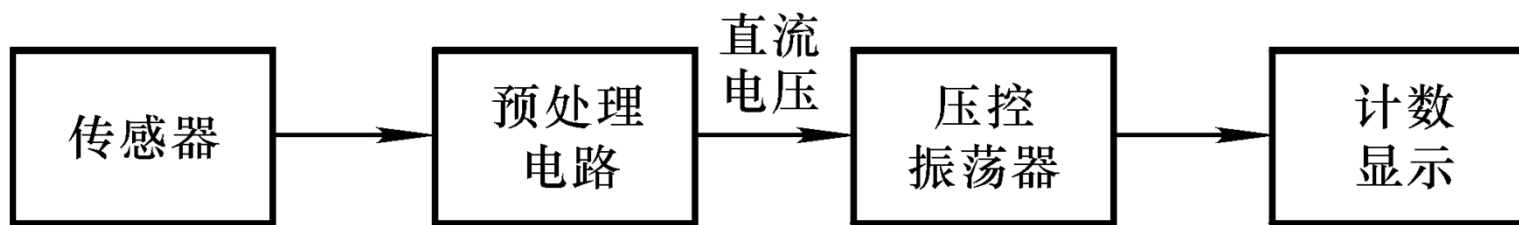
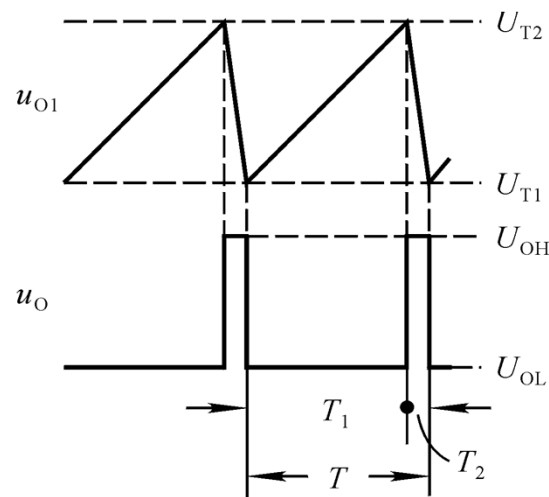
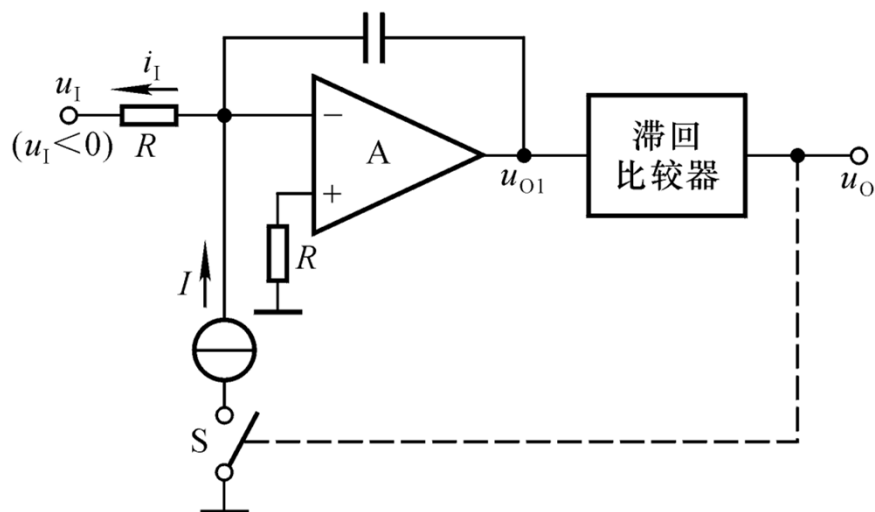


### 三、电压—频率转换电路



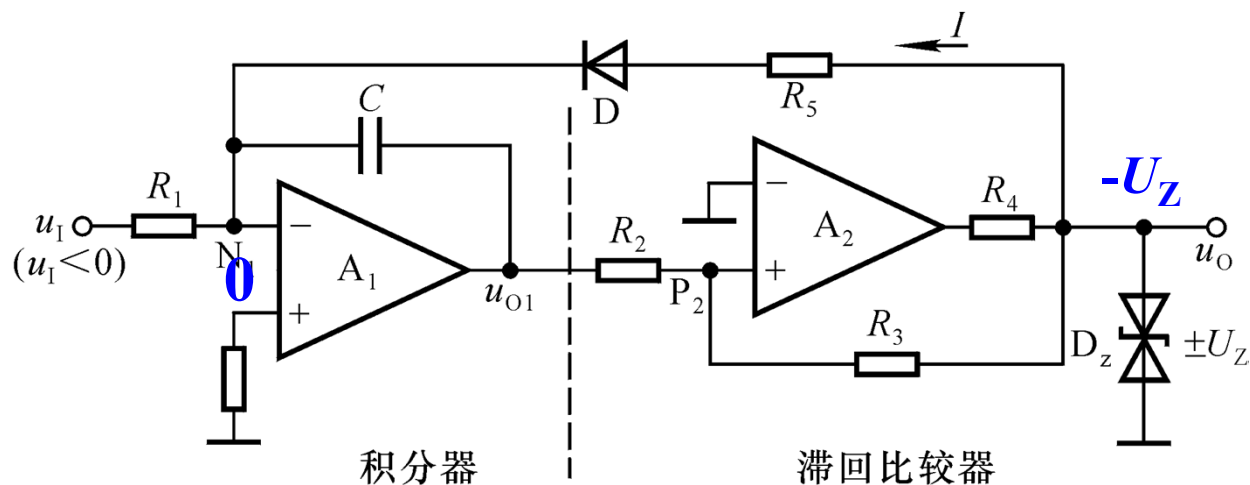
数字式测量仪表

#### 1. 电荷平衡式V-F转换电路



(b)

压控振荡器组成：积分电路、滞回比较器、电子开关



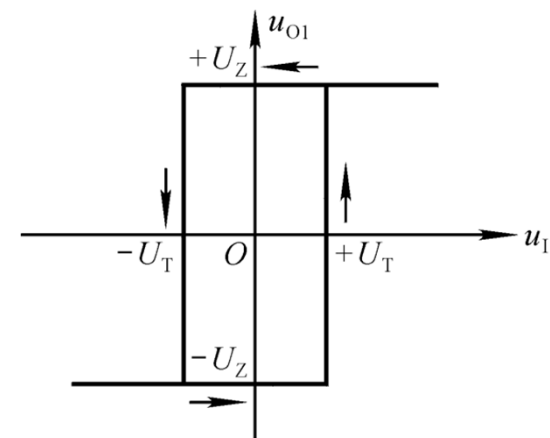
积分电路+同相  
输入滞回比较器

二极管相当于开关

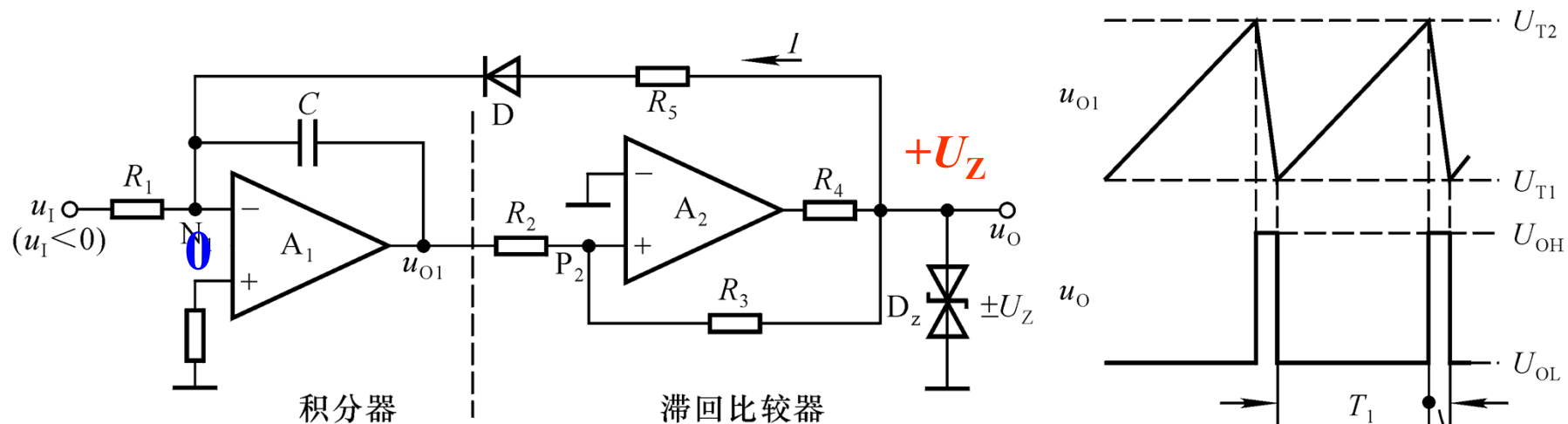
$$R_5 \ll R_1$$

- 设初始时刻  $u_O = -U_Z$ ，则阈值为  $+U_T$   
D截止， $u_I$ 通过积分电路被积分， $u_{O1} \uparrow$   
当  $u_{O1} = +U_T$  时， $u_O = +U_Z$

$$u_{O1} = -\frac{1}{R_1 C} u_I (t_1 - t_0) + u_{O1}(t_0)$$



$$\pm U_T = \pm \frac{R_2}{R_3} U_Z$$



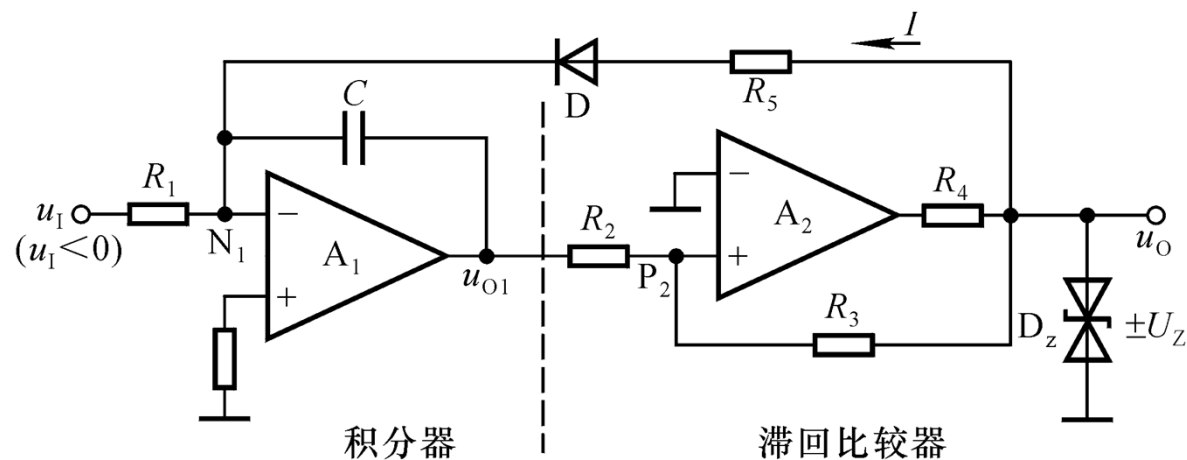
•  $u_O = +U_Z$ , 则阈值为  $-U_T$

D 导通,  $u_I$  与  $u_O$  通过积分电路被积分,  $u_{O1} \downarrow$

当  $u_{O1} = -U_T$  时,  $u_O = -U_Z$

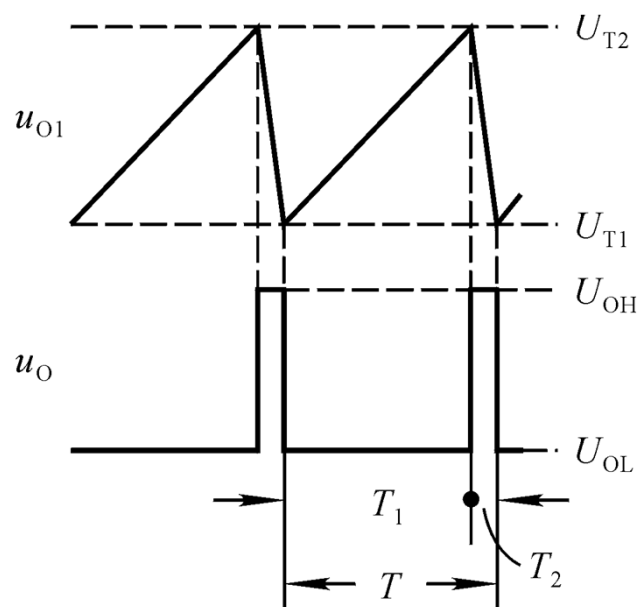
$$u_{O1} = -\frac{1}{R_1 C} u_I (t_2 - t_1) - \frac{1}{R_5 C} U_Z (t_2 - t_1) + u_{O1}(t_1) \quad R_5 \ll R_1$$

$$u_{O1} \approx -\frac{1}{R_5 C} U_Z (t_2 - t_1) + u_{O1}(t_1)$$



问题1:  $u_I > 0$ , 电路如何设计?

问题2: 如何提高精度?



$$+U_T = -\frac{1}{R_1 C} u_I T_1 - U_T$$

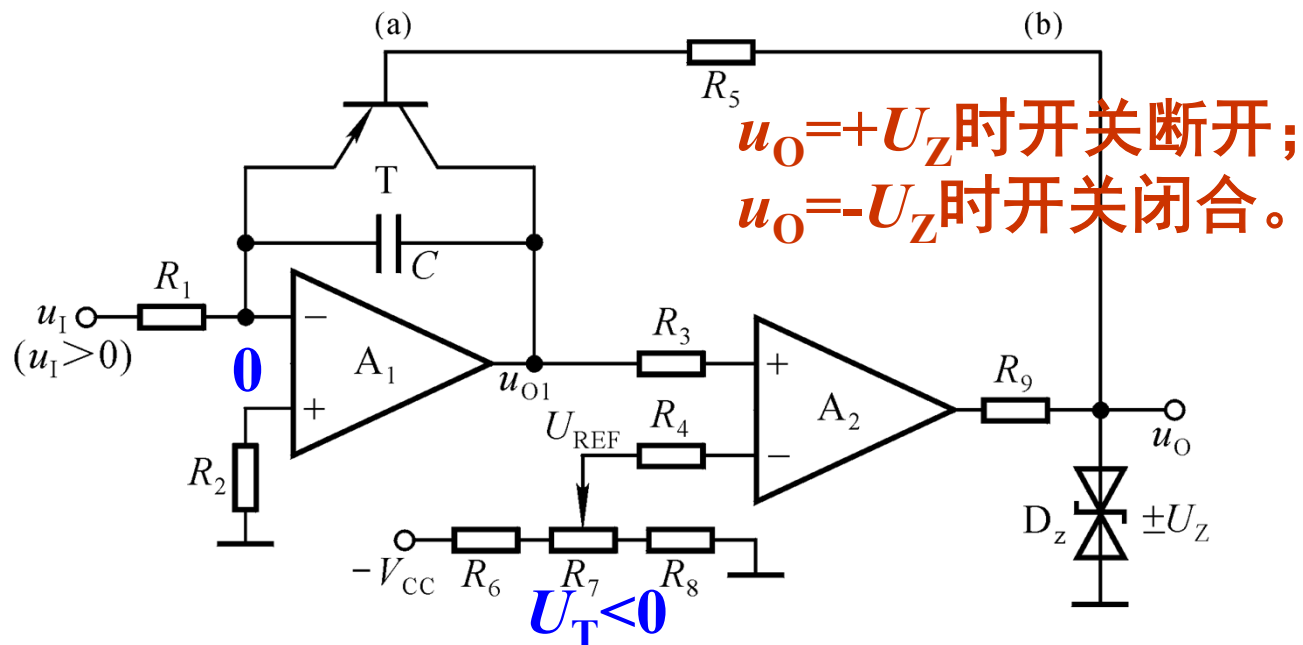
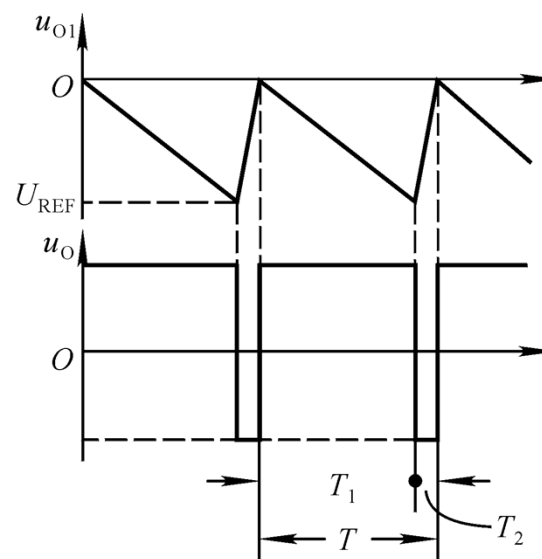
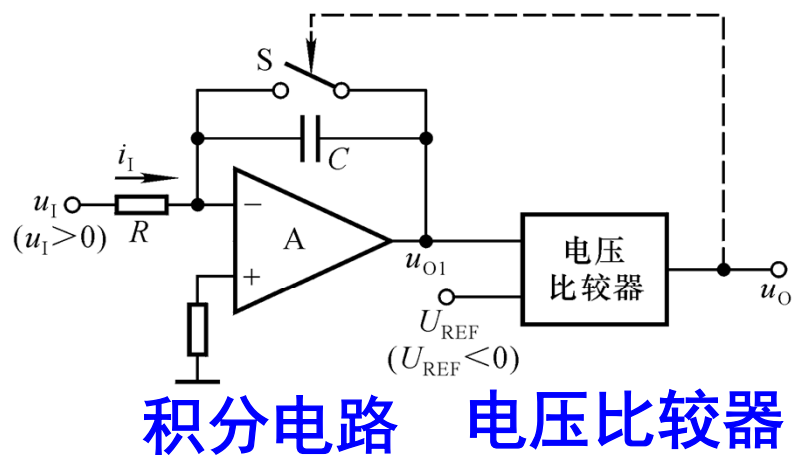
$$\pm U_T = \pm \frac{R_2}{R_3} U_Z$$

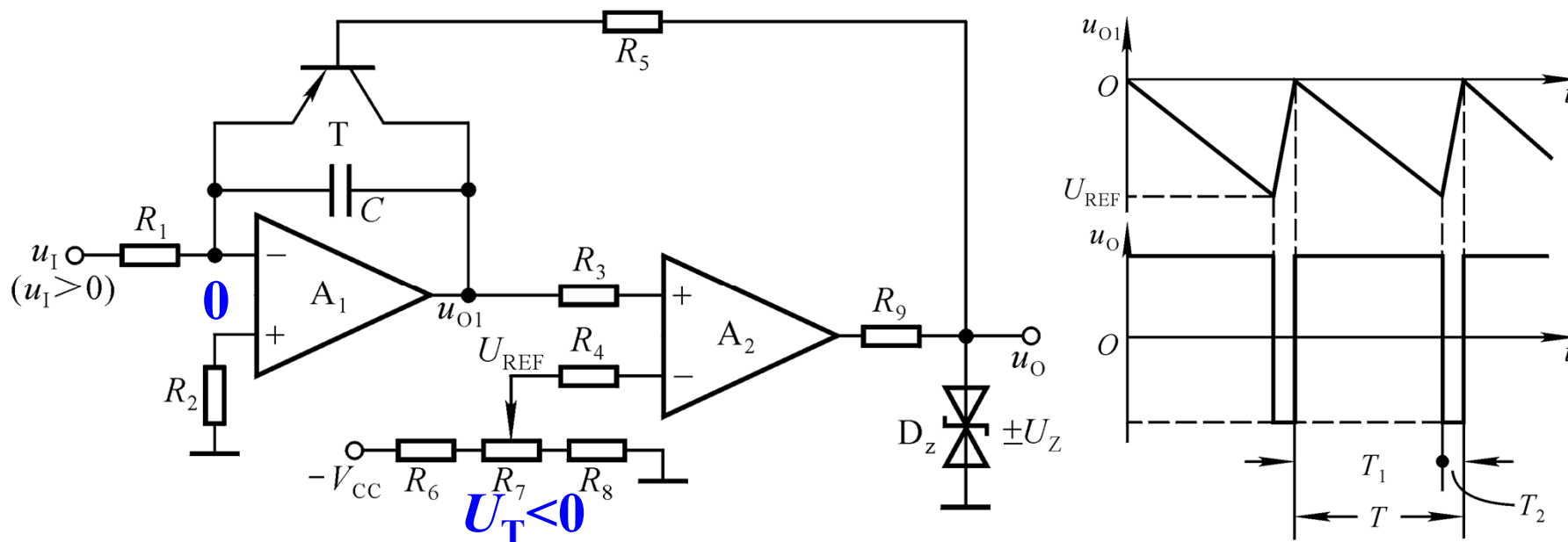
$$T \approx T_1 = \frac{2R_1 R_2 C}{R_3} \cdot \frac{U_Z}{u_I}$$

$$f \approx \frac{R_3}{2R_1 R_2 C} \cdot \frac{u_I}{U_Z}$$

## 2. 复位式V-F转换电路

电子开关

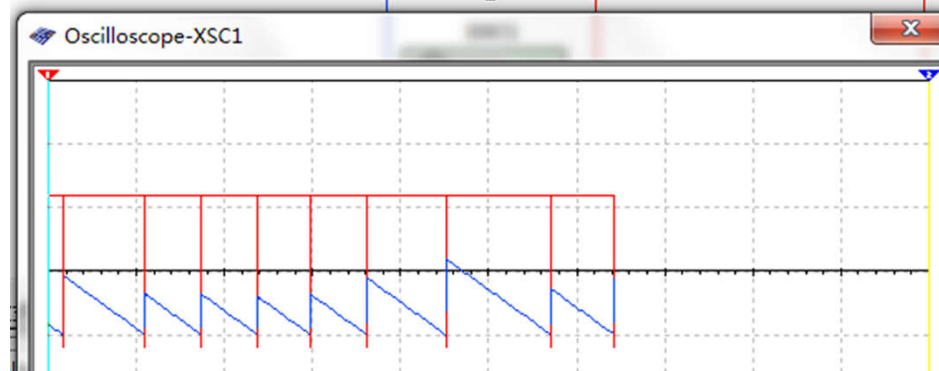
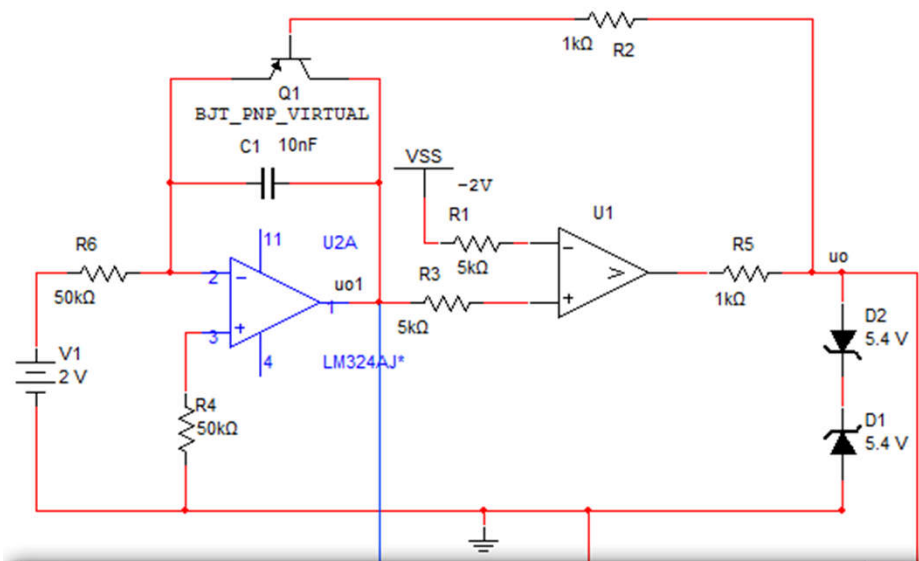




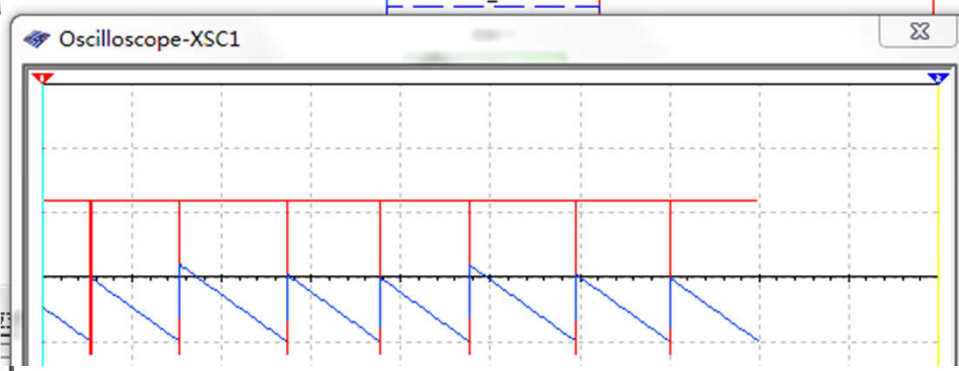
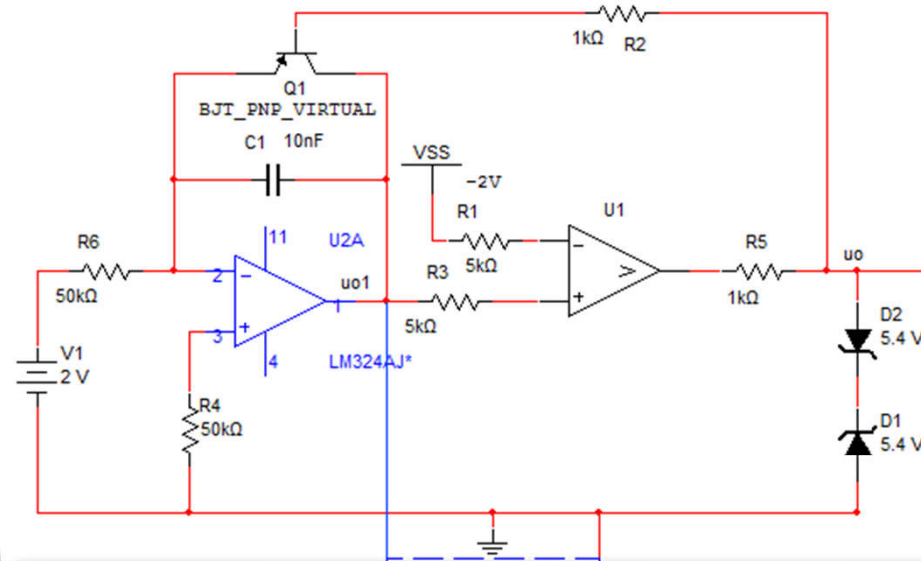
$u_O = +U_Z$  时晶体管截止,  $u_I$  被积分,  $u_{O1}$  下降, 当  $u_{O1} = U_T$  时  $u_O = -U_Z$

$u_O = -U_Z$  时晶体管饱和导通,  $C$  放电,  $u_{O1}$  快速上升为 0, 使  $u_O = +U_Z$

$$f \approx \frac{u_I}{R_1 C \cdot (-U_T)}$$



比较器 $SR=10\text{MV/s}$



比较器 $SR=1\text{MV/s}$

V-F转换电路还有其它设计方法吗？

## 非正弦波发生电路总结

	电路组成（延迟环节+滞回比较器）	幅值	周期（与阈值和 $RC$ 有关）
方波	$RC$ +反相滞回比较器	$\pm U_Z$	$T = 2R_3C \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2})$
占空比可调的矩形波	$RC$ +二级管 +反相滞回比较器	$\pm U_Z$	$T_1 \approx \tau_{\text{充}} \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2})$ $T_2 \approx \tau_{\text{放}} \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2})$ $T \approx (2R_3 + R_W)C \ln(1 + \frac{2R_1}{R_2})$

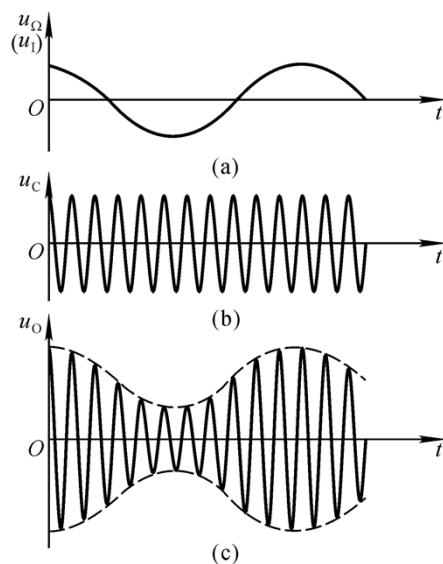


## 非正弦波发生电路总结

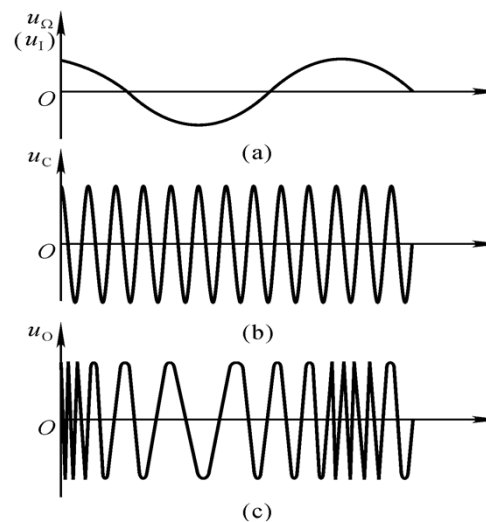
	电路组成（延迟环节+滞回比较器）	幅值	周期（与阈值和 $RC$ 有关）
三角波	积分电路 +同相滞回比较器	$\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_2} U_Z$	$T = \frac{4R_1R_3C}{R_2}$
锯齿波	积分电路 +二极管 +同相滞回比较器	$\pm U_T = \pm \frac{R_1}{R_2} U_Z$	$T_1 = 2 \frac{R_1}{R_2} \tau_{\text{充}}$ $T_2 = 2 \frac{R_1}{R_2} \tau_{\text{放}}$ $T = 2 \frac{R_1}{R_2} (2R_3 + R_W)$
压控振荡器	积分电路 +比较器 +开关	$\pm U_Z$ $\pm U_T = \pm \frac{R_2}{R_3} U_Z$	$f \approx \frac{R_3}{2R_1R_2C} \cdot \frac{u_1}{U_Z}$

# 正弦信号应用：现代通信系统

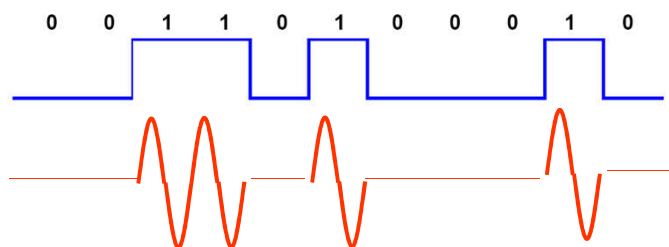
## 模拟调幅



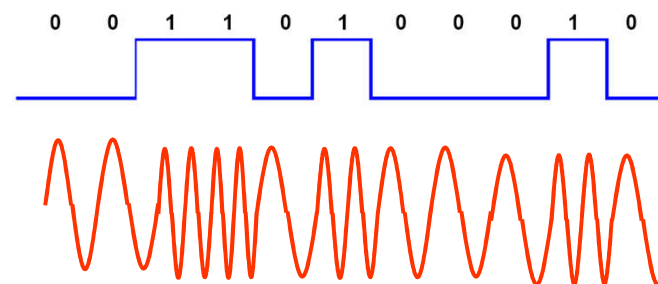
## 模拟调频



## 数字调幅

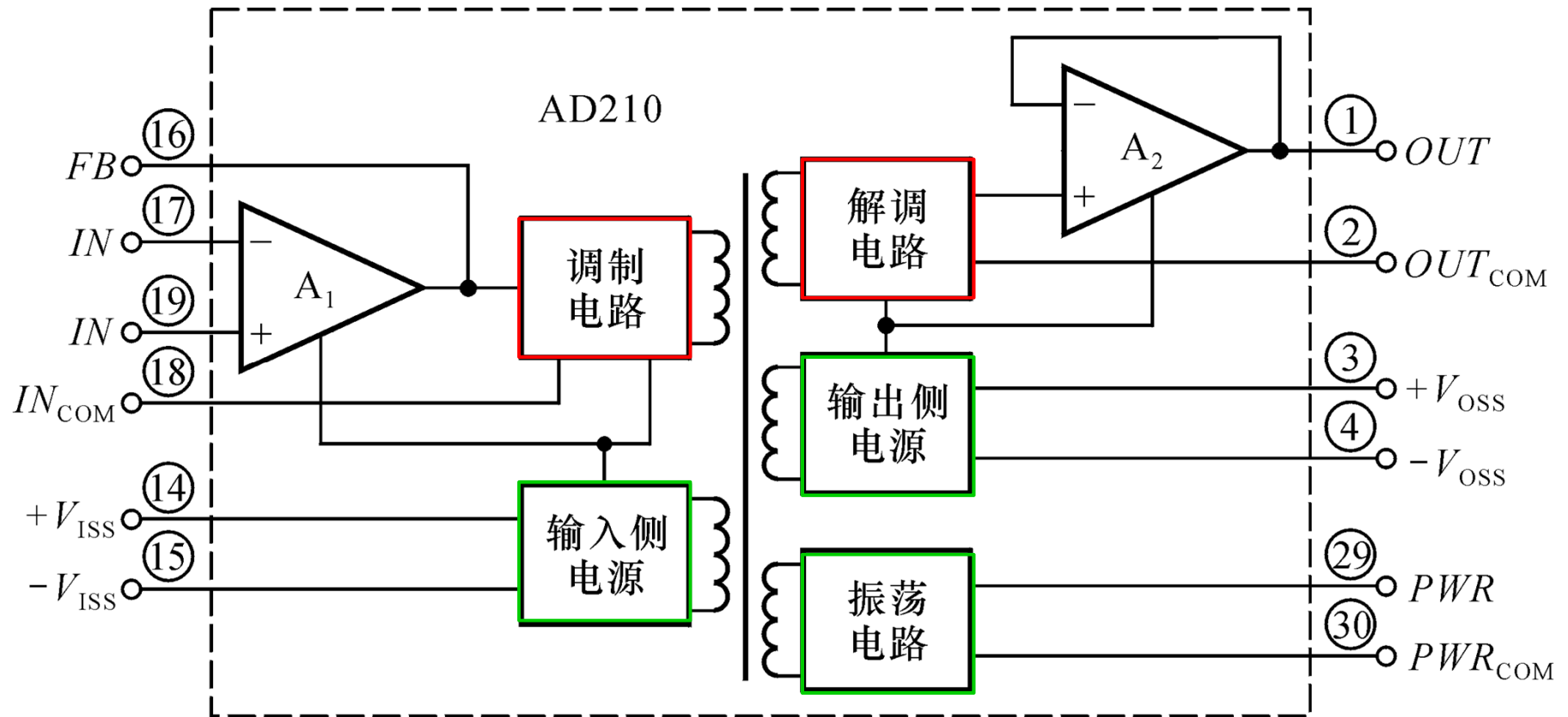


## 数字调频



# 正弦信号应用：现代测量系统

## 变压器耦合隔离放大器

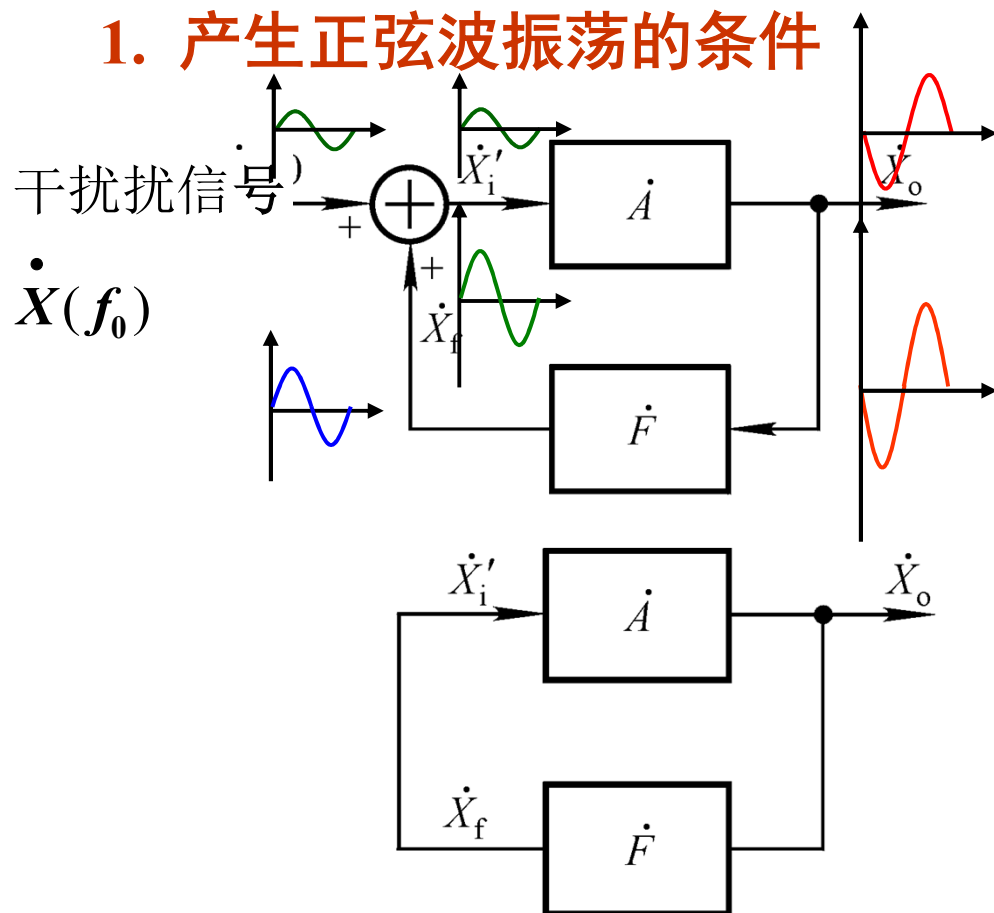




## 8.3 正弦波振荡电路(Oscillator)

### 一、概述

#### 1. 产生正弦波振荡的条件



与产生自激振荡的条件比较

引入正反馈

$$\dot{X}_i' = \dot{X}_i + \dot{X}_f$$

稳定振荡的条件

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

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

幅值条件

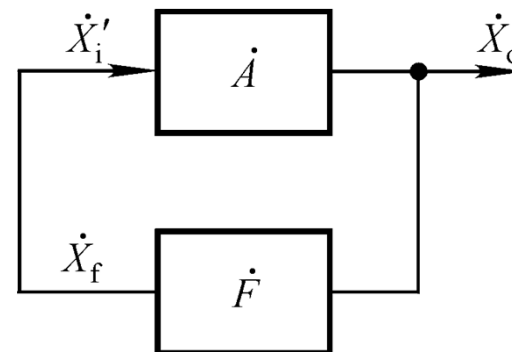
$$\varphi_A' + \varphi_F' = 2n\pi$$

相位条件

$\varphi_A'$ 、 $\varphi_F'$ 为附加相移

## 2. 正弦波振荡的起振、选频、稳幅

### • 起振



$$\text{干扰 } \dot{X}_i'(f_0) \rightarrow \dot{X}_o \rightarrow \dot{X}_f \rightarrow \dot{X}_i' \uparrow \rightarrow \dot{X}_o \uparrow$$

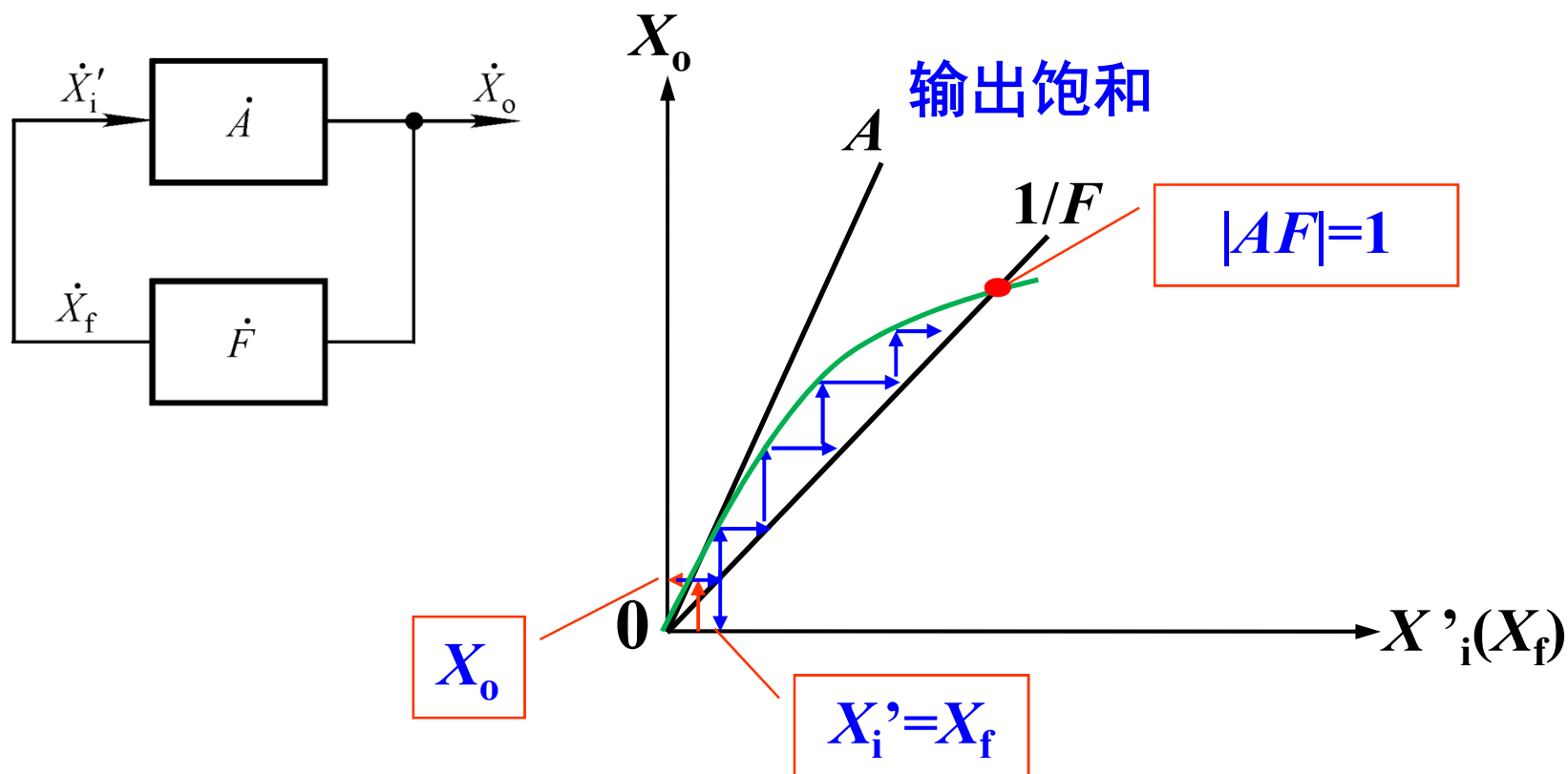
$$\text{起振的幅值条件: } |\dot{A} \dot{F}| \text{ 略} > 1$$

### • 选频: 采用选频网络以便得到单一振荡频率的正弦波

$$\text{使得只有在频率为 } f_0 \text{ 时 } |\dot{A} \dot{F}| \text{ 最大且略} > 1$$

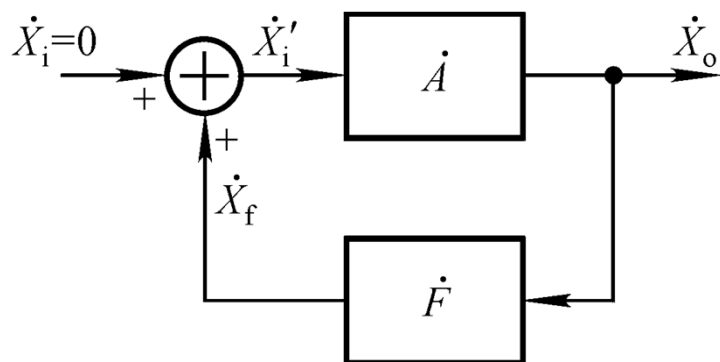
$$\phi'_A + \phi'_F = 2n\pi$$

- **稳幅：** 稳幅环节（非线性环节）保证输出不饱和



**$A$ 或 $F$ 的非线性使电路具有稳幅作用**

### 3. 正弦波振荡电路的组成、分析方法及分类



- 组成：
- 放大电路
  - 正反馈网络
  - 选频网络
  - 稳幅环节

一般合  
二为一

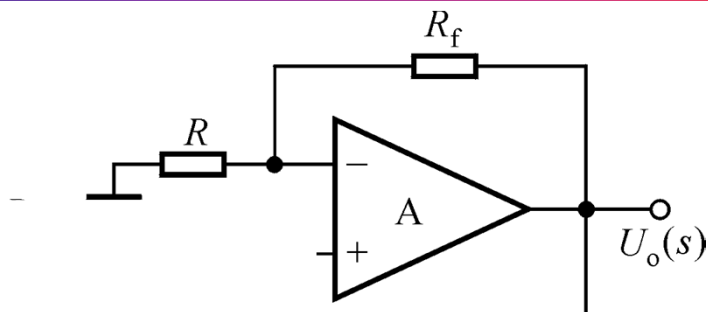
#### 分析方法：

- 是否包含四个组成部分
- 放大电路能否正常放大：  
从静态和动态两方面分析
- 是否满足相位条件：  
用瞬时极性法判断是否存在正反馈  
(规定  $u_i+$ , 判断出  $u_f+$ , 则为正反馈)
- 是否满足幅值条件：  $|AF|$  应略大于1

#### 分类（根据选频网络类型）：

- $RC$  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

## 带通滤波电路组成RC正弦波振荡电路



$$F(s) = \frac{U_+(s)}{U_o(s)} = \frac{\frac{s}{\omega_0}}{1 + 3\frac{s}{\omega_0} + (\frac{s}{\omega_0})^2}$$

$$= \frac{1}{3 + (\frac{s}{\omega_0} + \frac{\omega_0}{s})}$$

设  $C_1=C_2=C$ ,  $R_1=R_3=R$ ,  $R_2=2R$   
令  $U_i(s)=0$

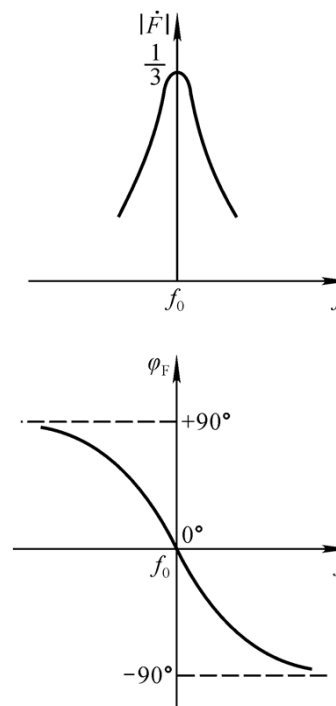
$$\dot{F} = \frac{1}{3 + j(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f})}$$

起振条件： $\dot{A}_{uf}$  略  $> 3$

当  $f = f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$  时

$|\dot{F}|$  最大,  $= \frac{1}{3}$

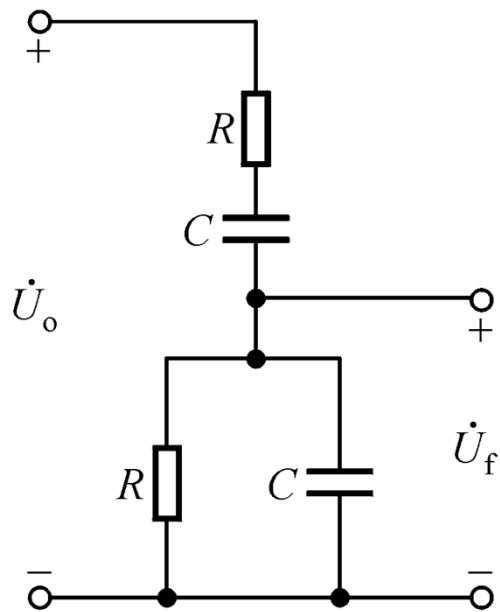
$\varphi_F = 0$





## 二、RC正弦波振荡电路

### 1. RC串并联选频网络

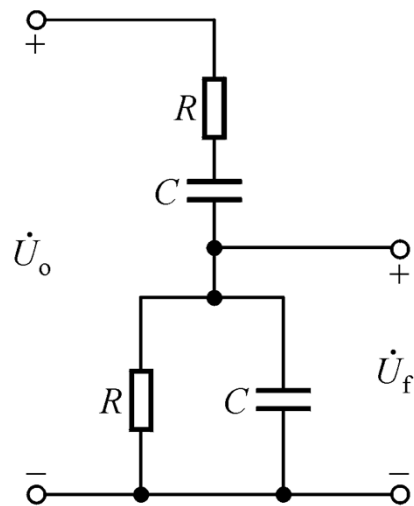


RC串并联网络实际上是一个无源带通滤波器

$$\begin{aligned}\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} &= \frac{R // \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C} + R // \frac{1}{j\omega C}} \\ &= \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})} \\ &= \frac{1}{3 + j(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f})}\end{aligned}$$

$$\omega = 2\pi f$$

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



$$\dot{F} = \frac{1}{3 + j(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f})}$$

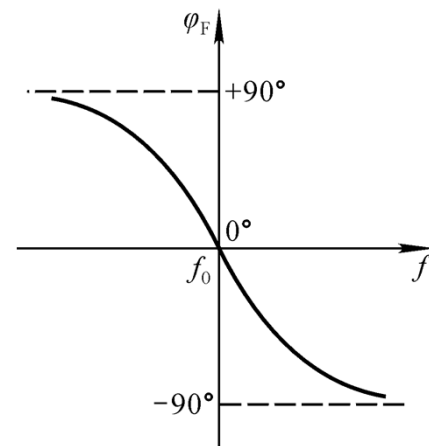
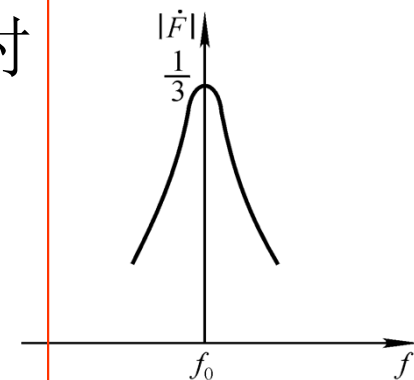
$$|\dot{F}| = \frac{1}{\sqrt{3^2 + (\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f})^2}}$$

$$\varphi_F = -\arctan \frac{1}{3}(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f})$$

当  $f = f_0$  时

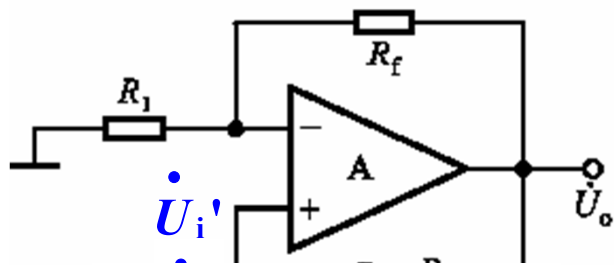
$$|\dot{F}| = \frac{1}{3}$$

$$\varphi_F = 0$$



**RC串并联网络使得当频率为 $f_0$ 时，反馈系数 $F$ 的幅值最大，相移为0，具有选频作用**

## 2. RC桥式正弦波振荡电路 又称为文氏桥振荡电路



- 起振幅值条件:  $|AF|$  略大于1

当  $f = f_0$  时 要求:

$$|\dot{F}| = \frac{1}{3} \quad |\dot{A}| \text{ 略} > 3$$

$$\varphi_F = 0 \quad \varphi_A = 0$$

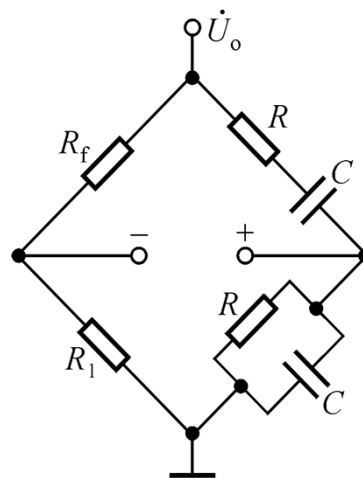
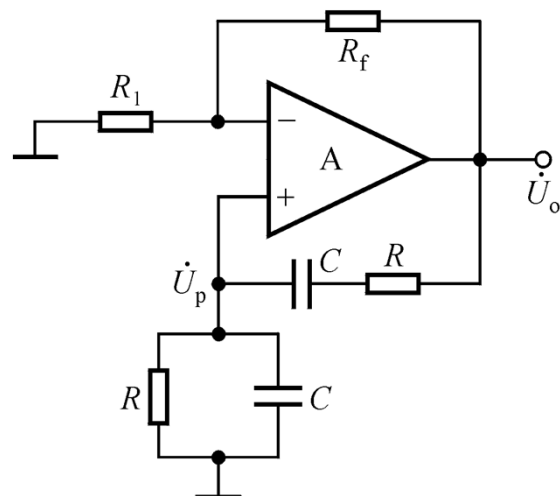
**问题:**

- $R_f = 3R_1$  能否振荡? 振幅?
- $R_f = R_1$  能否振荡? 振幅?
- 同相比运算电路能用其它电路代替吗? (CE、CC、CB等)

起振条件:  $R_f$  略大于  $2R_1$

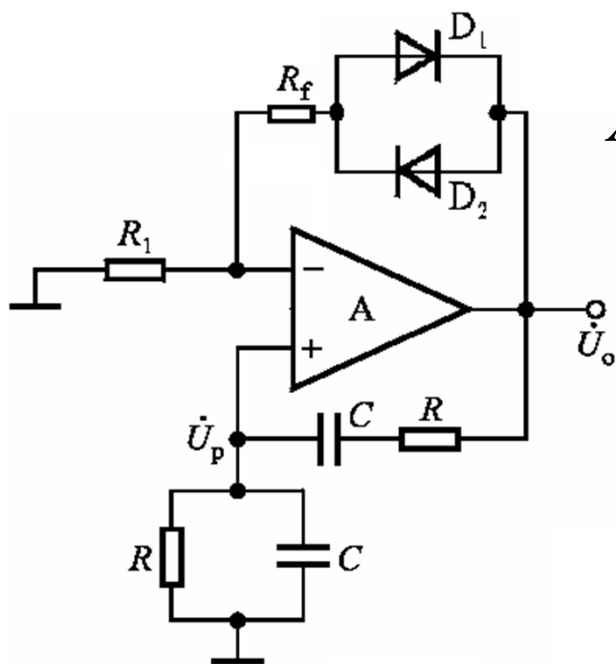
- 振荡频率:  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

## 文氏桥振荡电路



## 文氏桥

- 稳幅环节 利用二极管动态电阻或热敏电阻的非线性



$$A_u = 1 + \frac{R_f + r_d}{R_1}$$

$$|u_o| \uparrow \rightarrow r_d \downarrow \rightarrow |A_u| \downarrow$$

问题：

- 幅值条件是否为  $R_f$  略  $> 2R_1$ ?
- 已知  $R_1$ 、 $R_f$ ，如何计算振幅？

**RC正弦波振荡电路的优缺点：**

- 带负载能力强，失真小；
- 振荡频率稳定，但  $< 1\text{MHz}$ 。