

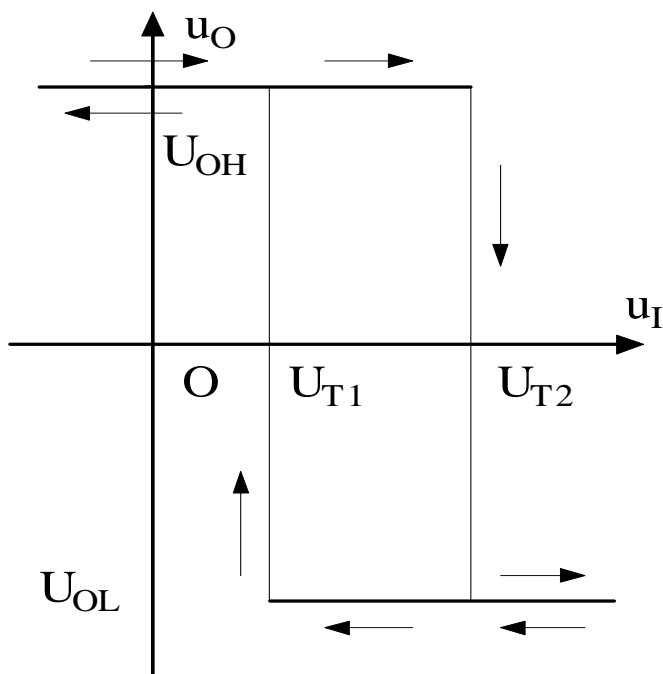
第七章 波形发生及信号的转换

- 电压比较器
- 正弦波振荡电路
- 非正弦波发生电路
- 信号转换电路

一、电压比较器

1、概述

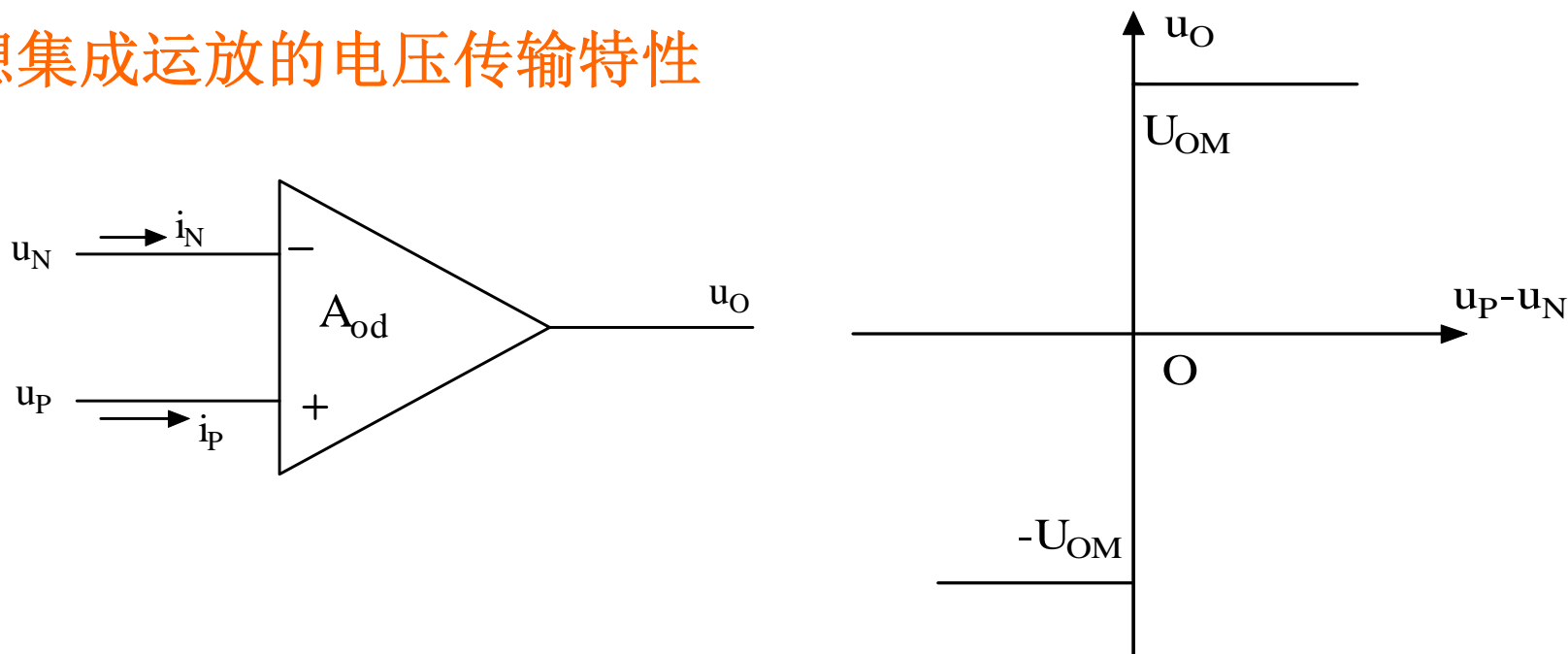
电压比较器是一种常见的模拟信号处理电路，将一个模拟输入电压与一个参考电压进行比较，并将比较结果输出，输出只有两种可能的状态：高电平和低电平。



比较器电压传输特性：

- 高电平 U_{OH} 和低电平 U_{OL} ；
- 阈值电压 U_{T1} 、 U_{T2} ；
- 跃变方向

理想集成运放的电压传输特性



可以利用工作在非线性区的理想集成运放实现电压比较器的功能，即理想集成运放工作在开环或组成正反馈电路。

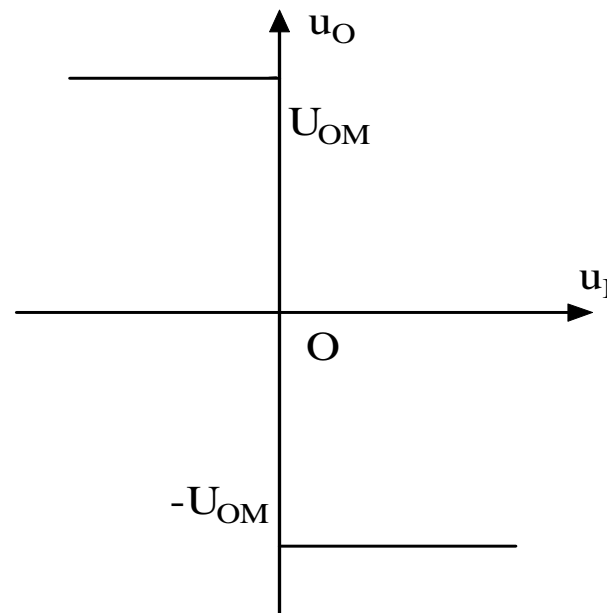
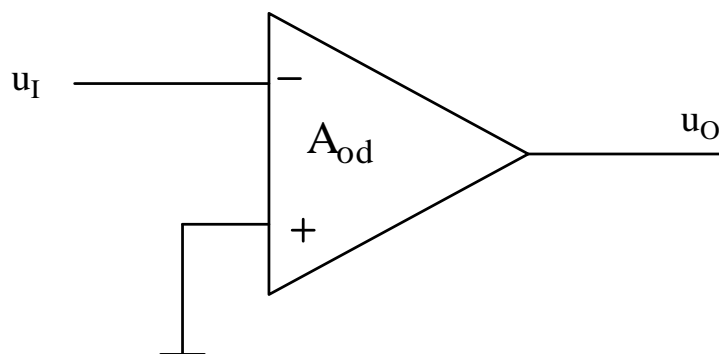
分析方法：

$$\mathbf{i_N = i_P = 0} \quad \text{—————} \quad \text{虚断}$$

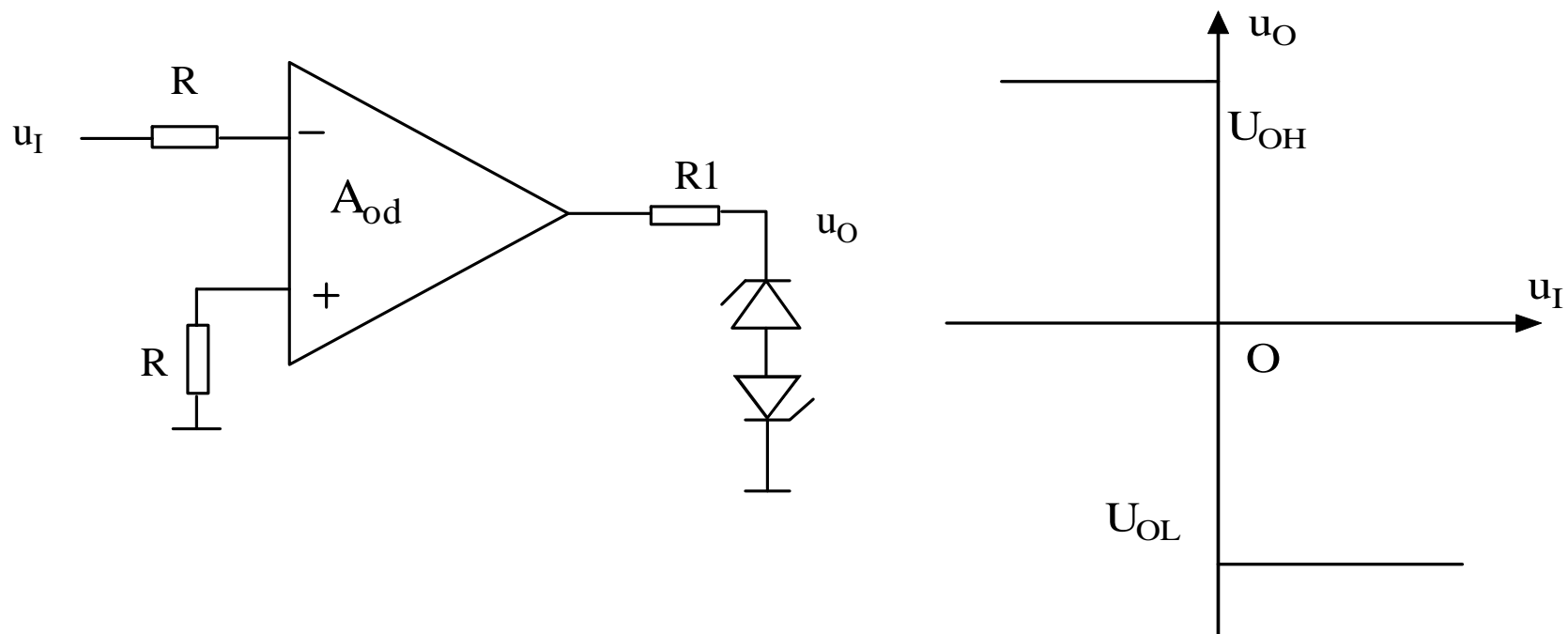
$$u_O = \begin{cases} +U_{OM} & u_P > u_N \\ -U_{OM} & u_P < u_N \end{cases} \quad \text{—————} \quad \text{饱和输出}$$

2、单限比较器—只有一个阈值电压 U_T

1) 过零比较器, $U_T=0$

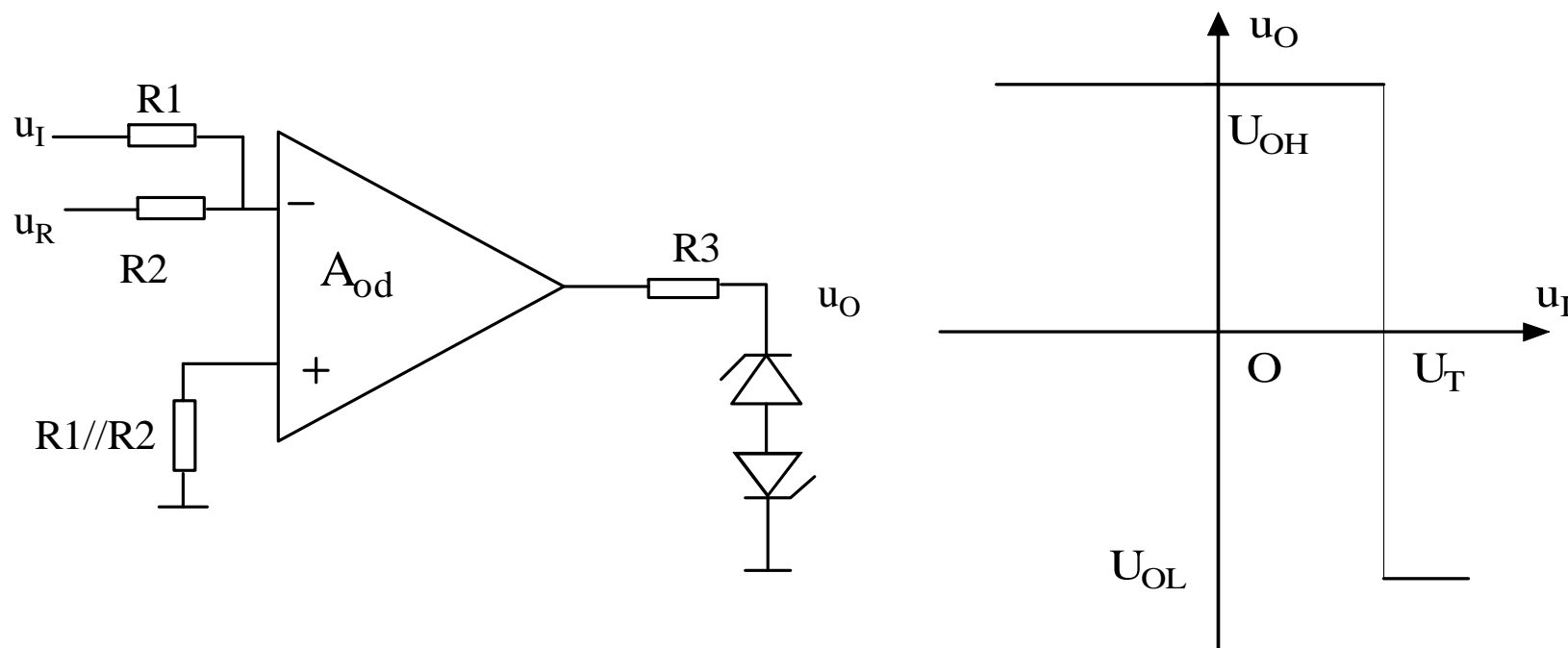


$$u_o = f(u_i) = \begin{cases} U_{OH} = U_{OM} & u_i < 0 \\ U_{OL} = -U_{OM} & u_i > 0 \end{cases}$$



$$u_O = f(u_I) = \begin{cases} U_{OH} = U_Z + U_{D(on)} & u_I < 0 \\ U_{OL} = -(U_Z + U_{D(on)}) & u_I > 0 \end{cases}$$

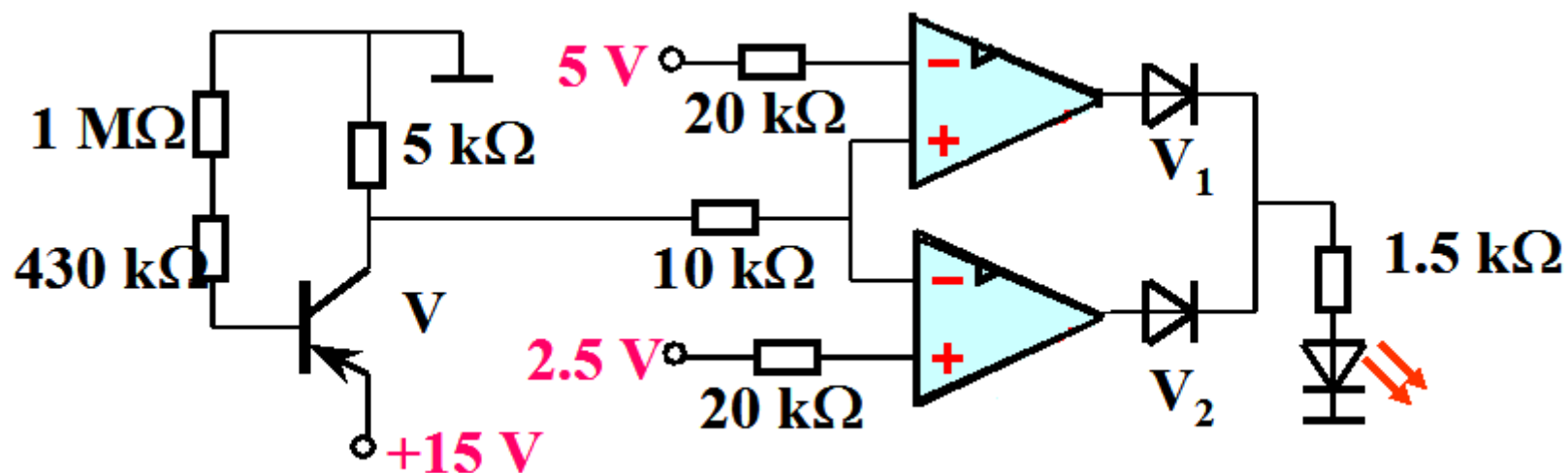
2) 一般单限比较器, U_T 为任意值



$$u_O = f(u_I) = \begin{cases} U_{OH} = U_Z + U_{D(on)} & u_I < -\frac{R_1}{R_2} u_R \\ U_{OL} = -(U_Z + U_{D(on)}) & u_I > -\frac{R_1}{R_2} u_R \end{cases}$$

例

— 三极管 β 值分选电路



分析电路是否满足要求: $\beta < 50$ 或 $\beta > 100$, LED 亮,

$50 \leq \beta \leq 100$, LED 不亮。

[解]

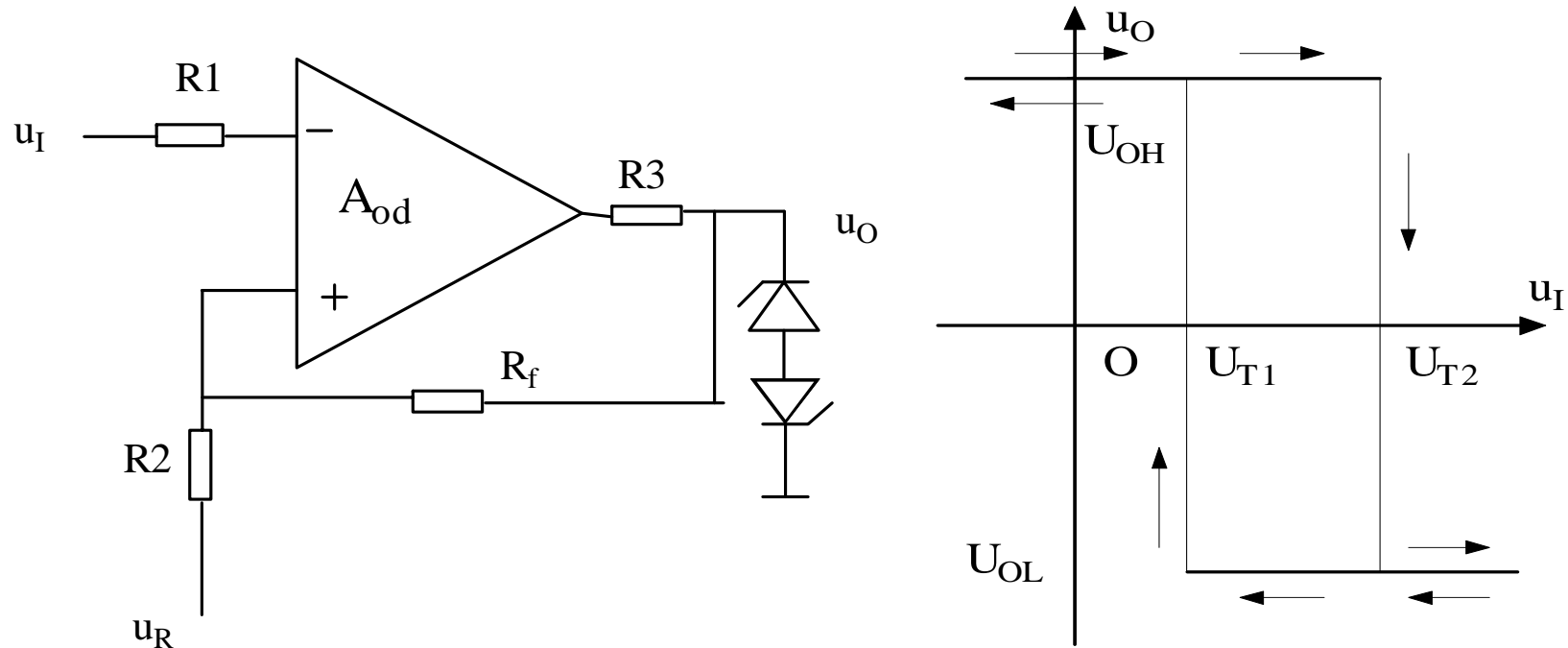
$$I_B = (15 - 0.7) / 1430 = 0.01 \text{ mA}$$

当 $\beta < 50$ 时, $I_C < 0.5 \text{ mA}$, $U_C < 2.5 \text{ V}$,
 V_2 导通, LED 亮

当 $\beta > 100$ 时, $I_C > 1 \text{ mA}$, $U_C > 5 \text{ V}$
 V_1 导通, LED 亮

当 $50 \leq \beta \leq 100$ 时, $2.5 \text{ V} \leq U_C < 5 \text{ V}$,
LED 不亮

3、迟滞比较器—有两个阈值电压



$$U_{T2} = \frac{U_R R_f + U_{OH} R_2}{R_2 + R_f}$$

$$U_{T1} = \frac{U_R R_f + U_{OL} R_2}{R_2 + R_f}$$

传输特性

当 u_I 逐渐增大时

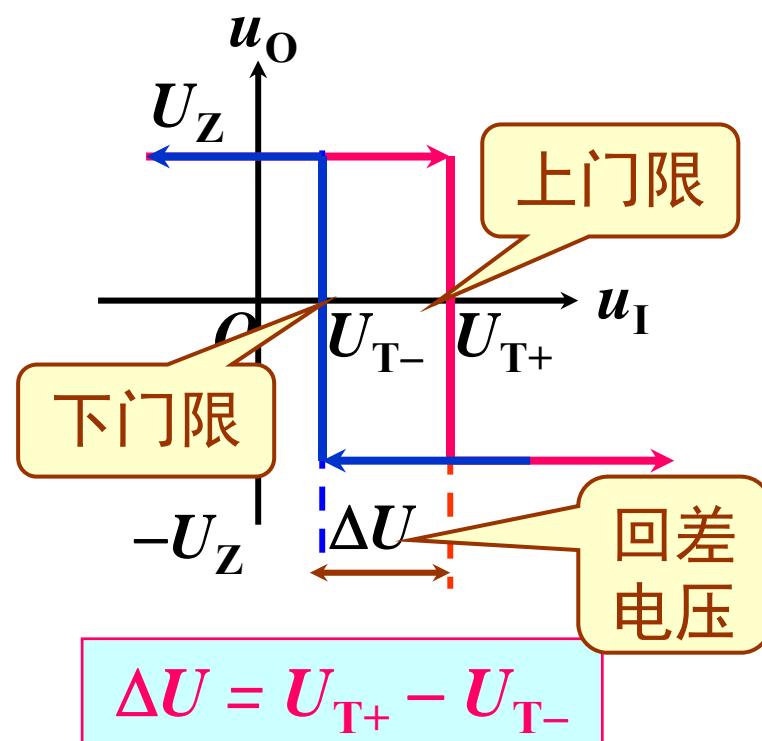
只要 $u_I < U_{T+}$ ，则 $u_O = U_Z$

一旦 $u_I > U_{T+}$ ，则 $u_O = -U_Z$

当 u_I 逐渐减小时

只要 $u_I > U_{T-}$ ，则 $u_O = -$

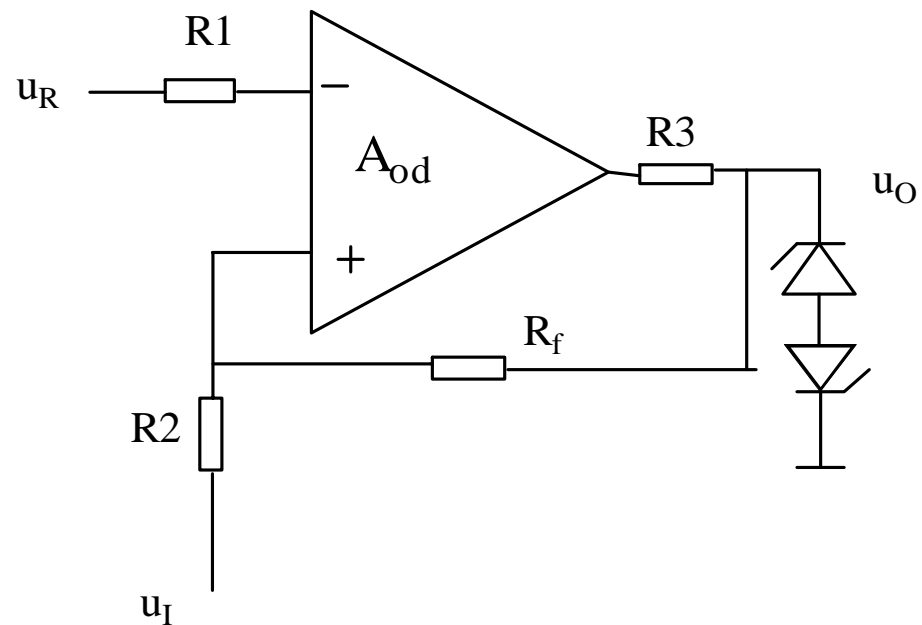
U_Z 且 $u_I < U_{T-}$ ，则 $u_O = U_Z$



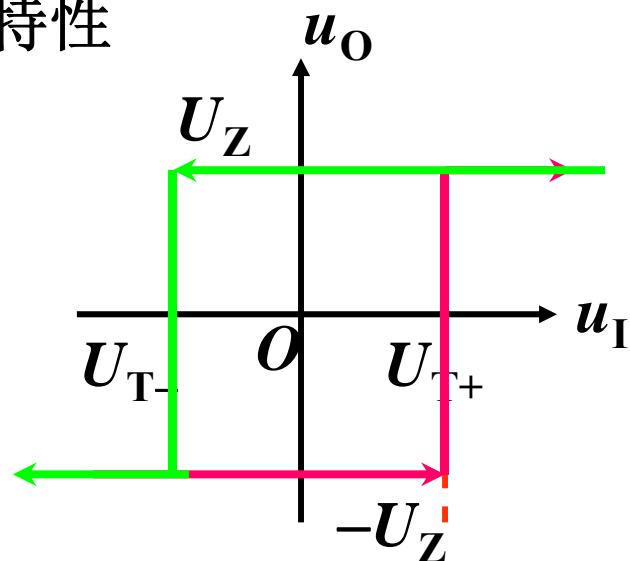
特点:

u_I 上升时与上门限比,
 u_I 下降时与下门限比。

同相输入



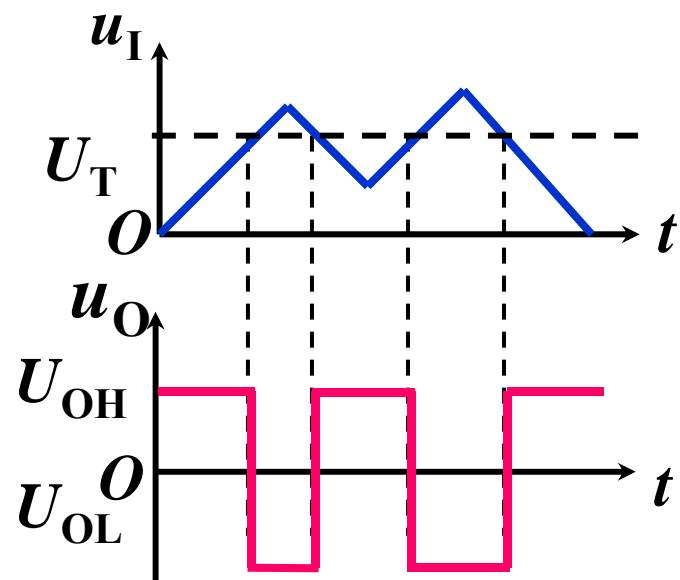
传输特性



特点:

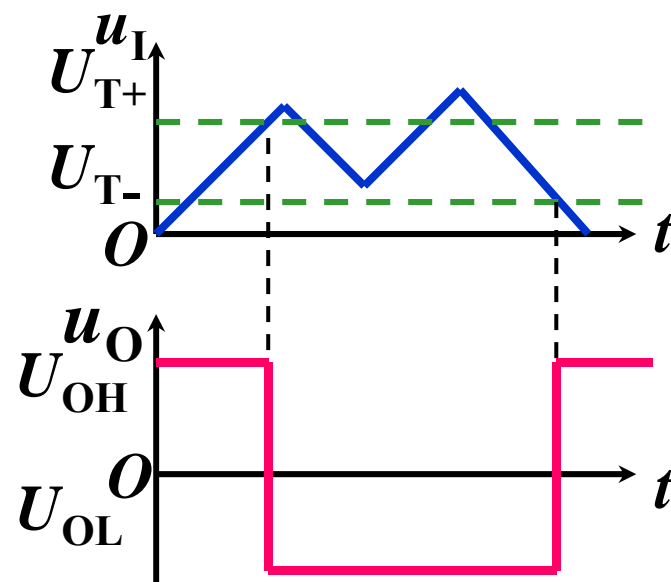
u_I 上升时与上门限比,
 u_I 下降时与下门限比。

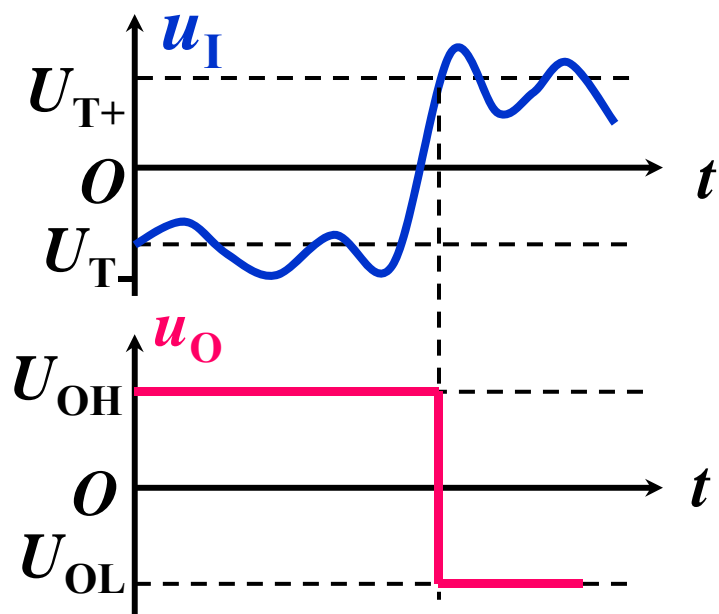
单门限比较



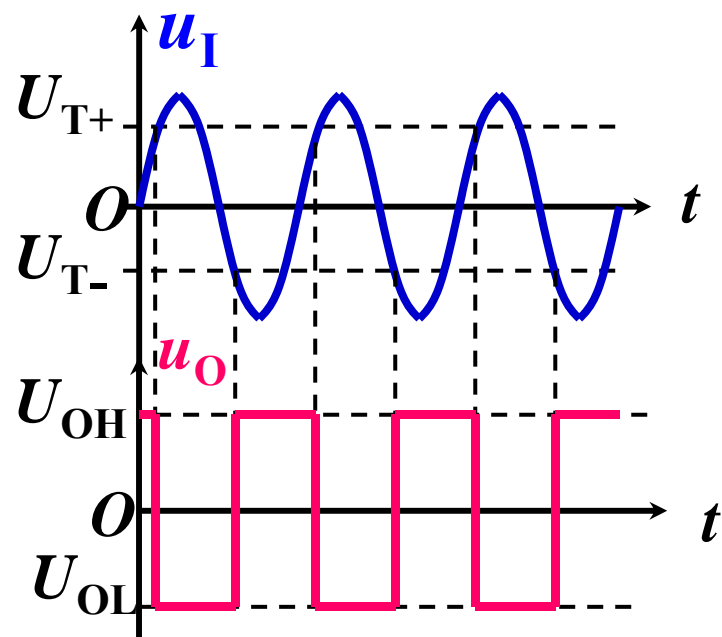
抗
干
扰

迟滞比较

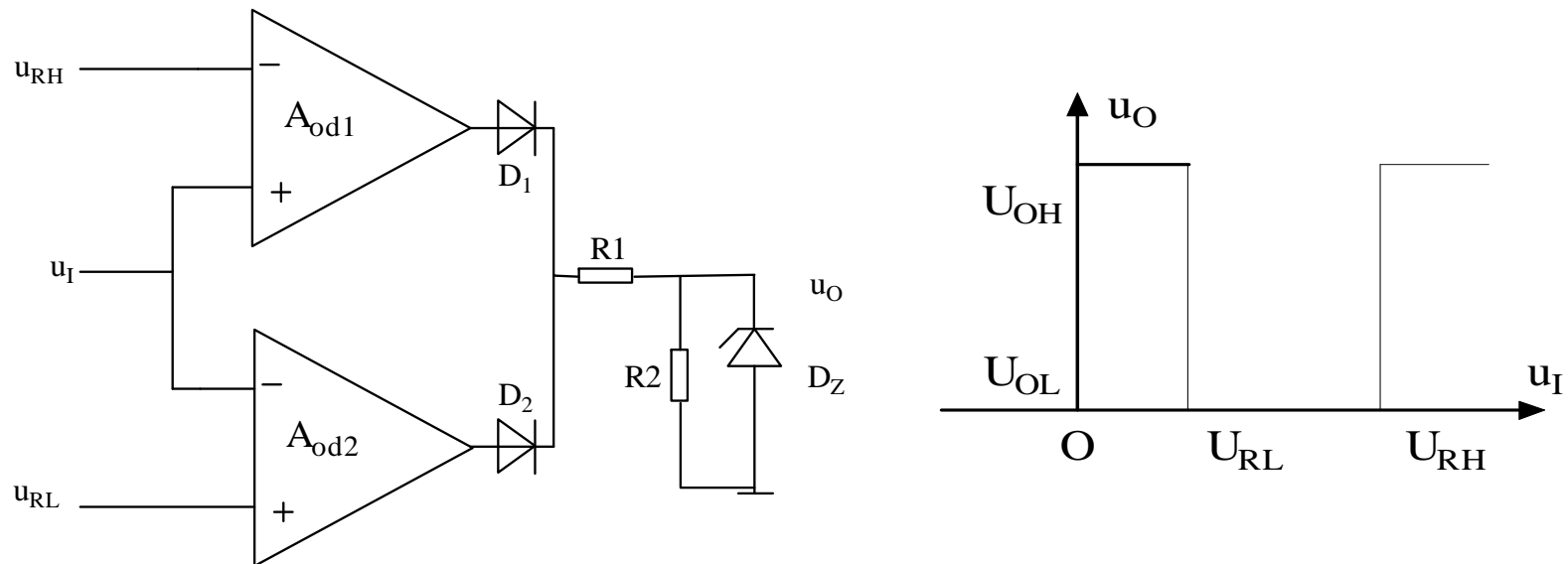




整形



4、窗口比较器—有两个阈值电压



u_I	u_{O1} u_{O2}	V_1 V_2	u_O
$< U_{RL}$	0 U_{Omax}	截止 导通	U_Z
$> U_{RH}$	U_{Omax} 0	导通 截止	U_Z
$U_2 < u_I < U_1$	0 0	截止 截止	0

二、RC正弦波振荡电路

1、振荡电路

振荡电路类型

波形：正弦波振荡电路和非正弦波振荡电路

工作原理：反馈式振荡电路和负阻式振荡电路

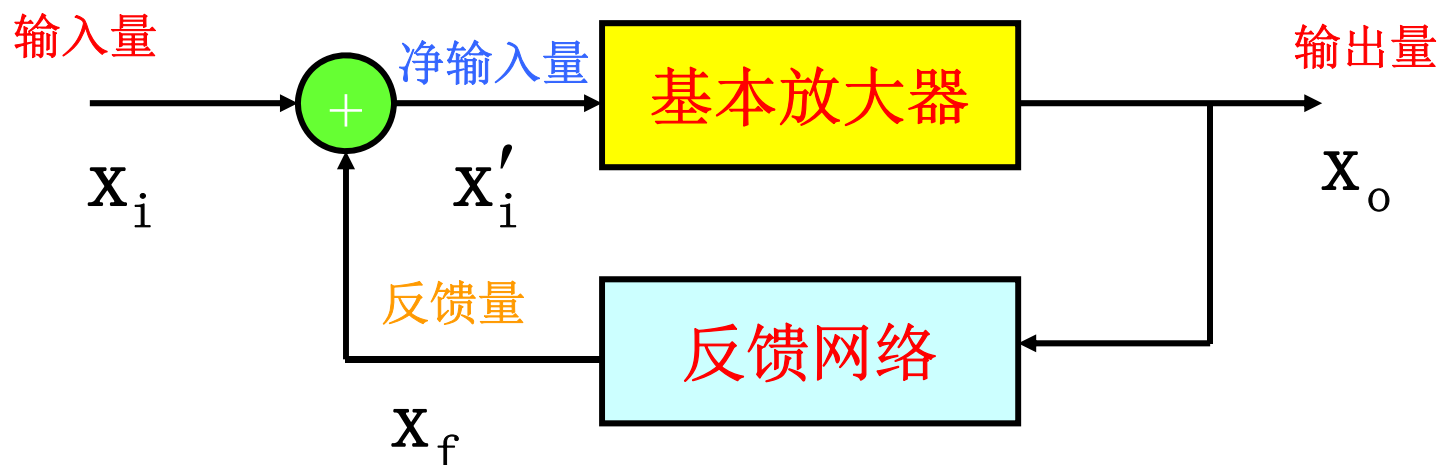
应用：频率输出型和功率输出型

正弦波振荡：
 RC 振荡器 (1 kHz ~ 数百 kHz)
 LC 振荡器 (几百 kHz 以上)
石英晶体振荡器 (频率稳定度高)

非正弦波振荡： 方波、三角波、锯齿波等

主要性能要求：
输出信号的幅度准确稳定
输出信号的频率准确稳定

2、反馈式振荡的基本原理



反馈式放大器

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{\dot{A}}{1 - \dot{A} \cdot \dot{F}}$$

$\dot{A} \cdot \dot{F} = 1$ 时， $\dot{X}_f = \dot{X}'_i$ 此时产生振荡

1) 平衡条件（振荡条件）

$$\dot{A} \cdot \dot{F} = 1$$

振幅平衡条件：

$$A \cdot F = 1$$

$$X_f = X'_i$$

相位平衡条件：

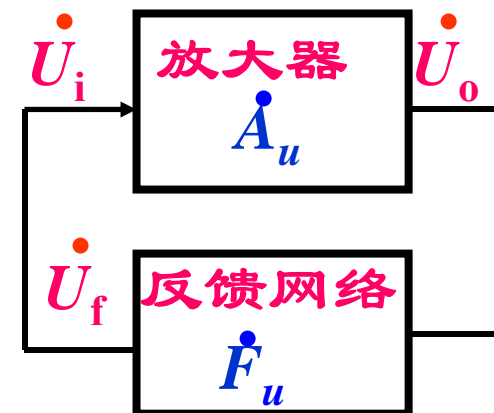
$$\varphi_A + \varphi_F = 2n \pi \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

2) 起振条件

$$A \cdot F > 1$$

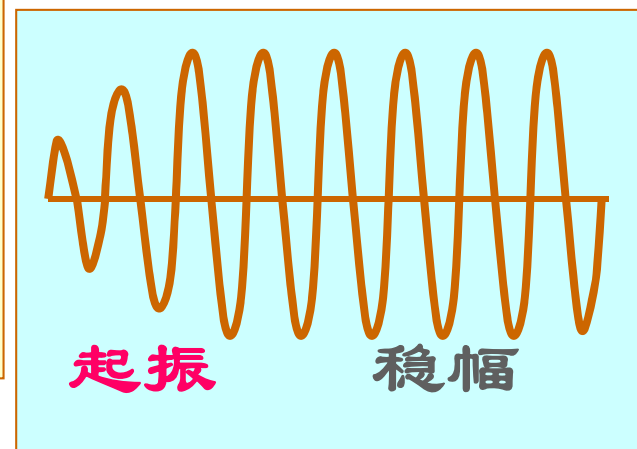
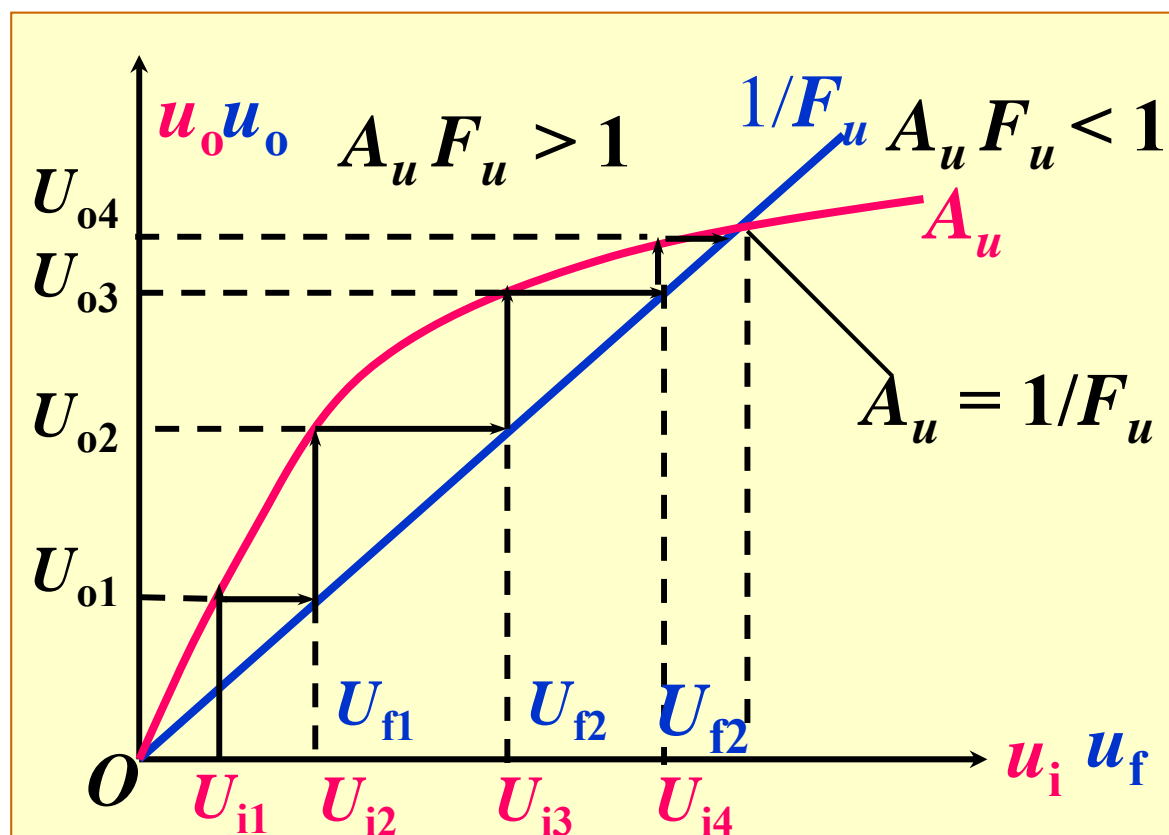
$$X_f > X'_i$$

$$\varphi_A + \varphi_F = 2n\pi$$



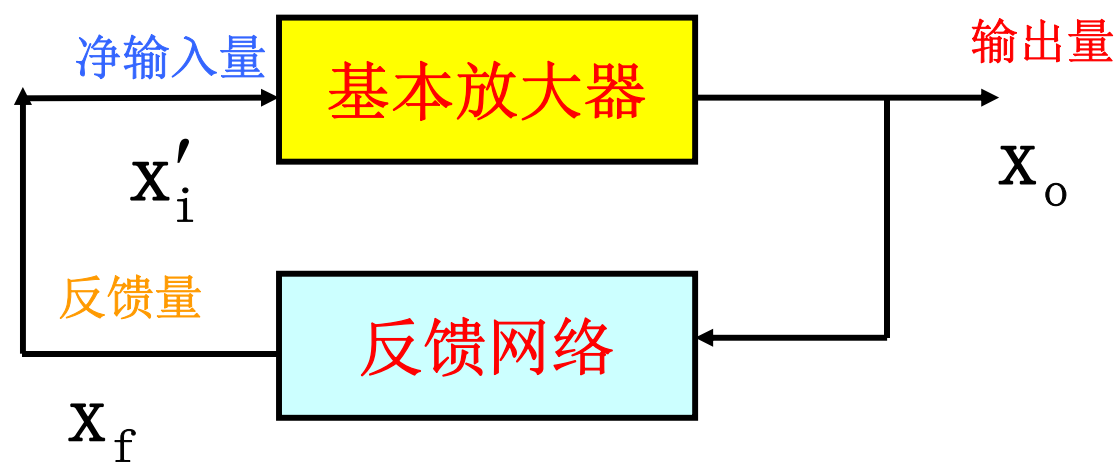
$$A_u = \frac{u_o}{u_i}$$

$$F_u = \frac{u_f}{u_o}$$



3、正弦波振荡电路

1) 振荡电路框图



2) 正弦波振荡电路组成

放大电路

选频网络

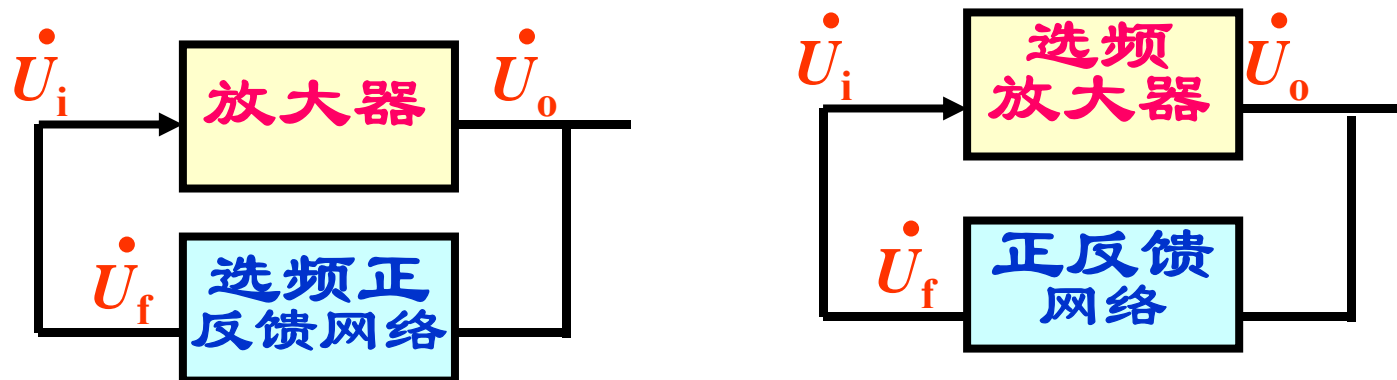
正反馈网络

稳幅环节

RC正弦波振荡电路

LC正弦波振荡电路

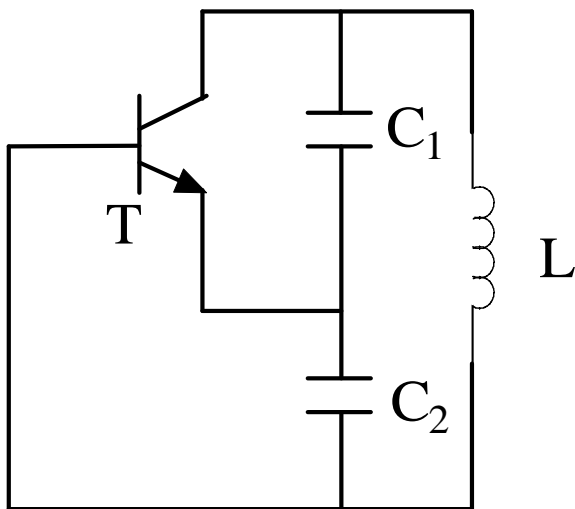
石英晶体正弦波振荡电路



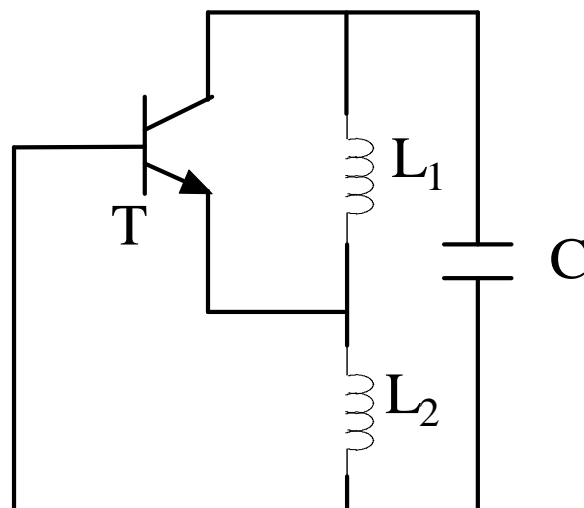
判断：

1. 检查电路组成
2. “ Q ”是否合适
3. 是否满足起振条件

LC正弦波振荡电路

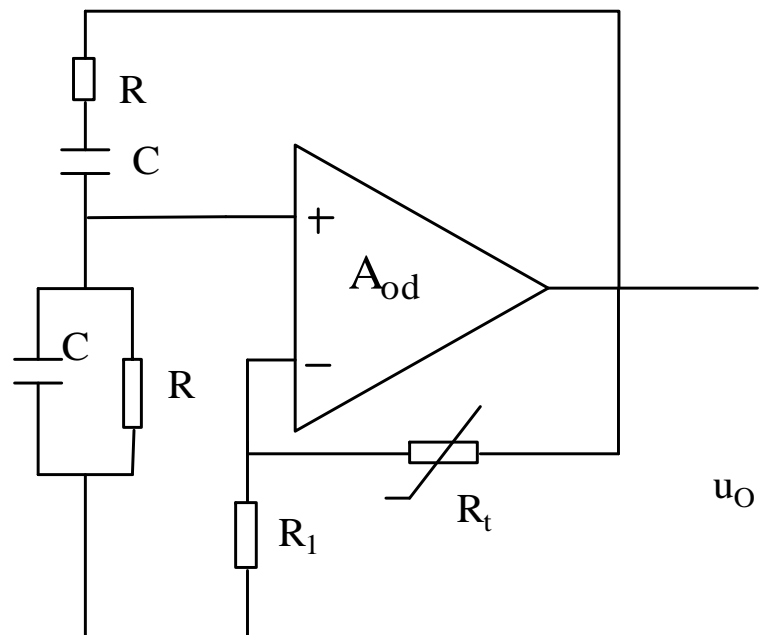


考毕兹电路



哈特来电路

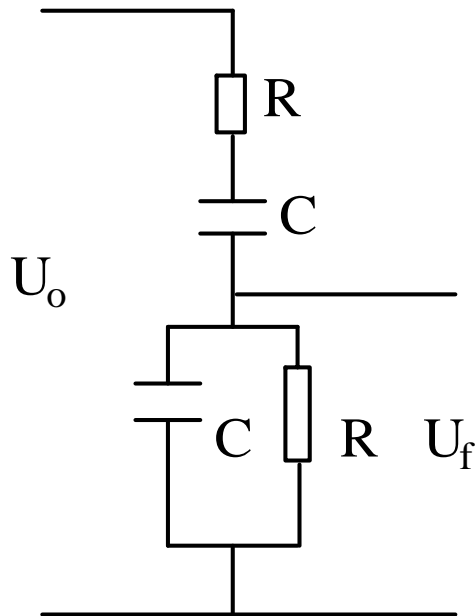
RC正弦波振荡电路



文氏电桥振荡器

4、RC正弦波振荡电路

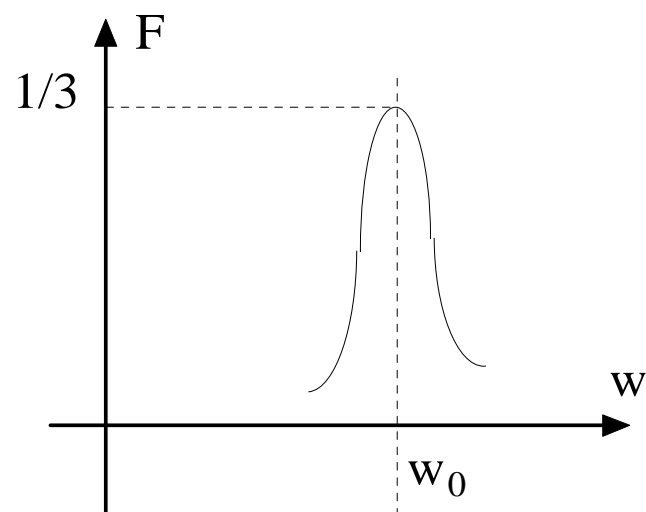
1) RC选频网络



$$\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} = \frac{\frac{R}{1 + j\omega RC}}{R + \frac{1}{j\omega C} + \frac{R}{1 + j\omega RC}} = \frac{1}{3 + j\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

幅频特性

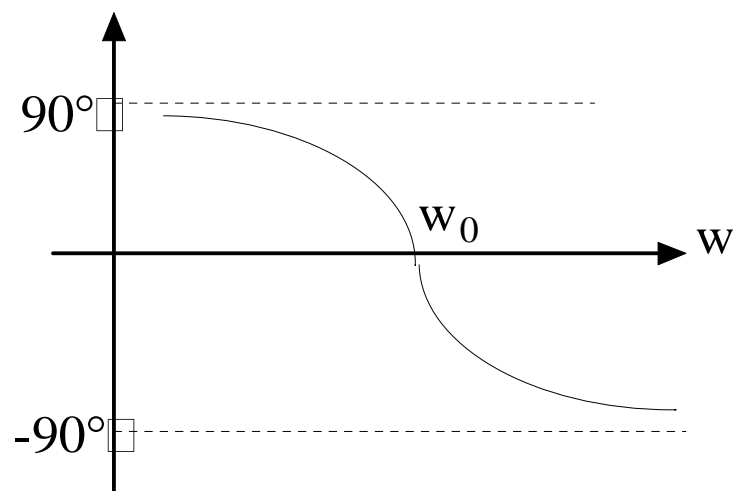


当 $w=w_0$ 时

$$F = \frac{1}{3}$$

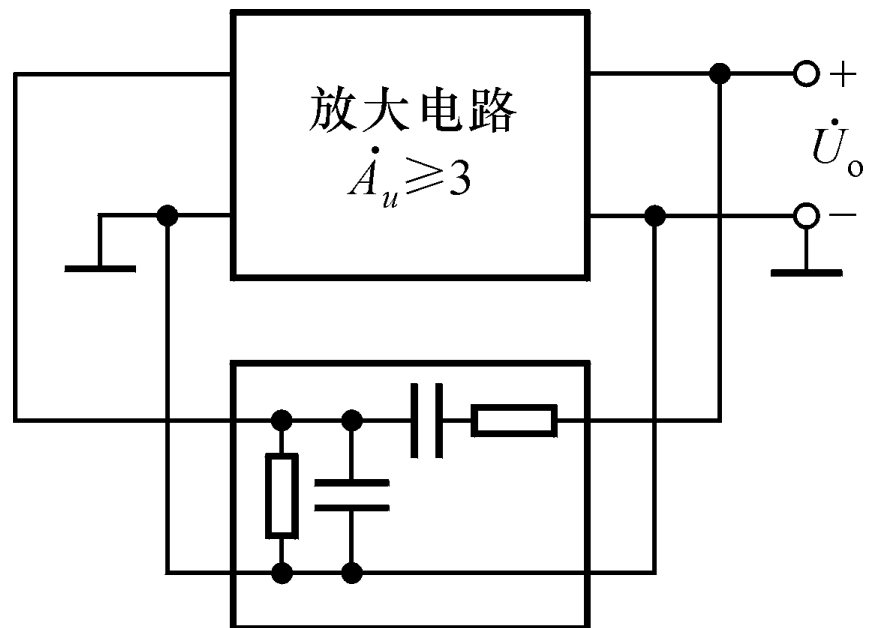
$$\varphi_F = 0^\circ$$

相频特性

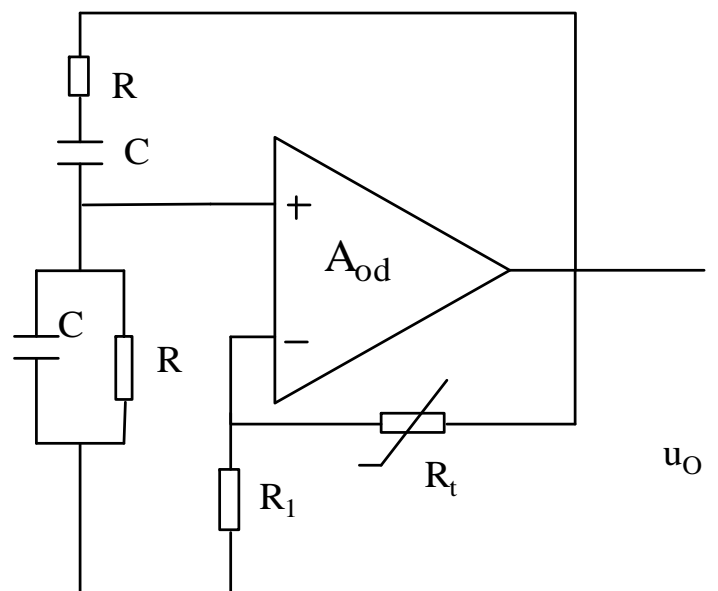


$$\dot{F} = \frac{1}{3}$$

利用
RC
选频
网络
组成
振荡
电路



文氏电桥振荡器



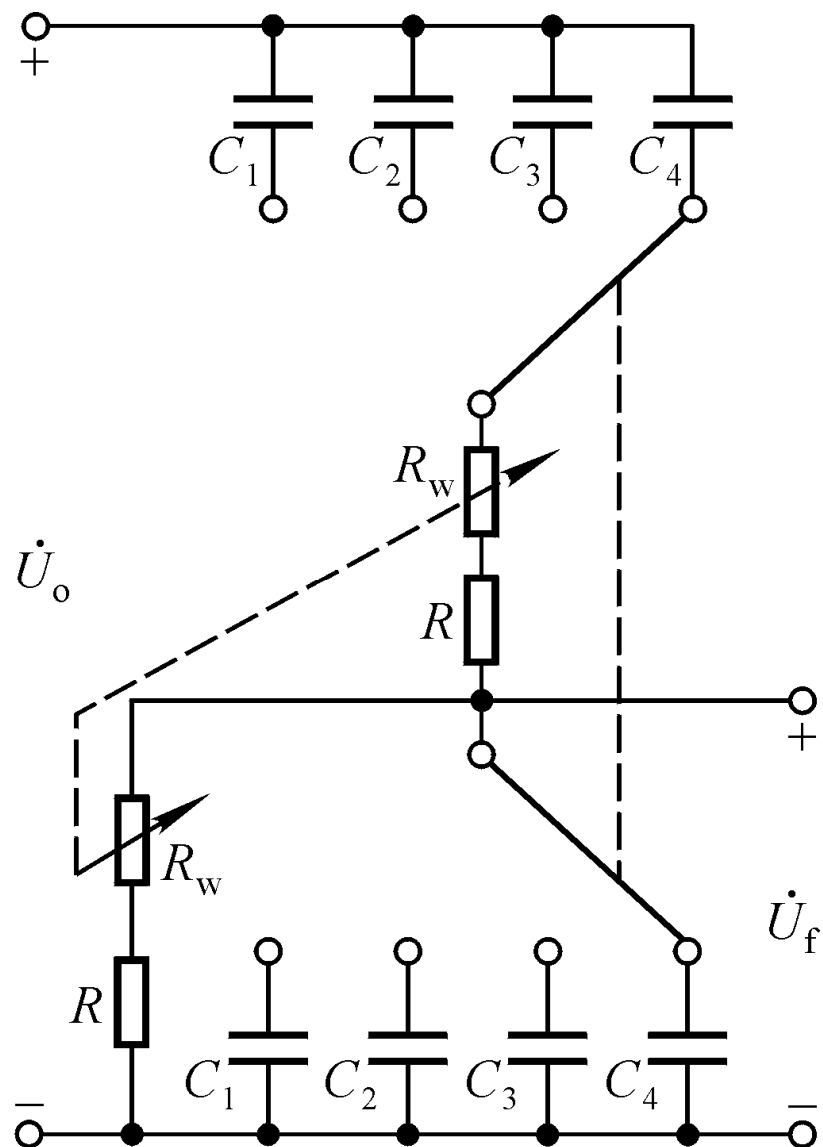
$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

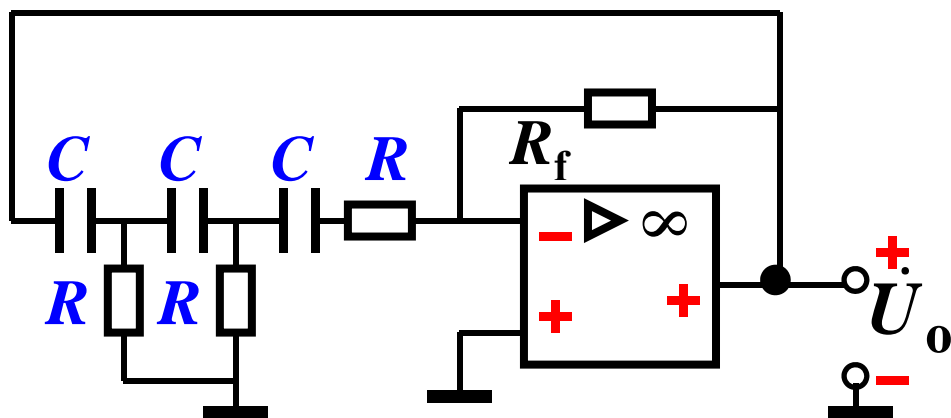
$$\frac{R_t}{R_1} \geq 2 \quad \text{满足起振条件}$$

R_t : 负温度系数的热敏电阻, 实现稳幅功能

振荡频率连续可调的 RC 串并联选频网络



RC 移相式振荡电路



一节 RC 环节

移相 $\rightarrow 90^\circ$

二节 RC 环节

移相 $\rightarrow 180^\circ$

三节 RC 环节

移相 $\rightarrow 270^\circ$

对于 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$ 的信号,

$$\varphi_F = 180^\circ$$

$$\because \varphi_A = -180^\circ \quad \therefore \varphi_{AF} = 0^\circ$$

— 满足相位平衡条件

优点: 结构简单

缺点: 选频特性差, 输出波形差

三、非正弦波发生电路

矩形波发生电路

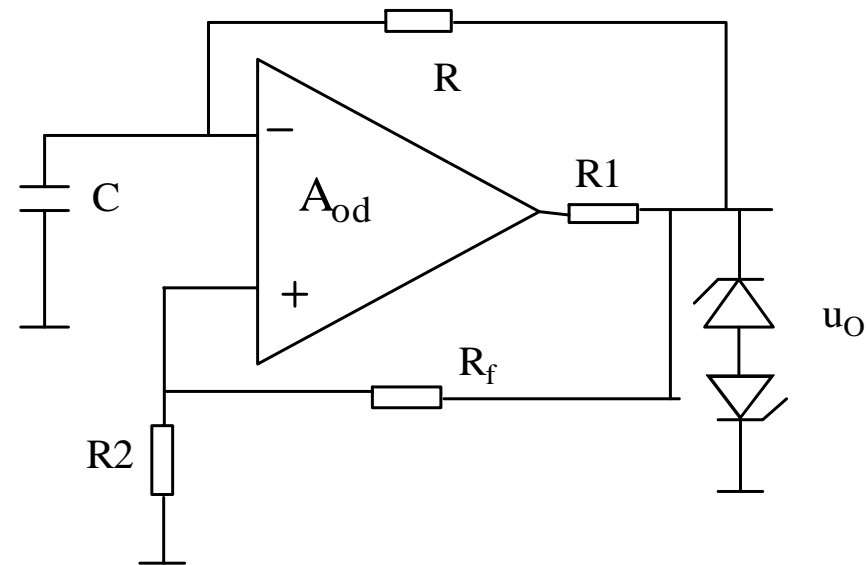
三角波发生电路

锯齿波发生电路

波形变换电路

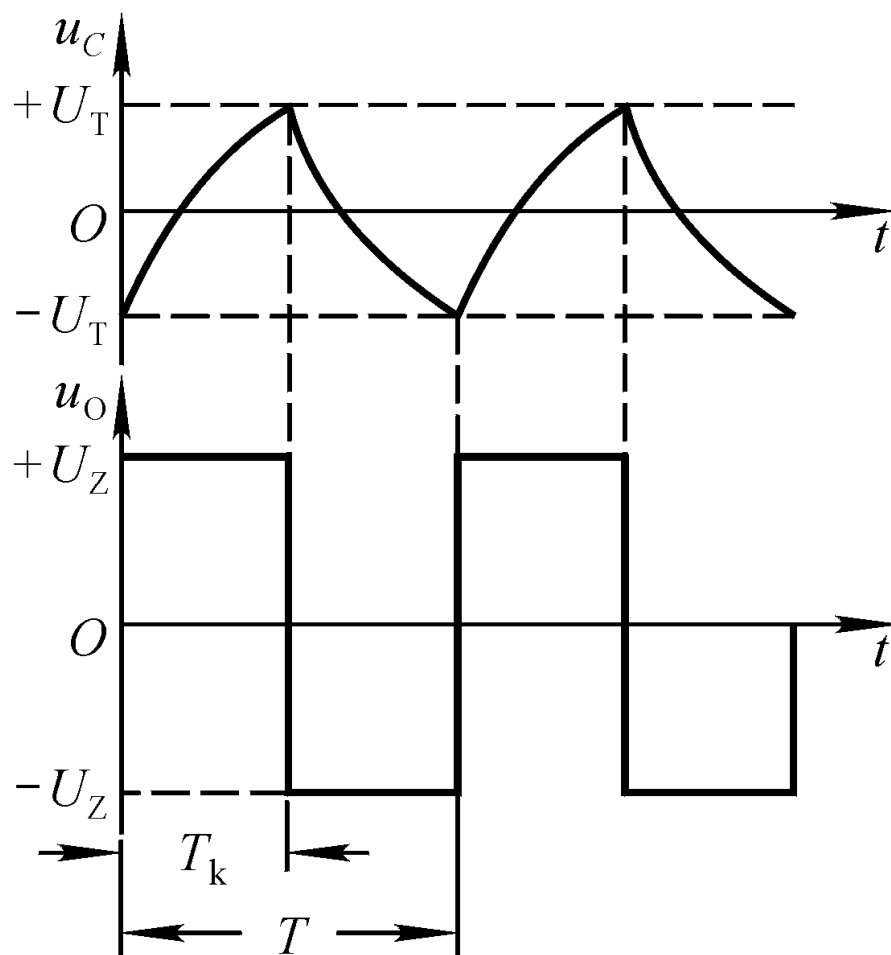
1、矩形波发生电路

1) 方波发生电路



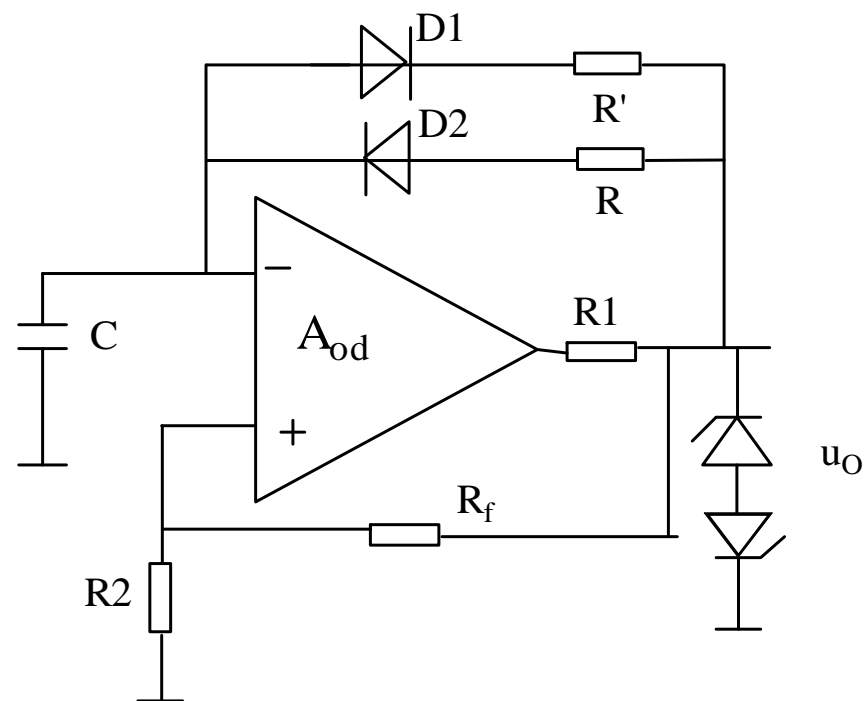
$$T = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_f}\right)$$

波形图



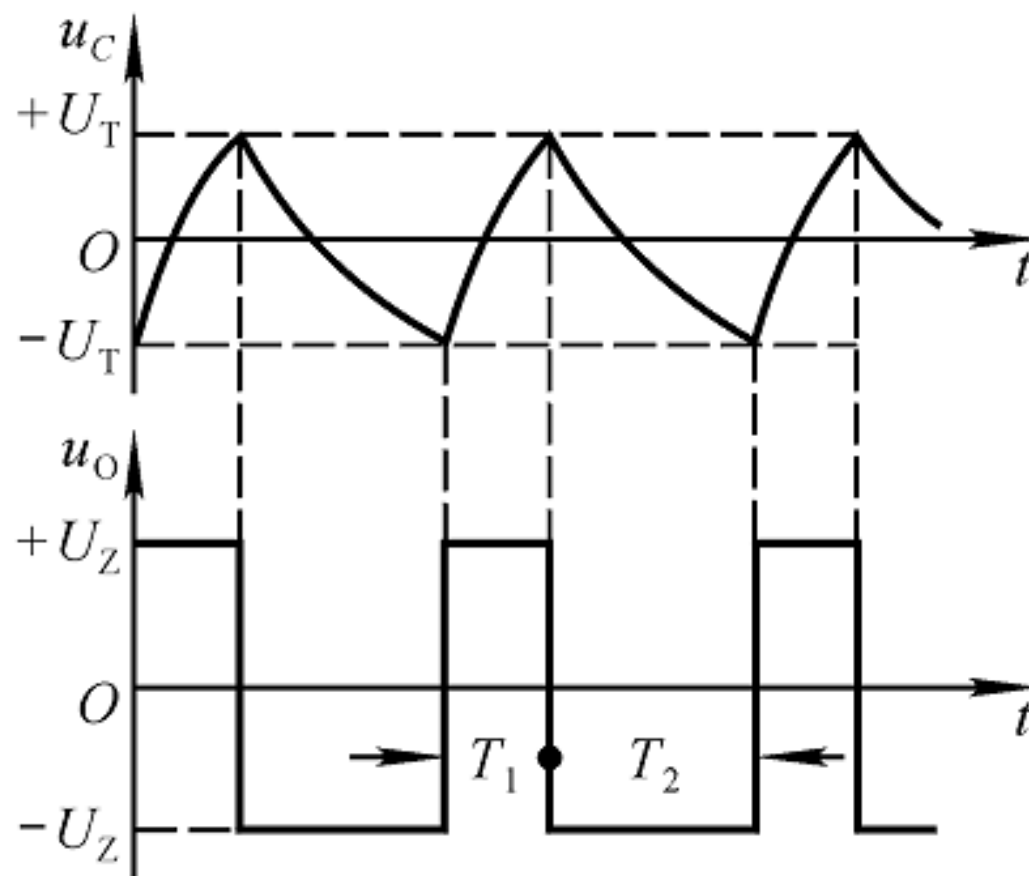
$$T = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_f}\right)$$

2) 矩形波发生电路



$$T = R' C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_f}\right) + RC \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_f}\right)$$

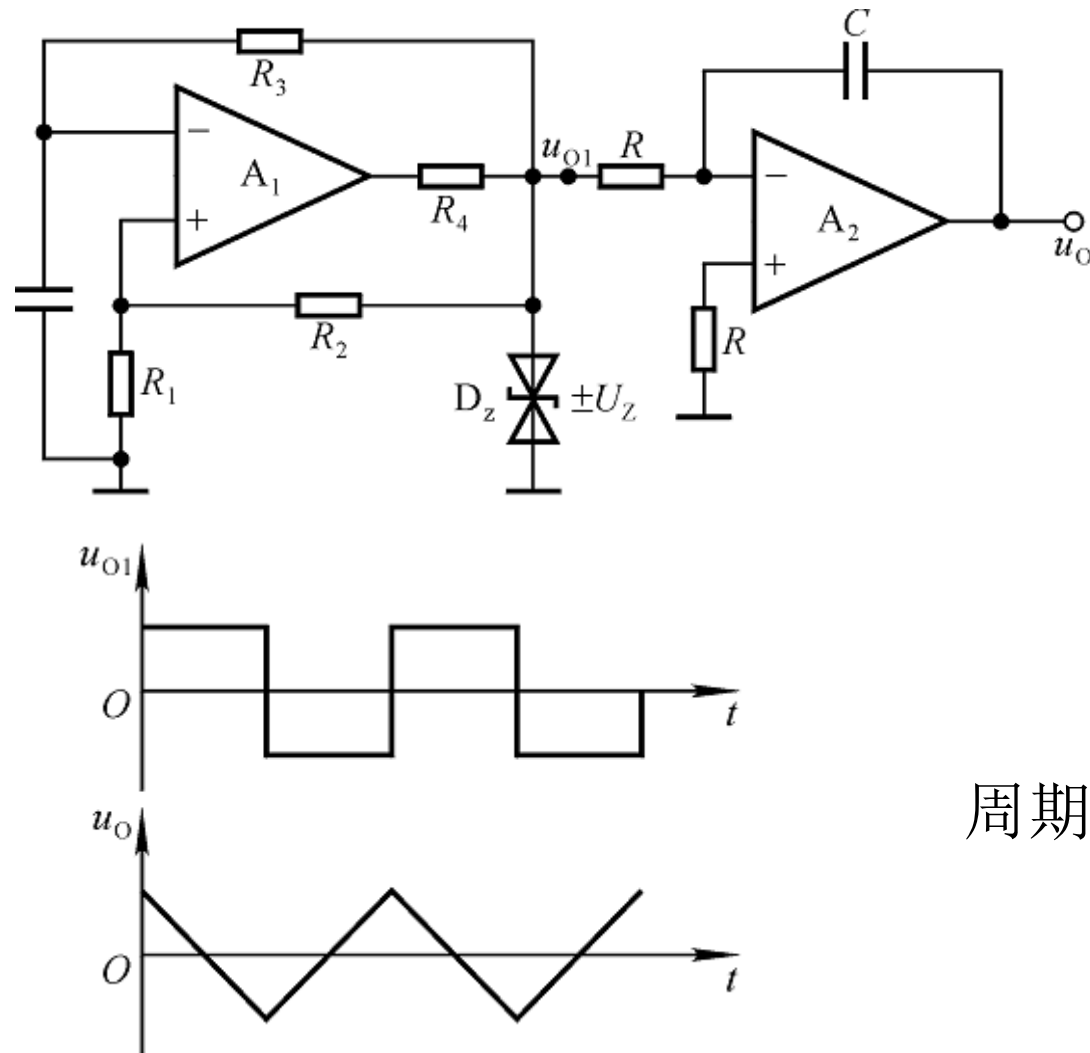
波形图



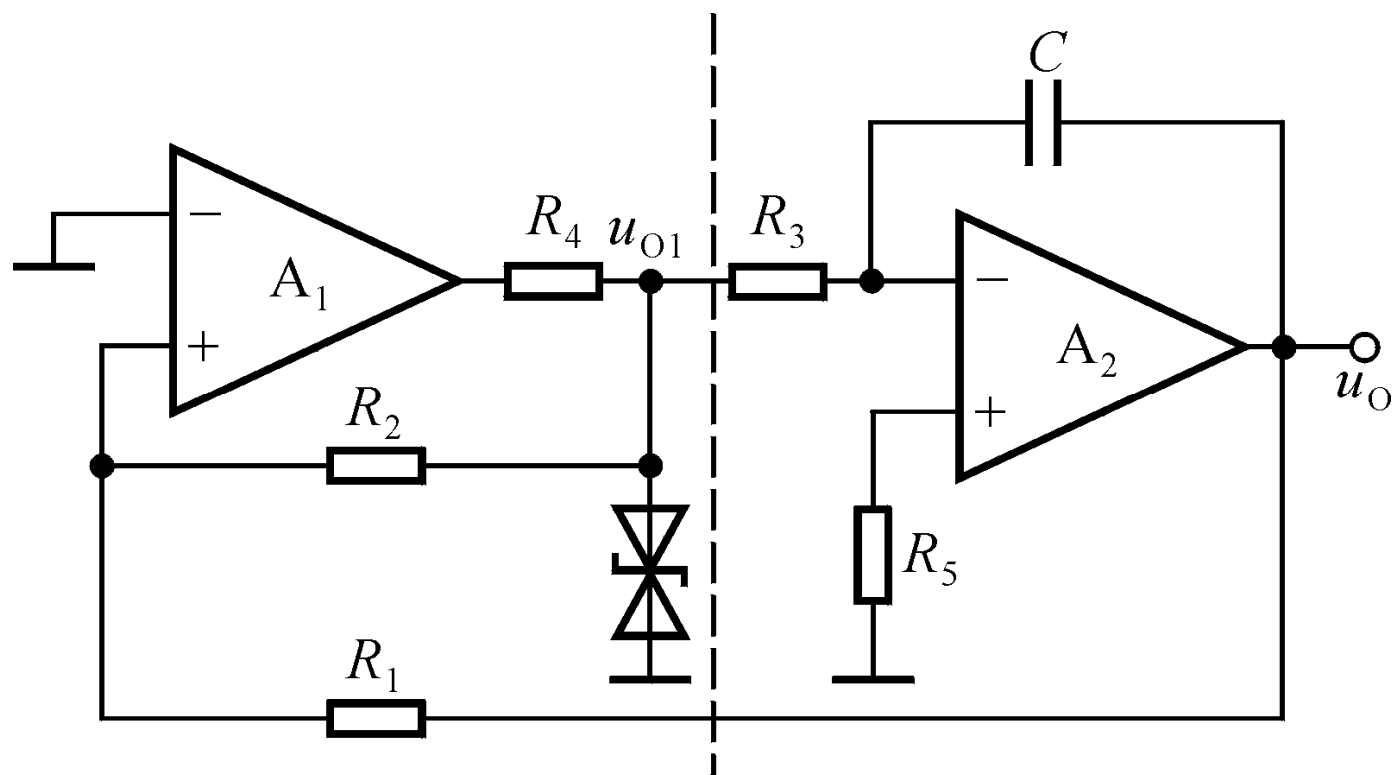
$$T = R' C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_f}\right) + RC \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_f}\right)$$

2、三角波发生电路

从方波信号得到三角波

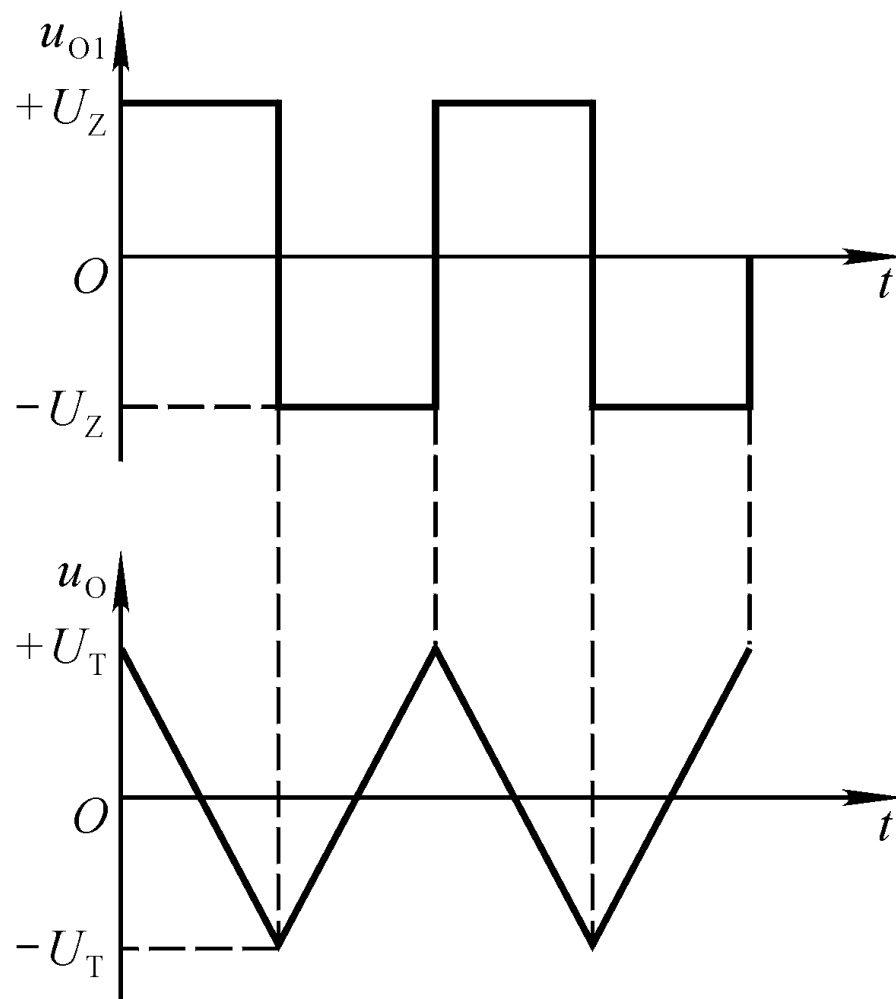


周期、幅度



三角波发生电路

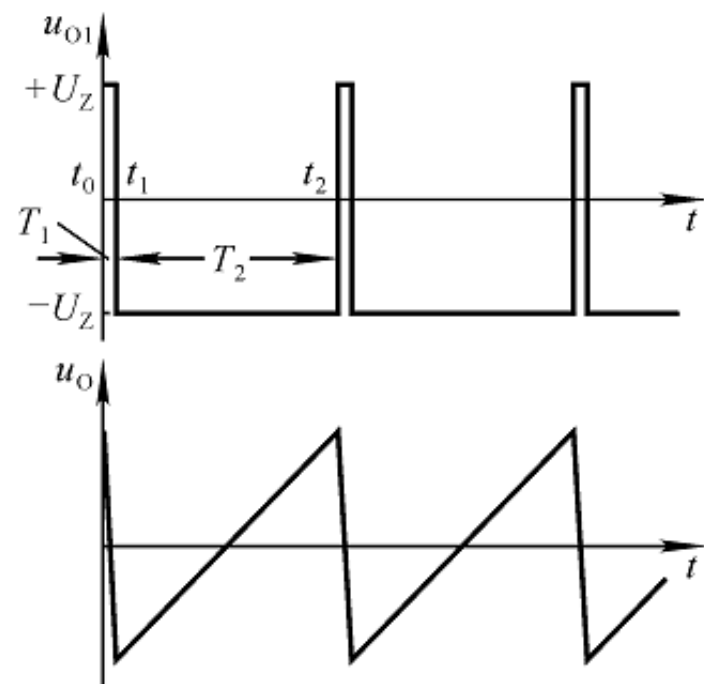
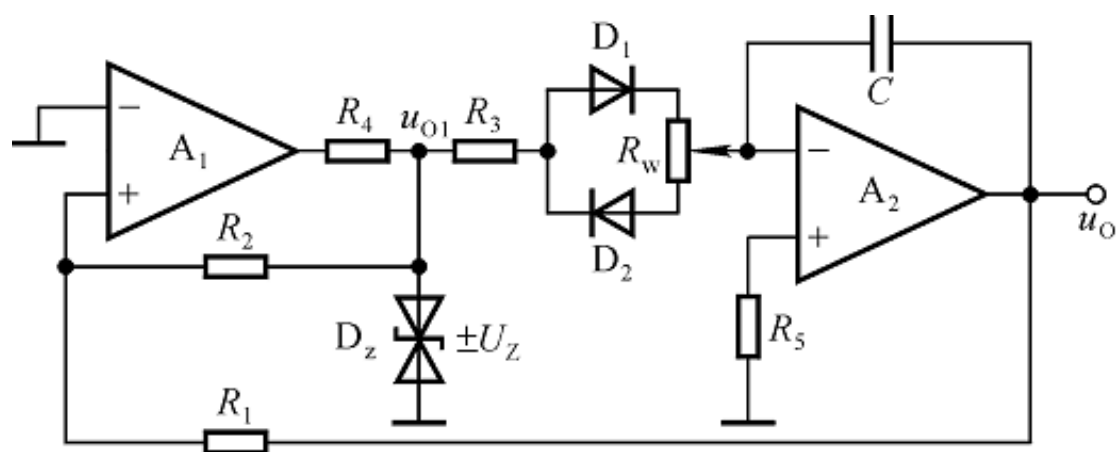
波形图



$$\Omega^L = \frac{K^S}{K^I} \Omega^S$$

$$L = \frac{K^S}{4K^I K^3 C}$$

3、锯齿波发生电路



四、变换电路

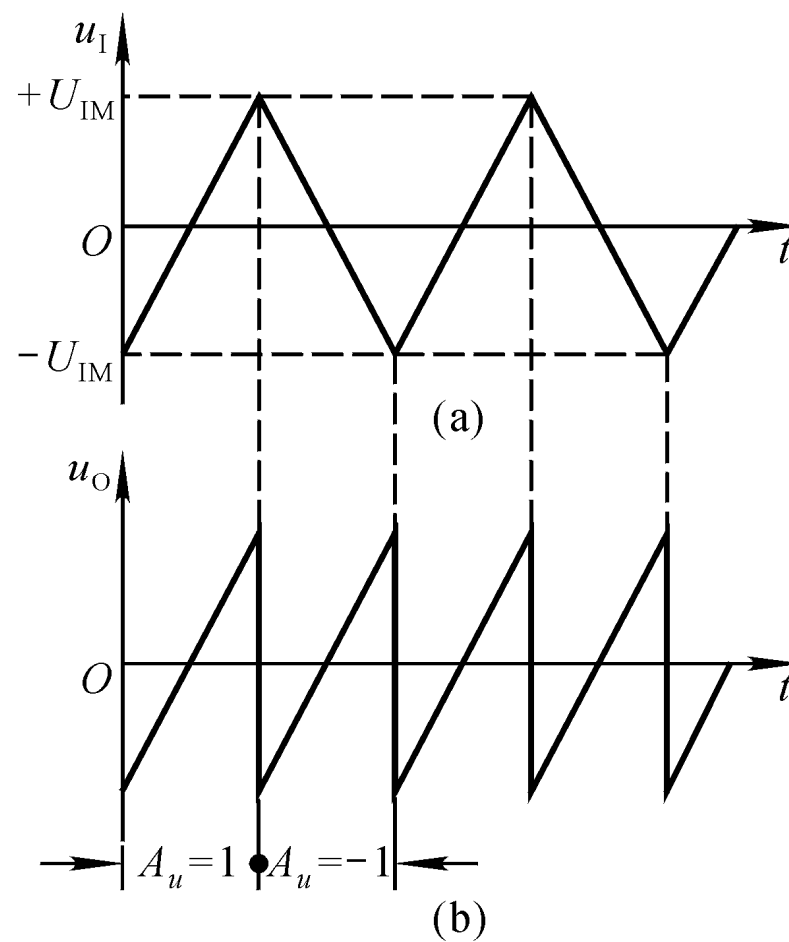
- 波形变换电路
 - 不同波形之间的变换
- 信号变换电路
 - 不同信号之间的变换

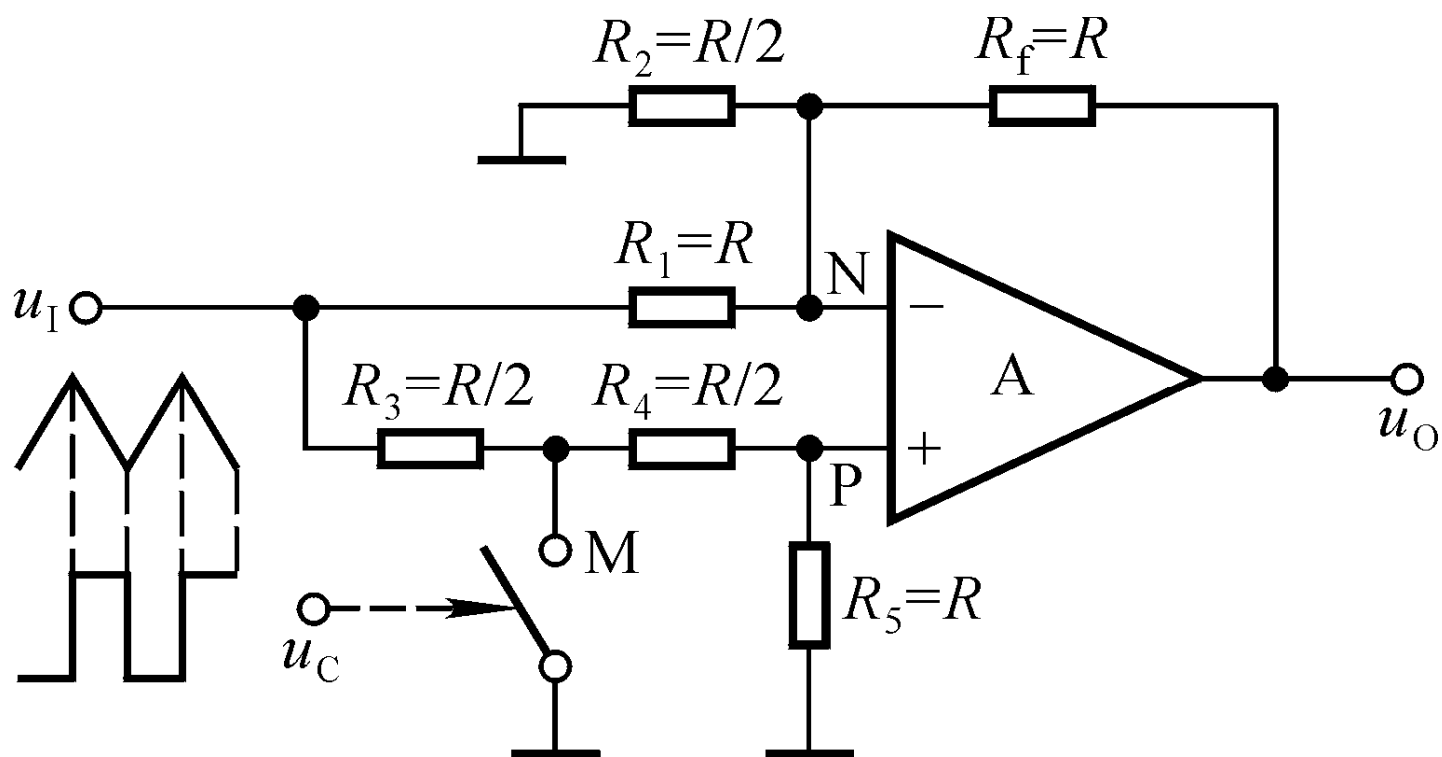
1、波形变换电路

- ✓ 方波→三角波 积分电路
- ✓ 矩形波→锯齿波 积分电路
- ✓ 方波或矩形波→正弦波 滤波电路
- ✓ 正弦波→方波或矩形波 电压比较器
- ✓ 三角波→方波 微分电路
- ✓ 三角波→锯齿波
- ✓ 三角波→正弦波

1) 三角波到锯齿波的变换

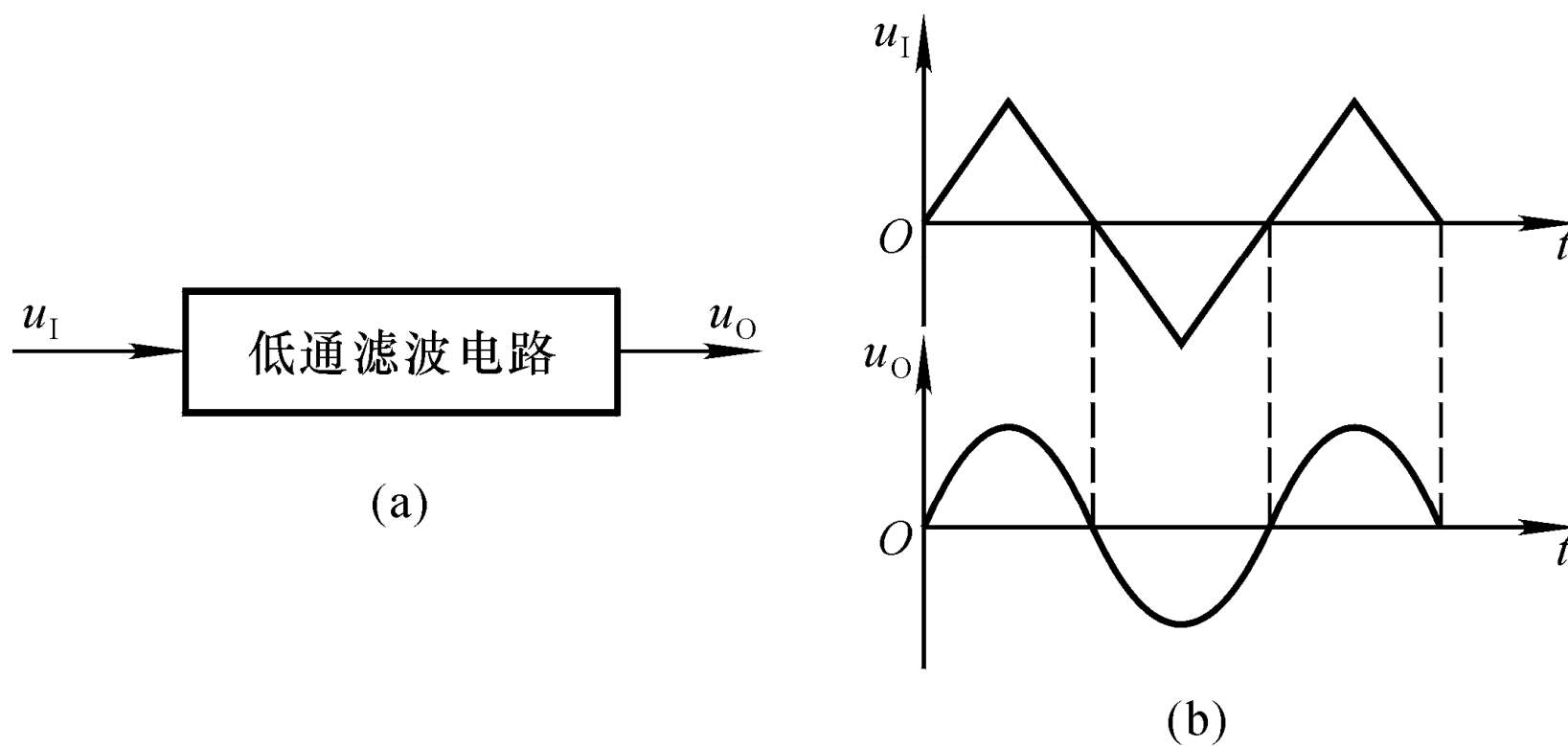
三角波与锯齿波的波形关系





三角波-锯齿波的转换电路

2) 三角波到正弦波的变换



2、信号转换电路

电压 \longleftrightarrow 电流转换电路

交流信号 \longrightarrow 直流信号的转换电路

电压 \longrightarrow 频率转换电路

1、电压—电流转换电路

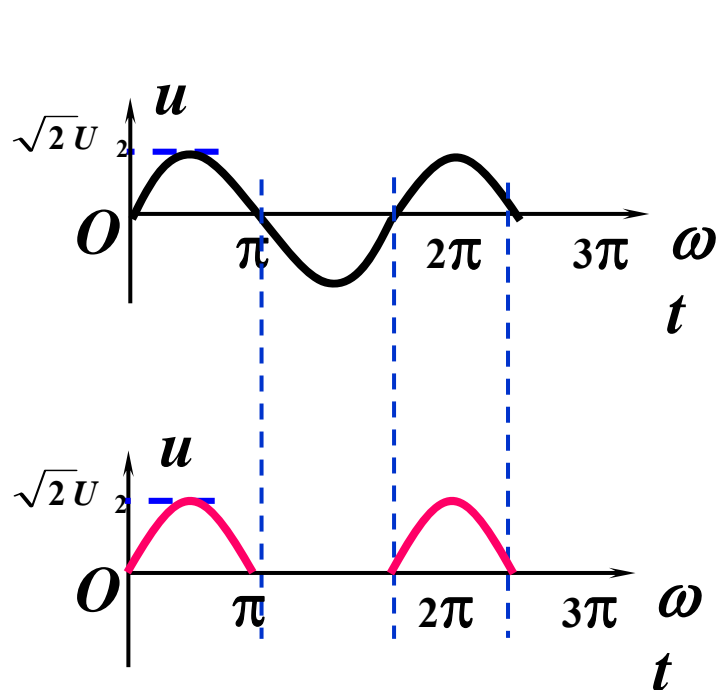
电压—电流转换电路：

互导放大器：电压到电流的转换电路

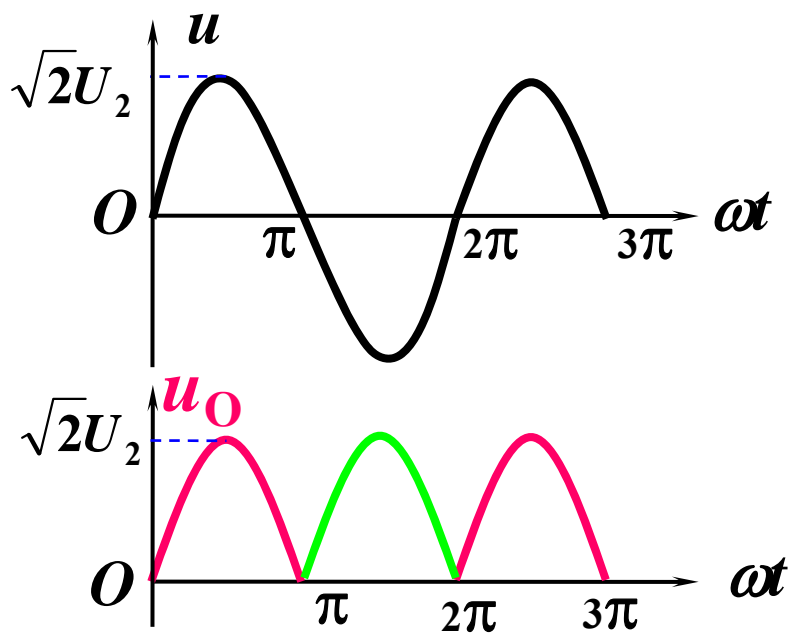
互阻放大器：电流到电压的转换电路

2、整流电路

整流电路---将交流信号变成单极性信号

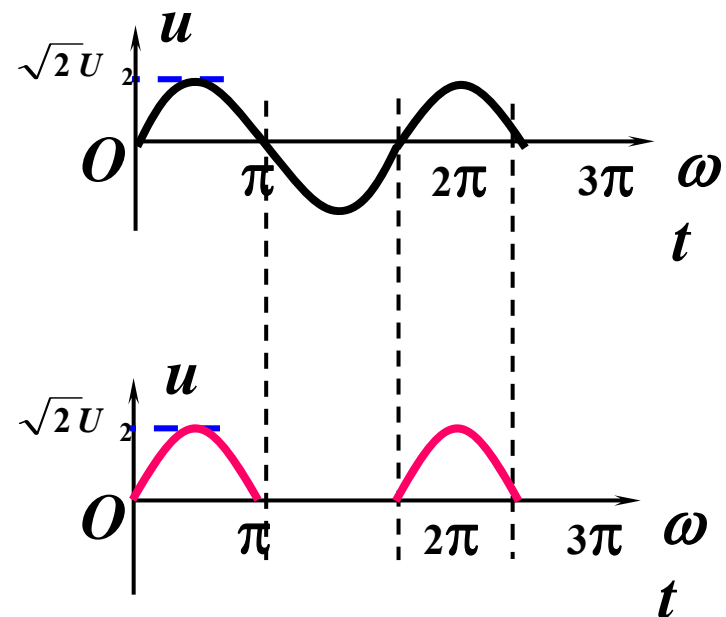
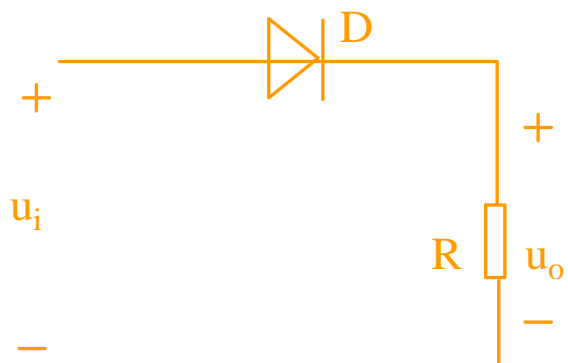


半波整流

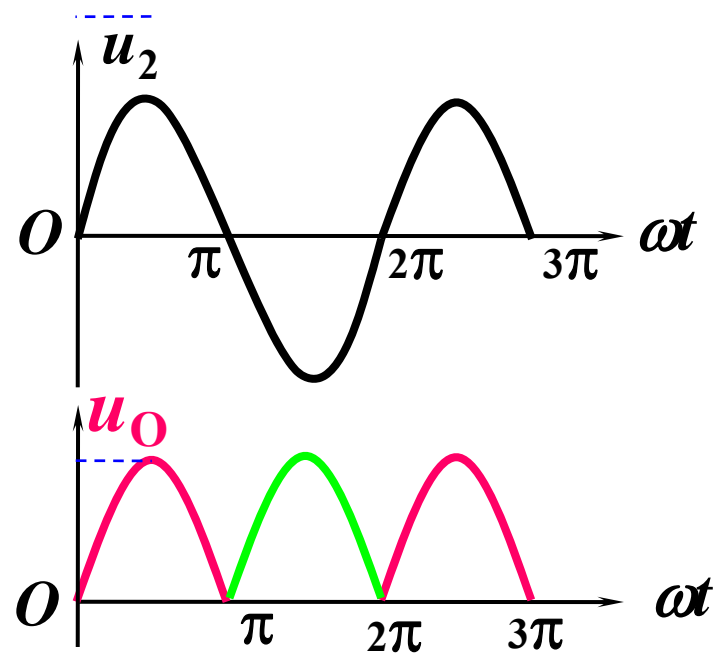
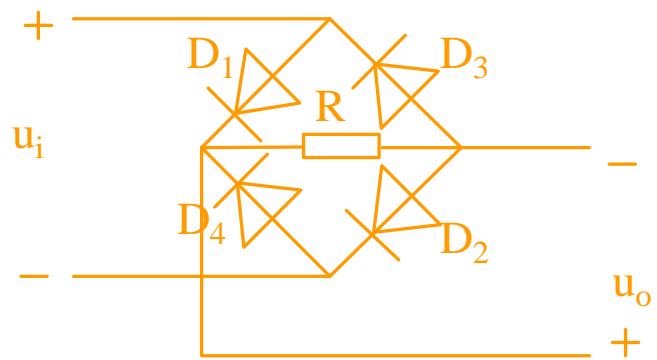


全波整流

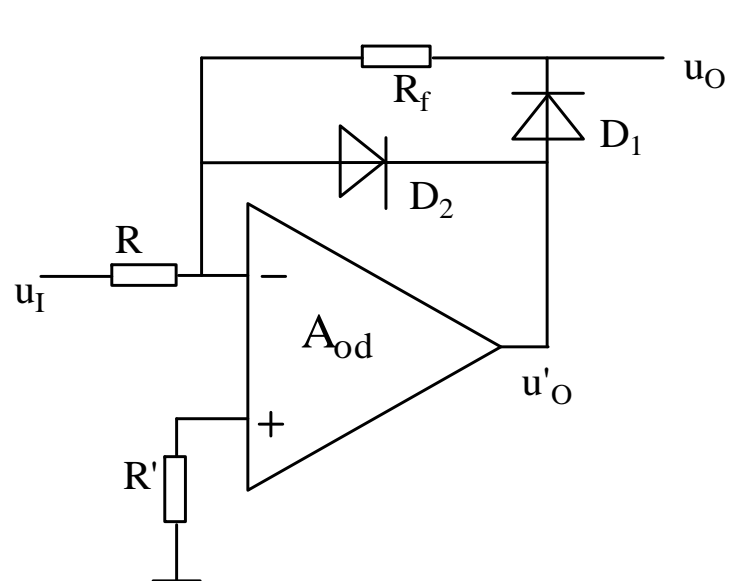
二极管半波整流电路



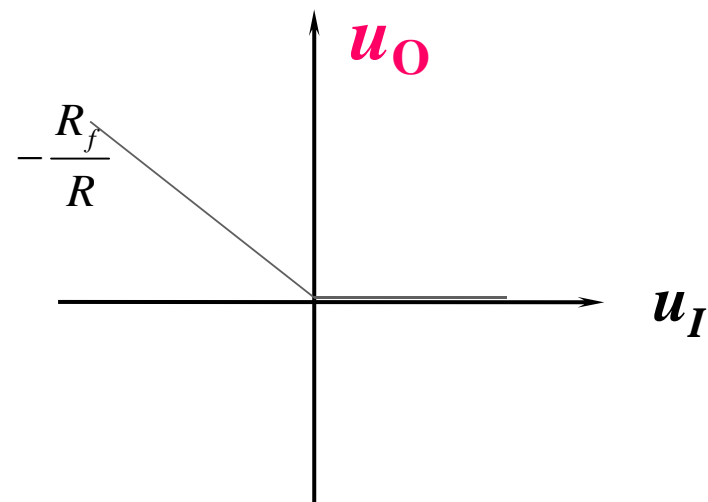
二极管全波整流电路



精密整流电路

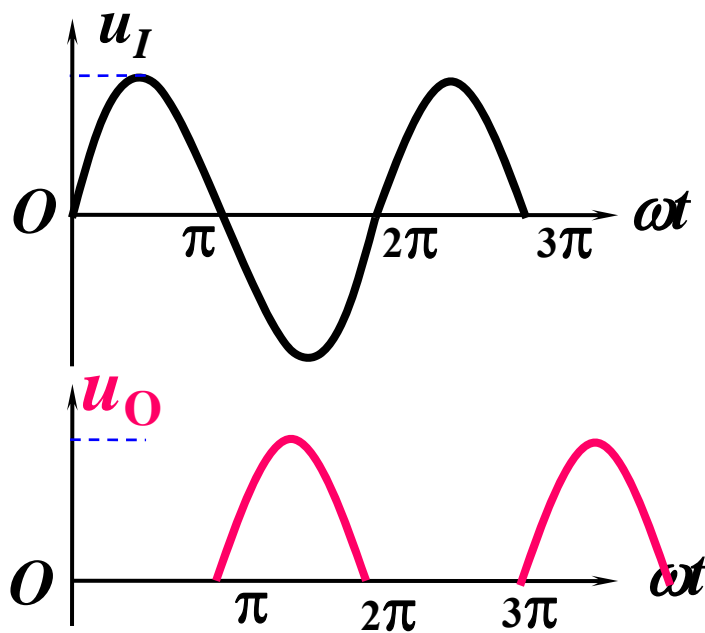


电路

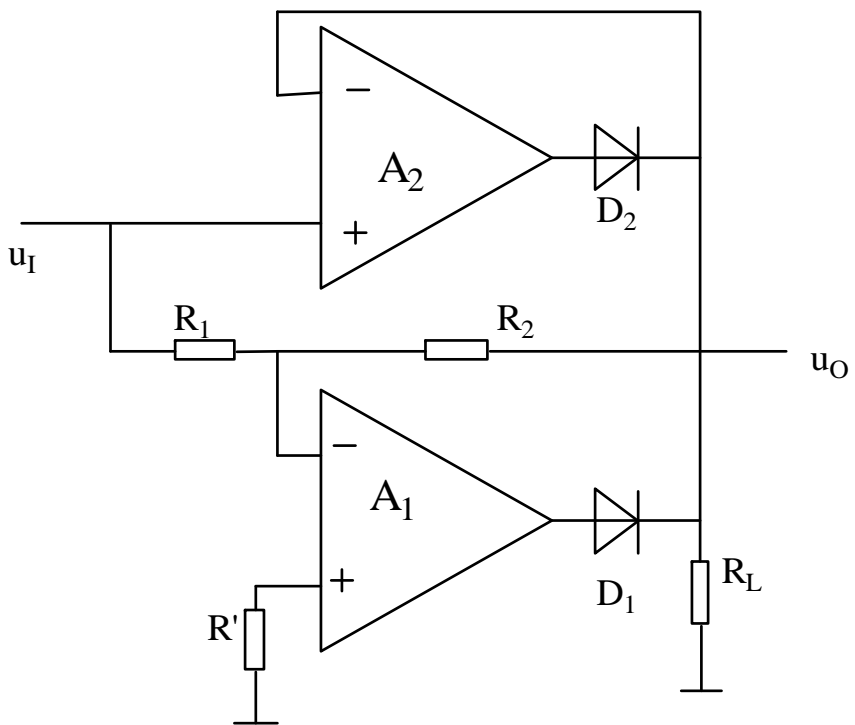


电压传输特性

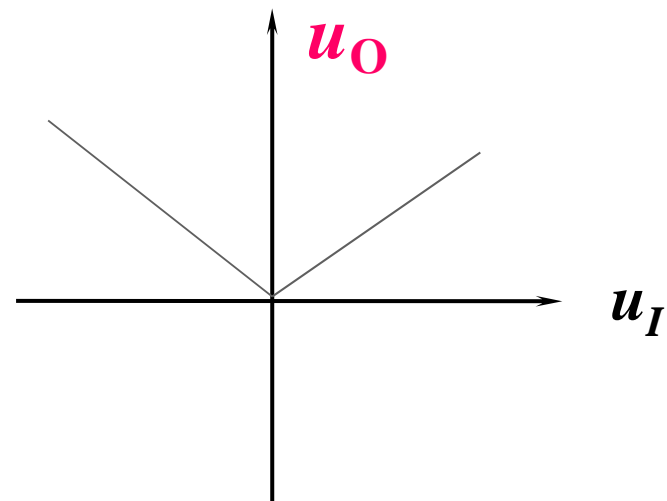
波形



负半周整流电路

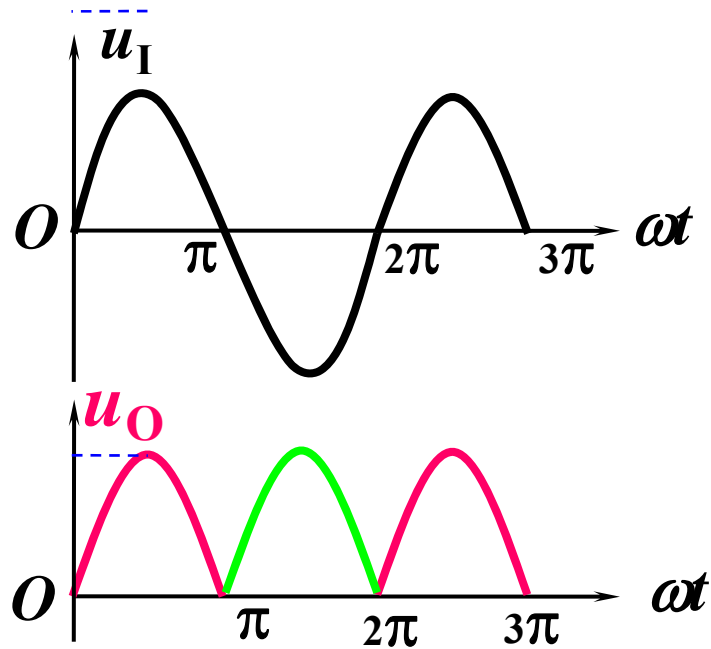


精密全波整流电路



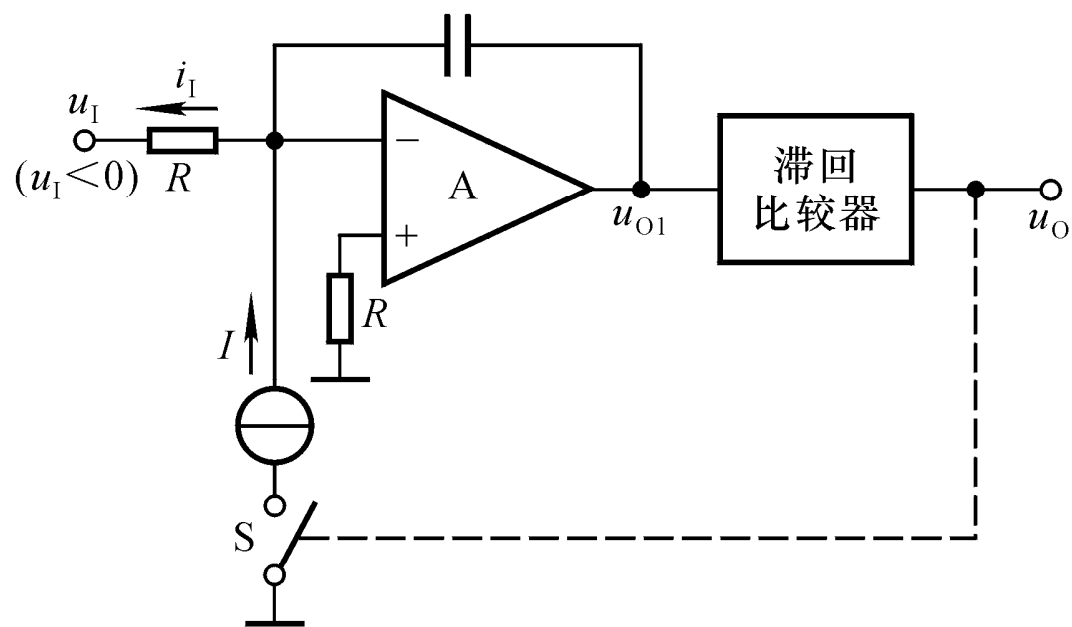
电压传输特性

波形

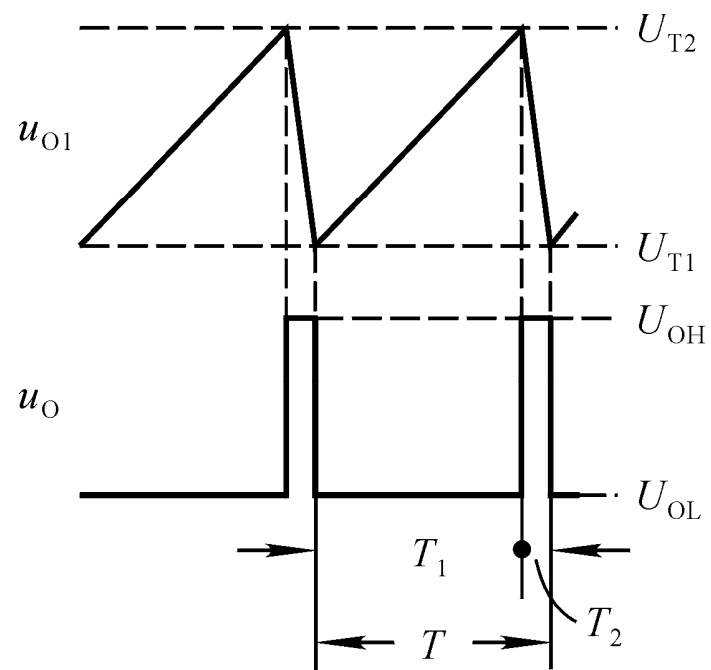


3、电压-频率转换电路

- 电压-频率转换电路（VFC）
 - 功能
 - 电压-频率
 - VCO
 - 特性
 - 输入直流电压
 - 输出频率随输入电压变化的电压信号
 - 类型
 - 电荷平衡式、复位式、集成VFC

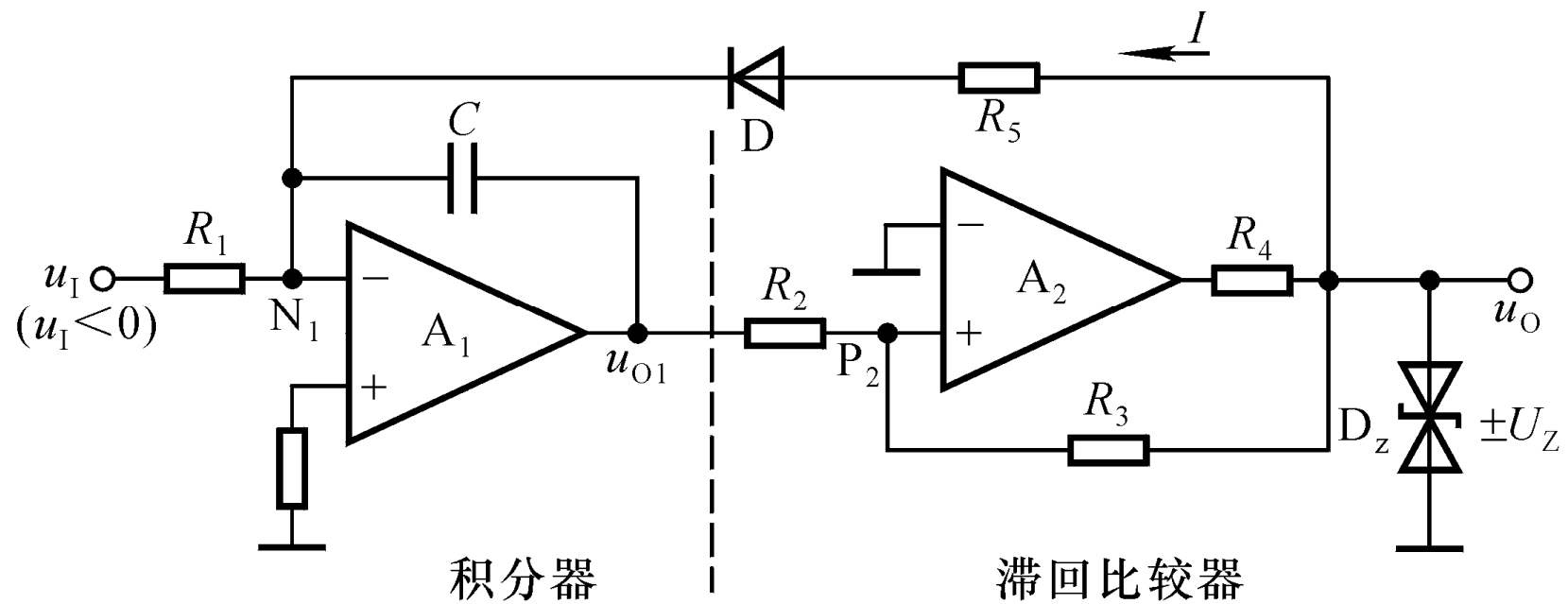


(a)

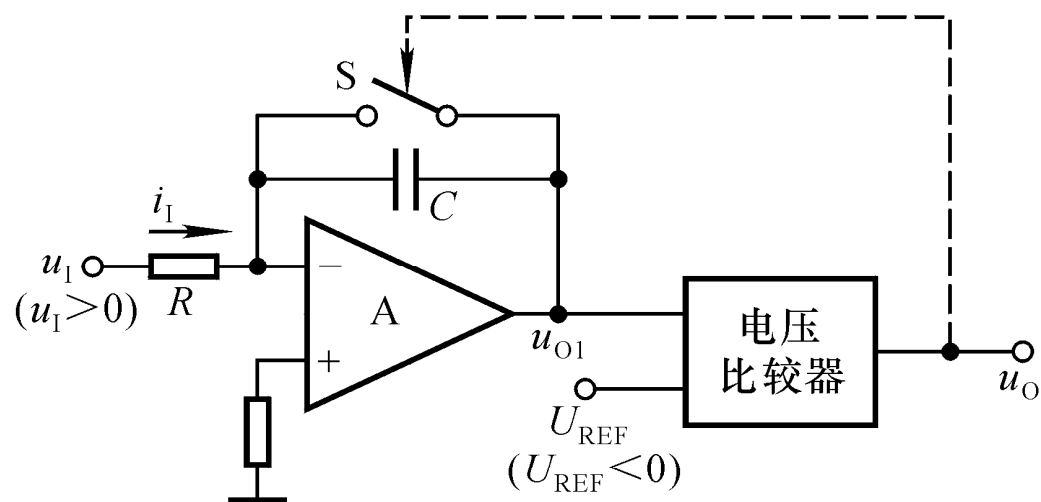


(b)

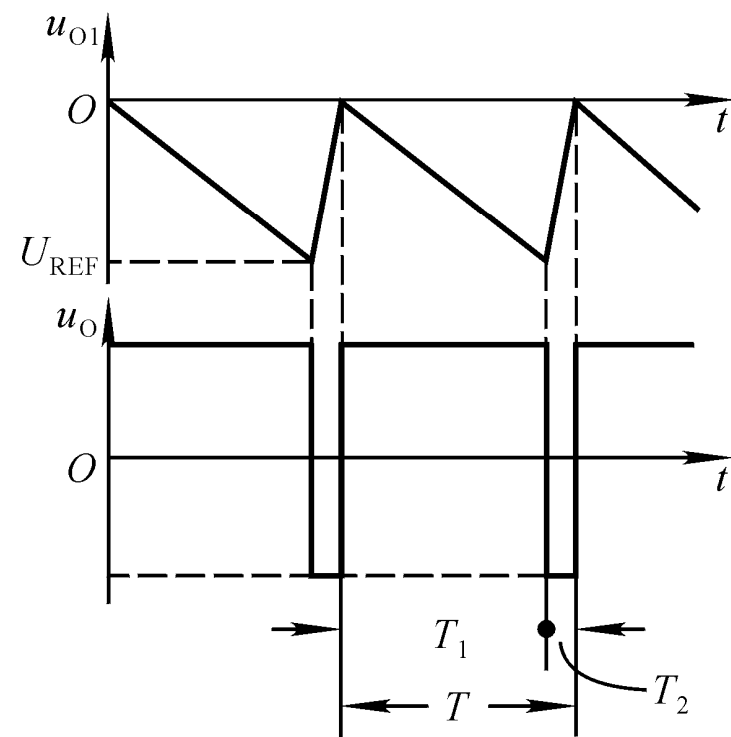
电荷平衡式VFC电路原理



电荷平衡式VFC实现电路

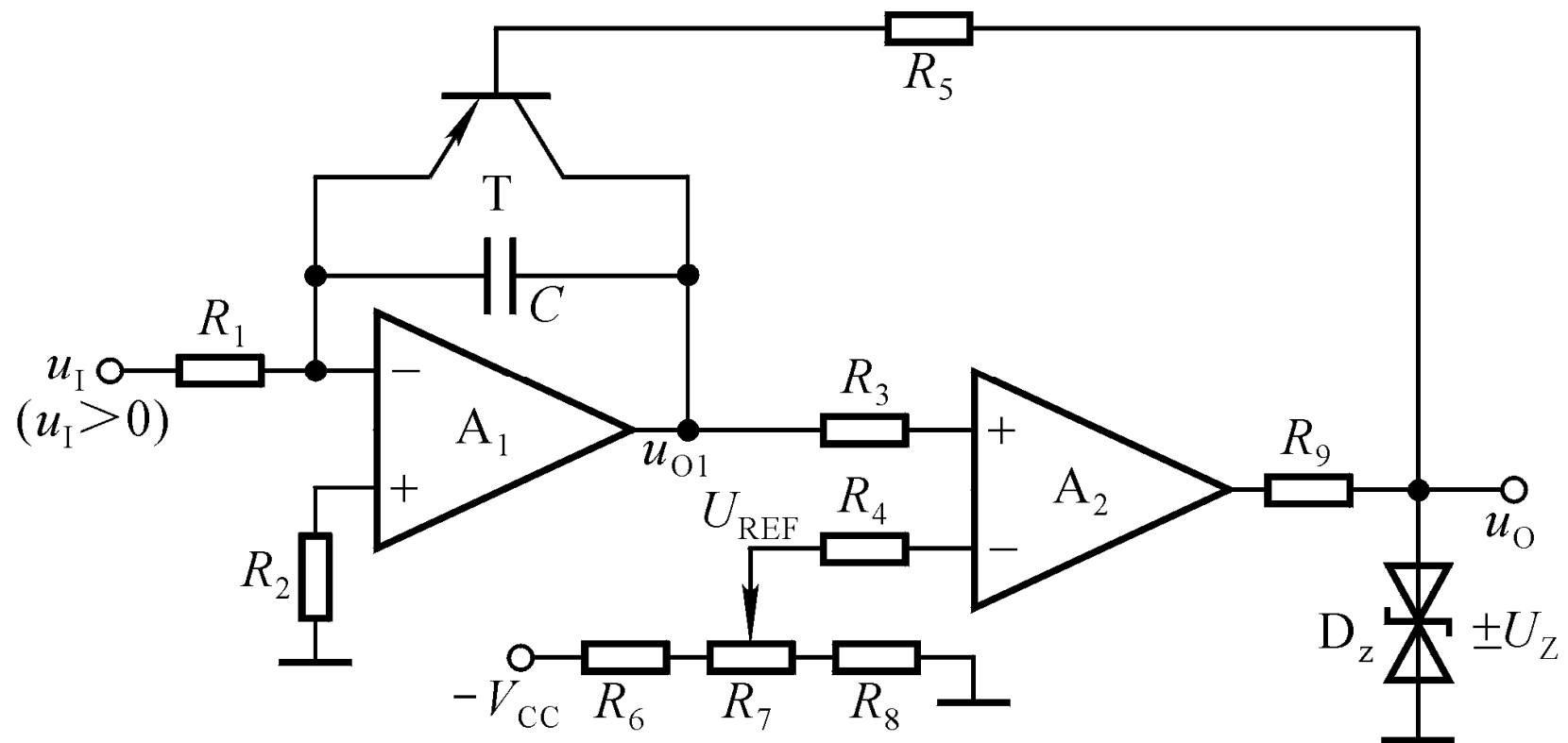


(a)



(b)

复位式VFC电路原理



复位式电路实现