



# 第十一章 电子电路中的反馈

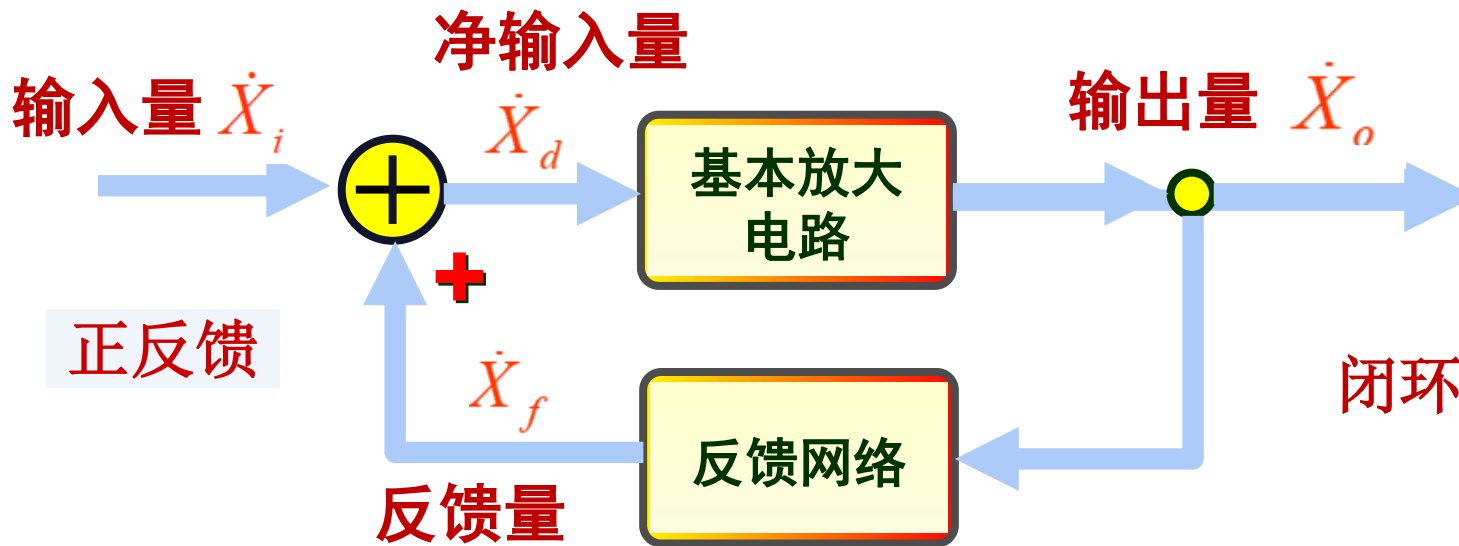
## 11.1 反馈概述

## 11.2 放大电路中的负反馈

## 11.3 正反馈应用举例---RC正弦波振荡电路



## 自激振荡现象



如果  $\dot{X}_f = \dot{X}_i$

此时去掉  $\dot{X}_i$ , 仍有信号输出

在输入端不外接信号, 输出端仍然有一定频率和幅度的信号输出

---- 自激振荡

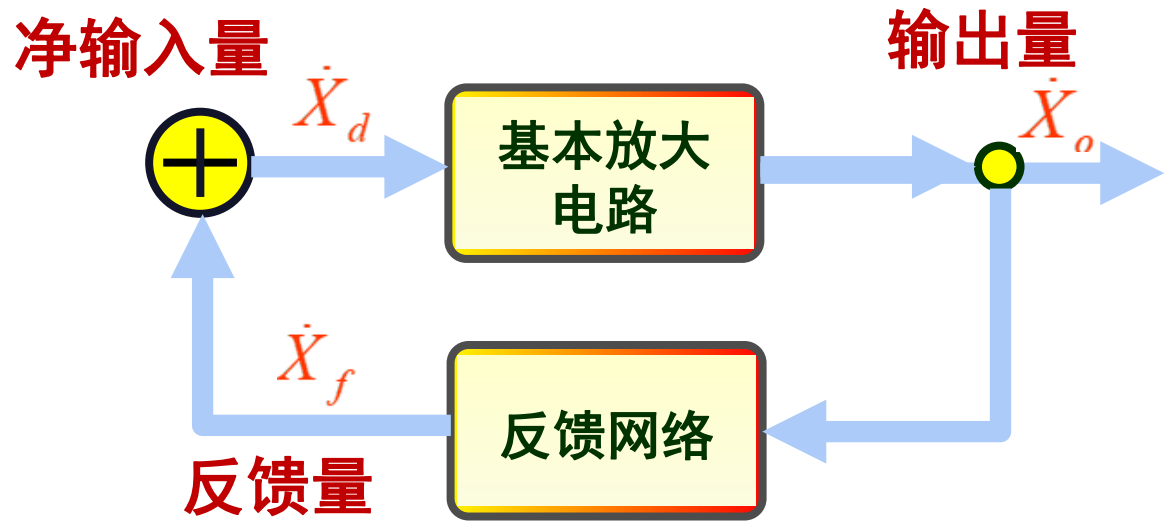


## 自激振荡条件

$$\dot{X}_f = F\dot{X}_o = A_o F\dot{X}_d$$

$$\dot{X}_f = \dot{X}_d$$

$$\Rightarrow \boxed{A_o F = 1}$$



- 自激振荡的条件
- (1) 相位条件:  $\varphi_A + \varphi_F = 2n\pi$
  - (2) 振幅条件:  $|A_o F| = 1$

相位条件意味着振荡电路必须是正反馈

振幅条件意味着要有足够强的反馈量



## 正弦波振荡电路

**作用：**产生一定频率和幅度的交流信号

**实质：**把直流电源的能量转换成输出交流信号的能量

**应用：**

无线电通讯、广播电视

工业上的高频感应炉

超声波发生器

正弦波信号发生器

半导体接近开关等



思考：电路中如何能产生所需要的正弦波振荡

设  $f_o$  是正弦波振荡器要求输出的频率

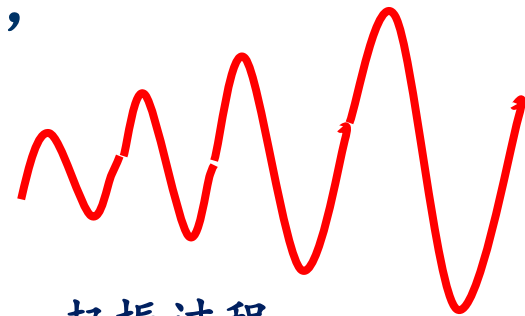
$B$  是要求输出的电压幅度

问题1：如何起振？

放大电路中存在噪声即瞬态扰动，这些扰动可分解为各种频率的分量，其中包括有频率为  $f_o$  分量

对频率为  $f_o$  的分量，只要满足  $|AF| > 1$ ,

且  $\varphi_A + \varphi_F = 2n\pi$  条件即可起振！



起振过程



## 问题2：如何稳幅？

起振后，输出将逐渐增大，若不采取稳幅，这时若 $|AF|$ 仍大于1，则输出将会饱和失真

达到需要的幅值后，将参数调整为 $AF=1$ ，即可稳幅

起振并能稳定振荡的条件：

$$U_o < B \text{ 时, } |AF| > 1$$

$$U_o = B \text{ 时, } |AF| = 1$$

$$U_o > B \text{ 时, } |AF| < 1$$



## 正弦波振荡电路的组成

放大电路: 放大信号

反馈网络: 必须是正反馈, 反馈信号即是放大电路的输入信号

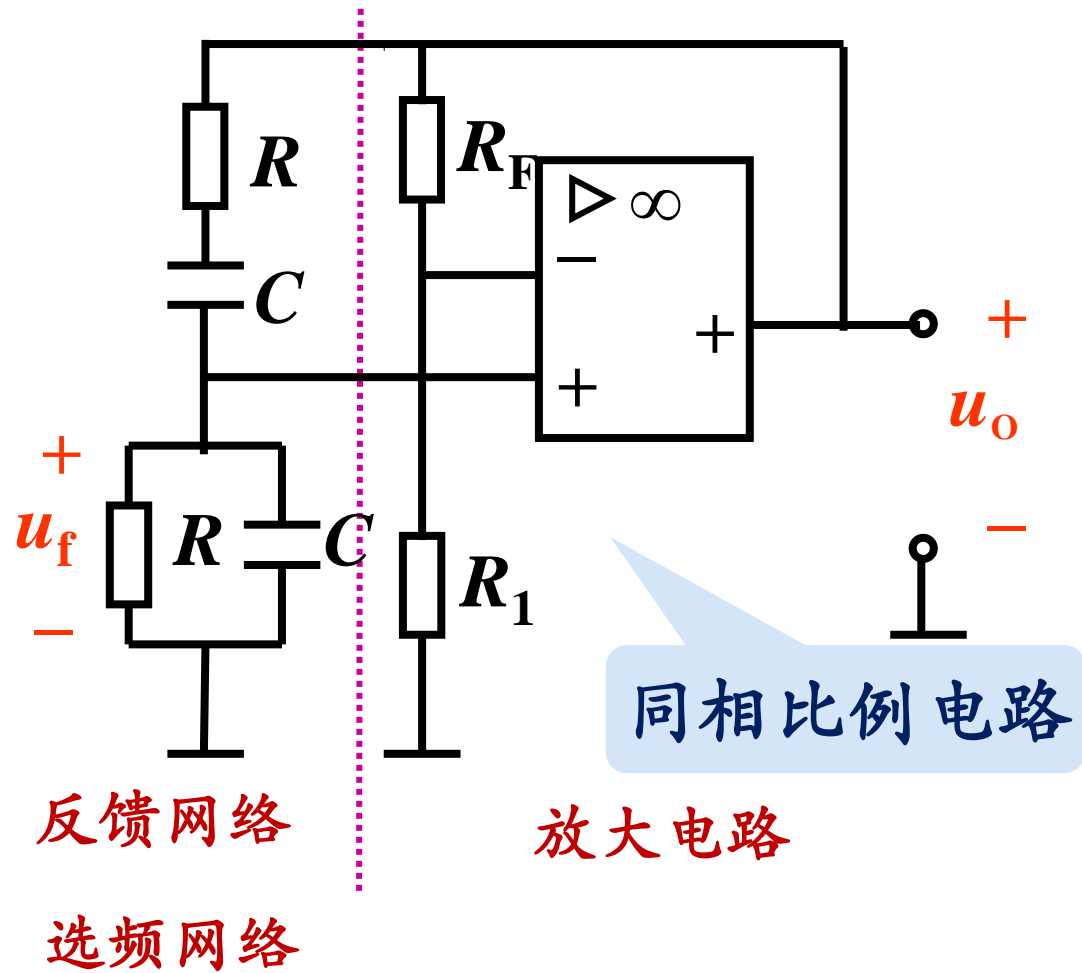
稳幅环节: 使电路能从  $|AF| > 1$ , 过渡到  $|AF| = 1$ , 从而达到稳幅振荡

选频网络: 保证输出为单一频率的正弦波使电路只在某一特定频率下满足自激振荡条件



# RC振荡电路

## 1. 原理电路



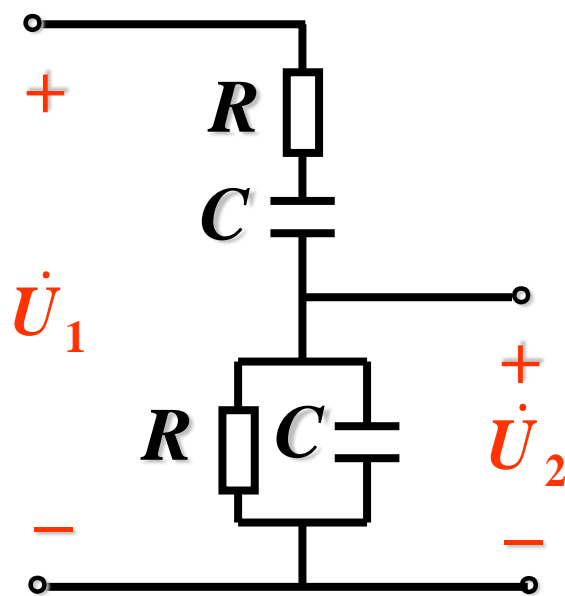


## 2. RC串并联网络（选频特性）

传输系数：

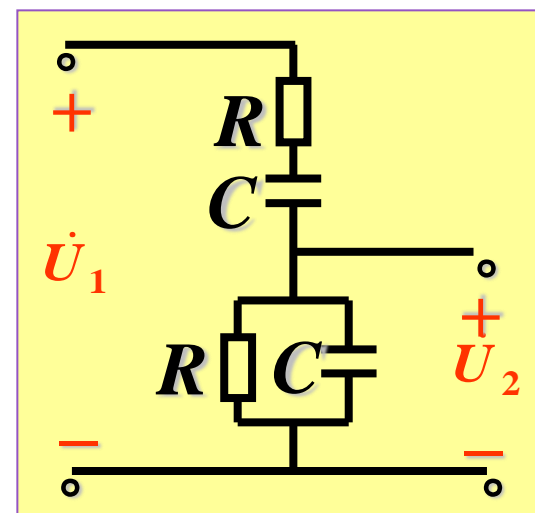
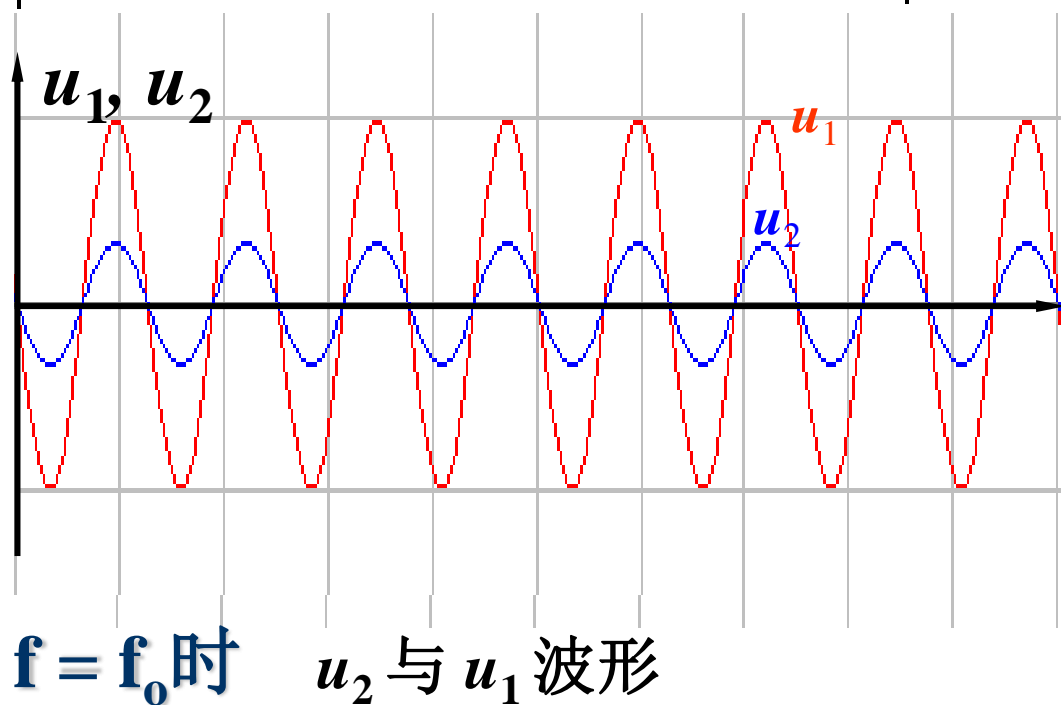
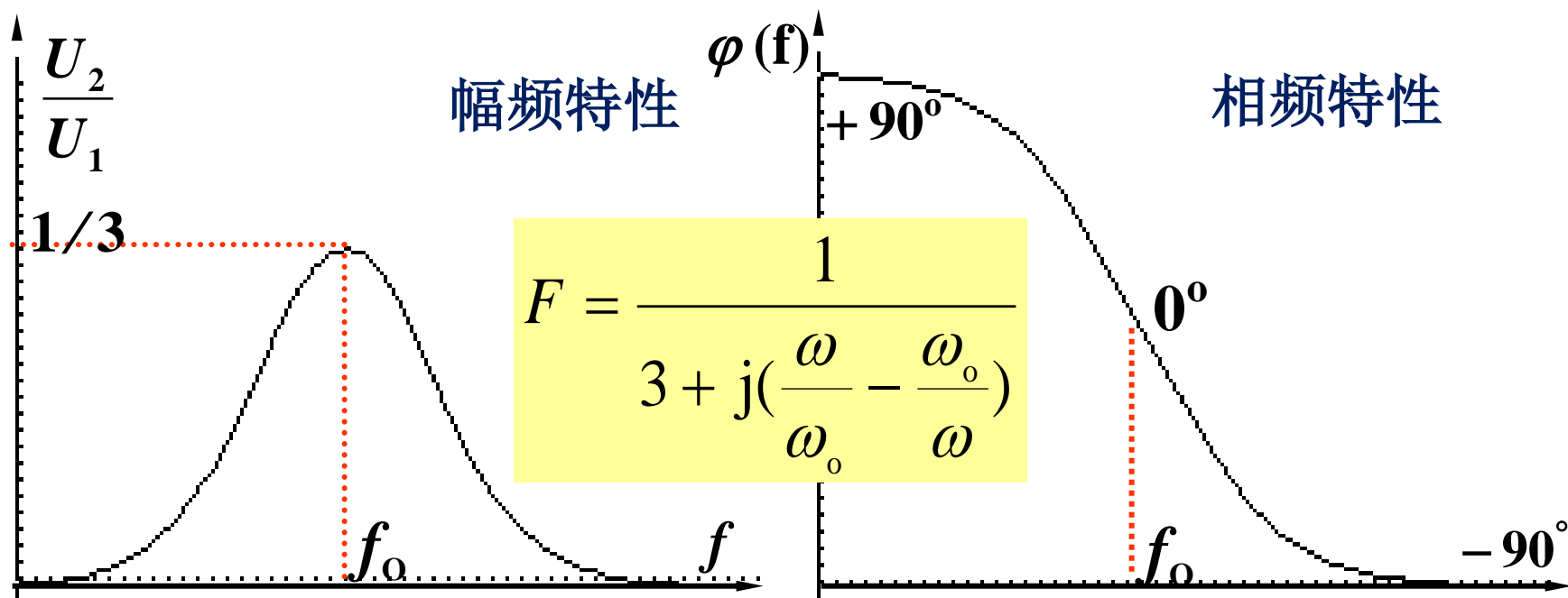
$$F = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{R // \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C} + R // \frac{1}{j\omega C}}$$
$$= \frac{1}{3 + j\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

文氏桥选频电路



式中： $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

当 $\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}$ 时， $U_2/U_1=1/3$ 达最大值，且 $u_2$ 与 $u_1$ 同相



### 3. RC串并联网络（反馈性质）

当 $\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}$  时，

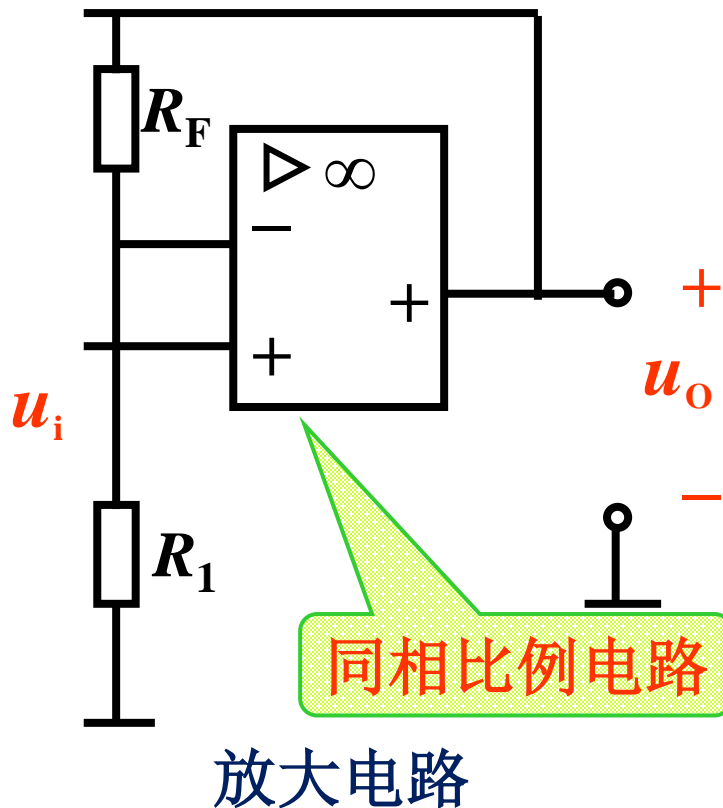
$u_f$  与  $u_o$  同相

正反馈

此时

$$F = \frac{U_f}{U_1} = \frac{1}{3}$$

达最大值





## 4. 起振及稳定振荡的条件

起振条件  $|A_u F| > 1$ ，因为  $|F| = 1/3$ ，则

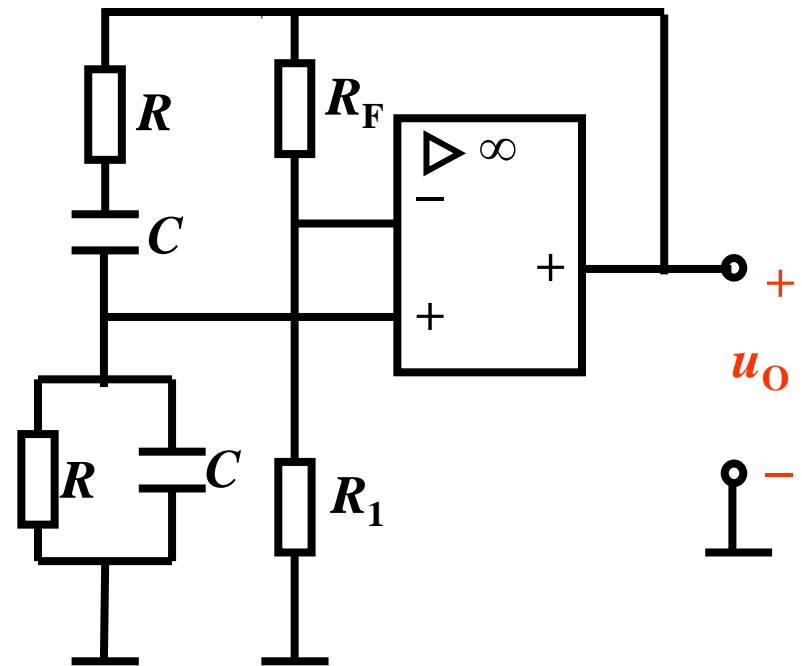
$$A_u = 1 + \frac{R_F}{R_1} > 3$$

要求  $R_F$  大于  $2R_1$

稳定振荡条件  $|A_u F| = 1$

$$A_u = 1 + \frac{R_F}{R_1} = 3$$

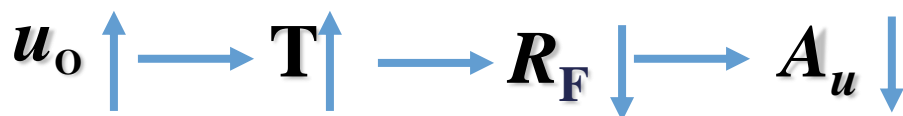
要求  $R_F$  等于  $2R_1$



## 5. 带稳幅环节的电路(热敏电阻)

利用热敏电阻的非线性  
自动稳幅

稳幅过程:



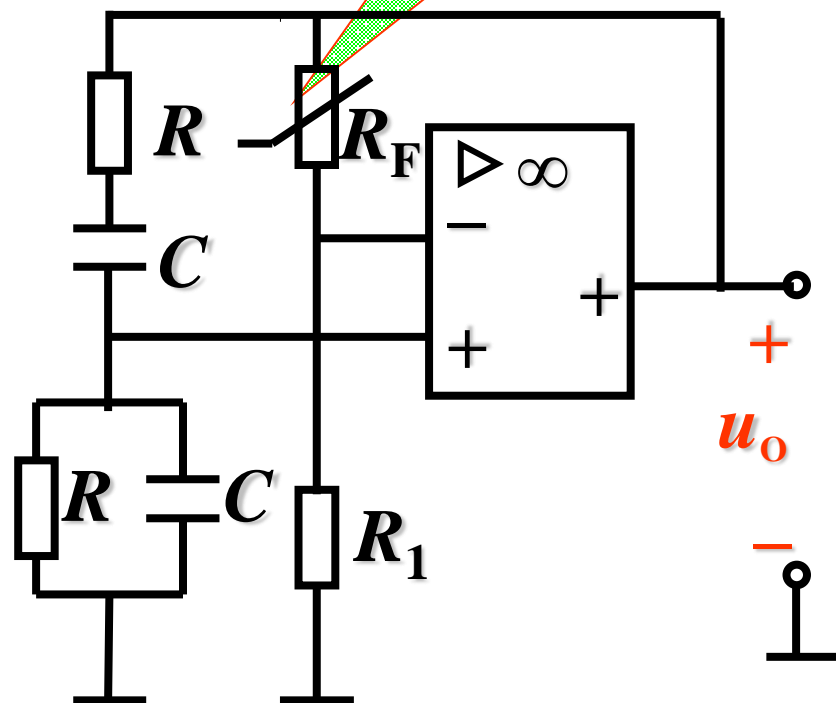
当 $A_u = 3$ 时，取得稳幅振荡

思考:

若热敏电阻具有正温度系数，应接在何处？

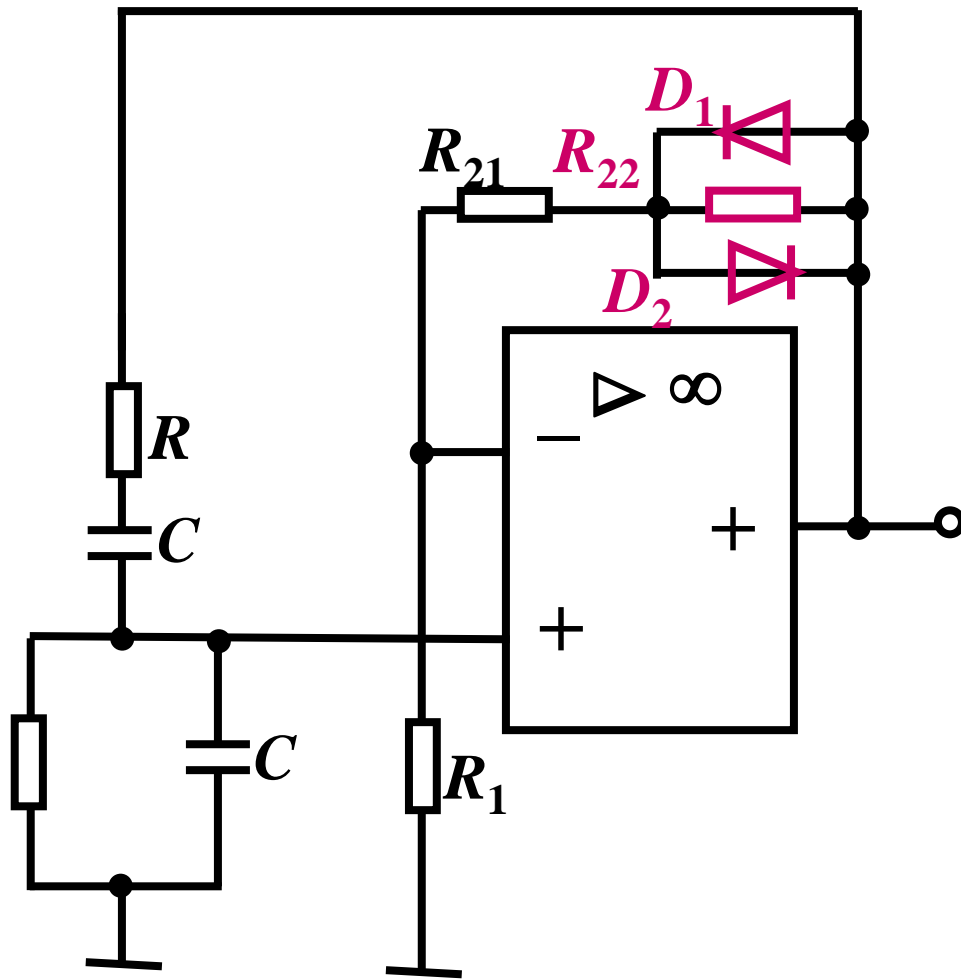
具有负温度系数

半导体  
热敏电阻





## 5. 带稳幅环节的电路 (利用二极管的非线性)



$R_{22}$ 为一小电阻，使  
( $R_{21}+R_{22}$ )略大于 $2R_1$

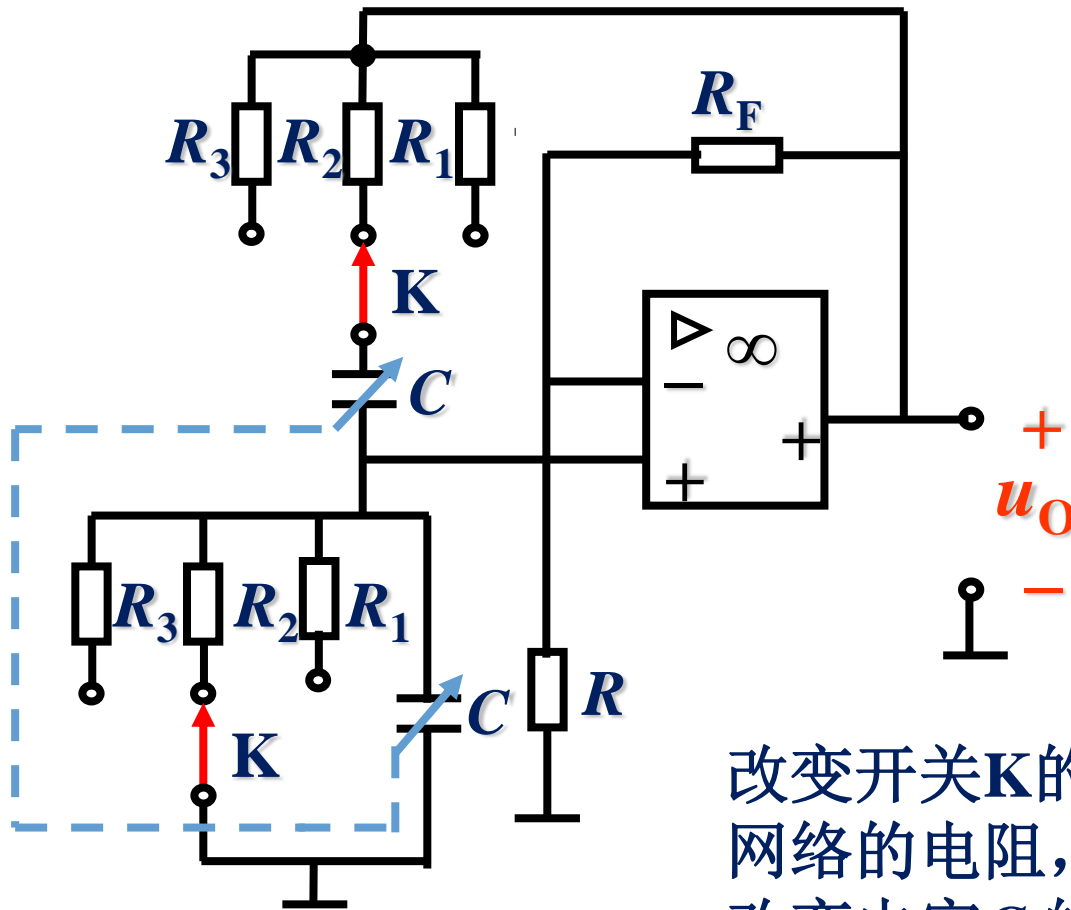
在起振之初，由于 $u_o$ 幅值很小，尚不足以使二极管导通，正向二极管近于开路， $|AF|>1$

随着 $u_o$ 的增加，二极管开始导通，其正向电阻逐渐减小， $R_{22}$ 两端的等效电阻随之减小， $A$ 下降。

当 $|AF|=1$ 时，输出 $u_o$ 稳定



## 6. 振荡频率及调整



振荡频率

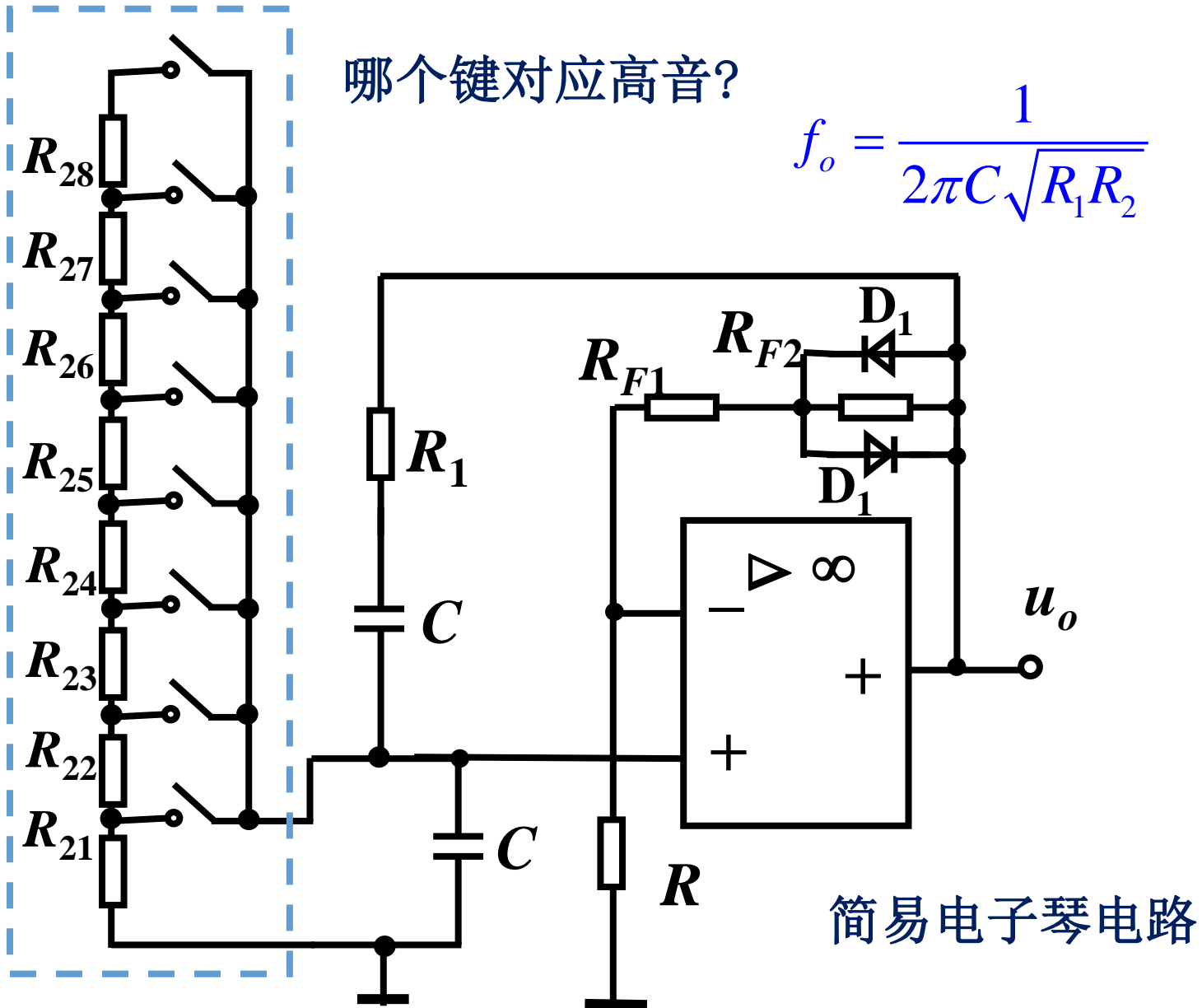
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

改变开关K的位置可改变选频网络的电阻，实现频率粗调。  
改变电容C的大小可实现频率的细调。



哪个键对应高音?

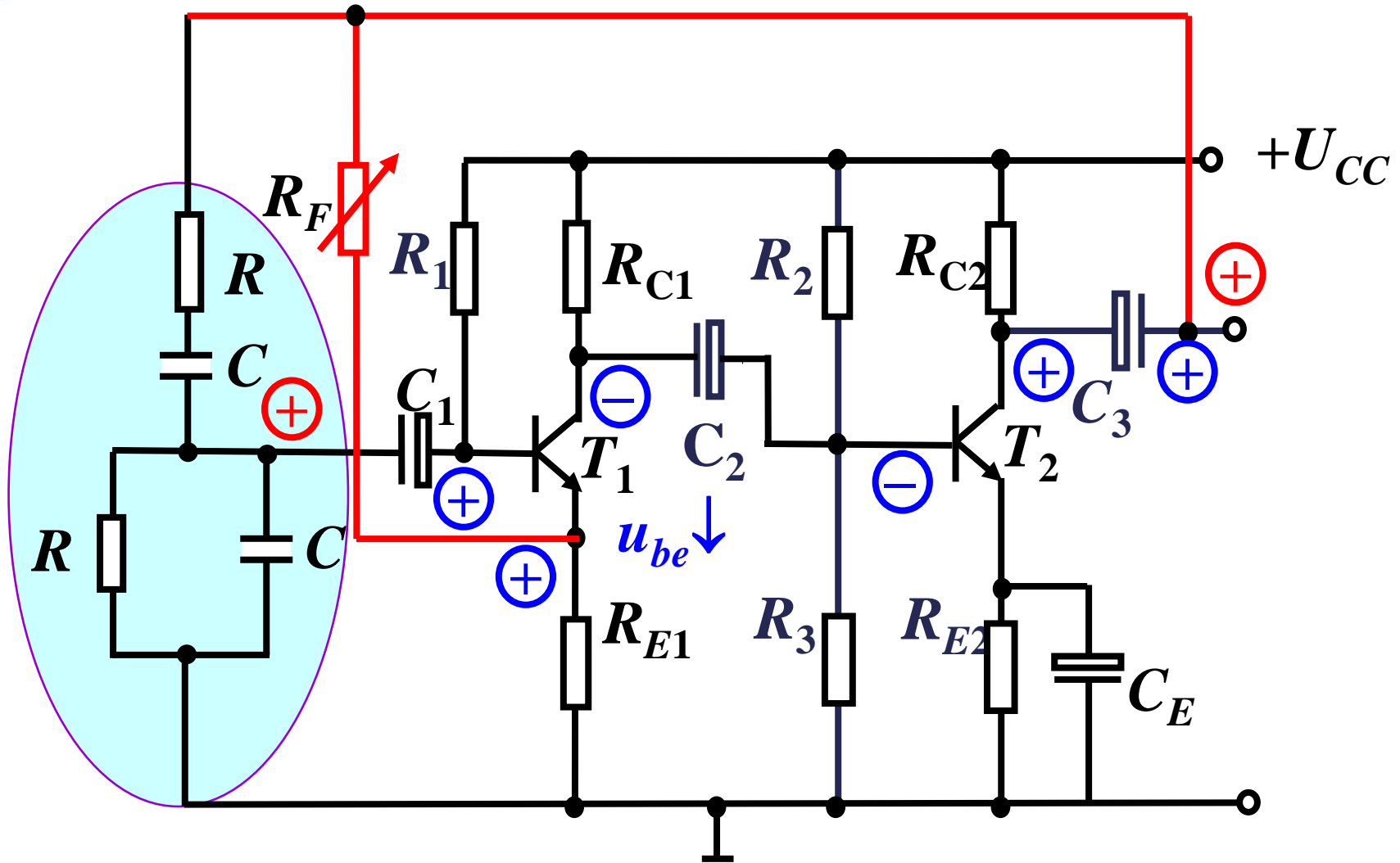
$$f_o = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R_1 R_2}}$$







## 用分立元件组成的RC振荡器\*



$R_F R_{E1}$  组成负反馈， $RC$  网络组成正反馈，调整到合适的参数可产生振荡



# 第11章作业

**P248:**

- 1. 11.4 RC正弦波振荡电路分析**
- 2. 11.5 反馈的类型和判断**