



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

三相异步电动机的电力拖动

三相异步电动机的机械特性 (2)

主讲：常宇健

目录



在线开放课程

- 固有机械特性
- 人为机械特性
- 特性绘制

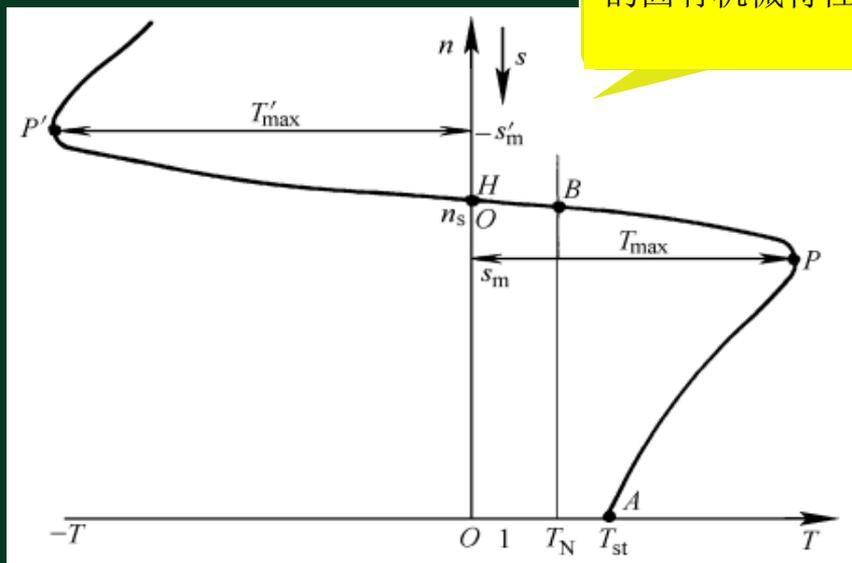


三相异步电动机的固有机械特性

固有机械特性是指异步电动机工作在额定电压及额定频率下，电动机按规定的接线方法接线，定子及转子电路中不外接电阻（电抗或电容）时所获得的机械特性曲线。

三相异步电动机的固有机械特性

- 1) 起始点 A ;
- 2) 额定工作点 B ;
- 3) 同步转速点 H ;
- 4) 最大转矩点 P 和 P' 。



1、 起动点 $n=0, s=1$ $T = T_{st}$

2、 额定工作点: $n = n_N, T = T_N$

随着电机容量的增大, 额定转差率 S_N 减小, 当 P_N 大于100kW时, $S_N = 0.014 \sim 0.025$; 容量相同, 极数相同时, 笼型电机的 S_N 小于绕线式电机。

3、 同步转速点 H : $n = n_0, s = 0, T = 0$

为理想情况, 由于空载损耗的存在, 异步电机不可能工作在此点。

4、 最大转矩点 P 和 P'

$$S = S_m = S_{mN}, T = T_{\max} = T_{mN}$$

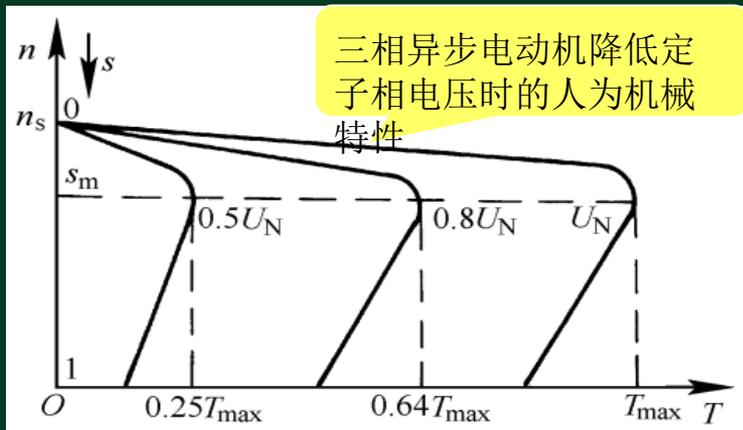
三相异步电动机的人为机械特性

(一) 降低 U_x

U_x 升高后电动机电流将大于额定值，电动机如长时连续运行，最终温升将超过允许值，导致电动机寿命缩短，甚至烧坏。

特点：

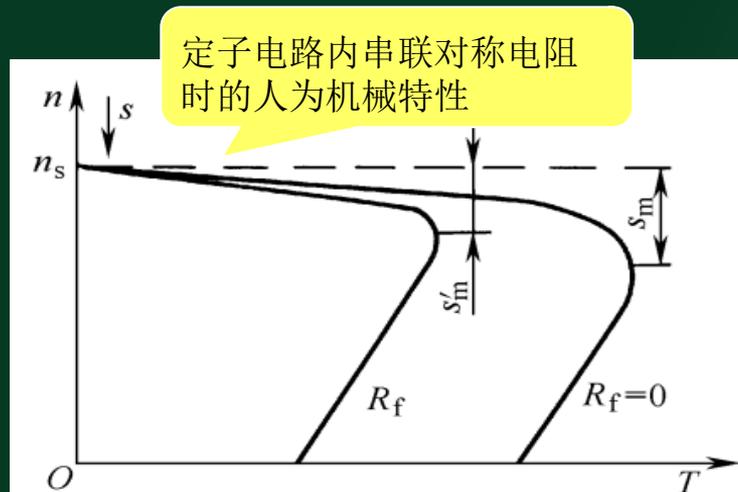
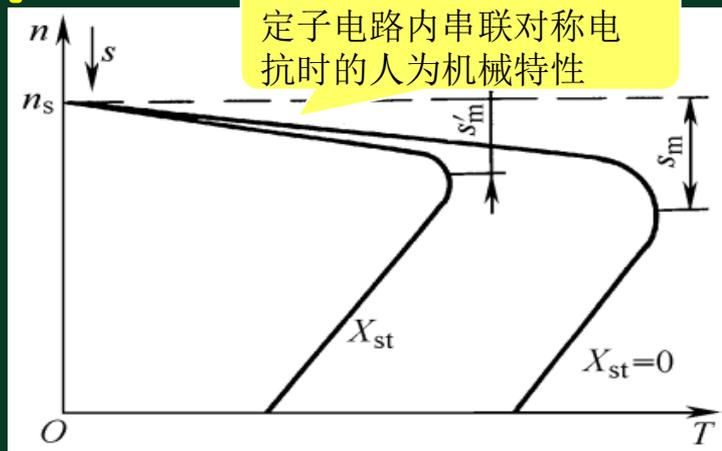
- 1) 异步电动机的同步转速 n_s 与电压 U_1 毫无关系。不论电压 U_1 改变多少， n_s 不会改变。
- 2) 当 U_1 降低时，由式看出电磁转矩 T_e 与 U_1^2 成正比，为此最大转矩 T_{max} 随的 U_1^2 成正比下降。但是最大转矩对应的临界转差率 s_m 与电压 U_1 无关。
- 3) 由于电磁转矩 T_e 与 U_1^2 成正比，当 U_1 降低时，起动转矩 T_{st} 都要随 U_1^2 成正比降低。



(二) 定子回路串接对称电抗或电阻

定子电路**串联对称电抗**一般用于笼型异步电动机的降压起动，以限制电动机的起动电流。

与串联对称电抗时相同，定子串联**对称电阻**一般也用于笼型异步电动机的减压起动。



特点:

- 1) 电动机的同步转速 n_s 不变，所以在定子回路串接不同的三相对称电阻 R_{ad} （或电抗 X_{ad} ）时的人为机械特性都通过固有机械特性的同步转速点。
- 2) 电动机的最大转矩 T_{max} 、起动转矩 T_{st} 都随外串电阻或电抗的增大而减小。
- 3) 临界转差率 S_m 会随外串电阻或电抗的增大而减小，最大转矩点上移。

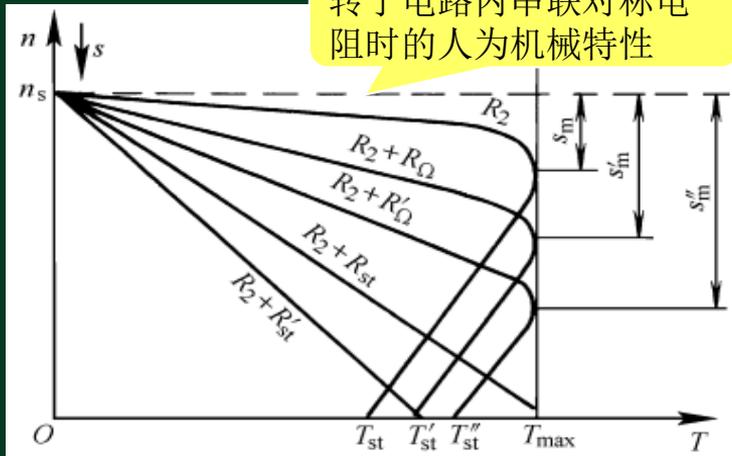
(三) 转子回路串接对称电阻

转子电路串联对称电阻适用于绕线转子异步电动机的起动，也可用于调速。

$s_m = 1$ 时，起动转矩 T_{st} 等于最大转矩 T_{max}

特点：

- 1) 可以看出，最大转矩 T_{max} 与转子每相电阻值无关，即转子串入电阻 R_{ad} 后， T_{max} 不变。
- 2) 临界转差率 $s_m \propto R_2 + R_{ad}$ 。也就是说，临界转差率 s_m 则随转子串入电阻 R_{ad} 的增大而增大。
- 3) 电动机的同步转速 n_s 不变，所以不同 R_{ad} 的人为机械特性都通过固有机械特性的同步点。



在线开放课程

三相异步电动机机械特性的绘制



一般异步电动机的产品目录中可以查到一些技术数据，而不给在线开放课程出电动机的定、转子等具体参数，为此必须用工程算法计算。一般可查到下列技术数据：

1) 额定功率 P_N (kW)

2) 额定定子线电压 U_{1N} (V)

3) 额定定子线电流 I_{1N} (A)

4) 额定转速 n_N (r/min)

5) 额定效率 η_N (%)

6) 定子额定功率因数 $\cos \varphi_{1N}$

7) 过载倍数 K_T ($K_T = T_{\max} / T_N$) 或 $\lambda_m = \frac{T_{\max}}{T_N}$;

8) 飞轮惯量 GD^2 ($N \cdot m^2$)

9) 对于绕线转子异步电动机，还给出两个转子数据，即

a) 转子额定线电动势 E_{2N} (V)

b) 转子额定线电流 I_{2N} (A)

10) 对于笼型异步电动机，没有转子数据，但给出下列两个数据

a) 起动转矩倍数 K_{st} ($K_{st} = T_{st} / T_N$)

b) 起动电流倍数 K_I ($K_I = I_{1st} / I_{1N}$)

此外，还可能给出定子极对数 p ；定子绕组的接线方式；工作制（或定额）；负载持续率；最高温升（或绝缘材料等级）等。额定频率我国为50Hz，即 $f_1 = 50$ Hz

在已知上述数据的基础上，可用工程算法计算异步电动机参数，然后写出机械特性的实用表达式，最后可绘制出机械特性曲线

1. 固有机机械特性曲线的绘制

步骤：

(1) 求得 $T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N}$ ，则 $T_{\max} = \lambda_m T_N$

(2) 代入实用表达式得：
$$\frac{1}{\lambda_m} = \frac{2}{\frac{s_N}{s_m} + \frac{s_m}{s_N}}$$

又可以求得 $s_m = s_N (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1})$

(3) T_{\max} 和 s_m 代入式实用表达式就可以得到机械特性 $T_e = f(s)$

若已知任一电磁转矩 T_e 和转差率 s 代入实用表达式，得

$$\frac{T_e}{T_{\max}} = \frac{T_e}{\lambda_m T_N} = \frac{2}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$$

解上式，可得这种情况下最大转矩对应的临界转差率 s_m 为：

$$s_m = s \left[\lambda_m \frac{T_N}{T_e} + \sqrt{\lambda_m^2 \left(\frac{T_N}{T_e} \right)^2 - 1} \right]$$

同理，将求出的 T_{\max} 和 s_m 代入实用表达式就可以得到该情况下的机械特性 $T_e = f(s)$ 。

当三相异步电动机在额定负载范围内运行时，其转差率 s 小于额定转差率 s_N ，因为一般情况下 $s_N = 0.01 - 0.05$ 。所以，若忽略，式可变为：

$$T_e = \frac{2T_{\max}}{s_m} s$$

例题 一台三相六极异步电动机，额定数据为： $P_N=100\text{kW}$ ， $U_N=380\text{V}$ ， $f_N=50\text{Hz}$ ， $n_N=960\text{ r/min}$ 。忽略空载转矩 T_0 ，试求额定运行时的转差率 s_N 和额定转矩 T_N ，若该电动机过载倍数 $\lambda_m=2$ ，求：（1）机械特性实用表达式；

（2）绘制固有机械特性曲线。

解：（1）求实用表达式

先求同步转速：
$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000\text{ r/min}$$

额定转差率：
$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0.04$$

额定转矩：
$$T_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{\frac{2\pi n_N}{60}} = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \frac{100}{960} = 994.8\text{ N}\cdot\text{m}$$

临界转差率：
$$s_m = s_N (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0.04 \times (2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0.149$$

最大转矩： $T_{\max} = \lambda_m T_N = 2 \times 994.8 = 1989.6\text{ N}\cdot\text{m}$

机械特性的实用表达式
$$T_c = \frac{2T_{\max}}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 1989.6}{\frac{s}{0.149} + \frac{0.149}{s}}\text{ N}\cdot\text{m}$$

[例] 某绕线转子异步电动机的技术数据为： $P_N = 330\text{kW}$

$$U_{1N} = 6000\text{V} \quad I_{1N} = 47\text{A} \quad n_N = 240\text{r/min} \quad \eta_N = 0.878 \quad K_T = 1.2$$

$$\cos \varphi_{1N} = 0.77 \quad \lambda_m = 1.9 \quad E_{2N} = 495\text{V} \quad I_{2N} = 410\text{A} \quad 2p = 24$$

试用工程计算法计算异步电动机的下列参数： T_N 、 T_{\max} 、 R_2 、 k_e 和 k_i

$$R_2'、R_1、s_m、T_{st}$$

解

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{330}{240} \text{N} \cdot \text{m} = 13131 \text{N} \cdot \text{m}$$

$$T_{st} = K_T T_N = 1.2 \times 13131 = 15757.2 \text{N} \cdot \text{m}$$

$$T_{\max} = \lambda_m T_N = 1.9 \times 13131 N \cdot m = 24949 N \cdot m$$

$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{12} = 250 r / \min; \quad s_N = \frac{n_s - n_N}{n_s} = \frac{250 - 240}{250} = 0.04$$

$$R_2 \approx \frac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3} I_{2N}} = \frac{0.04 \times 495}{\sqrt{3} \times 410} \Omega = 0.0279 \Omega$$

因为 $m_1 = m_2$

$$\text{所以 } k_e = k_i = k = \frac{E_{1N}}{E_{2N}} \approx \frac{0.95 U_{1N}}{E_{2N}} = \frac{0.95 \times 6000}{495} = 11.5$$

$$R_2' = R_2 k^2 = 0.0279 \Omega \times 11.5^2 = 3.69 \Omega$$

$$R_1 \approx \frac{0.95 U_{1N} s_N}{\sqrt{3} I_{1N}} = \frac{0.95 \times 0.04 \times 6000}{\sqrt{3} \times 47} \Omega = 2.8 \Omega \text{ 或 } R_1 \approx R_2'$$

$$s_m = s_N \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1} \right) = 0.04 (1.9 + \sqrt{1.9^2 - 1}) = 0.141$$

2. 人为机械特性曲线的绘制

(1) 降低定子绕组相电压的人为机械特性的绘制

s_m 不变, T_{\max} 与 U_1 成比例变化,

$$T'_{\max} = T_{\max} \left(\frac{U_1}{U_{1N}} \right)^2$$
$$T_e = \frac{2 T'_{\max}}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \left(\frac{U_1}{U_{1N}} \right)^2 T_{\max}}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$$

(2) 固有特性与转子回路串接对称电阻的人为机械特性的关系

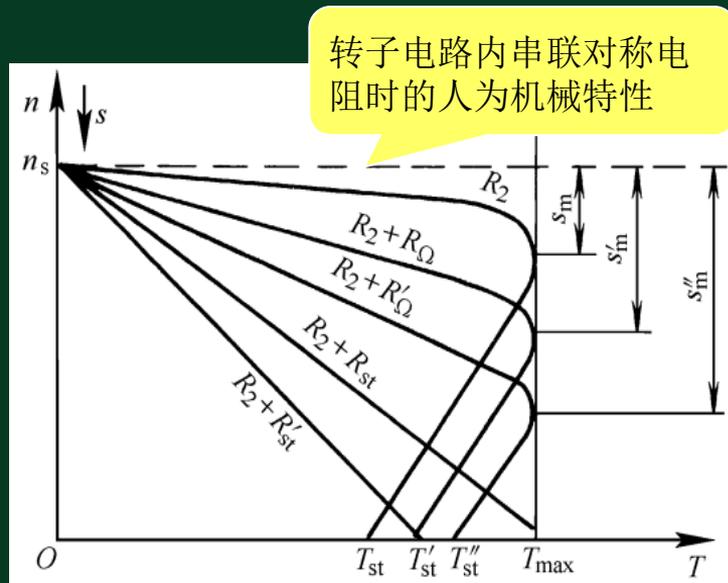
- 固有特性与转子回路串接对称电阻的人为机械特性的临界转差率之比等于转子电阻之比。

$$s_{m0} = \frac{R'_2}{X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}}$$

$$s_{m1} = \frac{R'_2 + R'_{ad1}}{X_{1\sigma} + X'_{2\sigma}}$$

$$\frac{s_{m0}}{s_{m1}} = \frac{R'_2}{R'_2 + R'_{ad1}}$$

$$s_{m2} = \frac{R'_2}{R'_2 + R'_{ad2}}$$



- 对应于任何同一转矩，固有特性与转子回路串接对称电阻的人为机械特性的转差率之比等于转子电阻之比。

$$\frac{R_2'}{s_0} = \frac{R_2' + R_{ad1}'}{s_1} = \frac{R_2' + R_{ad2}'}{s_2}$$

$$\frac{s_0}{s_1} = \frac{R_2'}{R_2' + R_{ad1}'} \quad \frac{s_0}{s_2} = \frac{R_2'}{R_2' + R_{ad2}'} \quad \frac{s_0}{s_3} = \frac{R_2'}{R_2' + R_{ad3}'}$$

(3) 转子回路串接对称电阻的人为机械特性的绘制

$$\frac{s_{11}}{s_{01}} = \frac{R_2' + R_{ad1}'}{R_2'} = \frac{R_2 + R_{ad1}}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3} I_{2N}}$$

小结

- 固有机械特性
- 人为机械特性
- 特性绘制



在线开放课程

