

绕线转子异步电动机串级调速系统

主讲人：孟繁荣 副教授

主要内容

01 串级调速系统的工作原理

02 串级调速系统的其它类型

3 串级调速机械特性的特征

绕线转子异步电动机串级调速系统

●在异步电动机转子回路中附加交流电动势调速的关键就是在转子侧串入一个可变频、可变幅的附加电动势。

一、串级调速系统的工作原理

●将异步电动机的转子电压先整流成直流电压，然后再引入一个附加的直流电动势，控制此直流附加电动势的幅值，就可以调节异步电动机的转速。

一、串级调速系统的工作原理

对直流附加电动势的技术要求：

- 首先，它应该是可平滑调节的，以满足对电动机转速平滑调节的要求；
- 其次，从节能的角度看，希望产生附加直流电动势的装置能够吸收从异步电动机转子侧传递来的转差功率并加以利用。

一、串级调速系统的工作原理

●根据以上两点要求，较好的方案是采用工作在有源逆变状态的晶闸管可控整流装置作为产生附加直流电动势的电源。

一、串级调速系统的工作原理

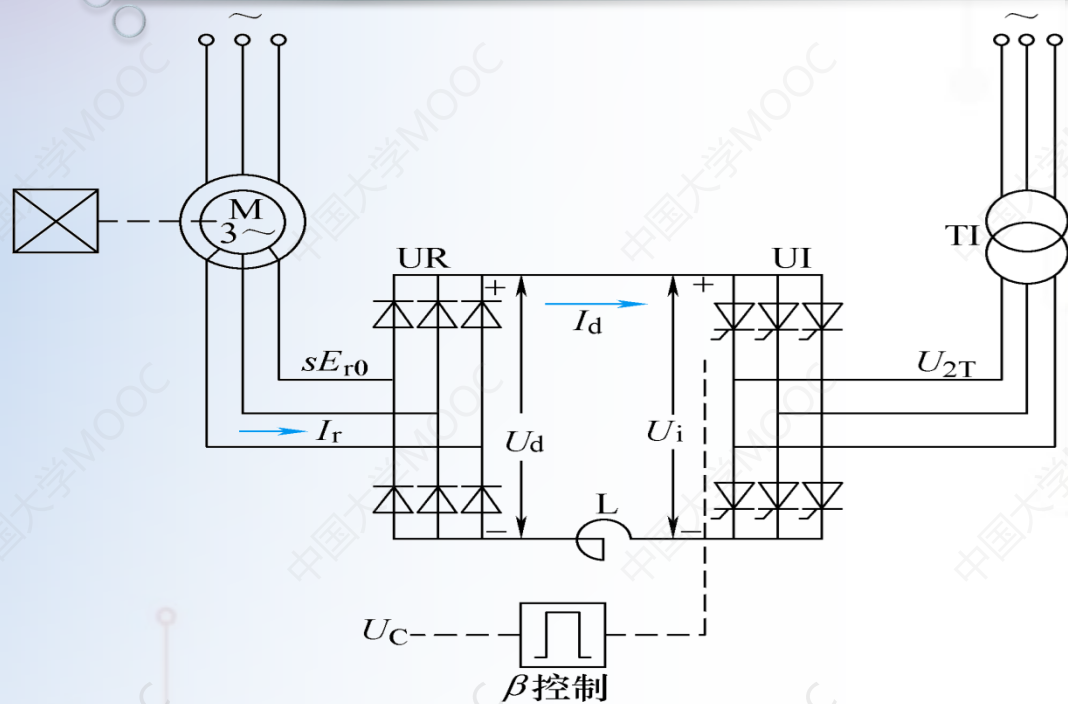


图1 电气串级调速系统原理图

一、串级调速系统的工作原理

- 系统在稳定工作时，必有 $U_d > U_i$ 。

由图1可以写出整流后的直流回路电压平衡方程式：

$$U_d = U_i + I_d R$$

或

$$K_1 s E_{r0} = K_2 U_{T2} \cos \beta + I_d R$$

式中， K_1 、 K_2 —— UR 与 UI 的电压整流系数，
如两者都是三相桥式电路，则 $K_1 = K_2 = 2.34$ 。

一、串级调速系统的工作原理

● U_d 中包含电动机的转差率 s ， I_d 与电动机转子交流电流 I_r 之间有固定的比例关系，因此它近似地反映电动机电磁转矩的大小，而 β 角是控制变量。所以该式可以看作是在串级调速系统中异步电动机机械特性的间接表达式

$$s = f(I_d, \beta)。$$

一、串级调速系统的工作原理

●1. 起动

异步电动机在静止不动时，其转子电动势为 E_{r0} ；控制逆变角 β ，使在起动开始的瞬间， U_d 与 U_i 的差值能产生足够大的 I_d ，以满足所需的电磁转矩，但又不超过允许的电流值，这样电动机就可有一定的动态转矩下加速起动。

一、串级调速系统的工作原理

- 随着异步电动机转速的增高，转子电动势减少，为了维持转矩恒定，必须相应地增大 β 角以减小 U_i 值，维持 $(U_d - U_i)$ 基本恒定。

一、串级调速系统的工作原理

●此时的 $s = s_1$, $\beta = \beta_1$, 则电压平衡方程式可写作

$$K_1 s_1 E_{r0} = K_2 U_{2T} \cos \beta_1 + I_{dL} R$$

式中 I_{dL} 为对应于负载转矩的直流回路电流。

一、串级调速系统的工作原理

2. 调速

当增大 β 角使 $\beta = \beta_2 > \beta_1$ 时，逆变电压 U_i 减小，但电动机的转速不能立即改变，所以 I_d 将增大，电磁转矩增大，使电动机加速。随着电动机转速的增高， $K_1 s E_{r0}$ 减少， I_d 回落，直到新的平衡状态，电动机在增高了的转速下稳定运行。

$$K_1 s_2 E_{r0} = K_2 U_{2T} \cos \beta_2 + I_{dL} R$$

式中 $\beta_2 > \beta_1, s_2 < s_1$

一、串级调速系统的工作原理

●3. 停车

串级调速系统没有制动停车功能。只能靠减小 β 角减小 I_d ，并依靠负载阻转矩的作用自由停车。

一、串级调速系统的工作原理

●结论：

(1) 串级调速系统能够靠调节逆变角 β 实现平滑无级调速。

(2) 系统能把绕线型异步电动机的转差功率回馈给交流电网，从而使扣除装置损耗后的转差功率得到有效利用，提高了调速系统的效率。

二、串级调速系统的其它类型

●机械串级调速系统（或称Kramer系）

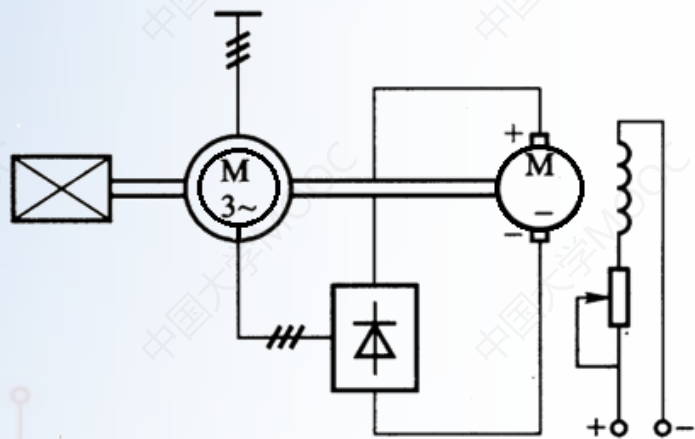


图2 机械串级调速系统原理图

二、串级调速系统的其它类型

机械串级调速系统

●在图2 中，直流电动机的电动势就相当于直流附加电动势，通过调节直流电动机的励磁电流 I_f 可以改变其电动势，从而调节交流电动机的转速。

二、串级调速系统的其它类型

●从功率传递的角度看，如果忽略调速系统中所有的电气与机械损耗，认为异步电动机的转差功率全部为直流电动机所接受，并以机械功率 P_{MD} 的形式从轴上输出给负载。则负载轴上所得到的机械功率 P_2 应是异步电动机与直流电动机两者轴上输出功率之和，并恒等于电动机定子输入功率 P_1 ，而与电动机运行的转速无关。

二、串级调速系统的其它类型

●所以这类机械串级调速系统属于**恒功率调速**，其特点是系统在低速时能够产生较大的转矩输出，因而适用于一些需要低速大转矩传动的场合，如螺纹钢线材轧机。

二、串级调速系统的其它类型

- 内馈串级调速系统

类似于Kramer系统的内馈串级调速系统，其主要特点是在异步电动机定子中装有另一套绕组。

三、串级调速机械特性的特征

●在串级调速系统中，异步电动机转子侧整流器的输出量 U_d 、 I_d 分别与异步电动机的转速和电磁转矩有关。因此，可以从电动机转子直流回路着手来分析异步电动机在串级调速时的机械特性。

三、串级调速机械特性的特征

1、理想空载转速

●在异步电动机转子回路串电阻调速时，其理想空载转速就是其同步转速，而且恒定不变，调速时机械特性变软，调速性能差。

●在串级调速系统中，电动机的极对数与旋转磁场转速都不变，同步转速也是恒定的，但是它的理想空载转速却能够连续平滑地调节。

三、串级调速机械特性的特征

1、理想空载转速

根据转子直流回路电压平衡方程式，当系统在理想空载状态下运行时 ($I_d = 0$)，电压平衡方程式变成

$$K_1 s_0 E_{r0} = K_2 U_{2T} \cos \beta$$

s_0 — 异步电动机在串级调速时对应于某一 β 角的理想空载转差率。

取 $K_1 = K_2$ ，则

$$s_0 = \frac{U_{2T}}{E_{r0}} \cos \beta$$

三、串级调速机械特性的特征

1、理想空载转速

由此可得相应的理想空载转速 n_0 为：

$$n_0 = n_1(1-s_0) = n_1\left(1 - \frac{U_{2T} \cos \beta}{E_{r0}}\right)$$

式中 n_1 — 异步电动机的同步转速。

三、串级调速机械特性的特征

1、理想空载转速

- 在串级调速时，理想空载转速与同步转速是不同的。
- 在不同的 β 角下异步电动机串级调速时的机械特性是近似平行的。

三、串级调速机械特性的特征

1、理想空载转速

- 在串级调速时，理想空载转速与同步转速是不同的。
- 在不同的 β 角下异步电动机串级调速时的机械特性是近似平行的。

三、串级调速机械特性的特征

2、机械特性的斜率与最大转矩

●串级调速时，转子回路中接入的串级调速装置相当于在电动机转子回路中接入等效电阻和电抗，因此异步电动机串级调速时的机械特性比其固有特性要软得多。

三、串级调速机械特性的特征

2、机械特性的斜率与最大转矩

- 受转子回路电阻增加的影响：当电机在最高转速的特性上 ($\beta = 90^\circ$) 带额定负载，也难以达到其额定转速。
- 受转子回路漏抗增加的影响，串级调速时的最大电磁转矩有明显的降低。

三、串级调速的机械特性的特征

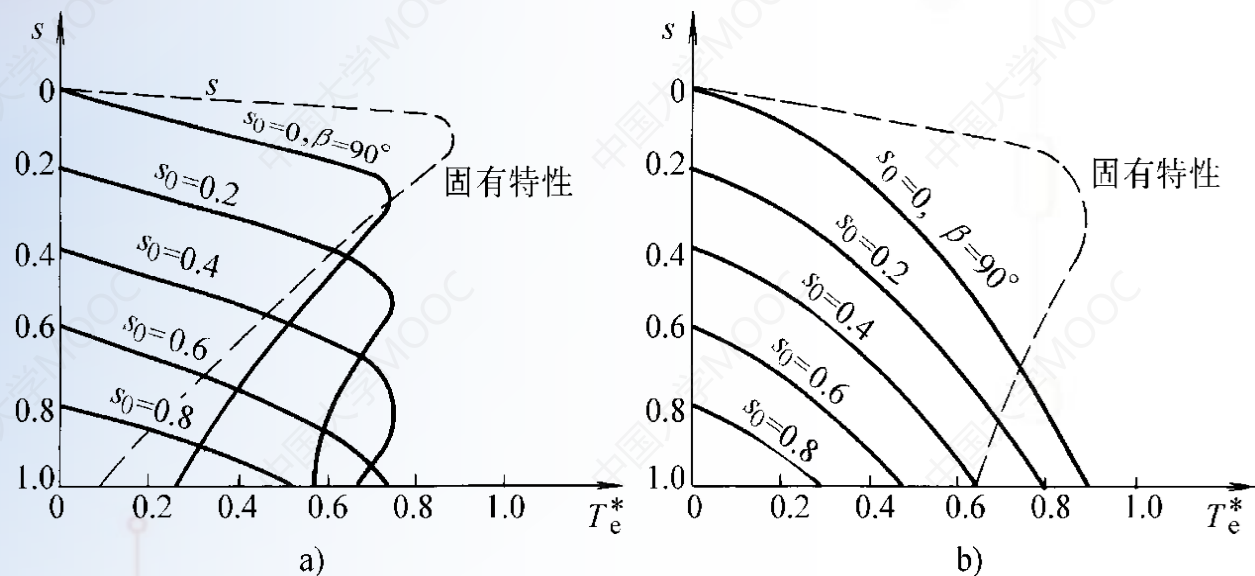


图3 异步电动机串级调速时的机械特性

a) 大电机

b) 小电机