

# 1 异步电机的电力拖动

## 1.1 三相异步电动机的机械特性

### 1.1.1 电磁转矩公式

#### 1. 电磁转矩物理公式

$$T = C_T \Phi_m I_2 \cos \varphi_2$$

其中  $C_T$  为转矩常数, 由电机结构决定

#### 2. 电磁转矩的参数公式

$$T = K_T \frac{spR_2 U_1^2}{f_1 [R_2^2 + (sX_2)^2]}$$

#### 3. 电磁转矩的实用公式

##### 1) 临界转差率

$$s_M = \frac{R_2}{X_2}$$

##### 2) 最大电磁转矩

$$T_M = K_T \frac{pU_1^2}{2f_1 X_2}$$

##### 3) 忽略空载转矩, 额定电磁转矩等于额定输出转矩

$$T_N = T_{2N} = \frac{60}{2\pi} \frac{P_N}{n_N}$$

##### 4) 实用公式

$$\frac{T}{T_M} = \frac{2}{\frac{s}{s_M} + \frac{s_M}{s}}$$

### 1.1.2 固有特性

#### 1. 转矩特性: $U_1, f_1, R_2, X_2$ 不变, $T$ 与 $s$ 的关系 $T = f(s)$

#### 2. 机械特性: $n$ 与 $T$ 的关系 $n = f(T)$

3. 固有特性: 定子电压和频率都是额定值, 且为绕线型异步电动机, 转子不另外串联电阻或电抗, 这时的转矩特性和机械特性为固有特性, 否则为人为特性

#### 4. 额定状态: 工作点在特性曲线上为 $N$ 点, 说明了电动机的长期运行能力。

##### 1) 硬特性: 转矩增加转速下降不多的机械特性

##### 2) 软特性: 转矩增加转速下降很多的机械特性

#### 5. 临界状态: 电动机的电磁转矩最大时的状态, 说明了电动机的短时过载能力

1) 堵转: 负载转矩大于最大转矩导致转速逐渐下降为 0, 会导致电流远大于额定电流, 可能导致电动机严重过热

6. 堵转状态: 电动机刚接通电流还没有转动的状态, 工作点在特性曲线上为  $S$  点, 转差率  $s = 1$ , 转速  $n = 0$ , 对应的电磁转矩  $T_S$  为堵转转矩, 定子线电路为堵转电流, 此状态说明了电动机的直接起动能力

##### 1) 起动转矩倍数 $\alpha_{ST}$ :

$$\alpha_{ST} = \frac{T_S}{T_N}$$

1) 起动电流倍数  $\alpha_{SC}$ :

$$\alpha_{SC} = \frac{I_S}{I_N}$$

### 1.1.3 人为特性

1. 降低定子电压时的人为特性
2. 降低转子电阻时的人为特性

## 1.2 电力拖动系统的稳定运行

### 1.2.1 负载的机械特性

负载的机械特性: 电动机负载的转速与负载转矩的关系  $n = f(T_L)$ , 简称负载特性

1. 恒转矩负载特性: 负载转矩为定值, 与转速无关

1) 反抗性恒转矩负载: 负载转矩由摩擦作用产生, 其绝对值不变, 作用的方向总是与旋转方向相反

2) 位能性恒转矩负载: 负载转矩由重力作用产生, 负载转矩的大小和方向都不变

2. 恒功率负载特性: 负载转矩的大小与转速的大小成反比, 两者的乘积为常数

3. 通风机负载特性: 负载转矩的大小和转速的平方成正比  $T_L \propto n^2$ , 负载转矩的方向始终与转速方向相反

### 1.2.2 稳定运行的条件

稳定运行时, 必须为  $T_2 = T_L$ , 若是忽略  $T_0$ , 则要有  $T = T_L$ , 同时要求运行要具有一定的抗干扰能力, 平衡被打破后能恢复

1. 电力拖动系统稳定运行的条件是: 电动机的机械特性与生成机械的负载特性由交点, 而且在该焦点处满足

$$\frac{dT}{dn} < \frac{dT_L}{dn}$$

## 1.3 三相异步电动机的起动

### 1.3.1 电动机的起动指标

起动是电动机在接通电源后, 转子从静止状态开始转动直到稳定运行的过程, 由两个基本要求

1. 起动转矩要大:  $T_S > T_L$  时电动机才能起动
2. 起动电流 (线电流) 不能超过允许范围

### 1.3.2 笼型异步电动机的直接起动

在定子绕组上直接加上额定电压起动

### 1.3.3 笼型异步电动机的减压起动

在起动时先降低定子绕组上的电压，在起动后恢复

1. 定子串联电阻或电抗减压起动: 能耗较大,
2. 星形-三角形减压起动: 仅适用于正常工作时为三角形联结的电动机, 在起动时定子绕组按星形联结, 起动后换为三角形连接。电动机的起动电流, 电源电流和起动转矩只有直接起动的三分之一
3. 自耦变压器减压起动: 同时适用于正常工作时为星形或三角形联结的电动机, 电动机本身的起动电流减小至直接起动的  $K_A$  倍, 电源电流和起动转矩都为直接起动的  $K_A^2$  倍
4. 软起动器起动

### 1.3.4 绕线型异步电动机转子电路串联电阻起动

可以同时减小起动电流增加起动转矩

1. 无极起动: 转子电路串联起动变阻器, 起动变阻器最大值

$$R_{ST} = \left( \frac{T_N}{s_N T_1} - 1 \right) R_2$$

其中  $T_1$   $R_2$  为所要求的起动转矩值, 转子每相绕组的电阻

2. 有机起动: 起动电阻为串联的多个电阻, 起动瞬间接入最大电阻, 随着转速增加, 转矩下降为切换转矩  $T_2$  时, 切除一段电阻, 转矩恢复  $T_1$ , 重复直到所有电阻都被切除

- 1) 起动电阻的计算:
  1. 选择起动转矩和切换转矩  $T_1 = (0.8 \sim 0.9)T_M, T_2 = (1.1 \sim 1.2)T_L$
  2. 求起切转矩比  $\beta = \frac{T_1}{T_2}$
  3. 确定起动级数

$$m = \frac{\log \frac{T_N}{s_N T_1}}{\log \beta}$$

$m$  取相近的整数

4. 重新计算  $\beta$ , 校对  $T_2$  是否在规定范围内
5. 求出各级起动电阻

$$R_{STi} = (\beta^i - \beta^{i-1}) R_2$$

## 1.4 三相异步电机的调速

### 1.4.1 电动机的调速指标

1. 调速范围: 电动机在满载情况下所能得到的最高转速和最低转速的比

$$D = \frac{n_{max}}{n_{min}} = n_{max} : n_{min}$$

2. 调速方向: 上调和下调
3. 调速的平滑性

- 1) 有极调速: 在调速中两个转速之间的转速无法取到
- 2) 无极调速: 一定范围内的转速都能取到
- 3) 平滑系数: 两相邻转速比  $\sigma = \frac{n_i}{n_{i-1}}$
4. 调速的稳定性: 电动机在新转速下运行, 负载变化引起转速变化的程度

1) 静差率: 某一机械特性上运行时, 电动机由理想空载到满载时转速差与理想空载转速的百分比

$$\delta = \frac{n_0 - n_1}{n_0} * 100\%$$

$\delta$  越小稳定性越好

2) 机械硬度:

$$\alpha = \left| \frac{dT}{dn} \right|$$

机械硬度越大静差率越小

5. 调速时的允许负载

1) 恒功率调速: 电动机在各种不同的转速下满载运行, 允许输出的功率相同

2) 恒转矩调速: 电动机在各种不同的转速下满载运行, 允许输出的转矩相同

三相异步电动机

$$n = (1 - s)n_0 = (1 - s) \frac{60f_1}{p}$$

则调速方法分为变极调速与变频调速

#### 1.4.2 笼型异步电动机的变频调速

1.  $f_1 < f_N$  时, 要保持  $\frac{U_1}{f_1} \approx \frac{E_1}{f_1} = \text{常数}$

$U_1 \approx E_1 = 4.44k_{w1}N_1f_1\Phi_m$ , 单独降低频率会使  $\Phi_m$  增加, 导致磁路饱和, 铁损增加, 功率因数下降, 则  $U_1$  应该随频率一起下降

2.  $f_1 > f_N$  时, 要保持  $U_1 = U_N = \text{常数}$

3. 变频调速的性能: 1) 调速可以上下调

2) 平滑, 可以实现无极调速

3) 稳定性好

4) 调速范围大

5)  $f_1 < f_N$  时为恒转矩调速,  $f_1 > f_N$  时为恒功率调速