

8 信号发生器

发生器按产生的波形特点可分为

{ 正弦波信号发生器
非正弦波信号发生器

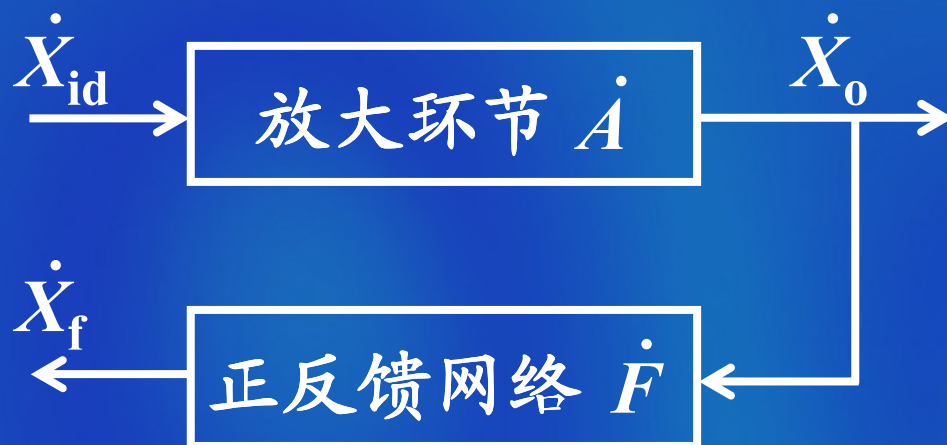
8.1 正弦波信号发生器

正弦波信号发生器是按照自激振荡原理构成的。

信号发生器常称为振荡器。

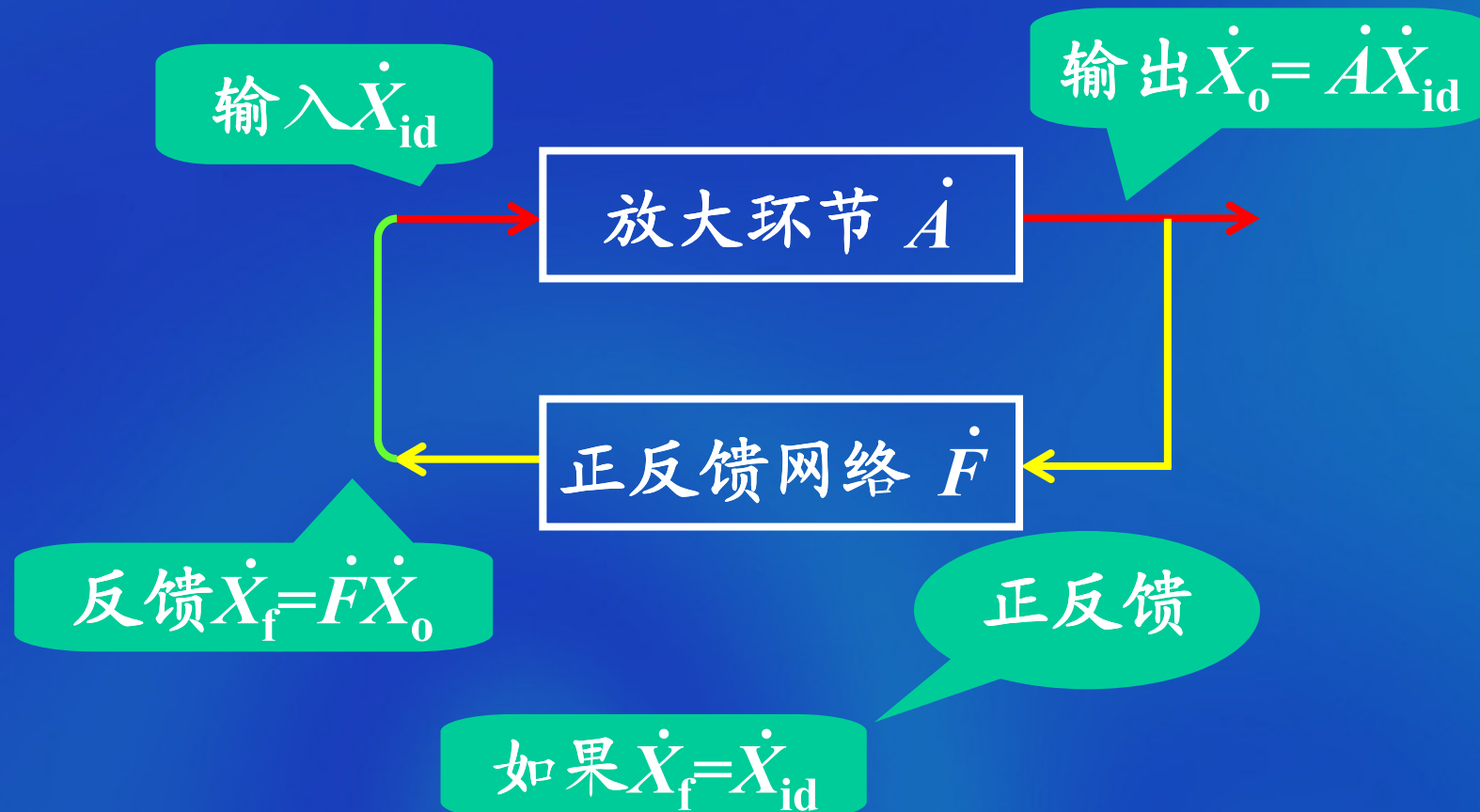
8.1.1 正弦波自激振荡的基本原理

1. 产生正弦波自激振荡的平衡条件

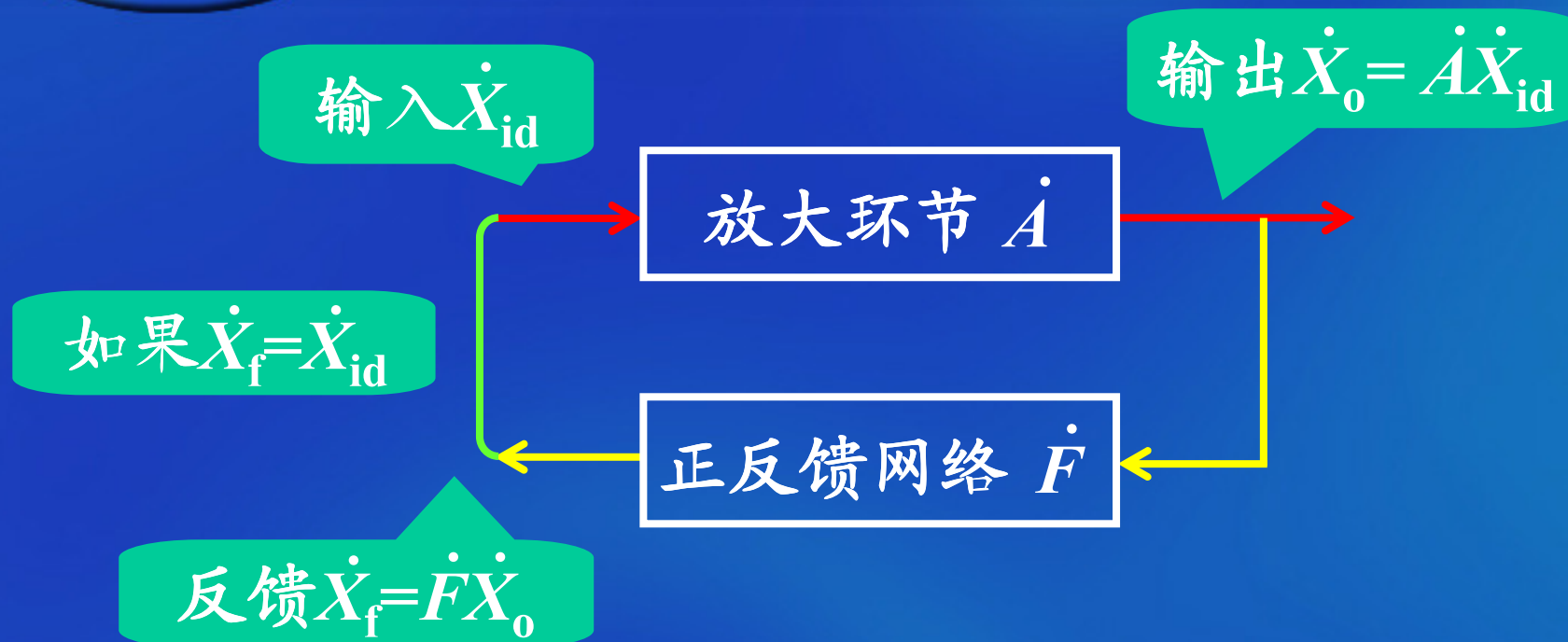


自激振荡原理方框图

工作原理



可在输出端继续维持原有的输出信号



由 $\dot{X}_f = \dot{F}\dot{X}_o = \dot{A}\dot{F}\dot{X}_{id}$

及 $\dot{X}_f = \dot{X}_{id}$

知电路产生自激振荡的平衡条件为

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

式 $\dot{A}\dot{F} = 1$ 中

$$\dot{A} = A \angle \varphi_A$$

$$\dot{F} = F \angle \varphi_F$$

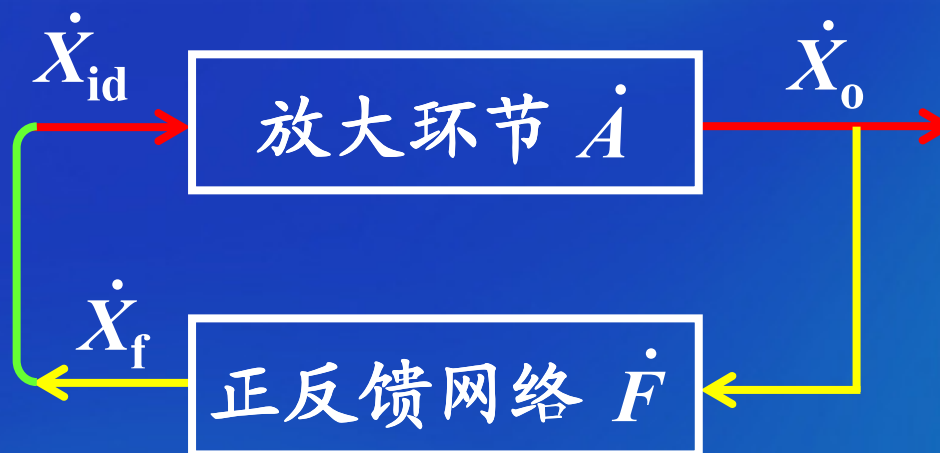
上式可分解为

(1) 幅度平衡条件

$$AF = 1$$

(2) 相位平衡条件

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

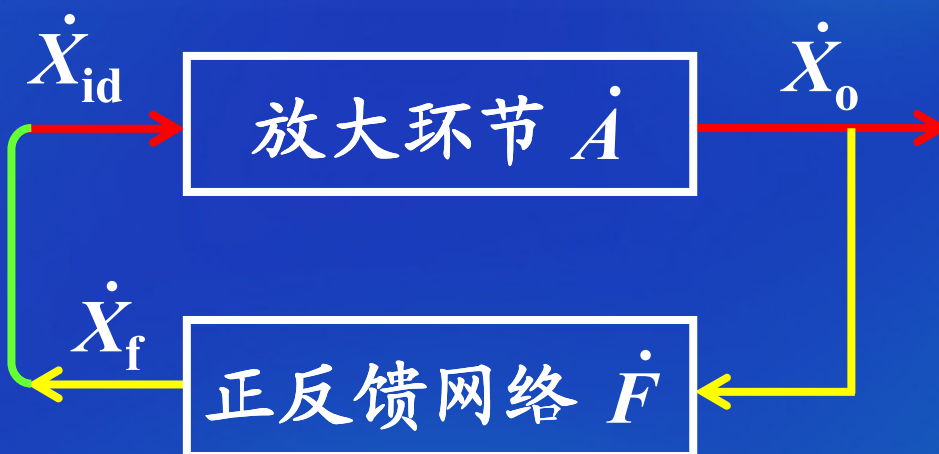


平衡条件讨论

a. 相位平衡条件

一个振荡器，只在振荡频率 f_0 时满足相位平衡的条件。

在电路中应包含选频网络



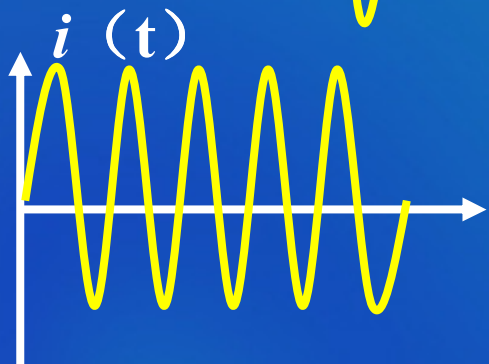
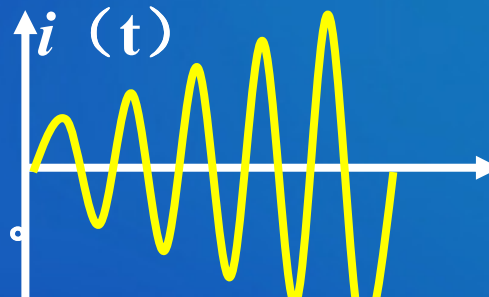
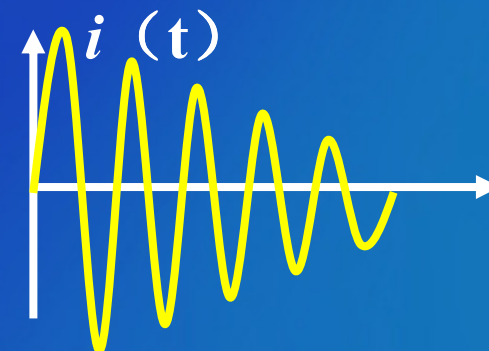
b. 幅度平衡条件

若 $AF < 1$ 则电路减幅振荡，最后停振荡。

若 $AF > 1$ ，电路增幅振荡。

若 $AF = 1$ ，电路等幅振荡。

$AF=1$ 维持等幅振荡的唯一条件



2. 振荡的建立与稳定

$\dot{A}\dot{F}=1$ 只能维持振荡，但不能建立振荡

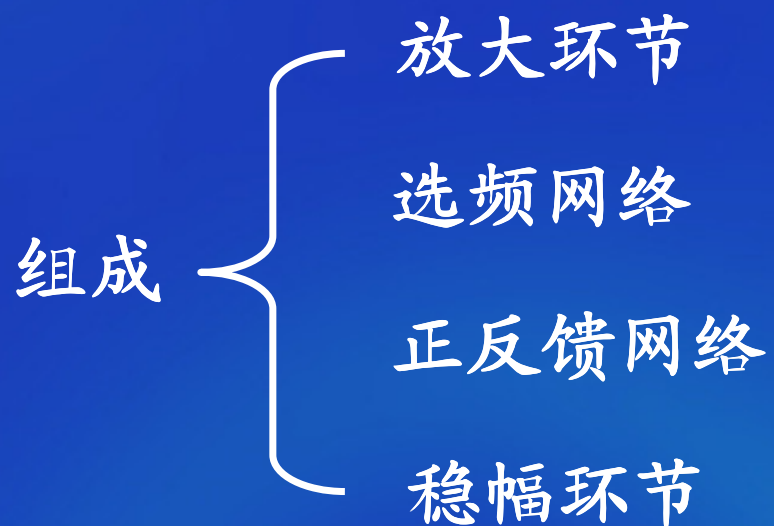
振荡电路的起振条件

$$\dot{A}\dot{F} > 1 \quad \left\{ \begin{array}{l} AF > 1 \\ \varphi_A + \varphi_F = 2n\pi \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \end{array} \right.$$

$\dot{A}\dot{F} > 1$ 将使输出幅值越来越大，出现非线性失真。

放大电路中还应包含稳幅环节

3. 正弦波信号发生器组成



4. 正弦波信号发生器的分类



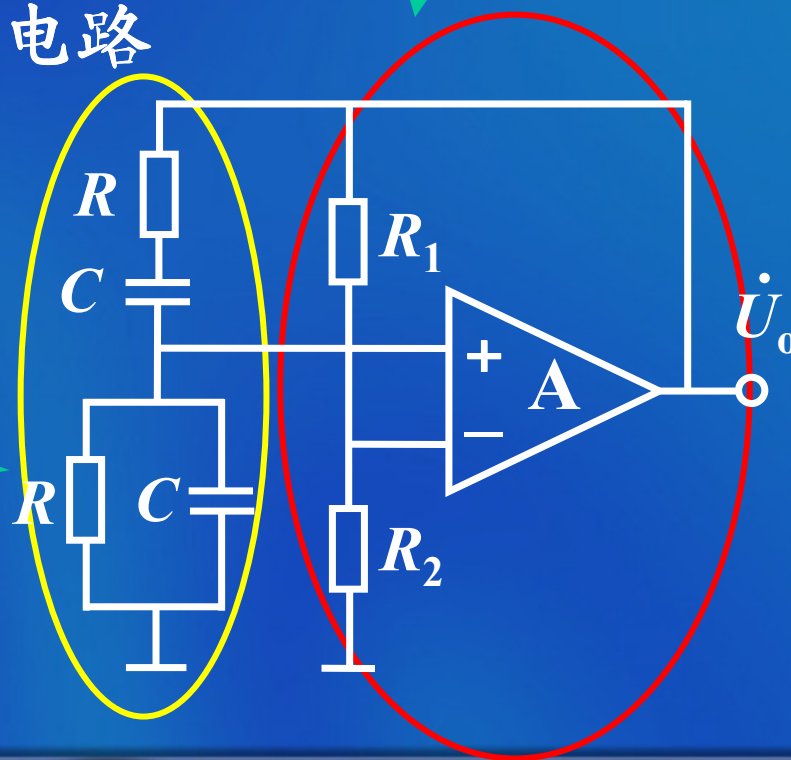
8.1.2 RC型正弦波信号发生器

主要类型 { 文氏电桥振荡电路
移相式振荡电路
双T网络式振荡电路

1. 文氏电桥振荡器

选频网络
反馈网络

放大电路

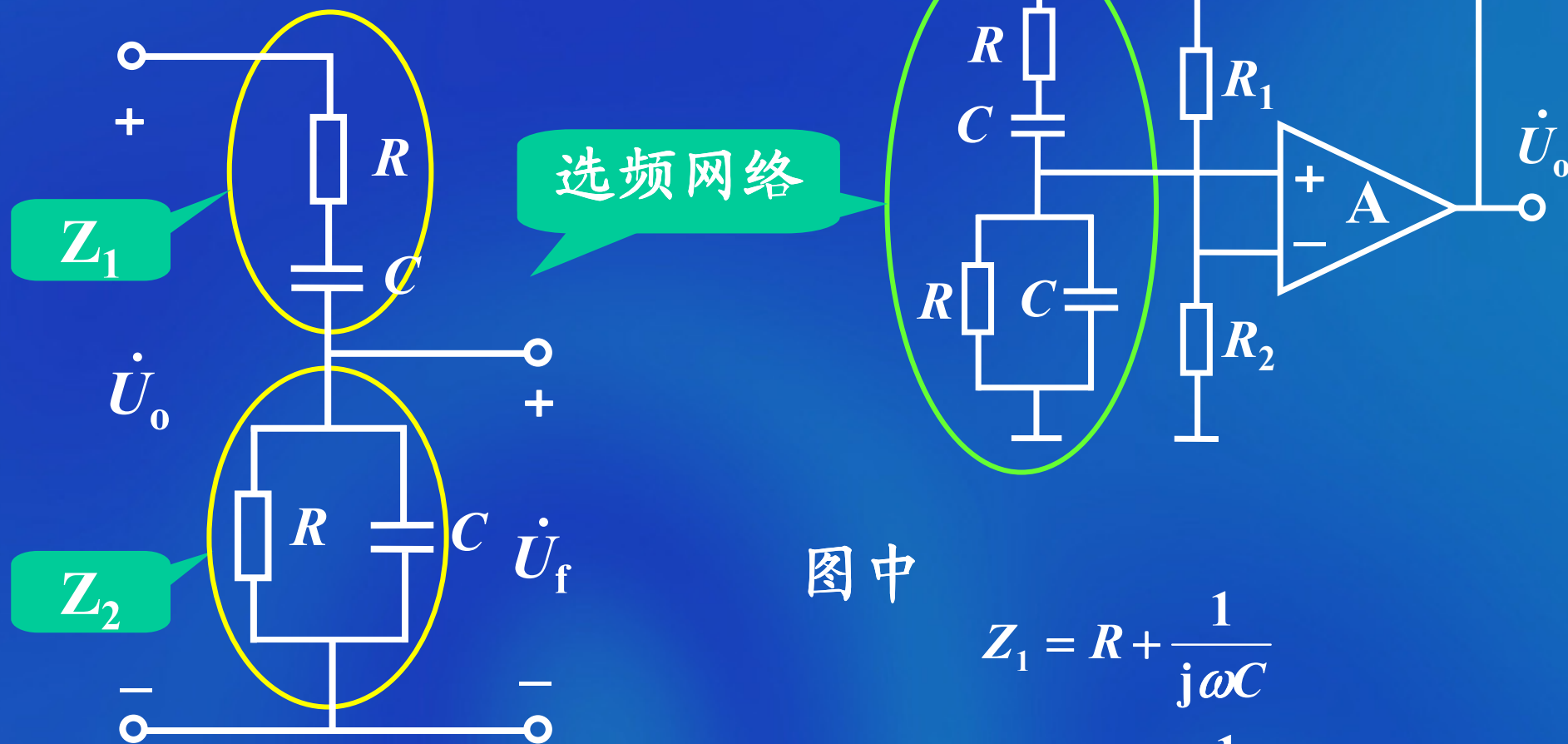


上页

下页

后退

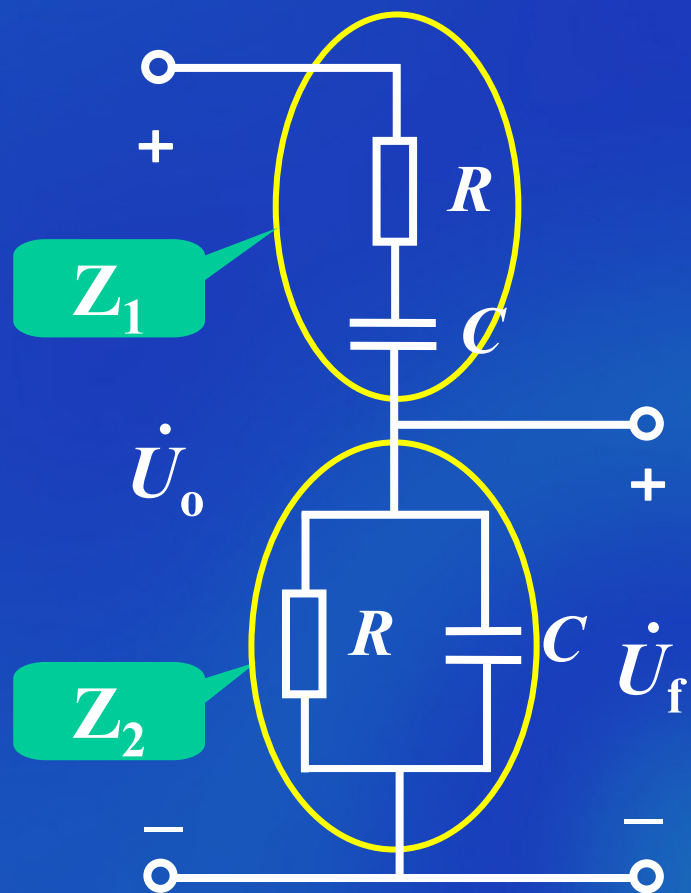
2. RC串并联网络的选频特性



$$Z_1 = R + \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z_2 = R // \frac{1}{j\omega C}$$

反馈系数



$$\begin{aligned}
 \dot{F} &= \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} \\
 &= \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \\
 &= \frac{R // \frac{1}{j\omega C}}{(R + \frac{1}{j\omega C}) + R // \frac{1}{j\omega C}} \\
 &= \frac{1}{3 + j(\omega CR - \frac{1}{\omega CR})}
 \end{aligned}$$

$$\text{即 } \dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} = \frac{1}{3 + j(\omega CR - \frac{1}{\omega CR})}$$

$$\text{令 } \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$\dot{F} = \frac{1}{3 + j(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})}$$

由此可得 \dot{F} 的幅频特性与相频特性

幅频特性

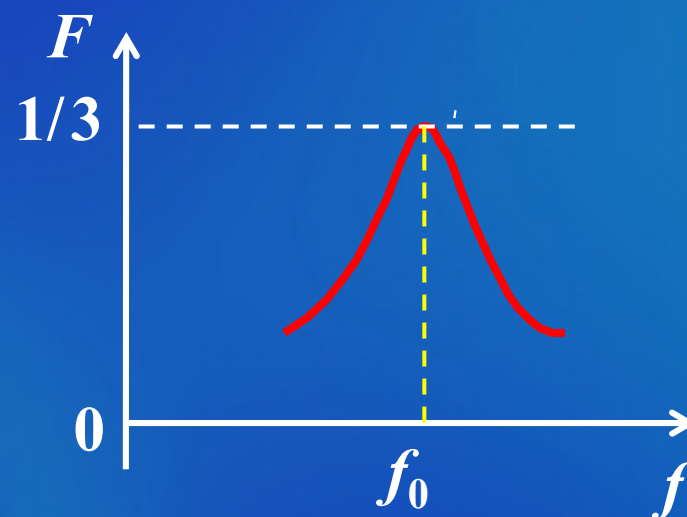
$$F = \frac{1}{\sqrt{3^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$$

当 $\omega \rightarrow 0$ 时, $F \rightarrow 0$

当 $\omega \rightarrow \infty$ 时, $F \rightarrow 0$

当 $\omega = \omega_0$ 时, $F = F_{\max} = 1/3$

幅频特性曲线



相频特性

$$\varphi_F = -\arctg \frac{(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})}{3}$$

当 $\omega \rightarrow 0$ 时, $\varphi_F \rightarrow 90^\circ$

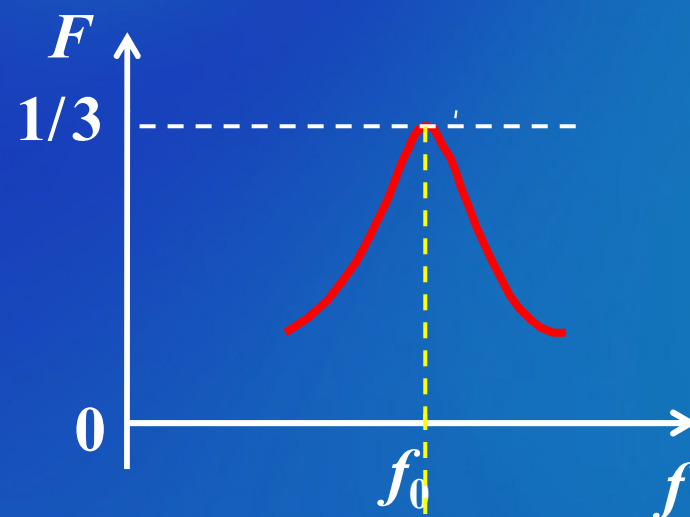
当 $\omega \rightarrow \infty$ 时, $\varphi_F \rightarrow -90^\circ$

当 $\omega = \omega_0$ 时, $\varphi_F \rightarrow 0^\circ$

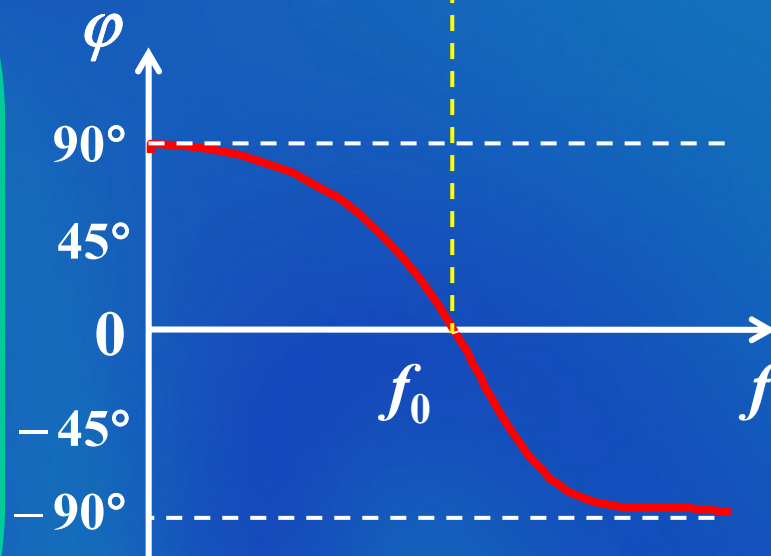
可见, 当 $\omega = \omega_0$ 时

$\varphi_F = 0^\circ$, 且反馈最强

幅频特性曲线



相频特性曲线



3. 工作原理

(1) 当 $f=f_0$ 时

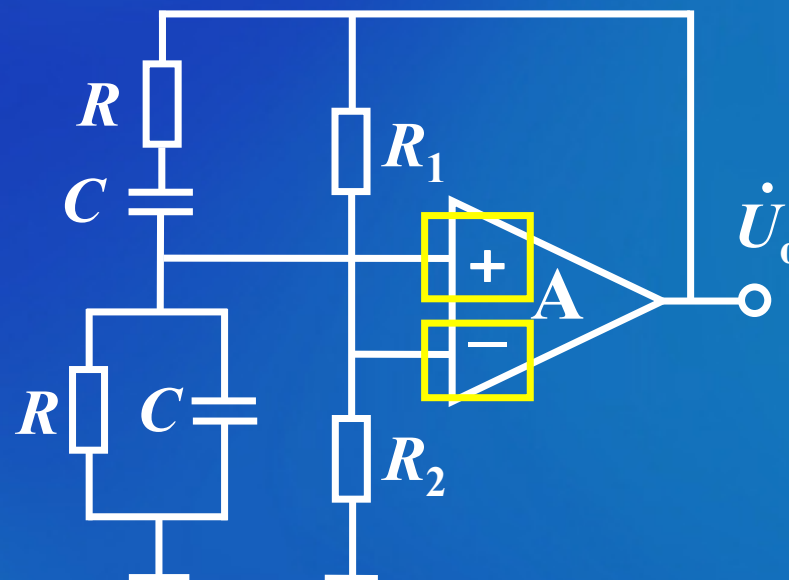
\dot{U}_f 与 \dot{U}_o 同相位 \dot{U}_f 的幅值最大

即 $\dot{U}_f = \dot{U}_o / 3$, $F = F_{\max} = 1/3$

而 $AF \geq 1$, 电路才能振荡。

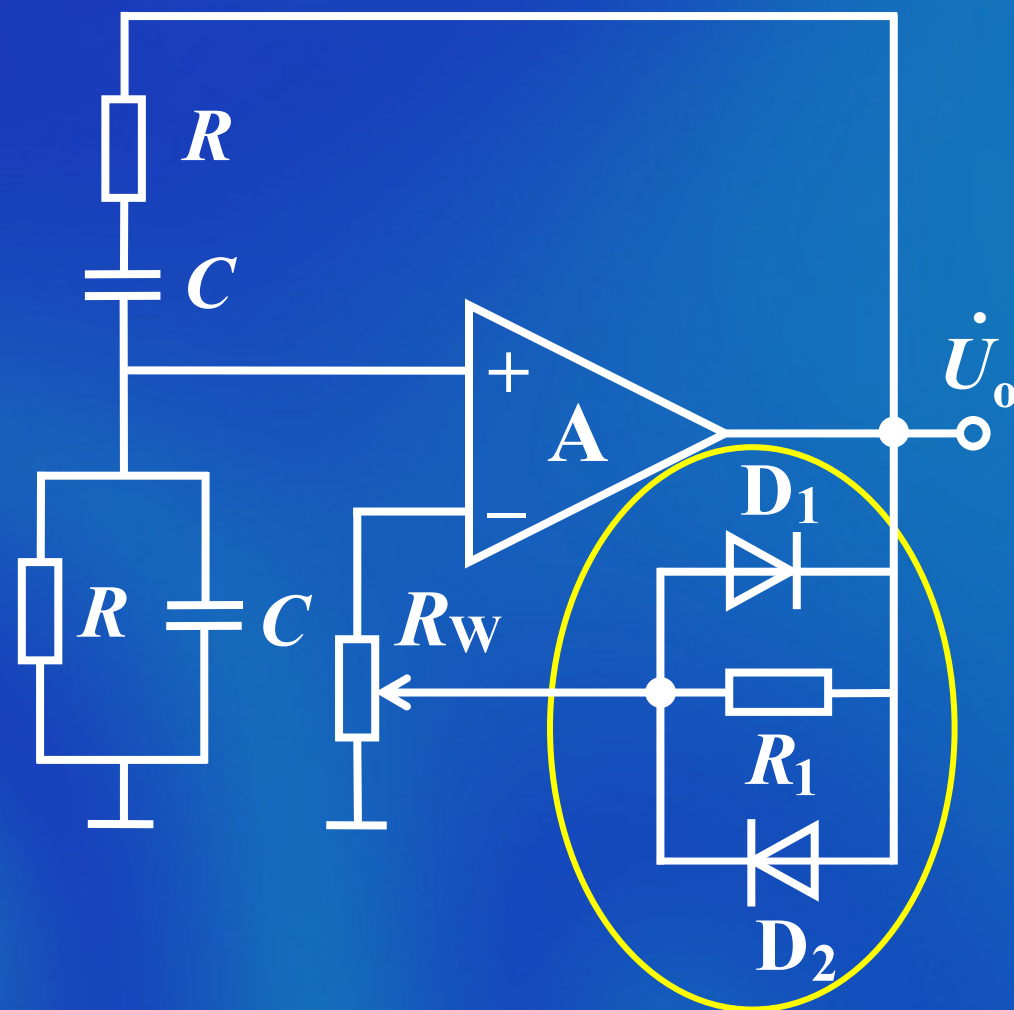
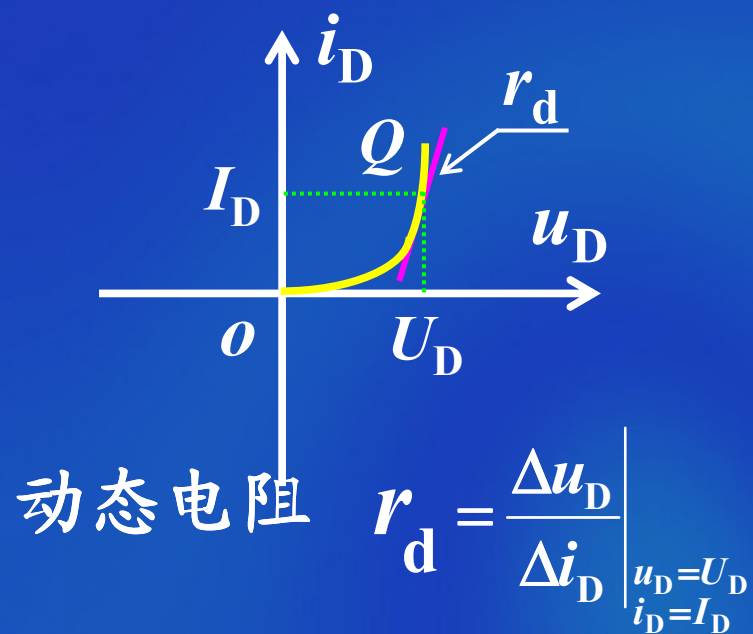
(2) 当 $A = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \geq 3$ 时, 满足振荡条件 $R_1 \geq 2R_2$

(3) 振荡频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

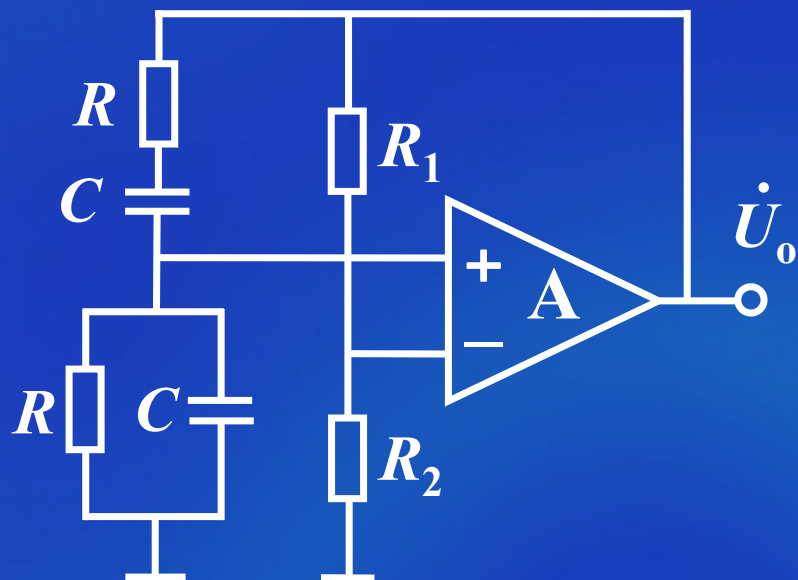


4. 稳幅措施

(1) 利用二极管稳幅



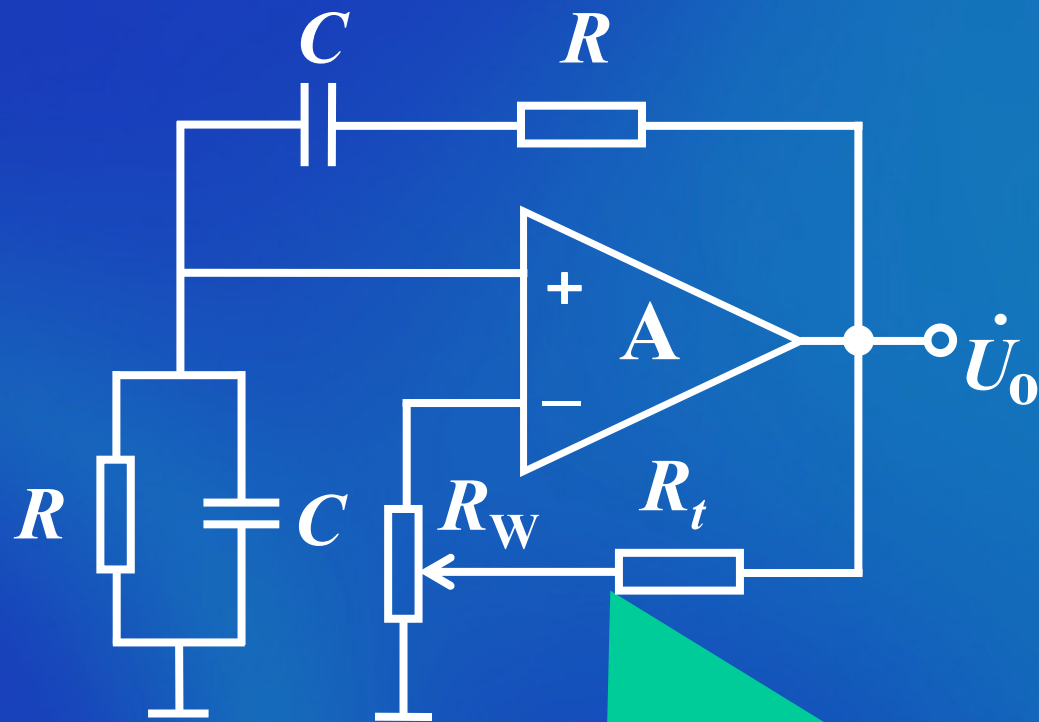
(2) 利用非线性热敏电阻稳幅



$$A = 1 + \frac{R_1}{R_2} \geq 3$$

R_1 --- R_t 负温度系数

R_2 --- R_t 正温度系数



R_t 为负温度系数的热敏电阻

8.1.3 LC 型正弦波信号发生器

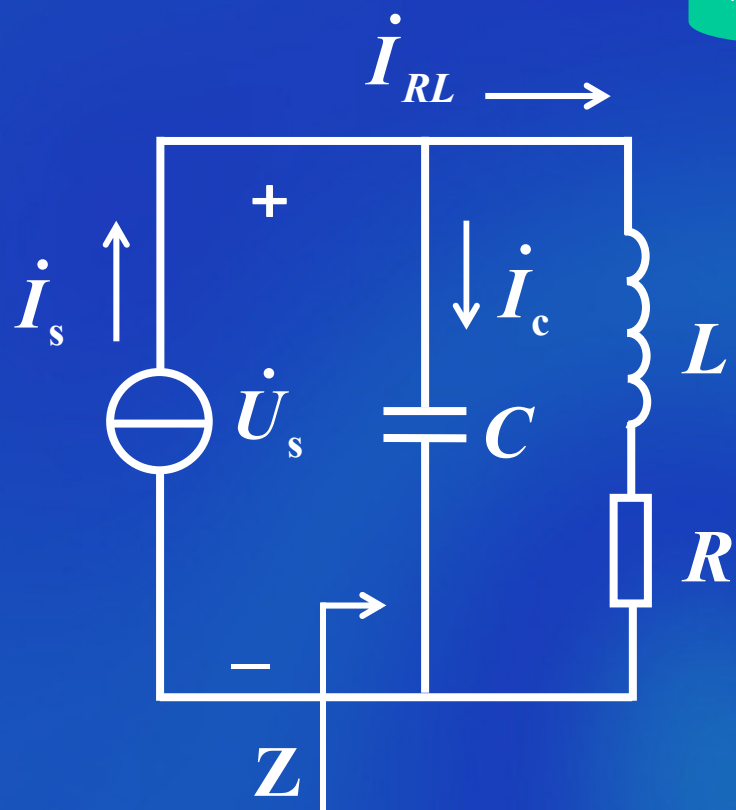
主要特点:

- a. 用 LC 并联谐振回路作为选频网络。
- b. 主要用来产生1MHZ以上的高频信号。
- c. 频率稳定性好。

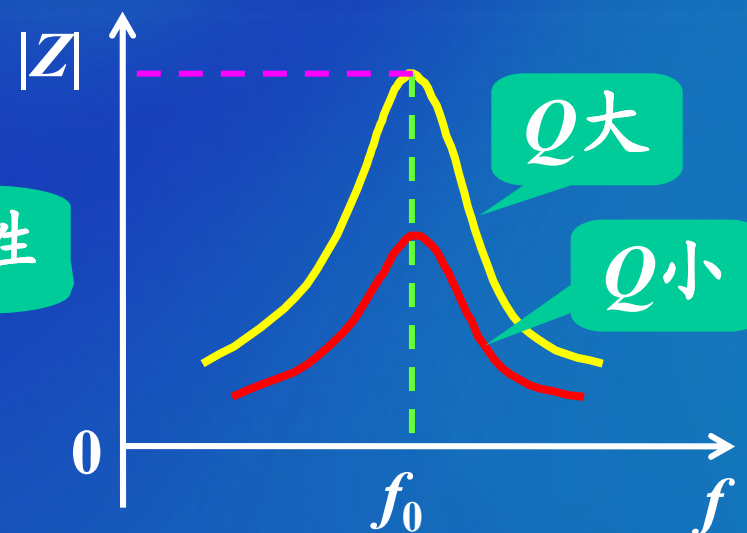
LC型正弦波信号发生器类型



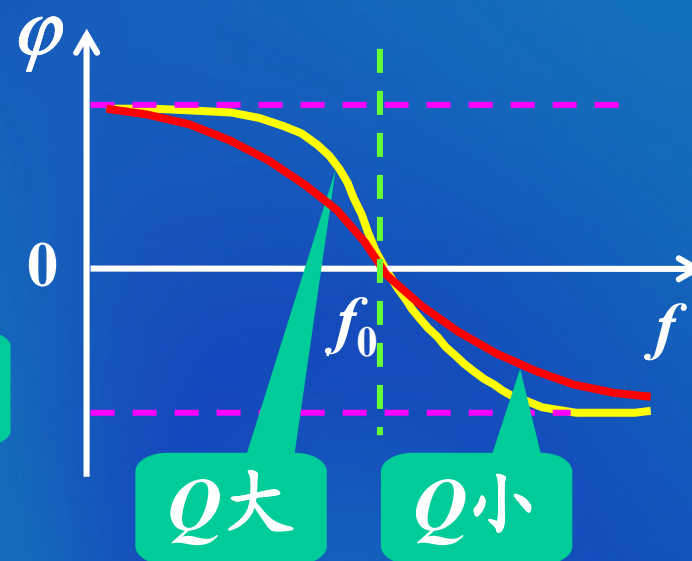
1. LC 并联谐振回路



阻抗频率特性



相频特性



(1) 谐振频率

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

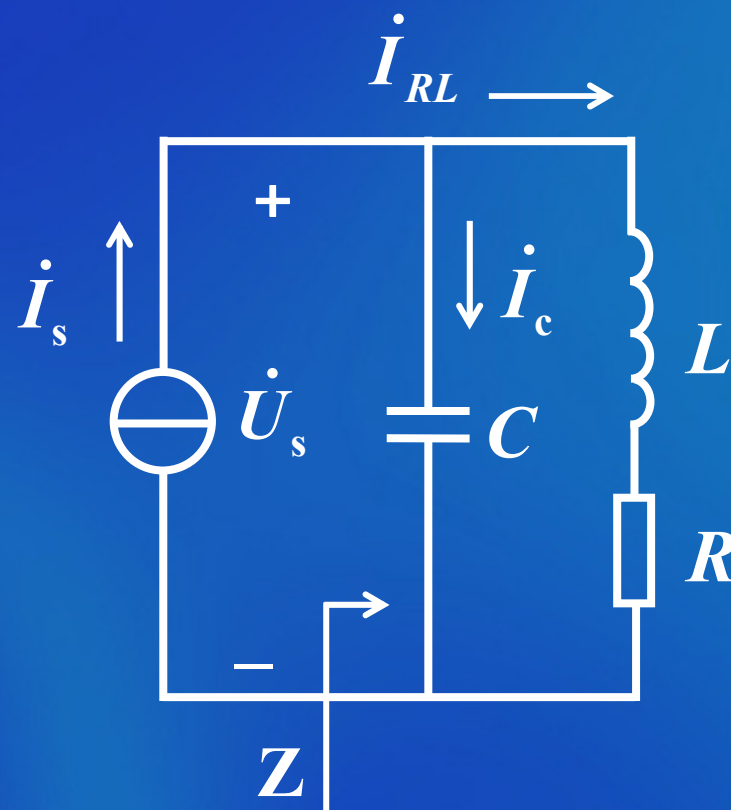
(2) 谐振时的等值电阻 R_0

$$R_0 = \frac{U_s}{I_s} = \frac{L}{RC}$$

$$R_0 = \max|Z|$$

(3) 电路的品质因数

$$Q = \frac{I_C}{I_s} = \frac{\omega_0 L}{R} \gg 1$$



2. 选频放大电路

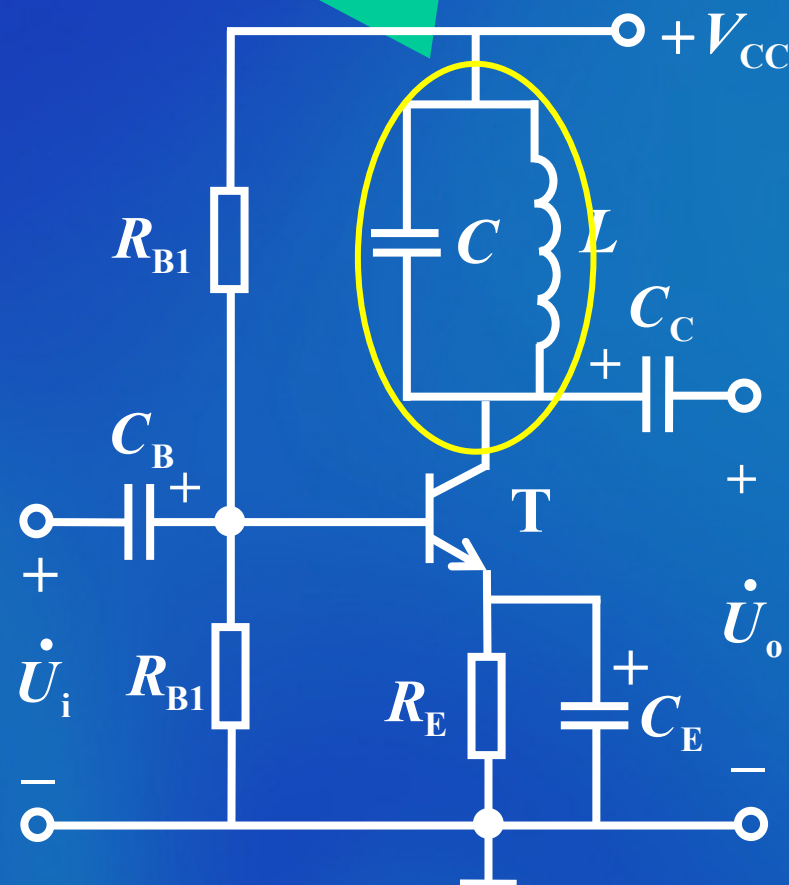
工作原理

当 $f=f_0$ （ LC 并联谐振频率）时

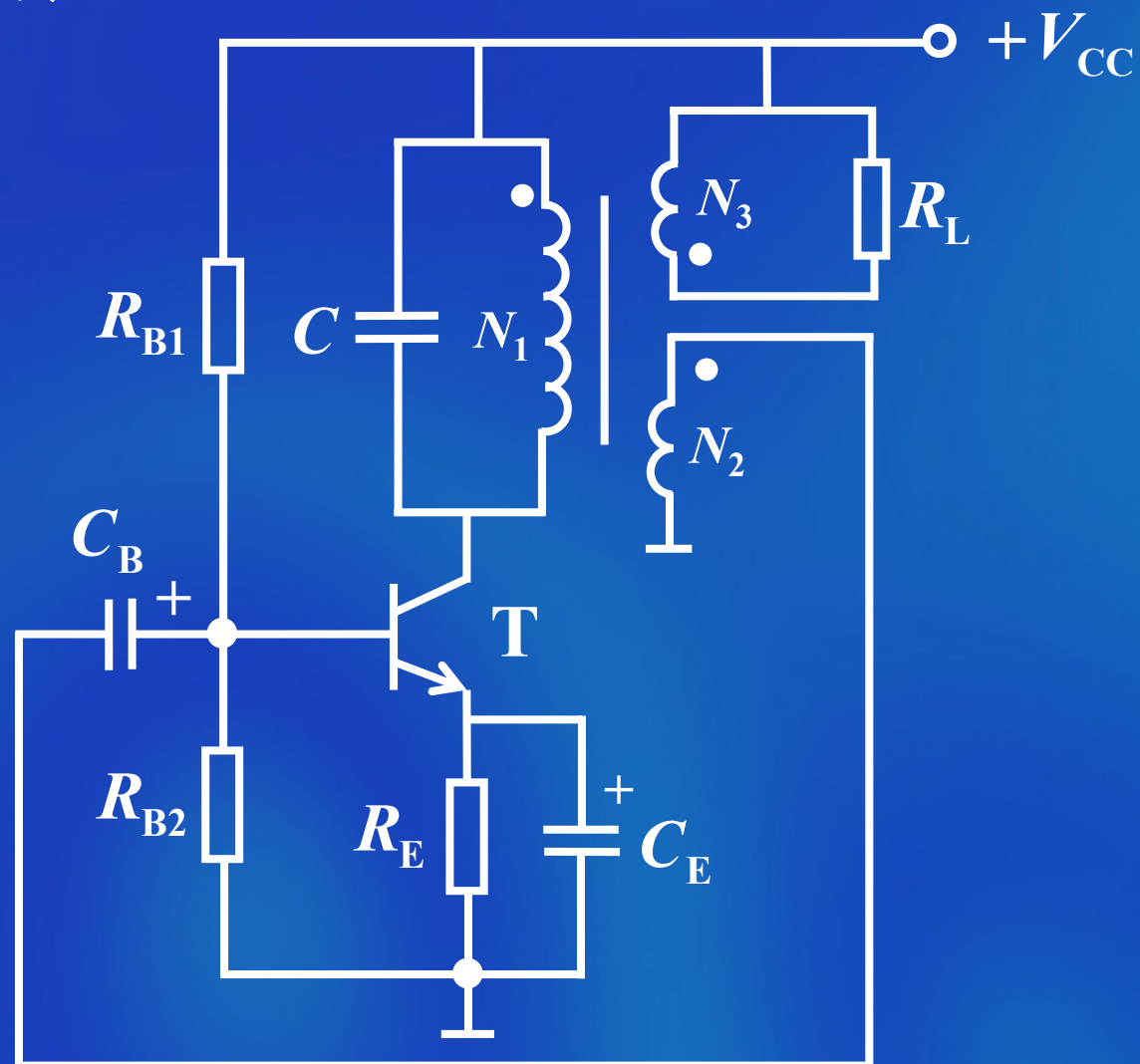
- (1) 输出电压幅值最大。
- (2) 输出与输入电压反相。

放大电路只对谐振频率 f_0 的信号有放大作用

LC 并联谐振电路



3. 变压器反馈式LC振荡电路



(1) 相位条件

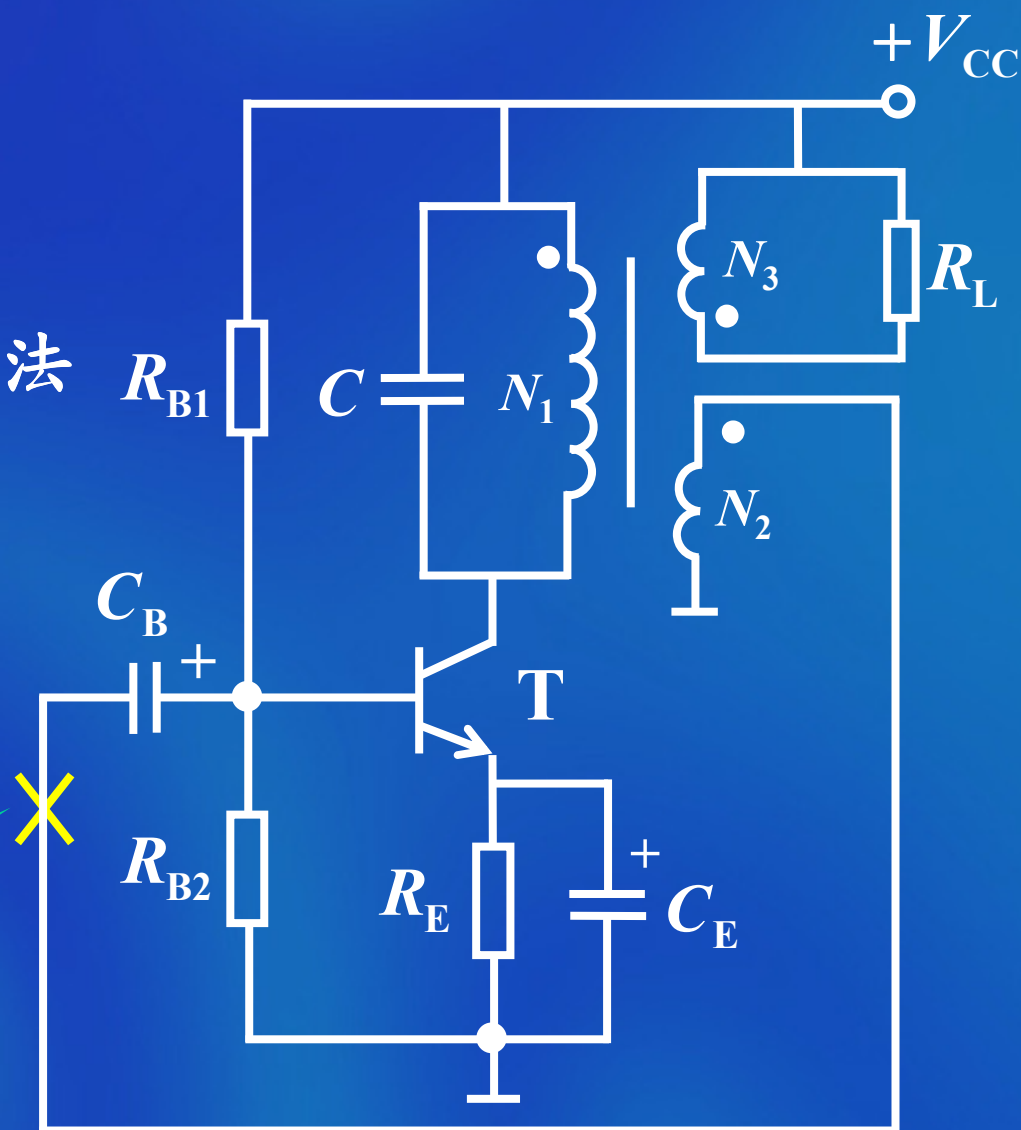
正反馈的判断

判断的方法——瞬时极性法

判断的步骤

a. 假设谐振回路发生谐振

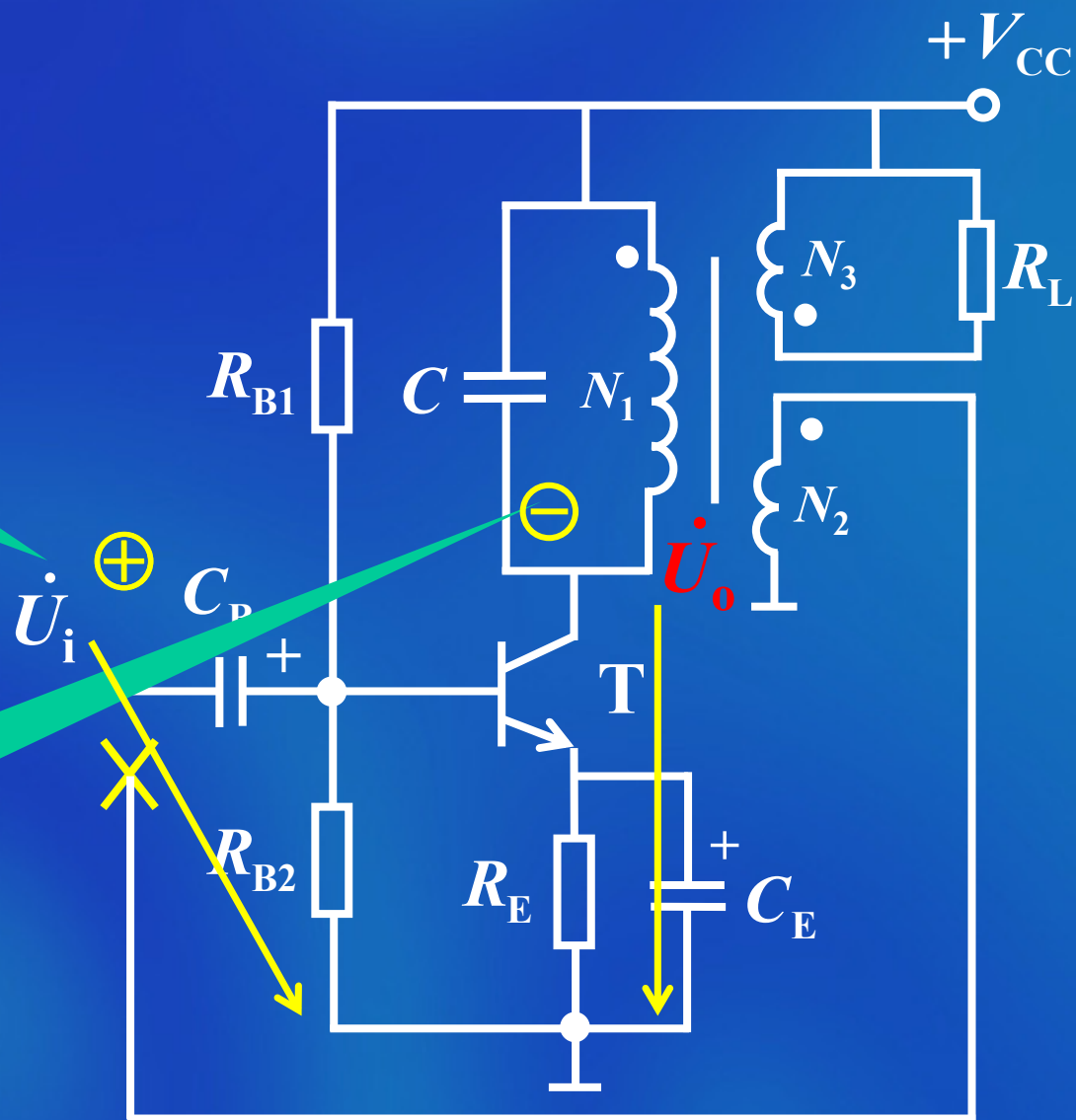
b. 断开反馈回路



c. 加入瞬时极性为 \oplus 输入电压 \dot{U}_i

d. 输出电压 \dot{U}_o 极性为 \ominus

$$\varphi_A = \pi$$



e. 反馈电压
极性 \dot{U}_f 为 \oplus

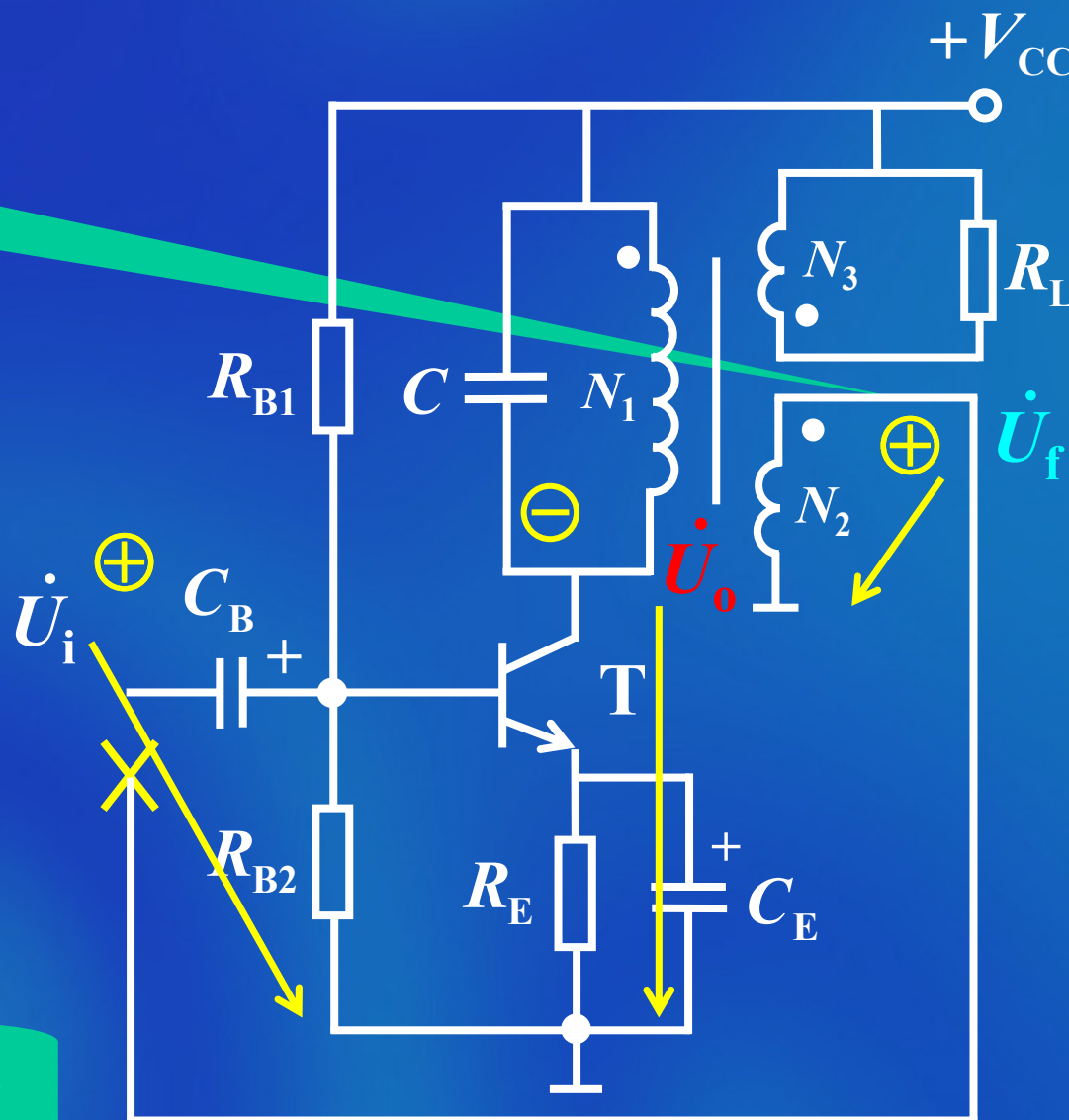
$$\varphi_F = \pi$$

f. 判断是否满足
相位平衡条件

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

构成正反馈

满足相位平衡条件



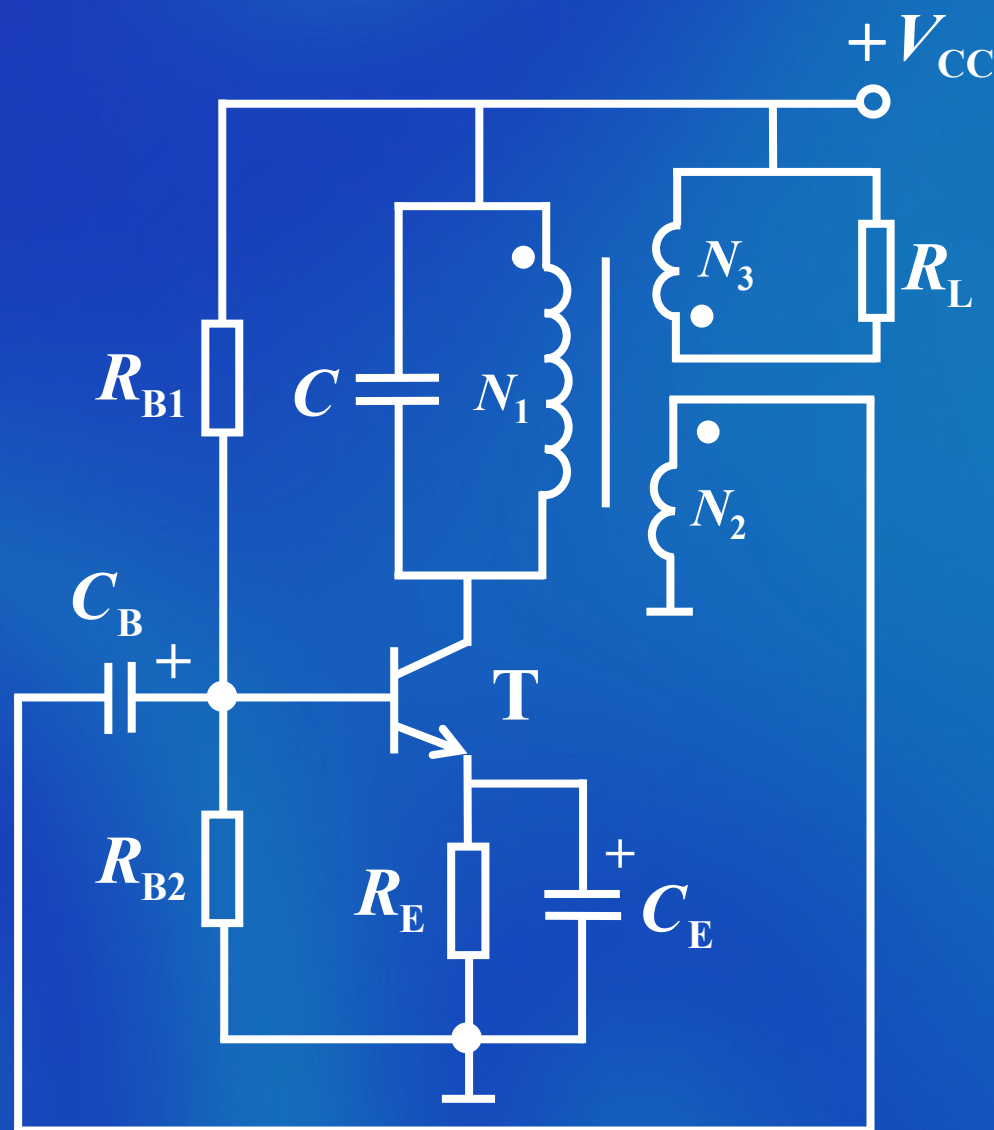
(2) 起振条件

因为

$$A = \beta \frac{R_C}{r_{be}}$$

$$F = \frac{N_2}{N_1}$$

合理地选择电路参数，
及变压器的变比，可使
 $AF > 1$ ，满足起振条件。



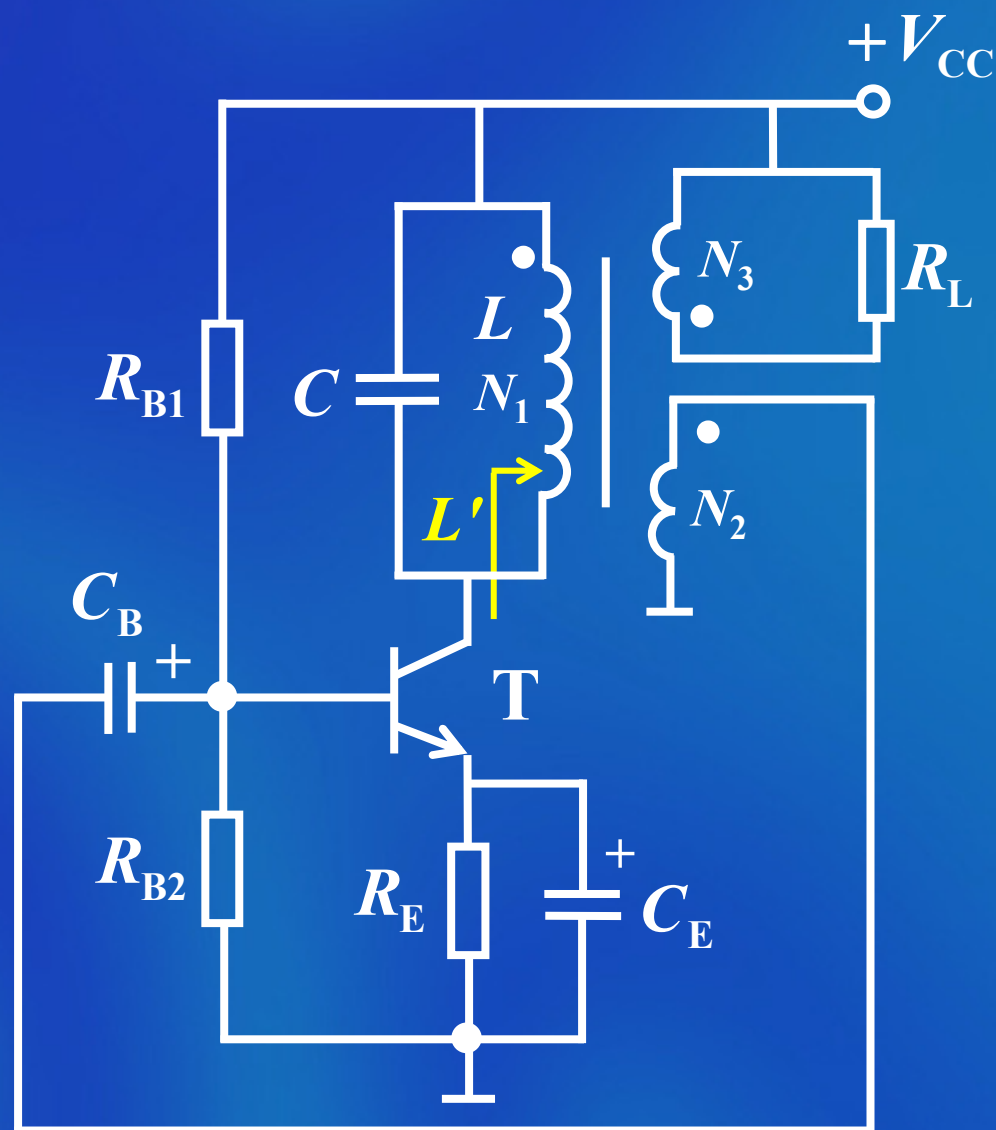
(3) 振荡频率

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L'C}}$$

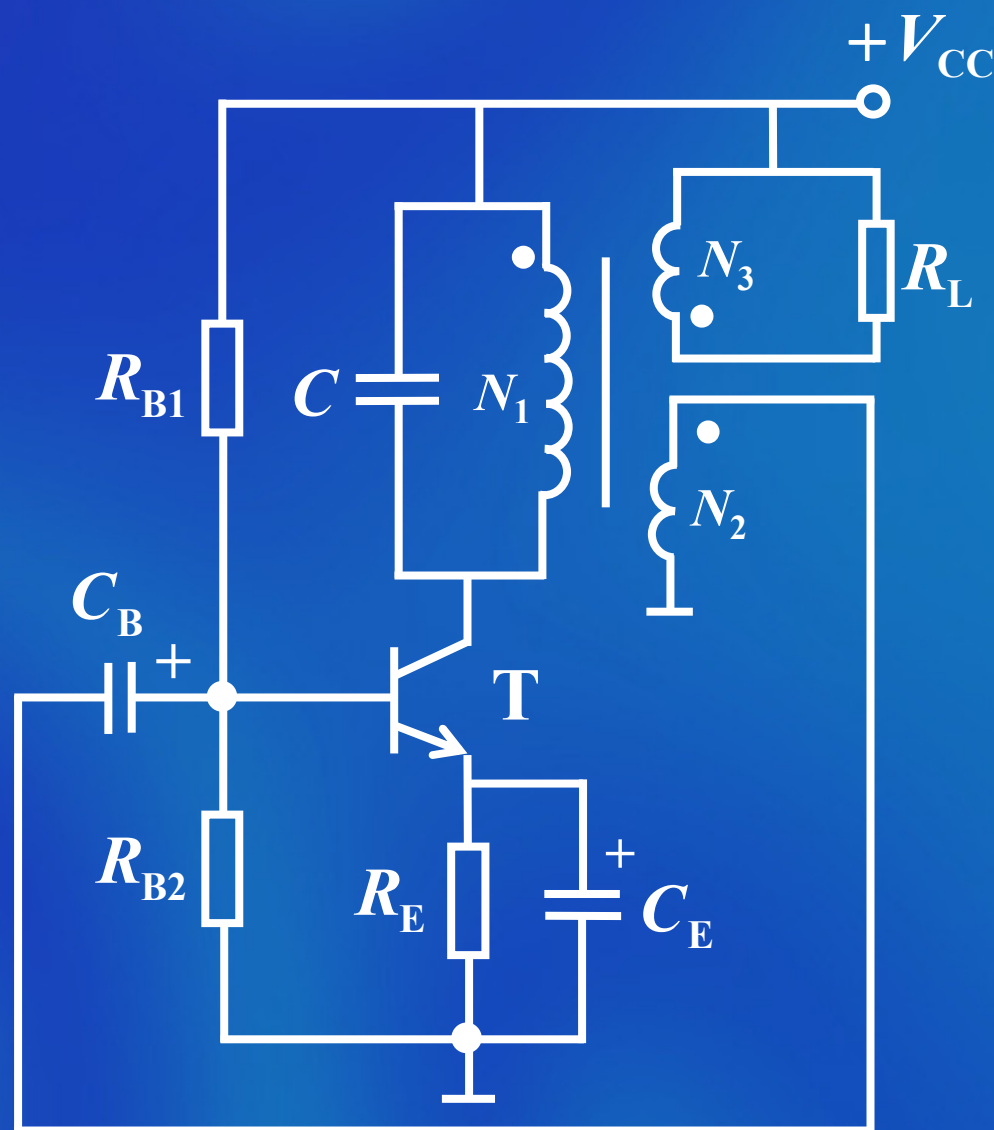
$$\approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

(4) 电路的特点

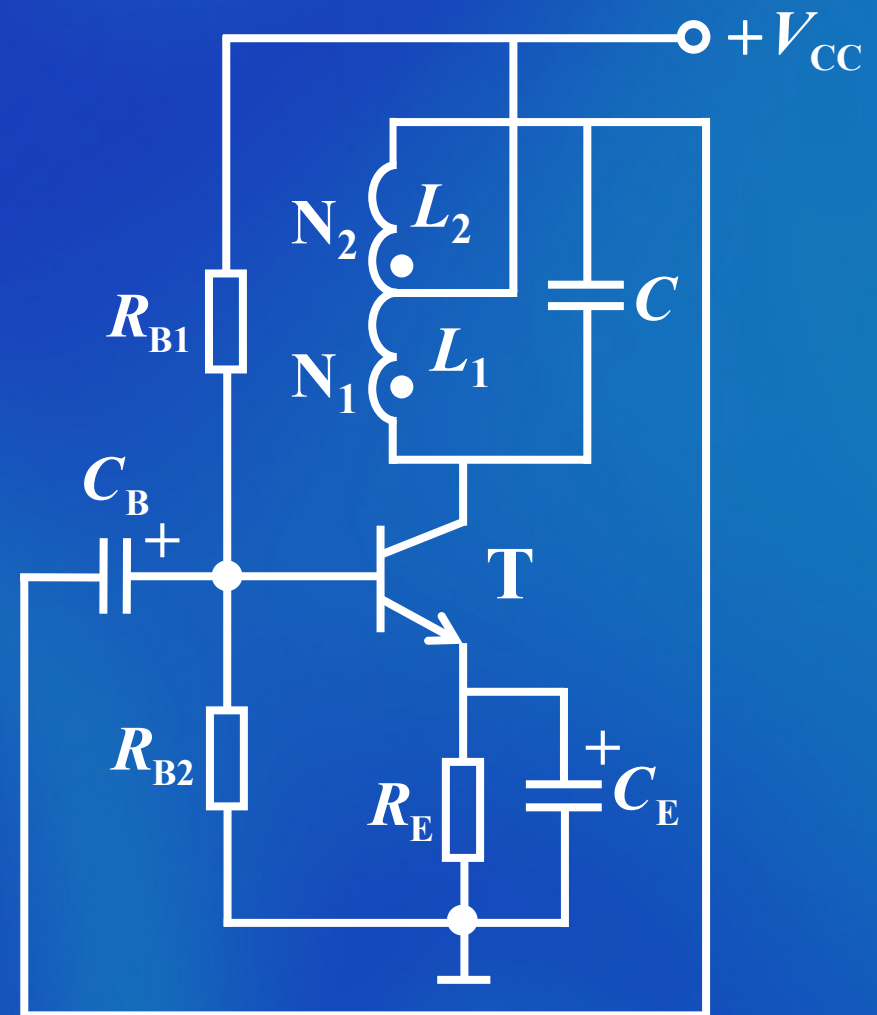
a. 调节 N_2 方便，起振容易。



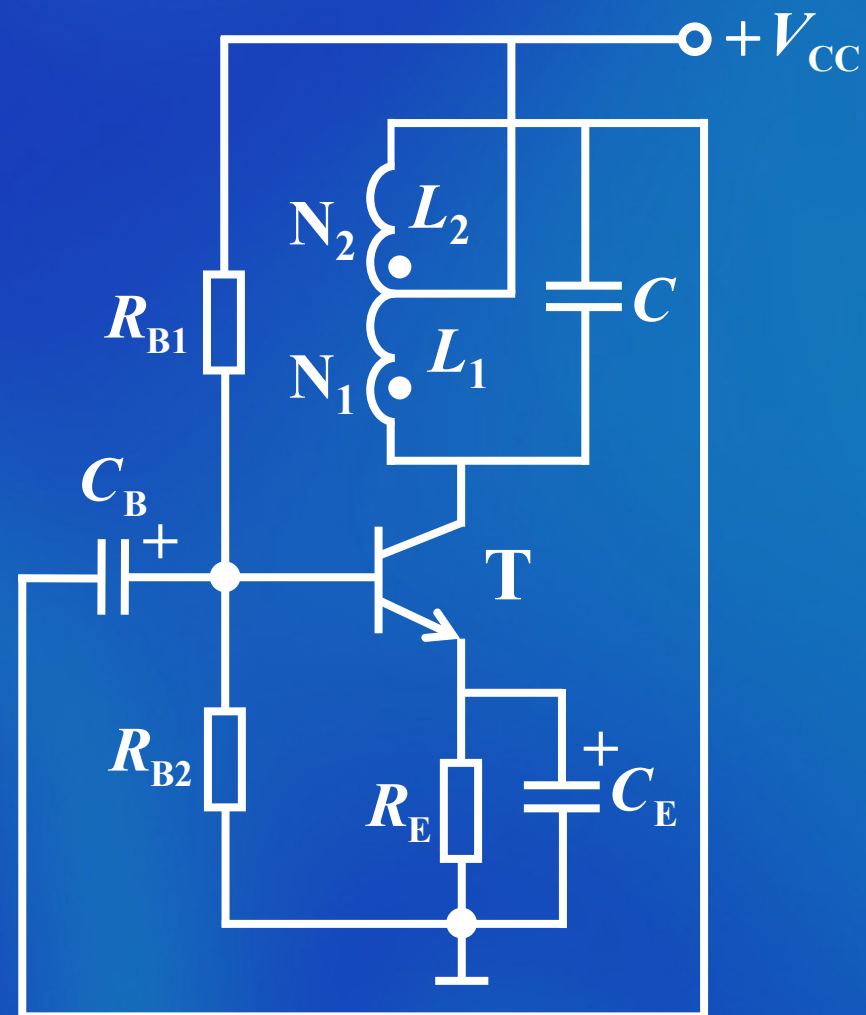
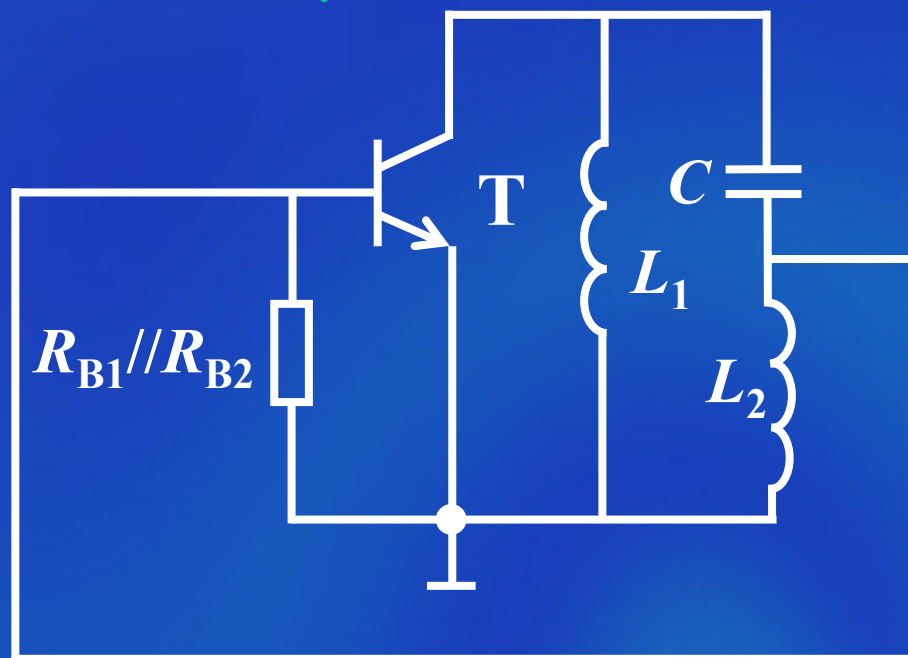
- b. 振荡频率高
- c. 电路的品质因数高
- d. 输出波形好
- e. 频率稳定性高
- f. 体积、重量大
- g. 受变压器分布参数的限制，振荡频率不能很高。



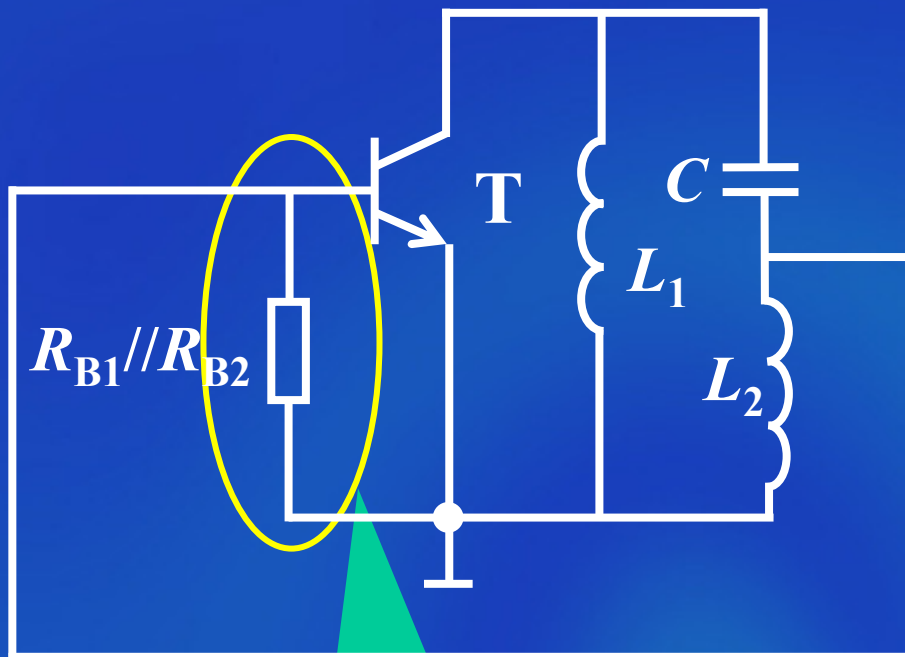
4. 电感三点式正弦振荡电路



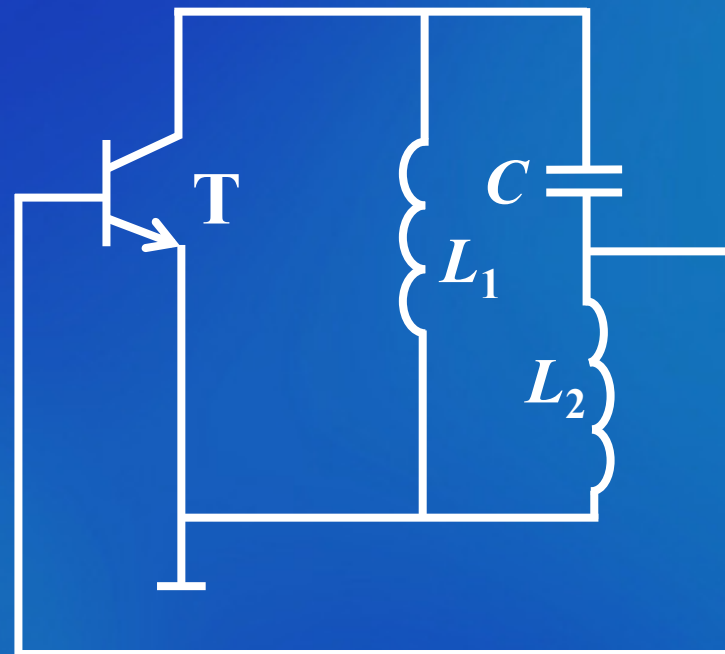
振荡电路的交流通路



简化的交流通路



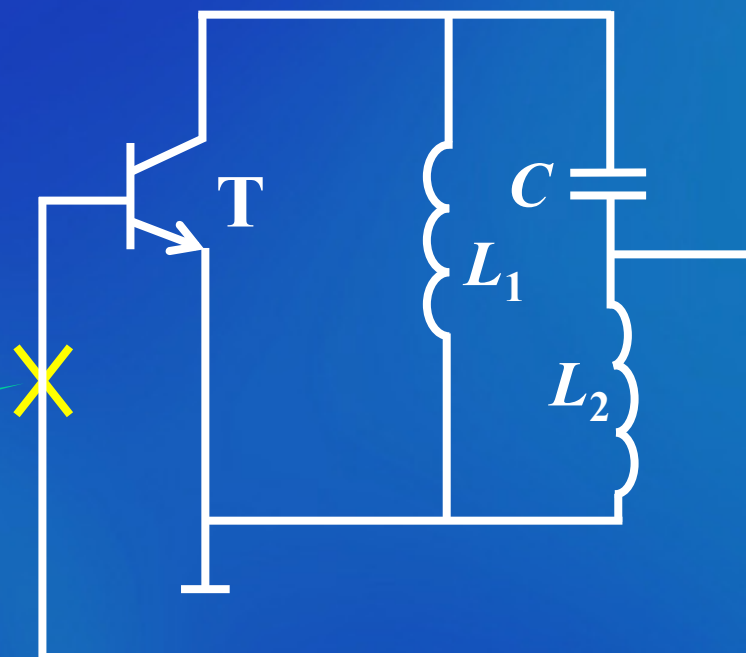
忽略 $R_{B1} // R_{B2}$



(1) 相位平衡条件的判断

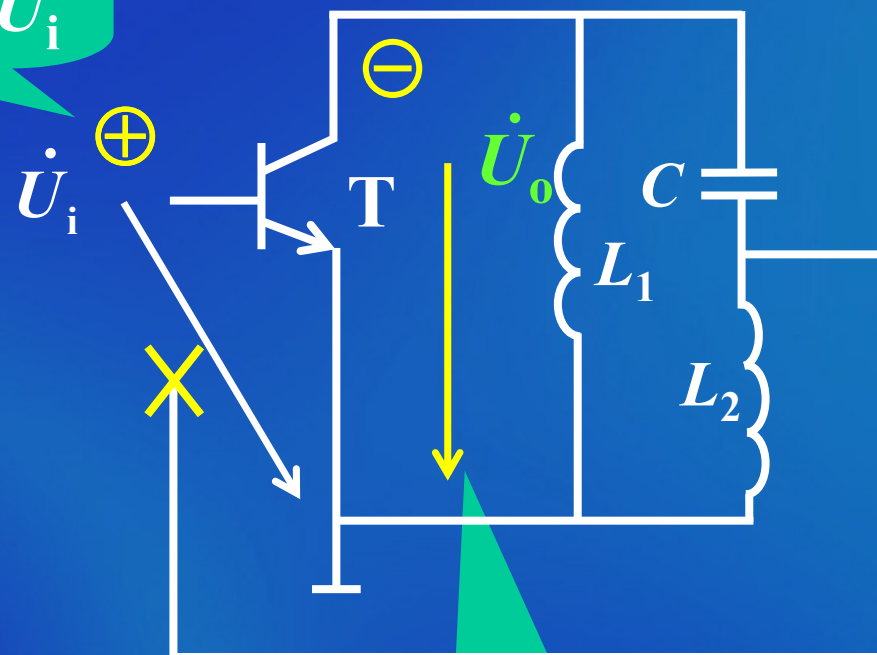
a. 假设谐振回路发生谐振

b. 断开反馈回路



c. 加入瞬时极性
为 \oplus 输入电压 \dot{U}_i

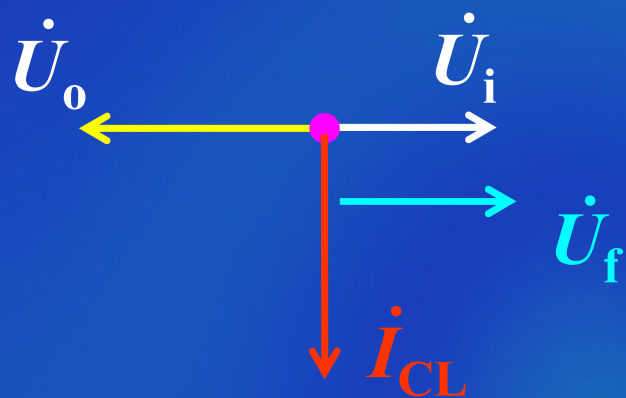
相量图



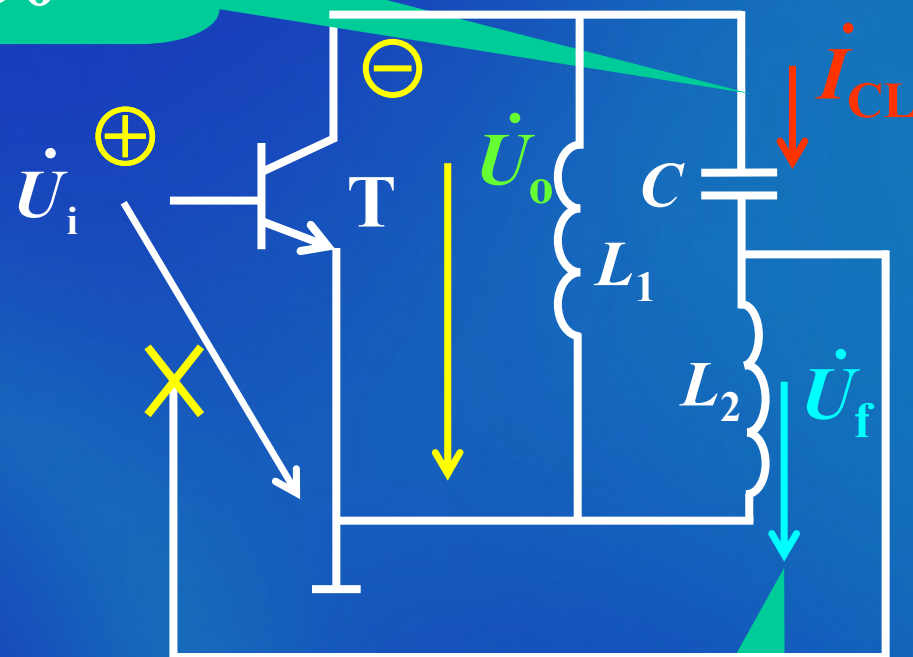
d. 输出电压
 \dot{U}_o 极性为 \ominus

e. 电流 \dot{I}_{CL} 超前 \dot{U}_o 90°

相量图

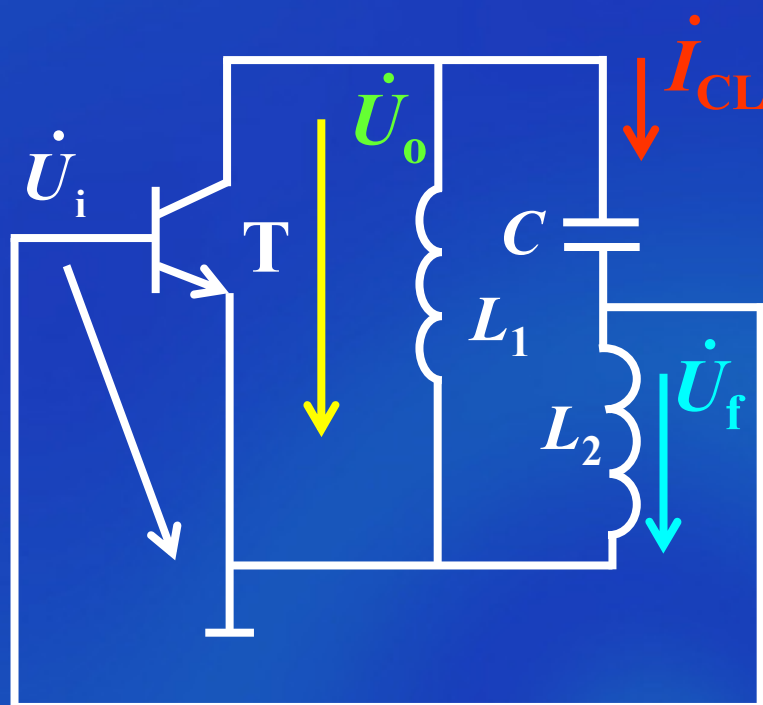


\dot{U}_f 与 \dot{U}_i 同相, 满足相位平衡条件



f. 电压 \dot{U}_f 超前 \dot{I}_{CL} 90°

(2) 幅度条件



\dot{U}_f 来自 L_2 , 改变电感中间抽头位置, 调整反馈强弱, 容易满足幅度条件。

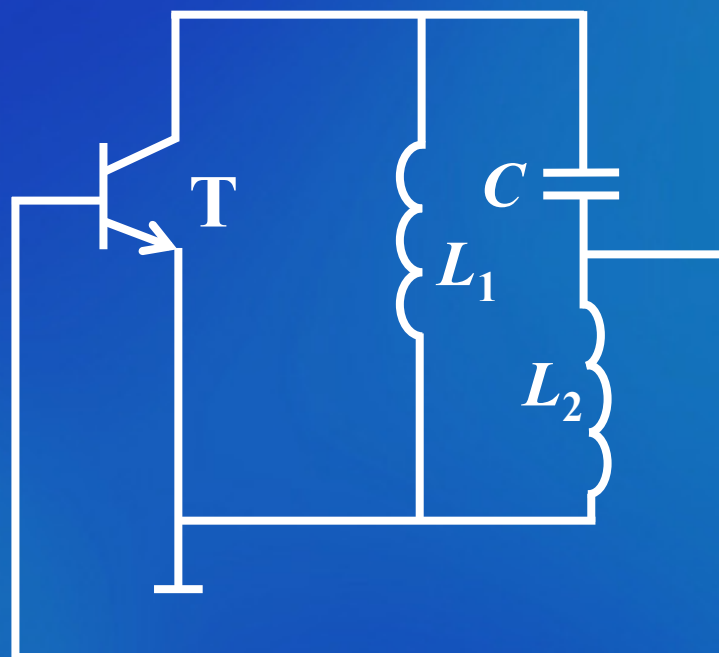
(3) 谐振频率

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

式中

$$L = L_1 + L_2 + 2M$$

M 为线圈 L_1 与 L_2 之间的互感

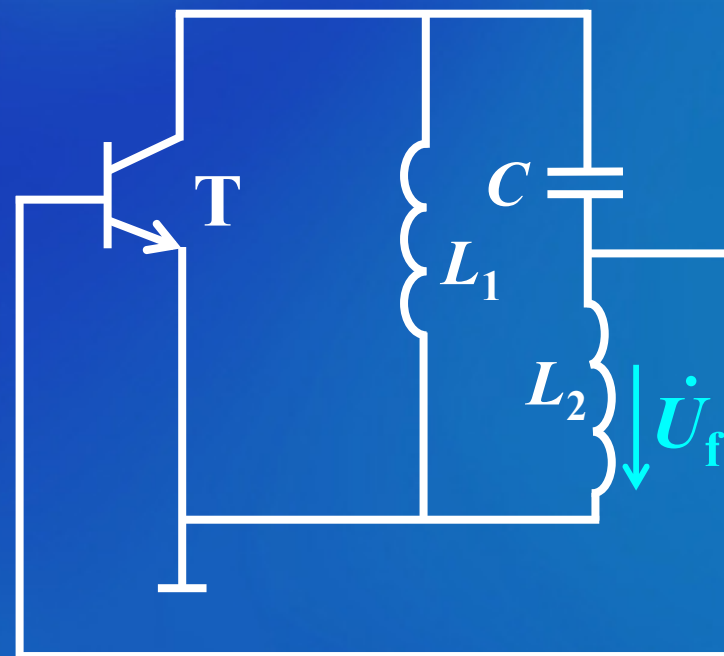


(4) 电路特点

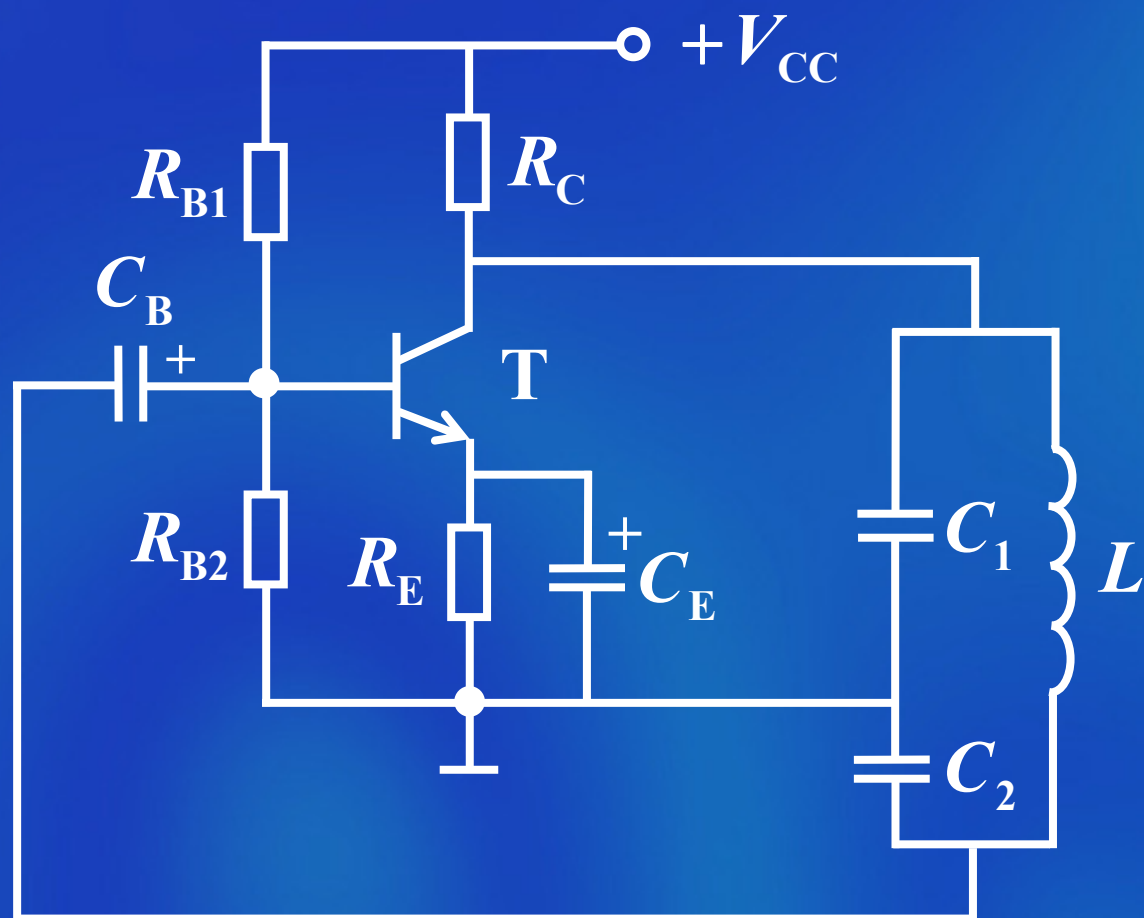
a. 线圈的三个端子分别与T的三个电极B、C、E相连接，故称之为电感三点式振荡电路。

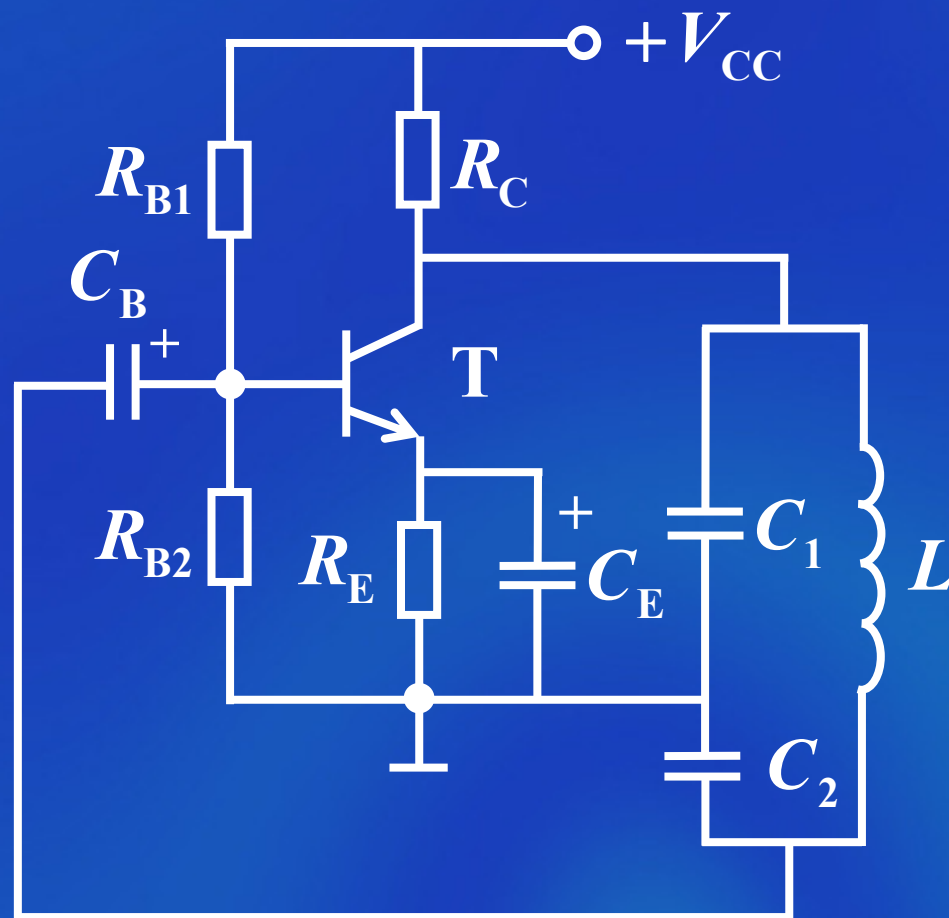
b. 容易起振。

c. 输出波形中含有高次谐波，波形较差。

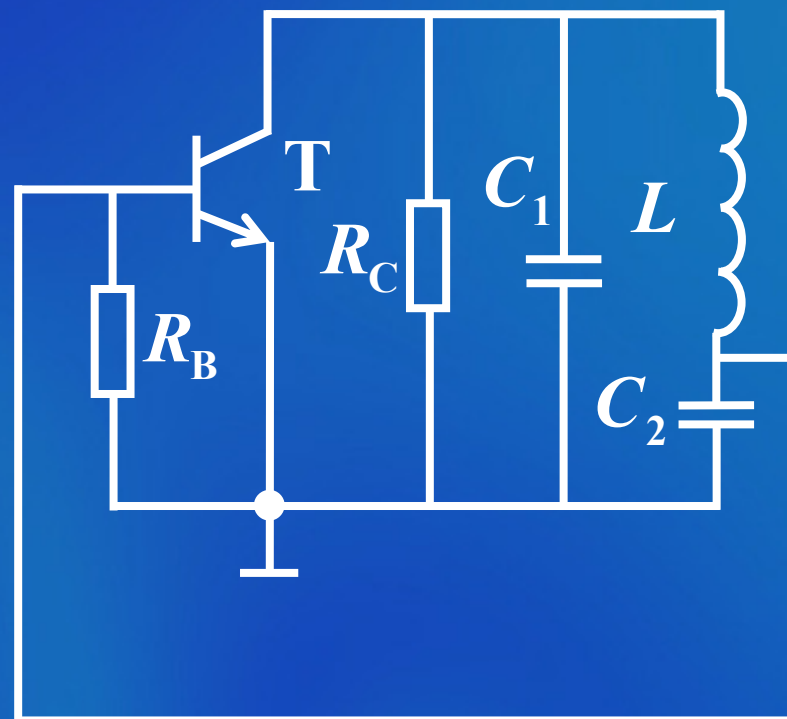


(5) 电容三点式正弦波振荡电路



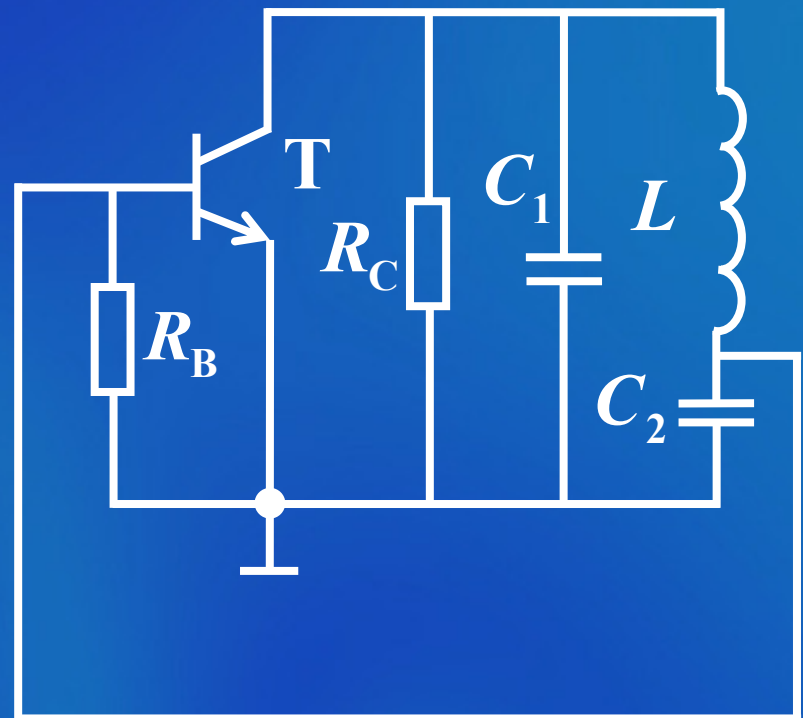
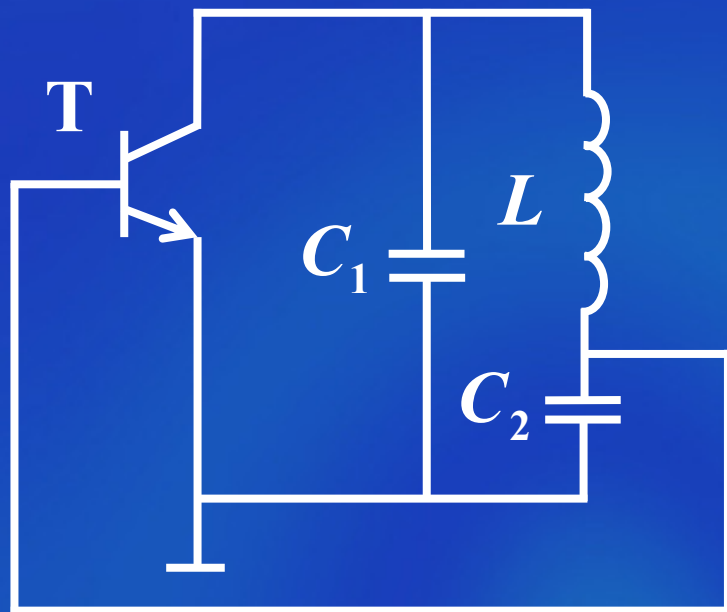


交流通路



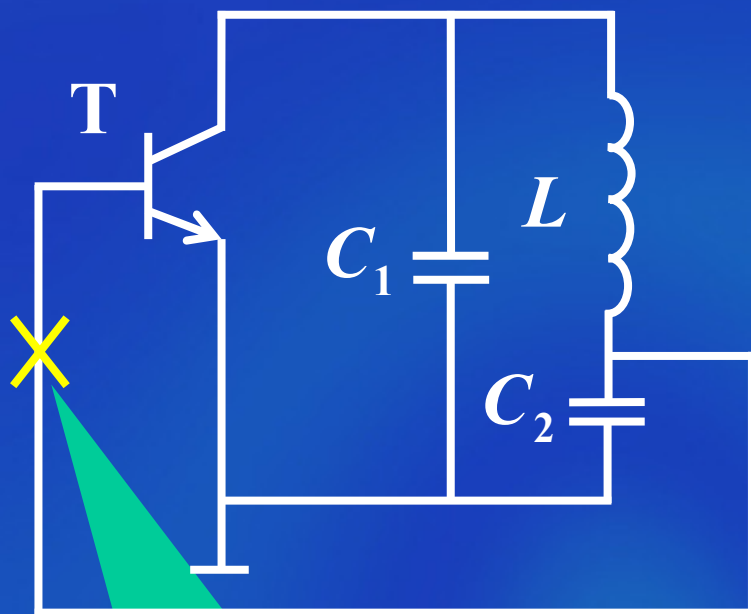
$$R_B = R_{B1} // R_{B2}$$

简化的交流通路



(1) 相位平衡条件的判断

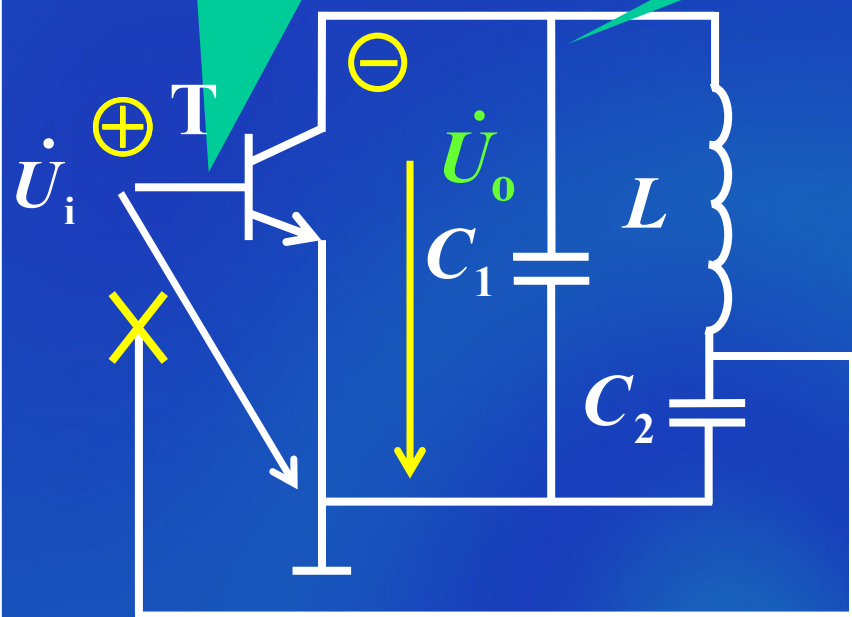
a. 假设谐振回路发生谐振



b. 断开反馈回路

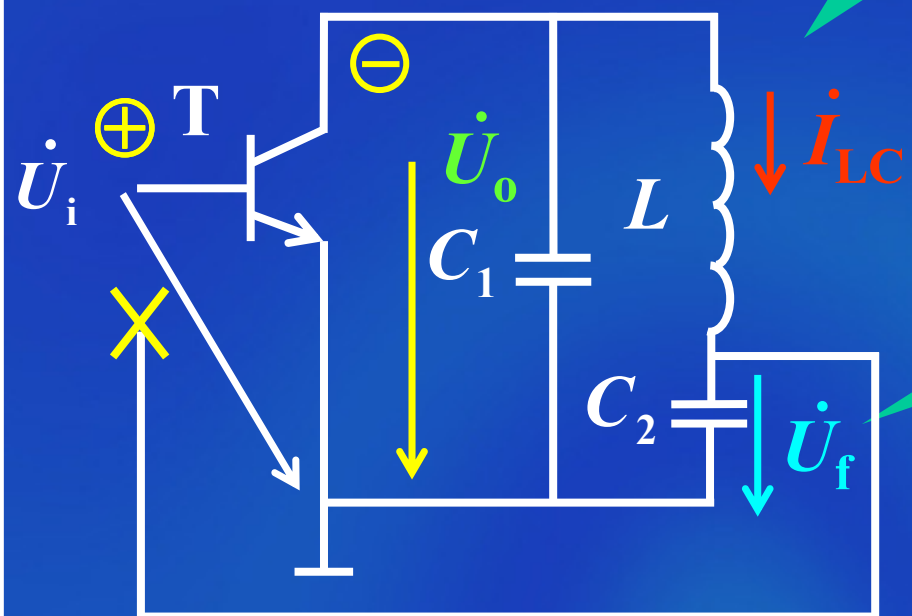
c. 加入瞬时极性为 \oplus 输入电压 \dot{U}_i

d. 输出电压 \dot{U}_o 极性为 \ominus



相量图

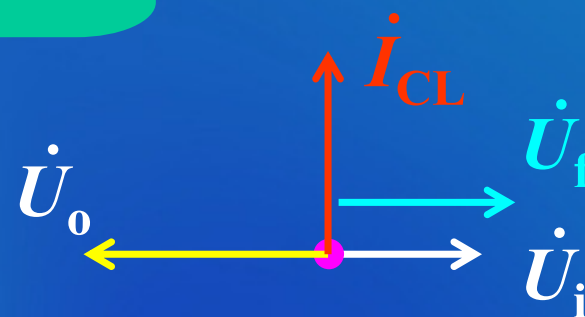




e. 电流 \dot{I}_{LC} 滞后 $\dot{U}_o 90^\circ$

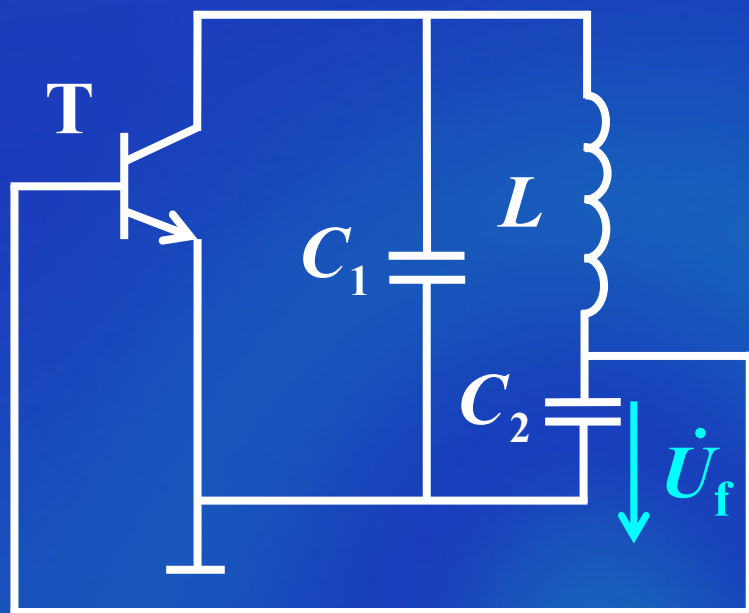
f. 电压 \dot{U}_f 滞后 $\dot{I}_{CL} 90^\circ$

相量图



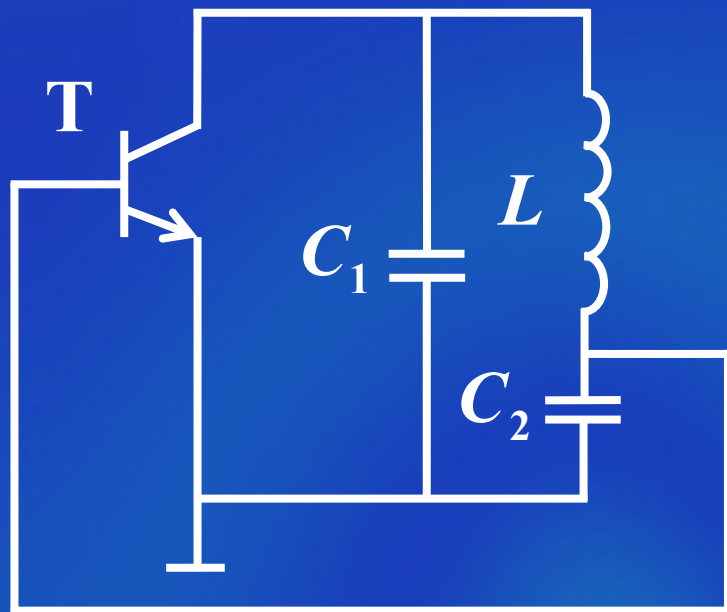
\dot{U}_f 与 \dot{U}_f 同相, 满足相位平衡条件

(2) 幅度条件



\dot{U}_f 来自 C_2 , 改变 C_2 的大小, 调整反馈强弱, 容易满足幅度条件。

(3) 谐振频率



$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

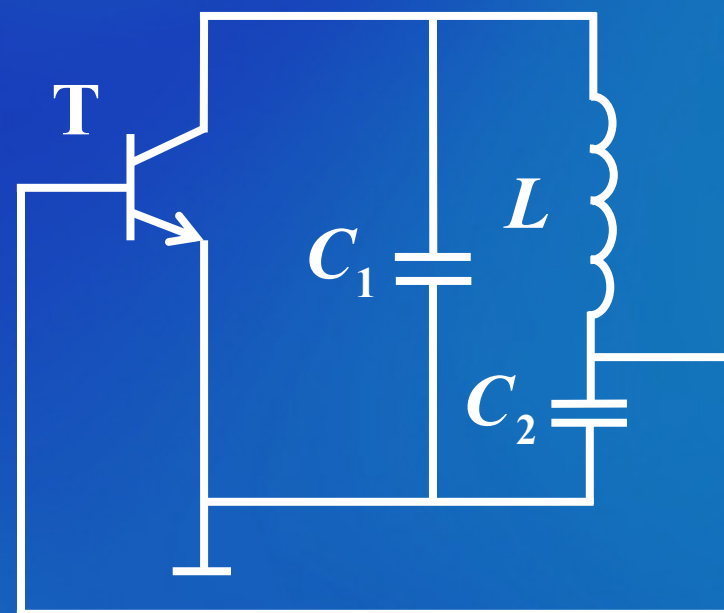
(4) 电路特点

a. 电容器的三个端子分别与T的三个电极相连接，故称之为电容三点式振荡电路。

b. 容易起振。

c. 输出波形中高次谐波少，波形好。

d. 改变电容 C_2 时，容易停振。

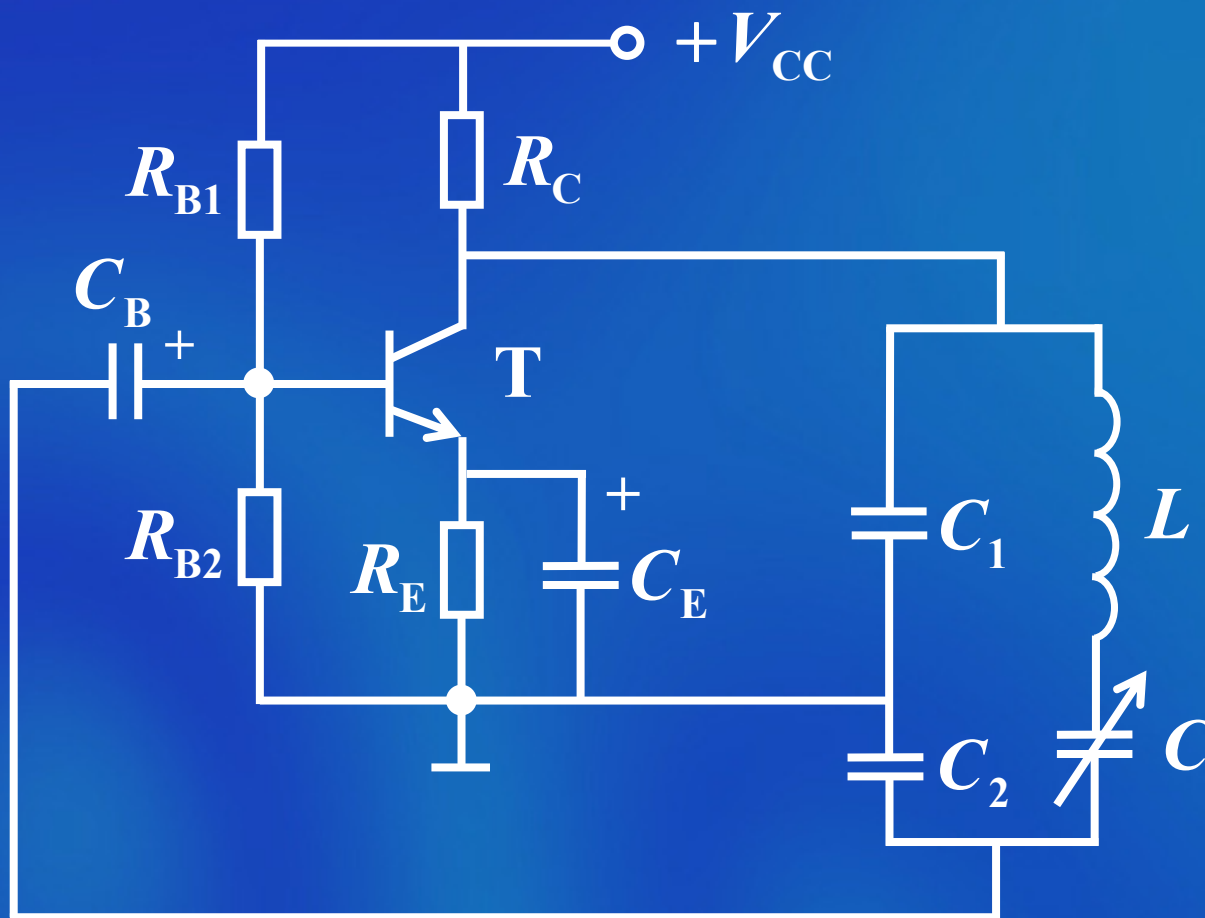


改进的电容三点式振荡电路

谐振频率

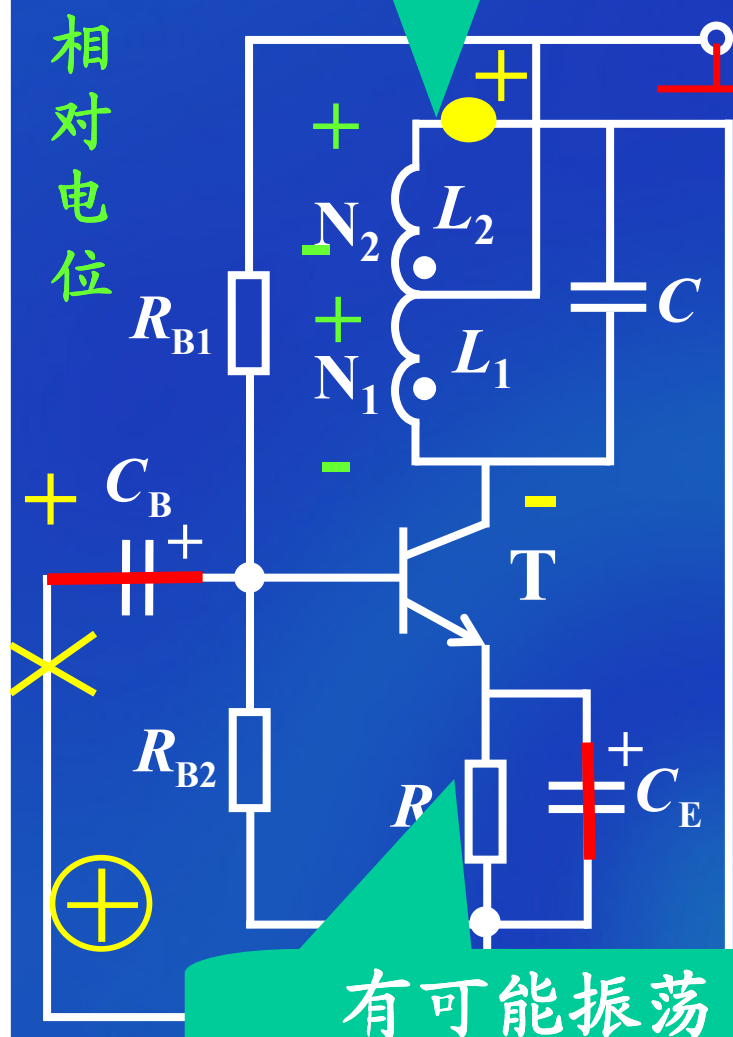
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC'}}$$

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C}$$



比“地”高

其它判别法



1. 短接大电容----交流信号
在大电容上无压降

2. 直流电源交流接地

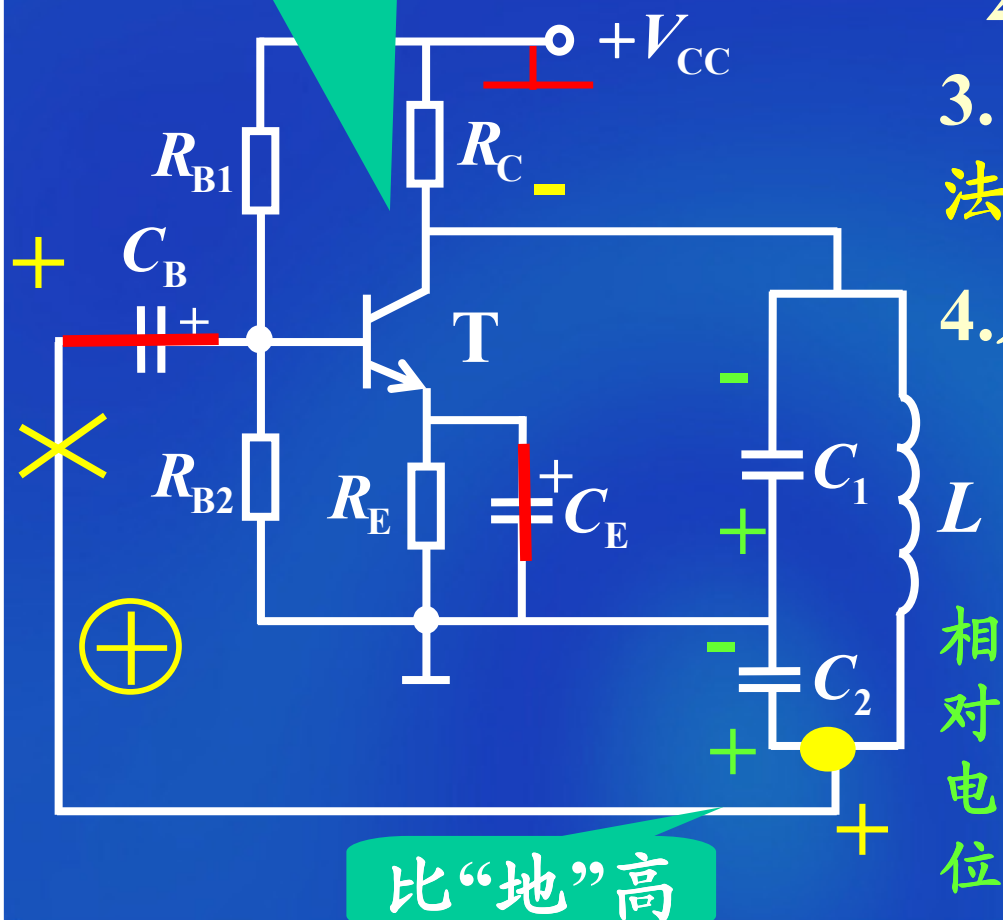
3. 断开反馈判极性---瞬时极性
法

4. 是否是正反馈? ---并联反馈

是---- 有可能振荡

否---- 不可能振荡

有可能振荡



1.短接大电容----交流信号
在大电容上无压降

2.直流电源交流接地

3. 断开反馈判极性---瞬时极性
法

4.是否是正反馈? ---并联反馈

是---- 有可能振荡

否---- 不可能振荡

相对
电位

8.1.4 晶体振荡器（自学）



1. 石英晶体的基本特性

（1）各向异性

（2）具有压电效应

压电效应：

在晶片的两面之间加电场，就会产生机械变形。

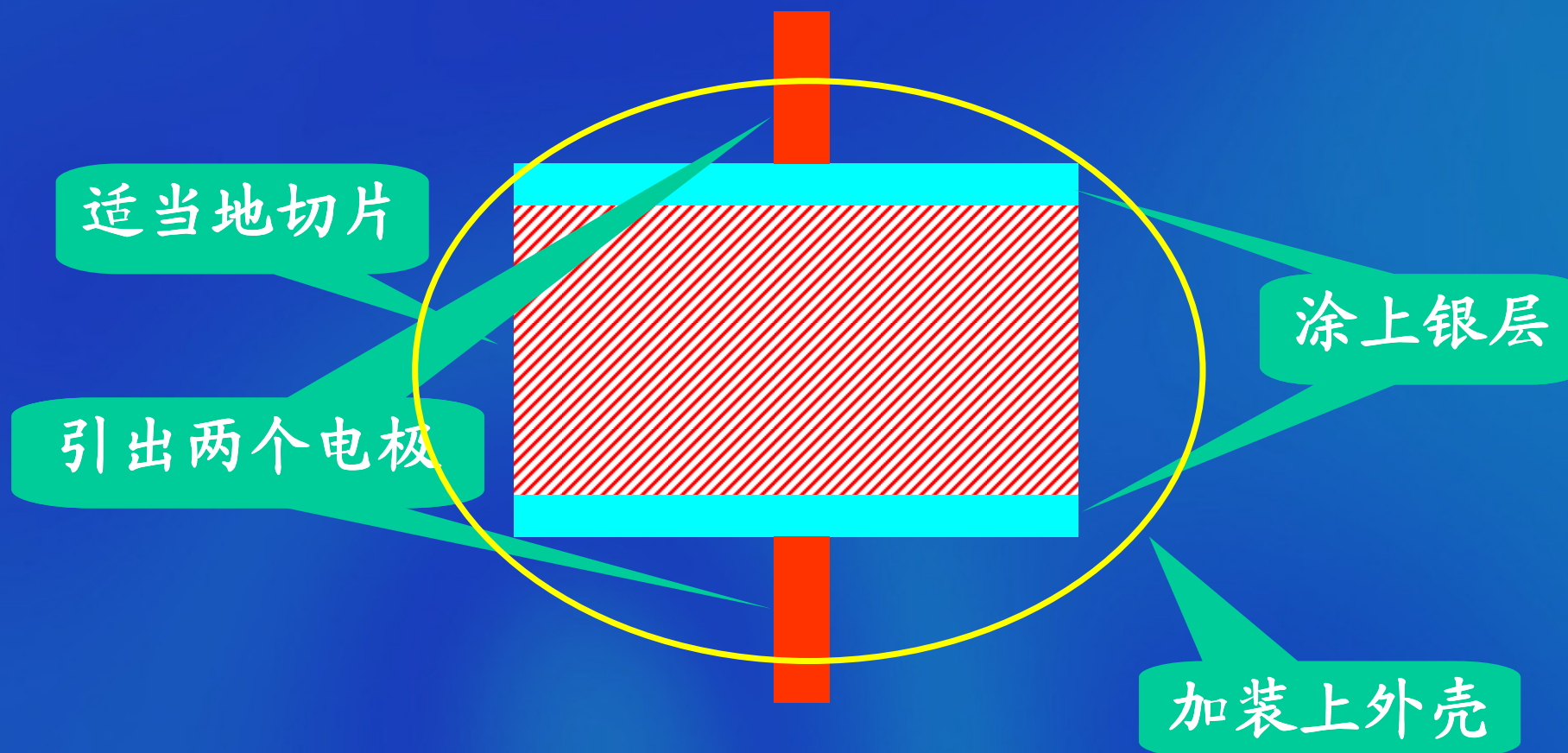
在晶片的两侧施加压力，又会产生电场。

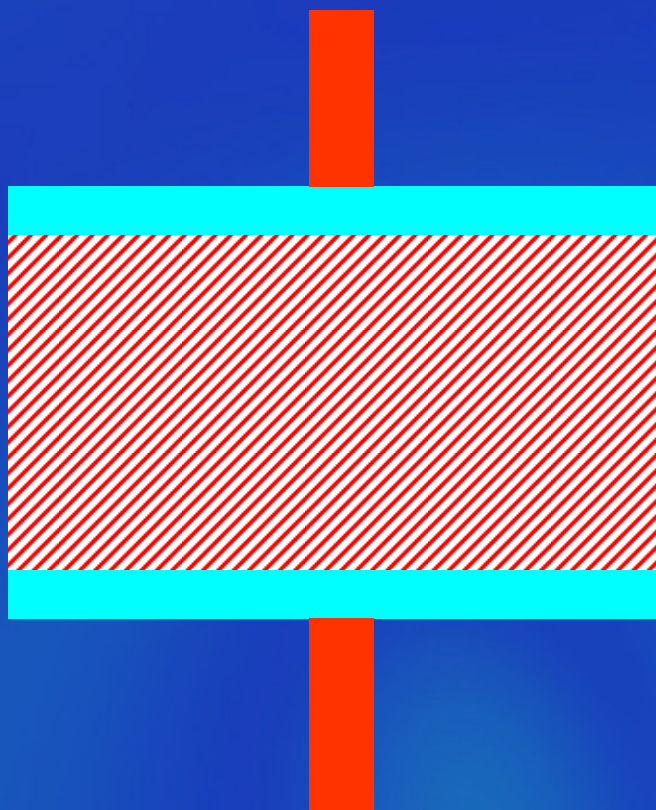
压电谐振

当在晶片的两电极之间加交变电压时，晶片就会产生机械变形振动。

当交变电压的频率等于晶片的固有机械振动频率时，振幅急剧增加，这种现象称为压电谐振。

石英晶体谐振器的结构





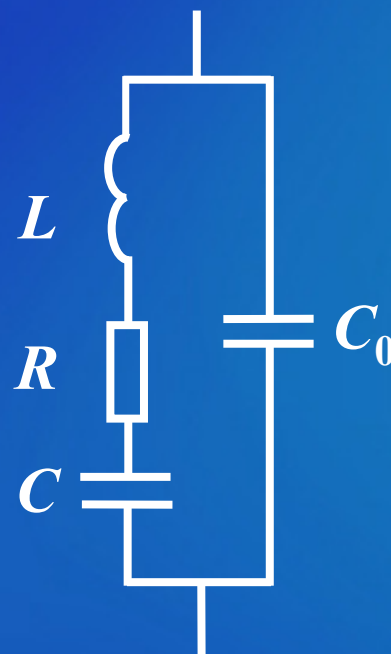
电路符号



(2) 等效电路和谐振频率



等效电路



L ——等效晶片振动时的惯性

C_0 ——两金属电极间构成的静电电容

C ——等效晶片振动时的弹性

R ——等效晶片振动时内部的摩擦损耗

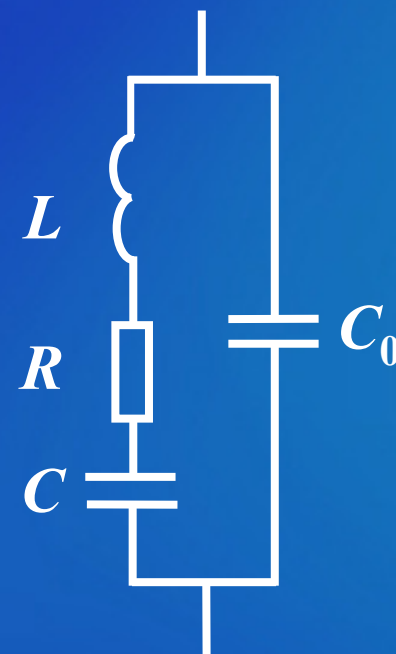
电路特点:

- a. L 很大, C 和 R 很小
 - b. Q 很高, 达 $10^4 \sim 10^6$
 - c. 频率稳定度 ($\Delta f / f_0$) 很高。
- 三种振荡电路的频率稳定度:

RC 振荡器: 10^{-2}

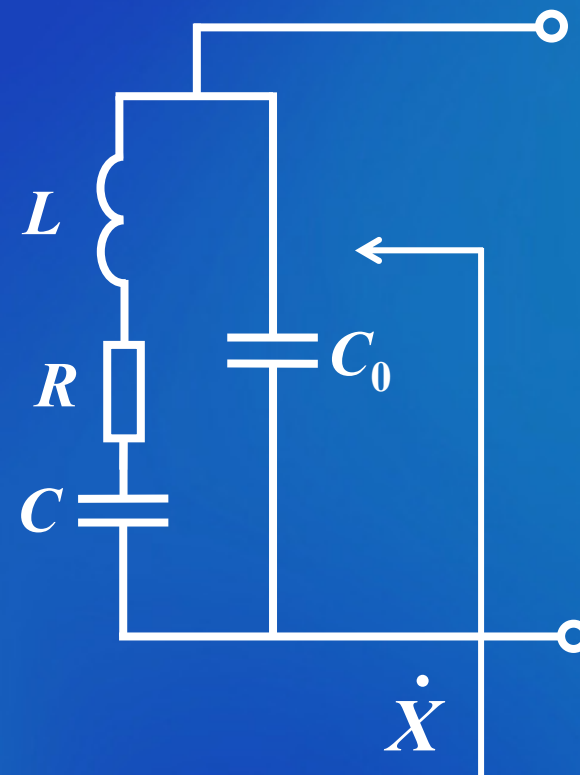
LC 振荡: $10^{-3} \sim 10^{-4}$

石英晶体振荡: $10^{-9} \sim 10^{-11}$



当忽略 R 时，电抗

$$\begin{aligned}\dot{X} &= \frac{\frac{1}{j\omega C_0} (j\omega L + \frac{1}{j\omega C})}{\frac{1}{j\omega C_0} + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} \\ &= \frac{1 - \omega^2 LC}{j\omega(C_0 + C - \omega^2 LCC_0)}\end{aligned}$$



$$\dot{X} = \frac{1 - \omega^2 LC}{j\omega(C_0 + C - \omega^2 LCC_0)}$$

a. 当 $1 - \omega^2 LC = 0$ 时, $\dot{X} = 0$

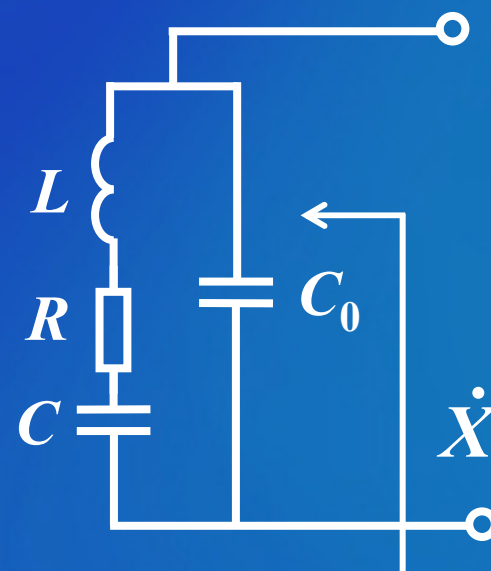
电路发生串联谐振

串联谐振频率

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

当 $f < f_s$ 时, $X < 0$, 电路呈容性

当 $f > f_s$ 时, $X > 0$, 电路呈感性



$$\dot{X} = \frac{1 - \omega^2 LC}{j\omega(C_0 + C - \omega^2 LCC_0)}$$

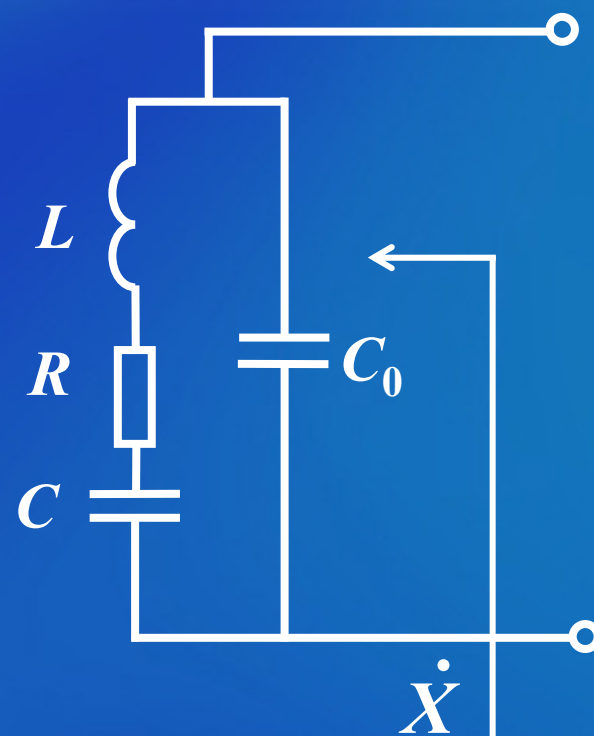
b. 当 $j\omega(C_0 + C - \omega^2 LCC_0) = 0$ 时

$$\dot{X} = \infty$$

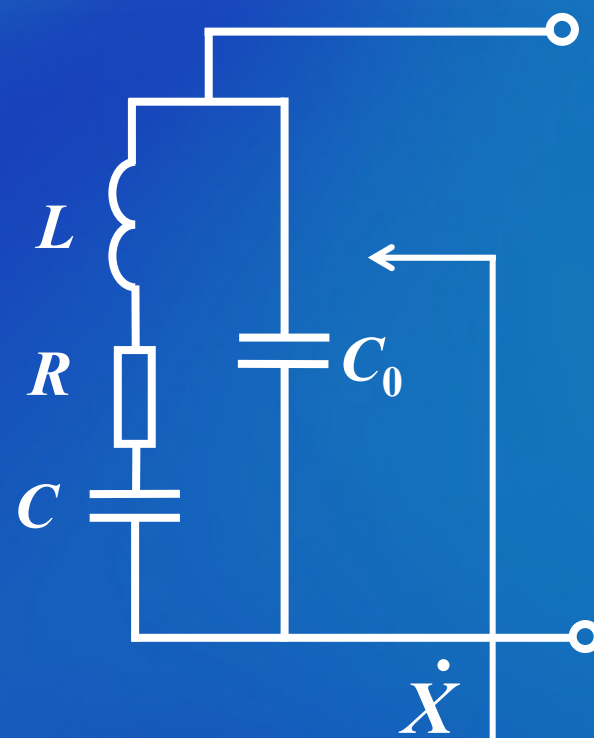
电路发生并联谐振

并联谐振频率

$$f_P = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_0 C}{C_0 + C}}}$$



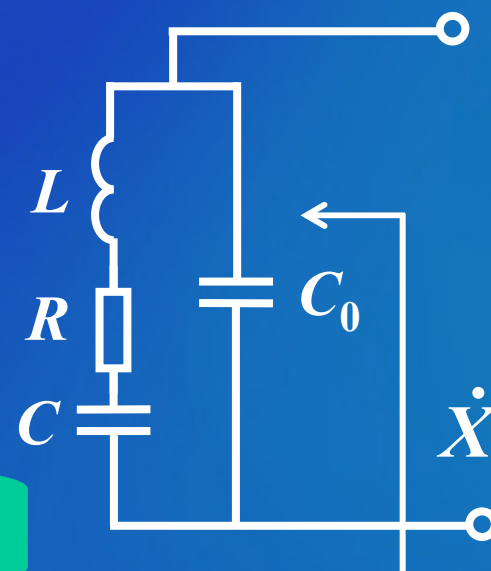
$$\begin{aligned}
 f_P &= \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_0 C}{C_0 + C}}} \\
 &= \frac{1}{2\pi \sqrt{LC \frac{C_0}{C_0 + C}}} \\
 &= \frac{\sqrt{\frac{C_0 + C}{C_0}}}{2\pi \sqrt{LC}} \\
 &= f_S \sqrt{1 + \frac{C}{C_0}}
 \end{aligned}$$



由于 \$C \ll C_0\$

故 \$f_P \approx f_S\$

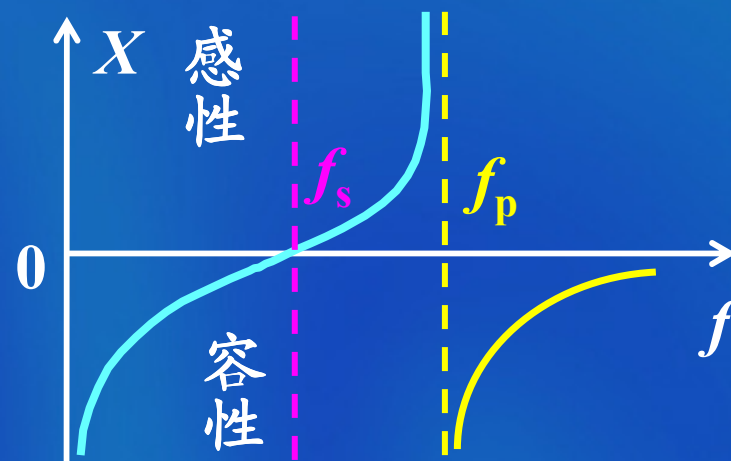
由式 $\dot{X} = \frac{1 - \omega^2 LC}{j\omega(C_0 + C - \omega^2 LCC_0)}$ 知



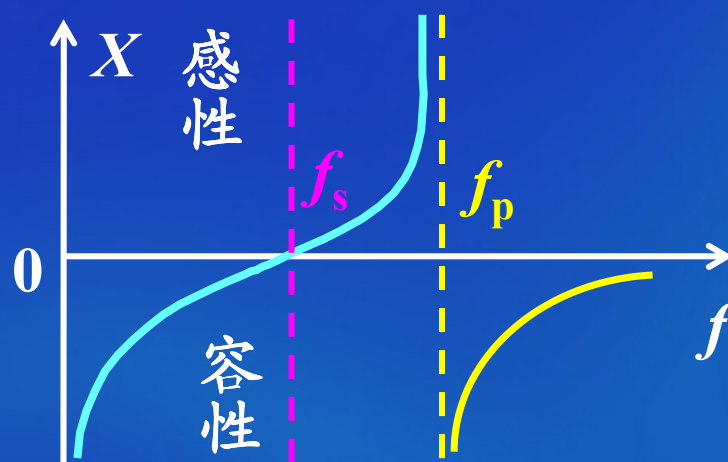
电抗—频率特性

当 $f \rightarrow f_p$ 时, $X \rightarrow -\infty$

当 $f \rightarrow \infty$ 时, $X \rightarrow 0$



电抗—频率特性



可见:

a. 当 $f_s < f < f_p$ 时, 电路呈感性。

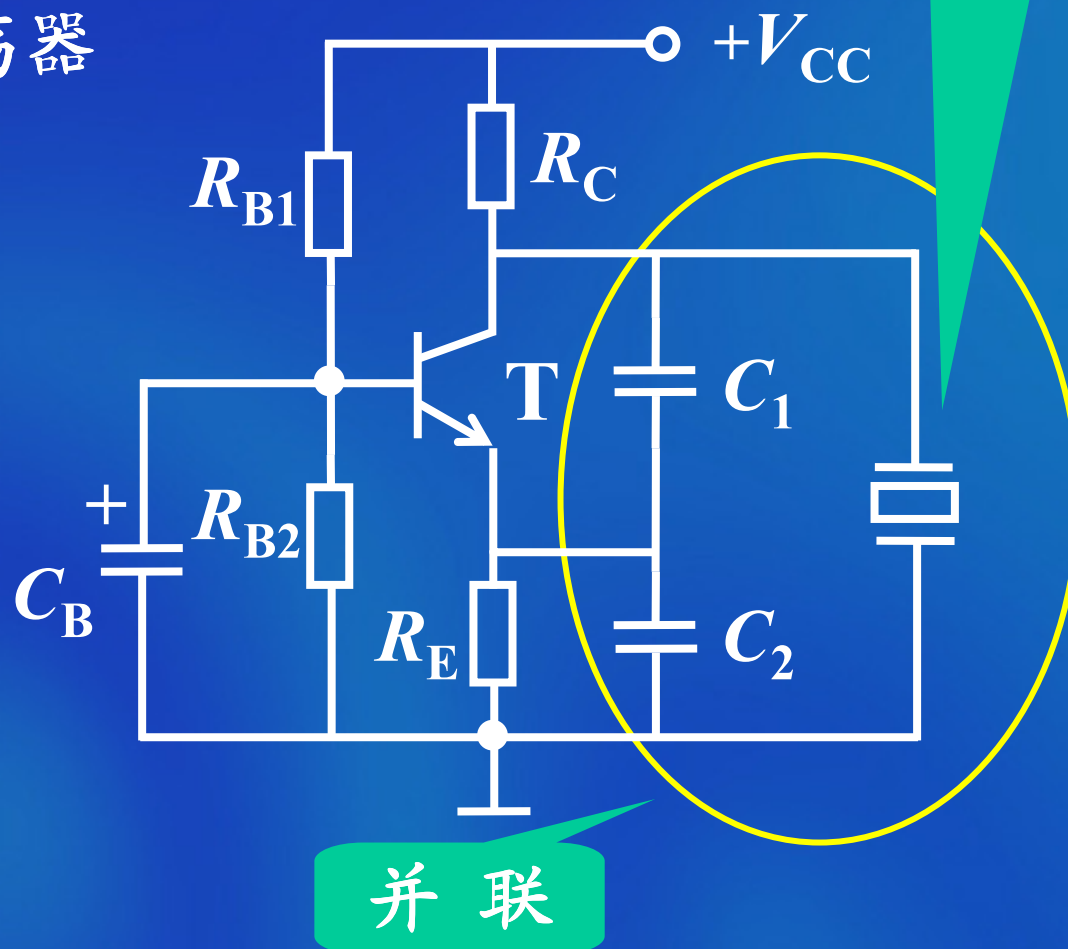
b. 当 $f < f_s$ 或 $f > f_p$ 时, 电路呈容性。

2. 石英晶体振荡电路

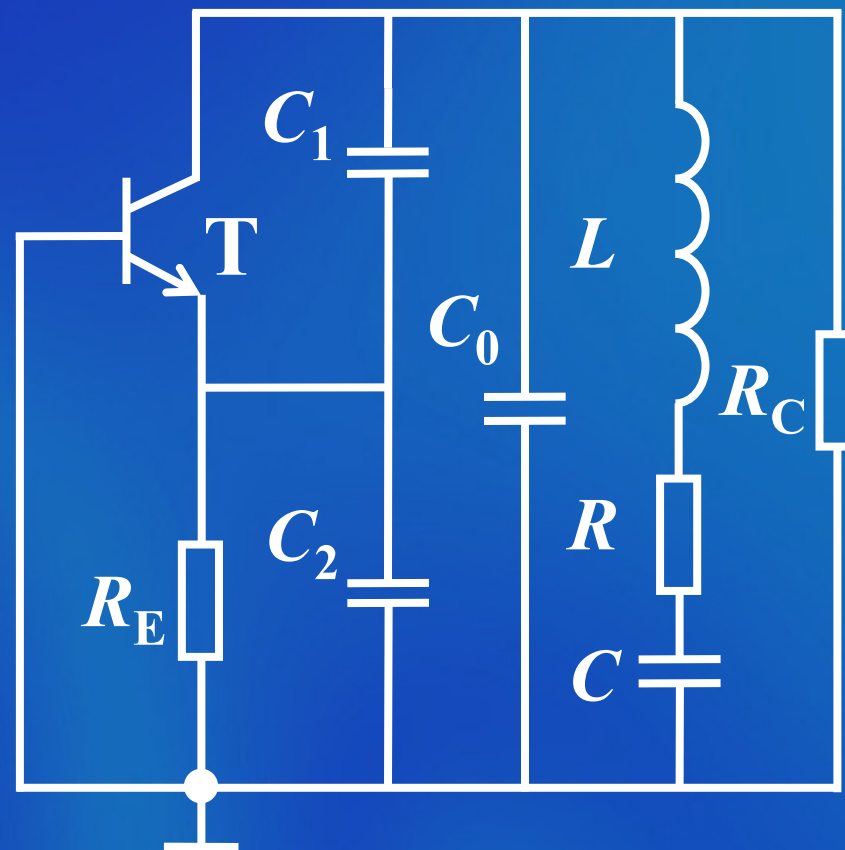
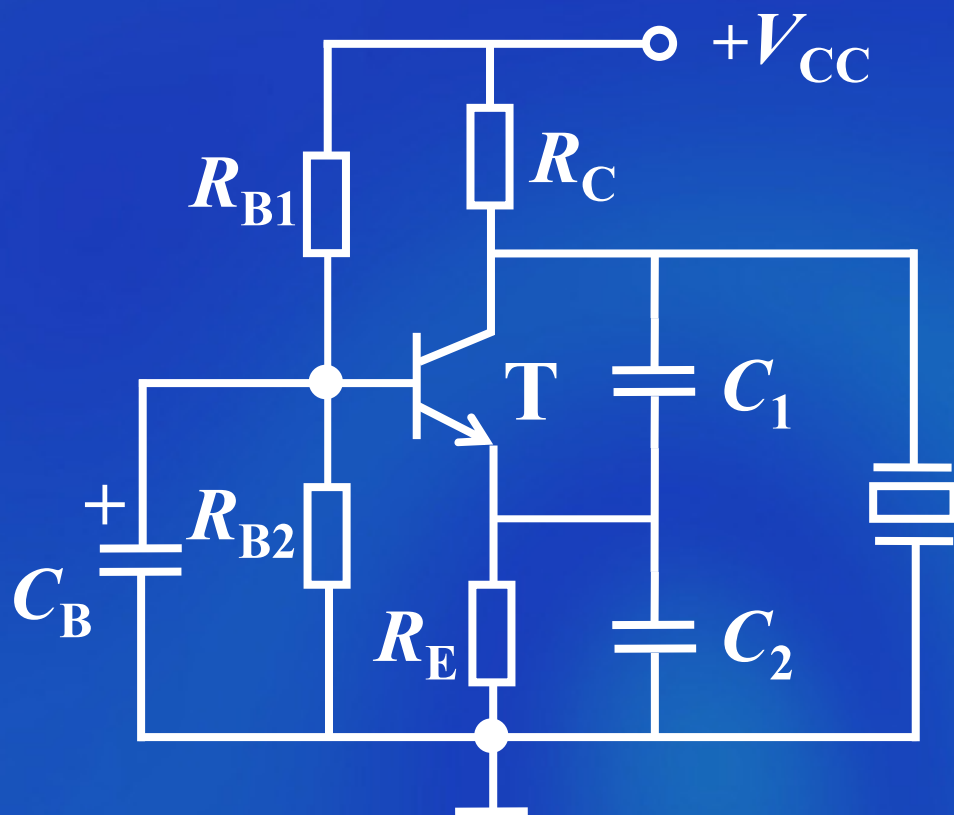
(1) 并联型晶体振荡器

谐振频率

$$f_S < f_0 < f_p$$



交流等效电路



谐振频率

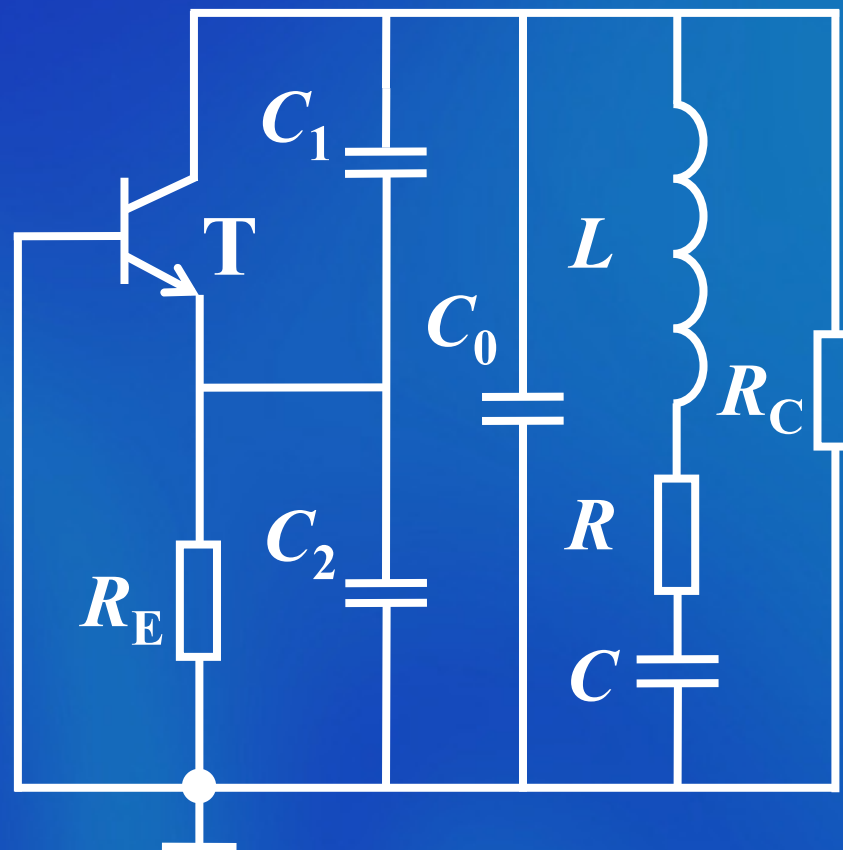
$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C(C_0 + C')}{C + C_0 + C'}}$$

式中 $C' = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

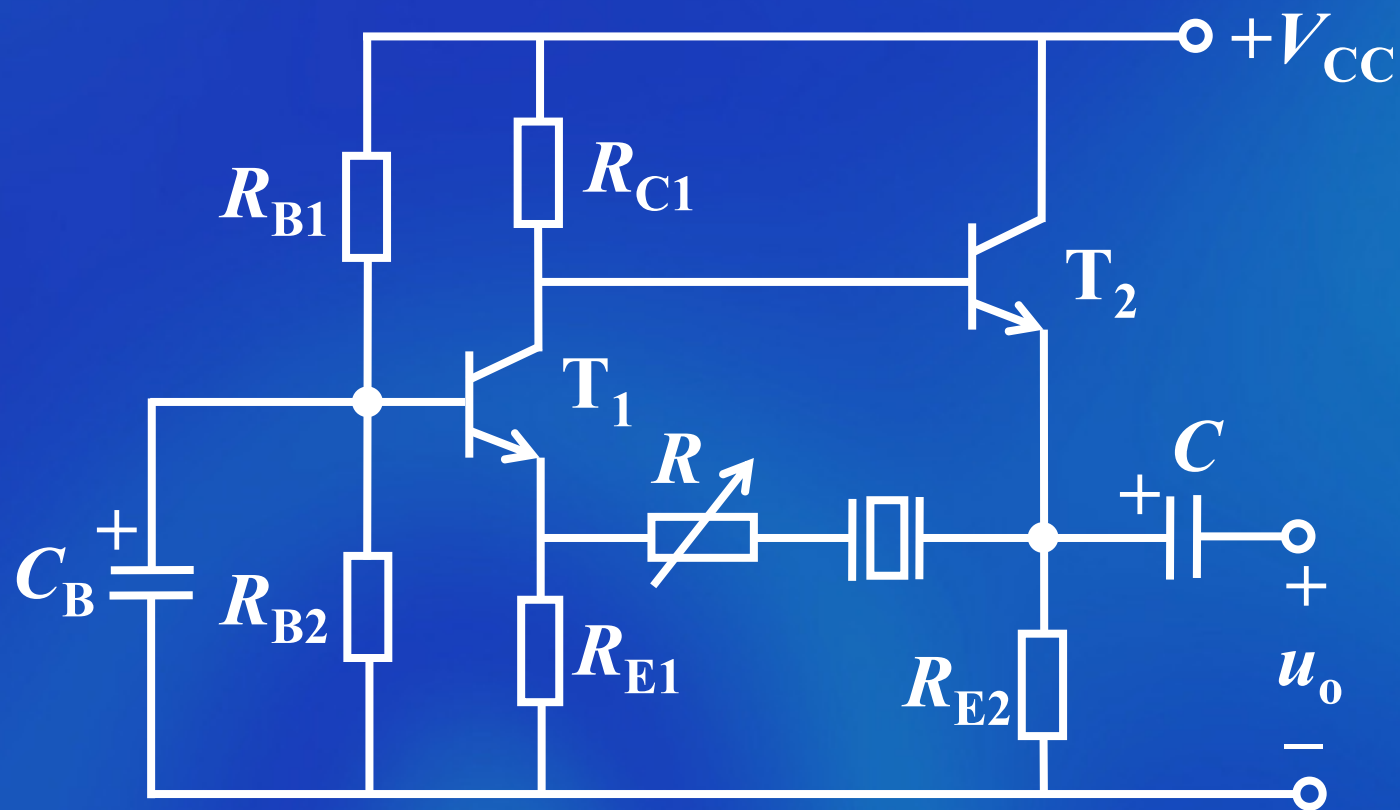
由于 $C \ll (C_0 + C')$

故

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = f_s$$



(2) 串联型晶体振荡器



谐振频率 $f_0 = f_s$

8.2 非正弦信号发生器

主要特点:

振荡条件比较简单，只要反馈信号能使比较电路状态发生变化，即能产生周期性的振荡。

非正弦信号发生器的主要组成:

(1) 具有开关特性的器件 (如电压比较器等)

主要作用: 产生高、低电平。

(2) 反馈网络

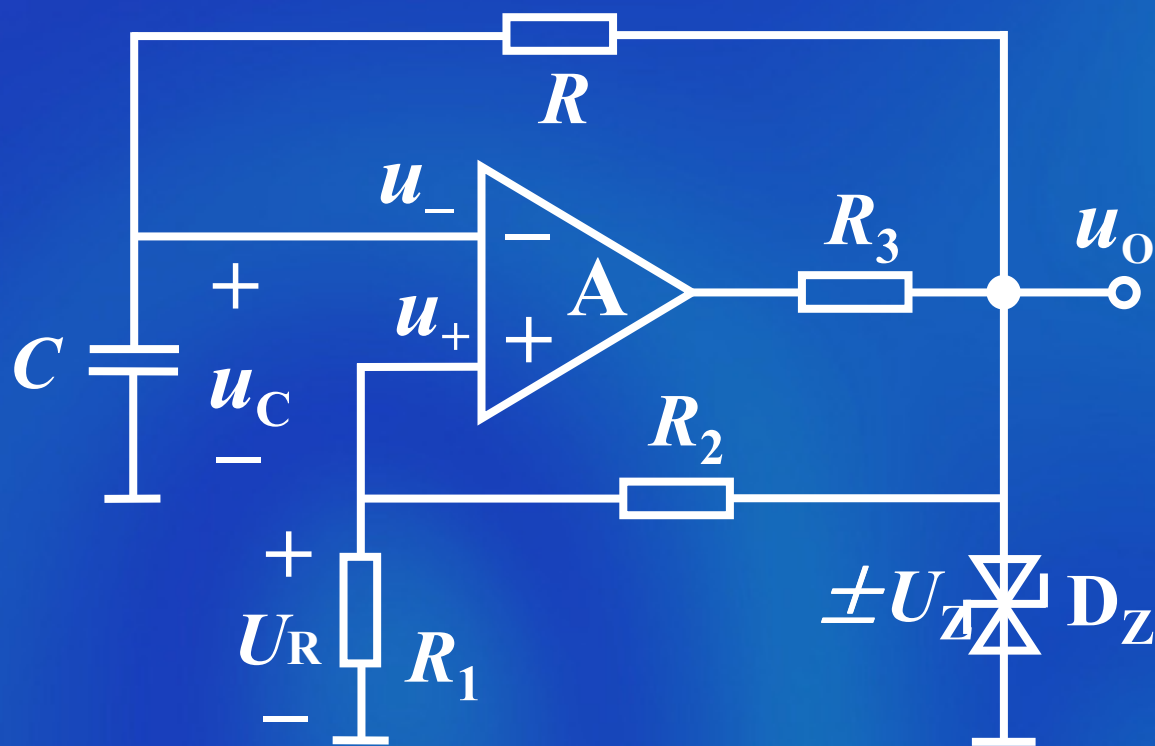
主要作用: 将输出电压适当地反馈给开关器件使之改变输出状态。

(3) 延时环节

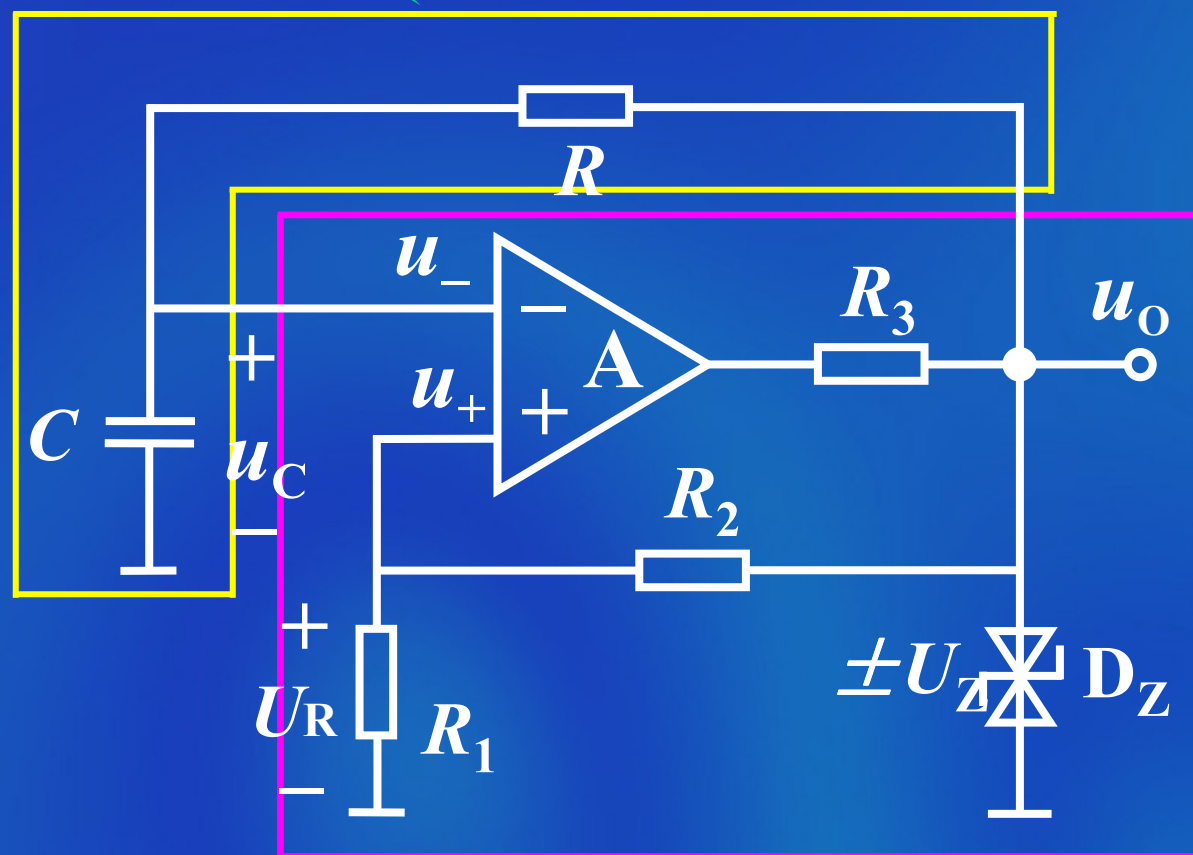
主要作用: 实现延时, 以获得所需要的振荡频率。

8.2.1 方波发生器

1. 电路组成



延迟
环节



迟滞比
较器

2 工作原理

设 $t=0$ 时

$$u_O = +U_Z$$

$$u_C(0_+) = 0$$

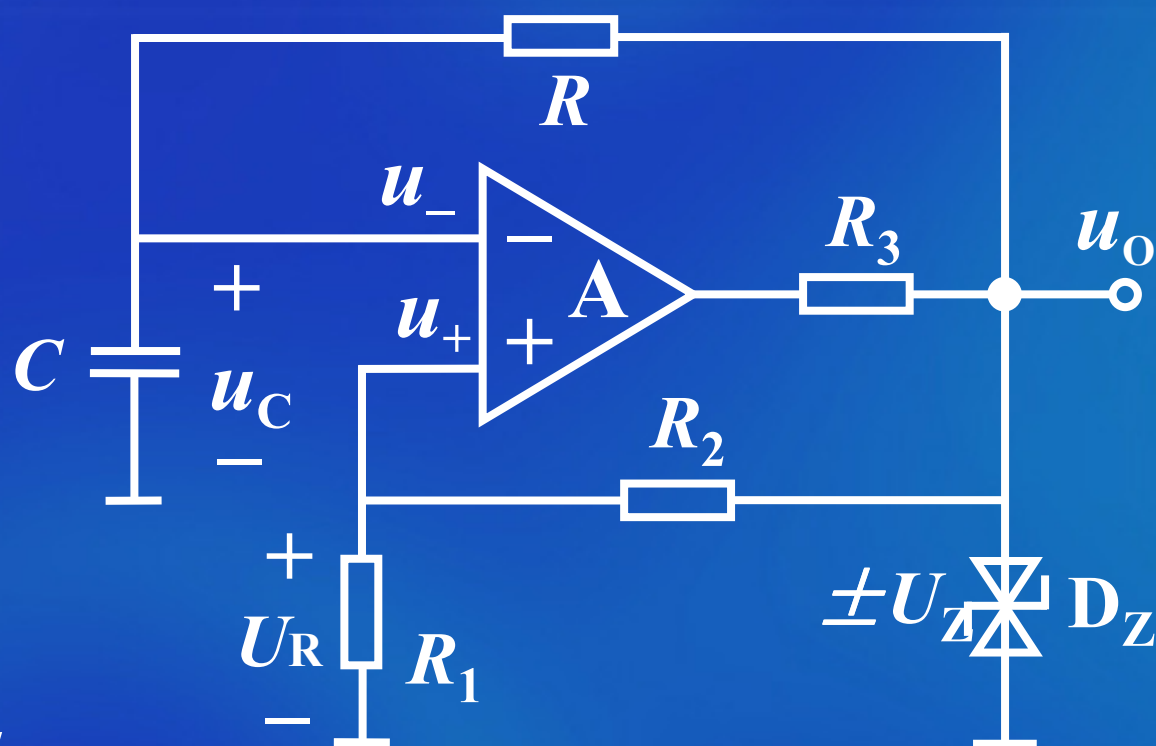
则

$$u_R = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_O$$

$$= \frac{R_1}{R_1 + R_2} (+U_Z)$$

$$= +FU_Z$$

$$(F = \frac{R_1}{R_1 + R_2})$$

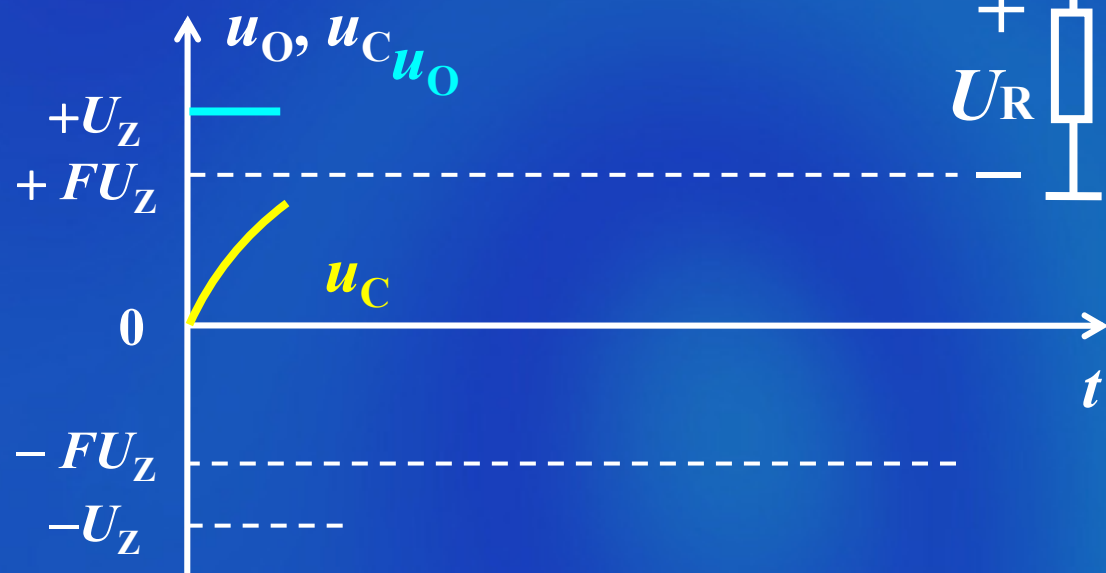
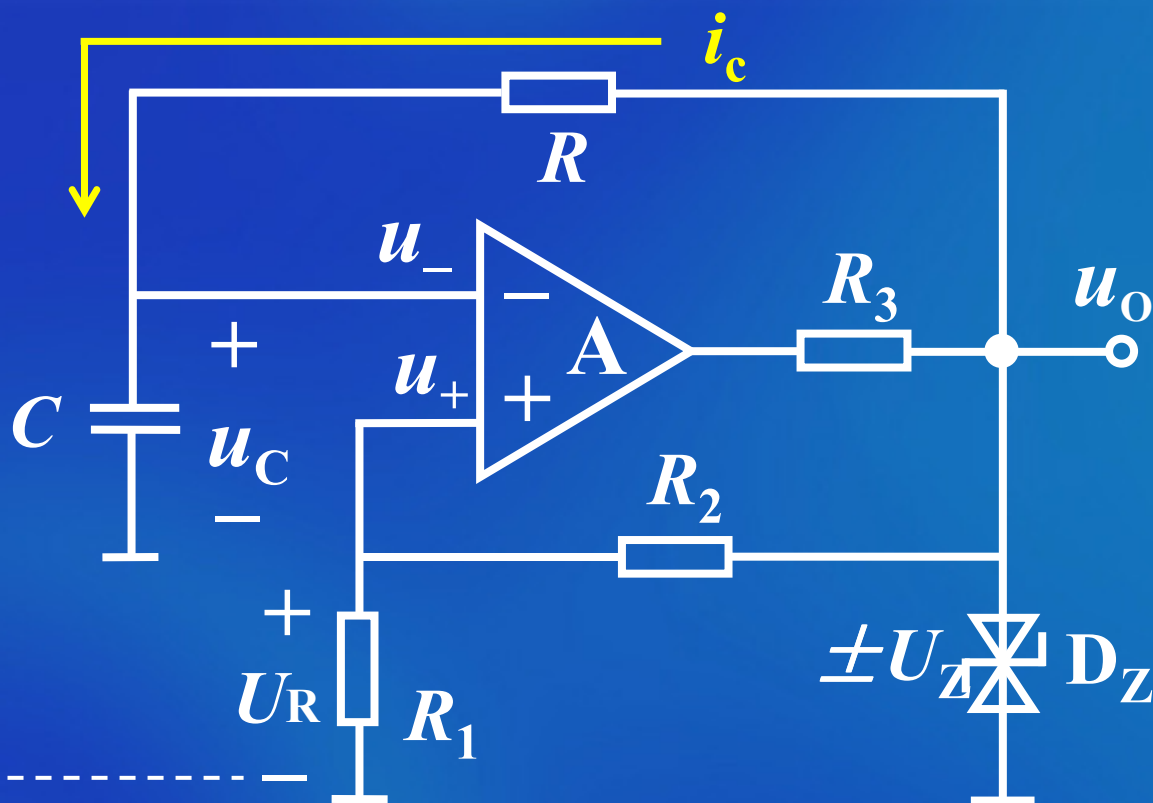


a. 当 $t > 0$ 时

$$u_O = +U_Z$$

电容 C 充电

u_C 按指数规律上升

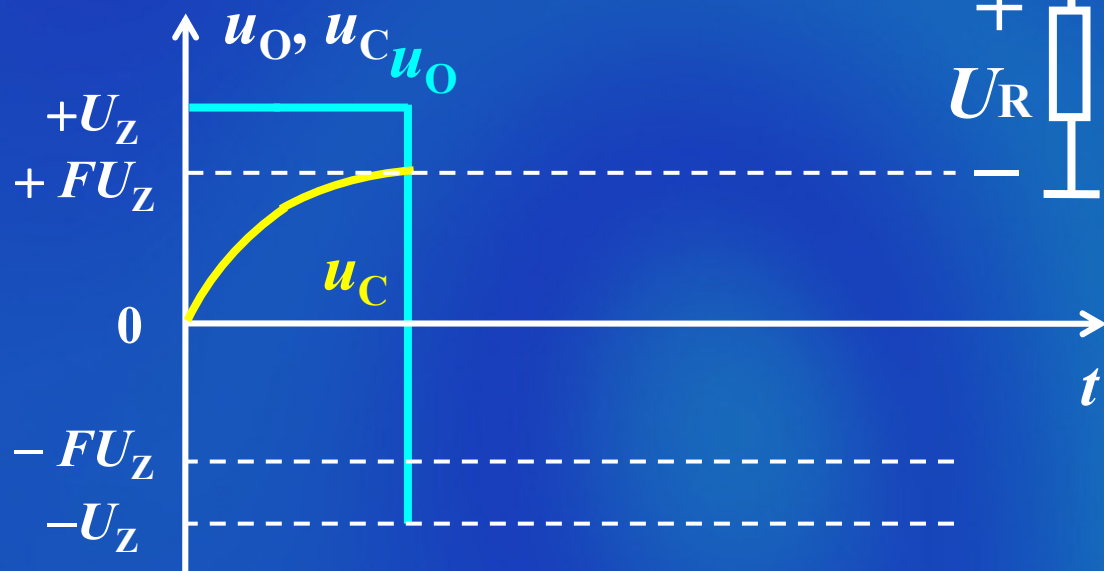
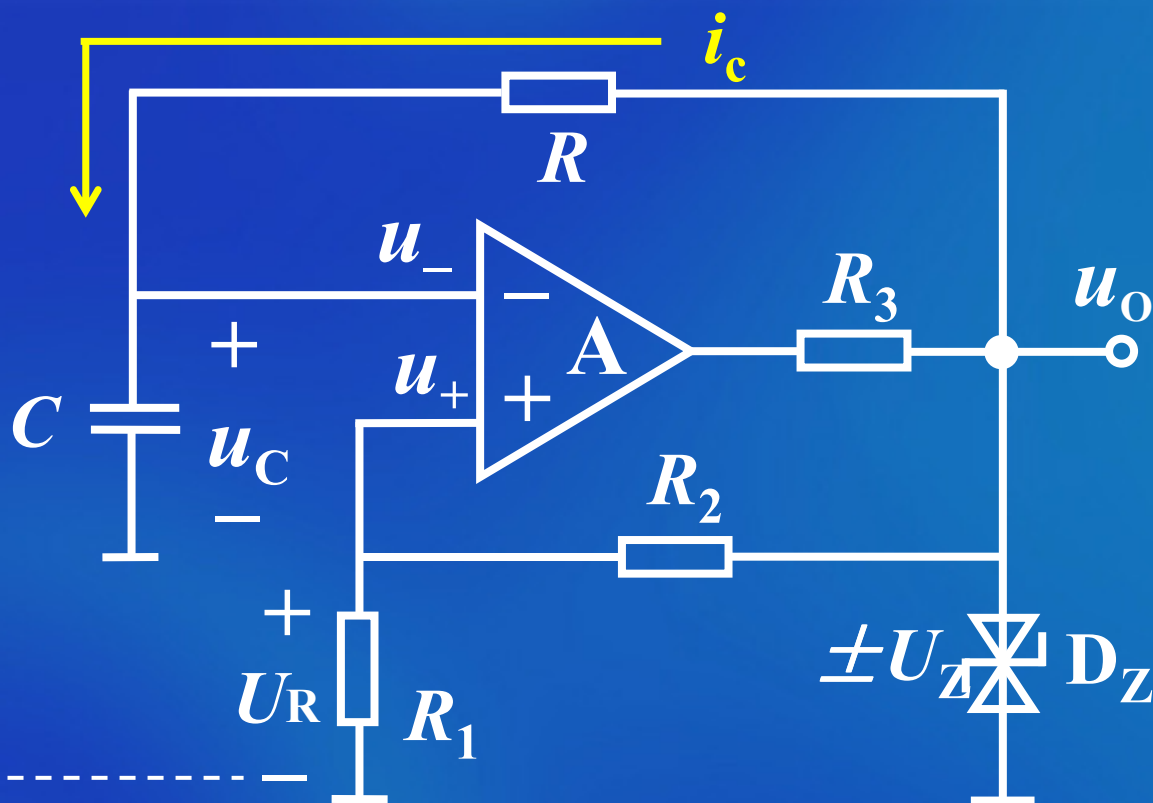


u_O 、 u_C
波形图

b. 当 $u_C > FU_Z$ 时

$$u_O = -U_Z$$

$$U_R = -FU_Z$$



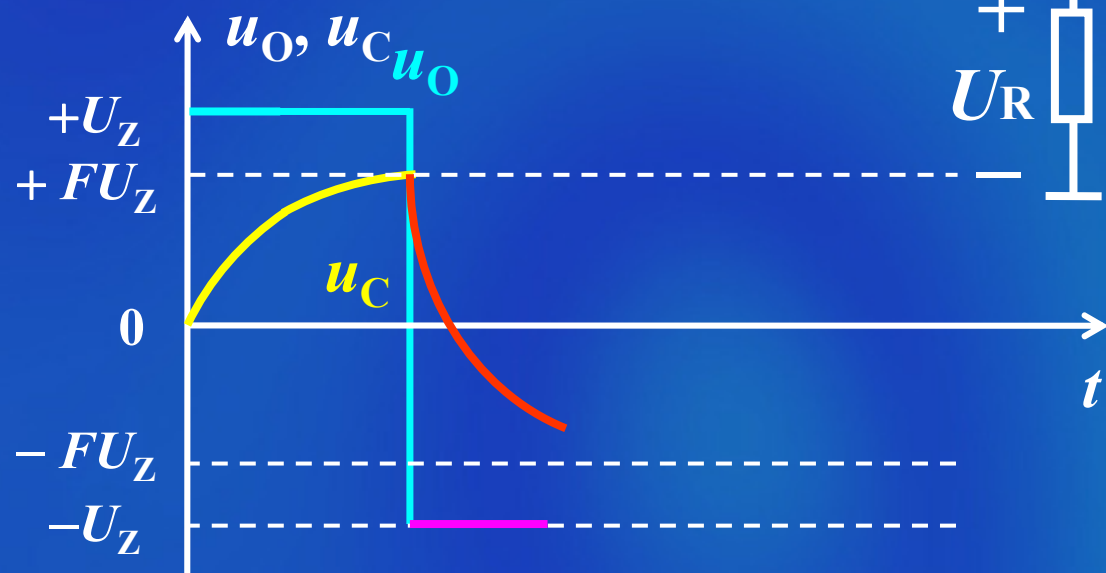
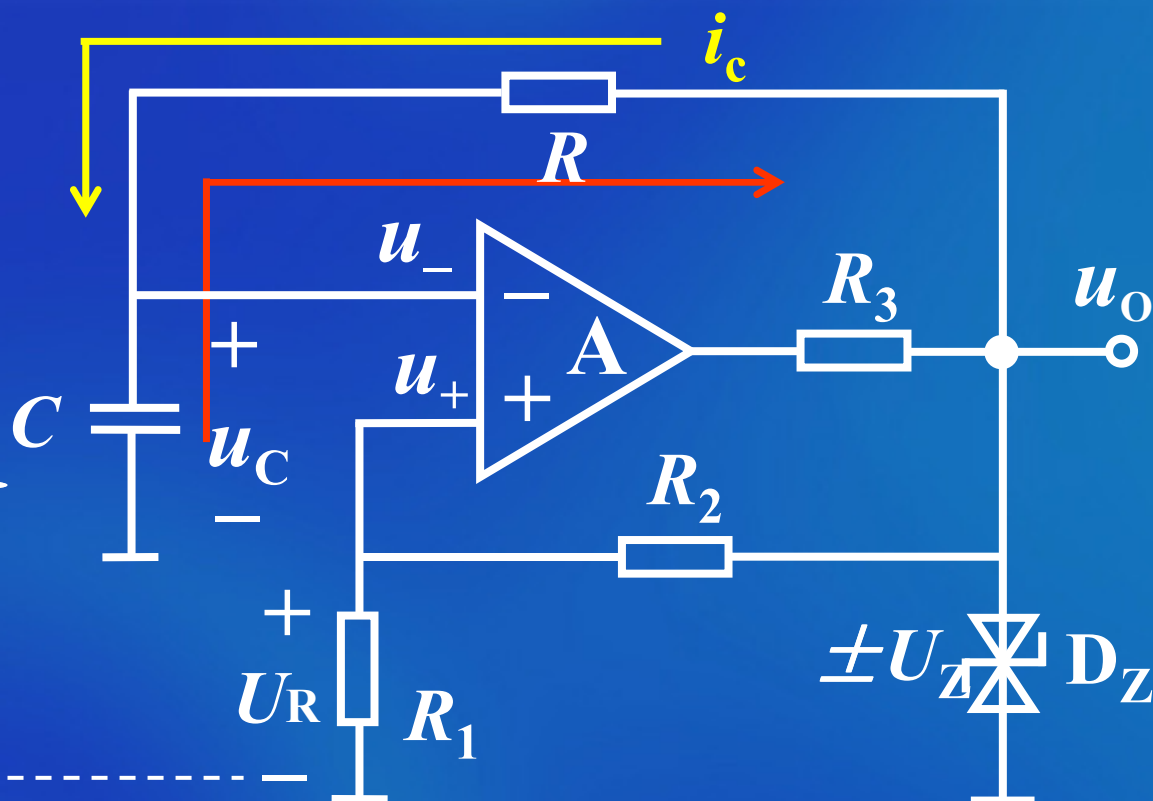
u_O 、 u_C
波形图

c. 当 $u_O = -U_Z$ 时

$$U_R = -FU_Z$$

电容 C 放电

u_C 按指数规律下降

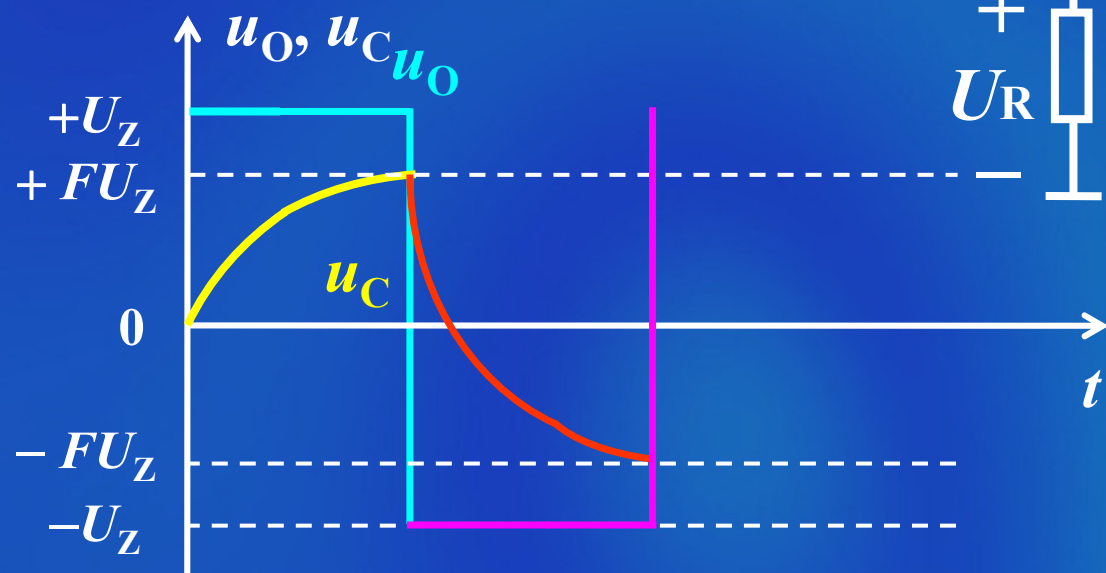
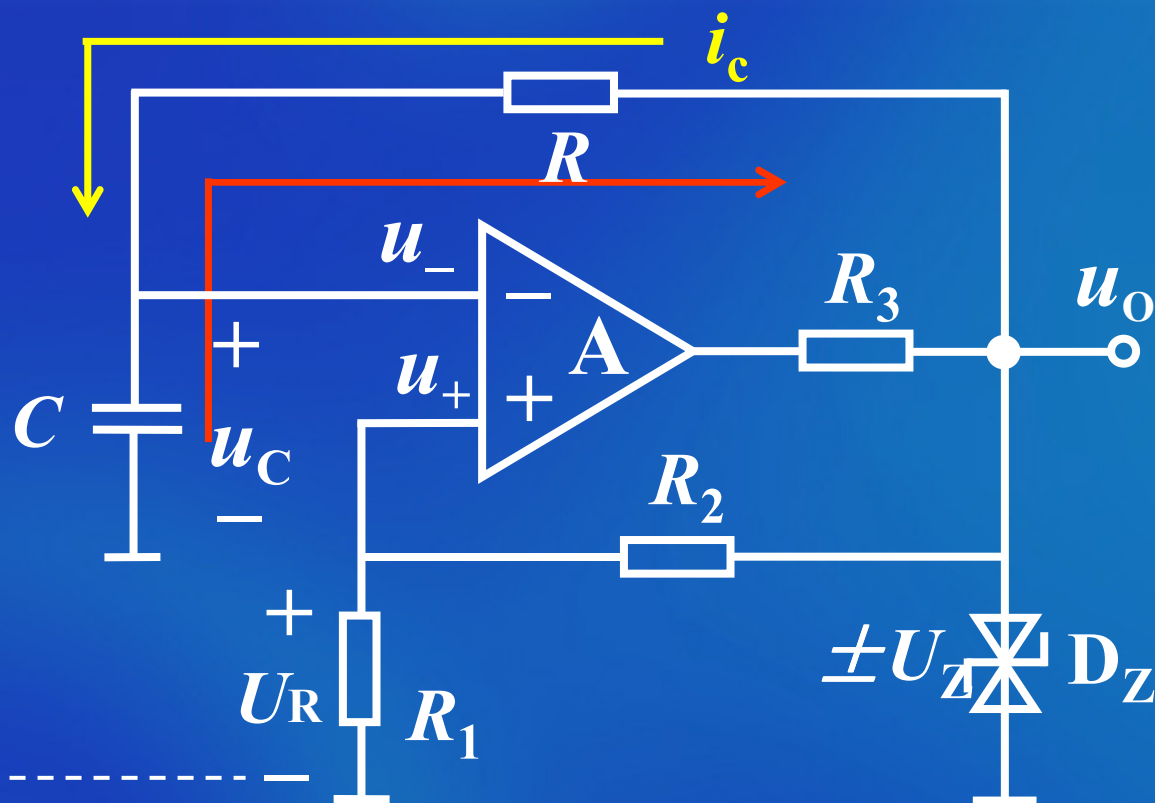


u_O 、 u_C
波形图

d. 当 $u_C < -FU_Z$ 时

$$u_O = U_Z$$

$$U_R = FU_Z$$



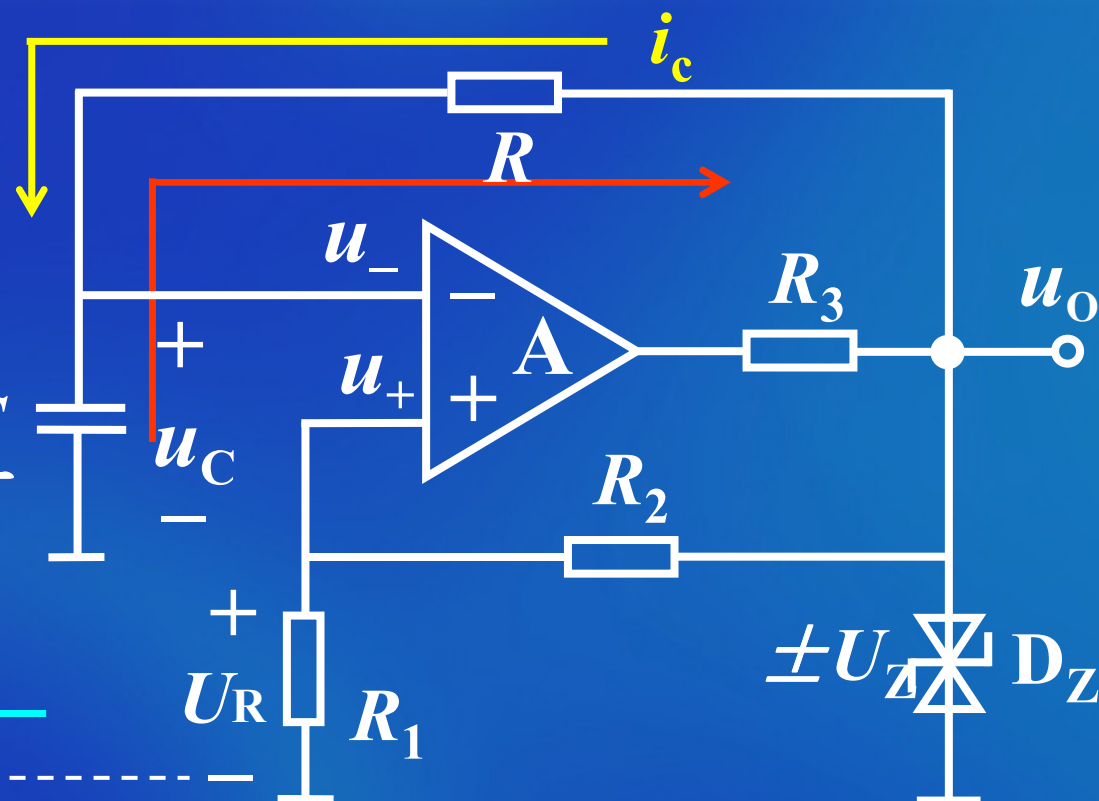
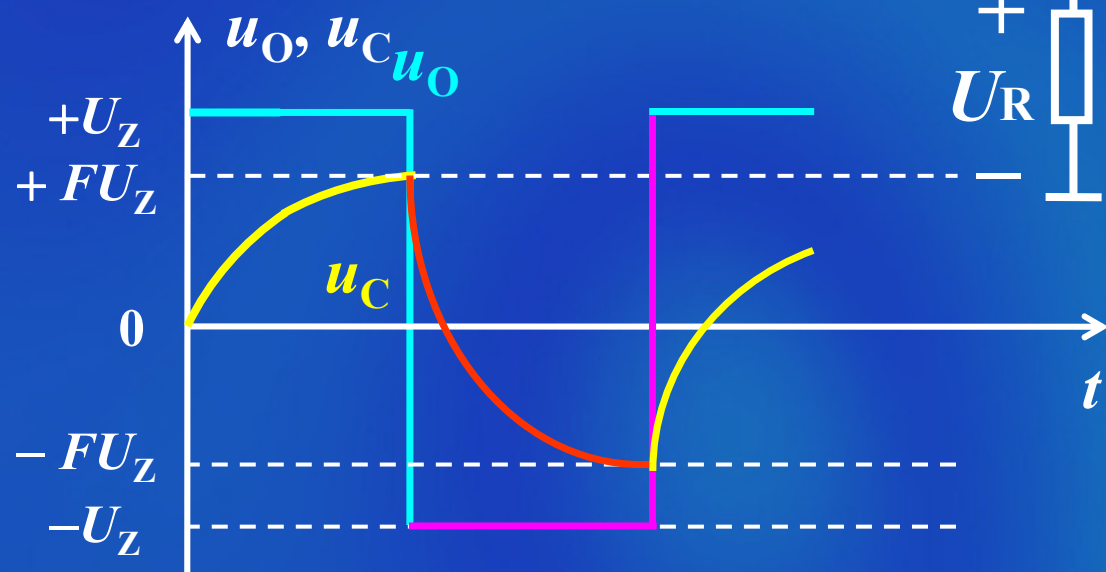
u_O, u_C
波形图

e. 当 $u_O = +U_Z$ 时

$$U_R = FU_Z$$

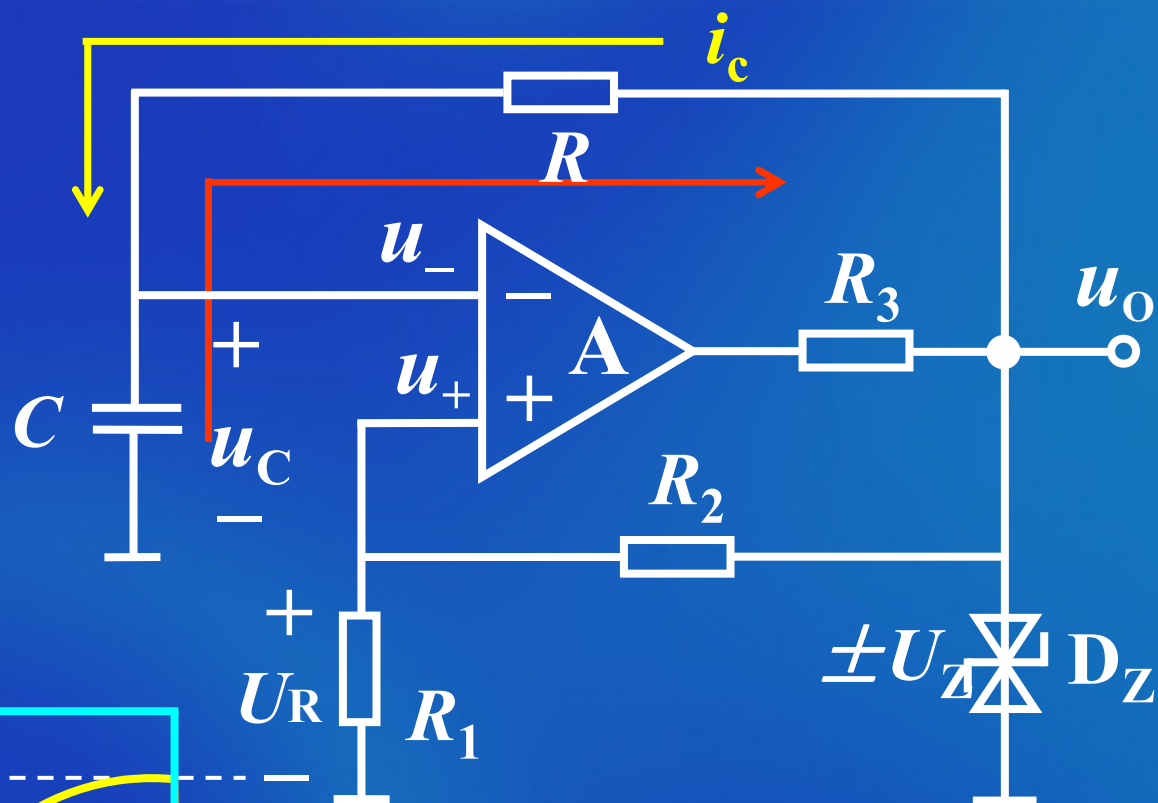
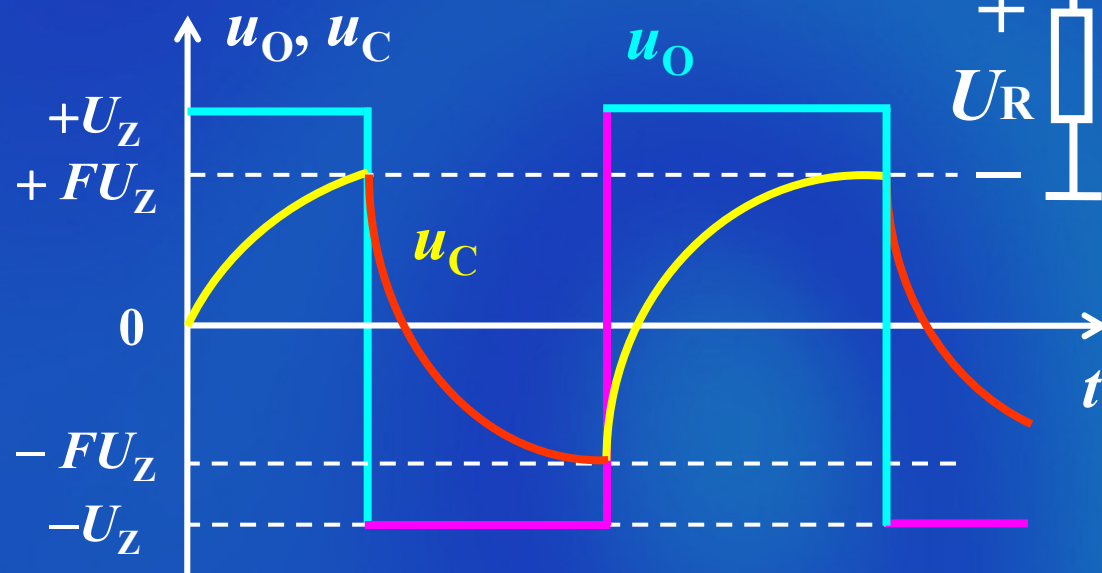
电容 C 又充电

u_C 又按指数规律上升



u_O 、 u_C
波形图

u_O 、 u_C
波形图

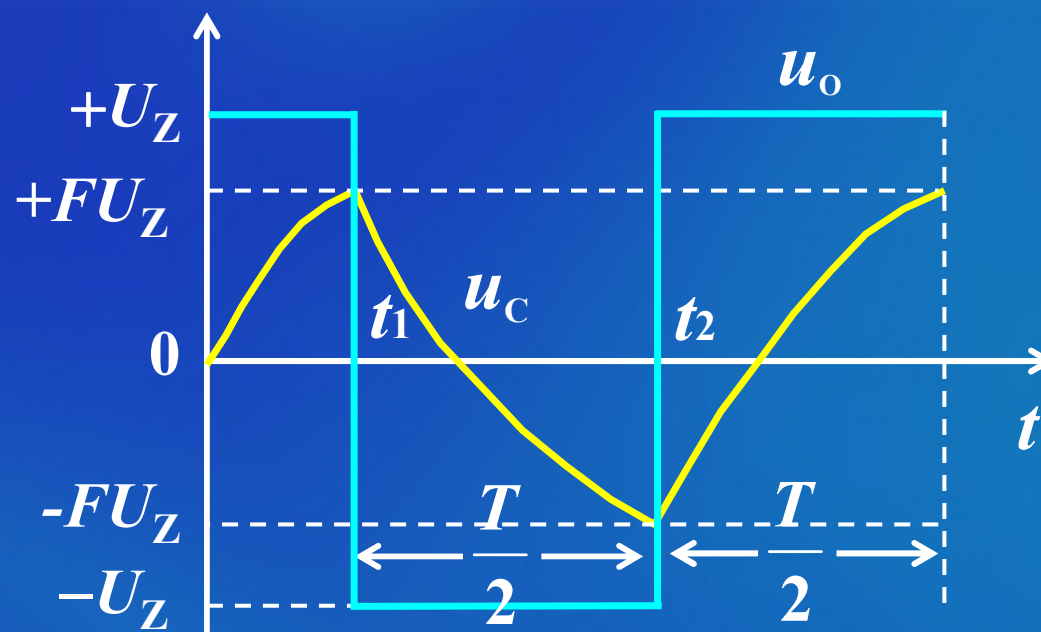


u_O 为方波

2. 主要参数计算

电容两端电压的变化规律

根据三要素法



$$u_C(t) = u_C(\infty) + [u_C(0) - u_C(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

如果选定时间起点为 t_2 , 那么

$$u_C(0_+) = -FU_Z \quad u_C(\infty) = U_Z \quad \tau = RC$$

当 $t=T/2$ 时

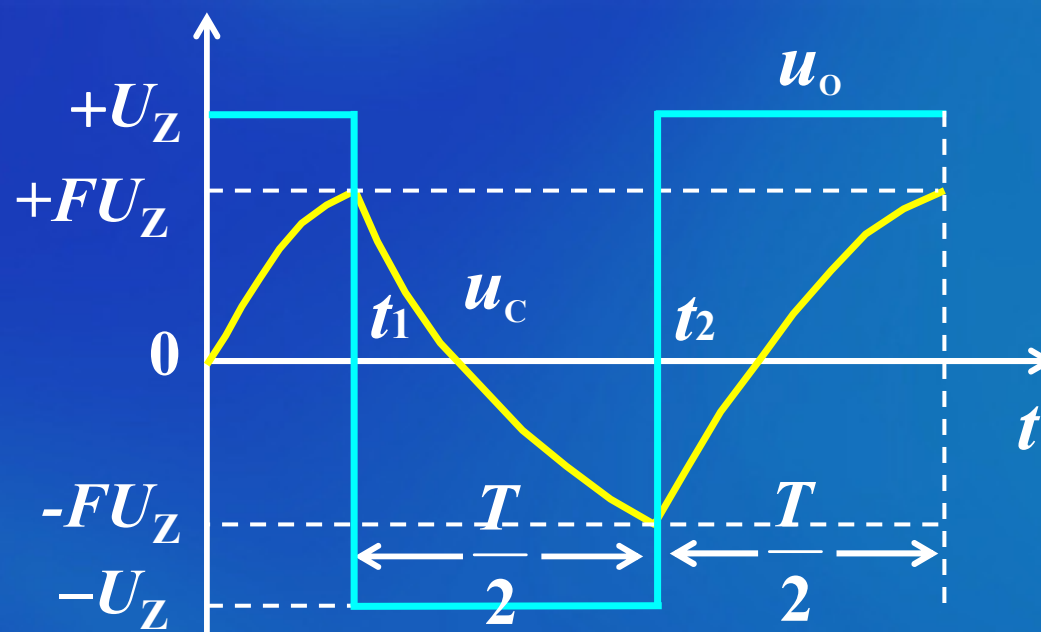
$$u_C(T/2) = FU_Z$$

即

$$FU_Z = U_Z + [-FU_Z - U_Z]e^{-\frac{T/2}{\tau}}$$

由此得电路的振荡周期

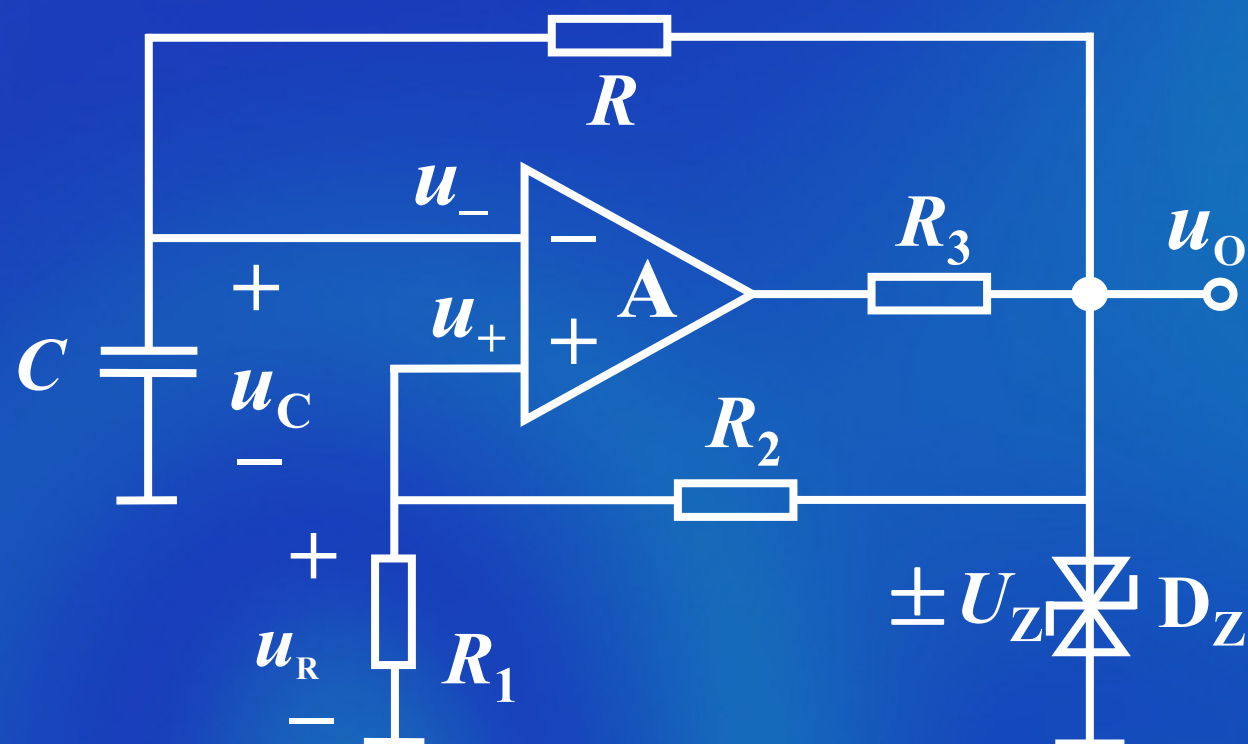
$$T = 2RC \ln(1 + 2R_1 / R_2)$$



振荡频率:

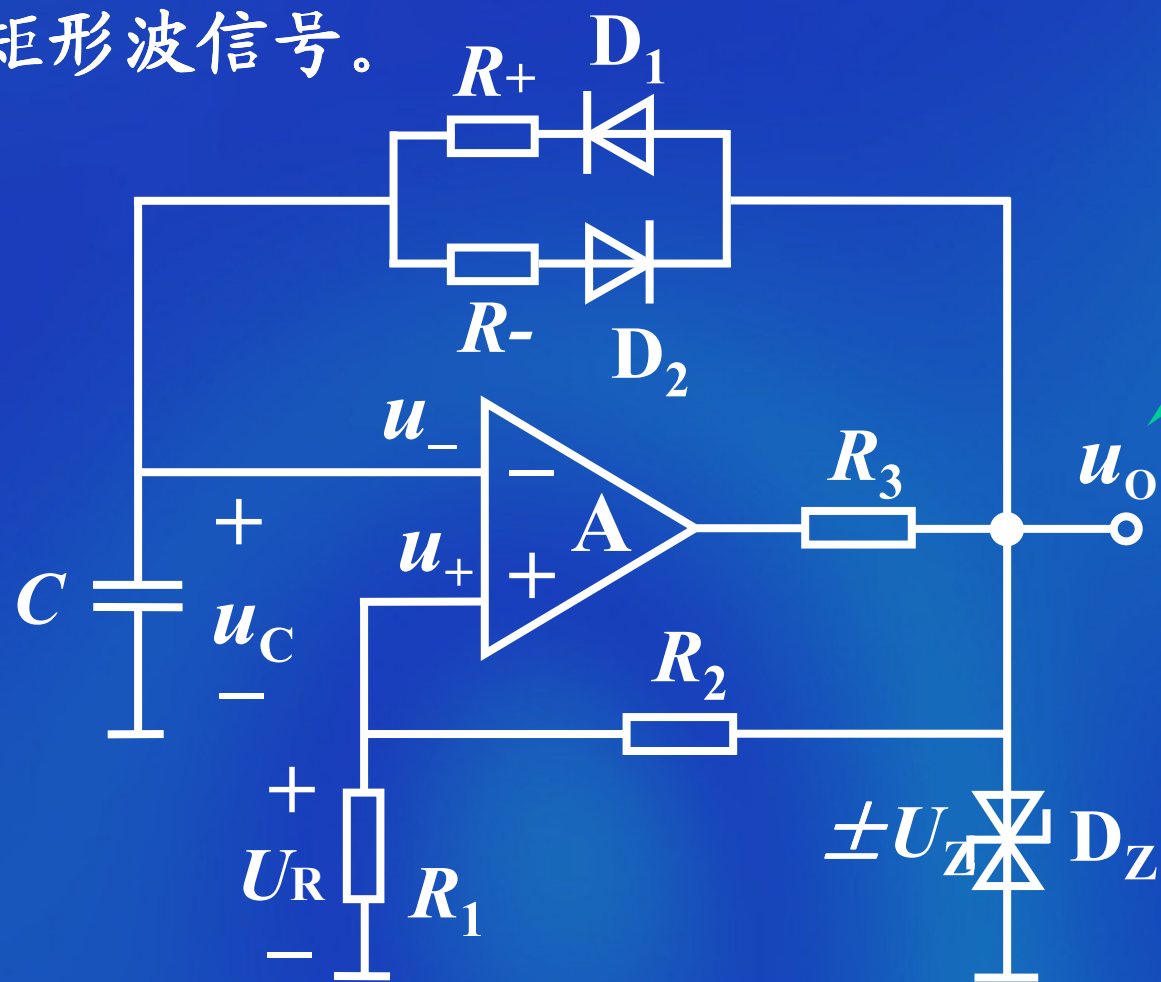
$$f_0 = \frac{1}{2RC \ln(1 + 2R_1 / R_2)}$$

思考题

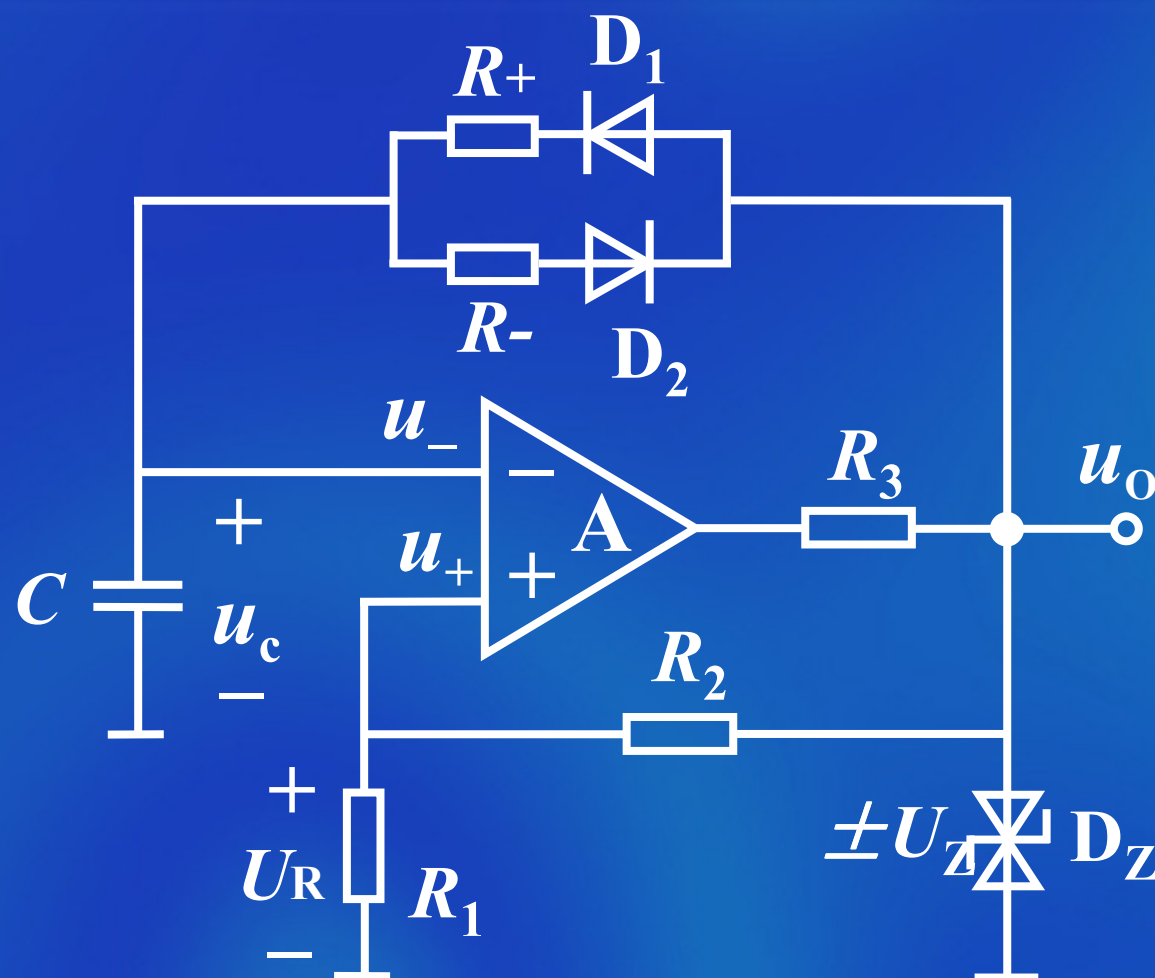


1. 对上图电路如何改进, 可获得矩形波信号?

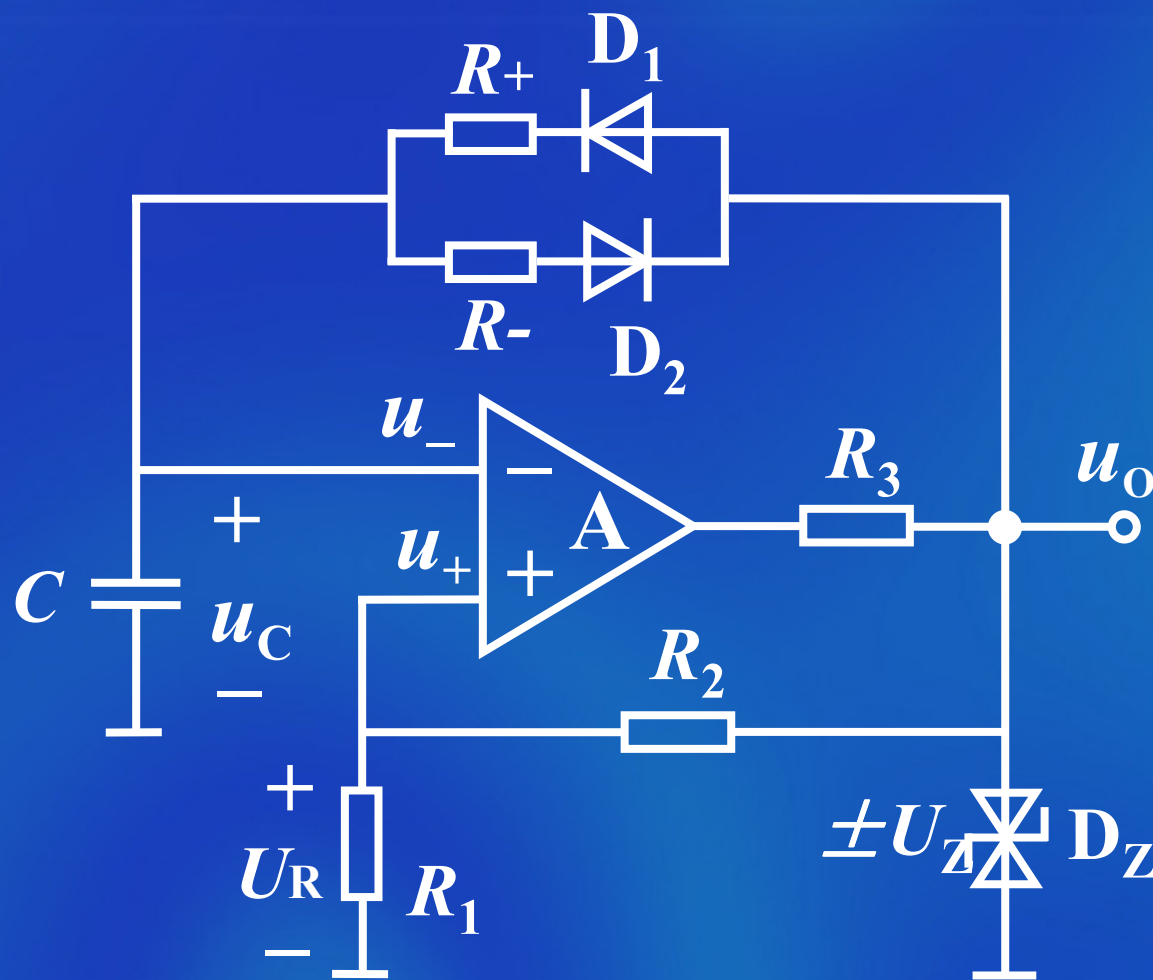
答：如果将方波信号发生器中的电容 C 的充电和放电回路分开，使充电和放电的时间常数不相等，便可获得矩形波信号。



改进电路



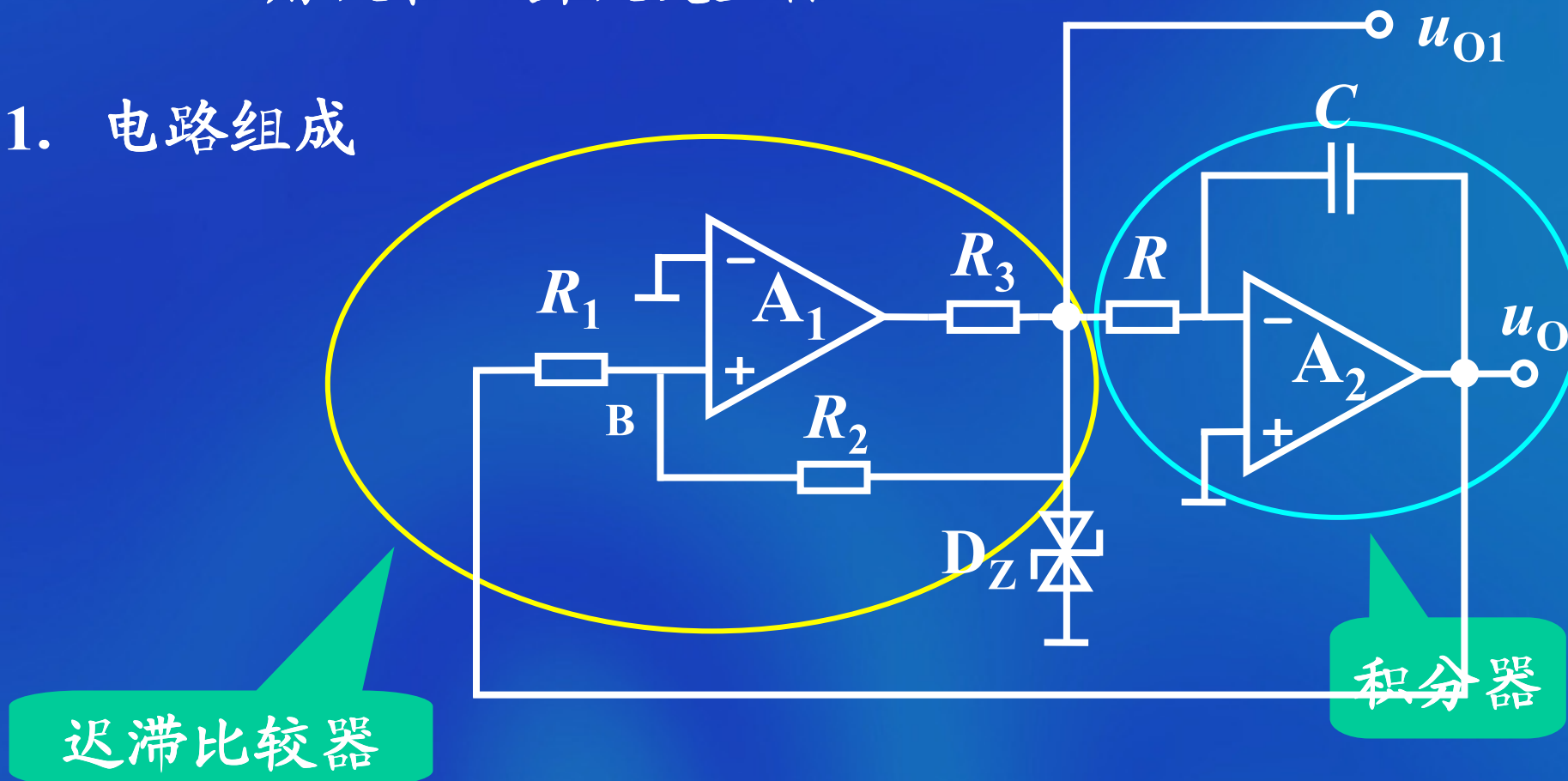
2、在上图示电路中，如果电阻 $R_+ > R_-$ ，输出波形具有什么特点？



答：如果电阻 $R_+ > R_-$ ，那么，电容 C 的充电时间将大于放电时间，输出波形的占空比增大。

8.2.2 三角波和锯齿波发生器

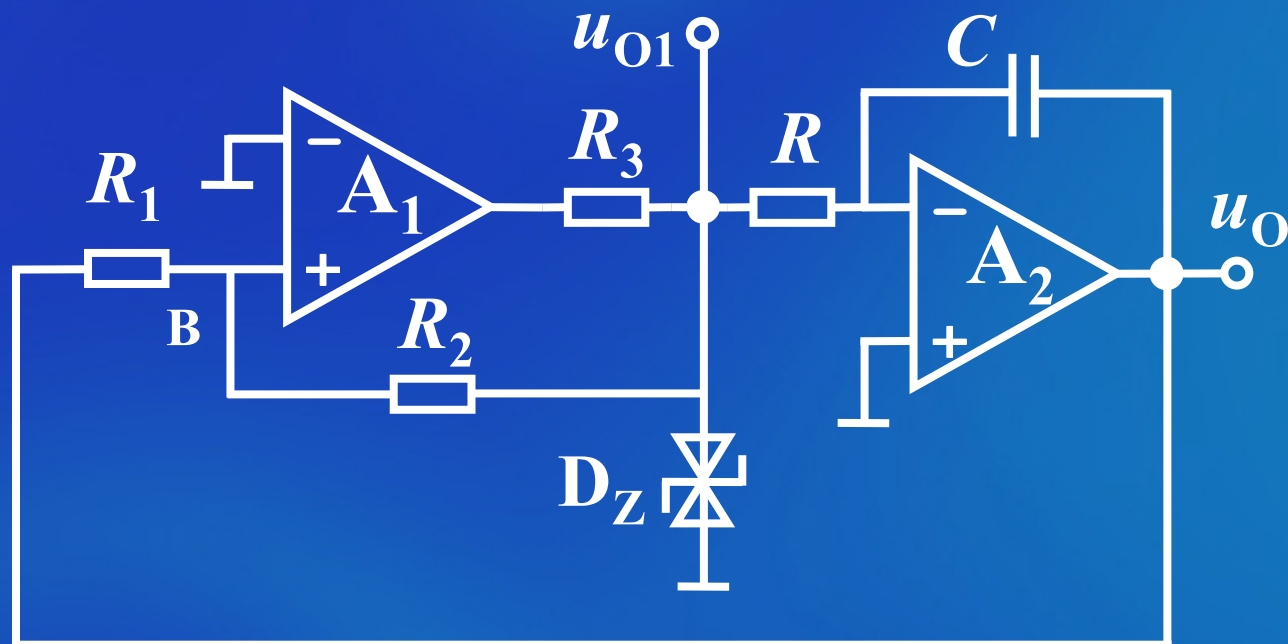
1. 电路组成



2. 工作原理

图中

$$u_{O1} = \pm U_Z$$



$$\begin{aligned} u_B &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_{O1} + \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_O \\ &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} (\pm U_Z) + \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_O \end{aligned}$$

(1) 当 $u_{O1} = U_Z$ 时

电容 C 充电

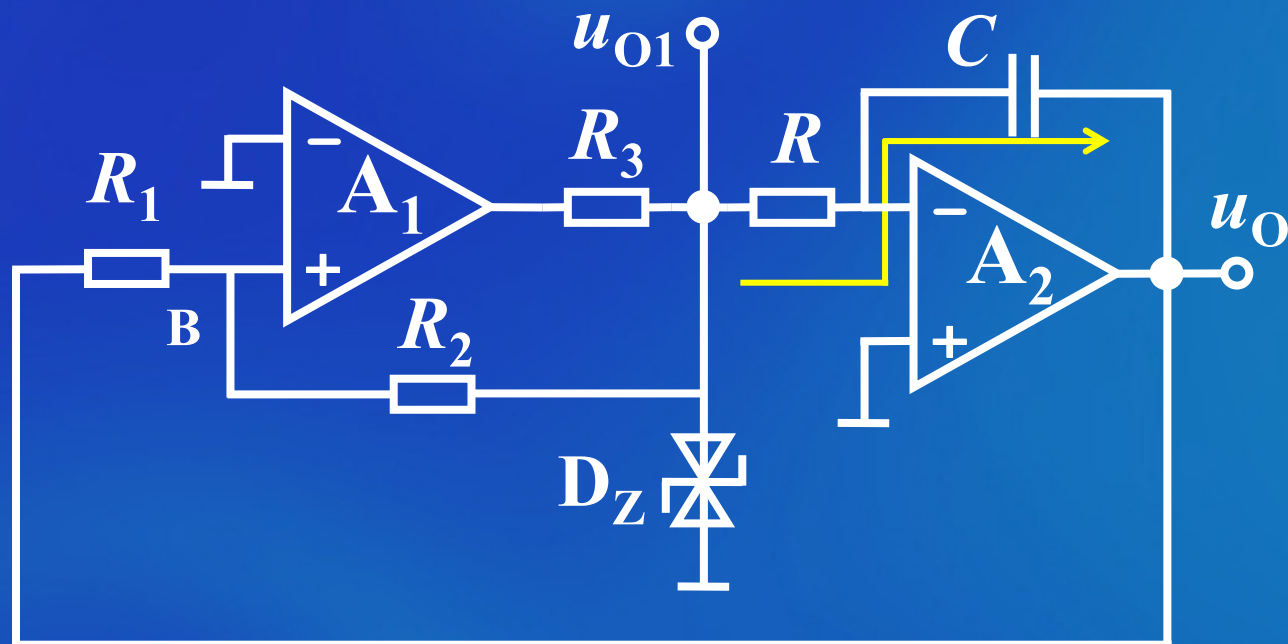
设 $u_C(0_+) = 0$

输出电压

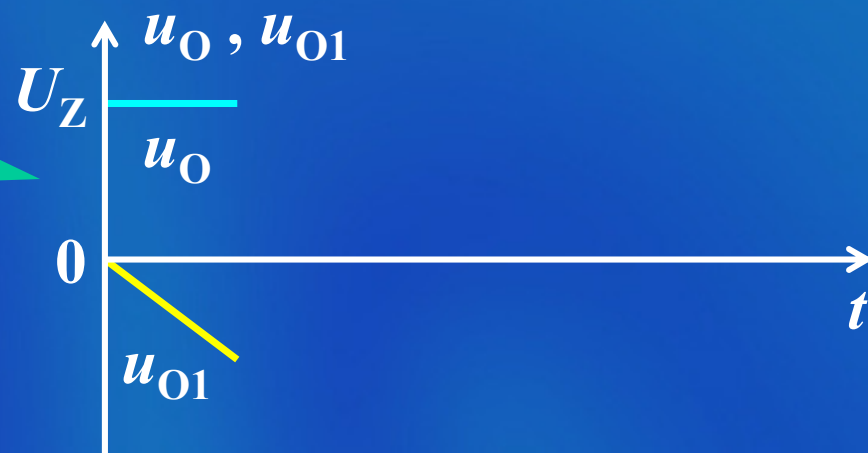
$$u_O = -\frac{1}{RC} \int_t^{t+\Delta t} u_{O1} dt$$

$$= -\frac{U_Z}{RC} \Delta t$$

u_O 随时间线性下降

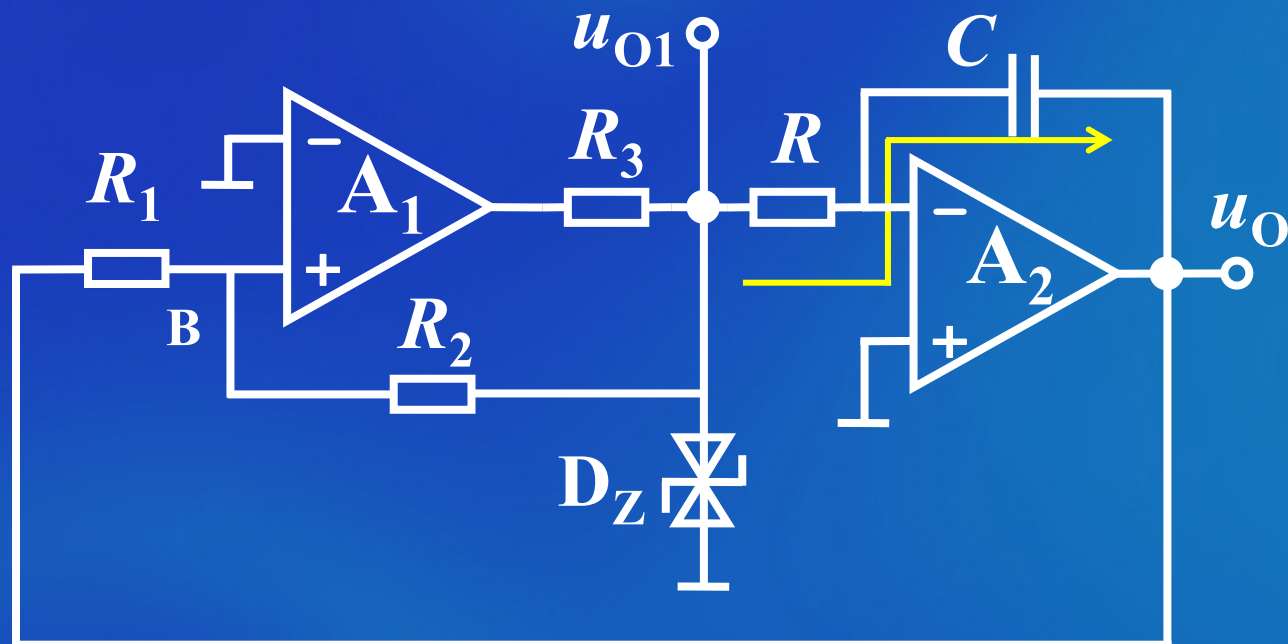


波形图



(2) 当 $u_B = 0$ 时

$$u_{O1} = -U_Z$$



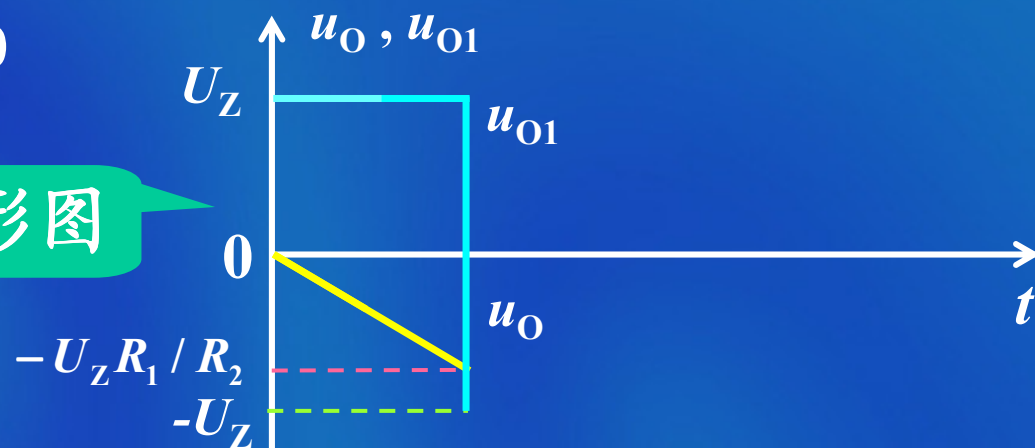
令

$$u_B = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z + \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_O = 0$$

得

$$u_O = -\frac{R_1}{R_2} U_Z$$

波形图



(3) 当 $u_B < 0$ 时

$$u_{O1} = -U_Z$$

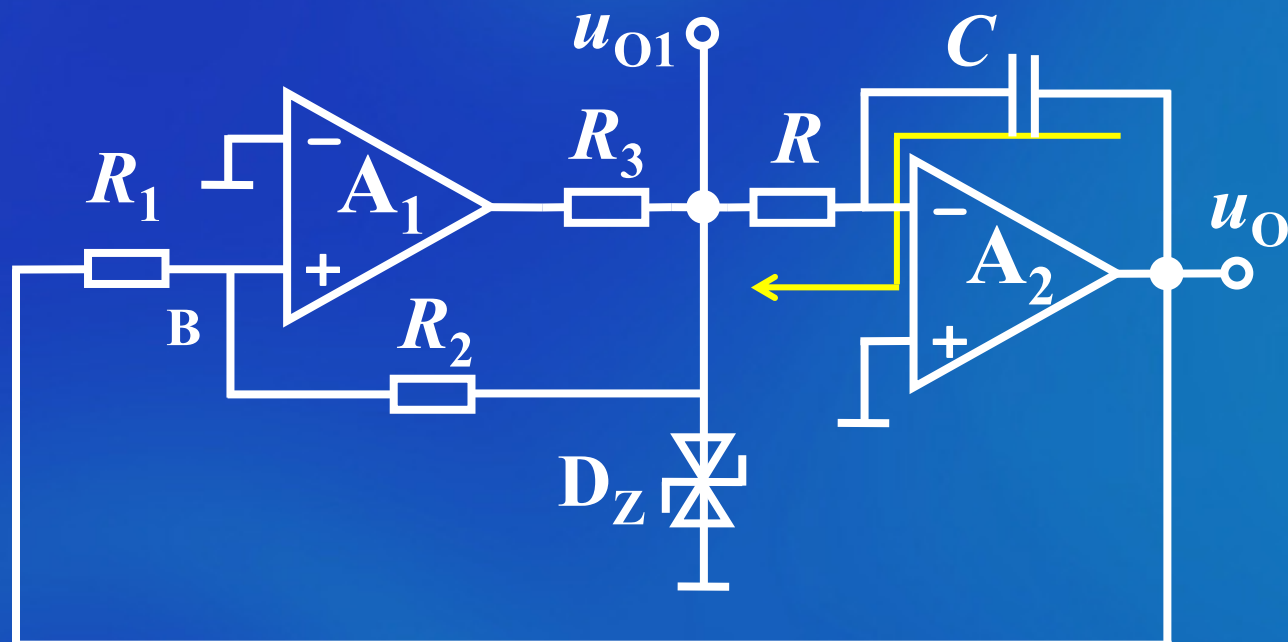
电容器放电

输出电压

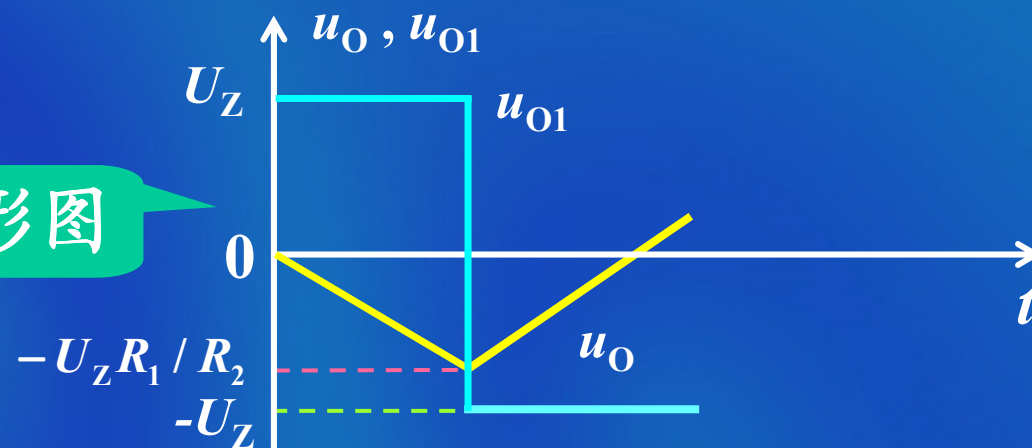
$$u_O = -\frac{1}{RC} \int_t^{t+\Delta t} u_{O1} dt$$

$$= \frac{U_Z}{RC} \Delta t$$

u_O 随时间线性上升



波形图



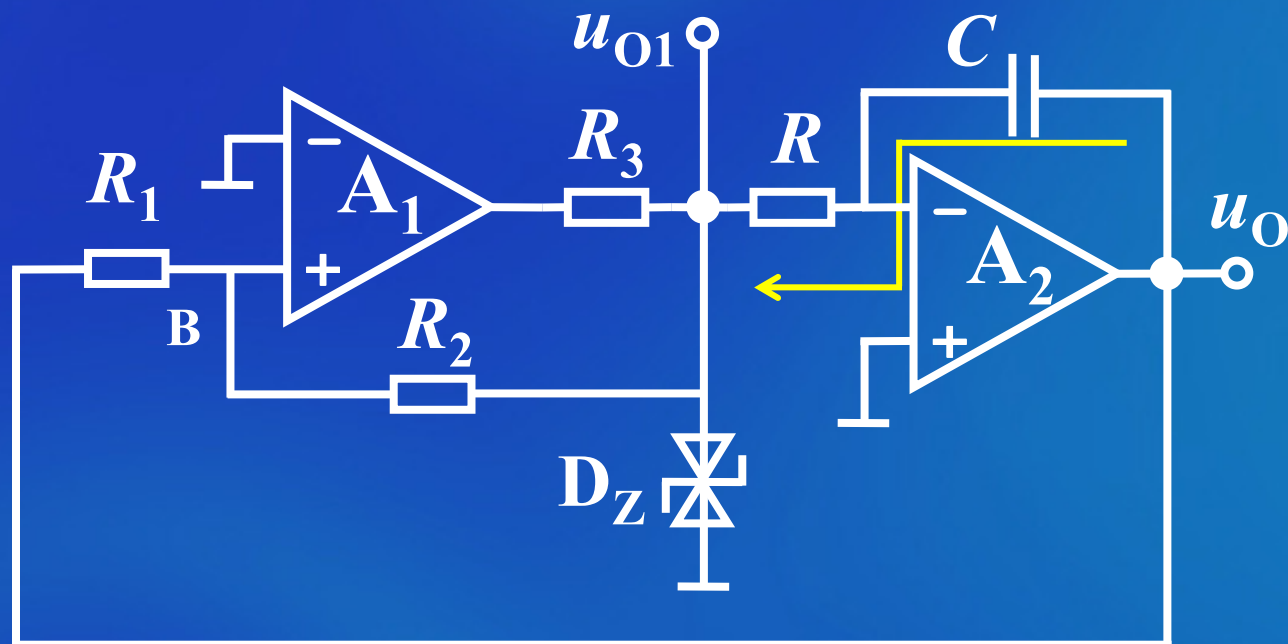
上页

下页

后退

(4) 当 $u_B > 0$ 时

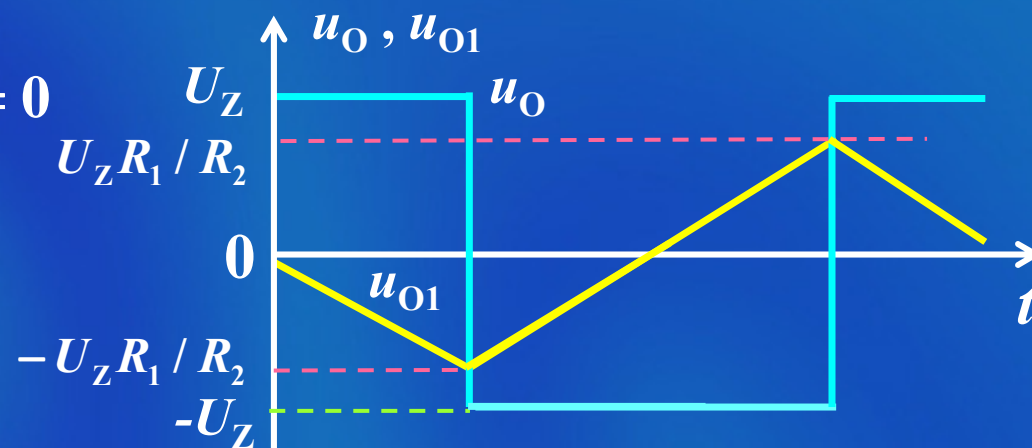
$$u_{O1} = U_Z$$

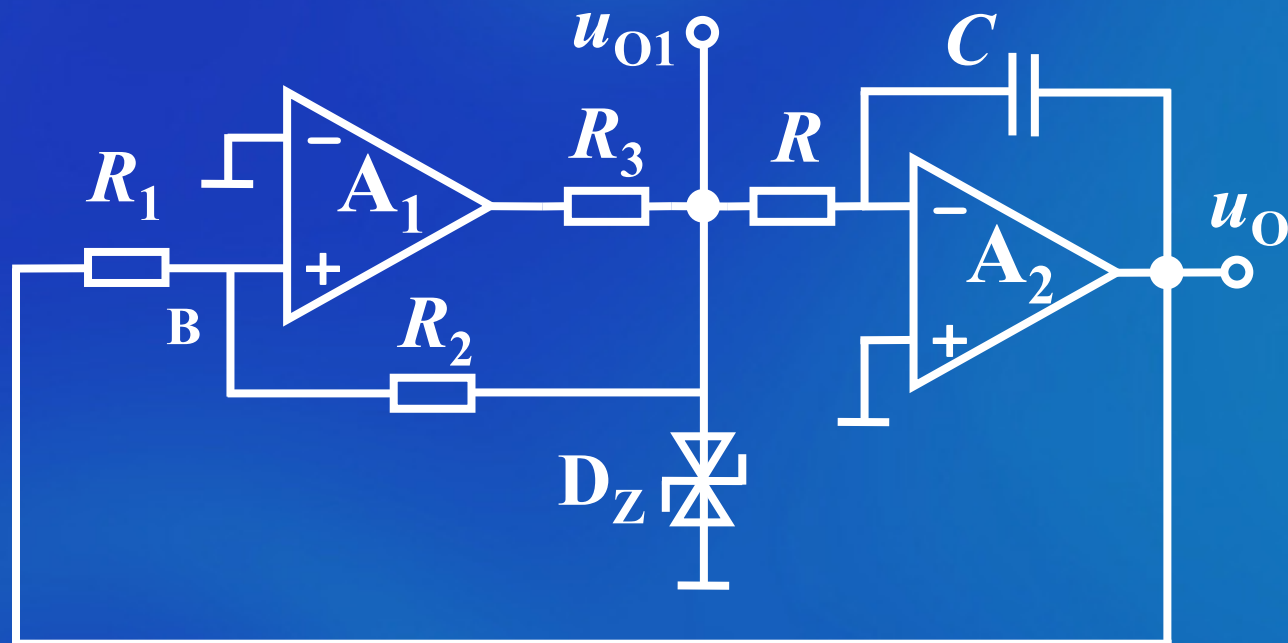


令

$$u_B = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z + \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_O = 0$$

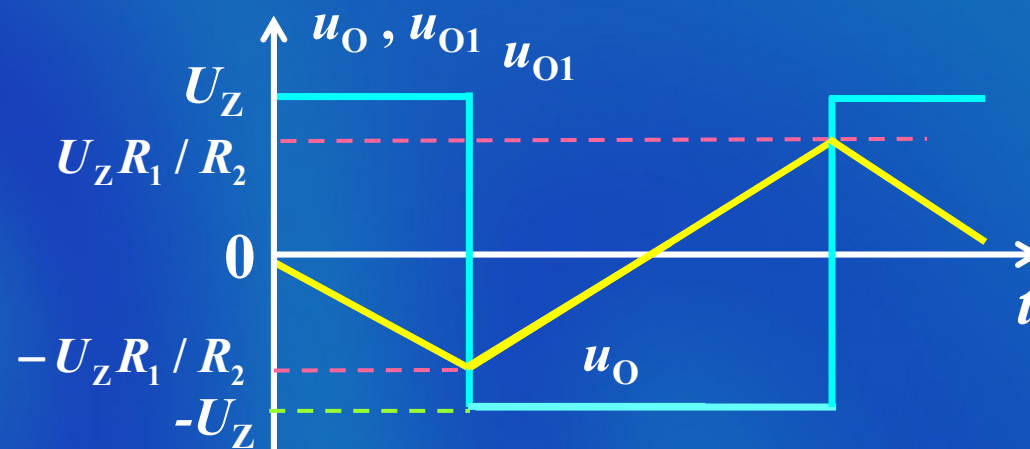
$$u_O = \frac{R_1}{R_2} U_Z$$





u_{O1} 输出方波

u_O 输出三角波



2. 主要指标

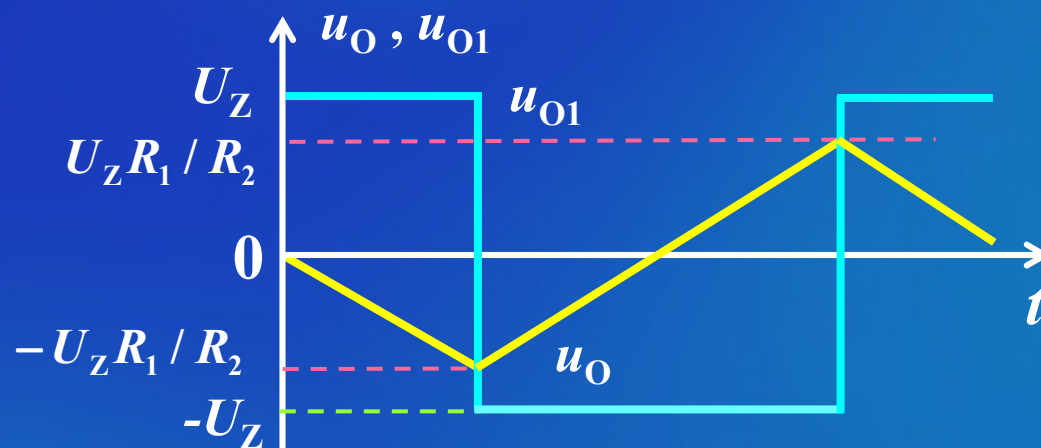
(1) 输出电压幅值

(a) 三角波幅值

$$U_{om} = \frac{R_1}{R_2} U_Z$$

(b) 方波幅值

$$U_{om} = U_Z$$



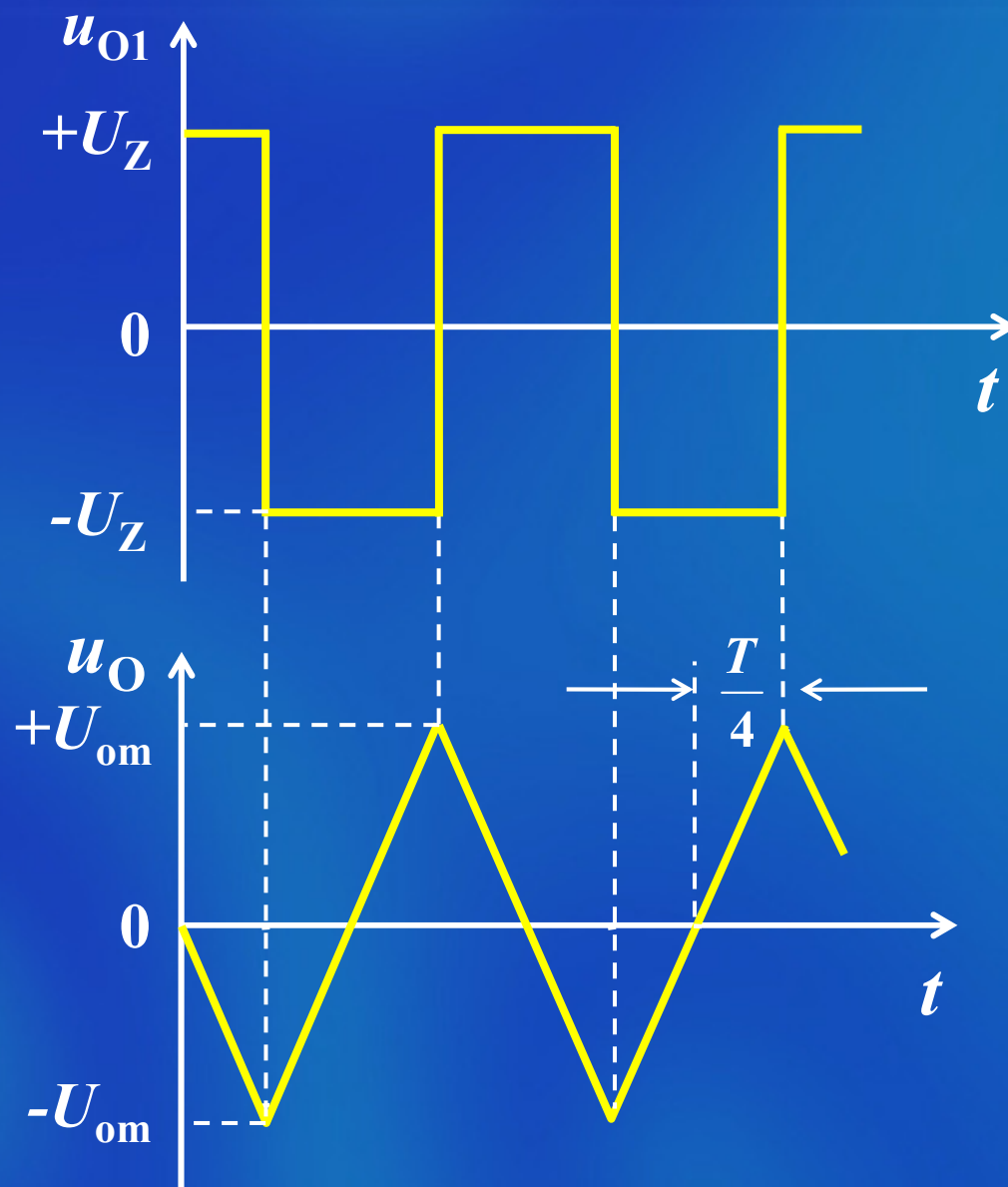
(2) 振荡频率

由图可知

三角波从零上升到 U_{om} 的时间 $T/4$ 。

而

$$\begin{aligned} U_{om} &= -\frac{1}{C} \int_0^{\frac{T}{4}} \frac{u_{O1}}{R} dt \\ &= -\frac{1}{C} \int_0^{\frac{T}{4}} \frac{(-U_Z)}{R} dt \\ &= \frac{TU_Z}{4RC} \end{aligned}$$

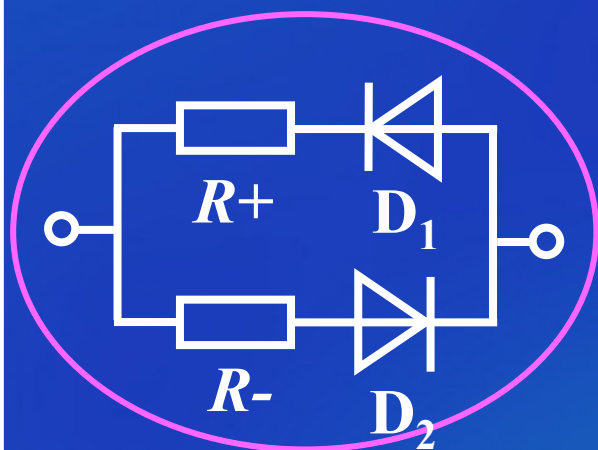


故电路的振荡周期

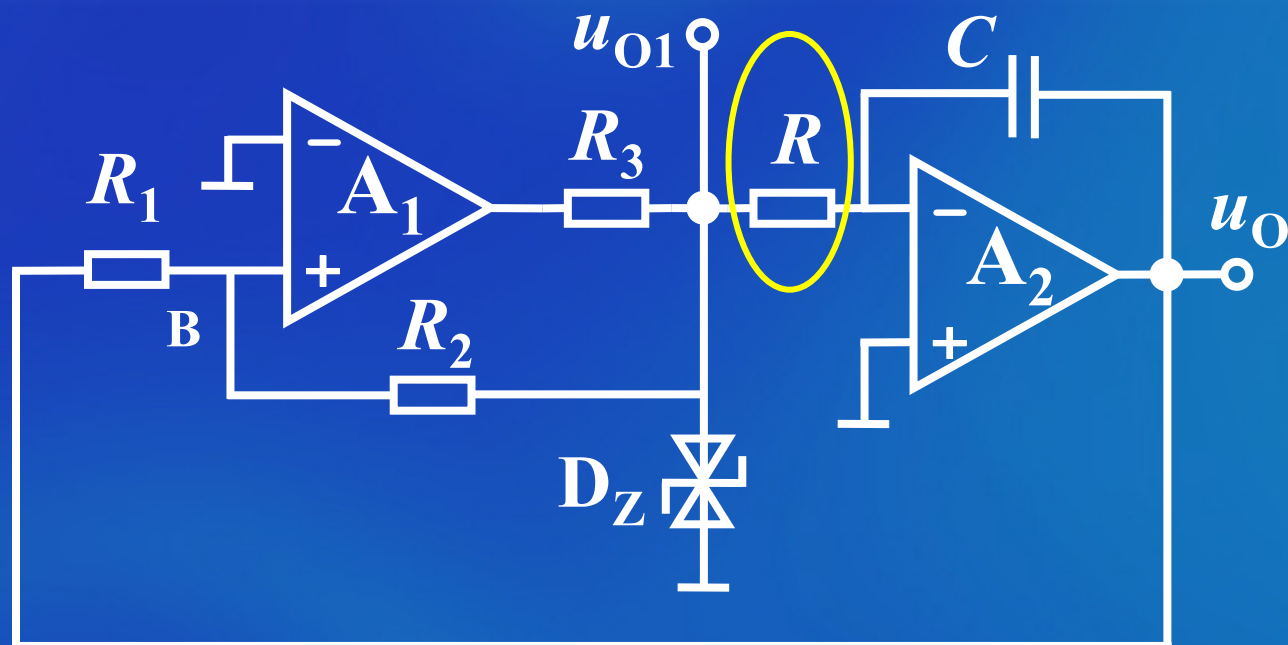
$$T = 4RC \frac{U_{om}}{U_Z} = \frac{4RCR_1}{R_2}$$

振荡频率

$$f_0 = \frac{1}{T} = \frac{R_2}{4R_1RC}$$



(a)

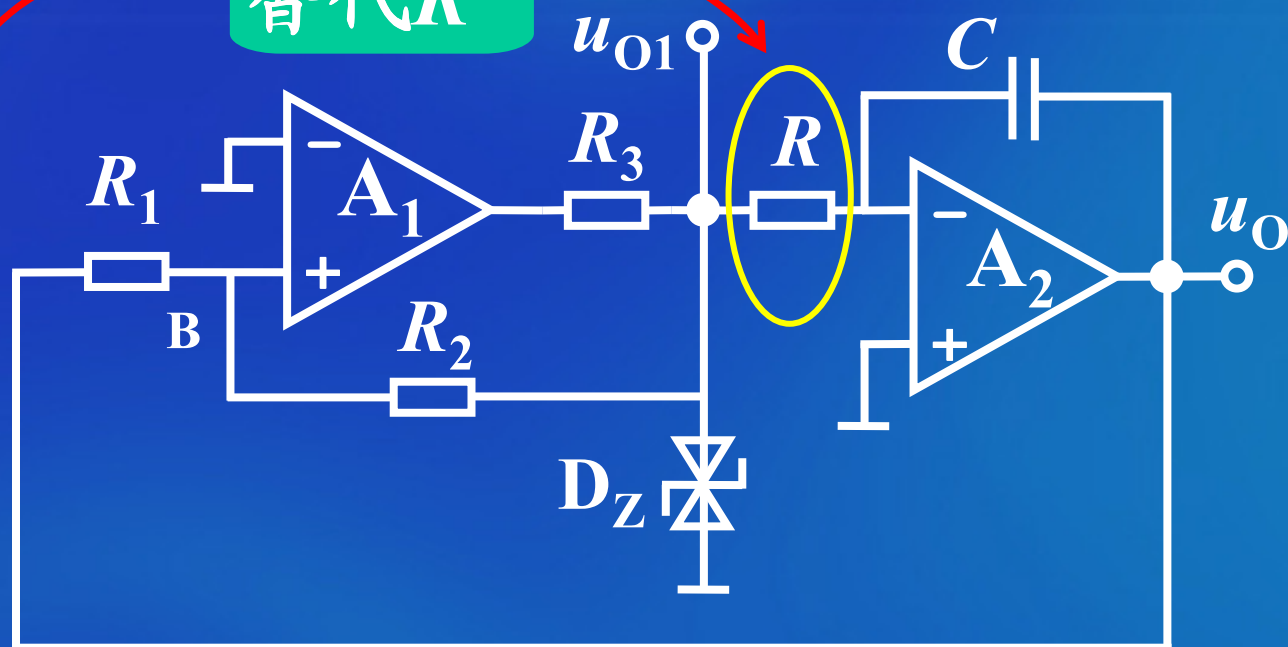
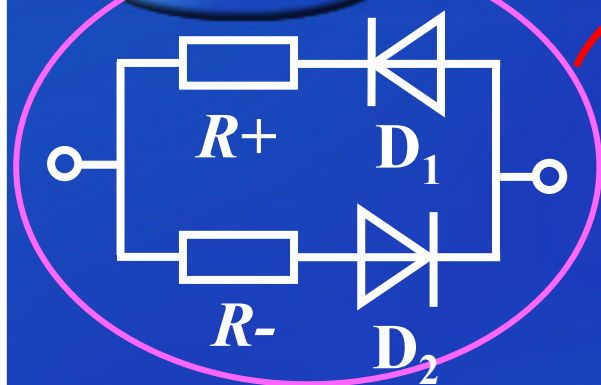


(b)

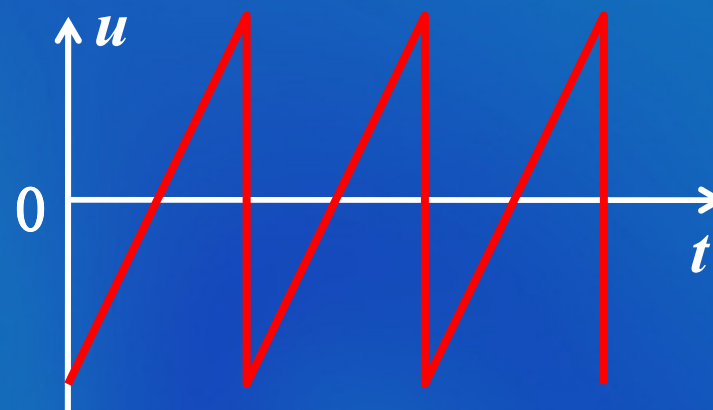
1. 如果用图(a)示电路替代图(b)示电路的电阻 R , 那么输出电压 u_o 的波形有何特点?

答: 三角波两边斜率不同, 即三角波变成为锯齿波。

替代 R



2、在上图示电路中，如果电阻 $R_+ > R_-$ ，画出输出信号的波形。



实验电路

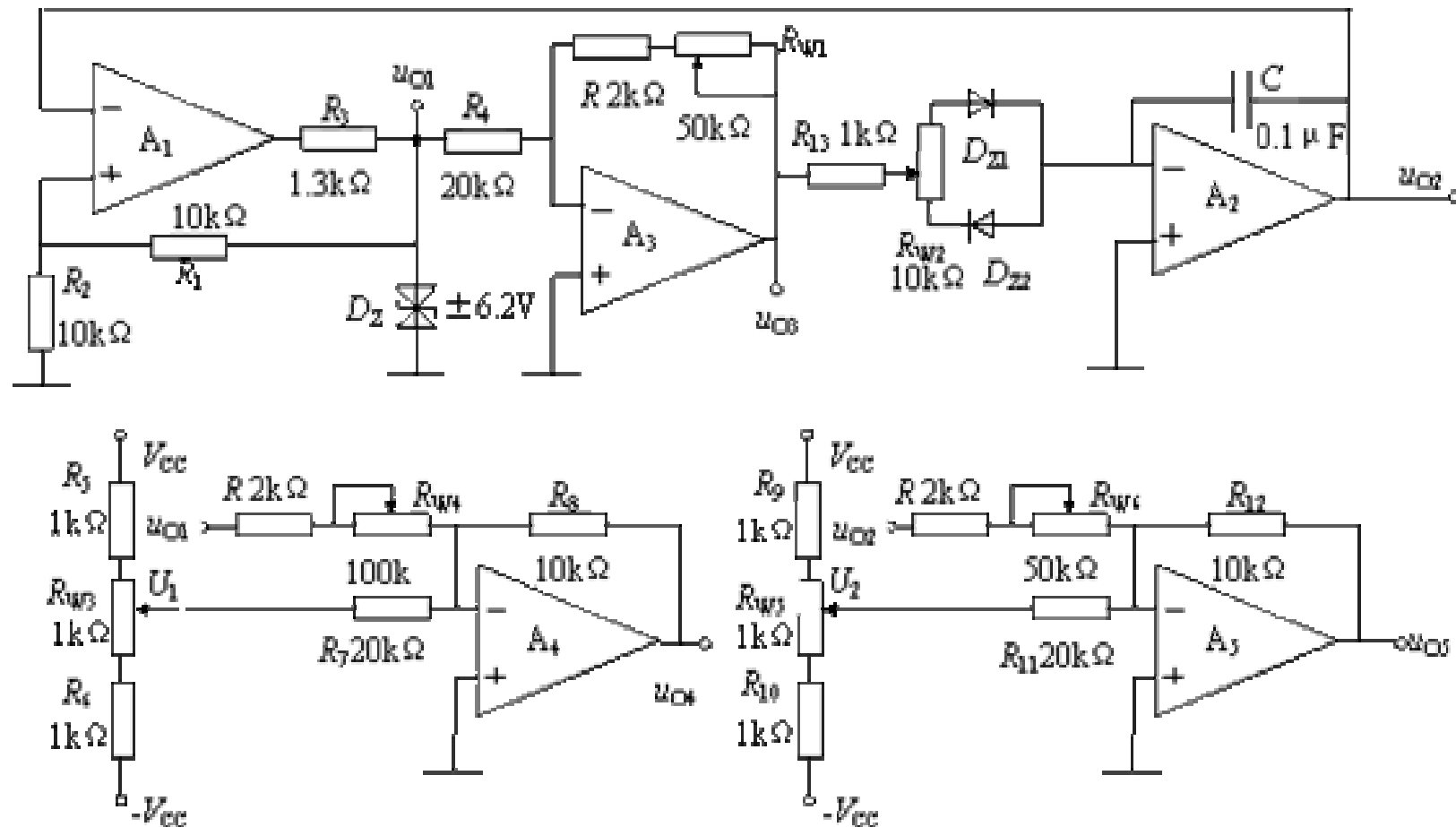
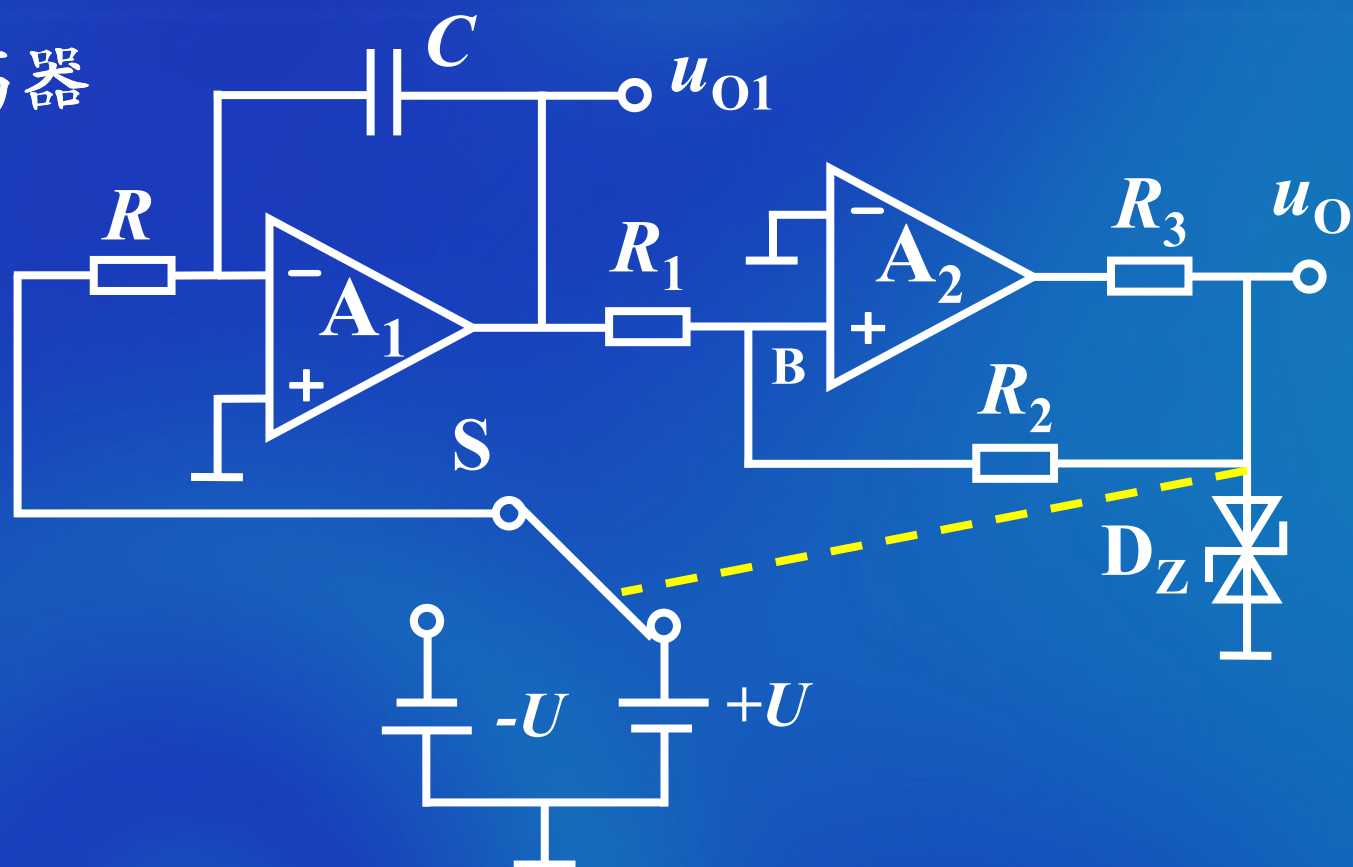


图 2.3.4 独立可调的三角波方波发生电路

8.2.3 压控振荡器

原理图

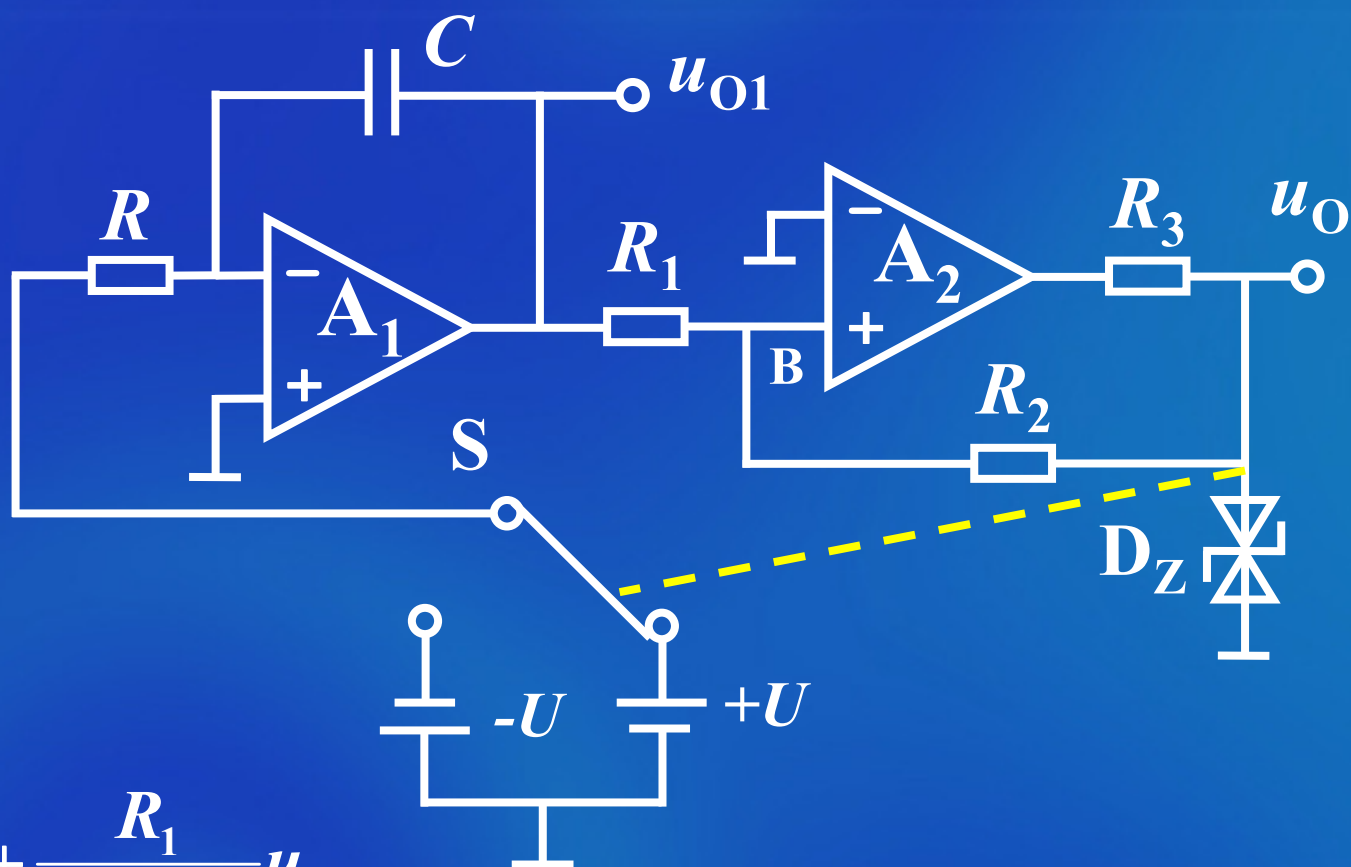


$u_O = +U_Z$ 时，开关 S 接通 $+U$

$u_O = -U_Z$ 时，开关 S 接通 $-U$

(1) 工作原理

图中

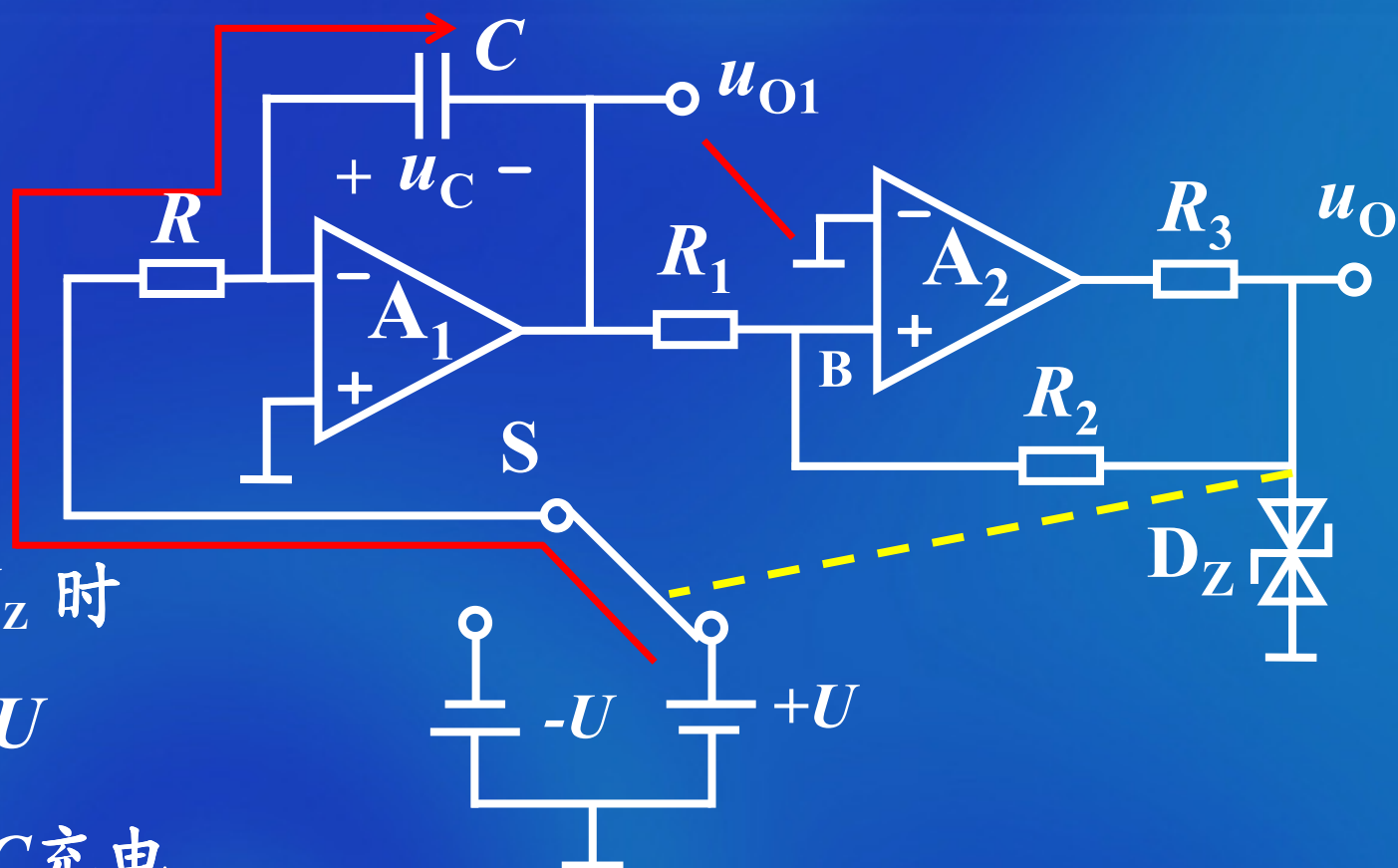


$$u_O = \pm U_Z$$

$$u_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_{O1} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_O$$

$$= \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_{O1} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} (\pm U_Z)$$

设 $u_C(0^-)=0$



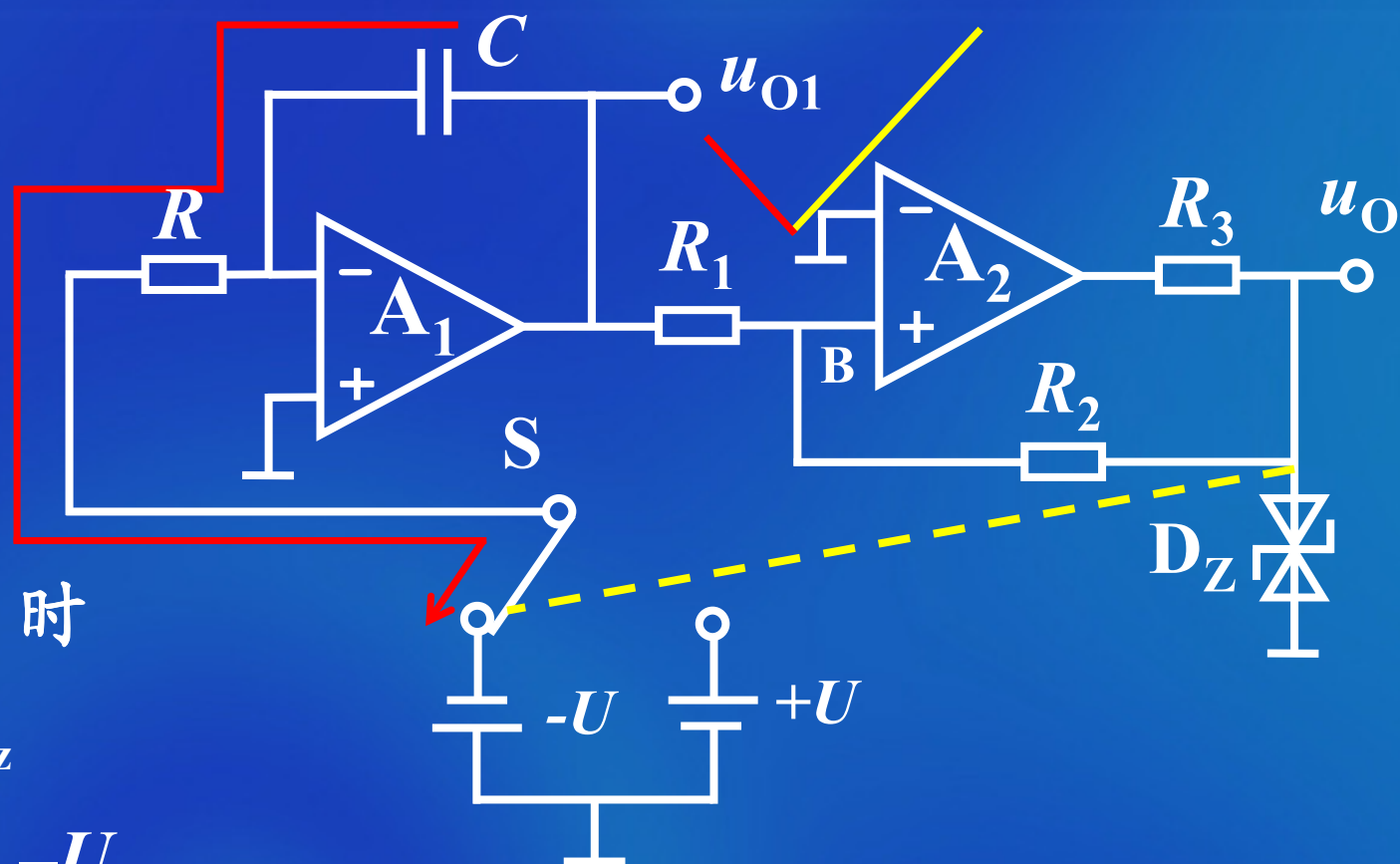
(a) 当 $u_O = U_Z$ 时

S 接电源 $+U$

U 通过 R 向 C 充电

$$u_{O1} = -\frac{1}{RC} \int_t^{t+\Delta t} U dt = -\frac{U}{RC} \Delta t$$

u_{O1} 随时间线性下降



(b) 当 $u_B \leq 0$ 时

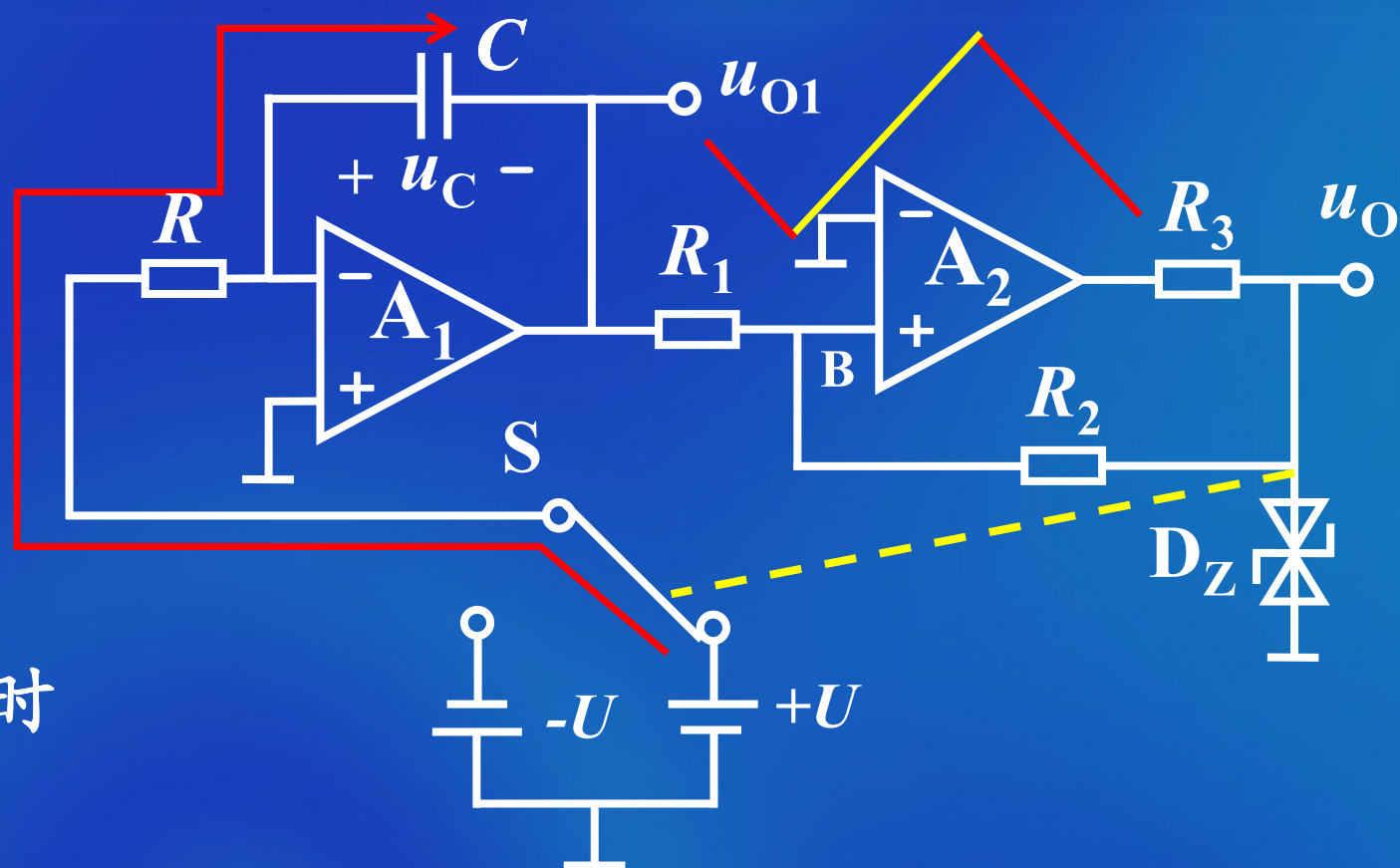
$$u_O = -U_Z$$

开关 S 接 $-U$

电容 反向充电

$$u_{O1} = -\frac{1}{RC} \int_t^{t+\Delta t} (-U) dt = \frac{U}{RC} \Delta t$$

u_{O1} 随时间线性上升



(c) 当 $u_B \geq 0$ 时

$$u_O = U_z$$

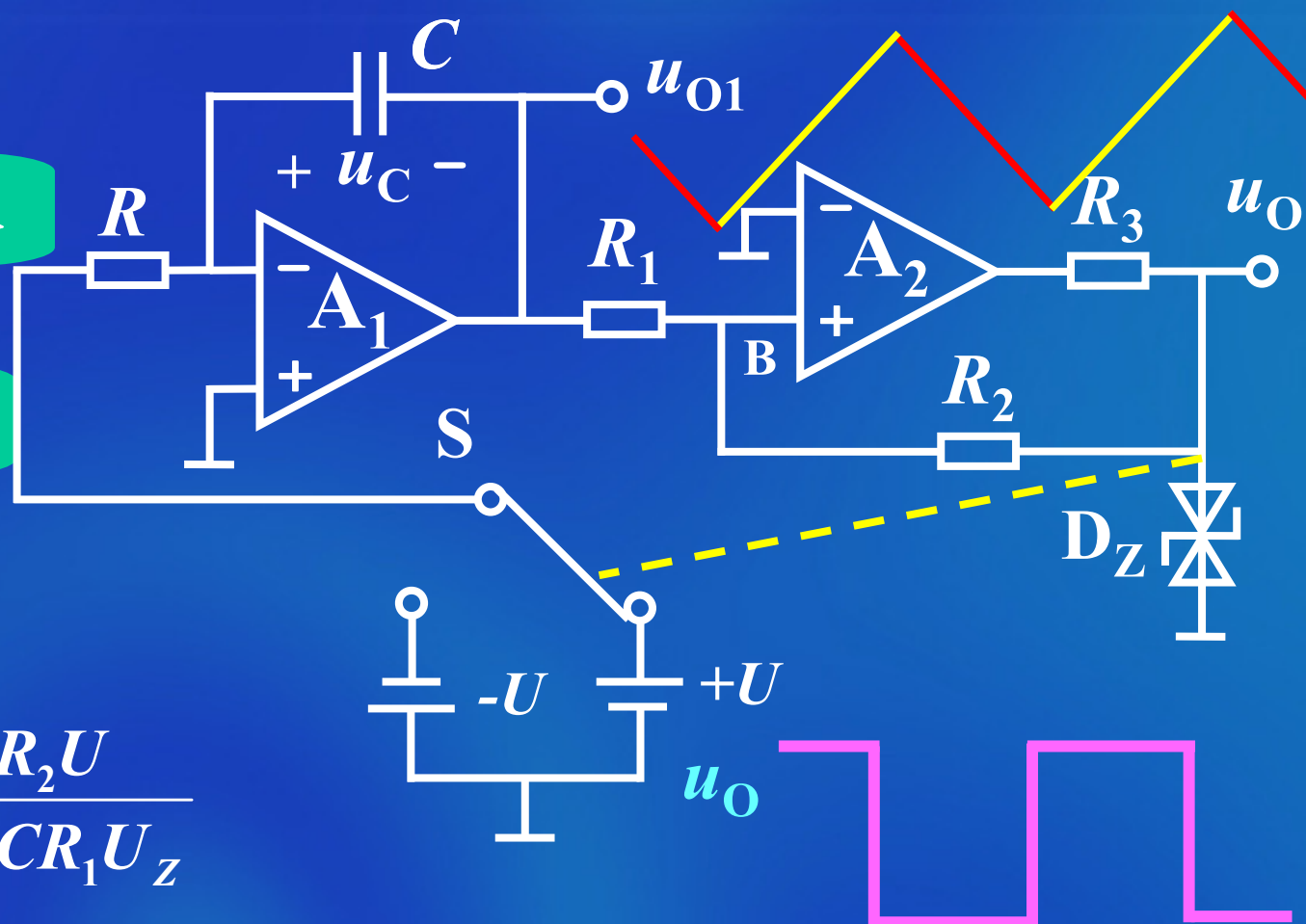
S 又接 U

电容 又正向充电

u_{O1} 又随时间线性下降

u_{O1} 输出三角波

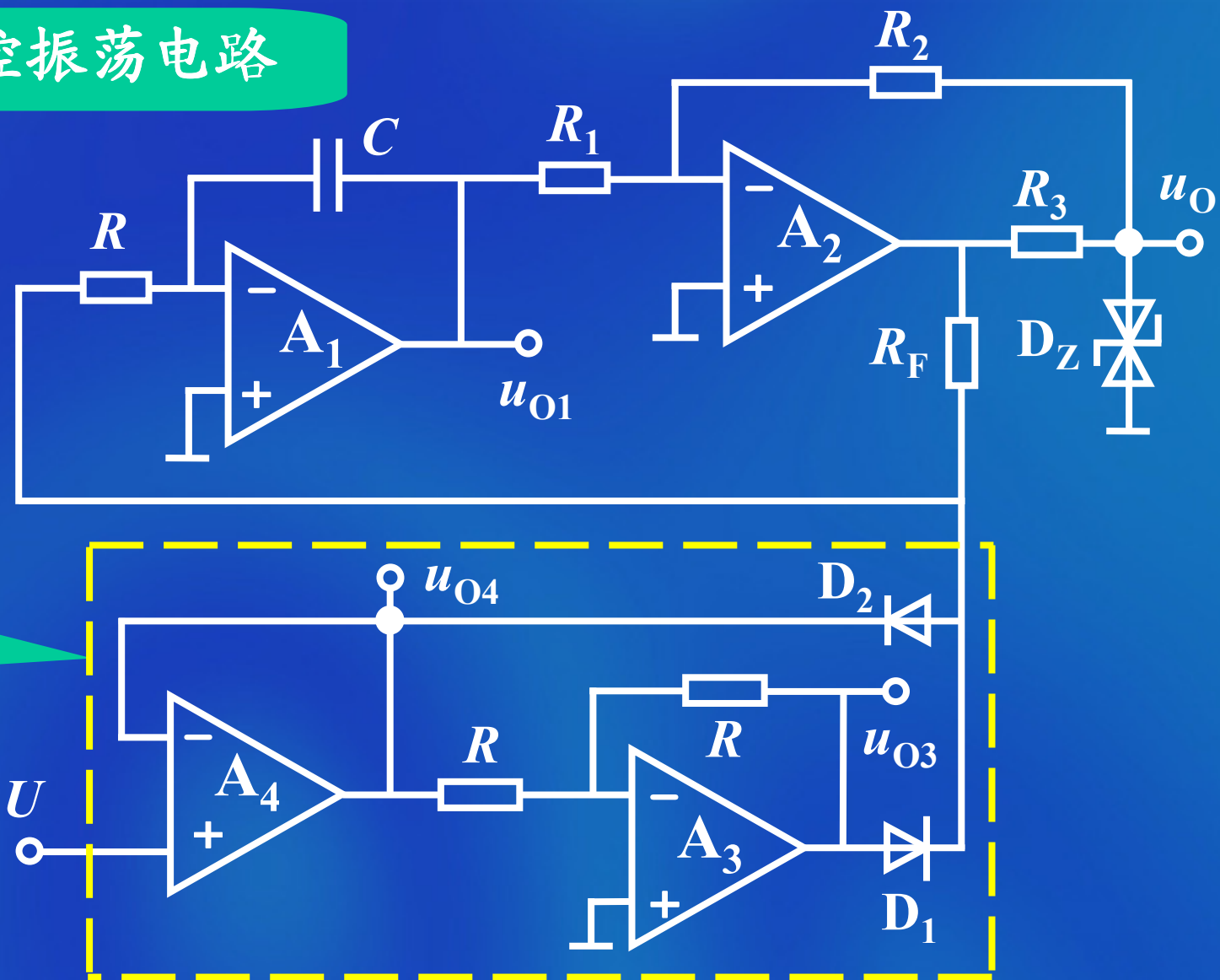
u_O 输出方波



$$f_0 = \frac{1}{T} = \frac{R_2 U}{4RCR_1 U_Z}$$

$f_0 \propto U$, 实现了电压控制振荡频率的目的

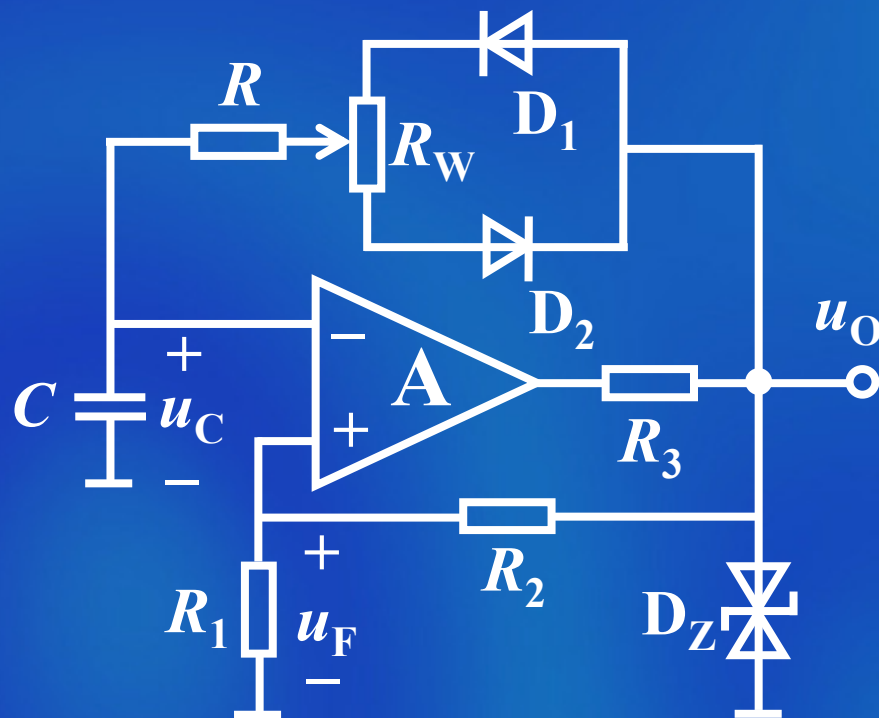
一种压控振荡电路



电子模
拟开关

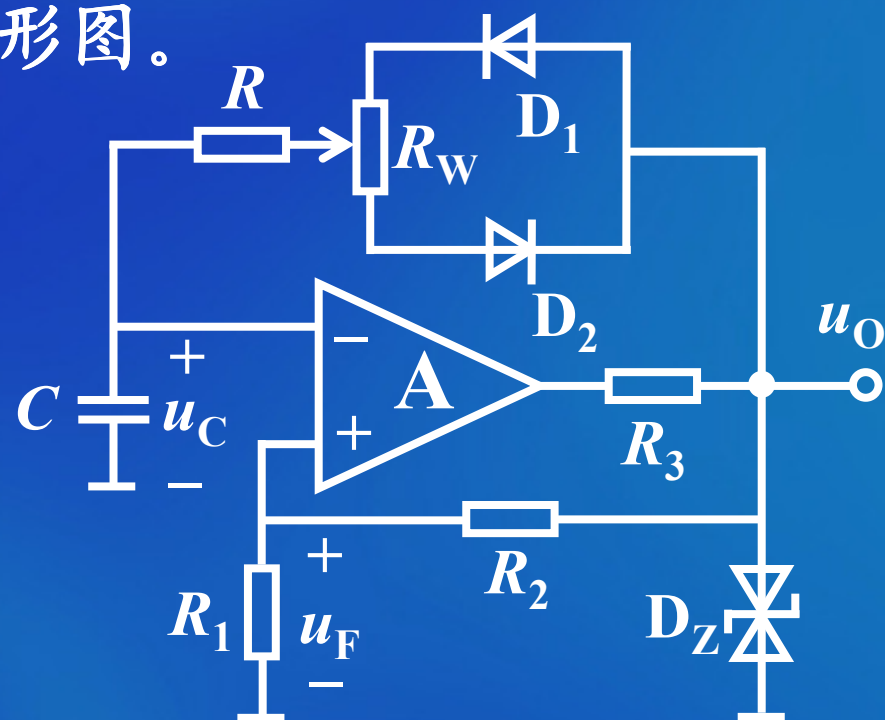
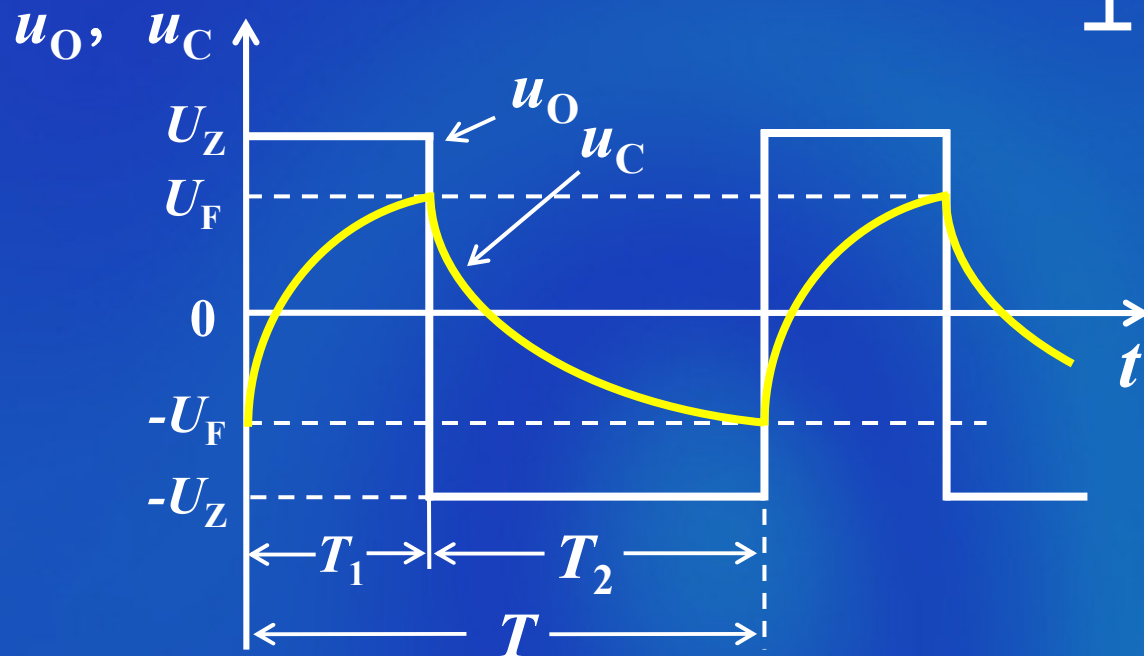
练习题

例1 电路如图所示，图中运放A和二极管 D_1 、 D_2 都是理想器件，稳压管 D_Z 的稳压值为 U_Z 。试证明调节电位器 R_W 改变矩形波占空比时，周期 T 将保持不变。



解 由题意，画出 u_O 和 u_C 的波形图。

波形图



其中

$$U_F = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_Z$$

当 $u_O = U_Z$ 时, u_O 通过 D_1 对电容充电

$$T_1 = (R + R'_w)C \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2})$$

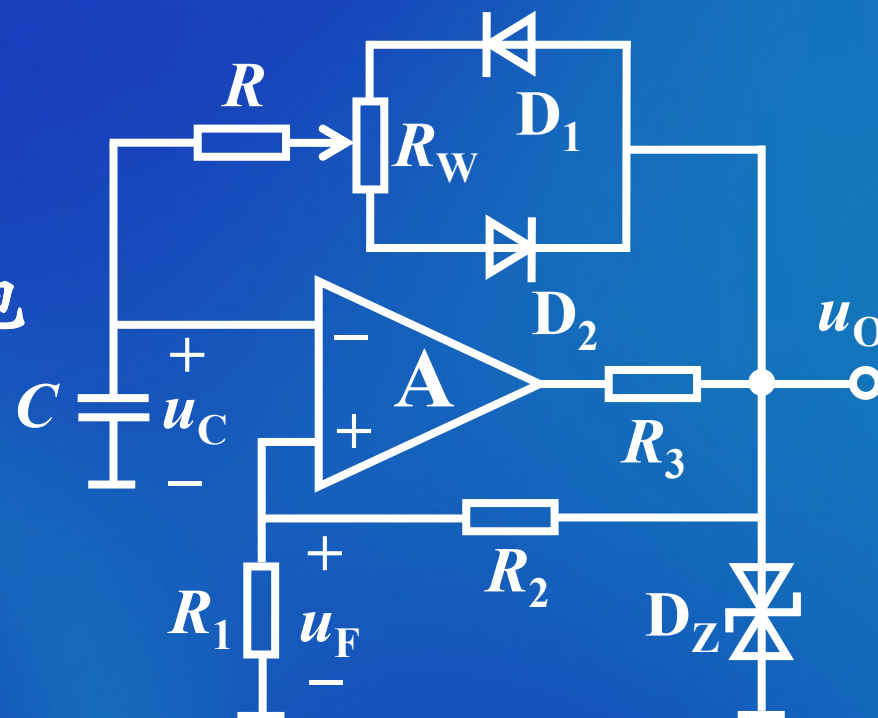
当 $u_O = -U_Z$ 时, 电容通过 D_2 放电

$$T_2 = (R + R''_w)C \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2})$$

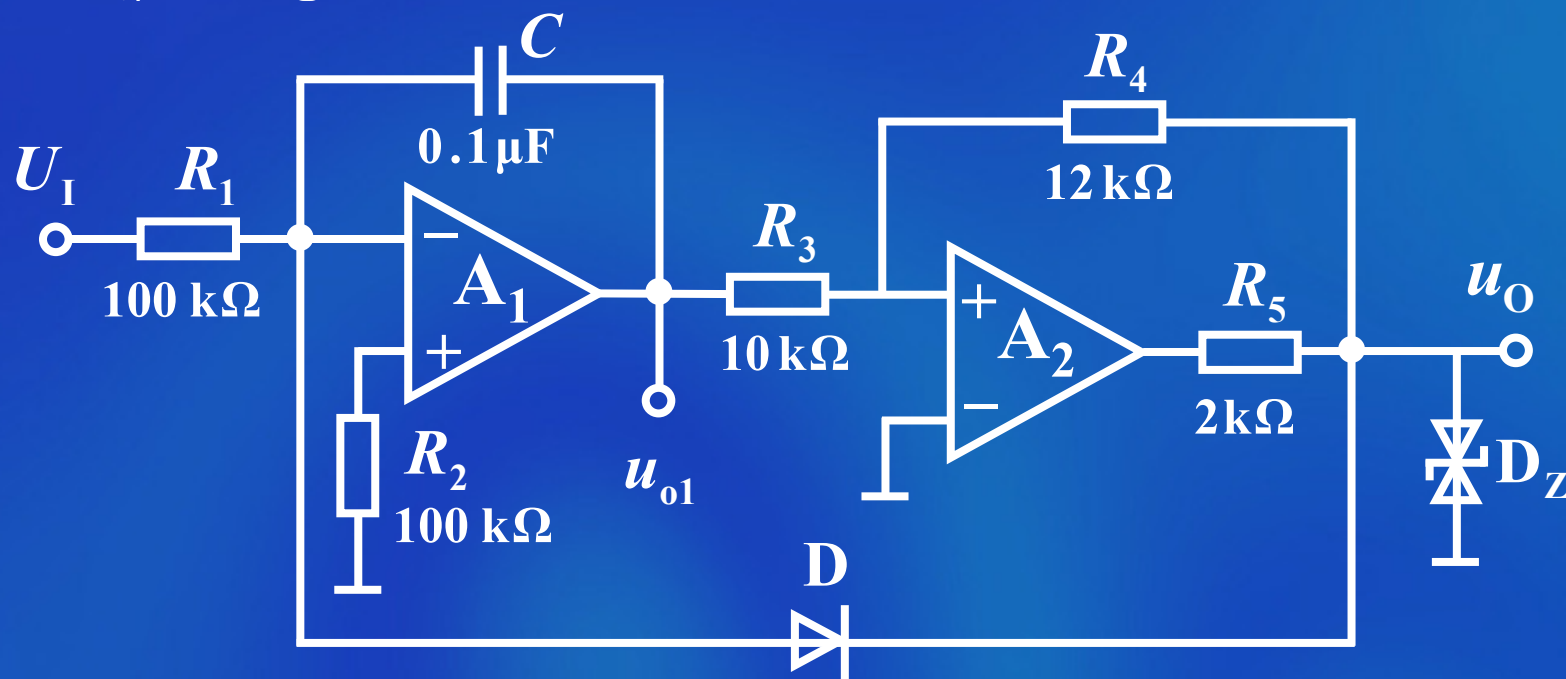
振荡周期

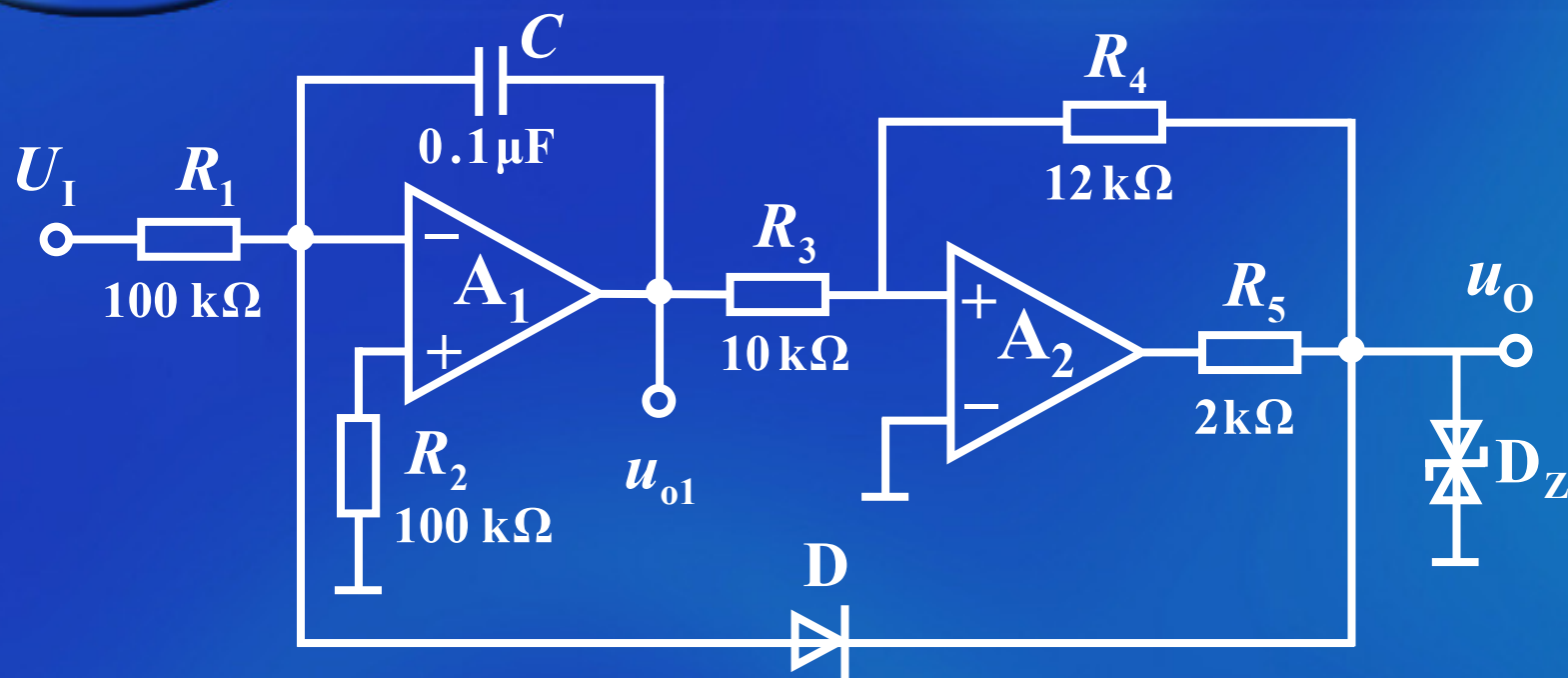
$$T = T_1 + T_2 = (2R + R_w)C \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2}) \quad \text{为常数}$$

可见, 在改变 R_w 滑动端位置时, T 保持不变。



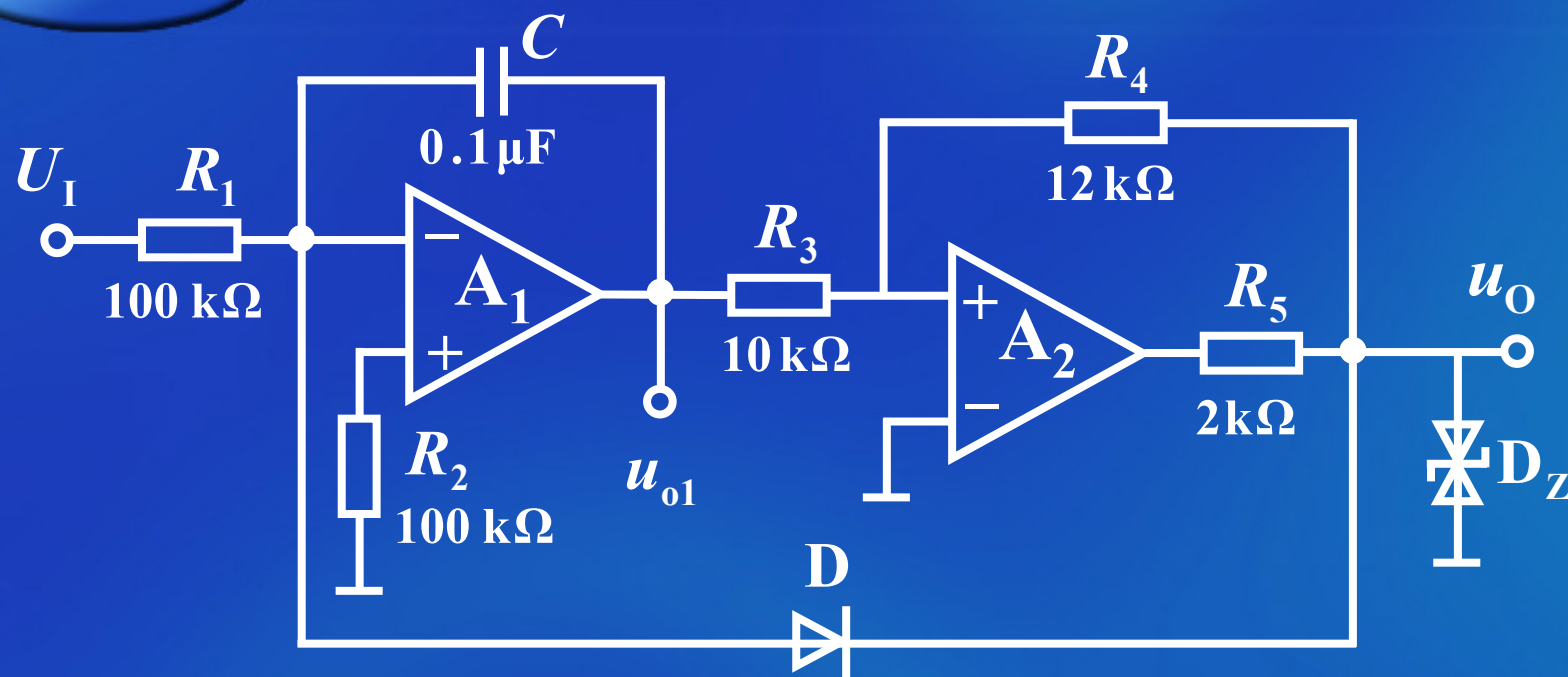
例2 图示电路为一压控振荡器。设输入电压 $0 < U_I < 6V$ ，运放 A_1 、 A_2 为理想器件；二极管 D 的正向压降为 $0.6V$ ，稳压管 D_Z 的稳定电压为 $\pm 6V$ ，它们的其他性能理想。





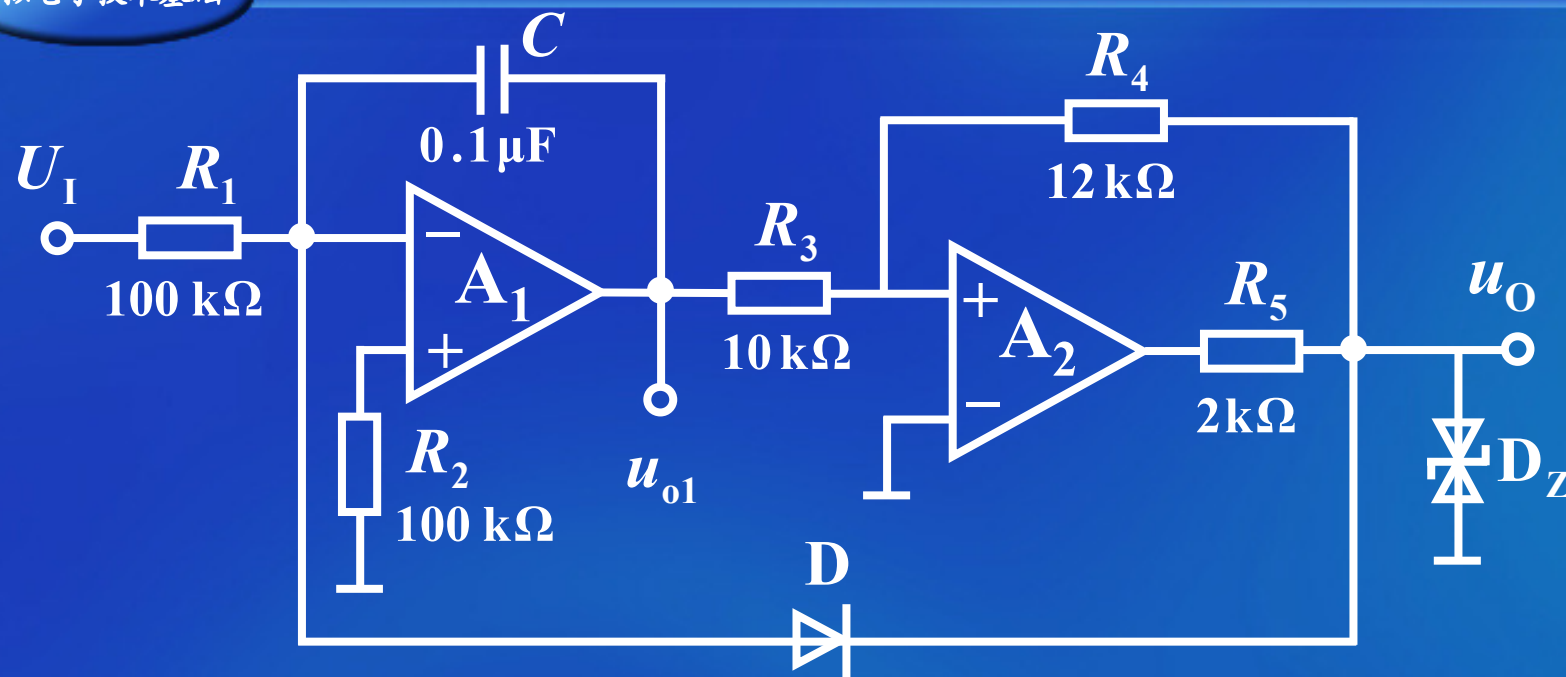
- (a) 运算放大器 A_1 、 A_2 各组成什么电路？
 (b) 画出 u_{o1} 和 u_o 波形；
 (c) 写出振荡频率 f_0 与输入电压 u_I 的函数关系式。

解 (a) A_1 构成反相输入积分电路， A_2 构成同相输入电压比较器。



(b) 当 $u_o = 6\text{V}$ 时，二极管 D 截止，电容 C 充电， u_{o1} 随时间负向线性增大。

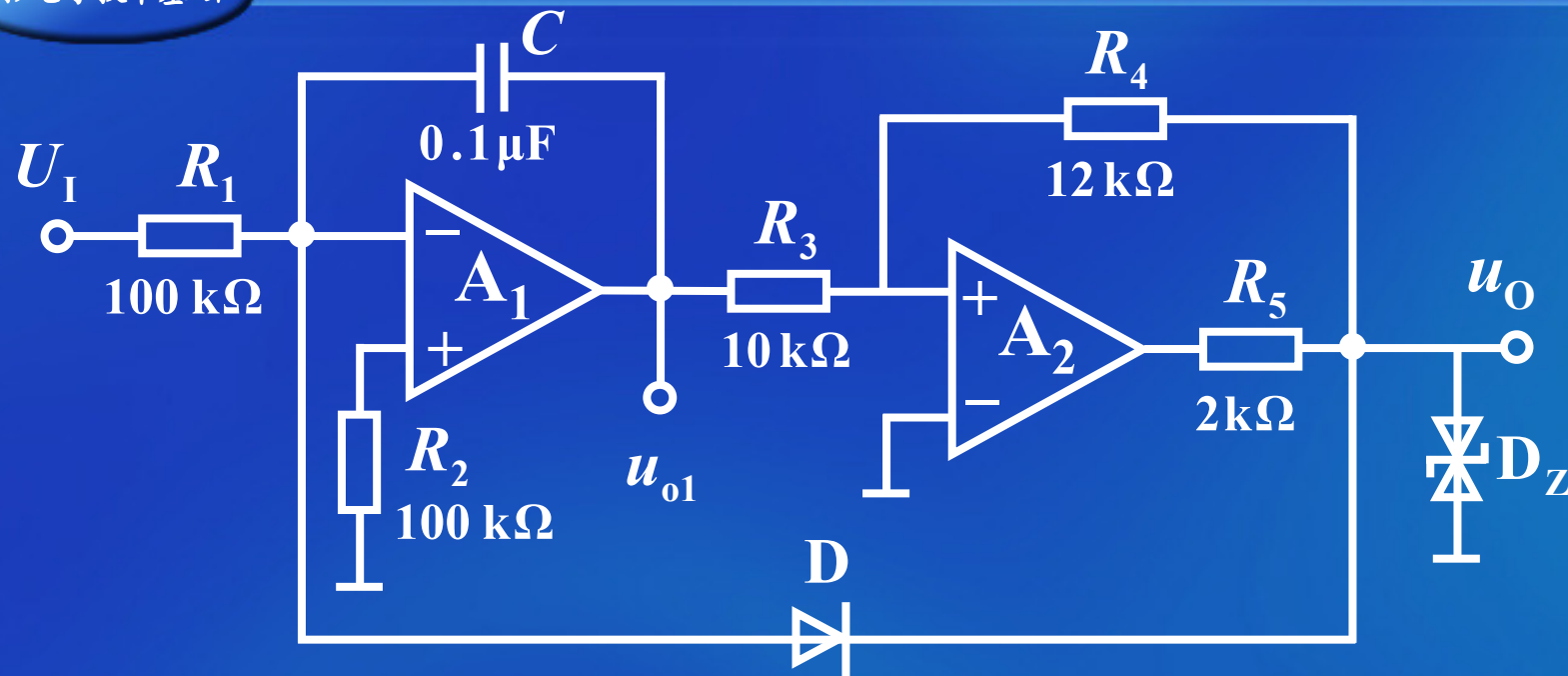
当运放 A_2 的同相端电位 u_{2+} 过零时，比较器翻转， $u_{o2} = -6\text{V}$ 。



此时， D 导通， $u_{O2} = -0.6\text{V}$ 。 C 迅速放电， u_{O1} 快速正向增大。

当 u_{2+} 再次过零时，比较器再次翻转， $u_{O2} = 6\text{V}$ ，二极管再次截止。

如此周而复始，形成周期性振荡。



由图可知，运放 A_2 同相端电位

$$u_{2+} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} u_{o1} + \frac{R_3}{R_3 + R_4} u_{o2}$$

令 $u_{2+}=0$ 得

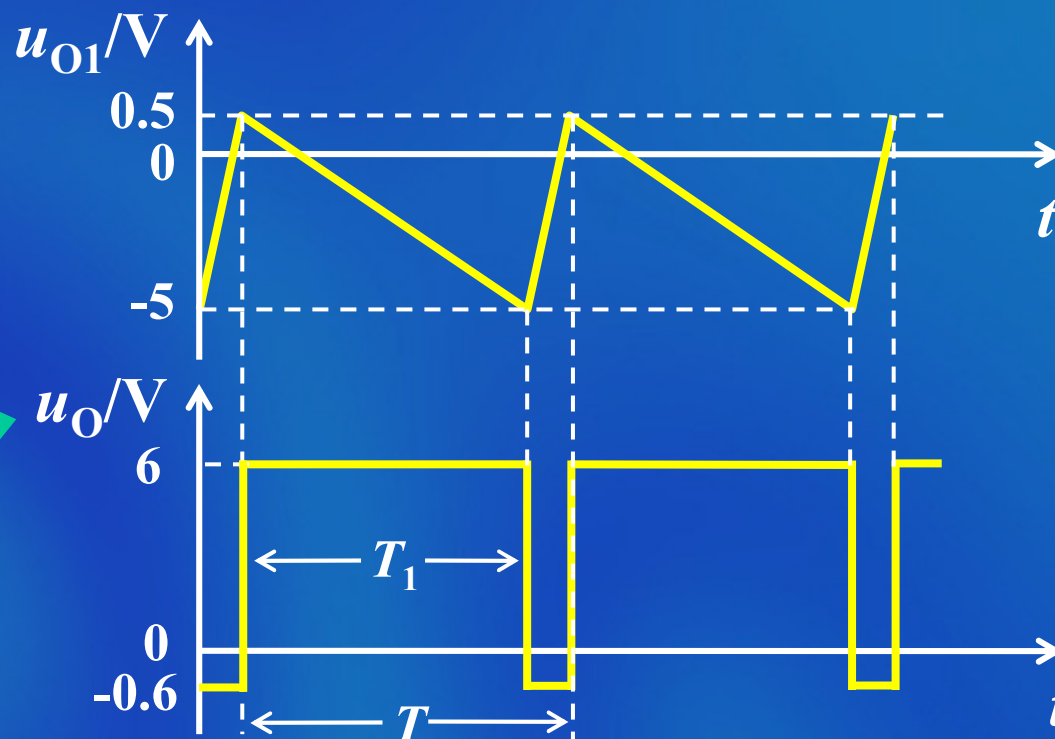
$$u_{o1} = -\frac{R_3}{R_4} u_{o2}$$

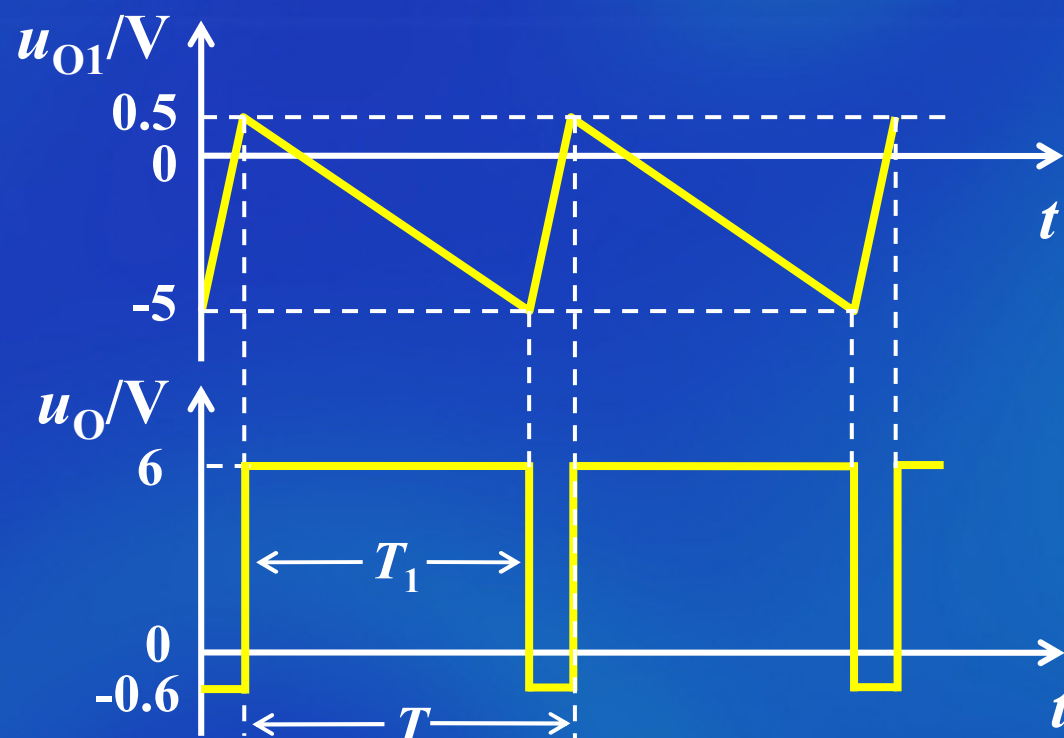
由式 $u_{O1} = -\frac{R_3}{R_4} u_{O2}$ 知

当 $u_O = 6V$ 时, $u_{O1} = -5V$, 比较器状态翻转。

当 $u_O = -0.6V$ 时, $u_{O1} = 0.5V$, 比较器状态翻转。

u_{O1} 和 u_{O2} 的波形





(c) 由于二极管的导通电阻很小，电容放电时间极短，所以， $T \approx T_1$ 。

$$\text{由于 } u_{O1} = -\frac{1}{R_1 C} \int U_I dt = -\frac{U_I}{R_1 C} t$$

当 $u_{O1} = -\frac{R_3}{R_4}U_Z$ 时, 电容充电结束, 此时

$$-\frac{T_1}{R_1C}U_1 = -\frac{R_3}{R_4}U_Z$$

$$T_1 = \frac{R_1R_3CU_Z}{R_4U_1}$$

故 $f_0 \approx \frac{R_4U_1}{R_1R_3CU_Z} = 20U_1$