

转速、电流双闭环调速系统的 工程设计举例

主讲人：张敬南 副教授

主要内容

01 双闭环调速系统的工程设计举例

02 转速环与电流环截止频率的关系

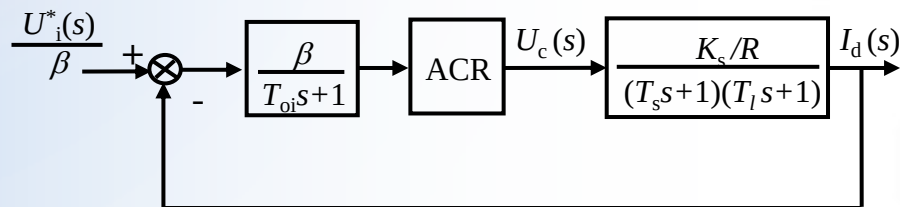
例题

某龙门刨床工作台拖动采用V-M双闭环直流调速系统。直流电动机60kW，220V、305A、1000r/min，电动势系数0.2Vmin/r，允许过载倍数 $\lambda=1.5$ 。采用三相桥式整流电路，晶闸管装置放大系数30。主电路总电阻 0.18Ω ，电磁时间常数 $T_l=0.0167s$ ，机电时间常数 $T_m=0.075s$ 。电流反馈系数 $\beta=0.033V/A$ ($\approx 15V/1.5I_N$)，转速反馈系数 $\alpha=0.015Vmin/r$ ($\approx 15V/n_N$)。电流检测滤波时间常数为2ms，转速检测滤波时间常数为3ms。

要求电流超调量小于5%；转速无静差，且空载起动到额定转速的转速超调量小于10%。请按工程设计方法选择并设计各调节器参数。

(一) 电流调节器设计

(1) 确定时间常数



① 电磁时间常数:

$$T_l = 0.0167s$$

② 整流装置滞后时间常数

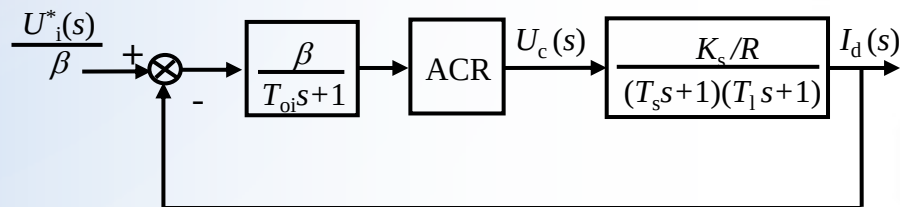
$$T_s = 0.0017s$$

③ 电流滤波时间常数

$$T_{oi} = 2ms = 0.002s$$

(一) 电流调节器设计

(1) 确定时间常数

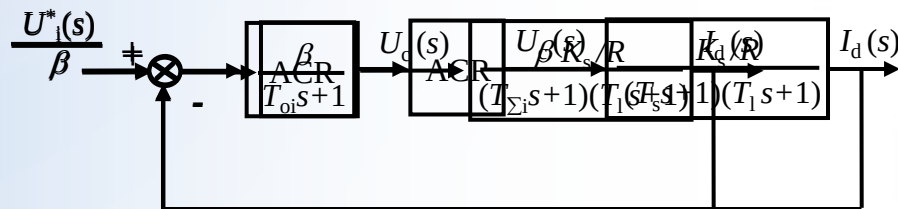


整流装置滞后时间常数和电流滤波

时间常数按照小惯性环节近似处理。

(一) 电流调节器设计

(1) 确定时间常数



整流装置滞后时间常数和电流滤波

时间常数按小时间常数近似处理。

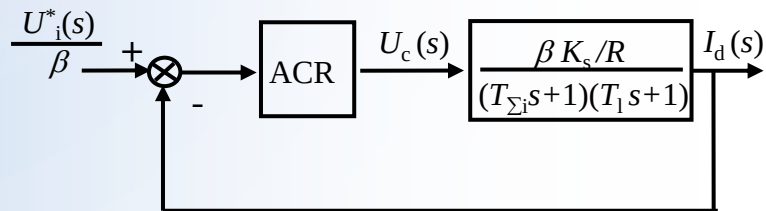
$$T_{\Sigma i} = T_s + T_{oi} = 0.0037s。$$

近似条件：

$$\omega_{ci} < \frac{1}{3} \sqrt{\frac{1}{T_s T_{oi}}}$$

(一) 电流调节器设计

(2) 选择电流调节器结构



按典型I型系统设计电流调节器。

采用PI调节器。

$$W_{\text{ACR}}(s) = \frac{K_i (\tau_i s + 1)}{\tau_i s}$$

式中： K_i ——电流调节器的比例系数；

τ_i ——电流调节器的超前时间常数。

(一) 电流调节器设计

(3) 计算电流调节器参数

电流调节器超前时间常数：

$$\tau_i = T_I = 0.0167 \text{ s}$$

动态指标要求： $\sigma_i \leq 5\%$ ，取 $K_I T_I = 0.5$ ，

则电流环开环增益

$$K_I = \frac{0.5}{T_I} = \frac{0.5}{T_{\Sigma i}} = \frac{0.5}{0.0037} = 135.1$$

ACR的比例系数为

$$K_i = \frac{K_I \tau_i R}{K_s \beta} = \frac{135.1 \times 0.0167 \times 0.18}{30 \times 0.033} = 0.41$$

(一) 电流调节器设计

(4) 校验近似条件

电流环截止频率： $\omega_{ci}=K_I=135.1\text{s}^{-1}$

① 晶闸管整流装置传递函数简化

$$\frac{1}{3T_s} = \frac{1}{3 \times 0.0017} = 196.1 \text{ s}^{-1} > \omega_{ci}$$

② 忽略反电动势的影响

$$3\sqrt{\frac{1}{T_m T_l}} = 3 \times \sqrt{\frac{1}{0.075 \times 0.0167}} = 84.77 \text{ s}^{-1} < \omega_{ci}$$

③ 电流环小时间常数近似处理

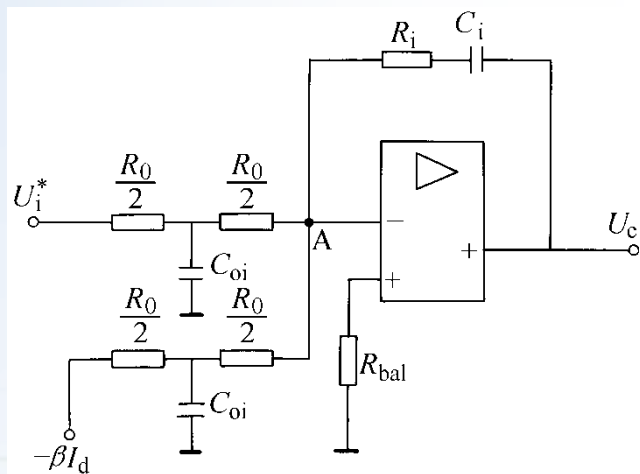
$$\frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{T_s T_{oi}}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{\frac{1}{0.0017 \times 0.002}} = 180.8 \text{ s}^{-1} > \omega_{ci}$$

(一) 电流调节器设计

(5) 调节器的实现 (略)

电流调节器:

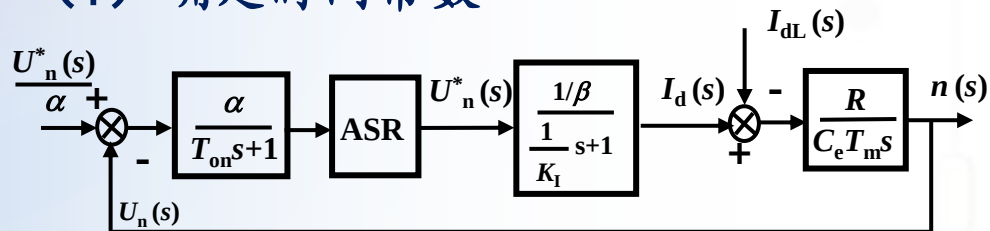
$$W_{\text{ACR}} = \frac{0.41(0.0167s + 1)}{0.0167s}$$



含给定滤波与反馈滤波的PI型电流调节器

(二) 转速调节器设计

(1) 确定时间常数



① 机电时间常数:

$$T_m = 0.075s$$

② 电流环等效时间常数

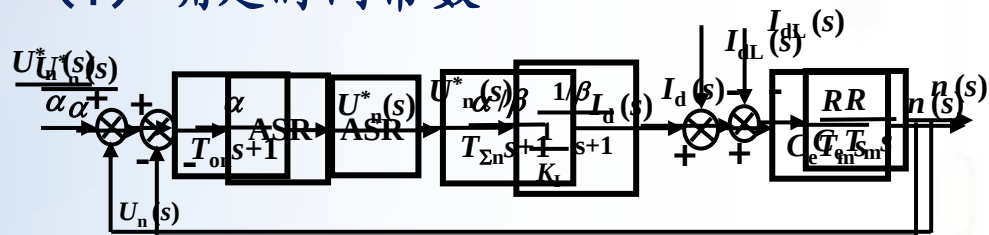
$$\frac{1}{K_I} = 2T_{\Sigma i} = 2 \times 0.0037 = 0.0074s$$

③ 转速滤波时间常数

$$T_{on} = 0.003s$$

(二) 转速调节器设计

(1) 确定时间常数



电流环等效时间常数和转速滤波时

间常数按小时间常数近似处理：

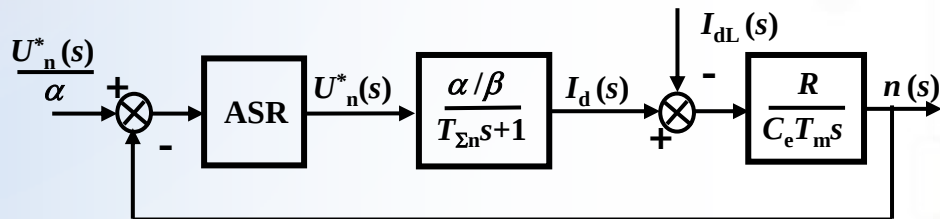
$$T_{\Sigma n} = \frac{1}{K_I} + T_{on} = 0.0074 + 0.003 = 0.0104s$$

近似条件：

$$\omega_{cn} < \frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{on}}}$$

(二) 转速调节器设计

(2) 选择电流调节器结构



按典型II型系统设计转速调节器。

采用PI调节器。

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

式中： K_n ——转速调节器的比例系数；

τ_n ——转速调节器的超前时间常数。

(二) 转速调节器设计

(3) 计算转速调节器参数

取 $h=5$ ，确定动态指标是否满足：

h	3	4	5	6	7	8	9	10
$C_{\max}/C_b$ (%)	72.2	77.5	81.2	84.0	86.3	88.1	89.6	90.8

$$\Delta C_{\max} / C_b = 81.2\%$$

$$\begin{aligned}\sigma_n \% &= \left(\frac{\Delta C_{\max}}{C_b} \% \right) \frac{\Delta n_b}{n^*} = 2 \left(\frac{\Delta C_{\max}}{C_b} \% \right) (\lambda - z) \frac{\Delta n_N}{n^*} \cdot \frac{T_{\Sigma n}}{T_m} \\ &= 2 \times 81.2\% \times 1.5 \times \frac{305 \times 0.18}{1000} \times \frac{0.0104}{0.075} = 9.27\% < 10\%\end{aligned}$$

取 $h=5$ 满足超调量要求。

(二) 转速调节器设计

(3) 计算转速调节器参数

取 $h=5$ ，确定超前时间常数为：

$$\tau_n = \tau_N = hT_{\Sigma n} = 5 \times 0.0104 = 0.052s$$

转速环开环增益：

$$K_N = \frac{h+1}{2h^2T_{\Sigma n}^2} = \frac{6}{2 \times 5^2 \times 0.0104^2} = 1109.4s^{-2}$$

ASR的比例系数为

$$\begin{aligned} K_n &= \frac{(h+1)\beta C_e T_m}{2h\alpha R T_{\Sigma n}} = \frac{6 \times 0.033 \times 0.2 \times 0.075}{2 \times 5 \times 0.015 \times 0.18 \times 0.0104} \\ &= 10.577 \end{aligned}$$

(二) 转速调节器设计

(4) 校验近似条件

电流环截止频率：

$$\omega_{cn} = K_N \tau_N = 1109.4 \times 0.052 = 57.69 \text{s}^{-1}$$

① 电流环传递函数简化

$$\frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{\Sigma i}}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{135.1}{0.0037}} = 63.7 \text{s}^{-1} > \omega_{cn}$$

② 转速环小时间常数近似处理

$$\frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{on}}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{135.1}{0.003}} = 70.74 \text{s}^{-1} > \omega_{cn}$$

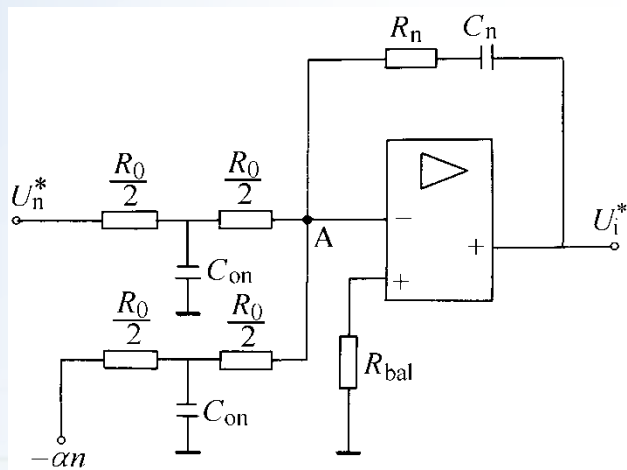
满足近似条件。

(二) 转速调节器设计

(5) 调节器的实现 (略)

转速调节器:

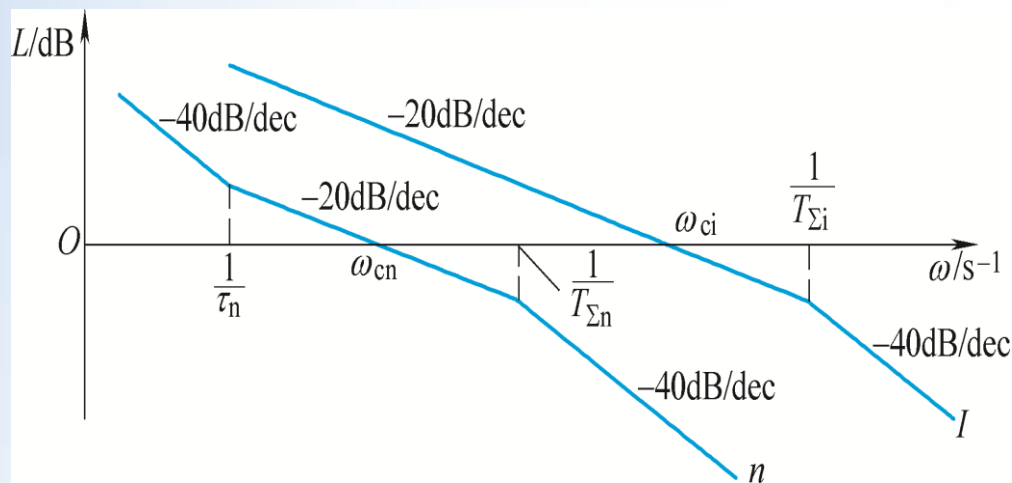
$$W_{ASR} = \frac{10.577(0.052s + 1)}{0.052s}$$



含给定滤波与反馈滤波的PI型转速调节器

(三) 转速环截止频率与电流环截止频率

电流环截止频率: $\omega_{ci}=135.1\text{s}^{-1}$; 转速环截止频率: $\omega_{cn}=57.69\text{s}^{-1}$ 。

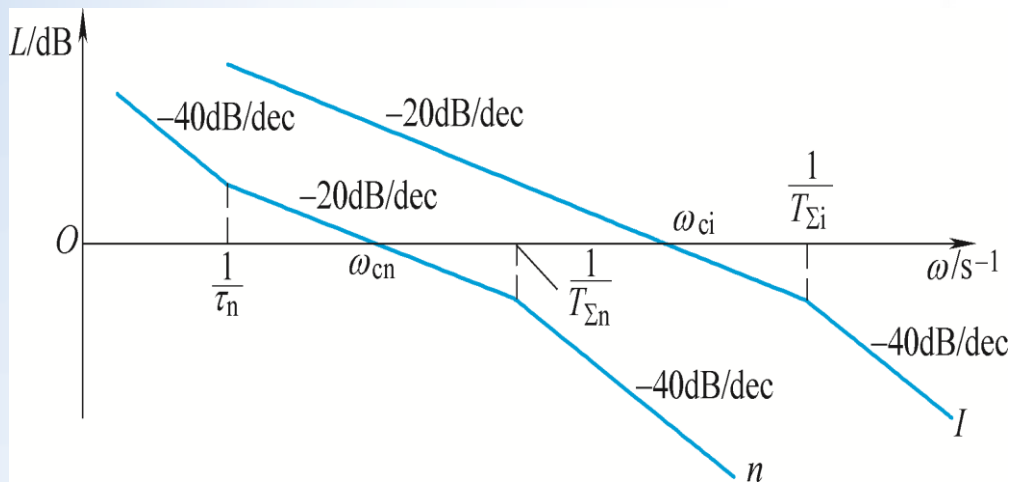


双闭环调速系统内环和外环的开环对数幅频特性

I ——电流内环 n ——转速外环

(三) 转速环截止频率与电流环截止频率

电流环截止频率: $\omega_{ci}=135.1\text{s}^{-1}$; 转速环截止频率: $\omega_{cn}=57.69\text{s}^{-1}$ 。

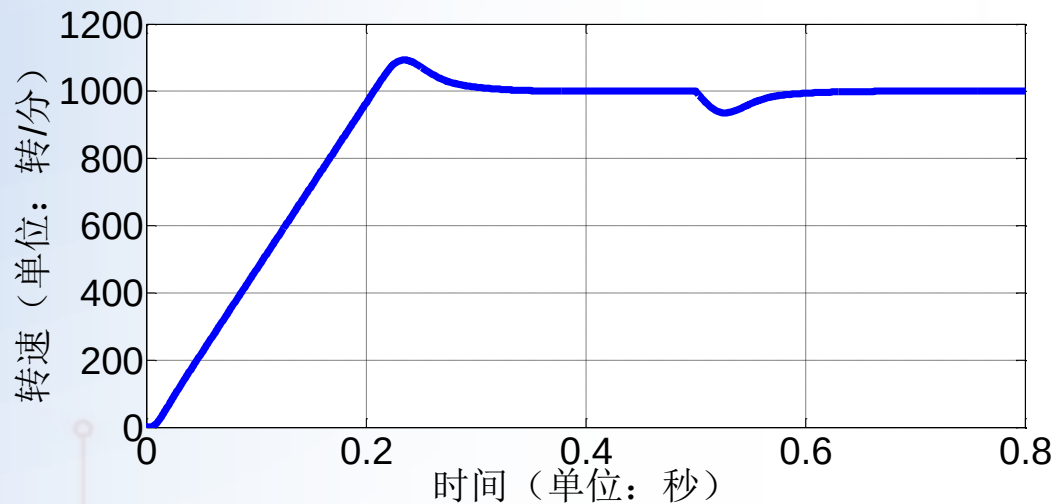


内、外环开环对数幅频特性的比较结论: **外环的响应比内环慢。**

(四) 仿真校验

(1) 转速仿真曲线

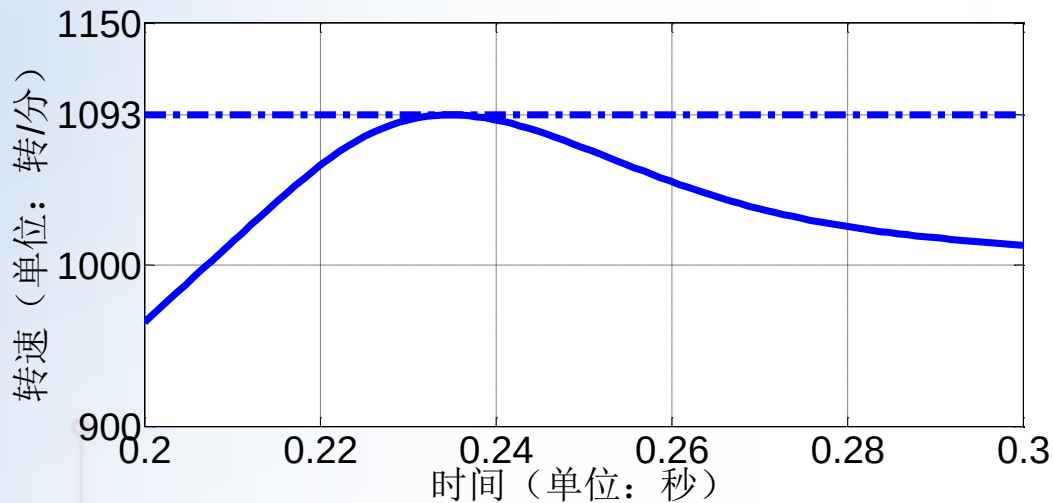
空载起动，0.5s突加至100%额定负载。



(四) 仿真校验

(1) 转速仿真曲线

转速局部放大曲线，确定超调量。

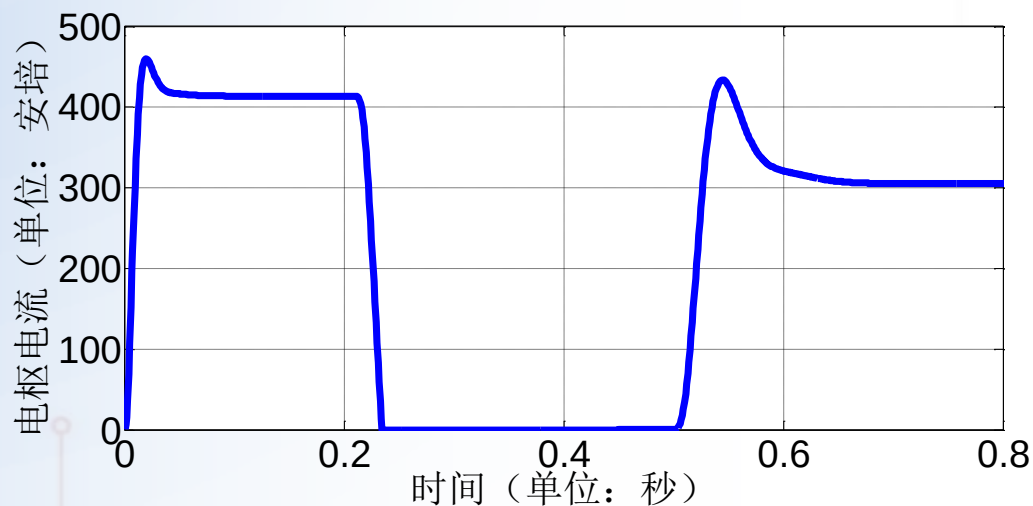


$$\sigma_n \% = \frac{n_{\max} - n^*}{n^*} \% = \frac{1093 - 1000}{1000} \% = 9.3\%$$

(四) 仿真校验

(2) 电枢电流仿真曲线

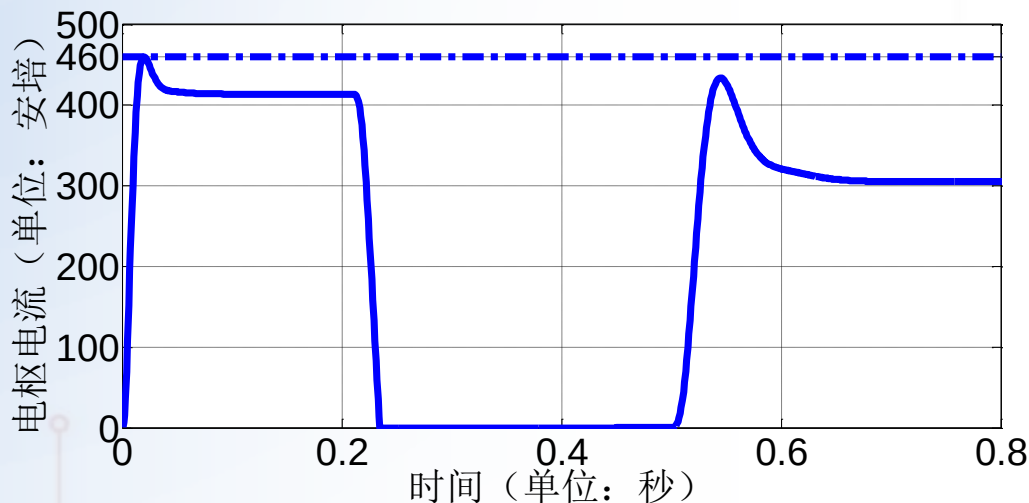
额定电流305A，过载系数为1.5。



(四) 仿真校验

(2) 电枢电流仿真曲线

额定电流305A，过载系数为1.5。



结论：通过仿真验证转速和电流的变化曲线，验证了设计结果符合系统要求。

主要内容

01 双闭环调速系统的工程设计举例

02 转速环与电流环截止频率的关系

转速、电流双闭环调速系统的 工程设计举例

主讲人：张敬南 副教授