



異步电机研究

(电机实验参考书)

莫斯科动力学院电机教研組編

高等教育出版社



异步电机研究

(电机实验参考书)

莫斯科动力学院电机教研组编

潘 曙 先 譯
庄 由 校

高等教育出版社

本书系根据苏联莫斯科动力学院电机教研组编“异步电机研究(电机实验参考书)”(Исследование асинхронных машин) 1953年版译出的。书中共包括四个实验:实验一是滑环式三相异步电动机;实验二是鼠笼式三相异步电动机;实验三是三相异步电动机的单相运行;实验四是异步发电机。实验一是Н. К. 楚欣(Н. К. Чухин)编写的,实验二是П. А. 提慎科(П. А. Тищенко)和М. И. 沃尔科夫(М. И. Волков)合编的,实验三是И. С. 冈查罗夫(И. С. Гончаров)编写的,实验四是沃尔科夫和冈查罗夫合编的。

本书对于实验的理论根据作了必要的简明介绍,而对于实验要求、步骤、方法及注意事项均作了详细的叙述。

本书可作为高等工业学校电机系学生的实验参考资料,中等专业学校教师在准备电机实验时也可参考,对于在电机制造及电机运行企业工作的工程技术人员也有参考价值。

异步电机研究(机电实验参考书)

莫斯科动力学院电机教研组编

潘曙光译 庄由校

高等教育出版社出版 北京宣武门内承恩寺7号

(北京市书刊出版业营业许可登记证字第054号)

京华印书局印刷 新华书店发行

统一书号 15010·787 开本 850×1168 1/32 印张 1¹¹/₁₆

字数 38000 印数 0001—79,000 定价(7) 0.27

1959年5月第1版 1959年5月第1次印刷

目 录

实验一	滑环式三相异步电动机	1
实验二	鼠笼式三相异步电动机	24
实验三	三相异步电动机的单相运行	34
实验四	异步发电机	43

实验一 滑环式三相异步电动机

实验提纲

1. 确定转子的额定电压及其相数。启动实验并改变旋转方向。
2. 求取并绘制空载特性曲线。
3. 求取并绘制短路特性曲线。
4. 用不同方法(转速计法, 闪光测频器法及转子电路中接入安培计法)量测空载时的转差率。
5. 根据实验数据:
 - a) 比较 $P_2=0$ 及 $P_2=P_N$ 时用不同方法测得的转差率;
 - b) 作出当 $U=U_{\phi N}$ 及 $U_N=\frac{U_{\phi N}}{\sqrt{3}}$ 时的圆图;
 - c) 根据圆图绘制 $U_1=U_{\phi N}$ 时的工作特性曲线;
 - d) 根据“c”中数据比较 $P_2=\frac{1}{4}P_N$ 及 $P_2=\frac{3}{4}P_N$ 时的 I_1 , $\cos\varphi_1$ 和 η 。

注: 对非电工专业, 实验内容可根据教师指示予以精简。实验前应仔细研究提纲, 疑难问题向教师问清楚。

1. 有关异步电动机特性的一般概念

异步电动机的运行性能决定于下列特性: a) 启动特性, b) 转速特性, c) 机械特性, d) 调整特性; e) 工作特性及 f) 电动机的过载能力。为了更完全地判断电动机的性能及作电流图起见, 还需要求取空载及短路特性曲线。

a) 启动特性

在启动方面对异步电动机提出的要求是: 启动转矩的倍数

$k_n = M_n : M_n$ 不小于所給值，而启动电流的倍数 $k_i = I_n = I_n$ 不大于所給值。此处 M_n 是启动轉矩； M_n 是額定轉矩； I_n 是启动电流； I_n 是額定电流。

对于滑环式异步电动机，可以利用調节启动电阻以在寬广的範圍內降低启动电流和增加启动轉矩的方法来改变 k_n 和 k_i 的比值。鼠籠式电动机在額定电压下运用时的 k_i 及 k_n 值不能改变，因为不可能在鼠籠式轉子中加入附加电阻。对于滑环式电动机，可以根据实验数据或圓图，求取并繪制当 $U_1 = U_n$ 时的启动特性曲线： $M_n, I_n, \cos \varphi_n = f(R_2)$ ，

其中： $\cos \varphi_n$ ——启动时的功率因数；

R_2 ——轉子电路电阻；

U_1 ——定子端电压。

6) 轉速特性

$U_1 = \text{常数}$ ， $f_1 = \text{常数}$ 时轉速对于定子电流的关系 $n = f(I_1)$ 称为轉速特性。它与其他运行特性一样，可以根据实验数据或圓图繪制。

Б) 机械特性

$U_1 = \text{常数}$ ， $f_1 = \text{常数}$ 时轉速对于轉矩的关系 $n = f(M)$ 称为机械特性。

异步电动机轉子电路內无附加电阻时，此特性是“硬性的”，因为随着轉矩增加到 M_n ，轉速减小很少，約为同步轉速的 2—5%。

当滑环式异步电动机的轉子电路引入电阻时，此特性是“軟性的”，当轉矩增加到 M_n ，相应地轉速有显著的减小。

Г) 調整特性

随着調速方法的不同，調整特性可用下列关系表示之：

$$1. P_1, I_1, n, \cos \varphi_1, \eta = f(R_2)$$

当 $M = \text{常数}$, $U_1 = \text{常数}$, $f_1 = \text{常数}$ 时。

$$2. P_1, I_1, n, \cos \varphi_1, \eta = f(U_1)$$

当 $M = \text{常数}$, $R_2 = \text{常数}$, $f_1 = \text{常数}$ 时。

$$3. P_1, I_1, n, \cos \varphi_1, \eta = f(f_1)$$

当 $M = \text{常数}$, 乘积 $U_1 f_1 = \text{常数}$, $R_2 = \text{常数}$ 时。

其中: M ——轉矩;

I_1 ——定子电流;

P_1 ——原边功率;

$\cos \varphi_1$ ——功率因数;

η ——效率;

R_2 ——引入轉子电路的有效电阻;

n ——轉子轉速;

f_1 ——电网頻率;

U_1 ——加在定子上的电压。

л). 工作特性

$U_1 = \text{常数} = U_n$ 及 $f_1 = \text{常数} = f_n$ 时 $P_1, I_1, M, S, \cos \varphi_1, \eta = f(P_2)$ 的关系称为工作特性, 其中:

P_2 ——电动机軸上的有用功率;

f_n ——电网額定頻率。

这些特性, 与发热的試驗数据一道, 确定了电动机的額定值。

此外, 工作特性可以对电动机的非額定运行情况作出技术上及經濟上的评价。

е) 电动机的过载能力

过载能力或最大轉矩的倍数 $k_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{M_n}$ 对于傳动短期間的变动負載及电动机軸上具有較大的启动反轉矩来講, 有着特別

的意义。对于一般的滑环式异步电动机根据ГОСТ183-41规定，过载能力不应小于1.8。

ж) 空载特性

当 $P_2=0$ 时 $I_{10}, P_{10}, \cos \varphi_{10}=f(U_1)$ 的关系称为空载特性，其中：

I_{10} ——定子电流；

P_{10} ——原边功率；

$\cos \varphi_0$ ——空载时的功率因数。当空载时如 $U_1 \leq U_n, s \approx 0$ 。

з) 短路特性

当 $P_2=0$ ，及 $s=1$ 时 $I_{1K}, P_{1K}, \cos \varphi_K=f(U_1)$ 的关系称为短路特性，其中：

I_{1K} ——定子电流；

P_{1K} ——原边功率；

$\cos \varphi_K$ ——短路时的功率因数。

为显示出饱和对电动机参数的影响，当 U_1 由 U_n 变到 U_K (其时 $I_{1K} \approx \frac{1}{2} I_n$) 时，作 $z_K, r_K, x_K=f(I_K)$ 。

其中： z_K ——阻抗；

x_K ——感抗；

r_K ——电阻；

U_K ——短路时电压。

空载及短路实验能用来确定电动机的基本参数、效率及绘制电流图。

2. 实验测定特性的基本方法

对于异步电动机，采用两种实验测定特性的基本方法：直接法及间接法。直接法用于求取小容量电动机的特性。滑环式异步电

动机常作成大容量的，測定它們的特性就要用間接法，即空載及短路实验。此方法的实质是，根据空載及短路实验数据繪制电流图，并由此得到除了轉差率及效率以外的工作特性，而效率可根据各工作損耗計算出来。这是因为由电流图直接求出轉差率及效率值，常会产生显著的誤差。大家都知道，实验数据的精确度决定于实验的布置及进行情况。因而，在进行实验前，首先必須很好地从理論上进行准备，进行外部檢查并檢驗被試电动机是否沒有毛病，正确地选择仪表及附加設備，装配及試驗接綫图。

3. 电动机的外部檢查

在装配接綫图前应熟悉被試电动机的构造。同时应記錄名牌数据及进行电机的外部檢查。

当进行外部檢查时必須：

1) 检查电机内部是否有其他物件及电机軸是否被卡住。对于小容量电动机用手轉动靠背輪或皮帶輪使軸轉动，对中型及大型电动机則靠相应設備使軸轉动；

2) 检查潤滑系統并檢驗其有无毛病；

3) 检查轉子上的电刷接触及定子上的提刷装置，电刷在滑环上应有足够的压力；

4) 检查滑环是否优良：有无压痕，擦伤及其他轉子滑环的缺陷。

外部檢查完毕后，应簡單叙述电机的結構：外壳的制造形式（开式，閉式，保护式等），通风系統（徑向式，軸向式及其他），軸承形式，极对数，繞組形式（单层，双层），定子繞組端点引出的数目及位置，有无为提刷及使滑环短路的特殊机构。

外部檢查的数据应写在报告书中。要为每一实验拟出一工作（装置）綫路图，图中标出全部測量仪表，启动——調整器及設備。附加設備（仪表，器具，設備，接綫）应按实验提綱及名牌数据选择。

4. 启动, 改变旋转方向及调整转速

a) 启动

启动前应确定转子绕组的额定电压及其相数。为此, 当断开转子绕组时, 将电动机接入对称的具有额定电压的电网并测量转子上每对滑环间的电压。如所有三个电压实际上都相等, 则转子绕组是三相的; 如其中一电压为另二电压的 $\sqrt{2}$ 倍, 则转子绕组是二相的。



图 1. 启动滑环式异步电动机的示意接线图

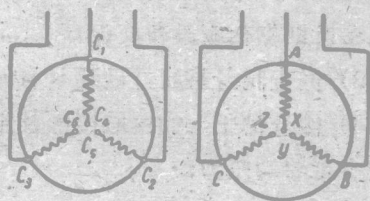


图 2. 定子绕组端点的标志

实验时测得的转子电压取为额定值。

进行启动实验时滑环式三相异步电动机的示意接线图如图 1, 其中 C 是定子, P 是转子, B_n 是启动电阻, K_0 是滑环, P_0 是三相开关。

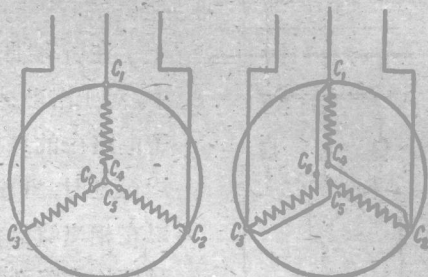
始端及末端都引出的定子相绕组是连接成星形还是三角形, 决定于电源电压值。在三相系统中绕组始端标以 C_1, C_2, C_3 , (ГОСТ183-41) 或 A, B, C , 而绕组末端则相应为 C_4, C_5, C_6 或 $X,$

Y, Z。图 2 表示定子相繞組的不同标志, 而在图 3 它們已被接成星形及三角形。

启动时的程序:

1. 电刷放置在滑环上, 短路机构断开。

2. 变阻器手柄置于启动位置, 即在相当于变阻器为最大电阻的触点上。



当繞組, 变阻器, 电刷接 图 3. 定子繞組接成星形及三角形的接线图。

触及接綫都完好时轉子电路在下列情况下可能断开: 在液体变阻器中由于金属刀片与液体不接触, 在具有空接触点的变阻器中由于手柄的位置不正确。

3. 閉合开关。

4. 均匀地取出变阻器电阻, 同时观察电动机旋轉时的电流变化。过快地取出电阻, 电流可能达到不允許值。

5. 当电动机到达全轉速时将轉子繞組短接, 电刷用提刷机构举起电刷。

6. 将变阻器放到启动位置, 即引入最大电阻, 准备下次启动时再用。

停机时, 用开关使定子繞組自电网断开, 短路机构及提刷机构重新回到启动位置。

为避免定子断开时产生过电压, 建議不要改变上述停机程序; 在轉子断开时不允許將电动机自电源断开。

5) 改变旋轉方向

为了改变旋轉方向, 必須改变引入电压的相序, 这可由交換定子上或开关上任二根接綫的位置得到。在須要經常改变旋轉方向时可应用換接开关, 如图 4 所示。

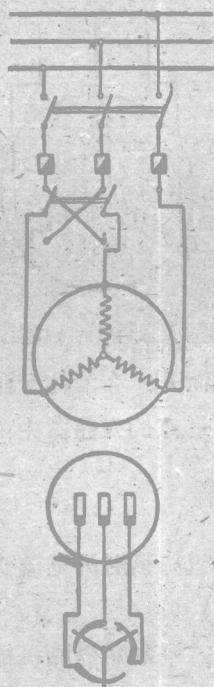


图 4. 改变旋转方向用的换接开关。

B) 調整轉速

在所有調整异步电动机轉速的方法中, 对于滑环式电动机, 最常用的是改变轉子电路中的电阻(变阻器法)。在軸上反轉矩恒定时, 調整接入轉子电路中的电阻, 可以在相当寬的範圍內均匀地降低轉速。长时期的在降低轉速情况下以額定轉矩工作是不允許的, 因为由于轉速的降低, 冷却条件变坏了。因此对于每一已知的降低了的轉速, 就規定有一允許功率。在相应地降低功率及轉矩时, 轉速可以用調整变阻器的方法降低到 40% 左右。

5. 測定轉差率的方法

研究异步电机时通常不与轉速, 而与轉差率发生关系:

$$s\% = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\% = \frac{f_2}{f_1} \cdot 100\%,$$

其中: $s\%$ —— 轉差率, 以百分值表示;

n_s —— 同步轉速, 轉/分;

n —— 轉子轉速, 轉/分;

f_2 —— 轉子电流頻率;

f_1 —— 供电网电流頻率。

以下討論的方法仅能測定轉差率的平均值。

a) 直接測量轉子轉速法(轉速計法)

此一方法仅在測量較大的轉差率 ($s\% > 10\%$) 时才有足够的

准确性。

用轉速計或轉速發電機量測轉子轉速，檢驗電網頻率，如與額定頻率無出入，則按公式求轉差率：

$$s\% = \frac{n_e - n}{n_e} \cdot 100\%$$

在電網頻率與額定頻率有出入時，在電網實有頻率下的同步轉速，以每分鐘轉數計之，根據下式決定：

$$n_{ed} = n_{en} \cdot \frac{f_{1d}}{f_{1n}}$$

其中： n_{ed} ——實有同步轉速，轉/分；

n_{en} ——額定同步轉速，轉/分；

f_{1d} ——實驗時電網頻率的實際測定值；

f_{1n} ——額定頻率。

轉速計方法的精確度與轉速計本身及待測的轉差率的值有關。當轉差率小 ($s\% < 10\%$) 時，即使轉速計及頻率計的誤差在允許範圍內，在測定轉差率時也可能導致較大的差誤。

6) 閃光測頻器法

在電動機轉軸上裝置一圓盤，其上有 $2p$ 個黑色的及 $2p$ 個白色的扇形，並用充氣燈照亮之。此燈接在定子繞組的同一電源上。當轉子以同步速旋轉時，此扇形圓盤看來似乎在空間靜止不動；而當轉子轉速低於同步速 ($n < n_e$) 時，扇形圓盤將逆着轉子旋轉方向旋轉，當轉子轉速高於同步速 ($n > n_e$) 時，扇形圓盤將順着轉子旋轉方向旋轉。轉子電流頻率可以由扇形圓盤在 t 秒內的轉數 n_3 決定，也可以由在 t 秒內經過某一固定點（在電機軸承端蓋上標明）的黑色扇形的數目決定。第一種情況下 $f_2 = \frac{n_3 \cdot p}{t}$ ，而在第二種情況下—— $f_2 = \frac{n_{cek}}{2t}$ 。

由下列关系确定相应的轉差率:

对于第一种情况

$$s\% = \frac{n_3 \cdot p}{t \cdot f_1} \cdot 100\% = \frac{n_3}{n_c} \cdot 100\%,$$

对于第二种情况

$$s\% = \frac{n_{cek}}{2t f_r} \cdot 100\%,$$

其中 f_1 —— 由頻率計測得。

用閃光測頻器法測定小到 3% 的轉差率时, 在实用上仍可以得到足够精确的結果。

Б) 量測轉子电流頻率法

將零刻度在中間的磁电式安培計接入轉子电路, 在小轉差率时仪表指針將隨轉子电流頻率而摆动。知道了在 t 秒內指針向兩边摆动的次数 n_{cm} , 就可以用下式确定轉差率:

$$s\% = \frac{n_{cm}}{t \cdot f_1} \cdot 100\% = \frac{f_2}{f_1} \cdot 100\%.$$

与上一方法相同, f_1 由頻率計測得。

如轉子是短路(鼠籠)式的, 可以用一个在长鉄心上繞有多匝繞組的且被电流計短接的感抗綫圈来測量轉差率。

感抗綫圈靠近轉軸裝置, 使轉子漏磁通能切割繞組匝。因此电流計的指針將隨轉差頻率而摆动, 轉差頻率可用在轉子电路中接入安培計的方法中的同一公式求得。

此二法的精确度与閃光測頻器法的精确度相同。

6. 空載實驗

为在 $P_2=0$ 时求取 I_{10} , P_{10} , $\cos \varphi_0 = f(U_1)$ 等关系曲綫, 按图 5 装接工作綫路图。必須依照下列数据選擇仪表及附加設備: 引入电压应能約在 $(1.25-0.25)U_n$ 的範圍內变动, 此时相应于額定电

压的电流,将决定于电动机的额定容量及其结构。对于(1—10)千瓦的电动机电流约为 $(0.3—0.5)I_N$ 。

线路图装接及检查完毕后,即开始进行实验。

记录两个极限电压值下的安培计读数后,再根据此读数进行最后的仪表选择。铭牌,仪表及附加设备数据均记入事先准备的记录纸中,然后求取空载特性。

启动前必须从被试电动机的轴上卸掉机械负载。电动机启动后将转子短路并用提刷机构将电刷提起。利用感应调压器 NP 使定子端电压 $U_1 = U_N$, 同时检验 I_{10} 及 $\cos \varphi_0$ 值。

定子端电压向降低的方面变化,一直到电动机转速开始急剧减小时止。

仪表指示值记入相应的实验记录表格(表1)中。

其中: U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} ——线电压;

U_{10} ——线电压的平均值;

I_A, I_B, I_C ——线电流;

I_{10} ——线电流的平均值;

P_A 及 P_B ——瓦特表读数;

P_{10} ——空载功率;

C_{am} ——瓦特表每刻度瓦特数。

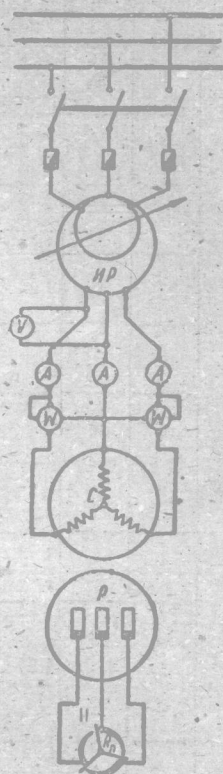


图 5. 实验室中滑环式异步电动机的启动, 求取空载及短路特性的工作接线图。

根据表1数据作空载特性(图6); $\cos \varphi_0$ 根据公式计算:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10}}$$

由空载特性曲线可以将空载损耗 P_{10} 分开为定子绕组中的电损耗 $P_{s10} = 3I_{10}^2 r_1$ (r_1 是定子的每相电阻), 铁损 P_F 及机械损耗

表 1

[illegible]

P_{m0} 。为此,需根据实验数据预见作出关系曲线

$$P_{10} - P_{s10} = P_o + P_m = P_o = f(U_{10})$$

并将此曲线延伸与纵轴相交(图6)。曲线 $P_o = f(U_{10})$ 与纵轴的交点相当于机械损耗 P_m , 因理论上当 $U_{10} = 0$ 时铁损 $P_o = 0$ 。

实际上曲线 $P_o = f(U_{10})$ 的延伸可能引起误差, 因为此一曲线的极限点仍距纵轴有相当的距离。如绘制 $P_o = f(U_{10})^2$ 关系曲线, 这一误差可能减小, 因为它已接近于直线, 同时实验所得的点的位置也更加便于延伸这一曲线。

可以用“切线法”来检验 P_m 值。由坐标原点对 $P_o = f(U_{10})$ 曲线作切线; 切点的纵坐标等于 $2P_{m0}$ 。这一方法是以假设 $P_o = f(U_{10})$ 曲线是平方抛物线为基础的。

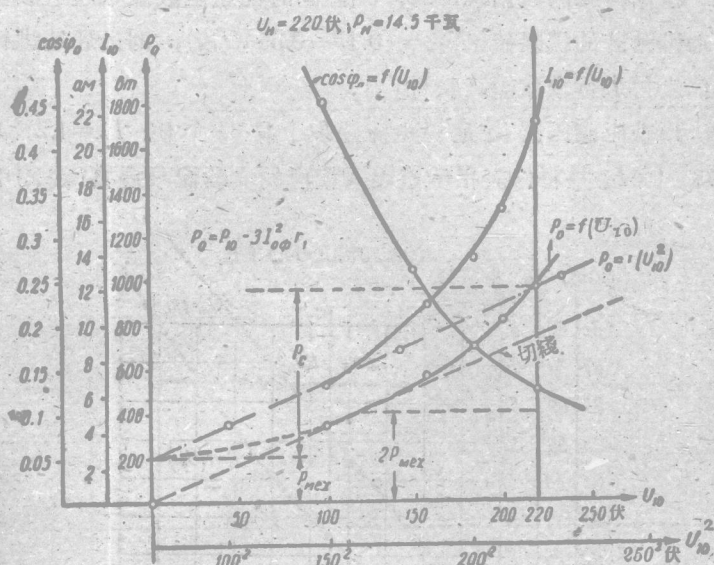


图 6. 空载特性曲线。

7. 短路实验

按照图5的接线图求取短路特性曲线 $I_{1K}, P_{1K}, \cos \varphi_K = f(U_1)$,