

单回路控制系统方框图

恒值控制调节器的功能及作用方式

P、PI、PD、PID控制特点及参数确定方法

DDZ-III调节器（电路分析，工作原理及原理式推导）

PI调节器抗积分饱和现象及抗积分饱和

1、恒值控制调节器的功能及作用方式

(1) 调节器的功能

$x_s - x_i(\text{变送器}) = \varepsilon \xrightarrow{\text{一定规律}} \Delta y \rightarrow \text{执行器}$ 目标 $x_i = x_s$

调节规律P、PI、PD、PID。

(2) 调节器的作用方式

规定

$\varepsilon = x_s - x_i > 0, \Delta y > 0$ 反作用 -

或 $\varepsilon < 0, \Delta y < 0$ 反作用 -

$\varepsilon = x_s - x_i > 0, \Delta y < 0$, 正作用 +

或 $\varepsilon < 0, \Delta y > 0$ 正作用 +

负反馈法判断

闭环回路四个环节乘积为负。

对象 $\begin{cases} +, \text{控制量} \uparrow \rightarrow \text{被控量} \uparrow \\ -, \text{控制量} \uparrow \rightarrow \text{被控量} \downarrow \end{cases}$

变送器 +

执行器 $\begin{cases} +, \text{电(气)开阀} \\ -, \text{电(气)关阀} \end{cases}$

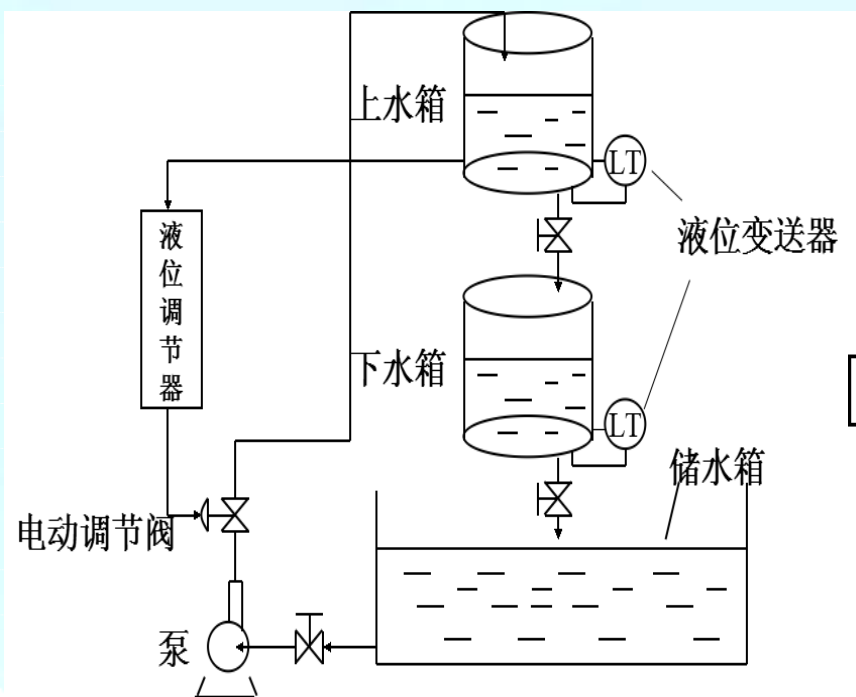


图2-1 液位控制系统原理示意图

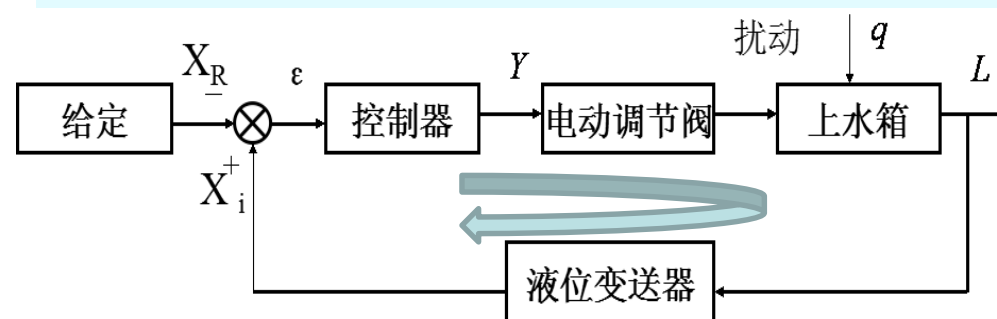
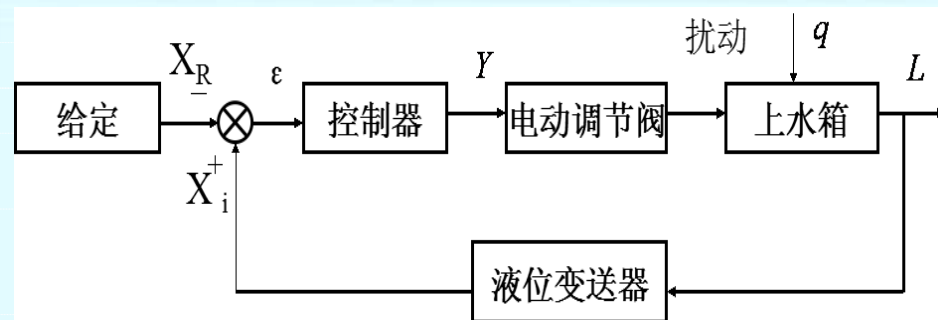
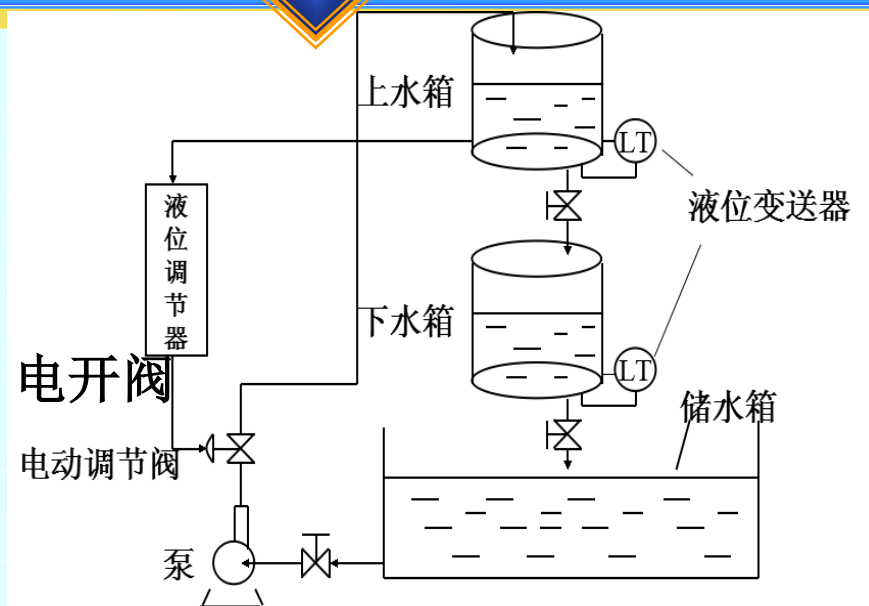
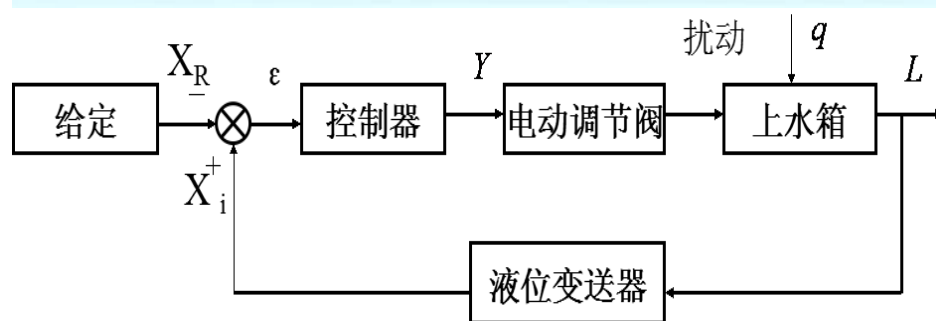
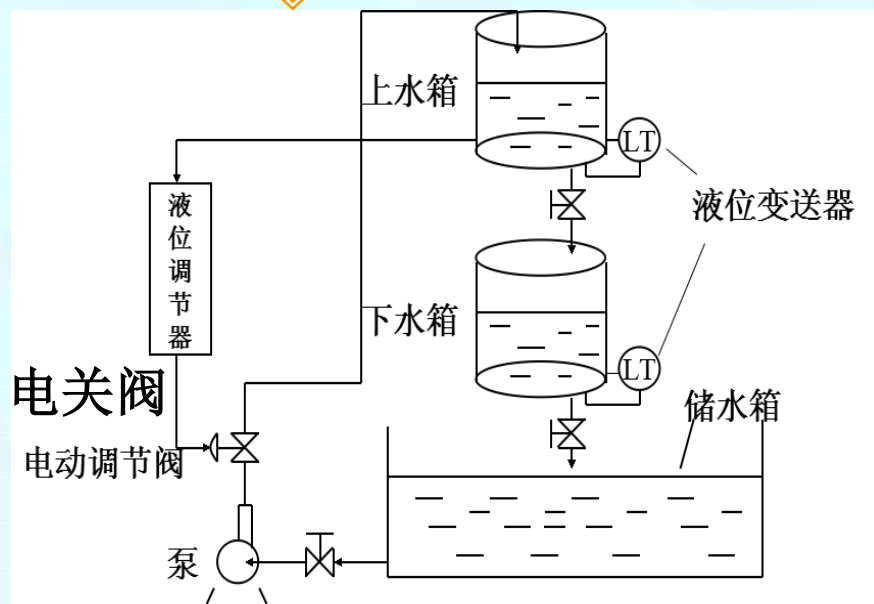


图2-2 液位控制系统框图

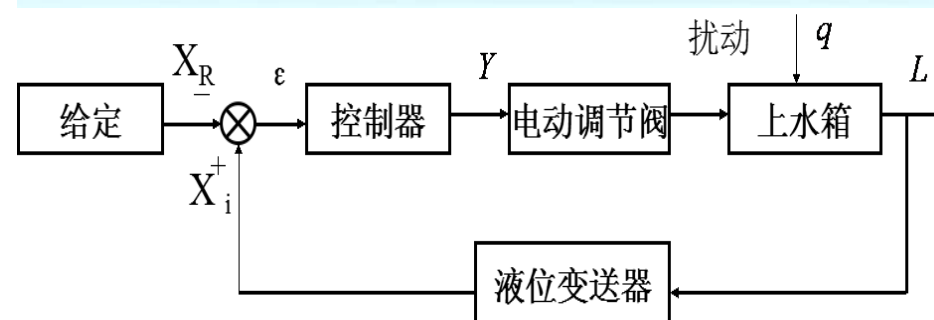
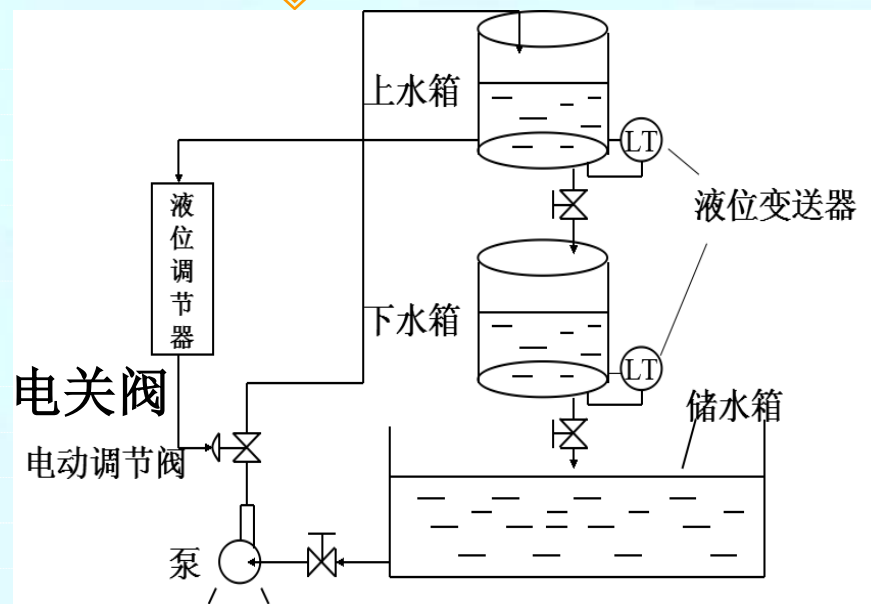


单选

- A、电开阀-, 液位变送器+, 上水箱+, 控制器+。正作用。
- B、电开阀+, 液位变送器+, 上水箱-, 控制器+。正作用。
- C、电开阀+, 液位变送器+, 上水箱+, 控制器-。反作用。



- A、电关阀-, 液位变送器+, 上水箱+, 控制器+。正作用。
- B、电关阀+, 液位变送器+, 上水箱-, 控制器+。正作用。
- C、电关阀-, 液位变送器+, 上水箱-, 控制器-。反作用。

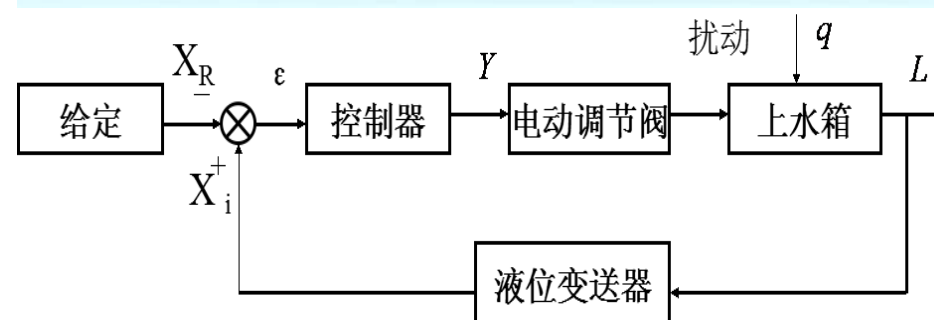
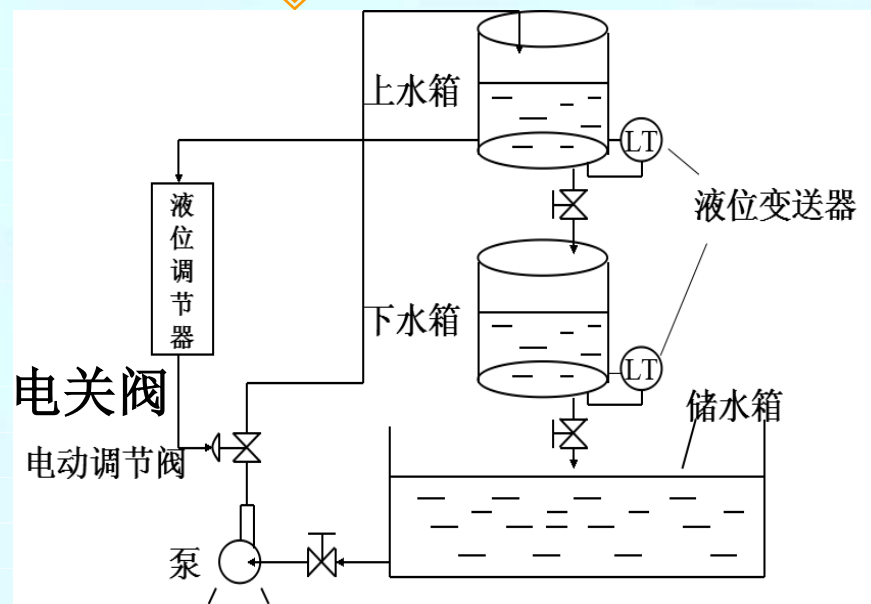


如果上水箱进水量一定，控制出水阀控制液位。调节器的正反作用。

单选

A、电开阀+，液位变送器+，上水箱-，调节器+。正作用。

B、电开阀+，液位变送器+，上水箱+，调节器-。反作用。

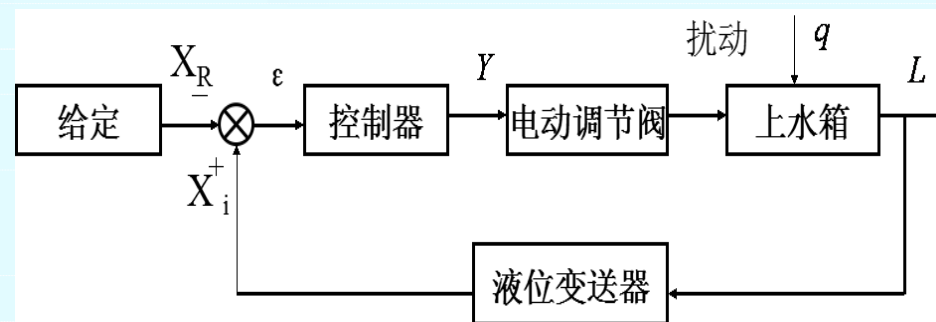
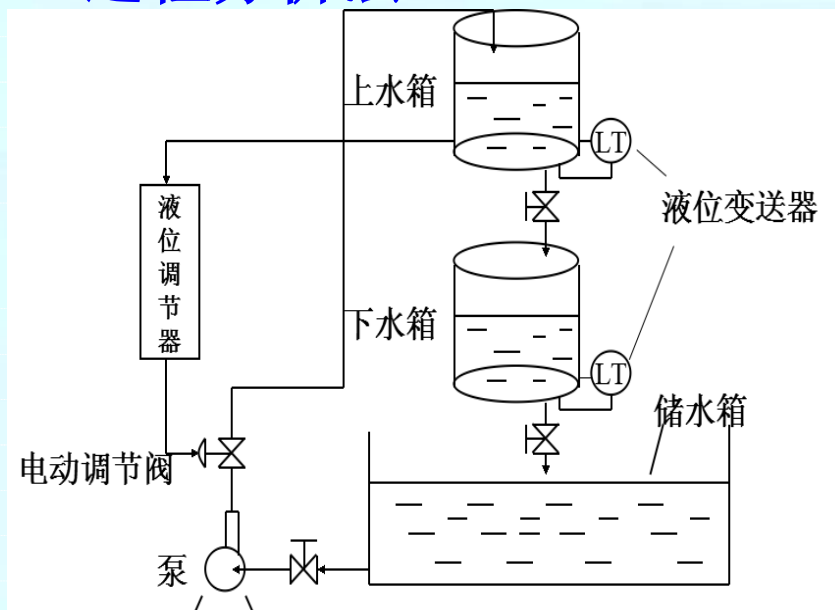


如果上水箱进水量一定，控制出水阀控制液位。调节器的正反作用。

A、电关阀-，液位变送器+，上水箱-，调节器-。反作用。

B、电关阀-，液位变送器+，上水箱+，调节器+。正作用。

过程分析法



假设偏差为正，进水量应增大。根据阀门性质，判断控制器输出正负。

电开阀，开大阀门，调节器输出为正。反作用。 $\epsilon \uparrow \rightarrow \Delta y \uparrow$

电关阀，开大阀门，调节器输出为负。正作用。 $\epsilon \uparrow \rightarrow \Delta y \downarrow$

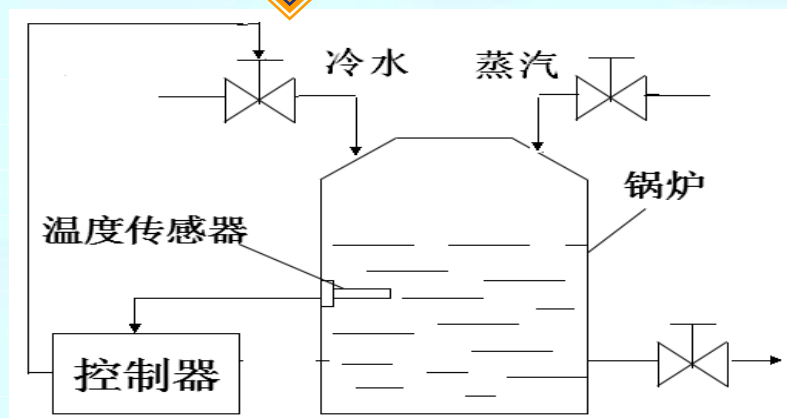


图2-3锅炉温度控制示意图

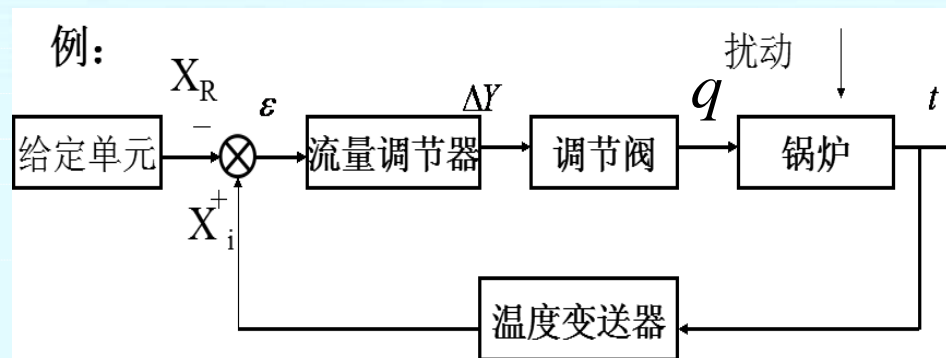


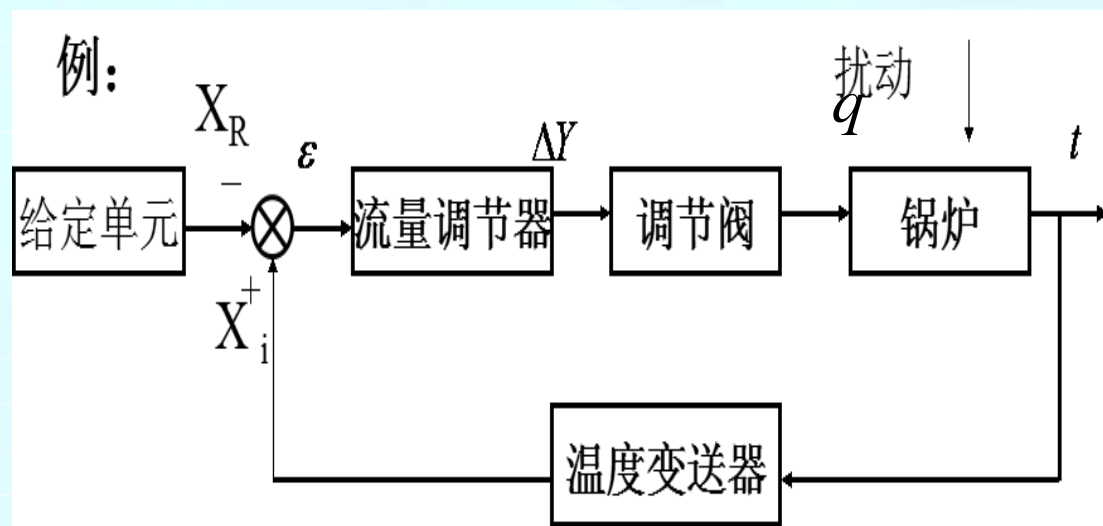
图2-4温度控制系统框图

调节阀的选择原则： 当无控制信号时，阀门的阀位应该是最安全、最经济的。

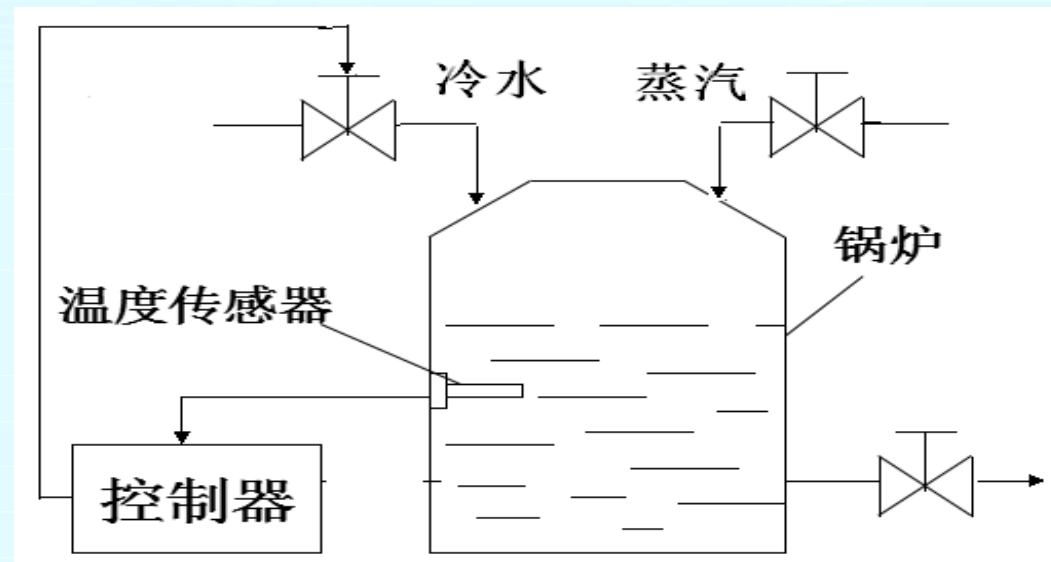
思考题：

冷水阀为什么为电关阀，蒸汽阀为什么为电开阀。

思考： 负反馈法和过程分析法判断控制蒸汽阀和控制冷水阀时调节器的作用方式。



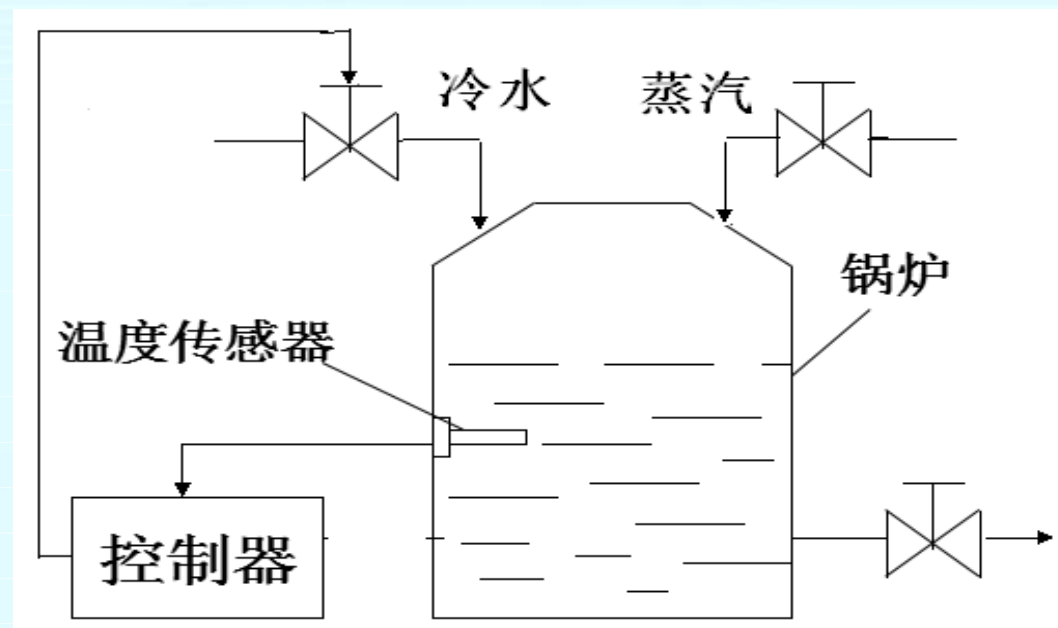
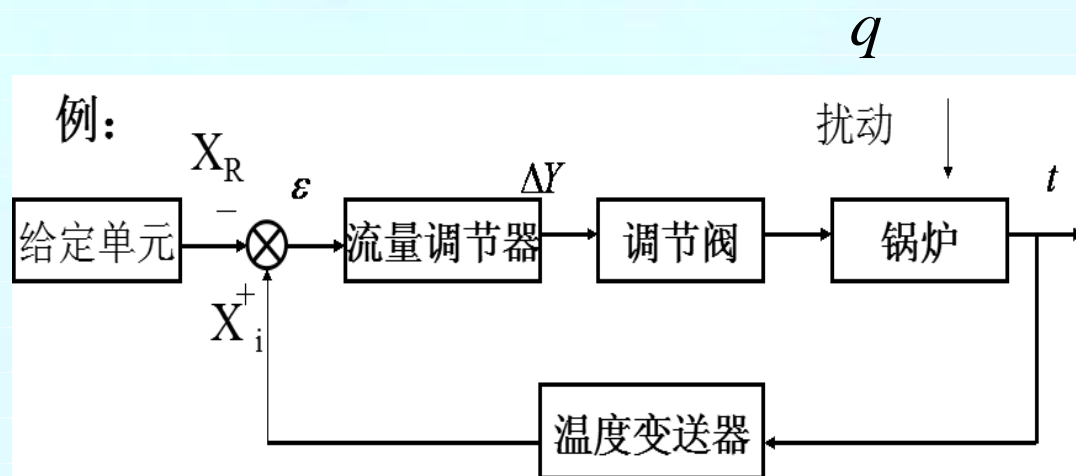
负反馈法



蒸汽流量一定，调节冷水水量来控制水箱温度，调节器的作用方式。

A、温度变送器+，冷水阀-，锅炉+，控制器+，正作用。

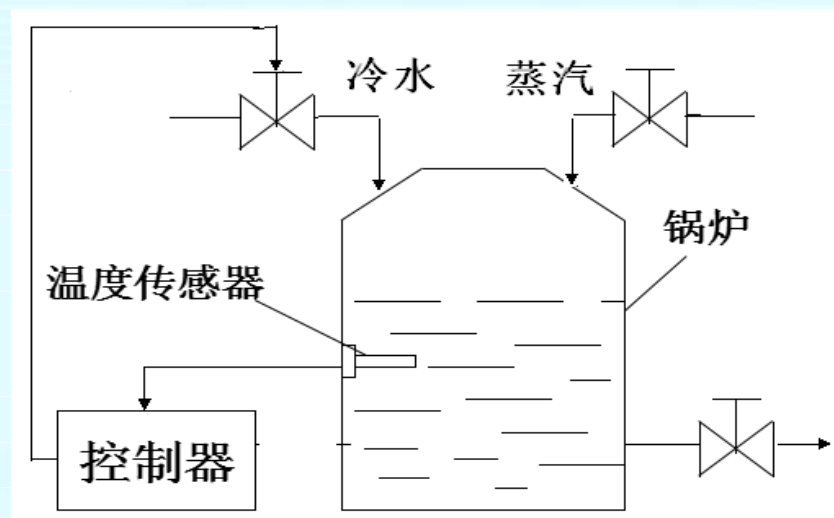
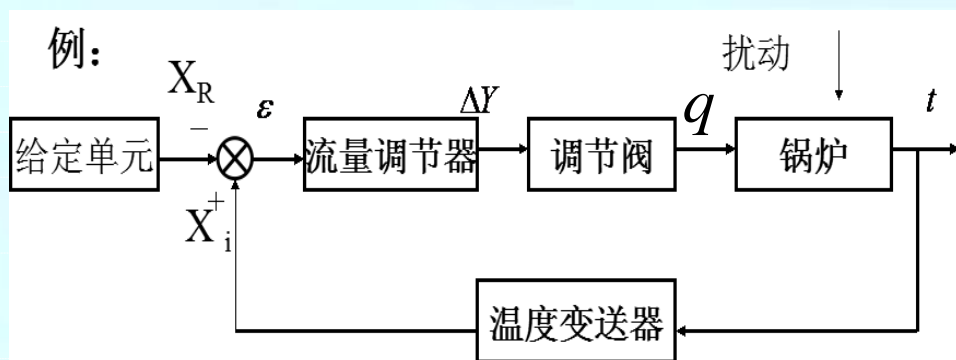
B、温度变送器+，冷水阀-，锅炉-，控制器-，反作用。



冷水流量一定，调节管道蒸汽流量来控制锅炉温度，调节器的作用方式。

A、温度变送器+，蒸汽阀+，锅炉+，控制器-，反作用。

B、温度变送器+，蒸汽阀+，锅炉-，控制器+，正作用。



过程分析法

蒸汽流量一定，调节冷水水量来控制水箱温度，调节器的作用方式。

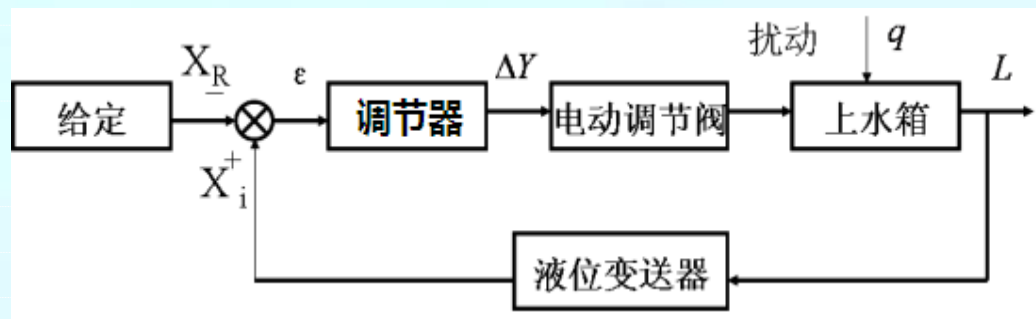
偏差+，电关阀-，关小阀门，控制器输出为正。反作用。

冷水流量一定，调节管道蒸汽流量来控制锅炉温度，调节器的作用方式。

偏差+，电开阀+，开大阀门，控制器输出为正。反作用。

2、调节规律及其参数确定

(1) 调节规律及其应用场合



P调节 $\Delta y = K_p \epsilon$ 比例度 $\delta_p = \frac{1}{K_p} \times 100\%$

快速有余差。

PI调节 $\Delta y = K_p \left(\epsilon + \frac{1}{T_I} \int_0^t \epsilon dt \right)$

能消除余差，调节速度较快。可能产生超调。

PD调节 $\Delta y = K_p \epsilon \left[1 + (K_D - 1) e^{-\frac{t}{\tau_D}} \right]$

超前调节，减小超调。

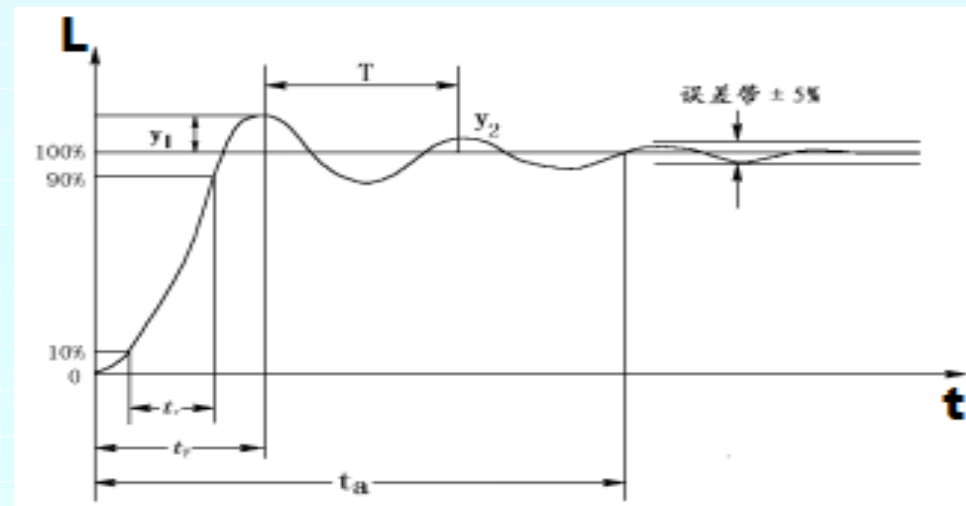
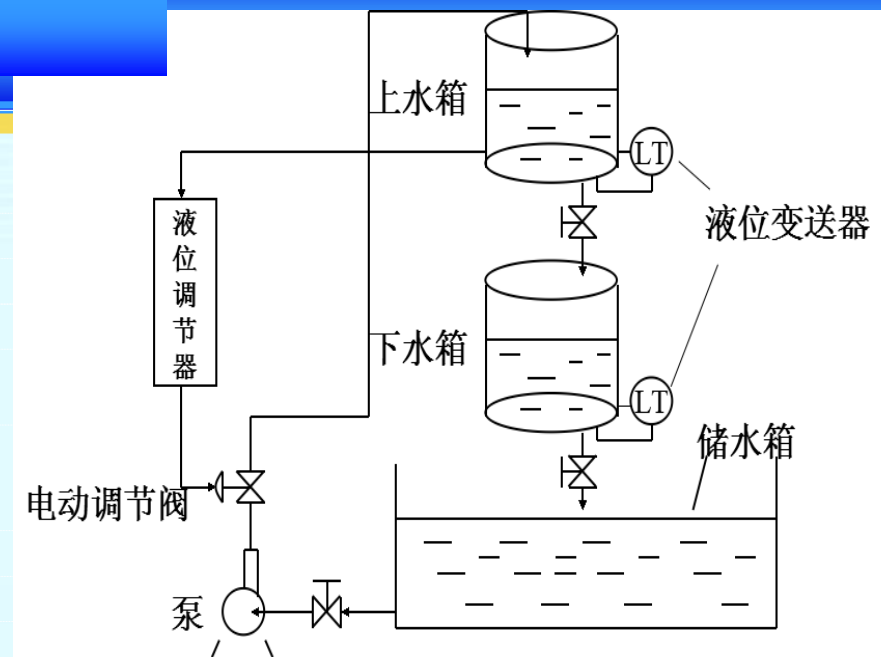
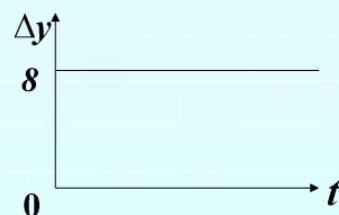
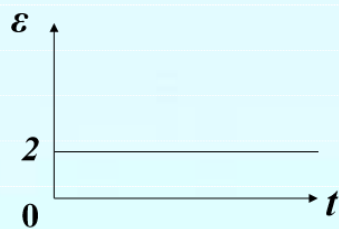
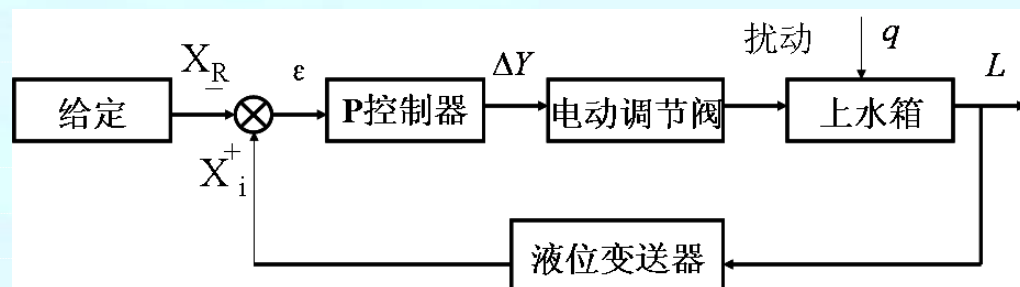


图2-5液位控制系统

控制规律	特点	对象特性	应用场合
P	快速有差	负荷变化不大, 工艺要求不高	气罐压力, 贮槽液位
PI	消除余差	负荷变化不大, 对象滞后较小	压力、流量、液位
PD、PID	超前调节	实时性要求高	无人机、智能车等
PID	超前调节	负荷变化较大, 对象滞后较大	换热器、冷凝器 蒸汽温度等
模糊控制, 神经网络等复杂控制	融入专家知识 经验等	负荷变化很大, 对象滞后很大	模型不确定 反应釜温度

(2) 调节器参数确定方法-工程测试法

① P 参数确定



$$\delta = \frac{\varepsilon}{\Delta y} \times 100\% = \frac{2}{8} \times 100\% = 25\% \quad K_p = 4$$

4~20mA 比例调节器，输入从4 ~5mA 变化，输出从 4 ~6mA 变化， $\delta = ?$

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\Delta y} \times 100\% = \frac{1}{2} \times 100\% = 50\% \quad K_p = 2$$

DDZ-III型比例调节器，输入增加1mA，输出增加0.25V， $\delta = ?$

方法1

$$\frac{\Delta I_i}{16} = \frac{\Delta V_i}{4000} \quad \Delta V_i = 250 \times \Delta I_i = 0.25V$$

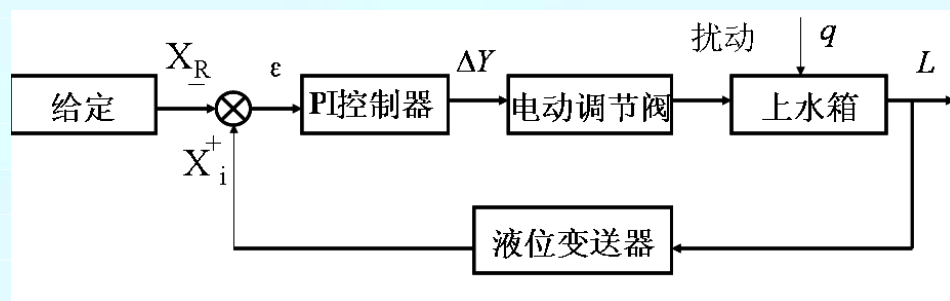
$$\delta = \frac{\Delta V_i}{\Delta V_0} \times 100\% = \frac{0.25}{0.25} \times 100\% = 100\%$$

方法2

$$\delta = \frac{\Delta I_i / 16}{\Delta V_0 / 4} \times 100\% = \frac{1/16}{0.25/4} \times 100\% = 100\%$$

② PI 参数确定

$$\Delta y = K_P \left(\varepsilon + \frac{1}{T_I} \int_0^t \varepsilon dt \right) \quad \text{正反作用} \quad y = y_0 \pm \Delta y$$

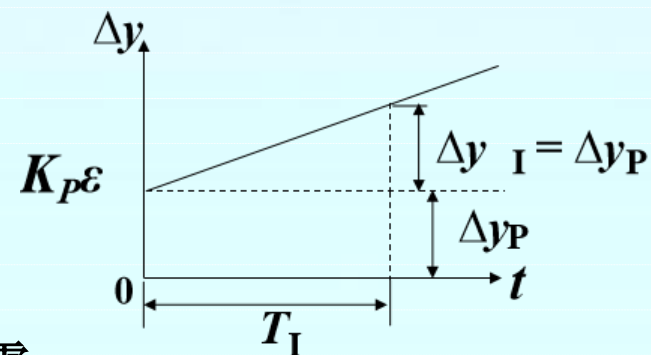
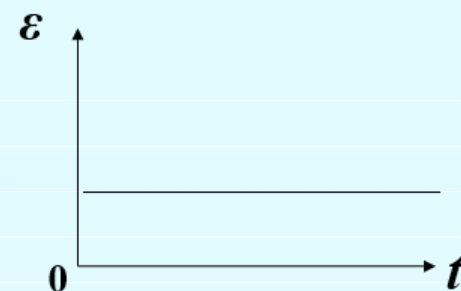


工程测试法

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\Delta y(0)}$$

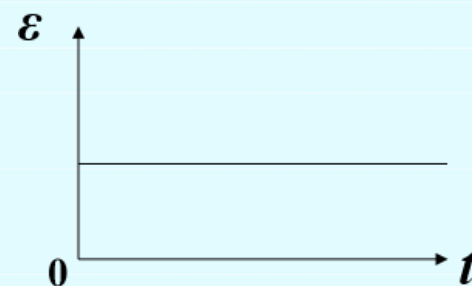
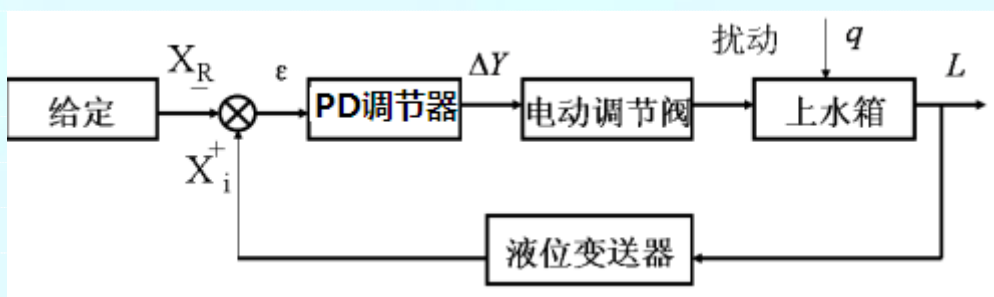
$$\Delta y_I = \Delta y_P, \quad t = T_I$$

PI调节器，测量值阶跃变化1mA时，输出变化1mA，随后随时间均匀上升，输出变化2mA时需要30S，调节器的 δ 和 T_I 为多少？



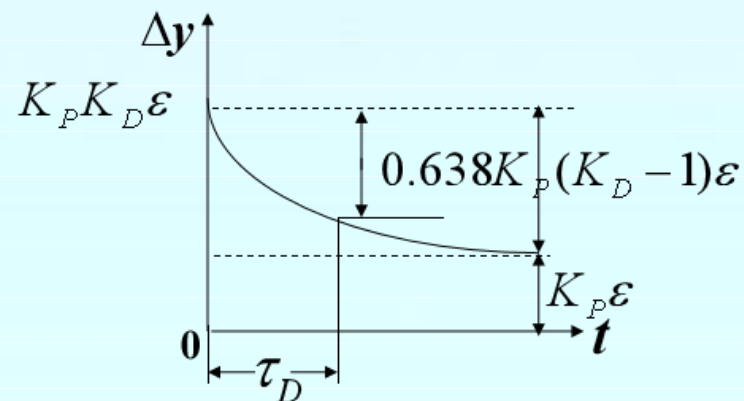
③ PD 参数确定

$$\Delta y = K_P \varepsilon [1 + (K_D - 1)e^{-\frac{t}{\tau_D}}]$$



$$K_P = \frac{\Delta y(\infty)}{\varepsilon}$$

$$K_D = \frac{\Delta y(0)}{\Delta y(\infty)}$$



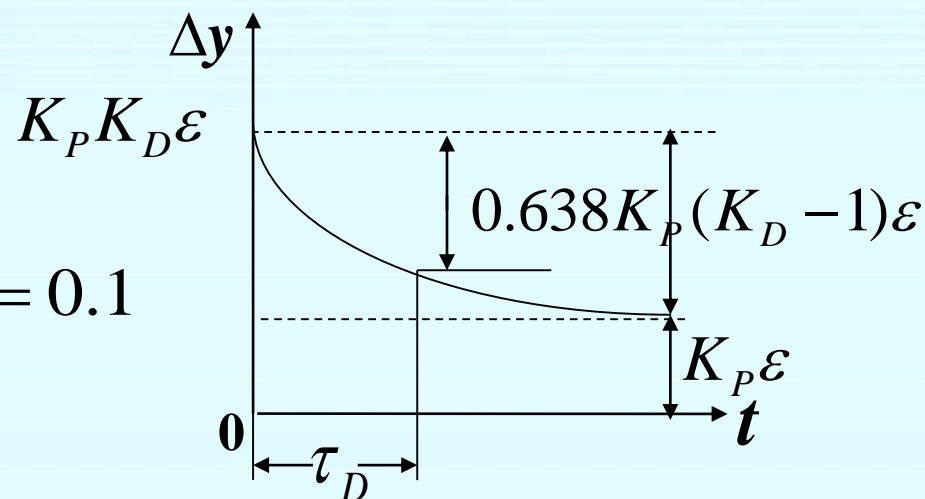
$$\begin{aligned} \Delta y_D(\tau_D) &= K_P \varepsilon (K_D - 1) e^{-1} \\ &= 0.368 K_P \varepsilon (K_D - 1) \end{aligned}$$

PD作用开始到微分部分输出的37%所经历的时间。

思考: $\Delta y(0) = 1$ $K_P = 1$ $\varepsilon = 0.1$

求 K_D τ_D T_D

$$K_D = \frac{\Delta y(0)}{\Delta y(\infty)} = \frac{\Delta y(0)}{K_P \varepsilon} = 10$$



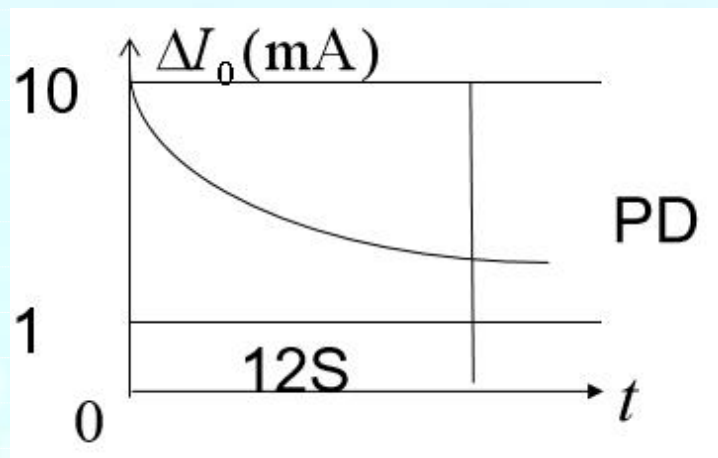
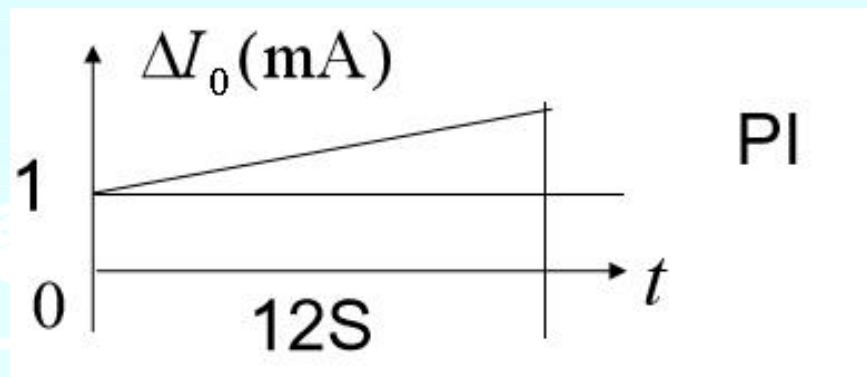
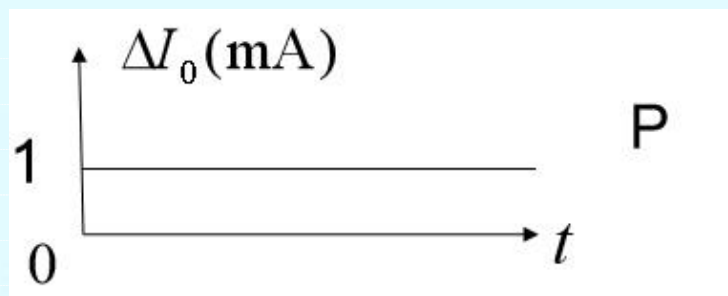
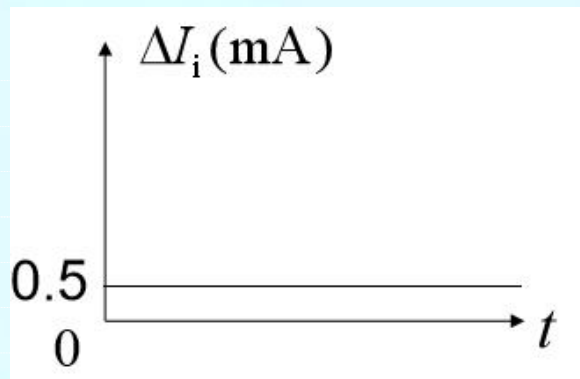
$$\Delta y_D(\tau_D) = K_P \varepsilon (K_D - 1) \times e^{-1} = 0.9 \times 0.37$$

D基准

$$\Delta y_{PD}(\tau_D) = K_P \varepsilon + K_P \varepsilon (K_D - 1) \times e^{-1} = 1 \times 0.43$$

PD基准

DDZ-III型正作用调节器， $\delta = 50\%$ ， $T_i = 0.2\text{min}$ ， $T_D = 2\text{min}$ ， $K_D = 10$ ，假设输入输出信号初始值为 4mA ，在 $t=0$ 时加入 0.5mA 的阶跃信号，依次画出比例、比例积分、比例微分作用时的响应曲线。并求出 $I_0(t=0) = ?\text{mA}$ ； $I_0(t=12\text{S}) = ?\text{mA}$ 。



$$t = 0 \begin{cases} P & I_0(0) = 1 + 4 = 5mA \\ PI & I_0(0) = 1 + 4 = 5mA \\ PD & I_0(0) = 10 + 4 = 14mA \end{cases}$$

$$t = 12S \begin{cases} P & I_0(12) = 4 + 1 = 5mA \\ PI & I_0(12) = 4 + 2 \times (0.5 + \frac{1}{12} \times 0.5 \times 12) = 6mA \\ PD & I_0(12) = 4 + 2 \times 0.5 \times (10 - 1) \times e^{-\frac{12}{12}} \approx 7.33mA \end{cases}$$

$$\tau_D = \frac{T_D}{K_D} = \frac{120}{10} = 12S$$



PID调节为动态调节。对输入输出增量进行运算。

$$t_1 \text{时刻} \quad \varepsilon_1 = x_{i1} - x_s \rightarrow \Delta y_1$$

$$t_2 \text{时刻} \quad \varepsilon_2 = x_{i2} - x_s \rightarrow \Delta y_2$$

$$\Delta t \ (t_1 \sim t_2) \text{ 内, } \varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = x_{i2} - x_{i1} \rightarrow \Delta y = \Delta y_2 - \Delta y_1$$

$$\varepsilon = x_{i2} - x_{i1} > 0, \quad \Delta y > 0, \text{正作用。}$$

$$\varepsilon = x_{i2} - x_{i1} < 0, \quad \Delta y < 0, \text{反作用。}$$

$$t_1 \text{时刻} \quad \varepsilon_1 = x_s - x_{i1} \rightarrow \Delta y_1$$

$$t_2 \text{时刻} \quad \varepsilon_2 = x_s - x_{i2} \rightarrow \Delta y_2$$

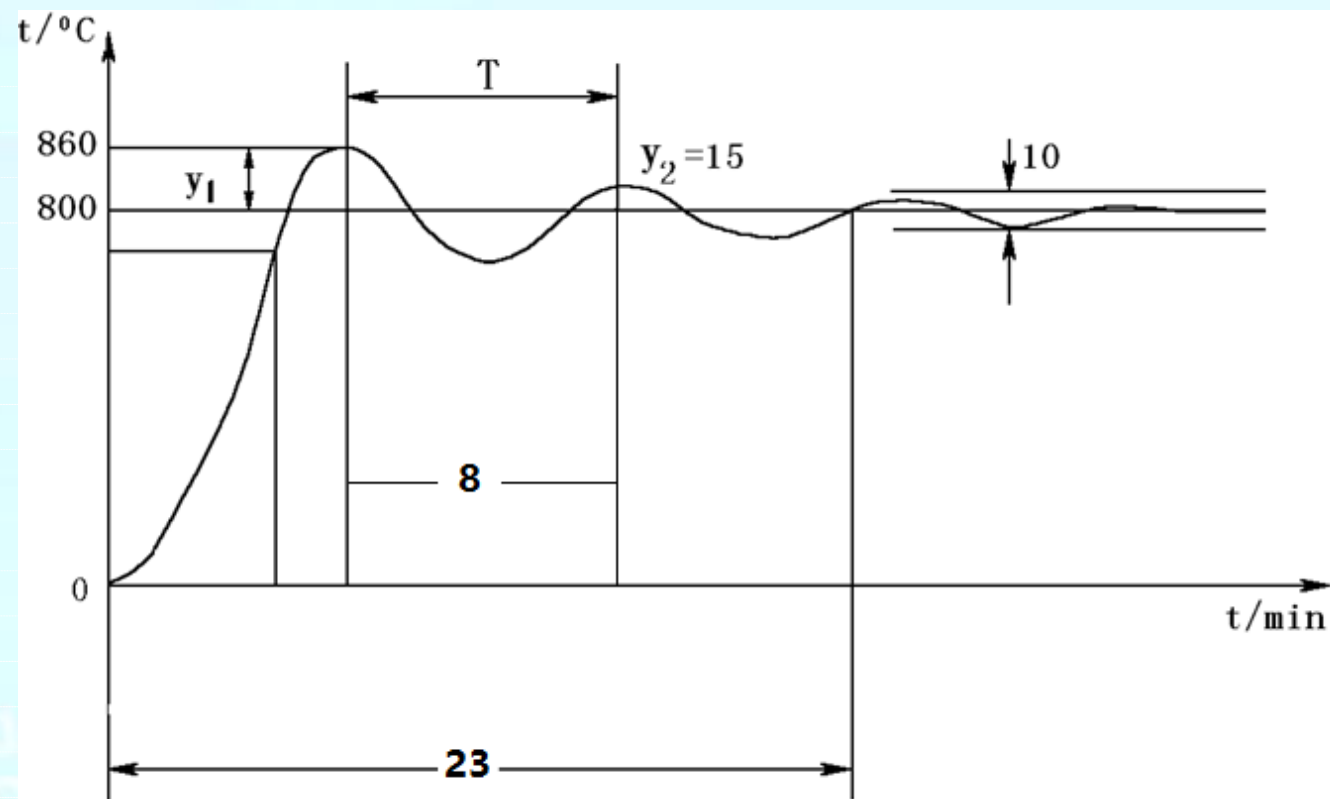
对应

$$\Delta t \ (t_1 \sim t_2) \text{ 内, } \varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = -(x_{i2} - x_{i1}) \rightarrow \Delta y = \Delta y_2 - \Delta y_1$$

$$\varepsilon = -(x_{i2} - x_{i1}) < 0, \quad \Delta y > 0, \text{正作用。}$$

$$\varepsilon = -(x_{i2} - x_{i1}) > 0, \quad \Delta y < 0, \text{反作用。}$$

P调节是基础，增加**I**调节改善被控量输出的稳态性能，一次超调有所增大。增加**D**调节，可减小超调量，改善系统的动态性能。合理设置**PID**参数，使响应曲线最佳。



3、DDZ-III调节器

(1) 电路组成

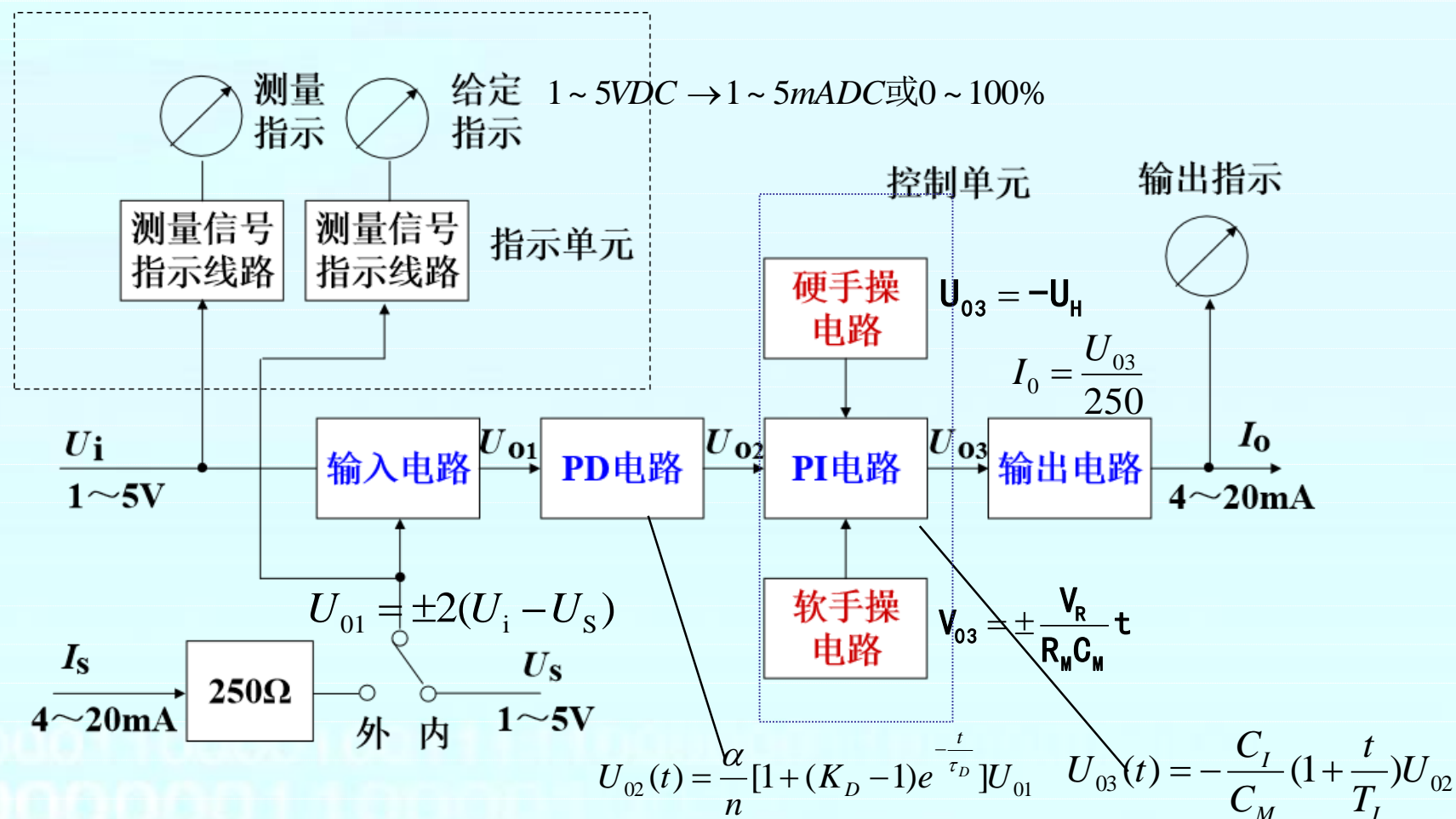
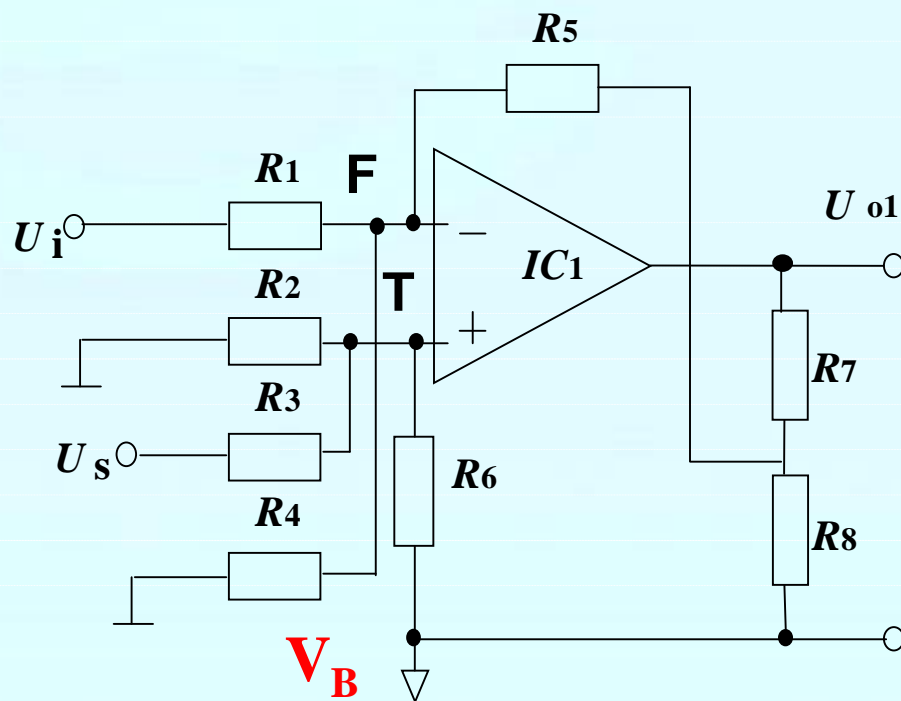


图 2-6 DDZ-III调节器框图

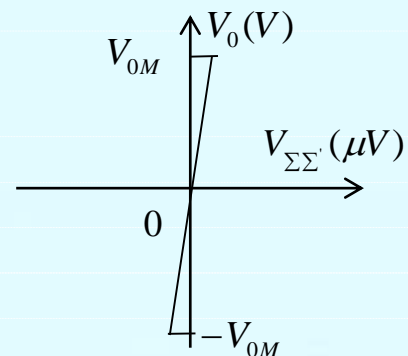
(2) 电路分析基础知识



虚短

$$U_F = U_T$$

虚短原因



虚断

$$I_i = 0$$

虚断原因

$$r_i \rightarrow \infty$$

叠加定理

某一点电压为多个独立源在该点作用分压的叠加。

(3) 输入电路

① 差动结构消除导线压降影响

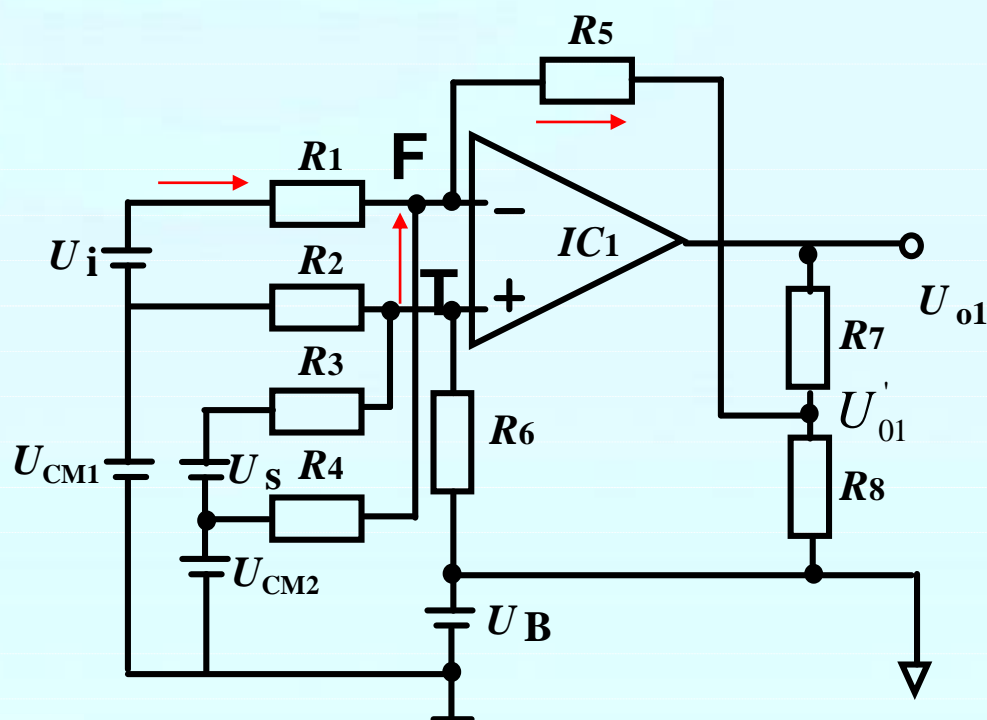


图2-7 输入电路原理图

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 500K\Omega$$

$$R_7 = R_8 = 5K\Omega$$

反相、同相端作用独立源几个

反相、同相端分压电路结构

U'_{01} 对地电压值

推导 U_{01} 表达式

$$U_F = \frac{1}{3}(U_i + U_{CM1} + U_{CM2} + \frac{1}{2}U_{02} + U_B)$$

$$U_T = \frac{1}{3}(U_S + U_{CM1} + U_{CM2} + U_B)$$

$$U_{01} = 2(U_S - U_i)$$

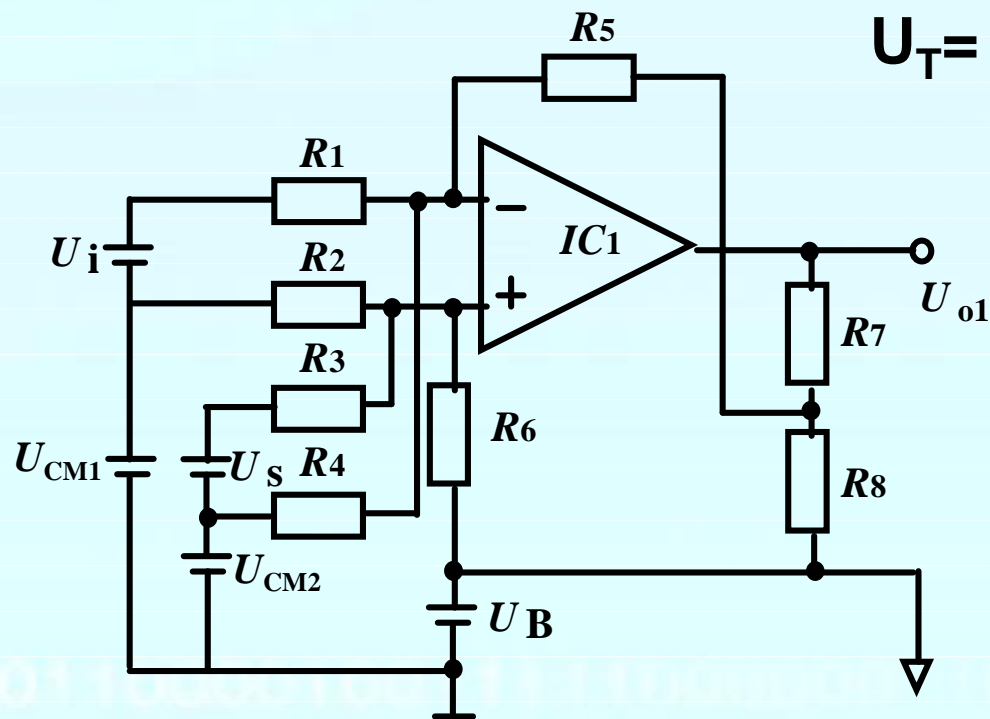
②电平移动保证放大器工作

$$V_S=1\sim 5V, V_{CM1}=V_{CM2}=0\sim 1V, V_B=10V$$

$$U_F = \frac{1}{3}(U_i + U_{CM1} + U_{CM2} + \frac{1}{2}U_{02} + U_B)$$

$$U_T = \frac{1}{3}(U_S + U_{CM1} + U_{CM2} + U_B)$$

$$U_T = U_F = 3.7 \sim 5.7V$$



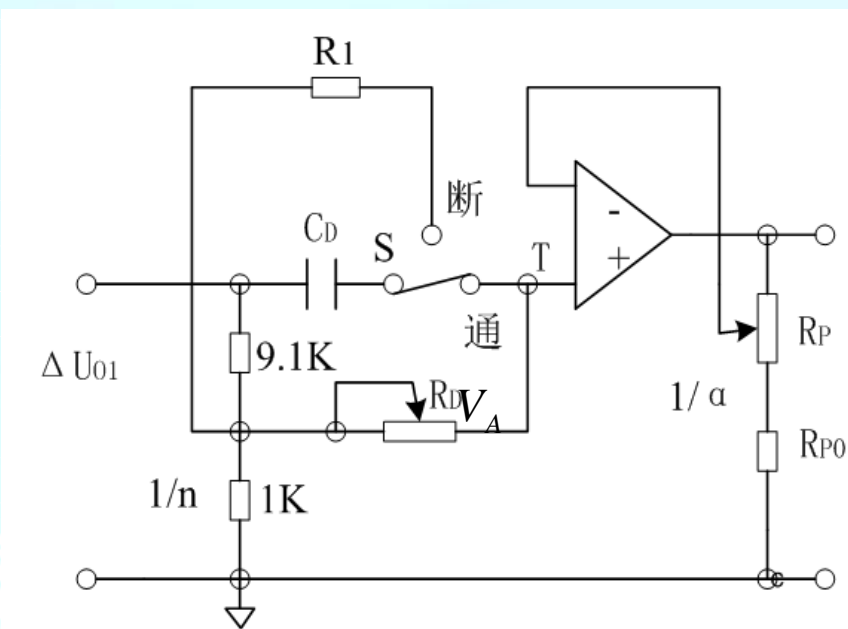
$$\text{垫起电压 } \frac{1}{3}U_B = 3.33V > 2V$$

(4) PD电路

方法一：暂态响应法

S置于“断” $\Delta U_{02} = \alpha U_T = \frac{\alpha}{n} \Delta U_{01}$

S置于“通”



$$\Delta V_{02}(t) = \Delta V_{02}(\infty) + [\Delta V_{02}(0) - \Delta V_{02}(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau_D}}$$

$$= \frac{\alpha}{n} \Delta V_{01} + [\alpha \Delta V_{01} - \frac{\alpha}{n} \Delta V_{01}]e^{-\frac{t}{\tau_D}}$$

$$= \frac{\alpha}{n} [1 + (K_D - 1)e^{-\frac{t}{\tau_D}}] \Delta V_{01}$$

$$V_T = \frac{\Delta V_{02}}{\alpha}$$

$$V_A = \frac{\Delta V_{01}}{n}$$

S置于“断”和“通”各是什么作用。

图2-8 PD电路

比例度、微分增益、微分时间常数如何调整

方法二：S域传递函数

$$W_{PD}(S) = \frac{\Delta U_{02}}{\Delta U_{01}} = \frac{\alpha}{n} \times \frac{1 + T_D S}{1 + \frac{T_D}{K_D} S}$$

$$K_D = n \quad T_D = n R_D C_D$$

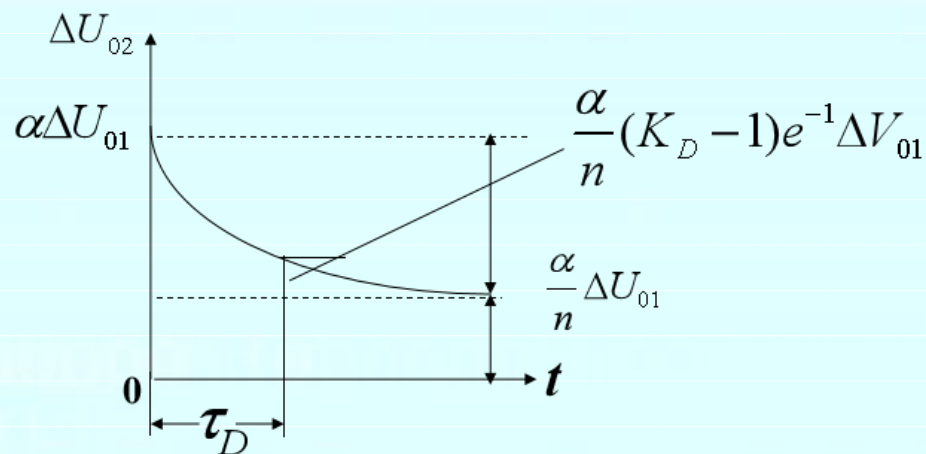
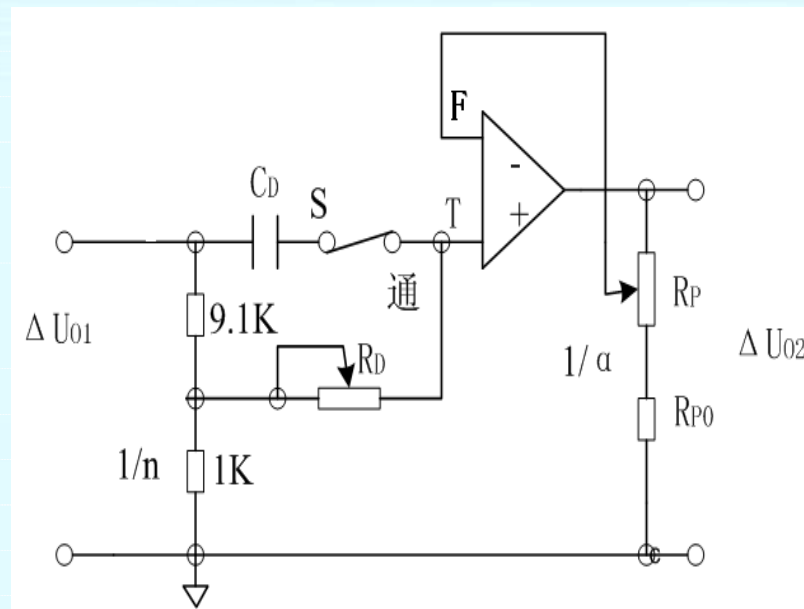
拉式反变换

$$\Delta V_{02}(t) = \frac{\alpha}{n} [1 + (K_D - 1)e^{-\frac{t}{\tau_D}}] \Delta V_{01}$$

思考：n=?

$\alpha=5$, $R_D=100\text{k}\Omega$, $C_D=1\mu\text{F}$

比例度，微分时间。



(5) PI电路

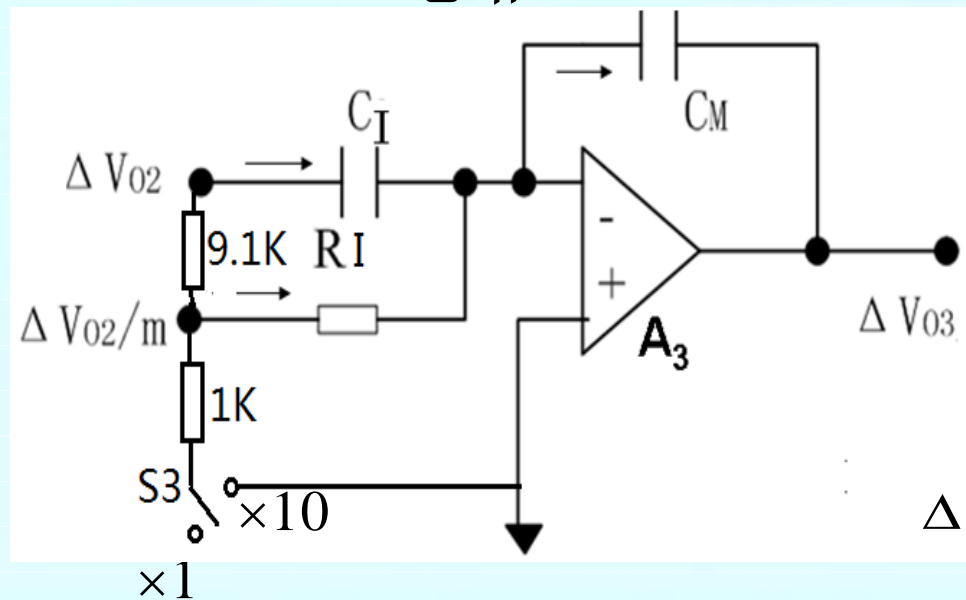


图2-9 PI 快慢积分响应电路

P、PI、PD电路结构。

$$\Delta U_{03}(t) = -\frac{C_I}{C_M} \left(1 + \frac{t}{mR_I C_I}\right) \Delta U_{02}$$

$$m = 1, T_{I1} = R_I C_I$$

$$m = 10, T_{I2} = 10R_I C_I$$

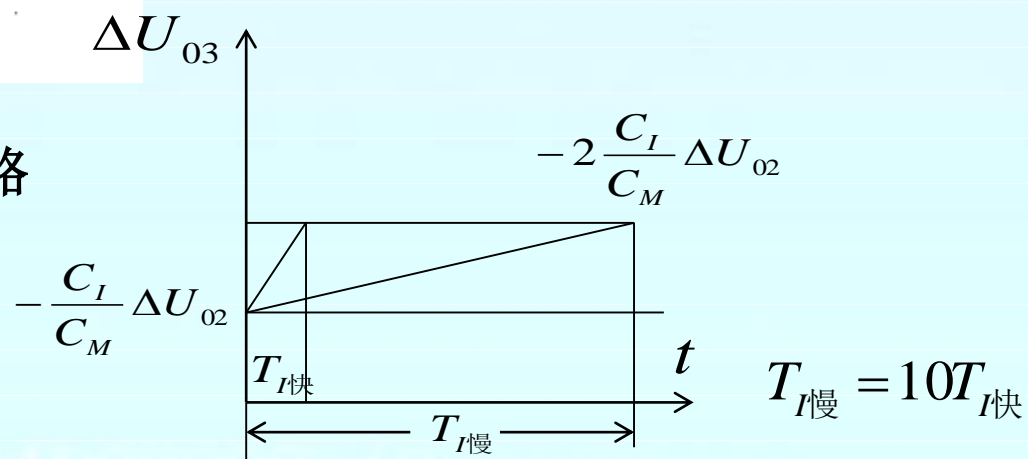


图2-10 PI电路阶跃响应曲线

(6) PID电路传递函数

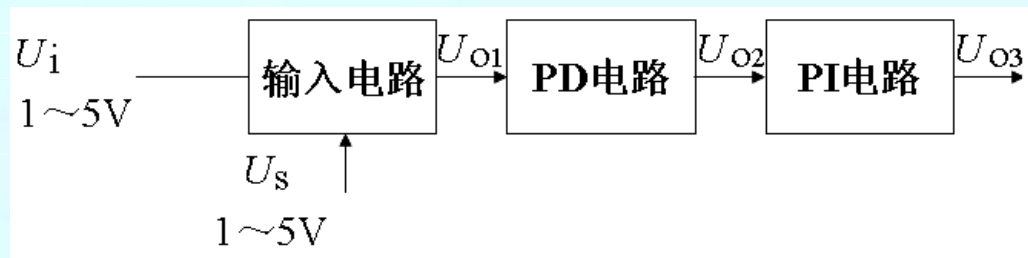


图2-11 PI PID自动控制电路框图

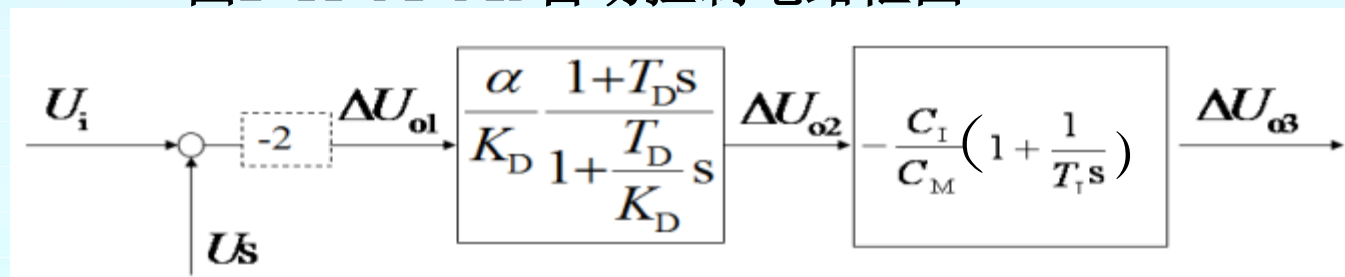


图2-12 控制器PID电路传递函数方框图

$$W(S) = K_p F \frac{1 + \frac{1}{FT_I S} + \frac{T_D}{F} S}{1 + \frac{T_D}{K_D} S} \quad K_p = \frac{2\alpha C_I}{nC_M} \quad F = 1 + \frac{T_D}{T_I} \quad \text{理想 } F = 1$$

(7) 输出电路

功能：电平移动与V/I变换。

方法1：静态分析法

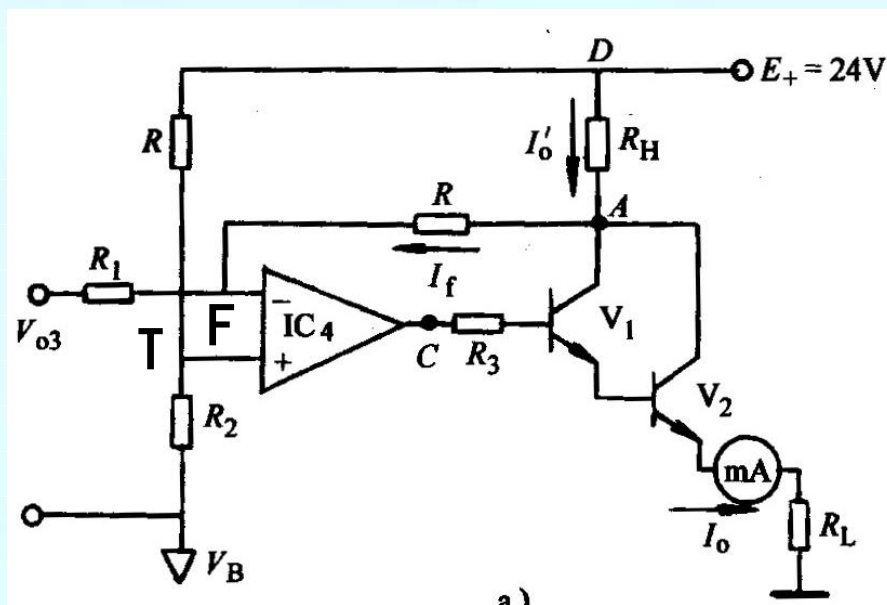


图2-13 输出电路

$$\begin{cases} U_T = \frac{RV_B}{R_2 + R} + \frac{24R_2}{R_2 + R} \quad (R_1 = R_2 = 4R) \\ U_F = \frac{R(V_B + V_{03})}{R_1 + R} + \frac{R_1 V_A}{R_1 + R} \end{cases}$$

$$V_A = 24 - \frac{V_{03}}{4}$$

$$V_A = 24 - I'_0 R_H$$

$$I_0 = I'_0 = \frac{V_{03}}{4R_H}$$

方法2：微变等效电路分析法

$$V_{AD} = -\frac{R}{R_1} V_{03} = -\frac{1}{4} V_{03} \quad (R_1 = 4R)$$

$$V_{AD} = -I'_0 R_H \quad I_0 = \frac{V_{03}}{4R_H}$$

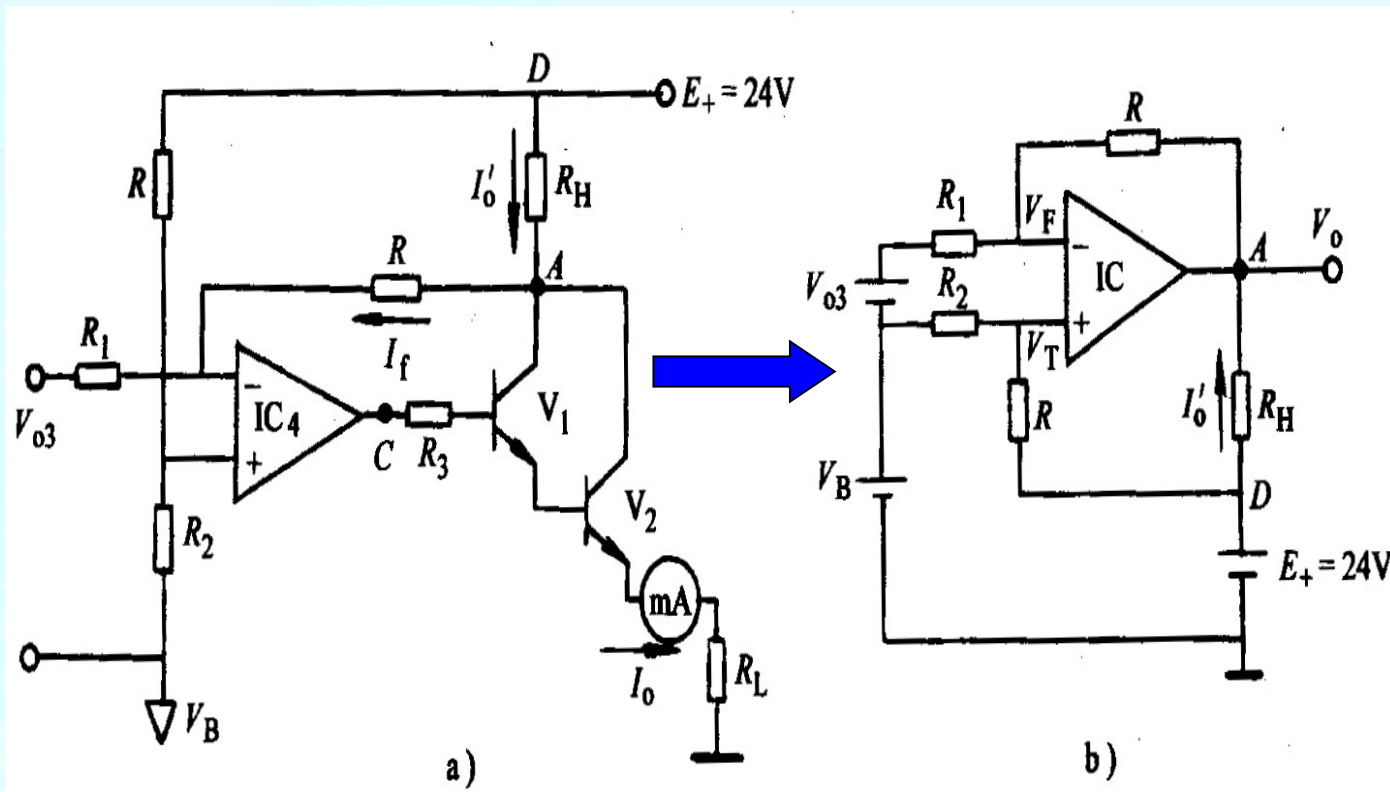
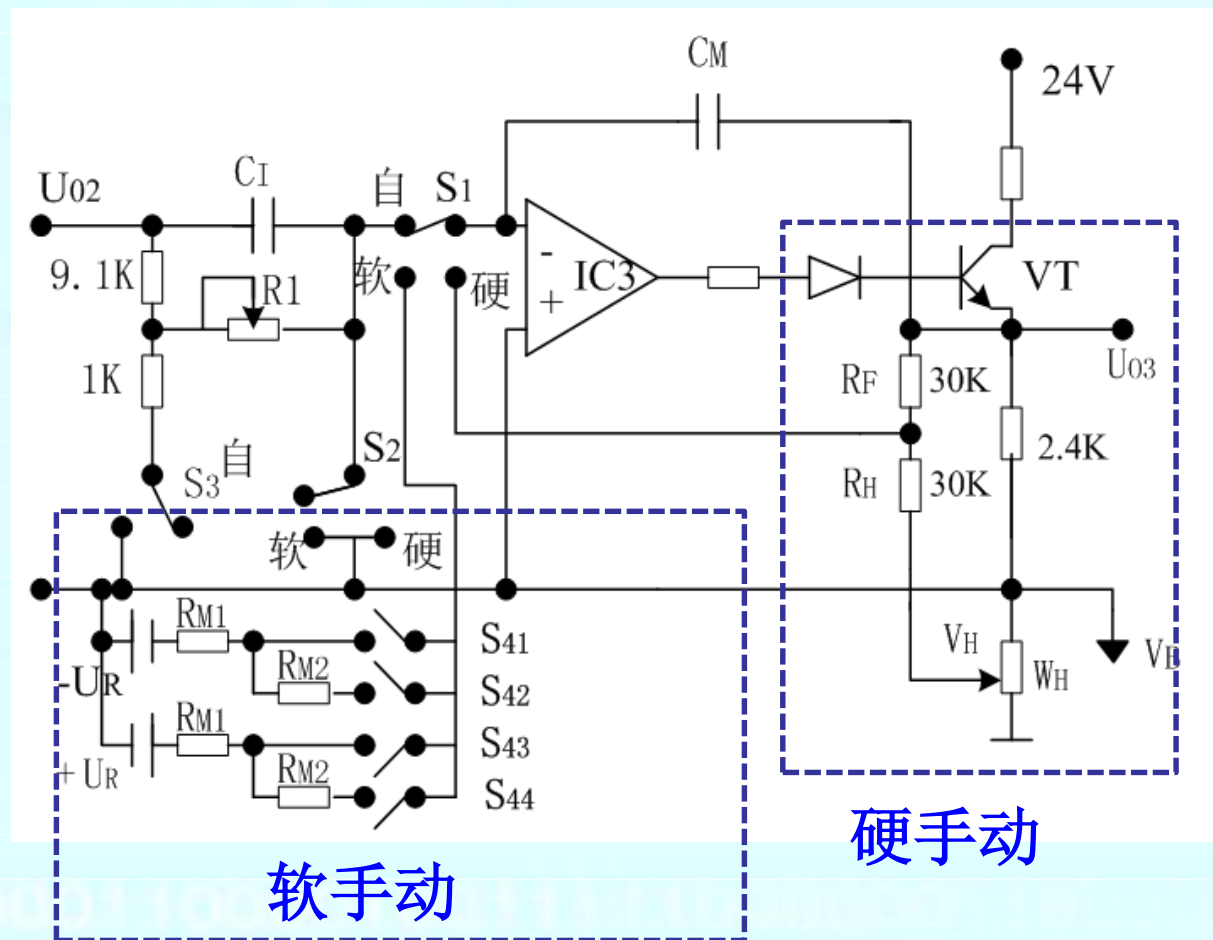


图2-14 输出电路

(8) 手动操作电路（软手动与硬手动）



软手动

$$\Delta V_{03}(t) = \pm \frac{V_R}{R_M C_M} t$$

硬手动

$$\Delta V_{03}(t) = -V_H (V_H < 0)$$

图2-15 手动操作电路

① 软手操电路

功能：控制器的输出电压与输入参考电压成积分关系。

$$\Delta V_{03}(t) = \pm \frac{V_R}{R_M C_M} t$$

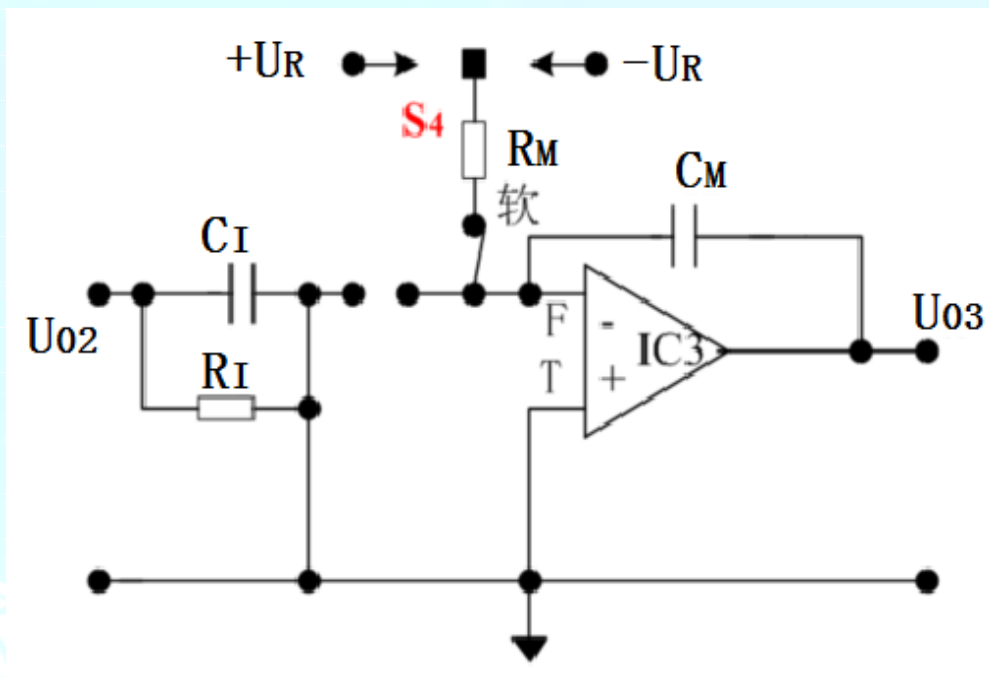


图2-16软手操作电路

积分输出

$$\Delta V_{03}(t) = -\frac{1}{R_M C_M} \int_0^t \pm V_R dt = \pm \frac{V_R}{R_M C_M} t$$

思考：

- (1) 如何实现正反向积分
- (2) 如何实现快慢积分
- (3) 自动与软手动之间切换有无扰动？
- (4) 自动与软手动区别。

(1) 如何实现正反向积分

S_{41} 或 S_{42} 接通正反向积分

$$\Delta V_{03}(t) = \frac{V_R}{R_M C_M} t$$

S_{43} 或 S_{44} 接通反向积分

$$\Delta V_{03}(t) = -\frac{V_R}{R_M C_M} t$$

(2) 如何实现快慢积分

S_{41} 或 S_{43} 接通快积分

$$T_{I快} = R_{M1} C_M = 30 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6} = 0.3S$$

S_{42} 或 S_{44} 接通慢积分

$$T_{I慢} = (R_{M1} + R_{M2}) C_M = 500 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6} = 5S$$

(3) 自动与软手动之间切换有无扰动？

自动与软手动之间切换等电位切换，无扰动。

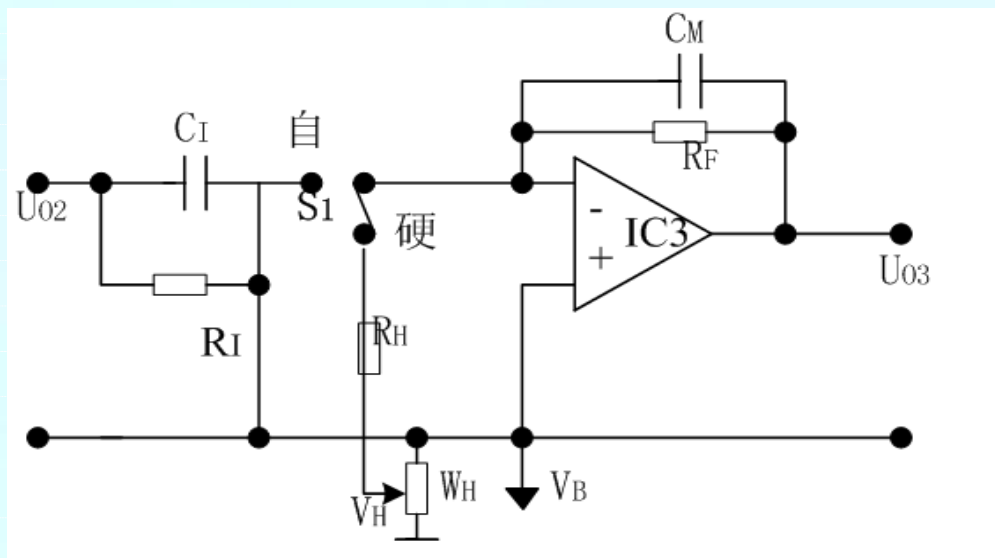
(4) 自动与软手动区别。

自动为PI控制，软手动为I控制。

② 硬手操电路

功能：输出电压与手动输入电压信号成比例关系。

$$V_{03} = -\frac{R_F}{R_H} V_H = -V_H \quad (V_H < 0)$$



硬手动切换到自动
有无扰动？

自动切换到硬手动
有无扰动？
如有扰动采取措施。

图2-17 硬手操作电路

自动输出电流如下，手操盘分别拨到什么位置？

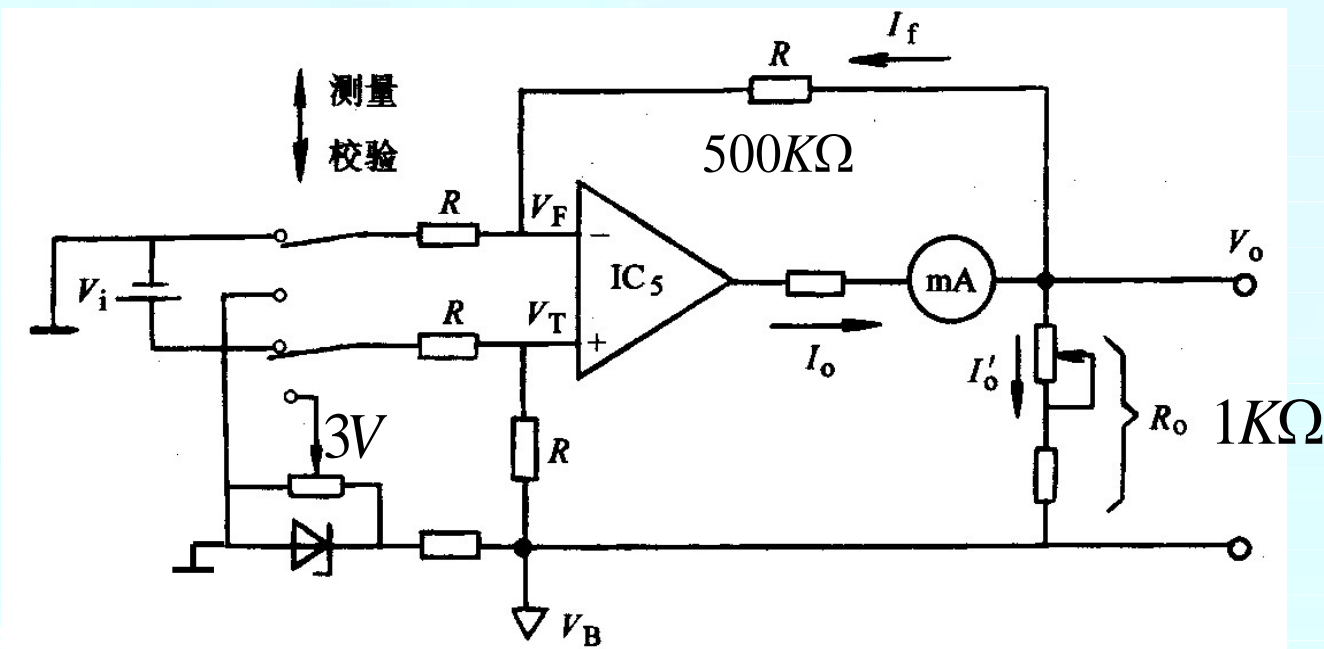
$$I_0 = 12\text{mA DC} (V_0 = 3\text{V DC})$$

$$I_0 = 16\text{mA DC} (V_0 = 4\text{V DC})$$

(9) 指示电路

功能： 全量程地指示测量值、给定值、输出值。

V_i : $1 \sim 5VDC \rightarrow$ 电流表 $1 \sim 5mA$ 或 $0 \sim 100\%$

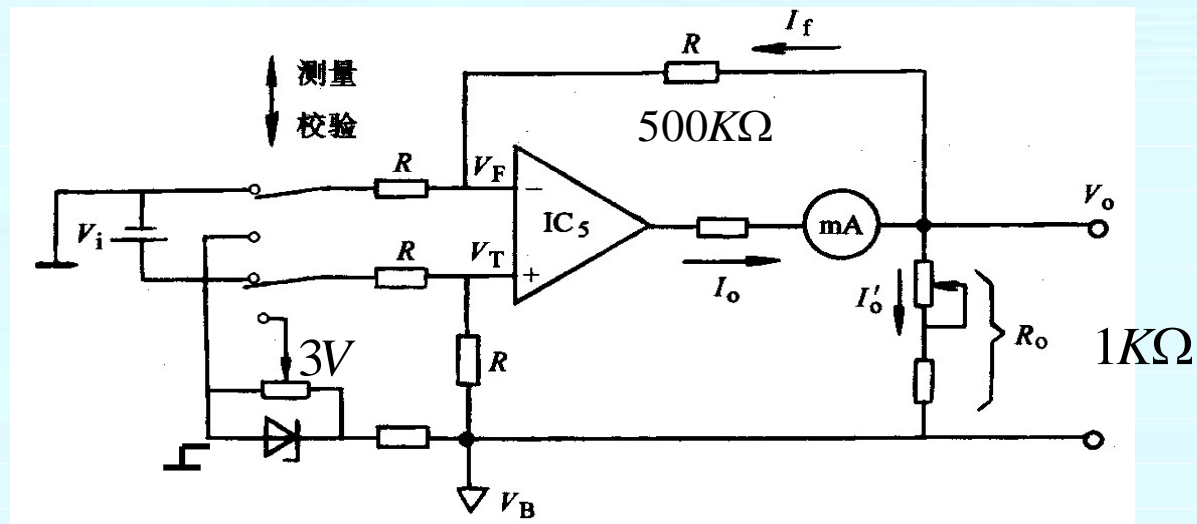


思考：

- 1、为何电流表接在放大器输出端。
- 2、如何校验指示电路的精度。
- 3、如何消除零点误差。

图2-18 全刻度指示电路

$$I_o = \left(\frac{1}{2R} + \frac{1}{R_o} \right) V_i + \frac{V_B}{2R} \approx \frac{V_i}{R_o} \quad R_o = 1K\Omega$$



(1) 为何电流表串接在放大器输出端

电流表有内阻且内阻受温度影响，电流表接在输出端其内阻变化会影响V/I转换精度。

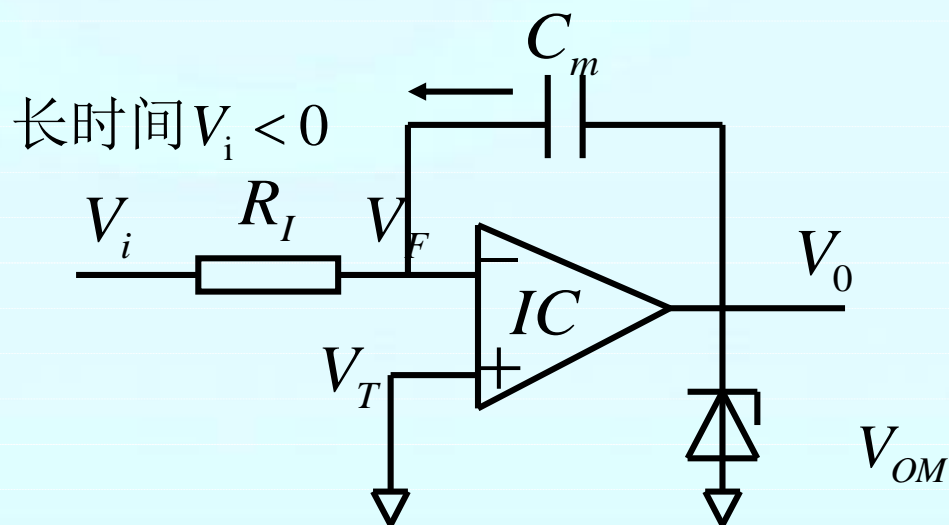
(2) 如何校验指示电路的精度

开关置于“校验”位置，3V电压加于输入端，表头指示3mA或50%刻度值。

(3) 零点误差为 $V_B/2R=10\mu A$ ，通过调整电流表机械零点消除。

3、积分饱和及其抗积分饱和措施

(1) 积分饱和



$$V_{CM} > V_{OM}, \quad V_F \neq V_T, \quad V_0 = V_{OM}$$

图2-19 限幅PI电路

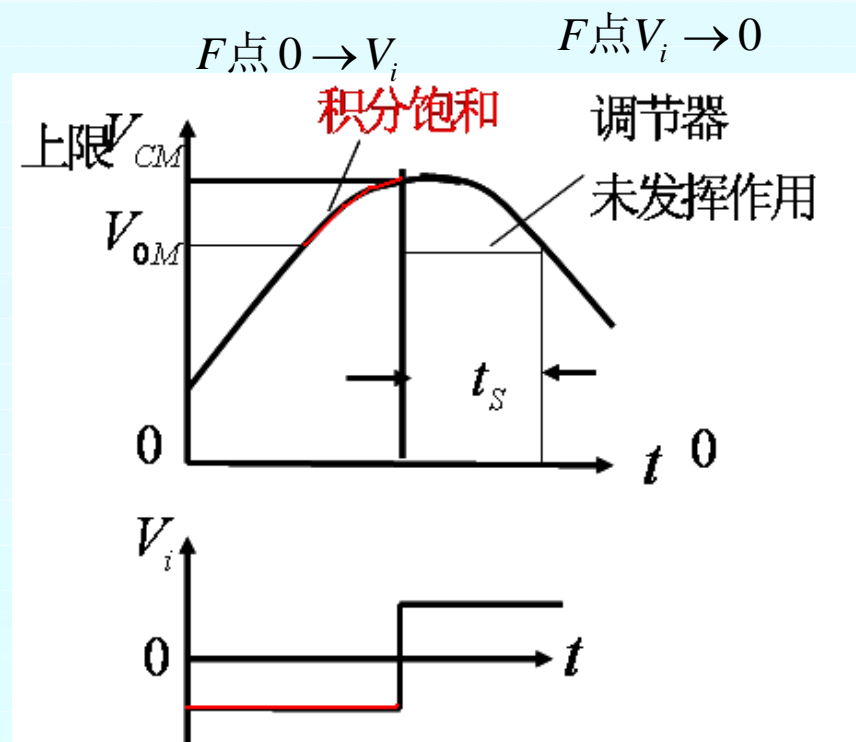
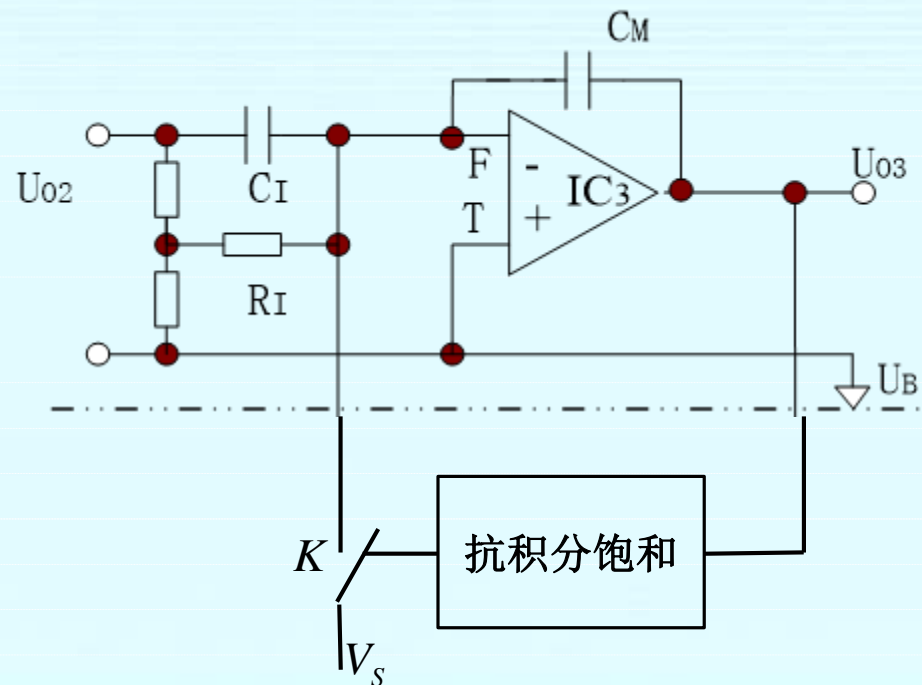


图2-20 积分电容输出电压

PI调节器在长期接收**单向偏差**，积分电容两端电压超出正常工作电压范围的现象。

(2) 抗积分饱和电路



$$V_H > V_{03} > V_L \quad \Delta U_{03}(t) = -\frac{C_I}{C_M} \left(1 + \frac{t}{T_I}\right) \Delta U_{02}$$

$$V_{03} > V_H \quad V_{02} < 0, \quad K \text{ 接通, } V_S > 0 \text{ 取代 } V_{02}$$

$$V_{03} < V_L \quad V_{02} > 0, \quad K \text{ 接通, } V_S < 0 \text{ 取代 } V_{02}$$

(3) 积分反馈型积分限幅控制器

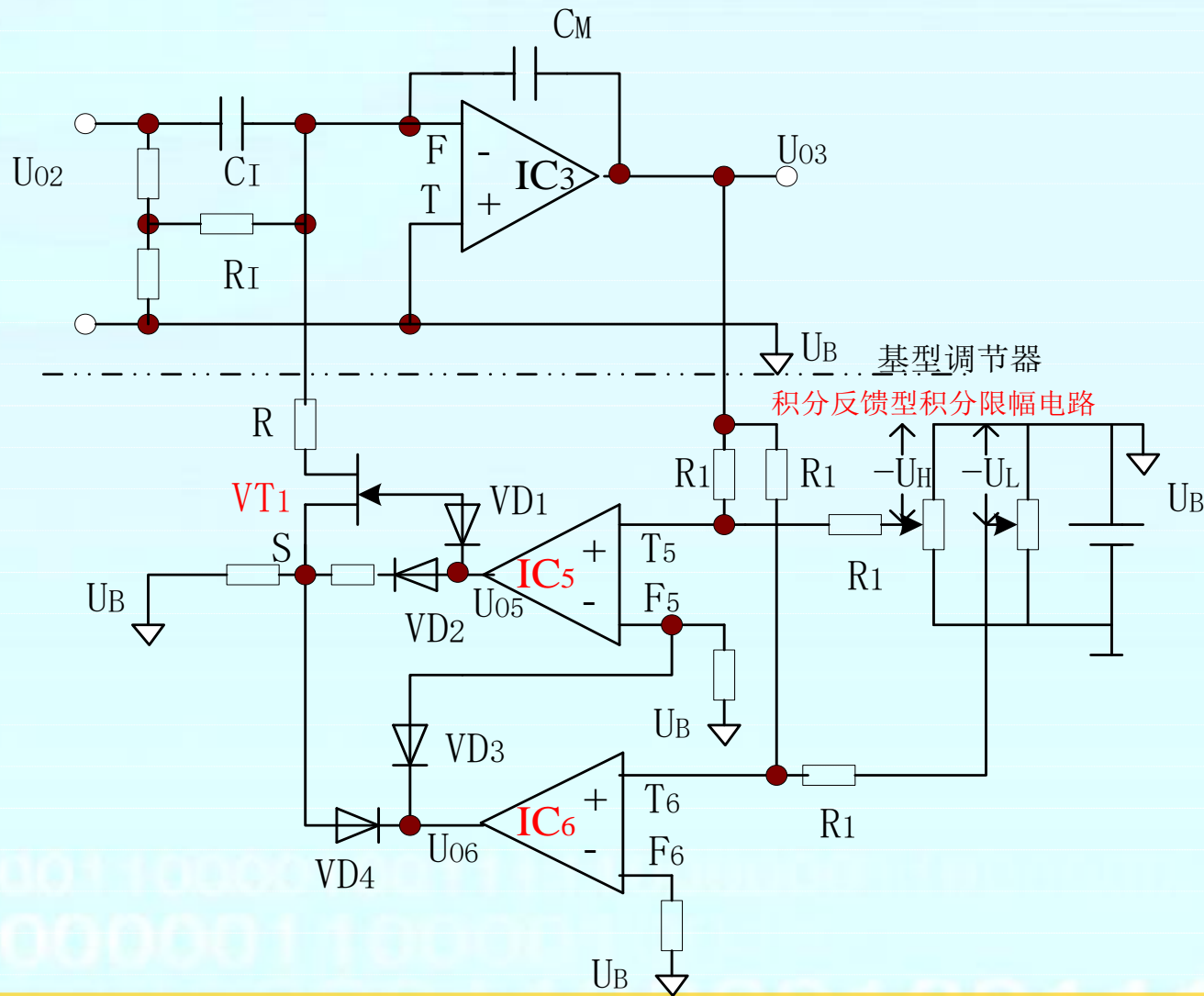
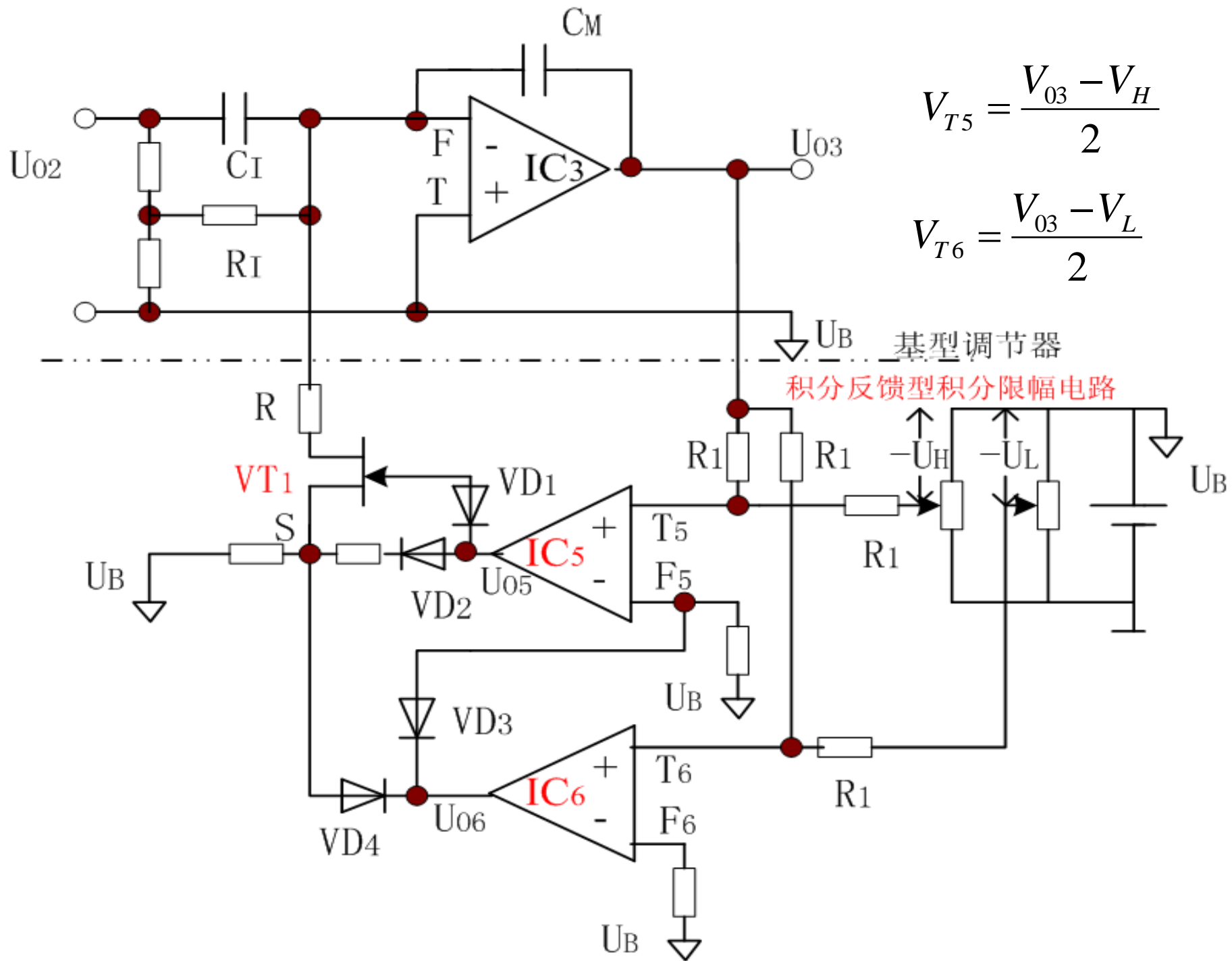
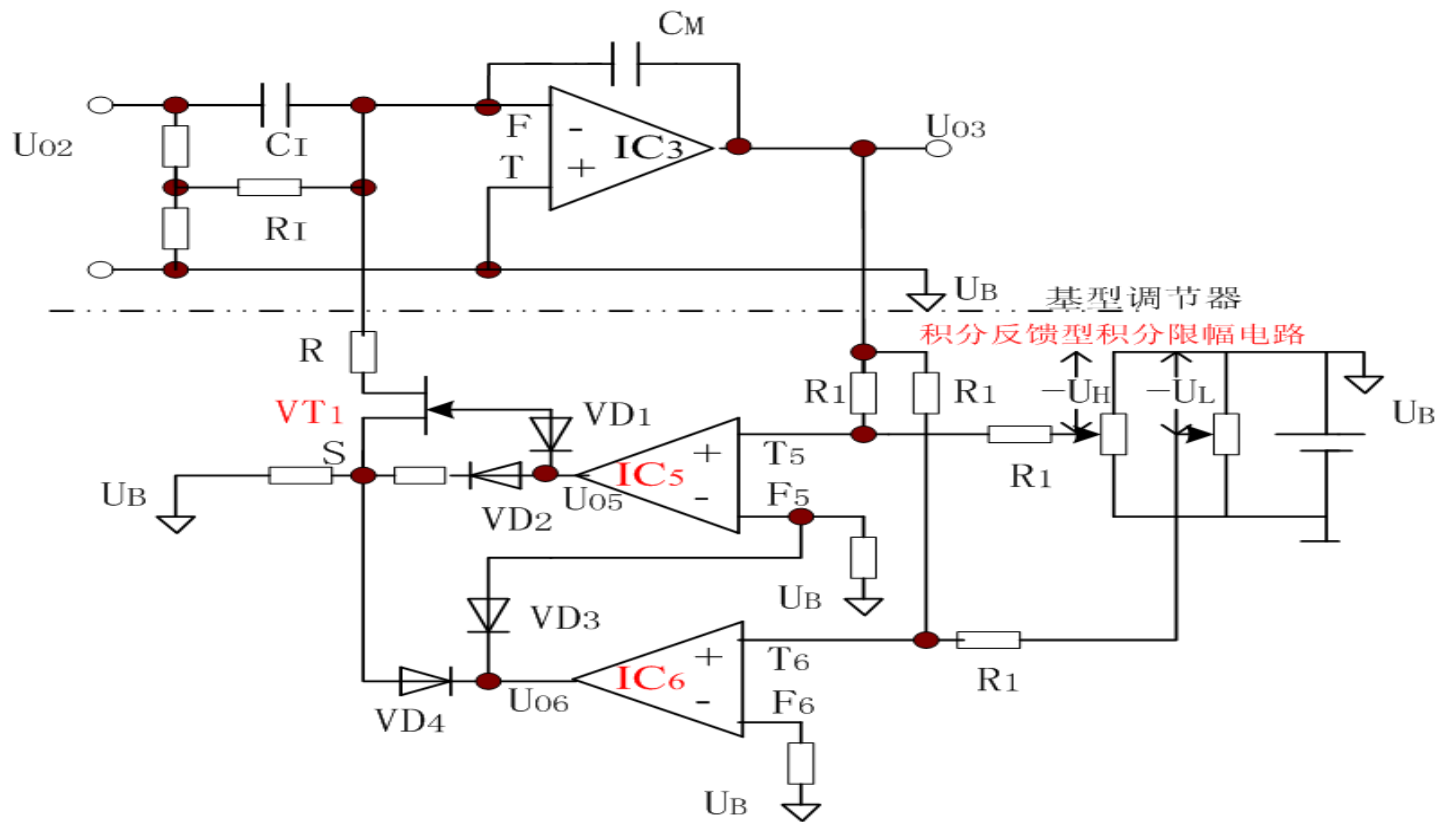


图2-21 积分反馈型积分限幅控制器





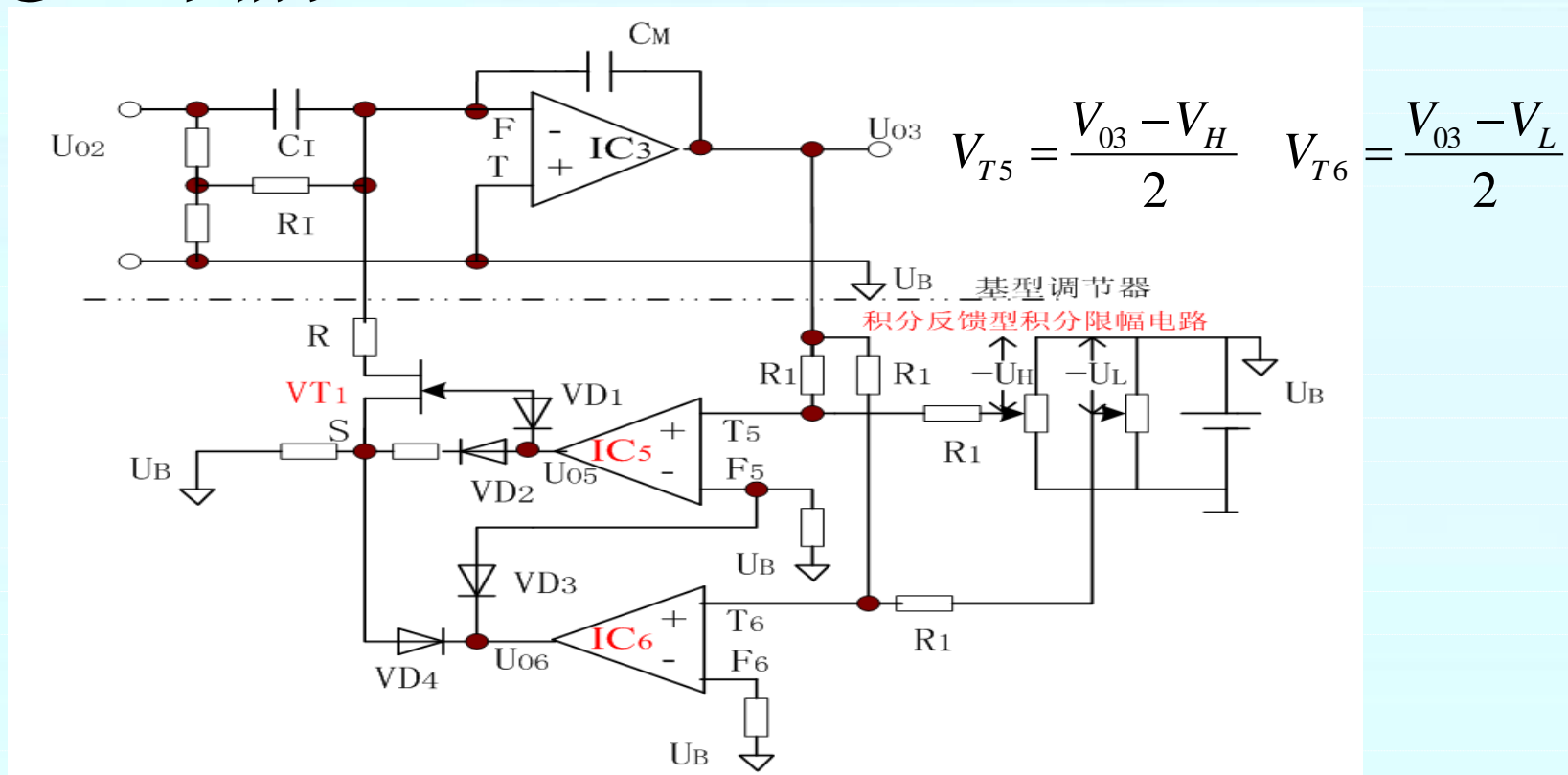
V_{T5} 、 V_{T6} 电压为

$$A、V_{T5} = \frac{V_{03} - V_H}{2} \quad V_{T6} = \frac{V_{03} - V_L}{2}$$

$$B、V_{T5} = \frac{V_{03} + V_H}{2} \quad V_{T6} = \frac{V_{03} + V_L}{2}$$

① 正常情况

$$V_L < V_{03} < V_H$$

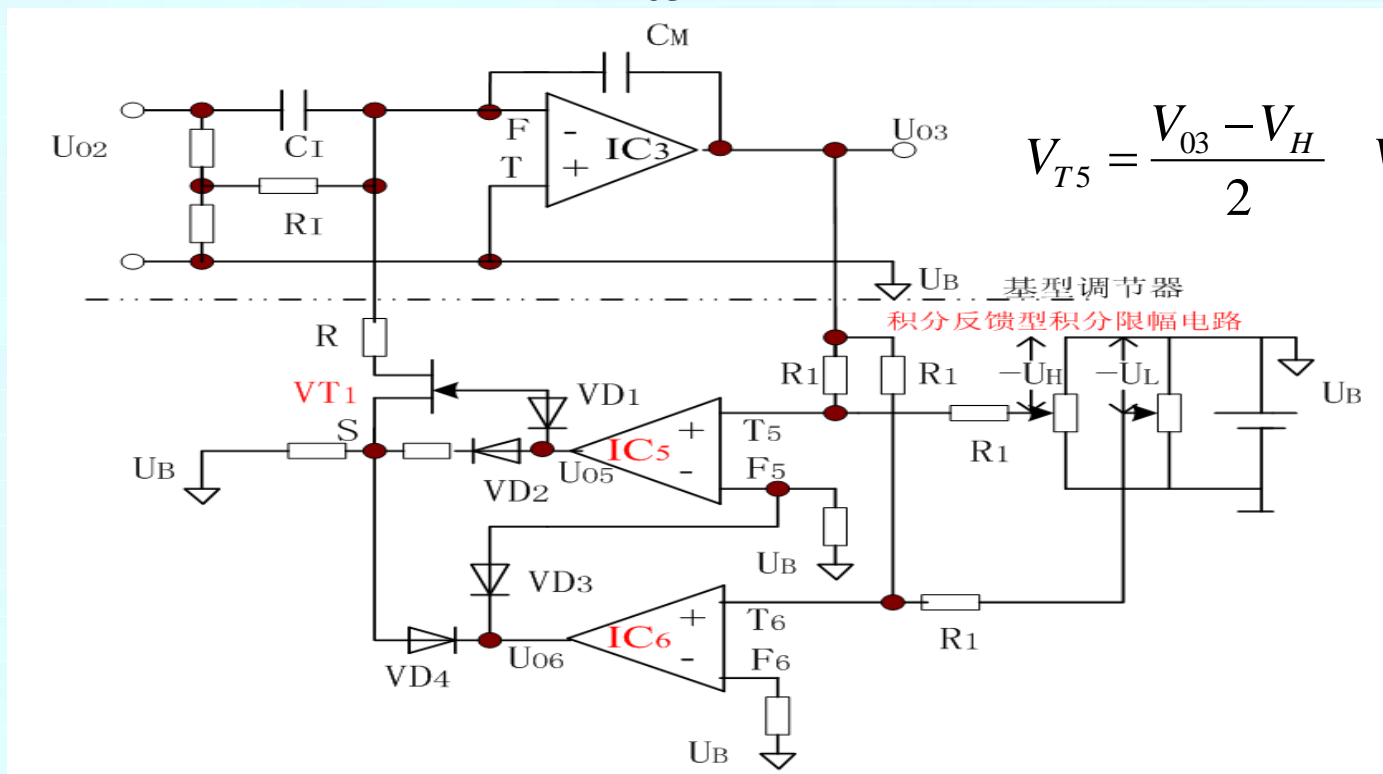


A、 $V_{T5} < V_{F5}, V_{T6} < V_{F6}, V_{05}$ 低电平, V_{06} 低电平, VT_1 截止

B、 $V_{T5} < V_{F5}, V_{T6} > V_{F6}, V_{05}$ 低电平, V_{06} 高电平, VT_1 截止

② 输出超上限

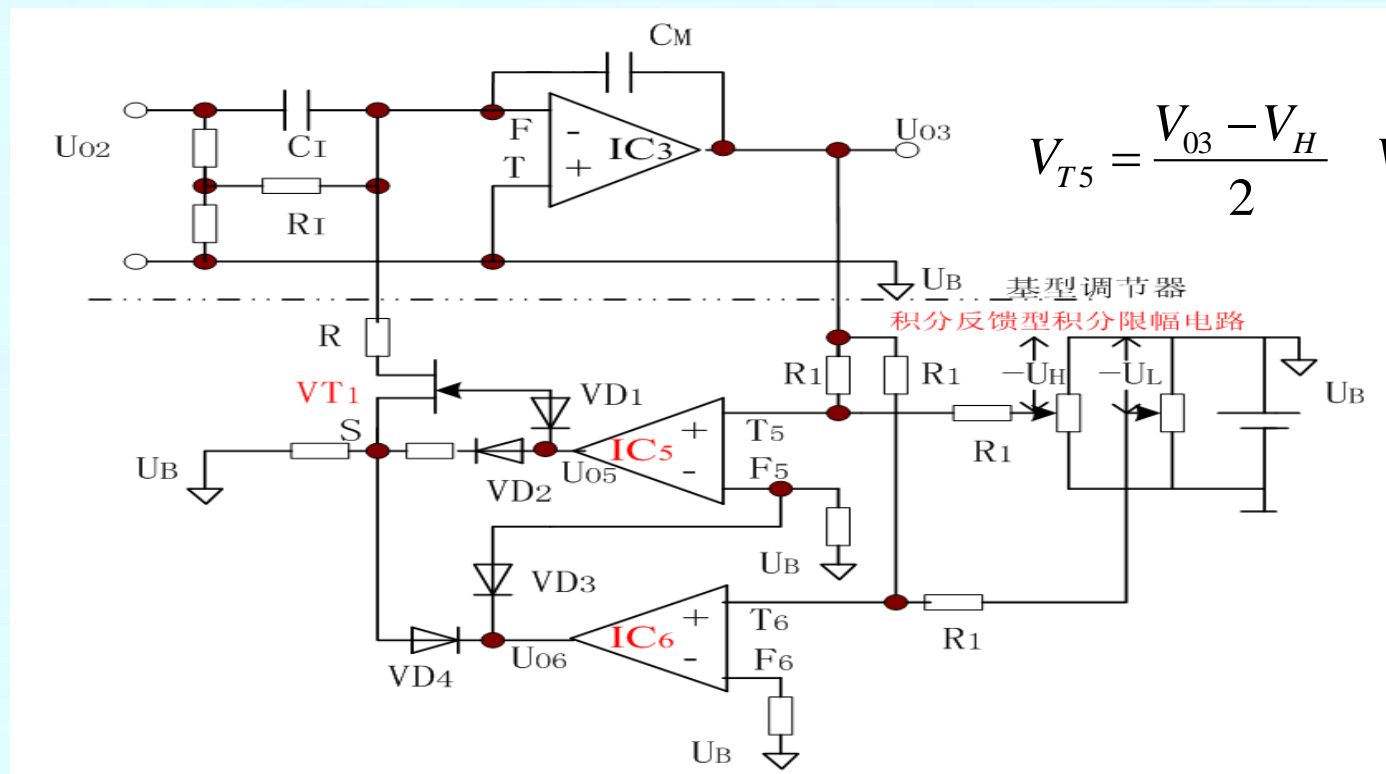
$$V_{03} \geq V_H$$



$$V_{T5} = \frac{V_{03} - V_H}{2} \quad V_{T6} = \frac{V_{03} - V_L}{2}$$

A、 $V_{T5} > V_{F5}$, $V_{T6} > V_{F6}$, V_{05} 高电平, V_{06} 高电平, VT_1 导通, $V_S > 0$

B、 $V_{T5} > V_{F5}$, $V_{T6} > V_{F6}$, V_{05} 高电平, V_{06} 高电平, VT_1 导通, $V_S = 0$

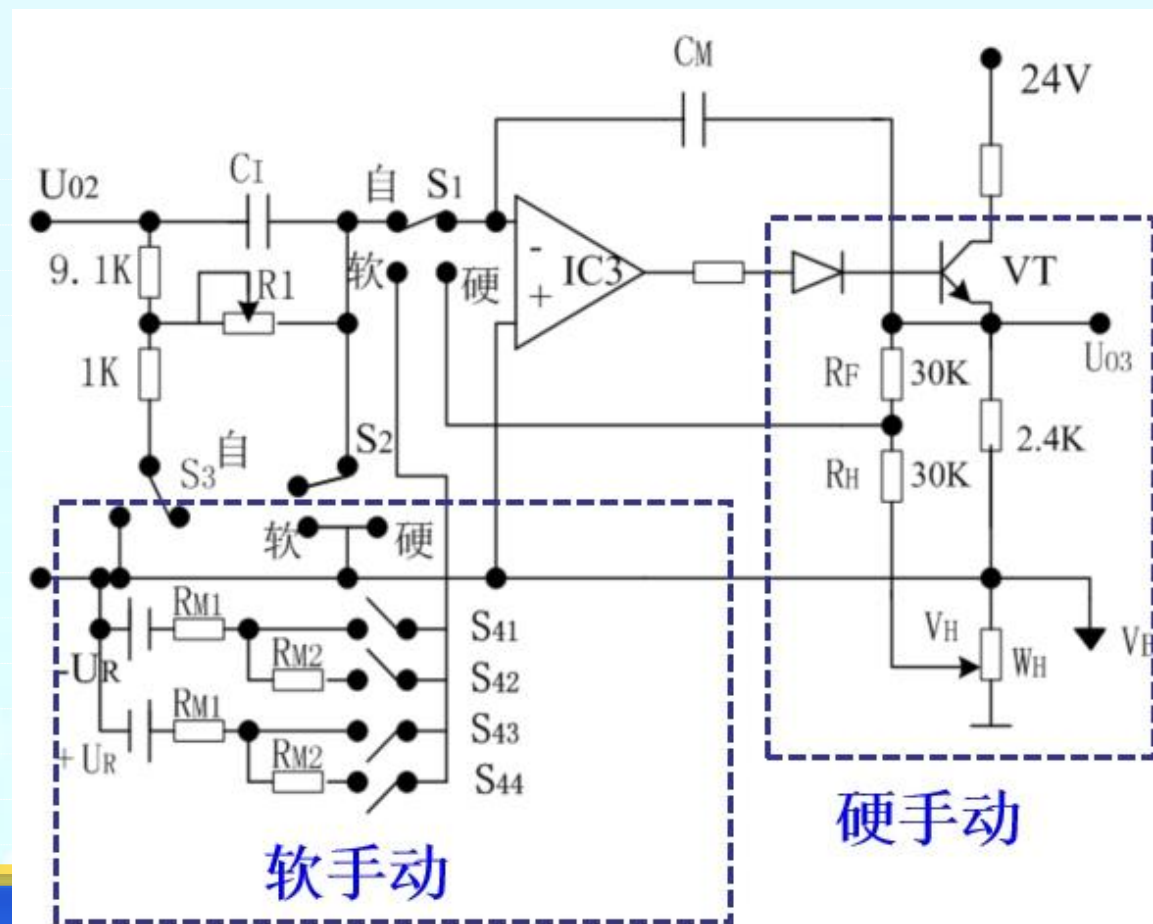
③ 输出超下限 $V_{03} \leq V_L$ 

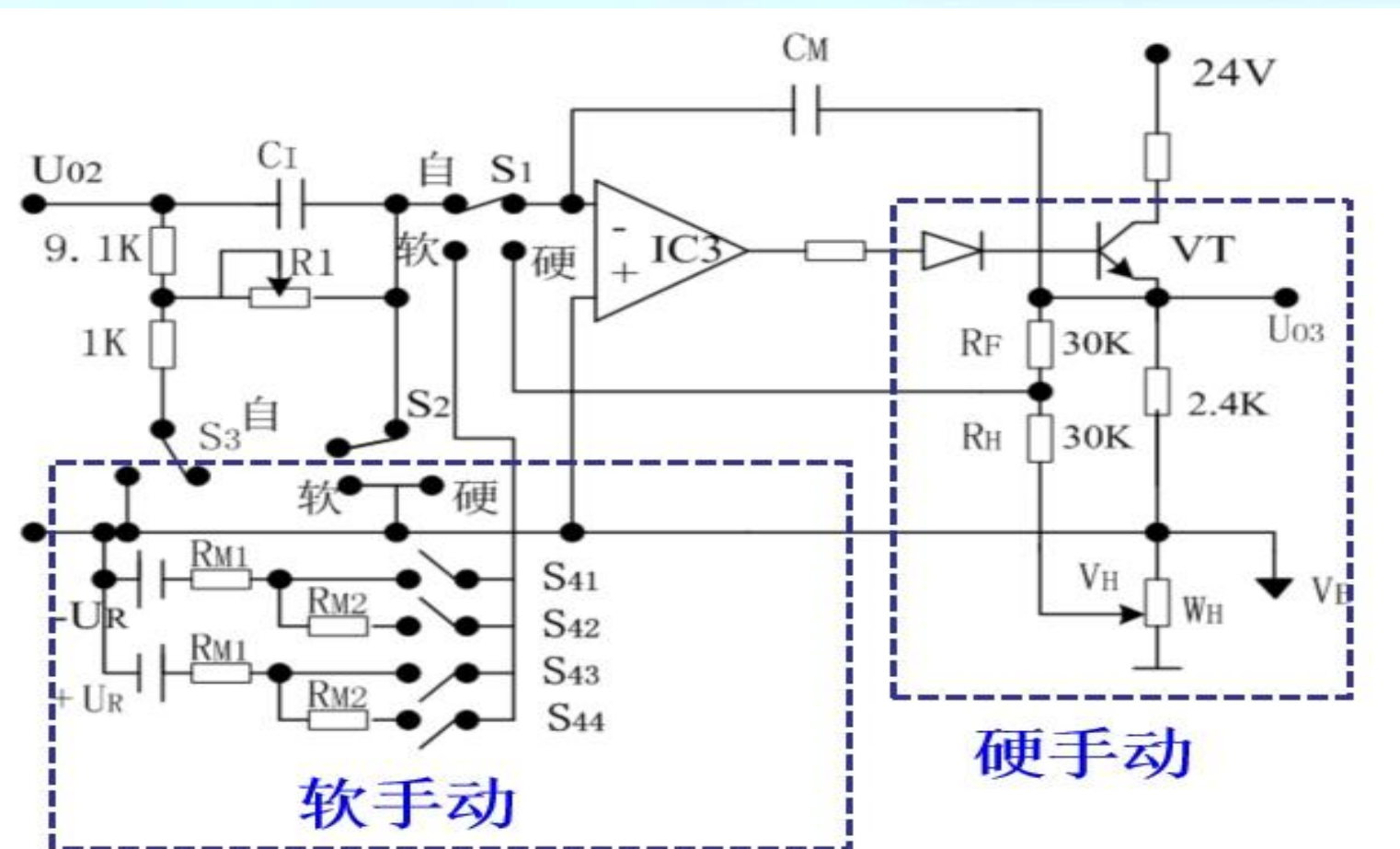
$$V_{T5} = \frac{V_{03} - V_H}{2} \quad V_{T6} = \frac{V_{03} - V_L}{2}$$

- A、 $V_{T5} < V_{F5}$, $V_{T6} < V_{F6}$, V_{05} 低电平, V_{06} 低电平, VT_1 截止, $V_S = 0$
- B、 $V_{T5} > V_{F5}$, $V_{T6} < V_{F6}$, V_{05} 高电平, V_{06} 低电平, VT_1 导通, $V_S < 0$
- C、 $V_{T5} > V_{F5}$, $V_{T6} < V_{F6}$, V_{05} 高电平, V_{06} 低电平, VT_1 导通, $V_S > 0$

综合题：图示为PI及手动电路，回答下列问题。

- (1) 硬手动电路是一个什么电路。推导输出电压。
- (2) 软手动电路是一个什么电路。推导输出电压。
- (3) 软手动电路需要快积分，哪个S开关接通？
需要 V_{03} 下降，哪个S开关接通？
- (4) 自动与软手动之间切换有无扰动？
- (5) 自动与硬手动之间有无扰动？
- (6) 如果S1开关切到自动，长时间 U_{02} 为负，会出现什么现象。如何消除此现象。





硬手动电路是

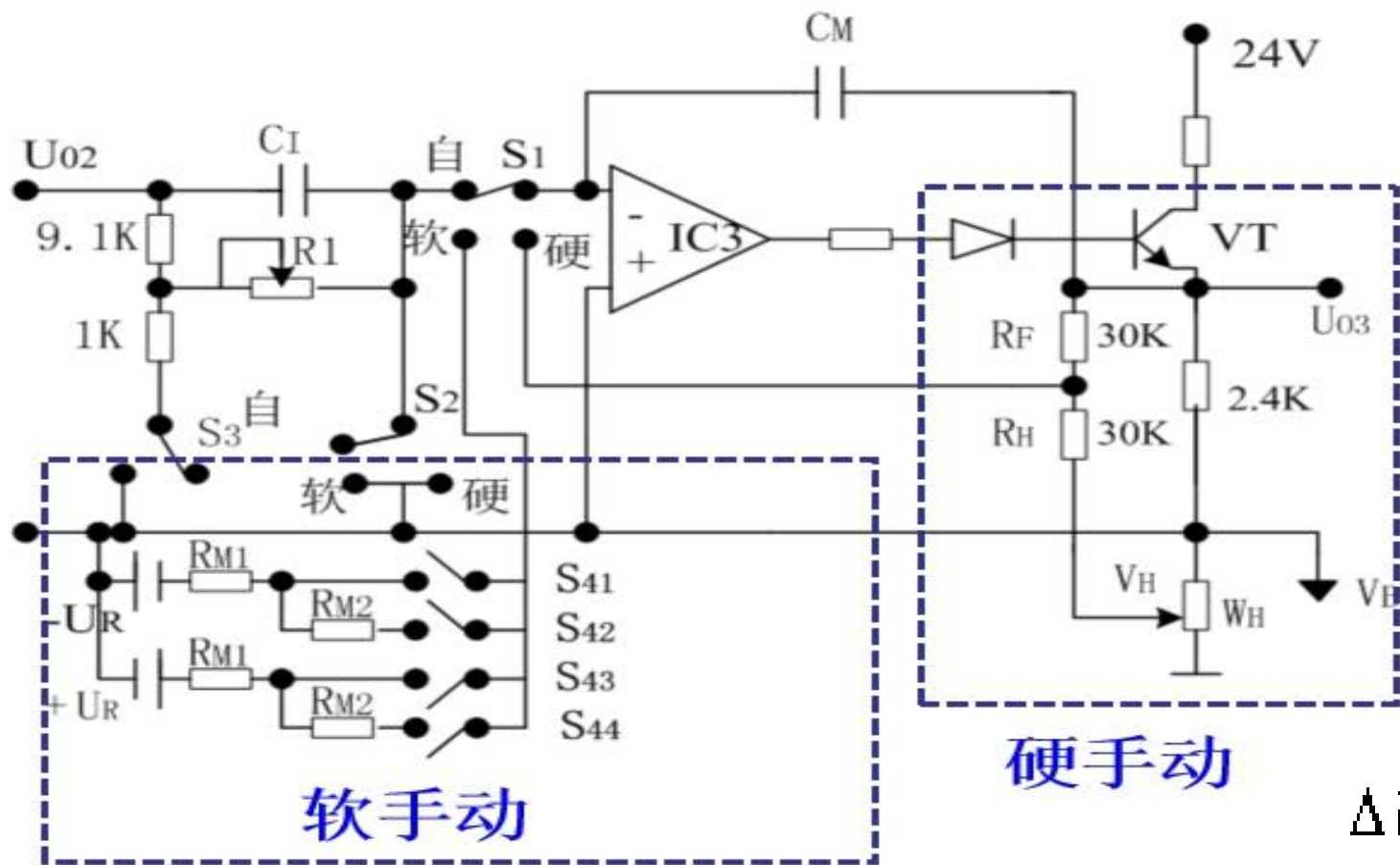
A、1: 1反相比例放大电路

$$V_{03} = -V_H$$

B、1: 1同相比例放大电路

$$V_{03} = V_H$$

$$V_{03} = -\frac{R_F}{R_H} V_H = -V_H \quad (V_H < 0)$$



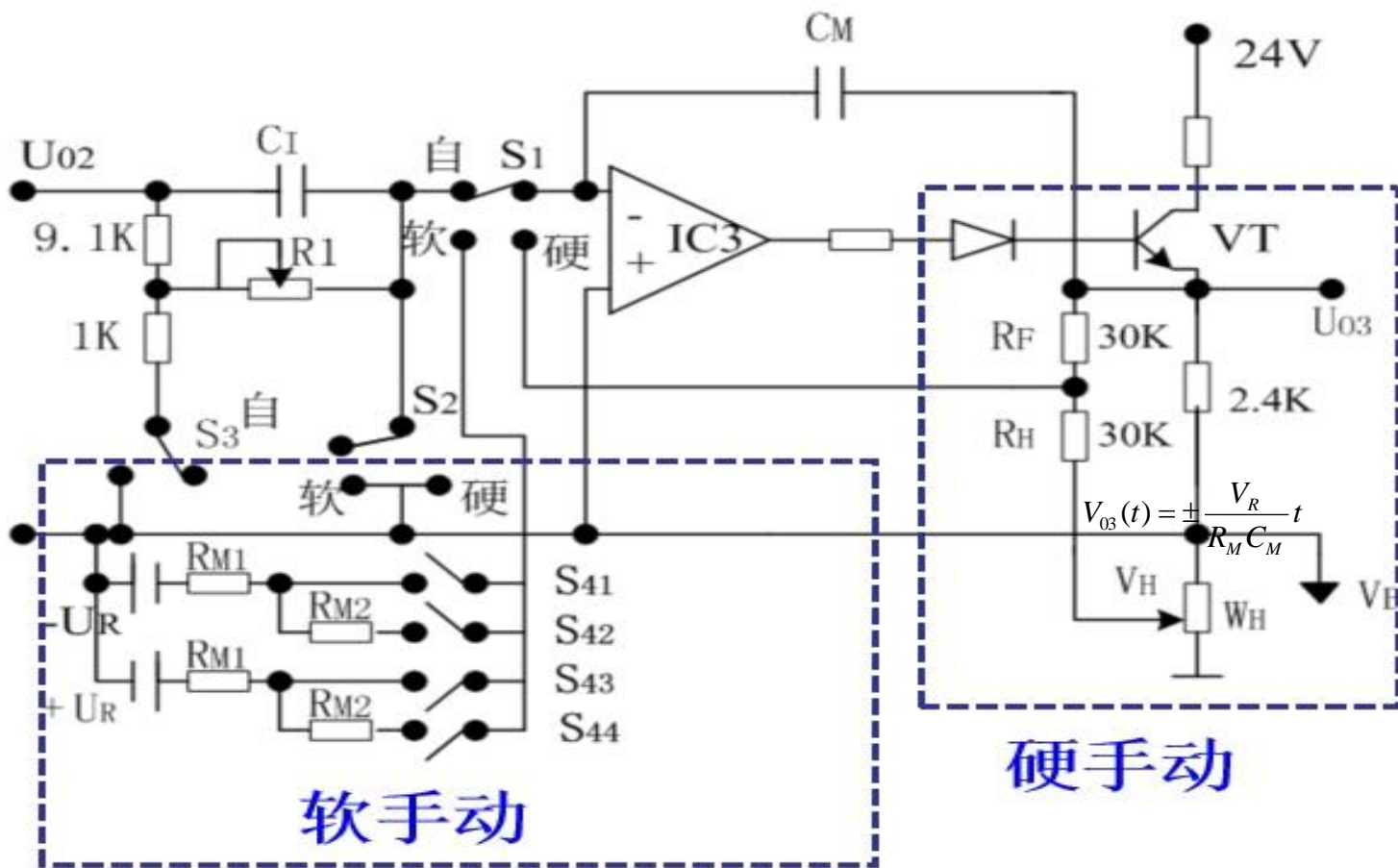
软手动电路是

A、比例积分电路

B、积分电路

$$\Delta V_{03}(t) = -\frac{1}{R_M C_M} \int_0^t \pm V_R dt = \pm \frac{V_R}{R_M C_M} t$$





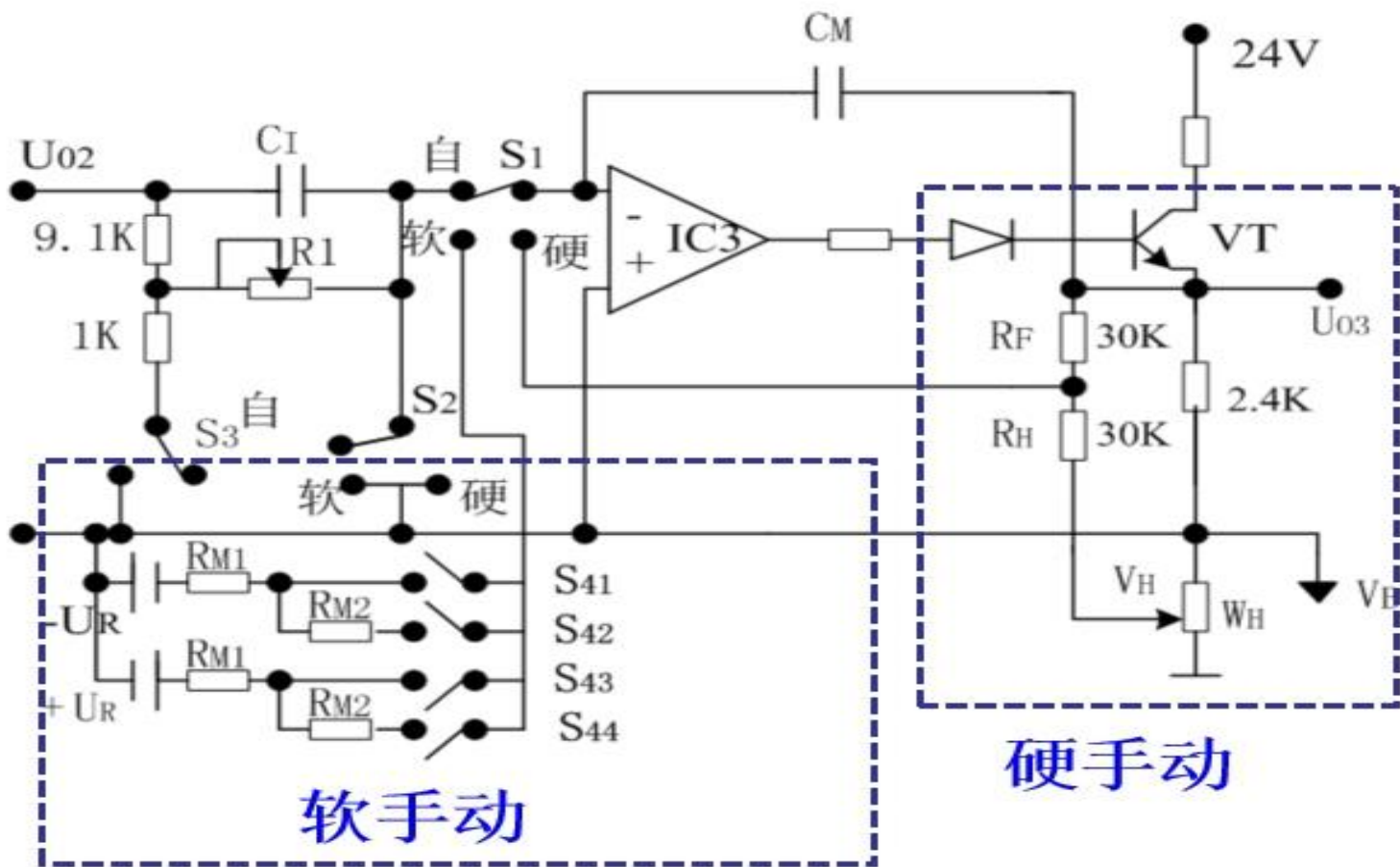
软手动电路快积分，接通的S开关是

A、开关 S_{41} 或 S_{43} 接通，开关 S_{42} 及 S_{44} 断开。

B、开关 S_{41} ， S_{43} 断开，开关 S_{42} 或 S_{44} 接通。

$$\Delta V_{03}(t) = \pm \frac{V_R}{R_M C_M} t$$

接入电阻为 R_{M1} 。



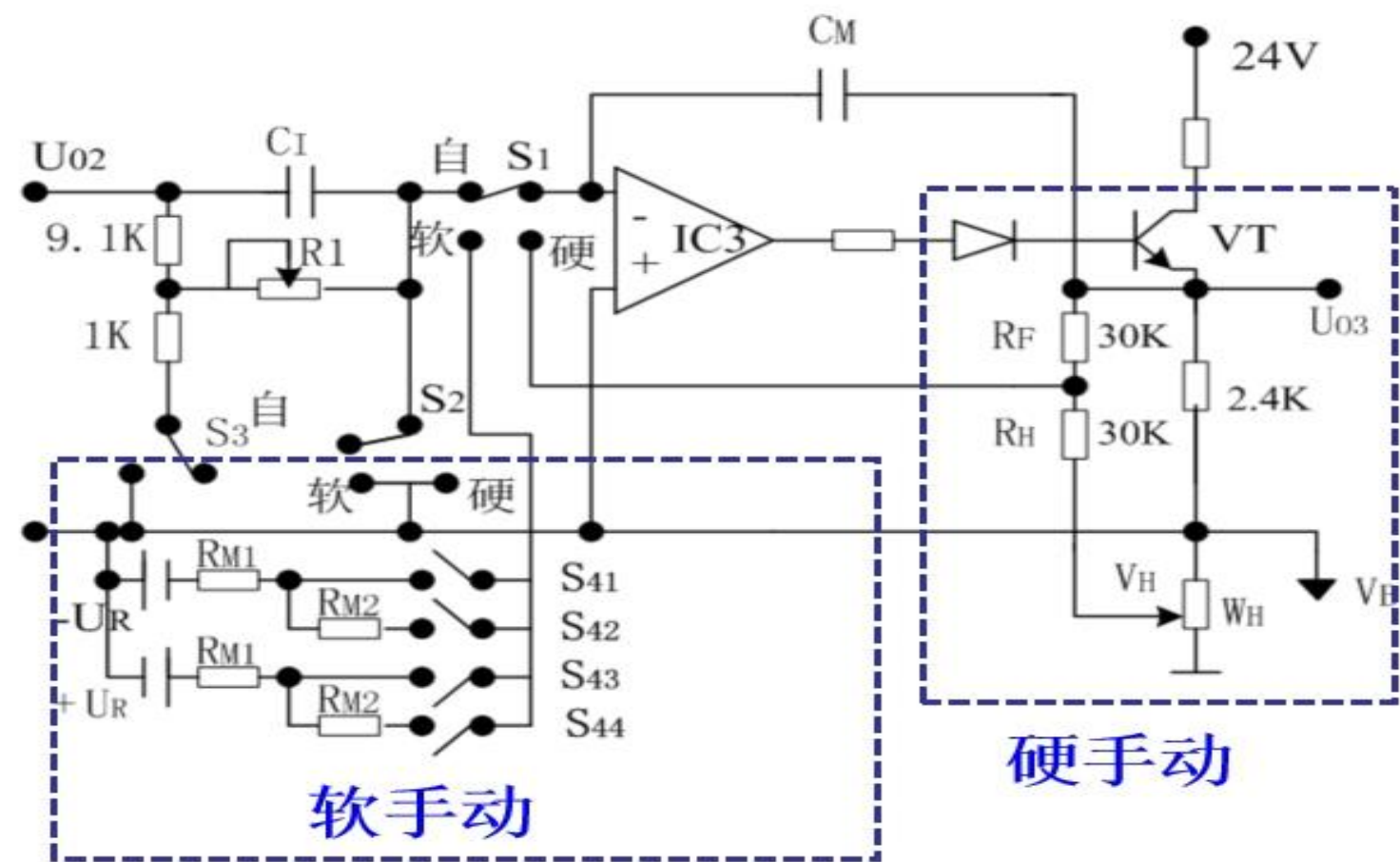
软手动需要 V_{03} 下降，
接通的S开关是

A、开关 S_{41} 或 S_{42} 接通

B、开关 S_{43} 或 S_{44} 接通

$$\Delta V_{03}(t) = -\frac{V_R}{R_M C_M} t$$

需要同向积分，
参考电压应为正电压。



自动与软手动之间切换
有无扰动？

自动与软手动之间切换为等电位切换。

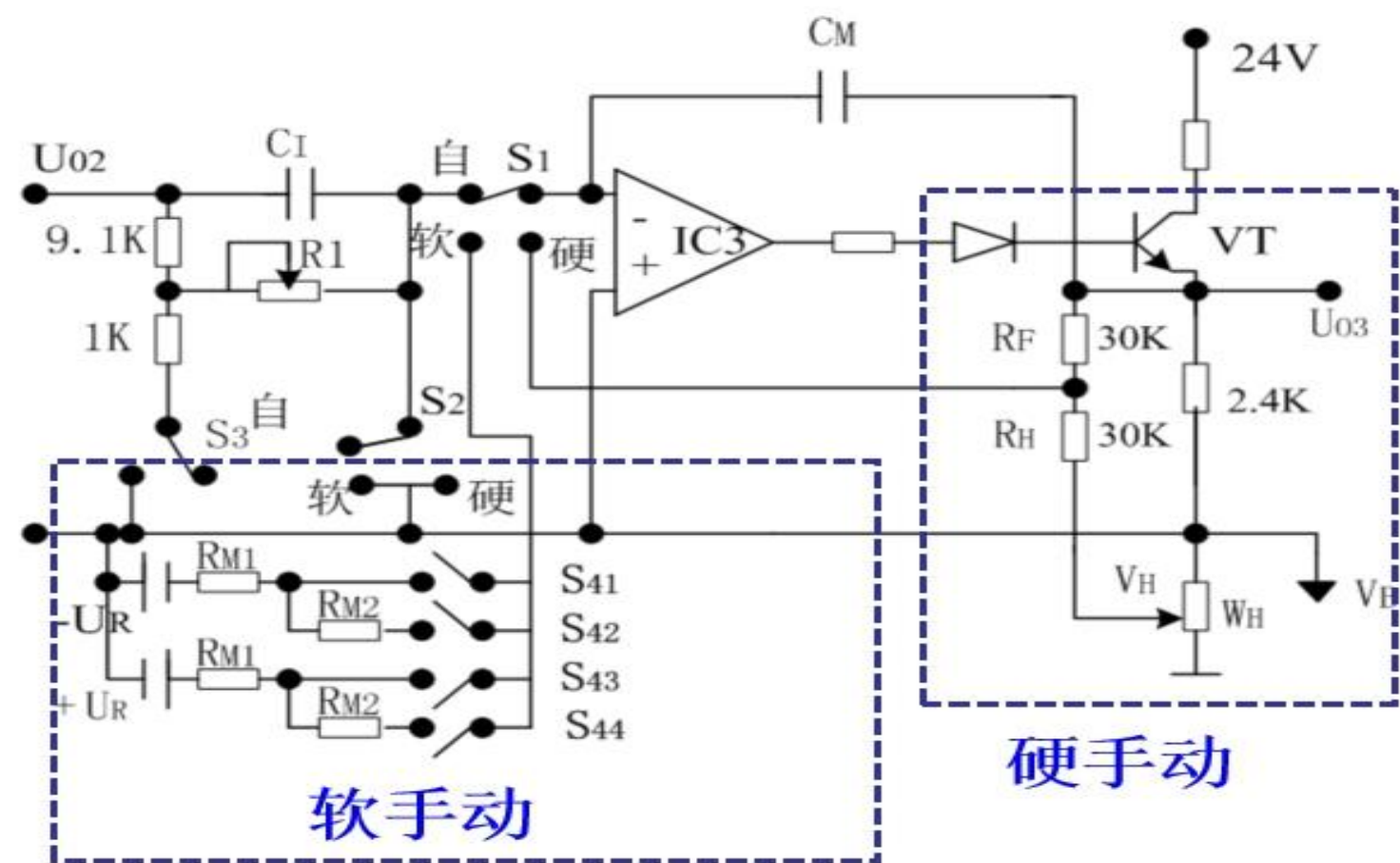
切换瞬间积分电容两端电压不能跳变，无扰动切换。

自动与硬手动之间有无扰动？

硬手动切换到自动为等电位切换，切换瞬间积分电容两端电压不能跳变，无扰动切换。



00001100001001111100000111
00000011000011111100000111



自动切换到硬手动

切换瞬间硬手动输出立刻等于手操拨盘的电压，需要预平衡。

切换时测量自动输出电压，将手操拨盘电压调整为自动输出电压，然后切换。

如果 S_1 开关切到自动，长时间 U_{02} 为负，会出现

积分饱和现象

采取抗积分饱和电路。

- 1、某P控制器的输入信号是4~20mA，输出信号是1~5V，当比例度 $\delta = 60\%$ 时，1mA输入变化所引起的输出变化是多少？
- 2、某PID控制器（正作用）输入输出信号都是1~5V，控制器的输入输出初始值都是1V，比例度为200%，积分与微分时间都是2min，微分增益为10，积分增益无穷大，在 $t=0$ 时输入1V的阶跃信号，分别求 $t=12S$ 时：
 - (1) PI工况下的输出值
 - (2) PD工况下的输出值。
- 3、DDZ-III调节器输入电路为何采用差动输入和电平移动？
- 4、模拟调节器进行软手操时， P_B 、 T_I 、 T_D 随便置于任何一档，是否会对软手操的输出信号产生影响，为何？
- 5、调节器在无变送器输入信号时，操作硬手动拨盘，产生输出信号，表明输出电路和积分放大器正常。为何？



- 1、理想的**P**、**PI**、**PD**、**PID**调节规律的特点及其表达式。为何理想的积分、微分调节不能单独使用。
- 2、**PID**调节器相互干扰系数**F**的物理意义，实际比例度、积分时间、微分时间与整定刻度值的关系。如何减小相互干扰系数。
- 3、**PI**调节器调节精度的计算方法及公式。
- 4、说明积分增益与微分增益的物理意义，它们的大小对控制器的输出有什么影响？
- 5、比例度、积分时间、微分时间、微分时间常数、微分增益、积分增益、概念及确定方法。



- 6、在基型控制器**PD**电路中，如何保证开关**S**从断到通位置时输出信号保持不变？
- 7、分析基型控制器产生积分饱和现象的原因。若将控制器输出加以限幅，能否消除这一现象？
- 8、基型控制器如何保证自动到软手动，软手动到自动无平衡无扰动切换？
- 9、积分反馈型限幅控制器如何防止积分饱和的？
- 10、输出限幅单元如何实现限幅的？

