

7197.65/4440

舰用电機实验讲义

范存廉 臧克茂 編

1963年10月

前 言

本实验讲义系为艦艇电气設備专业所编写，共有十三个实验，其内容根据艦用电机教学大纲的要求和现有的实验器材所定；为便于在教学过程中有所机动，部分实验中列入了弹性材料（带*者），可根据具体情况进行取舍。实验九到十三由范存廉执笔，其余为臧克茂执笔。编写中，实验室王太春同志提供了不少宝贵意见。

編 者

1963年7月

目 录

电机实验的有关事项	1
实验一 他激与并激直流发电机的特性研究	4
实验二 复激发电机的特性试验	11
实验三 并激电动机和复激电动机试验	14
实验四 直流电机的损耗与效率试验	20
实验五 直流发电机的并联运行	26
实验六 直流电机的换向试验	31
实验七 单相变压器试验	36
实验八 三相变压器的联接组	42
实验九 三相同步发电机的参数测定	46
实验十 三相同步发电机的特性及其与网路的并联运行	52
实验十一 三相线绕式异步电动机的特性和参数	56
实验十二 三相短路转子感应电动机	59
实验十三 直流电机的温升测定	63

电机实验的有关事項

一、实验的目的

电机实验是“舰用电机”课程的有机组成部分，是教学过程中重要的一环；其目的在于例证课程中所读到的理论，巩固已获得的知识，并使获得某些运用电机和进行简单试验的经验。

二、实验的预习

学员实验前应很好地进行预习，预习包括认真地阅读实验提纲和教科书中的有关材料，达到熟悉实验的原理、步骤和方法；在实验记录纸上写下进行实验的提纲、绘好接线圈、划好记录表格和准备好实验中需应用的计算公式；了解实验中应特别注意的事项。最好还以小组为单位漫谈一下做实验的步骤、方法和实验中各人的职责（或分工）。

实验前，实验指导人员要了解学员的预习情况；在必要时，可要求学员继续进行预习。

三、实验的现场认识及接线工作。

到实验室现场后，每人首先应该认识电机、变阻器、仪表、起动器等实验设备；记住铭牌上的重要数据，并由一人负责抄录。

在准备按照实验要求进行实验时，应该根据电机的额定数据（如电压、电流和转速等）选择适当的仪表量程（还要考虑到电压、电流和转速的调节范围）和导线的粗细，以免造成仪表等的损坏或实验数据不够精确。

接线时应注意使仪表和变阻器等的位置能运用方便，接线布置尽可能地简单而清楚。

接线时最好按下列步骤进行：从电源的一个接线柱开始，先按接线图用导线把主电路中各个串接元件顺序地连接起来，而回到电源接线柱的另一端（在连接直流电路时，通常从电源的正端开始，回到电源的负端；在连接三相电路时，通常从电源开始，三条线同时并头进行连接直到负载为止），然后在这个主电路上，于适当的接线柱上逐

步速接各并联电路。

全组人员均应参加接线工作。一般可以一部分人进行接线，其余人员负责检查接线的正误和导线接头是否太松（在检查线路时还应注意电表的量程是否恰当，指针是否在零位，起动器和变阻器等手柄的位置是否在接通电源前的位置），在接第二次线路时，互换之。

四、接通电源和实验的进行

在肯定接线线路和选用的仪表完全正确、导线接头的接触良好、启动器和变阻器手柄的位置正确，并经指导人员的同意，在全体组员的密切注意下合上电源开关，接通电源。在接通电源的瞬间，必须观察各电表指针的偏转是否正常，发现不正常时，立即打开电源开关，进行检查和纠正，到完全正常时，才可进行实验。

每一次的接线改动，均必须报告指导人员，经同意后方可接通电源。不得擅自改动接线和接通电源。

每一次接通电源的瞬间均必须观察各电表指针的偏转情况。

在进行一个实验前，全组人员均应对实验的要求和步骤有明确的了解。以便实验迅速、顺利地进行。

在实验中全组人员均应听从组长的指挥，组长也应在各方面负起责任，并使每人均有工作；到一定阶段，并且认为适当时可更换各人的工作。

若有数人同时进行工作并希望调节某量到一定数值时，应注意互相配合。

在实验中，读表要迅速准确，尤其电机在过电压、过电流或超速的情况下，更要注意这一点。

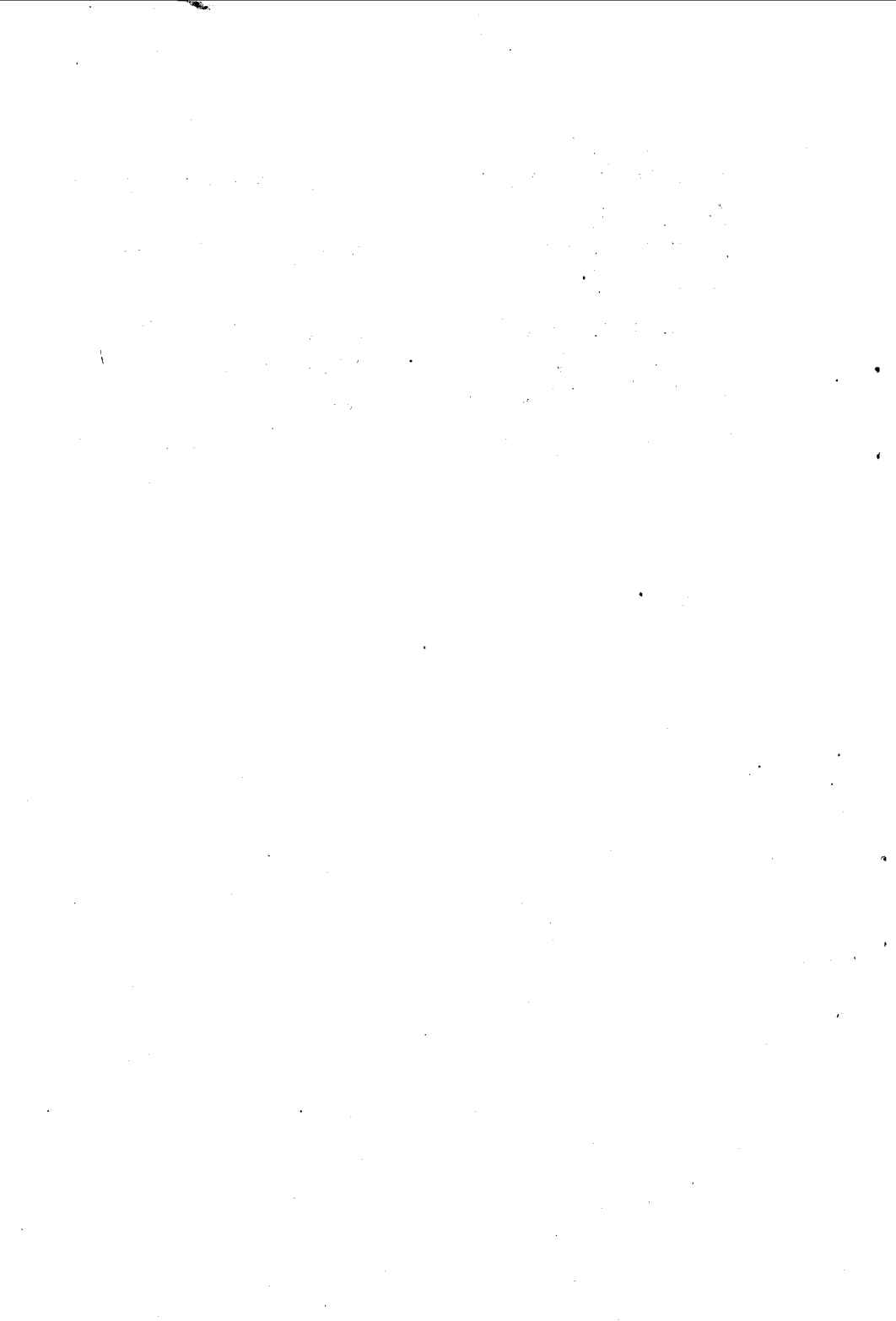
每项实验结束后，应仔细检查实验数据是否齐全，量的变化是否符合规律，在认为满意时再呈交给实验指导人员审查；经同意后，才可开始做下一项试验。

整个实验结束后，应清理实验现场，仪表、导线等实验器材和用具均应放还原处，并向指导人员报告它们在实验过程中的情况是否良好，经同意后方可离开实验室现场。

在实验中应注意爱护实验器材和遵守实验室的规则，并养成细致踏实的工作作风。

五、实验中的安全问题

1. 严禁个人任意接通电源，严禁未经检查接线和所使用的仪表是否合适就合上电源开关。
2. 人体不得接触带电部分；要改接线路时，一定要停下电机，打开电源开关。
3. 在切断电机磁场线路时，应该尽可能地使磁场绕组中的电流调节到最小，以免在切断的瞬间产生过高的感应电压。
4. 人体和衣服等不应触到旋转部分。
5. 实验前应很好准备，实验时要保持注意力的高度集中。



實驗一 他激与並激直流发电機的特性研究

实验目的

学习实验设备和仪表的使用方法；求他激和并激发电机的工作特性，运用获得的空载特性曲线和负载三角形以图解法求他激与并激发电机的外特性曲线，并将它们与用负载法求得的进行比较；计算电压变化。

实验内容

1. 熟悉电机的构造和实验仪器的使用方法，记录其名称和规格；
2. 鑑別直流电机的电枢、并激与串激磁場绕组；
3. 用感应法置电刷于几何中性线上（在有换向极的电机中）；
4. 测量电枢电路的电阻并折算到 75°C ；
5. 求他激发电机的空载特性、外特性、调整特性和负载特性；
6. 求并激发电机的外特性；
- *7. 求并激发电机的临界电流和短路电流；
- *8. 求并激发电机的临界电阻和临界转速值。

实验說明

1. 鑑別直流电机的电枢、并激和串激磁場绕组；

发电机的接线板上可能有六个出线端，分別属于电枢绕组、并激绕组和串激绕组（虽本实验无复激发电机的内容，但被试电机可能原为复激发电机）。用欧姆表测量三者的电阻，电阻最大者为并激绕组；再用手将电枢转动，用一小量程（0-3伏）的电压表测得有电势产生者为电枢绕组（因电枢绕组在转动时将因割切剩磁場而产生一电势），没有电势者为串激绕组；

2. 用感应法将电刷置于几何中性线上；

如图1-1接线，在电枢绕组端点接（1.5~3）伏的双面电压表，在并激绕组两端加一电压使其中通过的电流约为 i_{BH} 的（5~10）%，连续将

* 表示为彈性材料。

开关 P_1 断开与闭合(P_2 闭合)。若电刷不在几何中性线时(如图1-2),在电刷两端将有感应电势出现,电压表 U 之指针摆动;反之当电压表 U 之指针不动时,表示电刷刚好处于几何中性线上(如图1-3所示)。^①

3. 测量电枢电路的电阻(包括附加极绕组电阻和电刷接触压降的等效电阻):

用电流表和电压表法:接线如图1-4(注意:伏特表的量程不能太大,并应在电流表中已有读数后才接上去),测量出电枢转移(3-4)个不同位置时的值,取其平均值;记下周围

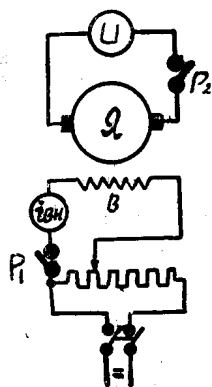


图 1-1 确定电机几何中性线的接线图

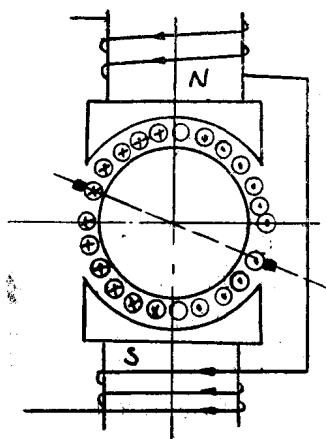


图 1-2 电刷不在几何中性线上时因断开磁场绕组在电枢绕组中感应的电势。

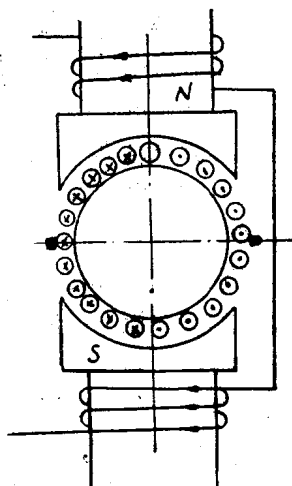


图 1-3 电刷在几何中性线上时因断开磁场绕组在电枢绕组中感应的电势。

① 在某些直流电机(特别容量较大的电机)中,有时不能获得电压表 U 指针不摆动的电刷位置;但若能定出电压表 U 指针自零点向两边偏转相同角度的电刷位置时,则表明电刷已位于几何中性线上。

空气温度 θ_0 ，将所测得的电阻值折算到 75°C 时的值。

4. 他激发电机试验

a) 空载试验： $n=n_H$ =常数， $I=0$ ，
 $U_0=f(i_B)$

按图1-5接线。合上开关 P_1 ，启动电动机（启动前 r_{p2} 必须放在电阻值最小的位置），调节 r_{p2} 使发电机的转速为额定值 n_H （在试验中应随时注意其转速。保持在额定值 n_H 不变）合上开关 P_3 和 P_4 。调节 r 和 r_{p2} ，使发电机的空载端电压 $U_0 \approx 1.3U_H$ 。再逐渐减小激磁电流 i_B ，直至 $i_B=0$ 。再将开关 P_3 倒向另一边，再逐渐增加激磁电流，直至 $U_0 \approx 1.3U_H$ （需使此时的 i_B 等于上次 $U_0 \approx 1.3U_H$ 时的 i_B 值）时，又逐渐减小 i_B 至零。再将开关 P_3 反方向合上，作与前相同的试验（注意：调节 i_B 时，只能依一个方向变化）。将各次的 U_0 及 i_B 值记入表1-1。

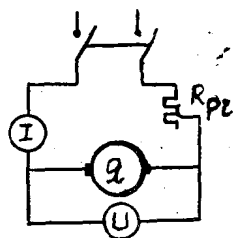


图 1-4 测定电枢电路电阻的接线图

$n=n_H$ =转/分， $I=0$ 。

表 1-1

i_B	
U_0	

b) 外特性试验：

$n=n_H$ =常数， $i_B=i_{BH}$ =常数， $U=f(I)$ 。

重新启动电动机，测量电机的转速，合上开关 P_3 、 P_4 和 P_2 ，调节

① 75°C 时的电枢电阻

$$R_{a75^\circ} = R_{a\theta_0} [1 + \alpha(75 - \theta_0)];$$

式中： $R_{a\theta_0}$ —所测得的电枢电阻；

$$\alpha \approx 0.004,$$

若在电机处于热态下测量电枢电阻（例如当电机工作在额定负载后测量时），则所得的电阻值即可近似地认为是 R_{a75° 。

发电机的负载电阻 R_c 、激磁迴路內的串联电阻 r_{p2} 和 r_{p2}' ，使发电机

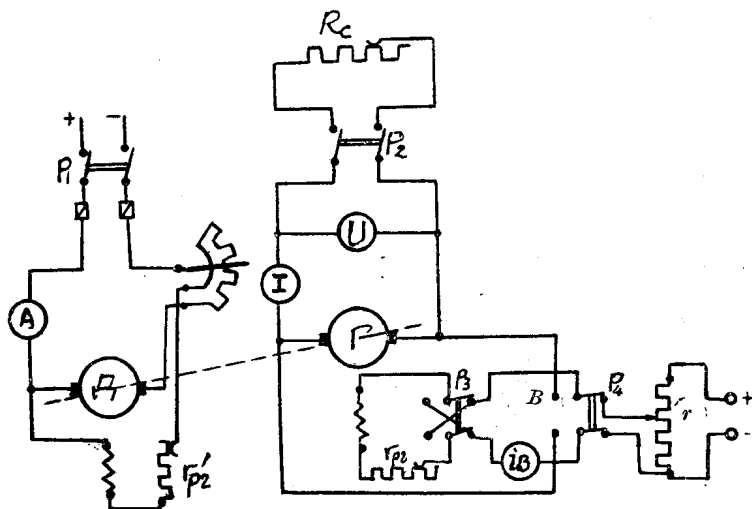


图 1-5 直流发电机試驗綫路图

工作在额定状态（即发电机有额定端电压，额定输出电流，转速亦为额定值），保持发电机的转速和激磁电流不变，调节 R_c ，使发电机的输出电流 I 由零逐渐增加到 $1.2I_H$ 。记下不同的 I 和 U 值。

$$n = n_H = \text{转/分} \quad i_B = i_{BH} = \text{安} \quad \text{表 1-2}$$

I	
U	

c) 调整特性试验： $n = n_H = \text{常数}$ ， $U = U_H = \text{常数}$ ， $I = f(i_B)$ 。

调节 r_{p2} 和 r_{p2}' ，使发电机在空载时 $n = n_H$ 和 $U = U_H$ ，并一直保持它们不变。改变 R_c ，使发电机之 I 由 0 增加到 $1.2I_H$ 及由 $1.2I_H$ 减小到 0（调节过程中只能依一个方向调节）。记录各不同的 I 及 i_B 值于表 1-3。

$$n = n_H = \text{转/分}, \quad U = U_H = \text{伏}, \quad \text{表 1-3}$$

I	
i_B	

d) 负载特性试验: $n=n_H=\text{常数}, I=I_H=\text{常数}, U=f(i_B)$ 。

调节激磁回路内的串联电阻 r_{p2}, r'_{p2} 和负载电阻 R_c , 使发电机有最大的激磁电流时 (即 $r_{p2} \approx 0$) 转速 $n=n_H$ 和电流 $I=I_H$, 再调节 r_{p2} 以减少 i_B , 直到 $i_B = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}\right) i_{BH}$, 调节时保持 $n=n_H$ 和 $I=I_H$ 不变, 记下各不同的 i_B 和 U 值。

$n=n_H =$ 转/分, $I=I_H =$ 安 表 1-4

i_B	
U	

5. 并激发电机外特性试验:

$n=n_H=\text{常数}, r_{p2}=\text{常数}, U=f(I)$

将开关 P_4 投于 B 位置上。并激发电机能自激建压除了必须有剩磁和磁场电阻不能太大外, 并激绕组与电枢绕组的接法应使并激绕组因通过电流而产生的磁场与剩磁磁场的方向相同, 所以开关 P_3 应根据这一原则闭合 (在启动电机后当发现并激发电机不能建立起电压时即需将 P_3 反向闭合)。

启动电动机, 调节 r_{p2}, r'_{p2} 和 R_c , 使发电机达额定工作状态 (即 $U=U_H, I=I_H$ 和 $n=n_H$), 维持 $n=n_H$ 和 r_{p2} 不变, 调节 R_c 和 r'_{p2} , 使 I 由 O 达到 $1.2I_H$, 记录此时的 U 及 I 于下表,

$n=n_H =$ 转/分, $r_{p2} =$ 不变, 表 1-5

I	
U	

*6. 求并发电机的临界电流和短路电流:

继上项实验, 保持 r_{p2} 和 $n=n_H$ 不变, 调节 r'_{p2} 和减小 R_c , 记下减小 R_c 而 I 亦开始减小时之值, 此即为临界电流 I_{kp} 。继续减小 R_c 直到为零, 记下此时的 I , 即为短路电流 I_k 。

*7. 求并发电机的临界电阻和临界转速值

断开开关 P_2 调节 r'_{p2} 使发电机的转速保持为额定值 n_H 不变。增大 r_{p2} , 记下发机电电压不能稳定建立时的电阻值 r_B (并激绕组的电阻) 与串联电阻 r_{p2} 值之和 R_{BKP} 。

调节 r'_{p2} 和 r_{p2} , 使在 $n=n_H$ 时 $U_0 = U_H$, 维持 r_{p2} 不变, 然后调节 r'_{p2} 以降低发电机的转速, 记下发机电电压不能稳定建立时的转速值。

結論

1. 作出他激发电机的空载特性曲线;
2. 画出他激发电机的负载特性曲线, 并由此作出相当于额定工作状态时的负载三角形;
3. 将他激和并激发电机的外特性曲线绘于同一图中, 并进行比较和分析, 决定电压变化;
4. 根据空载特性曲线的下降支线和负载三角形, 用图解法求出他激和并激发电机的外特性, 将它们与“3”之外特性曲线进行比较, 说明它们间有差异的原因;
- *5. 列出并激发电机的: 临界电流 I_{KP} , 短路电流 I_k , 临界电阻 R_{BKP} 和临界转速 n_{KP} 。

註: 实验报告应包括之内容 (以下各实验均同):

1. 实验的名称和目的;
2. 试验中所用的仪器设备的名称、数量和规格;
3. 试验数据;
4. 结论中所要求之各项;
5. 实验中所产生的故障及其处理方法;
6. 对实验的改进意见或建议。

实验二 复发电机的特性试验

实验目的

求积复发电机的主要工作特性，并与差复激和并激发电机比较之，研究串激绕组的作用。

实验内容

1. 了解实验设备情况，并记录其名称和规格；
- *2. 置电刷于几何中性线上（在有换向极的电机）和鉴别直流电机的电枢、并激和串激磁场绕组；
3. 测量电枢电路的电阻，并折算到 75°C 时的值；
- *4. 求并发电机的外特性和调整特性；
5. 求积复发电机的外特性和调整特性；
6. 求差复发电机的外特性。

实验说明

*1. 置电刷于几何中性线上和鉴别电机的电枢、并激和串激磁场绕组：参看实验一实验说明 1 和 2。

2. 测量电枢电路电阻（包括附加极绕组、串激绕组的电阻和接触压降的等效电阻），并求出折算到 75°C 时的值；

参看实验一实验说明 3。

*3. 求并发电机的外特性和调整特性。

按图2-1接线，将开关 P_2 投于 a 位置。其余参看实验一实验说明 4c) 和 5。

4. 积复发电机试验

a) 外特性试验：

$$n = n_H = \text{常数}, r_{p2} \text{ 不变}, U = f(I).$$

* 若本次实验的电机与实验一所用的是同一电机时，则本实验的弹性材料（带有*者）可不作。

将开关 P_2 投于 b 位置。检查串激绕组和并激绕组产生的磁通的相对方向（可如下检查：启动电动机，调节 r_{p2}' 使发电机转速接近于 n_H ，合上开关 P_3 ，调节 R_c ，使发电机的输出电流 $I \approx \frac{1}{2} I_H$ ，记下此时发电机的端电压；停下电机，将串激绕组的两端改接，保持 R_c 和 r_{p2}' 的位置不变，重新启动电动机，若发现此时发电机的端电压比前次为高，表明此时为积复激发电机；反之，则表明现在的为差复激发电机）。

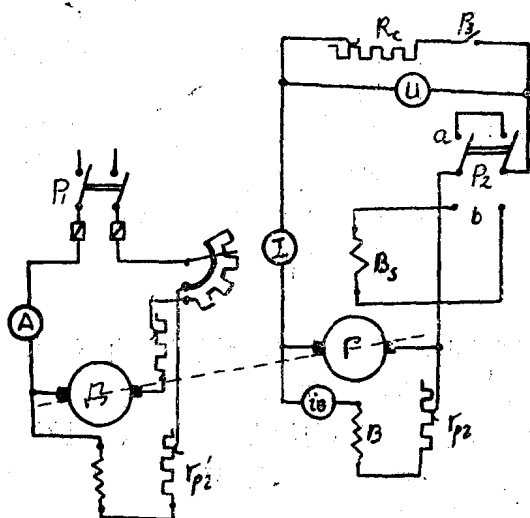


图 2-1

确定发电机为积复激后，调节 r_{p2} 、 r_{p2}' 和 R_c ，使发电机工作在额定状态。保持发电机的转速永为 n_H ，调节 R_c ，使发电机的输出电流由零逐渐增至 $1.2 I_H$ ，记下此时的 U 和 I 值于下表。

$n = n_H =$ 转/分， r_{p2} 不变 **表 2-1**

I	
U	

b) 调整特性试验：

$$n=n_H=\text{常数}, U=U_H=\text{常数}, I=f(i_B)$$

调节 r_{p2} 和 r_{p2}' , 使发电机在空载时 $n=n_H$ 和 $U=U_H$, 并一直保持它们不变。改变 $\mathcal{R}_c$, 使发电机的 I 由 0 增至 $1.2I_H$ 及由 $1.2I_H$ 减小到 0 (调节过程中只能依一个方向调节)。记下各不同的 I 及 i_B 值。

$$n=n_H = \text{转/分}, U=U_H = \text{伏}, \quad \text{表 2-2}$$

I	
i_B	

5. 差复发电机的外特性试验:

$$n=n_H=\text{常数}, r_{p2}\text{不变}, U=f(I).$$

停下电机, 将串激绕组改接使成差复发电机。启动电动机, 调节 r_{p2} 、 r_{p2}' 和 $\mathcal{R}_c$, 使发电机工作在额定状态。保持发电机的转速永为 n_H , 调节 $\mathcal{R}_c$, 使发电机的输出电流由零逐渐增至 $1.2I_H$, 记下此时的 U 和 I 值于下表。

$$n=n_H = \text{转/分}, r_{p2}\text{不变} \quad \text{表 2-3}$$

I	
U	

結論:

1. 将并激、积复激和差复发电机的外特性曲线绘于同一图中, 进行比较说明, 决定三者的电压变化。
2. 将并激和积复发电机的调整特性绘于同一图中, 作出它们的平均线, 决定积复发电机在额定工作状态时串激磁势与并激绕组产生的磁势之比。

实验三 並激电动机和复激电动机试验

实验目的

学习并激电动机和复激电动机的启动、改变转向的方法；求取并激电动机的运行特性和复激电动机的机械特性。

实验内容

1. 了解试验设备，学习启动器的接线和使用；
2. 测量电动机的电枢绕组（包括附加极绕组）和串激绕组的电阻，并折算到 75°C ；
- *3. 用电动机法置电刷于几何中性线上；
4. 学习电动机的启动和改变转向的方法；
5. 求取并激电动机的运行特性，并由实验数据绘出曲线，求相当于额定电流 I_N 时的转矩 M_N 、效率 η_N 和效率最大值 η_m ；
6. 求复激电动机的机械特性；
- *7. 并激电动机的速率调节。

实验说明

1. 测量电动机的电枢电路的电阻，并折算到 75°C ；

参看实验一实验说明3。

- *2. 用电动机法置电刷于几何中性线上；

按图3-1接线（结成并激电动机试验线路，接线中应特别注意并激磁场绕组的接线良好），将 τ_{p2} 放到最小位置，启动器的手柄放在启动位置，合上电源开关（以后要严格遵守这一条），进行启动。

调节 R_c ，逐步增加电动机的负载，直到电动机的电流 I 约为 $\frac{1}{2}I_N$ ，

测量其转速。停下电动机，改换电动机电枢电路的两端（或并激磁场的两端）的接头，再行启动，此时电动机的旋转方向改变。调节 R_c ，使电动机的电流和上次的相等，测量转速。若此时的转速不等于上次所测得者，则表示电刷不在几何中性线上，此时需要调整电刷位置，直至在同一 I 值时正转和反转的转速相等，才表明电刷处于几何中性