

## 第一章 绪论

1. 运动控制系统的构成
2. 几种典型的生产机械负载转矩特性：恒转矩负载；恒功率负载；风机、泵类负载；

## 第二章 转速开环控制的直流调速系统

1. 直流电动机的稳态特性，理论上直流电动机有哪几种调速方法，最常用哪种？为什么？
2. 转速开环直流调速系统由可控电压的直流电源给直流电动机供电，改变直流电枢电压来调节电动机的转速。采用电力电子技术的可控直流电源主要有两大类：晶闸管相控整流器；直流脉宽调制（PWM）变换器；
3. 不可逆和可逆 PWM 变换器-电动机系统电枢电压 $U_d$ 和电源电压 $U_s$ 之间的关系；
4. 晶闸管相控整流装置和 PWM 装置的（近似）传递函数；
5. 理解晶闸管整流装置和 PWM 装置动态数学模型以及两种模型的本质区别：本质区别在于延时时间相差很大，晶闸管触发和整流装置延时时间大，三相全桥的延时时间为1.67ms。而 PWM 控制器与变换器的延时小的多，开关频率为10KHz时，延时时间仅为0.1ms。
6. 调速范围 D，静差率 s，调速范围 D、静差率 s 和额定速降之间的关系；  
注意：（1）静差率 s 应以最低速时所能达到的数值为准；（2）一般以额定转速作为最高转速。
7. 直流系统开环调速时调速范围、静差率等计算方法（参考例 2-1 和例 2-2）

### 第三章 重点、难点内容解析

#### 1、开环直流调速系统存在的问题

从直流电动机机械特性入手分析得出开环直流调速系统的问题：电机对负载扰动没有抵抗能力，负载变化导致转速变化。

#### 2、有静差的转速闭环直流调速系统的系统结构、静特性及分析

- 结合图 3-1 说明转速闭环直流调速系统的组成，重点理解各部分信号连接关系。
- 熟练掌握利用各环节静特性得出闭环系统的静特性结构框图 3-2 以及得出闭环调速系统的静特性方程（式 3-1）。（静特性是系统稳定运行时电机转速与转速给定、负载扰动间的关系，表征了系统在负载扰动下对给定转速的稳态跟踪能力。系统稳定运行时，忽略摩擦转矩和转矩，电机输出电磁转矩等于负载转矩，这是理解、分析静特性的基础）
- 将静特性方程与开环系统机械特性进行比较，包括额定负载转速降落、调速范围和静差率（3.1.2 节）

#### 3、理解负载变化时闭环系统减小转速降落的本质

可以利用动态过程加以分析。结合图 3-3，电机在稳态时，根据运动方程，电机处于机械平衡状态，即电磁转矩等于负载转矩（忽略摩擦转矩和转矩），此时电机电枢电压为  $U_{d01}$ ；负载变化时，机械平衡状态被打破。

以加载为例，开环系统电机转速下降，电机感应电动势会下降，而控制电压不变，电枢平均电压仍为  $U_{d01}$ ，由电压方程可知，电机电流增加，电磁转矩增加，最终会进入新的平衡状态。电机稳态工作点由 A 点变为 A' 点，可以看出在开环系统中加载时，电机通过降低转速提升电流达到新的平衡状态。

在闭环系统中，转速下降，反馈通道检测到转速下降，转速偏差增加，转速调节器输出控制电压增加，电机两端电枢电压增加为  $U_{d02}$ ，电机电流增加，到 B 点达到平衡，和开环系统相比，虽然此时电机输出电磁转矩不变，但是电机电枢电压增加了，补充了绕组压降变化对转速的影响，减小转速降落。

#### 4、转速反馈控制直流调速系统的动态数学模型

- （1）首先建立直流电动机的动态模型及表征电机动态模型的传递函数图（基于电压方程和转矩方程， $C_m$ 、 $T_l$ 、 $T_m$  等系数的定义无需记忆，重点是整体推导过程的思路）
- （2）整个闭环直流调速系统的动态结构图（包括上述的电机模型、功率放大装置的传递函数以及控制器的传递函数）

#### 5、比例控制闭环直流调速系统的稳定性判据（要求会推导）

#### 5、PI 调节器能够实现无静差控制的原因分析及无静差系统稳态参数计算

PI 调节器输出由比例和积分两部分构成，比例部分正比于当前输入，积分部分输出正比于当前时间之前所有偏差累计，只要当前偏差不为 0，积分部分输出就会改变，控制电压就会调节，电机电枢电压会调节，直到电机转速等于设定转速，转速偏差为 0，积分部分输出不变，维持系统稳定运行；

利用稳态结构框图进行稳态参数计算时，应当由后往前分析计算，即系统稳态时需要多少电枢电压，系统就能够通过积分调节产生相应的控制电压。

## **6、利用反馈控制规律分析转速闭环控制系统，可以得出哪些结论？**

比例控制直流调速系统为静差系统，只有系统存在静差时，比例调节器才有输出；否则输出为 0，电机控制电压为 0，电枢电压也为 0，系统无法稳态工作；

含有积分环节时，只有系统转速稳定为给定转速，转速偏差为 0，调节器输出才会稳定。

反馈控制系统对闭环包围的前向通道上的扰动有抑制作用，对给定和反馈扰动没有抑制作用。因此系统的精度依赖于给定和反馈检测的精度。

## 第四章 重点、难点内容解析

### 1、转速、电流双闭环直流调速系统系统结构

从物理概念上理解转速调节器级联电流调节器的嵌套式系统结构,掌握各环节间连接关系。

- 转速闭环系统的控制目标是速度,采用速度闭环控制,控制转速最直接的手段是控制电磁转矩,如何根据转速偏差调节电磁转矩大小呢?为此应当把转速调节器输出作为电磁转矩给定。在他励直流电动机中,电磁转矩正比于电枢电流,因此把电枢电流给定作为转速调节器输出;为了有效控制电枢电流进而控制电磁转矩,采用电流闭环控制。
- 为了实现阶跃输入无静差控制,两个调节器均采用 PI 型调节器。由于电机电枢电流不能超过最大电枢电流,转速调节器具有输出限幅。

### 2、转速、电流双闭环直流调速系统系统各环节稳态参数计算

确定双闭环系统各环节输入、输出。包括转速调节器、电流调节器输出与偏差;电源装置输出电压;电机稳态时转速与输出电磁转矩等。

- 明确电机稳定运行时的转速和电流。根据闭环无静差和电机机械平衡方程,电机转速等于给定转速,电机电磁转矩由负载决定。根据电压方程得到电机稳态运行需要的电枢电压。
- 强调结构图的概念,利用稳态结构框图 4-3 由后向前进行各环节稳态参数计算。由电枢电压  $U_d$  得到需要的控制电压  $U_c$ 。
- 转速调节器的输出代表电流给定,电机稳态运行时,电流闭环无静差,稳态给定电流取决于稳态电枢电流,即取决于负载大小。

### 3、转速、电流双闭环系统起动过程和制动过程分析

- 主要掌握起动过程和制动过程都包含哪些阶段。

### 4、转速、电流反馈控制直流调速系统的数学模型

- 掌握转速、电流双闭环直流调速系统的动态结构图(传递函数框图),明确每一部分和实际的装置或模块的对应关系。

### 5、典型系统

- 掌握典型 I 型和 II 型系统的形式;
- I 型系统和 II 型系统用于系统设计时分别有几个参数可以设计,是哪几个参数;
- I 型系统和 II 型系统在跟随性能和抗扰性能上的区别;

### 6、控制对象的几种工程近似处理方法

7、按工程设计方法设计双闭环调速系统时,内环和外环设计顺序如何?电流环最终可以简化为什么?

## 第五章 重点、难点内容解析

### 1. 数字测速基本原件（重点）

测量转速常用光电编码器，光电编码器和电机转子同轴安装，结合图 5-2 理解光电编码器输出脉冲信号中包含电机转速信息。

### 2. 数字控制中电流环和转速环的采样频率选取原则；

### 3. 三种测速方法的基本原理、分辨率、测速精度和适用转速范围（重点）

➤ 结合原理示意图分析三种测速方法、各自的分辨率和误差率、适用范围；

### 4. 数字 PI 调节器（重点，难点）

➤ 掌握数字 PI 调节器的离散形式，包括位置式和增量式。

➤ 位置式和增量式的 PI 调节器应分别如何限幅。

与直流调速系统相比，以异步电动机作为执行机构，更加难于理解。但实际上基于异步电动机的调速系统的基本结构和直流调速系统是一致的。

由于转矩是通电导体在磁场中受力产生的，为了控制转矩，必须兼顾电流和磁场，为了能使电机输出尽量大的转矩，提高带载能力，磁通要工作在接近饱和状态。因此整个第六章交流调速部分都是围绕这一问题展开的，如何在维持磁通恒定的情况实现一般性能的转速调节和高性能的转速调节。

## 第六章 基于稳态模型的异步电动机调速系统

### 1. 异步电动机的调速方法有哪些？

#### 2. 变压变频调速

(1) 基频以下和基频以上的特点（图 6-10）；

(2) 基频以下的电压补偿控制：恒定子磁通控制、恒气隙磁通控制以及恒转子磁通控制的原理；

(3) 异步电动机基频以下不同控制方式的机械特性，包括恒压频比控制、恒定子磁通控制、恒气隙磁通控制以及恒转子磁通控制的原理；（图 6-13）

3. 正弦波脉宽调制（SPWM）、电流跟踪 PWM（CFPWM）控制以及电压空间矢量 PWM（SVPWM）控制技术（磁链跟踪控制技术）的原理、特点和区别；

4. 电流滞环跟踪控制的精度与哪些因素有关？应该如何选择滞环的宽度？

1. 伺服系统的基本要求有哪些
2. 位置伺服系统中开环、半闭环以及全闭环的结构、区别；
3. 位置传感器有哪些？
4. 光电编码器有两类？绝对式编码器有哪几种码盘，各自有什么特点？
5. 位置伺服系统中，给定误差和扰动误差分别与什么有关？
6. 位置伺服系统中的系统类型是如何定义的？位置伺服系统通常采用哪种类型的系统？
7. I 型和 II 型系统单位阶跃输入、单位速度输入以及单位加速度输入的给定稳态误差分别是多少？
8. 伺服系统设计时常用的校正方式哪些？其中并联校正中的前馈校正和反馈校正的传递函数结构框图如何表示？