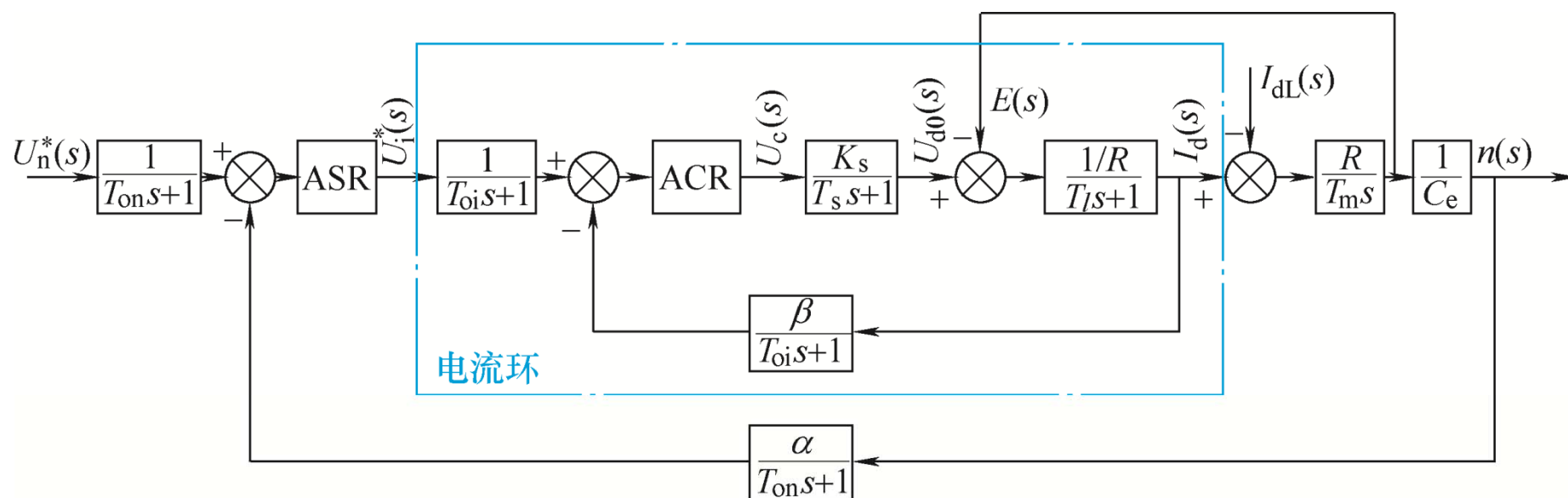


2. 转速调节器的设计

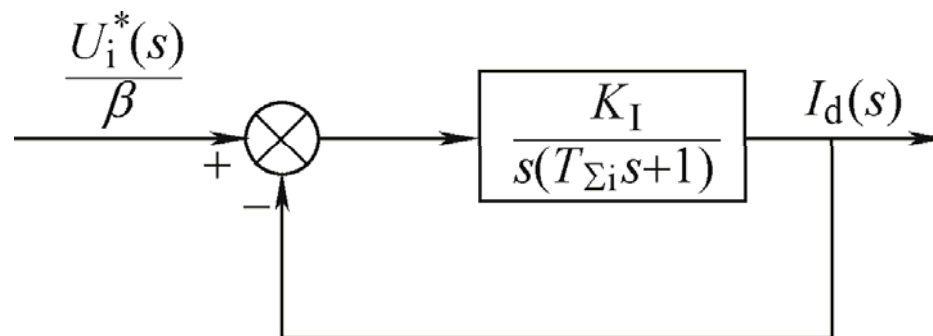


T_{oi} ——电流反馈滤波时间常数； T_{on} ——转速反馈滤波时间常数

图3-18 双闭环调速系统的动态结构图

转速环的简化

■ 电流环闭环传递函数的降阶处理



➤ 其闭环传递函数为：

$$W_{cli}(s) = \frac{I_d(s)}{U_i^*(s)/\beta} = \frac{\frac{K_I}{s(T_{\Sigma i}s + 1)}}{1 + \frac{K_I}{s(T_{\Sigma i}s + 1)}} = \frac{1}{\frac{T_{\Sigma i}}{K_I}s^2 + \frac{1}{K_I}s + 1} \quad (4-60)$$

- 忽略高次项，降阶近似为

$$W_{cli}(s) \approx \frac{1}{\frac{1}{K_I}s + 1} = \frac{1}{2T_{\Sigma i}s + 1} \quad (4-61)$$

- 降价近似条件为

$$\omega_{cn} \leq \frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{\Sigma i}}}$$

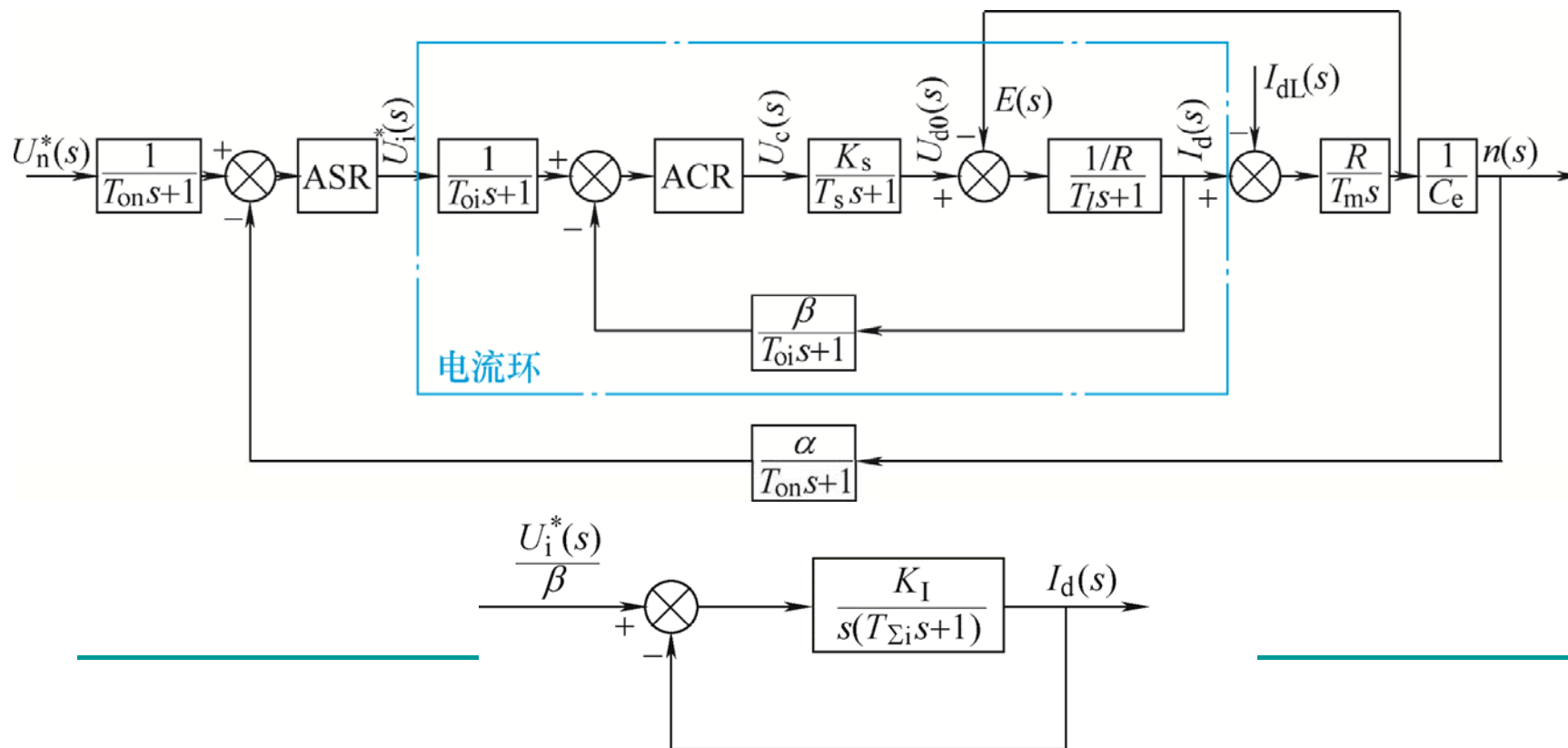
ω_{cn} ——转速环开环频率特性的截止频率。

- $K_I T_{\Sigma i} = 0.5$ 时，降价近似条件为

$$\omega_{cn} \leq \frac{1}{3\sqrt{2} T_{\Sigma i}} \quad (4-62)$$

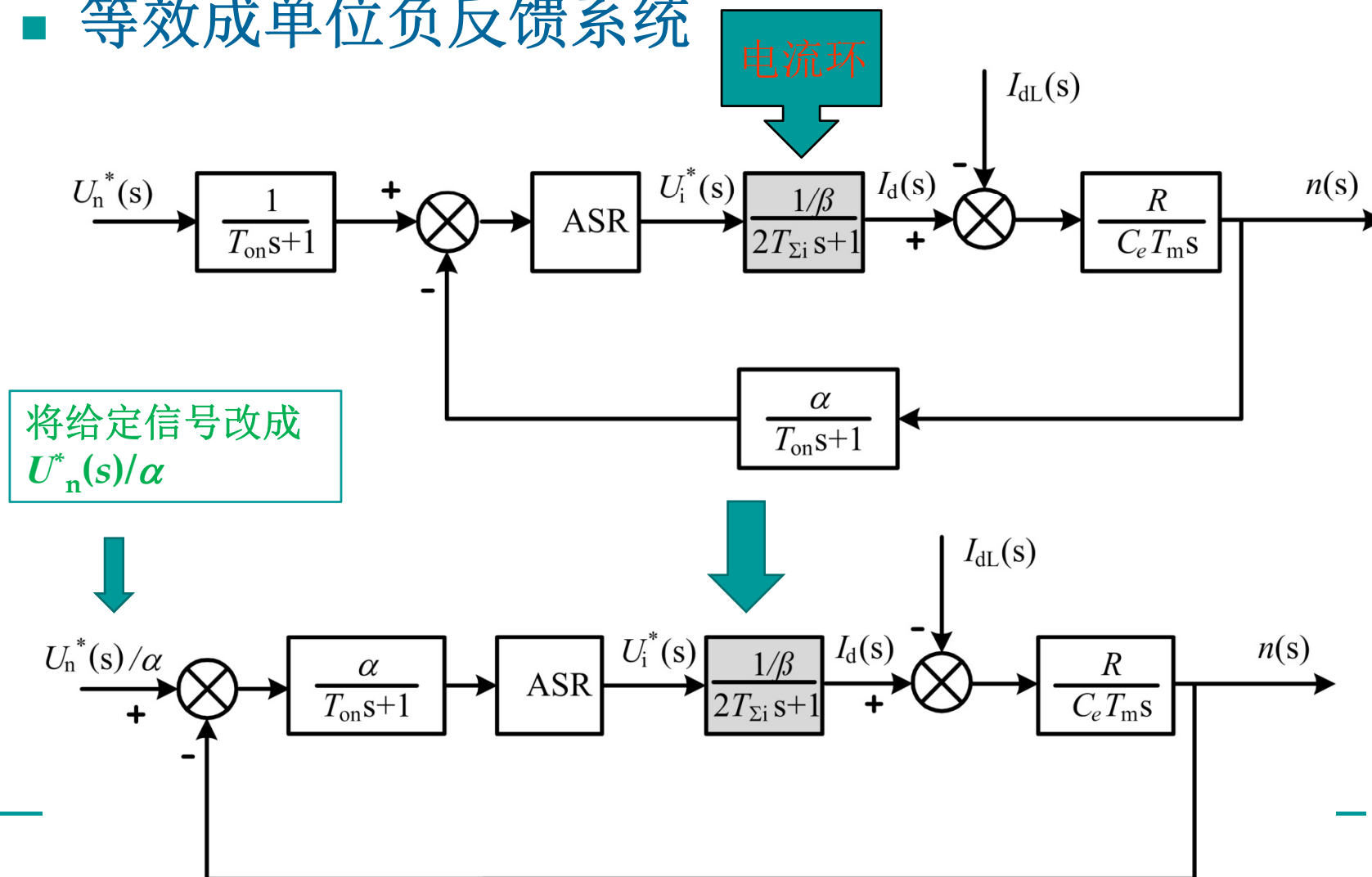
➤ 电流环在转速环中应等效为

$$\frac{I_d(s)}{U_i^*(s)} = \frac{W_{cli}(s)}{\beta} W_{cli} = \frac{1}{\beta} \frac{1}{2T_{\Sigma i}s + 1} \quad (4-63)$$



-
- 电流的闭环控制把双惯性环节的电流环控制对象近似地等效成只有较小时间常数的一阶惯性环节，
 - 加快了电流的跟随作用，这是局部闭环（内环）控制的一个重要功能。
-

■ 等效成单位负反馈系统



■ 小惯性环节的近似处理

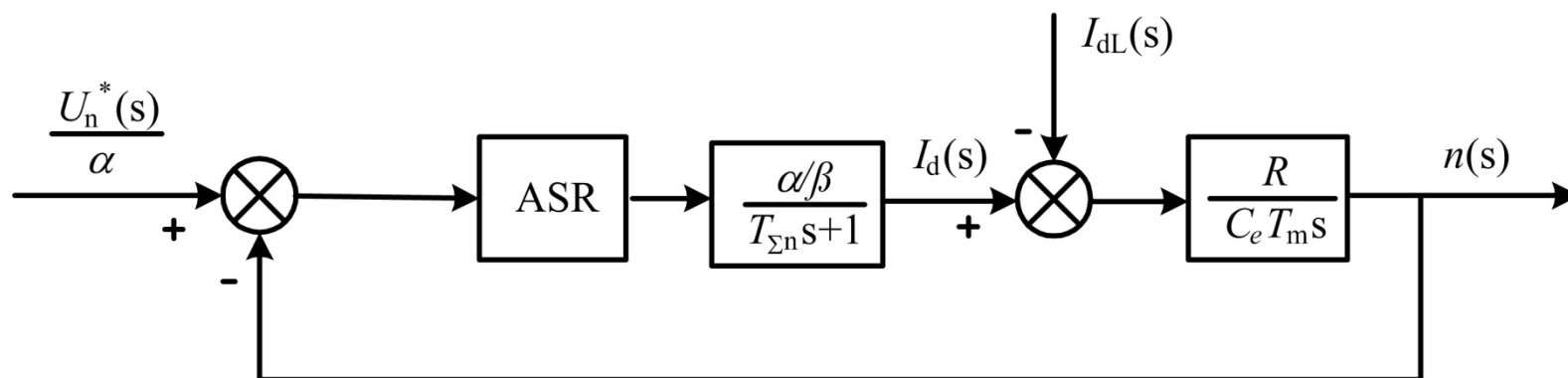
把时间常数为 $2T_{\Sigma i}$ 和 T_{on} 的两个小惯性环节合并

$$T_{\Sigma n} = 2T_{\Sigma i} + T_{on}$$

近似条件为:

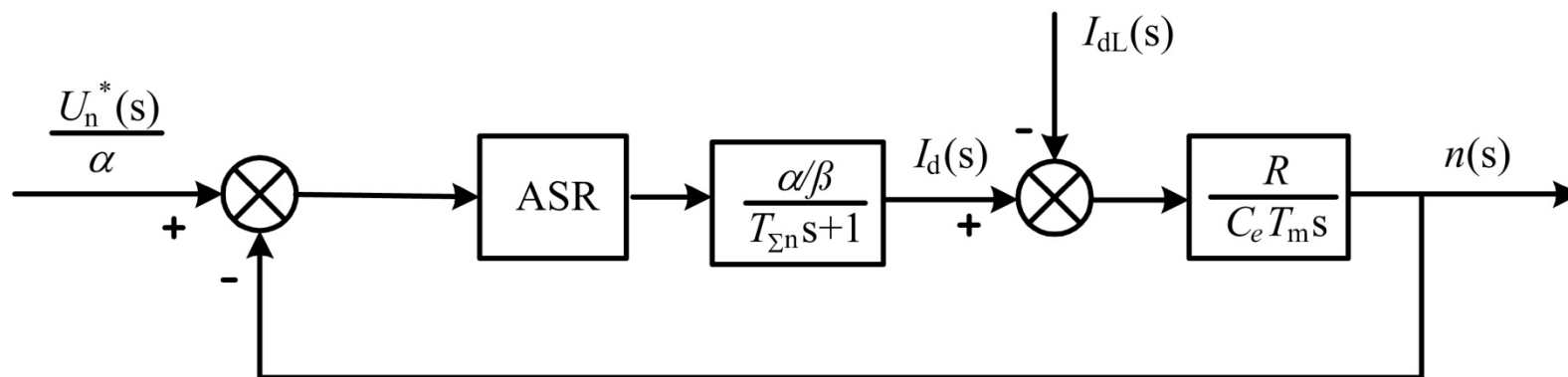
$$\omega_{cn} \leq \frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{on}}} \quad \text{或} \quad \omega_{cn} \leq \frac{1}{3} \sqrt{\frac{1}{2T_{\Sigma n}T_{on}}}$$

- 则转速环结构图简化为：



典型系统的选择

- 转速环的控制对象是由一个积分环节和一个惯性环节组成， $I_{dL}(s)$ 是负载扰动。
- 系统实现无静差的必要条件是：在负载扰动点之前必须含有一个积分环节。
- 转速开环传递函数应有两个积分环节，按典型II型系统设计。



选择调节器结构，确定其参数

■ 结构的选择

$$W_{ASR}(s) = \frac{K_n(\tau_n s + 1)}{\tau_n s} \quad (4-78)$$

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。

- 调速系统的开环传递函数为

$$W_n(s) = \frac{K_n(\tau_n s + 1)}{\tau_n s} \cdot \frac{\frac{\alpha R}{\beta}}{C_e T_m s (T_{\Sigma n} s + 1)} = \frac{K_n \alpha R (\tau_n s + 1)}{\tau_n \beta C_e T_m s^2 (T_{\Sigma n} s + 1)}$$

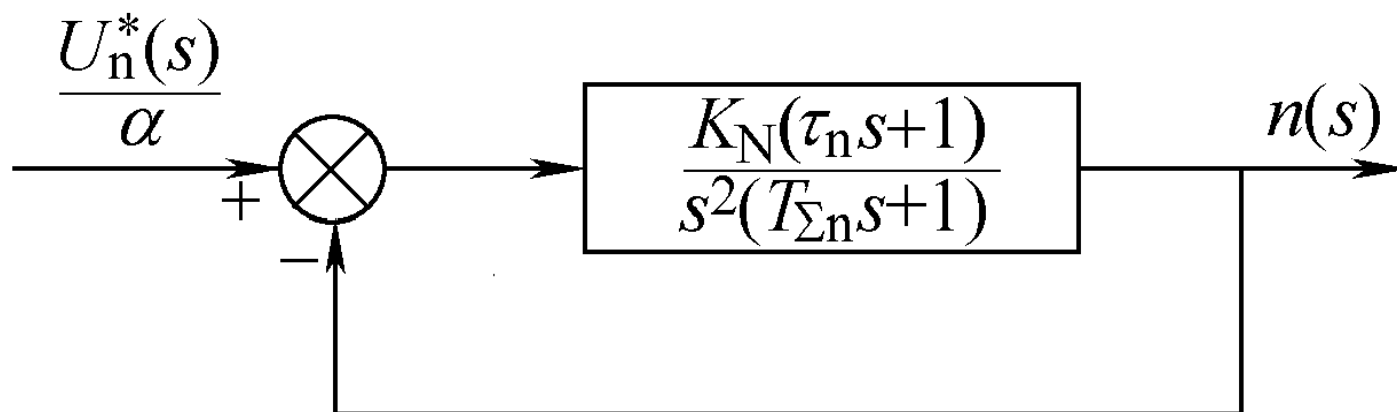
- 令转速环开环增益 K_N 为

$$K_N = \frac{K_n \alpha R}{\tau_n \beta C_e T_m} \quad (4-79)$$

- 则

$$W_n(s) = \frac{K_N (\tau_n s + 1)}{s^2 (T_{\Sigma n} s + 1)} \quad (4-80)$$

图4-27 转速环的动态结构图及其简化
(c) 校正后成为典型 II 型系统



■ 参数计算

$$\tau_n = hT_{\Sigma n} \quad (4-81)$$

$$K_N = \frac{h+1}{2h^2 T_{\Sigma n}^2} \quad (4-82)$$

$$K_n = \frac{(h+1)\beta C_e T_m}{2h\alpha R T_{\Sigma n}} \quad (4-83)$$

无特殊要求时，一般以选择 $h=5$ 为好。

校验近似条件

- 电流环传递函数简化近似条件

$$\omega_{cn} \leq \frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{\Sigma i}}}$$

- 转速环小时间常数近似处理条件

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

转速调节器的实现

■ 模拟式转速调节器电路

$$K_n = \frac{R_n}{R_0} \quad (4-84)$$

$$\tau_n = R_n C_n \quad (4-85)$$

$$T_{on} = \frac{1}{4} R_0 C_{on} \quad (4-86)$$

U_n^* —转速给定电压；

$-\alpha n$ —转速负反馈电压；

U_i^* —电流调节器的给定电压。

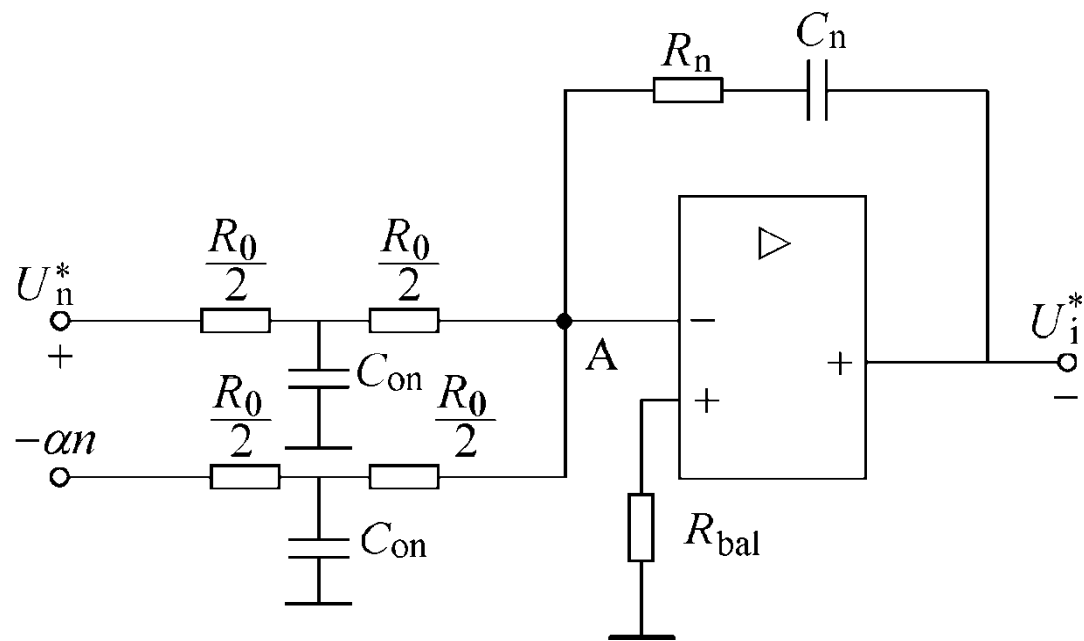


图4-28 含给定滤波与反馈滤波的PI型转速调节器

例题4-3

- 在例题4-1中，除已给数据外，已知：转速反馈系数 $\alpha = 0.00383 \text{ Vmin/r}$ ($\approx 10\text{V}/n_N$)，
- 电流环按照典型 I 型系统设计， $K_I T_{\Sigma i} = 0.5$ ，
- 要求转速无静差，空载起动到额定转速时的转速超调量 $\sigma_n \leq 5\%$ 。
- 试按工程设计方法设计转速调节器，并校验转速超调量的要求能否得到满足。

解：

(1) 确定时间常数

1) 电流环等效时间常数。由例题4-1，已取 $K_I T_{\Sigma i}=0.5$ ，
则

$$2T_{\Sigma i} = 2 \times 0.000725 = 0.00145 \text{ s}$$

2) 转速滤波时间常数。根据所用测速发电机纹波情况，
取 $T_{on}=0.01\text{s}$ 。

3) 转速环小时间常数。按小时间常数近似处理，取

$$T_{\Sigma n} = 2T_{\Sigma i} + T_{on} = (0.00145 + 0.01) \text{ s} = 0.01145\text{s}$$

转速调节器设计例题

(2) 选择转速调节器结构

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

$$\tau_n = hT_{\Sigma n} = 5 \times 0.01145 = 0.05725 \text{ s}$$

转速环开环增益：

$$K_N = \frac{h+1}{2h^2 T_{\Sigma n}^2} = \frac{6}{2 \times 5^2 \times 0.01145^2} \text{ s}^{-2} = 915.3 \text{ s}^{-2}$$

ASR的比例系数为

$$K_n = \frac{(h+1)\beta C_e T_m}{2h\alpha R T_{\Sigma n}} = \frac{6 \times 0.1277 \times 0.1459 \times 0.18}{2 \times 5 \times 0.00383 \times 0.368 \times 0.01145} = 124.686$$

(4) 检验近似条件 转速环截止频率为

$$\omega_{cn} = \frac{K_N}{\omega_1} = K_N \tau_n = 915.3 \times 0.05725 \text{s}^{-1} = 52.4 \text{ s}^{-1}$$

1) 电流环传递函数简化条件

$$\frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{\Sigma i}}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{689.655}{0.000725}} = 325.1 \text{s}^{-1} > \omega_{cn} \quad \text{满足简化条件}$$

2) 转速环小时间常数近似处理条件

$$\frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{on}}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{689.655}{0.01}} = 87.538 \text{s}^{-1} > \omega_{cn} \quad \text{满足近似条件}$$

(5) 计算调节器电阻和电容

■ 取 $R_0 = 39 \text{ k}\Omega$,

$$R_n = K_n R_0 = 124.686 \times 39 \text{ k}\Omega = 4863 \text{ k}\Omega, \text{ 取 } 4.7 \text{ M}\Omega$$

$$C_n = \frac{\tau_n}{R_n} = \frac{0.05725}{4700 \times 10^3} F = 12.1 \times 10^{-9} F, \text{ 取 } 10 \mu F$$

$$C_{on} = \frac{4T_{on}}{R_0} = \frac{4 \times 0.01}{39 \times 10^3} F = 1.02 \times 10^{-6} F = 1.02 \mu F, \text{ 取 } 1 \mu F$$

例题：

- 有一转速、电流双闭环调速系统，主电路采用三相桥式整流电路。
- 已知电动机参数为： $P_N=555\text{kW}$ ， $U_N=750\text{V}$ ， $I_N=760\text{A}$ ， $n_N=375\text{r/min}$ ，电动势系数 $C_e=1.82\text{V}\cdot\text{min/r}$ ，电枢回路总电阻 $R=0.14\Omega$ ，允许电流过载倍数 $\lambda=1.5$ 。
- 触发整流环节的放大倍数 $K_s=75$ ，电磁时间常数 $T_l=0.031\text{s}$ ，机电时间常数 $T_m=0.112\text{s}$ ，电流反馈滤波时间常数 $T_{oi}=0.002\text{s}$ ，转速反馈滤波时间常数 $T_{on}=0.02\text{s}$ 。设调节器输入输出电压 $U_{nm}^* = U_{im}^* = U_{cm} = 10\text{V}$ 。

- 设计指标：稳态无静差，空载起动到额定转速时的转速超调量 $\sigma_n \leq 10\%$ ，电流调节器已按典型I型系统设计，并取参数 $KT=0.5$ 。
- 试选择转速调节器结构，并计算其参数（不包括电阻和电容），不必校验近似条件。

解：

(1) 求 α 和 β ：

$$\alpha = \frac{U_{nm}^*}{n_N} = \frac{10}{375} = 0.0267 \text{ V} \cdot \text{min/r}$$

$$\beta = \frac{U_{im}^*}{I_{dm}} = \frac{U_{im}^*}{\lambda I_N} = \frac{10}{1.5 \times 760} = 0.00877 \text{ V/A}$$

(2) 确定时间常数：

$$T_{\Sigma i} = T_s + T_{oi} = 0.00167 + 0.002 = 0.00367 \text{ s}$$

$$T_{\Sigma n} = 2T_{\Sigma i} + T_{on} = 2 \times 0.00367 + 0.02 = 0.02734 \text{ s}$$

(3) 选择转速调节器结构:

采用PI调节器, 其传递函数为 $W_{ASR}(s) = \frac{K_n(\tau_n s + 1)}{\tau_n}$

(4) 计算转速调节器参数:

取 $h=5$, 则 $\tau_n = hT_{\Sigma n} = 5 \times 0.02734 = 0.1367 \text{ s}$

$$K_N = \frac{h+1}{2h^2 T_{\Sigma n}^2} = \frac{5+1}{2 \times 5^2 \times 0.02734^2} = 1.61$$

$$K_n = \frac{(h+1)\beta C_e T_m}{2h\alpha R T_{\Sigma n}} = \frac{(5+1) \times 0.00877 \times 1.82 \times 0.112}{2 \times 5 \times 0.0267 \times 0.14 \times 0.02734} = 10.5$$