



- 一. 异步电机结构、额定数据与工作原理
- 二. 三相异步电动机转子不转、转子绕组开路时的电磁关系
- 三. 三相异步电动机转子堵转时的电磁关系
- 四. 三相异步电动机转子旋转时的电磁关系
- 五. 三相异步电动机的功率与转矩**
- 六. 三相异步电动机的机械特性
- 七. 三相异步电动机的工作特性及其测试方法
- 八. 三相异步电动机参数的测定



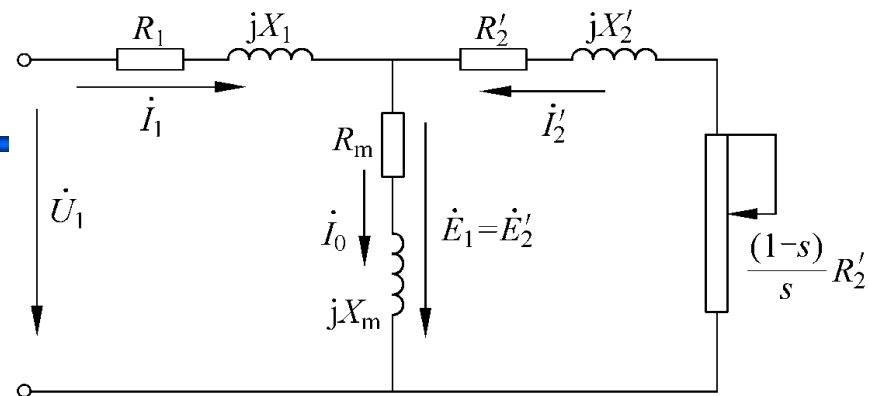
五. 三相异步电动机的功率与转矩

本节学习要点：

- ① 理解和掌握异步电机中各种功率的计算式和功率平衡方程式
- ② 理解和掌握转矩平衡方程式



电机与拖动基础



1、功率关系

● 定子侧

三相异步电动机以转速 n 稳定运行时，从电源输入功率：

$$P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

定子铜损耗：

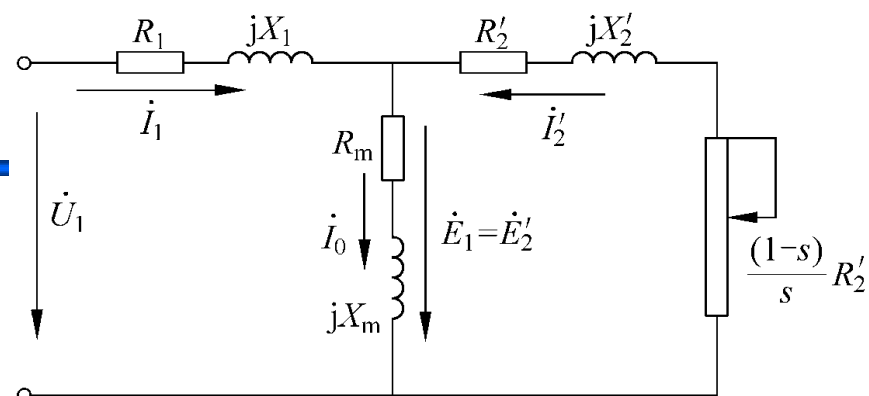
$$p_{Cu1} = 3I_1^2 R_1$$

定子铁耗：

$$p_{Fe} = p_{Fe1} = 3I_0^2 R_m$$

注意！

正常运行情况下的异步电机，由于转子速度接近同步速，气隙磁场与转子铁芯相对速度很小，所以转子铁损耗很小，忽略不计！



● 转子侧

定子传递给转子回路的**电磁功率**等于转子回路**全部电阻上的损耗**，即

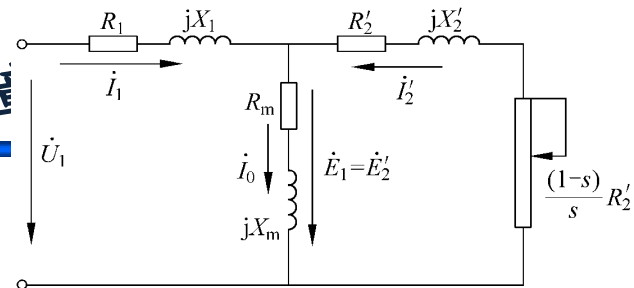
$$\begin{aligned} P_M &= P_1 - p_{\text{Cu1}} - p_{\text{fe}} \\ &= 3I_2'^2 \left[R_2' + \frac{1-s}{s} R_2' \right] = 3I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \end{aligned}$$

电磁功率亦可表示为：

$$P_M = 3E_2' I_2' \cos\varphi_2 = m_2 E_2 I_2 \cos\varphi_2$$

转子铜损耗：

$$p_{\text{Cu2}} = 3I_2'^2 R_2' = sP_M$$



● 转轴侧

转子实际传递到电机转轴上的机械功率等于电磁功率减去转子绕组的铜损耗：

$$\begin{aligned} P_m &= P_M - p_{Cu2} \\ &= 3I_2'^2 \frac{1-s}{s} R_2' = (1-s)P_M \end{aligned}$$

转轴实际输出的功率：

$$P_2 = P_m - p_m - p_s$$

式中 p_m → 电动机运行时，轴承以及风阻等摩擦阻转矩产生的机械损耗；

p_s → 由于定、转子开槽和定转子中谐波磁通势产生的附加损耗。

● 功率平衡方程式

$$P_2 = P_1 - p_{Cu1} - p_{Fe} - p_{Cu2} - p_m - p_s$$

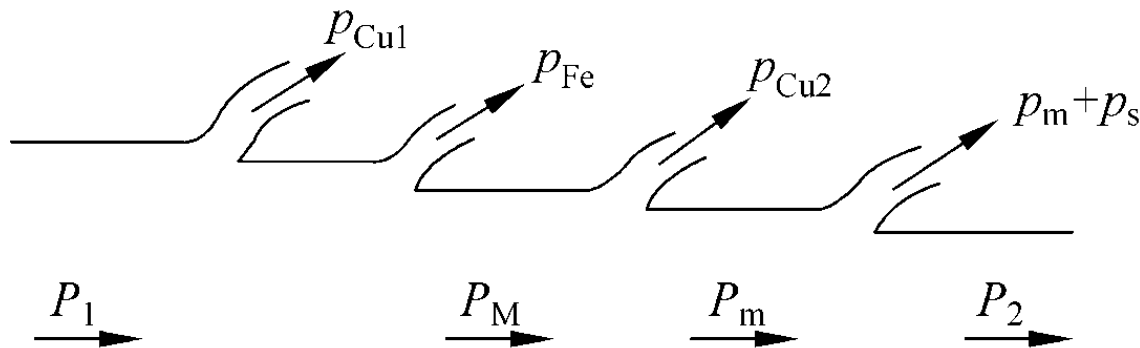
$$P_M$$

$$P_m$$

注意!

电磁功率、转子铜损耗和机械功率比

$$P_M : p_{Cu2} : P_m = 1 : s : (1 - s)$$



由功率比看出，若电磁功率一定，转差率 s 越小，转子回路铜损耗越小，机械功率越大。若 s 越大，则电机效率一定不高。



2、转矩关系

三相异步电动机**电磁转矩**等于**机械功率**除以轴的角速度：

$$T = \frac{P_m}{\Omega}$$

式中 P_m → 电动机的机械功率；
 Ω → 电动机的转轴角速度。

三相异步电动机**电磁转矩**与**电磁功率**之间的关系：

$$T = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{P_m}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{P_m}{(1-s) \frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{P_M}{\Omega_1}$$

式中 P_M → 电动机的电磁功率；
 Ω_1 → 电动机的同步角速度。



转轴实际输出的功率表达式

$$P_2 = P_m - p_m - p_s$$

两边除以角速度，得

$$T_2 = T - T_0$$

式中 $T_0 \rightarrow$ 空载转矩；
 $T_2 \rightarrow$ 输出转矩。

其中，

$$T_0 = \frac{p_m + p_s}{\Omega} = \frac{p_0}{\Omega}$$



例题 7-7 已知一台三相50Hz绕线式异步电动机，额定电压 $U_{IN}=380V$ ，额定功率 $P_N=100kW$ ，额定转速 $n_N=950r/min$ ，在额定转速下运行时，机械摩擦损耗 $p_m=1kW$ ，忽略附件损耗。当电动机额定运行时，求：（1）额定转差率 s_N ；（2）电磁功率 P_M ；（3）转子铜损 p_{Cu2} 。

解：（1）额定转差率 s_N ：

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0.05$$

（2）电磁功率 P_M ：

$$P_M = \frac{P_m}{1 - s_N} = \frac{P_2 + p_m}{1 - s_N} = \frac{100 + 1}{1 - 0.05} = 106.32 (kW)$$

（3）转子铜损 p_{Cu2} ：

$$p_{Cu2} = s_N P_M = 0.05 \times 106.32 = 5.32 (kW)$$



例题7-8 上题中的异步电动机，在额定运行时的电磁转矩、输出转矩及空载转矩各为多少？

解：（1）额定电磁转矩：

$$T_N = 9550 \frac{P_M}{n_1} = 9550 \times \frac{106.32}{1000} = 1015.2 (N \cdot m)$$

（2）输出转矩：

$$T_{2N} = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{100}{950} = 1005.3 (N \cdot m)$$

（3）空载转矩：

$$T_0 = 9550 \frac{p_m}{n_N} = 9550 \times \frac{1}{950} = 10.1 (N \cdot m)$$



3、电磁转矩的物理表达式

$$\begin{aligned} T &= \frac{P_M}{\Omega_1} = \frac{3I_2'^2 \frac{R_2'}{s}}{\frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{3E_2 I_2 \cos\varphi_2}{\frac{2\pi n_1}{60}} \\ &= \frac{3(\sqrt{2}\pi f_1 N_2 k_{dp2} \Phi_1) I_2 \cos\varphi_2}{\frac{2\pi n_1}{60}} \quad \leftarrow n_1 = \frac{60f_1}{p} \\ &= \frac{3}{\sqrt{2}} p N_2 k_{dp2} \Phi_1 I_2 \cos\varphi_2 = C_{Tj} \Phi_1 I_2 \cos\varphi_2 \end{aligned}$$

式中 $C_{Tj} = \frac{3}{\sqrt{2}} p N_2 k_{dp2} \rightarrow$ 三相异步电动机转矩系数；

注意！

电磁转矩物理表达式说明，电磁转矩与气隙每极磁通和转子电流的有功分量成正比。



- 一. 异步电机结构、额定数据与工作原理
- 二. 三相异步电动机转子不转、转子绕组开路时的电磁关系
- 三. 三相异步电动机转子堵转时的电磁关系
- 四. 三相异步电动机转子旋转时的电磁关系
- 五. 三相异步电动机的功率与转矩
- 六. 三相异步电动机的机械特性**
- 七. 三相异步电动机的工作特性及其测试方法
- 八. 三相异步电动机参数的测定



六. 三相异步电动机的机械特性

本节学习要点：

- ① 异步电机机械特性的三种表达式
物理表达式 参数表达式 实用表达式
- ② 异步电机固有机械特性
- ③ 异步电机人为机械特性
 - 降低定子端电压的人为机械特性
 - 定子回路串对称三相电阻的人为机械特性
 - 定子回路串对称三相电抗的人为机械特性
 - 转子回路串对称三相电阻的人为机械特性



机械特性定义：在定子电压、频率和参数固定的条件下，电磁转矩 T 与速度 n （或转差率 s ）之间的函数关系式。

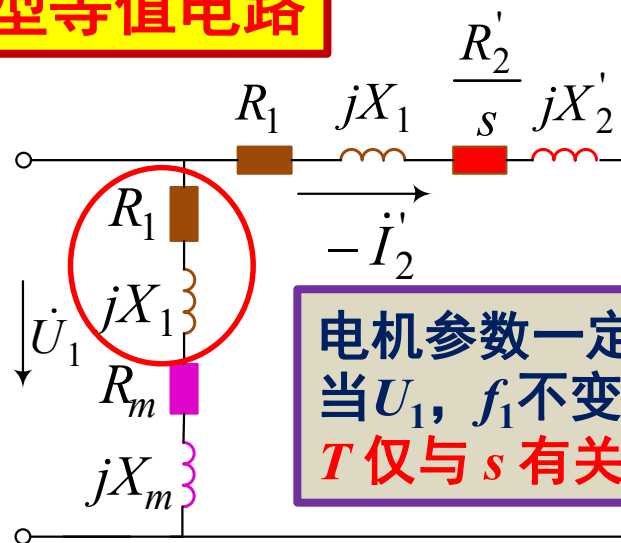
1、机械特性的参数表达式

$$\begin{cases} T = \frac{P_M}{\Omega_1} = \frac{3I_2'^2 \frac{R_2'}{s}}{\frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{3I_2'^2 \frac{R_2'}{s}}{\frac{2\pi f_1}{p}} \\ I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}} \end{cases}$$



$$T = \frac{3pU_1^2 \frac{R_2'}{s}}{2\pi f_1 \left[(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}$$

Γ 型等值电路



电机参数一定，
当 U_1 ， f_1 不变时，
 T 仅与 s 有关。

$$T = f(s)$$

$$n = n_1(1 - s)$$

$$T = f(n)$$

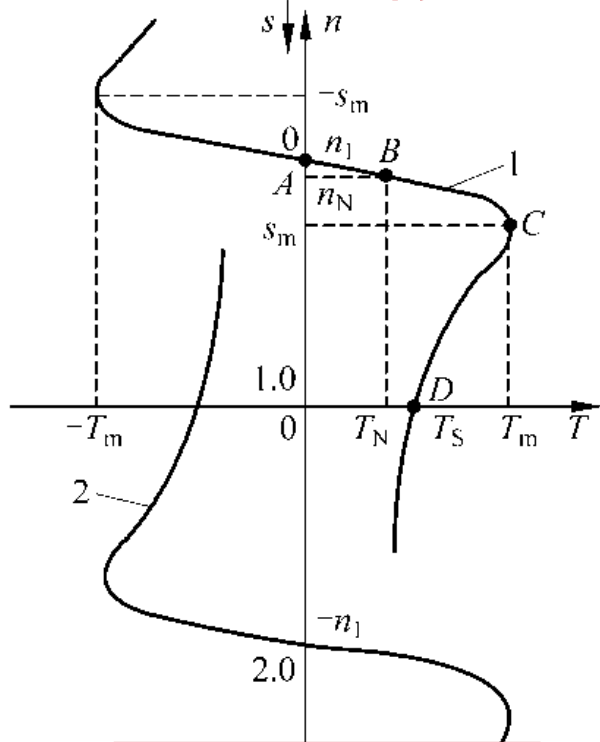
机械特性曲线



2、固有机械特性

三相异步电动机在电压、频率均为额定值不变，定、转子回路不串入任何电路元件时的机械特性称为固有机械特性。

(1) 固有机械特性曲线



固有机机械特性

异步电动机机械特性的特点：

- 在 $0 < s \leq 1$ ，即 $0 < n \leq n_1$ 的范围内，特性在**第I象限**，电磁转矩 T 与转速 n 都为正，电机工作在**电动状态**。
- 在 $s < 0$ 的范围内， $n > n_1$ ，特性在**第II象限**，电磁转矩为负值，是制动转矩，电磁功率也为负值，工作在**发电状态**。
- 在 $s > 1$ 范围内， $n < 0$ ，特性在**第IV象限**， $T > 0$ ，也是一种**制动状态**。

第 I 象限的4个关键点：

A点→理想空载点

$$n = n_1, T = 0, s = 0;$$

B点→额定运行点

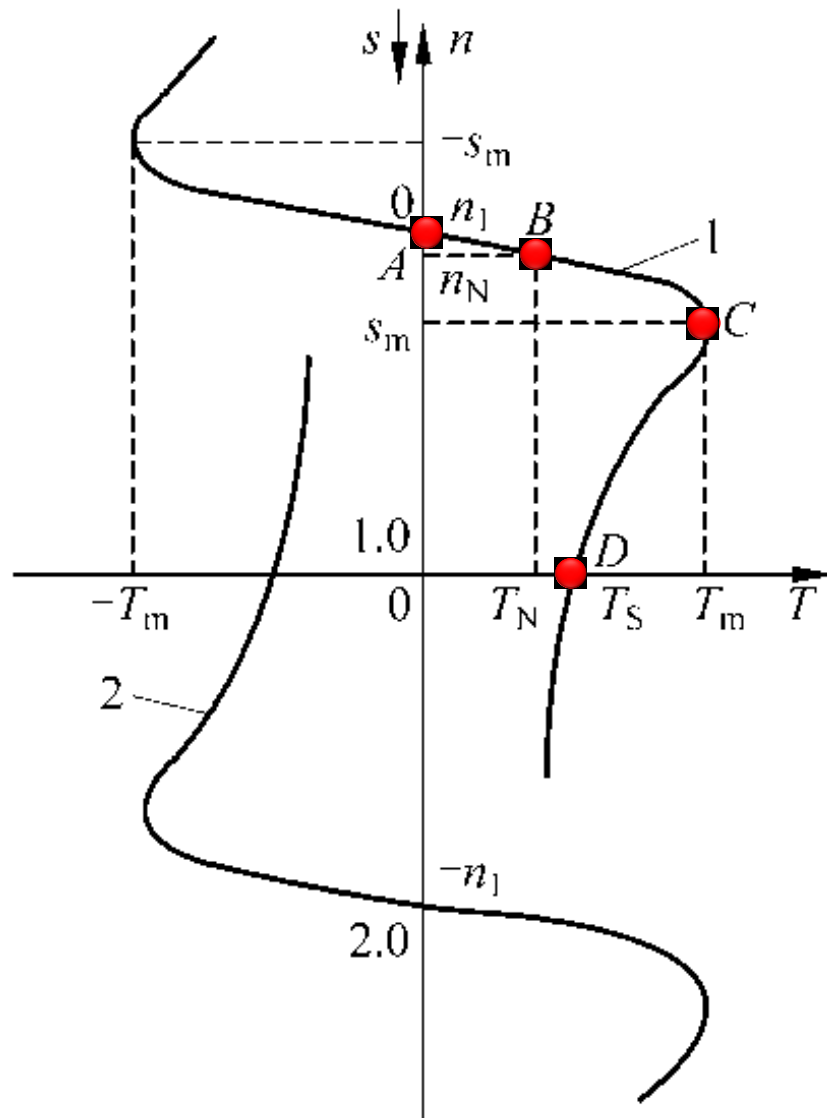
$$n = n_N, T = T_N, s = s_N;$$

C点→电磁转矩最大点

$$T = T_m, s = s_m;$$

D点→启动点

$$n = 0, T = T_S, s = 1;$$



固有机械特性

(2) 最大电磁转矩

令 $\frac{dT}{ds} = 0$

推导

$$T = \frac{3pU_1^2 \frac{R'_2}{s}}{2\pi f_1 \left[(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}$$

$$s_m = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

$$T_m = \pm \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 \left[\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]}$$

$R_1 \ll X_1 + X'_2$, R_1 可忽略

$$\begin{cases} s_m = \pm \frac{R'_2}{X_1 + X'_2} \\ T_m = \pm \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 (X_1 + X'_2)} \end{cases}$$

式中 $\begin{cases} \text{“+” 适用于电动状态} \\ \text{“-” 适用于发电状态} \end{cases}$

特点:

$$s_m \propto R'_2, s_m \propto \frac{1}{X_1 + X'_2}, s_m \text{ 与 } U_1 \text{ 无关}$$

$$T_m \propto U_1^2, T_m \propto \frac{1}{f_1}, T_m \propto \frac{1}{X_1 + X'_2}, T_m \text{ 与 } R'_2 \text{ 无关}$$

推导:

$$\frac{dT}{ds} = d \left\{ \frac{3pU_1^2 R'_2}{2\pi f_1} \frac{1}{\left[sR_1^2 + 2R_1 R'_2 + \frac{R_2'^2}{s} + s(X_1 + X_2')^2 \right] = \Delta(s)} \right\} / ds$$

$$= \frac{3pU_1^2 R'_2}{2\pi f_1} \left[-\frac{1}{\Delta(s)^2} \right] \frac{d\Delta(s)}{s} = -\frac{3pU_1^2 R'_2}{2\pi f_1 \Delta(s)^2} \left[R_1^2 - \frac{R_2'^2}{s^2} + (X_1 + X_2')^2 \right] = 0$$

$$\Rightarrow \left[R_1^2 - \frac{R_2'^2}{s^2} + (X_1 + X_2')^2 \right] = 0 \Rightarrow s_m = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

$$T_m = \frac{3pU_1^2 R'_2}{2\pi f_1 \Delta(s_m)} = \frac{3pU_1^2 R'_2}{2\pi f_1} \frac{1}{\frac{\pm R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} [(R_1^2 + (X_1 + X_2')^2) + 2R_1 R'_2 \pm R'_2 \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}]}$$

$$= \frac{3pU_1^2 R'_2}{4\pi f_1} \frac{1}{R'_2 \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right]}$$

返回

(3) 堵转（启动）转矩

$$T = \frac{3pU_1^2 \frac{R'_2}{s}}{2\pi f_1 \left[(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}$$

令 $s = 1$



$$T_s = \frac{3pU_1^2 R'_2}{2\pi f_1 [(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]}$$

特点：

$$T_s \propto U_1^2, T_s \propto \frac{1}{f_1}, T_s \propto \frac{1}{X_1 + X'_2}$$

过载倍数与堵转转矩倍数

过载倍数：

$$\lambda = \frac{T_m}{T_N}$$

异步电机一般过载能力 $\lambda = 1.6 \sim 2.2$ ，
以确保电机短时过载时不至于停机。

堵转转矩倍数：

$$K_T = \frac{T_s}{T_N}$$

异步电机的堵转转矩倍数一般为 $K_T = 1.2$ 左右，使得电机能够满载顺利启动。

(4) 稳定运行问题

稳定运行的充要条件:

电动机机械特性 $n=f(T)$

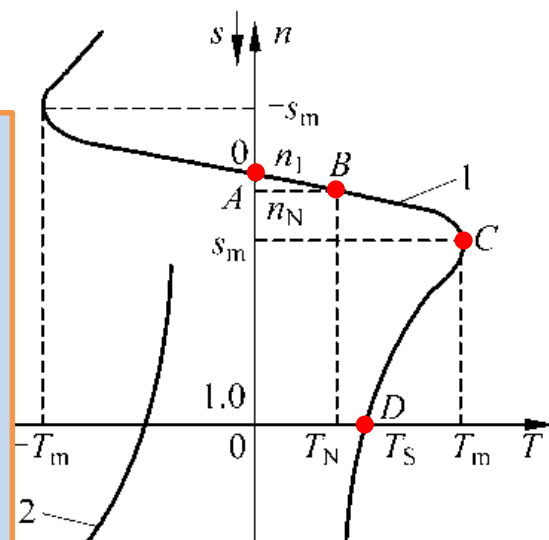
生产机械负载特性 $n=f(T_L)$

交点处满足

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

结论!

- ① 在机械特性 $0 < s < s_m$ 的范围，无论恒转矩负载还是泵类载，电机都能长期稳定运行。
- ② 在 $s_m < s < 1$ 的范围，只有泵类负载满足：
 $T=T_L$ 处， $\frac{dT}{dn} < \frac{dT_L}{dn}$ 的条件时能稳定运行。
- ③ 在 $s_m < s < 1$ 的范围， $E_{2s}=sE_2$ 比正常运行时大很多，转子电流大，不能长时间运行。



固有机械特性



例题7-9 一台**三相六极**鼠笼式异步电动机定子绕组Y接，额定电压 $U_N=380\text{V}$ ，额定转速 $n_N=957\text{r/min}$ ，电源频率 $f_1=50\text{Hz}$ ，定子电阻 $R_1=2.08\Omega$ ，定子漏电抗 $X_1=3.12\Omega$ ，转子电阻折合值 $R'_2=1.53\Omega$ ，转子漏电抗折合值 $X'_2=4.25\Omega$ 。计算：（1）额定电磁转矩；（2）最大电磁转矩及过载倍数；（3）临界转差率；（4）堵转转矩及堵转转矩倍数。

解题思路： 1) 按定义式计算电磁转矩，先算 s_N

$$T_N = \frac{3pU_1^2 \frac{R'_2}{s_N}}{2\pi f_1 \left[(R_1 + \frac{R'_2}{s_N})^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}$$

2) 按定义计算 $T_m = \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 (X_1 + X'_2)}$ ， 3) 临界转差率 $s_m = \frac{R'_2}{X_1 + X'_2}$

4) 堵转转矩：

$$T_s = \frac{3pU_1^2 R'_2}{2\pi f_1 [(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]}$$



解：同步速： $n_1 = 1000 \text{ r/min}$

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 957}{1000} = 0.043, U_1 = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ (V)}$$

(1) 额定电磁转矩：

$$T_N = \frac{3pU_1^2 \frac{R'_2}{s_N}}{2\pi f_1 \left[(R_1 + \frac{R'_2}{s_N})^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]} = 33.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 最大电磁转矩：

$$T_m = \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 (X_1 + X'_2)} = \frac{3 \times 3 \times 220^2}{4 \times \pi \times 50 \times (3.12 + 4.25)} = 94 \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

过载倍数： $\lambda = T_m / T_N = 94 / 33.5 = 2.8$

(3) 临界转差率：

$$s_m = \frac{R'_2}{X_1 + X'_2} = \frac{1.53}{3.12 + 4.25} = 0.2$$



(4) 堵转转矩:

$$T_s = \frac{3pU_1^2 R'_2}{2\pi f_1 [(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]} = 31.5 (N \cdot m)$$

堵转转矩倍数:

$$K_s = \frac{T_s}{T_N} = \frac{31.5}{33.5} = 0.94$$

3、人为机械特性

人为改变电动机的任一参数（ U_1 、 f_1 、 p ，定、转子回路串电阻或电抗）时的机械特性 $n=f(T)$ 。

(1) 降低定子端电压的人为机械特性

理想空载点： n_1 不变

最大转矩点： $T_m \propto U_1^2 \downarrow$ s_m 与 U_1' 无关

堵转转矩点： $T_s \propto U_1^2 \downarrow$

● 对于恒转矩负载 T_L

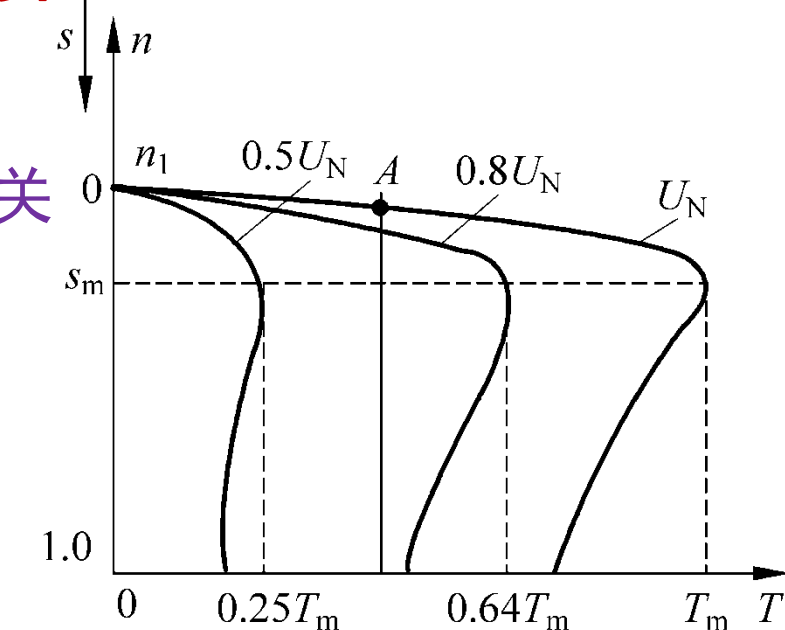
$$U_1 \downarrow \rightarrow \Phi_1 \downarrow$$

$$s \rightarrow \arctan \frac{sX_2}{R_2} = \varphi_2 \uparrow$$

$$T = C_{Tj} \Phi_1 I_2 \cos \varphi_2 = T_L = \text{const}$$

$$\Rightarrow I_2' \rightarrow I_1 \uparrow$$

改变定子电压的人为机械特性



$$\Rightarrow p_{cu1}, p_{cu2} \uparrow$$

温升



(2) 定子串三相对称电阻的人为机械特性

理想空载点:

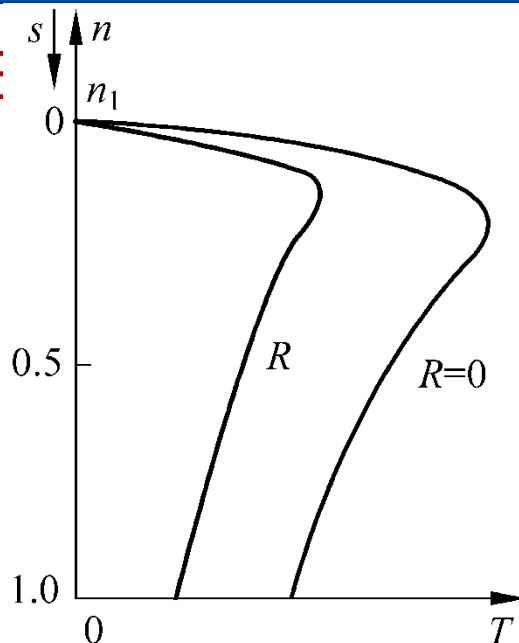
n_1 不变

最大转矩点:

$$T_m \downarrow \propto \frac{1}{R_1} \uparrow \quad s_m \downarrow \propto \frac{1}{R_1} \uparrow$$

堵转转矩点:

$$T_s \downarrow \downarrow \propto \frac{1}{R_1^2} \uparrow \uparrow$$



(3) 定子回路串三相对称电抗的人为机械特性

理想空载点:

n_1 不变

最大转矩点:

$$T_m \downarrow \propto \frac{1}{X_1} \uparrow \quad s_m \downarrow \propto \frac{1}{X_1} \uparrow$$

堵转转矩点:

$$T_s \downarrow \downarrow \propto \frac{1}{X_1^2} \uparrow \uparrow$$

定子回路串三相对称电抗的人为机械特性与串三相对称电阻的特性相似，且**不消耗有功功率**。

(4) 转子回路串入三相对称电阻的人为机械特性

理想空载点:

n_1 不变

最大转矩点:

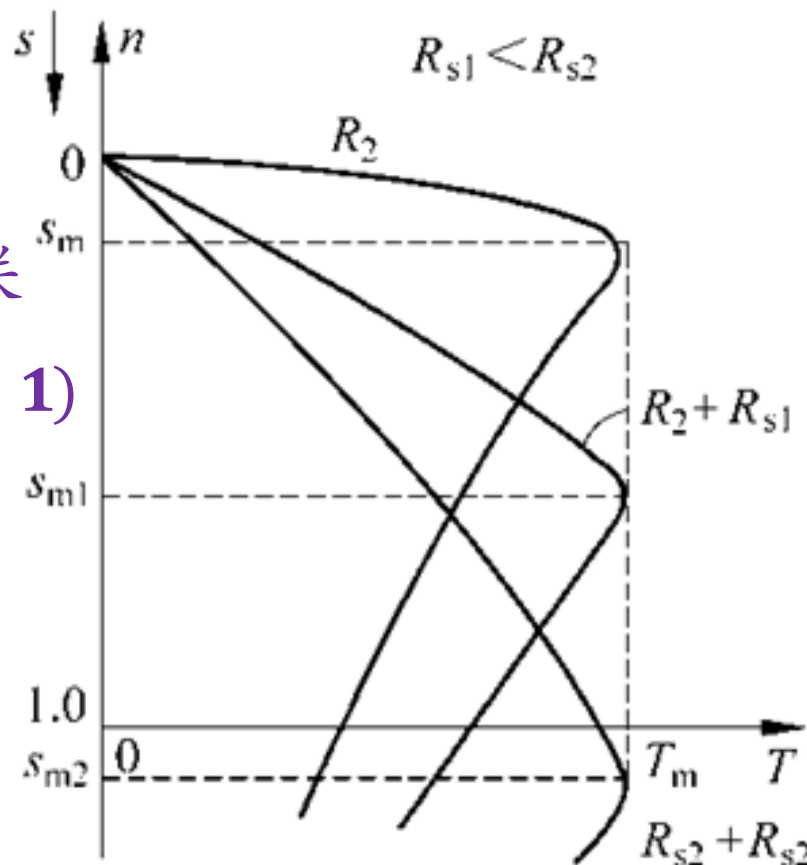
$s_m \propto R'_2$ T_m 与 R'_2 无关

堵转转矩点:

$T_s \propto R'_2$, ($0 < s_m \leq 1$)
 $T_s \propto \frac{1}{R'_2}$, ($s_m > 1$)

注意!

绕线式异步电机 转子回路串电阻 可 改善起动性能和调速。



转子回路串对称三相电阻的人为机械特性



4、机械特性的实用公式

(1) 实用公式

$$\frac{T}{T_m} = \frac{2}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$$

推导

$$T = \frac{3pU_1^2 \frac{R'_2}{s}}{2\pi f_1 \left[(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}$$

$$T_m = \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]}$$

$$s_m = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

推导：

$$T = \frac{3pU_1^2 R'_2/s}{2\pi f_1 [(R_1 + R'_2/s)^2 + (X_1 + X'_2)^2]}$$

$$T_m = \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 [R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}]}$$

相除

$$\frac{T}{T_m} = \frac{2R'_2}{s} \frac{[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}]}{[(R_1 + R'_2/s)^2 + (X_1 + X'_2)^2]} = \frac{2}{s} \frac{[R_1/R'_2 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}/R'_2]}{[(R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2)/R'^2_2 + 2R_1/sR'_2 + 1/s^2]}$$

除以 R'^2_2

$$= \frac{2}{s} \frac{[R_1/R'_2 + 1/s_m]}{1/s_m^2 + 2R_1/sR'_2 + 1/s^2} \xrightarrow{\times s_m} \frac{2 + 2R_1/R'_2 s_m}{s/s_m + s_m/s + 2R_1/R'_2 s_m}$$

代入

$$s_m = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

$$\approx \frac{2}{s/s_m + s_m/s}$$

$$R_1/R'_2 s_m \approx 0.1 \ll 1$$



4、机械特性的实用公式

(2) 如何使用实用公式

$$\begin{cases} T = \frac{2T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2\lambda T_N}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} \\ s_m = s_N(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) \end{cases}$$

已知铭牌数据：
 $P_N(\text{kW})$, $n_N(\text{r/min})$ 和 λ



$$\begin{cases} T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} \\ T_m = \lambda T_N \\ s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} \end{cases}$$

● 机械特性的近似公式（直线公式）

$$T = \frac{2T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2\lambda T_N}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$$

$$\frac{s}{s_m} \ll \frac{s_m}{s}, \text{ 忽略 } \frac{s}{s_m}$$



(s_N, T_N) 代入



$$\begin{cases} T = \frac{2\lambda T_N}{\frac{s_m}{s}} = \frac{2\lambda T_N}{s_m} s \\ s_m = 2s_N \lambda \end{cases}$$

注意！

工作点满足 $s \ll s_m$ ，即工作在直线段，
且越接近 s_m ，误差越大。
实用公式与直线公式必须成对使用。



例题7-10 已知一台三相异步电动机，额定功率 $P_N=70\text{kW}$ ，额定电压 $220\text{V}/380\text{V}$ ，额定转速 $n_N=725\text{ r/min}$ ，过载倍数 $\lambda=2.4$ 。求其转矩的实用公式（转子不串电阻）。

解：额定转矩：

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{70}{725} = 922 (\text{N} \cdot \text{m})$$

额定转差率：

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{750 - 725}{750} = 0.033$$

临界转差率： $s_m = s_N(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0.15$

转子不串电阻转矩的实用公式：

$$T = \frac{2T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2\lambda T_N}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 2.4 \times 922}{\frac{s}{0.15} + \frac{0.15}{s}} = \frac{4425.8}{\frac{s}{0.15} + \frac{0.15}{s}}$$

$$\begin{cases} T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} \\ T_m = \lambda T_N \\ s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} \end{cases}$$



例题7-11 一台绕线式三相异步电动机，已知额定功率 $P_N=150\text{kW}$ ，额定电压 380V ，额定频率 $f_1=50\text{Hz}$ ，额定转速 $n_N=1460\text{r/min}$ ，过载倍数 $\lambda=2.3$ 。求电动机转差率 $s=0.02$ 时的**电磁转矩**及拖动恒转矩负载 $860\text{N}\cdot\text{m}$ 时电动机的**转速**。

解题思路：

已知转差率，求**电磁转矩**，先求实用公式

$$T = \frac{2\lambda T_N}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$$

已知电磁转矩，求转速，先用实用公式**求s**



解：额定转矩：

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{150}{1460} = 981.2 (N \cdot m)$$

额定转差率：

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0.027$$

临界转差率： $s_m = s_N(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0.118$

转差 $s=0.02$ 时，电磁转矩：

$$T = \frac{2\lambda T_N}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 2.3 \times 981.2}{\frac{0.02}{0.118} + \frac{0.118}{0.02}} = 743.5 (N \cdot m)$$



转矩 $860\text{N}\cdot\text{m}$ 时，转差为 s_1 ，则：

$$T = \frac{2\lambda T_N}{\frac{s_1}{s_m} + \frac{s_m}{s_1}} = \frac{2 \times 2.3 \times 981.2}{\frac{s_1}{0.118} + \frac{0.118}{s_1}} = 860(\text{N} \cdot \text{m})$$

解方程得： $s_1 = 0.0234$ ，（另解 $s_1 = 0.596$ ，不合理，舍去）

电动机转速：

$$n = (1 - s_1)n_1 = (1 - 0.0234) \times 1500 = 1465 \text{ r/min}$$



- 一. 异步电机结构、额定数据与工作原理
- 二. 三相异步电动机转子不转、转子绕组开路时的电磁关系
- 三. 三相异步电动机转子堵转时的电磁关系
- 四. 三相异步电动机转子旋转时的电磁关系
- 五. 三相异步电动机的功率与转矩
- 六. 三相异步电动机的机械特性
- 七. 三相异步电动机的工作特性及其测试方法**
- 八. 三相异步电动机参数的测定



七. 三相异步电动机的工作特性及其测试方法

本节学习要点：

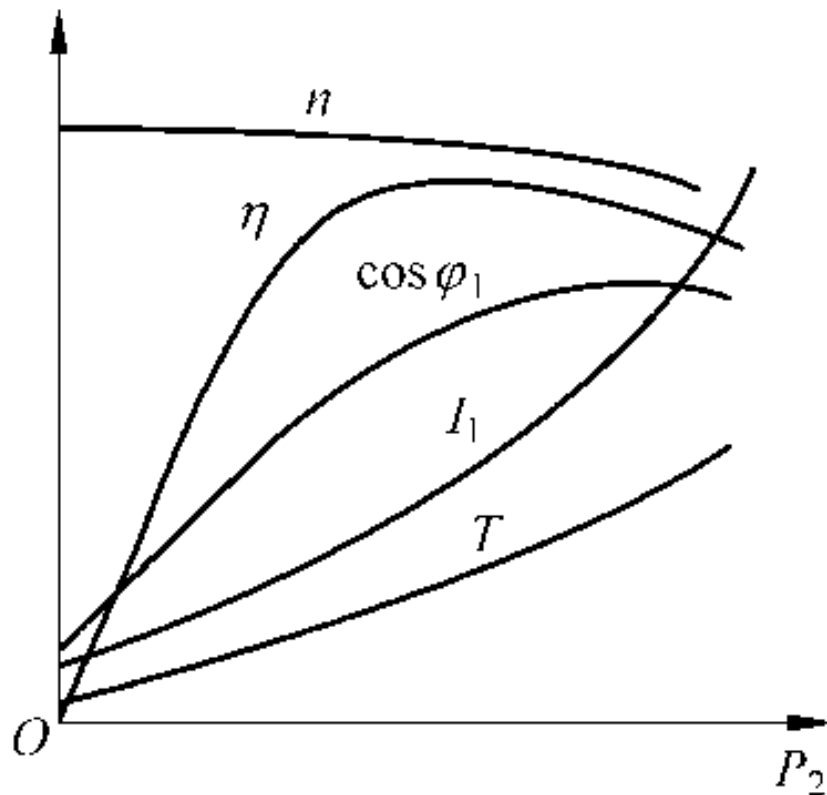
- ① 了解三相异步电动机工作特性定义与特点
- ② 了解用实验法测电机工作特性



1、工作特性的分析

定义：

在额定电压下和额定频率下，电机转速、定子电流、功率因数、电磁转矩、效率等与输出转矩的关系。
即， $U_1 = U_N$ ， $f_1 = f_N$ 时， $n, I_1, \cos\varphi_1, T, \eta = f(P_2)$ 。



(1) 转速特性 $n=f(P_2)$

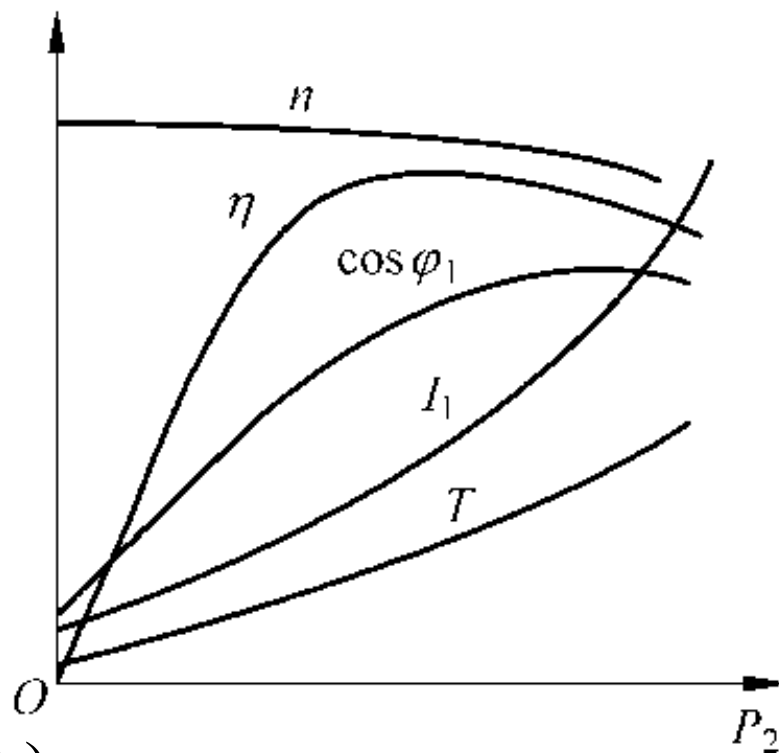
- ① 空载时，转速接近同步速。
- ② 随负载加，转速略微下降，使转子电流增大，以获取较大的电磁转矩来平衡负载转矩。

(2) 定子电流 $I_1=f(P_2)$

- ① 空载时定子电流为励磁电流。
- ② 随负载增大，转速下降，定子电流也逐渐增大

(3) 定子边功率因数 $\cos\varphi_1=f(P_2)$

- ① 空载时功率因数不超过 0.2。
- ② 随负载增大，有功电流增加，功率因数变大，在额定负载附近达到最大。
- ③ 负载进一步增大，转差率变大又使功率因数开始减小。

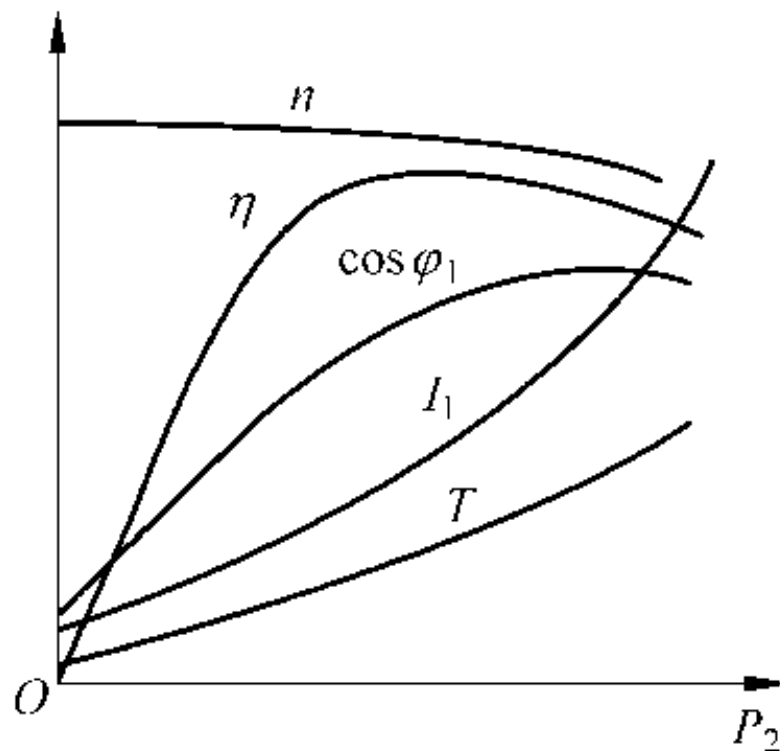


(4) 电磁转矩特性 $T=f(P_2)$

- ① 异步电机稳定运行的转矩方程为 $T=T_2 + T_0$ ，考虑到输出功率为 $P_2=T_2\Omega$ ，则有 $T=P_2/\Omega+T_0$ ，由于 Ω 变化不大，电磁转矩随输出功率的变化近似一直线。

(5) 效率特性 $\eta=f(P_2)$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p}$$



- ① 电机空载时， $P_2=0$ ， $\eta=0$ 。
 ② 随负载增加，效率也在变大，当不变损耗（铁耗与机械损耗）等于可变损耗（铜耗）时，效率达到最大。
 ③ 最大效率后，随负载增大而略降低。



2、用试验法测三相异步电动机的工作特性

- ① 空载试验：测电动机定子电阻、铁耗及机械损耗。
- ② 额定电压和额定频率：测不同负载点的输入功率、定子电流和转速，算出各条特性，并绘出曲线。
- ③ 测参数、机械损耗，估算出附加损耗，也可用等效电路算出其工作特性。



- 一. 异步电机结构、额定数据与工作原理
- 二. 三相异步电动机转子不转、转子绕组开路时的电磁关系
- 三. 三相异步电动机转子堵转时的电磁关系
- 四. 三相异步电动机转子旋转时的电磁关系
- 五. 三相异步电动机的功率与转矩
- 六. 三相异步电动机的机械特性
- 七. 三相异步电动机的工作特性及其测试方法
- 八. 三相异步电动机参数的测定**



八. 三相异步电动机参数的测定

本节学习要点：

- ① 掌握异步电机的漏阻抗测定——短路（堵转）试验
- ② 掌握异步电机的激磁阻抗测定——空载试验

1、短路（堵转）试验

目的： 测短路电阻 R_k 、短路电抗 X_k

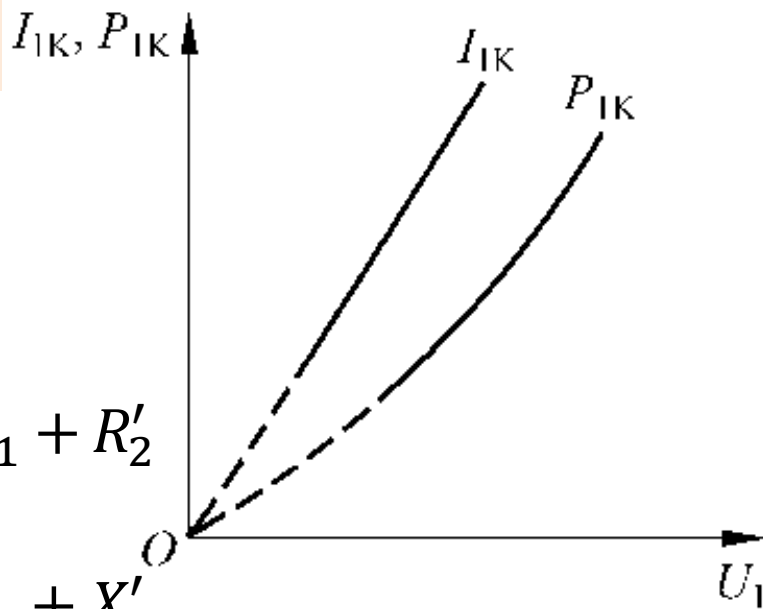
方法： 为了避免电流过大，一般从 $0.4U_N$ 开始，逐步降低电压取点测量。试验时，记录定子电压 U_1 ，定子电流 I_{1k} 及输入功率 P_{1k} ，并测量定子绕组的每相电阻 R_1 ，根据数据绘出短路特性曲线。

参数计算

短路阻抗： $Z_k = \frac{U_1}{I_{1k}}$

短路电阻： $R_k = \frac{P_{1k}}{3 \times I_{1k}^2}$ $\rightarrow R_k = R_1 + R_2'$

短路电抗： $X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$ $\rightarrow X_k = X_1 + X_2'$



异步电动机的短路特性



2、空载试验

目的： 测励磁电阻 R_m ，励磁电抗 X_m ，机械损耗 p_m 和铁损耗 p_{Fe} 。

方法： 将定子绕组的电压从 $(1.1 \sim 1.3) U_N$ 开始，逐渐降低电压，直至电动机转速明显变化为止。记录端电压 U_1 、空载电流 I_0 、空载功率 P_0 和转速 n ，并绘制**空载特性曲线**。

空载时的功率损耗：

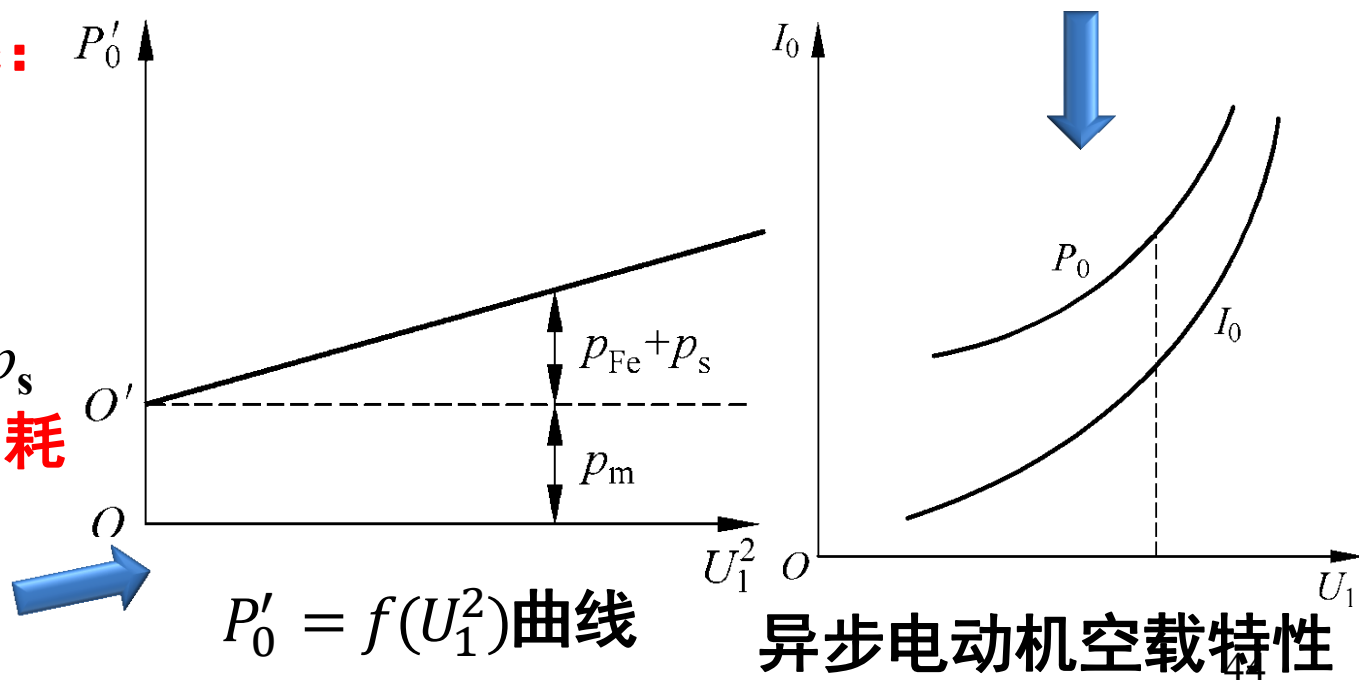
- ① 定子铜耗 $3I_0^2 R_1$
- ② 铁耗 p_{Fe}
- ③ 机械损耗 p_m
- ④ 空载附加损耗 p_s

输入功率中减去铜耗

$$P'_0 = P_0 - 3I_0^2 R_1$$

$$= p_{Fe} + p_m + p_s$$

2020/12/18



参数计算:

空载总阻抗:

$$Z_0 = \frac{U_1}{I_0}, \quad R_0 = \frac{P_0 - p_m}{3 \times I_0^2}, \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$$

式中 $P_0 \rightarrow$ 测得三相功率;

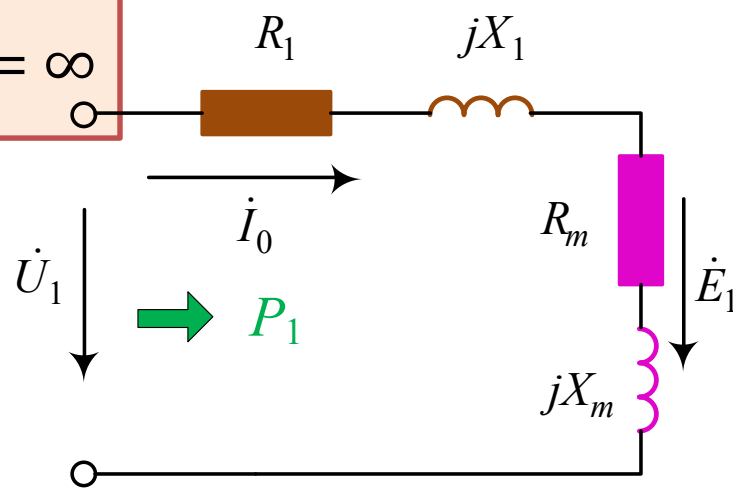
$I_0, U_1 \rightarrow$ 相电压和相电流。

电动机空载时, $s \approx 0$, 则:

$$\frac{1-s}{s} R'_2 = \infty$$

励磁电抗: $X_m = X_0 - X_1$

励磁电阻: $R_m = R_0 - R_1$



空载运行



本章结束

作业：7.4，7.5，7.7，7.8，
7.10，7.11