

第六章 波形的发生和信号的转换

第六章 波形的发生和信号的转换

§ 6.1 正弦波振荡电路（不讲）

§ 6.2 电压比较器

§ 6.1 正弦波振荡电路

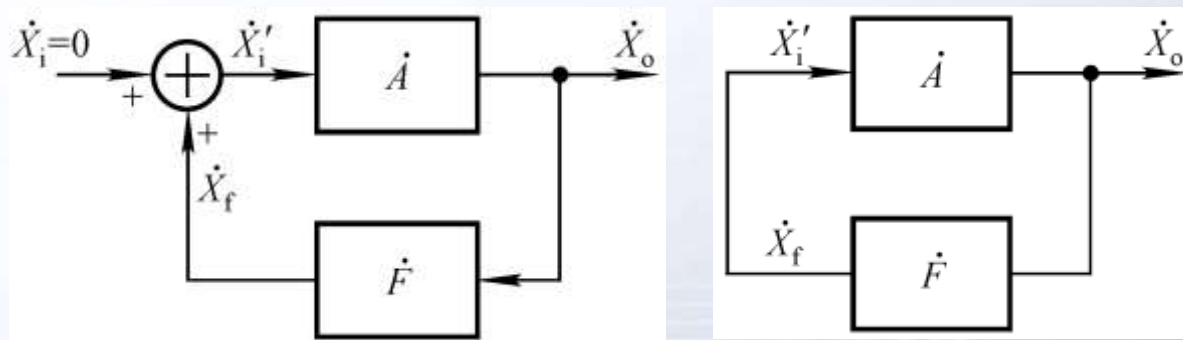
- 一、正弦波振荡的条件和电路的组成
- 二、 RC 正弦波振荡电路
- 三、 LC 正弦波振荡电路
- 四、石英晶体正弦波振荡电路

一、正弦波振荡的条件和电路的组成

1. 正弦波振荡的条件

无外加信号，输出一定频率一定幅值的信号。

在正弦波振荡电路中引入的是正反馈，且振荡频率可控。

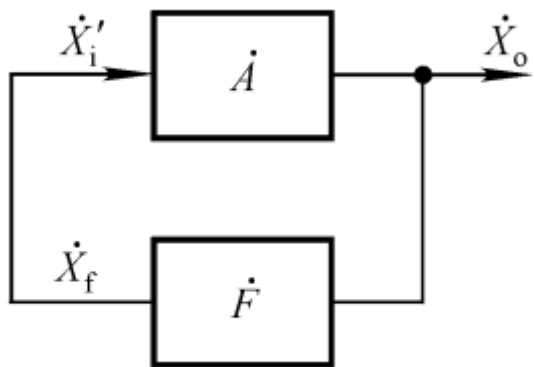


在电扰动下，对于某一特定频率 f_0 的信号形成正反馈：

$$X_o \uparrow \rightarrow X_i' \rightarrow X_o \uparrow \uparrow$$

由于半导体器件的非线性特性及供电电源的限制，最终达到动态平衡，稳定在一定的幅值。

1. 正弦波振荡的条件



一旦产生稳定的振荡，则
电路的输出量自维持，即

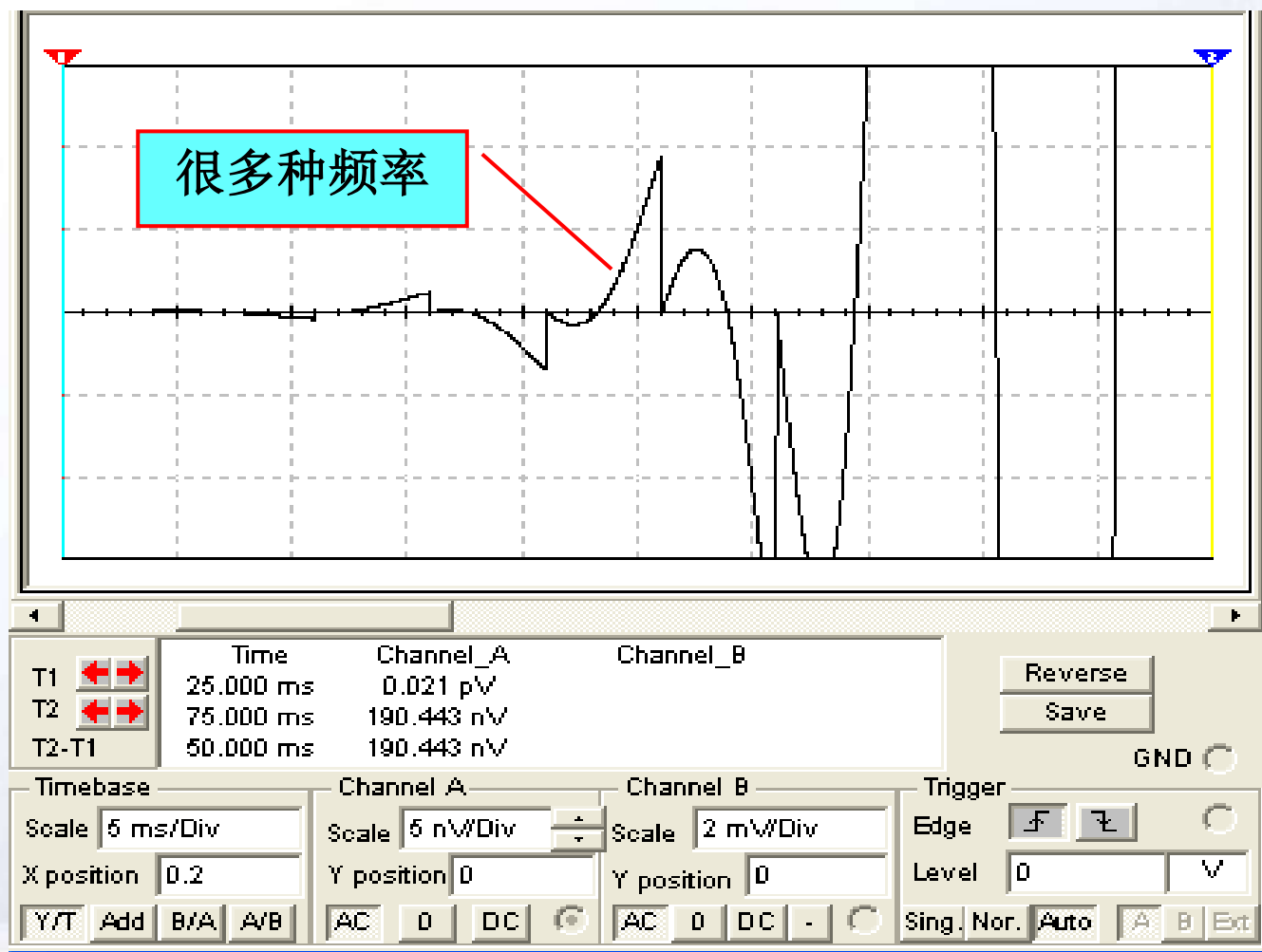
$$\dot{X}_o = \dot{A}\dot{F}\dot{X}_o$$

$$\dot{A}\dot{F} = 1 \Rightarrow \begin{cases} |\dot{A}\dot{F}| = 1 & \text{----- 幅值平衡条件} \\ \varphi_A + \varphi_F = 2n\pi & \text{----- 相位平衡条件} \end{cases}$$

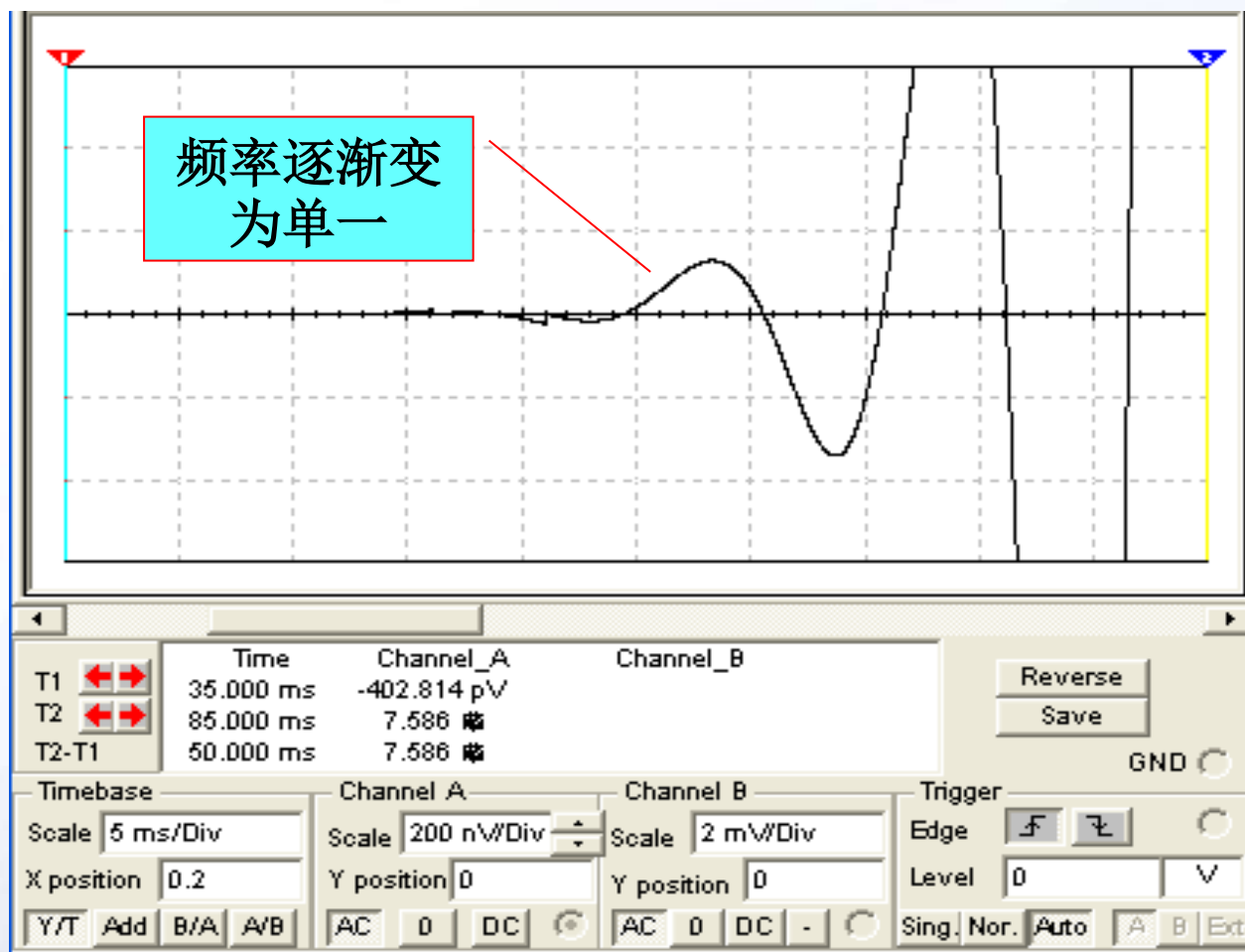
起振条件： $|\dot{A}\dot{F}| > 1$

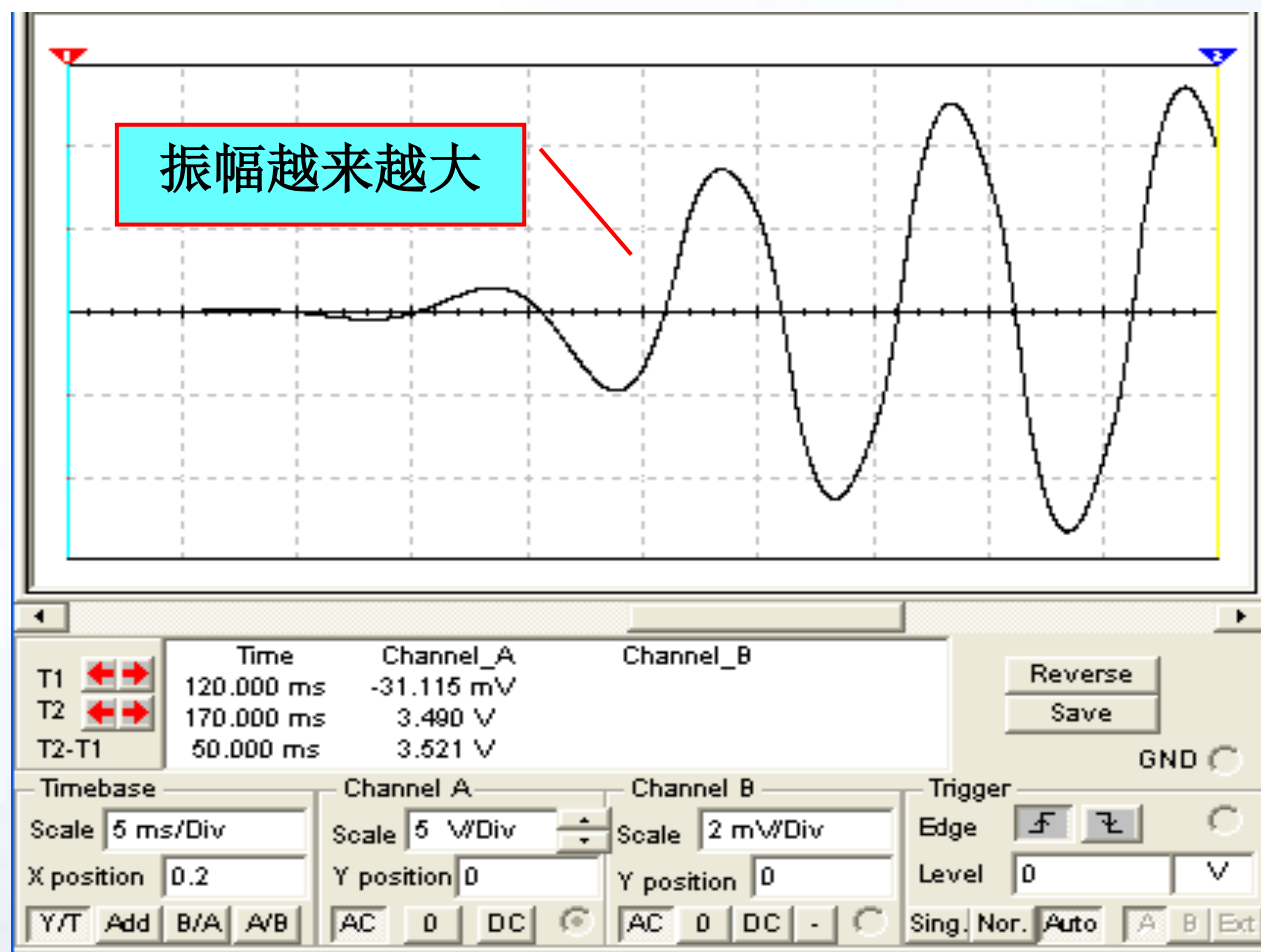
要产生正弦波振荡，必须有满足相位条件的 f_0 ，且在合闸通电时对于 $f=f_0$ 信号有从小到大直至稳幅的过程，即满足起振条件。

2. 起振与稳幅：输出电压从幅值很小、含有丰富频率，到仅有一种频率且幅值由小逐渐增大直至稳幅。

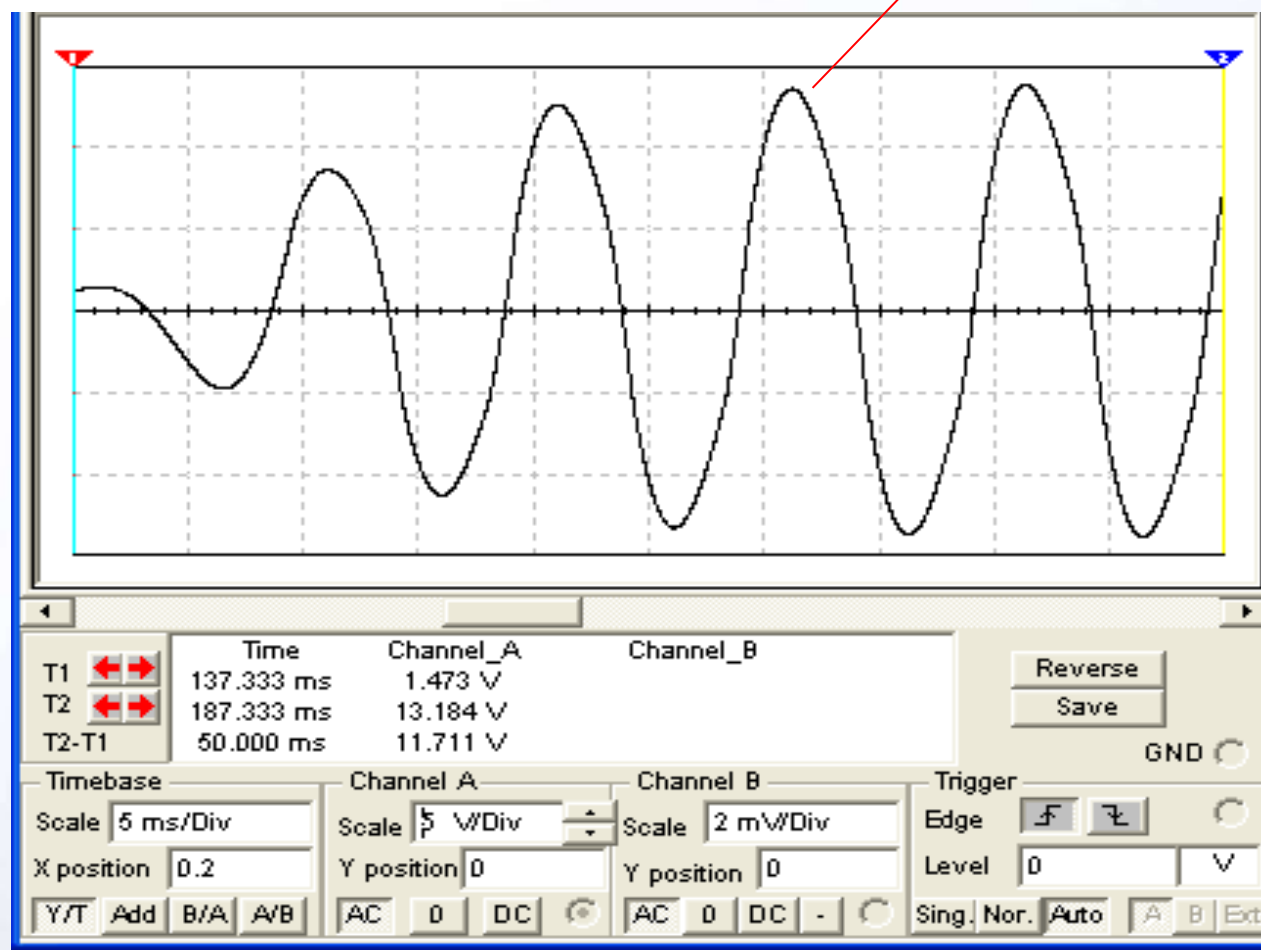


频率逐渐变
为单一



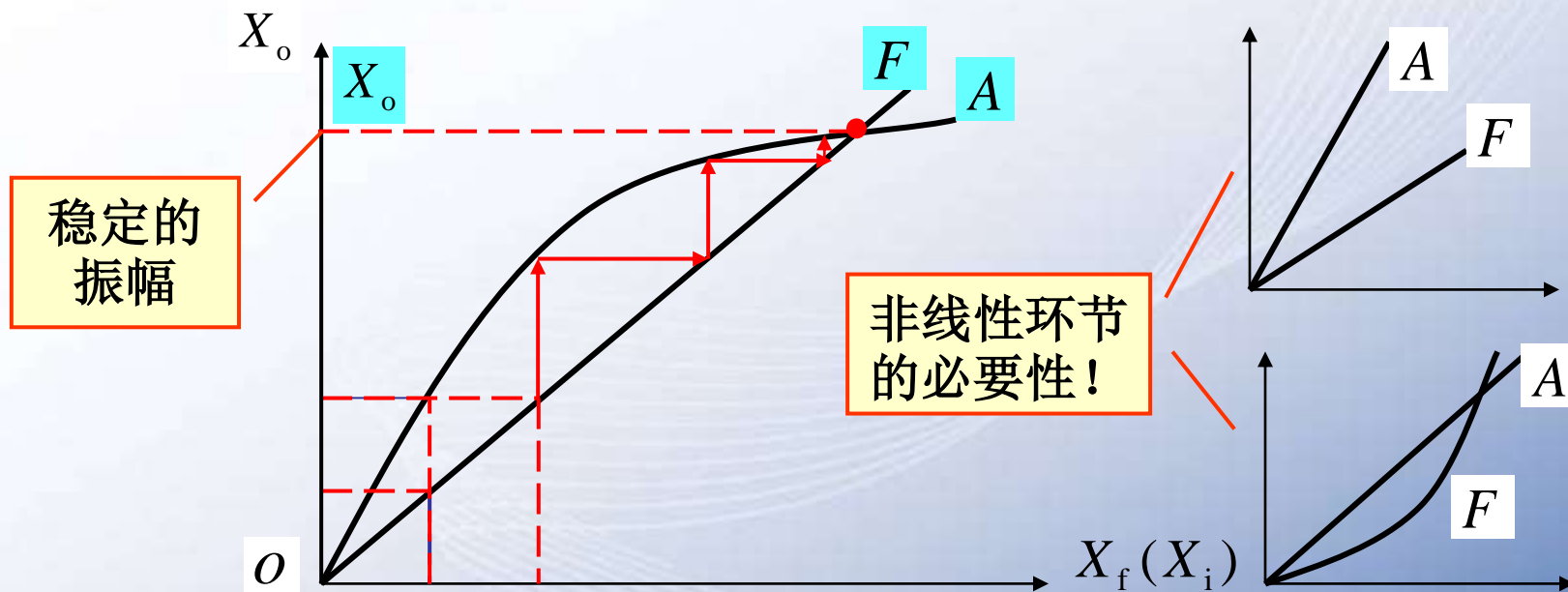
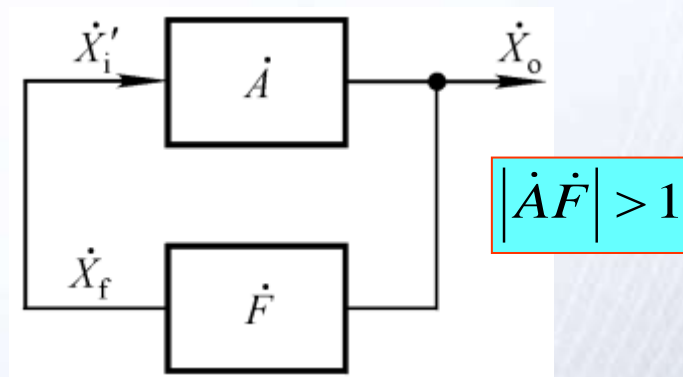


趋于稳幅



2. 起振与稳幅

电路如何从起振到稳幅？



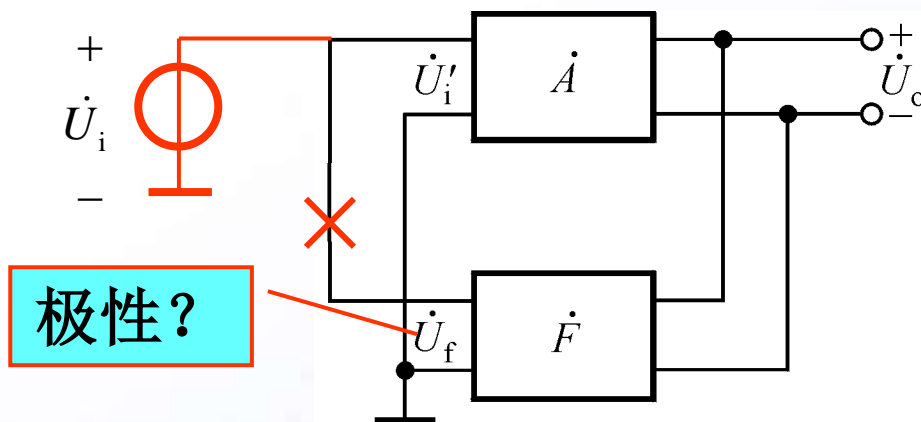
3. 基本组成部分

- 1) 放大电路：放大作用
 - 2) 正反馈网络：满足相位条件
 - 3) 选频网络：确定 f_0 ，保证电路产生正弦波振荡
 - 4) 非线性环节（稳幅环节）：稳幅
- } 常合二为一

4. 分析方法

- 1) 是否存在主要组成部分；
- 2) 放大电路能否正常工作，即是否有合适的 Q 点，信号是否可能正常传递，没有被短路或断路；
- 3) 是否满足相位条件，即是否存在 f_0 ，是否可能振荡；
- 4) 是否满足幅值条件，即是否一定振荡。

相位条件的判断方法：瞬时极性法



在多数正弦波振荡电路中，输出量、净输入量和反馈量均为电压量。

断开反馈，在断开处给放大电路加 $f=f_0$ 的信号 U_i ，且规定其极性，然后根据

U_i 的极性 $\rightarrow U_o$ 的极性 $\rightarrow U_f$ 的极性

若 U_f 与 U_i 极性相同，则电路可能产生自激振荡；否则电路不可能产生自激振荡。

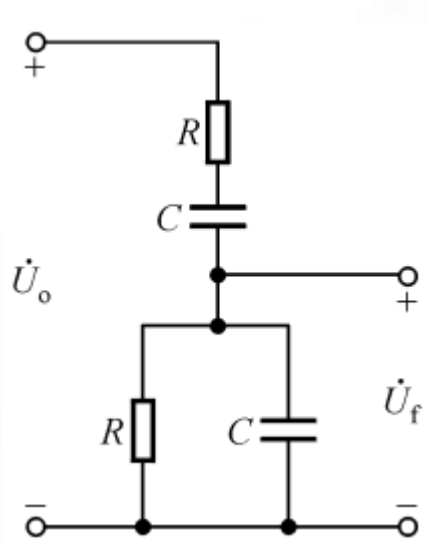
5. 分类

常用选频网络所用元件分类。

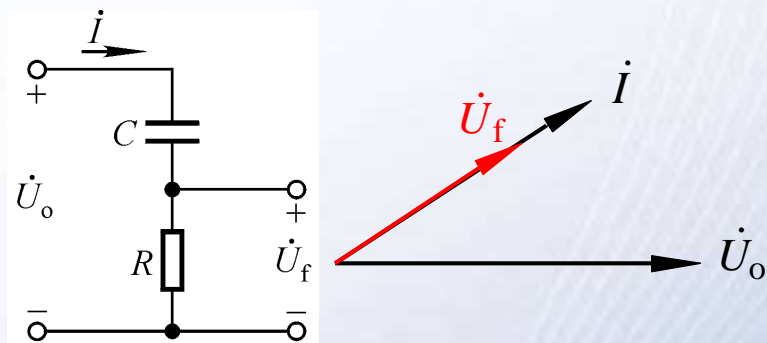
- 1) RC 正弦波振荡电路：1兆赫以下
- 2) LC 正弦波振荡电路：几百千赫~几百兆赫
- 3) 石英晶体正弦波振荡电路：振荡频率稳定

二、RC 正弦波振荡电路

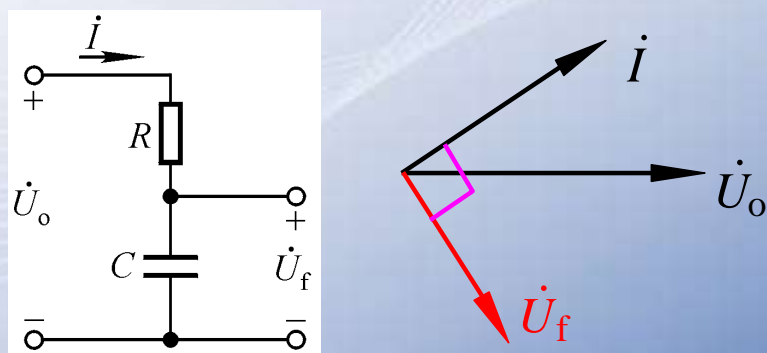
1. RC串并联选频网络



在频率从 $0 \sim \infty$
中必有一个频率
 f_0 , $\varphi_F = 0^\circ$ 。

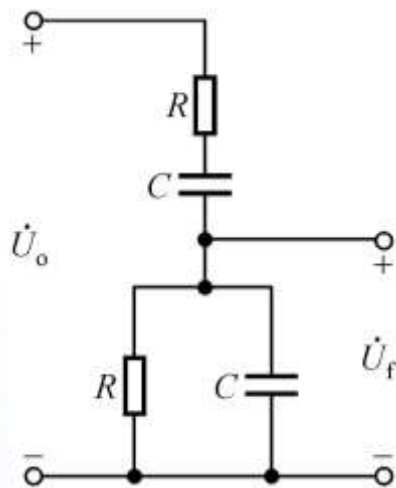


$$f \rightarrow 0, |\dot{U}_f| \rightarrow 0, \varphi_F \rightarrow +90^\circ$$



$$f \rightarrow \infty, |\dot{U}_f| \rightarrow 0, \varphi_F \rightarrow -90^\circ$$

RC串并联选频网络的频率响应

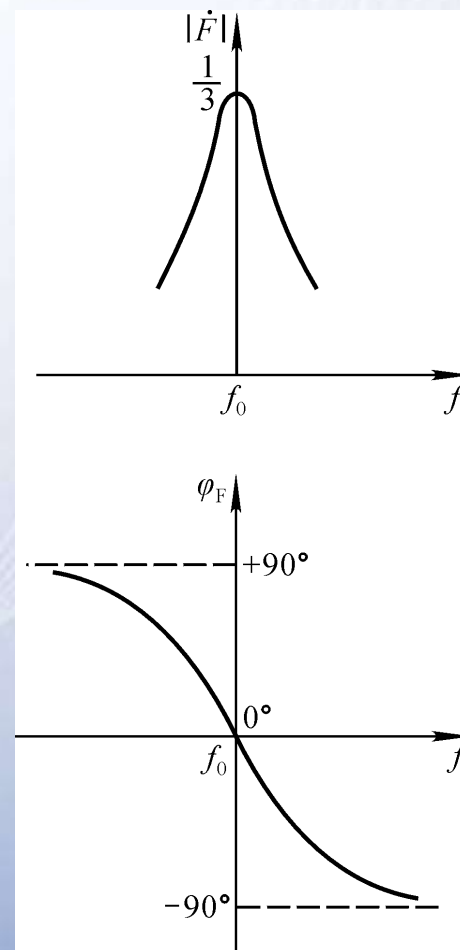


$$\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} = \frac{R // \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C} + R // \frac{1}{j\omega C}}$$

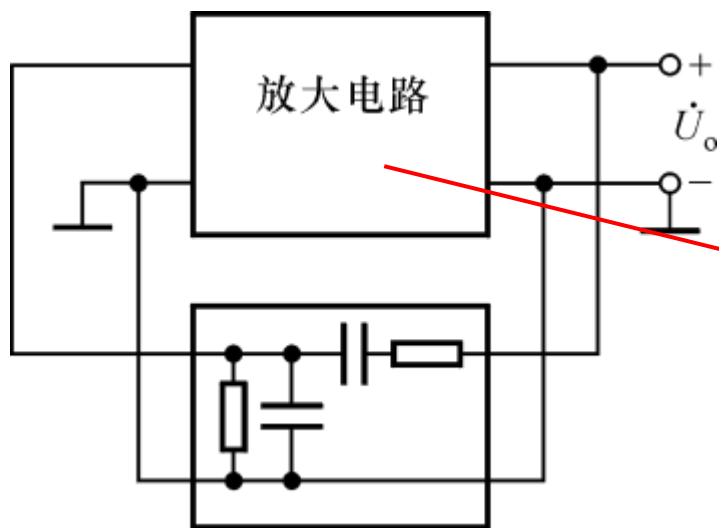
$$\dot{F} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}$$

$$\text{令 } f_0 = \frac{1}{2\pi RC}, \text{ 则 } \dot{F} = \frac{1}{3 + j(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f})}$$

当 $f=f_0$ 时, 不但 $\varphi=0$, 且 $|\dot{F}|$ 最大, 为 $1/3$ 。



2. 电路组成



不符合相位条件

不符合幅值条件

输入电阻小、输出电阻大，影响 f_0

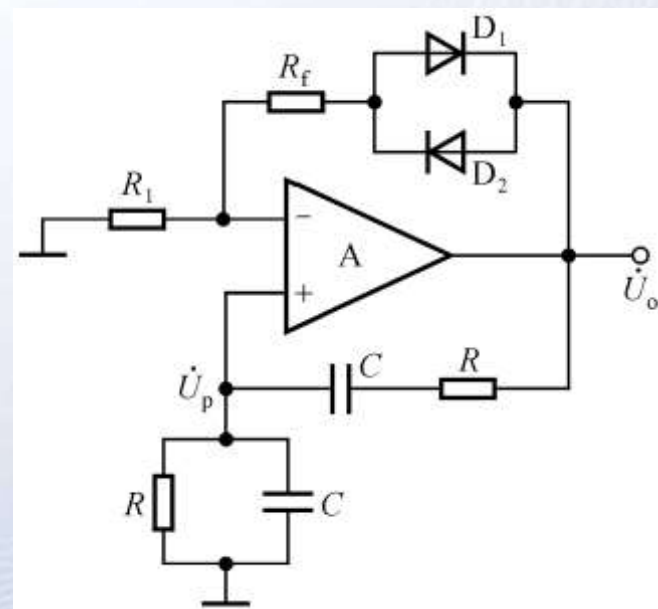
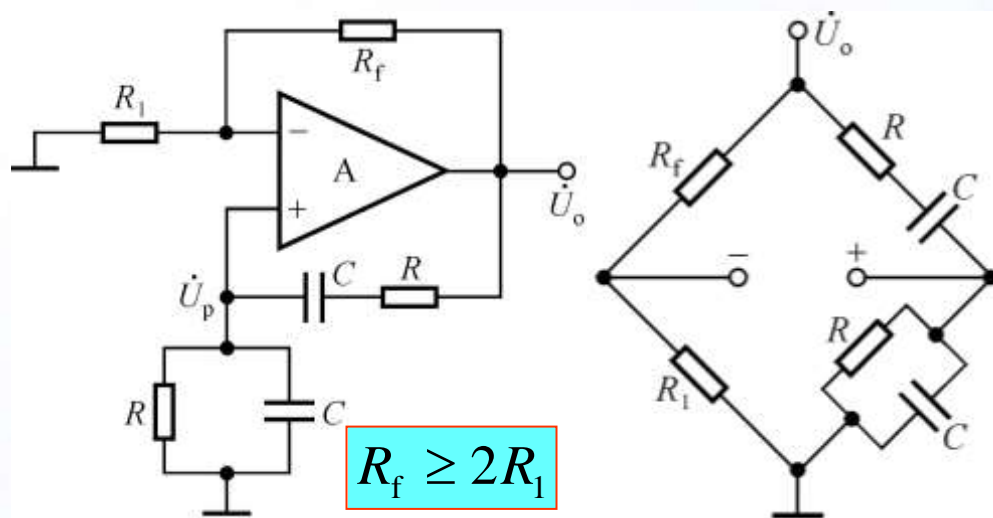
- 1) 是否可用共射放大电路？
- 2) 是否可用共集放大电路？
- 3) 是否可用共基放大电路？
- 4) 是否可用两级共射放大电路？

可引入电压串联负反馈，使电压放大倍数大于3，且 R_i 大、 R_o 小，对 f_0 影响小

应为 RC 串并联网络配一个电压放大倍数略大于3、输入电阻趋于无穷大、输出电阻趋于0的放大电路。

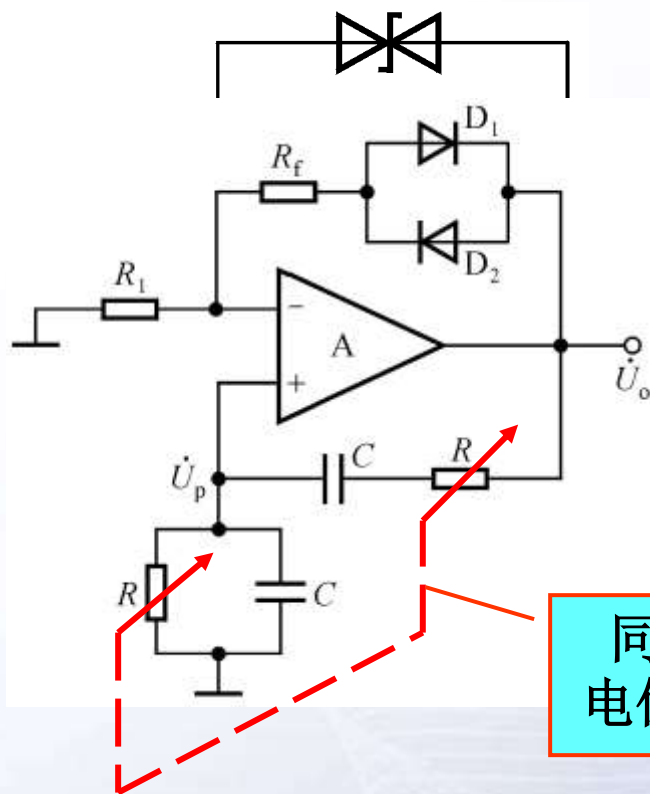
3. RC 桥式正弦波振荡电路 (文氏桥振荡器)

用同相比例运算电路作放大电路。



以RC串并联网络为选频网络和正反馈网络、并引入电压串联负反馈，两个网络构成桥路，一对顶点作为输出电压，一对顶点作为放大电路的净输入电压，就构成文氏桥振荡器。

频率可调的文氏桥振荡器



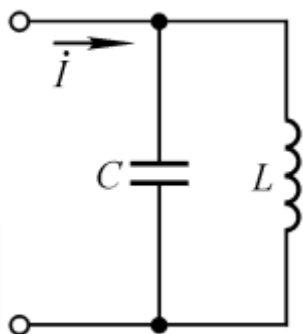
改变电容以粗调，改变电位器滑动端以微调。

加稳压管可以限制输出电压的峰-峰值。

同轴
电位器

三、LC 正弦波振荡电路

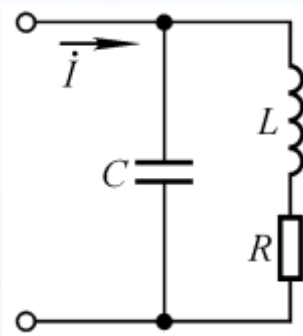
1. LC 并联网络的选频特性



理想LC并联网络在谐振时呈纯阻性，且阻抗无穷大。

谐振频率为

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



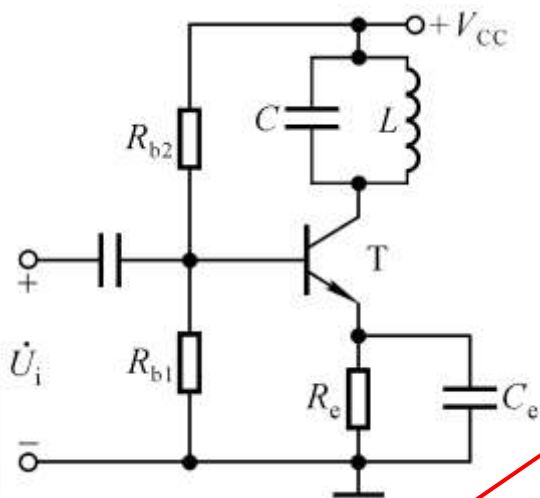
在损耗较小时，品质因数及谐振频率

$$Q \approx \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

损耗

在 $f=f_0$ 时，电容和电感中电流各约为多少？网络的电阻为多少？

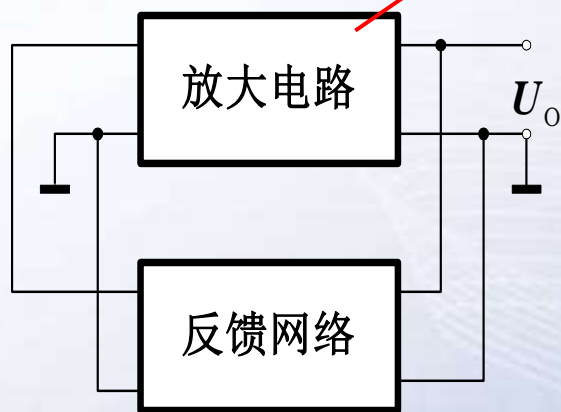
LC选频放大电路→正弦波振荡电路



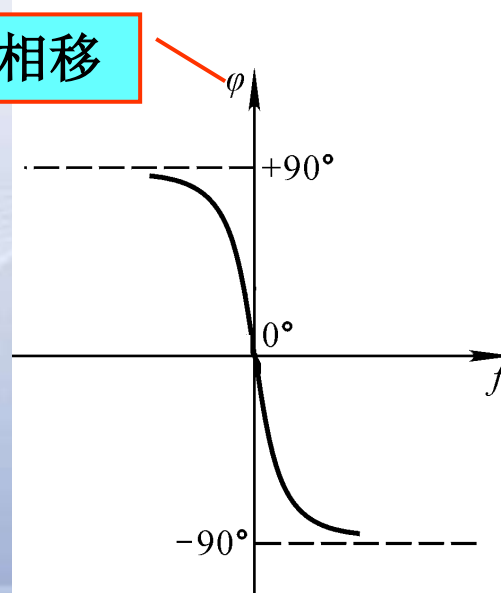
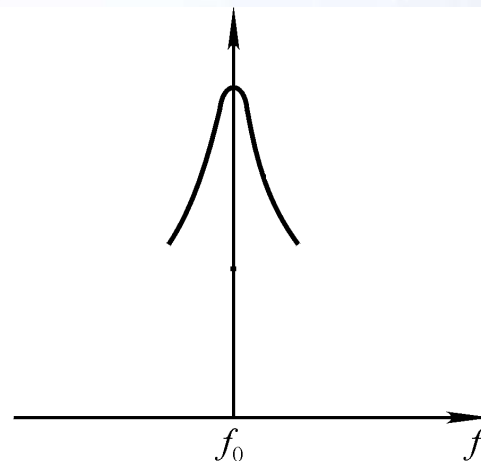
当 $f=f_0$ 时，电压放大倍数的数值最大，且附加相移为 **0**。

共射电路
 $\varphi_A = -\pi$

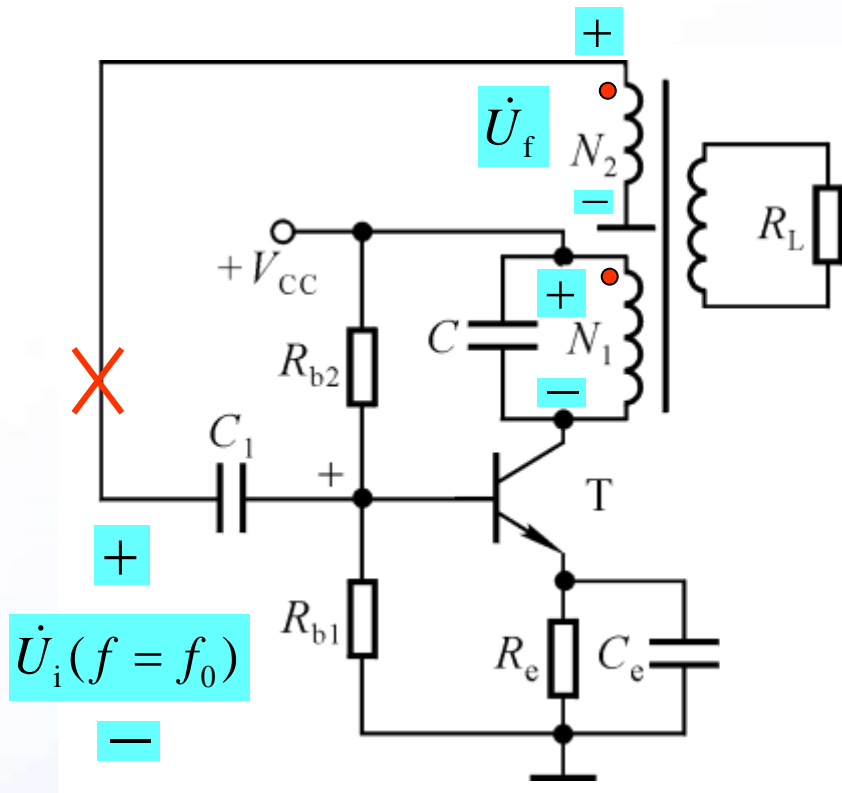
附加相移



构成正弦波振荡电路最简单的做法是通过变压器引入反馈。



2. 变压器反馈式电路



必须有合适的同铭端！

分析电路是否可能产生正弦波振荡的步骤：

- 1) 是否存在四个组成部分
- 2) 放大电路是否能正常工作
- 3) 是否满足相位条件
- 4) 是否可能满足幅值条件

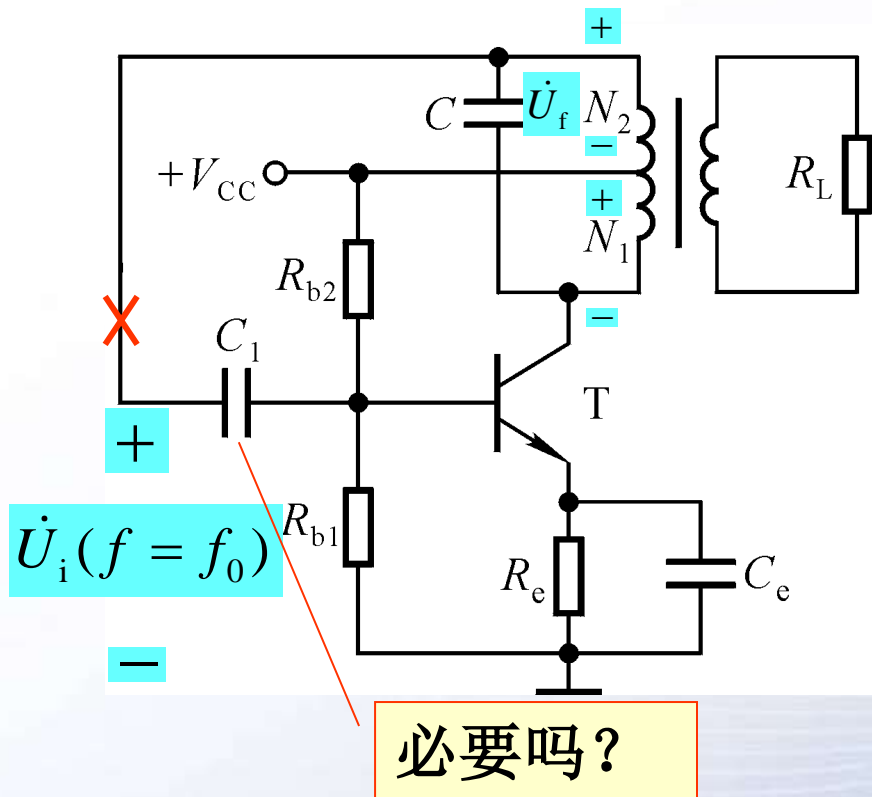
C_1 是必要的吗？

特点：

易振，波形较好；耦合不紧密，损耗大，频率稳定性不高。

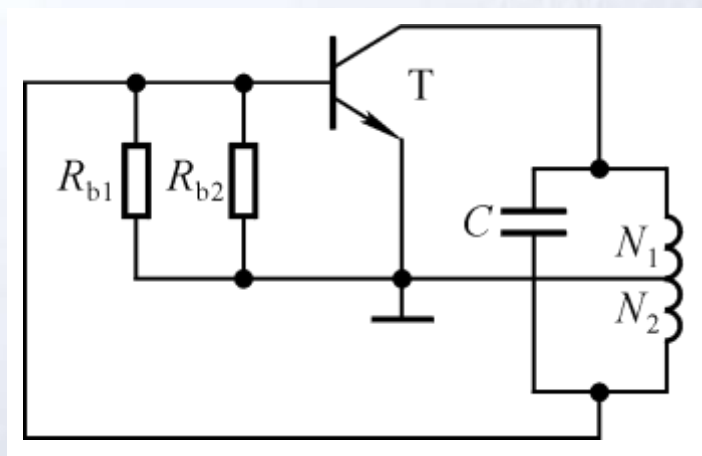
为使 N_1 、 N_2 耦合紧密，将它们合二为一，组成电感反馈式电路。如何组成？

3. 电感反馈式电路



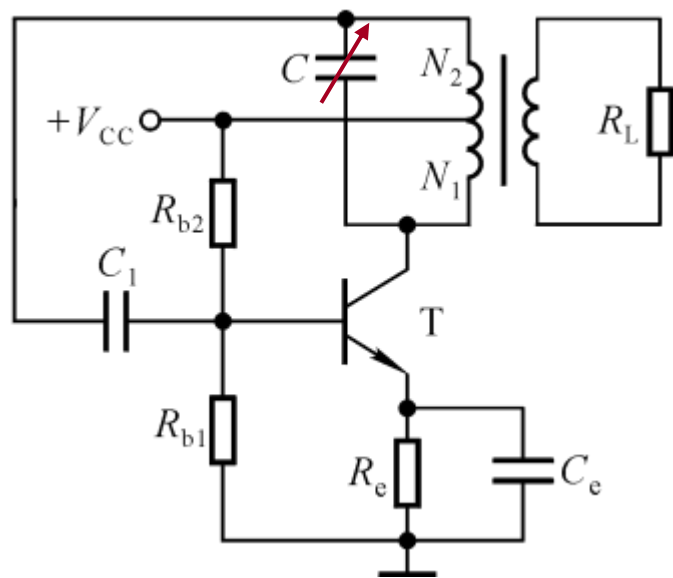
反馈电压取自哪个线圈?
反馈电压的极性?

电路特点?



电感的三个抽头分别接晶体管的三个极，故称之为电感三点式电路。

3. 电感反馈式电路

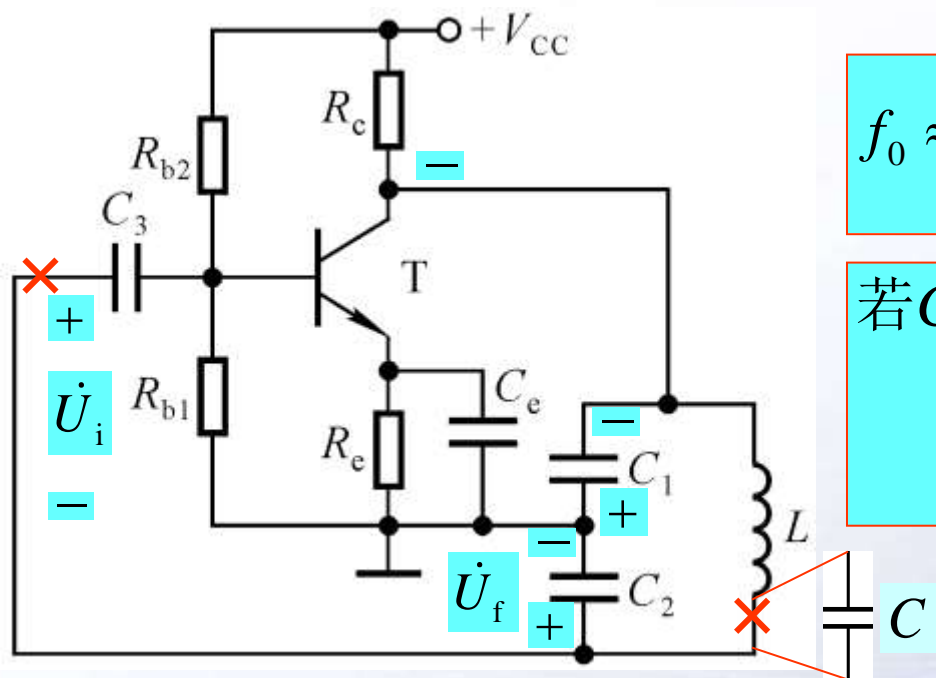


特点：耦合紧密，易振，振幅大， C 用可调电容可获得较宽范围的振荡频率。波形较差，常含有高次谐波。

因为放大电路的输入电阻就是它自身的负载，故 \dot{A} 与 \dot{F} 具有相关性；若增大 N_1 ，则 $|\dot{A}|$ 增大， $|\dot{F}|$ 减小。

由于电感对高频信号呈现较大的电抗，故波形中含高次谐波，为使振荡波形好，采用电容反馈式电路。

4. 电容反馈式（电容三点式）电路



$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_1 C_2 / (C_1 + C_2)}}$$

若 $C \ll C_1$ 且 $C \ll C_2$, 则

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

与放大电路参数无关

若要振荡频率高，则 L 、 C_1 、 C_2 的取值就要小。当电容减小到一定程度时，晶体管的极间电容将并联在 C_1 和 C_2 上，影响振荡频率。

特点：波形好，振荡频率调整范围小，适于频率固定的场合。

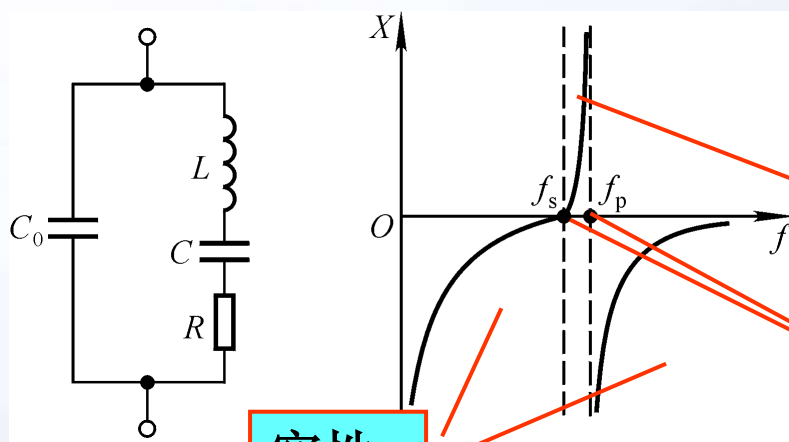
四、石英晶体正弦波振荡电路

1. 石英晶体的特点



SiO_2 结晶体按一定方向切割的晶片。

压电效应和压电振荡：机械变形和电场的关系
固有频率只决定于其几何尺寸，故非常稳定。



感性

阻性

容性

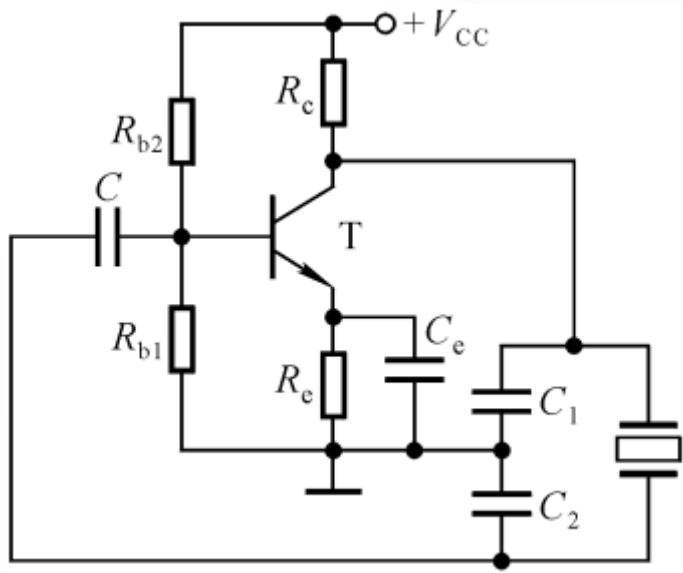
因 $C \ll C_0$ ，故

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

一般LC选频网络的 Q 为几百，石英晶体的 Q 可达 $10^4 \sim 10^6$ ；前者 $\Delta f/f$ 为 10^{-5} ，后者可达 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ 。

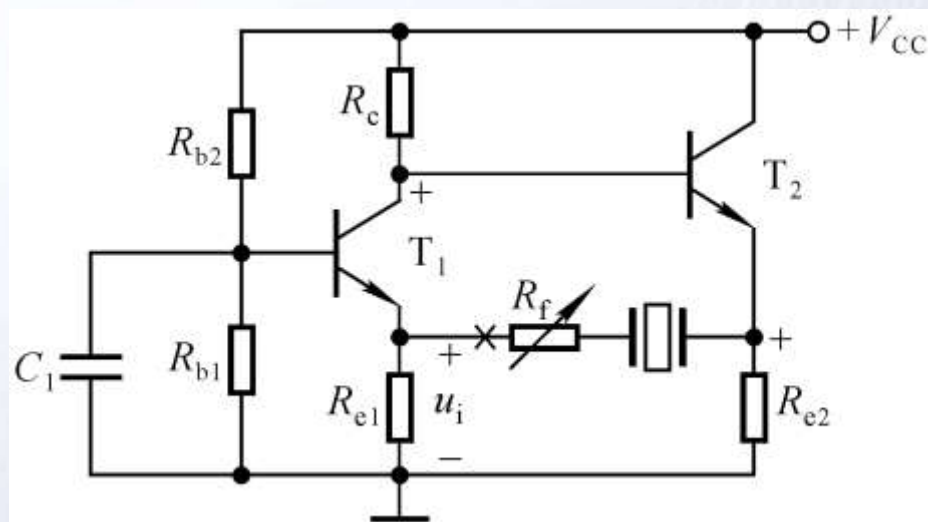
2. 电路

(1) 并联型电路



- ① 石英晶体工作在哪个区？
- ② 是哪种典型的正弦波振荡电路？

(2) 串联型电路



- ① 石英晶体工作在哪个区？
- ② 两级放大电路分别为哪种基本接法？
- ③ C_1 的作用？

§ 6.2 电压比较器

- 一、概述
- 二、单限比较器
- 三、滞回比较器
- 四、窗口比较器
- 五、集成电压比较器

一、概述

1. 电压比较器的功能：比较电压的大小。

输入电压是模拟信号；输出电压表示比较的结果，只有高电平和低电平两种情况，为二值信号。使输出产生跃变的输入电压称为阈值电压。

广泛用于各种报警电路。

2. 电压比较器的描述方法：电压传输特性 $u_O = f(u_I)$

电压传输特性的三个要素：

(1) 输出高电平 U_{OH} 和输出低电平 U_{OL}

(2) 阈值电压 U_T

(3) 输入电压过阈值电压时输出电压跃变的方向

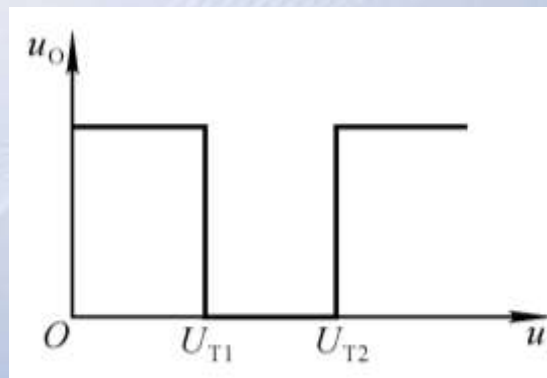
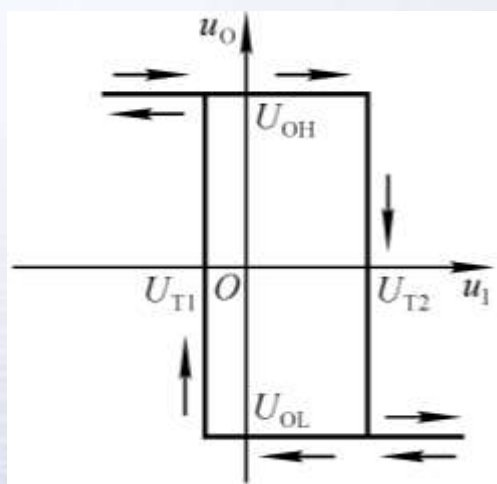
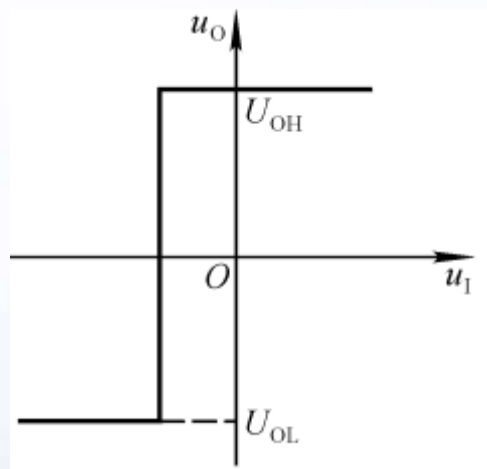
3. 几种常用的电压比较器

(1) 单限比较器：只有一个阈值电压

(2) 滞回比较器：具有滞回特性

输入电压的变化方向不同，阈值电压也不同，但输入电压单调变化使输出电压只跃变一次。

回差电压： $\Delta U = |U_{T1} - U_{T2}|$

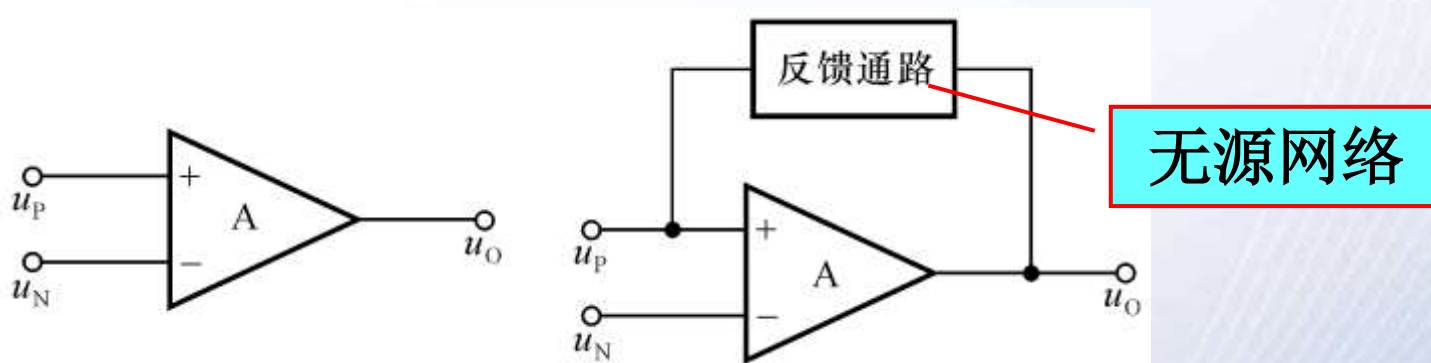


(3) 窗口比较器：

有两个阈值电压，输入电压单调变化时输出电压跃变两次。

4、集成运放的非线性工作区

电路特征：集成运放处于开环或仅引入正反馈

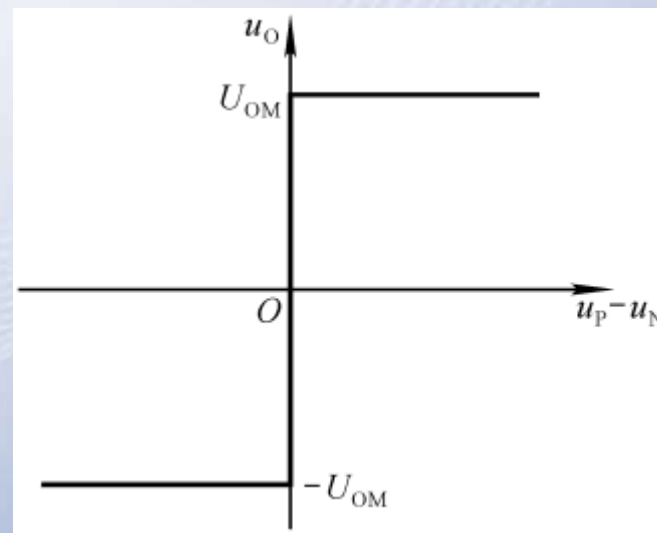


理想运放工作在非线性区的特点：

1) 净输入电流为0

2) $u_P > u_N$ 时, $u_O = +U_{OM}$

$u_P < u_N$ 时, $u_O = -U_{OM}$

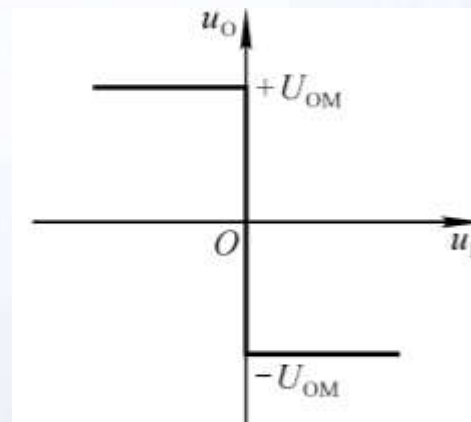
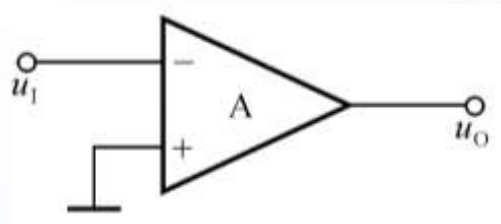


5、教学基本要求

1) 电路的识别及选用； 2) 电压传输特性的分析。

二、单限比较器

1. 过零比较器

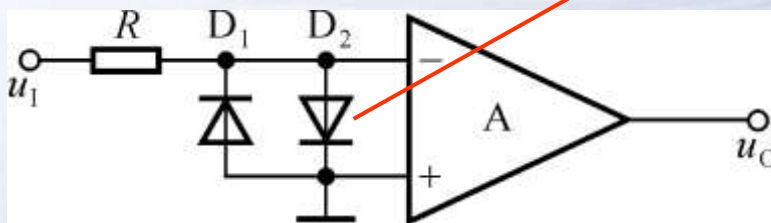


(1) $U_T = 0$

(2) $U_{OH} = +U_{OM}, U_{OL} = -U_{OM}$

(3) $u_I > 0$ 时 $u_O = -U_{OM}$; $u_I < 0$ 时 $u_O = +U_{OM}$

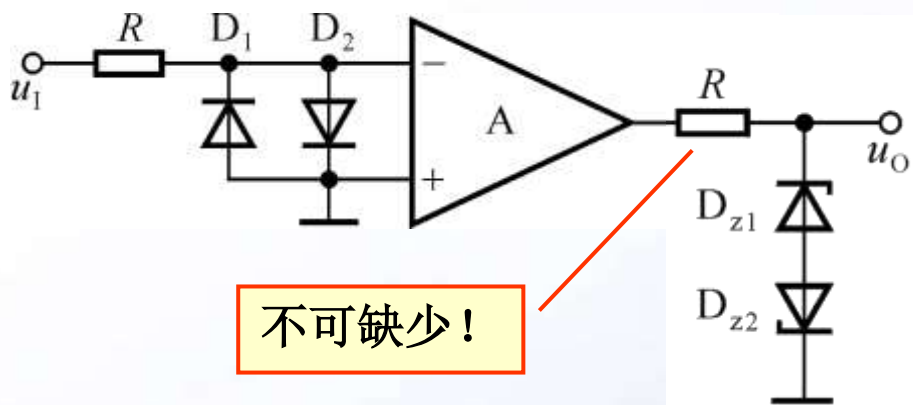
集成运放的净输入电压等于输入电压，为保护集成运放的输入级，需加输入端限幅电路。



二极管限幅电路使净输入电压最大值为 $\pm U_D$

输出限幅电路

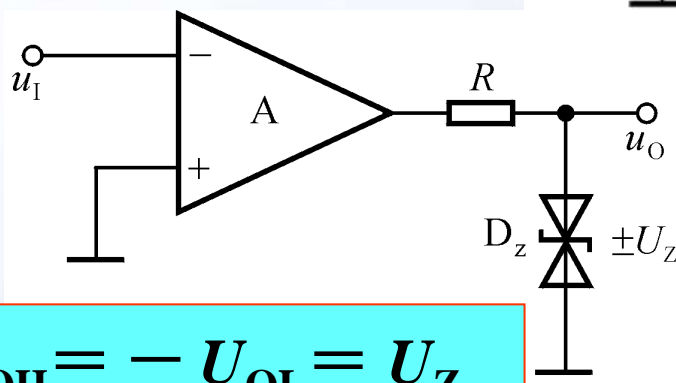
为适应负载对电压幅值的要求，输出端加限幅电路。



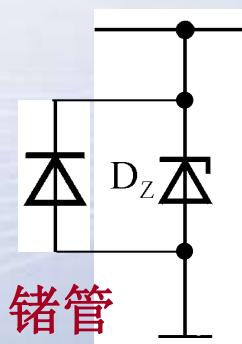
不可缺少!

$$U_{OH} = +U_{Z1} + U_{D2}$$

$$U_{OL} = -(U_{Z2} + U_{D1})$$



$$U_{OH} = -U_{OL} = U_Z$$



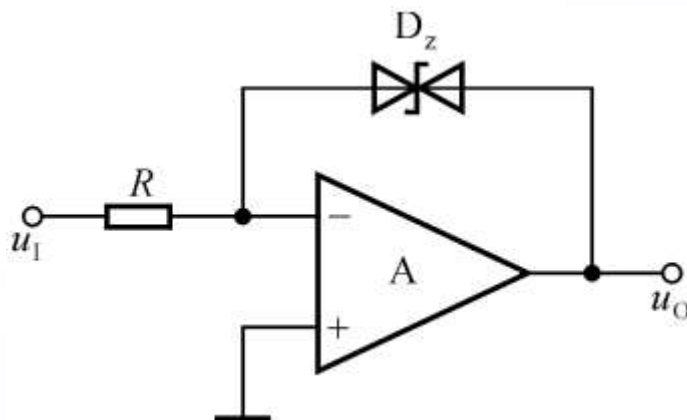
锗管

$$U_{OH} = U_Z$$

$$U_{OL} = -U_D$$

为使 U_{OL} 接近 0，
怎么办？

输出限幅电路



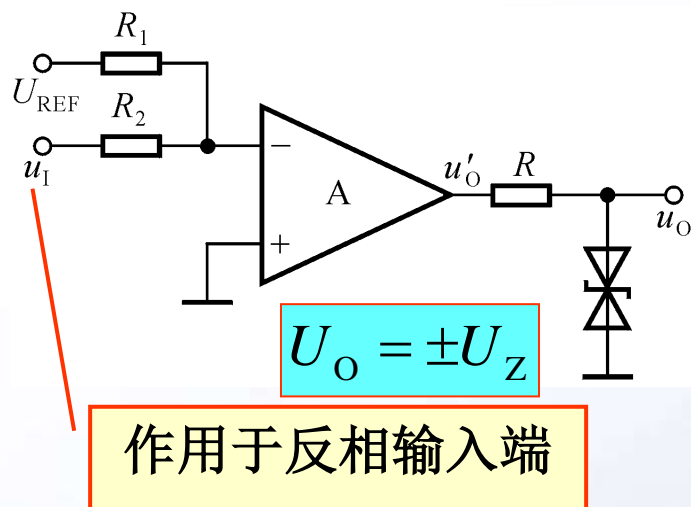
$$u_O = \pm U_Z$$

- (1) 保护输入端
- (2) 加速集成运放状态的转换

电压比较器的分析方法：

- (1) 写出 u_P 、 u_N 的表达式，令 $u_P = u_N$ ，求解出的 u_I 即为 U_T ；
- (2) 根据输出端限幅电路决定输出的高、低电平；
- (3) 根据输入电压作用于同相输入端还是反相输入端决定输出电压的跃变方向。

2. 一般单限比较器

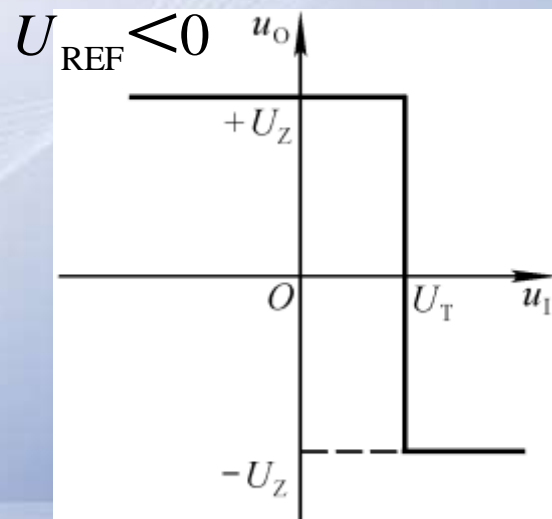


$$u_N = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{REF} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_I$$

令 $u_N = u_P = 0$, 得

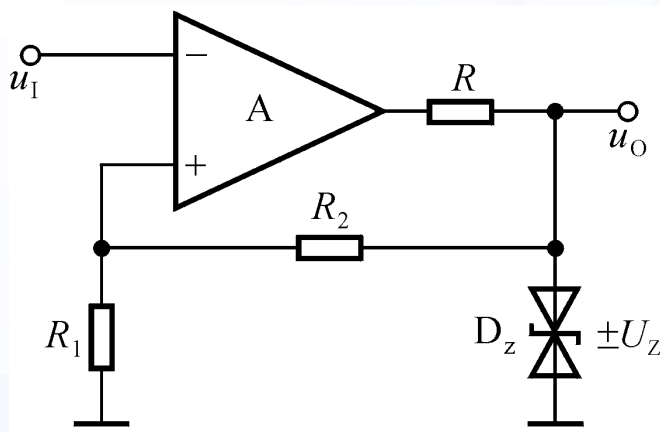
$$U_T = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{REF}$$

- (1) 若要 $U_T < 0$, 则应如何修改电路?
- (2) 若要改变曲线跃变方向, 则应如何修改电路?
- (3) 若要改变 U_{OL} 、 U_{OH} 呢?



三、滞回比较器

1. 阈值电压



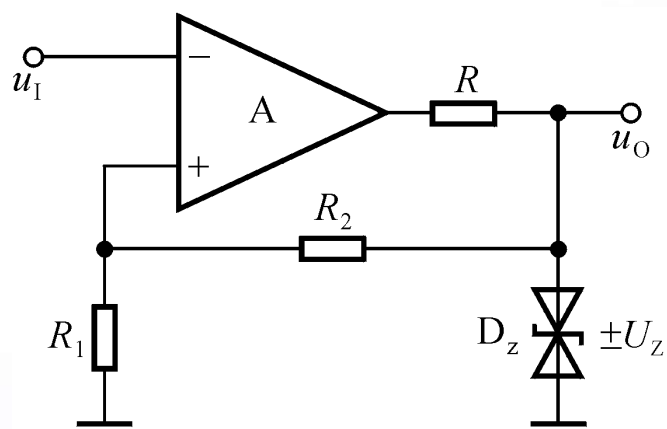
$$U_{OL} = -U_Z$$
$$U_{OH} = +U_Z$$

$$u_N = u_I$$

$$u_P = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_O, \text{ 令 } u_N = u_P, \text{ 得}$$

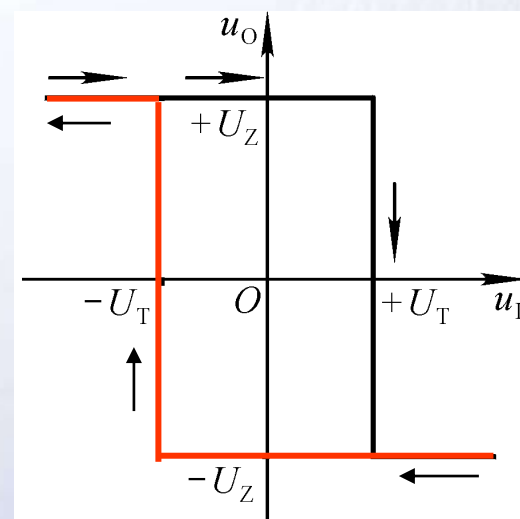
$$\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_Z$$

2. 工作原理及电压传输特性



$$\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_Z$$

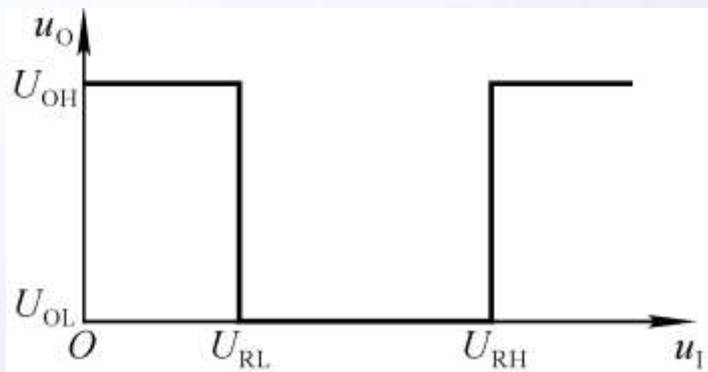
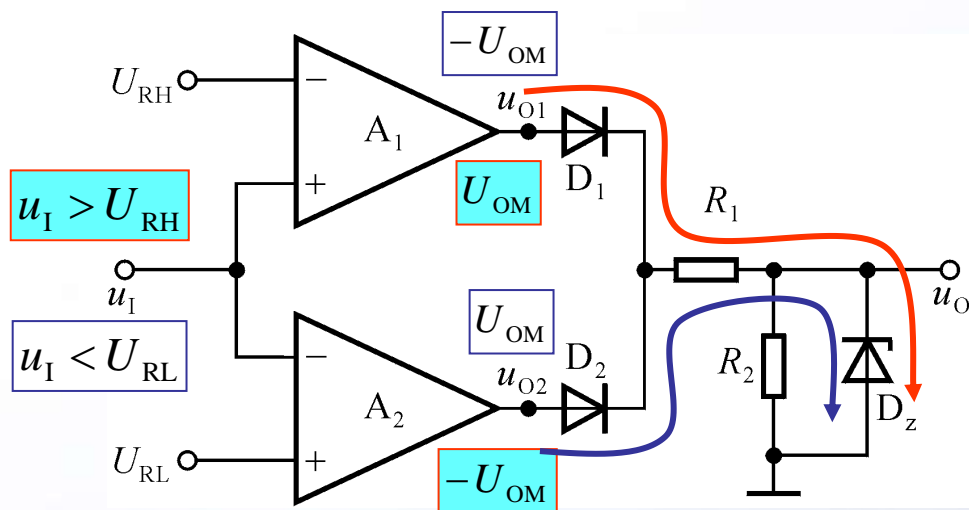
$$U_O = \pm U_Z$$



设 $u_I < -U_T$, 则 $u_N < u_P$, $u_O = +U_Z$ 。此时 $u_P = +U_T$, 增大 u_I , 直至 $+U_T$, 再增大, u_O 才从 $+U_Z$ 跃变为 $-U_Z$ 。

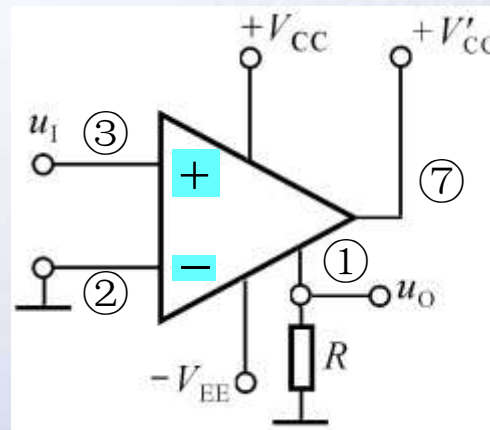
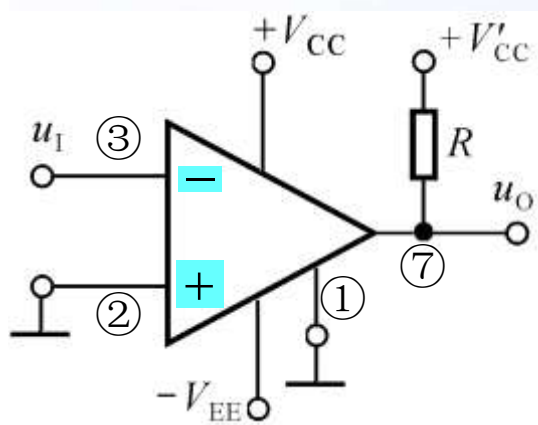
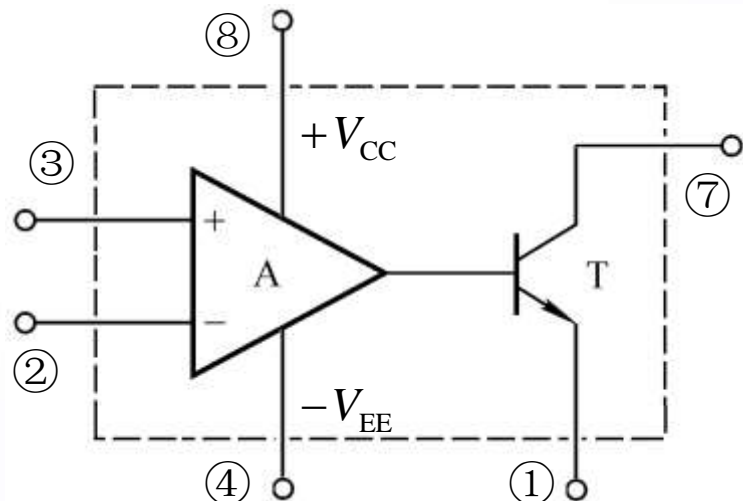
设 $u_I > +U_T$, 则 $u_N > u_P$, $u_O = -U_Z$ 。此时 $u_P = -U_T$, 减小 u_I , 直至 $-U_T$, 再减小, u_O 才从 $-U_Z$ 跃变为 $+U_Z$ 。

四、窗口比较器



五、集成比较器

某型号集成比较器的等效电路



特点:

1. 无需限幅电路，根据所需输出高、低电平确定电源电压；
2. 可直接驱动集成数字电路；
3. 应用灵活，可具有选通端；
4. 响应速度快；
5. 电源电压升高，工作电流增大，工作速度加快。