



交流整流子式电机研究

(电机实验参考书)

苏联莫斯科动力学院
电机教研组编

高等教育出版社





交流整流子式电机研究

(电机实验参考书)

苏联莫斯科动力学院电机教研组编

潘曙先译

周希贤校

高等教育出版社

本书系根据苏联莫斯科动力学院(Московский энергетический институт)1956年出版的该院电机教研组所编“交流整流子式电机研究(电机实验参考书)”[Исследование коллекторных машин переменного тока (Пособие к лабораториям электрических машин)]译出的。原书经该院教务处审定为学用教学参考书,但对于相应制造厂及使用企业也有帮助价值。

本书共包括三个实验,即:实验一,单相换流机研究;实验二,自转子边供电的三相并激式整流子电动机研究;实验三,单相感应式(推斥式)电动机研究。

本书是B. С. 沙罗夫(Шаров)编写的。

交流整流子式电机研究

(电机实验参考书)

苏联莫斯科动力学院电机教研组编

潘曜先译 周希贤校

高等教育出版社出版北京宣武门内大街27号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第054号)

京华印书局印装 新华书店发行

统一书号 15010·806 开本 850×1168 $\frac{1}{16}$ 印张 1 $\frac{3}{16}$

字数 27,000 印数 0001—3,000 定价(7) 0.22

1959年7月第1版 1959年7月北京第1次印刷

目 录

实验一、单樞换流机 (0. II.) 研究	1
实验二、自轉子边供电的三相并激式整流子电动机研究	12
实验三、单相感应式(推斥式)电动机研究	24
附录	33

实验一、单樞換流机(O.Π.)研究

I. 实验提綱

1. 实验准备:

a) 观察电机;

b) 繪出单樞換流机試驗用及异步启动用的接綫图。

2. 进行单樞換流机的异步启动。

3. 确定电压比和电流比。

4. 求取并繪出当 $\cos \varphi = 1$ 时的工作特性:

$$P_1, I_1, I_2, U_2, \eta = f(P_2).$$

5. 用电抗綫圈进行調压, 并繪出在越前及滞后电流时的簡化向量图。

6. 求取并繪出 U 形曲綫。

II. 实验說明

研究对象。

用三相或六相交流变直流的单樞換流机进行实验, 該机經变压器接向交流电网。

1. 实验准备

首先观察电机, 了解其結構特点: 型式, 通风系統, 軸承形式, 极数, 滑环及換向器的相互布置, 以及換向器上电刷对于主极軸綫的布置。此外, 記下电机的額定数据。在报告书中簡短地叙述电

机的结构。

在熟悉了电机结构及名牌数据后，装接单樞换流机实验用的线路。

图 1, 1 及图 1, 2 各示三相及六相单樞换流机的接线图。接线图中的仪表接单樞换流机的名牌数据选择。

2. 异步启动

通常单樞换流机装有特用启动绕组。启动绕组就是装在极靴槽中的短路绕组。电机实验室的单樞换流机没有特用启动绕组。在异步启动时将激磁绕组及附加极绕组用作副绕组。

在闭合开关 Π_1 之前，双投开关 Π_2 及 Π_3 应该开断，而双投开关 Π_3 处于位置 I (图 1, 1 或 1, 2)；因而附加极绕组 (W_0) 被短接，激磁绕组 (W_e) 与启动电阻 $r \cong 10r_e$ 接通。

这样，当单樞换流机异步启动时在定子边 (副边) 成为二相系统的绕组。由原绕组 (转子) 磁势建立的旋转磁场，就将在副绕组 (定子) 中感应电流。磁场与副绕组电流相互作用的结果，产生了电磁转矩，并使电机旋转起来。

在异步启动时，在被电刷短路的元件中将感应电势，它使换向器上引起火花。为限制换向器上的火花及启动电流，用降压法启动单樞换流机。在六相单樞换流机中，将变压器原绕组先接成星形，再改接成三角形 (图 1, 2)，而在三相单樞换流机中则用多级调压，因此要应用副边有两级电压的变压器 (图 1, 1)。首先，在闭合开关 Π_1 后，双投开关 Π_2 处于位置 I；因而单樞换流机开始旋转。在电机转速将近稳定后，将 Π_2 投入位置 II，换流机就被接入了额定电压。当转子转速接近同步速时，换向器上刷间电压的频率，小到使接在换向器刷间的，双向标尺 (零点在中心的) 伏特计指针有显著的摆动。激磁绕组应该在伏特计指示最大值时与电刷接通。

上电刷换接, 然后再按上述方法重复异步启动。

当激磁绕组接向换向器上的电刷, 且极性相应时, 电机进入同步, 该机即作为同步电动机空载运行。

3. 电压比及电流比

a) 将单樞换流机的滑环边接入交流电网, 由于电樞逆着旋轉磁場的方向, 以同步速 $n = \frac{60f_1}{p}$ 旋轉; 在换向器的电刷間将得到直流电压。

当电机气隙中磁通按正弦分布时, 位于中性綫上的刷間电势 E_2 , 可由电位圆图(图 1, 3)决定

$$E_2 = \frac{\sqrt{2} E_1}{\sin \frac{\pi}{m}} \quad (1)$$

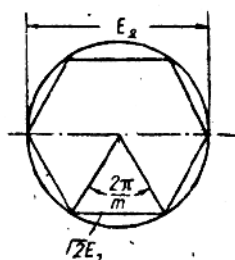


图 1, 5. 单樞换流机的电压比。

E_1 ——滑环間电势的有效值;

m ——相数(滑环数)。

当气隙磁通不是按正弦分布时, 方程式(1)应乘上一修正系数, 此系数通常接近于 1。电势 E_1 可由电压 U_1 并計及电樞繞組中的电压降决定。它与 U_1 相差甚小。如忽略电压降不計, 則(1)式可写成下式:

$$k_v = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

由(2)式可知, 在单樞换流机中, 换向器边电压与滑环边电压有着固定的比例关系。这是因为电势系由同一电樞繞組, 在同一磁場中旋轉所感生。

被試单樞换流机的电压比 $\frac{U_1}{U_2}$ 可由电机空載时伏計的讀数求

得。

6) 单樞換流机的換向器边作为直流发电机在工作, 而交流边則作为同步电动机。

換向器边电流及滑环边电流比, 可由单樞換流机中功率平衡的关系得到:

$$U_2 I_2 = m U_1 I_1 \cos \varphi \cdot \eta, \quad (3)$$

由此求得相电流值:

$$I_1 = \frac{U_2}{U_1} \frac{I_2}{m \cos \varphi \eta}. \quad (4)$$

二相电流間夹角为 $\frac{2\pi}{m}$ 。

大家知道, 当繞組接成多边形时, 綫电流

$$I_A = 2 I_1 \sin \frac{\pi}{m}. \quad (5)$$

將(4)式代入(5)式, 得:

$$k_i = \frac{I_A}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} \frac{2 \sin \frac{\pi}{m}}{m \cos \varphi \eta}. \quad (6)$$

为得到电流比, 需进行单樞換流机的負載試驗。

閉合开关 Π_5 , 改变电阻 R , 使負載电流增至額定值。應該注意, 附加极繞組必須正确連接。如果在負載电流为額定 (I_{2n}) 时, 換向器的电刷下无火花, 附加极繞組連接就正确。否則, 應該停下单樞換流机, 將附加极繞組改接后, 再重新启动。六相单樞換流机的有功功率 P_1 等于瓦特表上(图 1, 2)的讀数乘以 3。

根据試驗数据計算

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad \cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_1 I_A}.$$

由实驗中得到的电流比 $\frac{I_A}{I_2}$ 應該与由(6)式計算出的相比較。

如将(2)式中电压比代入(6)式,可以简化为

$$k_t = \frac{I_2}{I_1} \approx \frac{2\sqrt{2}}{m \cos \varphi \eta}, \quad (7)$$

即单樞換流机的电流比,当 $\cos \varphi = \text{常数}$, $\eta \approx \text{常数}$ 时,接近一常数。

4. 工作特性

按下述步骤进行单樞換流机的負載試驗。在空載时調节激磁电流到 $\cos \varphi = 1$ 。然后閉合开关 H_5 , 借减少电阻 R , 使負載电流逐漸由零增加至額定值; 同时經常保持 $\cos \varphi$ 等于 1。記下当电流为 0; 0.25; 0.5; 0.75; $1.0 I_{2N}$ 时各仪表的讀数。单樞換流机的工作特性示于图 1, 4。

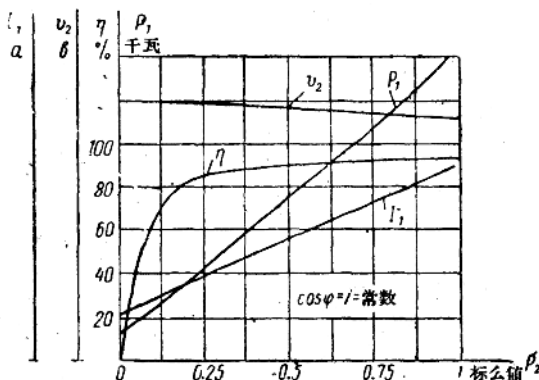


图 1, 4. 单樞換流机的工作特性。

a) 电压特性 $U_2 = f(P_2)$ 。

电压 U_2 随功率 P_2 的增加稍許减少。負載时使电压变化的原因是: 电樞繞組的阻抗, 換向器及滑环上电刷的接触电阻, 以及电樞反应。應該注意, 单樞換流机中当 $\cos \varphi = 1$ 时的电压变化 $\Delta U \% = \frac{U_{20} - U_{2N}}{U_{2N}} 100$ 是小的 (小于同步电机)。这主要是在稳定

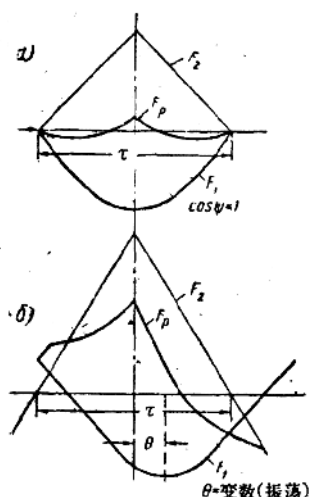


图 1, 5. a) 稳定状态时单樞換流机的电樞反应, b) 单樞換流机振荡时的电樞反应。

負載下它的电樞反应小。因为单樞換流机的滑环边在同步电动机状态下运行, 而換向器边在直流发电机状态下运行, 单樞換流机中由电流 I_2 建立的磁势 F_2 与由电流 I_1 建立的磁势 F_1 , 方向相反

(图 1, 5-a)。

6) 功率特性 $P_1 = f(P_2)$ 。

功率 P_1 对于 P_2 的关系式可自功率平衡得到

$$mU_1 I_1 \cos \varphi = U_2 I_2 + \Sigma p, \quad (8)$$

式中 Σp ——单樞換流机的总損失。

实际上, 功率 P_1 随 P_2 的增加成直线上升, 当考虑到負載損耗时, 仅有少許偏斜。

5. 調压

換向器上的刷間电压 U_2 随負載的增加而减少。在許多場合中需要电压值不变或在一定的范围内变化。

調节电压 U_2 的方法, 是由单樞換流机能保持換向器边及滑环边的电压比不变这一特性出发的。

为調节換向器上电刷間的电压, 必須改变滑环上的电压。因此就要在換流机与电网間接入鉄心电抗綫圈。在图 1, 6 中电抗綫圈接在滑环及变压器的副繞組間。借改变鉄心的气隙来調节綫圈的电抗值。

在电网电压不变下, 按下法調节单樞換流机的滑环間电压。

启动单樞換流机 (启动时将电抗线圈經开关 Π 短接), 并使其同步后, 增加負載电流 I_2 到額定值。然后 (开断开关 Π) 調节激磁电流, 使滑环間电压改变, 因之換向器电刷間电压也随之变化。

忽略电阻电压降落, 可以写成:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_c - j \dot{I}_1 X, \quad (9)$$

式中: X ——线圈的电抗;

I_1 ——单樞換流机滑环边的电流;

U_c ——电网电压;

U_1 ——单樞換流机滑环間的电压

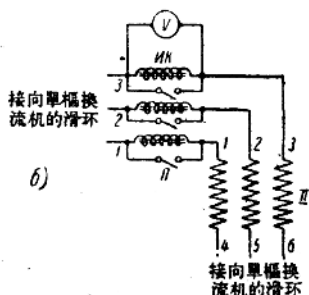
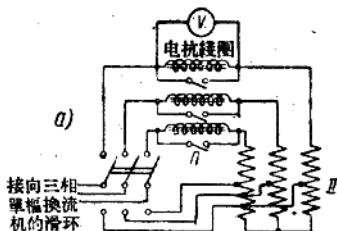


图 1, 6. 将电抗线圈接入单樞換流机的交流边。

当过激时, 电流 I_1 是越前的。与此相应的簡化向量图示于图

1, 7-a。

此时, 滑环間的电压将会增加, 因而換向器上的电压也随之增加。

当欠激时, 电流 I_1 是滞后的。此时, 滑环間电压 U_1 将小于电压 U_c (图 1, 7-6)。

因此, 要使电压 U_2 值增加, 必須增加单樞換流机的激磁电流。

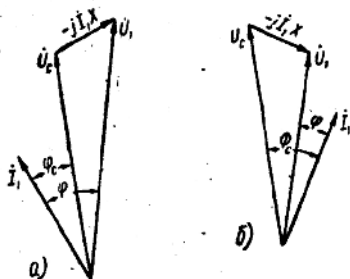


图 1, 7. a) 当单樞換流机过激时, b) 当单樞換流机欠激时的簡化向量图。

在换向器边的电压调节范围与电抗值 X , 激磁电流均有关。

当更大地改变激磁电流时, 由于无功电流的存在, 电枢绕组中的损失将显著增加。利用电抗线圈来调节单枢换流机的电压, 其范围选在 $\pm 7.5\%$ 之内。

根据实验数据, 应绘出当滑环边电流为额定值时, 过激的及欠激的单枢换流机的简化向量图。

在相应的实验中量得滑环间电压 U_1 , 电抗线圈的电压降落及变压器绕组上的电压 (U_e) 后, 就可以绘出简化向量图。

6. U-形曲线

求取 U-形曲线, 仍应用图 1, 1 或图 1, 2 的接线图。当滑环间电压为常数时, 求取空载时 ($I_2=0$) 及负载时 ($U_2 I_2 = \text{常数}$) 电流 I_1 与激磁电流 I_e 间的关系。

当负载时, 电压 U_2 有少许改变。因而电流 I_2 应该调节到使换向器边的功率保持常数。

$I_1 = f(I_e)$ 的曲线可在电流 I_2 不变下求取, 此时易于确定当激磁电流改变时的电流比。

根据实验数据绘出曲线 $I_1 \cos \varphi = f(I_e)$, 弄清激磁电流对电流 I_1 及功率因数的影响。

单枢换流机在过激时, 有时可以用作在超前电流下运行的无功功率发电机。应该注意, 此时无功电流会增加电枢绕组中的铜损。

7. 换向

单枢换流机在稳定情况下的换向是令人满意的。

附加极磁势应这样来选择, 即使得在换向区内建立磁场, 并补偿换向区内的电枢合成磁势 ($F_p = F_2 - F_1$) (图 1, 5-a)。为在过渡

状态下也得到满意的换向,附加极的磁路应有较大的磁阻,这常借选择附加极与电枢间较大的气隙及附加极与机座间的第二气隙以达到。附加极的总气隙常选为主磁极下气隙的2—3倍。

当负载突然增加时,滑环边电流的上升比换向器边电流的增加来得慢。作用在转子上的发电机转矩,就比电动机转矩大,因而发生电枢的振荡。磁势 F_1 此时对磁极轴綫有相对移动,同时磁势 F_2 的轴綫在空間則是靜止的(图 1, 5-6)。电枢合成磁势此时乃急剧变化(在换向区域内磁势的脉振,换向器上电位曲线的畸变),因而将在换向器上引起火花,甚至可能引起环火。所以单枢换流机应装有阻尼绕组。

实验二、自轉子边供电的三相并激式 整流子电动机研究

I. 实验提纲

1. 实验准备:

a) 观察电机并弄清沿换向器移动电刷的机构动作原理。

6) 测量副绕组电势 E_2 , 换向器刷间电势 E_A , 并确定当电刷在不同位置时的副电路合成电势。

B) 确定电刷在极限位置时的电势比 $\frac{E_A}{E_2}$ 。

r) 繪副电路的电势向量图。

2. 电动机的启动及空载运行。

a) 启动电动机。

6) 确定空载时的调速范围。

3. 求取并繪出在下述三种电刷位置时, 当 $U_1 = \text{常数}$, $f_1 = \text{常数}$ 时的工作特性 $I_1, P_1, \cos \varphi, \eta, P_2, n = f(M)$:

a) 当高于同步速时,

6) 当电刷移动到同一处时 (即当在副绕组中无附加电势时),

B) 当低于同步速时。

4. 求取并繪出調节特性:

$I_1, P_1, \cos \varphi, \eta, P_2 = f(n)$ 当 $M = \text{常数}$, $U_1 = \text{常数}$, $f_1 = \text{常数}$ 时。

5. 在低于同步速时調节 $\cos \varphi$ (任一速度下)。

II. 实验说明

研究对象

被研究的自轉子边供电的三相并激式整流子电动机 (图 2, 1; 2, 2), 其结构如下述。

在轉子槽 (图 2, 1-б) 中放置二繞組: 三相繞組 (w_1), 与滑环相连接, 及輔助繞組 (w_A), 与換向器 (K) 相连接。

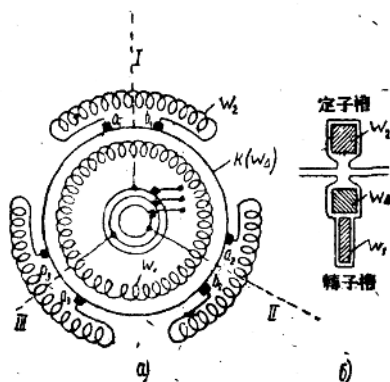


图 2, 1. а) 自轉子边供电的三相并激式整流子电动机, б) 定子及轉子槽中繞組的布置。

在定子槽中放置三相繞組 (w_2) (定子結構和一般的三相异步电动机的定子相同)。

定子每相繞組的首端及末端与換向器上的电刷相连接, 电刷借特殊机构 (参看图 2, 2-a) 可相互移动。

在被研究的电动机中, 轉子上的三相繞組 (w_1) 是原繞組, 而定子上的三相繞組 (w_2) 是电动机的副繞組。

輔助繞組 (w_A) 是用来調节电动机的轉速的 (見后)。