

异步电动机变压变频调速

主讲人：孟繁荣 副教授

主要内容

01 变压变频调速的基本原理

02 变压变频调速的机械特性

异步电动机变压变频调速

- 变压变频调速是改变异步电动机同步转速的一种调速方法，同步转速随频率而变化

$$n_1 = \frac{60 f_1}{n_p} = \frac{60 \omega_1}{2\pi n_p} \quad (1)$$

一、变压变频调速的基本原理

- 异步电动机的实际转速

$$n = (1-s)n_1 = n_1 - sn_1 = n_1 - \Delta n \quad (2)$$

- 稳态速降

$$\Delta n = sn_1 \quad (3)$$

一、变压变频调速的基本原理

气隙磁通控制

- 只要控制

$$E_g = 4.44 f_1 N_s k_{N_s} \Phi_m \quad (4)$$

$$U_s \approx E_g = 4.44 f_1 N_s k_{N_s} \Phi_m \quad (5)$$

便可控制气隙磁通

一、变压变频调速的基本原理

1、基频以下调速

- 当异步电动机在基频（额定频率）以下运行时，如果磁通太弱，没有充分利用电机的铁心，是一种浪费；如果磁通过大，又会使铁心饱和，从而导致过大的励磁电流，严重时还会因绕组过热而损坏电机。
- 最好是保持每极磁通量为额定值不变。

一、变压变频调速的基本原理

1、基频以下调速

- 当频率从额定值向下调节时，必须使

$$\frac{E_g}{f_1} = 4.44 N_s k_{N_s} \Phi_{mN} = \text{常值} \quad (6)$$

- 基频以下应采用电动势频率比为恒值的控制方式。

一、变压变频调速的基本原理

1、基频以下调速

- 恒压频比的控制方式
当电动势值较高时，忽略定子电阻和漏感压降

$$U_s \approx E_g$$

一、变压变频调速的基本原理

1、基频以下调速

- 低频补偿（低频转矩提升）

低频时，定子电阻和漏感压降所占的份量比较显著，不能再忽略。

人为地把定子电压抬高一些，以补偿定子阻抗压降。

- 负载大小不同，需要补偿的定子电压也不一样。

一、变压变频调速的基本原理

1、基频以下调速

- 通常在控制软件中备有不同斜率的补偿特性，以供用户选择。

a——无补偿 b——带定子电压补偿

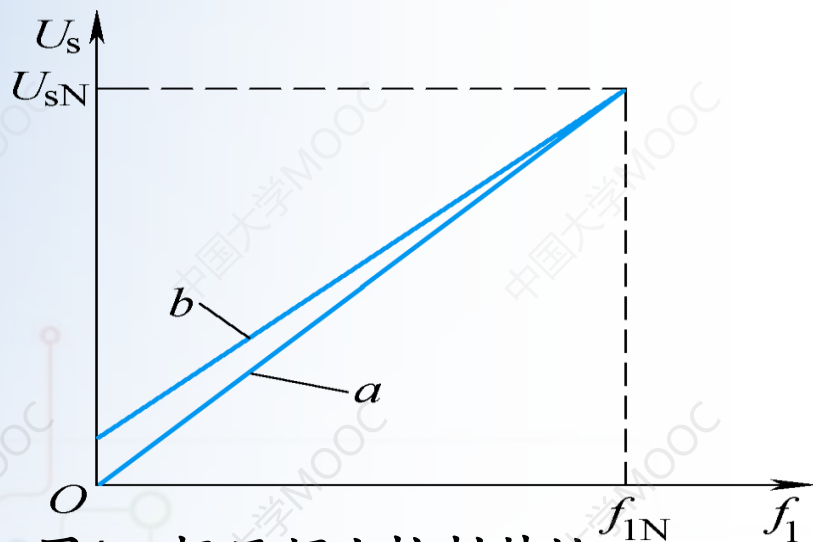


图1 恒压频比控制特性

一、变压变频调速的基本原理

2、基频以上调速

- 在基频以上调速时，频率从向上升高，受到电机绝缘耐压和磁路饱和的限制，定子电压不能随之升高，最多只能保持额定电压不变。
- 这将导致磁通与频率成反比地降低，使得异步电动机工作在弱磁状态。

一、变压变频调速的基本原理

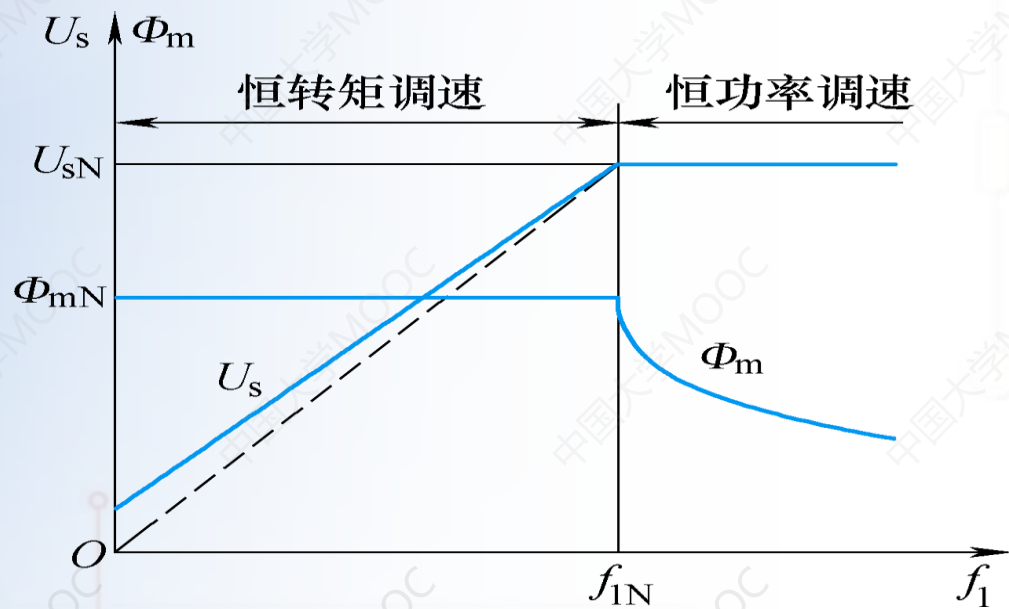


图2 异步电动机变压变频调速的控制特性

二、变压变频调速时的机械特性

- 基频以下采用恒压频比控制
异步电动机机械特性方程式

$$T_e = \frac{3n_p U_s^2 R_r' s}{\omega_1 \left[(sR_s + R_r')^2 + s^2 \omega_1^2 (L_{ls} + L_{lr}')^2 \right]} \quad (7)$$

改写为

$$T_e = 3n_p \left(\frac{U_s}{\omega_1} \right)^2 \frac{s \omega_1 R_r'}{(sR_s + R_r')^2 + s^2 \omega_1^2 (L_{ls} + L_{lr}')^2} \quad (8)$$

二、变压变频调速时的机械特性

1、基频以下调速

$$T_e = 3n_p \left(\frac{U_s}{\omega_1} \right)^2 \frac{s\omega_1 R'_r}{(sR_s + R'_r)^2 + s^2\omega_1^2 (L_{ls} + L'_{lr})^2} \quad (8)$$

- 当s很小时，忽略上式分母中含s各项，

$$T_e \approx 3n_p \left(\frac{U_s}{\omega_1} \right)^2 \frac{s\omega_1}{R'_r} \propto s \quad (9)$$

或

$$s\omega_1 \approx \frac{R'_r T_e}{3n_p \left(\frac{U_s}{\omega_1} \right)^2} \quad (10)$$

二、变压变频调速时的机械特性

1、基频以下调速

- 对于同一转矩，转速降落基本不变

$$\Delta n = sn_1 = \frac{60}{2\pi n_p} s\omega_1 \approx \frac{10R_r' T_e}{\pi n_p^2} \left(\frac{\omega_1}{U_s} \right)^2 \propto T_e \quad (11)$$

在恒压频比的条件下把频率向下调节时，机械特性基本上是平行下移的。

二、变压变频调速时的机械特性

1、基频以下调速

- 临界转矩

$$T_{em} = \frac{3n_p}{2} \left(\frac{U_s}{\omega_1} \right)^2 \frac{1}{\frac{R_s}{\omega_1} + \sqrt{\left(\frac{R_s}{\omega_1} \right)^2 + (L_{ls} + L'_{lr})^2}} \quad (12)$$

随着频率的降低而减小。

- 当频率较低时，电动机带载能力减弱，采用低频定子压降补偿，适当地提高电压，可以增强带载能力。

二、变压变频调速时的机械特性

1、基频以下调速

- 转差功率

$$P_s = sP_m = s\omega_1 T_e \approx \frac{R'_r T_e^2}{3n_p \left(\frac{U_s}{\omega_1} \right)^2} \quad (13)$$

与转速无关，故称作转差功率不变型。

二、变压变频调速时的机械特性

2、基频以上调速

- 电压不能从额定值再向上提高，只能保持不变，机械特性方程式可写成

$$T_e = 3n_p U_{sN}^2 \frac{sR_r'}{\omega_1 [(sR_s + R_r')^2 + s^2 \omega_1^2 (L_{ls} + L_{lr}')^2]} \quad (14)$$

- 临界转矩表达式

$$T_{em} = \frac{3}{2} n_p U_{sN}^2 \frac{1}{\omega_1 [R_s + \sqrt{R_s^2 + \omega_1^2 (L_{ls} + L_{lr}')^2}]} \quad (15)$$

二、变压变频调速时的机械特性

2、基频以上调速

- 临界转差

$$s_m = \frac{R_r'}{\sqrt{R_s^2 + \omega_1^2 (L_{ls} + L_{lr}')^2}} \quad (16)$$

- 当s很小时，忽略上式分母中含s各项

$$T_e \approx 3n_p \frac{U_{sN}^2}{\omega_1} \frac{s}{R_r'} \quad (17)$$

$$\text{或} \quad s\omega_1 \approx \frac{R_r' T_e \omega_1^2}{3n_p U_{sN}^2} \quad (18)$$

二、变压变频调速时的机械特性

2、基频以上调速

- 带负载时的转速降落

$$\Delta n = sn_1 = \frac{60}{2\pi n_p} s\omega_1 \approx \frac{10R_r' T_e}{\pi n_p^2} \frac{\omega_1^2}{U_{sN}^2} \quad (19)$$

- 对于相同的电磁转矩，角频率越大，转速降落越大，机械特性越软，与直流电动机弱磁调速相似。

二、变压变频调速时的机械特性

2、基频以上调速

- 转差功率

$$P_s = sP_m = s\omega_1 T_e \approx \frac{R'_r T_e^2 \omega_1^2}{3n_p U_{sN}^2} \quad (20)$$

- 带恒功率负载运行时

$$T_e^2 \omega_1^2 \approx \text{常数} \quad (21)$$

转差功率基本不变

二、变压变频调速时的机械特性

2、基频以上调速

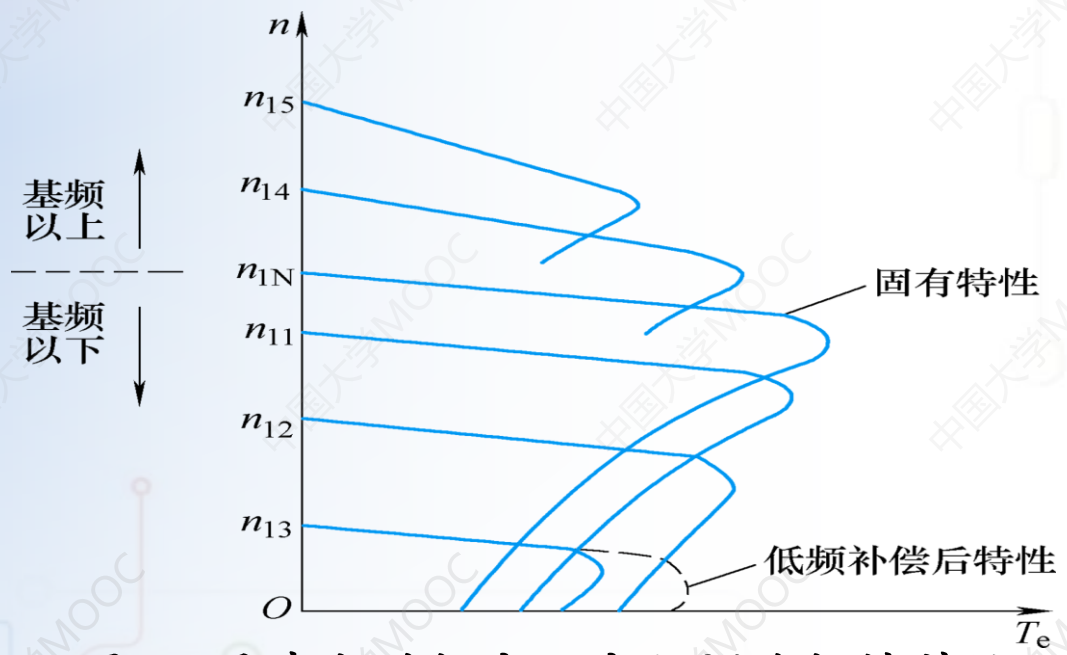


图3 异步电动机变压变频调速机械特性

主要内容

01 变压变频调速的基本原理

02 变压变频调速的机械特性