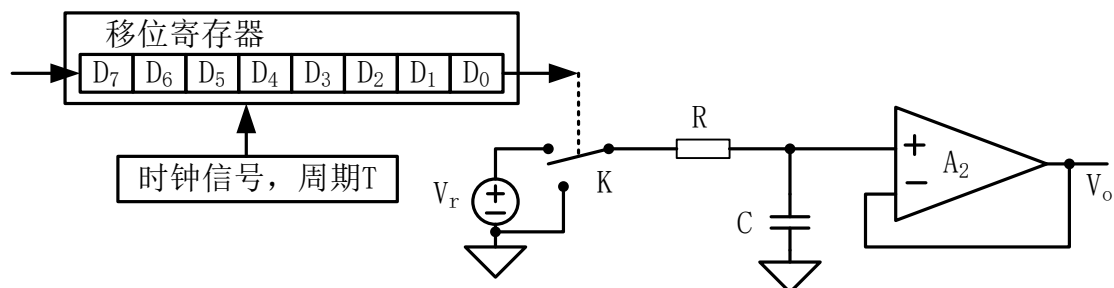


第 3 章补充题 1: 电路如题所示, 在每个时钟周期 (T) 中移位寄存器输出一位逻辑信号来控制开关 K , 当输出逻辑“1”时 K 接通参考电压源 V_r , 当输出逻辑“0”时 K 接地。

- (1) 设第 1 个时钟周期输出 D_0 , 推导第 8 个时钟周期后 V_o 的表达式?
- (2) 如果 $\exp[-T/(RC)] = 1/2$, 该电路执行何种功能?
- (3) D_0 信号输出后, 其对电容电荷的作用受不受后续输出逻辑信号的影响?
- (4) 第 1~8 个时钟周期输出的逻辑信号对 9~16 个时钟周期的输出 V_o 影响有多大?



解:

$$V_c(t) = V_c(0+)e^{-t/\tau} + V_c(\infty)(1 - e^{-t/\tau})$$

The operation of the circuit in Fig.1a as a D/A converter can be explained considering that the evolution of the capacitor voltage $v_C(t)$ during the i^{th} time interval $[(i-1)T, iT]$ can be expressed as a function of the initial capacitor voltage at the beginning of the interval, i.e. $v_{C,i-1} = v_C(t)|_{t=(i-1)T}$, of the steady-state voltage $v_{C,i}(\infty)$, which is V_{DD} for $b_i = 1$ and 0V for $b_i = 0$, and of the time constant $\tau = RC$, as

$$v_C(t) = v_{C,i}(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-(i-1)T}{\tau}} \right] + v_{C,i-1} e^{-\frac{t-(i-1)T}{\tau}} \quad (2)$$

Assuming $v_{C,0} = v_C(0) = 0$ as a reset condition, (2) can be iterated to express $v_{C,i}$ for $i = 1 \dots N-1$ in function of V_{DD} , b_i and τ and the capacitor voltage after N clock periods can be finally expressed as:

$$v_C(NT) = V_{DD} \left(1 - e^{-\frac{T}{\tau}} \right) \cdot \sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-\frac{(N-i-1)T}{\tau}}. \quad (3)$$

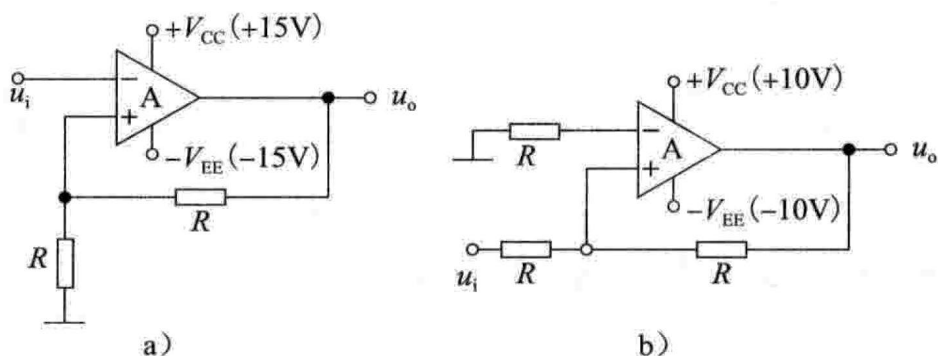
Based on (3), if T is chosen so that:

$$e^{-\frac{T}{\tau}} = \frac{1}{2} \quad \implies \quad T = \tau \log 2 \quad (4)$$

by substituting condition (4) in (3)

$$v_C(NT) = \frac{V_{DD}}{2^N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} b_i 2^i = \frac{n}{2^N} V_{DD}, \quad (5)$$

题 3.2 电路如题 3.2 图所示，设输入信号为 $u_i = 15\sin\omega t(\text{V})$ ，试画出各自的电压传输特性及输出波形。



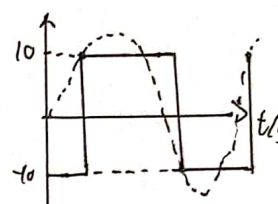
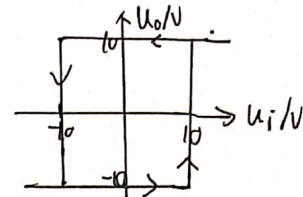
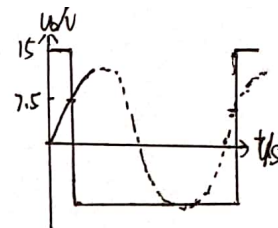
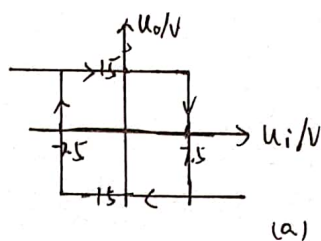
题 3.2 图

a). $U_N = u_i$ $U_P = \frac{1}{2} u_o$

令 $U_N = U_P$ 得 $u_i = \frac{1}{2} u_o \Rightarrow \begin{cases} U_{TH} = \frac{1}{2} V_{CC} = 7.5\text{V} \\ U_{TL} = -\frac{1}{2} V_{EE} = -7.5\text{V} \end{cases}$

b). $U_N = 0$ $U_P = \frac{1}{2} (u_i + u_o)$

令 $U_N = U_P$ 得 $u_i + u_o = 0 \Rightarrow \begin{cases} U_{TH} = 10\text{V} \\ U_{TL} = -10\text{V} \end{cases}$

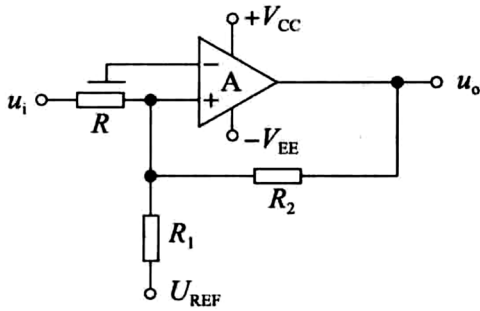


施密特触发器:

反相端输入信号, 2、4 象限;

同相端输入信号, 1、3 象限。

题 3.3 电路如题 3.3 图所示，试推导出该电路的阈值电压和回差的表达式，画出其传输特性曲线。



题 3.3 图

答：同相比较器，轨迹在第 1 和第 3 象限。

(1) 当 $U_o = V_{CC}$ ，看同相输入端为 0V 时的输入电压即阈值电压 1。

由基尔霍夫电流定律得
$$\frac{U_{TH1}}{R} = -\frac{U_{REF}}{R_1} - \frac{U_o}{R_2}$$

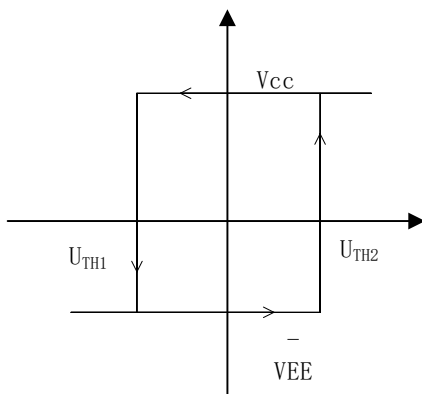
所以
$$U_{TH1} = -R\left(\frac{U_{REF}}{R_1} + \frac{V_{CC}}{R_2}\right)$$

(2) 当 $U_o = -V_{EE}$ 时

$$\frac{U_{TH2}}{R} = -\frac{U_{REF}}{R_1} + \frac{V_{EE}}{R_2}$$

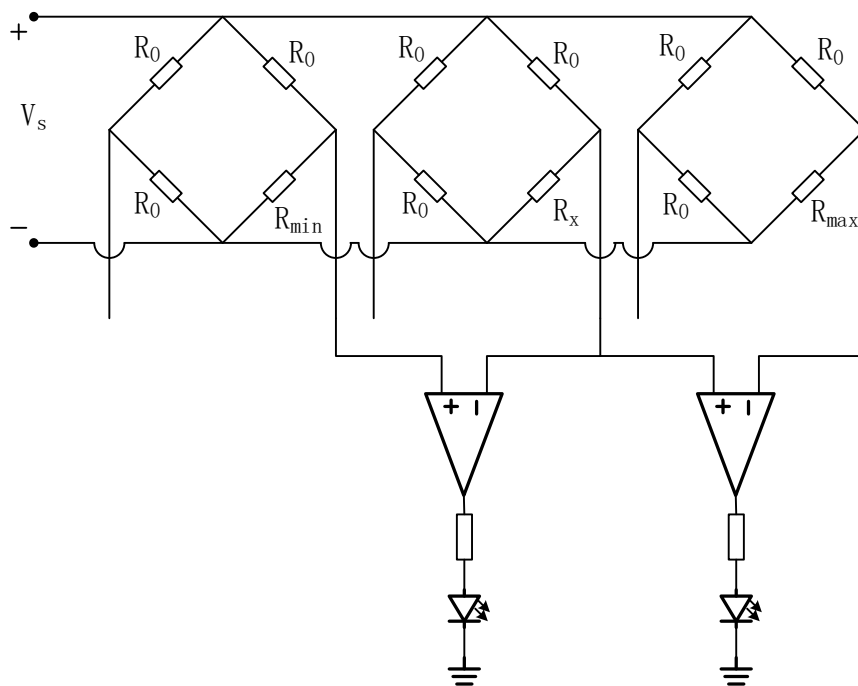
所以
$$U_{TH2} = R\left(\frac{V_{EE}}{R_2} - \frac{U_{REF}}{R_1}\right)$$

回差
$$\Delta U_T = U_{TH2} - U_{TH1} = \frac{R}{R_2}(V_{EE} + V_{CC})$$

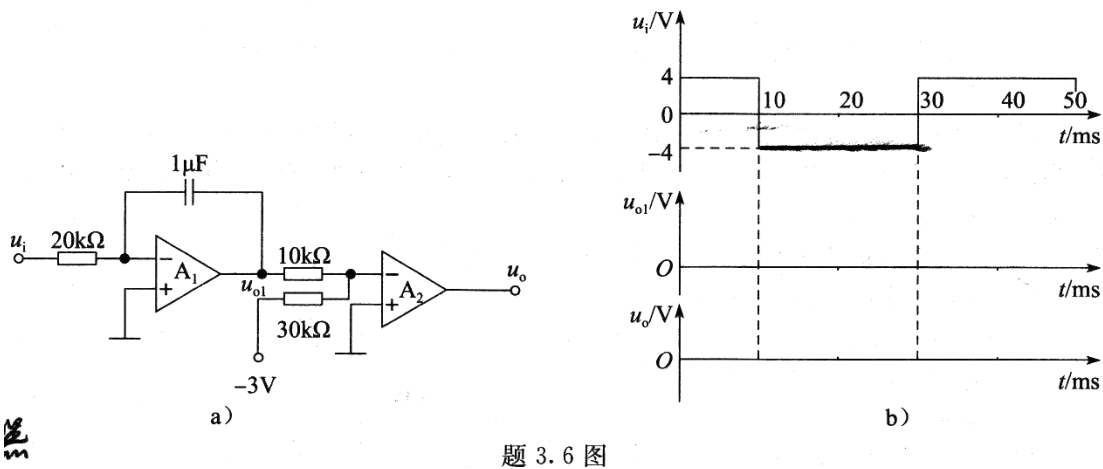


题 3.4 试设计一个电阻阻值合格与否的判断电路，设被测电阻标称值为 $R=1\text{k}\Omega$ ，在 $\pm 10\%$ 范围内都满足要求。当阻值大于 10% 时红色发光二极管点亮，而当阻值小于 10% 时，绿色发光二极管点亮，符合要求时两个发光二极管都不亮。

- (1) 考虑到测量精度，零示法的精度最高，例如称重天平，测量电阻最精确的方法是电桥；
- (2) 参考电平的产生也基于标准电阻
 - a) $R_{\text{max}}=1.1\text{k}\Omega$
 - b) $R_{\text{max}}=0.9\text{k}\Omega$
- (3) 不用的悬空支路可以裁掉。
- (4) 电源电压不宜太高。



题 3.6 电路如题 3.6 图 a 所示，当输入端加上如题 3.6 图 b 所示信号时，试画出 u_{o1} 和 u_o 的波形图，并标出各转折点电压值(设运放工作的电源电压为 $\pm 5V$)。



题 3.6 图

答：(1) 对于 A1 来说，构成积分电路计算公式为

$$u_{o1} = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_i dt = -\frac{1}{0.02} \int_0^t u_i dt$$

$0 < t < 10$ 时 $u_i = 4V$, $u_{o1} = -0.2t(V)$, $u_{o1}(t=10ms) = -2V$

$10 < t < 30$ 时 $u_i = -4V$, $u_{o1} = 0.2t - 2(V)$, $u_{o1}(t=30) = 2V$

$30 < t < 50$ 时 $u_i = 4V$, $u_o = -0.2t + 2(V)$

(2) 对于 A2 来说，电路构成电压比较器

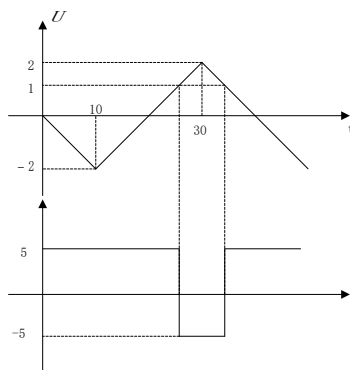
$$u_- = \frac{3}{4}u_{o1,th} + \frac{1}{4}(-3) = \frac{3}{4}(u_{o1,th} - 1)$$

$$u_+ = 0$$

$$u_{o1,th} = 1V$$

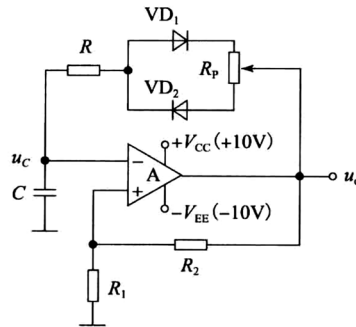
所以与 1 比较

只有在 $25 < t < 35$ 时 $u_+ < u_-$ $u_o = -5V$



题 3.7 电路如题 3.7 图所示。已知电阻 $R=10\text{k}\Omega$, $R_1=12\text{k}\Omega$, $R_2=15\text{k}\Omega$, 电位器 $R_p=100\text{k}\Omega$, $C=0.01\mu\text{F}$ 。(忽略二极管的导通电阻。)

- 1) 试画出当电位器的滑动端调在中间位置时, 输出电压 u_o 和电容电压 u_c 的波形, 并计算 u_o 的振荡频率 f 。
- 2) 当电位器的滑动端分别调至最上端和最下端时, 电容的充电时间 T_1 、放电时间 T_2 、输出波形的振荡频率 f 及占空比各为多少?



题 3.7 图

(1) 刚开始时 $U_c=0$ $U_o=V_{CC}$

$$\text{所以 } V_{TH1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC}, \quad V_{TH2} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{EE}$$

$$u_c(t) = u_c(\infty) + [u_c(0_+) - u_c(\infty)]e^{-t/\tau}$$

电容上电压从负阈值充电到正阈值:

$$U_c(t) = V_{CC} + \left(-\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} - V_{CC}\right) e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

$$\text{占空比 } 50\%: U_c\left(\frac{T}{2}\right) = V_{TH1} \quad (2)$$

$$\text{将 (2) 代入 (1) 得 } T = -2\tau \ln\left(\frac{R_1}{2R_1 + R_2}\right)$$

$$\text{所以 } f = \frac{1}{T} = 872\text{Hz}$$

(2) 滑到最上端, 充电过程

$$U_c(0_+) = V_{TH2} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{EE}, \quad U_c(\infty) = V_{CC}$$

$$\tau = R_{\text{charge}} C = (R_p + R) C$$

$$U_c(T_1) = V_{TH1} \quad (3)$$

将 (3) 代入 (1) $T_1 = 1.05 \times 10^{-3}\text{s}$

$$\text{同理, 放电过程 } U_c(0_+) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$U_c(\infty) = -V_{CC}$$

$$U_c(t) = -V_{CC} + \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} + V_{CC}\right) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

(4)

$$U_c(T_2) = V_{TH2}$$

$$T_2 = 0.96 \times 10^{-4}\text{s}$$

$$\text{所以 } f = \frac{1}{T_1 + T_2} = 872\text{Hz}$$

$$\text{占空比} = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = 91.6\%$$

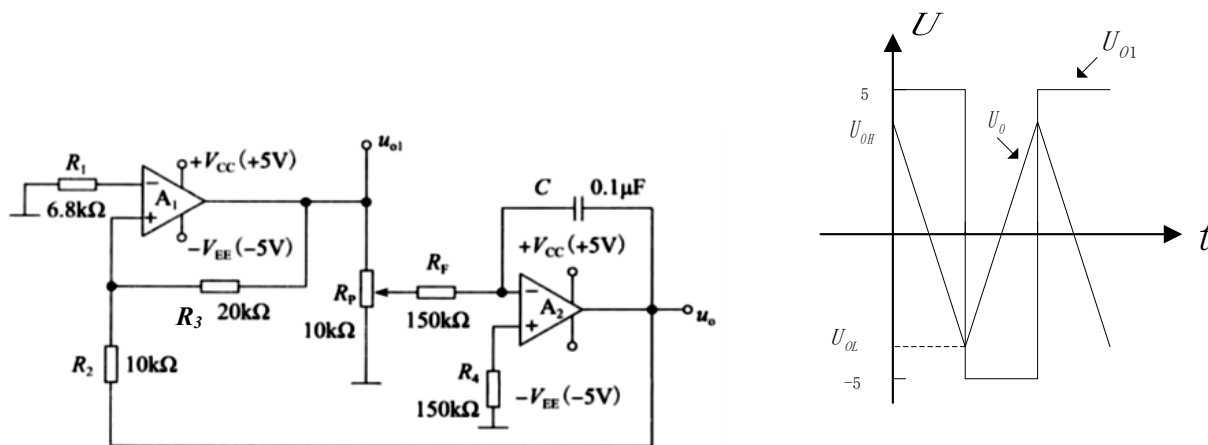
滑到最下端, 原理其实相同, 就是充放电时间相反

$$\text{所以 } f = \frac{1}{T_1 + T_2} = 872\text{Hz}$$

$$\text{占空比} = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = 8.4\%$$

题 3.8 方波-三角波发生电路如题 3.8 图所示，试画出 u_{o1} 、 u_o 点的波形，并求：

- 1) 电路的最高振荡频率。
- 2) 方波和三角波的峰峰值。



题 3.8 图

解：（1）设滑动变阻器下端电阻为 KR_p ，上端的电阻为 $(1-K)R_p$ 。由于 R_F 比 R_p 大很多，所以滑动头的电压 u_p 近似等于 Ku_{o1}

$$u_o = -\frac{1}{R_F C} \int_0^t u_p dt = -\frac{1}{R_F C} \int_0^t Ku_{o1} dt = -\frac{Ku_{o1}}{R_F C} t + u_o(0) \quad (1)$$

在 u_{o1H} 和 u_{o1L} 都确定的条件下，三角波中直线斜率越大，周期越短，所以 $K=1$ 。

如果不做大 R_F 近似，则要严格计算积分电流，设滑动头电压 u_p 。

$$\frac{u_{o1} - u_p}{(1-k)R_p} = \frac{u_p}{kR_p} + \frac{u_p}{R_F}, \text{ 积分电流 } i_F = \frac{u_p}{R_F} = \frac{u_{o1}}{(1-k)R_p + \frac{1}{k}R_F} = \frac{u_{o1}}{R_{int}},$$

等效输入积分电阻 $R_{int} = (1-k)R_p + \frac{1}{k}R_F$ ，是随 k 的单调减函数，所以在 $k=1$ 时积分电阻最小。

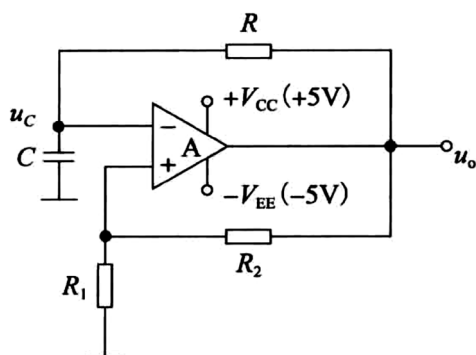
运放 A1 的阈值 $U_{p1}=0$ 时， $U_{o1}=5V$ ，由叠加定理可知 $\frac{V_{CC}}{R_3} = -\frac{U_{OTH}}{R_2}$ ，所以 $U_{OTH}=-2.5V$ 。

从输出 0V 积分到 U_{OTH} 的时间是 $t=T/4$

将上面数值代入（1）式，得到 $T=30ms$ 即 $f=33.3Hz$ 。

（2）从第一小题的解答中可以知道，方波的峰峰值为 10V
三角波的峰峰值为 5V。

题 3.9 如题 3.9 图所示为一个方波产生电路，如果要求输出的方波频率为 1kHz，试确定电路中电阻电容的参数值。



解： $|V_{TH}| = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC}$

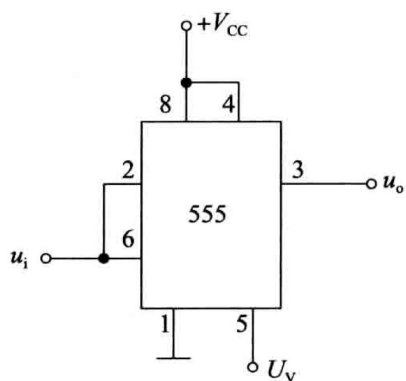
设一个周期为 T ，开始时电容电压为 $-|V_{TH}|$ ，充电到 $|V_{TH}|$ ，需要 $T/2 = 5 \times 10^{-4} \text{s}$

$$|V_{TH}| = V_{CC} + (-|V_{TH}| - V_{CC}) \exp\left(-\frac{T/2}{RC}\right)$$

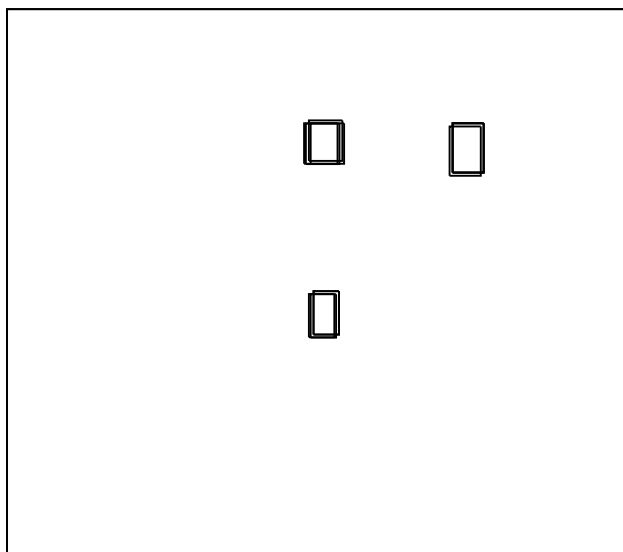
将数值代入可得到关系式

$$T = -2RC \ln\left(\frac{R_2}{2R_1 + R_2}\right)$$

题 3.10 电路如题 3.10 图所示，如果 $V_{CC}=5V$ ，5 脚所接的外加电压 $U_V=4V$ ，输入信号为一个正弦波 $u_i=5\sin\omega t(V)$ ，试画出该电路的传输特性曲线及输出波形，并标出各转折点电压值。

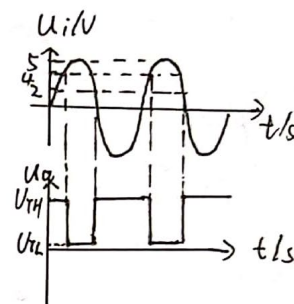
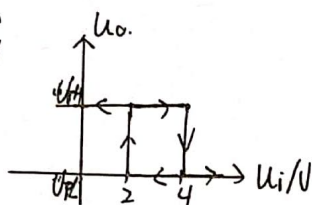


题 3.10 图

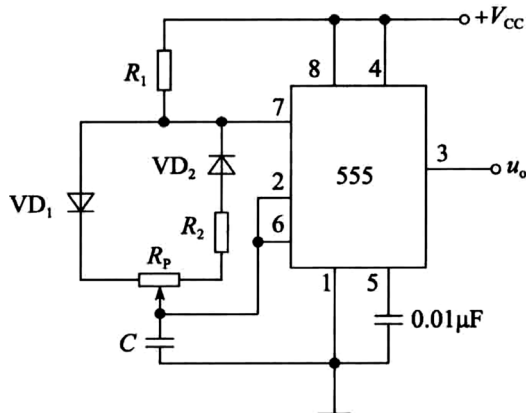


$U_{TH}=4, U_{TL}=2$
 $\therefore u_i < 2V \quad u_o = 1$
 $2V < u_i < 4V \quad u_o \text{ 状态不变}$
 $u_o > 4V \quad u_o = 0$

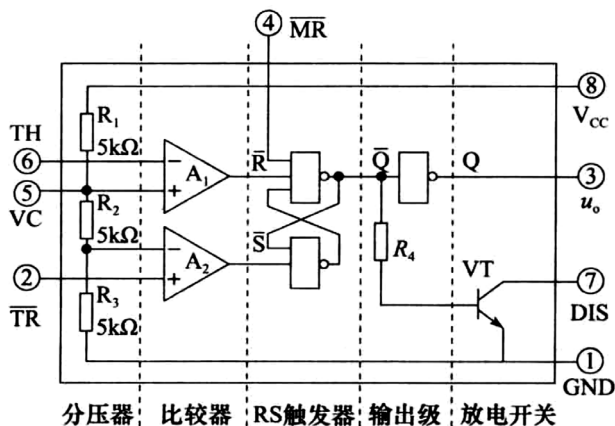
\therefore 特性曲线



题 3.12 如题 3.12 图所示为占空比可调的矩形波产生电路，设二极管正向导通电阻为零。试分析其输出波形占空比取决于哪些参数。若要求占空比为 50%，则这些参数应如何选择？写出输出波形的周期表达式。



题 3.12 图



a) 555 电路结构方框图

解：设滑动变阻器左边是 R_{p1} ，右边为 R_{p2}

V_{CC} 通过 R_1 、 R_{p1} 给电容充电 $\tau_1 = (R_1 + R_{p1})C$

放电过程是通过 R_{p2} 和 R_2 实现 $\tau_2 = (R_2 + R_{p2})C$

$$U_c(t) = U_c(\infty) + (U_c(0_+) - U_c(\infty)) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (1)$$

将充电过程的参数代入 (1)

$$t=t_1 \quad \tau = \tau_1 \quad U_c(\infty) = V_{CC} \quad U_c(0_+) = \frac{1}{3}V_{CC} \quad U_c(t) = \frac{2}{3}V_{CC}$$

$$\text{得到 } t_1 = \ln 2(R_1 + R_{p1})C$$

$$\text{同理放电过程得到 } t_2 = \ln 2(R_2 + R_{p2})C$$

$$\text{所以 } T = t_1 + t_2 = \ln 2(R_1 + R_2 + R_p)C$$

占空比=50%

$$\frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{R_1 + R_{p1}}{R_1 + R_2 + R_p} = 50\%$$

所以占空比取决于 R_1 、 R_2 和滑动变阻器的位置。