

## 第四次课

### 一. 讲授内容安排

- ① 复习上节课讲授的内容. 包括三相交流电机的工作原理, 结构特点, 旋转磁场产生的原理, 力矩产生的原理, 三相交流电机的机械特性等.
- ② 三相异步电机的启动特性
- ③ 三相异步电机的调速方法与特性, 包括改变磁极对数的调速, 改变转差率调速, 改变频率调速等.
- ④ 三相异步电机的制动特性, 包括反馈制动, 反接制动和能耗制动.
- ⑤ 单相异步电机结构及工作原理, 重点介绍其启动方法.
- ⑥ 同步电机的结构及工作原理. 介绍其机械特性和启动方法.

### 二. 所属章节

"第五章, 交流电动机的工作原理及特性 P66—P96."

### 三. 讲课思路

此部分内容较难懂, 讲课时应注意少推导公式, 多介绍分析方法, 少钻牛角尖, 多从基础的, 宏观的角度来分析问题. 本章知识点较多, 注意给学生较多的思考时间.

涉及到交流电机的值和相位的变化情况. 尽可能从物理和宏观两方面分析其效果.

#### 四. 授课内容详解.

##### 1. 复习.

① 交流电机的结构特点.

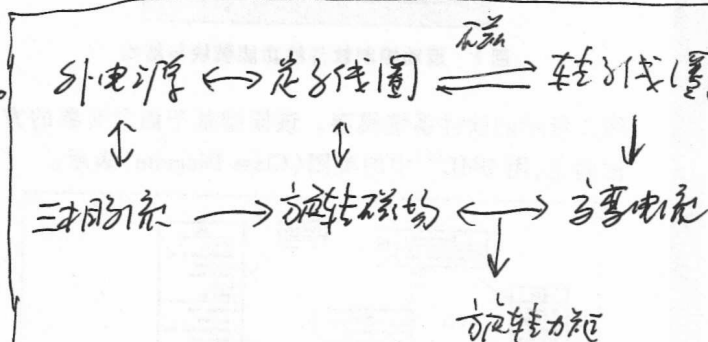
② 交流电机的工作原理 →

③ 旋转磁场的产生

空间上要有不同的线圈分布

线圈上通交变电流

通电线圈电流存在着相位关系



④ 交流电机工作时的情况

✓ 对于定子: 输入电压 = 电阻压降 + 感抗压降 + <sup>感应</sup>漏磁电压  
 $\approx$  感应电压

✓ 对于转子: 感应电压 = 电阻压降 + 感抗压降

讨论: ① 当  $s=1$  时, 相当于变压器, 此时感应电压最大.

$$E_2 = s E_{20}$$

② 当  $s=1$  时, 转子电流频率最大  $f_2 = f_1$

$$f_2 = s f_{20}$$

③ 当  $s=1$  时, 转子感抗最大.  $X_2 = s X_{20}$

④ 功率因数, 即  $E$  和  $I$  之间的相位差.

当  $s=1$  时, 相位差最大.  $s=0$  时, 相位差最小.

## ⑤ 电磁力产生：

$$T = k \Phi I_2 \cos \varphi_2 \quad \dots \dots \cos \varphi_2 \dots \dots \text{功率因数}$$

$$T = k \frac{S R_2 U^2}{R_2^2 + (S X_{20})^2} \quad k \propto \frac{1}{f}$$

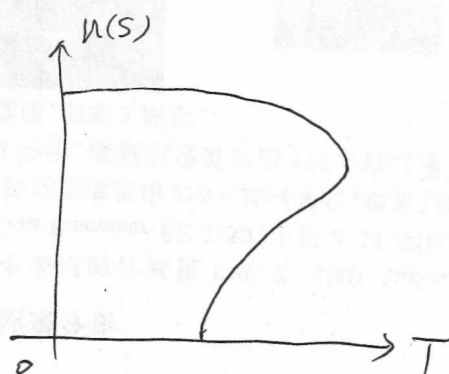
分析：转矩受电压影响最大。其次是阻抗（电阻）和转差率

## ⑥ 机械特性

— 固有机械特性

— 人为机械特性

- 降低电压 / 接入电阻
- 改变定子频率
- 改变串入电阻（转子）



## 2. 启动特性

① 对启动特性的要求：“启动转矩大，启动电流小”

② 对于鼠笼式异步电机：“全压启动（直接启动）”和“降压启动”

— 全压启动（启动电流较大，对电网有冲击）

— 电阻或电抗器降压启动

方法：在定子线路中串入电阻或感抗

缺点：启动转矩下降，不经济（耗能）

—  $\text{Y}-\Delta$  降压启动：Y型启动电流是 $\Delta$ 型的 $\frac{1}{3}$ 。  
要求电机最终以 $\Delta$ 方式运行

— 自耦变压器：变压系数可调。

— 软启动器：带电流闭环的启动控制器

— 变频启动：变频变压启动（后面会讲到，此处略）

③ 对于线绕式电机：在“转子电路”中串入电阻

— 逐级切除启动电阻法

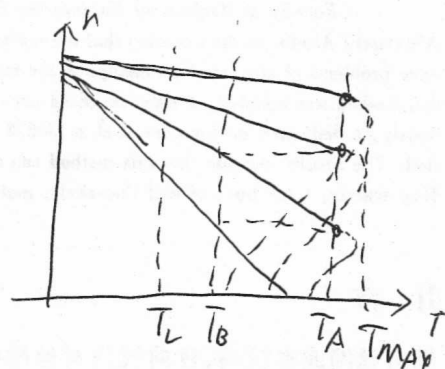
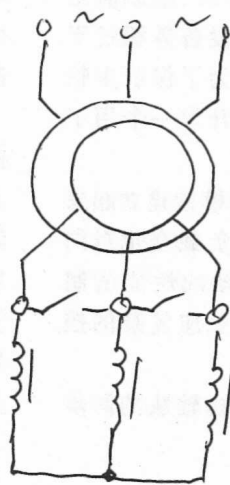
— 频敏变阻器启动方法

利用感抗的原理。

感抗对频率敏感

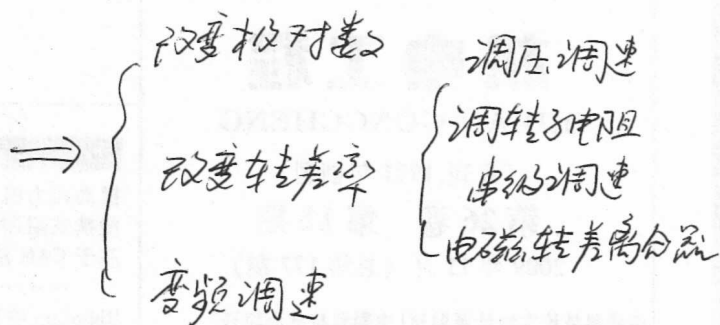
随着转速升高，转子频率降低，产生的感抗也减小。

接法：



### 3. 调速特性

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



最好的调速方法：变频调速

① 改变极对数调速：改变定子线圈的连接方式：串  $\rightarrow$  并

(有级调速)，需改变接线顺序

{ 恒转矩调速：Y  $\rightarrow$  YY  
 { 恒功率调速： $\Delta \rightarrow$  YY

② 调压调速

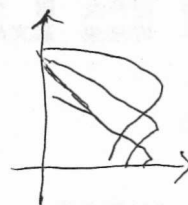
异步电动机采用调压调速调速范围小  
 消耗的转差功率大

③ 转子电路串电阻调速

转子电阻增加  $\rightarrow$  转速降低

适用于线绕式异步电动机

有级调速，机械特性软



④ 串级调速

方法思路：在转子电路中串入一个反电动势  $E_{ad}$ ，注意频率相同。

一般原理： $E_{ad} \rightarrow I_2 \downarrow \rightarrow T \downarrow (T < T_c) \rightarrow n \downarrow \rightarrow s \uparrow \rightarrow I_2 \uparrow \rightarrow T \uparrow$   
 或  $E_{ad} \rightarrow I_2 \uparrow \rightarrow T \uparrow (T > T_c) \rightarrow n \uparrow \rightarrow s \downarrow \rightarrow I_2 \downarrow \rightarrow T \downarrow$



串级调速特点：平滑调速，范围宽，效率高。  
设备造价高。

### ⑤ 电磁转差离合调速

方法：在电机和负载之间用电磁转差离合器连接

原理：与异步电动机工作原理类似

通过调节励磁电流的大小来改变  
两者之间的转速差。



“滑差电动机”

特点：结构简单，运行可靠，连续调速，效率低（大指低速）

### ⑥ 变频调速

方法：改变驱动电源的频率

✓ 变压变频调速：低于基频时采用

为什么调低频率的同时也要调低电压呢？  
恒压频比  $\leftrightarrow$  恒转矩

✓ 恒压弱磁调速：高于基频时采用

为什么调高频率时不调高电压？  
弱磁条件  $\leftrightarrow$  转矩下降（恒功率）

✓ 优点 {  
调速范围广  
平滑性好  
工作特性好  
经济效益高

#### 4. 制动特性

① 反馈制动  $\left\{ \begin{array}{l} n > n_0 \\ \text{调速中的减速} \end{array} \right.$

能量反馈给电网, 因此又叫发电制动

② 反接制动  $\left\{ \begin{array}{l} \text{电源反接: 注意转速为零时不停电会反转} \\ \text{倒拉制动: 稳定状态} \end{array} \right.$

#### ③ 能耗制动

方法: 用直流电源代替交流电源

优点: 可以放心地将电机制动至停车

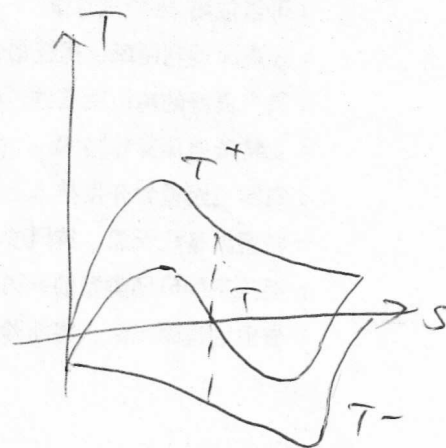
#### 5. 单相异步电动机

##### ① 结构和旋转磁场

✓ 单相交流电

✓ 两个方向上的旋转磁场

✓ 无法自启动 (可以手动启动)



##### ② 单相异步电机的启动方法

✓ 电容分相式

$\left\{ \begin{array}{l} \text{两个垂直绕组} \\ \text{用电容实现相位差} \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{变方向需改} \\ \text{电容器安装位置} \end{array} \right.$

## 6. 同步电动机

✓ 基本结构 { 三相交流电  $\rightarrow$  定子  
直流电  $\rightarrow$  转子

✓ 工作原理 { 利用磁极相吸和斥原理  
正常励磁？  
欠励？过励？

✓ 特点：调节同步电动机转子的直流励磁电流  $I_f$   
就可以控制  $\cos\varphi$  的大小和性质

✓ 启动：困难！源于磁场的旋转和负载的惯性  
 $\Rightarrow$  异步启动法。