

1、什么是调速系统的调速范围和静差率？它们之间有什么关系？

电动机在额定负载下，运行的最高转速 n_{\max} 与最低转速 n_{\min} 之比称为调速范围，用 D 表示，即

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

静差率 s 是指电动机在稳定运行时，当负载由理想空载增至额定负载时对应的转速降落 Δn_N 与理想空载转速 n_0 之比，用百分数表示为

$$S = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\% = \frac{n_0 - n_N}{n_0} \times 100\%$$

调速范围 D 与静差率 s 满足下列关系式：

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_N s}{(1-s)\Delta n_N}$$

由上式可知，当一个调速系统的机械特性硬度(Δn_N)一定时，对静差率要求越高，即静差率越小，允许的调速范围也越小。

2、简述他励直流电动机在恒转矩条件下调压调速的物理过程。

电机转矩的表达式为：

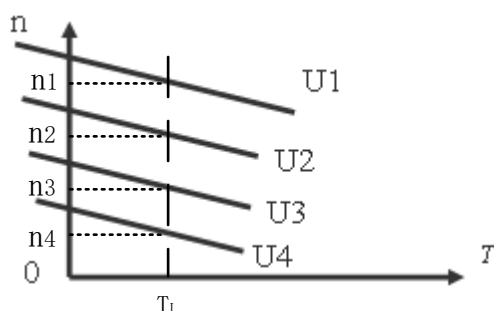
$$T = 9.55 C_e \phi I_a$$

恒转矩条件下，应保持他励电流不变，且电枢电流不变。

电机转速的表达式为：

$$n = \frac{U - I_a R_a}{C_e \phi}$$

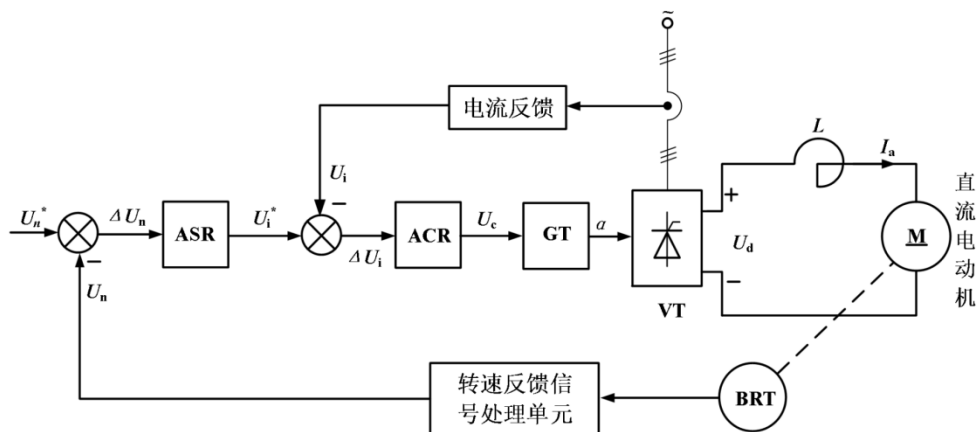
从公式中可以看出，电机转速随电机两侧电压增大而增大，随电机两侧电压减小而减小。其机械特性曲线如下图：



当转速为 n_1 ，电机电压为 U_1 时，要想降低转速到 n_2 ，需将电压降至 U_2 ，

同理，想要将电机转速降到 n_3 ，需将电压降至 U_3 。

3、画出他励直流电动机双闭环调速系统原理框图，并说明速度调节器和电流调节器的作用及其限幅要求。



双闭环调速系统原理框图

(1) 转速调节器的作用。

- ①使电动机转速 n 跟随给定电压 U_r 变化，保证稳态转速无静差；
- ②对负载扰动起抑制作用；
- ③其输出限幅值决定允许的最大电流，在启动时给出最大限定电流。

(2) 电流调节器的作用。

- ①对电网电压扰动起及时抑制作用；
- ②启动时保证获得恒定的最大允许电流；
- ③当电动机过载甚至堵转时，限制电枢电流最大值，起到快速、安全、保护作用；
- ④在转速调节过程中，使电流 I_d 跟随给定电压 m 变化。

转速调节器 ASR 的输出限幅值 U_{im}^* 决定了电枢电流的最大值 I_{am} ，电流调节器 ACR 的输出限幅电压 U_{cm} 限制了晶闸管整流装置输出电压的最大值 U_{dm} 。

4、在他励直流电动机转速、电流双闭环调速系统中，出现电网波动和负载扰动时，各是哪个调节器起主要调节作用？并说明理由

采用转速、电流双闭环调速系统后，由于增加了电流内环，而电网电压扰动被包围在电流环里，当电网电压发生波动时，可以通过电流反馈得到及时调节，不必等到它影响转速后，再由转速调节器做出反应。

双闭环调速系统的静特性在负载电流 $I_d < I_{dm}$ 时表现为转速无静差，这时 ASR 起主要调节作用。当负载电流达到 I_{dm} 之后， ASR 饱和， ACR 起主要调节作用，系统表现为电流无静差。

5、什么是 PI 调节器的饱和？调节器饱和后有什么特征？如何能退出饱和？为什么采用 PI 调节器的控制系统是一个无静差有超调系统？

PI 调节器饱和：输出超过了设置的最大值。

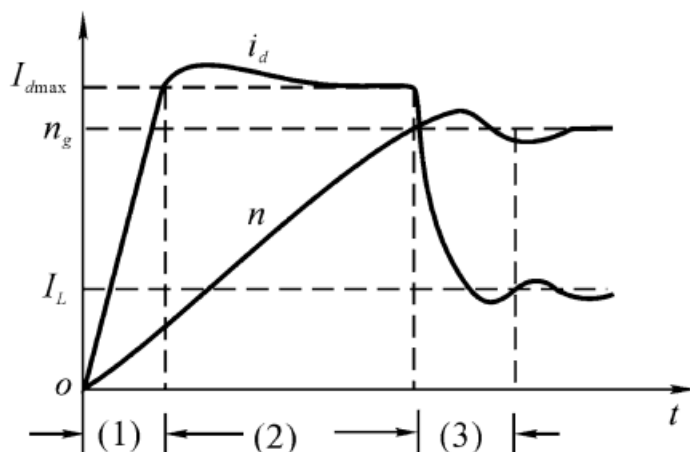
特征：此时 PI 调节器的输出等于设定的限幅值。

退出饱和：直到比例环节与积分环节的和小于限幅值。

无静差有超调系统：由于积分环节的存在，能保留误差历史，即使系统误差为 0 也能输出一个值去控制被控对象，所以误差能一直保持为 0，实现无静差。从系统启动到系统稳定，误差不断减小，系统输出向期望靠拢，当转速达到给定转速时，转速调节器开始退饱和，虽然比例不起作用，因为有积分作用，

转速会继续升高，转速出现超调。

6、下图为双闭环直流电机系统启动的转速、电流图，根据此图说明启动过程。



第一阶段：电机电流上升过程，转速也在不断上升，电机转速小于期望转速，转速环饱和，导致电流输入为最大值，所以电流稳定上升直到电流饱和。

第二阶段：转速环输出为最大值，电机电流达到转速环最大输出，电流环误差减小，逐渐无静差，电机转速不断上升直到到达期望转速。

第三阶段：转速出现超调，转速环退保和，转速环输出下降，导致电机电流环输入下降，电机电流下降，转速环误差减小，实现无静差，转速环的输出稳定到 I_L ，电机电流也稳定到 I_L 。

7、什么是直流电机的四象限运行？实现四象限运行需要什么条件？

直流电机的四象限运行是指其运行机械特性曲线在数学轴上的四个象限都可运行。第一象限正转电动状态，第二象限回馈制动状态，第三象限反转电动状态，第四象限反接制动状态。

要实现直流电机的四象限运行，需要满足以下条件：

可逆性：直流电机必须具备可逆性，也就是能够正转和反转。这通常通过电机的设计和结构来实现，包括适当的绕组和换向器。

电源供应：为了使电机能够在四象限中工作，您需要提供稳定的直流电源。这可以是电池组、直流电源或通过整流器和滤波器将交流电转换为直流电的装置。

能量可以双向流动的电路拓扑：既可以实现电源能量向电机流动，也可以实现电机能量向电网流动。

储能或能量消耗装置：电机能量向电网流动时，这部分能量不能全部进入电网，需进行储存或者使用电阻和散热装置进行消耗。

8、画出直流电机 H 型可逆脉宽调速系统电路图，当电机轻载时，说明各个阶段电机电流方向和电机的运行状态及其原因。

图中 T_{oi} 为电流反馈滤波时间常数； T_{on} 为转速反馈滤波时间常数
 T_l 电枢回路电磁时间常数； T_m 系统的机电时间常数； T_s 整流装置滞后时间常数。
 10、

10.1 按I型系统设计电流调节器

1) 确定时间常数

整流装置滞后时间常数 $T_s = 0.0000625s$ 。

电流滤波时间常数取 $T_{oi} = 0.000125s$ 。

电流环小时间常数之和，按小时间常数近似处理，取 $T_{\Sigma i} = T_s + T_{oi} = 0.0001875s$

2) 选择电流调节器结构

要求 $\sigma_i \leq 5\%$ ，并保证稳态电流无差，按典型 I 型系统用 PI 设计电流调节器。检查对电源电压的抗扰性能：

$$\frac{T_l}{T_{\Sigma i}} = \frac{0.0144}{0.0001875} = 76.8$$

参看表 2.2 的典型 I 型系统动态抗扰性能，各项指标都是可以接受的。

3) 计算电流调节器参数

设计电流调节器超前时间常数： $\tau_i = T_l = 0.0144s$

设计电流环开环增益，查表 2.2，取 $K_I T_{\Sigma i} = 0.5$

$$K_I = \frac{0.5}{T_{\Sigma i}} = \frac{0.5}{0.0001875} = 2666.67$$

ACR 的比例系数为

$$K_i = \frac{K_I \tau_i R}{K_s \beta} = \frac{2666.67 \times 0.0144 \times 0.368}{107.5 \times 0.1277} = 0.2573$$

4) 校验近似条件

电流环截止频率 $\omega_{ci} = K_I = 2666.67s^{-1}$

(1) 校验晶闸管整流装置传递函数的近似条件

$$\frac{1}{3T_s} = \frac{1}{3 \times 0.0000625} = 5333.33 > \omega_{ci}$$

(2) 校验忽略反电动势变化对电流环动态影响的条件

$$3\sqrt{\frac{1}{T_m T_l}} = 3 \times \sqrt{\frac{1}{0.18 \times 0.0144}} = 58.92s^{-1} < \omega_{ci}$$

(3) 校验电流环小时间常数近似处理条件

$$\frac{1}{3\sqrt{T_s T_{oi}}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{\frac{1}{0.0000625 \times 0.000125}} = 3771.23s^{-1} > \omega_{ci}$$

10.2 按II型系统设计转速调节器

1) 确定时间常数(求等效惯性环节时间常数)

(1) 电流环等效时间常数

由 10.1 可知, 已取 $K_I T_{\Sigma i} = 0.5$, 则

$$\frac{1}{K_I} = 2T_{\Sigma i} = 2 \times 0.0001875 = 0.000375s$$

(2) 转速滤波时间常数。 $T_{on} = 3 \cdot T_{oi} = 0.000375$

(3) 转速环的小时间常数按小时间常数近似处理方法, 取

$$T_{\Sigma n} = \frac{1}{K_I} + T_{on} = 0.000375 + 0.000375 = 0.00075s$$

2) 选择转速调节器 ASR 的结构: 选用 PI 调节器

$$W_{ASR}(s) = \frac{K_n(\tau_n s + 1)}{\tau_n s}$$

3) 计算转速调节器参数: 取 $h=5$, 则 ASR 的超前时间常数为

$$\tau_n = hT_{\Sigma n} = 5 \times 0.00075 = 0.00375s$$

转速环开环增益

$$K_N = \frac{h+1}{2h^2 T_{\Sigma n}^2} = \frac{6}{2 \times 25 \times 0.00075^2} = 213333.33s^{-2}$$

ASR 的比例系数为

$$K_n = \frac{(h+1)\beta C_e T_m}{2h\alpha R T_{\Sigma n}} = \frac{6 \times 0.1277 \times 0.1459 \times 0.18}{2 \times 5 \times 0.00383 \times 0.368 \times 0.00075} = 1903.54$$

4) 检验近似条件

转速环截止频率为

$$\omega_{cn} = \frac{K_N}{\omega_1} = K_N \tau_n = 213333.33 \times 0.000375 = 80s^{-1}$$

(1) 满足电流环传递函数简化条件

$$\frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{\Sigma i}}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{\frac{2666.67}{0.0001875}} = 1257.08s^{-1} > \omega_{cn}$$

(2) 满足转速环小时间常数合并的近似处理条件,

$$\frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{on}}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{\frac{2666.67}{0.000375}} = 888.89s^{-1} > \omega_{cn}$$