

# 电机技术与电子技术

## 第7章 交流电动机



# 第7章 交流电动机

- 7.1 三相异步电动机的构造
- 7.2 三相异步电动机的转动原理
- 7.3 三相异步电动机的电路分析
- 7.4 三相异步电动机转矩与机械特性
- 7.5 三相异步电动机的起动
- 7.6 三相异步电动机的调速
- 7.7 三相异步电动机的制动
- 7.8 三相异步电动机的铭牌数据
- 7.9 三相异步电动机的选择

# 第7章 交流电动机

## 本章要求：

1. 了解三相交流异步电动机的基本构造和转动原理；
2. 理解三相交流异步电动机的机械特性，掌握起动和反转的基本方法，了解调速和制动的方法；
3. 理解三相交流异步电动机铭牌数据的意义。

## 电动机的分类：



## 鼠笼式异步交流电动机授课内容：

基本结构、工作原理、机械特性、控制方法

# 第7章 交流电动机

- 7.1 三相异步电动机的构造
- 7.2 三相异步电动机的转动原理
- 7.3 三相异步电动机的电路分析
- 7.4 三相异步电动机转矩与机械特性
- 7.5 三相异步电动机的起动
- 7.6 三相异步电动机的调速
- 7.7 三相异步电动机的制动
- 7.8 三相异步电动机的铭牌数据
- 7.9 三相异步电动机的选择



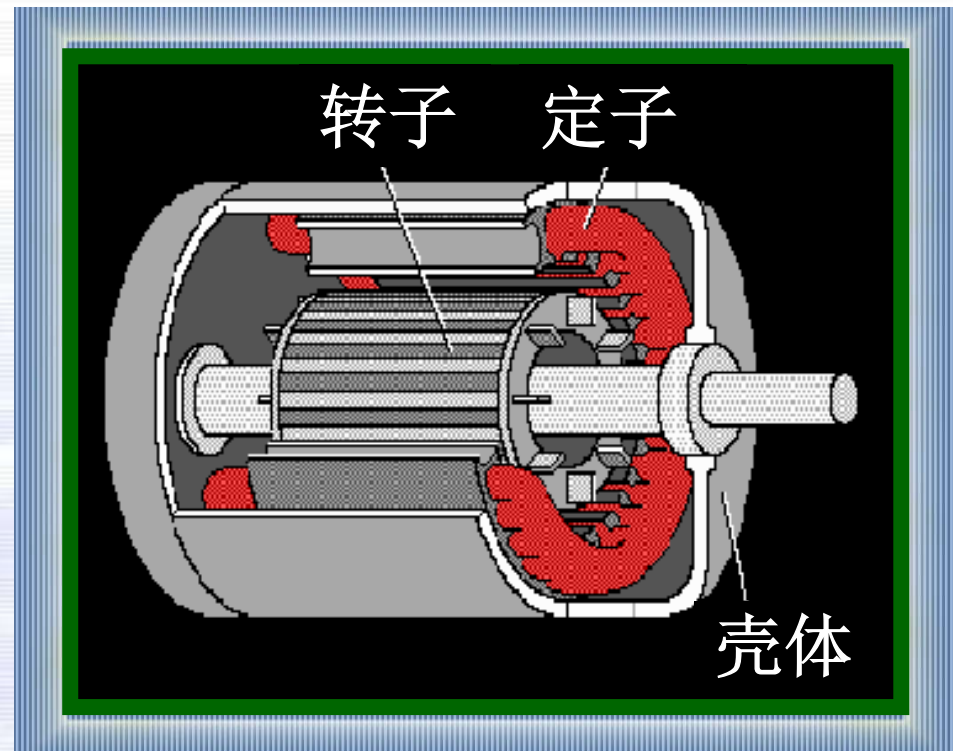
## 7.1 三相异步电动机的构造

### 1. 定子

铁心：由内周有槽的硅钢片叠成。

三相绕组  $\begin{cases} U_1 \text{---} U_2 \\ V_1 \text{---} V_2 \\ W_1 \text{---} W_2 \end{cases}$

机座：铸钢或铸铁



## 2. 转子 { 鼠笼式 绕线式

铁心：由外周有槽的硅钢片叠成。

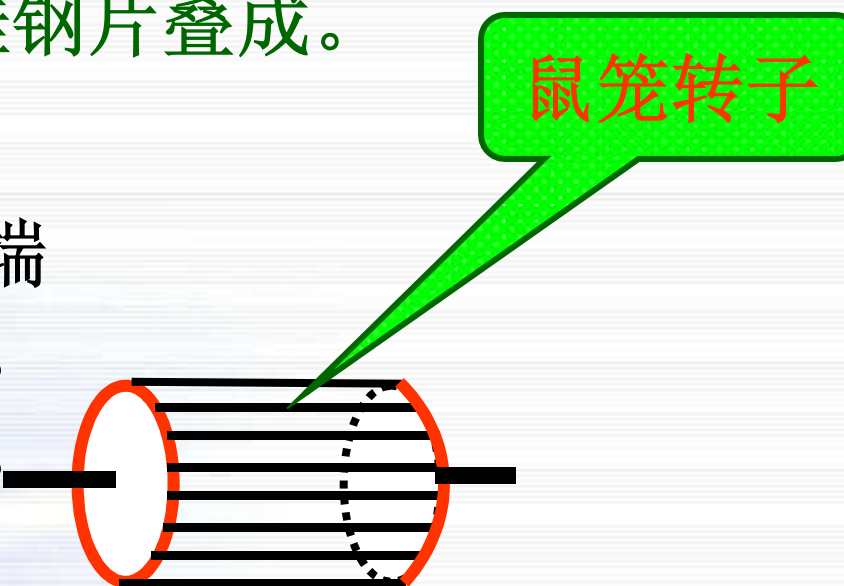
### 1) 鼠笼式转子

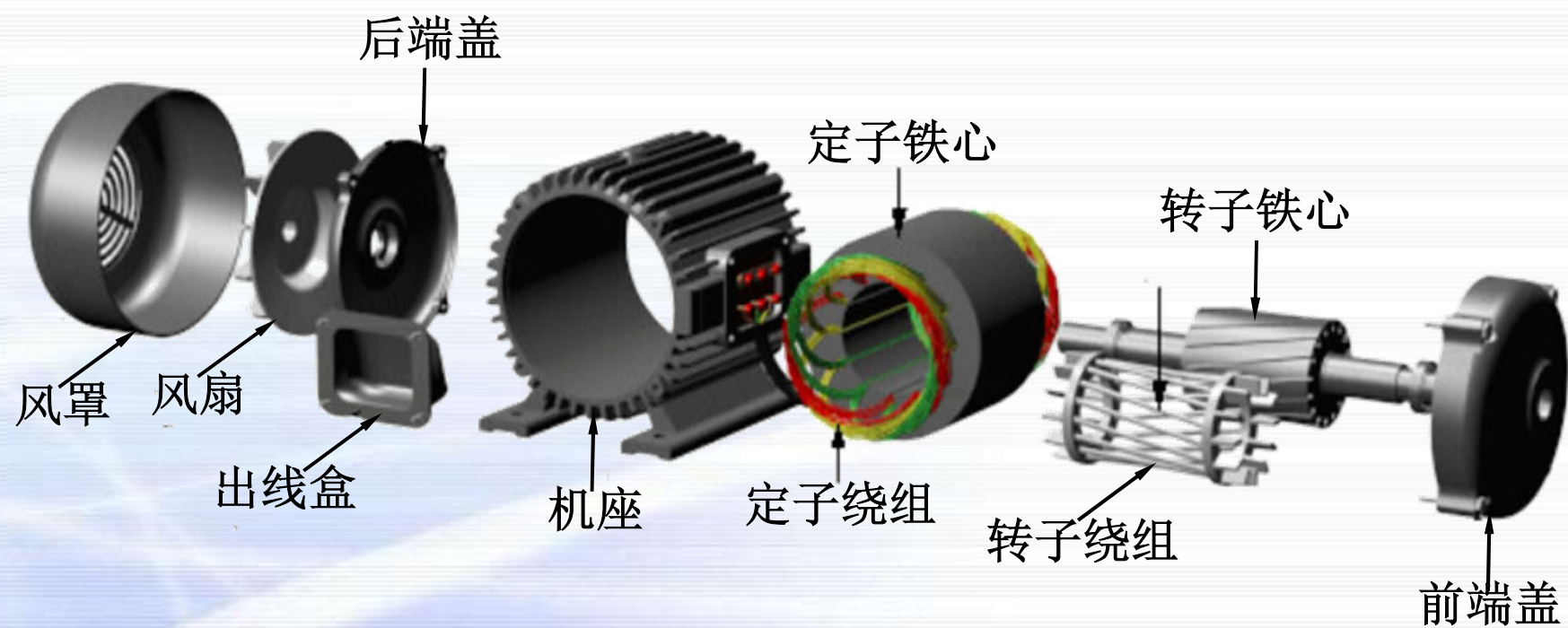
铁芯槽内放铜条，端部用短路环形成一体。  
或铸铝形成转子绕组。

### 2) 绕线式转子

同定子绕组一样，也分为三相，并且接成星形。

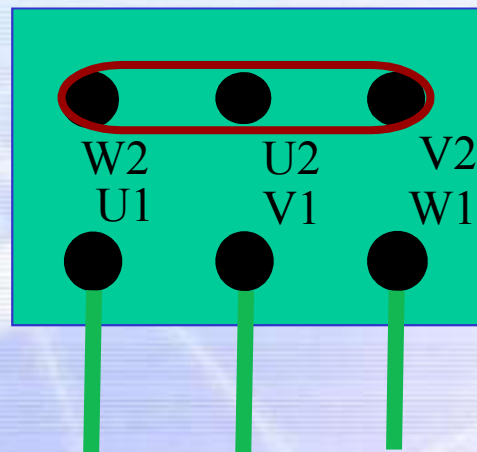
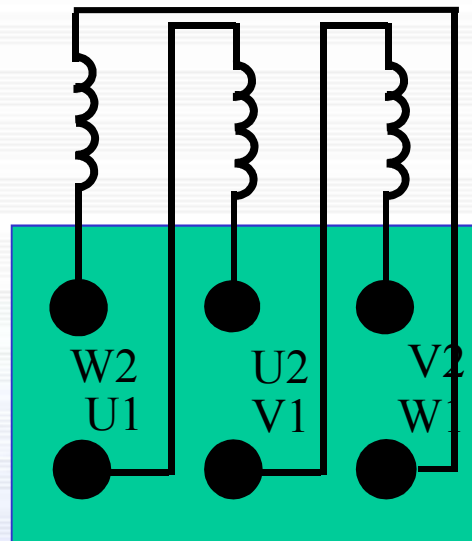
转子：在旋转磁场作用下，产生感应电动势或电流。



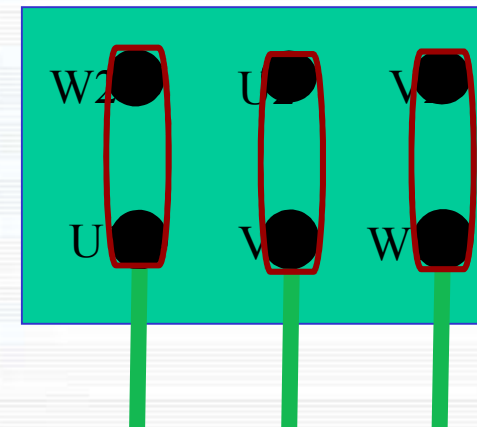




## ● 接线柱的连接



定子绕组星形联结



定子绕组三角形联结

# 第7章 交流电动机

7.1 三相异步电动机的构造

7.2 三相异步电动机的转动原理

7.3 三相异步电动机的电路分析

7.4 三相异步电动机转矩与机械特性

7.5 三相异步电动机的起动

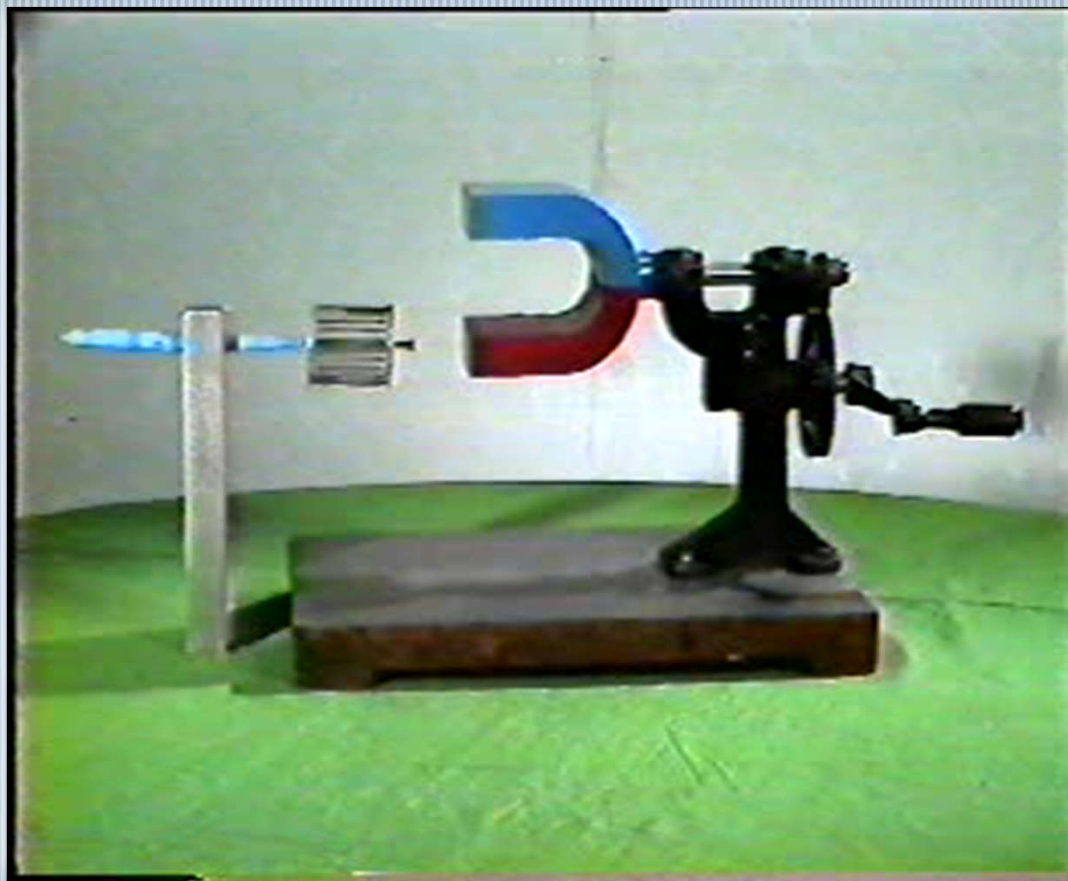
7.6 三相异步电动机的调速

7.7 三相异步电动机的制动

7.8 三相异步电动机的铭牌数据

7.9 三相异步电动机的选择

## 7.2 三相异步电动机的转动原理

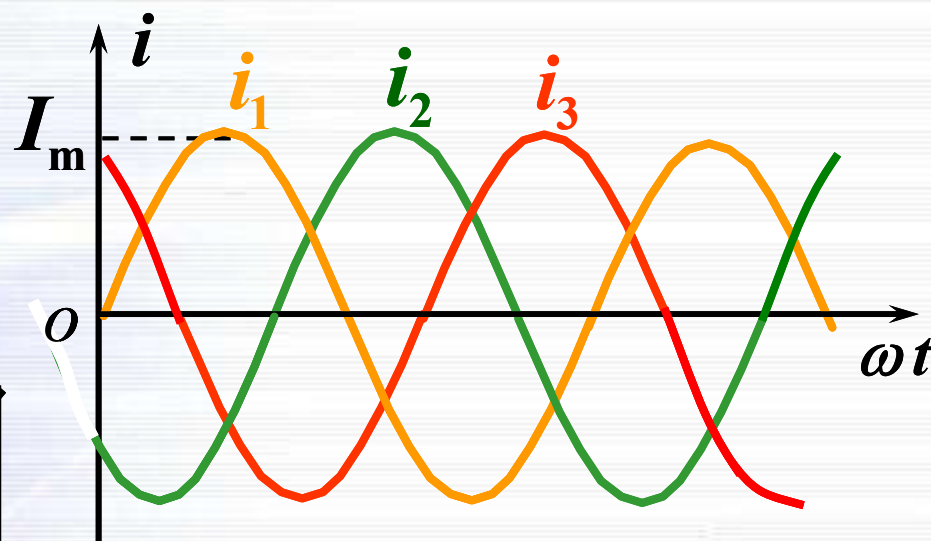
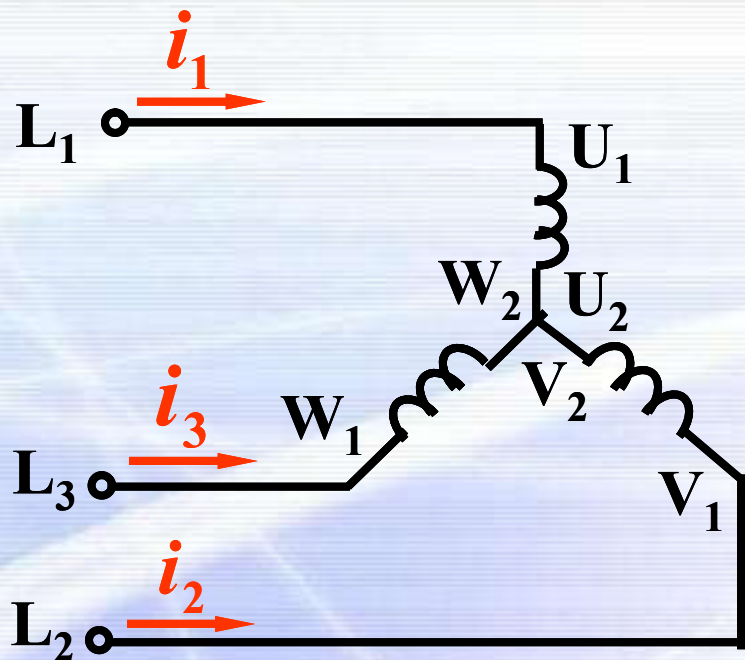


## 7.2.1 旋转磁场

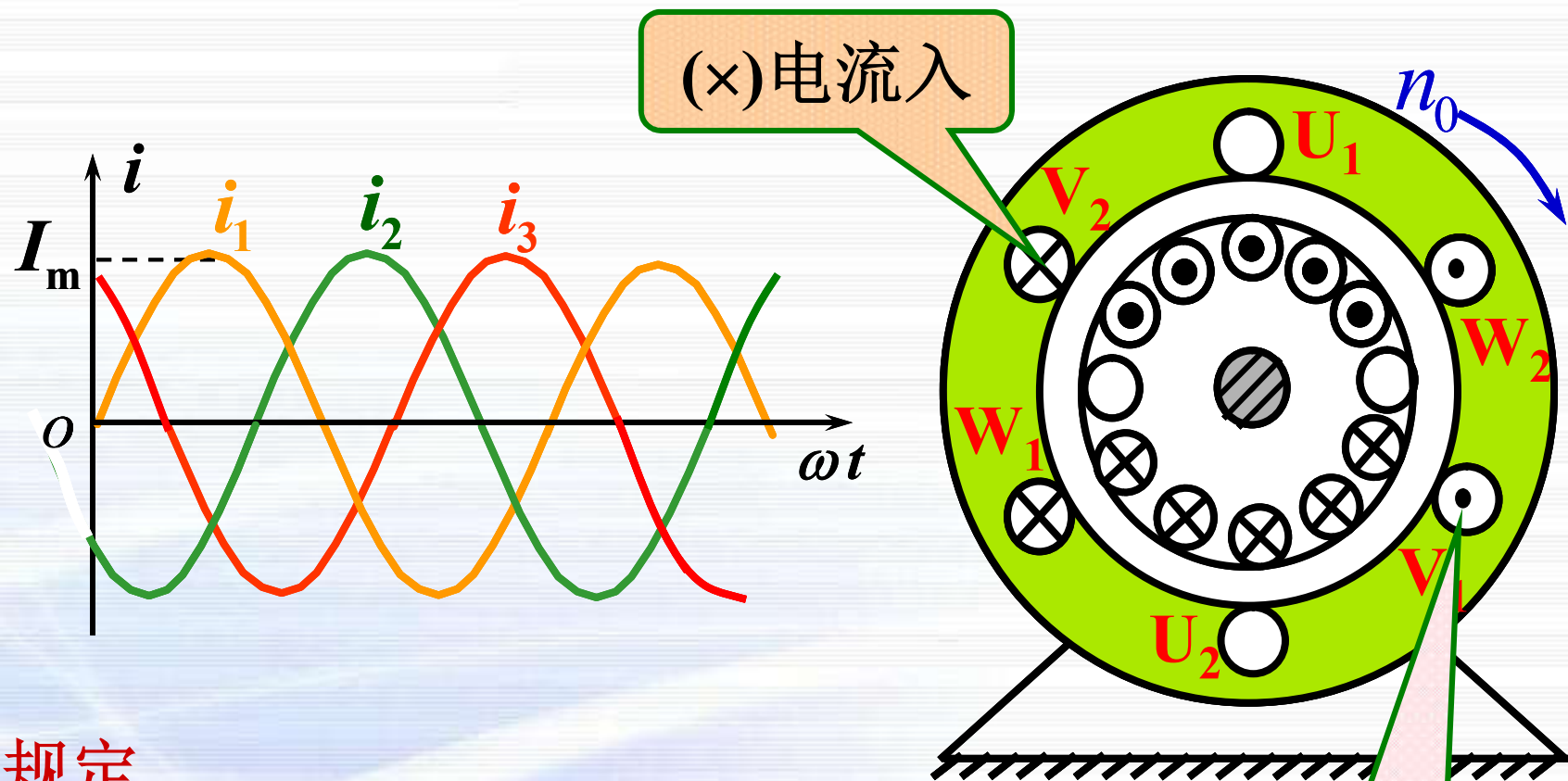
### 1. 旋转磁场的产生

定子三相绕组通入三相交流电(星形联接)

$$\begin{cases} i_1 = I_m \sin \omega t \\ i_2 = I_m \sin (\omega t - 120^\circ) \\ i_3 = I_m \sin (\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$







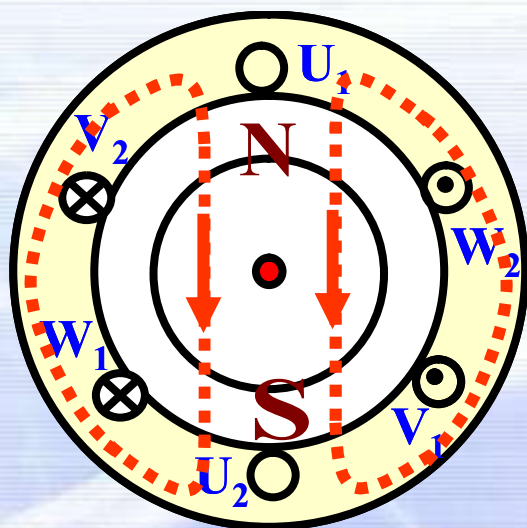
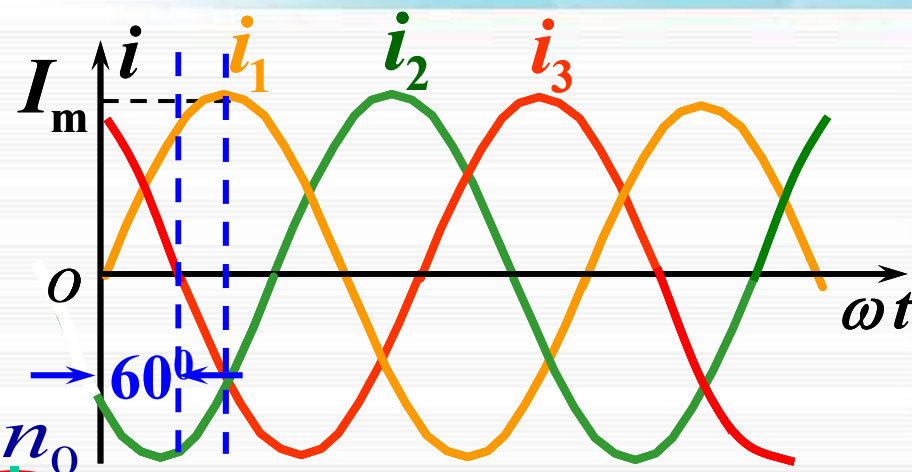
规定

$i$ : “+”  $\rightarrow$  首端流入，尾端流出。

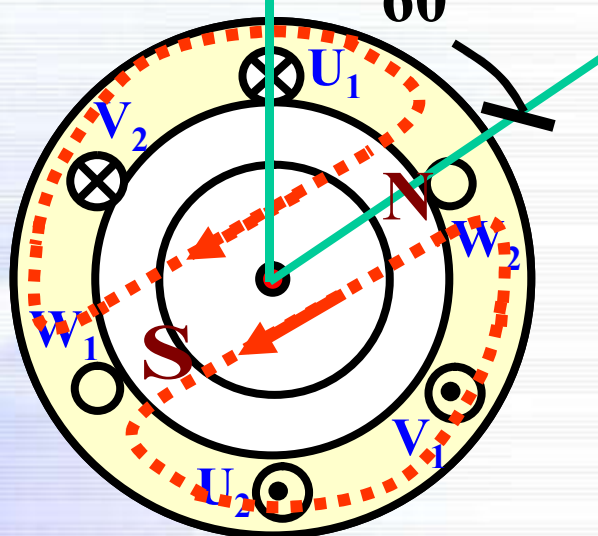
$i$ : “-”  $\rightarrow$  尾端流入，首端流出。

## 三相电流的合成磁场

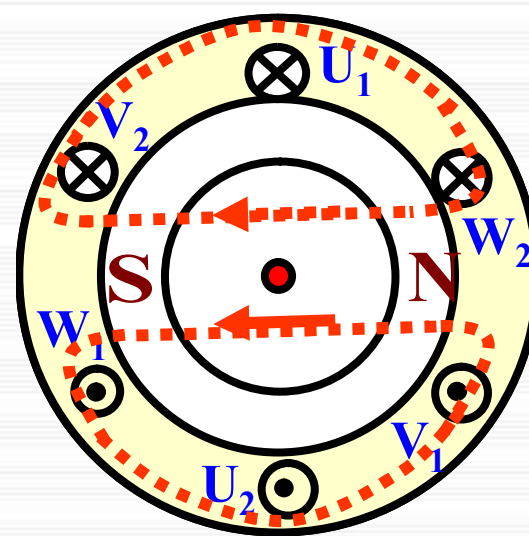
结论：三相电流产生的合成磁场是一旋转的磁场：  
一个电流周期，旋转磁场在空间转过 $360^\circ$



$\omega t = 0$



$\omega t = 60^\circ$



$\omega t = 90^\circ$

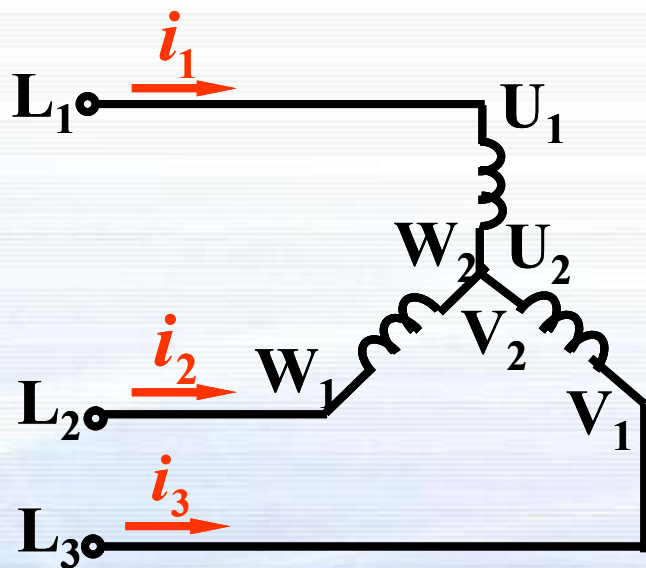
合成磁场方向向下 合成磁场旋转 $60^\circ$  合成磁场旋转 $90^\circ$



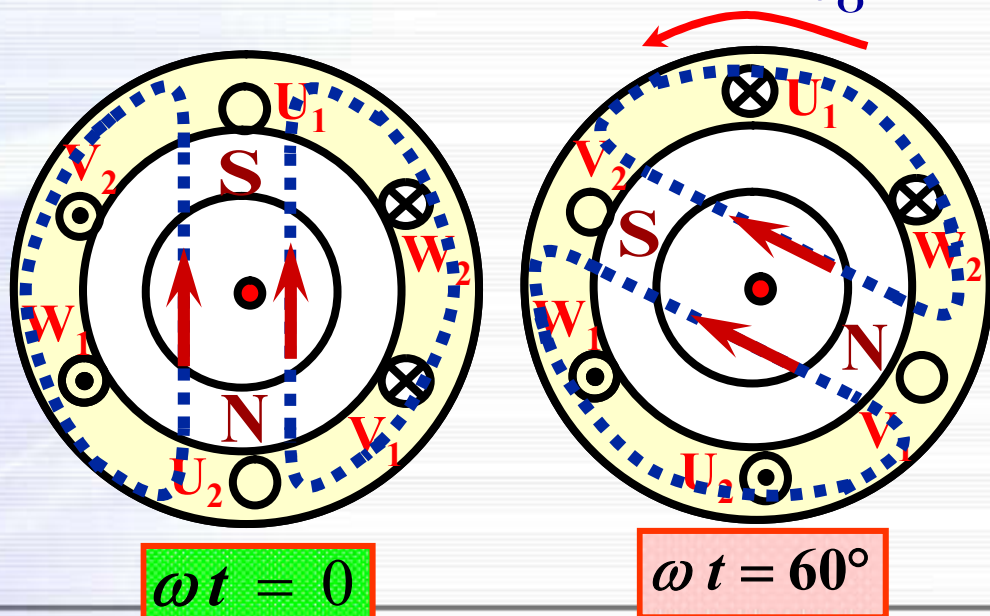
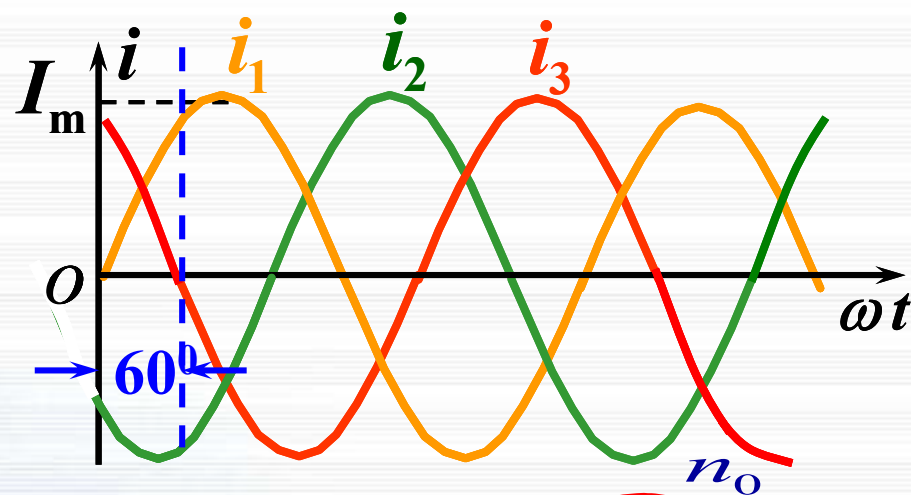
中国石油大学

## 2. 旋转磁场的旋转方向 取决于三相电流的相序

任意调换两根电源进线

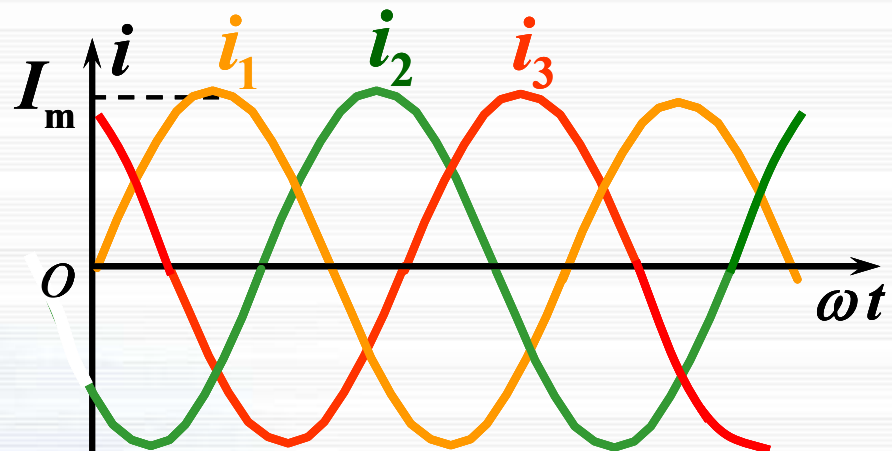
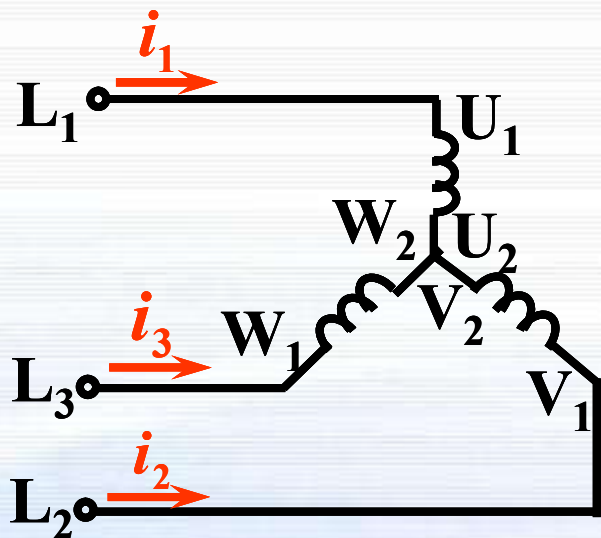


结论：任意调换两根电源进线，则旋转磁场反转。



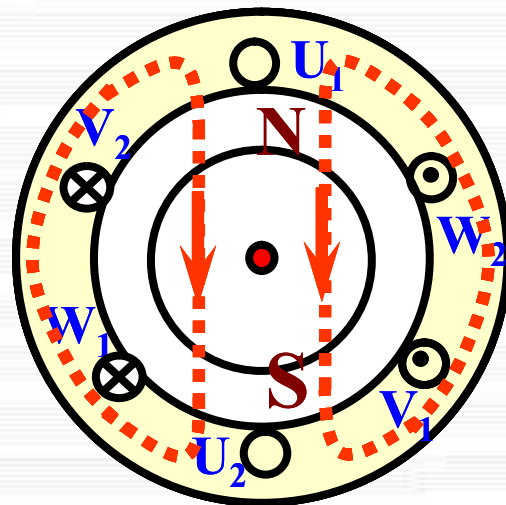
### 3. 旋转磁场的极数

旋转磁场的极数与三相绕组的排列有关



当三相定子绕组按图示排列时，产生一对磁极的旋转磁场，即：

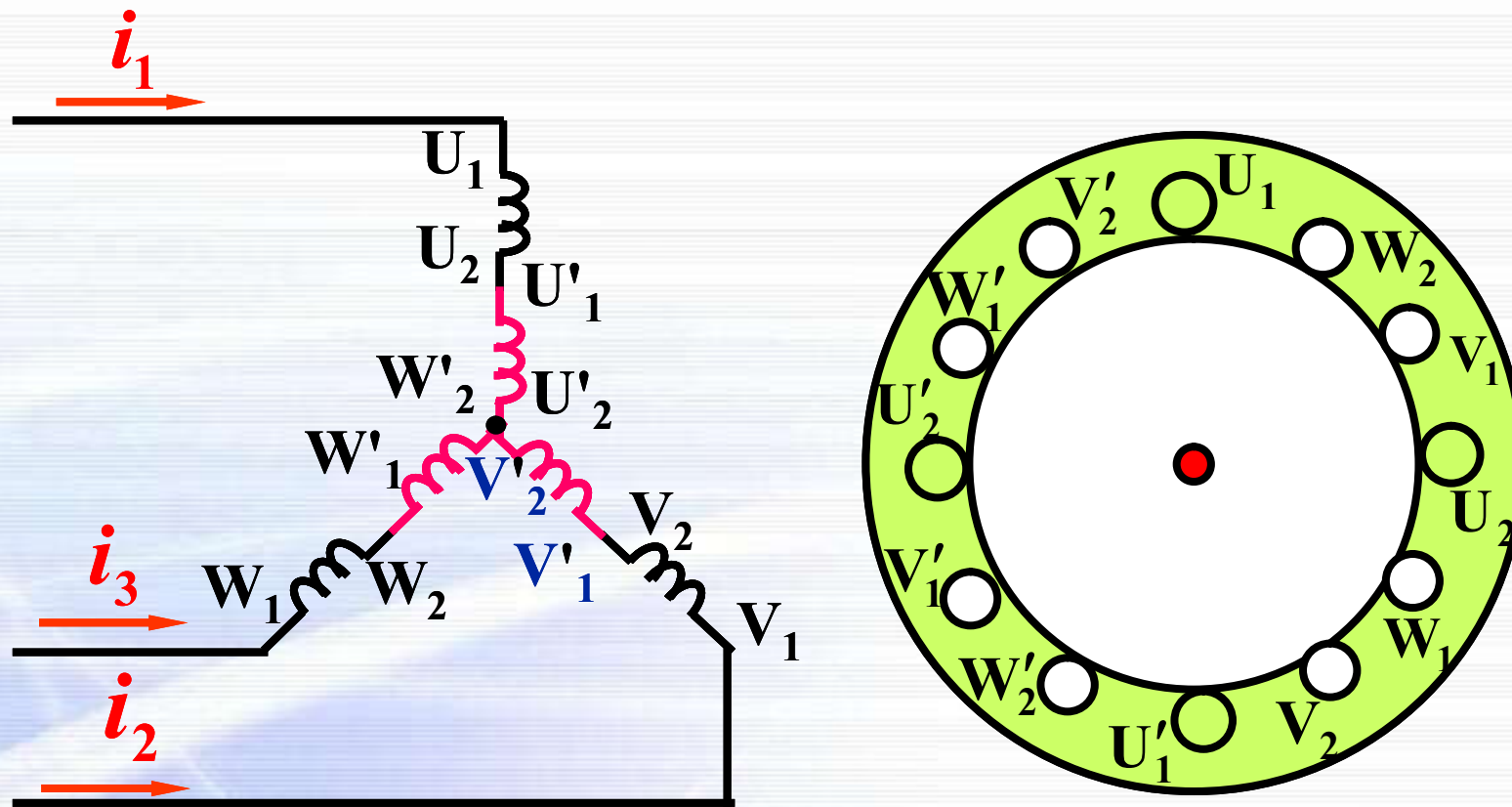
$$p = 1$$



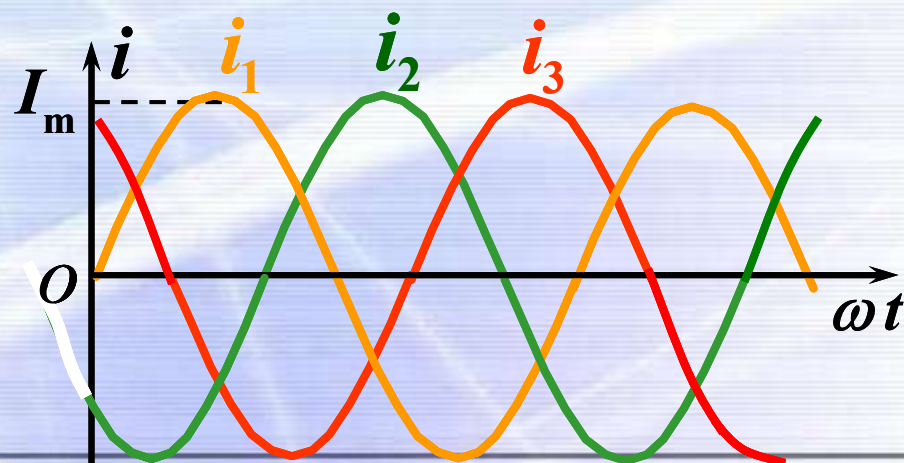
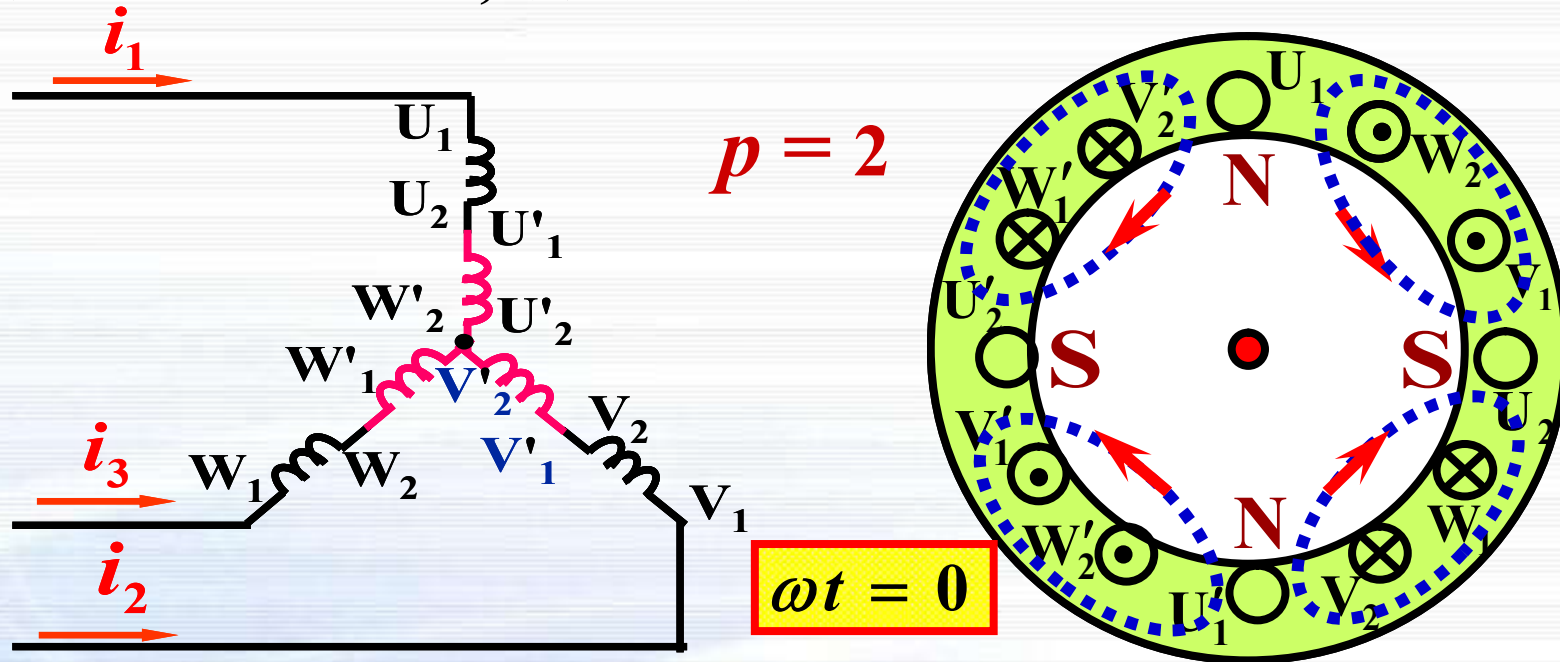
$$\omega t = 0$$



若定子每相绕组由两个线圈串联，绕组的始端之间互差 $60^\circ$ ，将形成两对磁极的旋转磁场。



若定子每相绕组由两个线圈串联，绕组的始端之间互差 $60^\circ$ ，将形成两对磁极的旋转磁场。



若定子每相绕组由三个线圈串联，绕组的始端之间互差 $40^\circ$ ，将形成三对磁极的旋转磁场： $p = 3$

## 4. 旋转磁场的转速

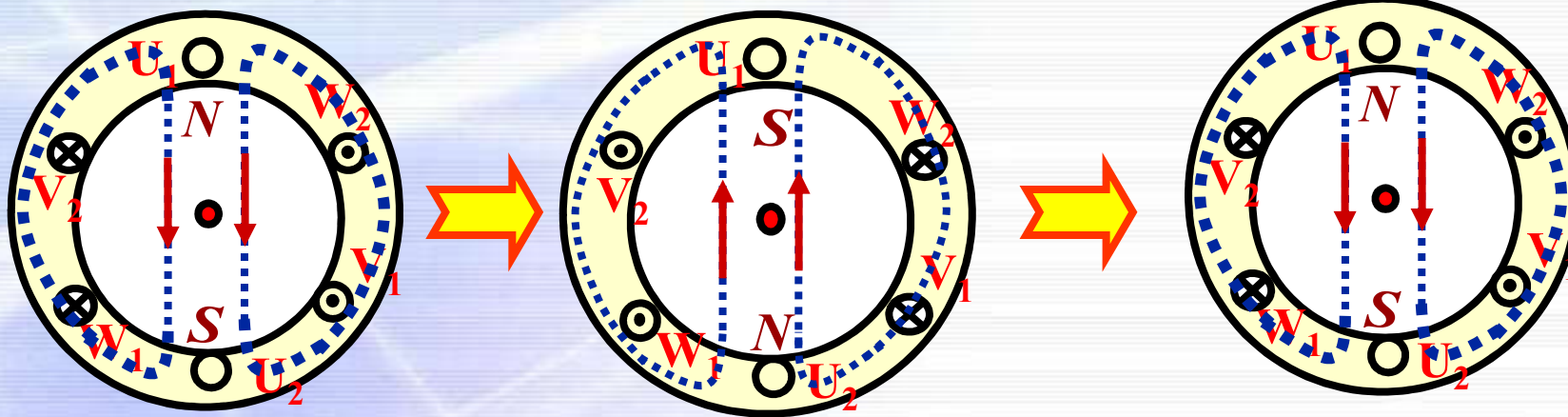
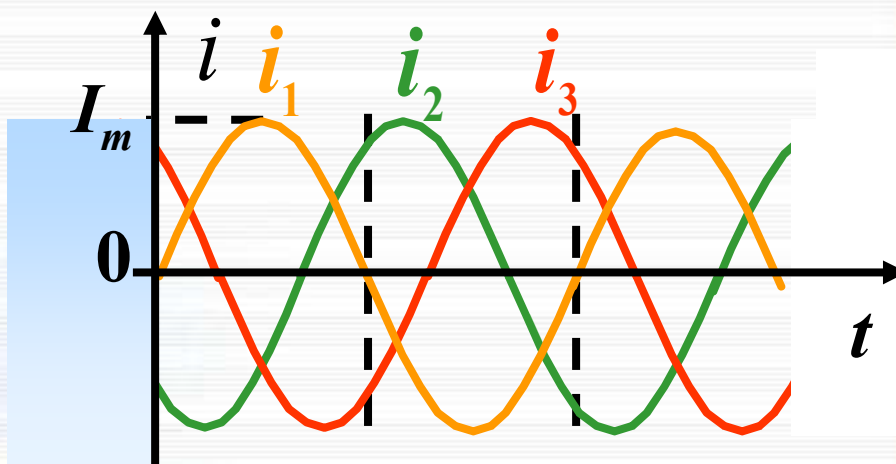
旋转磁场的转速取决于电源频率和磁场的极对数

$p=1$ 时

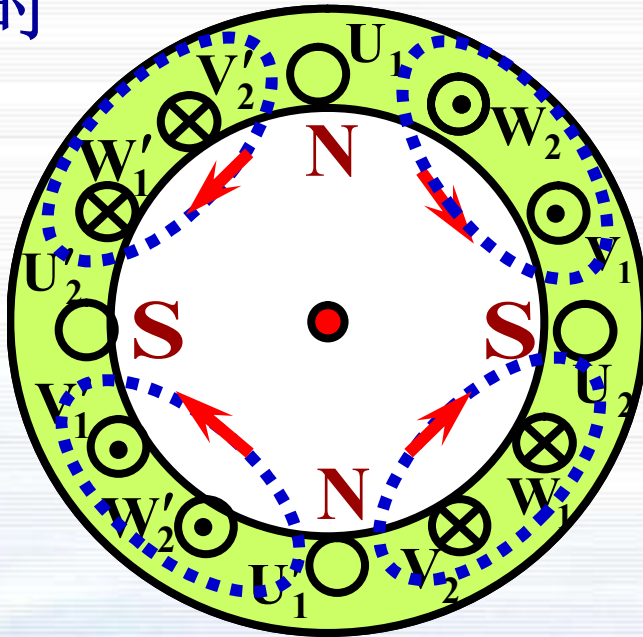
$$n_0 = 60 f_1 \text{ (r/min)}$$

工频:  $f_1 = 50\text{HZ}$

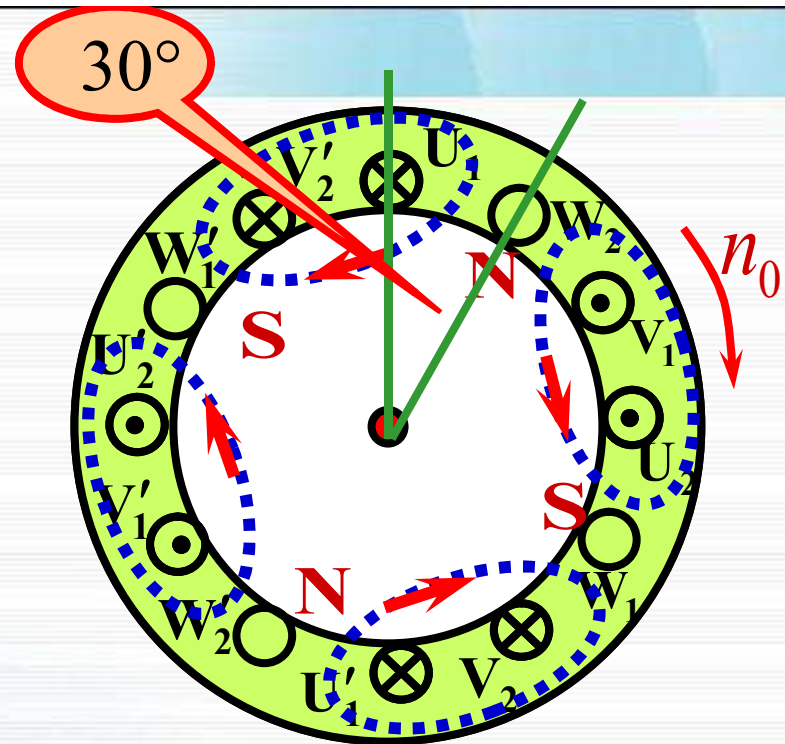
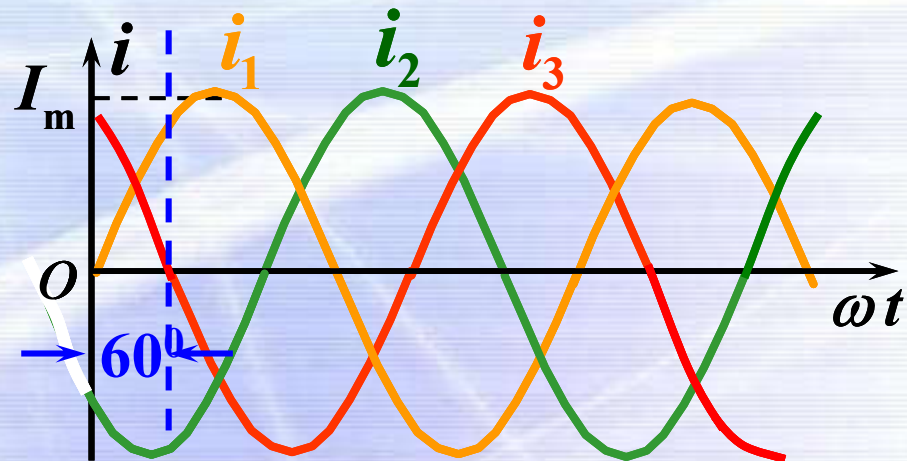
$$n_0 = 3000 \text{ (r/min)}$$



$p=2$ 时



$\omega t = 0$



$\omega t = 60^\circ$

$$n_0 = \frac{60}{2} f_1 \text{ (r/min)}$$

工频:  $f_1 = 50 \text{ Hz}$

$$n_0 = 1500 \text{ (r/min)}$$



## 旋转磁场转速 $n_0$ 与极对数 $p$ 的关系

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p} \quad (\text{r/min})$$

旋转磁场转速 $n_0$ 与频率 $f_1$ 和极对数 $p$ 有关。

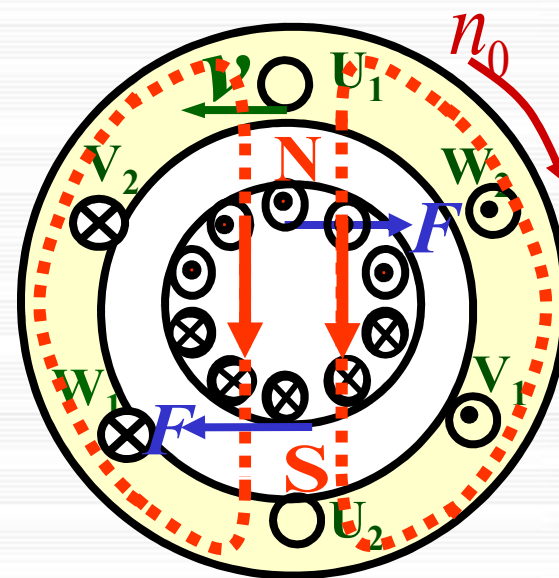
极对数	每个电流周期 磁场转过的空间角度	同步转速 $n_0$ (r/min) ( $f_1 = 50 \text{ Hz}$ )
$p = 1$	$360^\circ$	3000
$p = 2$	$180^\circ$	1500
$p = 3$	$120^\circ$	1000
$p = 4$	$90^\circ$	750

## 7.2.2 电动机的转动原理

### 1. 转动原理

定子三相绕组通入三相交流电

→ 旋转磁场  $\left\{ \begin{array}{l} n_0 = \frac{60 f_1}{p} \text{ (转/分)} \\ \text{方向: 顺时针} \end{array} \right.$



→ 切割转子导体  $\xrightarrow[\text{右手定则}]{Blv}$  感应电动势  $E_{20}$

→ 感应电流  $I_2$  }  $\xrightarrow[\text{左手定则}]{Bli}$  电磁力  $F$

→ 电磁转矩  $T$  →  $n$

### 7.2.3 转差率

由前面分析可知，电动机转子转动方向与磁场旋转方向一致，但转子转速  $n$  不可能达到与旋转磁场的转速相等，即

如果：  $n = n_0$   $n < n_0 \Rightarrow$  异步电动机

$\Rightarrow$  转子与旋转磁场间没有相对运动，磁通不切割转子导条

$\Rightarrow$  无转子电动势和转子电流

$\Rightarrow$  无转矩

因此，转子转速与旋转磁场转速间必须要有差别。

旋转磁场的同步转速和电动机转子转速之差与旋转磁场的同步转速之比称为转差率。

转差率  $s$

$$s = \left( \frac{n_0 - n}{n_0} \right) \times 100\%$$

转子转速亦可由转差率求得

$$n = (1 - s)n_0$$

异步电动机运行中:  $s = (1 \sim 9)\%$

**例1:** 一台三相异步电动机, 其额定转速  $n = 975 \text{ r/min}$ , 电源频率  $f_1 = 50 \text{ Hz}$ 。试求电动机的极对数和额定负载下的转差率。

**解:** 根据异步电动机转子转速与旋转磁场同步转速的关系可知:  $n_0 = 1000 \text{ r/min}$ , 即  $p = 3$   
额定转差率为

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100\% = \frac{1000 - 975}{1000} \times 100\% = 2.5\%$$



# 第7章 交流电动机

- 7.1 三相异步电动机的构造
- 7.2 三相异步电动机的转动原理
- 7.3 三相异步电动机的电路分析
- 7.4 三相异步电动机转矩与机械特性
- 7.5 三相异步电动机的起动
- 7.6 三相异步电动机的调速
- 7.7 三相异步电动机的制动
- 7.8 三相异步电动机的铭牌数据
- 7.9 三相异步电动机的选择

## 7.3 三相异步电动机的电路分析

三相异步电动机的电磁关系与变压器类似。

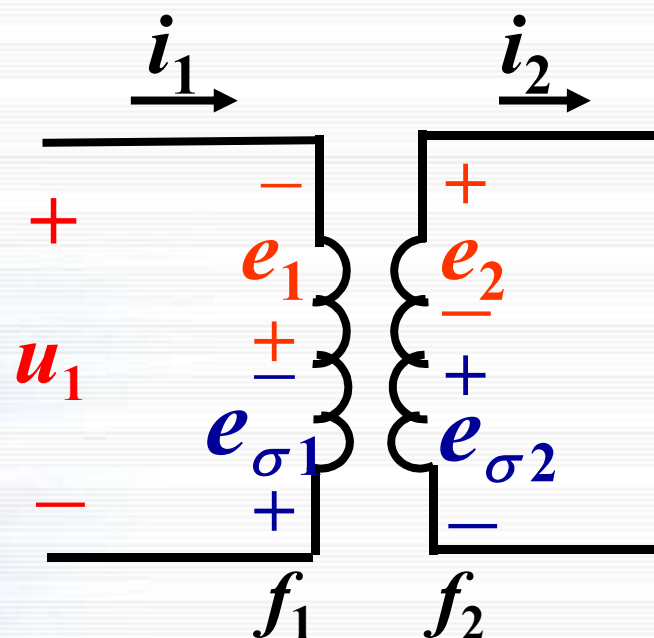
### 7.3.1 定子电路

变压器：  $\Phi$  变化  $\rightarrow e$

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \Phi$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi$$

$E_1$ 、 $E_2$  频率相同，都等于电源频率。



异步电动机每相电路

$$\Phi \approx \frac{U_1}{4.44 f N_1}$$

## 7.3.1 定子电路

### 1. 旋转磁场的磁通 $\Phi$

异步电动机机：旋转磁场切割导体  $\rightarrow e$ ,

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi$$

每极磁通

$$\Phi \approx \frac{U_1}{4.44 f_1 N_1}$$

$$\Phi \propto U_1$$

### 2. 定子感应电势的频率 $f_1$

感应电势的频率与磁场和导体间的相对速度有关

旋转磁场与定子导体间的相对速度为  $n_0$ ，所以

$$f_1 = \frac{pn_0}{60}$$

$$f_1 = \text{电源频率 } f$$

## 7.3.2 转子电路

### 1. 转子感应电势频率 $f_2$

感应电势的频率取决于旋转磁场同转子导体间的相对速度和磁极对数。

旋转磁场切割转子绕组导体的速度为  $(n_0 - n)$ 。

转子感应电势频率  $f_2$

$$f_2 = \frac{n_0 - n}{60} p = \frac{n_0 - n}{n_0} \times \frac{n_0 p}{60} = s f_1$$

$\therefore$  定子感应电势频率  $f_1 \neq$  转子感应电势频率  $f_2$

通常,  $f_2 = 0.5 \sim 4.5\text{Hz}$  ( $f_1 = 50\text{Hz}$ )



## 2. 转子感应电动势 $E_2$

$$E_2 = 4.44 f_2 N_2 \Phi = 4.44 s f_1 N_2 \Phi$$

当电动机起动瞬间,  $n = 0$ ,  $s = 1$ ,  $f_2 = f_1$ , 则  $E_2$  最大

$$E_{20} = 4.44 f_1 N_2 \Phi$$

转子静止时的  
感应电势

$$E_2 = s E_{20}$$

转子转动时的  
感应电势

## 3. 转子感抗 $X_2$

$$X_2 = 2\pi f_2 L_{\sigma 2} = 2\pi s f_1 L_{\sigma 2}$$

当电动机起动瞬间,  $n = 0$ ,  $s = 1$ ,  $f_2 = f_1$ , 则  $X_2$  最大

$$X_{20} = 2\pi f_1 L_{\sigma 2}$$

$$\text{即 } X_2 = s X_{20}$$

## 4. 转子电流 $I_2$

### 转子绕组的感应电流

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \\ &= \frac{sE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \end{aligned} \quad \begin{cases} S=0 \rightarrow I_2=0 (n=n_0) \\ S=1 \rightarrow I_{2\max} = \frac{E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + X_{20}^2}} \end{cases}$$

## 5. 转子电路的功率因数 $\cos \psi_2$

$$\begin{aligned} \cos \psi_2 &= \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \\ &= \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \end{aligned} \quad \begin{cases} S \text{ 很小时} : R_2 \gg sX_{20} \\ \quad \quad \quad \therefore \cos \varphi_2 \approx 1 \\ S \text{ 较大时} : R_2 \ll sX_{20} \\ \quad \quad \quad \therefore \cos \varphi_2 \propto \frac{1}{S} \end{cases}$$

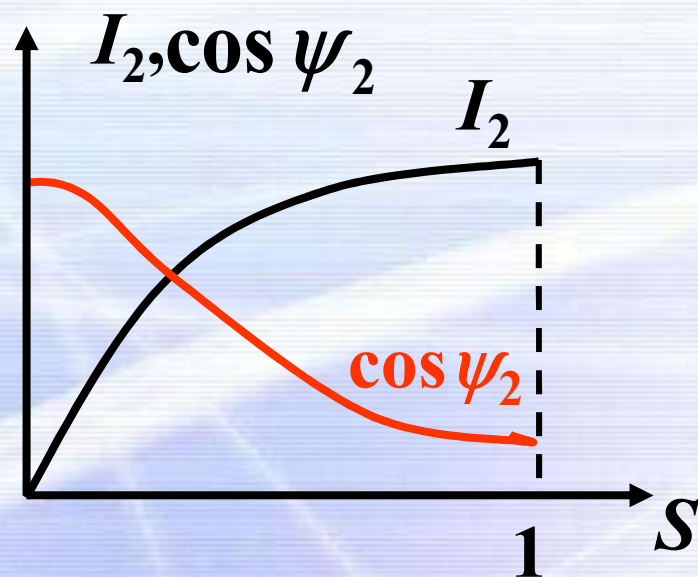
## $I_2$ 、 $\cos \psi_2$ 随 $S$ 变化曲线

### 转子绕组的感应电流

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{SE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}} \quad (n \uparrow \rightarrow s \downarrow \rightarrow I_2 \downarrow)$$

转子电路的功率因数

$$\cos \psi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}} \quad (n \uparrow \rightarrow s \downarrow \rightarrow \cos \psi_2 \uparrow)$$



结论：转子转动时，转子电路中的各量均与转差率  $S$  有关，即与转速  $n$  有关。

# 第7章 交流电动机

- 7.1 三相异步电动机的构造
- 7.2 三相异步电动机的转动原理
- 7.3 三相异步电动机的电路分析
- 7.4 三相异步电动机转矩与机械特性**
- 7.5 三相异步电动机的起动
- 7.6 三相异步电动机的调速
- 7.7 三相异步电动机的制动
- 7.8 三相异步电动机的铭牌数据
- 7.9 三相异步电动机的选择



## 7.4 三相异步电动机转矩与机械特性

### 7.4.1 转矩公式

转子中各载流导体在旋转磁场的作用下,受到电磁力所形成的转矩之总和。

$$F = B l i$$

$$T \propto \Phi, I_2, \cos \psi_2$$

$$T = K_T \Phi I_2 \cos \psi_2$$

常数, 与电机结构有关

旋转磁场  
每极磁通

转子电流

转子电路的  
功率因数

$$T = K_T \Phi I_2 \cos \psi_2$$

由前面分析知：

$$\begin{cases} I_2 = \frac{SE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}} \\ \cos \phi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_{20})^2}} \\ U_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi_m \end{cases}$$

由此得电磁转矩公式

$$T = K \frac{sR_2}{R_2^2 + (sX_{20})^2} \cdot U_1^2$$

## 电磁转矩公式

$$T = K \frac{sR_2}{R_2^2 + (sX_{20})^2} \cdot U_1^2$$

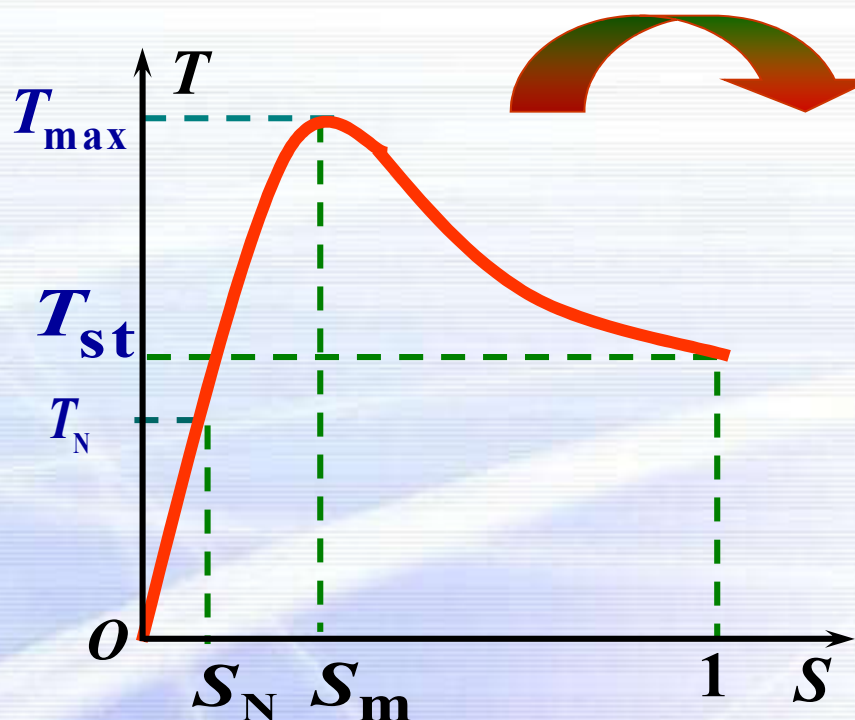
由公式可知

1.  $T$  与定子每相绕组电压  $U_1^2$  成正比。  $U_1 \downarrow \rightarrow T \downarrow \downarrow$
2.  $R_2$  的大小对  $T$  有影响。绕线型异步电动机可外接电阻来改变转子电阻  $R_2$ ，从而改变转矩。
3. 当电源电压  $U_1$  一定时， $T$  是  $s$  的函数。

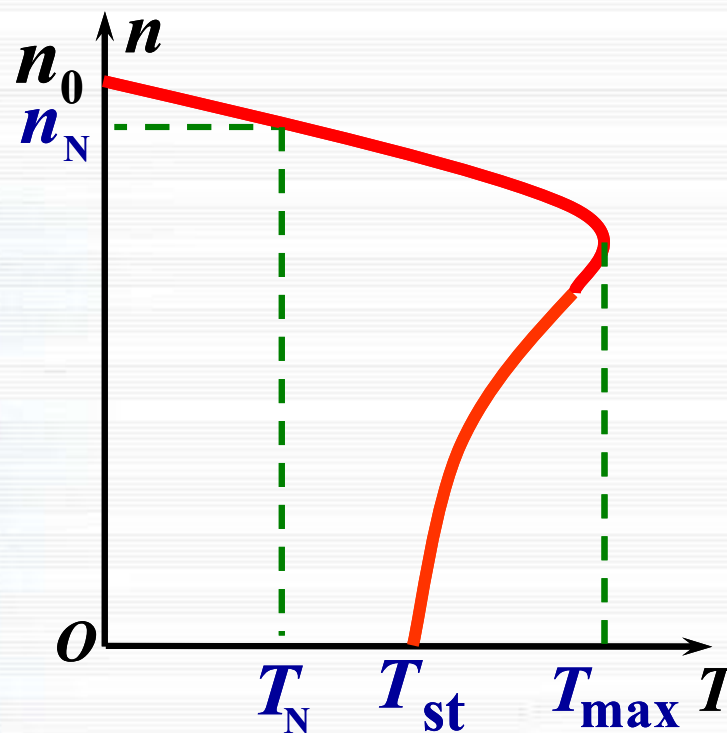
## 7.4.2 机械特性曲线

根据转矩公式  $T = K \frac{sR_2U_1^2}{R_2^2 + (sX_{20})^2}$

得特性曲线:



$T = f(s)$  曲线



$n = f(T)$  曲线

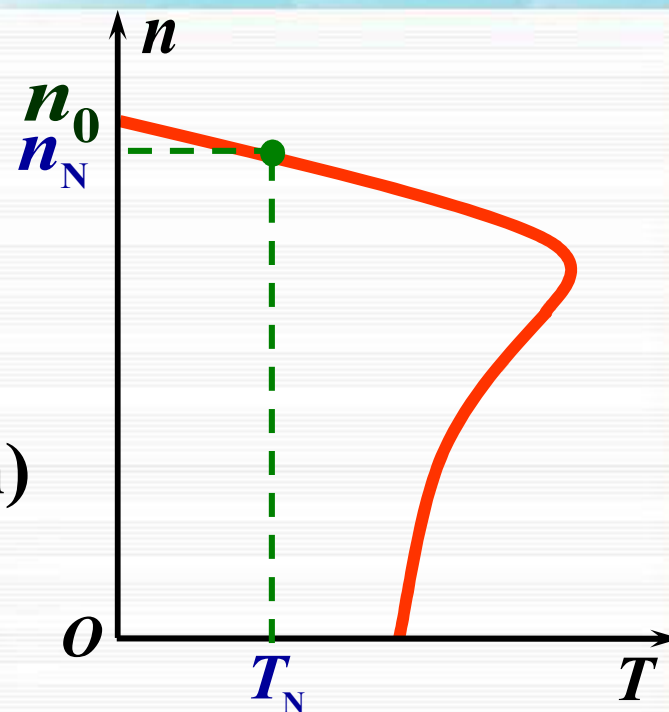


## 三个重要转矩

### 1. 额定转矩 $T_N$

电动机在额定负载时的转矩

$$T_N = 9550 \frac{P_N(\text{千瓦})}{n_N(\text{转/分})} \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$



如：某普通机床的主轴电机(Y132M-4型) 的额定功率为7.5kw，额定转速为1440r/min，则额定转矩为

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \frac{7.5}{1440} = 49.7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## 2. 最大转矩 $T_{\max}$

电机带动最大负载的能力

$$T = K \frac{sR_2}{R_2^2 + (sX_{20})^2} \cdot U_1^2$$

令：  $\frac{dT}{dS} = 0$  求得

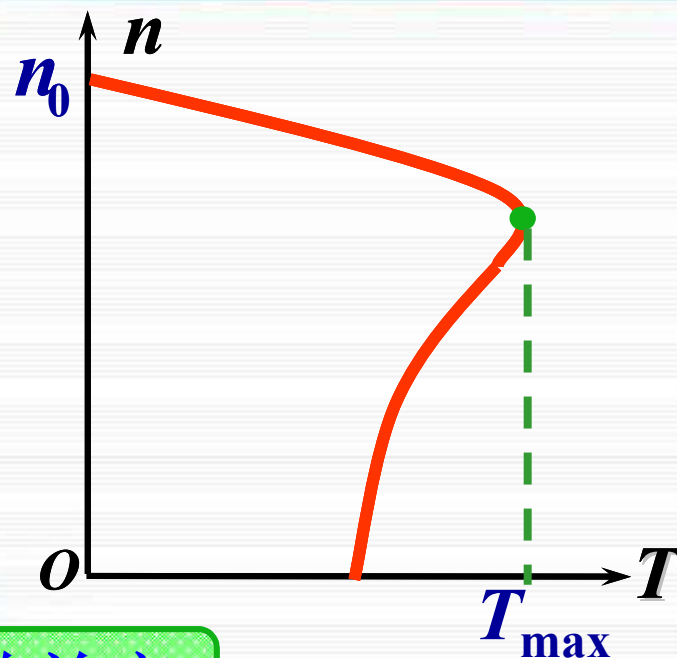
$$S = S_m = \frac{R_2}{X_{20}}$$

临界转差率

将  $S_m$  代入转矩公式，可得

$$T_{\max} = K \frac{U_1^2}{2X_{20}}$$

转子轴上机械负载转矩  $T_2$  不能大于  $T_{\max}$ ，否则将造成堵转(停车)。



$$T_{max} = K \frac{U_1^2}{2X_{20}}$$

$$1) T_{max} \propto U_1^2, U_1 \downarrow \rightarrow T_{max} \downarrow \downarrow$$

当  $U_1$  一定时,  $T_{max}$  为定值

2)  $S_m$  与  $R_2$  有关,  $R_2 \uparrow \rightarrow S_m \uparrow \rightarrow n \downarrow$ 。绕线式电机改变转子附加电阻  $R'_2$  可实现调速。

过载系数(能力)  $\lambda = \frac{T_{max}}{T_N}$

一般三相异步电动机的过载系数为

$$\lambda = 1.8 \sim 2.2$$

工作时必须使  $T_2 < T_{max}$ , 否则电机将停转。

$\Rightarrow I_2 \uparrow \Rightarrow I_1 \uparrow \Rightarrow$  电机严重过热而烧坏。

### 3. 起动转矩 $T_{st}$

电动机起动时的转矩

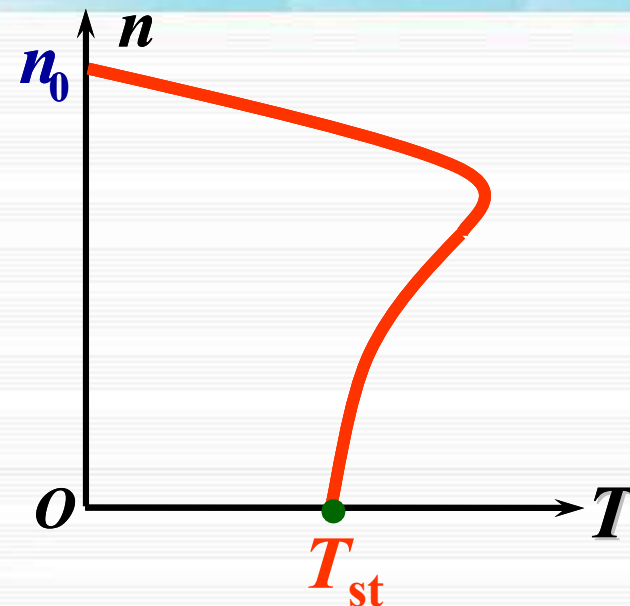
$$T = K \frac{sR_2 U_1^2}{R_2^2 + (sX_{20})^2}$$

起动时  $n=0$  时,  $s=1$

$$T_{st} = K \frac{R_2 U_1^2}{R_2^2 + X_{20}^2}$$

(1)  $T_{st} \propto U_1^2$ ,  $U_1 \downarrow \rightarrow T_{st} \downarrow \downarrow$

(2)  $T_{st}$  与  $R_2$  有关, 适当使  $R_2 \uparrow \rightarrow T_{st} \uparrow$ 。对绕线式型电机改变转子附加电阻  $R'_2$ , 可使  $T_{st} = T_{max}$ 。



$T_{st}$  体现了电动机带载起动的能力。

若  $T_{st} > T_2$  电机能起动, 否则不能起动。

起动能力  $\lambda_{st} = \frac{T_{st}}{T_N}$

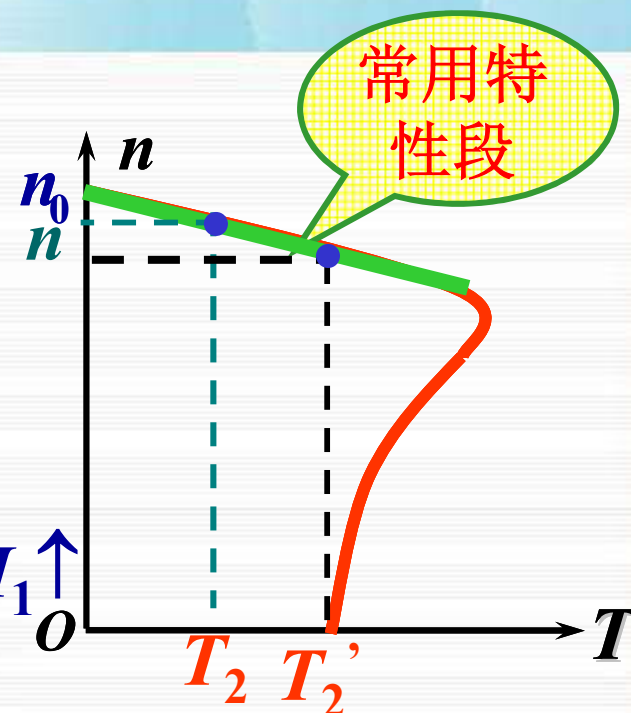


## 4. 电动机的运行分析

$$T_2 \uparrow \xrightarrow{T_2' > T} n \downarrow \rightarrow s \uparrow \rightarrow T \uparrow$$

达到新的平衡  $T = T_2'$

此过程中,  $n \downarrow$ 、 $s \uparrow \rightarrow E_2, I_2 \uparrow \rightarrow I_1 \uparrow$   
→ 电源提供的功率自动增加。

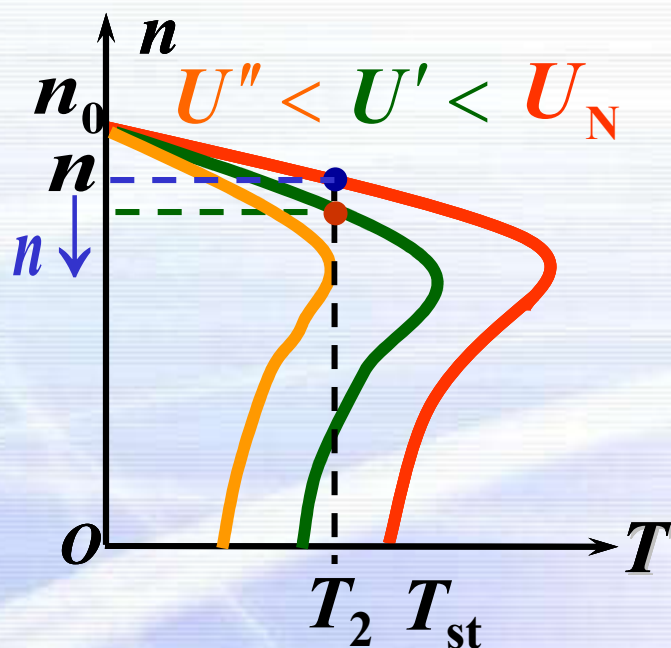


电动机的电磁转矩可以随负载的变化而自动调整, 这种能力称为自适应负载能力。

自适应负载能力是电动机区别于其它动力机械的重要特点 (如: 柴油机当负载增加时, 必须由操作者加大油门, 才能带动新的负载)。

## 5. $U_1$ 和 $R_2$ 变化对机械特性的影响

### (1) $U_1$ 变化对机械特性的影响



$$s_m = \frac{R_2}{X_{20}}$$

$U \downarrow$

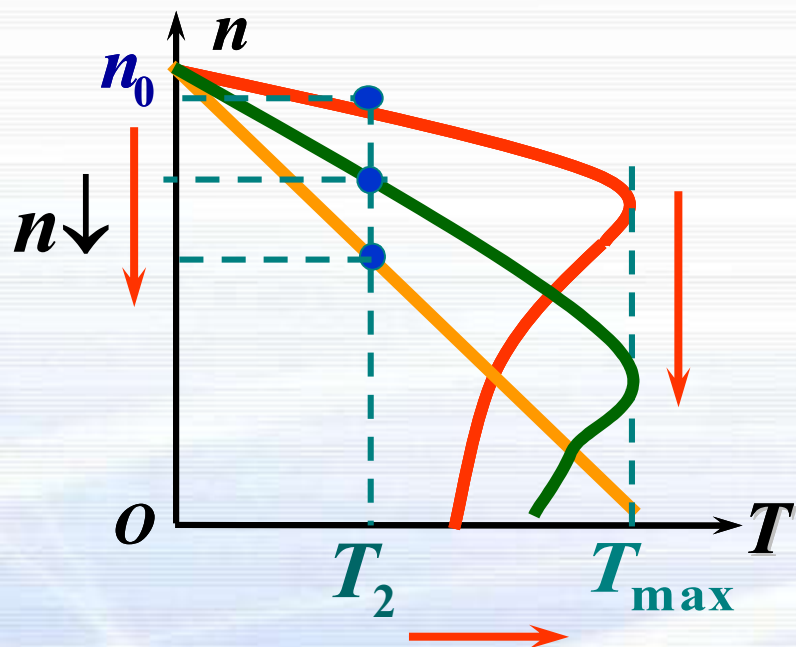
$$T_m = K \frac{U_1^2}{2X_{20}}$$

$T_m \downarrow$

$$T_{st} = K \frac{R_2 U_1^2}{R_2^2 + X_{20}^2}$$

$T_{st} \downarrow$

## (2) $R_2$ 变化对机械特性的影响



$$s_m = \frac{R_2}{X_{20}}$$

$R_2 \uparrow$

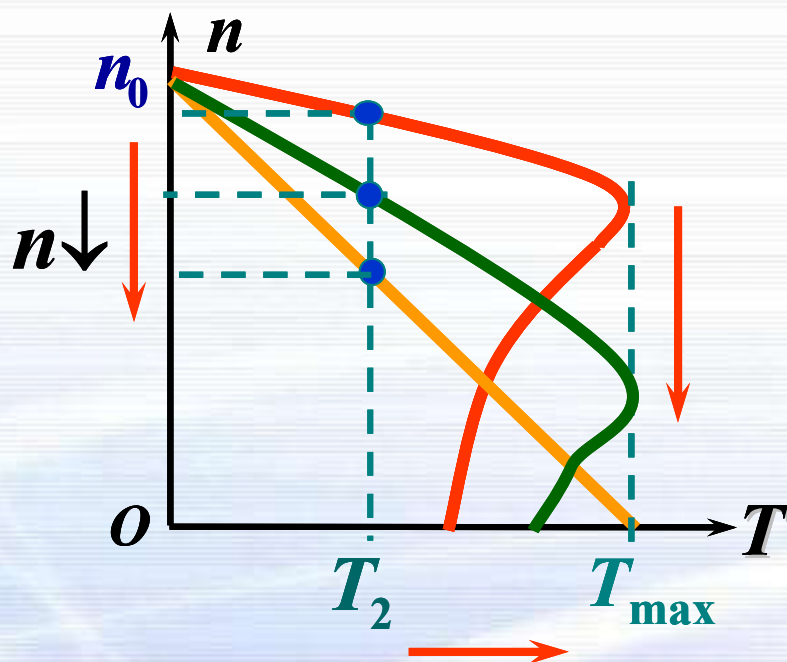
$$T_m = K \frac{U_1^2}{2X_{20}} \quad T_m \text{ 不变}$$

$$T_{st} = K \frac{R_2 U_1^2}{R_2^2 + X_{20}^2} \quad T_{st} \uparrow$$

**硬特性：**负载变化时，转速变化不大，运行特性好。

**软特性：**负载增加时转速下降较快，但起动转矩大，起动特性好。

## (2) $R_2$ 变化对机械特性的影响



不同场合应选用不同的电动机。如金属切削，选硬特性电动机；重载起动则选软特性电动机。

**硬特性：**负载变化时，转速变化不大，运行特性好。

**软特性：**负载增加时转速下降较快，但起动转矩大，起动特性好。



# 第7章 交流电动机

- 7.1 三相异步电动机的构造
- 7.2 三相异步电动机的转动原理
- 7.3 三相异步电动机的电路分析
- 7.4 三相异步电动机转矩与机械特性
- 7.5 三相异步电动机的起动**
- 7.6 三相异步电动机的调速
- 7.7 三相异步电动机的制动
- 7.8 三相异步电动机的铭牌数据
- 7.9 三相异步电动机的选择

## 7.5 三相异步电动机的起动

### 7.5.1 起动性能

**起动：**  $n = 0$ ， $s = 1$ ，接通电源。

**起动问题：** 起动电流大，起动转矩小。

一般中小型笼型电机起动电流为额定电流的5~7 倍；  
电动机的起动转矩为额定转矩的(1.0~2.3)倍。

**原因：**

起动时， $n = 0$ ，转子导体切割磁力线速度很大，  
→ 转子感应电势↑ → 转子电流↑ → 定子电流↑

**后果：**

{ 频繁起动时造成热量积累，使电机过热  
大电流使电网电压降低，影响邻近负载的工作

## 7.5.2 起动方法

### (1) 直接起动

要综合考虑电源容量与电动机的功率等因素，较小容量的电动机一般采用直接起动。

### (2) 降压起动：

- 星形-三角形(Y— $\Delta$ ) 换接起动
- 自耦降压起动

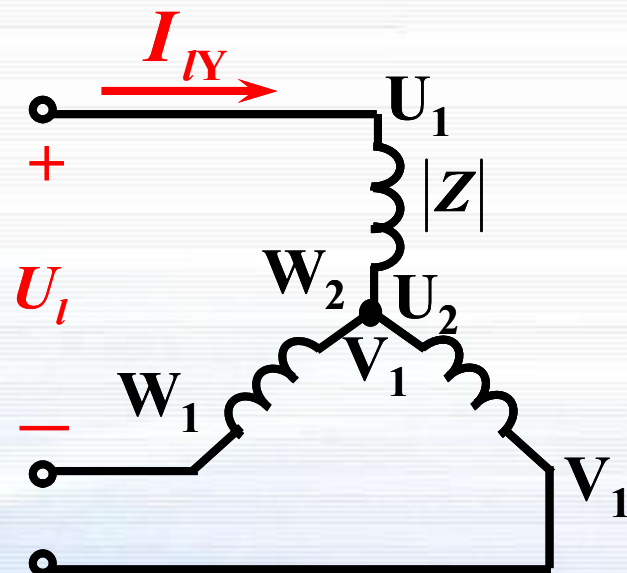
(适用于笼型电动机)

### (3) 转子串电阻起动

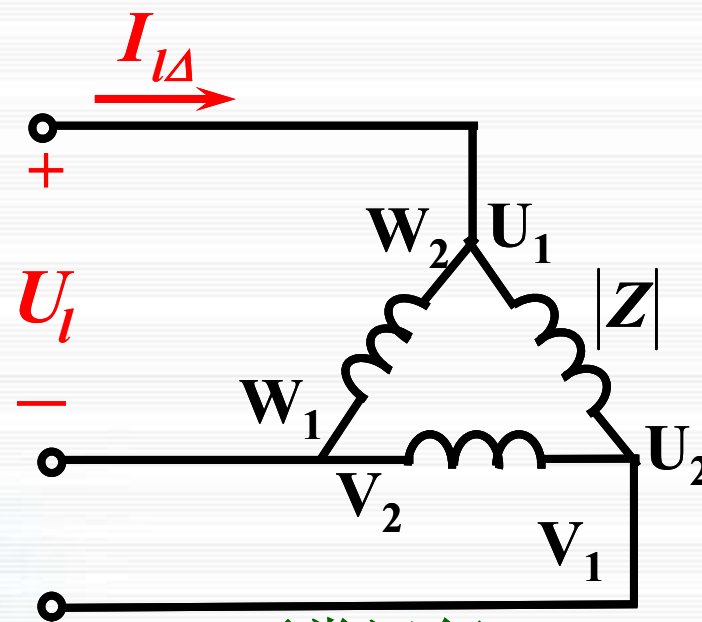
(适用于绕线型电动机)

# 1. 降压起动

## (1) Y-Δ换接起动



起动



正常运行

设：电机每相阻抗为  $|Z|$

$$\left. \begin{array}{l} \text{三角形联结时: } I_{l\Delta} = \sqrt{3} \frac{U_l}{|Z|} \\ \text{星形联结时: } I_{lY} = \frac{U_l}{\sqrt{3} |Z|} \end{array} \right\}$$

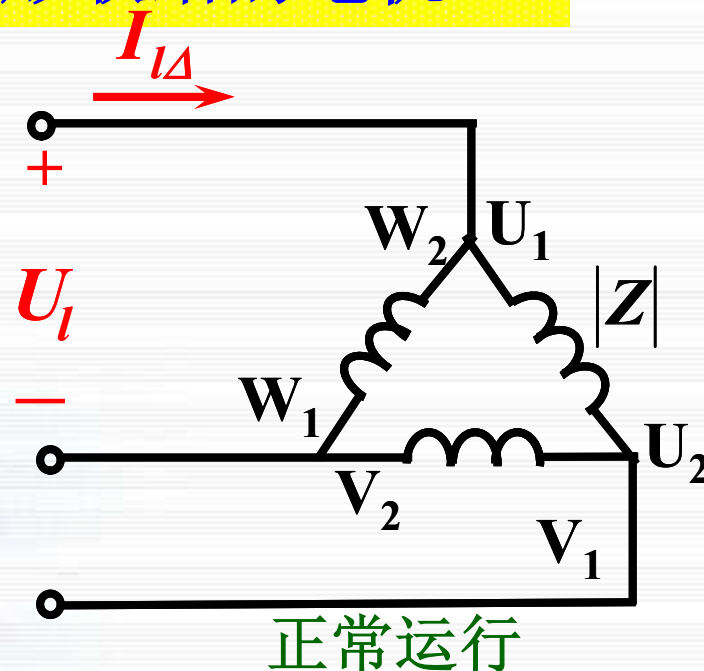
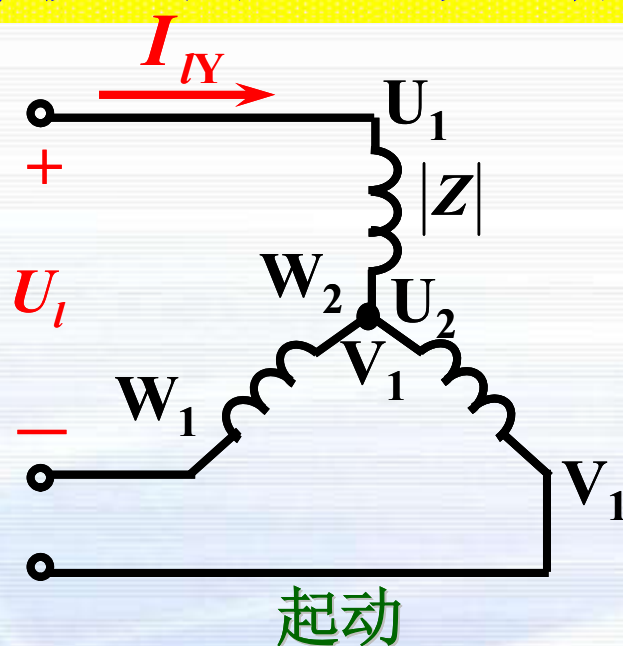
$$\frac{I_{lY}}{I_{l\Delta}} = \frac{1}{3}$$

∴ 降压起动时的电流  
为直接起动时的  $\frac{1}{3}$



## Y-Δ换接起动应注意的问题

(a) 仅适用于正常运行为三角形联结的电机。



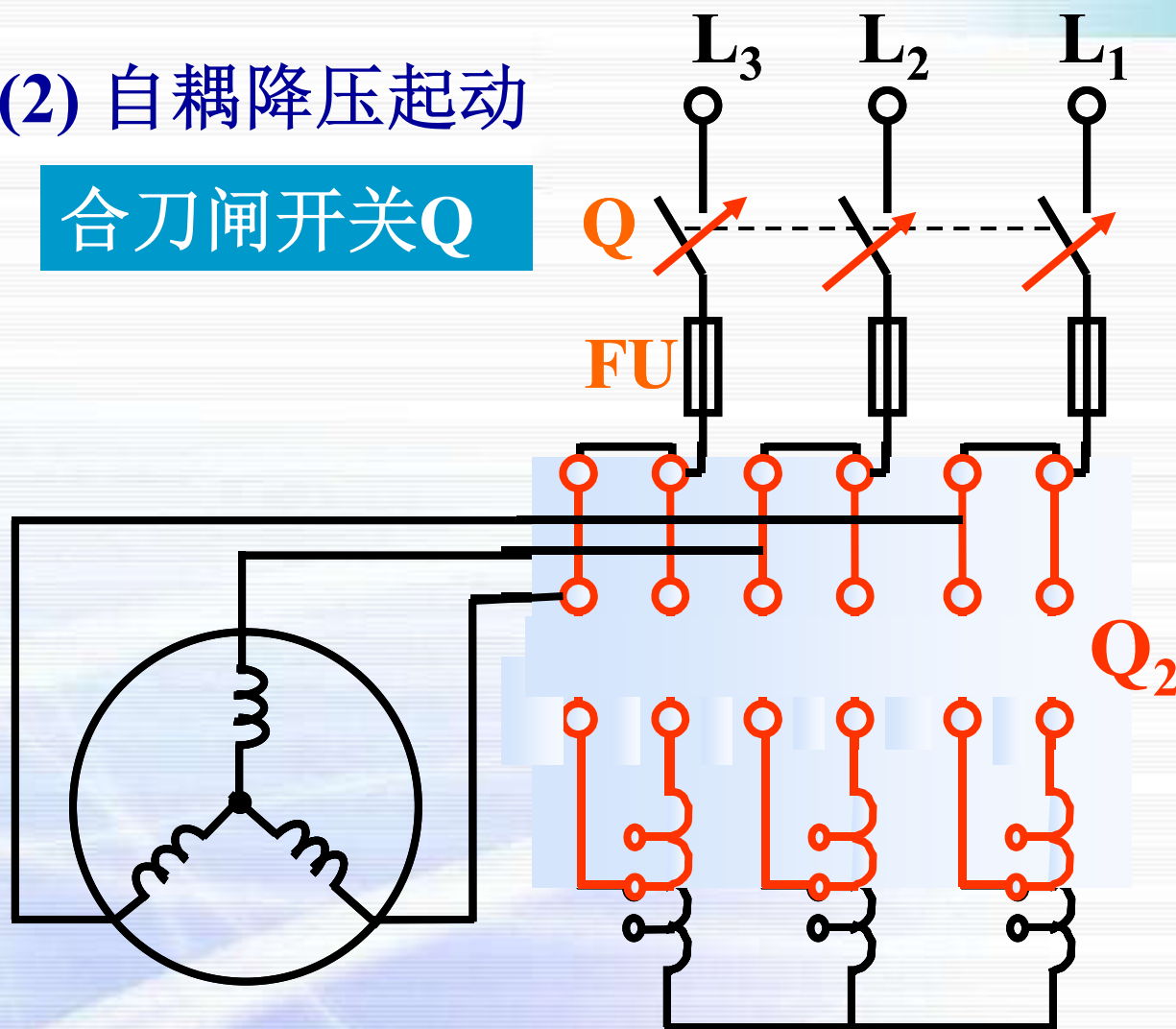
(b) Y—Δ 起动  $I_{st} \downarrow \rightarrow T_{st} \downarrow$  ( $T_{st} \propto U^2$ )

$$U_P = \frac{1}{\sqrt{3}} U_l \quad \Rightarrow \quad T_{stY} = \frac{1}{3} T_{st\Delta}$$

Y—Δ 换接起动适合于空载或轻载起动的场合

## (2) 自耦降压启动

合刀闸开关Q

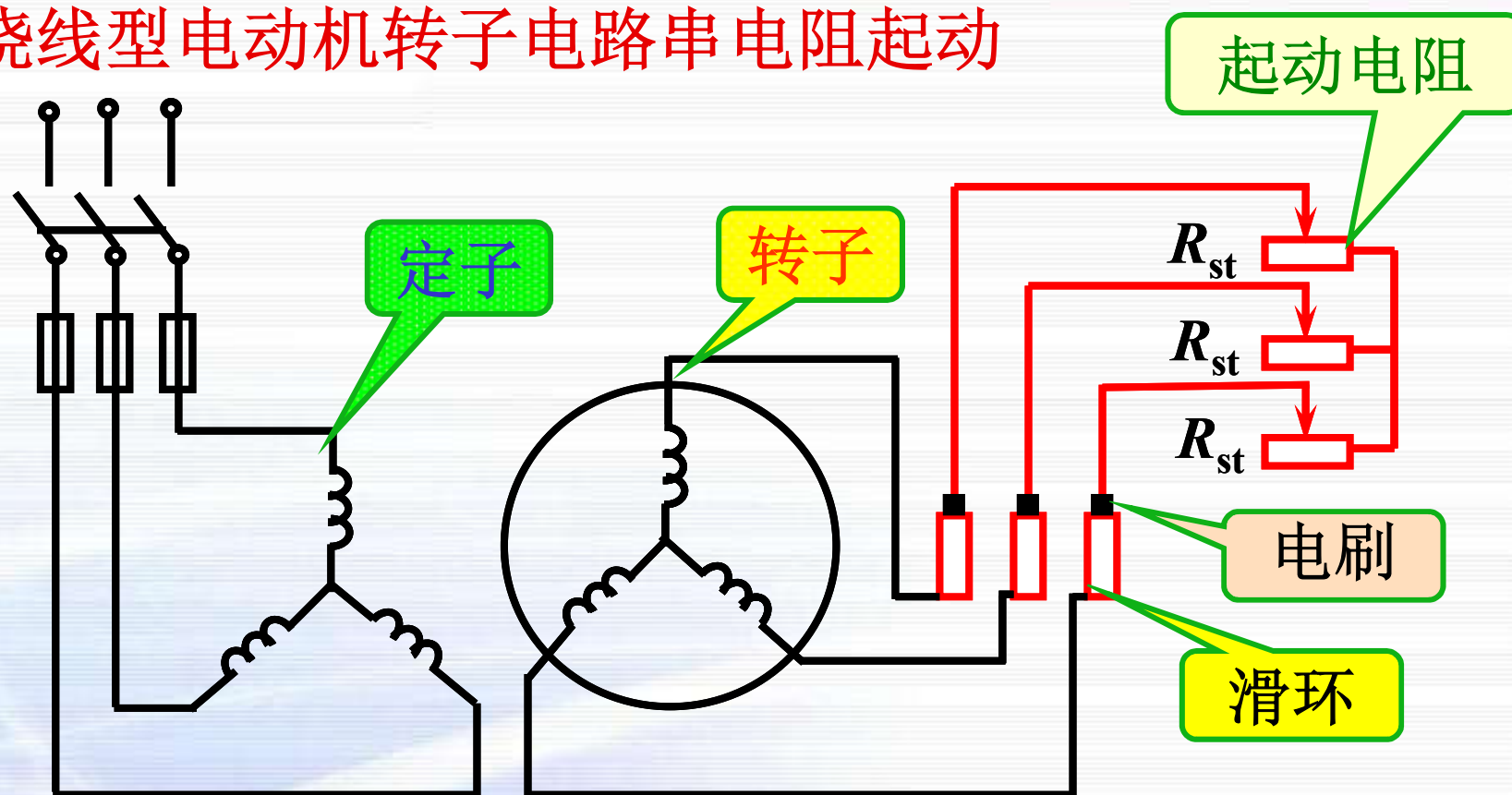


$Q_2$ 上合：  
切除自耦变  
压器，全压  
工作。

$Q_2$ 下合：  
接入自耦变  
压器，降压  
起动。

自耦降压启动适合于容量较大的或正常运行时  
联成 Y形不能采用Y- $\Delta$ 起动的笼型异步电动机。

## 2. 绕线型电动机转子电路串电阻启动



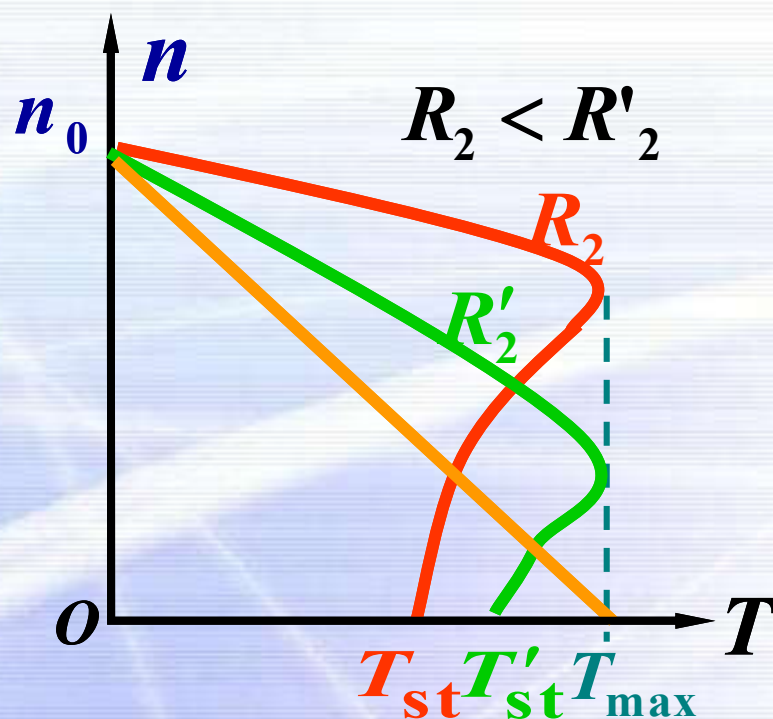
启动时将适当的 $R$ 串入转子电路中，启动后将 $R$ 短路。

$$I_{2st} = \frac{E_{20}}{\sqrt{R'^2 + (X_{20})^2}} \Rightarrow R' \uparrow \Rightarrow I_2 \downarrow \Rightarrow I_1 \downarrow$$

## 转子电路串电阻启动的特点

若 $R_2$ 选得适当，转子电路串电阻启动既可以降低启动电流，又可以增加启动转矩。

常用于要求启动转矩较大的生产机械上。



$$s_m = \frac{R_2}{X_{20}}$$

$$T_m = K \frac{U_1^2}{2X_{20}}$$

$$T_{st} = K \frac{R_2 U_1^2}{R_2^2 + X_{20}^2}$$

$$R_2 \Rightarrow T_{st}$$



**例1:**一台Y225M-4型的三相异步电动机，定子绕组△型联结，其额定数据为： $P_{2N}=45\text{kW}$ ， $n_N=1480\text{r/min}$ ， $U_N=380\text{V}$ ， $\eta_N=92.3\%$ ， $\cos\varphi_N=0.88$ ， $I_{st}/I_N=7.0$ ， $T_{st}/T_N=1.9$ ， $T_{\max}/T_N=2.2$ ，求：

- (1) 额定电流 $I_N$ ；      (2) 额定转差率 $s_N$ ；  
(3) 额定转矩 $T_N$ 、最大转矩 $T_{\max}$ 和起动转矩 $T_{st}$ 。

解：(1) 
$$I_N = \frac{P_{2N} \times 10^3}{\sqrt{3} U_N \cos\varphi_N \eta_N}$$
$$= \frac{45 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.88 \times 0.923} = 84.2 \text{ A}$$

(2) 由 $n_N=1480\text{r/min}$ , 可知 $p=2$  (四极电动机)

$$n_0 = 1500 \text{ r / min}$$

$$s_N = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{1500 - 1480}{1500} = 0.013$$

$$(3) T_N = 9550 \frac{P_{2N}}{n_N} = 9550 \times \frac{45}{1480} = 290.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{\max} = \left( \frac{T_{\max}}{T_N} \right) T_N = 2.2 \times 290.4 = 638.9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_{\text{st}} = \left( \frac{T_{\text{st}}}{T_N} \right) T_N = 1.9 \times 290.4 = 551.8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**例2:** 在上例中(1)如果负载转矩为  $510.2\text{N}\cdot\text{m}$ , 试问在  $U=U_N$  和  $U'=0.9U_N$  两种情况下电动机能否起动?  
(2) 采用Y- $\Delta$  换接起动时, 求起动电流和起动转矩。  
又当负载转矩为额定转矩的80%和50%时, 电动机能否起动?

**解:** (1) 在  $U=U_N$  时

$$T_{\text{st}} = 551.8\text{N}\cdot\text{m} > 510.2 \text{ N}\cdot\text{m} \quad \text{能起动}$$

在  $U'=0.9U_N$  时

$$T_{\text{st}} = 0.9^2 \times 551.8 = 447 \text{ N}\cdot\text{m} < 510.2 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$(2) I_{\text{st}\Delta} = 7I_N = 7 \times 84.2 = 589.4 \text{ A} \quad \text{不能起动}$$

$$I_{\text{stY}} = \frac{1}{3} I_{\text{st}\Delta} = \frac{1}{3} \times 598.4 = 196.5 \text{ A}$$

$$(3) T_{\text{stY}} = \frac{1}{3} T_{\text{st}\Delta} = \frac{1}{3} \times 551.8 = 183.9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

在80%额定负载时

$$\frac{T_{\text{stY}}}{T_{\text{N}} \times 80\%} = \frac{183.9}{290.4 \times 80\%} = \frac{183.9}{232.3} < 1 \quad \text{不能起动}$$

在50%额定负载时

$$\frac{T_{\text{stY}}}{T_{\text{N}} \times 50\%} = \frac{183.9}{290.4 \times 50\%} = \frac{183.9}{145.2} > 1 \quad \text{可以起动}$$



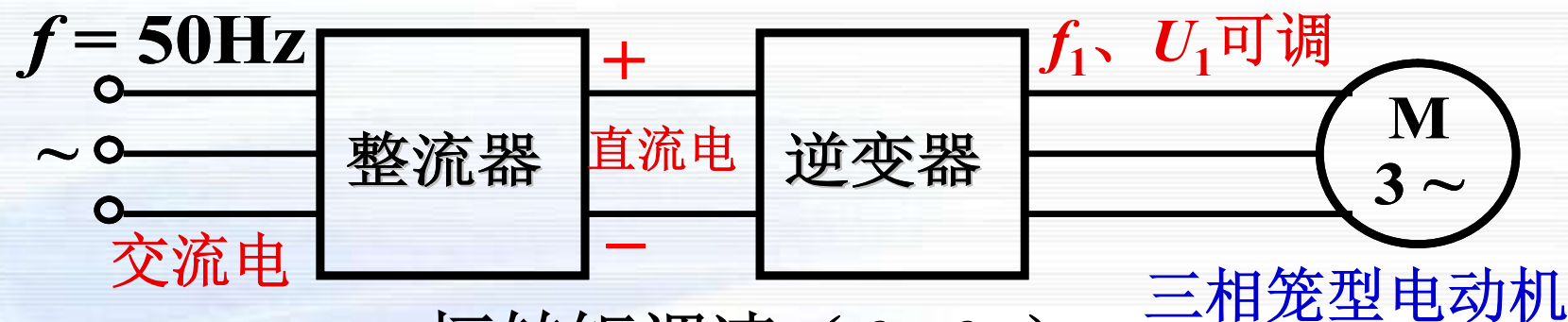
# 第7章 交流电动机

- 7.1 三相异步电动机的构造
- 7.2 三相异步电动机的转动原理
- 7.3 三相异步电动机的电路分析
- 7.4 三相异步电动机转矩与机械特性
- 7.5 三相异步电动机的起动
- 7.6 三相异步电动机的调速**
- 7.7 三相异步电动机的制动
- 7.8 三相异步电动机的铭牌数据
- 7.9 三相异步电动机的选择

## 7.6 三相异步电动机的调速

$$n = (1 - s)n_0 = (1 - s)\frac{60f_1}{p} \rightarrow \text{三种电气调速方法}$$

### 7.6.1 变频调速 (无级调速)



变频调速方法 { 恒转矩调速 ( $f_1 < f_{1N}$ )  
恒功率调速 ( $f_1 > f_{1N}$ )

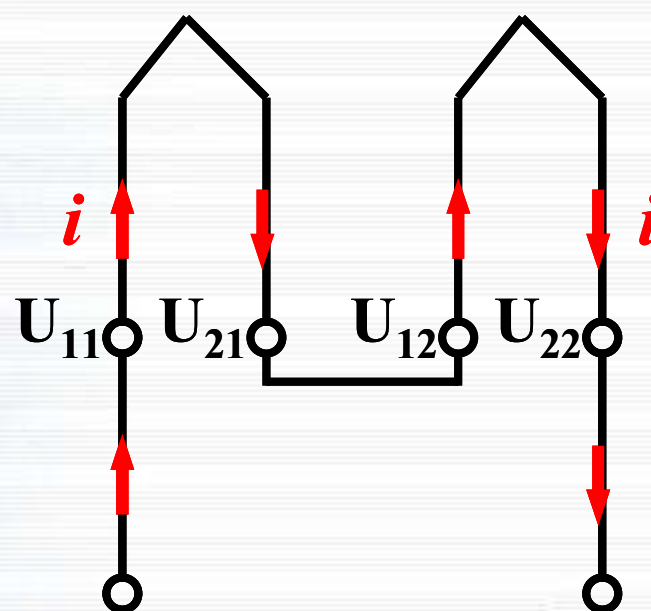
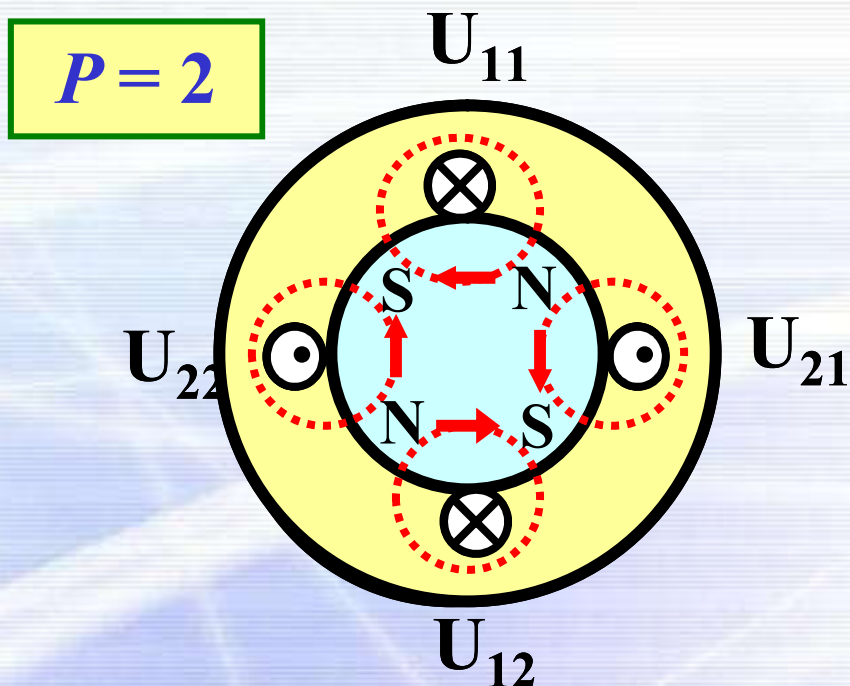
频率调节范围: **0.5~320Hz**

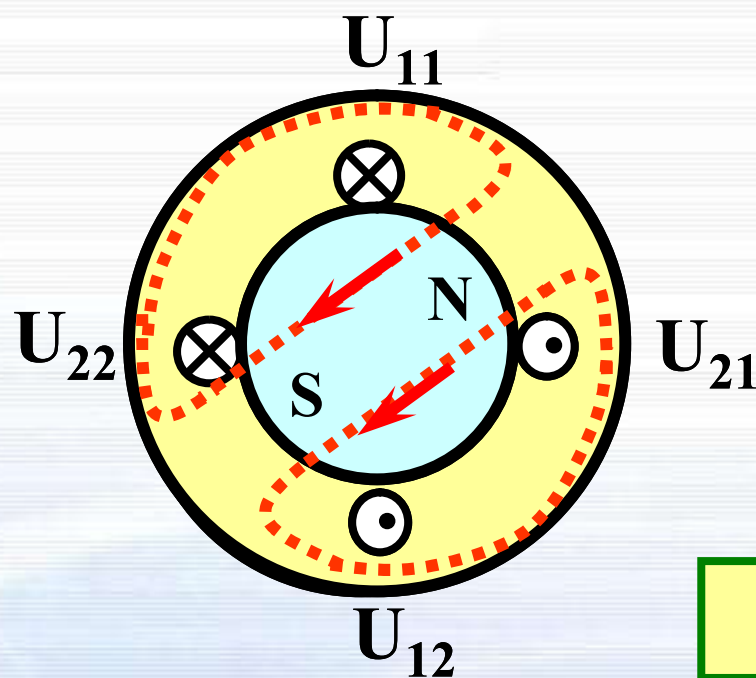
变频调速方法可实现无级平滑调速, 调速性能优异, 正获得越来越广泛的应用。

## 7.6.2 变极调速 (有级调速)

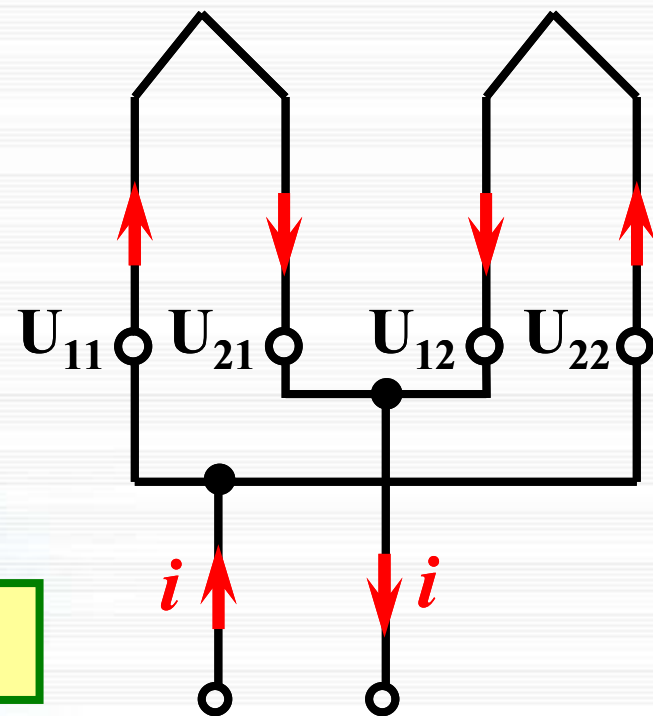
$$n_0 = \frac{60 f_1}{p}$$

改变磁极对数  $p$ ，  
可改变电动机的转速。





$$P = 1$$



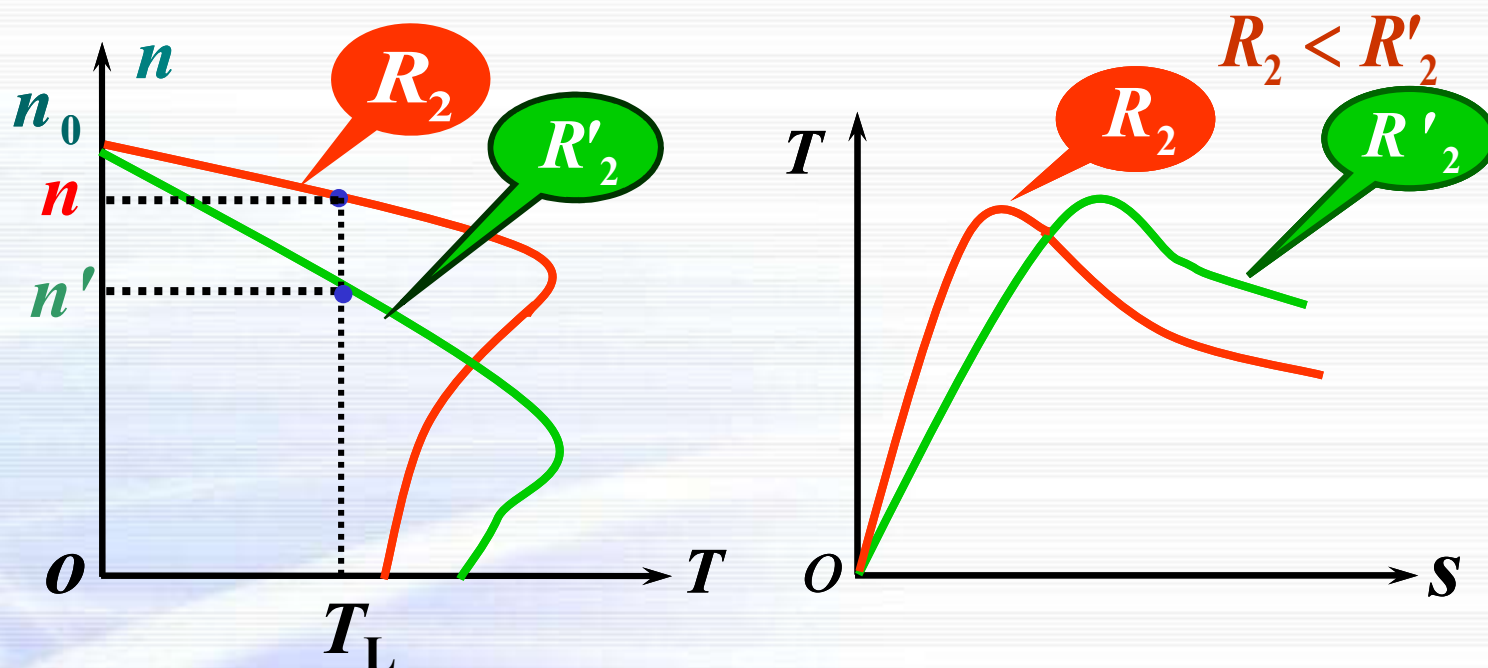
采用变极调速方法的电动机称作多速电机，由于调速时其转速呈跳跃性变化，因而只用在调速性能要求不高的场合，如铣床、镗床、磨床等机床上。

常见的多速电动机有双速、三速、四速几种。



### 7.6.3 变转差率调速 (无级调速)

在绕线型电动机的转子电路接入一个调速电阻 $R_2$ ，改变电阻的大小，在负载转矩不变时，就可得到平滑调速。



变转差率调速是绕线型电动机特有的一种调速方法。其优点是调速平滑、设备简单投资少，缺点是能耗较大。这种调速方式广泛应用于各种提升、起重设备中。