

电机与拖动基础 实验指导书

清华大学电机教研组 编

中央广播电视大学出版社

电机与拖动基础 实验指导书

清华大学电机教研组 编

中央广播电视大学出版社

目 录

实验一	直流发电机	(1)
实验二	他励直流电动机的工作特性与调速性能的测定	(6)
实验三	他励直流电动机机械特性的测定	(9)
实验四	单相变压器空载、短路实验	(14)
实验五	三相变压器的极性和联接组的测定	(20)
实验六	异步电动机参数的测定	(25)
实验七	三相异步电动机的工作特性与机械特性的测定	(31)
实验八	同步电动机	(34)
附 录		(37)

注：为了与教材一致，本书额定值符号下标 e 均应改为下标 N 。

实验指导书

实验一 直流发电机^[注1]

I 实验目的

1. 学习电机实验的基本技术。
2. 用实验方法求他励和并励发电机的特性。

II 实验内容

1. 听取教师介绍实验室情况,讲解实验基本技术及注意事项^[注2]。
2. 观摩教师的示范线路及操作表演。
3. 学习起动直流电动机。每人操作一遍。
4. 作他励直流发电机的空载特性: $E_0 = f(I_f)$
5. 作他励直流发电机的外特性: $U = f(I)$
6. 观察并励直流发电机的电压建立情况。
7. 作并励直流发电机的外特性: $U = f(I)$

III 实验线路及操作步骤

本实验的原动机为直流电动机,实验线路如图1所示。

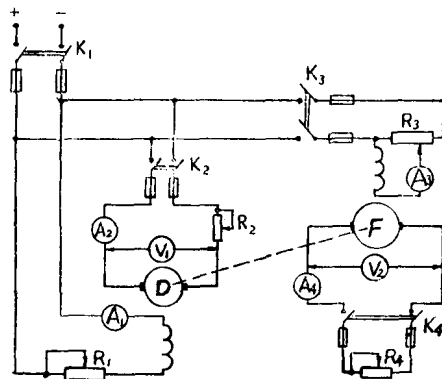


图 1

图中: F 为他励直流发电机, D 为拖动发电机的直流电动机。

A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 为直流电流表。

V_1 、 V_2 为直流电压表。

K_1 为电源刀闸, K_2 、 K_3 、 K_4 为双刀单投刀闸。

R_4 为可变负载。 R_1 、 R_3 分别为励磁回路中的可变电阻, R_2 为 D 的起动电阻。

1. 起动机组,使发电机的转速达到额定转速 n_e 。

(1) 起动前检查线路, K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 均处于断开位置,并将电阻 R_2 调至最大位置, R_1 调为最小。

(2) 先给电动机 D 通入励磁电流。为此,合刀闸 K_1 ,接入电流表 A_1 ,待看到 A_1 有读数后再进行下一步。

(3) 合刀闸 K_2 , 给电动机电枢中通入电流。此时须观察电机旋转方向是否正确, 如转向不对, 应拉开刀闸 K_1 , 将 D 的电枢两端或励磁绕组的两端颠倒接入后, 再起动电机, 这时电机的转向就一定是正确的。

(4) 机组起动后, 可逐步减小 R_2 , 直至短路, 此时应见到机组逐步升速, 如有异常现象, 须停车检查后再重新起动。

(5) 调节 R_1 , 使机组转速达到额定值。

2. 作他励直流发电机的空载特性试验: $E_0 = f(I_f)$

在实验过程中保持发电机的转速为额定值 $n = n_e$, 接入电流表 A_3 和电压表 V_2 , 测空载特性曲线的上升分支与下降分支, I_f 从 0 开始增加, 直到 $E_0 \approx 1.2 U_e$ 为止, 再减小 I_f 到 0。每一个分支取 6~7 个点(必须包含额定电压点)。并注意在调节 I_f 时, 无论在上升分支还是在下降分支, 都必须作单方向变动。

上升分支	I_f (安)	
	E_0 (伏)	
下降分支	I_f (安)	
	E_0 (伏)	

3. 作他励直流发电机的外特性试验: $U = f(I)$

维持发电机转速 $n = n_e$ 不变, 加上激磁使发电机产生空载电压; 将发电机加上负载, 接入电流表 A_4 ; 调节负载大小和发电机励磁电流的大小, 使发电机输出电流为额定值 I_e , 端电压为额定电压 U_e ; 保持此时的励磁电流 I_{f0} 不变, 逐渐减小负载电流直至零, 并记录电压升高情况(测 5~6 点即可)。

I (安)	
U (伏)	

计算电压调整率

$$\Delta U \% = \frac{U_0 - U_e}{U_e} \times 100 \%$$

其中 U_0 是发电机励磁电流为 I_{f0} 、转速为 n_e 时的空载电压。

如果发电机的负载采用灯箱, 为了不使灯泡上的电压超过 220 伏, 避免烧坏灯泡, 可作电压下降的外特性试验。即维持 $n = n_e$, 调节励磁, 使发电机空载电压为 220 伏; 保持此时的励磁电流 I_{f0} 不变, 电枢电流从 0 增加到 I_e , 记录电压下降的情况。这种情况下的电压调整率可用下式计算:

$$\Delta U \% = \frac{U_e - U}{U_e} \times 100 \%$$

其中 U 是发电机励磁电流为 I_{f0} 、转速为 n_e 、负载电流为 I_e 时的发电机端电压。

4. 并励直流发电机的电压建立

把线路改接成如图 2 所示。起动电动机到发电机转速达额定转速 n_e 。

(1) 首先量测发电机端有没有剩磁电压。

(2) 在并励发电机的励磁回路中串入一定大小的电阻 R_3 ; 合刀闸 K_3 , 看发电机端电压是升高还是降低, 如果电压升高, 则励磁绕组与电枢绕组的极性是正确的, 如果发电机端电压减

小,则极性接错,应将励磁绕组的两个头对调一下。

(3) 观察改变发电机励磁回路中串联的电阻 R_3 的大小对发电机端电压大小的影响。如果串联电阻太大,使发电机励磁回路总电阻超过了临界电阻值,则发电机端电压仍建立不起来。

5. 作并励发电机的外特性试验 $U = f(I)$

保持发电机转速 $n = n_e$, 将发电机加上负载,调节励磁电流和负载电流,使发电机输出电

流为 I_e ,端电压为 U_e ;保持这时的励磁回路电阻值不变,减小负载,直至负载电流为零,记录端电压升高情况。计算电压调整率。

如果负载用灯箱,则保持转速 $n = n_e$,调节励磁使空载电压为 220 伏;保持励磁回路电阻不变,加负载,输出电流从零逐渐加大至 I_e ,记录端电压下降情况,并计算电压调整率。

数据表格及计算公式与他励发电机的相同。

IV 实验报告要求

1. 列出数据表格,在座标纸上画出他励直流发电机的空载特性曲线。
2. 列出数据表格,在座标纸上画出他励直流发电机的外特性曲线,并求出电压调整率。
3. 列出数据表格,在座标纸上画出并励直流发电机的外特性曲线,并求出电压调整率。
4. 写出实验中的心得体会。

V 实验注意事项

1. 正确起动直流电动机,并使其转向与机座标志一致;如发现不转,要立即切断电源检查线路。

2. 合理选择及取用变阻器。使用前要先弄清及检查每个接线柱的接线情况,有无松动或掉线,特别是对电动机励磁回路中的串联电阻更要注意。

3. 拉断电感性电路(如激励磁绕组回路)一定要先取出电压表,以免产生的过电压损坏电表。

4. 空载特性由磁路的材料所决定,一般指整个磁滞环;但在实际应用中,由于励磁电流的方向常已固定,故作一个象限的空载特性更有意义,一般作是作上升及下降的回线再取其平均值。试验中,在记录数据以前,须先将电机的励磁电流加入,并调节其大小,自 $I_f = 0$ 到 $I_f = I_{fmax}$ (这时无载电势 $E_0 = 1.2 U_e$)反复磁化几次,以使电机的磁化曲线较为稳定,然后再开始记录。

5. 负载试验时,若负载用灯箱,在整个试验过程中,勿使发电机端电压超过灯泡的额定电压 220 伏。

VI 思考题

1. 起动直流电动机时,电枢回路为什么要串联一个大电阻?而励磁回路串联的电阻为什么要调到最小?若放在电阻值最大的位置,有什么后果?

2. 并励直流发电机的电压如果建立不起来,可能有哪些原因?应采取什么措施?

3. 在作发电机的外特性试验中,当增加负载时,机组转速是否会变化,为什么?应采取

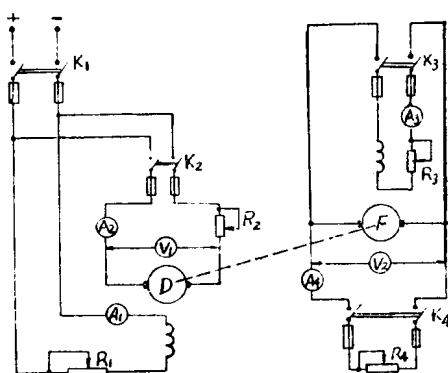


图 2

什么措施随时保持 $n=n_0$ 不变?

VII 实验中需用的仪表, 设备的选择

仪表、设备的选择要根据发电机的容量大小来决定, 下面举例说明。

1. 首先要了解被试直流发电机的有关数据及作为原动机的直流电动机的有关数据。例如: 直流电动机数据:

额定功率 $P_e = 2.5$ 千瓦, 额定电压 $U_e = 220$ 伏, 额定转速 $n_e = 1500$ 转/分, 额定运行时输入电流 $I_e = 14.4$ 安, 激磁绕组电阻值 125 欧。

直流发电机数据:

额定功率 $P = 2$ 千瓦, 额定电压 $U_e = 230$ 伏, 额定转速 $n_e = 1500$ 转/分。

2. 电压表的选用

(1) 因为电动机的额定电压为 220 伏, 可以选择直流电压表 V_1 的量程为 250 伏。

(2) 因为发电机的额定电压为 230 伏, 做空载试验时, 最大电压取到 $1.2U_e = 260$ 伏, 可以选择直流电压表 V_2 的量程为 450 伏。

3. 电流表的选用

(1) 电动机的额定输入电流为 14.4 安, 可选用直流电流表 A_2 的量程为 20 安。

(2) 电动机的励磁回路最大电流为 $\frac{U_e}{R_f} = \frac{220}{125} = 1.78$ 安, 可选用直流电流表 A_1 的量程为 2 安。

(3) 发电机的额定电流为 $\frac{P_e}{U_e} = \frac{2000}{230} = 8.7$ 安, 可选用直流电流表 A_4 的量程为 10 安。

(4) 发电机励磁回路电流要考虑到最大空载电压时的需要, 励磁电流最大值约 0.7 安左右, 可选用直流电流表 A_3 量程为 1 安。

4. 各刀闸 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 所用保险丝要与该回路通过的电流相适应, 否则不能起保护作用, 如 K_1 为电源刀闸, 其保险丝容量应选为 20 安。

5. 转速表要求能量测 1500 转/分左右的转速, 可用机械式转速表或闪光测速仪等。

6. 发电机负载 R_L 要求与被试发电机相配合, 负载的额定电压、额定电流应大于或等于发电机的相应数据, 可用可变电阻、水箱、灯箱等。

7. 电动机和发电机励磁回路可变电阻器的选择: 可变电阻器经常有两种用法。

(1) 串联法

一般用于所调节的电流值较大, 并且不要求调到很小或接近于零的情况, 如并励直流电动机的励磁回路中即用此法, 线路如图 3 (a) 所示。有时为了使电流的调节范围较大, 也可用二、三个不同规格的电阻器串联使用。选择电阻器和使用时, 必须保证通过每个电阻器的电流都不能超过其额定电流。例如, 已知电动机励磁绕组的电阻为 125 欧, 电源电压 $U = 220$ 伏, 先计算

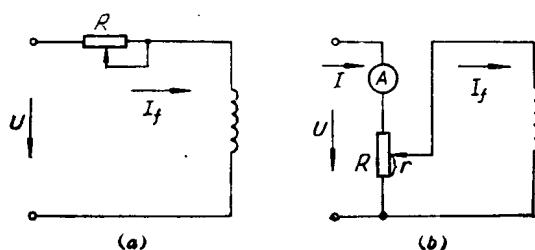


图 3

励磁电流的最大值 $I_{f\max} = \frac{220}{125} = 1.78$ 安, 可选一个 1.9 安、270 欧的电阻器, 当电阻器串入励磁回路的电阻为零, 即这时滑块移至图 3 (a) 中最左端时, 励磁电流最大, 但并没有超过电阻器的额定电流值, 电阻器的使用是安全可靠的。当电阻器的电阻调到最大, 即滑块移至图 3 (a) 的最右端时, 励磁电流最小, $I_{f\min} = \frac{220}{125+270} = 0.57$ 安。如果这样的励磁电流已经能够满足电动机调速的要求, 则串入这样一个电阻器就可以了; 如果还想使励磁电流调节的范围增加, 则可以再选一个 1 安、300 欧的电阻器, 当两个电阻器的电阻全部串入后, 电流为

$$I_f = \frac{220}{125+270+300} = 0.32 \text{ 安},$$

若要求被调电流更小些, 可再串一个 0.5 安、3000 欧的电阻器。在实际使用中, 当电阻值由大向小调节(电流由小到大)时, 应先调节额定电流较小的电阻器, 并且必须调到电阻全部短路位置; 如上例中先调 0.5 安的, 再调 1 安的, 最后调 1.9 安的。反之, 当电阻由小向大调节时, 调节的次序正好相反, 并且应将前一个电阻器电阻值全部串入后, 再调下一个电阻器。

(2) 分压法(并联法)

一般用于当被调节的电流需调到很小或接近于零的情况下。作直流发电机的空载特性实验时, 励磁回路中采用此法较好, 线路如图 3(b) 所示。但要正确地选择电阻器的容量(额定电流), 保证

$$\frac{U}{R} + I_{f\max} < I_e \text{ (电阻器的额定电流)}$$

式中 U 为电源电压, R 为电阻器的总电阻值, $I_{f\max}$ 为被调电流 I_f 的最大值。若所选用电阻器的额定电流 $I_e < \frac{U}{R} + I_{f\max}$, 则必须在电路中串接电流表 A 监视 $I \leq I_e$, 以防止试验中当调到 $r=R$ 时, 因过电流而烧坏电阻器。例如已知电源电压 $U=220$ 伏, 直流发电机的励磁电流最大值 $I_{f\max}=0.7$ 安, 选用 2.2 安、240 欧的电阻器, 计算校核如下:

$$\frac{220}{240} + 0.7 = 0.92 + 0.7 = 1.62 \text{ 安} < 2.2 \text{ 安}$$

所以能保证电阻器不会过载使用, 不一定要用电流表来监视工作。

8. 电动机电枢回路串联电阻器的选择

电动机电枢回路串联电阻器首先是为了限制起动时的电枢电流, 使电动机顺利起动。一般直流电动机在起动过程中, 其最大起动电流为额定电流的两倍左右。本例中要求电阻器的电流容量为 20~30 安, 电阻器的阻值大于 10 欧, 这样能使电阻器全部串入电枢回路时, 电枢电流达到 $\frac{220}{10} = 22$ 安, 不会超过电阻器的电流容量。除了采用可调电阻箱外, 也可以用三点起动器。

注 1 本实验是第一个电机实验, 教师需要讲解的内容较多。本实验指导书所列内容不一定都做, 重点可以放在并励发电机的电压建立及外特性上。实验中所需的仪表、设备也可由教师选好后告诉学员, 不要求学员自己能选择, 这方面的能力可以逐步培养。

注 2 教师讲解内容参考

1. 实验室情况介绍

电源分布和取用,实验桌的使用方法,保安、防火设施。

2. 实验基本技术及注意事项

(1) 安全注意事项。

(2) 有关仪表、设备的正确使用方法。各种仪表、设备首先要核查其型号、规格、量程,作到合理使用。

(3) 接线前必须将电源切断。

(4) 接线要注意文明。线的长短、粗细要合适,走线尽量避免交叉,一个接线柱上不要接三个以上的线头;仪表、设备的安放要整齐适当。

(5) 接线要牢实。尤其是直流电动机励磁回路中的接线,必须再三检查确信牢实可靠;并在实验过程中防止断线。否则,会引起电机超速或其它损坏。

(6) 实验线路每一次接好及每一次改接后,都必须经教师检查通过,方可进行试验。合电源刀闸前必须通知全组成员。

(7) 所有量测仪表均不得接死在线路中。

(8) 使用直流仪表时,均应先试量,看其极性正确与否。

(9) 实验时,必须注意同组人员之间的配合,指挥、量测、记录要有分工,读数要同时进行;调节指挥要用手势,不要大声喧哗。

(10) 实验完毕,首先要分析所得结果是否合理,然后将结果经教师检查、签字后方可拆除线路。

(11) 拆线前必须先断电源。

实验二 他励直流电动机的工作特性 与调速性能的测定

I 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。

II 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 、电源电压 U 与励磁电流 I_f 的大小,量测直流电动机的转速。

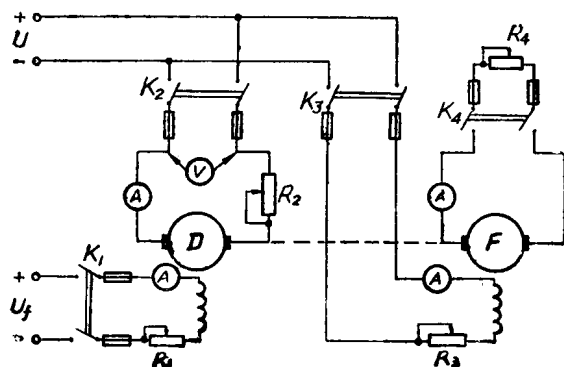


图 4

III 实验线路及操作步骤

1. 作他励直流电动机的负载试验

(1) 按图 4 接好线后, 空载起动直流电动机 D 至额定转速 n_e 。之后合刀闸 K_3 , 给发电机 F 加励磁; 发电机建立正常电压后, 逐步带上负载, 这样就可使直流电动机所带的负载不断增加, 直至运行于额定工作点, 即额定电压 U_e , 额定电流 I_e , 额定转速 n_e 。直流电动机运行于额定工作点时的励磁电流就叫做额定励磁电流 I_{fe} 。额定励磁电流找到之后, 在整个负载试验过程中, 电动机的励磁电流要保持此额定值不变。

(2) 做直流电动机的负载实验, 从额定负载做到空载, 共测取七组数据即可。将不同负载时的直流电动机电枢电流 I_a 与转速 n 记录在下面的表格内。

$$U_e = \text{___ 伏} \quad I_{fe} = \text{___ 安}$$

I_a (安)							
n (转/分)							

实验过程中, 减小直流电动机的负载是靠减小直流发电机的负载电流或减小直流发电机的励磁电流来实现的。电枢电流从额定值到空载值, 测量的各点在曲线上应大致均匀分布。

*2. 他励直流电动机改变电枢回路电阻 R_2 的调速方法

实验参考线路为图 4 所示。

(1) 起动直流电动机。实验条件为: $U = U_e$; $I_f = I_{fe}$; 在调速过程中电动机带一个恒转矩的负载。将电源电压与电动机的励磁电流均调到额定值。为使发电机能等效于一个恒转矩负载, 我们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: 合刀闸 K_3 , 并调节 R_3 , 使发电机励磁电流等于其额定励磁电流; 再合刀闸 K_4 , 并调节发电机负载电阻 R_4 , 选择发电机负载电流为某个数值。

(2) 将电动机电枢回路电阻 R_2 从零开始逐渐增大, 当 R_2 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_4 , 才能使发电机负载电流仍维持为原先的数值。测量转速 n 。将所串电阻 R_2 与对应的转速 n 分别记录在下面的表格内。测 5 组数据即可。

R_2 (欧)					
n (转/分)					

(由于转速变化时, 发电机的空载转矩 M_0 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. 他励直流电动机改变电压的调速方法

实验线路参照图 4。

(1) 起动直流电动机。实验条件保持为: $I_f = I_{fe}$; 电枢回路不串联电阻, 即 $R_2 = 0$; 电动机带一个恒转矩的负载, 办法如上面所述。

(2) 调节电源电压, 电压从额定值往下调节, 测量电源电压 U 及转速 n , 并将测量结果记录在下表内。共测 5 组数据即可。

U (伏)					
n (转/分)					

*4. 他励直流电动机改变励磁电流的调速方法

实验线路参照图 4。

(1) 起动电动机。实验条件为: $U = U_e$; $R_2 = 0$; 带恒转矩负载, 办法如前面所述。

(2) 调节直流电动机的励磁电流 I_f (实为调节励磁回路所串电阻 R_1)。当 R_1 由小变大时, I_f 由大变小。测量励磁电流与对应的转速。将测量的结果记录在下表内。共测 5 个点即可。

注意, 电机最高转速不要超过 $1.2n_e$ 。

I_f (安)					
n (转/分)					

IV 实验报告要求

1. 用直角坐标纸画出下列特性曲线:

(1) 转速特性 $n = f(I_a)$;

(2) 转矩特性 $M = f(I_a)$;

(3) 效率特性 $\eta = f(I_a)$ 。

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、测功机等。如果负载是涡流闸或测功机, 则电动机的输出转矩 M_2 可以直接读得。如果用直流电动机——直流发电机组来测电动机的工作特性时, 则要花较多的计算工作量。下面以图 4 实验线路为例, 对如何求得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。

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

其中 Q 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_e 与额定励磁电流 I_{fe} 。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它们的空载损耗相等, 并且是个常数。当发电机空载时, 电动机的输入功率近似等于两台电机的空载损耗之和。(因为这时电动机的电枢铜耗很小, 可忽略不计。)即 $P = p_{0D} + p_{0F} = 2p_0$ (其中 P 为电动机的输入功率, p_{0D} 为电动机的空载损耗, p_{0F} 为发电机的空载损耗, p_0 为平均损耗)。所以 $p_0 = \frac{1}{2}P_1 = \frac{1}{2}U_e \cdot I_{a0}$ 。

(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 $P_1 = U_e \cdot I_a$, 全部损耗 $\Sigma p = p_{\text{Cu}a} + p_0 = R_{a75^\circ\text{C}} I_a^2 + p_0$ 。

(4) 电动机的电磁转矩为

$$M = \frac{P_M}{\Omega} = \frac{P_1 - p_{\text{Cu}a}}{2\pi n} \cdot 60$$

工作特性的各点可列表计算如下:

$U_e =$ 伏 $R_{a75^\circ C} =$ 欧

所求各量	电枢电流 I_a (安)	转速 n (转/分)	输入功率 P_1 (瓦)	电枢铜耗 $P_{Cu a}$ (瓦)	电磁功率 P_M (瓦)	电磁转矩 M (牛·米)	输出功率 P_2 (瓦)	效率 η
计算 公式	实测	实测	$P_1 = U_e \cdot I_a$	$P_{Cu a} = I_a^2 R_{a75^\circ C}$	$P_M = P_1 - P_{Cu a}$	$M = \frac{P_M}{2\pi n} \cdot 60$	$P_2 = P_M - p_0$	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$
被测 各点								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

V 实验注意事项

1. 直流电动机的额定励磁电流需通过实验确定。
2. 如用直流发电机作直流电动机的负载，则工作特性中只有转速特性 $n = f(I_a)$ 是实测的，而转矩特性 $M = f(I_a)$ 和效率特性 $\eta = f(I_a)$ 需根据实验数据再经过计算才能得到。
3. 测直流电动机的空载损耗 p_0 时，发电机空载，但应加上额定励磁。只有这样，电动机的空载损耗与同轴发电机的空载损耗才近似相等。
4. 发电机若以灯箱作为负载时，应注意灯箱电压不要超过其额定值。
5. 在做弱磁调速实验时，最高转速不要超过 $1.2n_e$ ，以免损坏电机。

VI 思考题

1. 他励直流电动机的转速特性为什么是一条下斜的直线？当电枢电流增大时，有上翘现象吗？为什么？
2. 电动机的空载损耗 p_0 决定于哪些因素？为什么在本实验中可近似认为 p_0 不变？
3. 为什么他励直流电动机的转矩特性 $M = f(I_a)$ 是一条直线？此直线通过座标原点吗？为什么？
4. 为什么当直流电动机的电枢电流太大时，效率反而降低了？
5. 为什么当负载转矩基本不变时，增大电枢回路电阻 R_a 或降低电源电压 U 会使电动机的转速降低？而减小励磁电流时能使转速上升？如何从物理概念上来理解？

注1 打“*”者为选做内容。以下各实验中都相同。

注2 本实验中仪表的选择请参照实验一。

实验三 他励直流电动机机械特性的测定

I 实验目的

测定他励直流电动机在各种运转状态下的机械特性。

II 实验内容

1. 测定他励直流电动机的固有机特性。
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的机械特性。

III 实验线路及操作步骤

实验线路见图 4。

1. 测固有机特性

实验中保持条件: $U=U_e, I_f=I_{fe}$ 。

(1) 按图 4 接好线, 经检查无误后, 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_e, n_e, I_e)。记下额定励磁电流。

(2) 保持 $U=U_e, I_f=I_{fe}$ 。逐步减小直流电动机的负载。(即减小发电机的负载或减小发电机的励磁电流。)以测得不同负载下的电动机的电枢电流 I_a 和转速 n 。记录在下表内。测 7 组数据即可。

$U_e = \underline{\hspace{2cm}}$ 伏 $I_{fe} = \underline{\hspace{2cm}}$ 安

I_a (安)							
n (转/分)							

2. 测电枢回路串接电阻 R_2 时的人为特性

实验中保持条件: $U=U_e, I_f=I_{fe}, R_2 \neq 0$ 。

固有特性测完后, 将直流电动机电枢回路的可变电阻 R_2 由零调至某阻值。在测此人为特性时, R_2 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 与转速 n 。记录在下表内。测 7 组数据即可。

$U_e = \underline{\hspace{2cm}}$ 伏 $I_{fe} = \underline{\hspace{2cm}}$ 安 $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 欧

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: $I_f=I_{fe}, R_2=0, U \neq U_e$ 。

实验内容 2 做完后, 切除 R_2 , 并将电源电压 U 从 U_e 调节至某个电压值。在测此人为特性时, 保持此电压值不变。

逐步改变直流电动机的负载, 测量不同负载时的电枢电流 I_a 与转速 n , 记录在下表内。测 7 组数据即可。

$U = \underline{\hspace{2cm}}$ 伏 $I_{fe} = \underline{\hspace{2cm}}$ 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: $U=U_e$, $R_2=0$, $I_f \neq I_{fe}$ 。

实验内容 3 做完后, 将电源电压 U 调至额定值 U_e , 并将直流电动机的励磁电流从额定值调到小于额定值的某个数值, 即 $I_f < I_{fe}$ 。在测此人为特性时, 保持此励磁电流值不变。

逐步调节直流电动机的负载, 测量不同负载时的电枢电流 I_a 与转速 n , 记录在下表内。测 7 组数据即可。

$U_e =$ ____ 伏 $I_f =$ ____ 安

I_a (安)							
n (转/分)							

*5. 测回馈制动的机械特性

实验参考线路如图 5 所示。

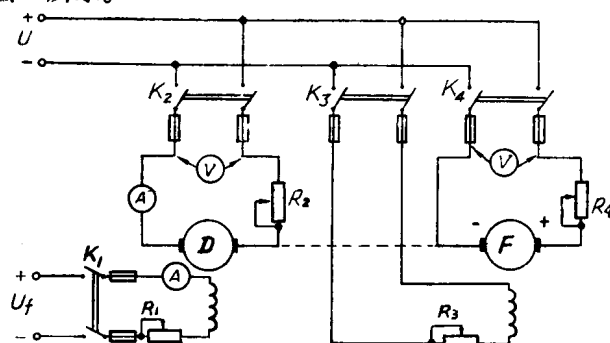


图 5

(1) 起动直流电动机, 使其电压等于额定电压、励磁电流等于额定的励磁电流, 即 $U=U_e$, $I_f=I_{fe}$ 。并且为使回馈制动的机械特性不至于太硬, 直流电动机电枢回路可适当串入一电阻, 即 $R_2 \approx 0$ 。在测此特性时, 保持此电阻值不变。

(2) 直流发电机并网。合刀闸 K_3 , 调节 R_3 , 使发电机的空载端电压等于电网电压; 并判断一下发电机电枢两端的极性与电网的两个端子的极性是否相同。只有当极性相同, (如图 5 示) 且电压数值相等时, 直流发电机方可并网。并网时, 因为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_3 , 即减小发电机励磁电流, 这样发电机的感应电势随之减小, 直流发电机工作于电动状态。当 R_3 调到某一数值时, 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_3 , 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 分别记录在下表内。注意, 电动机最高转速不要超过 $1.2n_e$ 。共测 5 个点即可。

I_a (安)					
n (转/分)					

*6. 作转速反向的反接制动的机械特性

实验线路参照图 5。

(1) 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_2 , 并在测此特性时, 保持此阻值不变。

(2) 合上刀闸 K_3 , 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_4 。之后再合刀闸 K_4 。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。

假定合上刀闸 K_4 后, 电动机转速虽下降, 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 $(R_0 + R_4)$ 上, 其中 R_0 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 R_3 或 R_4)就能使直流电动机的转速继续降低, 直至转速为零。(在转速很低的情况下, 调节电动机的负载转矩应主要靠调节 R_4)

当电动机转速为零后, 继续减小 R_4 , 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_4 , 测量直流电动机的电枢电流 I_a 与转速 n , 并记录在下表内。测量 5 个直流电动机在转速反向的反接制动状态的运行点。

$R_2 =$ ____ 欧

I_a (安)					
n (转/分)					

IV 实验报告要求

用直角坐标纸作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_2 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的机械特性。

各点的电磁转矩 M 可这样求得:

$$P_M = I_a \cdot E_a = I_a \cdot [U - (R_a + R_2) \cdot I_a]$$

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

所以除了各点的电枢电流 I_a 与转速 n 都已知道之外, 直流电动机的电枢电阻 R_a 与测每条机械特性时电枢回路所串的电阻 R_2 也应知道。

每条特性曲线的各点可列表计算。

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

V 实验注意事项

1. 正确启动直流电动机。
2. 作每一个特性实验时,一定要注意实验保持条件。
3. 如果用灯箱作为直流发电机的负载,则应注意发电机的端电压不要超过灯泡的额定电压。

VI 思考题

1. 做固有特性实验时,为什么首先要找电动机的额定运行点?如何找 I_{fN} ?
2. 直流电动机的机械特性是指电磁转矩与转速的关系,各点的电磁转矩 M 如何求得?
3. 调节同轴的直流发电机的电枢电流与励磁电流,为什么能起到调节电动机的电磁转矩的作用?
4. 在回馈制动实验中,怎样知道电动机的转速是否超过了理想空载转速?
5. 在转速反向的反接制动实验中,电动机的转速反向了,其电磁转矩的方向有没有变?为什么?

注: 本实验中仪表的选择请参照《实验一》。

实验四 单相变压器空载、短路实验

I 实验目的

1. 学习做单相变压器的空载、短路及负载实验。
2. 学习用实验方法测定单相变压器的参数和性能。

II 实验内容

1. 做变压器空载实验

(1) 量测当原边(低压边)加电压 $U_{10}=U_{1n}$, 副边开路时的空载电流 I_{10} 、功率 P_0 及副边开路电压 U_{20} 。

(2) 做空载特性 $U_{10}=f(I_{10})$ 。自 $U_{10}=(1.1\sim 1.2)U_{1n}$ 开始往下做。

2. 做变压器的短路实验

副边(低压边)短路, 量测当原边(高压边)通入电流 $I_1=I_{2n}$ 时的原边短路电压 U_k 、功率 P_k , 并记下室温。

*3. 做变压器负载实验

量测当原边(低压边)加电压 $U_1=U_{1n}$ 、副边(高压边)电流 $I_2=I_{2n}$ 、功率因数 $\cos\varphi_2=1$ 时的原、副边功率 P_1 、 P_2 , 电压 U_2 及电流 I_1 。

III 实验线路及操作步骤

1. 空载实验

(1) 线路图如图 6。低压边通过调压器接于电源, 高压边开路。

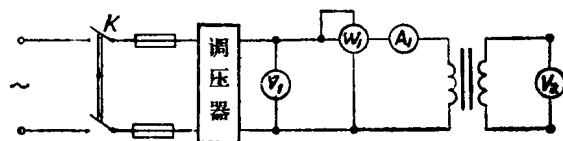


图 6

(2) 实验步骤

- a. 调压器手柄置于输出电压为零的位置时合刀闸 K 。
- b. 调电压至 $U_{10}=U_{1n}$, 记下 I_{10} 、 P_0 及 U_2 值。
- c. 作空载曲线。调电压至 $U_{10}=(1.1\sim 1.2)U_{1n}$, 然后逐步降低电压, 做 7~8 点, 记录 U_{10} 及 I_{10} 值, 至 $U_{10}=0$ 时为止。
- d. 从线路上取出仪表, 拉开刀闸。

(3) 实验数据