

# 异步电机设备文档

## 一、异步电机的工作原理及结构

异步电机与同步电机相比异步电机主要的特点就是其转子的转速与旋转磁场的转速不同步。在同步电机中转子的转速与磁场的转速相同，异步电机中两者总是有一定的差距，为了描述这种差距，我们定义转差率  $s$  如下

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\Delta n}{n_s}$$

其中

$n$  —— 转子转速

$n_s$  —— 旋转磁场转速（又称同步转速）

一般取  $n_s$  的方向为假定正方向。转差率  $s$  表示转子相对于磁场的转动快慢。对于异步电动机，在研究电磁转矩等物理量与转子转动快慢之间的关系时，用转差率  $s$  往往比用转速  $n$  更方便，能更全面地反映这些物理量与转动快慢之间的关系，所以转差率  $s$  在异步电动机中经常被用到。由式(1)可得

$$n = n_s(1 - s)$$

当  $s=1$  时  $n=0$ ，转子不动，称为堵转状态。当  $s=0$  时  $n=n_s$ ，转子转速等于同步转速，转子导条与旋转磁场间无相对运动，转子导条中没有感应电势、感应电流和电磁转矩，相当于理想空载状态。 $0 < s < 1$ ，是电动机状态。当  $s > 1$  时表示转子的转向与气隙磁场的旋转方向相反，是反接制动状态。

异步电动机的结构主要分为定子(固定部分)和转子(旋转部分)两部分，定、转子之间的空气间隙称为气隙，如图 1 所示。定子包括机座、定子铁心、定子绕组部分。机座就是电机的外壳，它是电机的主要支架，其作用是固定和保护定子铁心和定子绕组，并支承两个端

盖。机座一般用铸铁、铝合金或其他材料制成。定子冲片由硅钢片冲制而成，其被叠压装配成铁心。

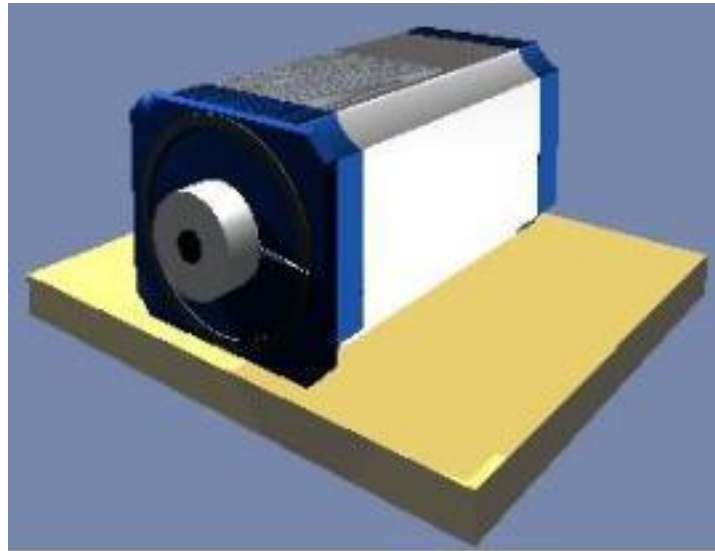


图 1 异步电机示意图

普通电动机的结构主要分为鼠笼式和绕线式两种。鼠笼转子每个槽内装有一根导条，称为导条，导条两端有两个短路环把所有导条连在一起，构成闭合的转子绕组。如果去掉铁心，整个转子绕组形成一鼠笼状，“鼠笼转子”即由此得名。转子包括轴、转子铁心和转子绕组三部分。转子铁心也是有硅钢片叠压而成。

假设把能够自由转动的鼠笼转子放在一个两级的永磁体中间，这个磁体也是能够转动的，它顺时针方向以  $n_s$  的转速旋转，如图 2 所示。

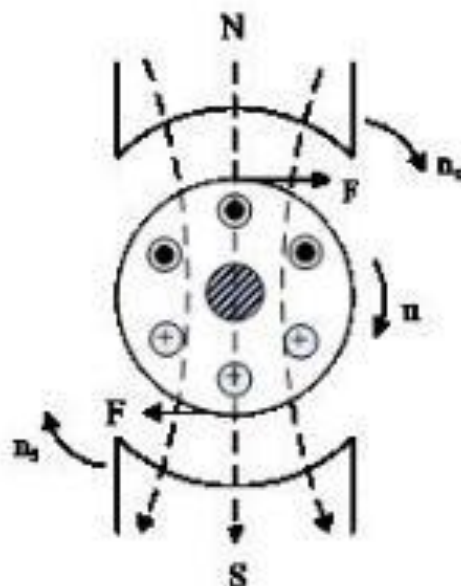


图 2 异步电机工作原理图

旋转的磁体形成一个旋转磁场，它的磁力线顺时针方向切割转子导条，在转子导条中产生感应电势。电势的方向，相当于磁场不动而转子导条反方向切割磁力线时产生的电势方向，根据右手定则可画出感应电势方向如图所示。由于鼠笼转子的导条都是通过短路环连接起来，因此在感应电势作用下，在转子导条中就会有电流流过，电流方向和感应电势方向相同。由于通电导体在磁场中要受到力的作用，所以转子载流导体要与磁场相互作用产生电磁力，这个电磁力  $F$  作用在转子上，对转轴形成电磁转矩。根据左手定则可以判断转矩的方向与磁场转动的方向是一致的。因此鼠笼转子便在电磁转矩作用下顺着磁场旋转的方向转动起来。

只要转子转轴上存在阻力转矩，为了使转子连续转动，转子绕组中必须有一定大小的电流以产生足够的电磁转矩去克服阻力矩，转子转速必须低于旋转磁场的转速。如果转子转速等于旋转磁场的转速，则转子与旋转磁场之间就没有相对运动，这是转动导条中的感应电势、电流以及电磁转矩就都不存在了。而转子转速比旋转磁场转速低多少，这与机械负载的阻转矩有关。这就是异步电动机的工作原理。“异步”就是不同的意思，它指明这种电动机转子的转速与旋转磁场的转速有差异。在实际的异步电动机中，旋转磁场并不是由旋转的磁体产生的，而是由定子绕组中的电流产生的。

## 二、异步电机的数学模型

异步电机是一个多变量、高阶、强耦合的非线性系统，为了便于对电机进行分析研究，有必要对实际电机进行如下假设，抽象出理想化电机模型。

(1) 三相定子绕组和转子绕组在空间均对称分布，即在空间互差  $120^\circ$  电角度，所产生的磁动势沿气隙圆周按正弦分布，即忽略空间谐波。

(2) 各相绕组的自感和互感都是恒定的,即忽略磁路饱和的影响。

(3) 忽略铁心损耗。

(4) 不考虑频率和温度变化对电阻的影响。

在上述假定条件下,通过建立电压方程、磁链方程、电气传动系统的运动方程和电磁转矩方程可以得到异步电机在三相静止坐标系中的数学模型。将三相静止坐标系上数学模型的方程式中定子和转子的电压、电流、磁链和转矩都变换到两相坐标系  $\alpha$ - $\beta$  上,可得两相  $\alpha$ - $\beta$  坐标系上的数学模型。

若设定如下状态:

$$x_1 = i_{s\alpha}, x_2 = i_{s\beta}, x_3 = i_{r\alpha}, x_4 = i_{r\beta}, x_5 = \omega$$

其中

$x_1$  —— 定子  $\alpha$  相电流

$x_2$  —— 定子  $\beta$  相电流

$x_3$  —— 转子  $\alpha$  相电流

$x_4$  —— 转子  $\beta$  相电流

$x_5$  —— 电机转速

若控制方法为变频调速方法,则设定输入量如下

$$u_1 = t, u_2 = \omega_f, u_3 = T_L$$

其中

$u_1$  —— 时间

$u_2$  —— 输入电压的频率

$u_3$  —— 电机负载

则输入三相电压表示如下:

$$\begin{cases} U_A = 220\sqrt{2} \sin(2\pi \cdot u_1 \cdot u_2) \\ U_B = 220\sqrt{2} \sin(2\pi \cdot u_1 \cdot u_2 + \frac{2}{3}\pi) \\ U_C = 220\sqrt{2} \sin(2\pi \cdot u_1 \cdot u_2 + \frac{4}{3}\pi) \end{cases}$$

变换坐标后两相电压表示为

$$\begin{cases} u_{s\alpha} = \frac{\sqrt{6} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} U_B - \frac{\sqrt{3}}{2} U_C \right)}{3} \\ u_{s\beta} = \frac{\sqrt{6} \left( U_A - \frac{1}{2} U_B - \frac{1}{2} U_C \right)}{3} \end{cases}$$

根据异步电机在  $\alpha$ - $\beta$  坐标系上的数学模型，带入参数可得系统状态空间方程为

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 1.6588u_{s\alpha} - 7.05x_1 + 0.1048x_2x_5 + 5.2144x_3 + 0.108x_4x_5 \\ \dot{x}_2 = 1.6588u_{s\beta} - 7.05x_2 - 0.1048x_1x_5 + 5.2144x_4 - 0.108x_3x_5 \\ \dot{x}_3 = -1.6094u_{s\alpha} + 6.8398x_1 - 1.0718x_2x_5 - 53.3451x_3 - 1.1048x_4x_5 \\ \dot{x}_4 = -1.6094u_{s\beta} + 6.8398x_2 + 1.0718x_1x_5 - 53.3451x_4 + 1.1048x_3x_5 \\ \dot{x}_5 = 1.302(x_2 - x_3 - x_1x_4) - 10u_3 \\ \begin{cases} y_1 = x_5 \\ y_2 = 0.1302(x_2x_3 - x_1x_4) \end{cases} \end{cases}$$

### 三、演示算法：变频调速

异步电机模型的 Simulink 框图如图 3 所示，其中包括 asyn\_electrical\_motor\_sfun 模块为根据异步电机在  $\alpha$ - $\beta$  坐标系上的数学模型建立的 S 函数模块三个输入分别为时间、期望转速、负载力矩，输出为电机转速（r/min），电机输出力矩。当负载为零时由于调频的限制电机转速只能在 52（r/min）至 100（r/min）之间调整，否则会出现错误（电机转速不准或者电机输出力矩不准）。图 4 和图 5 分别为期望电机转速设置为 60（r/min）时的电机转速图和电机输出力矩图。

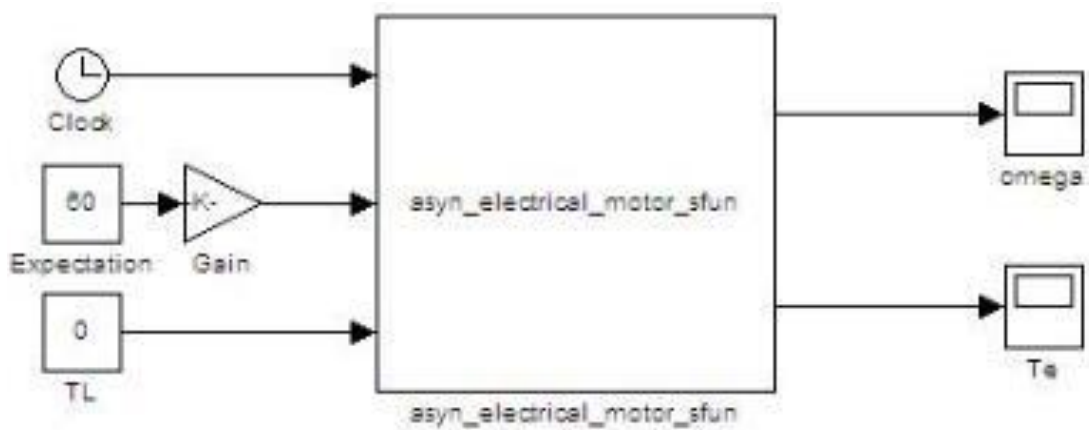


图 3 异步电机的 Simulink 框图

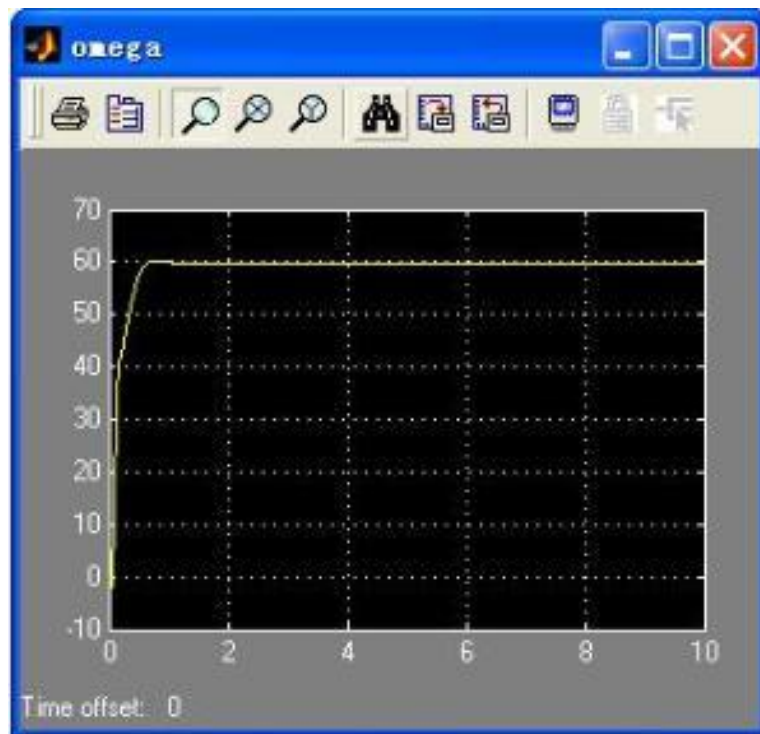


图 4 空负载时异步电机输出转子转速图

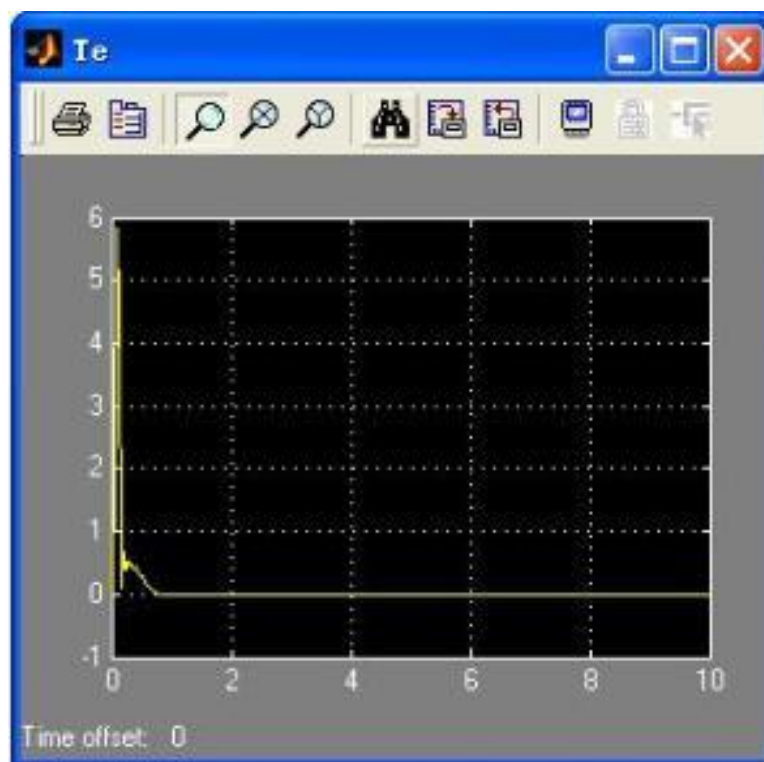


图 5 空负载时异步电机输出电磁转矩图