



第7章 交流电动机 III

电气工程学院 刘宇



• 填空及判断对错

1. 定子感应电势频率 $f_1 \neq$ 转子感应电势频率 f_2 ✓

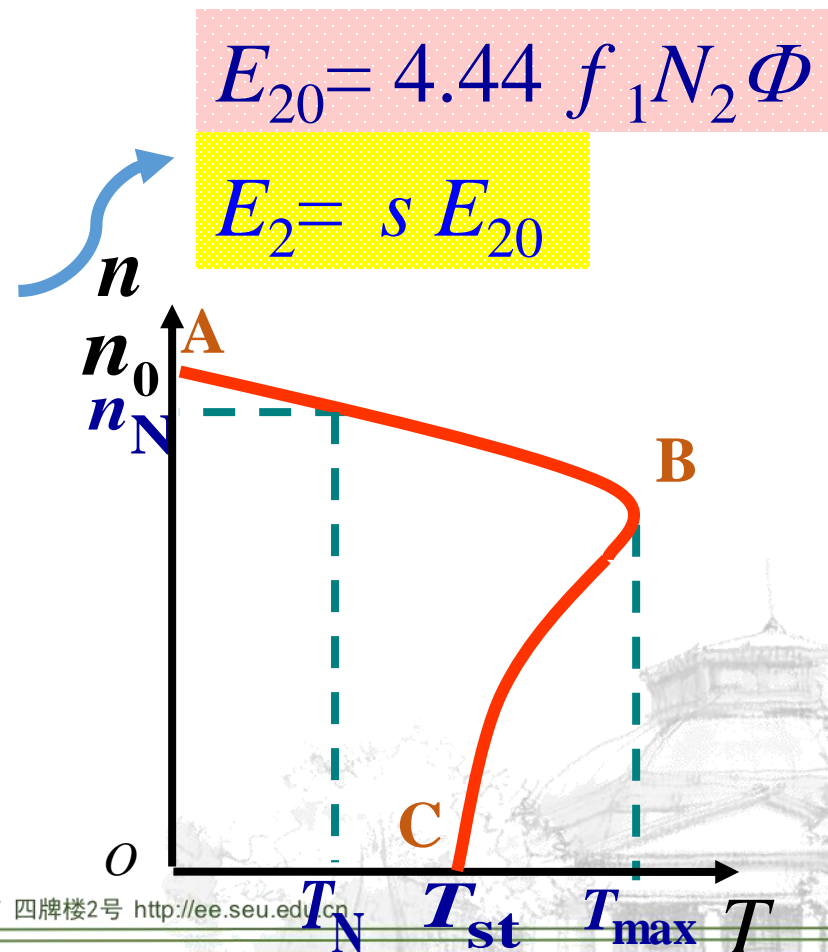
转子频率 $f_2 = s f_1$ ✓

2. 下列关系式是否正确

$$E_2 = 4.44 f_1 N_2 \Phi \quad \times$$

$$T = \frac{P}{\frac{2\pi n}{60}} = 9550 \frac{P}{n} \quad \checkmark$$

3. 机械特性曲线的稳定工作区域为？



• 提纲

- 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 三相异步电动机铭牌数据
- 7.9 三相异步电动机的选择
- 7.10 同步电动机(略)
- 7.11 单相异步电动机



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(1.0~2.2)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

二、三十千瓦以下的异步电动机一般都采用直接起动。

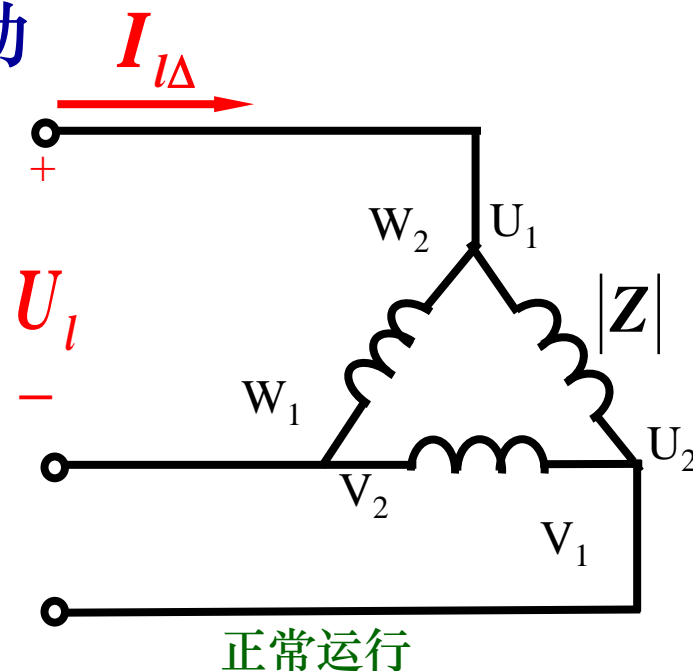
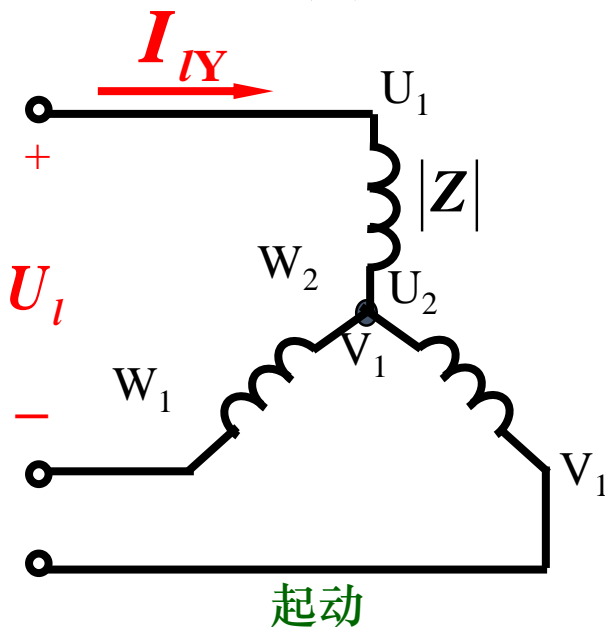
(2) 降压起动： $\left\{ \begin{array}{l} \text{星形-三角形}(Y-\Delta) \text{ 换接起动} \\ \text{自耦降压起动} \end{array} \right.$
(适用于笼型电动机)

(3) 转子串电阻起动
(适用于绕线型电动机)

以下介绍降压起动和转子串电阻起动。



1. 降压起动 (1) Y-Δ换接起动



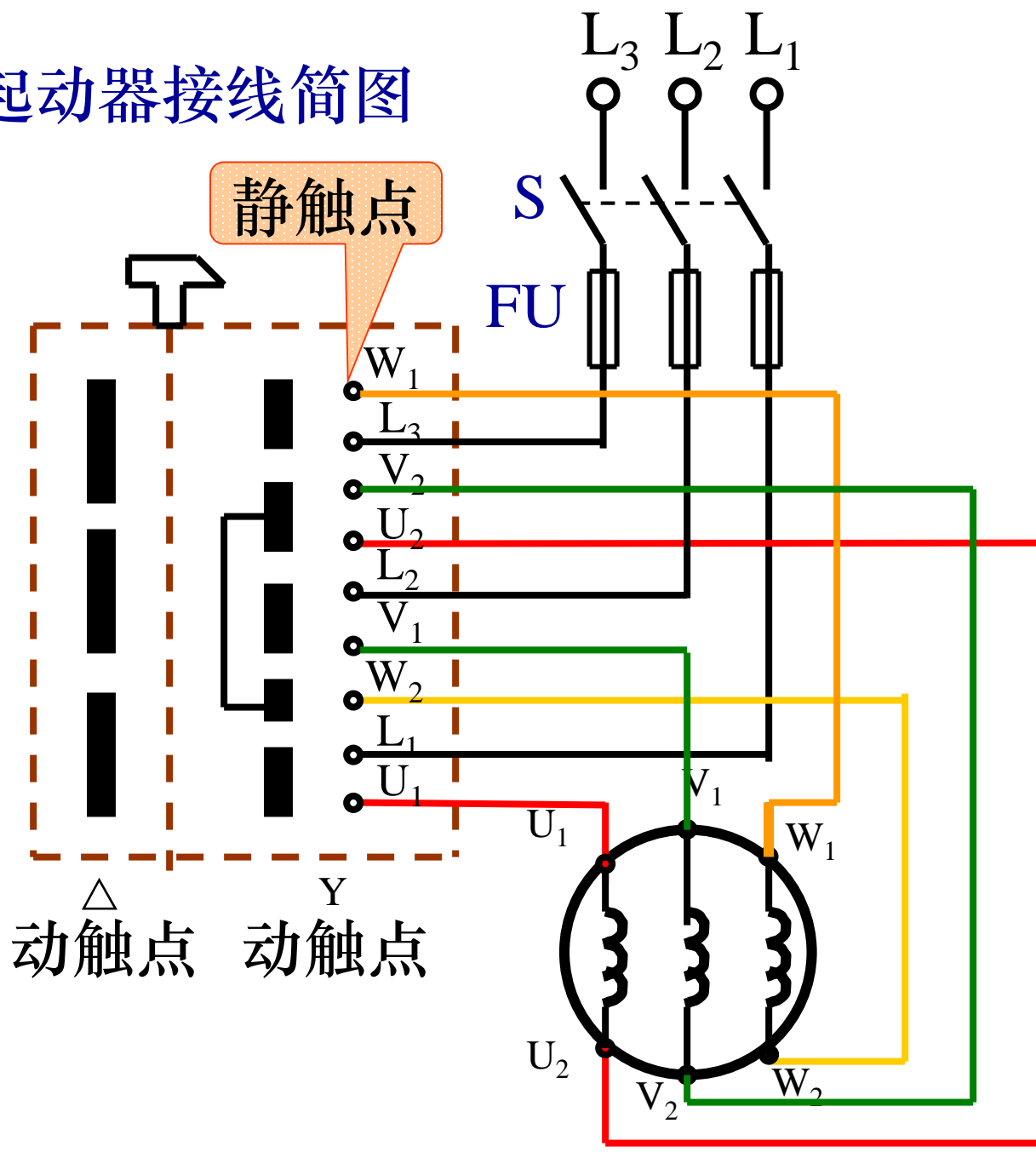
设：电机每相阻抗为 $|Z|$

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

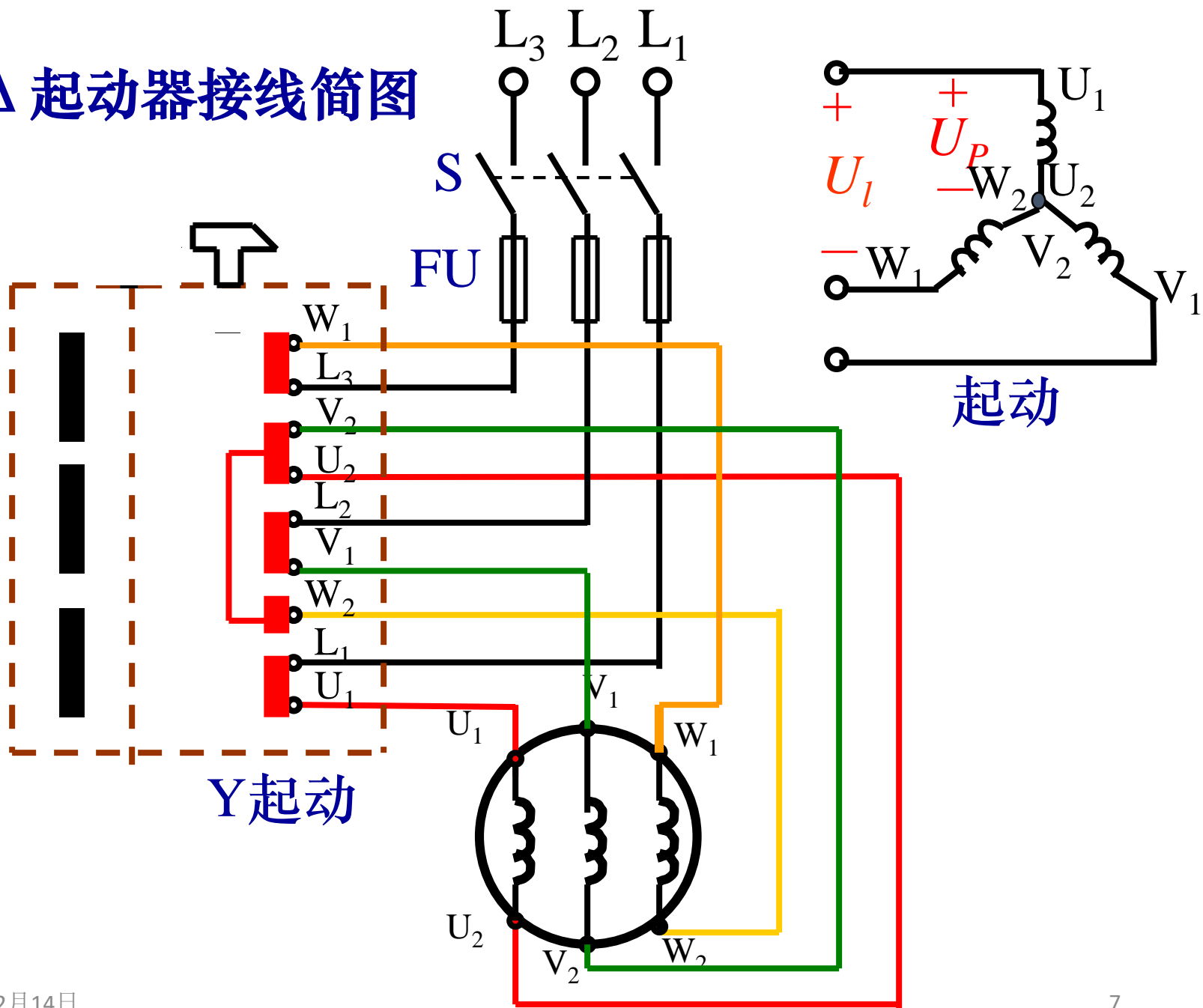
$$\frac{I_{lY}}{I_{l\Delta}} = \frac{1}{3}$$

∴ 降压起动时的电流
为直接起动时的 $\frac{1}{3}$

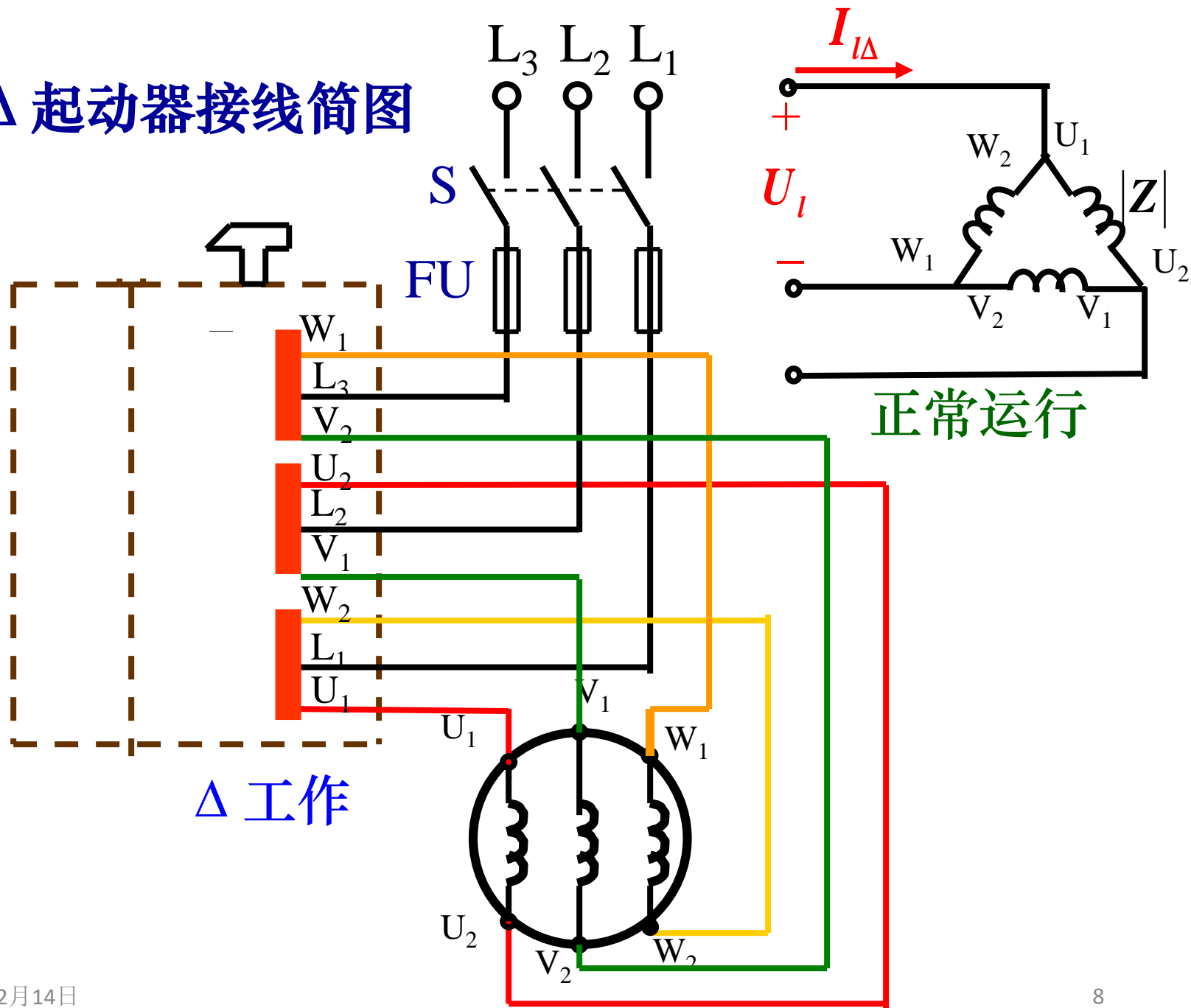
Y-Δ 起动器接线简图



Y-Δ 起动器接线简图

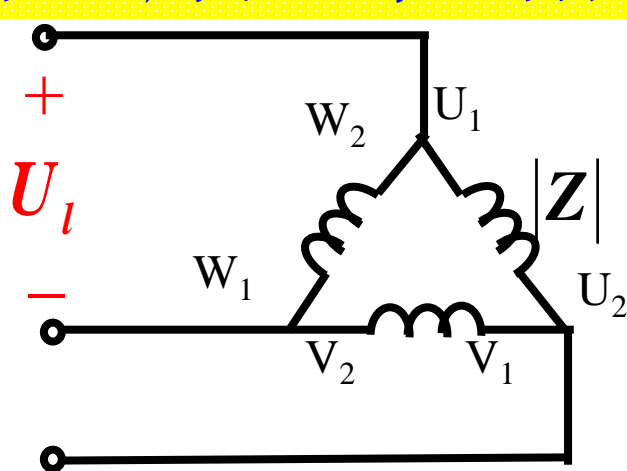


Y-Δ 起动器接线简图

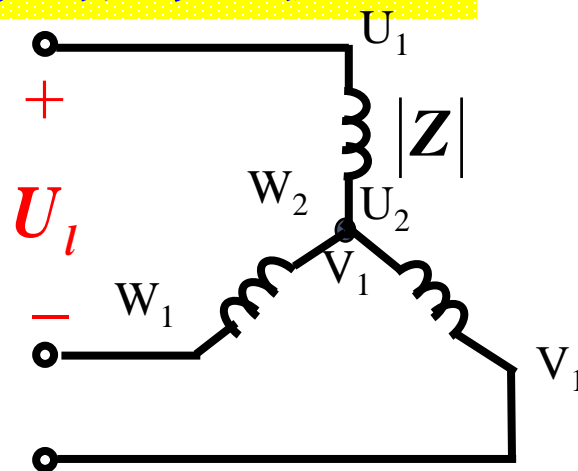


Y-Δ换接起动应注意的问题

(a) 仅适用于正常运行为三角形联结的电机。



正常运行



起动

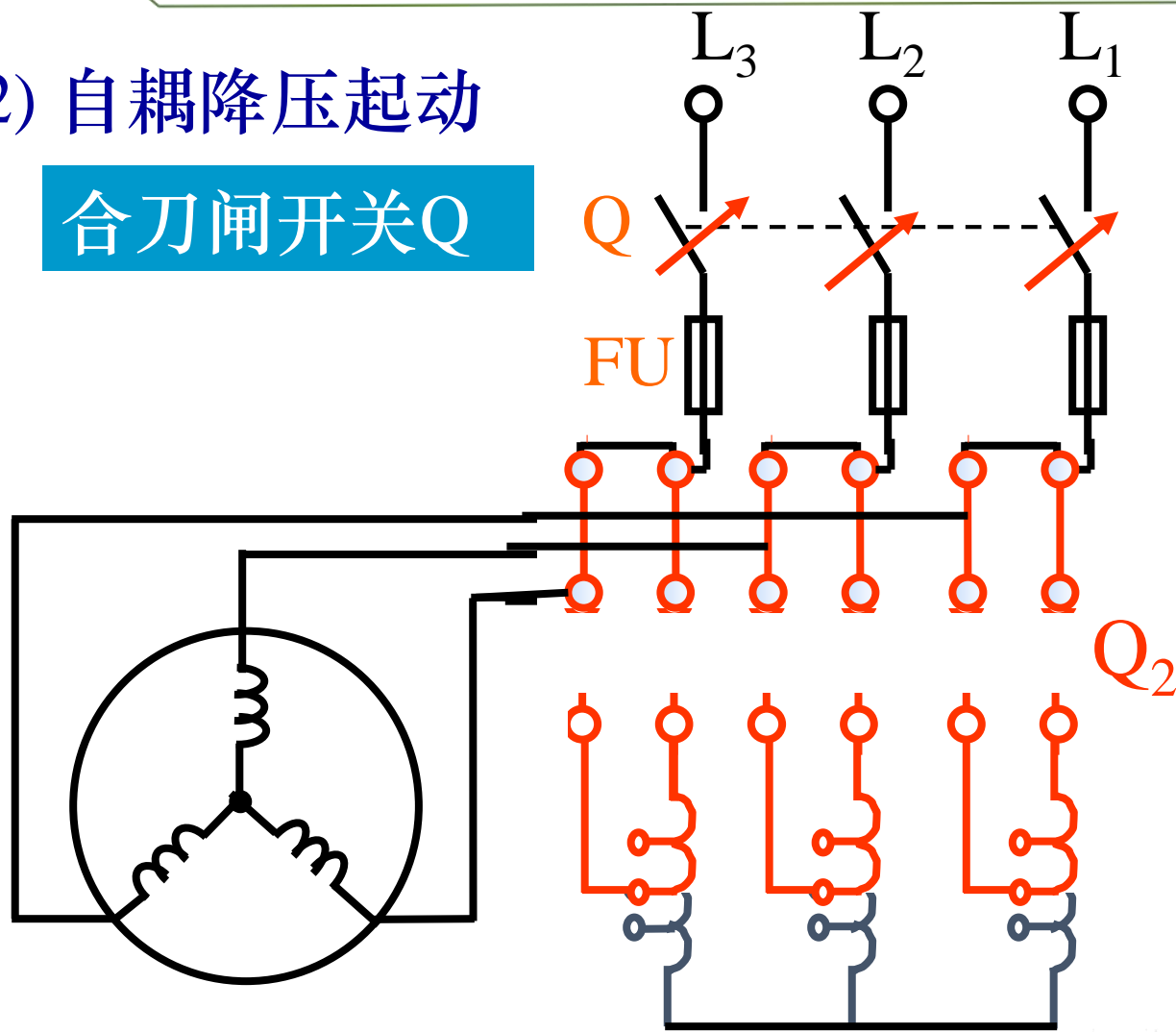
(b) Y-Δ 起动 $I_{st} \downarrow \rightarrow T_{st} \downarrow$ ($T_{st} \propto U^2$)

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

Y-Δ 换接起动适合于空载或轻载起动的场合

(2) 自耦降压起动

合刀闸开关Q

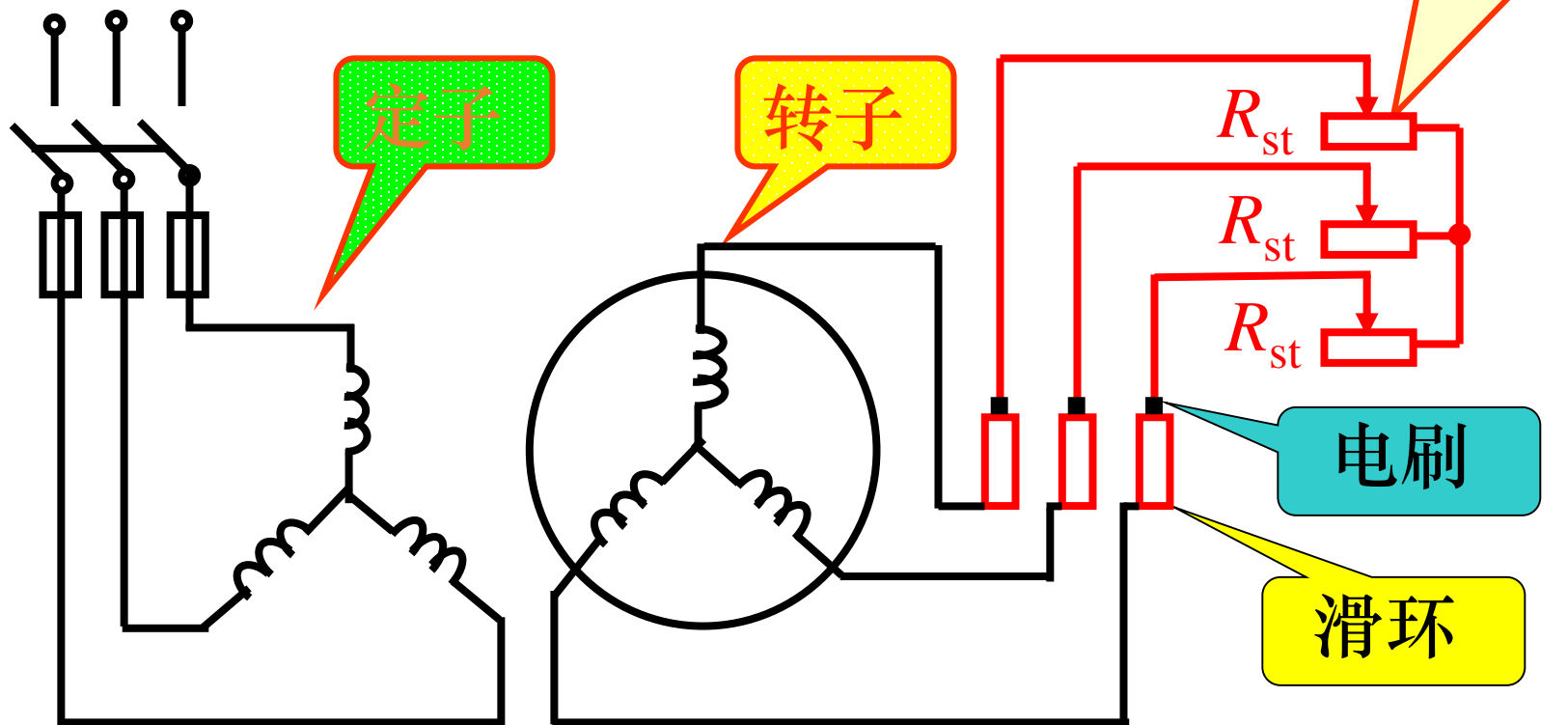


Q₂上合：
切除自耦变
压器，全压
工作。

Q₂下合：
接入自耦变
压器，降压
起动。

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

2. 绕线型电动机转子电路串电阻起动



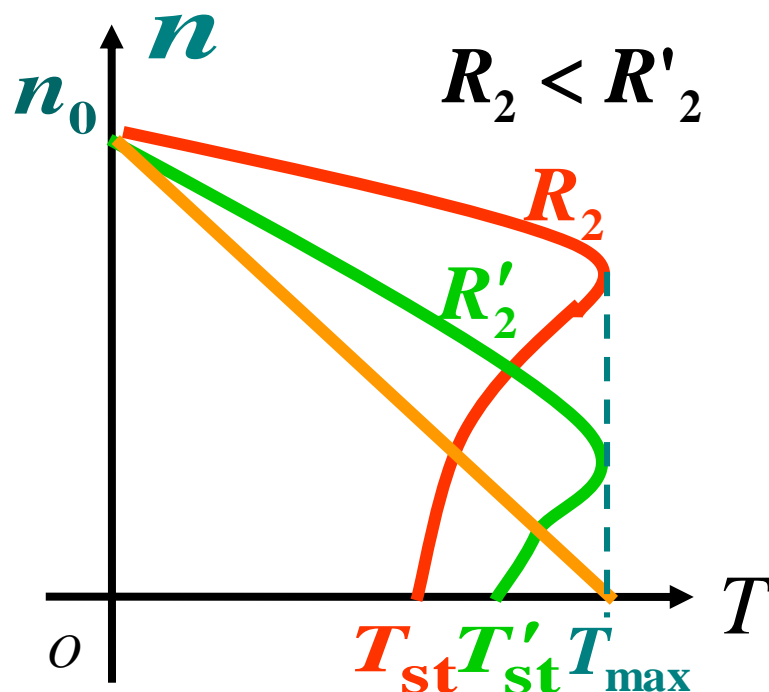
起动时将适当的 R 串入转子电路中，起动后将 R 短路。

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

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。



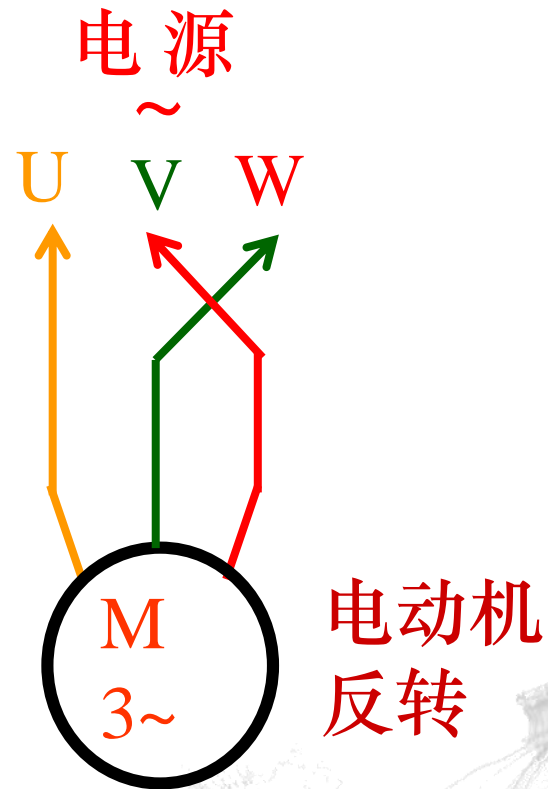
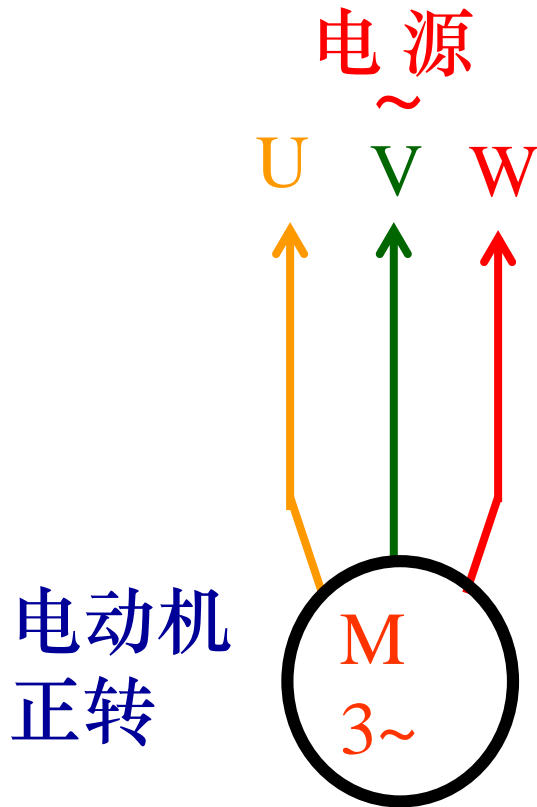
$$T_{st} = K \frac{R_2 U_1^2}{R_2^2 + X_{20}^2}$$

$$R_2 \Rightarrow T_{st}$$



三相异步电动机的正、反转

方法：任意调换电源的两根进线，电动机反转。



例1: 一台Y225M-4型的三相异步电动机，定子绕组 \triangle 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_N 。

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- Δ 换接起动时, 求起动电流和起动转矩。 又当负载转矩为起动转矩的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

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

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

$$I_{\text{stY}} = \frac{1}{3} I_{\text{st}\Delta} = \frac{1}{3} \times 589.4 = 196.5 \text{ A}$$



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

在80%额定负载时

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

在50%额定负载时

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



例3: 对例1中的电动机采用自耦变压器降压启动, 启动时加到电动机上的电压为额定电压的64%, 求这时的线路启动电流 I_{st}'' 和电动机的启动转矩 T_{st}' 。

解: 设电动机的启动电压为 U' , 电动机的启动电流为 I_{st}'

$$I_{st}' = \frac{U'}{|Z|} = \frac{0.64U_N}{|Z|} = 0.64I_{st}$$

依据变压器的一次、二次侧电压电流关系, 可求得线路启动电流 I_{st}'' 。



$$\frac{I''_{st}}{I'_{st}} = \frac{U'}{U_N} = 0.64$$

$$\begin{aligned} I''_{st} &= 0.64 I'_{st} = 0.64 \times 0.64 I_{st} = 0.64^2 I_{st} \\ &= 0.64^2 \times 589.4 = 241.4 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{又} \because T \propto U^2 \quad \therefore \frac{T'_{st}}{T_{st}} = \left(\frac{U'}{U_N} \right)^2 = 0.64^2$$

$$\begin{aligned} \therefore T'_{st} &= 0.64^2 T_{st} = 0.64^2 \times 551.8 \\ &= 226 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$



结论：采用自耦降压法起动时，若加到电动机上的电压与额定电压之比为 x ，则线路 起动电流 I_{st}'' 为

$$I_{st}'' = x^2 I_{st}$$

电动机的起动转矩 T_{st}' 为

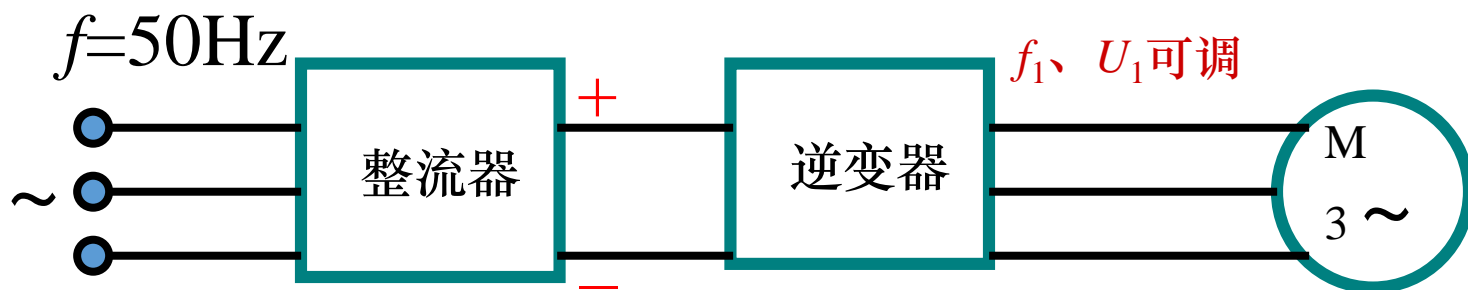
$$T_{st}' = x^2 T_{st}$$



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)



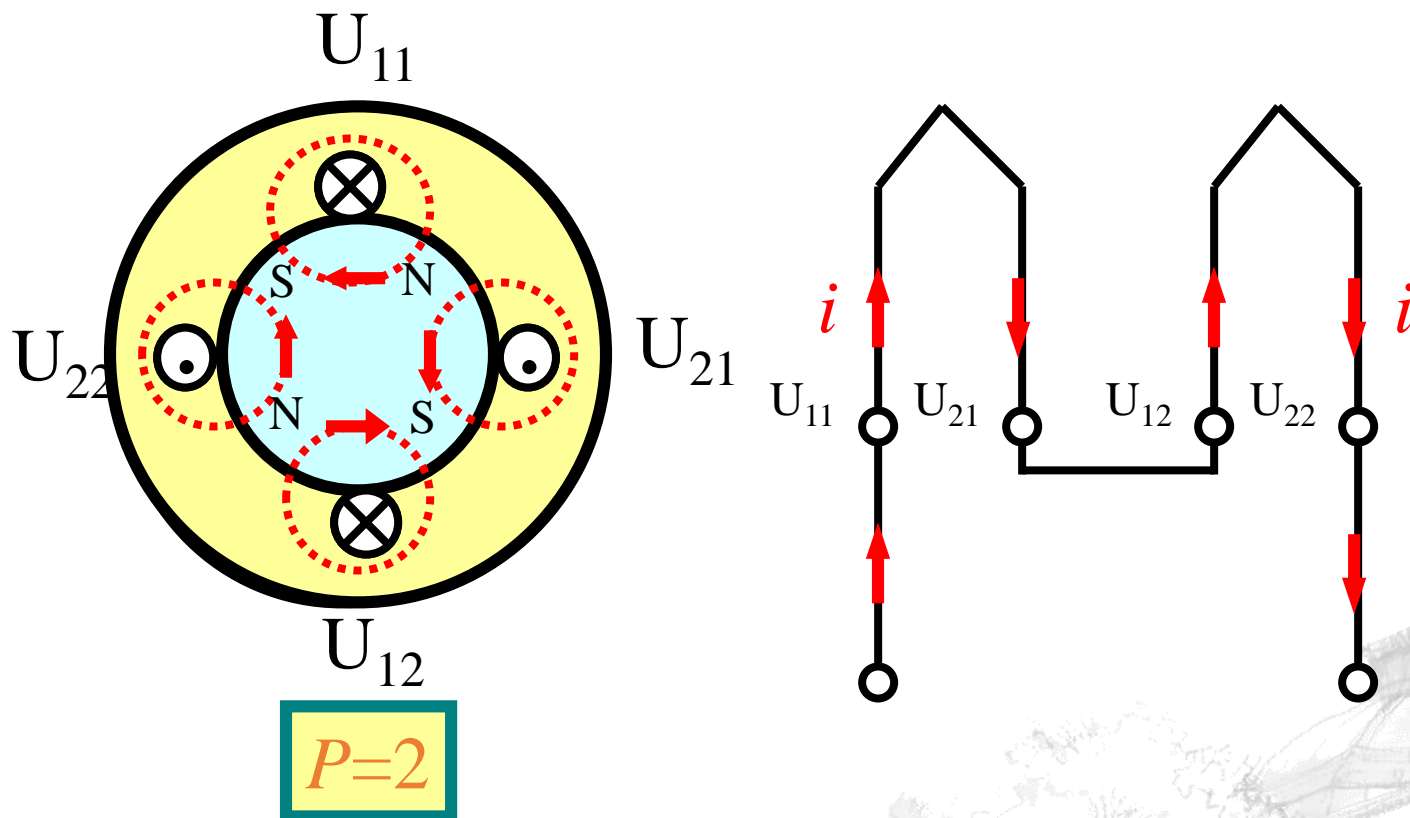
变频调速方法 { 恒转距调速 ($f_1 < f_{1N}$)
恒功率调速 ($f_1 > f_{1N}$)

频率调节范围: 0.5~几百赫兹



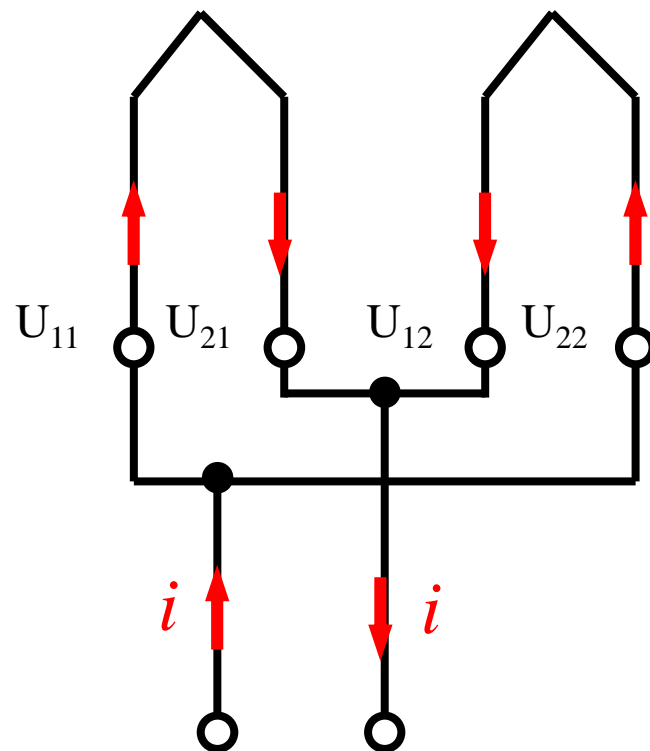
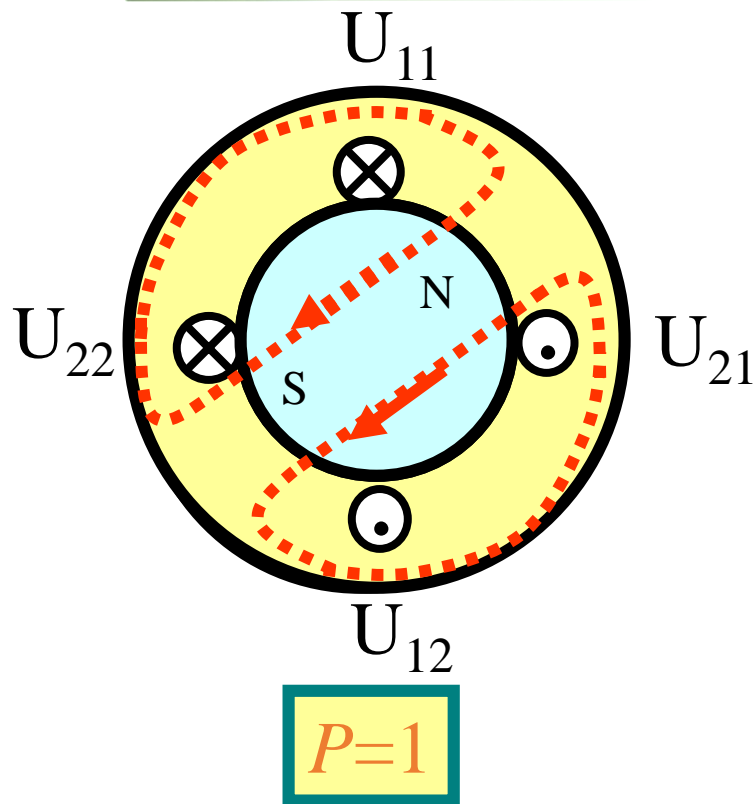
变频调速方法可实现无级平滑调速,调速性能优异,因而正获得越来越广泛的应用。

7.6.2 变极调速 (有级调速)



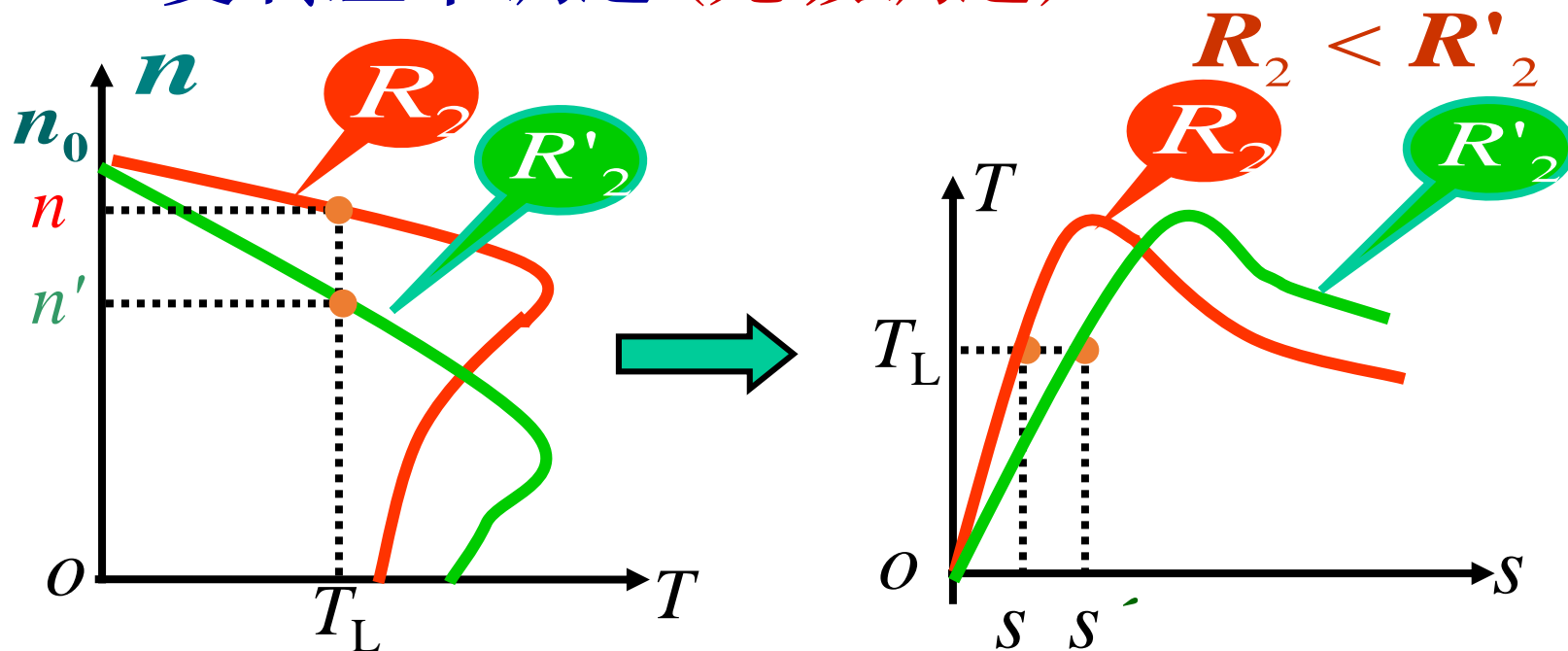
$P=2$





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

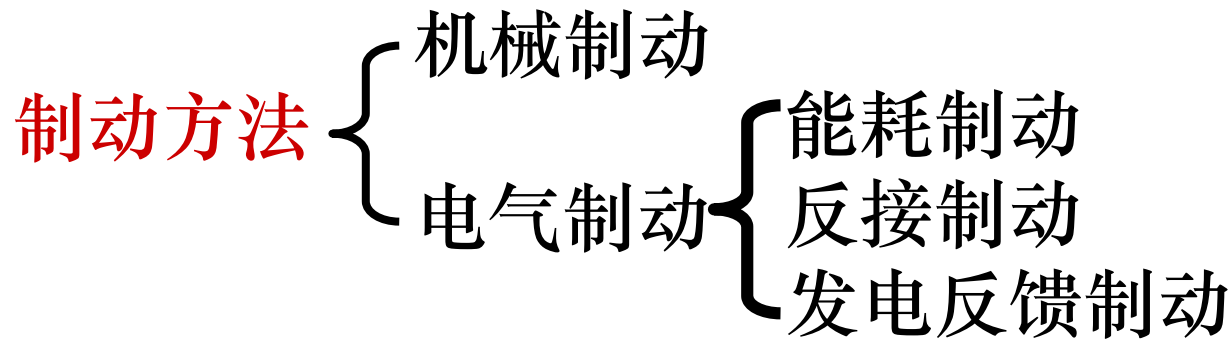
7.6.3 变转差率调速 (无级调速)



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。

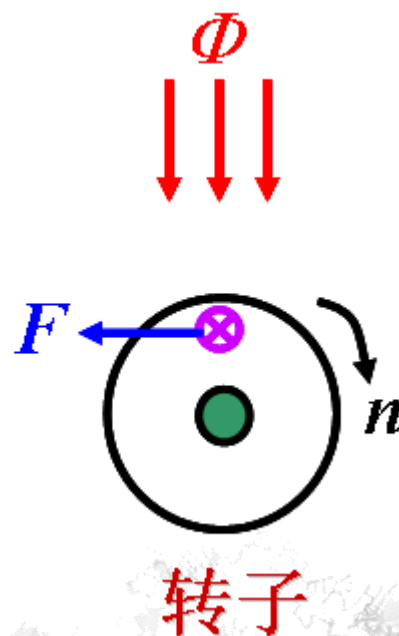
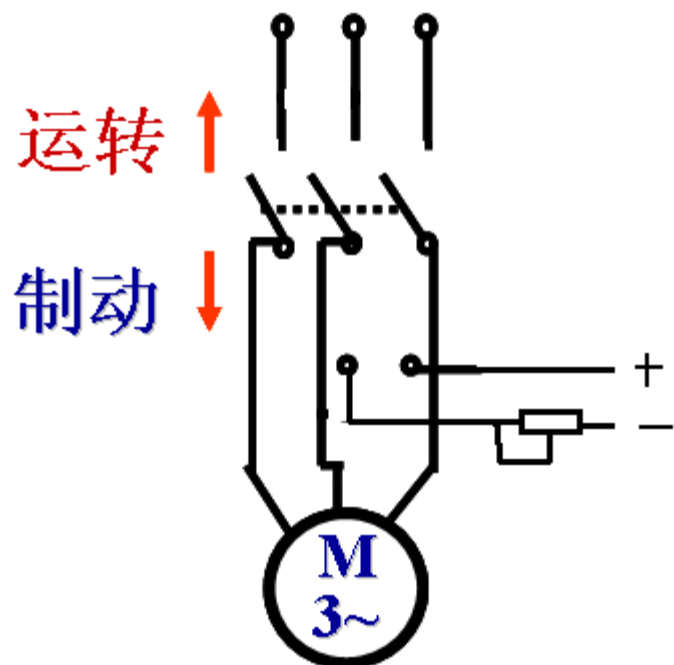


7.7 三相异步电动机的制动



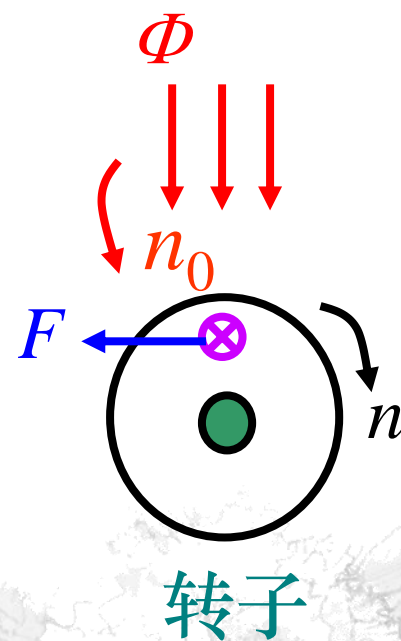
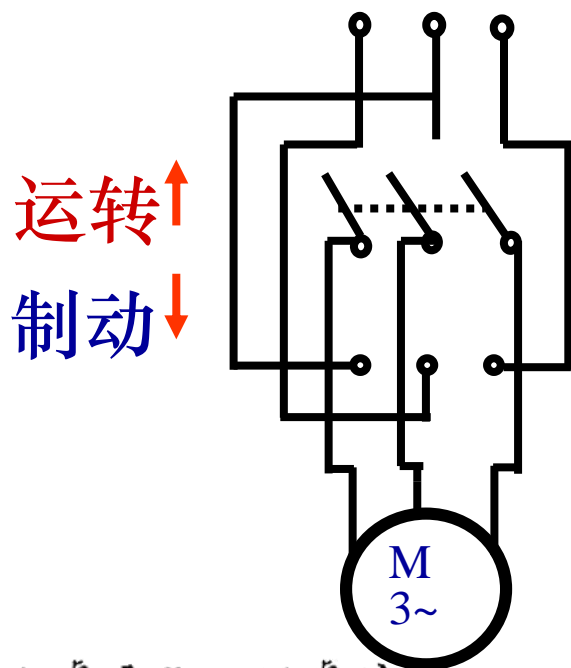
7.7.1 能耗制动

在断开三相电源的同时，给电动机其中两相绕组通入直流电流，直流电流形成的固定磁场与旋转的转子作用，产生了与转子旋转方向相反的转距（制动转距），使转子迅速停止转动。



7.7.2 反接制动

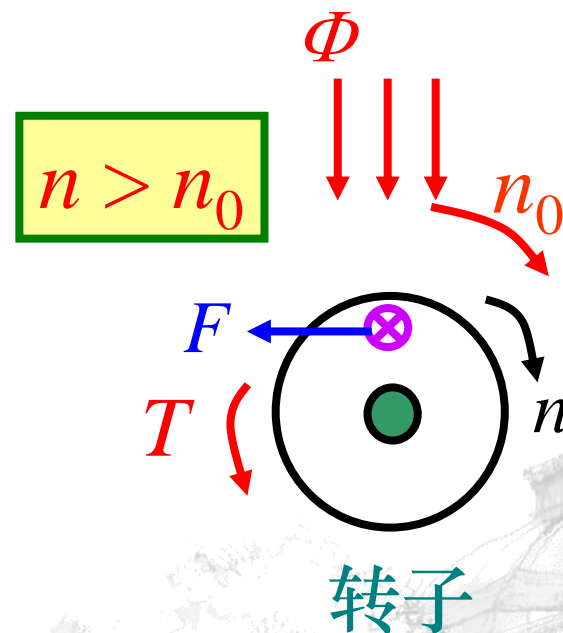
停车时，将接入电动机的三相电源线中的任意两相对调，使电动机定子产生一个与转子转动方向相反的旋转磁场，从而获得所需的制动转矩，使转子迅速停止转动。



7.7.3 发电反馈制动

当电动机转子的转速大于旋转磁场的转速时，旋转磁场产生的电磁转矩作用方向发生变化，由驱动转矩变为制动转矩。电动机进入制动状态，

同时将外力作用于转子的能量转换成电能回送给电网。



第七章-Part III 结束

Thank You!

