



第7章 交流电动机 II

电气工程学院 刘宇



• 填空及判断对错

1. 交流异步电动机的主要构造包括（ **定子** ）和（ **转子** ）两部分。各自的作用是？

2. 改变定子三相电流的相序可以实现电机反转？ **√**

3. 异步电机的同步转速可以表达为

$$n_0 = 60 f_1 \text{ (转/分)} \quad \text{X} \quad \longrightarrow \quad n_0 = \frac{60 f_1}{p} \text{ (转/分)}$$

4. 异步电机的转子转速与转差率的关系可以表示为

$$n = (1 - s) n_0 \quad \text{√}$$



• 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



7.3 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。

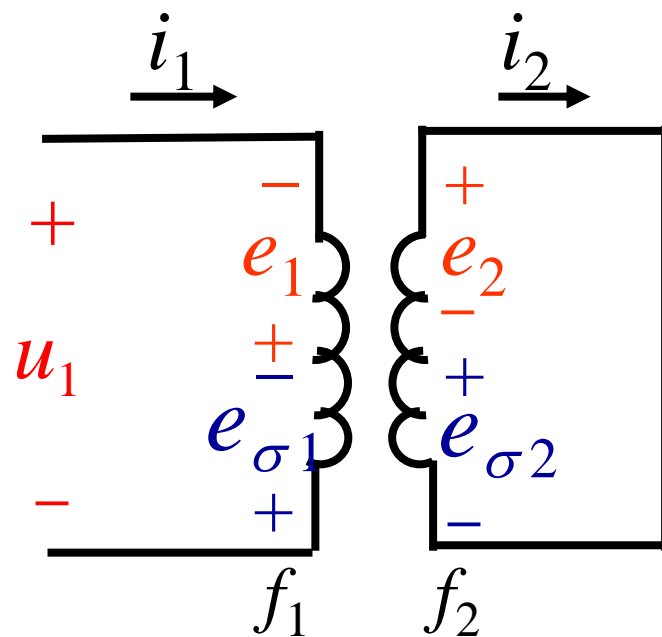
变压器： Φ 变化 $\rightarrow e$

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

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi$$

E_1 、 E_2 频率相同，都等于电源频率。

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



异步电动机每相电路

7.3.1 定子电路

1. 旋转磁场的磁通 Φ

异步电动机：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

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

$$f_1 = \text{电源频率 } f$$



7.3.2 转子电路

1. 转子感应电势频率 f_2

∵ 定子导体与旋转磁场间的相对速度固定，而转子导体与旋转磁场间的相对速度随转子的转速不同而变化

∴ 旋转磁场切割定子导体和转子导体的速度不同

∴ 定子感应电势频率 $f_1 \neq$ 转子感应电势频率 f_2

转子感应电势频率 f_2

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



2. 转子感应电动势 E_2

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

当转速 $n = 0 (s=1)$ 时, f_2 最高, 且 E_2 最大, 有

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

转子静止时的感应电势

$$\text{即 } E_2 = s E_{20}$$

转子转动时的感应电势

3. 转子感抗 X_2

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

当转速 $n = 0 (s=1)$ 时, f_2 最高, 且 X_2 最大, 有

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

$$\text{即 } X_2 = s X_{20}$$



4. 转子电流 I_2 转子绕组的感应电流

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

$$= \frac{sE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}}$$

$$\begin{cases} s = 0 \rightarrow I_2 = 0 \quad (n = n_0) \\ s = 1 \rightarrow I_{2\max} = \frac{E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + X_{20}^2}} \end{cases}$$

5. 转子电路的功率因数 $\cos \psi_2$

$$\cos \psi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$$

$$= \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}}$$

$$\begin{cases} s \text{ 很小时 } R_2 \gg sX_{20} \\ \cos \psi_2 \approx 1 \\ s \text{ 较大时 } R_2 \ll sX_{20} \\ \cos \psi_2 \propto \frac{1}{s} \end{cases}$$



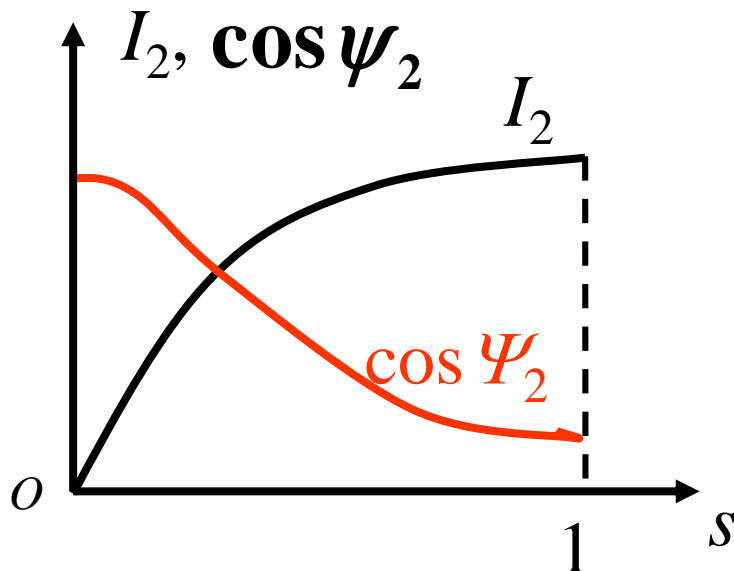
I_2 、 $\cos\psi_2$ 随 s 变化曲线

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。



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：

$$\begin{cases} I_2 = \frac{sE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \\ \cos \psi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \\ U_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi_m \end{cases}$$

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

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

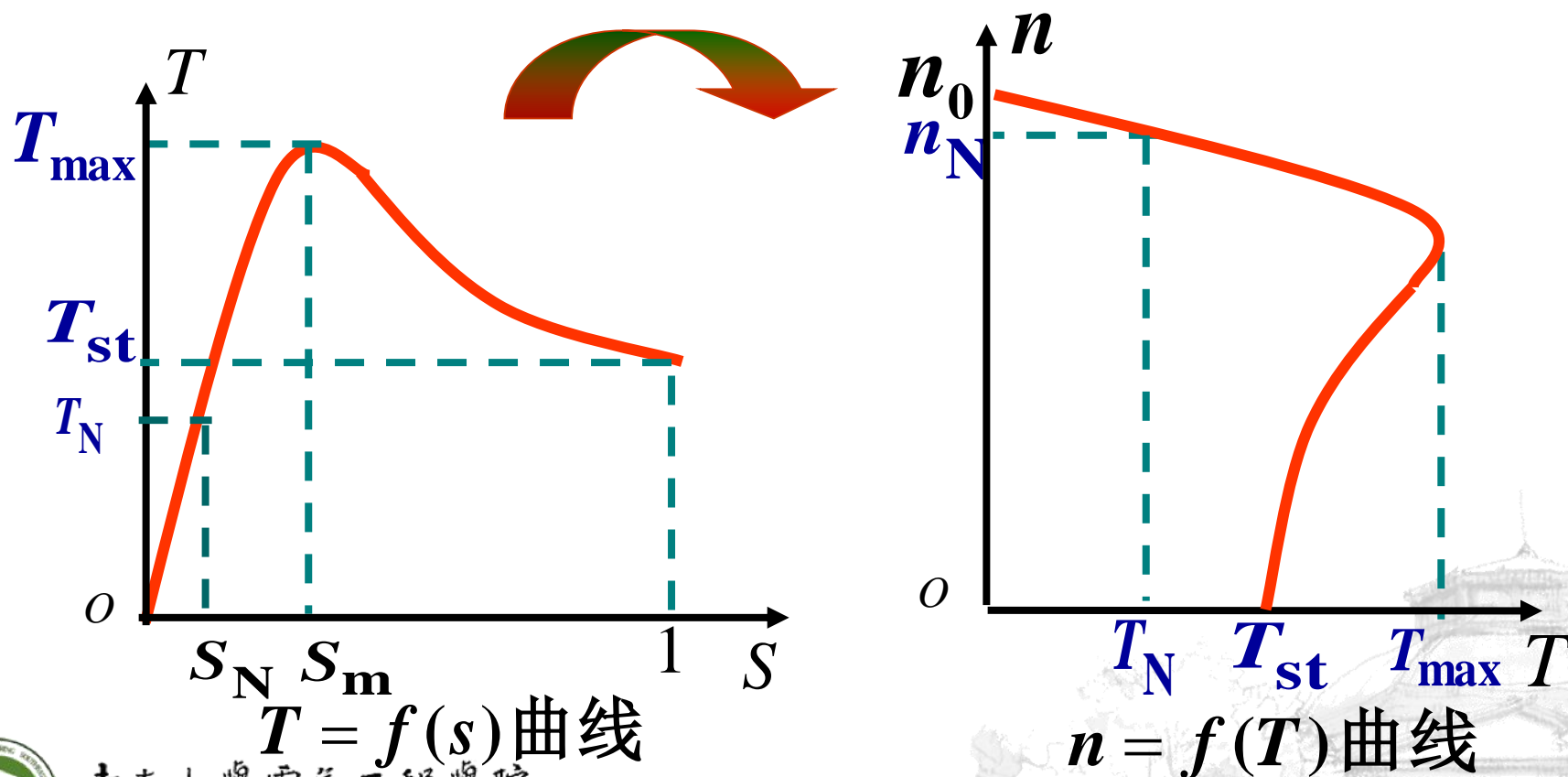
由公式可知

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. 当电源电压 U_1 一定时， T 是 s 的函数。
3. 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。



7.4.2 机械特性曲线

根据转矩公式 $T = K \frac{sR_2 U_1^2}{R_2^2 + (sX_{20})^2}$
得特性曲线：



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。

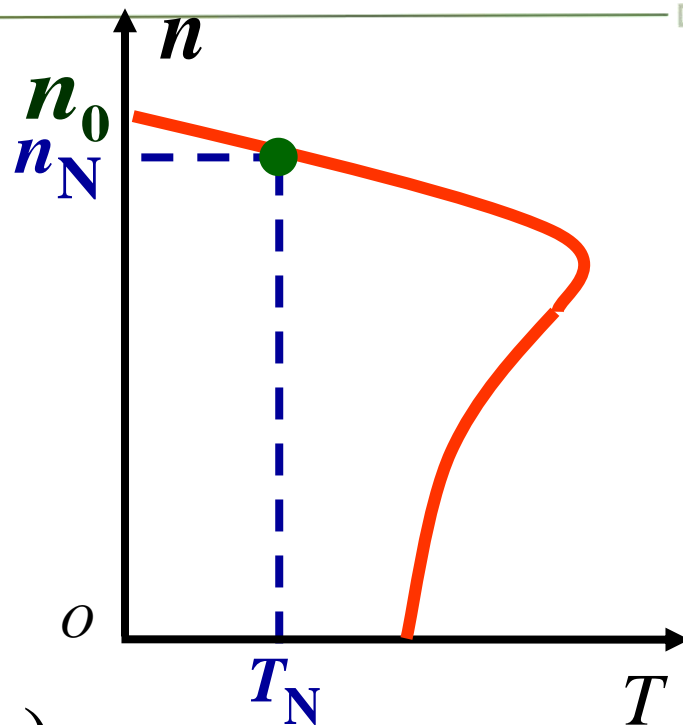
$$T = \frac{P}{\frac{2\pi n}{60}} = 9550 \frac{P}{n}$$

额定转矩

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

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

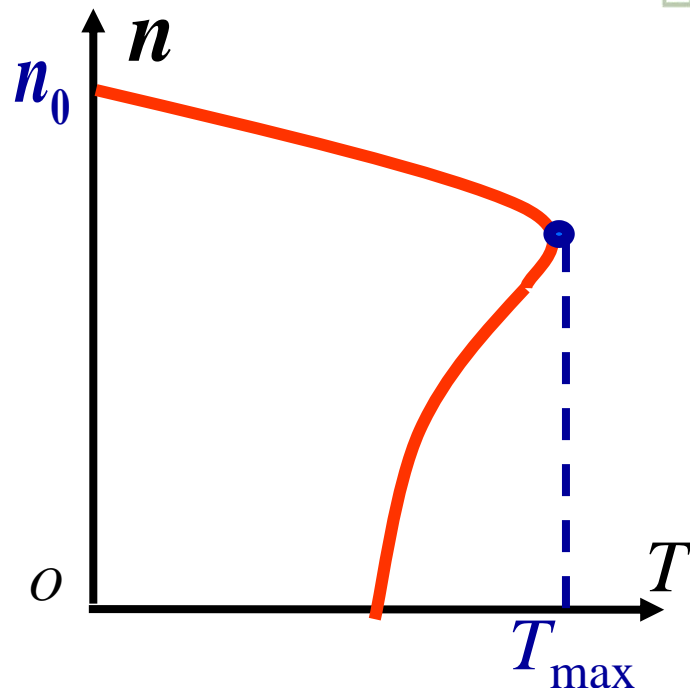
$$S = S_m = \frac{R_2}{X_{20}}$$

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, $R_2 \uparrow \rightarrow s_m \uparrow \rightarrow n \downarrow$ 。绕线型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。

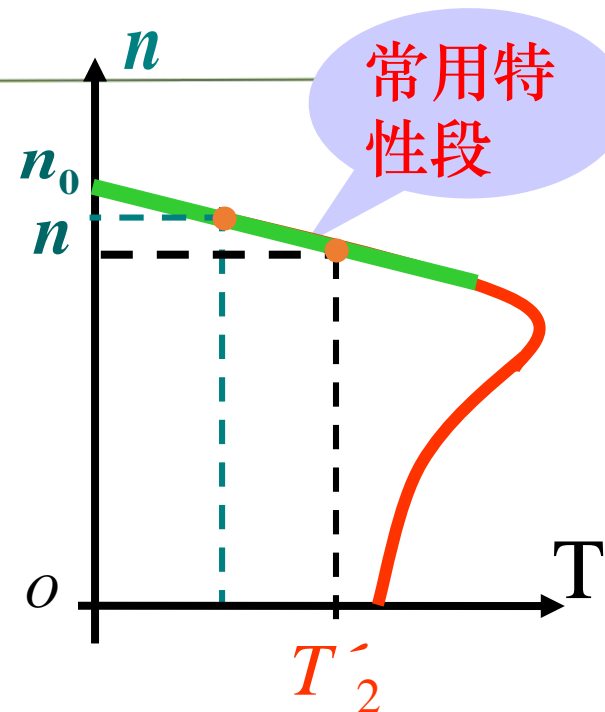


4. 电动机的运行分析

$$T_2 \text{ 大} \xrightarrow{T_2 > T} n \downarrow \rightarrow s \uparrow \rightarrow T \uparrow$$

达到新的平衡 $T = T_2$

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



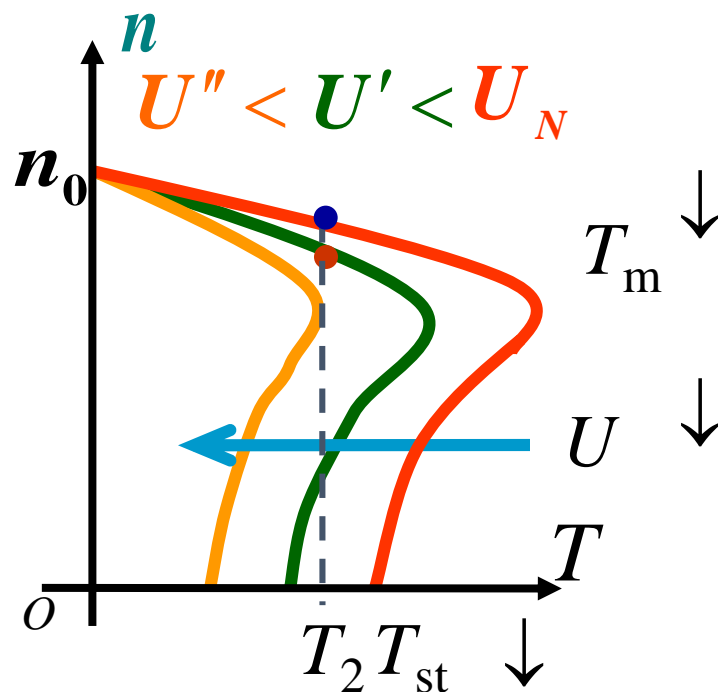
电动机的电磁转矩可以随负载的变化而自动调整, 这种能力称为自适应负载能力。

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



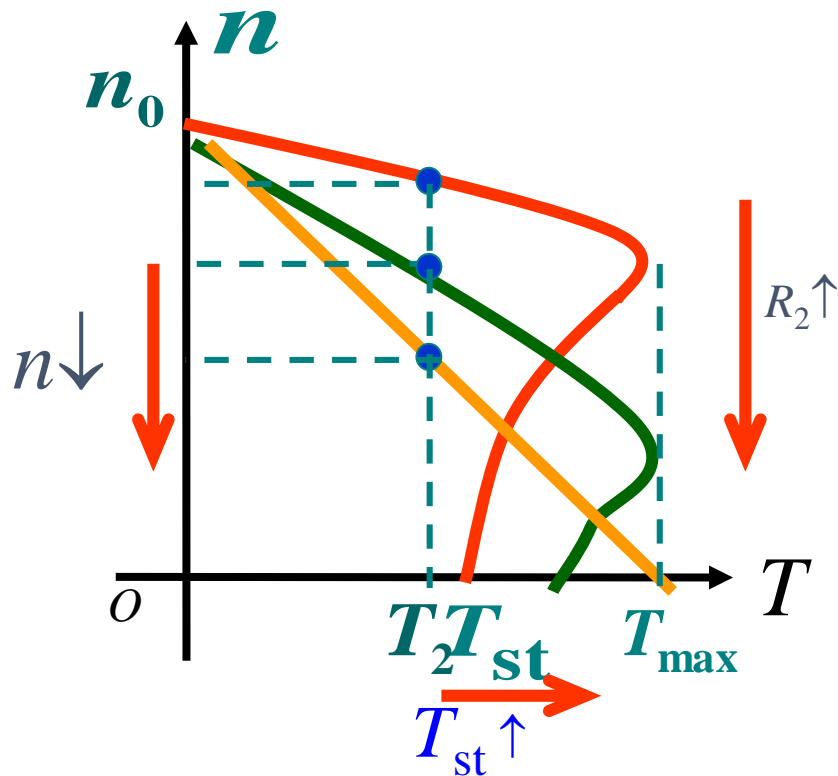
$$s_m = \frac{R_2}{X_{20}}$$

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

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



(2) R_2 变化对机械特性的影响



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

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

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

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。



结论：

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



7—(P256-4.1, 4.2, 4.6,
P257-4.11)



第七章-Part II

结束

Thank You!

