

### 第三章

3.1 有一晶闸管稳压电源,其稳态结构图如图所示,已知给定电压  $U_u^* = 8.8V$ 、比列调节器放大系数  $K_p = 2$ 、晶闸管装置放大系数  $K_s = 15$ 、反馈系数  $\gamma = 0.7$ 。

求: (1) 输出电压  $U_d$ ; (2) 若把反馈线断开,  $U_d$  为何值? 开环时的输出电压是闭环是的多少倍? (3) 若把反馈系数减至  $\gamma = 0.35$ , 当保持同样的输出电压时, 给定电压  $U_u^*$  应为多少?

$$\text{解: (1) } U_d = \frac{K_p K_s U_u^*}{1 + K_p K_s \gamma} = \frac{2 \times 15 \times 8.8}{1 + 2 \times 15 \times 0.7} = 12V$$

(2) 若把反馈线断开, 则  $\gamma = 0$ ,  $U_d = K_p K_s U_u^* = 8.8 \times 2 \times 15 = 264V$ , 开环输出电压是闭环的 22 倍

$$(3) U_u^* = \frac{U_d \times (1 + K_p K_s \gamma)}{K_p K_s} = \frac{12 \times (1 + 2 \times 15 \times 0.35)}{2 \times 15} = 4.6V$$

3.2 转速闭环调速系统的调速范围是  $1500r/min \sim 150r/min$ , 要求系统的静差率  $s \leq 5\%$ , 那么系统允许的静态速降是多少? 如果开环系统的静态速降是  $100r/min$ , 则闭环系统的开环放大倍数应有多大?

$$\text{解: } 1) D = \frac{n_N s}{\Delta n (1 - s)}$$

$$\Delta n_N = \frac{n_N s}{D(1 - s)} = \frac{1500 \times 0.05}{0.95 \times 10} = 7.9r/min$$

$\Delta n_N$  为闭环静态速降

$$2) K = \frac{\Delta n_{op}}{\Delta n_{cl}} - 1 = \frac{100}{7.9} - 1 = 11.66$$

3.3 转速闭环调速系统的开环放大倍数为 15 时, 额定负载下电动机的速降为  $8r/min$ , 如果将开环放大倍数提高到 30, 它的速降为多少? 在同样静差率要求下, 调速范围可以扩大多少倍?

$$\text{解: } \Delta n_{op} = (1 + K) \Delta n_{cl} = (1 + 15) \times 8 = 128r/min$$

如果将开环放大倍数提高到 30, 则速降为:

$$\Delta n_{cl} = \frac{\Delta n_{op}}{1 + K} = \frac{128}{1 + 30} = 4.13r/min$$

$$\text{在同样静差率要求下, } D \text{ 可以扩大 } \frac{\Delta n_{cl1}}{\Delta n_{cl2}} = \frac{8}{4.13} = 1.937 \text{ 倍}$$

3.4 有一 PWM 变换器供电直流调速系统：电动机参数  $P_N=2.2\text{kW}$ ,  $U_N=220\text{V}$ ,  $I_N=12.5\text{A}$ ,  $n_N=1500\text{ r/min}$ , 电枢电阻  $R_a=1.5\Omega$ , PWM 变换器的放大倍数  $K_s=22$ , 电源内阻  $R_{rec}=0.1\Omega$ 。要求系统满足调速范围  $D=20$ , 静差率  $s \leq 5\%$ 。

- (1) 计算开环系统的静态速降  $\Delta n_{op}$  和调速要求所允许的闭环静态速降  $\Delta n_{cl}$ 。
- (2) 采用转速负反馈组成闭环系统，试画出系统的原理图和静态结构图。
- (3) 调整该系统参数，使当  $U_n^*=15\text{V}$  时， $I_d = I_N$ ,  $n = n_N$ , 则转速负反馈系数  $\alpha$  应该是多少？
- (4) 计算放大器所需的放大倍数。

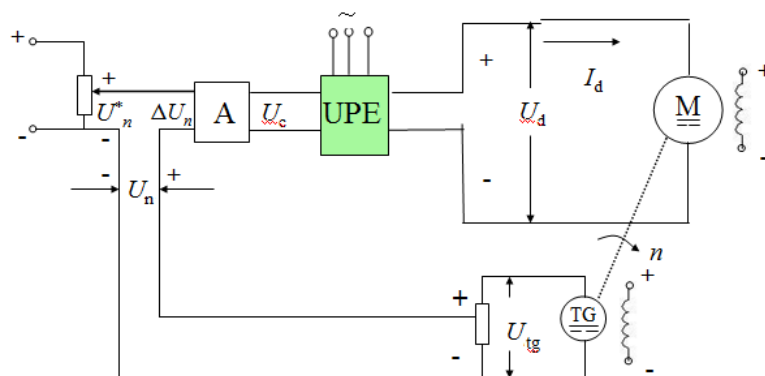
解：(1)  $C_e = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N} = \frac{220 - 12.5 \times 1.5}{1500} = \frac{201.25}{1500} = 0.134\text{V min/r}$

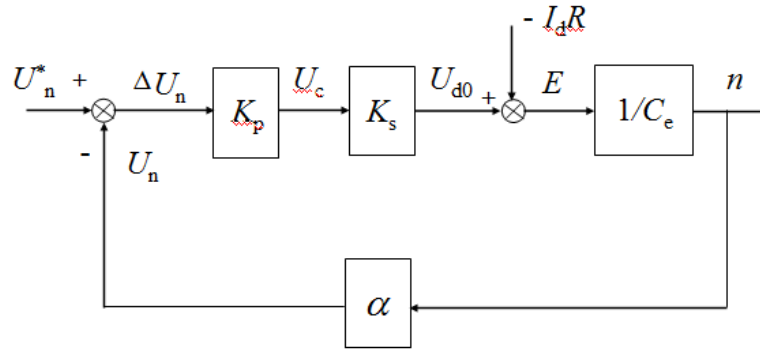
$$\Delta n_{op} = \frac{(R_a + R_{rec}) I_N}{C_e} = \frac{(1.5 + 0.1) \times 12.5}{0.134} = 149.3\text{r/min}$$

$$\Delta n_N = \frac{n_N s}{D(1-s)} = \frac{1500 \times 0.05}{20 \times (1-0.05)} = 3.95\text{r/min}$$

所以， $\Delta n_{cl} = 3.95\text{r/min}$

(2)





(3) 由以上知

$$K = \frac{\Delta n_{op}}{\Delta n_{cl}} - 1 \geq \frac{149.3}{3.95} - 1 = 36.8$$

$$\text{因为 } n = \frac{K_p K_s U_n^*}{C_e (1+K)} - \frac{R I_d}{C_e (1+K)} = \frac{K U_n^*}{\alpha (1+K)} - \frac{R I_d}{C_e (1+K)}$$

把已知各项代入上式，得

$$\Rightarrow \alpha = 0.0097$$

也可以用粗略算法：

$$U_n^* \approx U_n = \alpha n, \quad \alpha = \frac{U_n^*}{n} = \frac{15}{1500} = 0.01$$

$$(4) \text{ 放大器的放大倍数 } K_p = \frac{K C_e}{K_s \alpha}$$

$$K_p = \frac{K C_e}{K_s \alpha} = \frac{36.8 * 0.134}{22 * 0.01} = 22.4$$

3.5 在题 3.4 的转速负反馈系统中增设电流截止环节，要求堵转电流

$I_{dbl} \leq 2I_N$ ，临界截止电流  $I_{dcr} \geq 1.2I_N$ ，应该选用多大的比较电压和电流反馈采样电阻？要求电流反馈采样电阻不超过主电路总电阻的  $1/3$ ，如果做不到，需要增加电流反馈放大器，试画出系统的原理图和静态结构图，并计算电流反馈放大系数。这时电流反馈采样电阻和比较电压各为多少？

$$\text{解：(1) } I_{dbl} \leq 2I_N = 25A, \quad I_{dcr} \geq 1.2I_N = 15A$$

$$I_{dcr} = \frac{U_{com}}{R_s} = 15$$

$$I_{dbl} \approx \frac{(U_n^* + U_{com})}{R_s} = 25$$

(3) 当  $I_d > I_{dcr}$  时, 有

$$n = \left[ \frac{K_p K_s U_n^*}{C_e(1+K)} \right] - \left[ \frac{K_p K_s K_i (R_s I_d - U_{com})}{C_e(1+K)} \right] - \left[ \frac{R I_d}{C_e(1+K)} \right]$$

$$= \left[ \frac{K_p K_s (U_n^* + K_i U_{com})}{C_e(1+K)} \right] - \left[ \frac{(R + K_p K_s K_i R_s) I_d}{C_e(1+K)} \right]$$

当  $n=0$  时,

$$I_{dbl} = \frac{K_p K_s (U_n^* + K_i U_{com})}{R + K_p K_s K_i R_s} \approx \frac{U_n^* + K_i U_{com}}{K_i R_s}$$

已知项代入  $\frac{15 + 7.5 * K_i}{K_i * 0.5} = 25$  可得  $K_i = 3$

3.6 在题 3.4 的系统中, 若开关频率为 8KHz, 主电路电感  $L=15\text{mH}$ , 系统运动部分的飞轮惯量  $GD^2=0.16\text{Nm}^2$ , 试判断按题 3.5 要求设计的转速负反馈系统能否稳定运行? 如要保证系统稳定运行, 允许的最大开环放大系数  $K$  是多少? 解:

$$GD^2 = 0.16\text{Nm}^2, \quad R_\Sigma = 1.6 \Omega, \quad C_e = 0.134 \text{ V/rpm}$$

$$T_l = \frac{L}{R} = \frac{0.015}{0.16} = 0.094\text{s}$$

$$T_s = \frac{1}{8000} = 0.000125 \text{ s} \quad T_m = \frac{GD^2 R}{375 C_e C_m} = \frac{0.16 \times 0.16}{375 \times 0.134 \times \frac{\pi}{30} \times 0.134} = 0.0363\text{s}$$

按照式 (3-22) 的稳定条件, 应有

$$K < \frac{T_m(T_l + T_s) + T_s^2}{T_l T_s} = \frac{0.0363 \times (0.094 + 0.000125) + 0.000125^2}{0.094 \times 0.000125} = 291$$

可见题 3.4 中要求  $K > 36.8$  满足系统稳定条件。

3.7 有一个 PWM 变换器供电的直流调速系统, 已知: 电动机:  $P_N = 2.8\text{kW}$ ,  $U_N = 220\text{V}$ ,  $I_N = 15.6\text{A}$ ,  $n_N = 1500 \text{ r/min}$ ,  $R_a = 1.5\Omega$ , 整流装置内阻  $R_{rec} = 0.2\Omega$ , PWM 变换器的放大倍数  $K_s = 31$ 。

(1) 系统开环工作时, 试计算调速范围  $D = 100$  时的静差率  $s$  值。

(2) 当  $D = 100$ ,  $s = 5\%$  时, 计算系统允许的稳态速降。

(3) 如组成转速负反馈有静差调速系统, 要求  $D = 100$ ,  $s = 5\%$ , 在  $U_n^* = 10\text{V}$  时  $I_d = I_N$ ,

$n = n_N$ , 计算转速负反馈系数  $\alpha$  和放大器放大系数  $K_p$ 。

$$\text{解: } C_e = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N} = \frac{220 - 15.6 \times 1.5}{1500} = 0.1311 \text{ V} \cdot \text{min} / r$$

$$(1) \Delta n_{op} = \frac{(R_a + R_{rec}) I_N}{C_e} = \frac{(1.5 + 0.2) 15.6}{0.1311} = 202.3 r / \text{min}$$

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{1500}{n_{\min}} = 100, \quad n_{\min} = 15 r / \text{min}$$

静差率

$$s = \frac{\Delta n_{op}}{n_{0\min}} = \frac{\Delta n_{op}}{n_{\min} + \Delta n_N} = \frac{202.3}{15 + 202.3} = 93\%$$

$$(2) \text{ 当 } D = 100, \quad s = 5\% \text{ 时, } \Delta n_N = \frac{n_N s}{D(1-s)} = \frac{1500 \times 0.05}{100 \times (1-0.05)} = 0.789 r / \text{min}$$

$$(3) K = \frac{\Delta n_{op}}{\Delta n_{cl}} - 1 \geq \frac{202.3}{0.789} - 1 = 255.4$$

$$\text{估算 } \alpha = \frac{U_n^*}{n} = \frac{10}{1500} = 0.0067$$

$$K_p = \frac{K C_e}{K_s \alpha} = \frac{255.4 \times 0.1311}{31 \times 0.0067} = 161$$