

# 电机与拖动基础

南开大学

人工智能学院

自动化与智能科学系

段 峰

教授 博导



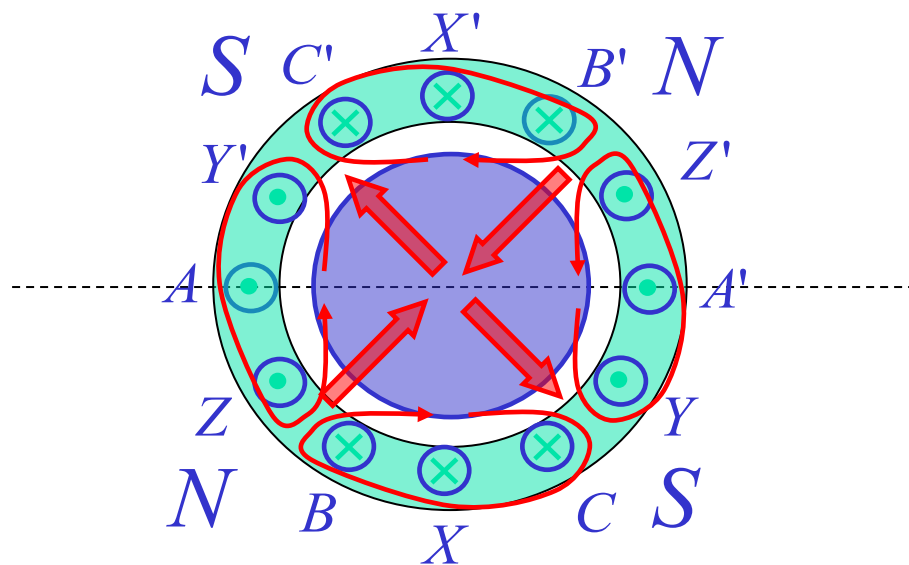
# 第七章 三相异步电动机

---

- 三相异步电动机的结构、工作原理、铭牌数据
- 三相异步电动机的电磁关系
- 三相异步电动机的转矩

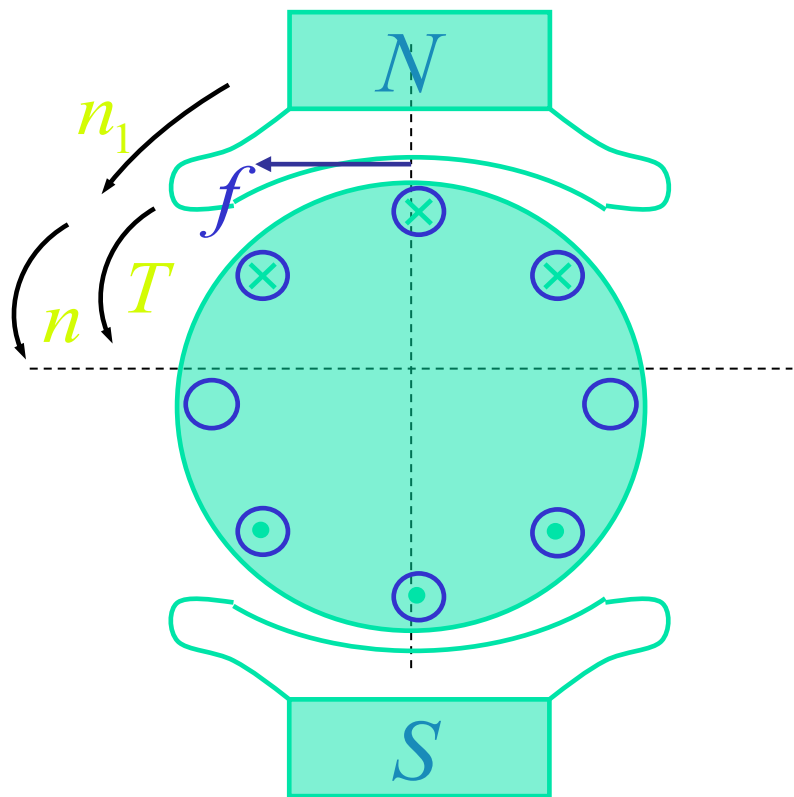
# 交流电机磁场

- 三相电流的时间相位变化了多大角度，其合成磁势也在空间上旋转了多大电角度，合成磁势的幅值不变；
- 电流变化一个周期——合成磁势旋转一周；
- 磁场转速  $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ ，旋转方向由相序确定；
- $p = 2$  时



[连接动画](#)5

# 工作原理（以绕线式电机为例）



1、三相定子绕组接三相交流电，气隙中产生**旋转磁场**。

逆时针同步转速；

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}$$

2、相对转子，有旋转的磁极；

3、转子导体中将产生**感应电势**和**感生电流**；

4、导体中的电流受力，产生转矩，使**转子按旋转磁场的方向旋转**；

5、转子转速能否达到同步转速？

6、转差率：

同步转速  $n_1$ ，转子转速  $n$ ，

转差  $\Delta n = n_1 - n$ ，转差率  $s = \Delta n / n_1$ 。

# 工作原理（以绕线式电机为例）

## 7、转差率的含义：

当同步转速  $n_1$  是确定的时候， $s$  与  $n$  一一对应。

当  $0 < s < 1$  即  $0 < n < n_1$  时，电动状态

当  $s < 0$  即  $n > n_1$  时，发电状态

当  $s > 1$  即  $n < 0$  时，电磁制动状态

正常电动运行时  $s = 0.01 \sim 0.05$

## 四、额定数据

$P_N(kW)$ ,  $U_N(V)$ ,  $I_N(A)$ ,  $f_N(Hz, 50Hz)$ ,  
 $n_N(r/min)$ ,  $\cos \varphi_N$ ,  $\eta_N$  等

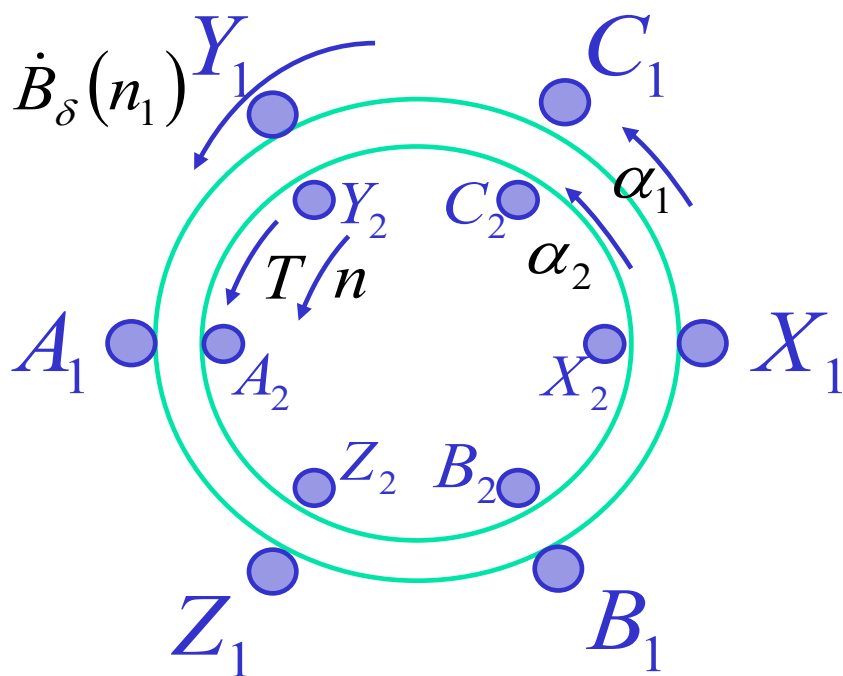


## 第二节 三相异步电动机的电磁关系

- 以绕线式异步电机为例
- 分析步骤：
  - (1) 转子不转，且转子绕组开路；
  - (2) 转子堵转，且转子绕组短路；
  - (3) 转子旋转，正常运行。
- 分析内容：
  - (1) 惯例；
  - (2) 电磁平衡关系式；
  - (3) 折算与等值电路；
  - (4) 向量图。

# 一、转子不转、转子绕组开路

## 1、惯例（1）



$\dot{B}_\delta(n_1)$ ——气隙磁密（同步转速）

$T$ ——电磁转矩

$n$ ——转速

$\alpha_1$ ——沿定子内表面的角度

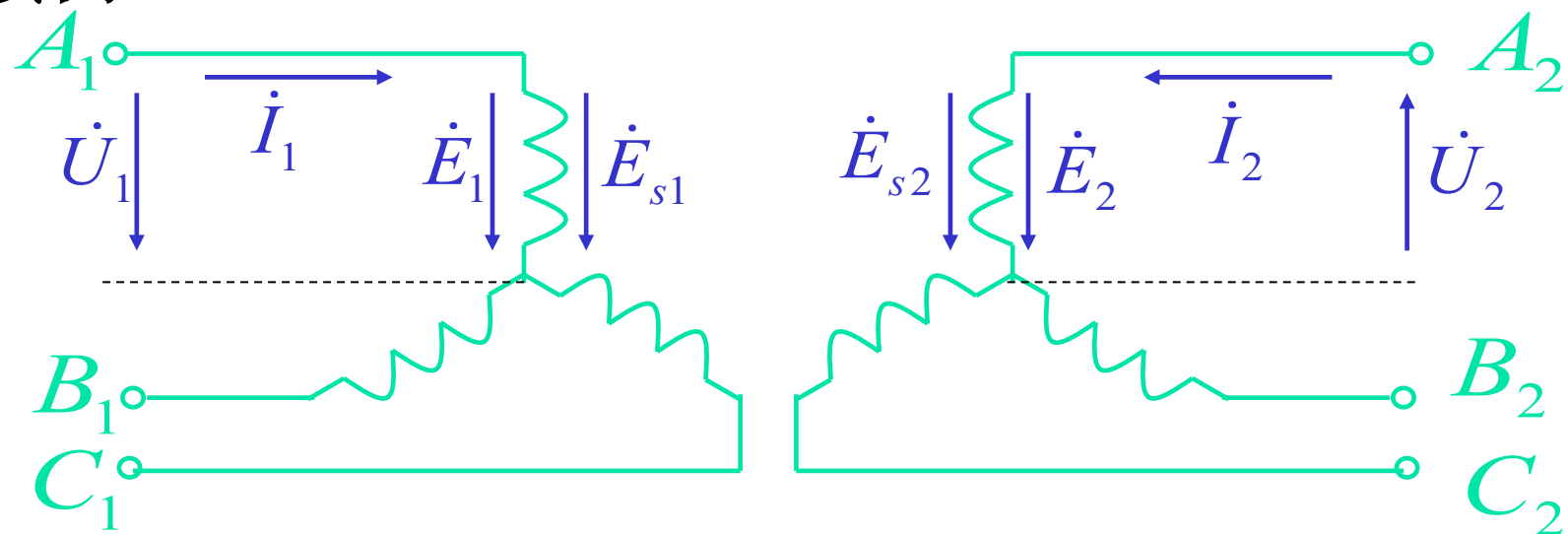
$\alpha_2$ ——沿转子外表面的角度

磁密 $\dot{B}$ 、磁通 $\dot{\Phi}$ 、磁势 $\dot{F}$

均以进入转子方向为正方向

# 一、转子不转、转子绕组开路

## 惯例 (2)



$\dot{U}_1$  —— 电枢绕组相电压

$\dot{E}_1$  —— 电枢绕组相电势

$\dot{I}_1$  —— 电枢绕组相电流

$\dot{E}_{s1}$  —— 电枢绕组相漏电势

$\dot{U}_2$  —— 转子绕组相电压

$\dot{E}_2$  —— 转子绕组相电势

$\dot{I}_2$  —— 转子绕组相电流

$\dot{E}_{s2}$  —— 转子绕组相漏电势



## 2、电磁关系（类似变压器空载运行）

### (1) 磁通 $\dot{\Phi}$ 、磁势 $\dot{F}_0$

定子通以三相对称电流 $\dot{I}_{0A}$ 、 $\dot{I}_{0B}$ 、 $\dot{I}_{0C}$

$\Rightarrow$  空间合成磁势为 $\dot{F}_0$

a、幅值：
$$F_0 = \frac{3}{2} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{N_1 k_{dp1}}{p} \cdot I_0$$

b、转向：电流相序决定， $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 时，逆时针

c、转速：
$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} (r/min), \quad \omega = 2\pi f_1 (rad/s)$$

d、
$$\left. \begin{array}{l} \text{定子磁势} \dot{F}_1 \\ \text{转子磁势} \dot{F}_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2$$

## 2、电磁关系（类似变压器空载运行）

### (2) 感应电势

a、大小：  $E_1 = 4.44 f_1 N_1 k_{dp1} \Phi_1$ ,  $E_2 = 4.44 f_1 N_2 k_{dp2} \Phi_1$

b、变压比：  $k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 k_{dp1}}{N_2 k_{dp2}}$

c、相位：  $\dot{E}_1$ 、 $\dot{E}_2$  滞后于  $\dot{\Phi}_1$   $90^\circ$ ,  $\dot{B}_s$  与  $\dot{\Phi}_1$  同相位

d、  $\dot{E}_1 = k \dot{E}_2 = \dot{E}'_2$

### (3) 励磁电流 $\dot{I}_0 = \dot{I}_{0r} + \dot{I}_{0a}$

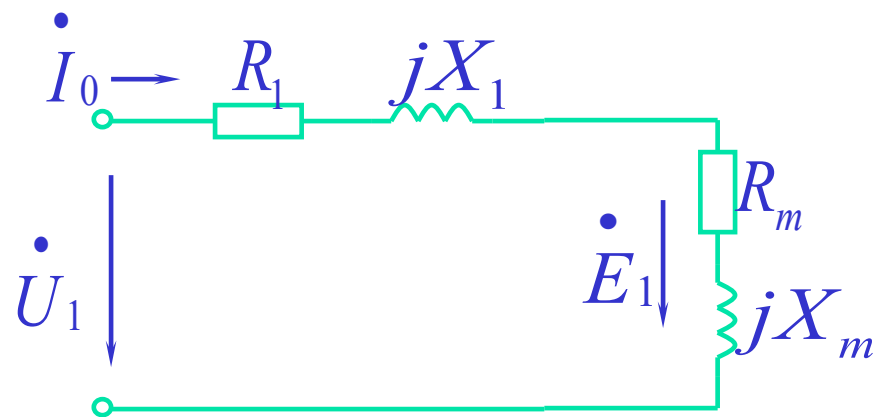
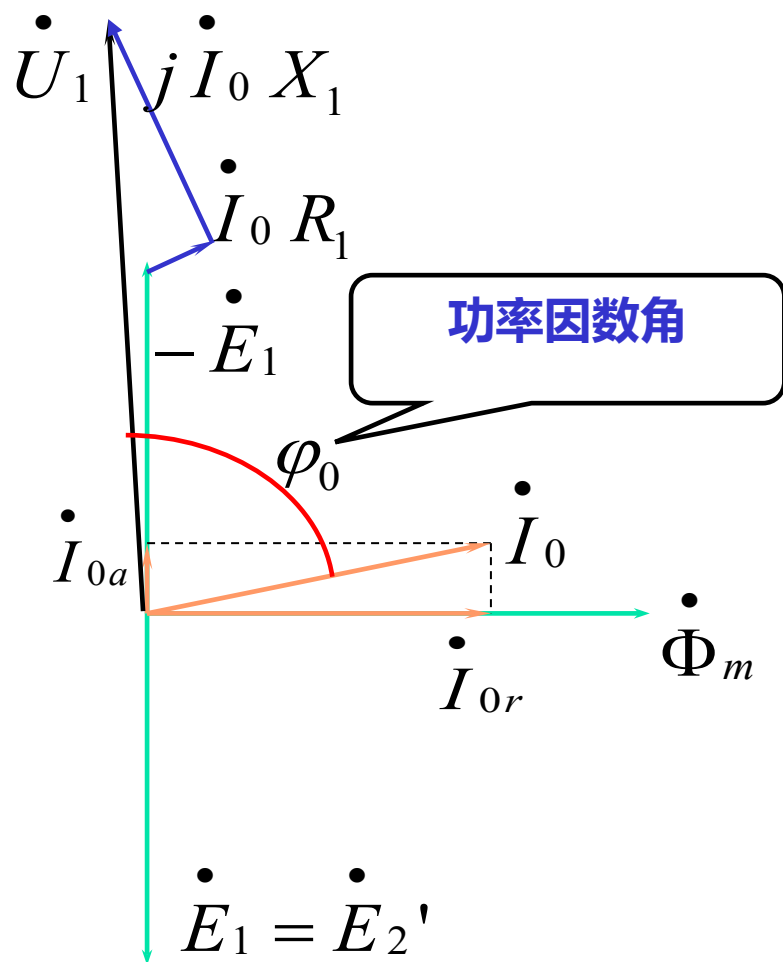
### (4) 电压、电势平衡方程

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 R_1 - \dot{E}_{s1} = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 (R_1 + jX_1) = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2$$

### 3、向量图与等值电路

(与变压器空载运行相似)

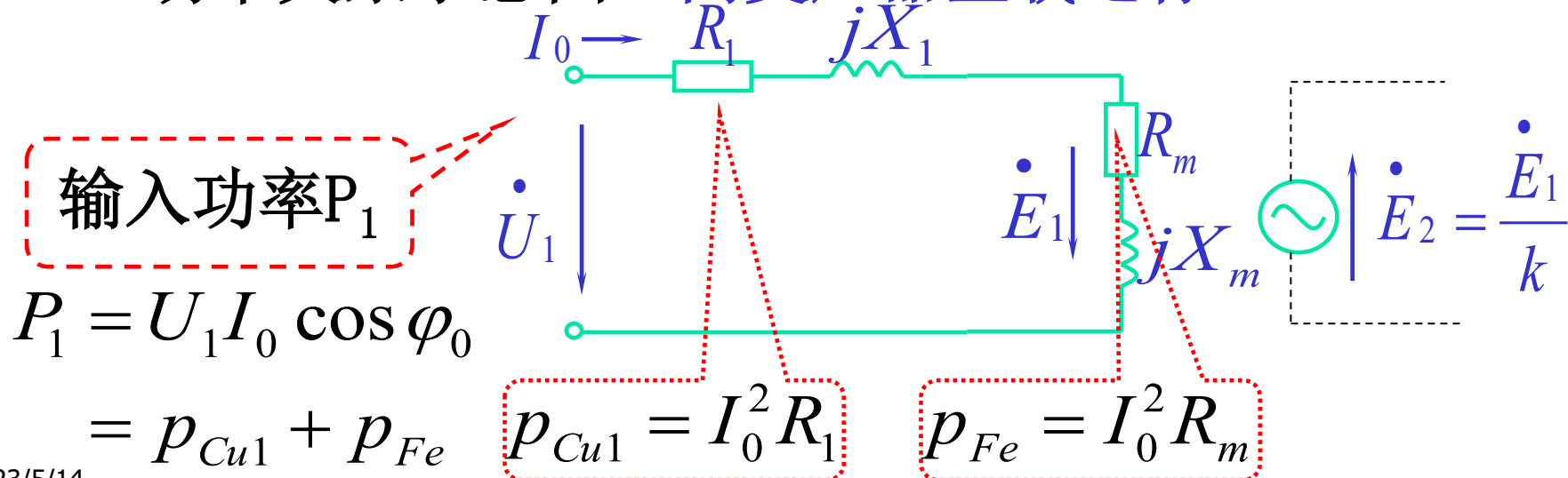


# 一、转子不转、转子绕组开路

## 4、电磁关系示意图（同变压器空载运行）

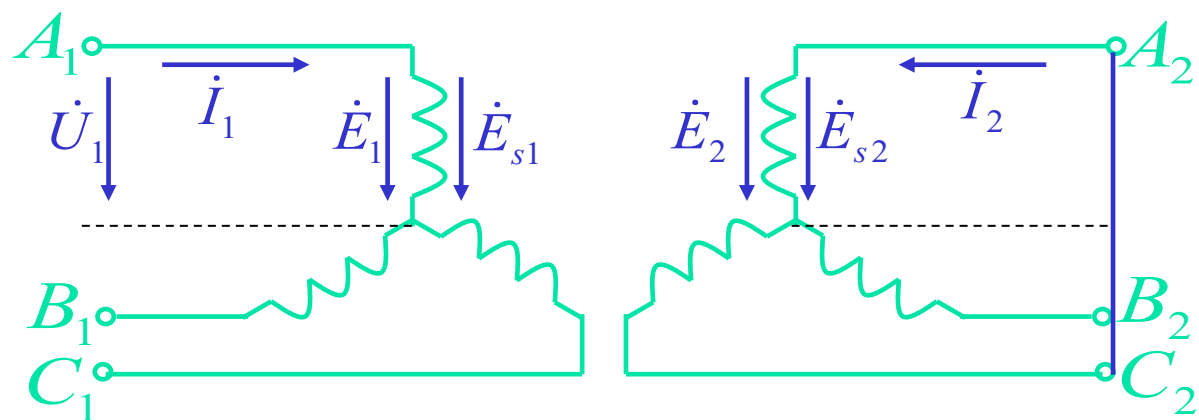
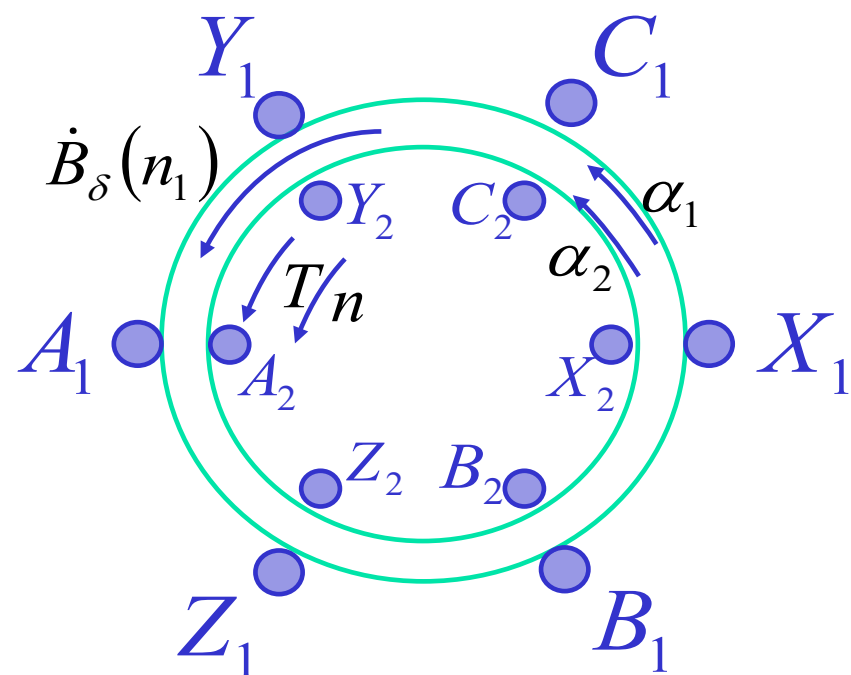
$$\dot{U}_1 \rightarrow \dot{I}_0 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \dot{\Phi}_{s1} \rightarrow \dot{E}_{s1} = -j\dot{I}_0 X_1 \\ \dot{\Phi}_1 \rightarrow \begin{cases} \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \end{cases} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0(R_1 + jX_1) \\ \dot{U}_2 = \dot{E}_2 \end{cases}$$

## 5、功率关系示意图（同变压器空载运行）



## 二、转子堵转、转子绕组短路

### 1、惯例



## 2、磁势、磁通

### (1)定子磁势

a、幅值： 
$$F_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{N_1 k_{dp_1}}{p} \cdot I_1$$

b、转向：电流相序决定， $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 时，逆时针

c、转速： 
$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} (r/min), \quad \omega = 2\pi f_1 (rad/s)$$

### (2)转子磁势

a、幅值： 
$$F_2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{N_2 k_{dp_2}}{p} \cdot I_2$$

b、转向：电流相序决定， $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ 时，逆时针

c、转速： 
$$n_2 = \frac{60 f_2}{p} = \frac{60 f_1}{p} (r/min) = n_1$$

## 2、磁势、磁通

### (3)合成磁势

$$\left. \begin{array}{l} \text{定子磁势} \dot{F}_1 \\ \text{转子磁势} \dot{F}_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2$$

### (4)主磁通

$$\dot{F}_0 \rightarrow \dot{\Phi}_1 \rightarrow \dot{E}_1 \text{和} \dot{E}_2$$

### (5)漏磁通

$$\left. \begin{array}{l} \dot{I}_1 \rightarrow \dot{\Phi}_{s1} \text{表现为} jX_1 \\ \dot{I}_2 \rightarrow \dot{\Phi}_{s2} \text{表现为} jX_2 \end{array} \right\} \text{均不饱和}$$

### 3、定、转子回路方程

$$\text{定子: } \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(R_1 + jX_1)$$

$$\begin{aligned}\text{转子: } \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2(R_2 + jX_2) \\ &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2 \\ &= 0\end{aligned}$$

$$\text{转子相电流: } \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{R_2 + jX_2} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} e^{-j\varphi_2}$$

$$\varphi_2 = \arctan \frac{X_2}{R_2}$$

#### 例题7-2



## 4、转子绕组的折合（类似变压器）

### (1) 原则与思路

通常异步电机转子的相数 $m_2$ 与定子的相数 $m_1$ 并不相同。

原则：保持折算前后**转子**绕组的**磁势不变**。

思路：用假想的转子 $m_1$ 、 $N_1$ 、 $k_{dp1}$ 代替实际的 $m_2$ 、 $N_2$ 、 $k_{dp2}$

### (2) 结论：

$$k_i = \frac{I_2}{I_2'} = \frac{m_1 N_1 k_{dp1}}{m_2 N_2 k_{dp2}} \text{ —— 电流变比}$$

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 k_{dp1}}{N_2 k_{dp2}} \text{ —— 电压变比}$$

### (3) 折合前后 功率关系不变

$$\dot{I}_2' = \dot{I}_2 / k_i \quad \dot{E}_2' = k_e \dot{E}_2 = \dot{E}_1$$

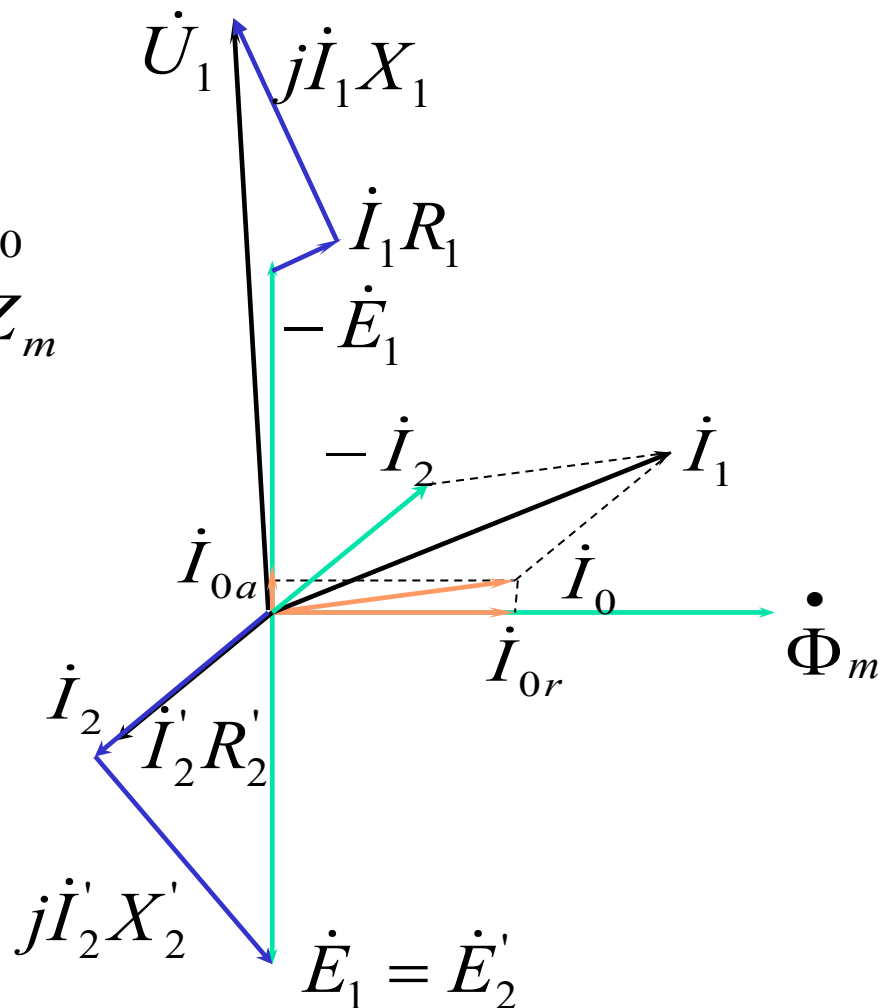
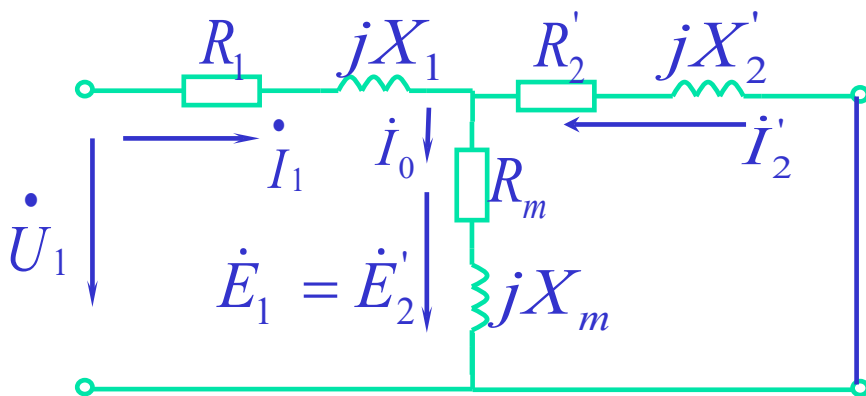
$$Z_2' = \frac{\dot{E}_2'}{\dot{I}_2'} = \frac{k_e \dot{E}_2}{\dot{I}_2 / k_i} = k_e k_i Z_2$$

$$\varphi_2' = \varphi_2$$

# 5、基本方程、等值电路、向量图

(类似变压器副边短路)

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 & \dot{I}_1 + \dot{I}_2' &= \dot{I}_0 \\ \dot{U}_2' &= \dot{E}_2' - \dot{I}_2' Z_2' & \dot{I}_0 &= -\dot{E}_1 / Z_m \\ \dot{E}_1 &= \dot{E}_2'\end{aligned}$$



### 三、转子正常运行时的电磁关系

$$\text{转差率: } s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

1、转子电势  $\dot{E}_{2s} = \dot{I}_{2s} (R_2 + jX_{2s})$

转速 $n$ 时的  
相电动势

转速 $n$ 时的  
相电流

转速 $n$ 时的  
相漏电抗

$\dot{B}_s$ 与 $n$ 的相对速度为 $n_2$ ，此时转子绕组电势频率 $f_2$

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{p(n_1 - n)}{60} = \frac{pn_1}{60} \cdot \frac{n_1 - n}{n_1} = sf_1$$

$$\dot{E}_{2s} = 4.44 f_2 N_2 k_{dp_2} \dot{\Phi}_1 = 4.44 sf_1 N_2 k_{dp_2} \dot{\Phi}_1 = s \dot{E}_2$$

$$X_{2s} = sX_2$$

## 2、定、转子磁势

(1) 定子磁势  $\dot{F}_1$  (由  $\dot{I}_1$  产生) 不再讨论

(2) 转子磁势  $\dot{F}_2$  (由  $\dot{I}_{2s}$  产生)

a、幅值: 
$$F_2 = \frac{m_2}{2} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{N_2 k_{dp_2}}{p} \cdot I_{2s}$$

b、转向: 电流相序决定,  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  时, 逆时针

c、转速:  $n_2 = \frac{60f_2}{p} (r/min)$  —— 相对于转子外表面

$n_2 = n_1$  —— 相对于定子内表面

(3) 合成磁势

$$\dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2$$

# 3、转子绕组的折合

## (1) 频率折合

目的：转子和定子绕组中的电流频率不同，计算不方便

原则：保持转子磁势相对于定子的位置、大小、转速不变

思路：以频率为  $f_1$  的假想的转子电势、电流、漏抗、电阻

替换频率为  $f_2$  的实际的转子电势、电流、漏抗、电阻

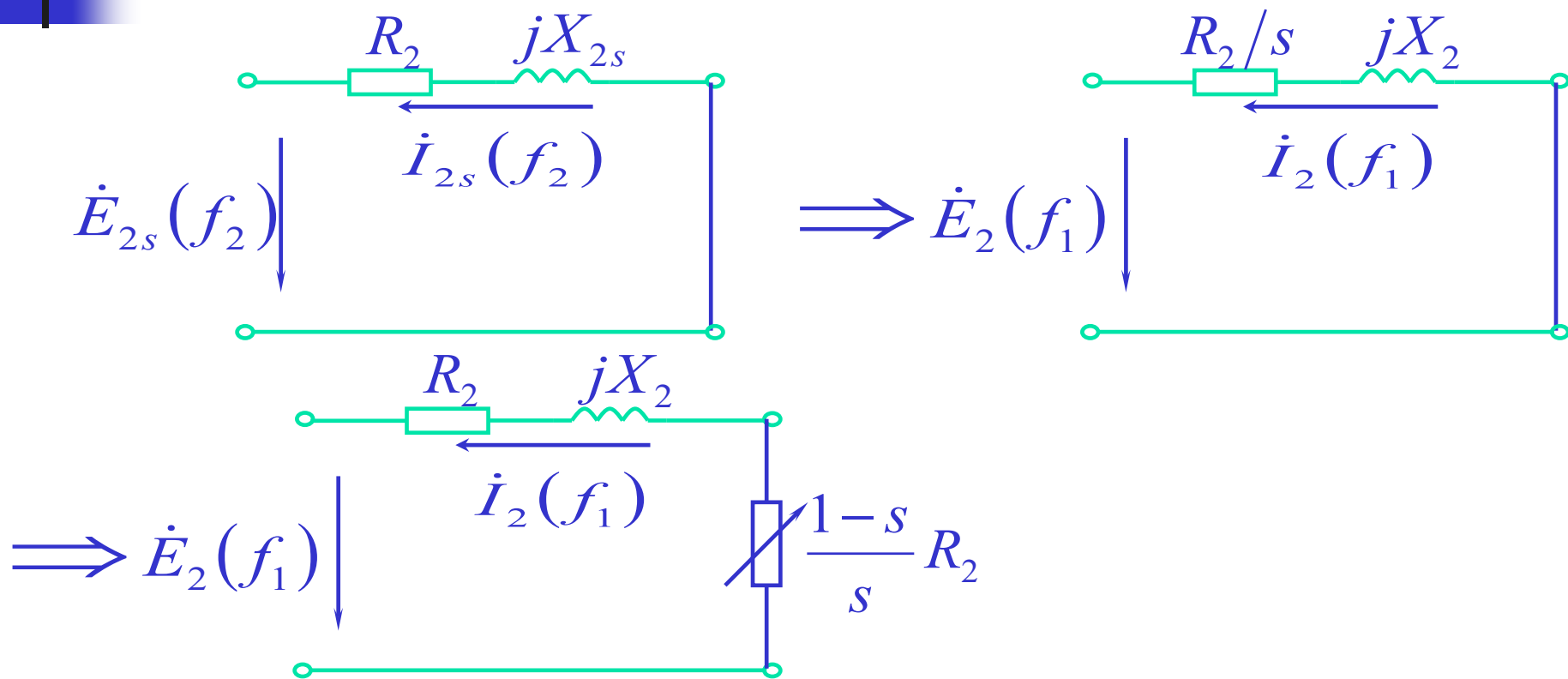
即用静止的等效转子代替旋转的实际转子。

$$\dot{E}_{2s} = \dot{I}_{2s} (R_2 + jX_{2s})$$

$$\dot{I}_{2s} \overset{\text{转子旋转}}{\frac{\dot{E}_{2s}}{R_2 + jX_{2s}}} = \frac{s\dot{E}_2}{R_2 + jsX_2} \overset{\text{转子静止}}{=} \frac{\dot{E}_2}{R_2/s + jX_2} = \dot{I}_2$$

$$\varphi_{2s} = \varphi_2$$

### 3、转子绕组的折合



$\frac{1-s}{s}R_2$  的含义分析

在转子堵转时转子绕组中串入一个电阻  $(1-s)R_2/s$  后，可以等效旋转的转子

电阻上的功率  $I_2^2 \cdot \frac{1-s}{s}R_2$  为有功功率，转子旋转的总机械功率

## (2) 绕组折算

a、电流折算： $\dot{I}_2 \rightarrow \dot{I}_2'$

$$\dot{F}_2' = \dot{F}_2 \Rightarrow \frac{m_1}{2} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{N_1 k_{dp1}}{p} \cdot \dot{I}_2' = \frac{m_2}{2} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{N_2 k_{dp2}}{p} \cdot \dot{I}_2$$

$$\Rightarrow \dot{I}_2' = \dot{I}_2 / k_i \text{ 电流比}$$

b、电势折算： $\dot{E}_2 \rightarrow \dot{E}_2'$

$$m_1 E_2' I_2' = m_2 E_2 I_2 \Rightarrow \dot{E}_2' \rightarrow k_e \dot{E}_2 \text{ 电压比}$$

c、阻抗折算： $Z_2 \rightarrow Z_2'$

$$Z_2' = k_e k_i Z_2$$

$$R_2' = k_e k_i R_2$$

$$X_2' = k_e k_i X_2$$

## (2) 绕组折算

### 4、基本方程和等值电路

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(R_1 + jX_1)$$

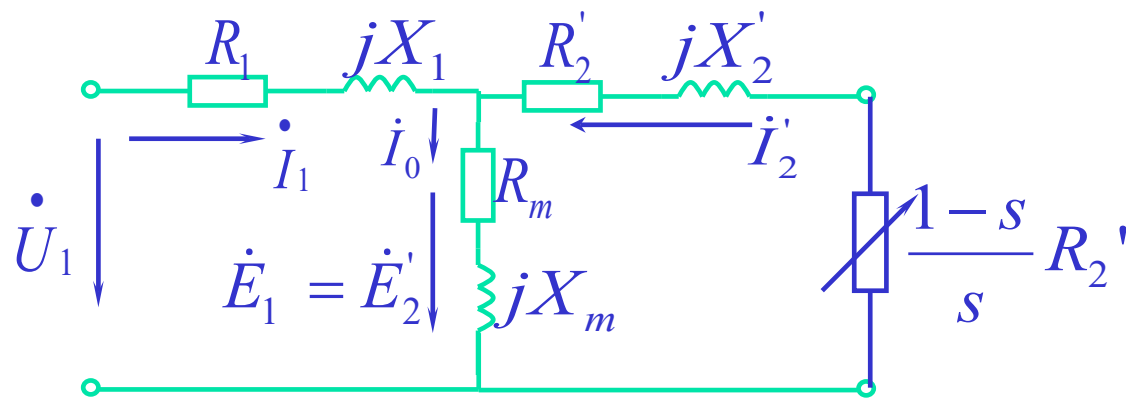
$$-\dot{E}_1 = \dot{I}_0(R_m + jX_m)$$

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2'$$

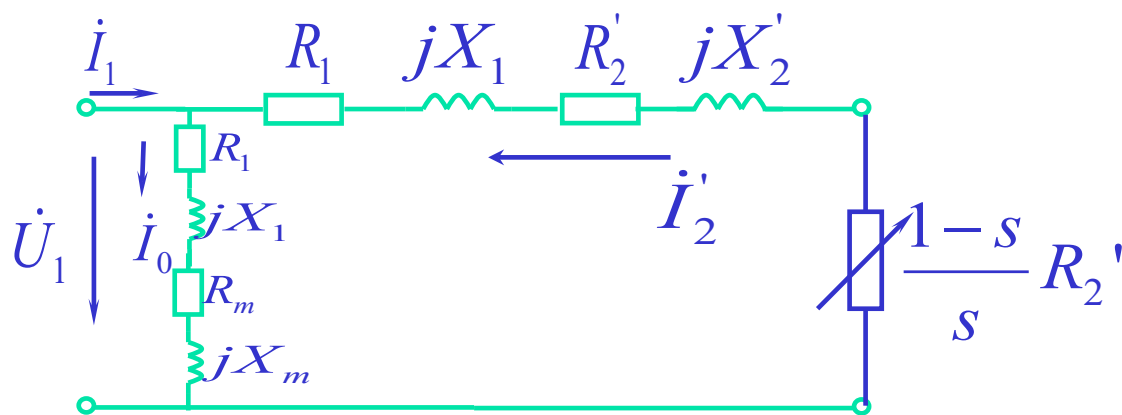
$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2' = \dot{I}_0$$

$$\dot{E}_2' = \dot{I}_2'(R_2'/s + jX_2')$$

$$= \dot{I}_2'Z_2' + \dot{I}_2' \cdot \frac{1-s}{s} R_2'$$



T型等值电路



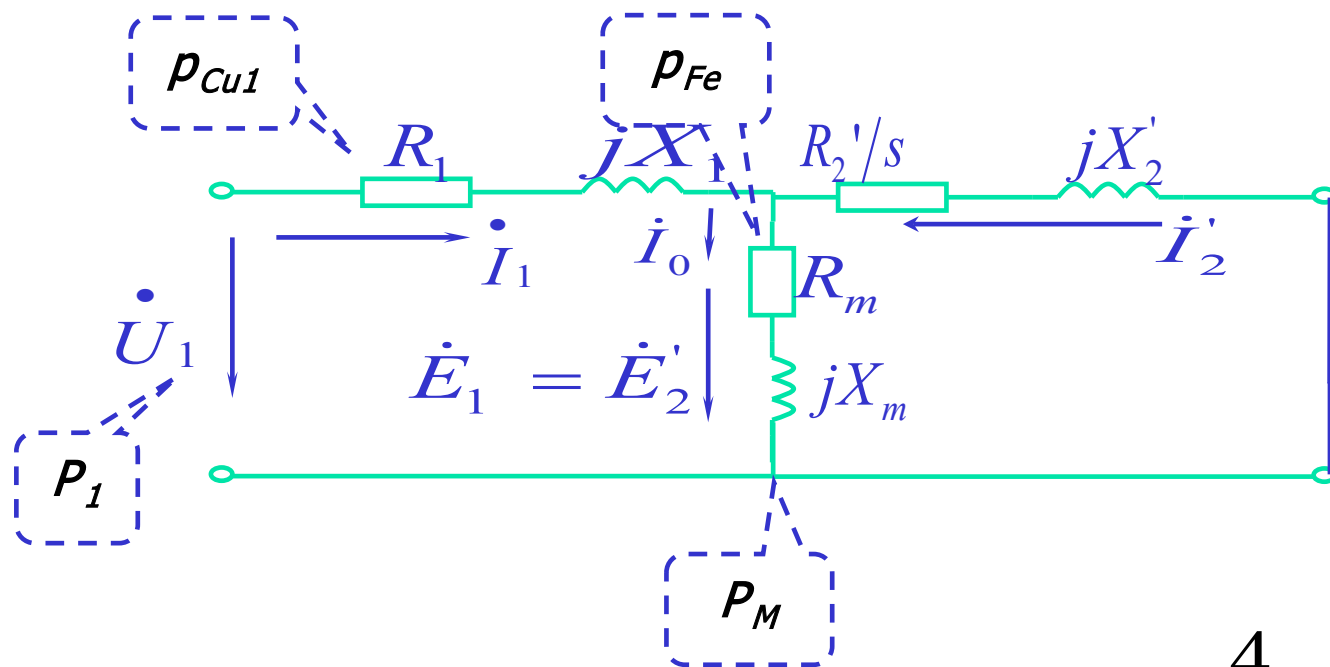
简化等值电路

### 5、向量图（略）



# 第三节三相异步电动机的功率与转矩

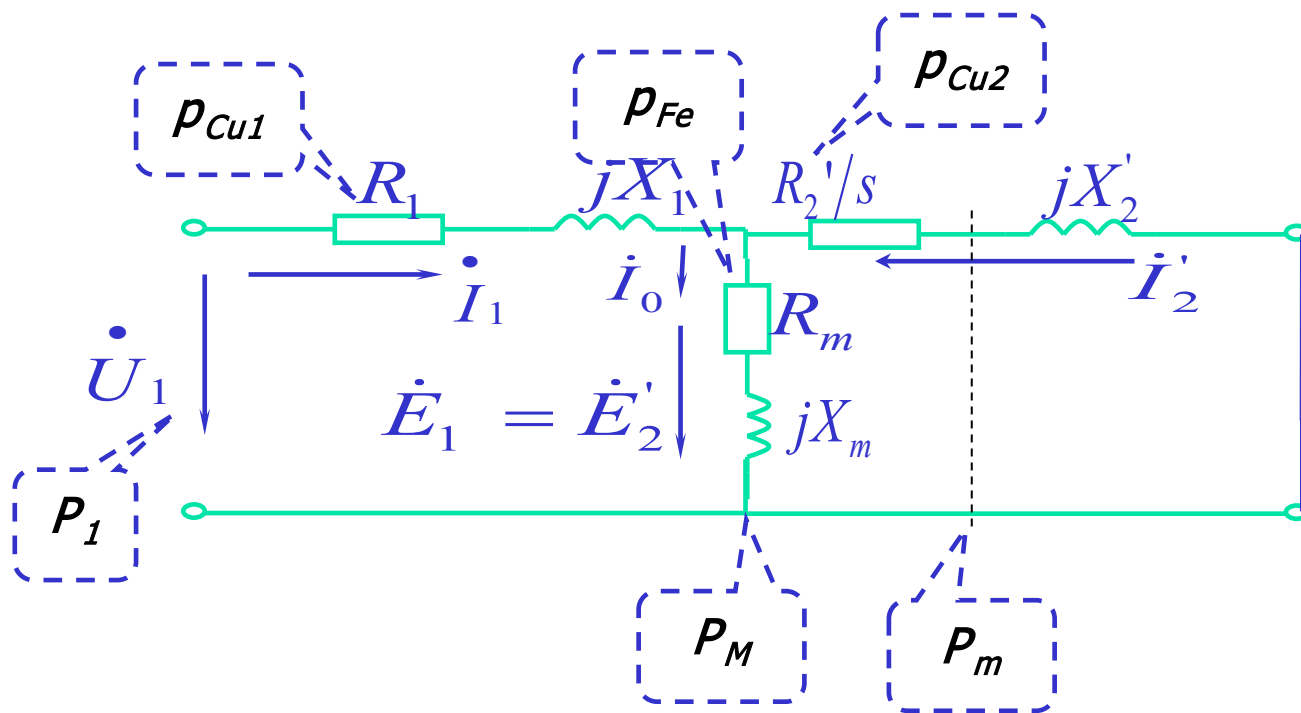
## 一、功率关系



## 4、电磁功率：

- 1、输入功率：  $P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$      $P_M = P_1 - p_{Cu_1} - p_{Fe}$
- 2、定子铜耗：  $p_{Cu_1} = 3I_1^2 R_1$      $= 3I_2'^2 \cdot R_2'/s$
- 3、铁耗功率：  $p_{Fe} = 3I_0^2 R_m$      $= 3E_2' I_2' \cos \varphi_2$

### 第三节三相异步电动机的功率与转矩

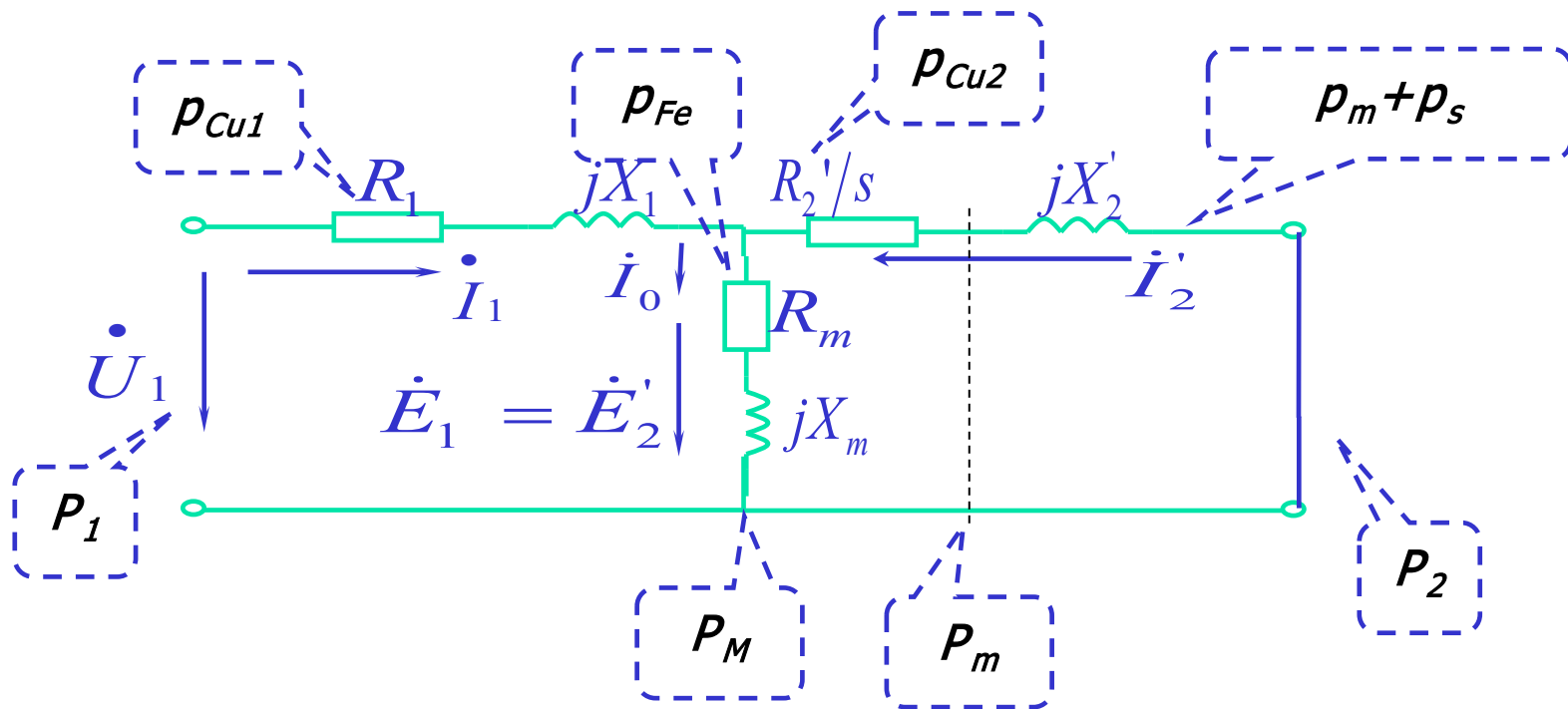


5、转子铜耗：  $p_{Cu_2} = 3I_2'^2 R_2' = sP_M$

6、机械功率：  $P_m = P_M - p_{Cu_2}$

$$= 3I_2'^2 \cdot \frac{1-s}{s} R_2' = (1-s)P_M$$

# 第三节三相异步电动机的功率与转矩

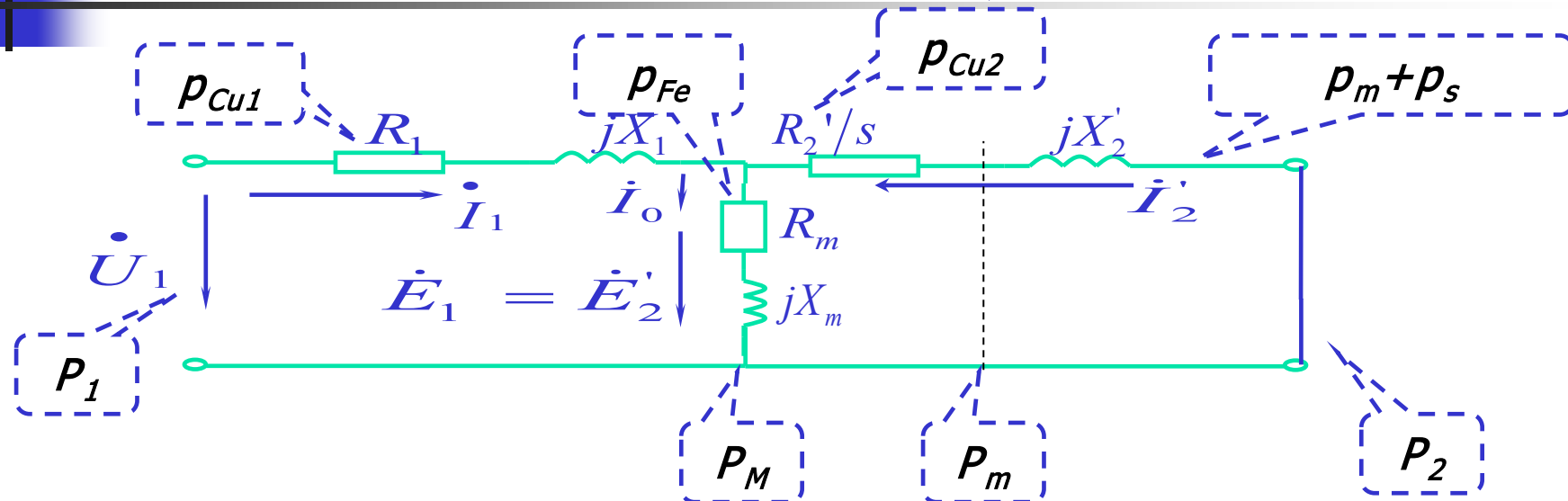


7、机械损耗： $p_m$  磨擦损耗等

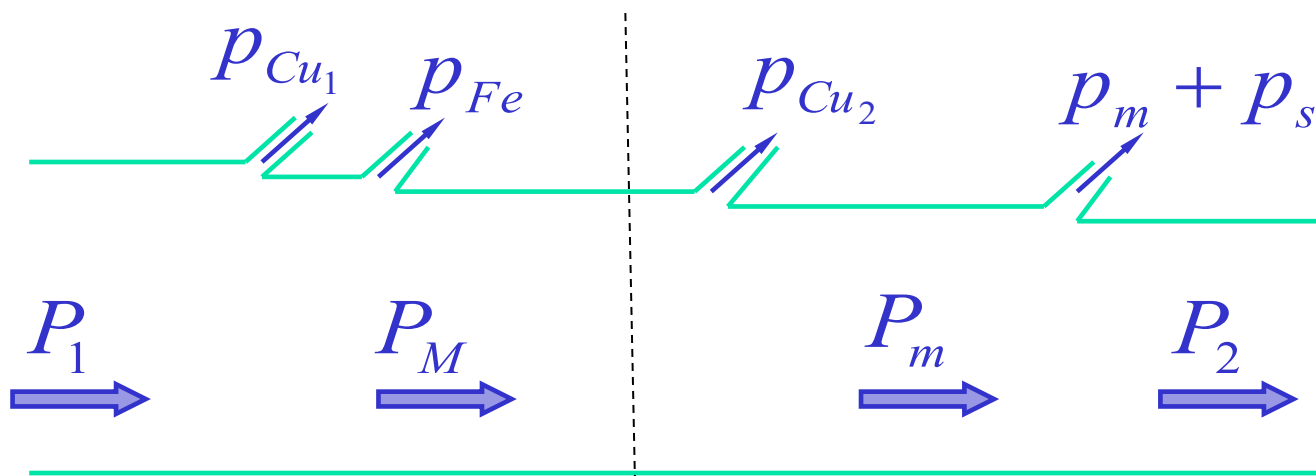
8、附加损耗： $p_s = \begin{cases} 0.5\%P_N & (\text{大型}) \\ (1 \sim 3)\%P_N & (\text{中、小型}) \end{cases}$

9、输出功率： $P_2 = P_M - p_m - p_s$

# 第三节三相异步电动机的功率与转矩



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



# 第三节三相异步电动机的功率与转矩

## 二、转矩关系

1、由：  $P_m = P_2 + (p_m + p_s) \Rightarrow T = T_2 + T_0$

2、  $T = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{P_m}{1-s} \cdot \frac{1-s}{\Omega} = \frac{P_M}{\Omega_1}$  3、  $T_0 = \frac{p_m + p_s}{\Omega} = \frac{p_0}{\Omega}$

$\Omega_1$  同步角速度

## 三、电磁转矩的物理表达式

$$T = \frac{P_M}{\Omega_1} = \frac{3I_2'^2 \cdot R_2' / s}{2\pi n_1 / 60} = \frac{3E_2' I_2' \cos \phi_2}{2\pi n_1 / 60}$$

$$= \frac{3E_2 I_2 \cos \phi_2}{2\pi n_1 / 60}$$

$$= \frac{3 \left( \sqrt{2} \pi f_1 N_2 k_{dp_2} \Phi_1 \right) I_2 \cos \phi_2}{2\pi f_1 / p}$$

$$= C_{Tj} \Phi_1 I_2 \cos \phi_2$$

$$C_{Tj} = \frac{3 p N_2 k_{dp_2}}{\sqrt{2}} \text{ 转矩系数}$$



## 第三节三相异步电动机的功率与转矩

例题 236页7-7

例题 237页7-8



# 第八章 三相异步电动机的电力拖动

- 三相异步电动机的机械特性（机械特性的参数表达式、固有特性、人为特性、实用公式和简化公式）
- 三相异步电动机的起动（直接起动、鼠笼电机的降压起动、绕线电机的重载起动）
- 三相异步电动机的各种运行状态（电动运行、能耗制动、反接制动、回馈制动）
- 三相异步电动机的调速（改变转差率调速、改变同步转速调速）

# 第一节 三相异步电动机的机械特性

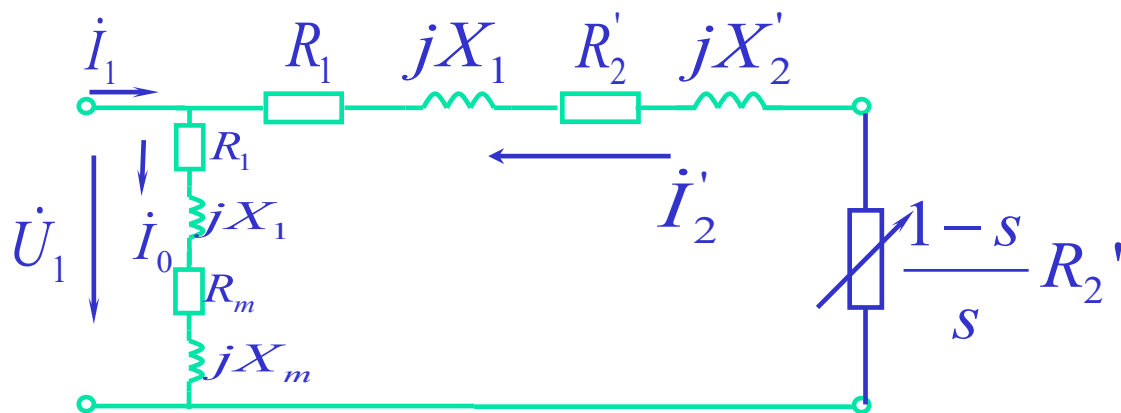
机械特性是指电机的电磁转矩与转速的关系

$$\text{即: } T = f(n)$$

$$\text{或: } T = f(s)$$

## 一、参数表达式

$$T = \frac{P_M}{\Omega_1}$$
$$= \frac{3I_2'^2 R_2' / s}{2\pi f_1 / p}$$



简化等值电路

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2' / s)^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$



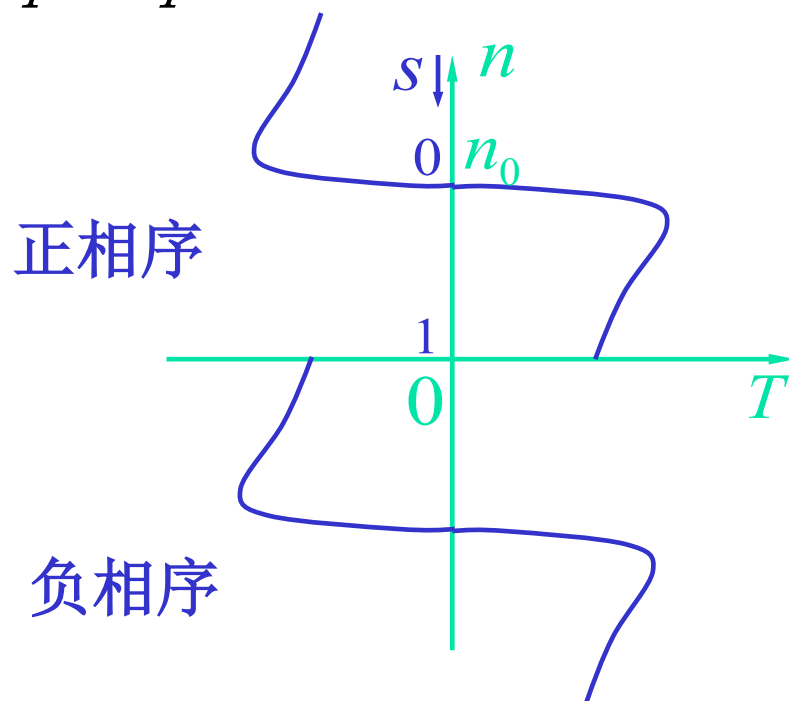
# 第一节 三相异步电动机的机械特性

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

机械特性的参数表达式，也叫一般表达式

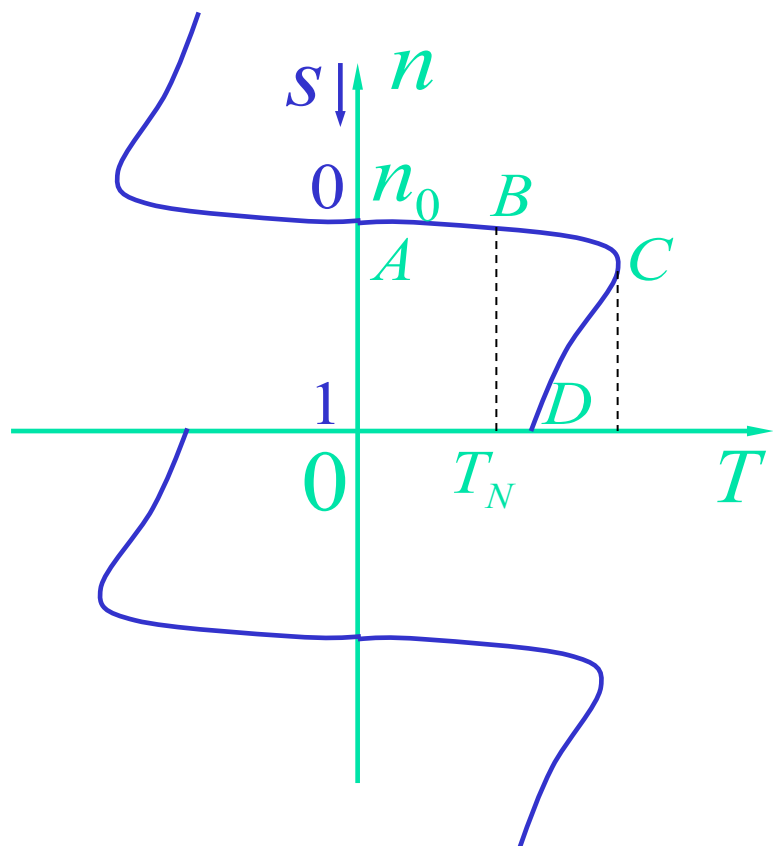
二、固有特性（ $U_1$ 、 $f_1$ 额定，定、转子回路不串元件）

1、曲线



## 二、固有特性

### 2、特点



(1)  $0 \leq s \leq 1$  时,  $n_1 \geq n \geq 0$ , 第一象限  
正向电动状态

(2)  $s < 0$  时,  $n > n_1$ , 第二象限  
发电状态

(3)  $s > 1$  时,  $n < 0$ , 第四象限  
制动状态

(4)  $s > 0$  和  $s < 0$  两部分曲线近似对称

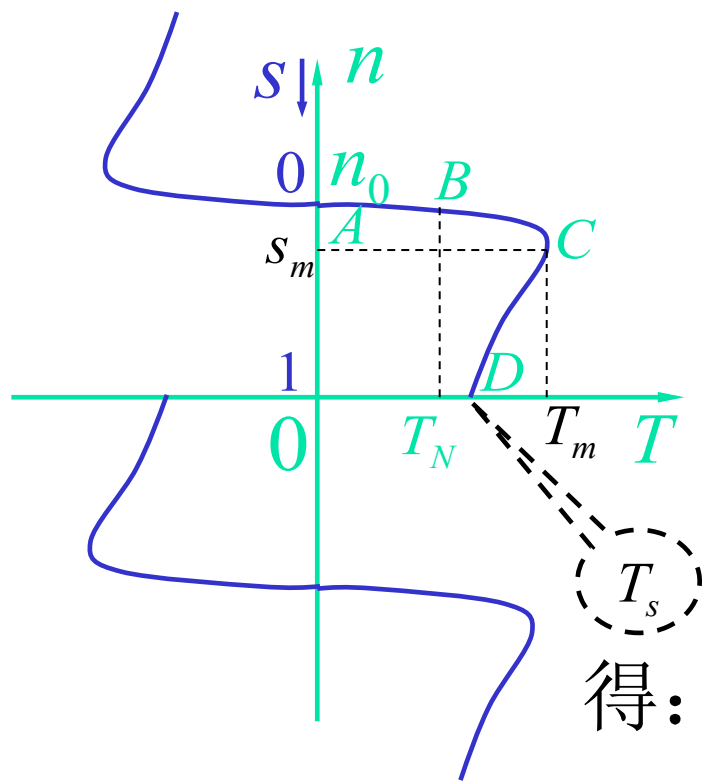
A: 理想空载运行点 (同步转速点)

B: 额定运行点

C: 电磁转矩最大点

D: 起动点

## 二、固有特性



$T_m$  与  $R_2'$  无关

$s_m$  与  $U_1$  无关

### 3、最大电磁转矩与临界转差率

$T_m$  —— 最大电磁转矩

$s_m$  —— 临界转差率

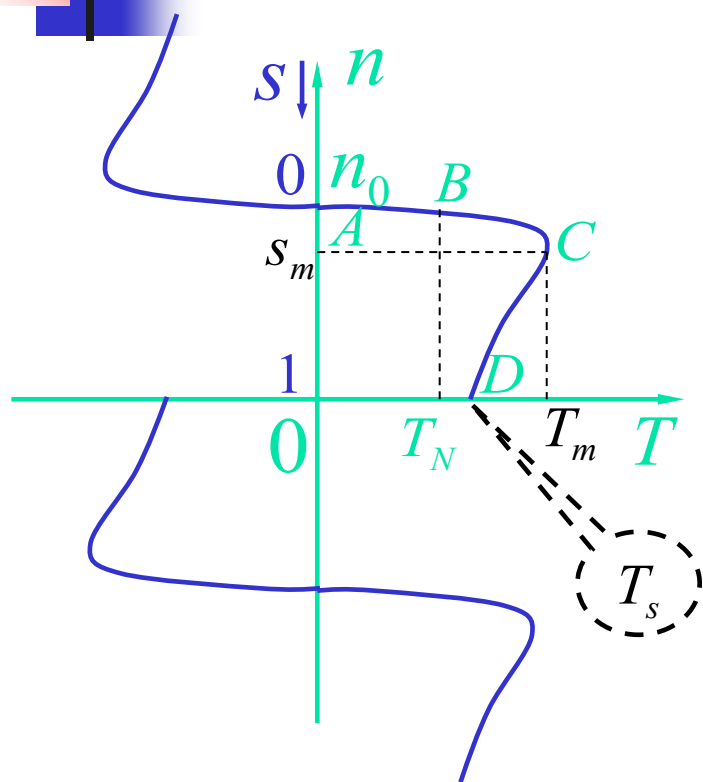
固有机械特性对  $s$  求导，且导数为0

得：

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

$$s_m = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

## 二、固有特性



一般:  $R_1 < 0.05(X_1 + X_2')$

$$T_m \approx \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{3pU_1^2}{2\pi f_1 (X_1 + X_2')}$$

$$s_m \approx \pm \frac{R_2'}{(X_1 + X_2')}$$

### 4、起动转矩

$$T_s = T|_{s=1} = \frac{3pU_1^2 R_2'}{2\pi f_1 [(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2]}$$

### 5、稳定运行的问题

在  $0 < s < s_m$  范围内可稳定运行

在  $0 < s < s_N$  范围内可长期稳定运行

### 6、两个常用参数

$$\lambda = \frac{T_m}{T_N} \text{ —— 过载倍数}$$

一般  $1.6 \sim 2.5$

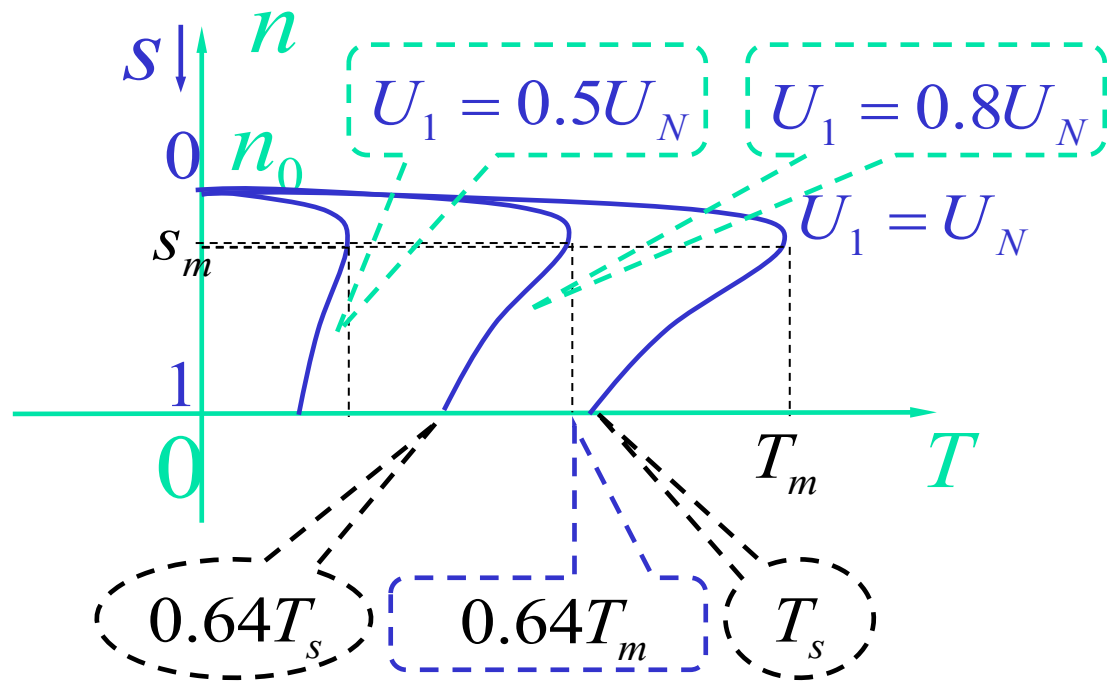
$$K_T = \frac{T_s}{T_N} \text{ —— 堵转转矩倍数}$$

一般  $0.8 \sim 1.2$

### 三、人为特性

(改变  $U_1$ , 或定、转子回路串元件)

#### 1、降压特性 (降低定子端电压)



特点:

- (1) 同步转速不变;
- (2) 临界转差率不变;
- (3) 最大电磁转矩、起动转矩与定子电压的平方成正比。

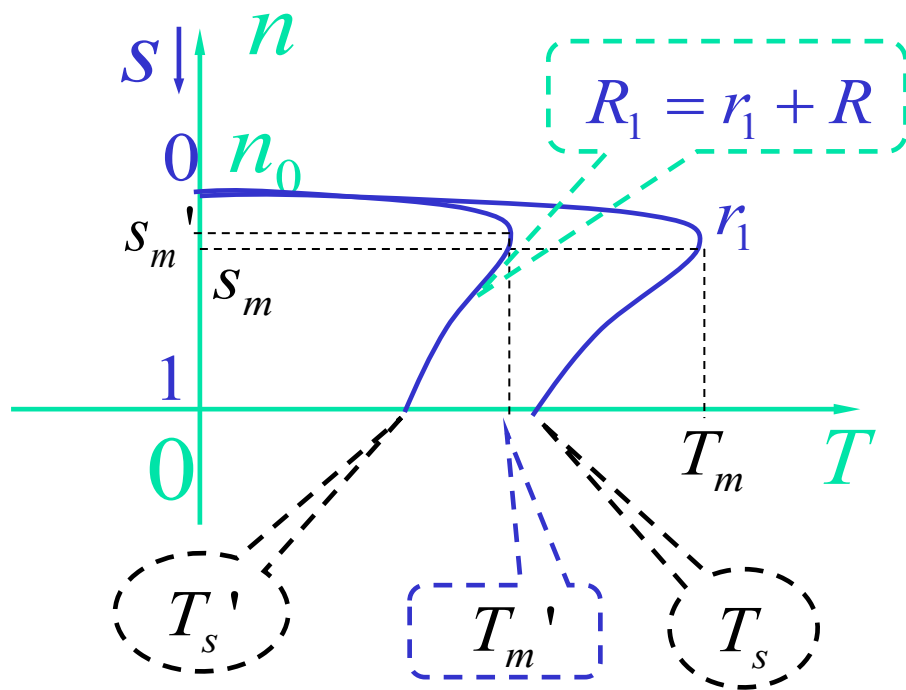
带恒转矩负载时: 由  $T = C_{Tj} \Phi_1 I_2 \cos \varphi_2$

$U_1 \downarrow \Rightarrow \Phi_1 \downarrow, I_2 \uparrow$

即铁耗减小, 铜耗增大

## 三、人为特性

### 2、定子串三相对称电阻特性 $r_1 \rightarrow R_1 = r_1 + R$



特点:

- (1)  $n_1$  不变;
- (2)  $T_m$ 、 $T_s$ 、 $s_m$  减小;
- (3)  $R$  消耗有功功率。

### 3、定子串三相对称电抗特性 $x_1 \rightarrow X_1 = x_1 + X$

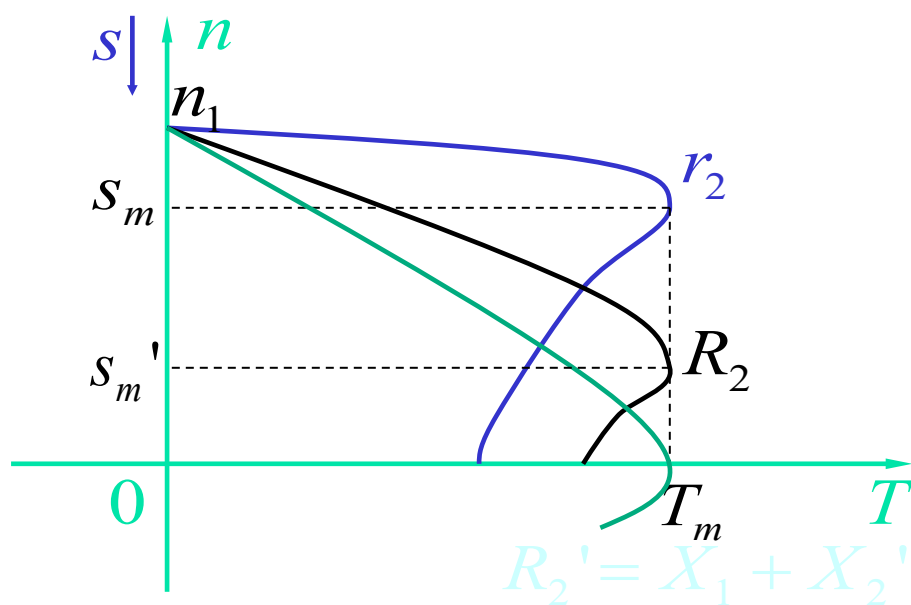
与定子串三相对称电阻特性类似  $X$  不消耗有功功率

### 三、人为特性

#### 4、转子串三相对称电阻特性

$$r_2 \rightarrow R_2 = r_2 + R$$

$$R_2' = k_e k_i R_2$$



特点:

- (1)  $n_1$  不变;
- (2)  $T_m$  不变;
- (3)  $T_s$ 、 $s_m$  均增大;
- (4)  $s_m = \frac{R_2' + R_s'}{X_1 + X_2'} = 1$  时,  $T_s = T_m$

## 四、机械特性实用公式（必考）

1、结论：实用公式  $\frac{T}{T_m} = \frac{2}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$  3、简化公式  $s \leq s_N$  时

2、应用：（要先知道  $T_m$ 、 $s_m$  后才能使用）

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

已知：  $P_N$ 、 $U_N$ 、 $I_N$ 、 $n_N$  和  $\lambda$

过载倍数

(1)  $T_m$  的估算：  $T_N \approx T_{2N} = \frac{P_N}{\Omega_N}$ ,  $T_m = \lambda T_N$

(2)  $s_m$  的估算：

a、已知  $s_N$ 、 $T_N$

$$\frac{T_N}{T_m} = \frac{2}{\frac{s_N}{s_m} + \frac{s_m}{s_N}} = \frac{1}{\lambda}$$

$$s_m = s_N \left( \lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right)$$
$$s_m = s_N \left( \lambda - \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) \text{舍去}$$

b、已知  $s_A$ 、 $T_A$

$$\frac{T_A}{T_m} = \frac{2}{\frac{s_A}{s_m} + \frac{s_m}{s_A}} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{T_A}{T_N}$$

$$s_m = s_A \left[ \lambda \cdot \frac{T_N}{T_A} + \sqrt{\left( \lambda \frac{T_N}{T_A} \right)^2 - 1} \right]$$



**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  $220/380\text{V}$ ,额定转速  $n_N=725\text{r/min}$ ,过载倍数(能力) $\lambda=2.4$ 。求其转矩的实用公式(转子不串电阻)。

**解** 额定转矩

$$\begin{aligned}T_N &= 9550 \times \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{70}{725} \\&= 922\text{N} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

最大转矩

$$\begin{aligned}T_m &= \lambda T_N = 2.4 \times 922 \\&= 2212.9\text{N} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

额定转差率(根据额定转速  $n_N=725\text{r/min}$ ,可判断出同步转速  $n_1=750\text{r/min}$ )

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

临界转差率

$$s_m = s_N(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0.033(2.4 + \sqrt{2.4^2 - 1}) = 0.15$$

转子不串电阻时的转矩实用公式为

$$T = \frac{2T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 2212.9}{\frac{s}{0.15} + \frac{0.15}{s}} = \frac{4425.8}{\frac{s}{0.15} + \frac{0.15}{s}}$$

**例题 7-11** 一台三相绕线式异步电动机, 已知额定功率  $P_N = 150\text{kW}$ , 额定电压  $U_N = 380\text{V}$ , 额定频率  $f_1 = 50\text{Hz}$ , 额定转速  $n_N = 1460\text{r/min}$ , 过载倍数  $\lambda = 2.3$ 。求电动机的转差率  $s = 0.02$  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**

根据额定转速  $n_N$  的大小可以判断出气隙旋转磁密  $\dot{B}_s$  的转速  $n_1 = 1500\text{r/min}$ 。则额定转差率

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

临界转差率

$$s_m = s_N(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0.027(2.3 + \sqrt{2.3^2 - 1}) = 0.118$$

额定转矩

$$\begin{aligned} T_N &= 9550 \times \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{150}{1460} \\ &= 981.2\text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

当  $s = 0.02$  时的电磁转矩

$$\begin{aligned} T &= \frac{2T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 2.3 \times 981.2}{\frac{0.02}{0.118} + \frac{0.118}{0.02}} \\ &= 743.5\text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$



当  $s=0.02$  时的电磁转矩

$$T = \frac{2T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 2.3 \times 981.2}{\frac{0.02}{0.118} + \frac{0.118}{0.02}} \\ = 743.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

电磁转矩为  $860 \text{ N} \cdot \text{m}$  时转差率为  $s'$ , 则

$$T = \frac{2\lambda T_N}{\frac{s'}{s_m} + \frac{s_m}{s'}} \\ 860 = \frac{2 \times 2.3 \times 981.2}{\frac{s'}{0.118} + \frac{0.118}{s'}}$$

求出  $s'=0.0234$  (另一解为  $0.596$ , 不合理, 舍去)

电动机转速

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



# 作业

---

253页 7. 3,

254页7. 9,

255页7. 11