



第五章

感应电机的稳态分析

5.1 感应电机的
结构和运行状态

5.2 三相感应
电动机的磁动
势和磁场

5.3 三相感
应电动机的电
压方程和等效
电路

5.4 感应电
动机的功率方
程和转矩方程

5.5 感应
电动机参数
的测定

5.6 感应电机
的转矩—转差率曲线

5.8 感应电动机的工作特性

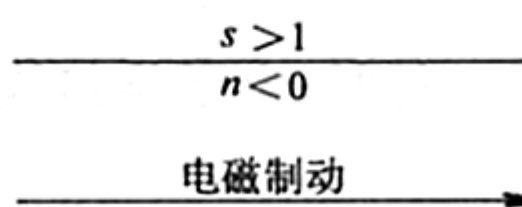
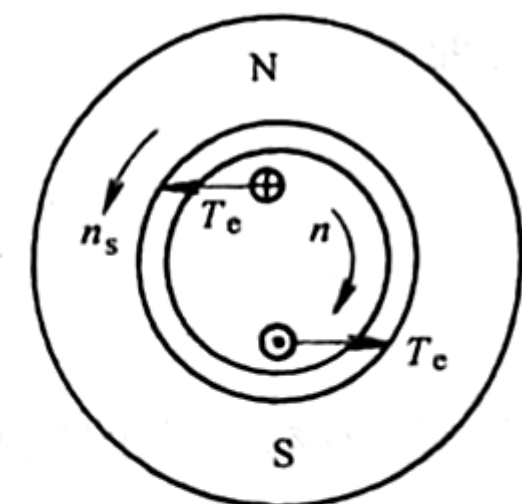


- 本章主要研究定、转子间靠电磁感应作用，在转子的内感应电流以实现电动机能量转换的感应电动机。感应电动机一般都用作电动机，在少数场合说下，亦有用作发电机的。本章先说三相感应电动机内磁势和磁场，然后导出感应电动机的基本方程和等效电路，接着分析它的运行特性和起动，调速问题。

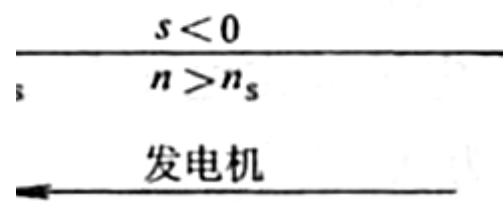
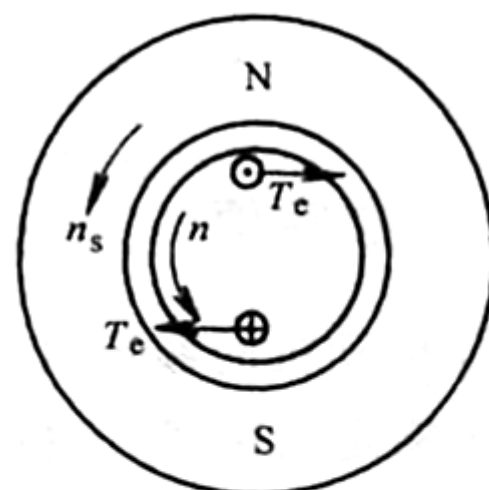
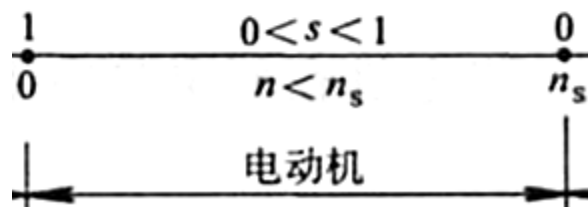
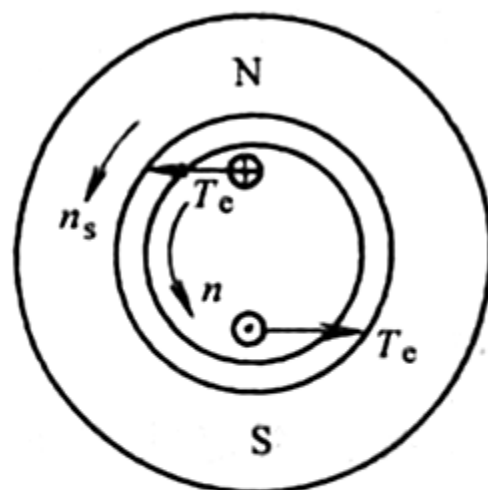
5.1 感应电机的结构和运行状态

一、感应电机的结构





c)



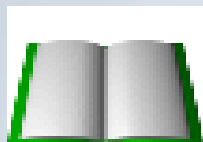
b)

二、感应电机的运行状态

- 旋转磁场的转速 n_s 与转子转速 n 之差称为转差。转差 Δn 与同步转速 n_s 的比值称为转差率，用 s 表示，即：

$$s = (n_s - n) / n_s$$

- 转差率是表征感应电机运行状态的一个基本变量。按照转差率的正负和大小，感应电机有电动机、发电机和电磁制动三种运行状态，



例题

三、额定值

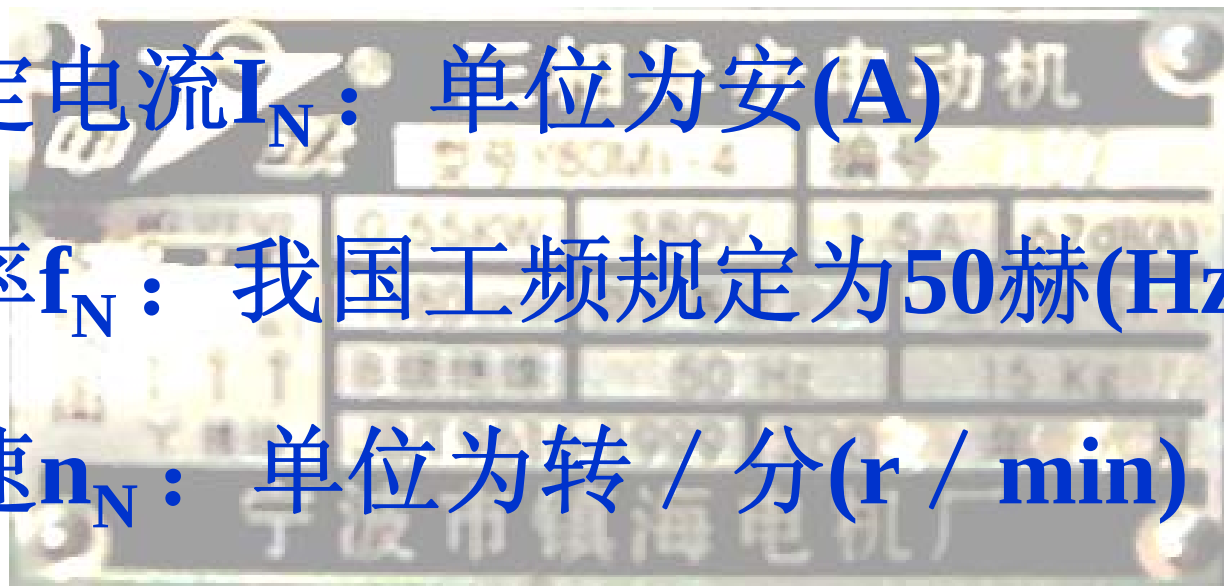
➡ 额定功率 P_N ：单位为千瓦(kw)

➡ 定子额定电压 U_N ：单位为伏(v)

➡ 定子额定电流 I_N ：单位为安(A)

➡ 额定频率 f_N ：我国工频规定为50赫(Hz)

➡ 额定转速 n_N ：单位为转 / 分(r / min)



5.2 三相感应电动机的磁动势和磁场

一、空载运行时的磁动势和磁场

- **空载运行时的磁动势** 空载运行时。定子磁动势基本上就是产生气隙主磁场的激磁磁动势，空载时的定子电流就近似等于激磁电流。计及铁心损耗时，磁场在空间滞后于磁动势以铁心损耗角，如图5-6所示。

主磁通和激磁阻抗

- 气隙中的主磁场以同步转速旋转时，主磁通中 Φ_m 将在定子每相绕组中感生电动势 E_1

$$\dot{E}_1 = -j4.44 f_1 N_1 \dot{\Phi}_1 k_{w1}$$

- 主磁通是通过气隙并同时与定、转子绕组相交链的磁通，它经过的磁路(称为主磁路)包括气隙、定子齿、定子轭、转子齿、转子轭等五部分。如图5-7所示。若主磁路的磁化曲线用一条线性化的磁化曲线来代替，则主磁通将与激磁电流成正比；于是可认为 E_1 与 I_m 之间具有下列关系：

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

定子漏磁通和漏抗

- 定子漏磁通又可分为槽漏磁、端部漏磁和谐波漏磁等三部分，**图5-8a**和**b**分别示出了槽漏磁和端部漏磁的示意图。定子漏磁通 $\Phi_{1\sigma}$ 将在定子绕组中感应漏磁电动势 $\mathbf{E}_{1\sigma}$ 。把 $\mathbf{E}_{1\sigma}$ 作为负漏抗压降来处理，可得

$$\dot{E}_{1\sigma} = -j \dot{I}_1 X_{1\sigma}$$

$$X_{1\sigma} = 2\pi f_1 L_{1\sigma} = 2\pi f_1 N_1^2 \Lambda_{1\sigma}$$

二、负载运行时的转子磁动势和磁动势方程

转子磁动势 当电动机带上负载时，转子感应电动势和电流的频率 f_2 应为

$$f_2 = \frac{p(n_s - n)}{60} = \frac{pn_s}{60} \frac{n_s - n}{n_s} = sf_1$$

转子电流产生的旋转磁动势 F_2 相对于转子的转速为 n ：

$$n_2 = \frac{60 f_2}{p} = \frac{60 s f_1}{p} = s n_s = \Delta n$$

而转子本身又以转速 n 在旋转，因此从定子侧观察时， F_2 在空间的转速应为

$$\Delta n + n = (n_s - n) + n = n_s$$

定子和转子磁动势之间的速度关系，如图5-9所示。图5-10表示三相绕线型转子的转子磁动势的空间相位。

- **转子反应** 负载时转子磁动势的基波对气隙磁场的影响，称为转子反应. 转子反应有两个作用：其一是使气隙磁场的大小和空间相位发生变化，从而引起定子感应电动势和定子电流发生变化。

$$I_1 = I_m + I_{1L}$$

$$F_{1L} = -F_2$$

转子磁动势的另一个作用是，它与主磁场相互作用，产生所需要的电磁转矩，以带动轴上的机械负载. 这两个作用合在一起，体现了通过电磁感应作用，实现机电能量转换的机理。

- 负载时的磁动势方程 负载时，定子磁动势 F_1 ，可以分成两部分：一部分是产生主磁通的激磁磁动势 F_m ，另一部分是抵消转子磁动势的负载分量 $-F_2$ ，即

$$F_1 + F_2 = F_m$$

负载时电动机的激磁磁动势是定、转子绕组的合成磁动势。上式亦可以改写为

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_m \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_2}{k_i} \quad k_i = \frac{m_1 N_1 k_{w1}}{m_2 N_2 k_{w2}}$$

图5-11示出了负载时定、转子磁动势间的关系，以及定子电流与激磁电流和转于电流的关系。

5.3 三相感应电动机的电压方程和等效电路

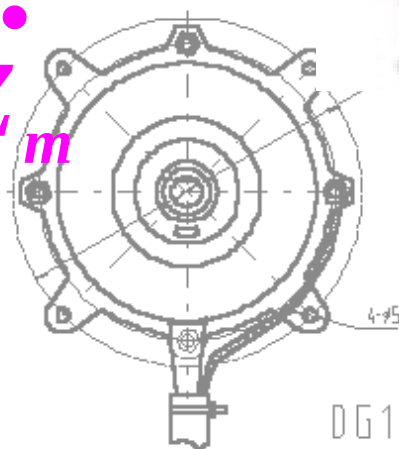
一、电压方程

• 定子电压方程

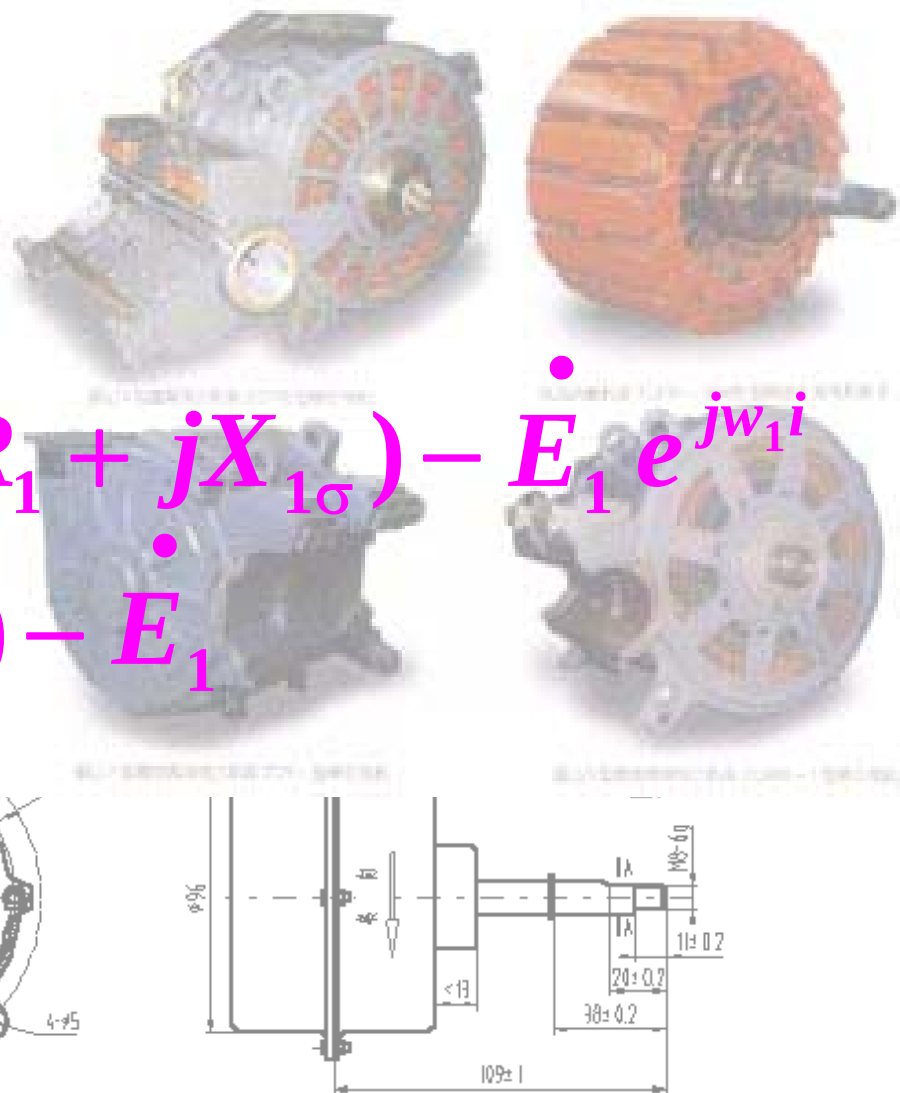
$$\dot{U}_1 e^{j\omega_1 t} = \dot{I}_1 e^{j\omega_1 t} (R_1 + jX_{1\sigma}) - \dot{E}_1 e^{j\omega_1 t}$$

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (R_1 + jX_{1\sigma}) - \dot{E}_1$$

$$\dot{E}_1 = -\dot{I}_m \dot{Z}_m$$



DG13-11 外形图



- 转子电压方程

$$E_{2s} = 4.44sf_1N_2k_{w2}\Phi_m$$

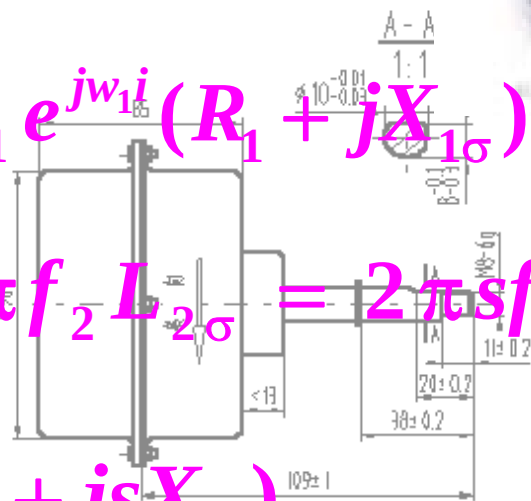
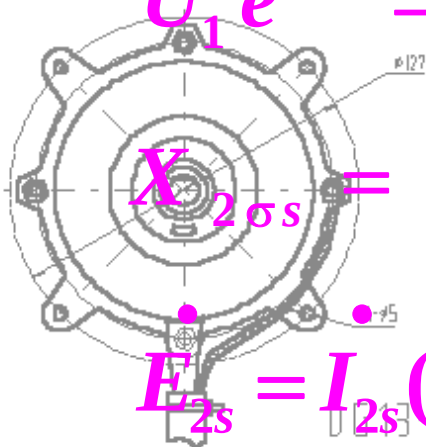
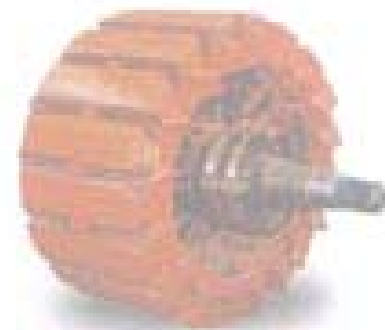
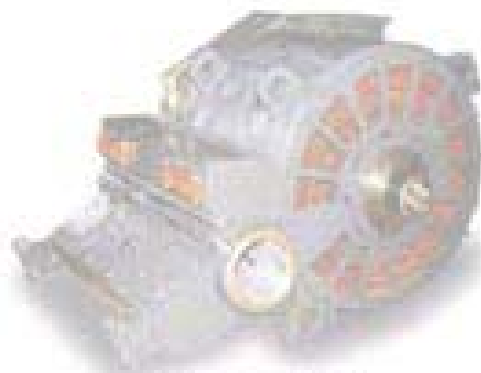
$$E_2 = 4.44f_1N_2k_{w2}\Phi_m$$

$$E_{2s} = sE_2$$

$$\dot{U}_1 e^{j\omega_1 i} = \dot{I}_1 e^{j\omega_1 i} (R_1 + jX_{1\sigma}) - \dot{E}_1 e^{j\omega_1 i}$$

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

$$E_{2s} = I_2 (R_2 + jsX_{2\sigma})$$



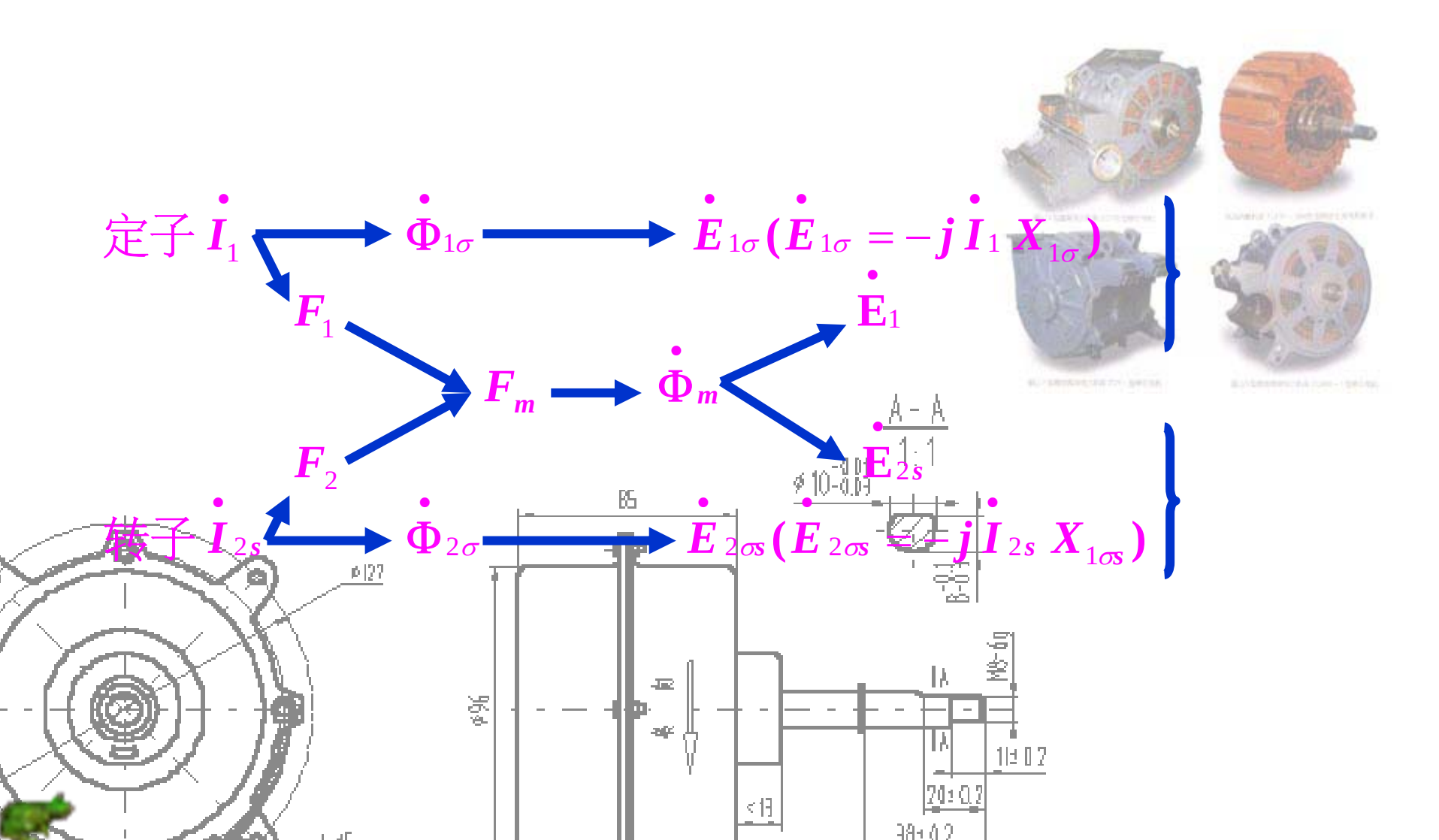


图5-12表示电压方程相应的定、转子的耦合电路图

二、等效电路

频率归算

$$\dot{E}_2 e^{j\omega_1 t} = \dot{I}_2 e^{j\omega_1 t} \left(\frac{R_2}{s} + jX_{2\sigma} \right)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 \left(\frac{R_2}{s} + jX_{2\sigma} \right)$$



图5-13表示频率归算后，感应电动机定、转子的等效电路图；图中定子和转子的频率均为 f_1 ，转子电路中出现了一个表征机械负载的等效电阻。

绕组归算

$$\frac{m_1}{2} 0.9 \frac{N_1 k_{w1} \dot{I}_2'}{p} = \frac{m_2}{2} 0.9 \frac{N_2 k_{w2} \dot{I}_2'}{p}$$

$$\dot{I}_2' = \frac{m_2 N_2 k_{w2}}{m_1 N_1 k_{w1}} \dot{I}_2 = \frac{\dot{I}_2}{k_i}$$

$$\dot{E}_2' = \frac{N_1 k_{w1}}{N_2 k_{w2}} \dot{E}_2 = k_e \dot{E}_2$$

$$m_2 \dot{E}_2 \dot{I}_2 = m_1 \dot{E}_2' \dot{I}_2'$$

$$m_2 \dot{I}_2^2 R_2 = m_1 \dot{I}_2'^2 R_2' \quad \frac{1}{2} m_2 \dot{I}_2^2 X_{2\sigma} = \frac{1}{2} m_1 \dot{I}_2'^2 X_{2\sigma}'$$

图5-14表示频率和绕组归算后定、转子的耦合电路图。

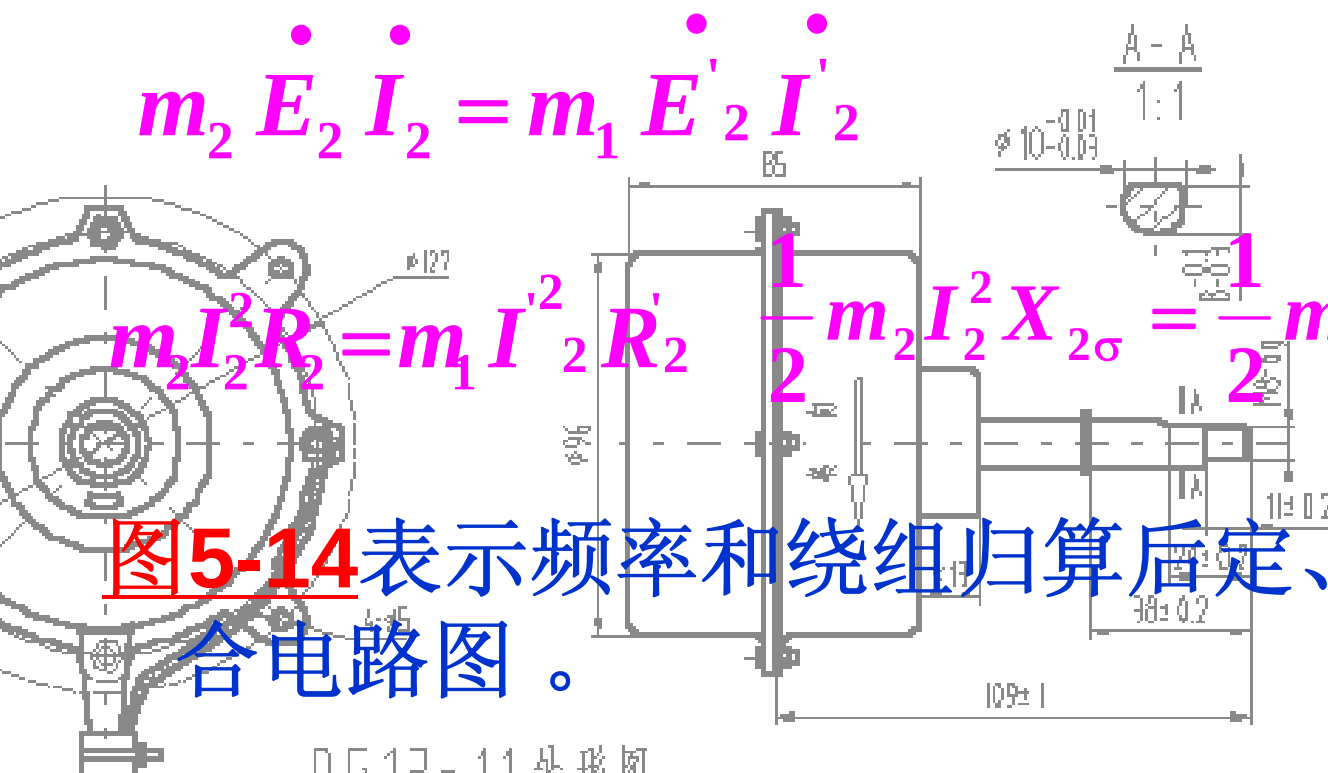
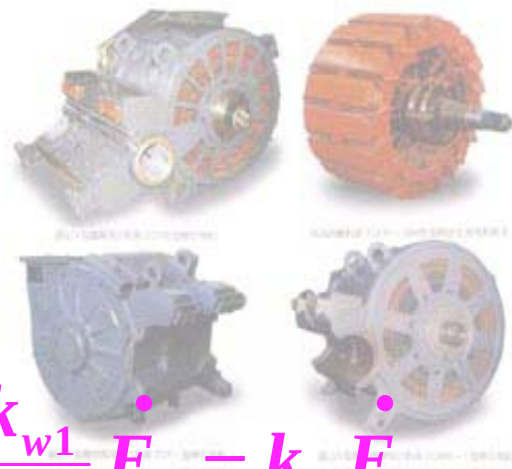


图5-14-11 外形图

T型等效电路和相量图

经过归算，感应电动机的电压方程和磁动势方程成为，

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1(R_1 + jX_{1\sigma}) - \dot{E}_1$$

$$\dot{E}'_1 = \dot{I}'_2 \left(\frac{R'_2}{s} + jX'_{2\sigma} \right)$$

$$\dot{E}_1 = \dot{E}'_2 = -\dot{I}_m Z_m$$

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

根据上式即可画出感应电动机的T形等效电路，如图5-15所示。图5-16表示与基本方程相对应的相量图。

近似等效电路

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_{1\sigma} + \frac{Z_m Z_2'}{Z_m + Z_2'}}, \dot{I}_2' = -\dot{I}_1 \frac{Z_m}{Z_m + Z_2'} = -\frac{\dot{U}_1}{Z_{1\sigma} + c Z_2'}$$

$$\dot{I}_m = \dot{I}_1 \frac{Z_2'}{Z_m + Z_2'} = \frac{\dot{U}_1}{Z_m} \frac{1}{c + \frac{Z_{1\sigma}}{Z_2'}}$$

$$|Z_{1\sigma}| \ll |Z_2'|, \text{ 近似取 } \frac{Z_{1\sigma}}{Z_2'} \approx 0 \quad \dot{I}_m \approx \frac{\dot{U}_1}{c Z_m} = \frac{\dot{U}_1}{Z_{1\sigma} + Z_m}$$

$$-\dot{I}_2' = -\frac{\dot{U}_1}{Z_{1\sigma} + c Z_2'}, \dot{I}_1 = \dot{I}_m + (-\dot{I}_2')$$

由此即可画出 Γ 形近似等效电路，如图 5—17 所示。



5.4 感应电动机的功率方程和转矩方程

一、功率方程，电磁功率和转换功率

感应电动机从电源输入的电功率：

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

消耗于定子绕组的电阻而变成铜耗： $P_{cu1} = m_1 I_1^2 R_1$

消耗于定子铁心变为铁耗： $P_{Fe} = m_1 I_m^2 R_m$

借助于气隙旋转磁场的作用，从定子通过气隙传送到转子，这部分功率称为电磁功率：

$$P_e = m_1 E'_2 I'_2 \cos \psi'_2 = m_1 I_2'^2 \frac{R_2'}{s}$$

写成方程式时有： $P_1 = P_{Cu1} + P_{Fe} + P_e$

正常运行时，转差率很小，转子中磁通的变化频率很低，通常仅**1~3Hz**，所以转子铁耗一般可略去不计。因此，从传送到转子的电磁功率中扣除转子铜耗后，可得转换为机械能的总机械功率(即转换功率)

$$P_{Cu2} = m_1 I_2'^2 R_2'$$

$$P_n = P_e - P_{Cu2} = m_1 I_2'^2 \frac{1-s}{s} R_2'$$

用电磁功率表示时，上式亦可改写成

$$P_{Cu2} = sP_e, P_n = (1-s)P_e$$

从 **P_n** 中再扣除转子的机械损耗 **p_{Ω}** 和杂散损耗 **p_{Δ}** ，可得转子轴上输出的机械功率 **P_2** ，即

$$P_2 = P_n - (p_{\Omega} + p_{\Delta})$$

图5-18表示相应的功率图。

二、转矩方程和电磁转矩

- 转矩方程

$$T_e = T_0 + T_2$$

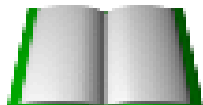
$$T_e = \frac{P_n}{\Omega}, T_0 = \frac{p_\Omega + p_\Delta}{\Omega}, T_2 = \frac{P_2}{\Omega}$$

- 电磁转矩

$$T_e = \frac{P_\Omega}{\Omega} = \frac{P_e}{\Omega_s}$$

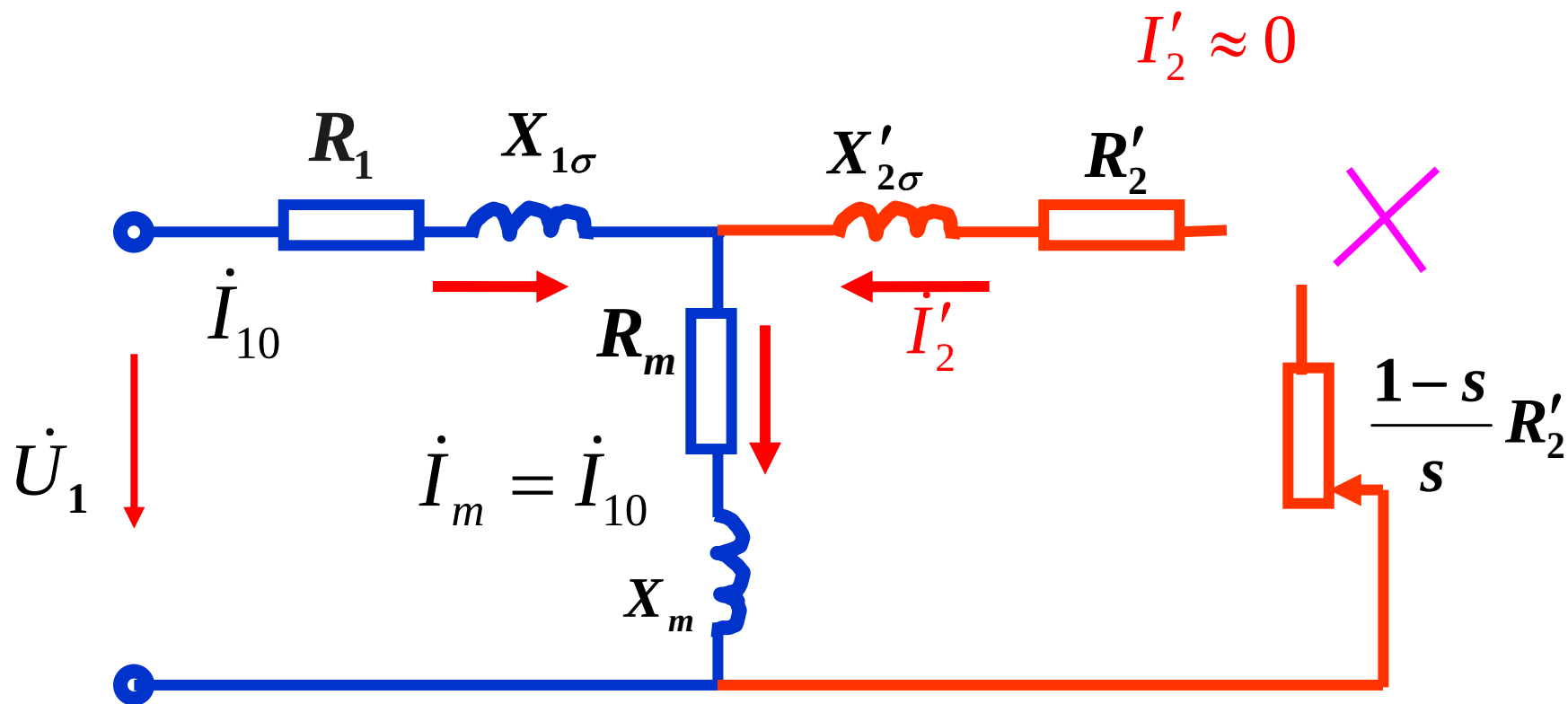
$$T_e = \frac{1}{\sqrt{2}} pm_2 N_2 k_{w2} \Phi_m I_2 \cos \psi_2 = C_T \Phi_m I_2 \cos \psi_2$$

$$C_T = \frac{1}{\sqrt{2}} pm_2 N_2 k_{w2}$$



例题

一、空载试验等效电路



$$R_0 = R_1 + R_m$$

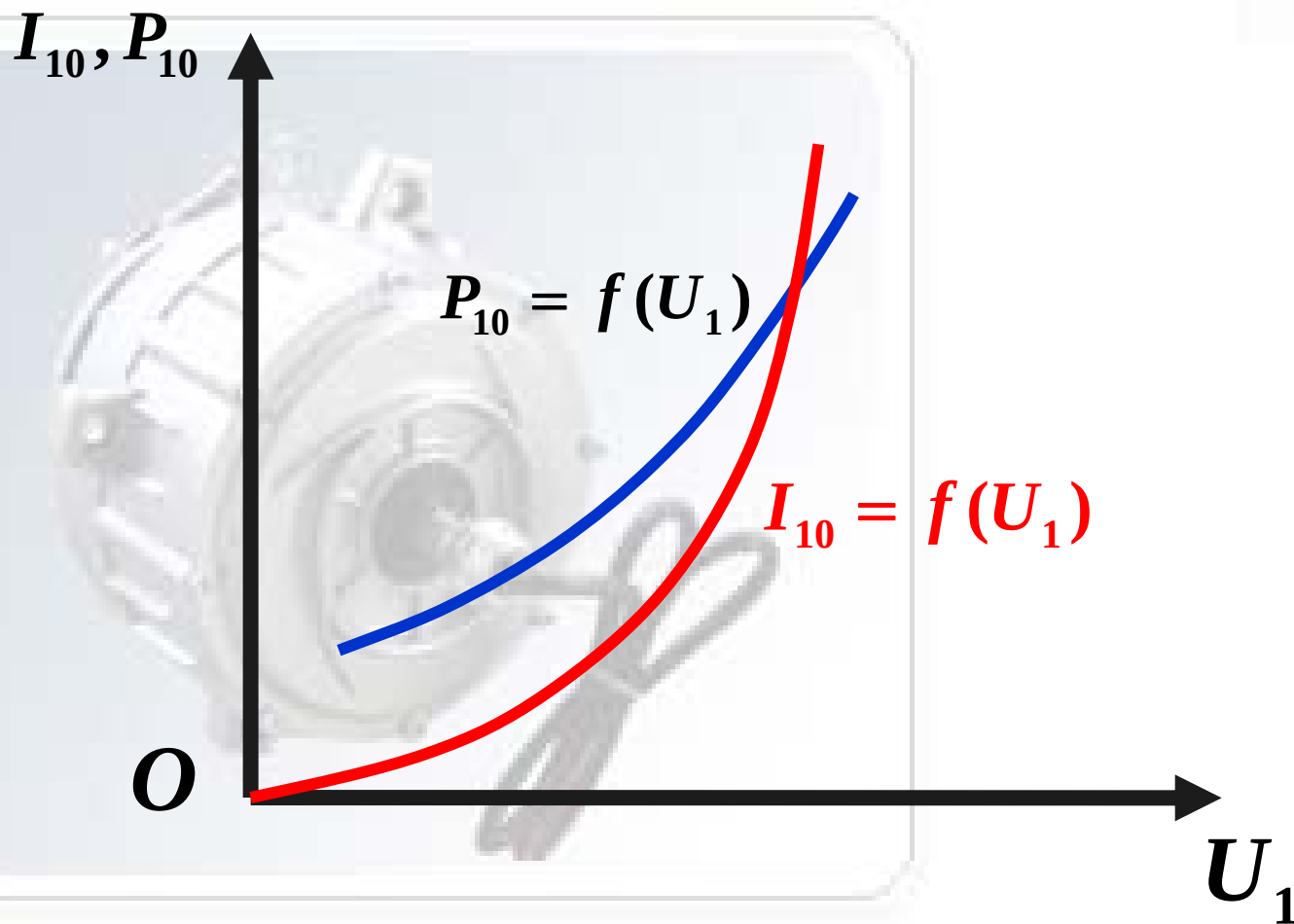
$$X_0 = X_{1\sigma} + X_m$$



$$X_m = X_0 - X_{1\sigma}$$

一、空载试验

- 空载试验的目的是确定电动机的激磁参数 R_m 、 X_m ，以及铁耗 p_{Fe} 和机械损耗 p_{Ω} 。如图



●铁耗和机械损耗 分离 如图

R_1 用万用表测

空载功率减去定子铜耗，即得铁耗和机械损耗两项之和

$$P_{10} - 3I_{10}^2 R_1$$

$$P_{10} - m_1 I_{10}^2 R_1 = p_{Fe} + p_{\Omega}$$

铁耗与电压的平方成正比

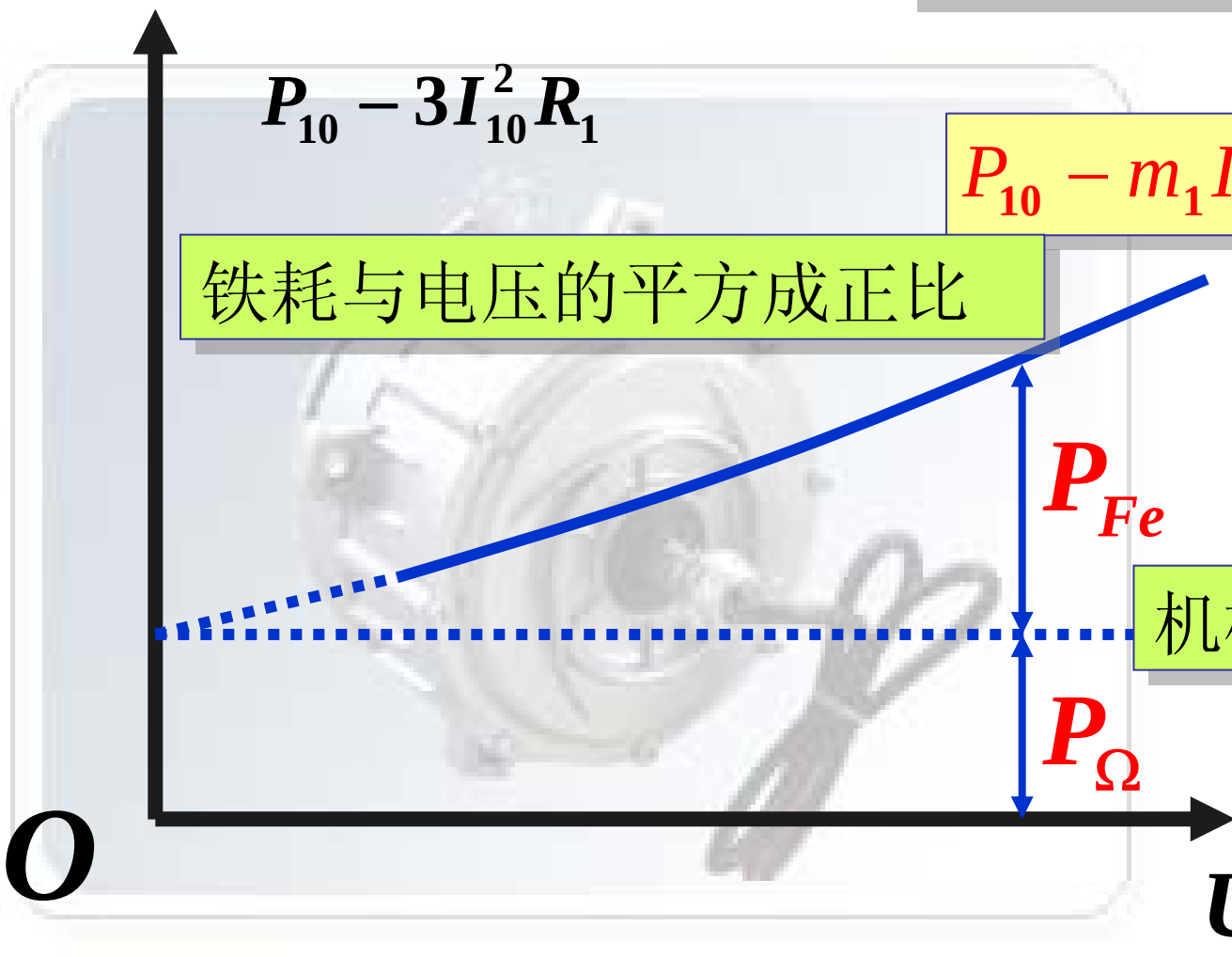
P_{Fe}

机械损耗与电压无关

P_{Ω}

U_1^2

O



5.5 感应电动机参数的测定

参数计算

→ 激磁电阻

$$P_{1\sigma} - m_1 I_{10}^2 R_1 = p_{Fe} + p_{\Omega}$$

→ 空载电抗

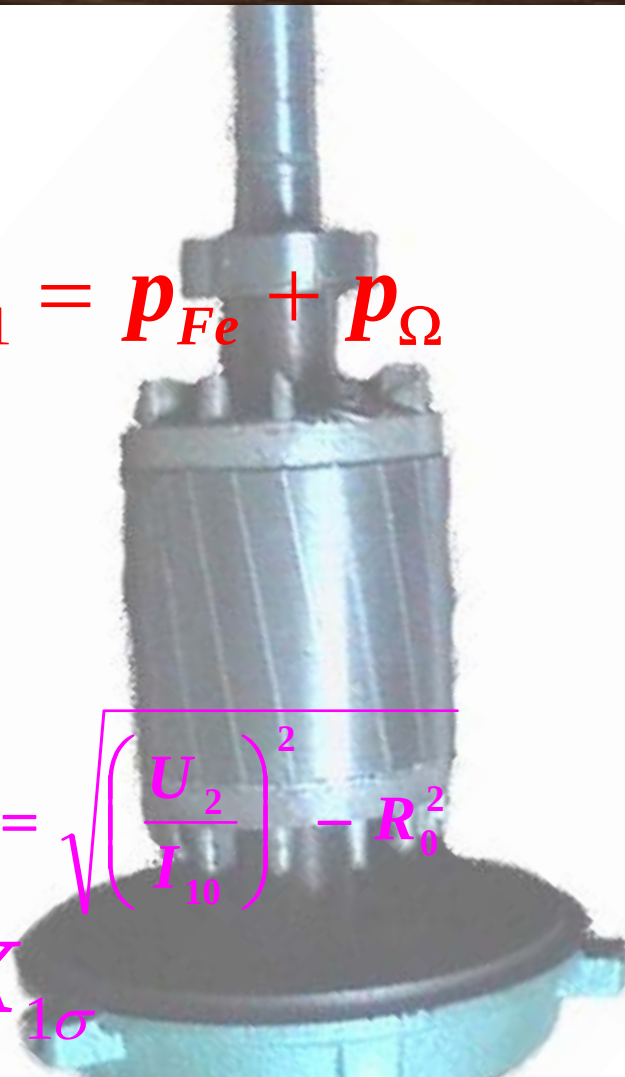
$$R_m = \frac{p_{Fe}}{m_1 I_{10}^2}$$

→ 激磁电抗

$$X_0 = \sqrt{|Z_0|^2 - R_0^2} = \sqrt{\left(\frac{U_2}{I_{10}}\right)^2 - R_0^2}$$

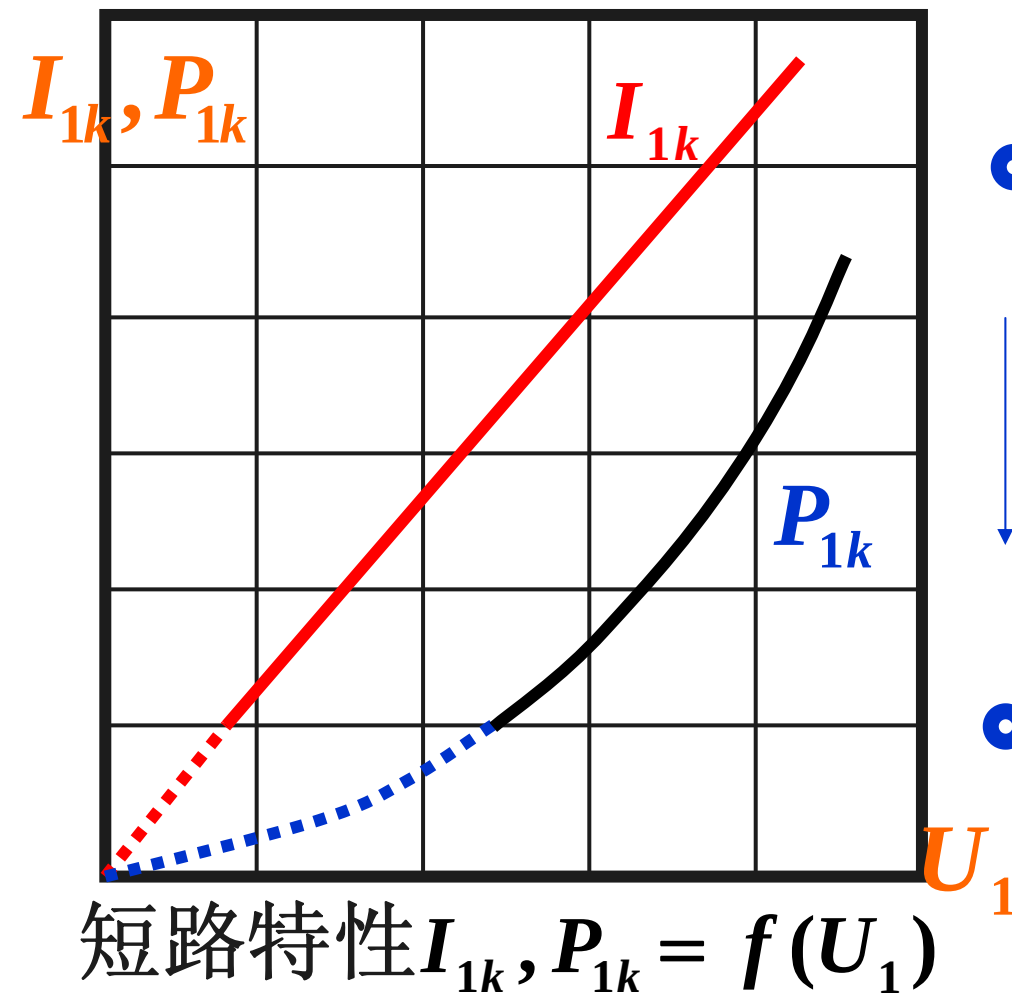
$$X_m = X_0 - X_{1\sigma}$$

计算所采用的值是在额定电压下的值

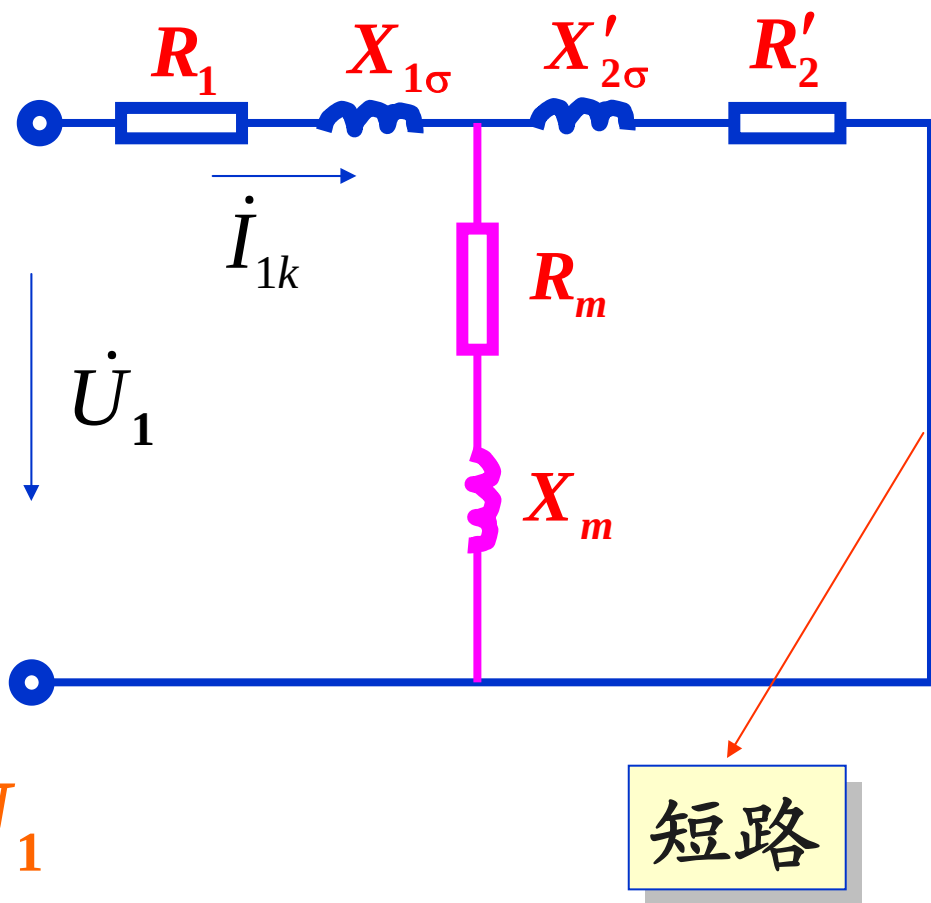


二、堵转试验

- 短路特性



堵转实验等效电路



计算所采用的值是在额定电流下的值

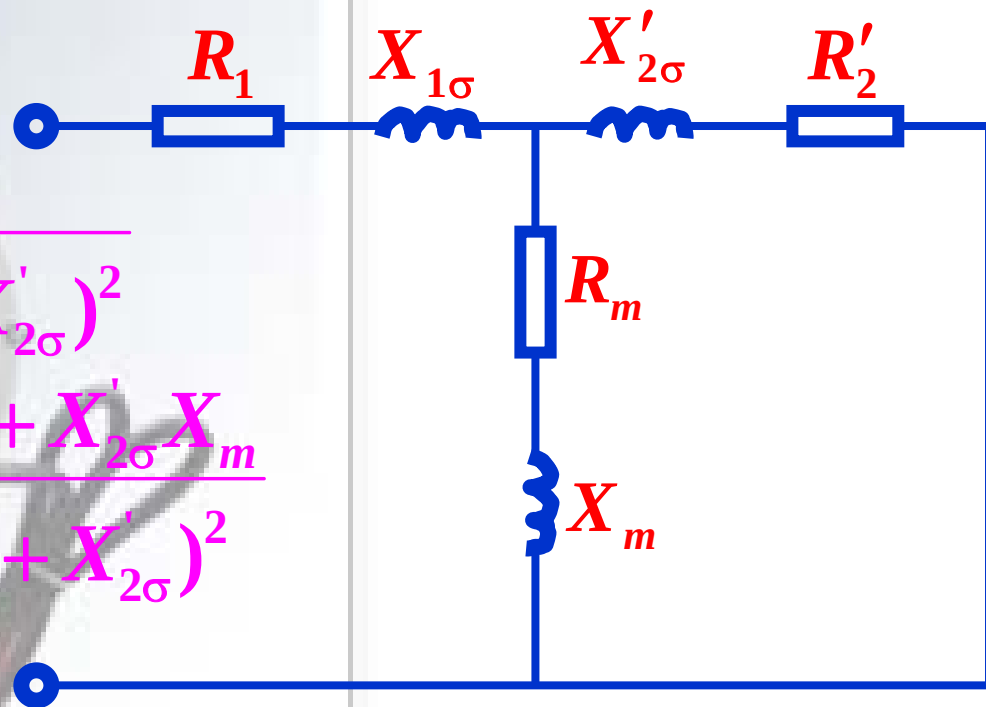
- 参数计算 堵转($s = 1$)时的等效电路如图所示

$$Z_k = \frac{U_1}{I_{1k}}, \quad R_k = \frac{P_{1k}}{m_1 I_{1k}^2}, \quad X_k = \sqrt{|Z_k|^2 - R_k^2}$$

$$Z_k = R_1 + jX_{1\sigma} + \frac{jX_m(R_2' + jX_{2\sigma}')}{R_2' + j(X_m + X_{2\sigma}')} = R_k + jX_k$$

$$R_k = R_1 + R_2' \frac{X_m^2}{R_2'^2 + (X_m + X_{2\sigma}')^2}$$

$$X_k = X_{1\sigma} + X_m \frac{R_2'^2 + X_{2\sigma}'^2 + X_{2\sigma}' X_m}{R_2'^2 + (X_m + X_{2\sigma}')^2}$$



参数计算 堵转($s = 1$)时的等效电路

$$R'_2 = (R_k - R_1) \frac{X_0}{X_0 - X_k}$$

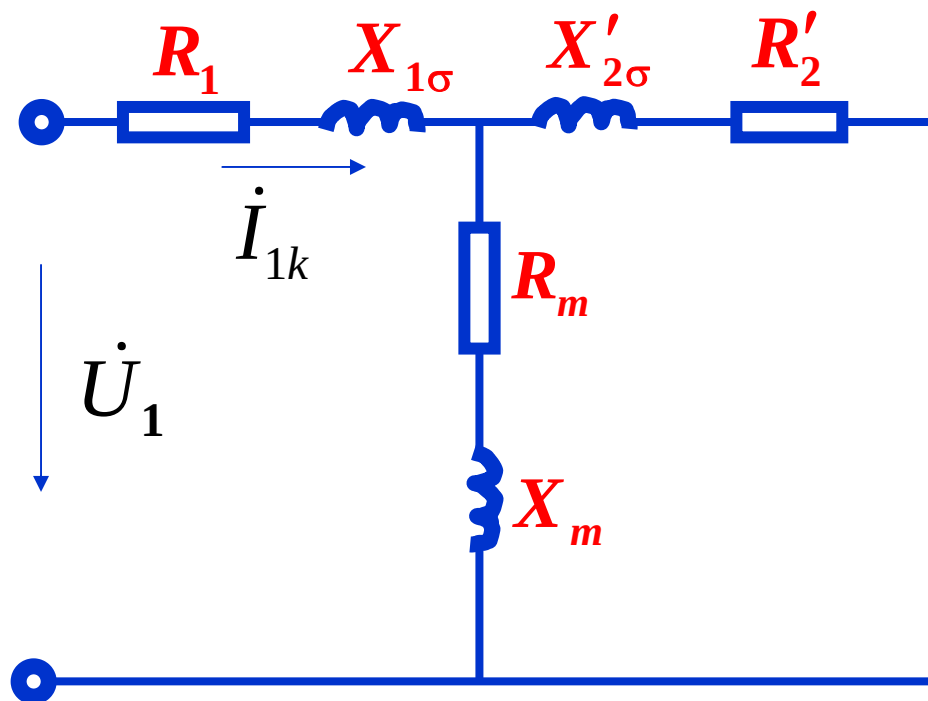
$$X_{1\sigma} = X'_{2\sigma} = \frac{X_{ki}}{1 + \sqrt{\frac{X_0 - X_{ki}}{X_0}}}$$

$$X_{ki} = X_k - R_2'^2 \frac{X_0 - X_k}{X_0^2}$$

大型感应电动机 $Z_m \gg Z'_{2\sigma}$

$$R_k \approx R_1 + R'_2$$

$$X_{1\sigma} \approx X'_{2\sigma} = \frac{X_k}{2}$$



5.6 感应电动机的转矩—转差率曲线

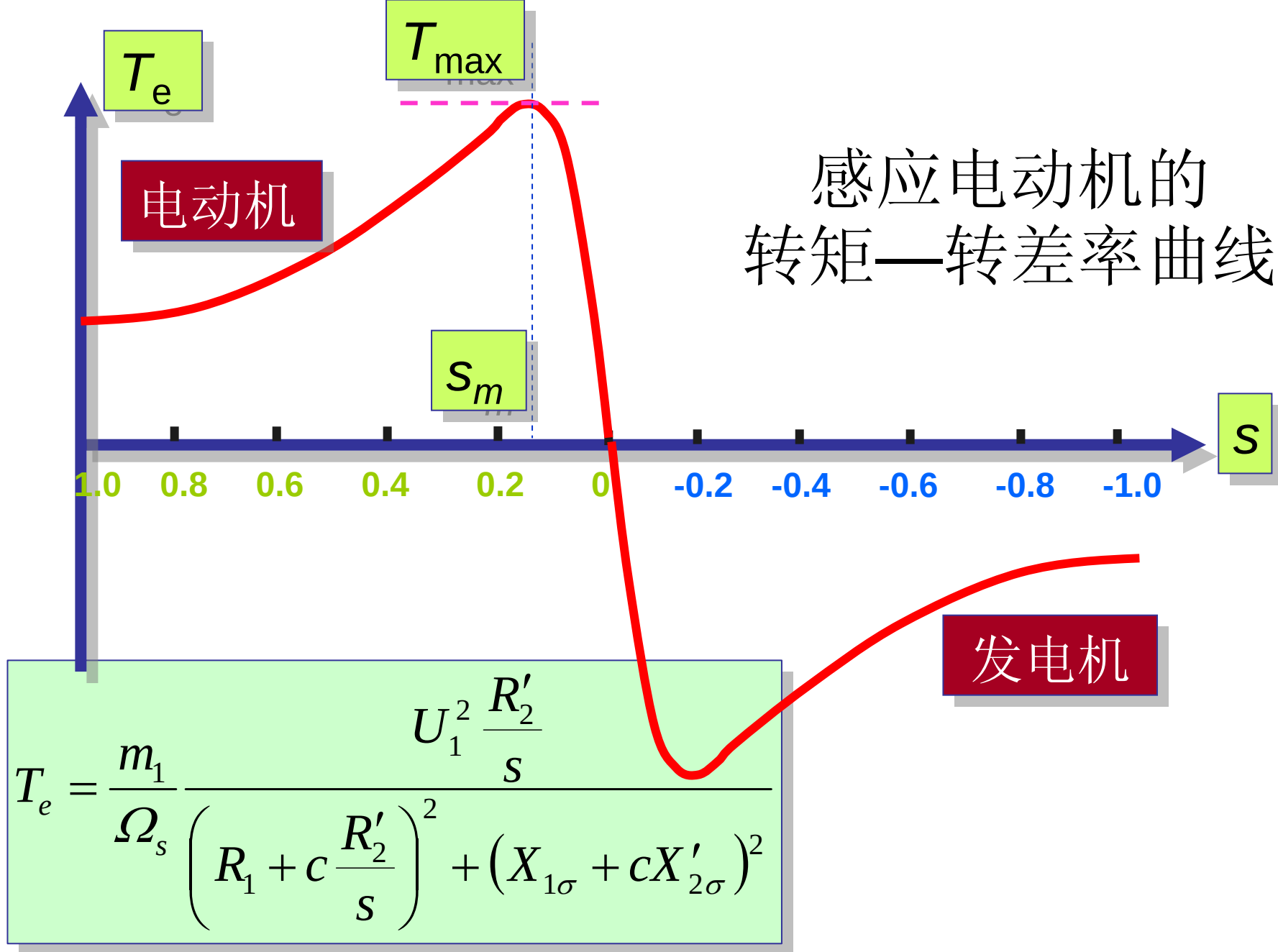
一、转矩—转差率特性

$$T_e = \frac{m_1}{\Omega_s} \frac{U_1^2 \frac{R_2'}{s}}{\left(R_1 + c \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(X_{1\sigma} + c X_{2\sigma}' \right)^2}$$

如图5—25所示



感应电动机的 转矩—转差率曲线



二、最大转矩和起动转矩

- 最大转矩

$$s_m = \pm \frac{cR_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + cX_{2\sigma}')^2}} \approx \pm \frac{R_2'}{X_{1\sigma} + X_{2\sigma}'}$$

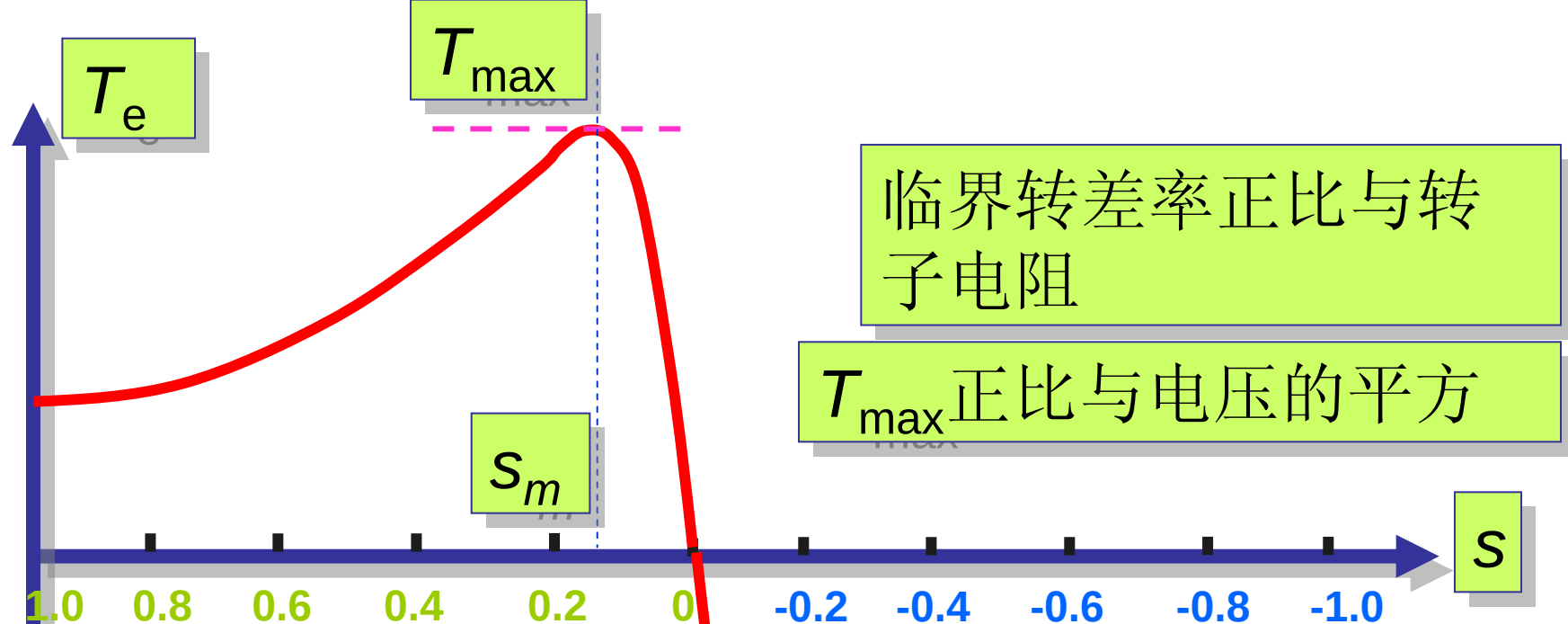


$$T_{\max} = \pm \frac{m_1}{\Omega_s} \frac{U_1^2}{2c[\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + cX_{2\sigma}')^2}]} \approx \pm \frac{m_1 U_1^2}{2\Omega_s (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')$$

- 起动转矩

$$T_{st} = \frac{m_1}{\Omega_s} \frac{U_1^2 R_2'}{(R_1 + cR_2')^2 + (X_{1\sigma} + cX_{2\sigma}')^2}$$





$$s_m = \pm \frac{cR_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + cX_{2\sigma}')^2}} \approx \pm \frac{R_2'}{X_{1\sigma} + X_{2\sigma}'}$$

$$T_{\max} = \pm \frac{m_1}{\Omega_s} \frac{U_1^2}{2c[\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + cX_{2\sigma}')^2}]} \approx \pm \frac{m_1 U_1^2}{2\Omega_s (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')}$$

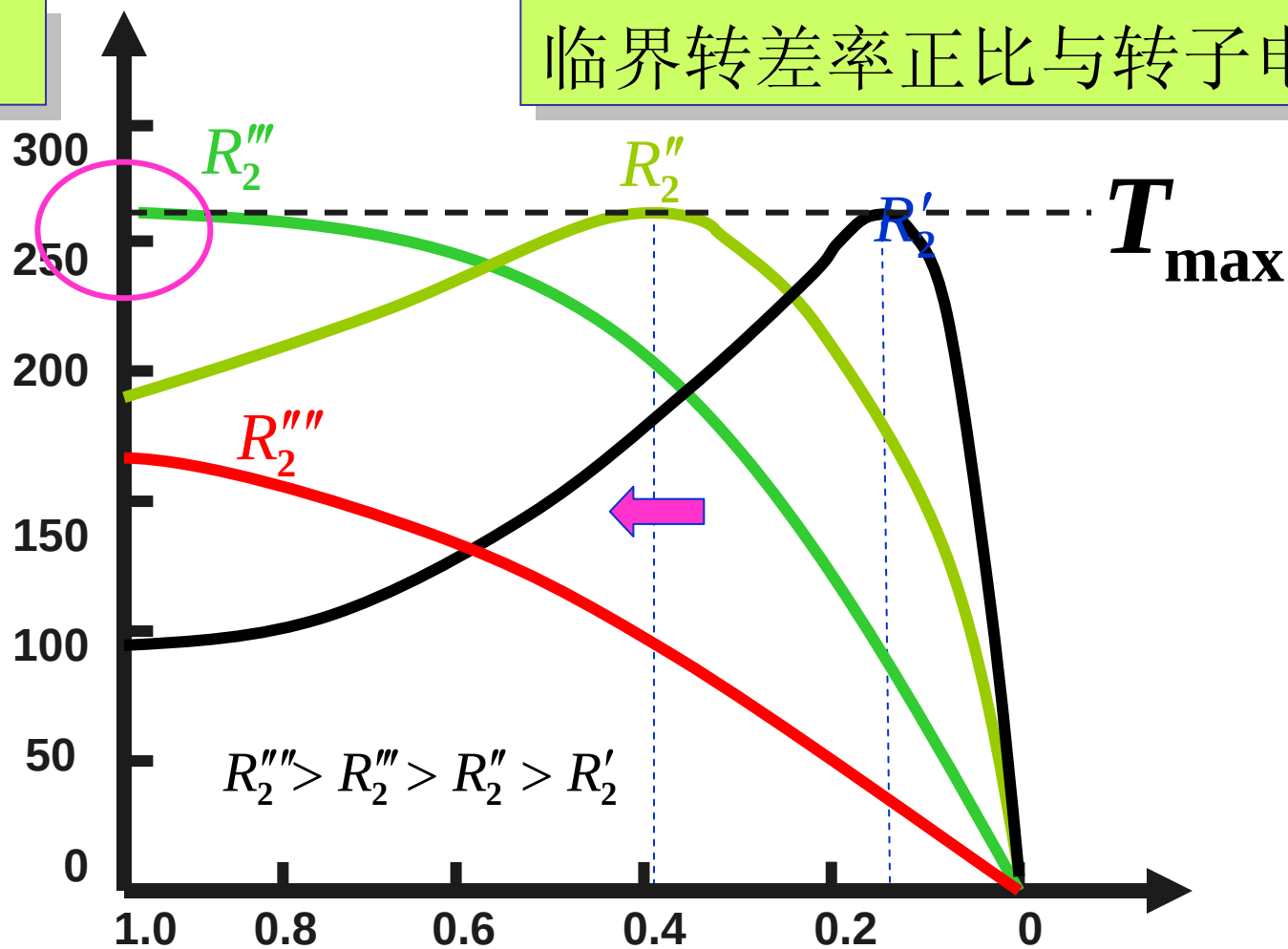
- 感应电机的最大转矩与电源电压的平方成正比，与定、转子漏抗之和近似成反比；
- 最大转矩的大小与转子电阻值无关，临界转差 s_m 则与转子电阻 R'_2 成正比： R'_2 增大时， s_m 增大，但 $T_{\max}$ 保持不变，此时 $T_e - s$ 曲线的最大值将向左偏移，如图5-26所示。



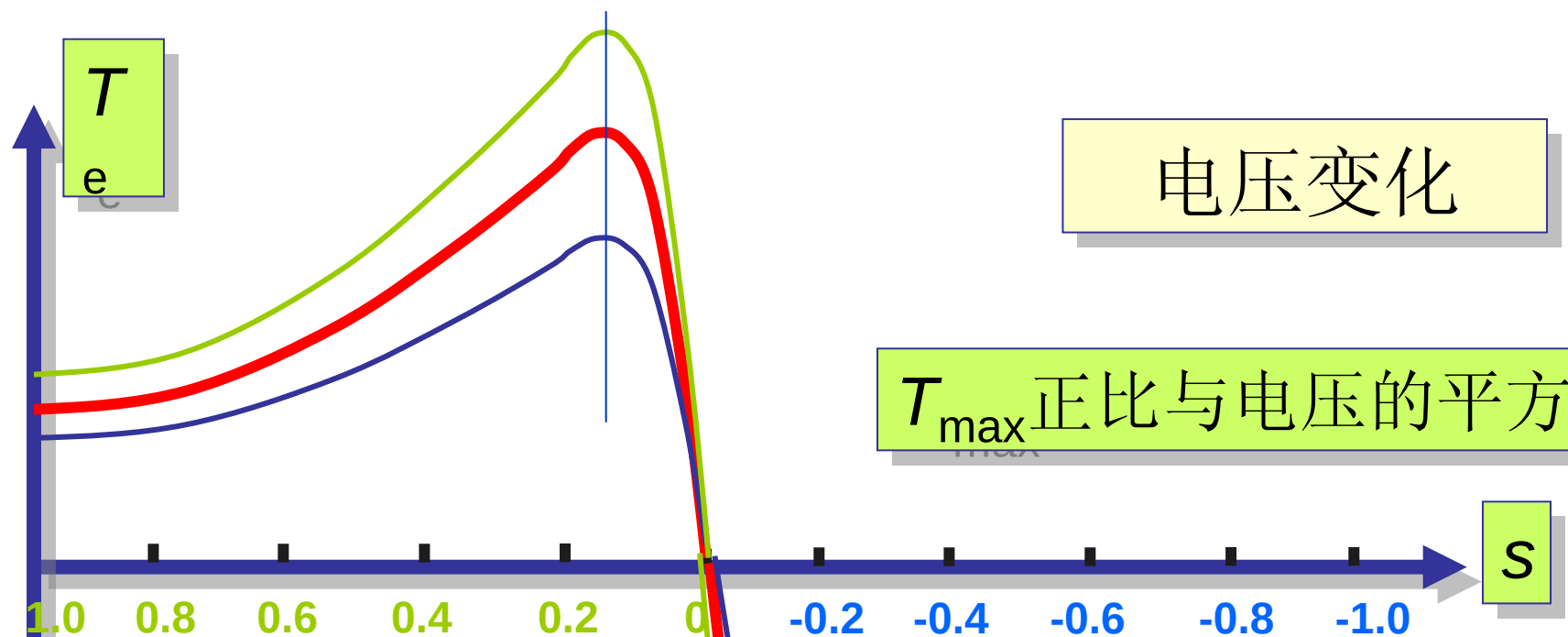
转子电阻变化时的 T_e-s 曲线

起动转矩

临界转差率正比与转子电阻



当转子电阻为 R_2'' 起动转矩等于最大转矩

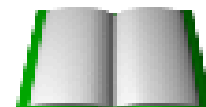


$$s_m = \pm \frac{cR_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + cX_{2\sigma}')^2}} \approx \pm \frac{R_2'}{X_{1\sigma} + X_{2\sigma}'}$$

$$T_{\max} = \pm \frac{m_1}{\Omega_s} \frac{U_1^2}{2c[\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + cX_{2\sigma}')^2}]} \approx \pm \frac{m_1 U_1^2}{2\Omega_s (X_{1\sigma} + X_{2\sigma}')}$$

三、转矩-转速特性(机械特性)

把转矩-转差率曲线 $T_e = f(s)$ 的纵、横坐标对调，并利用 $n = n_s(1-s)$ 把转差率转换为对应的转速 n ，就可以得到转矩-转速特性 $n = f(T_e)$ 。如图5-27所示。



例题

5.8 感应电动机的工作特性

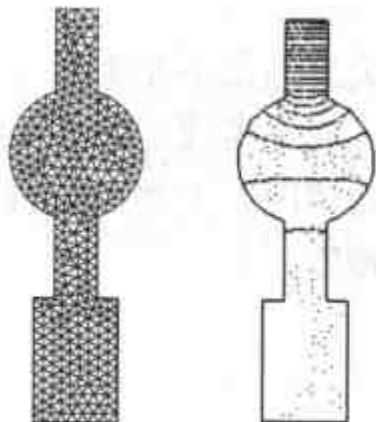
一、工作特性

在额定电压和额定频率下，电动机的转速 n 、电磁转矩 T_e 、定子电流 I_1 、功率因数 $\cos \Phi_1$ 、效率 η 与输出功率 P_2 的关系曲线 $n, T_e, I_1, \cos \Phi_1, \eta = f(P_2)$ 称为感应电动机的工作特性。

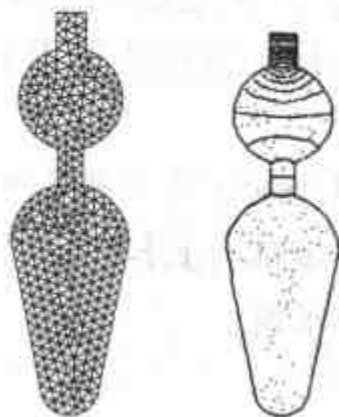
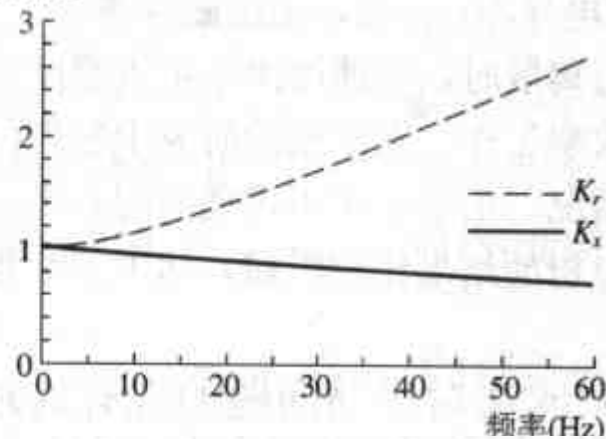
图5-28表示一台**10kW**的三相感应电动机的转速特性和定子电流特性。电磁转矩、功率因数和效率特性**如图5-29**所示。

由于感应电动机的效率和功率因数都在额定负载附近达到最大值，因此选用电动机时应使电动机的容量与负载相匹配，以使电动机经济、合理和安全地使用。

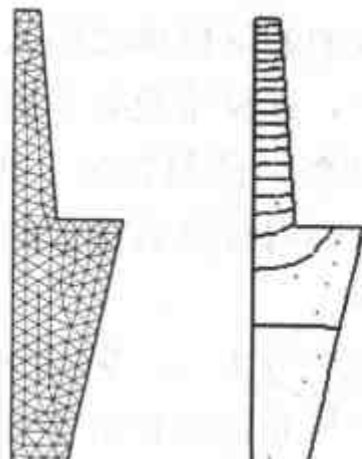
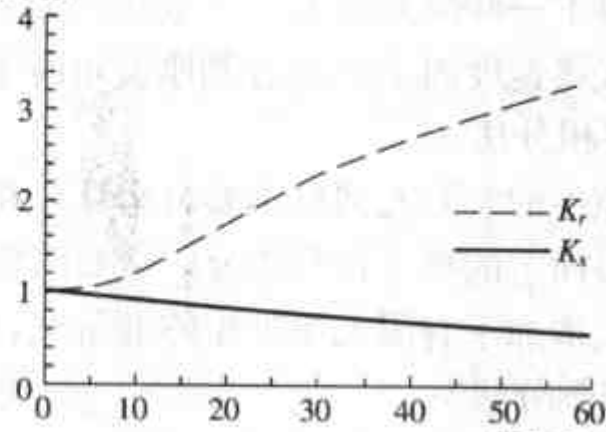
DG13-11 外形图



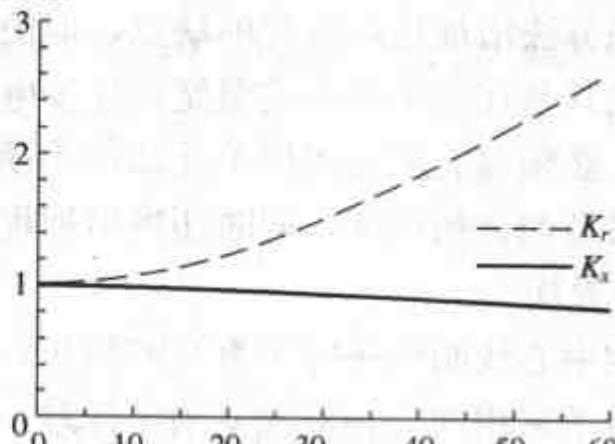
集肤系数



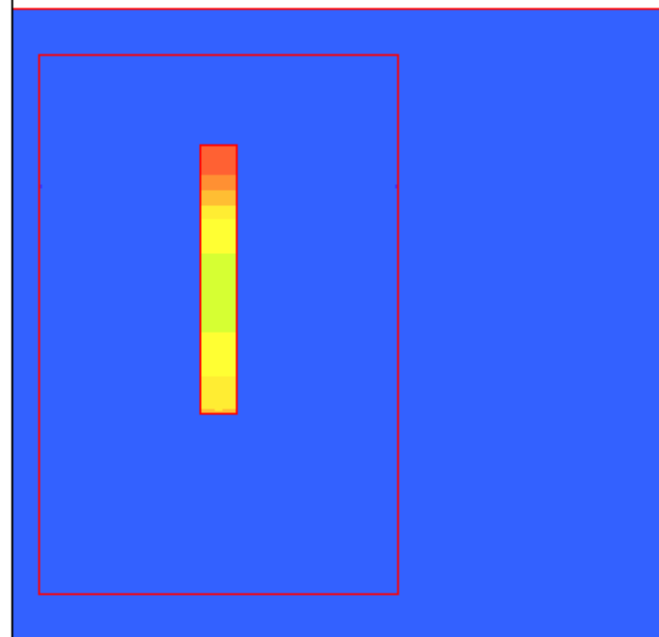
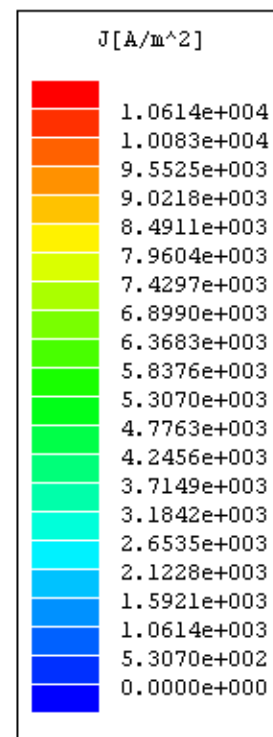
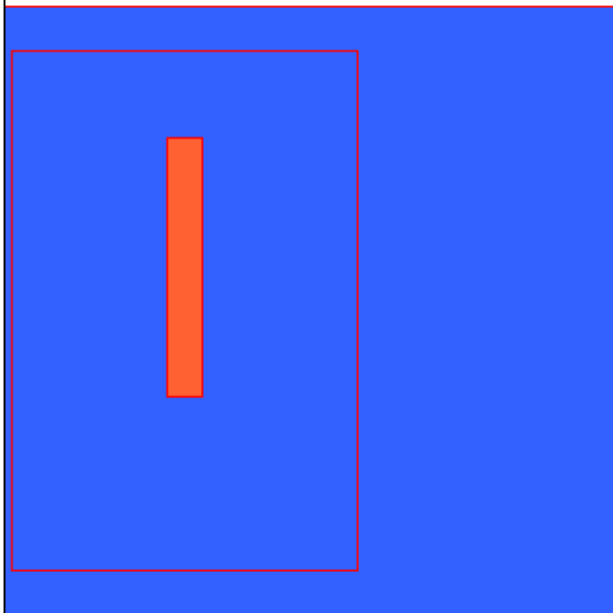
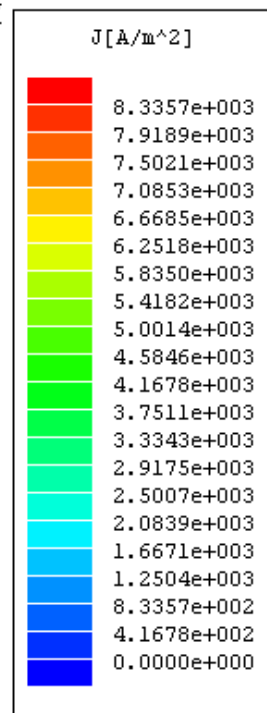
集肤系数



集肤系数



XYZ



一、异步电动机调速方法

异步电动机的转速

$$n = \frac{60f}{p}(1-s)$$

- (1) 改变供电电源的频率 f ;
- (2) 改变电动机的极对数 p —— 笼型转子电机;
- (3) 改变转差率 s : 改变外施电压 U ;
在转子回路中引入外加电阻;
在转子回路中引入附加电势。

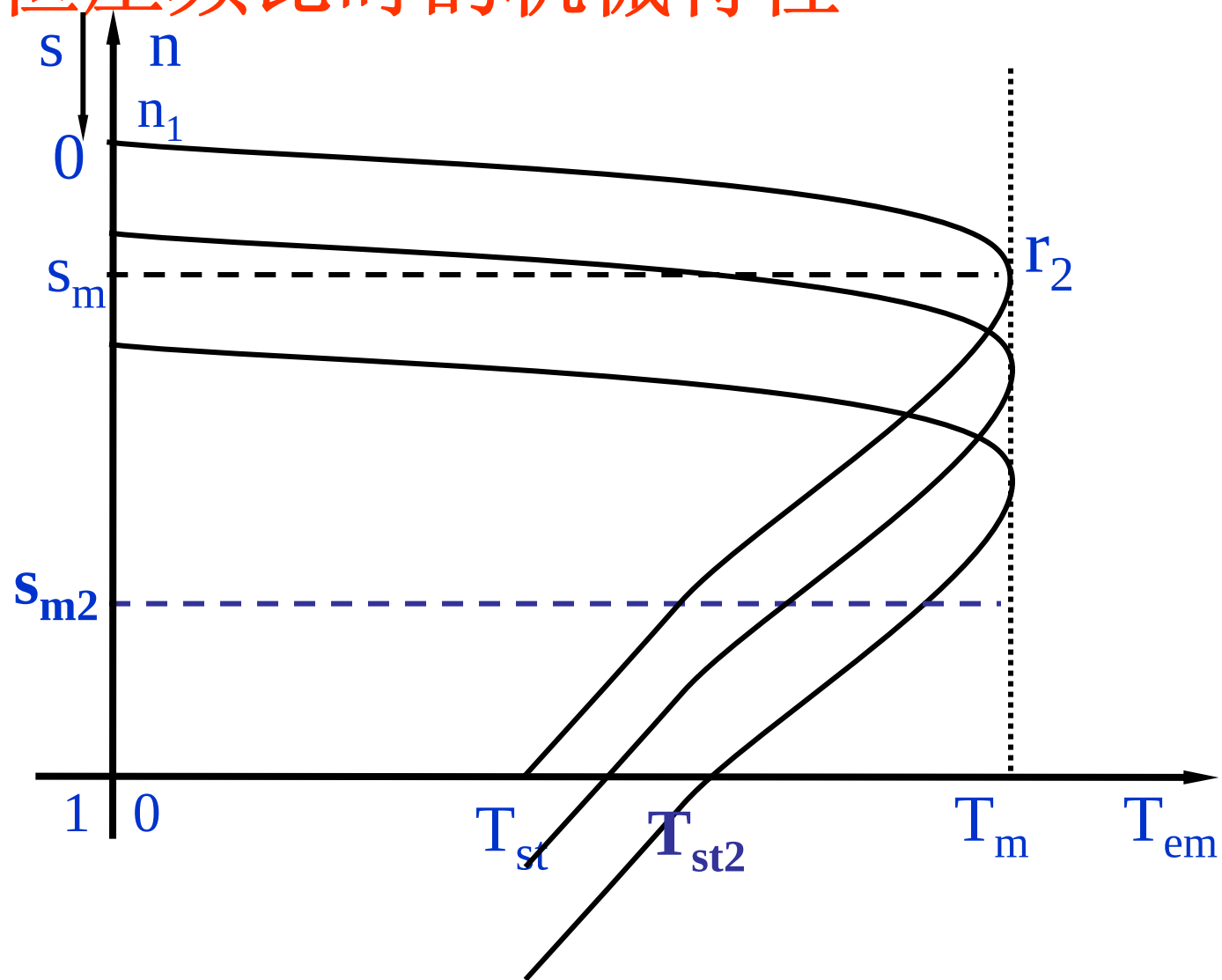
1、变极调速

- 定子绕组需有特殊的绕法，使绕组的极对数能随外部接线的改变而改变。属于分级调速，具有两种不同转速的电动机称为双速电动机。（转子为鼠笼式）
- 变极电机定子绕组的绕制有两种方法：
 1. 双绕组变极
 2. 单绕组变极

2、变频调速

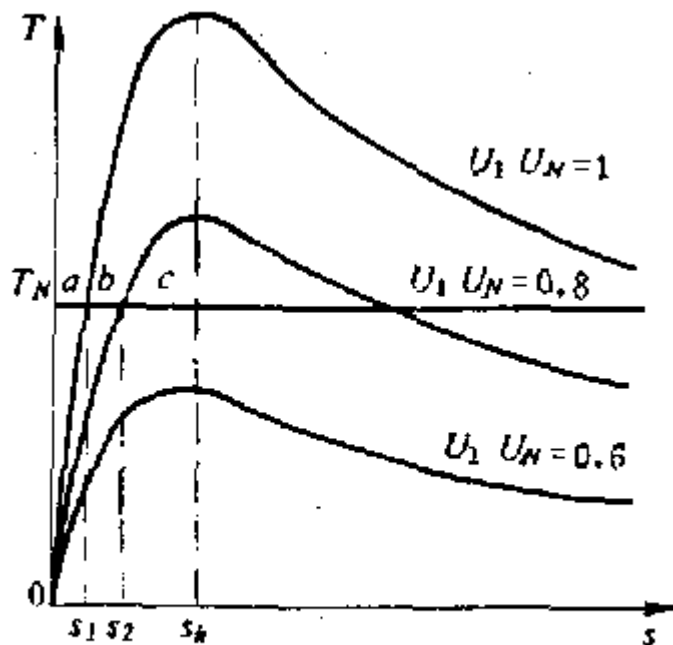
- 改变供电电源的频率，可以改变转子的转速，为无级调速
- 变频调速时，**通常希望电动机的主磁通 Φ_m 保持不变**，因为增大 Φ_m 将引起磁路过分饱和，激磁电流大大增加，功率因素降低。如 Φ_m 太小，则电机容量得不到充分利用。
- 在改变频率的同时，必须调节电压，可根据不同负载要求，配以不同的 U_1/f_1 协调控制方式

恒压频比时的机械特性



3、改变外施电压调速

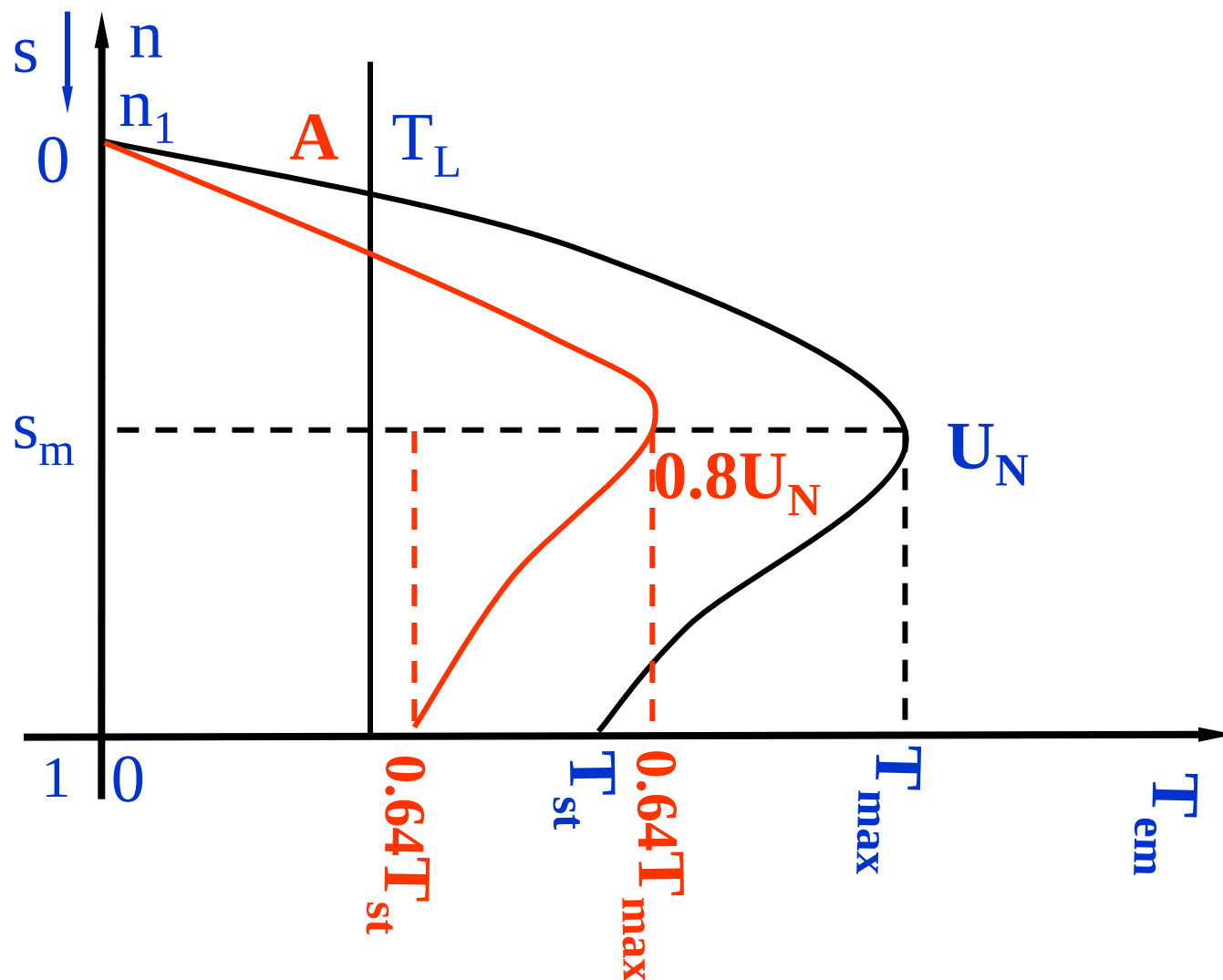
负载转矩 T 保持不变



(a) 普通鼠笼式异步电动机带恒转矩负载

- 当外施电压 U_1 下降为额定值的 m 倍时， s 增加原有值的 $1/m^2$ 倍。
- 例：当 U_1 从 U_N 降低至 $0.8U_N$ 时，转差率便由原来的 $s_1=ab$ ，增加至 $s_2=ac$ ， s_2 应为 s_1 的 $1/0.8^2=1.56$ 倍。
- 普通鼠笼式异步电动机额定转差率很小，设 $s=0.04$ 。则 $s_2=0.0624$ ，电动机的转速便由 $0.96n_1$ ，下降到 $0.9376n_1$ ，调速范围很小。
- 带恒转矩负载时不适宜采用调压调速方法。

感应电动机降压时的人为机械特性



3、线绕转子异步电动机调速

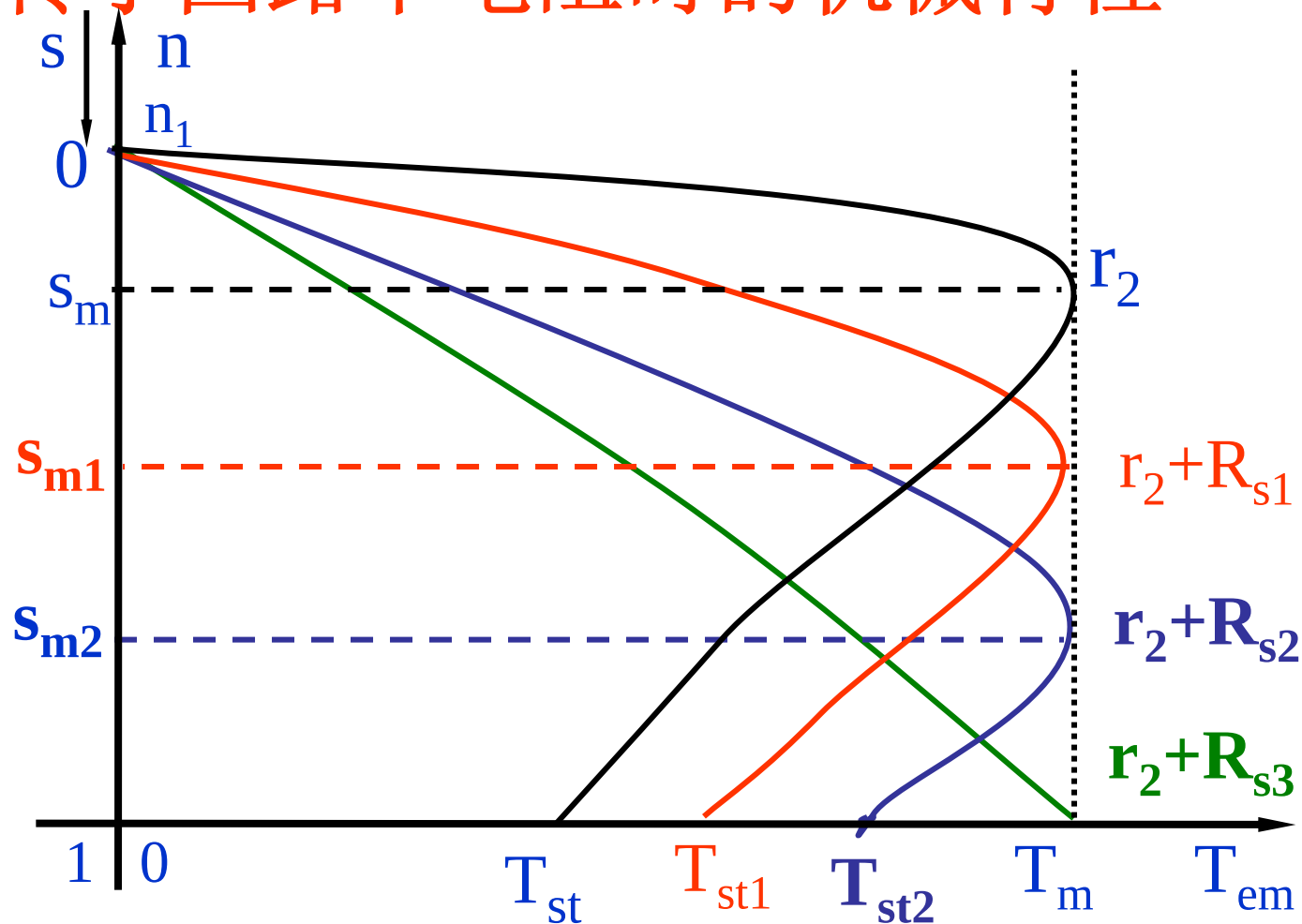
1. 在转子回路中接入变阻器调速

- 线绕转子异步电机转子回路中接入变阻器可以改变异步电动机的机械特性

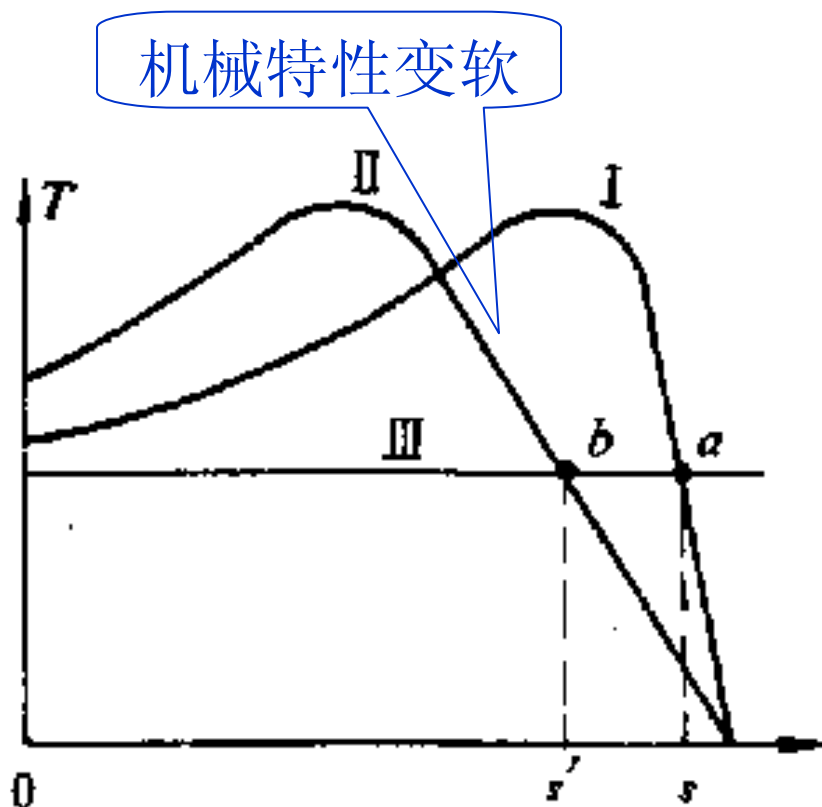
2. 串级调速

- 线绕转子异步电动机转子回路中接入附加电势实现调速

转子回路串电阻时的机械特性



1. 在转子回路中接入变阻器调速



恒转矩

$$\frac{r_2'}{s} = \frac{r_2' + r_{\Delta}'}{s'}, \quad \text{即: } s' = \frac{r_2' + r_{\Delta}'}{r_2'} s$$

- 当负载转矩保持不变, 接入变阻器后转子电流及转子电流的功率因数均保持不变, 定子电流及输入功率也保持不变, 而转速下降, 导致转子铜耗增大, 输出功率下降, 效率也随之降低。
- 机械特性变软, 负载变化时转速将发生显著变化。

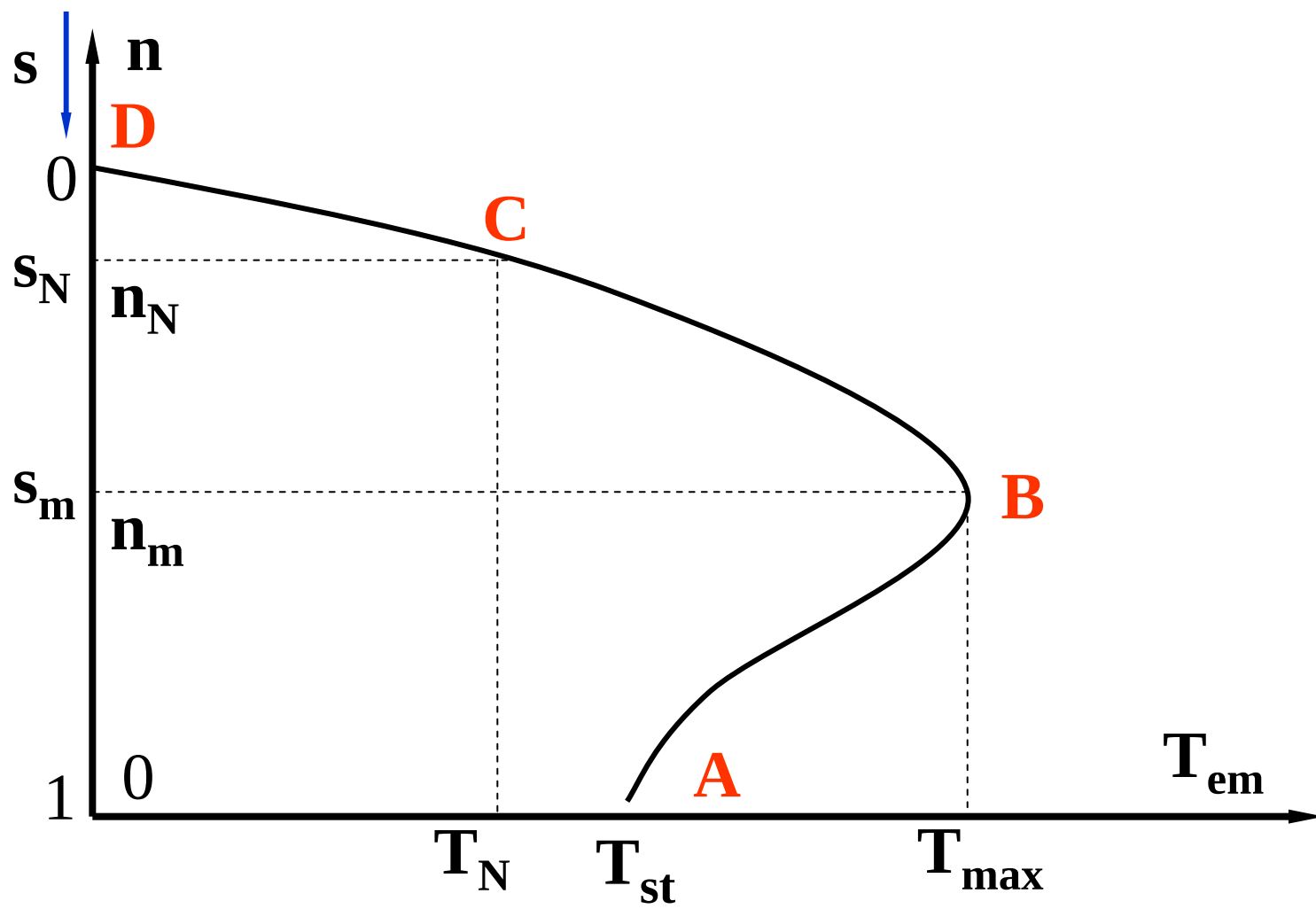
部分功率消耗在转子串联的电阻上, 效率降低。

2. 串级调速

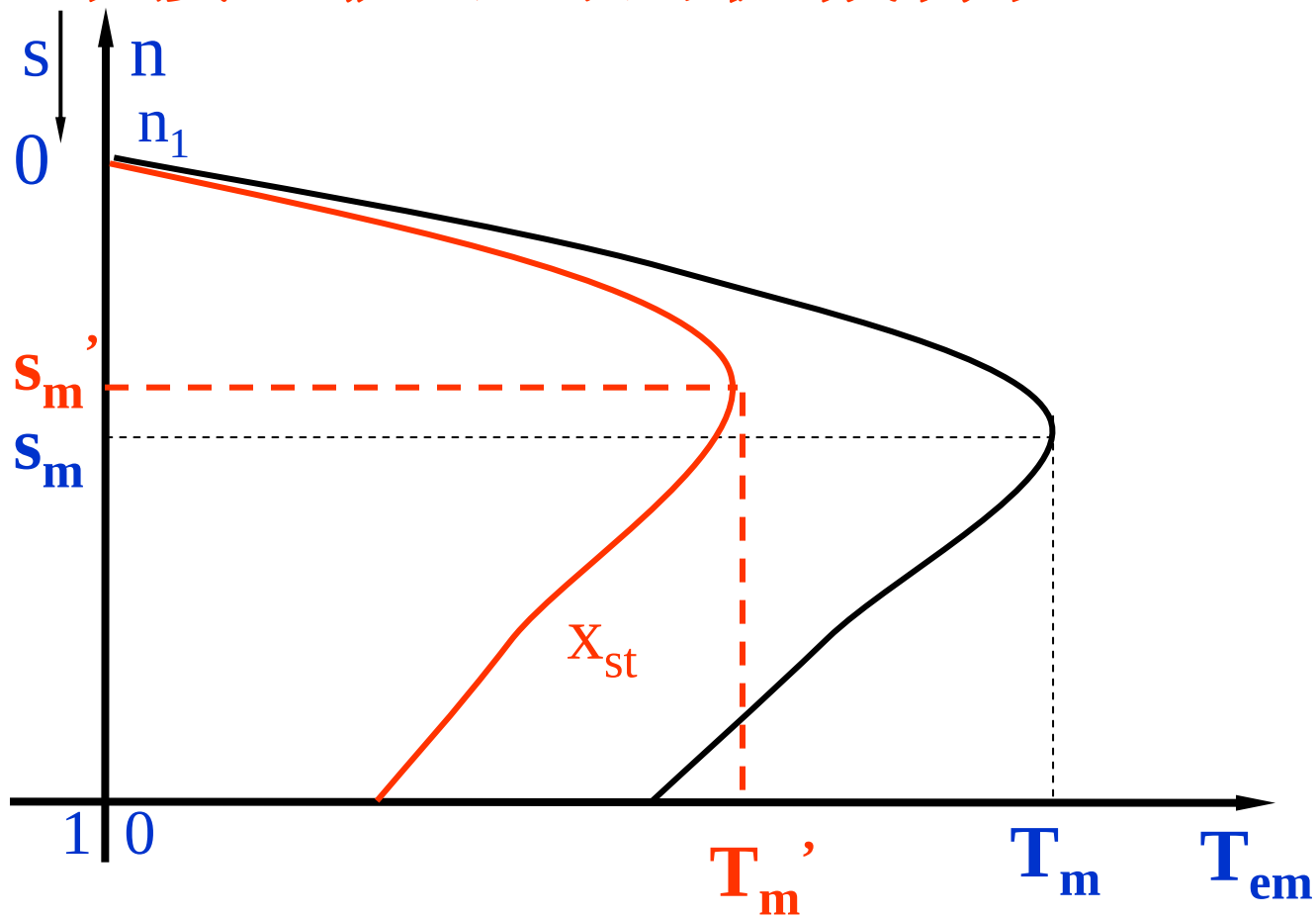
当转子回路串入与转子电势 sE_2 频率相同而相位相反的附加电势 E_f 后，转子电流 I_2

$$I_2 = \frac{sE_2 - E_f}{\sqrt{r_2'^2 + s^2 x_2'^2}}$$

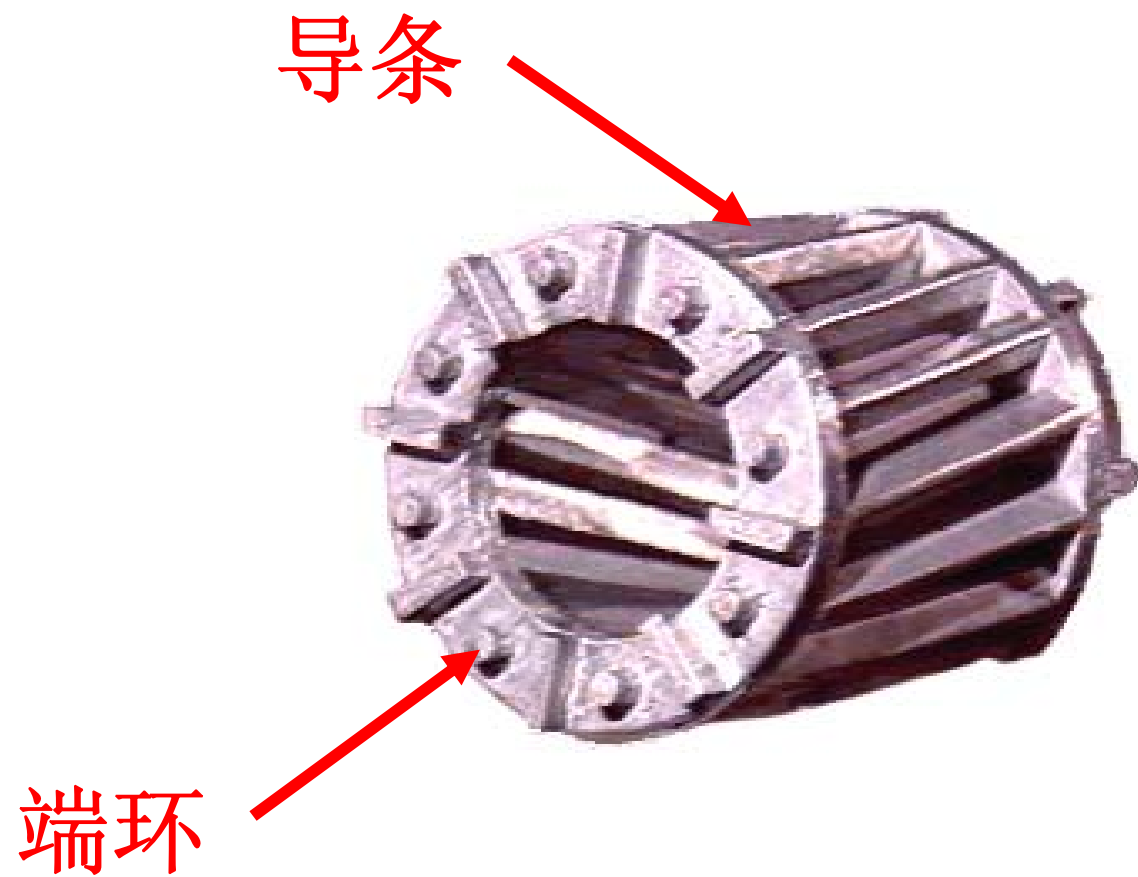
感应电动机的转矩-转差率曲线



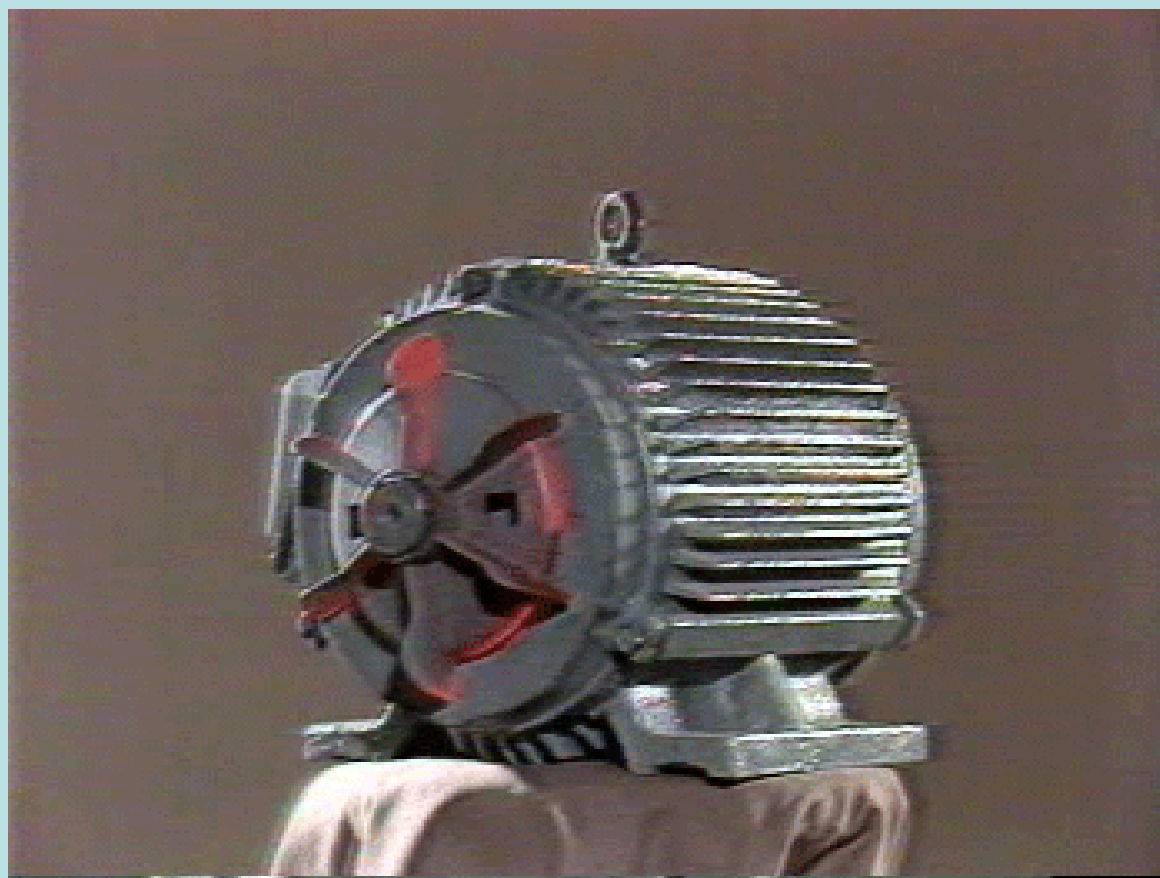
定子串接电抗器时的机械特性



笼型绕组



[返回](#)



[返回](#)

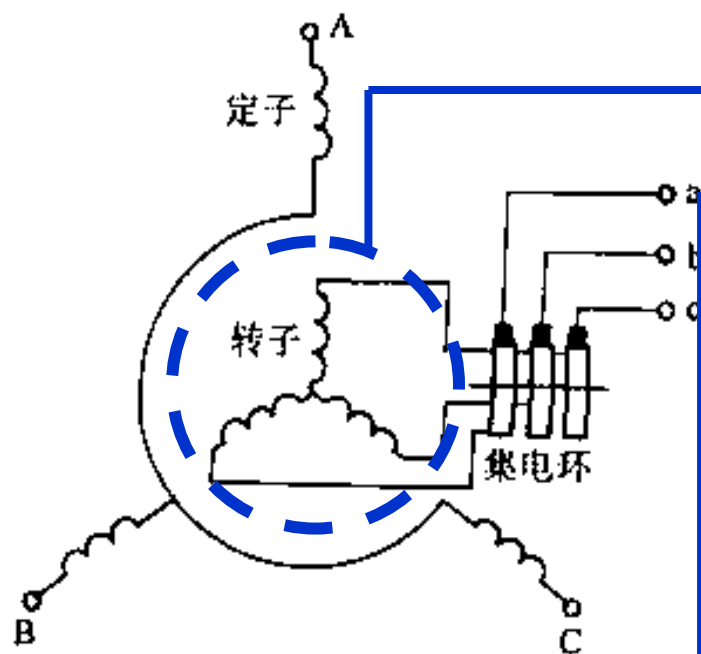
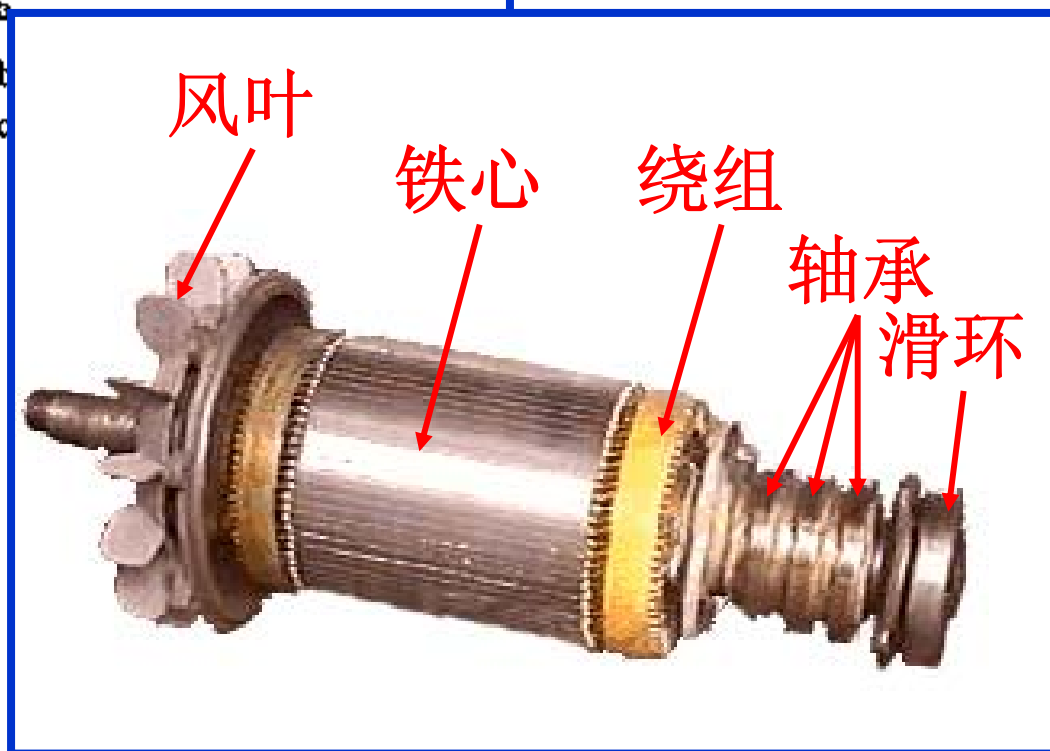
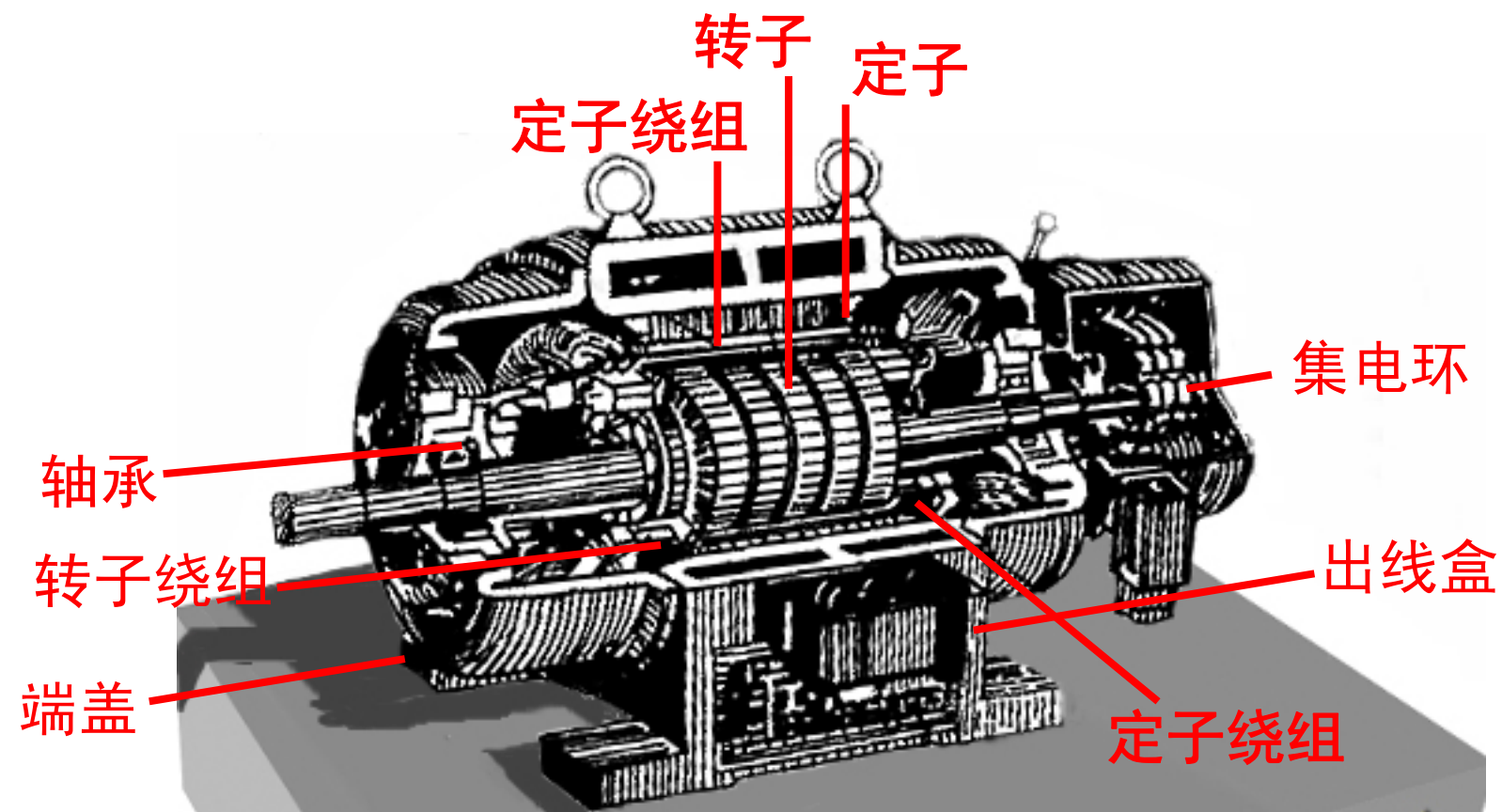


图 5-3 绕线型感应电动机示意图



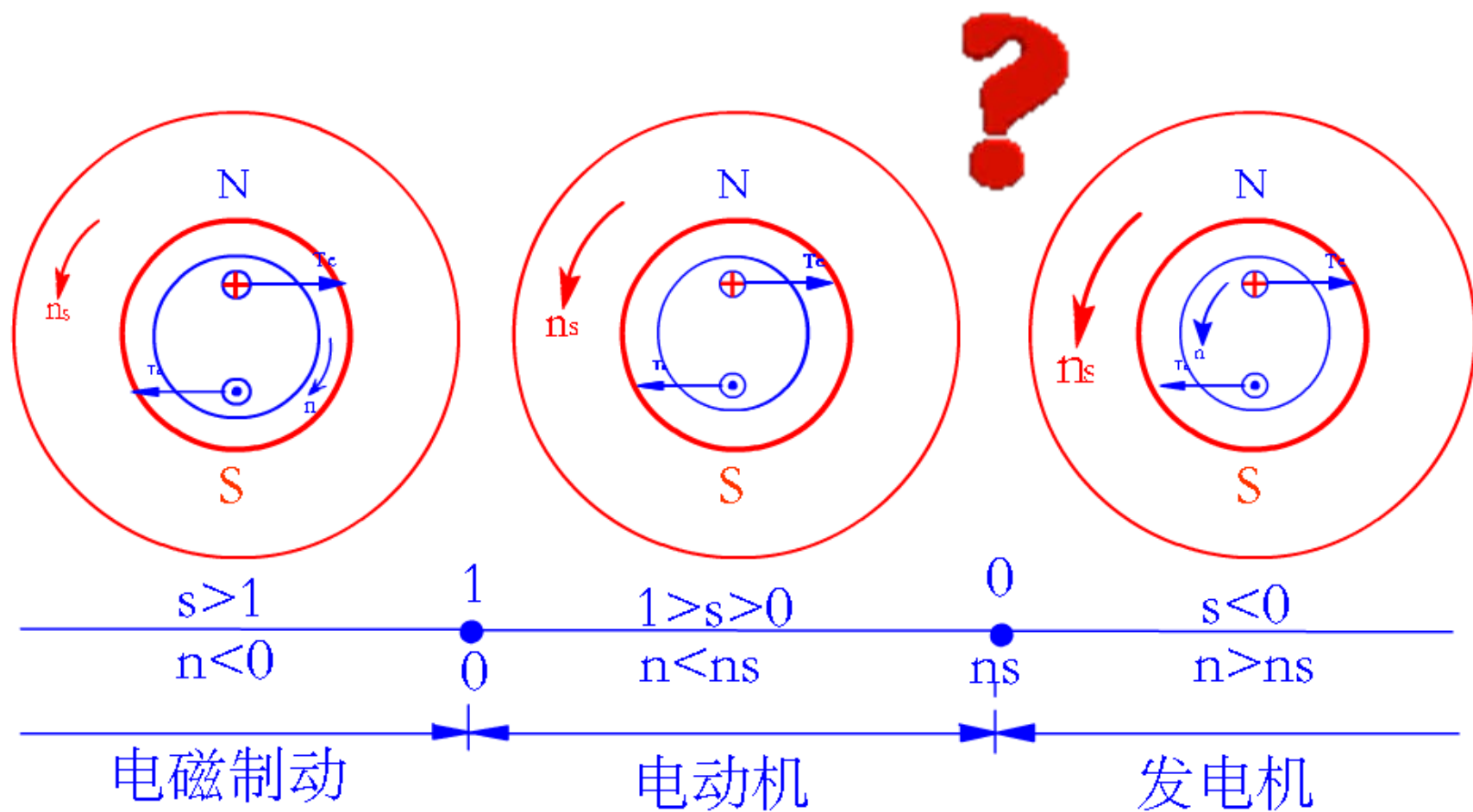
[返回](#)



绕线型感应电动机结构

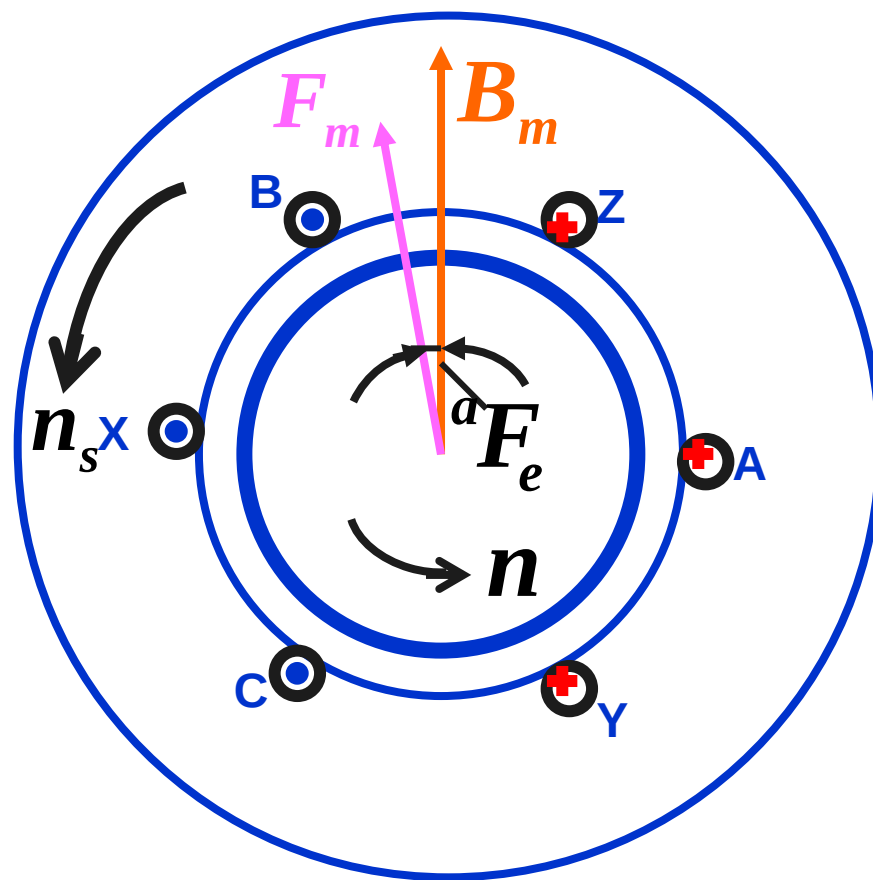


[返回](#)



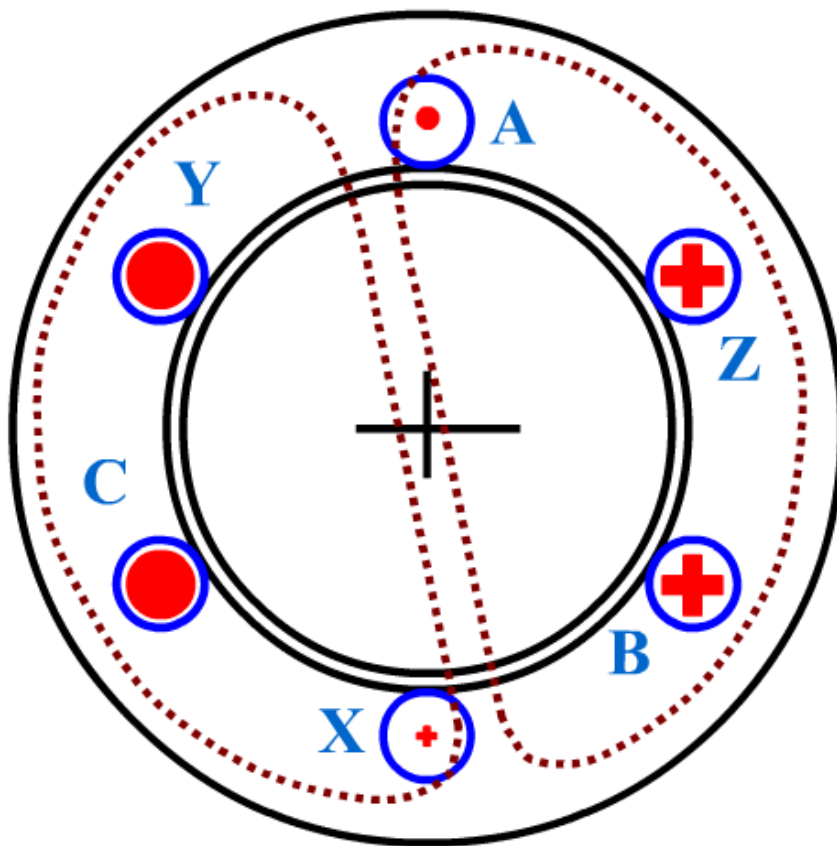
[返回](#)

感应电动机的空载磁动势和磁场

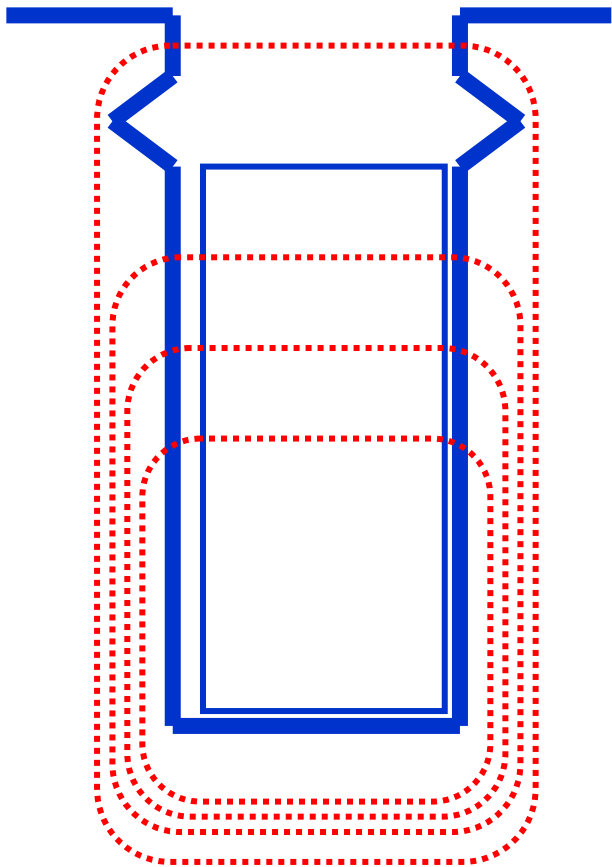


[返回](#)

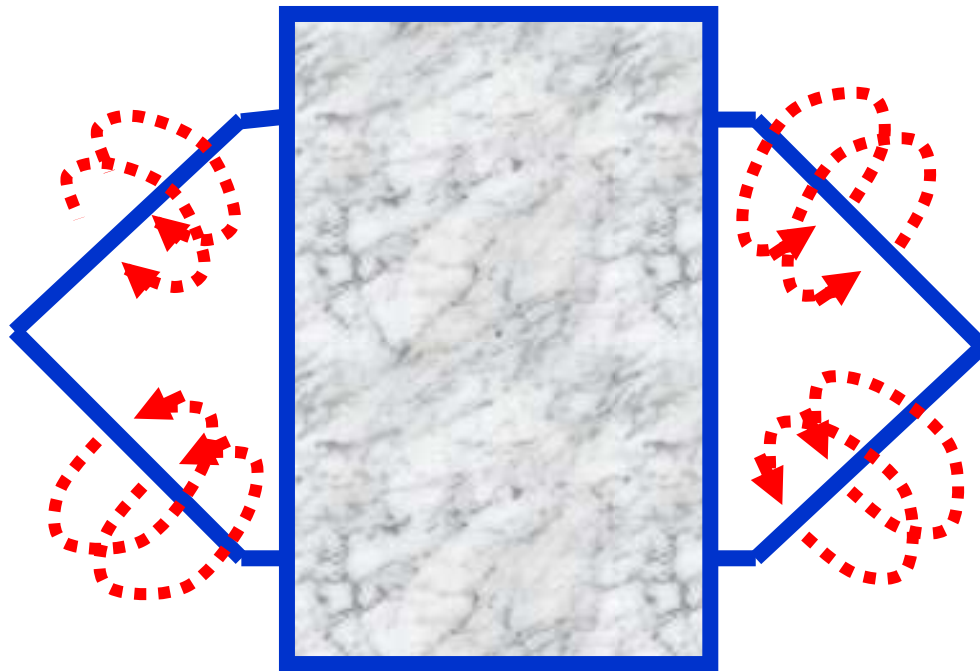
感应电机中主磁通所经过的磁路



[返回](#)



槽漏磁

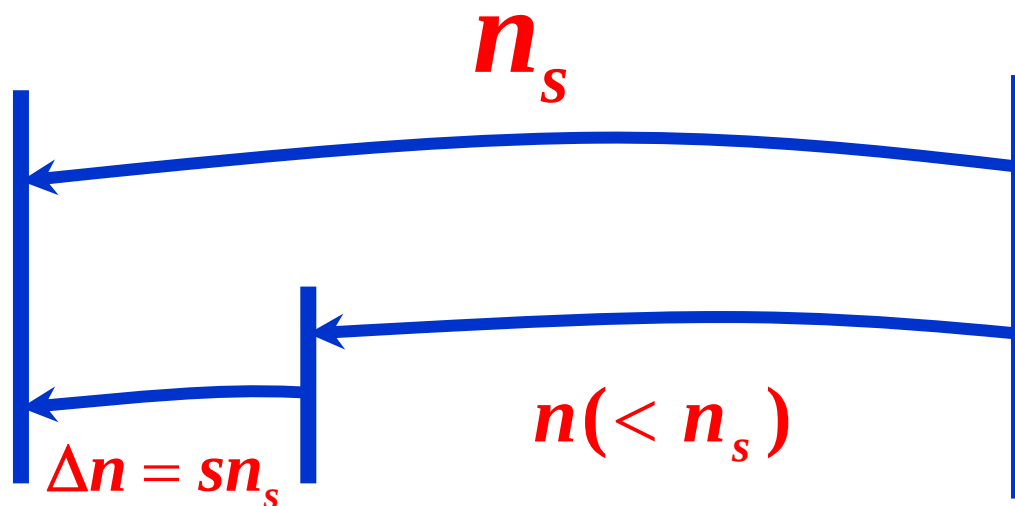


端部漏磁



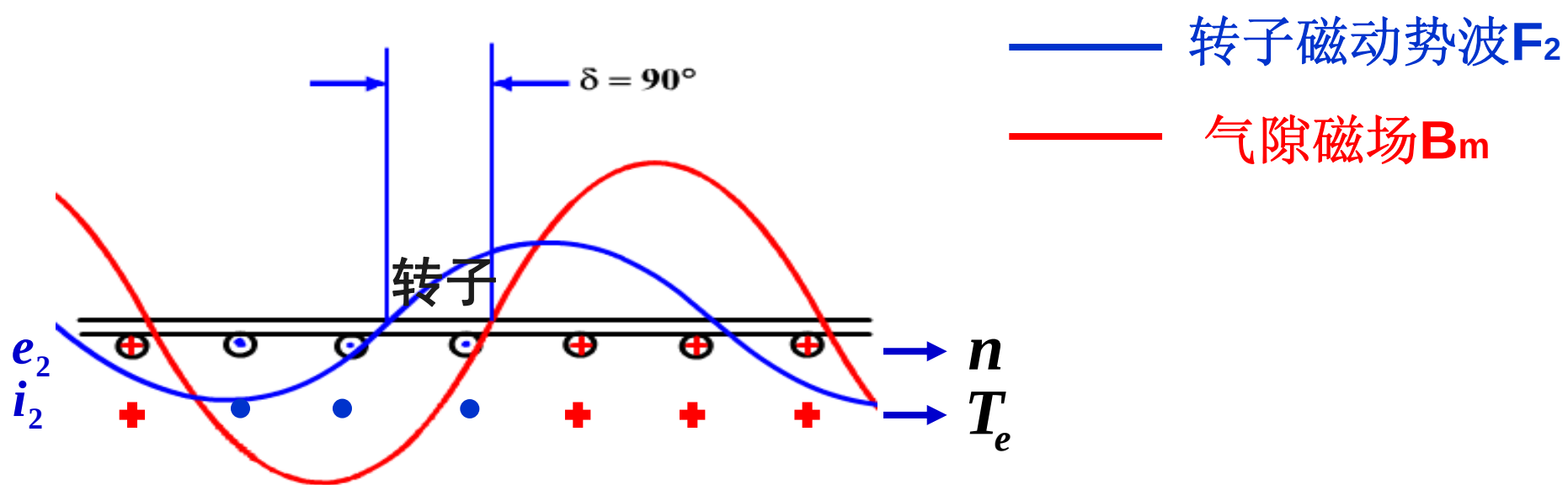
[返回](#)

定转子磁动势之间的速度关系

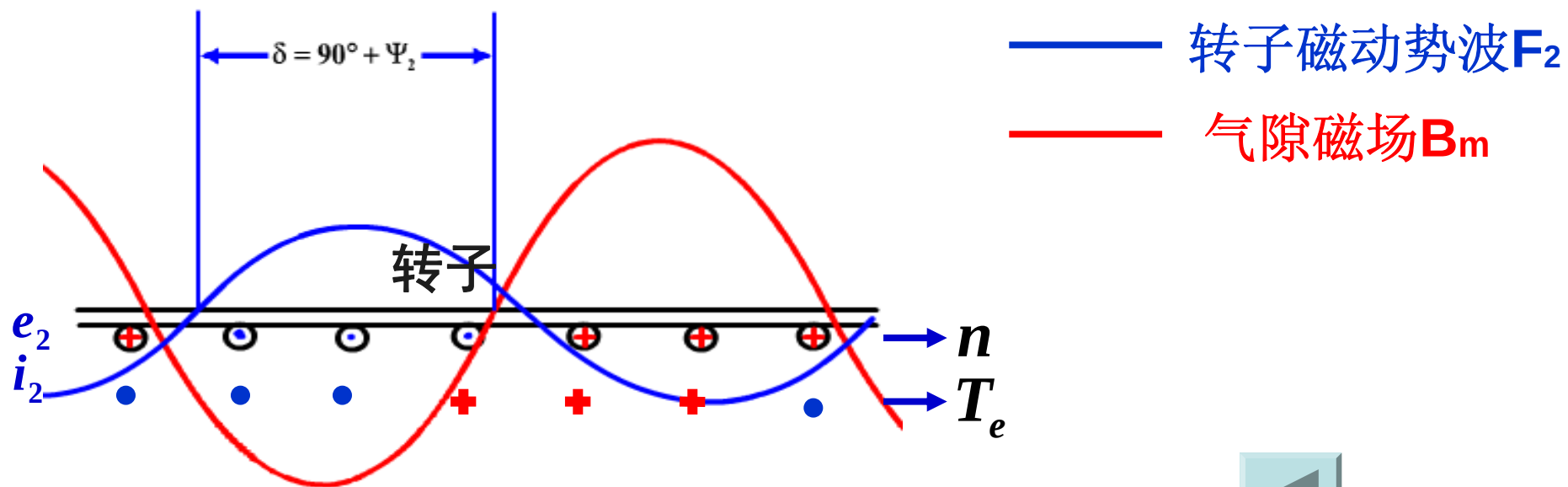


[返回](#)



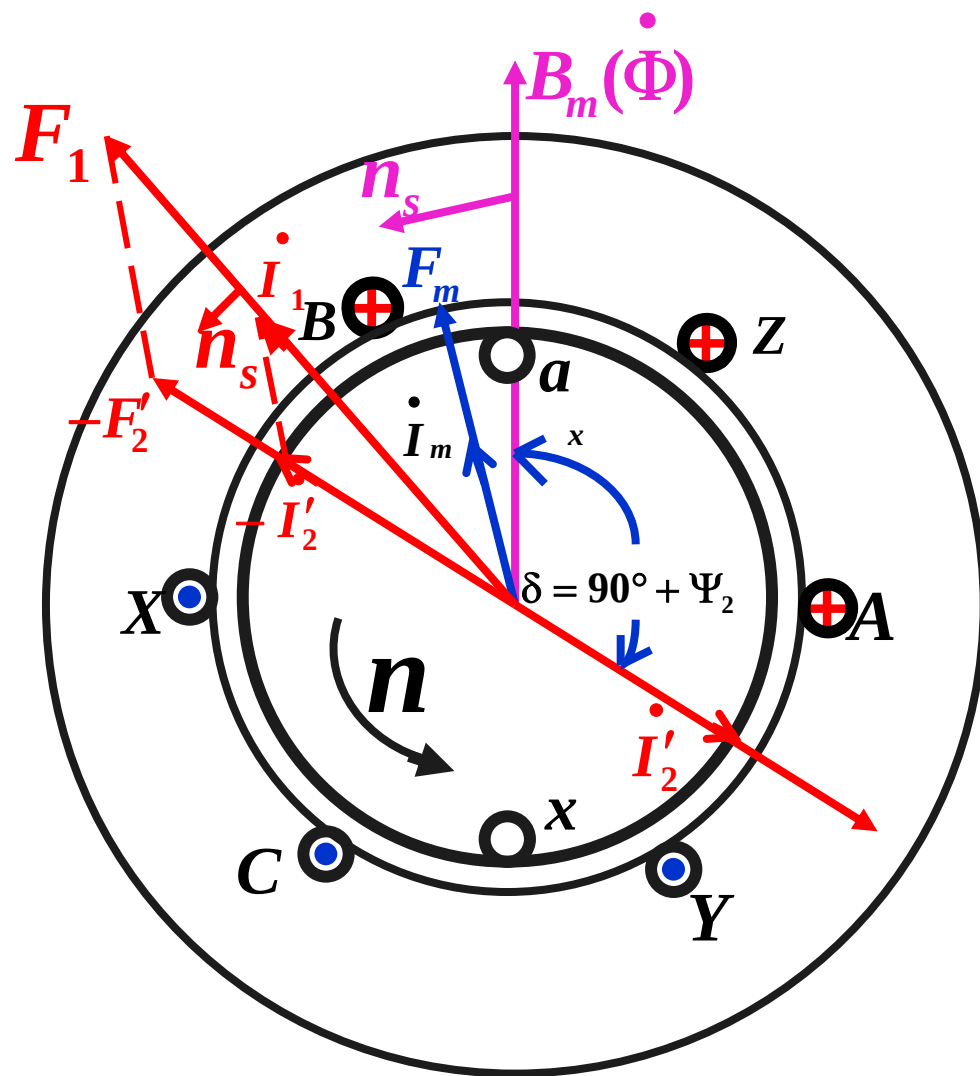


转子磁动势与气隙磁场在空间的相对位置



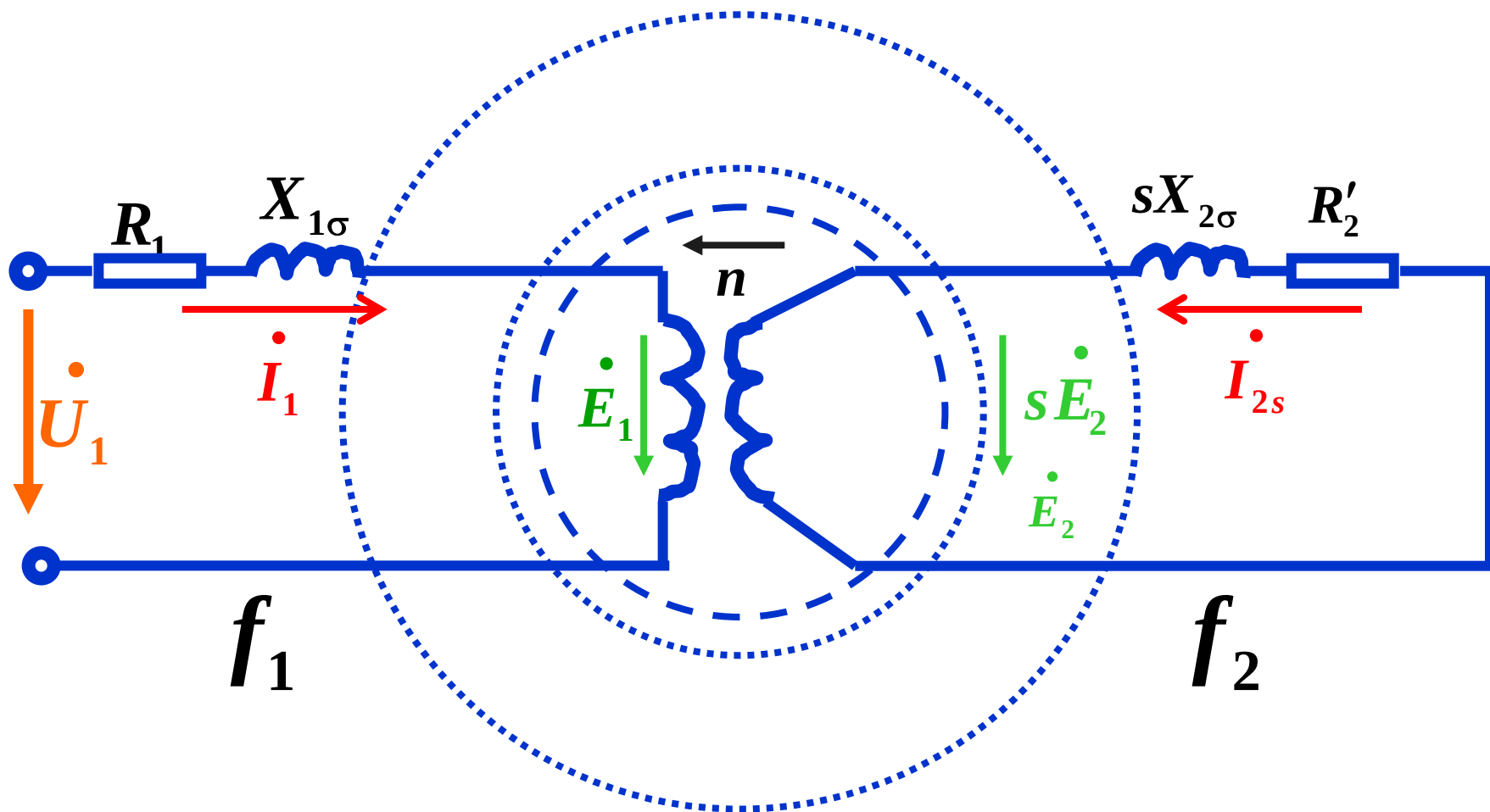
返回

定,转子磁动势的空间矢量图和定,转子电流相量图



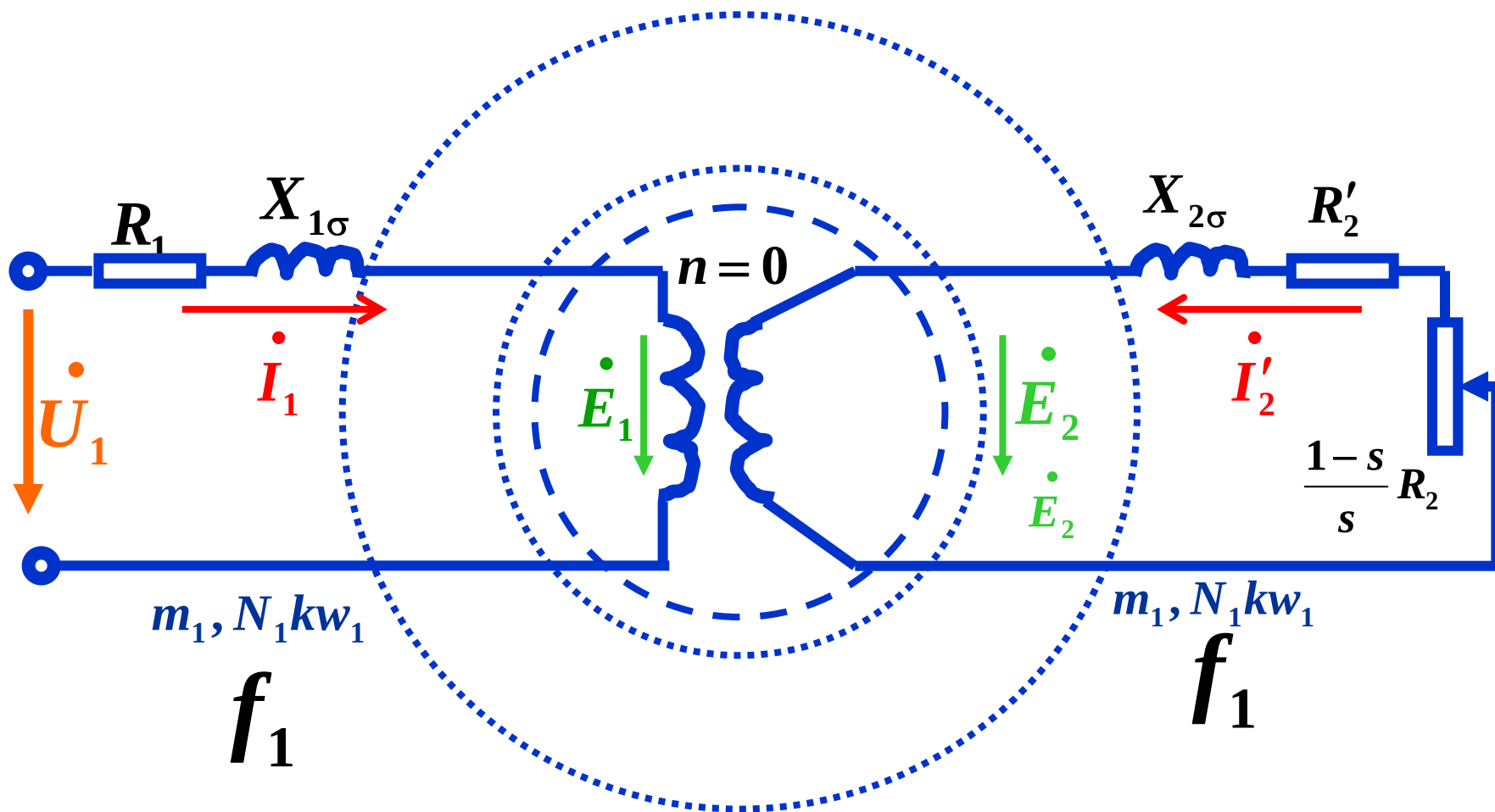
返回

5-12 感应电动机定, 转子耦合电路图



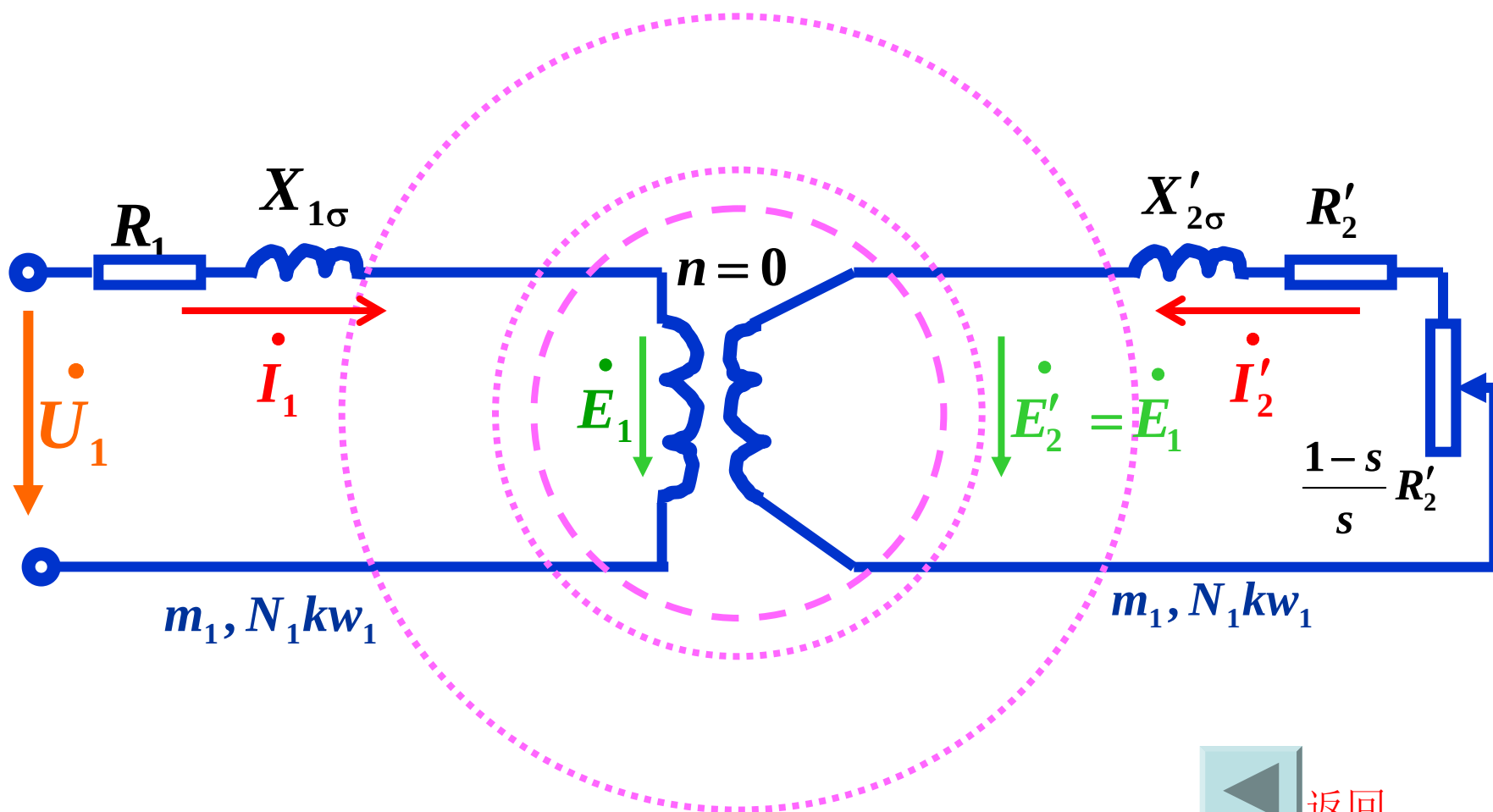
[返回](#)

5-13 频率归算后感应电动机的定、转子电路图

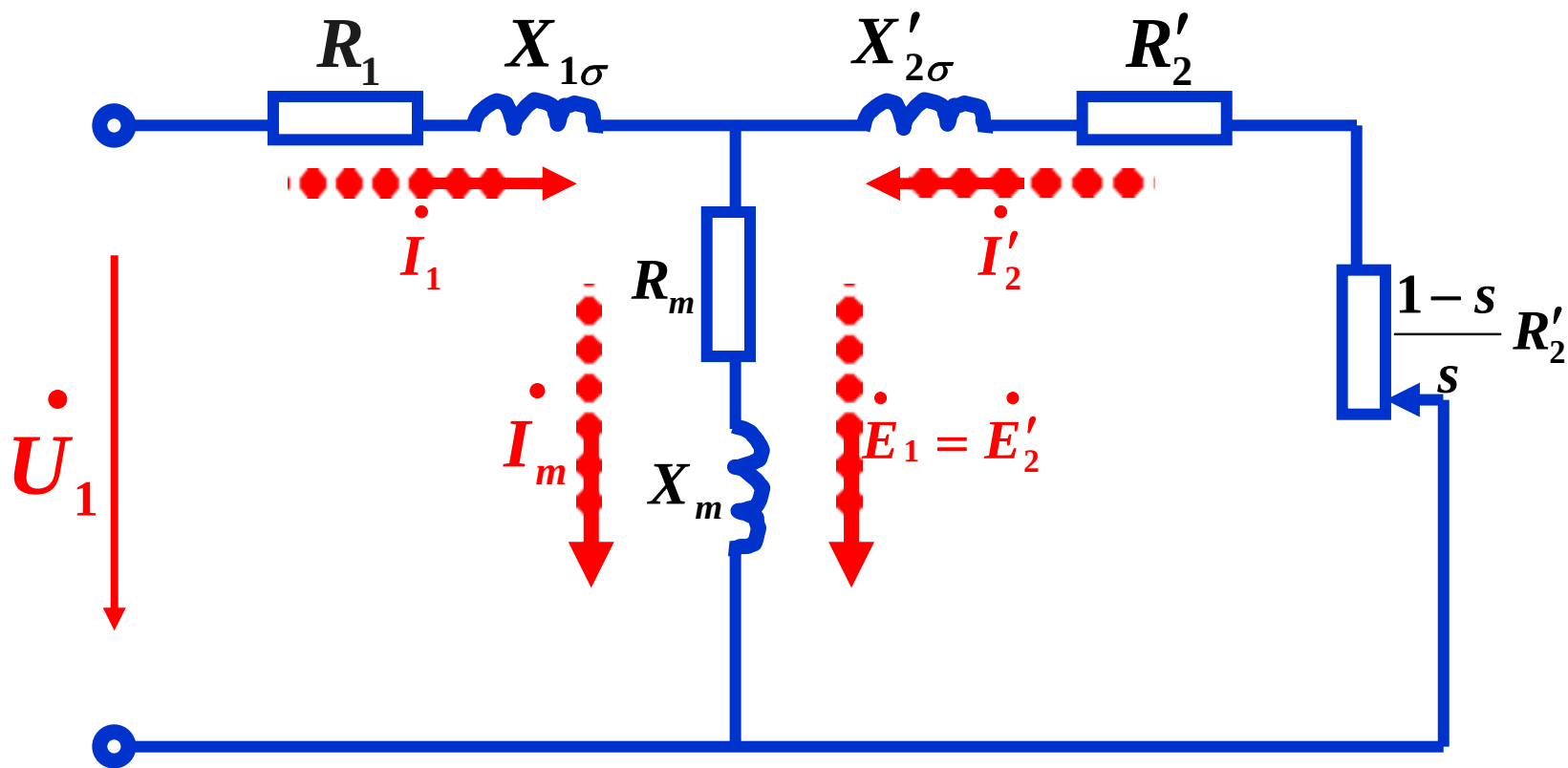


[返回](#)

图5-14 频率和绕组归算后感应电动机的定、转子电路图



感应电动机的T形等效电路



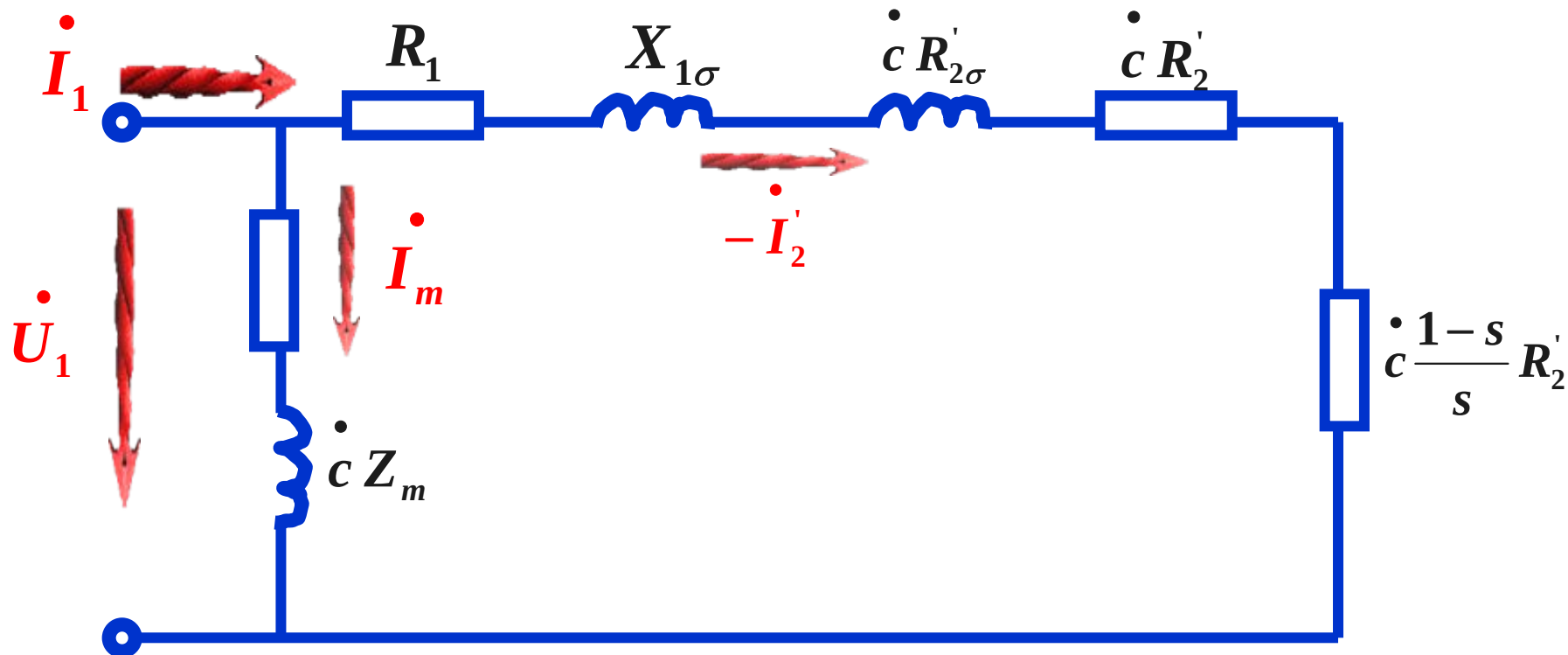
返回

异步电动机相量图



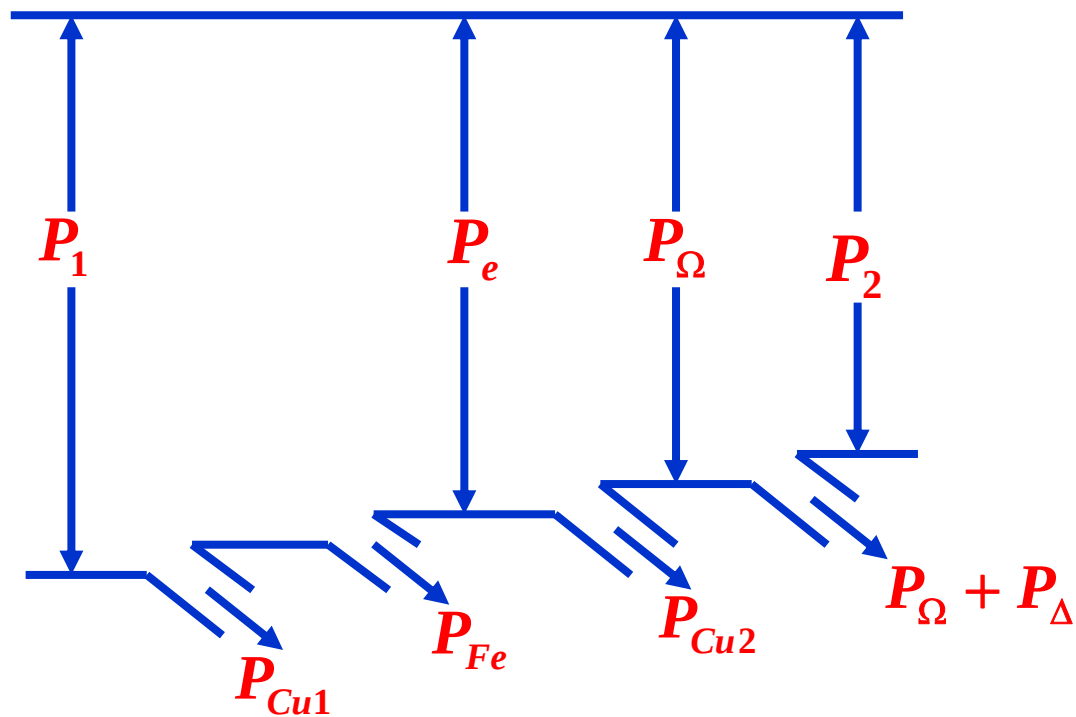
Γ

形近似等效电路



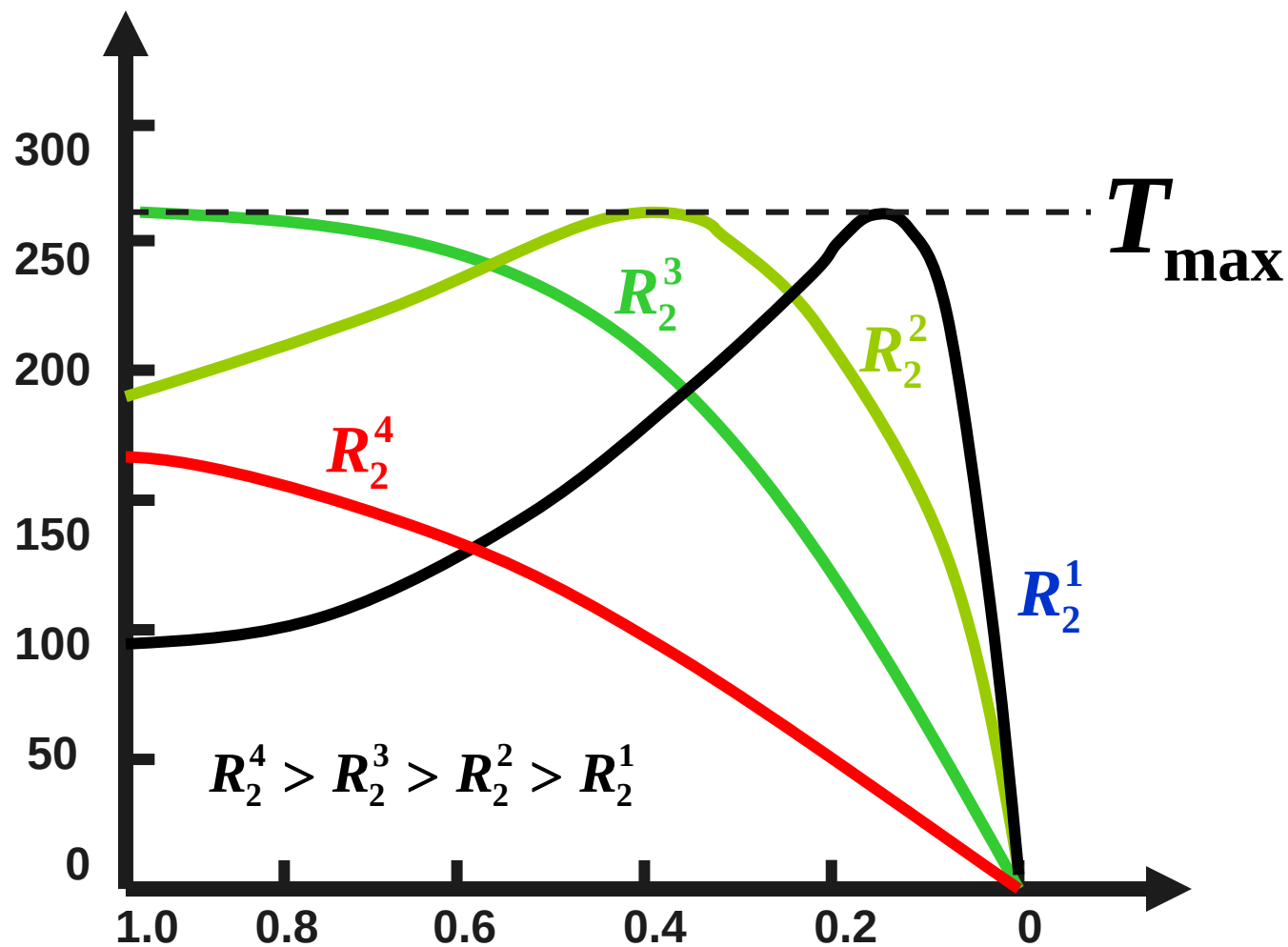
返回

感应电动机的功率图



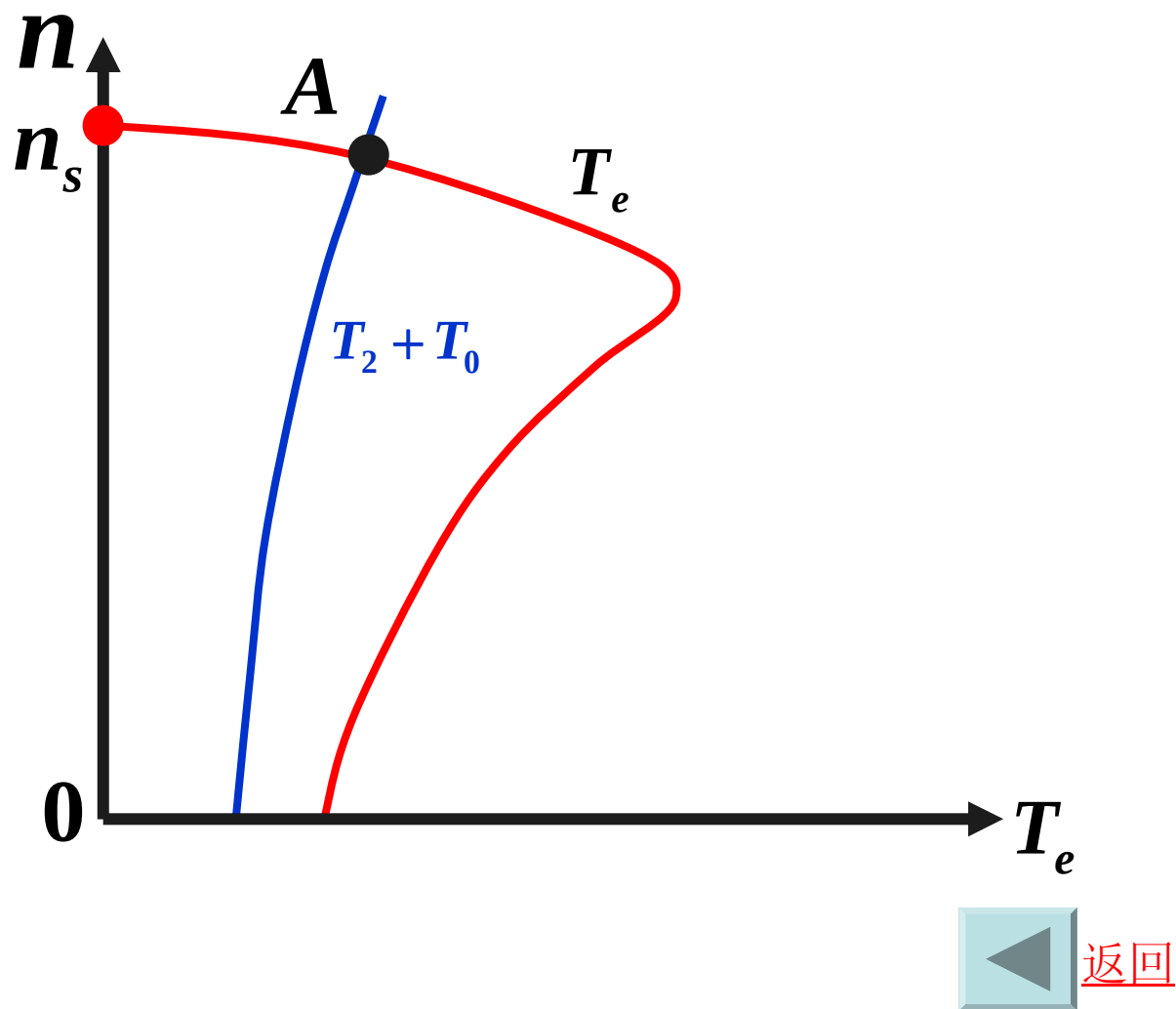
[返回](#)

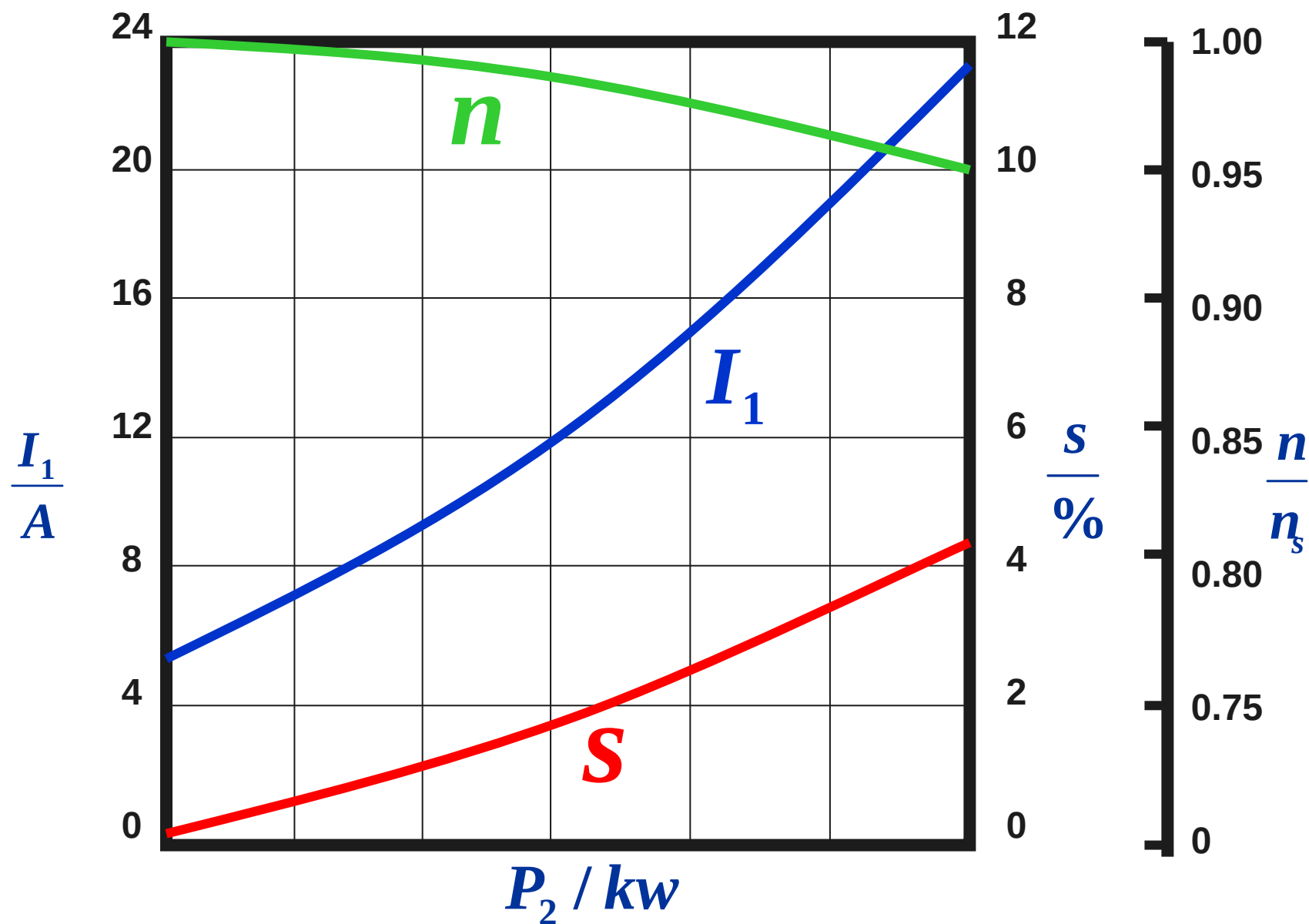
转子电阻变化时的Te-s曲线



[返回](#)

感应电动机的转矩-转速特性

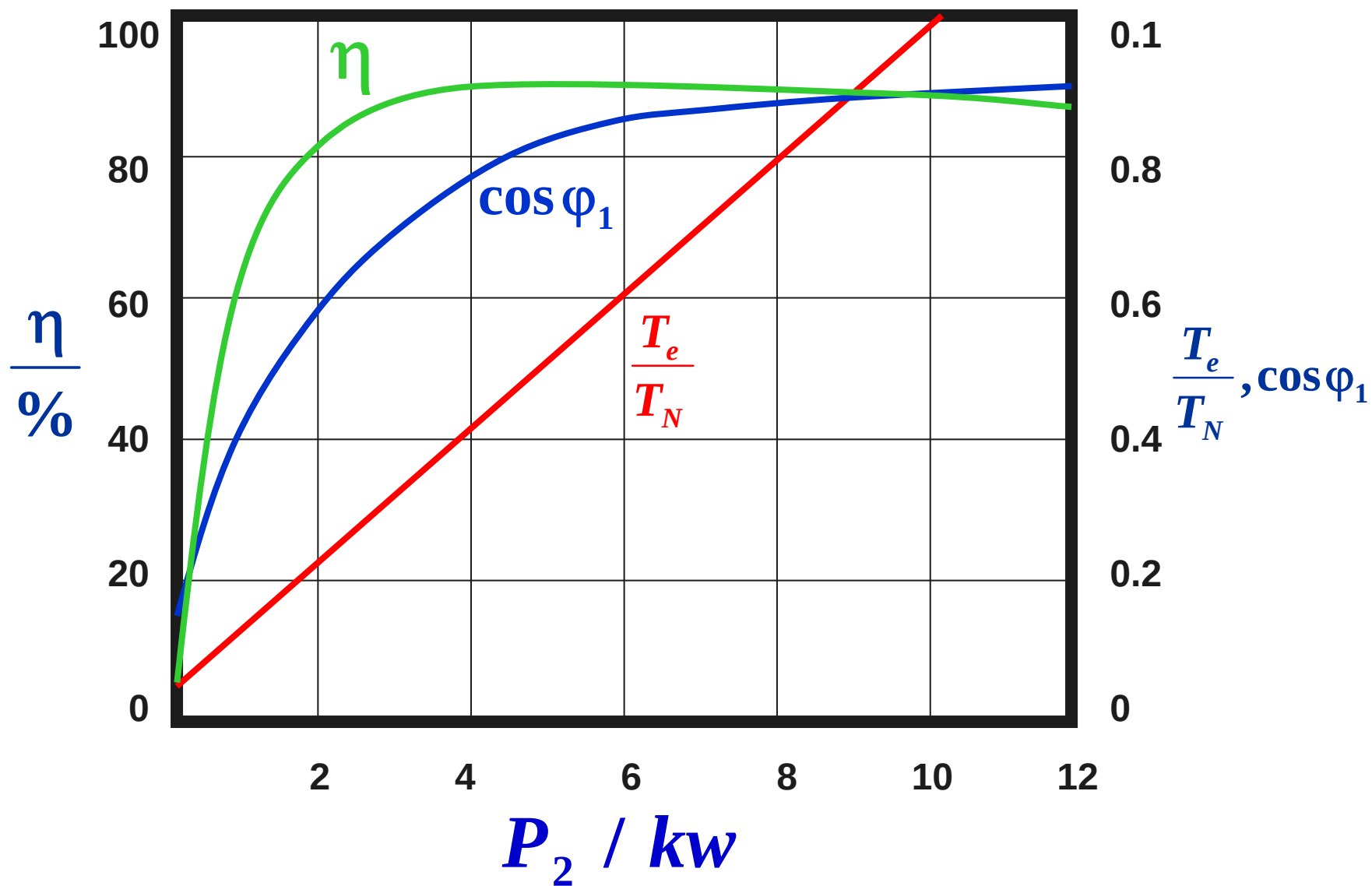




感应电动机的 $n, I_1 = f(P_2)$



返回



感应电动机的 $T_e, \cos \varphi_1, \eta = f(P_2)$



[返回](#)

- [例5-2]有一台50HZ、三相、四极的感应电动机，若转子的转差率 $s=5\%$ ，试求：(1)转子电流的频率；(2)转子磁动势相对于转子的转速；(3)转子磁动势在空间的转速。

解

(1)转子电流的频率

$$f_2 = sf_1 = 0.05 \times 50\text{Hz} = 2.5\text{Hz}$$

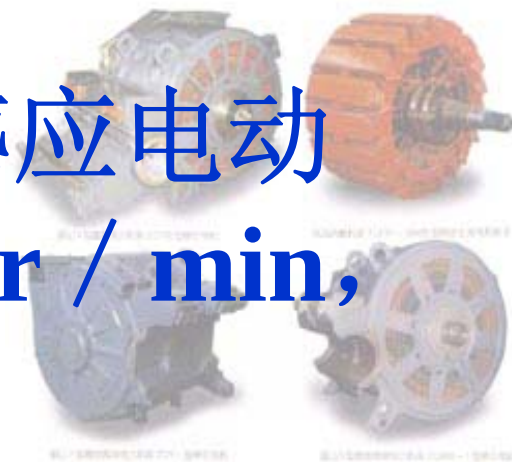
(2)转子磁动势相对于转子的转速

$$n_2 = 60f_2/p = (60 \times 2.5)/2 = 75\text{r/min}$$

(3)由于转子转速 $n = n_s(1-s) = 1500(1-0.05)\text{r/min} = 1425\text{r/min}$ ，所以转子磁动势在空间的转速应为 $(1425+75)\text{r/min} = 1500\text{r/min}$ ，即为同步转速。



[例5—1] 有一台50Hz的感应电动机，其额定转速 $n_N=730\text{r} / \text{min}$ ，试求该机的额定转差率



解 $s = (n_s - n_N) / n_s$

$$= 750 - 730 / 750 = 0.02667$$



- **例[5—3]** 有一台三相四极的笼型感应电动机，额定功率 $P_N=10\text{kW}$ ，额定电压 $U_N=380\text{V}$ (三角形联结)，定子每相电阻 $R_1=1.33\ \Omega$ ，漏抗 $X_{1\sigma}=2.43\ \Omega$ ，转子电阻的归算值 $R'_2=1.12\ \Omega$ ，漏抗归算值 $X'_{2\sigma}=4.4\ \Omega$ ，激磁阻抗 $R_m=7\ \Omega$ ， $X_m=90\ \Omega$ ，电动机的机械损耗 $p_\Omega=100\text{W}$ ，额定负载时的杂散损耗 $p_\Delta=100\text{W}$ 。试求额定负载时电动机的转速，电磁转矩，输出转矩，定子和转子相电流，定子功率因数和电动机的效率。

解

(1) 定子电流和定子输入 功率

设额定负载时的转差率 $s_N = 0.032$ (试探值) , 则转子的等效阻抗为:

$$Z_2' = \frac{R_2'}{s} + jX_{2\sigma}' = \left(\frac{1.12}{0.032} + j4.4 \right) \Omega = 35 + j4.4 \Omega = 35.287.16^\circ \Omega$$

激磁阻抗:

$$Z_m = R_m + jX_m = (7 + j90) \Omega = 90.2785.55^\circ \Omega$$

Z_2' 与 Z_m 的并联值是:

$$\frac{Z_2' Z_m}{Z_2' + Z_m} = \frac{35.287.16^\circ \times 90.2785.55^\circ}{35 + j14.4 + 7 + j90} \Omega = 30.8226.7^\circ \Omega = (27.53 + j13.85) \Omega$$

于是定子相电流 $\dot{I}_1$ 为:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_{1\sigma} + \frac{Z_2' Z_m}{Z_2' + Z_m}} = \frac{3800^\circ}{1.33 + j2.43 + 27.53 + j13.85} \text{ A} = 11.47 / -29.43^\circ \text{ A}$$

定子线电流为 $\sqrt{3} \times 11.47 \text{ A} = 19.87 \text{ A}$

BACK

NEXT

- 定子功率因数为： $\cos \varphi_1 = \cos 29.43^\circ = 0.871$
 $P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1 = 3 \times 380 \times 11.47 \times 0.871 W = 11389 W$

- (2) 转子电流和激磁电流

$$I_2' = I_1 \left| \frac{Z_m}{Z_m + Z_2'} \right| = 11.47 \frac{90.27}{103.32} A = 10.02 A$$

$$I_2 = I_1 \left| \frac{Z_2'}{Z_m + Z_2'} \right| = 11.47 \frac{35.28}{103.32} A = 3.917 A$$

- (3) 定, 转子损耗

$$p_{Cu1} = 3I_1^2 R_1 = 3 \times 11.47^2 \times 1.33 W = 524.9 W$$

$$p_{Fe} = 3I_{m'}^2 R_{m'} = 3 \times 3.917^2 \times 7 W = 322.2 W$$

$$p_{Cu2} = 3I_2'^2 R_2 = 3 \times 10.02^2 \times 1.12 W = 337.3 W$$

$$\sum p = p_{Cu1} + p_{Fe} + p_{\Omega} + p_{\Delta} = (524.9 + 322.2 + 337.3 + 100 + 100) W = 1384.4 W$$

- (4) 输出功率和效率

$$p_2 = p_1 - \sum p = (11389 - 1384.4) W \approx 10004 W$$

$$\eta = 1 - \frac{\sum p}{p_1} = 1 - \frac{1384.4}{11389} = 87.84 \%$$

•



- (5) 额定负载时的转速

$$n_N = n_s(1 - s_N) = 1500(1 - 0.032) \text{ r/min} = 1452 \text{ /min}$$

- (6) 电磁转矩和输出转矩

$$p_\Omega = 3I_2'^2 \frac{1-s}{s} R_2' = 3 \times 10.02^2 (1 - 0.032) \times 35 \text{ W} = 10204 \text{ W}$$
$$\Omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \times 1452}{60} \text{ rad/s} = 152.1 \text{ rad/s}$$
$$T_t = \frac{p_\Omega}{\Omega} = \frac{10204}{152.1} \text{ N} \cdot \text{m} = 67.1 \text{ N} \cdot \text{m}$$
$$T_2 = \frac{p_2}{\Omega} = \frac{10004}{152.1} \text{ N} \cdot \text{m} = 65.79 \text{ N} \cdot \text{m}$$

从上面的计算可见，在所设转差率下，输出功率 $P_2 \approx 10 \text{ kW}$ ，即电动机在额定负载下运行，符合题目要求。如果算出的 $P_2 \neq P_N$ ，则要重新假设一个转差率 s ，一直到算出的 $P_2 = P_N$ 为止。



[例5·4]一台四极、380V、三角形联结的感应电动机，其参数为 $R_1=4.47\Omega$ ， $R'_2=3.18\Omega$ ， $X_{1\sigma}=6.7\Omega$ ， $X'_{2\sigma}=9.85\Omega$ ， $X_m=188\Omega$ ， R_m 忽略不计。试求该电动机的最大转矩 $T_{\max}$ 及临界转差 s_m ，起动电流 I_{st} 及起动转矩 T_{st} 。

解 系数 c 为

$$c \approx 1 + \frac{X_{1\sigma}}{X_m} = 1 + \frac{6.7}{188} = 1.036$$

$$s_m = \frac{cR'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + cX'_{2\sigma})^2}} = \frac{1.036 \times 3.18}{\sqrt{4.47^2 + (6.7 + 1.036 \times 9.85)^2}} = 0.1884$$

$$T_{\max} = \frac{m_1}{\Omega_1} \cdot \frac{U_1^2}{2c[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + cX'_{2\sigma})^2}]} =$$

$$\frac{3}{2\pi \frac{1500}{60}} \frac{380^2}{2 \times 1.036 [4.47 + \sqrt{4.47^2 + (6.7 + 1.036 \times 9.85)^2}]} N \cdot m =$$

$$60.61 N \cdot m$$



起动时**s=1**，起动电流和起动转矩分别为：



$$I_{st} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + cR_2')^2 + (X_{1\sigma} + cX_{2\sigma}')^2}} = \frac{380}{\sqrt{(4.47 + 1.036 \times 3.18)^2 + (6.7 + 1.036 \times 9.85)^2}} \text{ A} = 20.43 \text{ A}$$

$$T_{st} = \frac{m_1}{\Omega_s} \cdot \frac{U_1^2 R_2'}{(R_1 + cR_2')^2 + (X_{1\sigma} + cX_{2\sigma}')^2} = \frac{3}{2\pi \frac{1500}{60}} \cdot \frac{380^2 \times 3.18}{(4.47 + 1.036 \times 3.18)^2 + (6.7 + 1.036 \times 9.85)^2} \text{ N} \cdot \text{m} = 25.34 \text{ N} \cdot \text{m}$$

◀BACK

