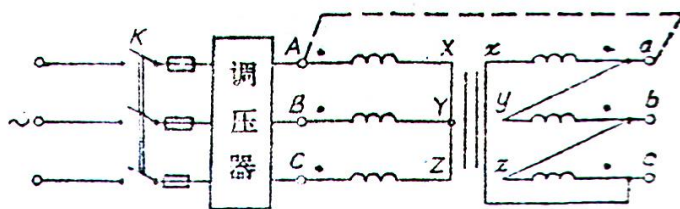


图 5-5 Y/△-11 的联接组校核接线图

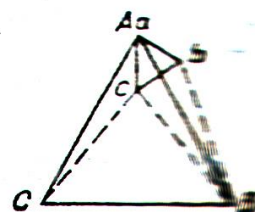


图 5-6 Y/△-11 联接组号的电势位形图

(3) 将测量值和校核值记录于下表。

测量值					校核值		
U_{AB}	U_{ab}	U_{Bb}	U_{Bc}	U_{Cc}	U_{Bb}	U_{Cc}	U_{Bc}

*4. 研究三相变压器的三次谐波电势

(1) 将组式变压器接成 Y/Y-12 (如图 5-3, 但 A、a 不联), 原边加额定电压, 用电压表测量原、副边的线电压与相电压, 看 $U_{线}$ 是否等于 $U_{相}$

U_{AB}	U_{AX}	U_{ab}	U_{ax}

(2) 将组式变压器接成 Y/△-11 (如图 5-5, 但 A、a 不联)

(a) 副边先接成开口三角形 (即 c 与 x 先不接在一起), 原边加额定电压, 用电压表测量原边的线电压与相电压, 看 $U_{线}$ 是否等于 $\sqrt{3}U_{相}$, 并测量副边开口电压 U_{ax} .

U_{AB}	U_{AX}	U_{Cz}

(b) 将副边的开口三角形闭和 (即联接 c 与 x), 原边加额定电压, 测量副边三角形中的回

路电流 I_{Δ} ，测量原边 $U_{\text{线}}$ 和 $U_{\text{相}}$ ，看 $U_{\text{线}}$ 是否等于 $\sqrt{3}U_{\text{相}}$

I_{Δ}	U_{AB}	U_{AX}

四、实验报告

- 1、将校核公式的计算结果与实验结果列表比较，并作简要的分析和结论。
- 2、将实验内容 4、5、6 项的数据进行比较，并加以分析。
- 3、实验的心得体会。

五、注意事项

- 1、注意调压器的输入、输出不能接错，当调压器输出电压为零时合闸。
- 2、注意操作及测量时的安全，勿接触带电部分，每次接线，拆线一定要拉闸，不能带电操作。
- 3、外加电压不应过低，以免读数误差过大，同时要注意测量电压不要超过电压表的量程。
- 4、在做 4、5、6 项实验时，变压器一定要加额定电压。

六、思考题

- 1、校验联接组号时为何把 A、a 点联起来？
- 2、在 Y/ Δ 接法的三相变压器中，副边 Δ 绕组的开口电压大不大？为什么？闭口电流大不大？为什么？（分别用组式和芯式说明）
- 3、为什么在研究变压器的谐波电势时，变压器要加额定电压？
- 4、为什么组式变压器的三次谐波电势比芯式的要大？

七 附录

变压器联接组校核公式

$$(U_{ab}=1 \quad U_{AB}=K)$$

组号	电 压		
	$U_{Bb}=U_{Cc}$	U_{Bc}	U_{Bc}/U_{Bb}
12	$K-1$	$\sqrt{K^2-K+1}$	>1
1	$\sqrt{K^2-\sqrt{3}K+1}$	$\sqrt{K^2+1}$	>1
2	$\sqrt{K^2-K+1}$	$\sqrt{K^2+K+1}$	>1
3	$\sqrt{K^2+1}$	$\sqrt{K^2+\sqrt{3}K+1}$	>1
4	$\sqrt{K^2+K+1}$	$K+1$	>1
5	$\sqrt{K^2+\sqrt{3}K+1}$	$\sqrt{K^2+\sqrt{3}K+1}$	$=1$
6	$K+1$	$\sqrt{K^2+K+1}$	<1
7	$\sqrt{K^2+\sqrt{3}K+1}$	$\sqrt{K^2+1}$	<1
8	$\sqrt{K^2+K+1}$	$\sqrt{K^2-K+1}$	<1
9	$\sqrt{K^2+1}$	$\sqrt{K^2-\sqrt{3}K+1}$	<1
10	$\sqrt{K^2-K+1}$	$K-1$	<1
11	$\sqrt{K^2-\sqrt{3}K+1}$	$\sqrt{K^2-\sqrt{3}K+1}$	$=1$

上表说明:

1. 其中系数的大小顺序 (由大到小) 为

$$K+1, \sqrt{K^2+\sqrt{3}k+1}, \sqrt{K^2+k+1}, \sqrt{K^2+1}$$

$$\sqrt{K^2-k+1}, \sqrt{K^2-\sqrt{3}k+1}, K-1。$$

2. 设 $U_{ab}=1, U_{AB}=K$, 则 Y/Δ-1 联接组校核公式

推导如下:

$$U_{Bb} = \sqrt{U_{AB}^2 + U_{ab}^2 - 2U_{AB}U_{ab} \cos 30^\circ}$$

$$= \sqrt{K^2 - \sqrt{3}k + 1}$$

$$U_{Cc} = \sqrt{U_{AC}^2 + U_{ac}^2 - 2U_{AC}U_{ac} \cos 30^\circ}$$

$$= \sqrt{K^2 - \sqrt{3}k + 1}$$

$$U_{Bc} = \sqrt{U_{AB}^2 + U_{ac}^2} = \sqrt{K^2 + 1}$$

可看出 $U_{Cc}=U_{Bc}$ 且 $U_{Bc}/U_{Bb}>1$, 其位形图如图 5-7 所示。

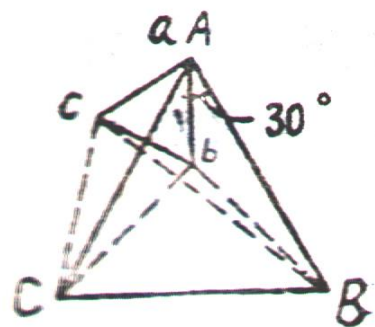


图 5-7

实验六 异步电动机的参数测定

一、实验目的

- 1、掌握异步电机的空载、短路实验方法
- 2、求异步电机的损耗
- 3、求异步电机的参数，画出“T”型等值电路。

二、实验内容

- 1、用直流通电测定冷态下的定子绕组电阻。
- 2、测定异步电机的极性。
- 3、做异步电机的空载实验。

做空载特性曲线： $U_{10} = f(I_{10})$, $p_{10}' = f(U_{10}^2)$ ，其中 p_{10}' 为已除去空载时定子铜耗的空载损耗。

- 4、做异步电机的短路实验。

做短路特性曲线： $I_k = f(U_k)$, $p_k = f(U_k)$

三、实验线路及操作步骤

- 1、测定绕组冷态电阻

(1) 实验线路如图 6-1 所示

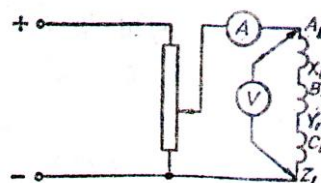


图 6-1

(2) 数据表格

电压（伏）	电流（安）	电阻/相（欧）

(3) 注意事项

- a. 电源可用分压法得到，也可用晶体管稳压电源供电。
- b. 测量时可每相分别测量，也可三相串联测量，如果分别测量， r_1 应取三相的平均值。

2. 测定异步电机的极性

先用通表找出哪两个端点属于同一组。然后在一相绕组上经调压器加低压电源，并监视绕组内的电流，使之不超过额定值（如图 6-2 所示）。测量电压 U_{AX} 、 U_{AB} 、 U_{AC} 、 U_{BC}

U _{AX}	U _{AB}	U _{AC}	U _{BC}

对其结果进行下列分析：

(1) 若 $U_{AB} = U_{AC} > U_{AX}$, $U_{BC}=0$

此种情况说明极性正确，正确的标号即如图 6-2 所示。

(2) 若 $U_{AB} > U_{AX} > U_{AC}$, $U_{BC} \neq 0$

此种情况说明极性不正确。现 $U_{AC} < U_{AX}$ ，故需将 C 相绕组端点标号对调。若 $U_{AB} < U_{AX}$ ，则将 B 相绕组端点标号对调。

(3) 若 $U_{AB} = U_{AC} < U_{AX}$, $U_{BC}=0$

此种情况说明 A 相极性不正确，将 A 相绕组标号对调即可。

注意：对于绕线式转子，在定极性时，转子绕组应开路。对于鼠笼式异步电动机转子绕组不能开路，可用一块万用表来判别电机的极性，其方法如下：

(1) 找出 A、B、C 三相绕组之后，任意标上端线字母 A、X、B、Y、C、Z。

(2) 将 A、B、C 三个头联在一起，再将 X、Y、Z 联在一起，如图 6-3 所示。

(3) 将万用表的毫安档或微安档跨接于这两个联接端（见图 6-3）。用手转动转子，因为转子有剩磁，在转动时犹如一旋转磁场扫过定子线圈，如果匀速转动异步电机转子，在对称的定子线圈中便感应出对称的三相电势，对表上所反应的现象可做如下分析：

a.如果所标极性正确，则 M、N 为等电位点，表中应没有电流，即表针不动，但因绕组不可能完全对称，所以指针可能略有摆动。

b.如果发现表的指针摆动较大，则说明某相的极性标错，就要找出错在那一相，并将其标对。

此法也可用于绕线式异步电机。

3、空载实验

(1) 实验线路如图 6-4 所示。

异步电机定子接成 Y 形，转子三相短路。

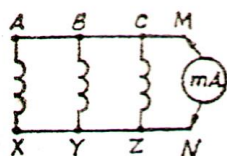


图 6-3

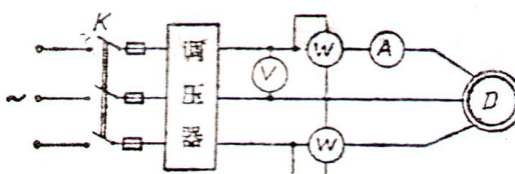


图 6-4

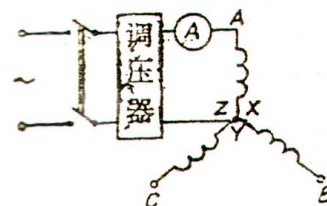


图 6-2

(2) 实验步骤

- a. 调压器的手柄置于输出电压为零的位置时合刀闸 K。
- b. 调压至 $U_{10} = U_{1e}$ 运行一段时间，使电机的机械损耗达到稳定值。
- c. 然后调压至 $U_{10} = (1.10 \sim 1.20) U_{1e}$ ，开始测试空载特性，逐渐降低电压做 6~7 个点，至 $U_{10} = 0.5U_{1e}$ ，记录 U_{10} 、 I_{10} 、 P_{10} 的值。监视电机的转速 n （注意：要记下 $U_{10} = U_{1e}$ 时的 I_{10} 、 P_{1e} 之值）。

(3) 实验数据表格 $n =$

名称	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_{10}	I_{A0}	I_{B0}	I_{C0}	$I_{10 \text{ 线}}$	$I_{10 \text{ 相}}$	P_{10}
单位	伏	伏	伏	伏	安	安	安	安	安	瓦
读数										

表中，

$$U_{10} = \frac{1}{3}(U_{AB} + U_{BC} + U_{CA})$$

$$I_{10 \text{ 线}} = \frac{1}{3}(I_{A0} + I_{B0} + I_{C0})$$

$$U_{10 \text{ 相}} = \frac{1}{\sqrt{3}}U_{10}$$

(4) 空载实验注意事项

- a. 合闸时应使调压器输出为零，否则可能有较大的起动电流。
- b. 定子绕组接成 Y
- c. 空载曲线在 $U_1 = U_{1e}$ ，附近（弯曲部分）要多取几点。
- d. 空载曲线的电压最低点不应使转速发生明显变化，一般曲线做到 $U_{10} = 0.5U_{1e}$ 即可， U_{10} 太低，

转速变化太大，曲线没有意义。

e.注意：额定电压点一定要测取。

4、短路实验（堵转实验）

(1) 实验线路如图 6-5 所示。

做短路实验时，异步电机的定子接成 Y 形，转子三相短路并堵转。

(2) 实验步骤

a.合闸时调压器输出必须为零。

b.监视电流表，缓慢地增加电压，使 I_k 达到 $1.2I_{1e}$ ，然后从 $1.2I_{1e}$ 减小 I_k 至零，逐点记录 U_k 、 I_k 、

P_k 值（注意记下 $I_k=I_{1e}$ 时的 U_k 、 P_k 值）。

c.电压降至零，从线路中取出仪表，拉闸。

(3) 实验数据表格

名称	I_A	I_B	I_C	I_k	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	$U_{K线}$	$U_{K相}$	P_k
单位	安	安	安	安	伏	伏	伏	伏	伏	瓦
读数										

表中，

$$I_k = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C)$$

$$U_{k线} = \frac{1}{3}(U_{AB} + U_{BC} + U_{CA})$$

$$U_{k相} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{k线}$$

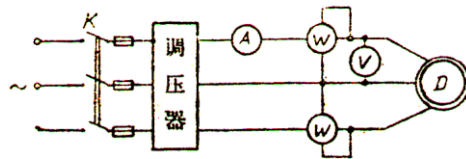


图 6-5

(4) 短路实验注意事项

a. 短路实验要将转子堵转，所以转子一定要夹紧，以免在加电压后转子受力转动。

b. 短路实验进行时间不宜过长，否则将引起温升对电阻的影响，所以整个实验进行要迅速，注意记下室温，并认真测得 r_k 值为室温下值。

四、报告要求

1、求定子冷态电阻：

$$r_1 = \frac{1}{3} (r_{1A} + r_{1B} + r_{1C})$$

折合到 75°C 时

$$r_{175^\circ\text{C}} = r_1 \theta \frac{234.5 + 75}{234.5 + \theta}$$

2、由空载实验求出：

(1) $U_{10} = f(I_{10})$ 曲线。

(2) $P_{10} = f(U_{10}^2)$ 曲线，将机械损耗 P_Ω 和铁损耗 P_{Fe} 分开，式中，

$$P'_{10} = P_{10} - 3I_{10}^2 r_1 = P_\Omega + P_{Fe}$$

(3) 额定电压时的空载参数： x_m 、 r_m 、 Z_m 。

$$Z_0 = \frac{U_{10\text{相}}}{I_{10\text{相}}}$$

$$r_0 = \frac{P_{10}}{3I_{10\text{相}}^2}$$

$$x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}$$

$$x_m = x_0 - x_1$$

$$r_m = \frac{P_{Fe}}{3I_{10\text{相}}^2}$$

$$Z_m = \sqrt{x_m^2 + r_m^2}$$

3、由短路实验求出：

- (1) $I_k = f(U_k)$ 曲线。
- (2) $P_k = f(U_k)$ 曲线。

(3) 额定电流时的短路参数：

$$Z_k = \frac{U_{k\text{相}}}{I_K}$$

$$r_K = \frac{P_K}{3I_K^2}$$

$$x_K = \sqrt{Z_K^2 - r_K^2}$$

折合到 75°C 时：

$$r_{K75^\circ\text{C}} = r_{K\theta} \frac{234.5 + 75}{234.5 + \theta}$$

$$Z_{K75^\circ\text{C}} = \sqrt{x_K^2 + r_{K75^\circ\text{C}}^2}$$

$$r_{275^\circ\text{C}} = r_{K75^\circ\text{C}} - r_{175^\circ\text{C}}$$

$$X_2 = X_1 = \frac{1}{2} X_K$$

4、画出“T”型等值电路，标明阻抗的欧姆值。

五、注意事项

- 1、调压器的输入、输出绝对不允许接反。
- 2、最好先做短路实验，此时绕组温度为室温。
- 3、读数要读取三相的数值，取平均值。

六、思考题

- 1、为何做空载实验时电压降得太低的点没有意义？
- 2、短路特性曲线 $I_k=f(U_k)$ 是什么形状？为什么？
- 3、怎样由 $p_{10} = f(U_{10}^2)$ 曲线把机械损耗 p_0 和铁损 p_{Fe} 分开？

七、附录

“二表法”的使用

许多负载的中点往往在机器里头，不可能把每相的功率测出来，如用单相功率表测三相功率时，实验中常用“二功率表法”，简称“二表法”。用二表法测三相功率的线路如图 6-6 所示。

图中 1-2 为电流线圈，3-4 为电压线圈，由图 6-6 可见，功率表 W_1 的电流线圈 1-2 流过电流 i_A ，电压线圈 3-4 上的电压为 u_{AC} ，所以 W_1 的读数 P_1 代表 $(u_{AC} \times i_A)$ 的平均值；同理，功率表 W_2 的读数 P_2 代表 $(u_{BC} \times i_B)$ 的平均值。

现在我们来证明 $P_1 + P_2$ 就是三相负载的总功率。

三相瞬时总功率为：

$$\begin{aligned} P &= p_A + p_B + p_C \\ &= u_{A0} \cdot i_A + u_{B0} \cdot i_B + u_{C0} \cdot i_C \end{aligned}$$

式中 u_{A0} 、 u_{B0} 、 u_{C0} 、为 A、B、C 三相的相电压，同时

$$i_A + i_B + i_C = 0$$

因为只有三条线，没有中线，所以不论负载是否对称，上式

总是正确的，因而

$$i_C = -(i_A + i_B)$$

将 i_C 代入三相瞬时功率公式，得

$$\begin{aligned} P &= u_{A0} \cdot i_A + u_{B0} \cdot i_B - u_{C0} \cdot (i_A + i_B) \\ &= (u_{A0} - u_{C0}) \cdot i_A + (u_{B0} - u_{C0}) \cdot i_B \\ &= u_{AC} \cdot i_A + u_{BC} \cdot i_B \end{aligned}$$

上式左边是瞬时功率 p ，它的平均值是总功率 P ；右边两项的平均值就是功率表 W_1 、 W_2 的读数 P_1 、

P_2 ，所以

$$P = (u_{AC} \cdot i_A)_{\text{平}} + (u_{BC} \cdot i_B)_{\text{平}} = P_1 + P_2$$

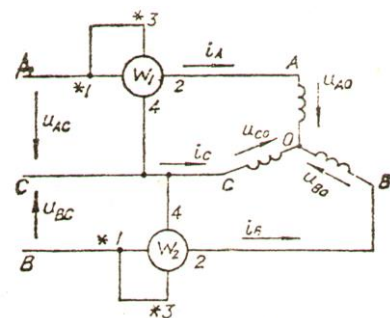


图 6-6

二表法可用于任意的三相不对称电路，是一种常用的测量三相电路功率的方法。

使用时要注意极性“*”点的联接，表的 1、3 两个头应接在一起，测量时，如果 W_2 (或 W_1) 指针倒转，应把表的 1、2 两头倒过来，同时

$$P = |P_1 - P_2|$$

另外，在使用时还要注意功率表的电流线圈和电压线圈的接法，最后还有一点要说明，“二表法”只有两表的读数合起来才是三相总功率，孤立地看每个表的读数 (P_1 或 P_2) 是没有什么意义的。

实验七 三相异步电动机的工作特性和与机械特性的测定

一、实验目的

用实验的方法求三相异步电动机的工作特性和机械特性。

二、实验内容

1、做三相异步电动机的工作特性实验

*2、在三相绕线式异步电动机转子回路中串入三相对称的电阻时，测转速反向的反接制动的机械特性。

三、实验线路及操作步骤

1、测异步电动机的工作特性，实验线路如图 7-1 所示。

按图 7-1 接好线经检查无误后，合上开关 K_1 、 K_2 起动电机，调节 R_f 至规定值，合上 K_3 逐步增加直流发电机的负载（增加灯泡数量），使电动机的负载电流达到额定值 I_N ，然后保持电动机的外施电压 $U_1=U_{N1}$ ，发电机的励磁电流 $I_f=I_{fN}$ 不变，逐步减小电动机的负载电流（减少灯泡数量），每次记录电动机的三相电流，输入功率 P_1 及转速 n ，直至空载，共读取 5~6 组数据并记于表 7-1 中。

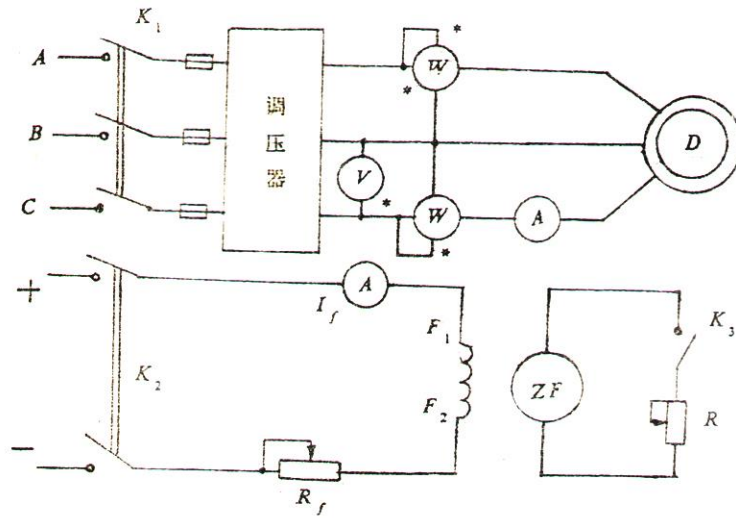


图 7-1 测异步电动机工作特性的实验线路

表 7-1 $U_N =$ 伏

n(转/分)						
I_A (安)						
I_B (安)						
I_C (安)						
P_1 (瓦)						

*2、在三相绕线式异步电动机转子回路中串入阻值较大的三相对称电阻，测转速反向的反接制动的机械特性。

实验线路如图 7-2 所示。

按图 7-2 接好线路后，合上 K_1 ，起动三相异步电动机，在本实验中，通过调节调压器，使三相异步电动机在额定电压下运行。

合上 K_3 ，给直流发电机加上励磁，使直流发电机的空载电势的极性与直流电网的极性相反，同时在直流发电机的电枢回路中串接一个可变的限流电阻 R_2 。

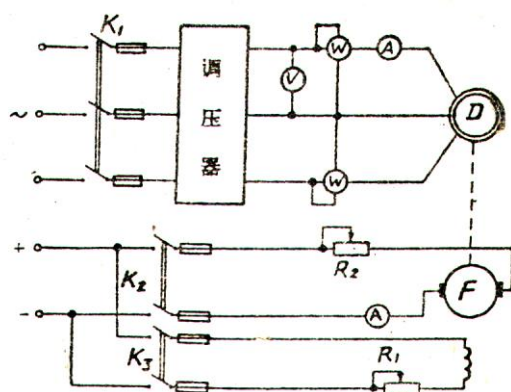


图7-2 测转速反向的反接制动机械特性的线路

合上 K_2 ，这等于突然给异步电动机加上一个负载转矩，电动机的转速将下降，调节直流发电机励磁回路电阻 R_f ，就可改变电动机的负载转矩（与直流电动机的反接制动实验类似）。

异步电动机带上直流发电机负载后，假定仍工作于电动状态，这时只要减小 R_f （当转速较低时，主要靠减小 R_2 ），就可增加异步电动机的负载转矩，使转速不断降低。

当 R_2 减小到某一值时，异步电动机的转速降为零。这时直流发电机的感应电势为零。但电枢电流方向未变，直流发电机产生的阻转矩与异步电动机的起动转矩大小相等，方向相反，处于平衡状态。

当 R_2 继续减小时，直流发电机的电枢电流在原来的方向上继续增大，其电磁转矩也继续增大，此转矩的方向没有变化。但是整个机组在此转矩的作用下，转向都改变了。现在直流发电机的电磁转矩方向与转动方向是相同的，这就是说，直流发电机的转矩已成为拖动转矩了，直流发电机已工作于电动状态。而异步电机的电磁转矩便成为制动转矩，即异步电动机进入了制动工作状态，不断减小 R_2 ，可使直流发电机的拖动转矩越来越大，反方向转速越来越高。

在异步电动机工作于电动状态和反接制动状态时，分别测量每一点的转速 n ，每相电流与输入功率，共 5~6 组数据并记于表 7-2 中。

直流发电机仅是异步电动机的负载，其数据不需测量。

四、实验报告要求

1、画出异步电动机的工作特性曲线。

(1) 转速特性曲线 $n=f(P_2)$

- (2) 定子电流特性 $I_1=f(P_2)$
- (3) 功率因数特性 $\cos \varphi_1= f(P_2)$
- (4) 电磁转矩特性 $M= f(P_2)$
- (5) 效率特性 $\eta = f(P_2)$

表 7-2 $U_N=$ 伏

n(转/分)						
I_A (安)						
I_B (安)						
I_C (安)						
P_1 (瓦)						

2、画一段机械特性曲线 $n=f(M)$ 。

工作特性与机械特性需根据实验结果与一定的计算才能得到。根据下表中的计算公式和表 7-1 的数据，将各点的计算结果填入表内。再根据此表的数据就可画出各种特性曲线。

其中 M_0 为异步电动机的空载转矩，可按以下办法计算：

异步电动机-直流发电机组的空载输入功率的一半（考虑到异步电动机与直流发电机的空载损耗近似各占一半）减去空载时的定子铜耗和铁耗，即为空载时的电磁功率 P_{M0}

$$P_{M0} = \frac{1}{2} P_{10} - P_{Fe} - 3I_1^2 r_{175^\circ C}$$

式中的 P_{Fe} 可在实验六中求得，于是空载转矩 M_0 便可求得：

$$M_0 = \frac{P_{M0}}{\frac{2\pi n_1}{60}}$$

考虑到在整个负载实验中，异步电机的转速 n 变化不大，所以可近似认为空载转矩 M_0 是个常数。

电磁功率： $p_M = P_1 - 3I_1^2 r_{175^\circ C} - P_{Fe}$

$$\text{电磁转矩 } M = \frac{P_M}{\Omega_1} = \frac{P_M}{\frac{2\pi n_1}{60}} \quad (n_1 \text{ 为异步电机的同步转速})。$$

n (转/分)						
$P_2 = M_2 \frac{2\pi n}{60}$						
$I_1 = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C)$						
$\cos \Phi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 I_1}$						
$M = M_0 + M_2$						
$\eta = \frac{P_2}{P_1}$						

*3、画出当三相绕线式异步电动机转子回路串入较大的三相对称电阻对横跨第 1、4 象限的机械特性曲线 $n=f(M)$ 。

异步电机的转速 n 由实验测得，电磁转矩 M 可根据表 7-2 的有关数据和上述公式计算后得到，将各点的计算填入下表内，根据表中数据便可做出机械特性。

n (转/分)						
I_1 (安)						
P_1 (瓦)						
M (牛·米)						
P_M (瓦)						

五、实验注意事项

- 1、要正确使用功率表。
- 2、调压器的输入、输出端一定不能接错。
- 3、调节有关的电阻时，一定要缓慢地调节，同时监视其它有关仪表。

实验八 三相同步发电机的并联运行

一、实验目的

- 1、了解三相同步发电机投入电网并联运行的条件与操作方法。
- 2、了解三相同步发电机并联运行时有功功率与无功功率的调节。

二、实验内容

- 1、用准整步法将同步发电机投入电网并联运行。
- 2、用自整步法将同步发电机投入电网并联运行。
- 3、研究三相同步发电机投入电网并联运行时有功功率与无功功率的调节。
- 4、测取当 $P_2=0$ 及 $P_2=0.5P_N$ 时同步发电机的 V 形曲线 $I=f(I_f)$

三、实验线路及步骤

- 1、用准整步法将同步发电机投入电网并联运行。

三相同步发电机投入电网并联运行时必须满足下列条件：

发电机电势 \dot{E}_0 与电网电压 \dot{U}_c 的大小及相位相同，即 $\dot{E}_0 = \dot{U}_c$ 。

发电机电压的频率与电网电压的频率相同，即 $f=f_c$ 。

发电机的相序与电网相序相同。

为了检查上述条件是否满足，可用电压表检查电压，用灯光熄灭法或灯光旋转法检查相序和频率。

(1) 灯光熄灭法接线如图 8-1 (a)，图中电压表与指示灯应按 2 倍电网额定电压选择。

并联步骤如下：

- ① 起动原动机，使同步发电机的转速接近额定值。
- ② 调节同步发电机的励磁电流，使其电压等于电网电压。
- ③ 按灯光熄灭法接线，如果三个指示灯不是同时明亮和熄灭，则表示发电机与电网的相序不一致，此时必须打开开关 K 与 K_3 （经过 R_f 闭合），调换发电机（或电网）的任意两相。
- ④ 相序一致后，再调发电机电势，使其与电网电压相等。
- ⑤ 进一步细调转速，使两者频率非常接近，三只指示灯同时缓慢熄灭，同时渐亮。
- ⑥ 发电机投入并网应选在三只灯同时熄灭，在电压表指示为零的瞬间，为了准确选取这一瞬间，

可观察灯光熄灭情况，放过几次合闸机会，以便确定合闸时机，及时合上开关 K_2 ，进入并联运行。

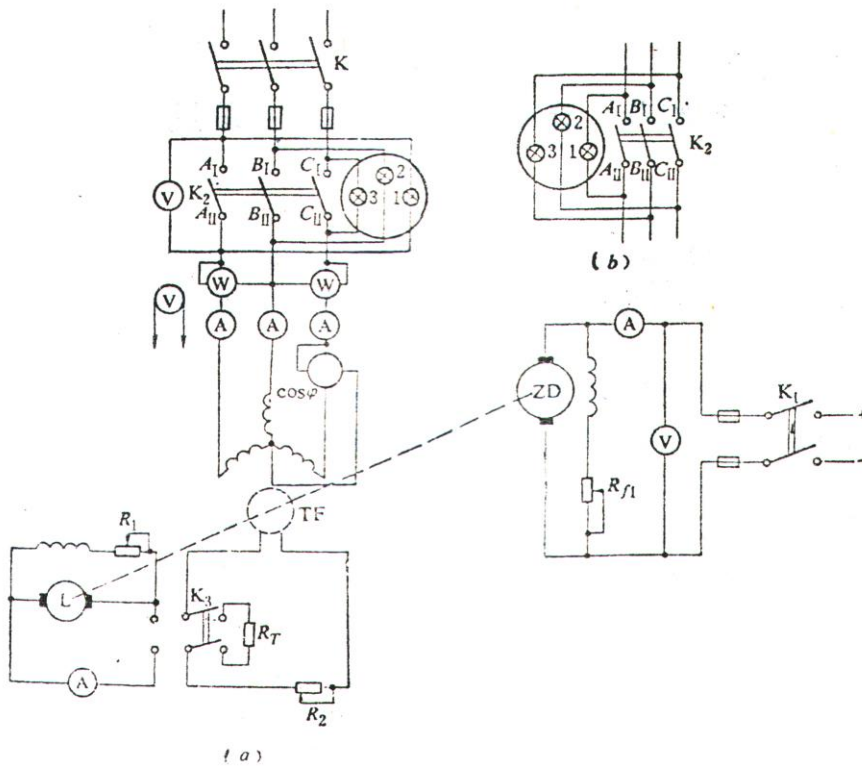


图8-1 同步发电机与电网并联运行接线图

(2) 灯光旋转法：指示灯按图 8-1 (b) 接线，如发电机与电网相序相同，三只指示灯应依次熄灭，形成旋转灯光，如发现三只灯同时发亮，同时熄灭，则说明发电机与电网相序不一致，应打开开关 K 与 K_3 (经 R_f 闭合)，将发电机 (或电网) 的任意两相互换使相序一致。当发电机转速接近同步转速、电势与电网电压相等或接近，各相灯光缓慢地轮流旋转发亮，等到直接相连的一相灯光熄灭，交叉相连的两相灯光相同时，立即合上 K_2 ，投入并联运行，实用中多采用此法。

2、用准整步法将同步发电机投入并联运行。

接线如图 8-1 (a)。

并联运行前的准备：首先要求用相序表检查同步发电机与电网相序，两者必须一致；调节原动机转速，使同步发电机转速接近同步转速 (允许与同步转速相差 $\pm 2 \sim 3\% n_N$)；调节电阻 R_1 、 R_2 ，使发电机的空载电压与电网电压接近相等，保持此时的 R_1 、 R_2 位置不变；为避免合闸时定子冲击电流损坏仪表，应将电流表与瓦特表的电流线圈短路；将开关 K 合闸。

并联操作步骤：完成上述准备工作之后，将开关 K_3 倒向右边，励磁绕组经限流电阻 R_f 闭合，合上并联开关 K_2 ，将同步发电机投入电网，接着将开关 K_3 倒向左边，送入励磁电流，发电机即自行牵入同步。

3. 并联运行时有功功率的调节

在 $I_f=I_{f0}$ 的条件下 (I_{f0} 是指同步发电机空载额定电压时所对应的励磁电流)，测取 $I, \cos\varphi=f(p_2)$ 。

同步发电机并入电网后，调节发电机的励磁电流及原动机的输出功率，使同步发电机输出电流 $I=0$ ，相应的励磁电流 $I_f=I_{f0}$ ，保持 $I_f=I_{f0}$ 不变，逐次增加原动机输出功率（为此可升高原动机 ZD 的电枢电压或减小它的励磁），使同步发电机输出功率 P_2 增加，在 I 从零增加到 I_N 的过程中，读取三相电流 $I_A、I_B、I_C$ 及瓦特表的功率 P_2 数据共 5~6 组，记录于表 8-1 中。

4. 并联运行时无功功率的调节

在 $n=\text{常数}$ ， $U=\text{常数}$ ， $P_2\approx 0$ 和 $P_2\approx 0.5P_N$ 的条件下，测取同步发电机的 V 形曲线 $I=f(I_f)$

①测 $P_2\approx 0$ 时的同步发电机的 V 形曲线 $I=f(I_f)$

实验时，保持同步发电机的输出功率近似等于零，先增加励磁电流 I_f ，使电枢电流上升到 I_N ，记下此时励磁电流、电枢电流，然后逐渐减小励磁电流，使电枢电流减小到最小值（注意记下此点数据），此后继续减小励磁电流，电枢电流又将增加，直到 $I\approx I_N$ ，在过励与欠励的情况下各取读数 5~7 组，记录于表 8-2 中。

②测 $P_2\approx 0.5P_N$ 时的 V 形曲线。

调节原动机输入，增加发电机输出，直至 $P_2=0.5P_N$ ，实验方法同上，每次测取励磁电流，电枢电流和功率因数，将测得数据记入表 8-2 中。

减小励磁时，不可欠励太多，以防电机失步，如果失步，应立即增加励磁电流 I_f ，以便牵入同步，同时应注意电枢电流不要超过额定值。

四、实验报告

- 1、三相同步电机可用准整步法或自整法投入电网运行，试分析这两种并联方法的优缺点。
- 2、说明三相同步发电机与电网并联运行时有功功率和无功功率的调节方法。
- 3、画出 $P_2\approx 0$ 和 $P_2\approx 0.5P_N$ 时同步发电机的 V 形曲线，并对曲线进行解释说明。

表 8-1 $U_c =$ 伏 $f = f_c =$ Hz $I_f = I_{f0} =$ 安

序号	输出电流 (安)				输出功率 (瓦)	功率因数
	I_A	I_B	I_C	I	P_2	$\cos \varphi$
1						
2						
3						
4						
5						
6						

表中, $I = \frac{1}{3} (I_A + I_B + I_C)$

表 8-2 $n =$ 转/分 $U =$ 伏

序号	$P_2 \approx 0$						$P_2 \approx 0.5 P_N$					
	三相电流 (安)				励磁 电流	功率 因数	三相电流 (安)				励磁 电流	功率 因数
	I_A	I_B	I_C	I	I_f	$\cos \varphi$	I_A	I_B	I_C	I	I_f	$\cos \varphi$
1												
2												
3												
4												
5												
6												