

4.1 双闭环调速系统的 ASR 和 ACR 均为 PI 调节器, 设系统最大给定电压 $U_{nm}^* = 15V$, 转速调节器限幅值为 $U_{im}^* = 15V$, $n_N = 1500r/min$, $I_N = 20A$, 电流过载倍数为 2, 电枢回路总电阻 $R = 2\Omega$, $K_s = 20$, $C_e = 0.127V \cdot \min/r$, 求: (1) 当系统稳定运行在 $U_n^* = 5V$, $I_{dL} = 10A$ 时, 系统的 n 、 U_n 、 U_i^* 、 U_i 和 U_c 各为多少? (2) 当电动机负载过大而堵转时, U_i^* 和 U_c 各为多少?

解:

$$(1) \alpha = \frac{U_{nm}^*}{n_N} = \frac{15V}{1500r/min} = 0.01V \min/r$$

$$n = \frac{U_n}{\alpha} = \frac{5V}{0.01V \min/r} = 500r/min$$

$$\beta = \frac{U_{im}^*}{I_{dm}} = \frac{15V}{40A} = 0.375V/A$$

$$U_i^* = \beta I_d = 0.375 \times 10 = 3.75V$$

$$U_i = \beta I_d = 0.375 \times 10 = 3.75V$$

$$U_c = \frac{C_e n + I_d R}{K_s} = \frac{0.127 \times 500 + 10 \times 2}{20} = 4.175V$$

$$(2) \text{堵转时, } U_i^* = \beta I_{dm} = 15V, \quad U_c = \frac{C_e n + I_d R}{K_s} = \frac{0.127 \times 0 + 40 \times 2}{20} = 4V$$

4.2 在转速、电流双闭环调速系统中, 两个调节器 ASR, ACR 均采用 PI 调节器。已知参数: 电动机: $P_N = 3.7kW$, $U_N = 220V$, $I_N = 20A$, $n_N = 1000 r/min$, 电枢回路总电阻 $R = 1.5\Omega$, 设 $U_{nm}^* = U_{im}^* = U_{cm} = 8V$, 电枢回路最大电流 $I_{dm} = 40A$, 电力电子变换器的放大系数 $K_s = 40$ 。试求:

(1) 电流反馈系数 β 和转速反馈系数 α 。

(2) 当电动机在最高转速发生堵转时的 U_{d0} , U_i^* , U_i , U_c 值。

$$\text{解: (1) } \beta = \frac{U_{im}^*}{I_{dm}} = \frac{8V}{40A} = 0.2V/A$$

$$\alpha = \frac{U_{nm}}{n_N} = \frac{8V}{1000r/\min} = 0.008V \min/r$$

$$2) U_{d0} = E + I_d \times R_\Sigma = I_{dm} \times R_\Sigma = 40 \times 1.5 = 60V$$

这时: $U_n^* = 8V, U_n = 0$, ASR 处于饱和, 输出最大电流给定。

$$U_i^* = 8V \quad U_i = 8$$

$$U_C = \frac{U_{d0}}{K_S} = \frac{60}{40} = 1.5V$$

4.3 在转速、电流双闭环调速系统中, 调节器 ASR, ACR 均采用 PI 调节器。当 ASR 输出达到 $U_{im}^* = 8V$ 时, 主电路电流达到最大电流 80A。当负载电流由 40A 增加到 70A 时, 试问: (1) U_i^* 应如何变化? (2) U_c 应如何变化? (3) U_c 值由哪些条件决定?

$$\text{解: } 1) \quad \beta = \frac{U_{im}^*}{I_{dm}} = \frac{8V}{80A} = 0.1V/A$$

U_i^* 就是电流的给定, 因此当电流从 40A 到 70A 时, U_i^* 应从 4V 到 7V 变化。

2) U_C 要有所增加。

3) U_C 取决于电机速度和负载大小。因为 $U_{d0} = E + I_d R_\Sigma = C_e n + I_{dm} R_\Sigma$

$$U_C = \frac{U_{d0}}{K_S}$$

4.4 在转速、电流双闭环调速系统中, 电流过载倍数为 2, 电动机拖动恒转矩负载在额定工作点正常运行, 现因某种原因功率变换器供电电压上升 5%, 系统工作情况将会如何变化? 写出 U_i^*, U_c, U_{d0}, I_d 及 n 在系统重新进入稳定后的表达式。

解: 双闭环系统中, 由于有电流内环, 电压波动可以通过电流反馈得到比较及时的调节。

$$U_s \uparrow \Rightarrow U_{d0} \uparrow \Rightarrow I_d \uparrow \Rightarrow U_i \uparrow \Rightarrow \Delta U_i \text{ 为负} \Rightarrow U_c \downarrow \Rightarrow U_{d0} \downarrow \Rightarrow I_d \downarrow$$

重新稳定后，

$$U_i^* = \beta I_{dL} \text{ 不变}$$

$$U_{d0} \text{ 不变}$$

$$U_c = \frac{U_{d0}}{K_s} = \frac{C_e n + I_{dL} R}{K_s} \text{ 减小}$$

$$n = \frac{U_n^*}{\alpha} \text{ 不变}$$

I_{dL} 是负载电流

β 是电流反馈系数

α 是转速反馈系数

U_n^* 是给定转速。

4.5 某反馈控制系统已校正成典型 I 型系统。已知时间常数 $T=0.1s$ ，要求阶跃响应超调量 $\sigma \leq 10\%$ 。

(1) 系统的开环增益。

(2) 计算过渡过程时间 t_s 和上升时间 t_r ；

(3) 绘出开环对数幅频特性。如果要求上升时间 $t_r < 0.25s$ ，则 $K=?$ ， $\sigma \%$ =?

(3) 绘出开环对数幅频特性。如果要求上升时间 $t_r < 0.25s$ ，求 K ， σ 。

解：取 $KT = 0.69, \xi = 0.6, \sigma\% = 9.5\%$

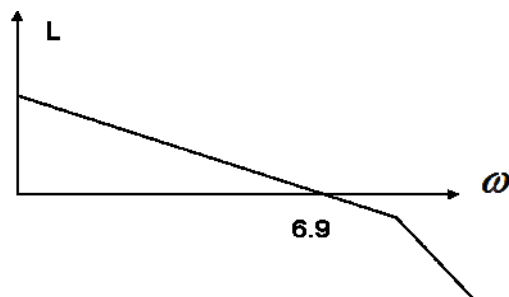
(1) 系统开环增益： $K = 0.69 / T = 0.69 / 0.1 = 6.9(1/s)$

(2) 上升时间 $t_r = 3.3T = 0.33s$

过度过程时间：

$$t_s \approx \frac{3}{\xi \omega_n} = 6T = 6 \times 0.1 = 0.6s$$

(3)



如要求 $t_r < 0.25s$, 则应取 $KT=1, \xi=0.5$ 这样 $K=1/T=10$, 超调量=16.3%。

4.6 有一个系统, 其控制对象的传递函数为 $W_{obj}(s) = \frac{K_1}{\tau s + 1} = \frac{10}{0.01s + 1}$,

要求设计一个无静差系统, 在阶跃输入下系统超调量 $\sigma \leq 5\%$ (按线性系统考虑)。试对该系统进行动态校正, 决定调节器结构, 并选择其参数。

解: 可选择积分调节器, 设其传递函数为: $W(s) = \frac{K_i}{s}$, 则校正成新系统的

传递函数为: $W_{\text{新}}(s) = \frac{10K_i}{s(0.01s+1)}$, 将原系统校正成 I 型系统 $W_I(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$

以实现无静差, 按 $\sigma \leq 5\%$ 要求查表取: $KT=0.5$ 即: $10K_i \times 0.01=0.5$, 得: $K_i=5$ 。

4.7 有一个闭环系统, 其控制对象的传递函数为

$W_{obj}(s) = \frac{K_1}{s(Ts + 1)} = \frac{10}{s(0.02s + 1)}$, 要求校正为典型 II 型系统, 在阶跃输入下

系统超调量 $\sigma \% \leq 30\%$ (按线性系统考虑)。试决定调节器结构, 并选择其参数

解: 应选择 PI 调节器, $W_{PI}(s) = \frac{K_{PI}(\tau s + 1)}{\tau s}$, 校正后系统开环传递函数

$W(s) = \frac{K_{PI}(\tau s + 1)}{\tau s} \frac{K_1}{s(Ts + 1)}$, 对照典型 II 型系统, $K = K_{PI}K_1/\tau$, $\tau = hT$, 选 $h=8$,

查表得: $\sigma \% = 27.2\%$, 满足设计要求。 $\tau = hT = 8 \times 0.02 = 0.16 s$ 。

$K = (h+1) / (2h^2T^2) = 175.78$, $K_{PI} = K\tau / K_1 = 2.81$ 。

4.8 在一个由 PWM 变换器供电的转速、电流双闭环调速系统中, PWM 变换器的开关频率为 8kHz。已知电动机的额定数据为: $P_N = 60 \text{ kW}$, $U_N = 220 \text{ V}$, $I_N = 308 \text{ A}$, $n_N = 1000 \text{ r/min}$, 电动势系数 $C_e = 0.196 \text{ V} \cdot \text{min/r}$, 主回路总电阻 $R = 0.1 \Omega$, 变换器的放大倍数 $K_s = 35$ 。电磁时间常数 $T_l = 0.01 \text{ s}$, 机电时间常数 $T_m = 0.12 \text{ s}$, 电流反馈滤波时间常数 $T_{0i} = 0.0025 \text{ s}$, 转速反馈滤波时间常数 $T_{0n} = 0.015 \text{ s}$ 。额定转速时的给定电压 $(U_n^*)_N = 10 \text{ V}$, 调节器 ASR, ACR 饱和输出电压 $U_{im}^* = 8 \text{ V}$, $U_{cm} = 8 \text{ V}$ 。

系统的静、动态指标为: 稳态无静差, 调速范围 $D=10$, 电流超调量 $\sigma_i \leq 5\%$, 空载起动到额定转速时的转速超调量 $\sigma_n \leq 15\%$ 。试求:

(1) 确定电流反馈系数 β (假设起动电流限制在 $1.5I_N$ 以内) 和转速反馈系数 α 。

(2) 试设计电流调节器 ACR, 计算其参数 R_i 、 C_i 、 C_{0i} 。画出其电路图, 调节器输入回路电阻 $R_0 = 40 \text{ k}\Omega$ 。

- (3) 设计转速调节器 ASR, 计算其参数 R_n 、 C_n 、 C_{0n} 。 ($R_0=40k\Omega$)
- (4) 计算电动机带 40%额定负载起动到最低转速时的转速超调量 σ_n 。
- (5) 计算空载起动到额定转速的时间。

解: (1) $\beta = \frac{U_{im}^*}{I_{dm}} = \frac{8}{1.5 \times I_N} = \frac{8}{1.5 \times 308} = 0.0173 \text{ V/A}$

$$\alpha = \frac{U_{nm}}{n_N} = \frac{10V}{1000r/\min} = 0.01V \min/r$$

(2) 电流调节器设计

确定时间常数: (a) $T_s = \frac{1}{8000} = 0.000125s$

(b) $\frac{1}{T_{oi}} = (\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}) \frac{1}{T_{PWM}}$, 因此取 $T_{oi} = 0.0006$ 。

(c) $T_{\Sigma i} = T_s + T_{oi} = 0.000725s$ 。

电流调节器结构确定:

因为 $\sigma_i \leq 5\%$, 可按典型 I 型系统设计, 选用 PI 调节器, $W_{ACR}(S) = \frac{K_i(\tau_i S + 1)}{\tau_i S}$,

电流调节器参数确定: $\tau_i = T_i = 0.01s$ 。

电流环开环增益: 要求 $\sigma_i \leq 5\%$ 时, 按表 4-1, 应取 $K_I T_{\Sigma i} = 0.5$, 因此

$$K_I = \frac{0.5}{T_{\Sigma i}} = \frac{0.5}{0.000725} = 689.655s^{-1}$$

于是, ACR 的比例系数为

$$K_i = \frac{K_I \tau_i R}{K_s \beta} = \frac{689.655 \times 0.01 \times 0.1}{35 \times 0.0173} = 1.13898$$

校验等效条件:

电流环截止频率: $\omega_{ci} = K_I = 689.655 s^{-1}$

(1) 校验整流装置传递函数的近似条件

$$\frac{1}{3T_s} = \frac{1}{3 \times 0.000125} = 2666.6 s^{-1} > \omega_{ci} \quad \text{满足近似条件}$$

(2) 校验忽略反电动势变化对电流环动态影响的条件

$$3\sqrt{\frac{1}{T_m T_l}} = 3 \times \sqrt{\frac{1}{0.12 \times 0.01}} = 86.602 \quad s^{-1} < \omega_{ci} \quad \text{满足近似条件}$$

(3) 校验电流环小时间常数近似处理条件

$$\frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{T_s T_{oi}}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{\frac{1}{0.000125 \times 0.006}} = 1217.16 \quad s^{-1} > \omega_{ci} \quad \text{满足近似条件}$$

可见满足近似等效条件，电流调节器的实现：选 $R_0 = 40K$ ，则：

$$R_i = K_i R_0 = 0.2243 \times 40 = 8.97K, \text{ 取 } 9K.$$

$$C_i = \frac{\tau_i}{R_i} = \frac{0.012}{9 \times 10^3} = 1.33 \mu F$$

$$C_{oi} = \frac{4T_{oi}}{R_0} = \frac{4 \times 0.0025}{40 \times 10^3} = 0.25 \mu F$$

(3) 电流环等效时间常数 $\frac{1}{K_I}$

$$K_I T_{\Sigma i} = 0.5 \text{ 则 } 2T_{\Sigma i} = 2 \times 0.000725 = 0.00145$$

$$T_{on} = 0.015s$$

$$T_{\Sigma n} = \frac{1}{K_I} + T_{on} = 0.00145 + 0.015 = 0.01645$$

速度调节器结构确定：

按照无静差的要求，应选用 PI 调节器，

$$W_{ASR}(S) = K_n(\tau_n S + 1) / \tau_n S$$

$$\text{速度调节器参数确定：} \tau_n = h T_{\Sigma n} = 5 \times 0.01645 = 0.08225$$

转速环开环增益

$$K_N = \frac{h+1}{2h^2 T_{\Sigma n}^2} = \frac{6}{2 \times 5^2 \times 0.01645^2} = 443.454$$

ASR 的比例系数

$$K_n = \frac{(h+1)\beta C_e T_m}{2h\alpha R T_{\Sigma n}} = \frac{6 \times 0.0173 \times 0.196 \times 0.12}{2 \times 5 \times 0.007 \times 0.1 \times 0.01645} = 21.202$$

校验等效条件：

转速环截止频率

$$\omega_{cn} = \frac{K_N}{\omega_1} = K_N \tau_n = 443.454 \times 0.08225 = 36.474$$

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

$$\frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{on}}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{689.655}{0.015}} = 71.474 > \omega_{cn} \text{ 满足简化条件}$$

转速超调量的校验 (空载 $Z=0$)

$$\sigma_n = 2 \times 81.2\% \times 1.5 \times \frac{308 \times 0.1}{1000} \times \frac{0.01154}{0.18} = 0.793\% \ll$$

$$\sigma_n = 2 \times 81.2\% \times 1.1 \times (308 \times 0.18 / 0.196 \times 1000) \times (0.02666 / 0.12) = 11.23\% > 10\%$$

转速超调量的校验结果表明, 上述设计不符合要求。因此需重新设计。

4.9 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: $P_N=500\text{kW}$, $U_N=750\text{V}$, $I_N=760\text{A}$, $n_N=375\text{ r/min}$, 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 $\lambda=1.5$, 变换器的放大倍数 $K_s=75$, 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 $T_{0i}=0.0006\text{s}$, 转速反馈滤波时间常数 $T_{0n}=0.02\text{s}$ 。设调节器输入输出电压

$U_{nm}^*=U_{im}^*=U_{nm}=10\text{V}$, 调节器输入电阻 $R_0=40\text{k}\Omega$ 。

设计指标:稳态无静差, 电流超调量 $\sigma_i \leq 5\%$, 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 $KT=0.5$ 。

(1) 选择转速调节器结构, 并计算其参数。

(2) 计算电流环的截止频率 ω_{ci} 和转速环的截止频率 ω_{cn} , 并考虑它们是否合理?

$$\text{解: (1) } \beta = \frac{U_{im}^*}{I_{dm}} = \frac{10\text{V}}{1.5 \times I_N} = 0.00877\text{V/A}$$

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

电流调节器已按典型 I 型系统设计如下:

确定时间常数:

$$\text{确定时间常数: (a) } T_s = \frac{1}{8000} = 0.000125\text{s}$$

$$(b) \frac{1}{T_{oi}} = \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{10}\right) \frac{1}{T_{PWM}}, \text{ 因此取 } T_{oi} = 0.0006。$$

$$(c) T_{\Sigma i} = T_s + T_{oi} = 0.000725s。$$

电流调节器结构确定：因为 $\sigma\% \leq 5\%$ ，可按典型 I 型系统设计，选用 PI 调节器， $W_{ACR}(S) = \frac{K_i(\tau_i S + 1)}{\tau_i S}$ ， $\frac{T_l}{T_{\Sigma i}} = 42.76$ 。抗扰性能满足要求。

$$\text{电流调节器参数确定：} \tau_i = T_l = 0.031s, \quad K_l T_{\Sigma i} = 0.5 \quad K_l = \frac{0.5}{T_{\Sigma i}} = 136.24s^{-1}$$

$$K_i = \frac{K_l \tau_i R}{K_s \beta} = \frac{136.24 \times 0.031 \times 0.14}{75 \times 0.00877} = 0.899$$

$$\text{校验等效条件：} \omega_{ci} = K_l = 136.24s^{-1},$$

$$a) \frac{1}{3T_s} = \frac{1}{3 \times 0.00167} = 199.6s^{-1} > \omega_{ci}$$

$$b) 3\sqrt{\frac{1}{T_m T_l}} = 3 \times \sqrt{\frac{1}{0.112 \times 0.031}} = 50.9s^{-1} < \omega_{ci}$$

$$c) \frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{T_s T_{oi}}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{\frac{1}{0.00167 \times 0.002}} = 182.39s^{-1} > \omega_{ci}$$

可见满足近似等效条件。

电流调节器的实现：选 $R_0 = 40K$ ，则

$$R_i = K_i \times R_0 = 0.899 \times 40 = 35.96 \quad \text{取 } 36K$$

$$C_i = \frac{\tau_i}{R_i} = \frac{0.031}{36 \times 10^3} = 0.86\mu F$$

$$C_{oi} = \frac{4T_{oi}}{R_0} = \frac{4 \times 0.002}{40 \times 10^3} = 0.2\mu f$$

速度调节器设计

$$\text{速度调节器结构确定：} K_l T_{\Sigma i} = 0.5$$

$$\text{则电流环时间常数 } \frac{1}{K_l} = 2T_{\Sigma i} = 2 \times 0.00367 = 0.00734s$$

$$T_{on} = 0.02s \quad T_{\Sigma n} = \frac{1}{K_l} + T_{on} = 0.00734 + 0.02 = 0.02734s$$

按照无静差的要求，应选用 PI 调节器，

$$W_{ASR}(S) = K_n(\tau_n S + 1) / \tau_n S$$

速度调节器参数确定： $\tau_n = hT_{\Sigma n}$, $h = 5$, $\tau_n = hT_{\Sigma n} = 0.1367s$

转速环开环增益

$$K_N = \frac{h+1}{2h^2 T_{\Sigma n}^2} = \frac{6}{2 \times 25 \times 0.02734^2} = 160.54s^{-2}$$

ASR 的比例系数

$$K_n = \frac{(h+1)\beta C_e T_m}{2h\alpha R T_{\Sigma n}} = \frac{6 \times 0.00877 \times 1.82 \times 0.112}{2 \times 5 \times 0.0267 \times 0.14 \times 0.02734} = 10.5$$

校验等效条件：

$$\text{转速环截止频率 } \omega_{cn} = \frac{K_N}{\omega_l} = K_N \tau_n = 160.54 \times 0.1367 = 21.946s^{-1}$$

$$a) \frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{\Sigma i}}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{136.24}{0.00367}} = 64.22s^{-1} > \omega_{cn} \text{ 满足简化条件}$$

$$b) \frac{1}{3} \sqrt{\frac{K_I}{T_{on}}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{136.24}{0.02}} = 27.51s^{-1} > \omega_{cn} \text{ 满足简化条件}$$

速度调节器的实现：选 $R_0=40K$ ，则 $R_n = K_n \times R_0 = 10.5 \times 40 = 420K$

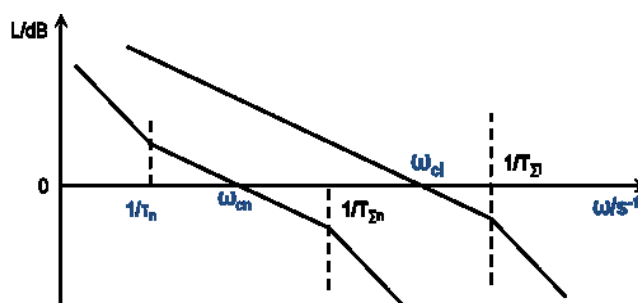
$$C_n = \frac{T_n}{R_n} = \frac{0.1367}{420 \times 10^3} = 0.325\mu F$$

$$C_{on} = \frac{4T_{on}}{R_0} = \frac{4 \times 0.02}{40 \times 10^3} = 2\mu F$$

2) 电流环的截止频率是： $\omega_{ci} = K_I = 136.24s^{-1}$

速度环的截止频率是： $\omega_{cn} = 21.964s^{-2}$

从电流环和速度环的截止频率可以看出，电流环比速度环要快，在保证每个环都稳定的情况下，再求系统的快速性，充分体现了多环控制系统的设计特点。



4.10 在一个转速、电流双闭环直流调速系统中,采用 PWM 变换器供电,转速调节器 ASR, 电流调节器 ACR 均采用 PI 调节器。

(1) 在此系统中,当转速给定信号最大值 $U_{nm}^* = 15V$ 时, $n = n_N = 1500 \text{ r/min}$; 电流给定信号最大值 $U_{im}^* = 10V$ 时, 允许最大电流 $I_{dm} = 30A$, 电枢回路总电阻 $R = 1.4\Omega$, PWM 变换器的放大倍数 $K_s = 30$, 电动机额定电流 $I_N = 20A$, 电动势系数 $C_e = 0.128V \cdot \text{min/r}$ 。现系统在 $U_n^* = 5V$, $I_{dl} = 20A$ 时稳定运行。求此时的稳态转速 $n = ?$ ACR 的输出电压 $U_c = ?$

(2) 当系统在上述情况下运行时,电动机突然失磁($\Phi = 0$), 系统将会发生什么现象? 试分析并说明之。若系统能够稳定下来,则稳定后 $n = ?$ $U_n = ?$ $U_i^* = ?$ $U_i = ?$ $I_d = ?$ $U_c = ?$

(3) 该系统转速环按典型 II 型系统设计, 且按 M_{rmin} 准则选择参数,取中频宽 $h = 5$, 已知转速环小时间常数 $T_{\Sigma n} = 0.05s$, 求转速环在跟随给定作用下的开环传递函数, 并计算出放大系数及各时间常数。

(4) 该系统由空载($I_{dL} = 0$)突加额定负载时,电流 I_d 和转速 n 的动态过程波形是怎样的? 已知机电时间常数 $T_m = 0.05s$, 计算其最大动态速降 Δn_{max} 和恢复时间 t_v

1)

$$\alpha = \frac{U_{im}^*}{n} = \frac{15V}{1500r/m} = 0.01V \text{ min/r}$$

$$\beta = \frac{U_{im}^*}{I_{dm}} = \frac{10V}{30A} = 0.33V/A$$

$$U_n^* = 5V, n = \frac{U_n^*}{\alpha} = \frac{5}{0.01} = 500r/\text{min}$$

$$U_c = \frac{U_{d0}}{K_s} = \frac{E + I_{dl}R_{\Sigma}}{K_s} = \frac{C_e n + I_{dl}R_{\Sigma}}{K_s} = \frac{0.128 \times 500 + 20 \times 1.4}{30} = 3.067V$$

2) 在上述稳定运行情况下,电动机突然失磁($\Phi = 0$)则电动机无电动转矩, 转速迅速下降到零, 转速调节器很快达到饱和, 要求整流装置输出最大电流 I_{dm} 。因

此，系统稳定后， $n=0, U_n=0$

$$U_i^* = U_{im}^* = 10V$$

$$I_d = I_{dm} = 30A$$

$$U_c = \frac{U_{d0}}{K_s} = \frac{E + I_{dl} R_\Sigma}{K_s} = \frac{0 + 30 \times 1.4}{30} = 1.4V$$

3) 在跟随给定作用下，转速环处于线性状态，此时系统的开环传递函数是：

$$W_n(s) = \frac{K_n(\tau_n s + 1)}{s^2(T_{\Sigma n} s + 1)}$$

$$\tau_n = hT_{\Sigma n} = 5 \times 0.05 = 0.25s$$

$$T_{\Sigma n} = 0.05$$

$$K_N = \frac{h+1}{2h^2 T_{\Sigma n}^2} = \frac{6}{2 \times 25 \times 0.05^2} = 48s^{-2}$$

4) 空载突加额定负载时，转速有动态降落。

$$\Delta n_b = \frac{2((\lambda-z)\Delta n_N T_{\Sigma n})}{T_m} = \frac{2 \times (1-0) \times 20 \times 2}{0.128 \times (0.05 \div 0.05)} = 625r/min$$

$$C_b = 2FK_2 T = \frac{2I_{dN} R T_{\Sigma n}}{C_e T_m} = \frac{2 \times 20 \times 2 \times 0.05}{0.128 \times 0.05} = 625r/min$$

$$\text{最大动态速降: } \Delta n_{\max} = \frac{\Delta C_{\max}}{C_b} \bullet \Delta n_b = 81.2\% \div 625 = 507.5r/min$$

$$\text{恢复时间: } t_v = 8.8 \times 0.05 = 0.44(P76表)$$

