

# 转速闭环转差频率控制的 变压变频调速系统

主讲人：游江 副教授

# 主要内容

- 转差频率控制的基本概念及特点
- 转差频率控制系统结构及性能分析
- 最大转差频率的计算
- 转差频率控制系统的特点

## (一) 转差频率控制的基本概念及特点

### (1) 基本概念

由恒气隙磁通VVVF控制的电磁转矩公式

$$T_e = \frac{3}{2} n_p N_s^2 k_{Ns}^2 \Phi_m^2 \frac{s \omega_1 R_r'}{R_r'^2 + s^2 \omega_1^2 L_{lr}'^2}$$

转差率 $s$ 较小，转矩可近似表示

$$T_e \approx K_m \Phi_m^2 \frac{\omega_s}{R_r'}$$

定义转差角频率  $\omega_s = s \omega_1$

电机结构常数  $K_m = \frac{3}{2} n_p N_s^2 k_{Ns}^2$

## (一) 转差频率控制的基本概念及特点

### (2) 转差频率控制的基本思想

- 保持气隙磁通不变，在s值较小的稳态运行范围内，异步电动机的转矩近似与转差角频率成正比。
- 在保持气隙磁通不变的前提下，可以通过控制转差角频率来控制转矩，这就是转差频率控制的基本思想。

$$T_e \approx K_m \Phi_m^2 \frac{\omega_s}{R_r'}$$

## (一) 转差频率控制的基本概念及特点

### (2) 转差频率控制的基本思想

临界转差  $\omega_{sm} = \frac{R_r'}{L_{lr}'} = \frac{R_r}{L_{lr}}$

临界转矩  $T_{em} = \frac{K_m \Phi_m^2}{2L_{lr}'}$

- 要保证系统稳定运行，必须使

$$\omega_s < \omega_{sm}$$

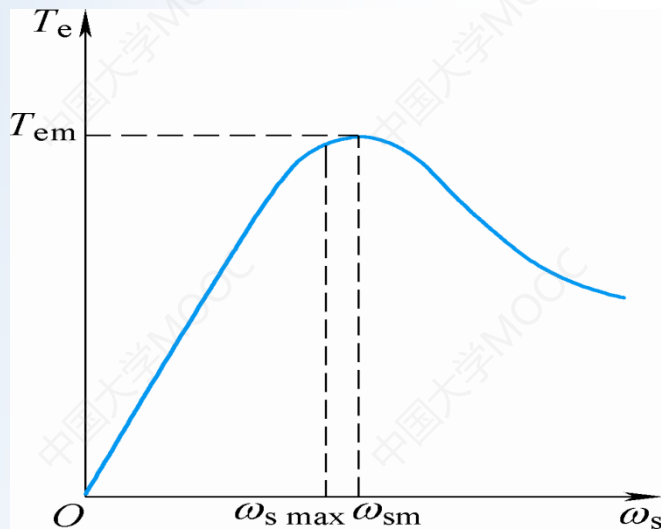
- 系统允许的最大转差频率小于临界转差频率

$$\omega_{s\max} < \omega_{sm} = \frac{R_r}{L_{lr}}$$

## (一) 转差频率控制的基本概念及特点

### (3) 转差频率控制的基本规律

基本规律  
之一：用  
转差频率  
来控制转  
矩



恒气隙磁通控制的机械特性

## (一) 转差频率控制的基本概念及特点

### (3) 转差频率控制的基本规律

- 如何保持气隙磁通恒定，是转差频率控制系统要解决的第二个问题。

- 异步电动机定子电压可表示为

$$\dot{U}_s = \dot{I}_s(R_s + j\omega_1 L_{ls}) + \dot{E}_g = \dot{I}_s(R_s + j\omega_1 L_{ls}) + \left( \frac{\dot{E}_g}{\omega_1} \right) \omega_1$$

- 必须采用定子电压补偿控制，以抵消定子电阻和漏抗的压降。

## (一) 转差频率控制的基本概念及特点

### (3) 转差频率控制的基本规律

- 仅采用幅值补偿, 则电压 - 频率特性为

$$\begin{aligned} U_s &= f(\omega_1, I_s) = \sqrt{R_s^2 + (\omega_1 L_{ls})^2} I_s + E_g \\ &= Z_{ls}(\omega_1) I_s + \left( \frac{E_{gN}}{\omega_{1N}} \right) \omega_1 = Z_{ls}(\omega_1) I_s + C_g \omega_1 \end{aligned}$$

- 高频时定子漏抗压降占主导地位, 忽略定子电阻影响, 可简化为

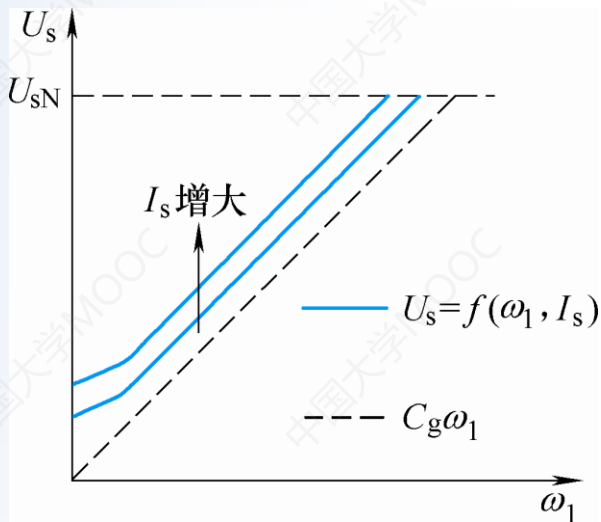
$$U_s = f(\omega_1, I_s) \approx \omega_1 L_{ls} I_s + E_g = \omega_1 L_{ls} I_s + C_g \omega_1$$

曲线近似呈线性。低频时, 定子电阻的影响不可忽略, 曲线呈非线性。

## (一) 转差频率控制的基本概念及特点

### (3) 转差频率控制的基本规律

- 高频时，近似呈线性；
- 低频时，呈非线性。



定子电压补偿控制的电压-频率特性

## (一) 转差频率控制的基本概念及特点

### (3) 转差频率控制的基本规律

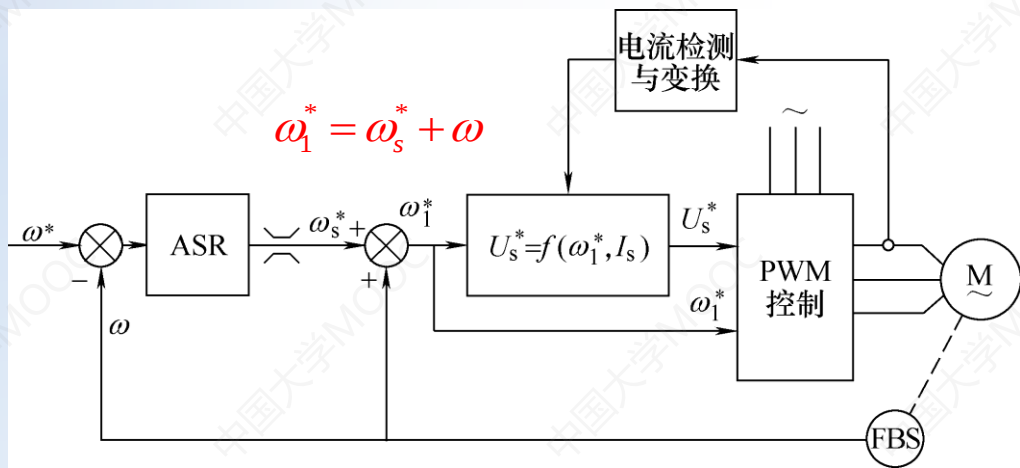
- 转矩基本上与转差频率成正比，条件是气隙磁通不变，且

$$\omega_s \leq \omega_{sm}$$

- 在不同的定子电流值时，按定子电压补偿控制的电压 - 频率特性关系制定定子电压和频率，就能保持气隙磁通恒定。

## (二) 转差频率控制系统结构及性能分析

### (1) 系统结构



转差频率控制的转速闭环变压变频  
调速系统结构原理图

## (二) 转差频率控制系统结构及性能分析

### (2) 起动过程

- 在 $t=0$ 时，突加给定，ASR很快进入饱和，转速和电流未建立，给定定子频率及定子电压到限幅值

$$\omega_1^* = \omega_{s\max} \quad U_s = C_g \omega_{s\max}$$

- 当 $t=t_1$ 时，电流达到最大值，起动电流等于最大的允许电流

$$I_{s\max} = I_{sQ} \approx I'_{rQ} = \frac{E_g / \omega_1}{\sqrt{\left(\frac{R'_r}{\omega_{s\max}}\right)^2 + L_{lr}'^2}} = \frac{C_g}{\sqrt{\left(\frac{R'_r}{\omega_{s\max}}\right)^2 + L_{lr}'^2}}$$

- 起动转矩等于系统最大的允许输出转矩

$$T_{e\max} = T_{eQ} \approx 3n_p \left(\frac{E_g}{\omega_1}\right)^2 \frac{\omega_{s\max}}{R'_r} = 3n_p C_g^2 \frac{\omega_{s\max}}{R'_r}$$

## (二) 转差频率控制系统结构及性能分析

### (2) 起动过程

- 随着电流的建立和转速的上升，定子电压和频率上升，转差频率不变

$$\omega_s = \omega_{s\max}$$

- 起动电流和起动转矩也不变，电动机在允许的最大输出转矩下加速运行。
- 转差频率控制VVVF系统通过最大转差频率间接限制了最大的允许电流。
- 当 $t=t_2$ 时，转速达到给定值，ASR开始退饱和，转速略有超调后，到达稳态

$$\omega = \omega^* \quad \omega_1^* = \omega_s^* + \omega$$

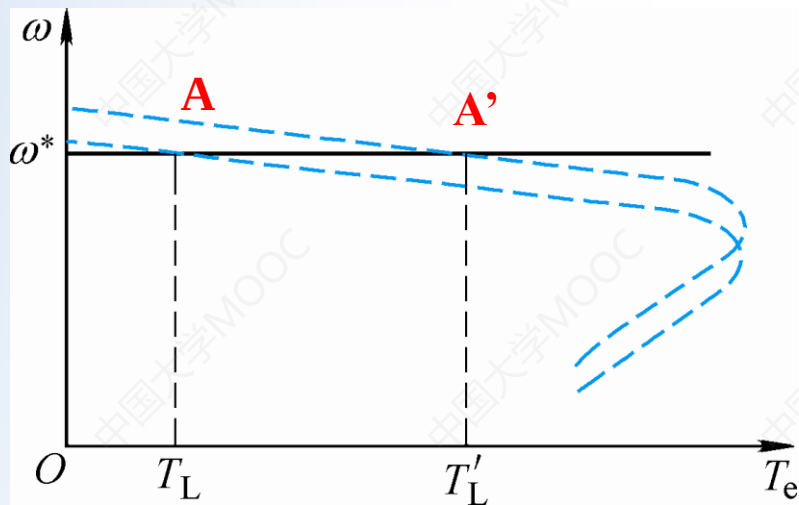
## (二) 转差频率控制系统结构及性能分析

### (2) 起动过程

- 与直流调速系统相似，起动过程可分为转矩上升、恒转矩升速与转速调节三个阶段。
- 在恒转矩升速阶段内，转速调节器ASR不参与调节，相当于转速开环，在正反馈内环的作用下，保持加速度恒定。
- 转速超调后，ASR退出饱和，进入转速调节阶段，最后达到稳态。

## (二) 转差频率控制系统结构及性能分析

### (3) 加载过程



转差频率控制的转速闭环变压变频调速系统静态特性

### (三) 最大转差频率的计算

- 使系统最大的允许转差频率小于临界转差频率, 以使系统稳定运行

$$\omega_{s\max} < \omega_{sm} = \frac{R_r}{L_{lr}}$$

- 需要满足启动过电流倍数和启动转矩的要求

$$\frac{R_r' \lambda_T T_{eN}}{3n_p C_g^2} < \omega_{s\max} < \frac{\lambda_I R_r' I_{sN}}{\sqrt{C_g^2 - (\lambda_I L_{lr}' I_{sN})^2}}$$

过流倍数:  $\lambda_I = \frac{I_{sq}}{I_{sN}}$       启动转矩倍数:  $\lambda_T = \frac{T_{eq}}{T_{eN}}$

## (四) 转差频率控制系统的特點

- 转差角频率与实测转速相加后得到定子频率。  
在调速过程中，实际频率随着实际转速同步地上升或下降，加、减速平滑。
- 在动态过程中转速调节器ASR饱和，系统以对应于最大转差频率的最大转矩起/制动，并限制了最大电流，保证了在允许条件下的快速性。
- 压频函数中只抓住了定子电流的幅值，没有控制到电流的相位，而在动态中电流的相位也是影响转矩变化的因素。
- 频率与转速同步升降，但若转速检测信号不准确会导致给定频率计算误差。所有偏差以正反馈的形式无衰减地传递到频率控制信号上。

# 转速闭环转差频率控制的 变压变频调速系统

主讲人：游江 副教授