

## 5.5 RC正弦波振荡器

当要求产生频率在几十千赫以下的低频正弦波信号时，需采用**RC**振荡器。其电路由**RC**选频网络和放大器组成。

### 5.6.1 RC选频网络

#### 一、RC相移网络

##### 1、超前型

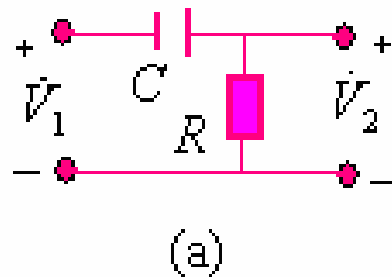


图5.6.1 RC超前相移网络

$$\dot{F} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR} = j \frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

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

## 幅频特性

$$F(\omega) = \frac{\omega/\omega_0}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}}$$

## 相频特性

$$\varphi_F(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctan(\frac{\omega}{\omega_0})$$

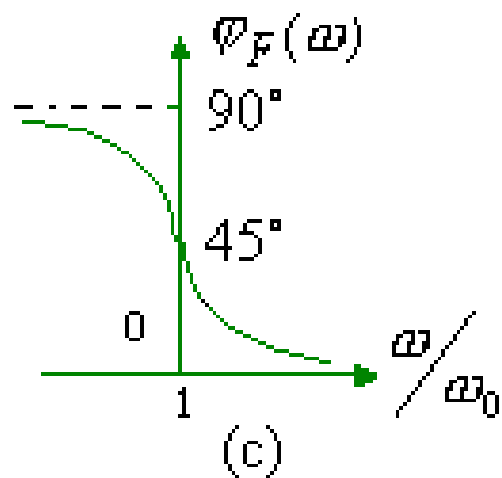
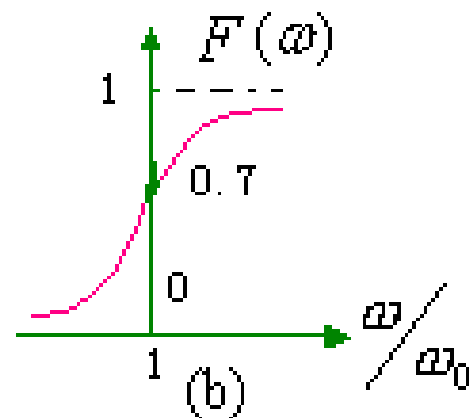


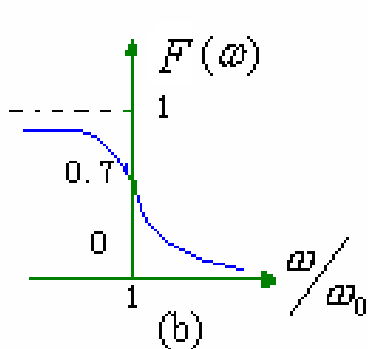
图5.6.1 RC超前相移网络的频率特性  
(b) 幅频特性 (c) 相频特性

## 2、滞后型

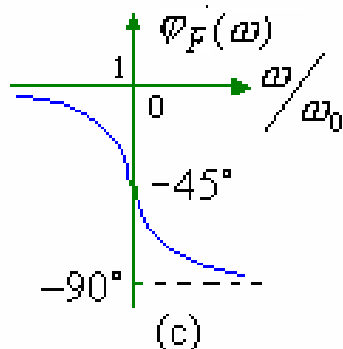
传输系数为：

$$\dot{F} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{1}{1 + j\omega CR} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$$

其中  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$



(a)幅频特性



(b)相频特性

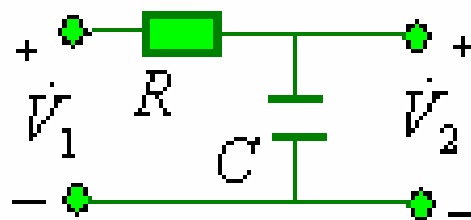


图5.6.2 RC滞后相移网络

幅频特性

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

相频特性

$$\varphi_F(\omega) = -\arctan\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$$

## 结论:

- 一节超前移相或滞后移相电路实际能产生的相移量小于  $90^\circ$ （当相移趋近  $90^\circ$  时，增益已趋于零）。所以，至少要三节RC移相电路才能产生  $180^\circ$  的相移。
- 与反相放大器就可以组成正反馈振荡器。
- 超前型和滞后型网络分别具有高通和低通滤波器的特性，幅频特性分别是单调递增和递减的曲线，选频特性很差。

## 二、RC串、并联网络

**RC串并联选频网络的传输系数为：**

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

$$\text{其中 } \omega_0 = \frac{1}{RC} \text{ 或 } f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

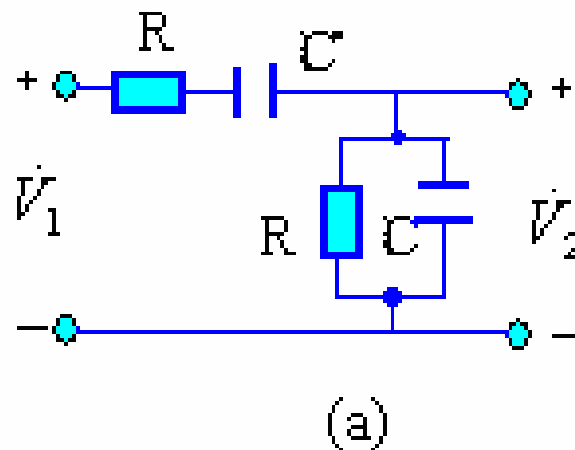


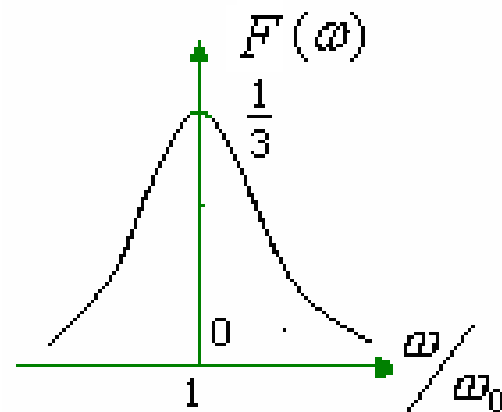
图5.6.3 RC串并联相移网络

幅频特性：

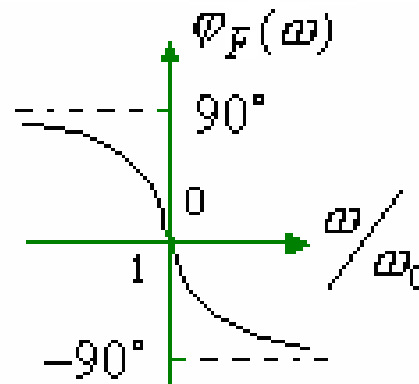
$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{9 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$$

相频特性：

$$\phi_F(\omega) = -\arctan\left(\frac{\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}}{3}\right)$$



(b)



(c)

图5.6.3 RC串并联相移网络的频率特性  
(b) 幅频特性 (c) 相频特性

结论：

$$(1) \text{ 当 } \omega = \omega_0 \text{ 时 } F = F_{\max} = \frac{1}{3} \quad \varphi_F(\omega_0) = 0$$

所以可以与同相放大器构成正反馈电路。

(2) 串并联选频电路具有类似**LC**回路的带通滤波特性，但选择性能不如**LC**回路。

由以上讨论知：

三种**RC**网络均具有负斜率的相频特性，若作为振荡器的选频网络，满足振荡器的相位稳定条件。

## 5.6.2 文氏桥式振荡器和相移振荡器

### 一、文氏电桥振荡器

#### 1、原理电路

$$\text{当 } \omega = \omega_{osc} \text{ 时, } T(\omega_{osc}) = AF = \frac{1}{3} A$$

$$\text{而 } A = 1 + \frac{R_t}{R_1}, \text{ 所以}$$

$$\text{起振条件 } \frac{R_t}{R_1} > 2$$

$$\text{振荡器的振荡角频率 } \omega_{osc} = \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

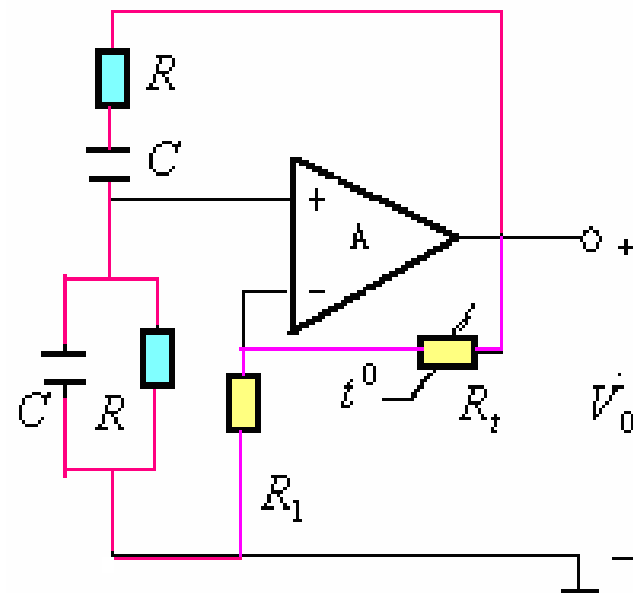


图5.6.4 文氏桥式振荡器



## 2、文氏桥式振荡电路的特点：

### (1) 电路中为何引入负反馈：

引入负反馈以减小和限制放大器的增益，使在开始时放大器增益略大于 3，这样，环路增益仅在振荡频率  $f_{osc}$  及其附近很窄的频段略大于 1，满足振幅起振条件，而在其余频段均不满足正反馈振幅起振条件。

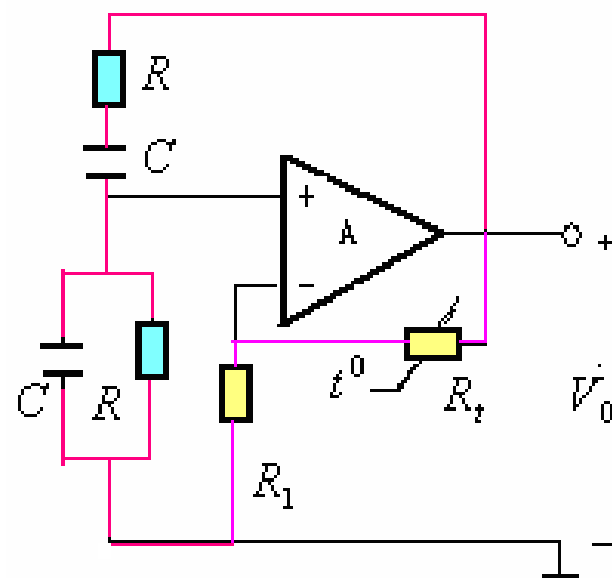


图5.6.4 文氏桥式振荡器

## (2) 电路中的非线性环节：

在负反馈支路上采用具有负温度系数的热敏电阻（如图5.6.4中的 $R_t$ ）起振后，振荡电压振幅逐渐增大，加在 $R_t$ 上的平均功率增加，温度升高，使 $R_t$ 阻值减小，负反馈加深，放大器增益迅速下降。这样，放大器在线性工作区就会具有随振幅增加而增益下降的特性，满足振幅平衡和稳定条件。

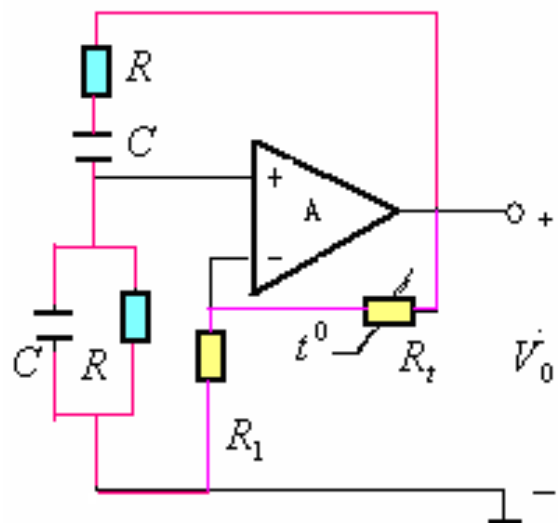


图5.6.4 文氏桥式振荡器

## 振荡器的稳幅方式（非线性环节）

### 外稳幅方式：

像文氏电桥振荡器依靠外加热敏电阻形成可变负反馈来实现振幅的平衡和稳定的方法称为外稳幅；

### 内稳幅方式：

像LC振荡器那样依靠晶体管本身的非线性特性来稳定振幅的方法称为内稳幅。

## 二、相移型振荡器

相移型振荡器是采用导前移相或滞后移相电路作为选频网络。

该振荡器的振荡频率  $f_{osc}$  和振幅起振条件分别为：

$$\begin{cases} f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \\ \frac{R_f}{R} > 29 \end{cases}$$

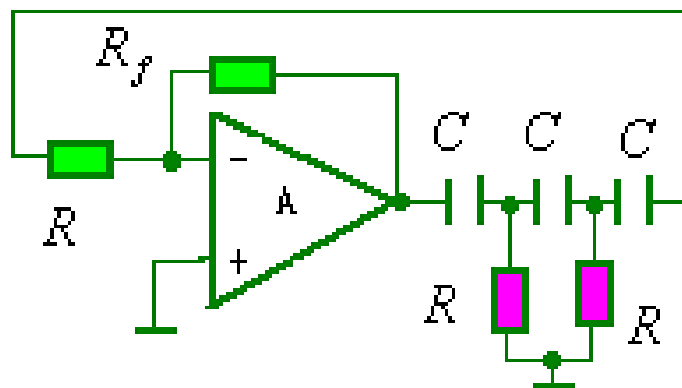
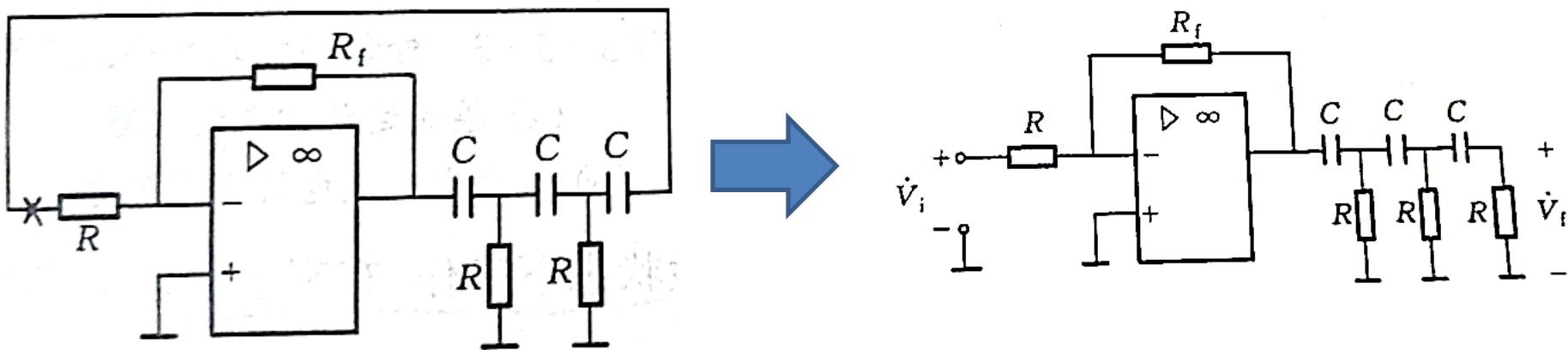


图5.6.5 RC相移振荡器



在左图x号处断开，断开点的右侧加  $\dot{V}_i$ ，考虑到输入端的阻抗为  $R$ （集成运放并联深度负反馈的输入电阻为0， $R$ 加上0即为  $R$ ），将其放到输出端，则可画出右图

$$T(j\omega) = -\frac{R_f}{R} \frac{\omega^3 R^3 C^3}{\omega^3 R^3 C^3 - 5\omega RC - j(6\omega^2 R^2 C^2 - 1)}$$

可以求得振荡角频率和振幅起振条件：

$$\omega_{osc} = \frac{1}{\sqrt{6}RC} \quad \frac{R_f}{R} > 29$$

- 因为采用了超前相移电路，集成运放必须接成反向放大器，提供 $-180^\circ$ 的相移，这样，当RC超前相移电路提供 $180^\circ$ 相移时，环路便满足了相位平衡条件。因为一节RC电路实际能够提供的最大相移小于 $90^\circ$ （当相移接近 $90^\circ$ 时，增益已经趋近于零），因此，至少需要三节RC电路才能提供 $180^\circ$ 相移。
- 由于RC相移电路的选频特性不理想，因而它的输出波形失真较大，频率稳定度较低，只能用在性能要求不高的设备中。

作业： 5.37 5.38

预习：第六章 第一节