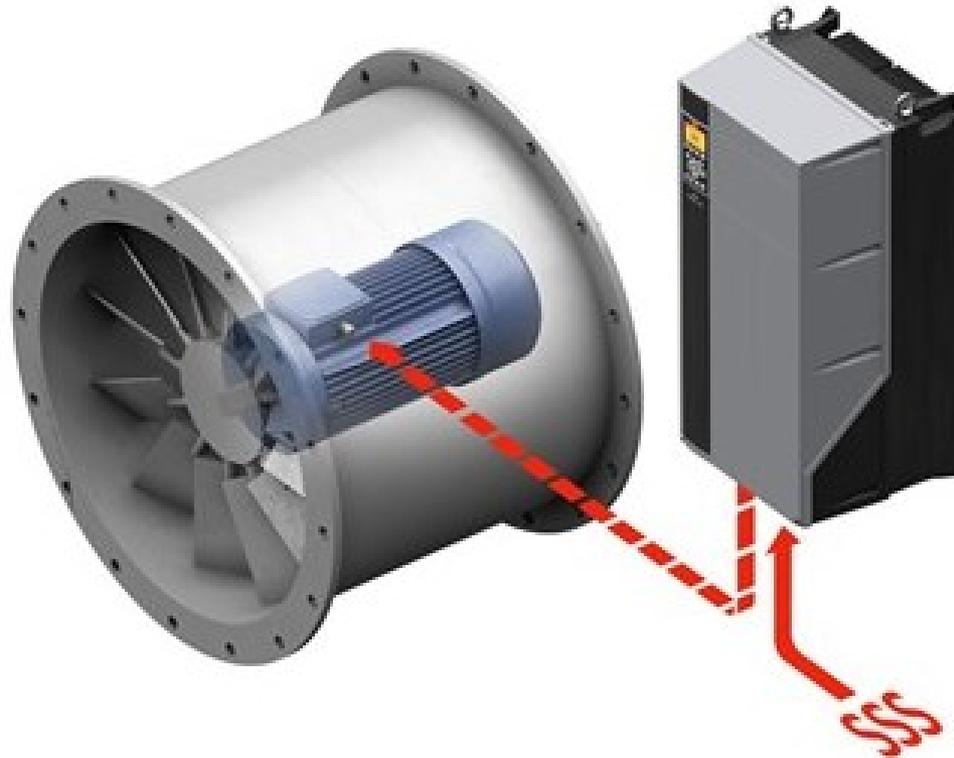




第十章 三相交流电动机的调速 Three-Phase Asynchronous Motor Governing





- 一. 鼠笼式异步电动机调速
- 二. 绕线式异步电动机调速
- 三. ~~同步电动机调速~~



- 一. 鼠笼式异步电动机调速
- 二. 绕线式异步电动机调速
- 三. 同步电动机调速



一. 鼠笼式异步电动机调速

本节学习要点：

- ① 降压调速原理与特点
- ② 变极对数调速原理与特点
- ③ 变频调速原理与特点
- ④ 电磁转差离合器原理与特点



1、降压调速

$$T = \frac{3pU_1^2 \frac{R'_2}{s}}{2\pi f_1 \left[(R_1 + \frac{R'_2}{s})^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}$$

$$\begin{cases} s_m = \pm \frac{R'_2}{X_1 + X'_2} \\ T_m = \pm \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 (X_1 + X'_2)} \end{cases}$$

调速原理及机械特性：

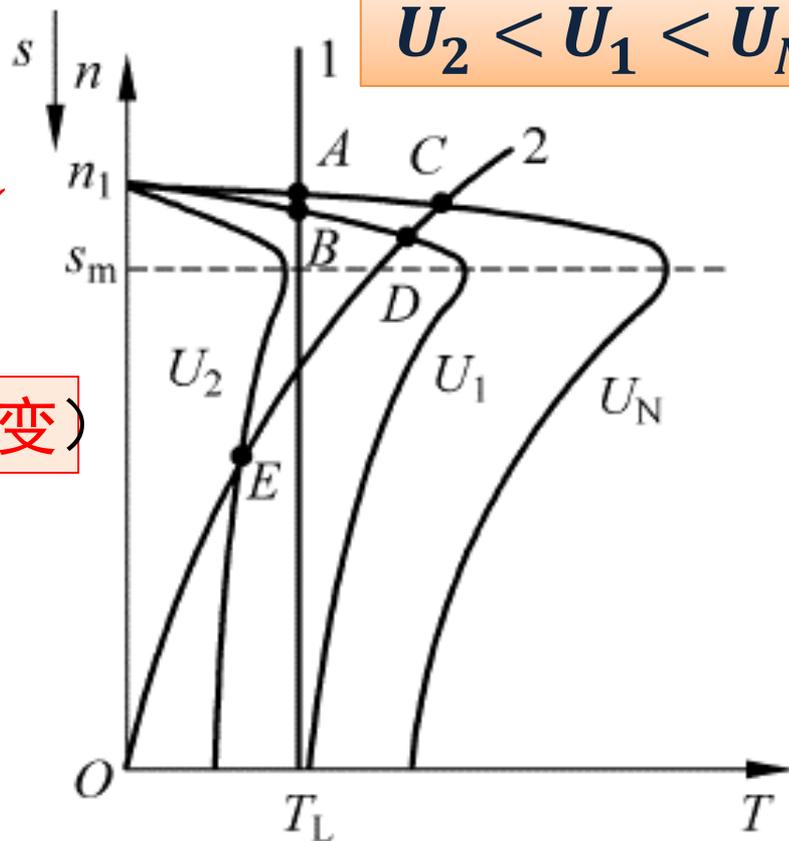
$U_1 \downarrow \begin{cases} n_1 \text{ 不变} \\ s_m \text{ 不变, } T_m \propto U_1^2 \rightarrow n \downarrow \\ T \propto U_1^2 \end{cases}$

特点： 允许输出转矩 ($I'_2 = I'_{2N}$ 不变)

$$T_l = \frac{P_M}{\Omega_1} = \frac{3I'_{2N}{}^2 \frac{R'_2}{s}}{\Omega_1} \propto \frac{1}{s}$$

要求 $U_1 \downarrow \rightarrow s \uparrow \rightarrow T_l \downarrow$
 $\rightarrow n \downarrow \rightarrow T_L \downarrow \rightarrow T_L = kn^2$

适合泵类负载



三相异步电动机降压调速
1—恒转矩负载，2—风机负载



1、降压调速

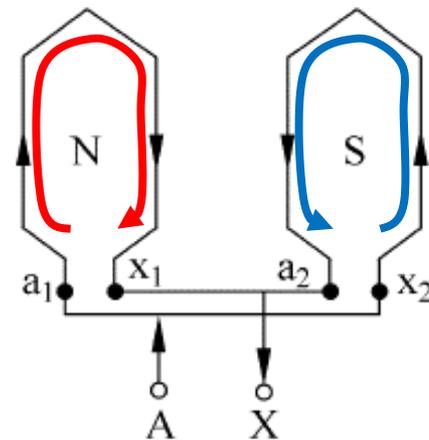
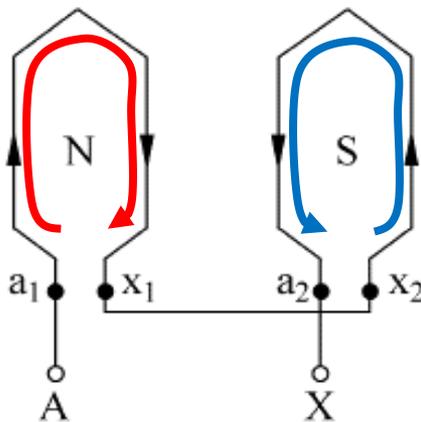
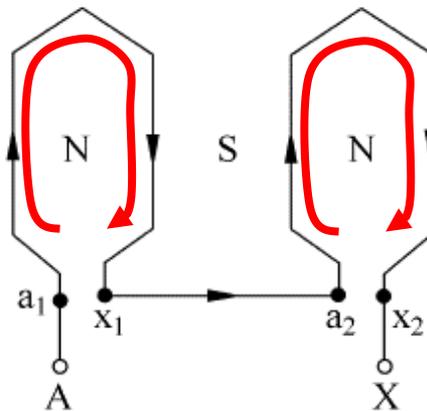
优点：设备简单，控制方便，调速平滑性好。

- 缺点：
- 1) 仅适用于通风机负载。对恒转矩负载调速范围不大 ($0 \sim s_m$ 范围)。
 - 2) 低速时， s 较大，($p_{cu2} = sP_M$ ，使 p_{cu2} 较大，效率降低)，电机发热严重。
 - 3) 为了扩大调速范围，增大起动转矩且限制低速时的电流，一般采用**转子电阻较大**因而机械特性较软的**高滑差电机**或绕线式转子串电阻。**对鼠笼型转子电动机不适用。**

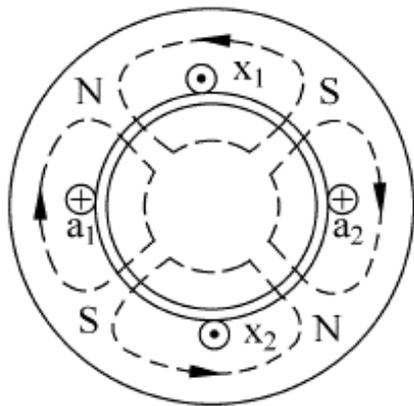
2、变极对数调速

a_1x_1 与 a_2x_2 反向串联

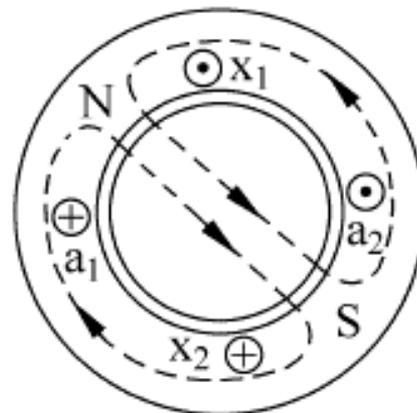
a_1x_1 与 a_2x_2 头尾串联后再反向并联



$2p=4$



$2p=2$



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



2、变极对数调速

调速原理：改变每相绕组中**一半线圈的电流方向**，电动机的极对数便成倍变化，其同步速也成倍变化，对恒转矩负载而言，其运行转速也接近**成倍地变化**。

- 特点：**
- 1) 变极调速只适用于鼠笼型转子($p_1 = p_2$)。
 - 2) 变极调速为分级调速，平滑性差。
 - 3) 为保证变极调速时电动机**转向不变**，变极调速的同时需**改变电源的相序**。

	绕组电角度	绕组相序
$p=1$	A:0° B: 120° C:240°	A→B→C
倍极 $p=2$	A:0° B: 240° C:120°	A→C→B

3、变频调速

调速原理：

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

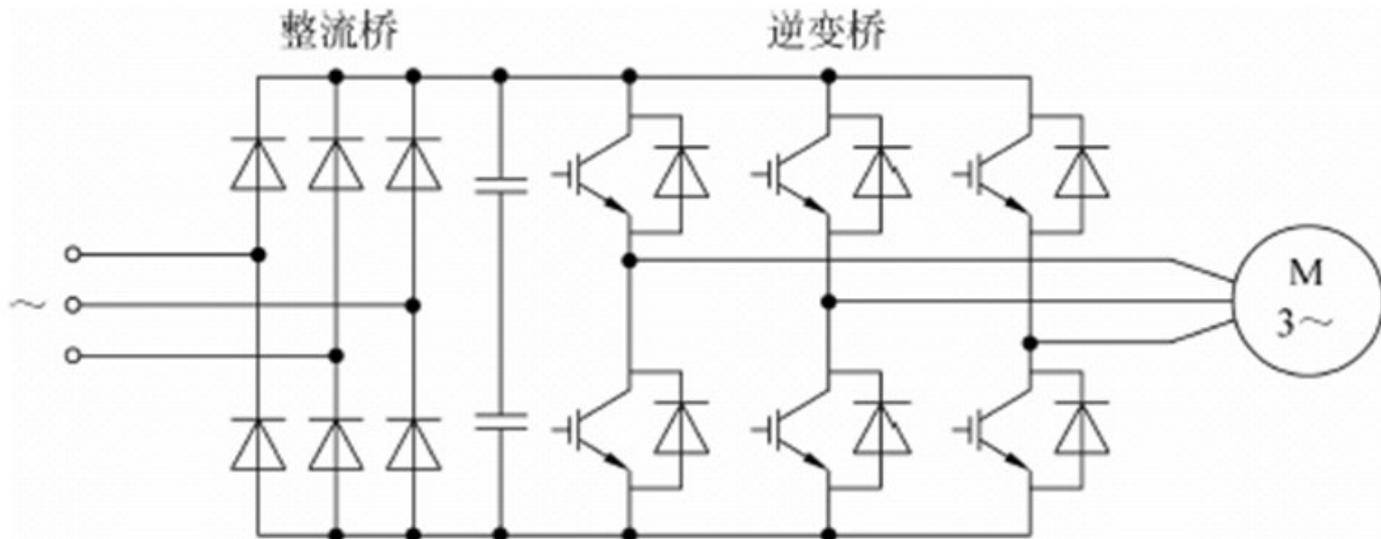


f_1 连续可调



n_1, n 可调

调速设备-变频器

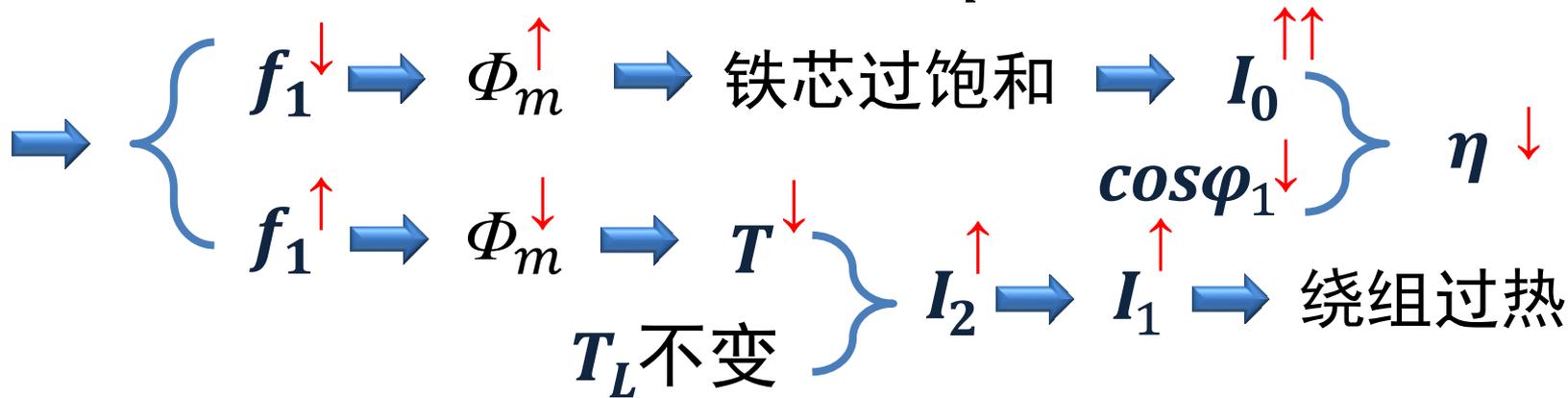


3、变频调速

基本要求:

(1) 主磁通 Φ_m 保持不变

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f_1 N_1 k_{dp1} \Phi_m$$



(2) 过载能力保持不变

$$\lambda = \frac{T_m}{T_N} \rightarrow \text{带负载能力不变}$$

3、变频调速

(1) 从基频**向下**变频调速

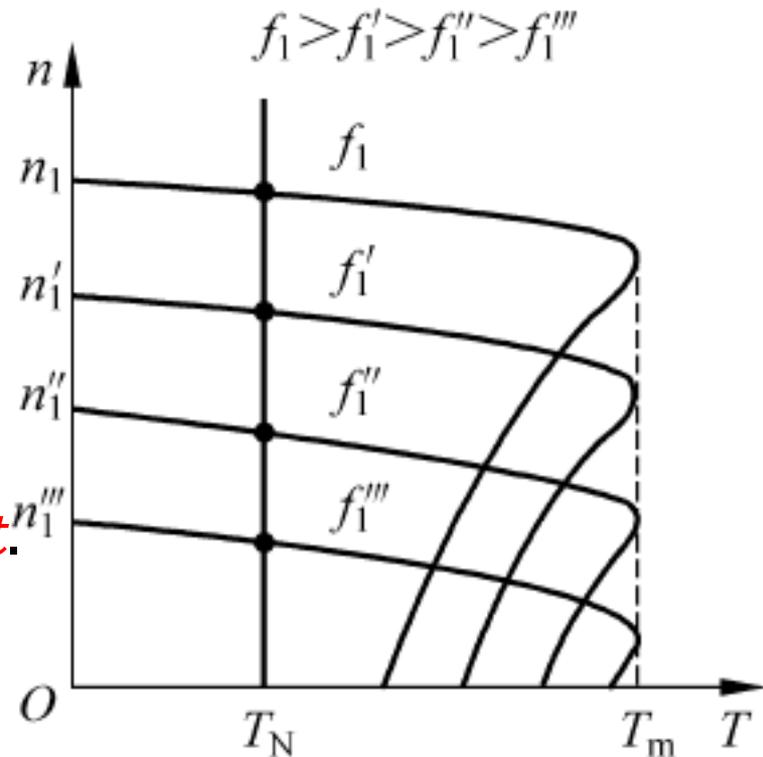
$$T_m = \frac{m_1 p}{4\pi} \left(\frac{E_1}{f_1} \right)^2 \frac{1}{2\pi L'_2} = \text{Const.}$$

若 T_L 不变

$$T = \frac{m_1 p}{2\pi} \left(\frac{E_1}{f_1} \right)^2 \frac{f_1 \frac{R'_2}{s}}{\left(\frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X'_2)^2} = \text{Const.}$$

→ $I'_2 = \text{Const.}$ 推导过程略

恒转矩调速方式



保持 $\frac{E_1}{f_1} = \text{常数}$ 时，变频调速机械特性曲线

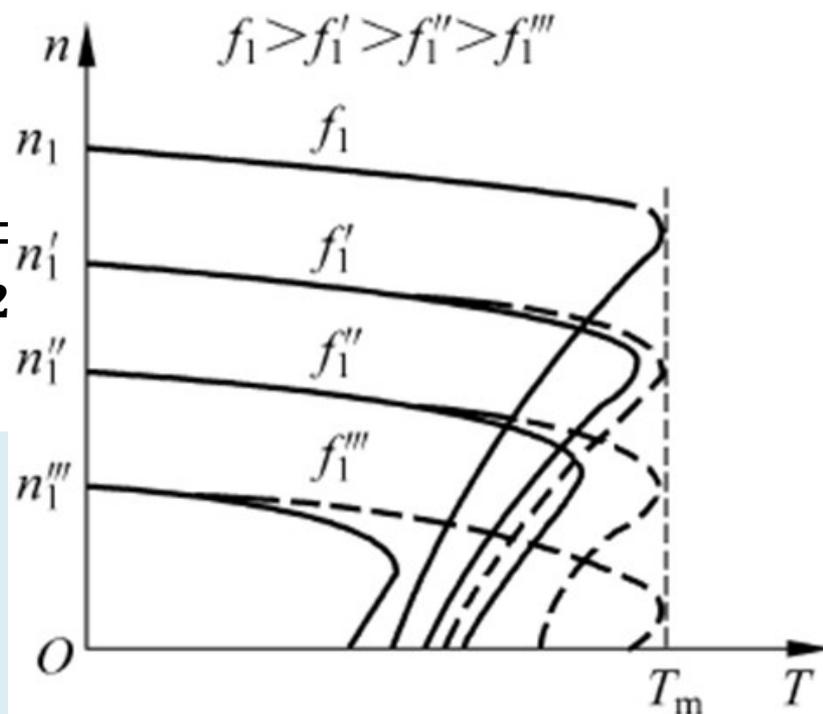
3、变频调速

(1) 从基频向下变频调速

$$T_m = \frac{m_1 p}{4\pi} \left(\frac{U_1}{f_1} \right)^2 \frac{f_1}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

- 频率接近额定时，最大电磁转矩 **下降不多**
- 当频率值较小时，最大电磁转矩 **明显下降**

恒转矩调速方式



保持 $\frac{U_1}{f_1} = \text{常数}$ 时，变频调速机械特性曲线

3、变频调速

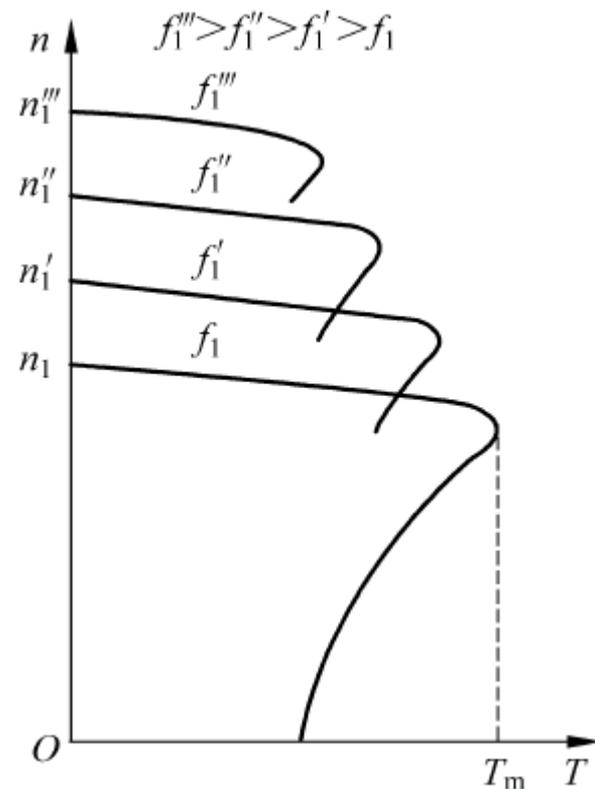
(2) 从基频向上变频调速（弱磁升速）

$$T_m \approx \frac{m_1 p U_1^2}{4\pi f_1 (X_1 + X_2')} \propto \frac{1}{f_1^2}$$

$$s_m \approx \frac{R_2'}{2\pi f_1 (L_1 + L_2')} \propto \frac{1}{f_1}$$

$$P_M \approx \frac{m_1 p U_1^2}{2\pi f_1} \frac{2\pi f_1}{R_2'} = \frac{m_1 U_1^2}{R_2'}$$

恒功率调速方式



保持 U_N 时，变频调速机械特性曲线



3、变频调速

- 优点：
- 1) 从基频向下调速为恒转矩调速方式，从基频向上调速近似为恒功率调速方式；
 - 2) 调速范围大；
 - 3) 转速稳定性好；
 - 4) 运行时 s 小，效率高；
 - 5) 频率可连续调节，属无级调速。

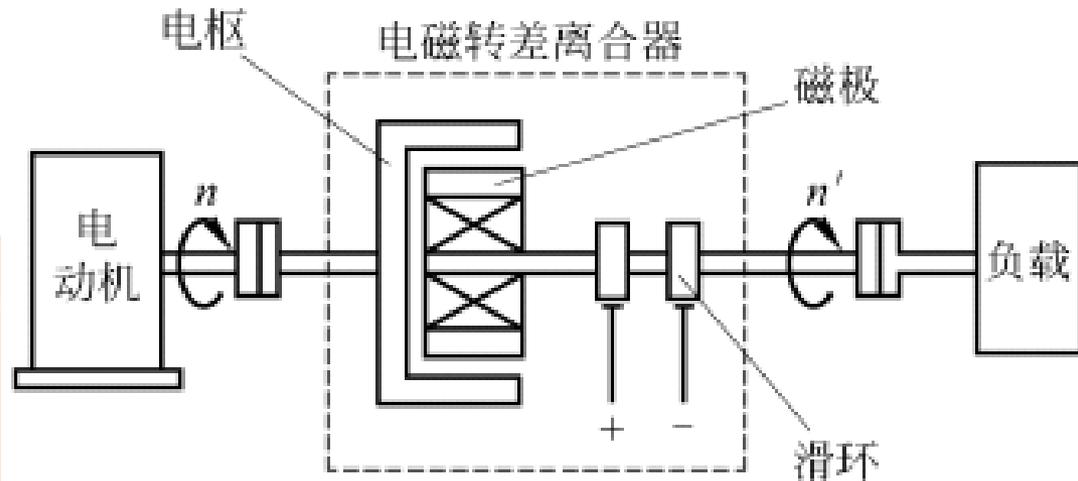
缺点：变频电源

4、电磁转差离合器

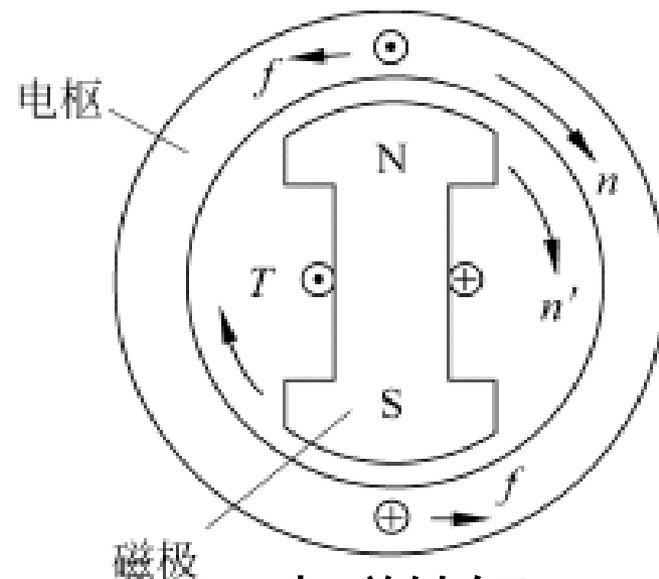
工作原理：

离：**磁极部分电流为零**时，磁极与电枢间无磁的联系，磁极及所连的负载不动；

合：**磁极部分电流不为零**时，两者间的相对运动使电枢的鼠笼条中感应电流，鼠笼条受力为 f ，形成逆时针方向的力矩，**按照相对运动**，磁极部分受到顺时针方向的力矩，带动机械负载以转速 n' 旋转。



电磁转差离合器示意图



电磁转矩

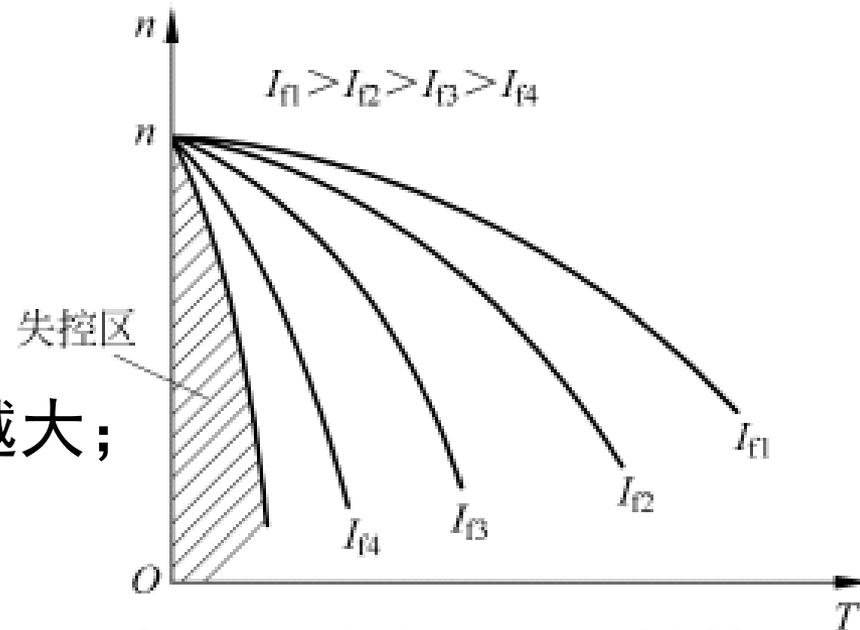
4、电磁转差离合器

机械特性：

空载理想转速： n ；

转速相同， I_f 越大，电磁转矩 T 越大；

转矩相同， I_f 越大，转速越高。



电磁转差离合器机械特性

优点：设备简单、控制方便、可平滑调节。

缺点：机械特性较软，稳速性能较差，调节范围较小，且低速时效率也较低。



- 一. 鼠笼式异步电动机调速
- 二. 绕线式异步电动机调速**
- 三. 同步电动机调速



二. 绕线式异步电动机调速

本节学习要点:

- ① 转子串入电阻调速原理与特点
- ② 双馈电机调速原理与特点
- ③ 晶闸管异步电动机串级调速原理

1、绕线式异步电动机转子串入电阻调速

工作原理与机械特性：

串电阻越大，转速越低。

$$T = \frac{2T_m}{s} s \quad \text{直线段}$$

恒转矩负载 T_L

$$s \propto s_m \propto R_z = R_2 + R_s$$

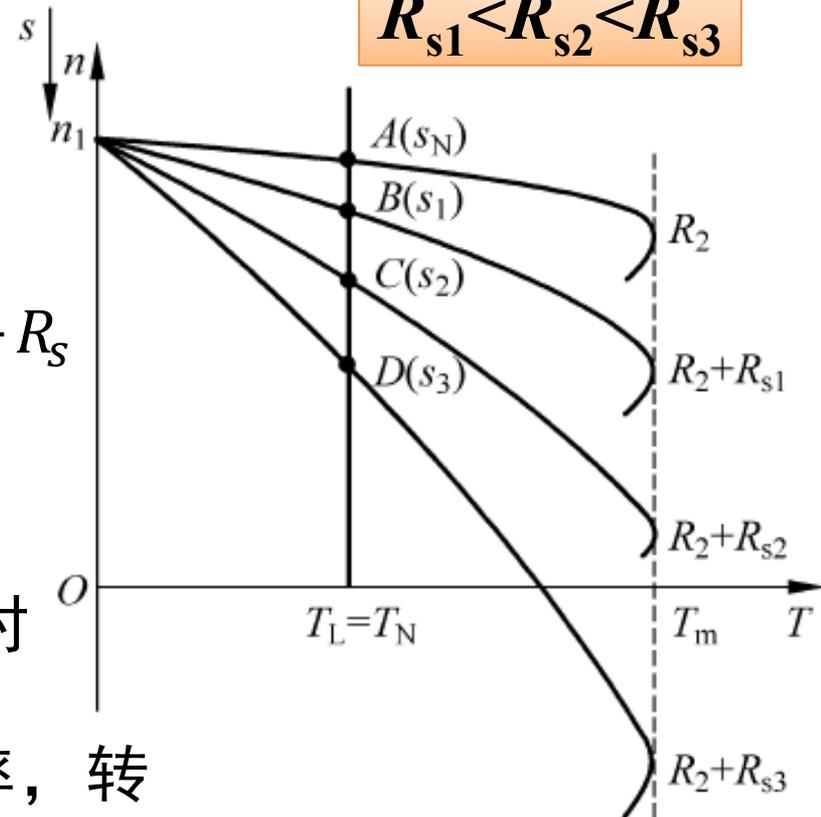
恒转矩调速方式

特点： ① 调速范围不大，负载小时调速范围更小。

② 欲扩大调速范围，须增大转差率，转子回路铜耗增大，电机效率降低。

③ 这种调速方式多用于低速运行时间不长、调速性能不高的场合。

$$R_{s1} < R_{s2} < R_{s3}$$

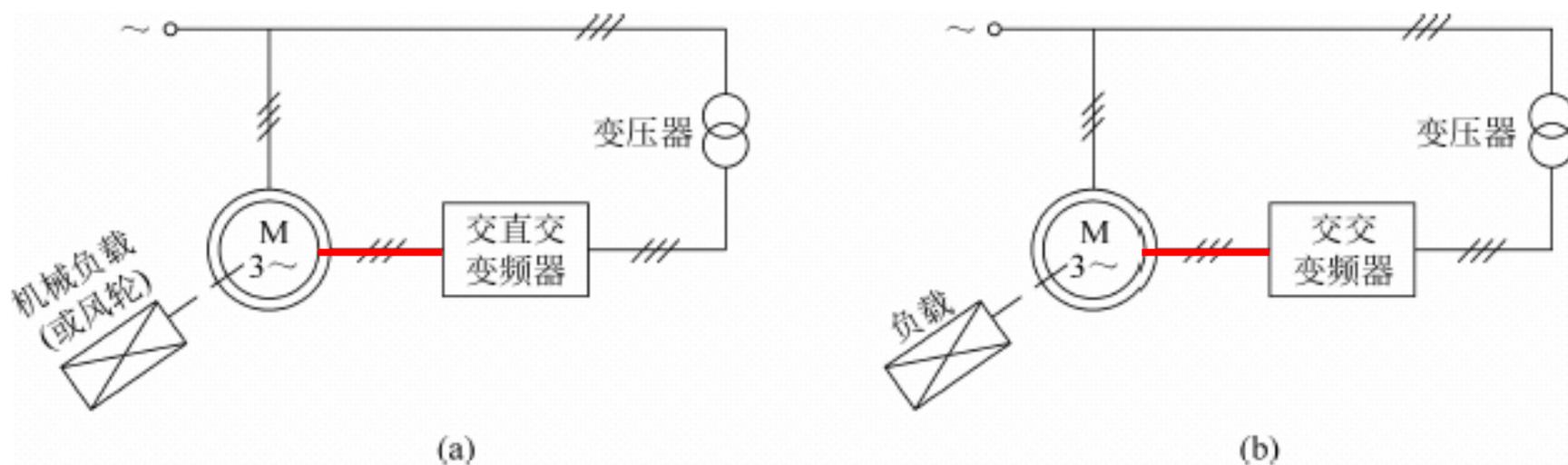


机械特性曲线

2、双馈电机调速

工作原理：

绕线式异步电动机定子绕组接一固定频率的工业电源，而转子绕组接一电压幅值、频率、相位可调整电源，来调速。



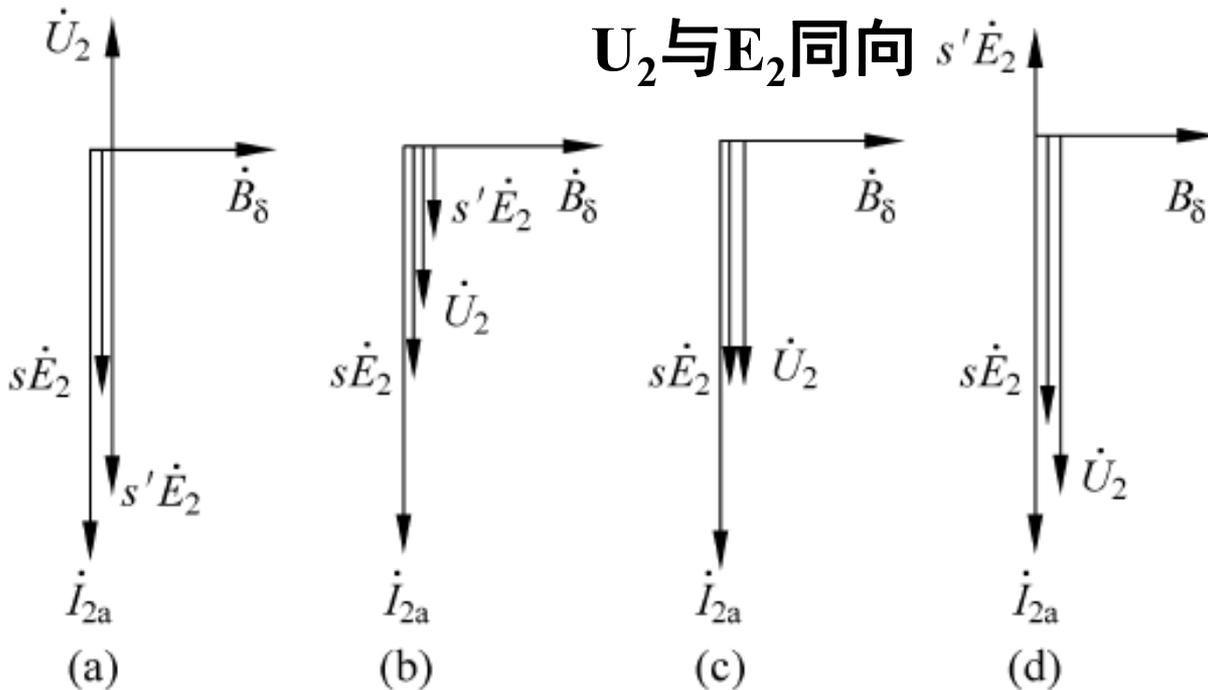
异步电动机双馈调速系统

2、双馈电机调速

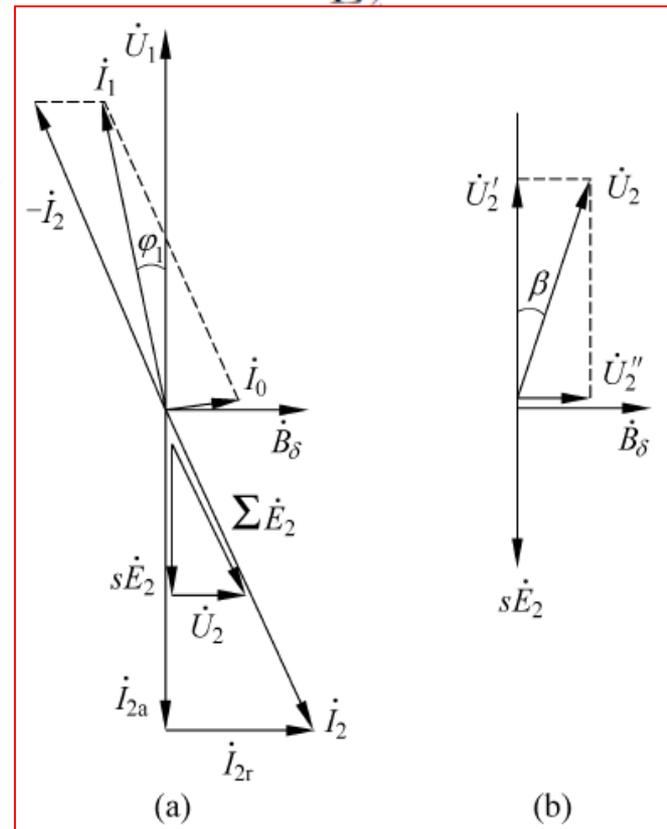
相量图：

$$I_{2a} = \frac{s'E_2 - U_2}{R_2} = \frac{sE_2}{R_2} \quad \longrightarrow \quad s' = s + \frac{U_2}{E_2}$$

实际转差率



U_2 与 E_2 反向 $U_2 < sE_2$ $U_2 = sE_2$ $U_2 > sE_2$



绕线异步电动机转子接转差频率电压调速

U_2 与对 $\cos\phi_1$ 影响



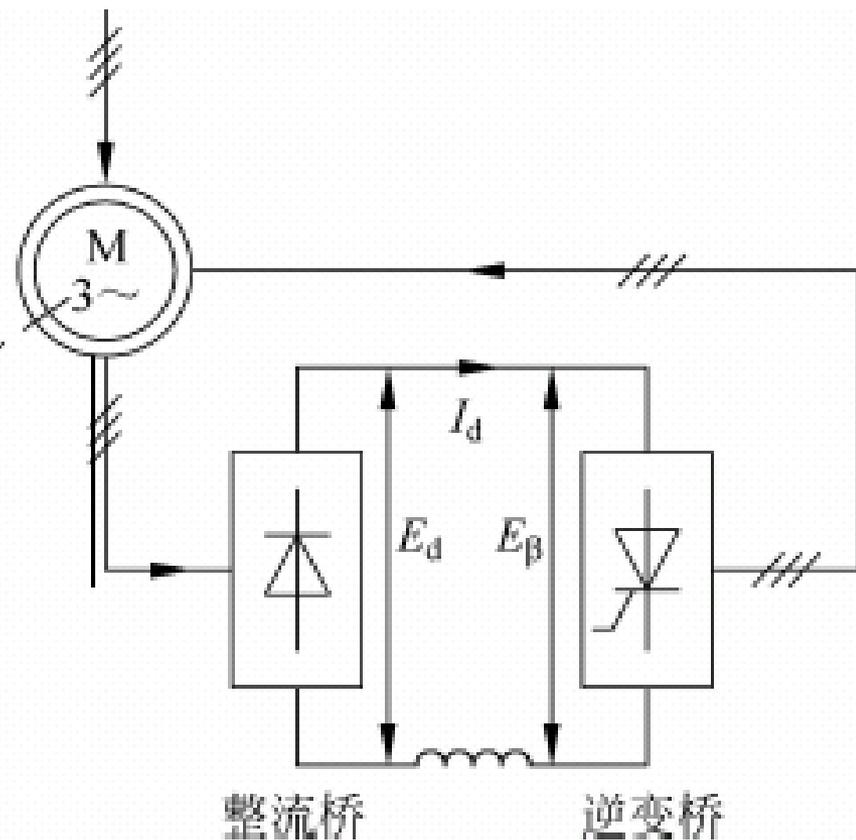
2、双馈电机调速

- 优点：
- 1) 过载能力大、抗干扰能力强；
 - 2) 定子功率因数可调，可拖动冲击性负载，如用于轧钢机中。
 - 3) 双馈调速系统还能根据转轴上机械功率的流向，实现电动机运行或发电机运行，用于风力发电机中实现恒频发电。

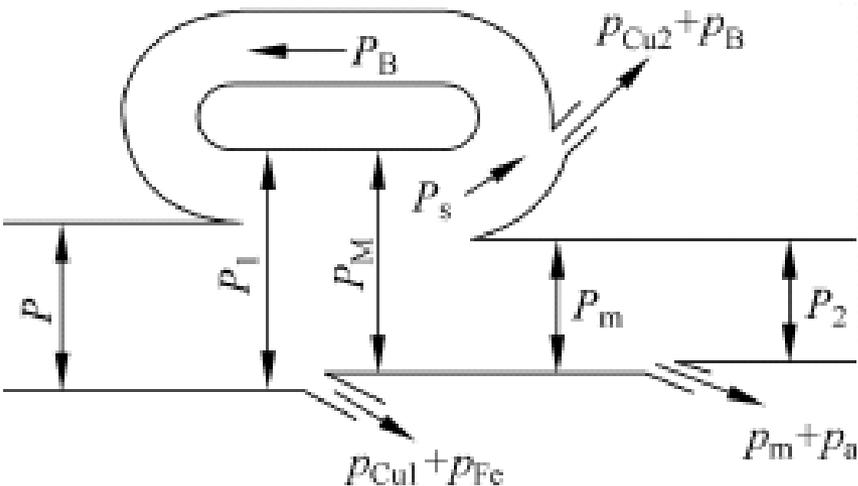
缺点：变频电源

3、晶闸管异步电动机串级调速

工作原理： 整流桥把异步机转子的转差电动势变成**直流**，再经逆变器将**转差功率** sP_M 经定子反馈绕组，送回交流电源。



异步电动机内反馈串级调速主电路



功率流图



本章结束