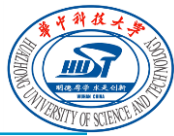


10 信号处理与信号产生电路



10.1 有源滤波电路 (10.1, 10.2, 10.3)

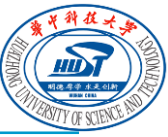
10.3 正弦波振荡电路的振荡条件 (10.5)

10.4 RC 正弦波振荡电路 (10.6)

10.6 电压比较器 (10.8.1)

10.7 非正弦信号产生电路 (10.8.2, 10.8.3)

10.1 有源滤波电路



10.1.1 滤波电路的基本概念与分类

10.1.2 有源低通滤波电路

10.1.3 有源高通滤波电路

10.1.4 有源带通滤波电路

10.1.5 二阶有源带阻滤波电路

10.1.1 滤波电路的基本概念与分类

1. 基本概念

滤波器：是一种能使有用频率信号通过而同时抑制或衰减无用频率信号的电子装置。

有源滤波器：由有源器件和相关元件构成的滤波器。

滤波电路传递函数定义



$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$

$$\tau(\omega) = -\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} \quad (s)$$

$s = j\omega$ 时，有 $A(j\omega) = |A(j\omega)| \angle \varphi(\omega)$

其中 $|A(j\omega)|$ —— 模，幅频响应

$\varphi(\omega)$ —— 相位角，相频响应

群时延响应

相位失真与群时延响应的关系

10.1.1 滤波电路的基本概念与分类

2. 分类

低通 (LPF)

高通 (HPF)

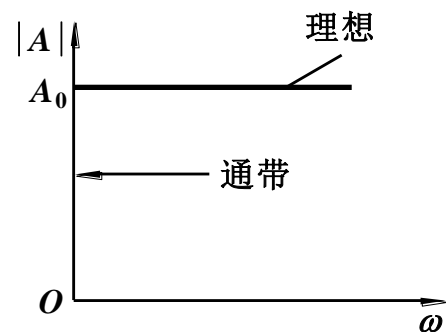
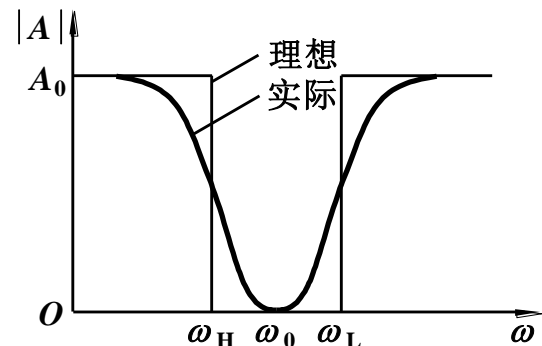
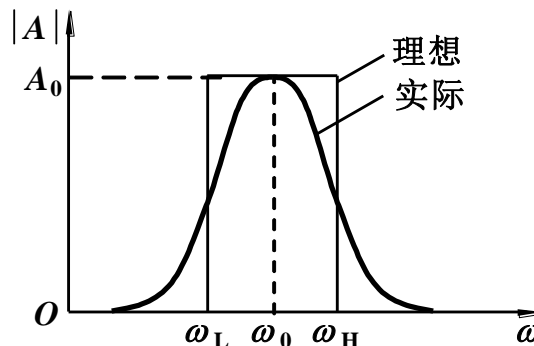
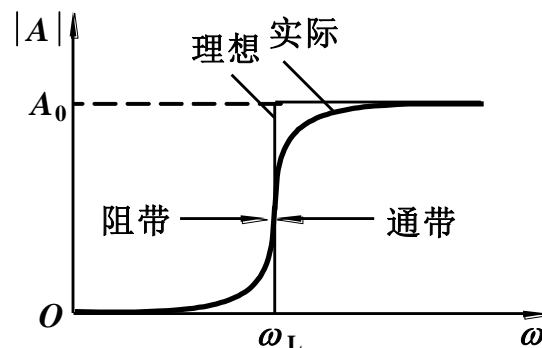
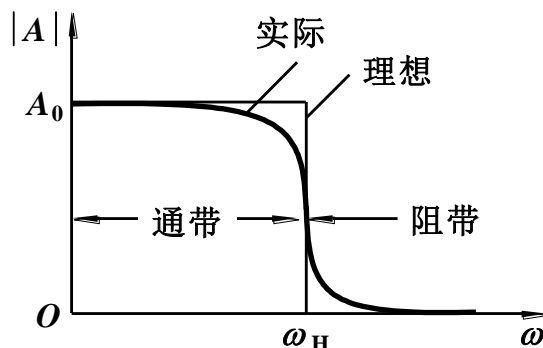
带通 (BPF)

带阻 (BEF)

全通 (APF)

希望抑制50Hz
的干扰信号，应选
用哪种类型的滤波
电路？

放大音频信号，应选用哪种类型
的滤波电路？



10.1 有源滤波电路



10.1.1 滤波电路的基本概念与分类

10.1.2 有源低通滤波电路

10.1.3 有源高通滤波电路

10.1.4 有源带通滤波电路

10.1.5 二阶有源带阻滤波电路

10.1.2 有源低通滤波电路

1. 一阶有源低通滤波电路

传递函数
$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_c}}$$

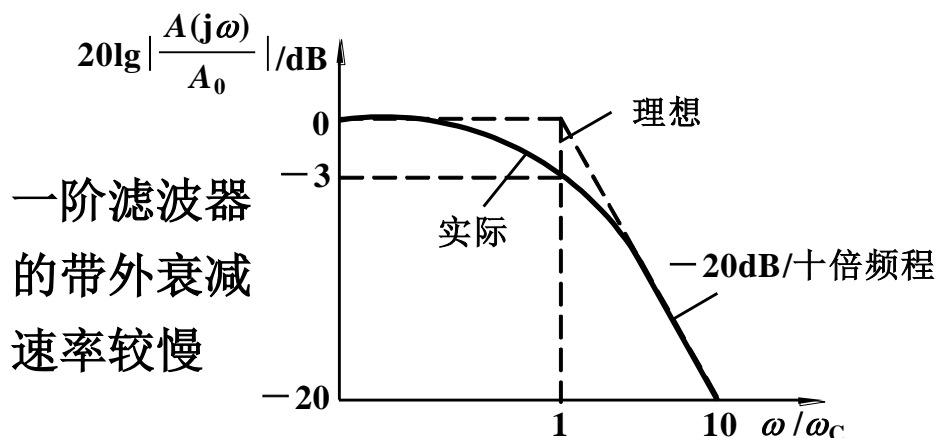
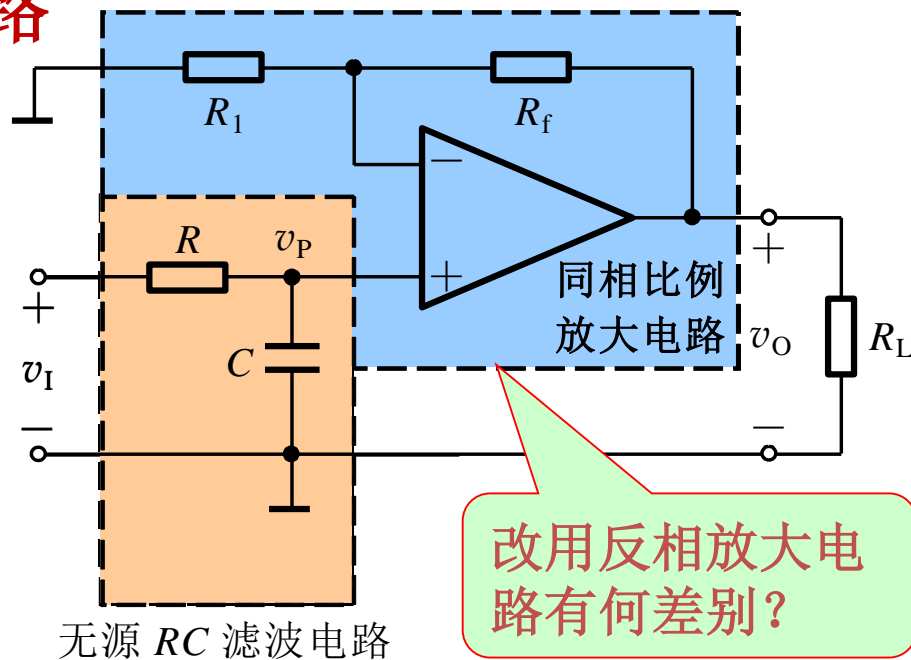
其中

$$A_0 = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad \text{增益}$$

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \quad \text{特征角频率}$$

故，幅频响应为

$$|A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2}}$$



10.1.2 有源低通滤波电路

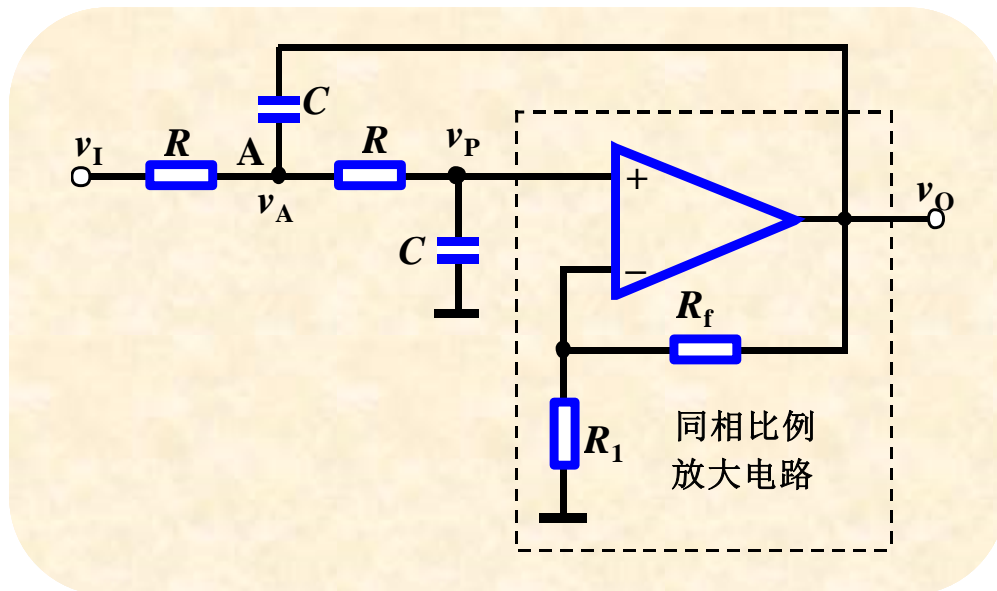
2. 二阶有源低通滤波电路

(1) 传递函数

$$A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (\text{同相比例})$$

对于滤波电路, 有

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{VF} = \frac{V_o(s)}{V_P(s)} \\ V_P(s) = \frac{1/sC}{R + 1/sC} \cdot V_A(s) \\ \frac{V_i(s) - V_A(s)}{R} - \frac{V_A(s) - V_o(s)}{1/sC} - \frac{V_A(s) - V_P(s)}{R} = 0 \end{array} \right.$$



得滤波电路传递函数
$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{A_{VF}}{1 + (3 - A_{VF})sCR + (sCR)^2}$$

(二阶)

10.1.2 有源低通滤波电路

2. 二阶有源低通滤波电路

(1) 传递函数

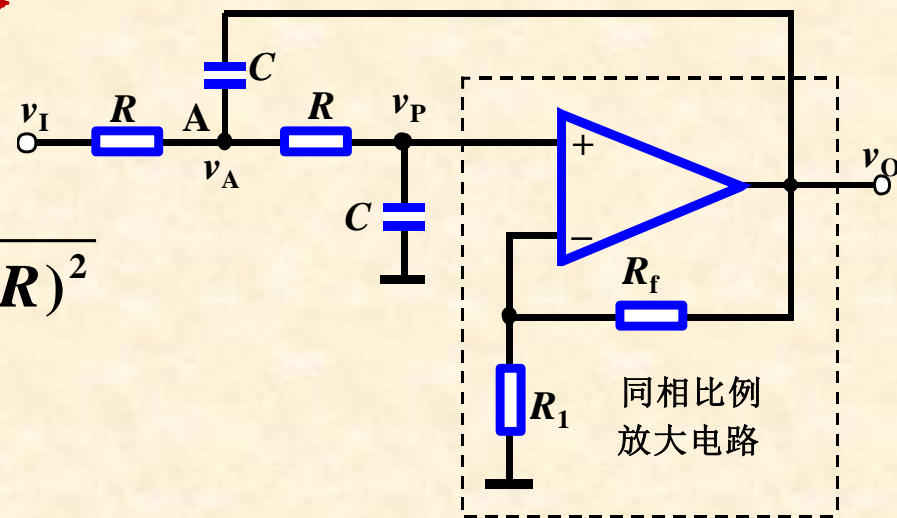
$$A(s) = \frac{A_{VF}}{1 + (3 - A_{VF})sCR + (sCR)^2}$$

令 $A_0 = A_{VF}$ 称为**通带增益**

$Q = \frac{1}{3 - A_{VF}}$ 称为**等效品质因数**

$\omega_c = \frac{1}{RC}$ 称为**特征角频率**

$$\text{则 } A(s) = \frac{A_0 \omega_c^2}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q}s + \omega_c^2}$$



注意：

当 $3 - A_{VF} > 0$ ，即 $A_{VF} < 3$ 时，
滤波电路才能稳定工作。

10.1.2 有源低通滤波电路

2. 二阶有源低通滤波电路

(1) 传递函数

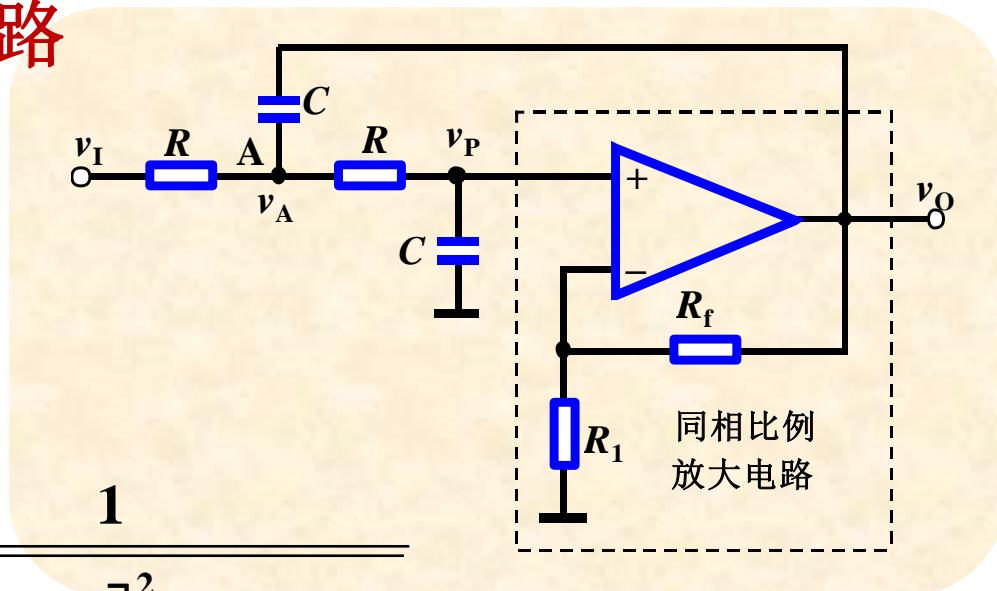
用 $s = j\omega$ 代入,

可得归一化的幅频响应

$$20 \lg \left| \frac{A(j\omega)}{A_0} \right| = 20 \lg \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_c Q} \right)^2}}$$

相频响应

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{\frac{\omega}{\omega_c Q}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}$$



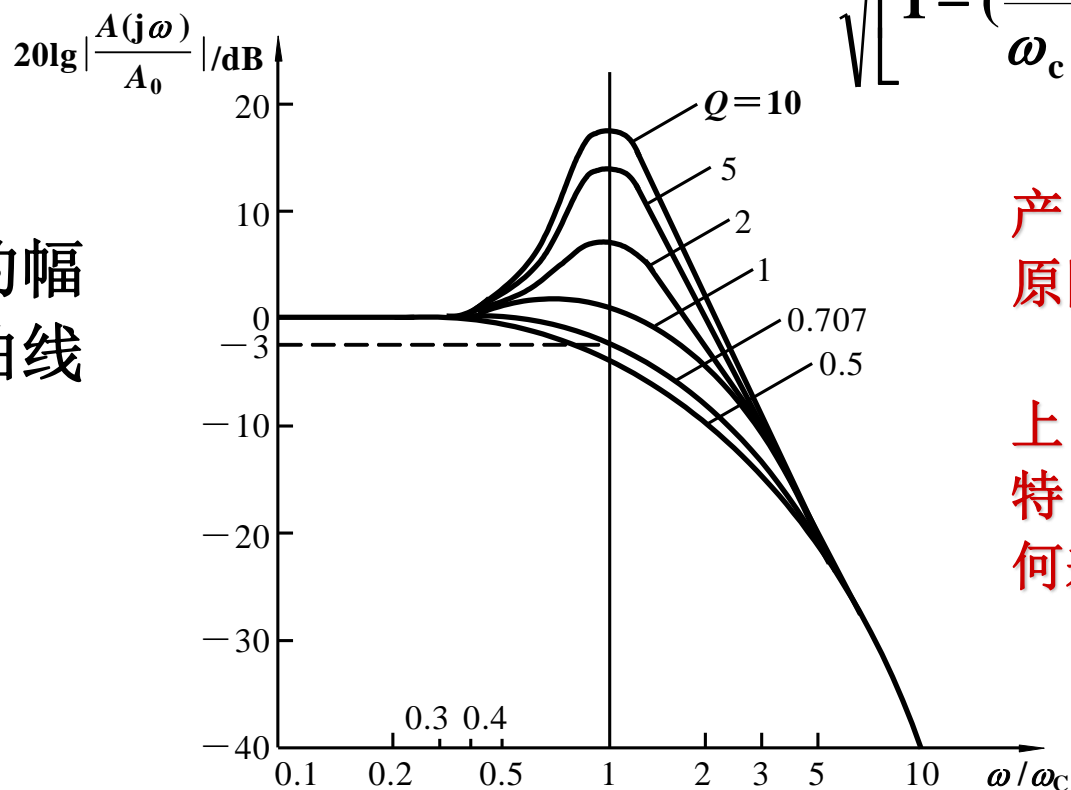
10.1.2 有源低通滤波电路

2. 二阶有源低通滤波电路

(2) 幅频响应

$$20\lg\left|\frac{A(j\omega)}{A_0}\right| = 20\lg\frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_c Q}\right)^2}}$$

归一化的幅
频响应曲线



产生增益过冲的
原因是什么？

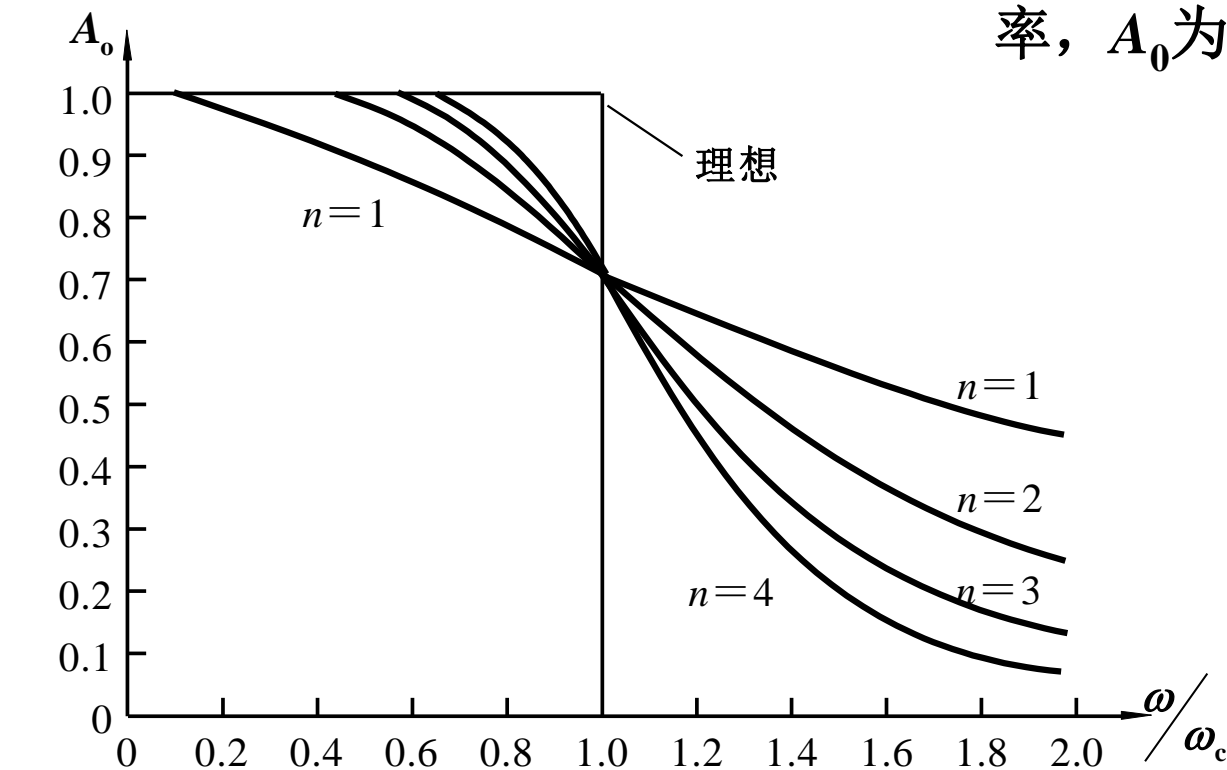
上限角频率 ω_H 和
特征角频率 ω_c 有
何差别？

10.1.2 有源低通滤波电路

3. n 阶巴特沃斯低通传递函数及其归一化幅频响应

$$|A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + (\omega / \omega_c)^{2n}}}$$

式中 n 为阶滤波电路阶数， ω_c 为3dB载止角频率， A_0 为通带电压增益



有源滤波器

优点:

- 不用电感、体积小、重量轻;
- 有一定的电压放大和缓冲作用。

缺点:

- 工作频率难以做得很高;
- 不适宜大功率场合。

10.1 有源滤波电路



10.1.1 滤波电路的基本概念与分类

10.1.2 有源低通滤波电路

10.1.3 有源高通滤波电路

10.1.4 有源带通滤波电路

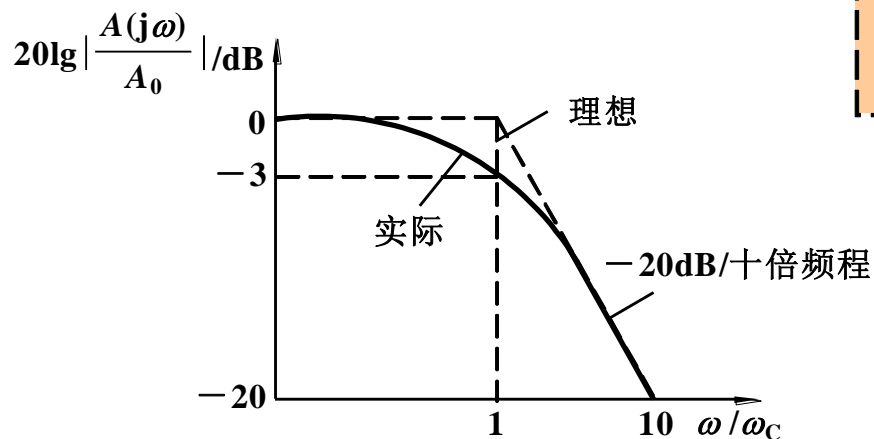
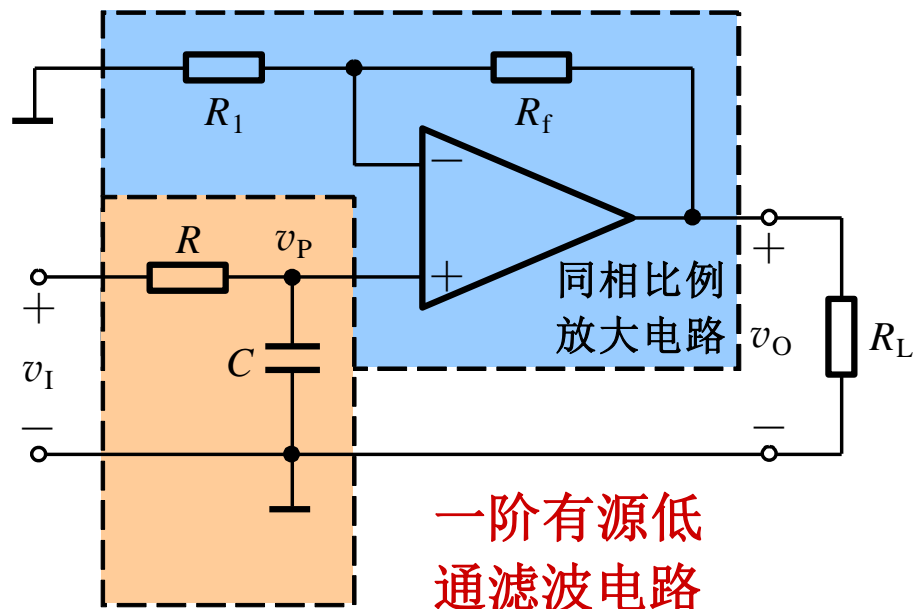
10.1.5 二阶有源带阻滤波电路

10.1.3 有源高通滤波电路

1. 一阶有源高通滤波电路

电路如何改变？

幅频响应如何变化？



10.1.3 有源高通滤波电路

2. 二阶有源高通滤波电路

将低通电路中的电容和电阻对换，便成为高通电路。

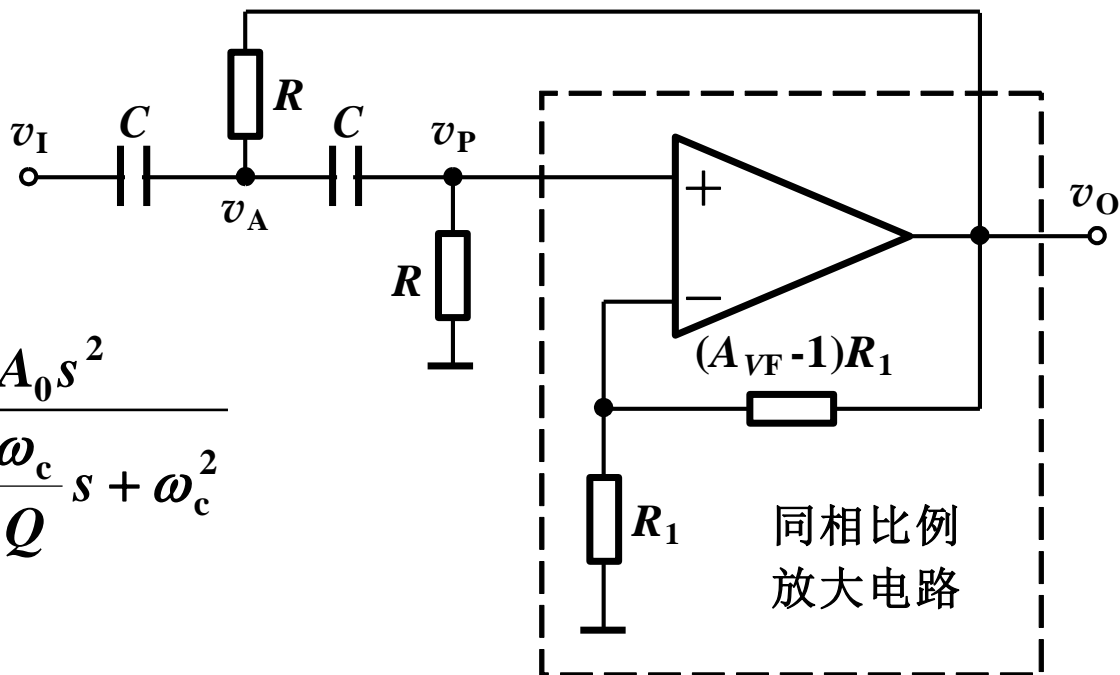
传递函数
$$A(s) = \frac{A_0 s^2}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q} s + \omega_c^2}$$

归一化的幅频响应

$$20 \lg \left| \frac{A(j\omega)}{A_0} \right| = 20 \lg \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)^2 - 1 \right]^2 + \left(\frac{\omega_c}{\omega Q} \right)^2}}$$

$$Q = \frac{1}{3 - A_{VF}}$$

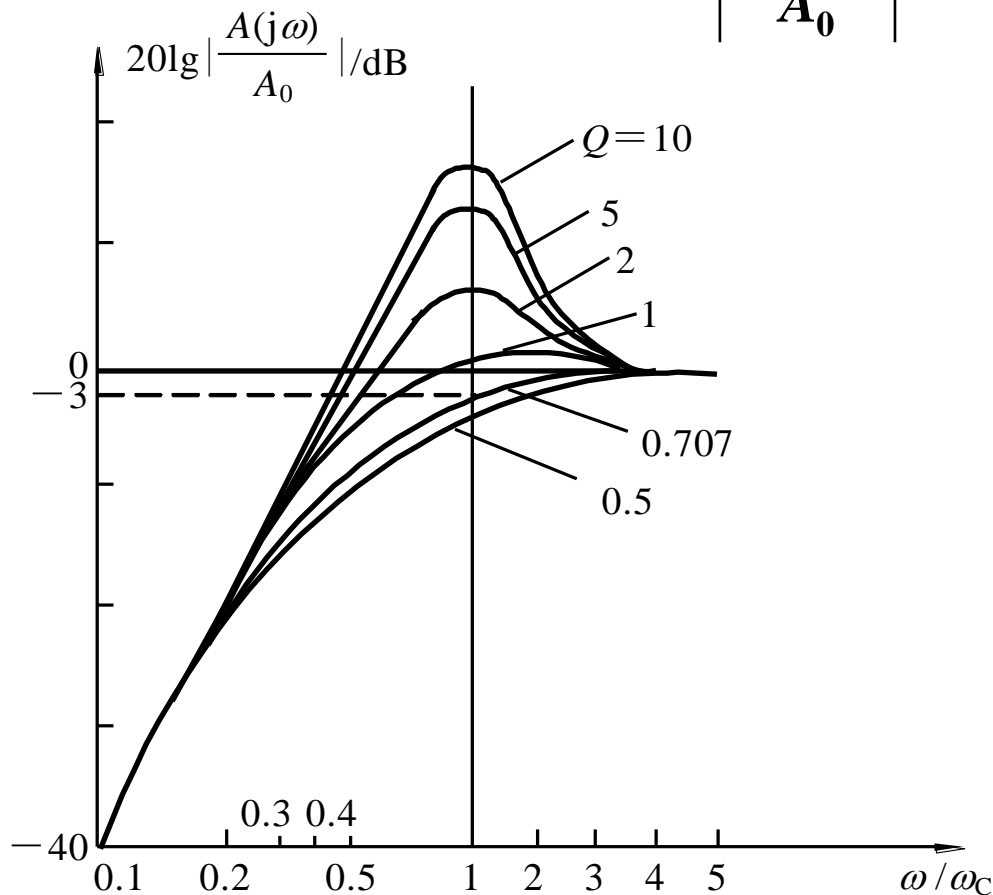
$$\omega_c = \frac{1}{RC}$$



10.1.3 有源高通滤波电路

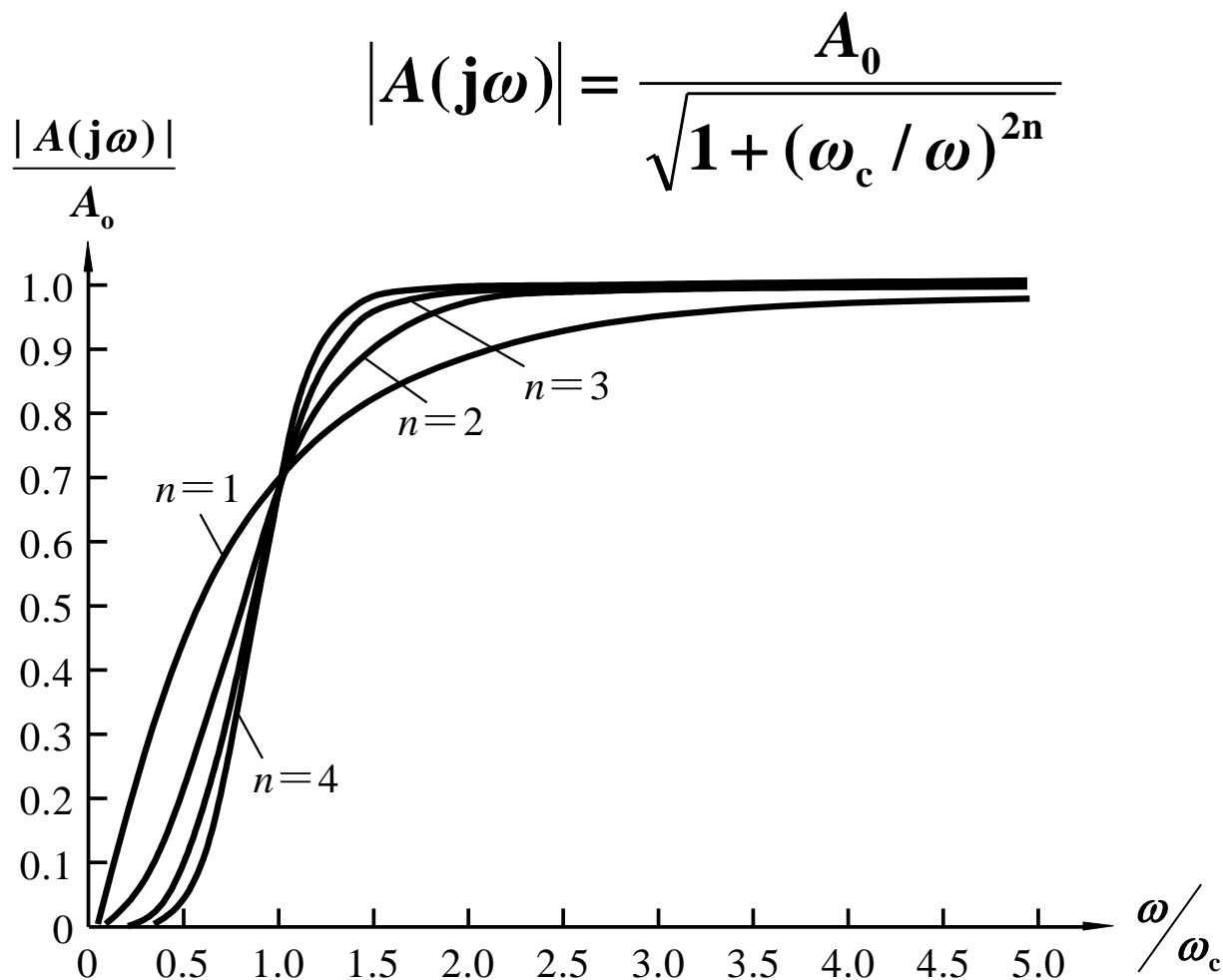
2. 二阶有源高通滤波电路

$$20\lg\left|\frac{A(j\omega)}{A_0}\right| = 20\lg\frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{\omega_c}{\omega}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(\frac{\omega_c}{\omega Q}\right)^2}}$$



10.1.3 有源高通滤波电路

3. n 阶巴特沃斯高通传递函数及其归一化幅频响应



10.1 有源滤波电路



10.1.1 滤波电路的基本概念与分类

10.1.2 有源低通滤波电路

10.1.3 有源高通滤波电路

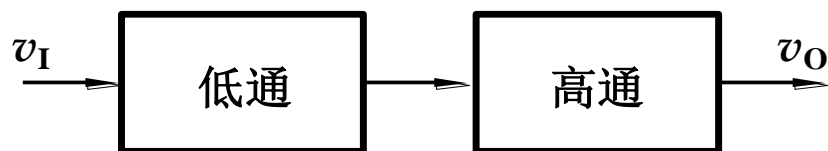
10.1.4 有源带通滤波电路

10.1.5 二阶有源带阻滤波电路

10.1.4 有源带通滤波电路

1. 电路组成原理

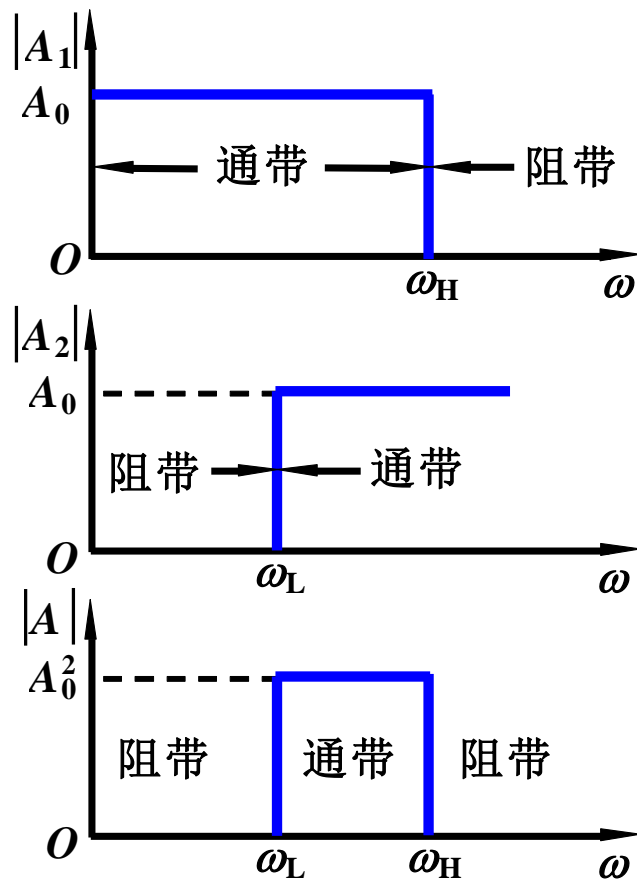
可由低通和高通串联得到



$$\omega_H = \frac{1}{R_1 C_1} \quad \text{低通截止角频率}$$

$$\omega_L = \frac{1}{R_2 C_2} \quad \text{高通截止角频率}$$

必须满足 $\omega_L < \omega_H$



10.1.4 有源带通滤波电路

2. 二阶有源带通滤波电路

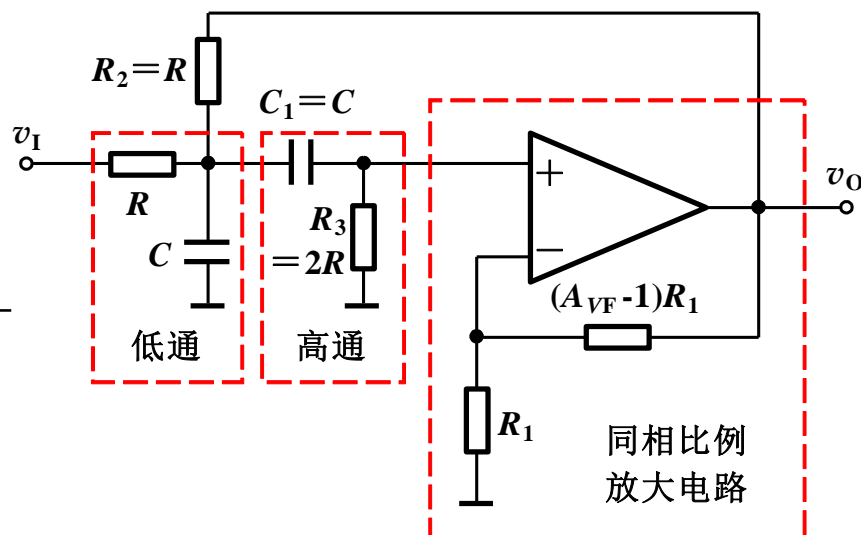
传递函数

$$A(s) = \frac{A_{VF} sCR}{1 + (3 - A_{VF})sCR + (sCR)^2}$$

$$\text{令} \begin{cases} A_0 = \frac{A_{VF}}{3 - A_{VF}} \\ \omega_0 = \frac{1}{RC} \\ Q = \frac{1}{3 - A_{VF}} \end{cases}$$

得

$$A(s) = \frac{A_0 \frac{s}{Q\omega_0}}{1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}$$



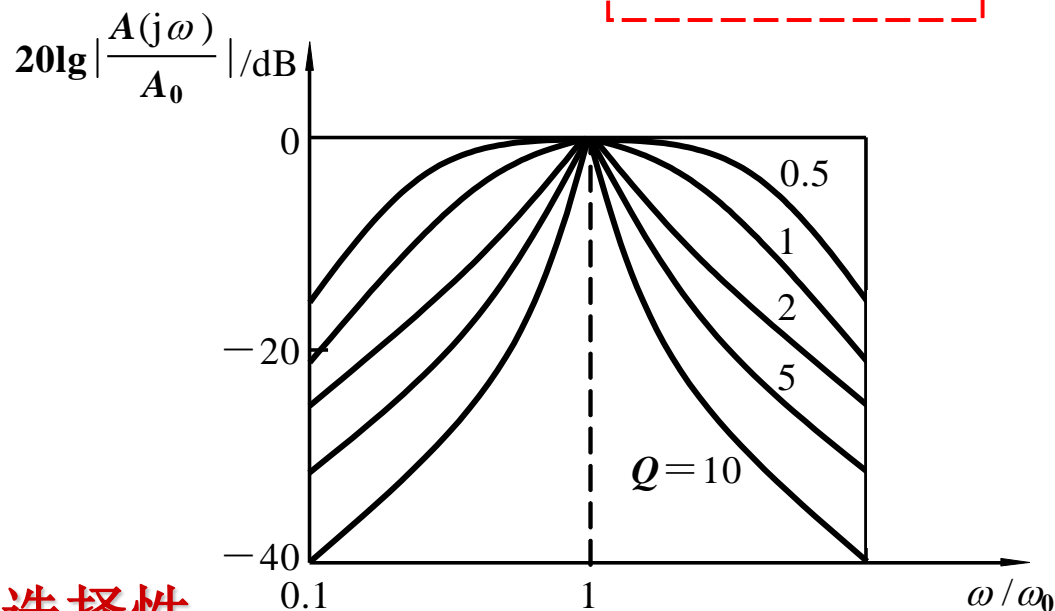
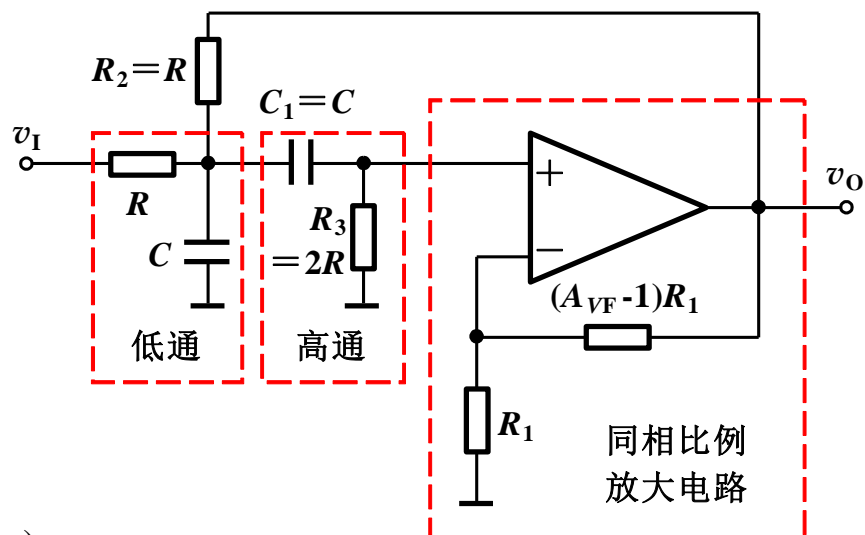
10.1.4 有源带通滤波电路

2. 二阶有源带通滤波电路

$$A(s) = \frac{A_0 \frac{s}{Q\omega_0}}{1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2}$$

$$= \frac{A_0 \frac{1}{Q} \cdot \frac{j\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j \frac{\omega}{\omega_0 Q}}$$

$$= \frac{A_0}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$



关于选择性

10.1 有源滤波电路



10.1.1 滤波电路的基本概念与分类

10.1.2 有源低通滤波电路

10.1.3 有源高通滤波电路

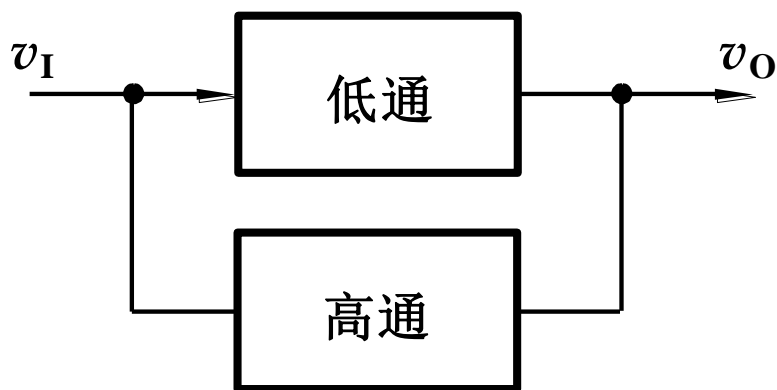
10.1.4 有源带通滤波电路

10.1.5 二阶有源带阻滤波电路

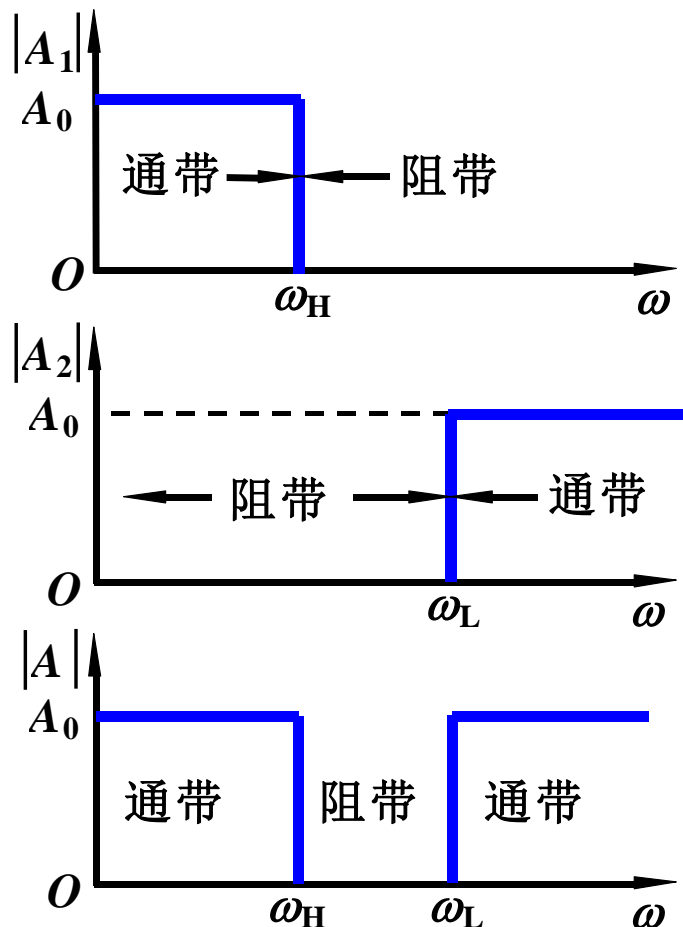
10.1.5 有源带阻滤波电路

1. 电路组成原理

可由低通和高通并联得到



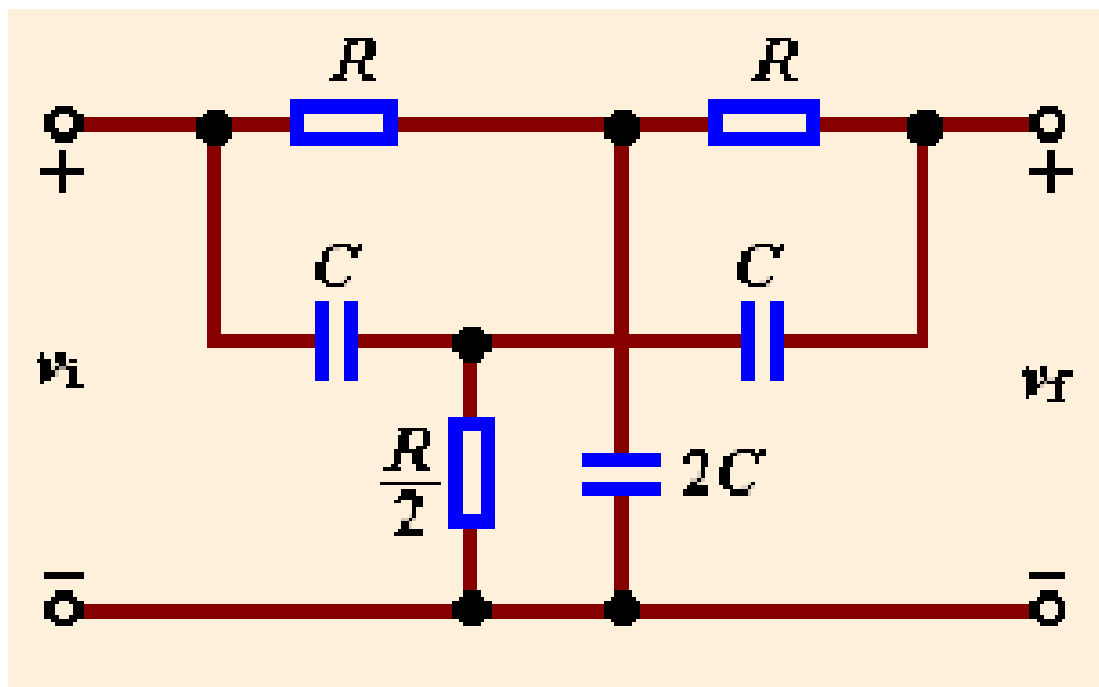
必须满足 $\omega_L > \omega_H$



10.1.5 有源带阻滤波电路

1. 电路组成原理

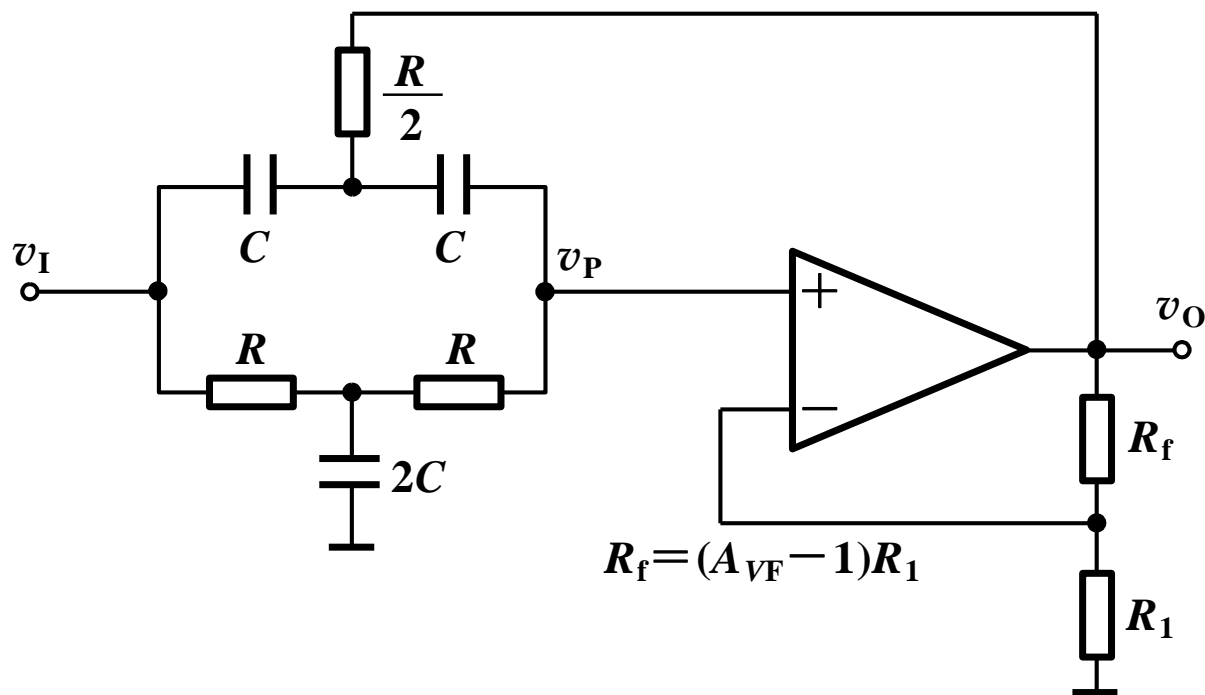
双T选频网络



10.1.5 有源带阻滤波电路

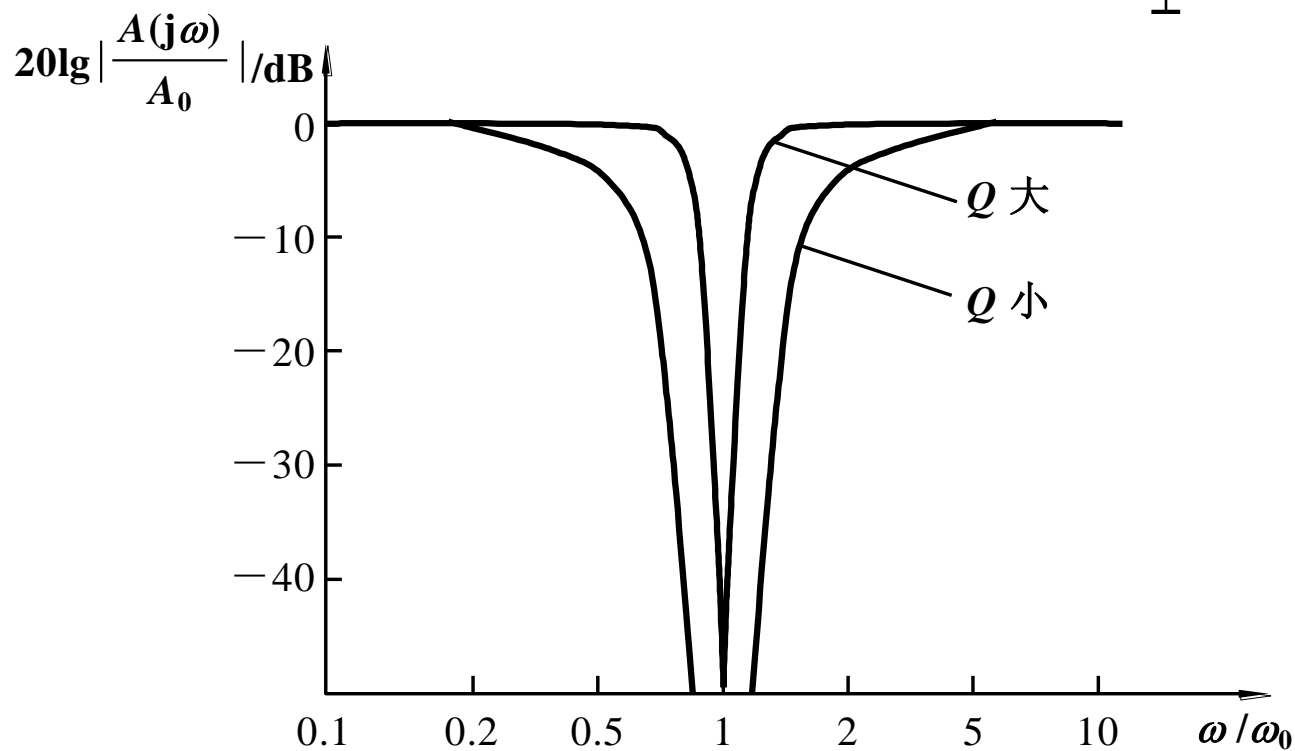
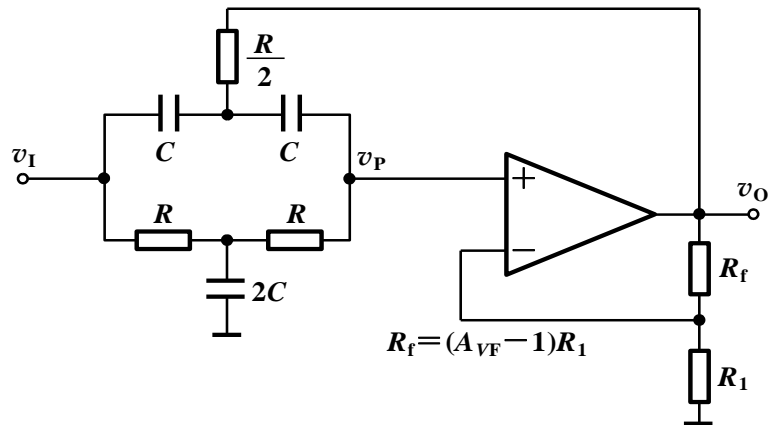
1. 电路组成原理

双T带阻滤波电路



10.1.5 有源带阻滤波电路

2. 幅频特性



10 信号处理与信号产生电路



10.1 有源滤波电路 (10.1, 10.2, 10.3)

10.3 正弦波振荡电路的振荡条件 (10.5)

10.4 RC 正弦波振荡电路 (10.6)

10.6 电压比较器 (10.8.1)

10.7 非正弦信号产生电路 (10.8.2, 10.8.3)

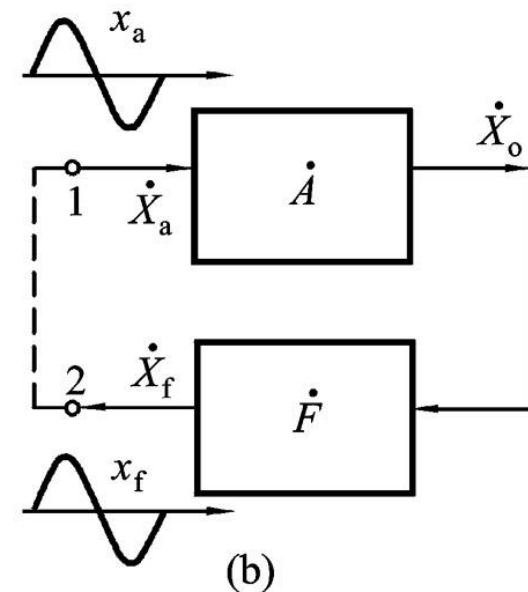
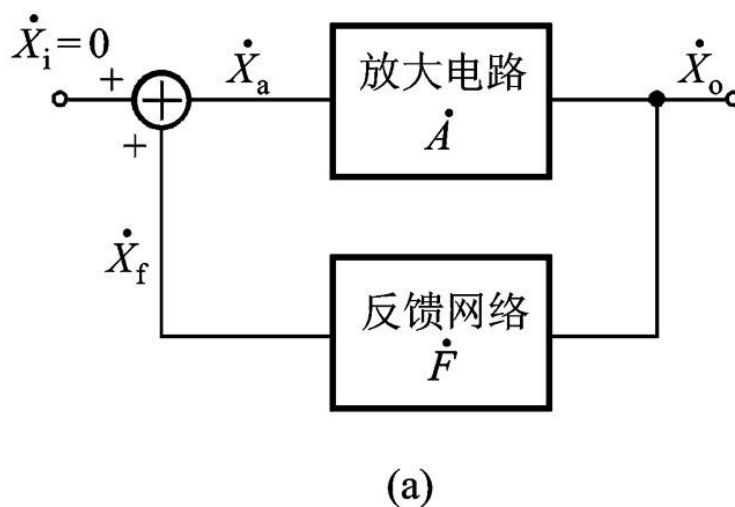
10.3 正弦波振荡电路的振荡条件

1. 振荡条件

正反馈放大
电路框图

(注意与负
反馈方框图
的差别)

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



若环路增益 $\dot{A}\dot{F} = 1$ 则 $\dot{X}_a = \dot{X}_f$ ，去掉 \dot{X}_i ， \dot{X}_o 仍有稳定的输出。

又 $\dot{A}\dot{F} = |\dot{A}\dot{F}| \angle \varphi_a + \varphi_f = AF \angle \varphi_a + \varphi_f$ 所以振荡条件为

$$A(\omega) \cdot F(\omega) = 1 \quad \text{振幅平衡条件}$$

$$\varphi_a(\omega) + \varphi_f(\omega) = 2n\pi \quad \text{相位平衡条件}$$

10.3 正弦波振荡电路的振荡条件

2. 起振和稳幅

起振条件

$$\begin{cases} A(\omega) \cdot F(\omega) > 1 \\ \varphi_a(\omega) + \varphi_f(\omega) = 2n\pi \end{cases}$$

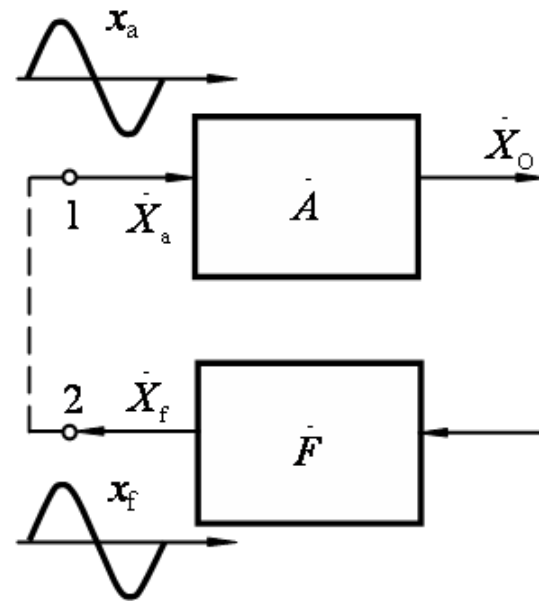
起振的信号源来自何处？

电路器件内部噪声以及电源接通扰动

噪声中，满足相位平衡条件的某一频率 ω_0 的噪声信号被放大，成为振荡电路的输出信号。

当输出信号幅值增加到一定程度时，就要限制它继续增加，否则波形将出现失真。

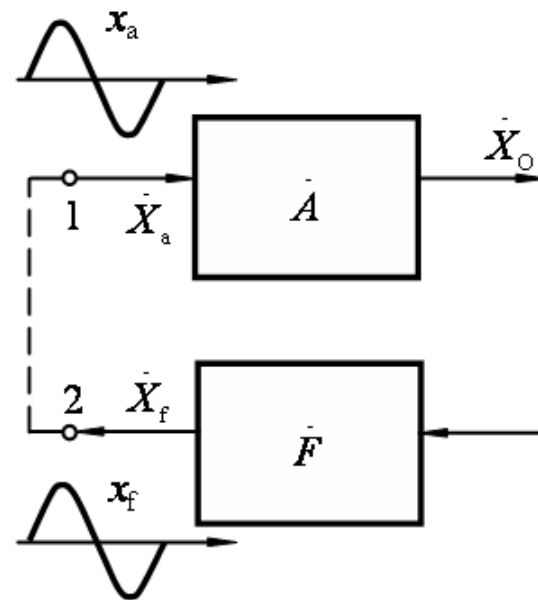
稳幅的作用就是，当输出信号幅值增加到一定程度时，使振幅平衡条件从 $AF > 1$ 回到 $AF = 1$ 。



10.3 正弦波振荡电路的振荡条件

3. 振荡电路基本组成部分

- ▶ 放大电路（包括负反馈放大电路）
- ▶ 反馈网络（构成正反馈的）
- ▶ 选频网络（选择满足相位平衡条件的一个频率。经常与反馈网络合二为一。）
- ▶ 稳幅环节



10 信号处理与信号产生电路

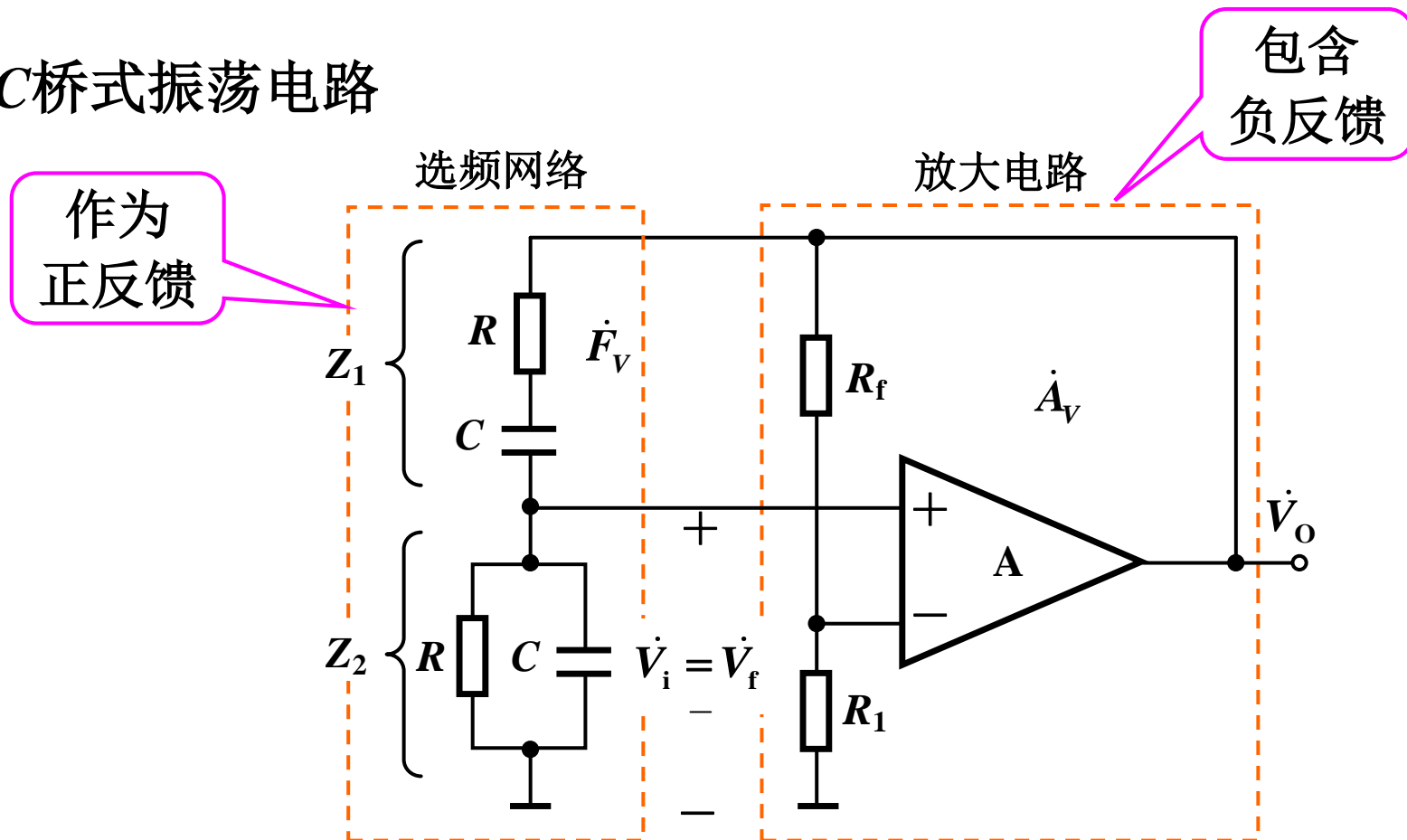


- 10.1 有源滤波电路 (10.1, 10.2, 10.3)
- 10.3 正弦波振荡电路的振荡条件 (10.5)
- 10.4 RC正弦波振荡电路 (10.6)
- 10.6 电压比较器 (10.8.1)
- 10.7 非正弦信号产生电路 (10.8.2, 10.8.3)

10.4 RC正弦波振荡电路

1. 电路组成

RC桥式振荡电路



10.4 RC正弦波振荡电路

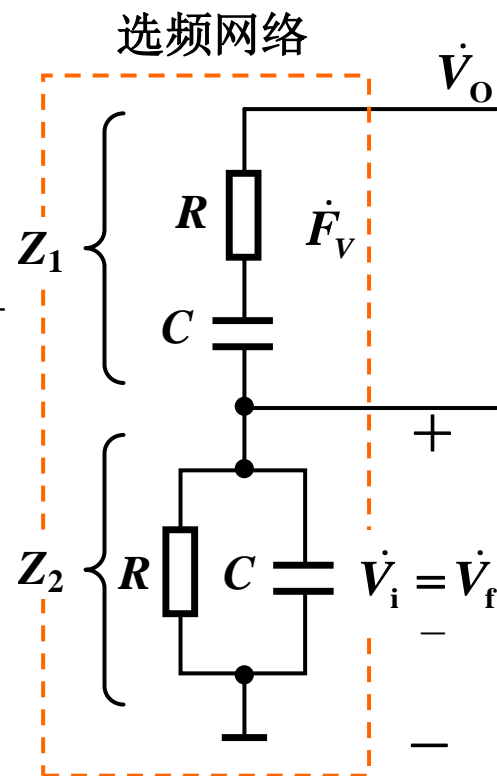
2. RC串并联选频网络的选频特性

反馈系数

$$F_V(s) = \frac{V_f(s)}{V_o(s)} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{sCR}{1 + 3sCR + (sCR)^2}$$

又 $s = j\omega$ 且令 $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

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



幅频响应

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

相频响应

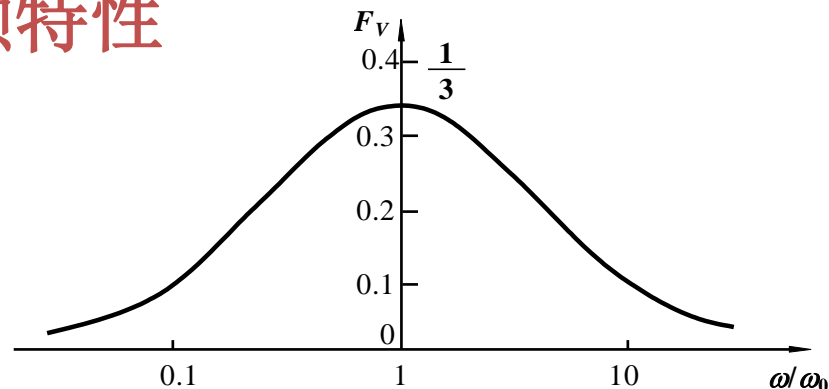
$$\varphi_f = -\arctg \frac{(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})}{3}$$

10.4 RC正弦波振荡电路

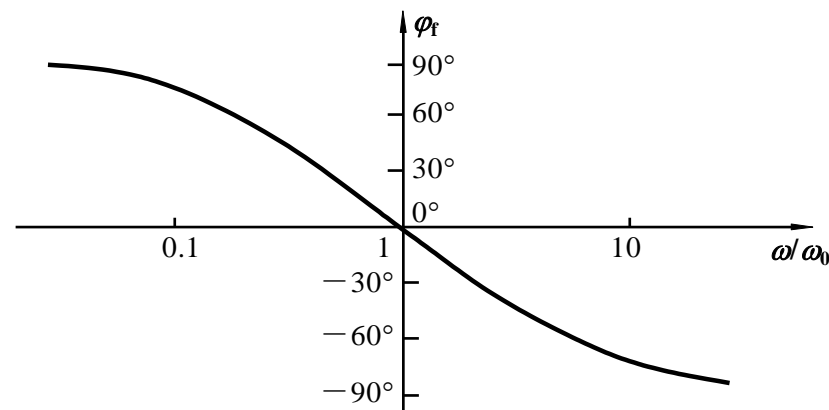
2. RC串并联选频网络的选频特性

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

$$\varphi_f = -\arctg \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}{3}$$



(a)



(b)

当 $\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}$ 或 $f = f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

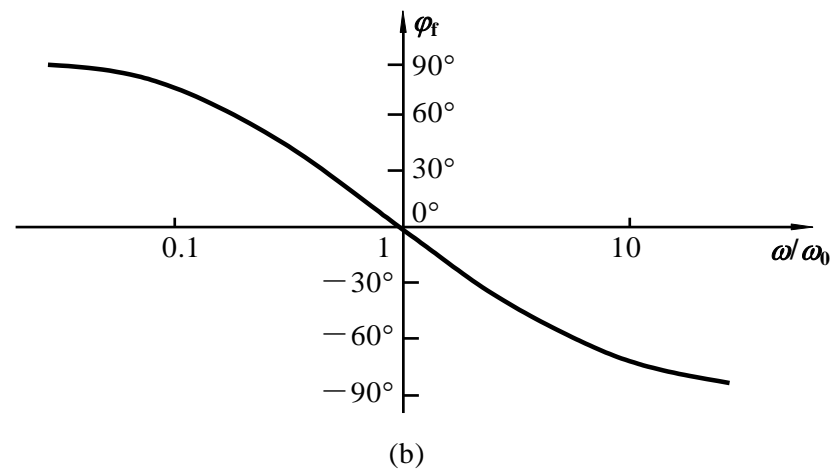
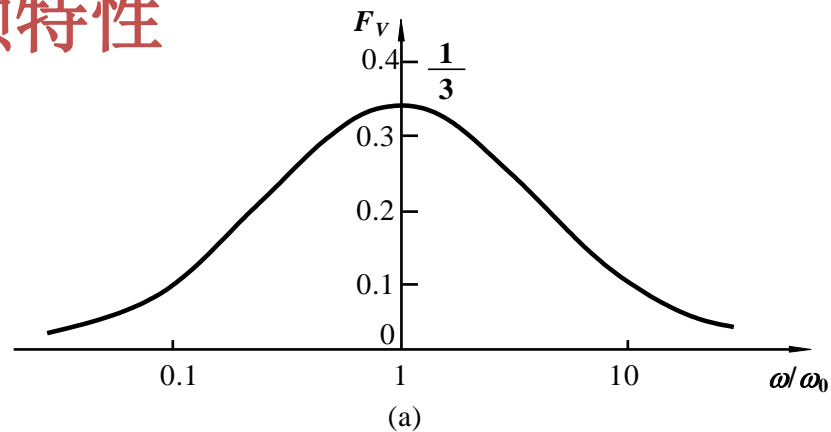
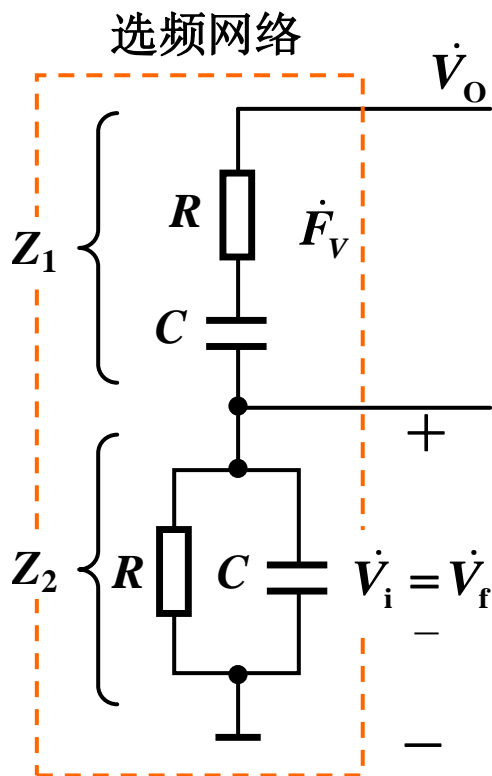
幅频响应有最大值

$$F_{V\max} = \frac{1}{3}$$

相频响应 $\varphi_f = 0$

10.4 RC正弦波振荡电路

2. RC串并联选频网络的选频特性



10.4 RC正弦波振荡电路

3. 振荡电路工作原理

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

$$\varphi_f = 0$$

满足相位平衡条件:

$$\varphi_a + \varphi_f = 2n\pi$$

若放大电路的电压增益

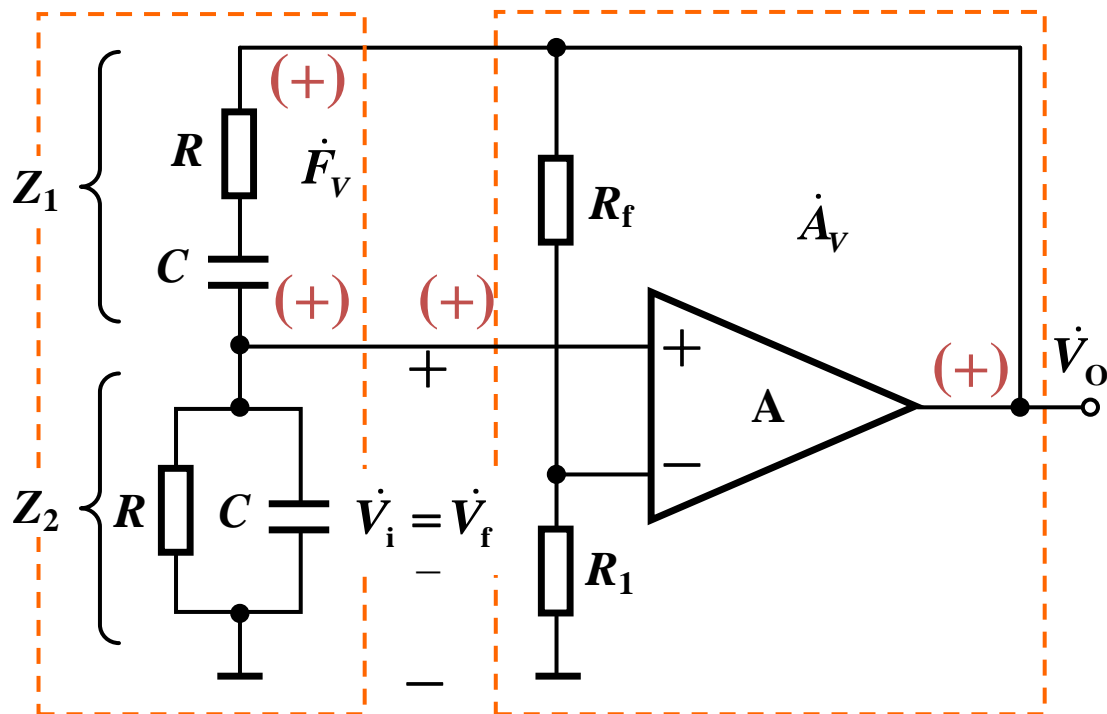
$$A_V = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 3$$

则满足振幅平衡条件

$$A_V F_V = 3 \times \frac{1}{3} = 1$$

选频网络

放大电路



输出正弦波的频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

RC正弦波振荡电路一般用于产生频率低于 1 MHz 的正弦波

10.4 RC正弦波振荡电路

4. 稳幅措施

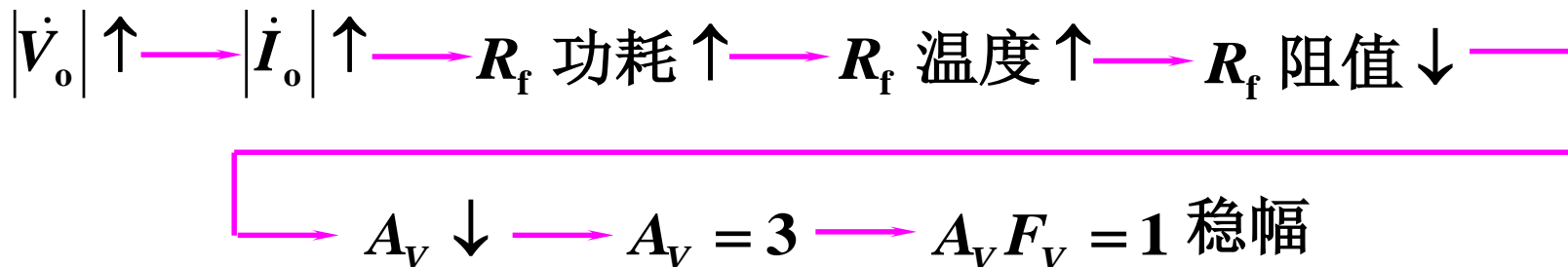
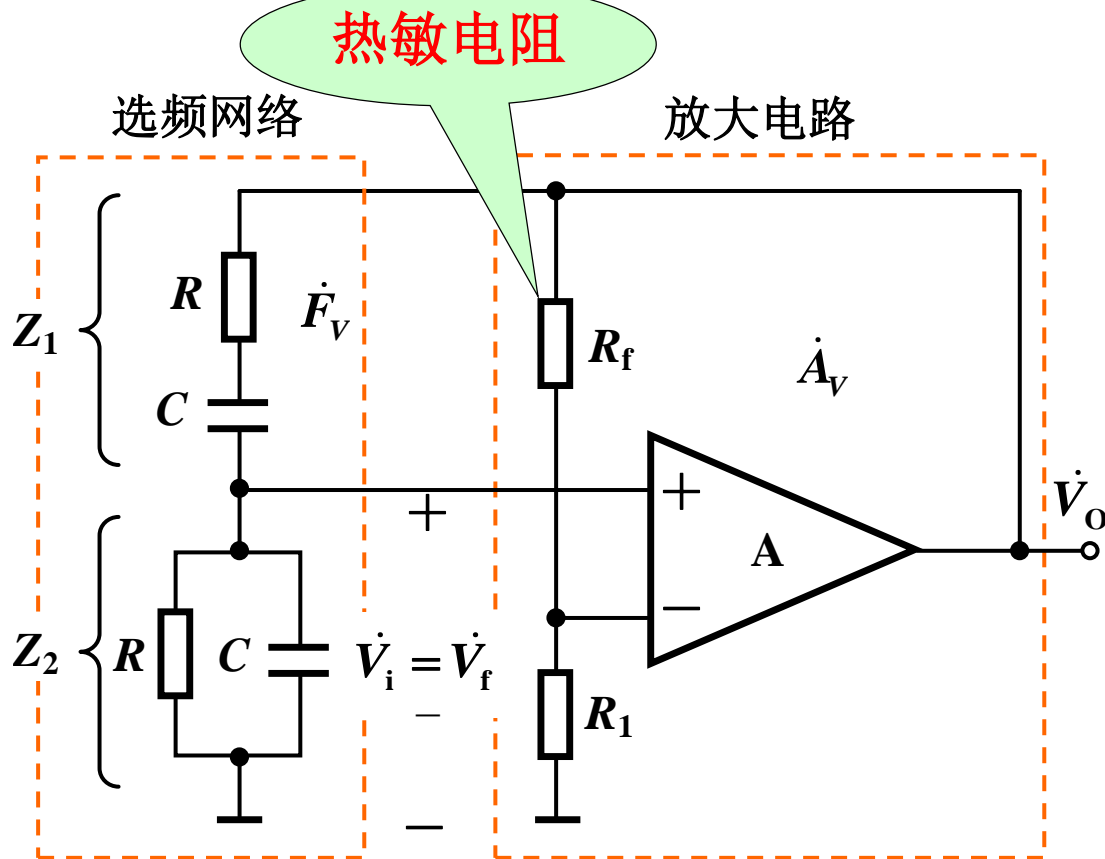
► 热敏元件

起振时

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} > 3$$

即 $A_v F_v > 1$

热敏电阻的作用



10.4 RC正弦波振

4. 稳幅措施

► 场效应管 (JFET)

D 、 R_4 、 C_3 整流滤波

T 为压控电阻

$$A_V = 1 + \frac{R_{p3}}{R_3 + R_{DS}} > 3$$

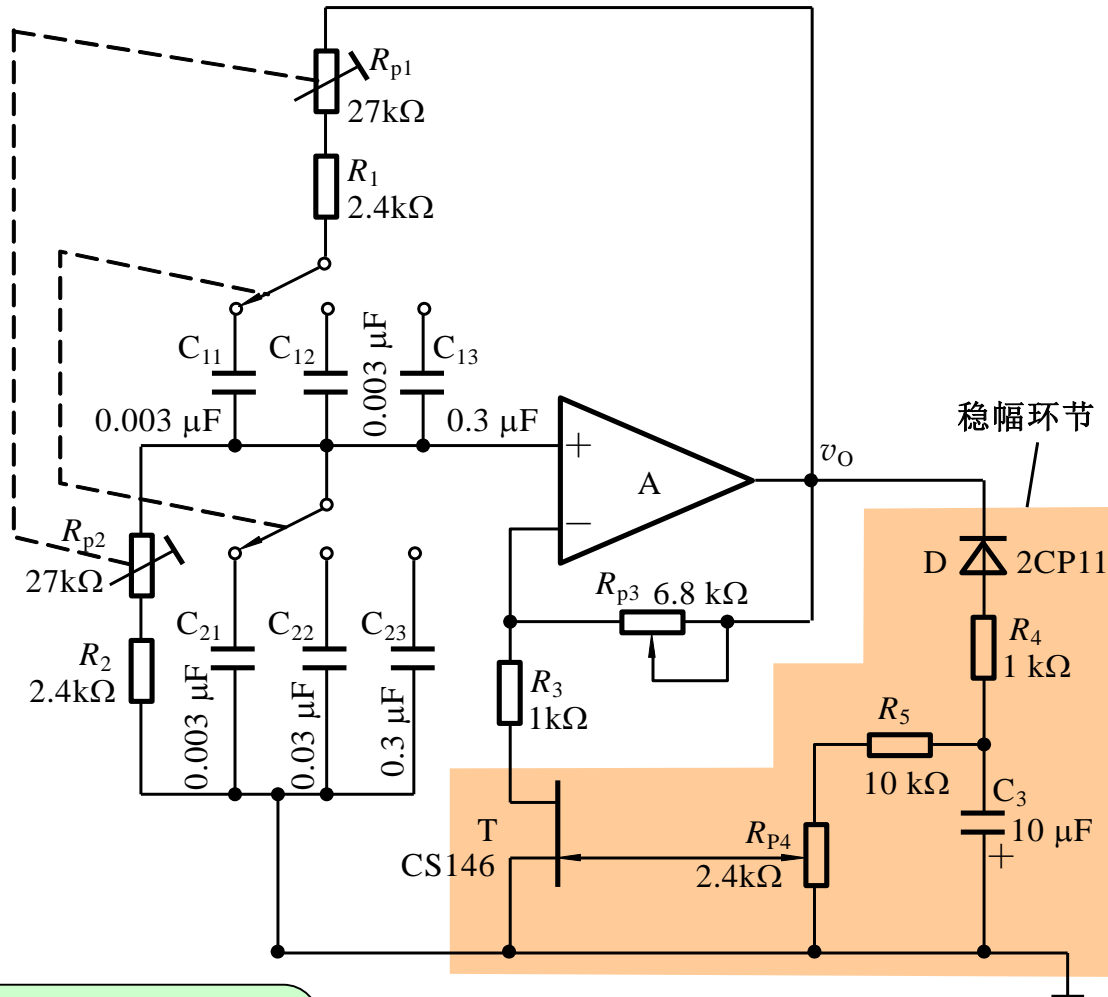
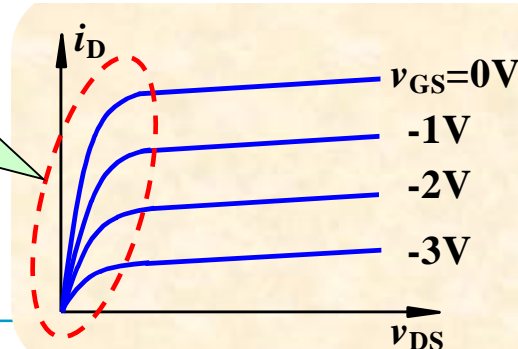
稳幅原理

$$|\dot{V}_o| \uparrow \longrightarrow |V_{GS}(\text{负值})| \uparrow$$

$$A_V \downarrow \longleftarrow R_{DS} \uparrow$$

$$A_V = 3 \longrightarrow A_V F_V = 1 \text{ 稳幅}$$

可变电阻区，
斜率随 v_{GS} 不同
而变化



10.4 RC正弦波振荡电路

4. 稳幅措施

▶ 二极管

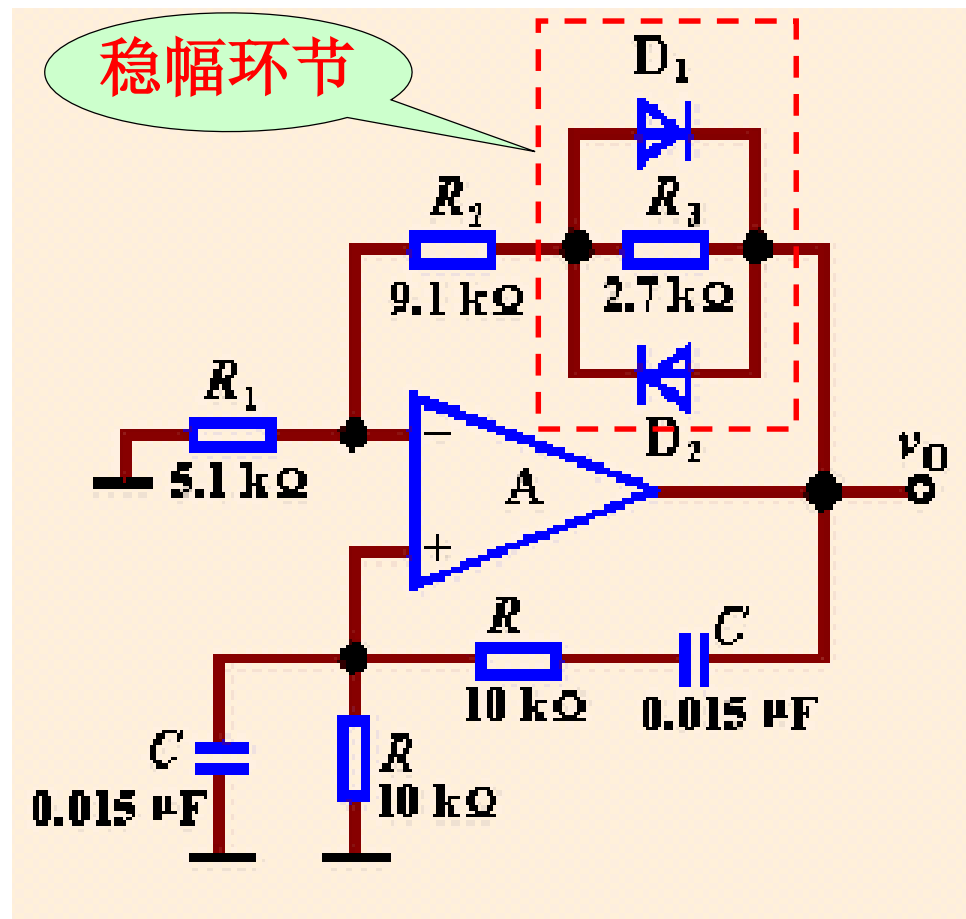
起振时

$$A_V = 1 + \frac{R_2 + R'_3}{R_1} > 3$$

其中 R'_3 是 R_3 、 D_1 和 D_2 并联支路的等效电阻

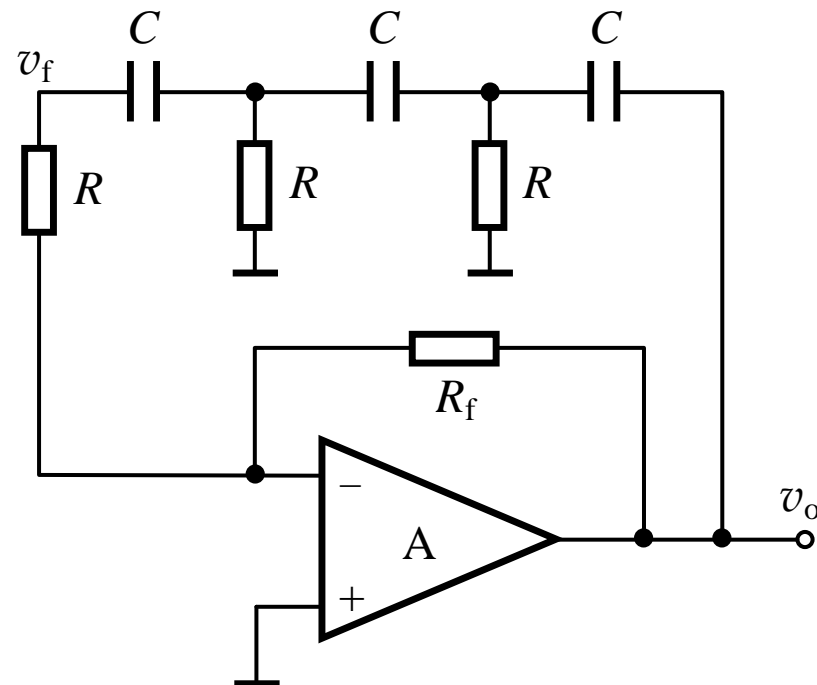
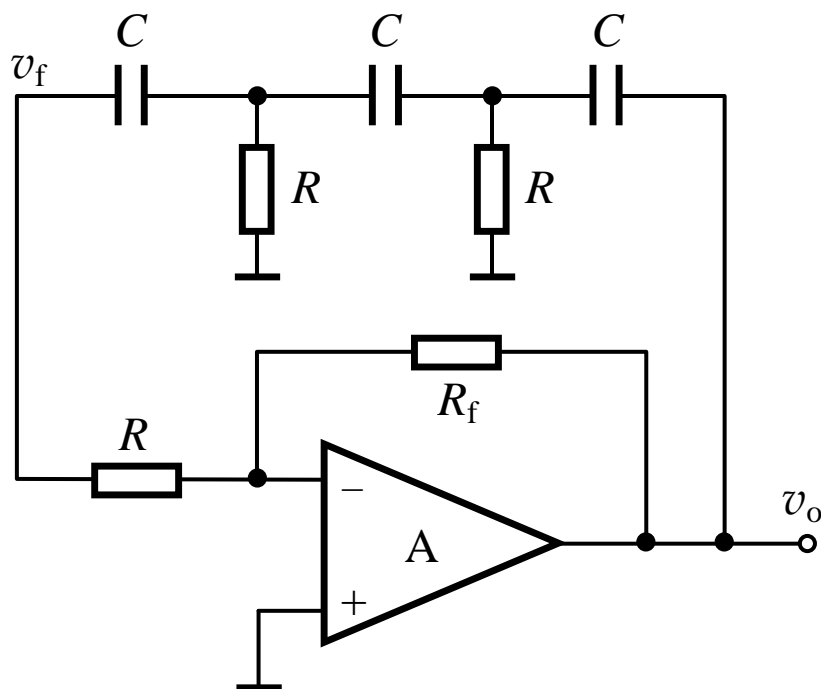
稳幅原理

$$|\dot{V}_o| \uparrow \longrightarrow R'_3 \downarrow \longrightarrow A_V \downarrow \longrightarrow A_V = 3 \longrightarrow A_V F_V = 1 \text{ 稳幅}$$



10.4 RC正弦波振荡电路

RC移相式正弦波振荡电路



10.4 RC正弦波振荡电路

RC移相式正弦波振荡电路

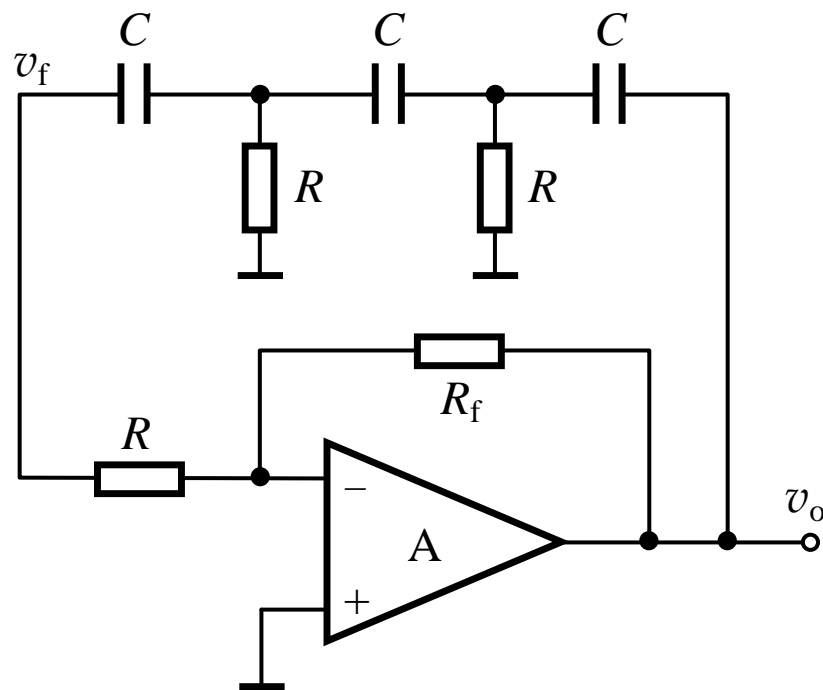
$$A_V = -\frac{v_o}{v_f} = -\frac{R_f}{R} \quad \varphi_a = 180^\circ$$

$$F_V = \frac{v_f}{v_o} = \frac{R}{R + \frac{1}{sC}} \cdot \frac{R // Z_1}{R // Z_1 + \frac{1}{sC}} \cdot \frac{R // Z_2}{R // Z_2 + \frac{1}{sC}}$$

其中 $Z_1 = R + \frac{1}{sC} \quad Z_2 = R // Z_1 + \frac{1}{sC}$

$$F_V = \frac{R^3 C^3 s^3}{R^3 C^3 s^3 + 6R^2 C^2 s^2 + 5RCs + 1}$$

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



代入 $s = j\omega$

要求 $\varphi_f = 180^\circ$

10.4 RC正弦波振荡电路

RC移相式正弦波振荡电路

$$A_v = -\frac{v_o}{v_f} = -\frac{R_f}{R} \quad \varphi_a = 180^\circ$$

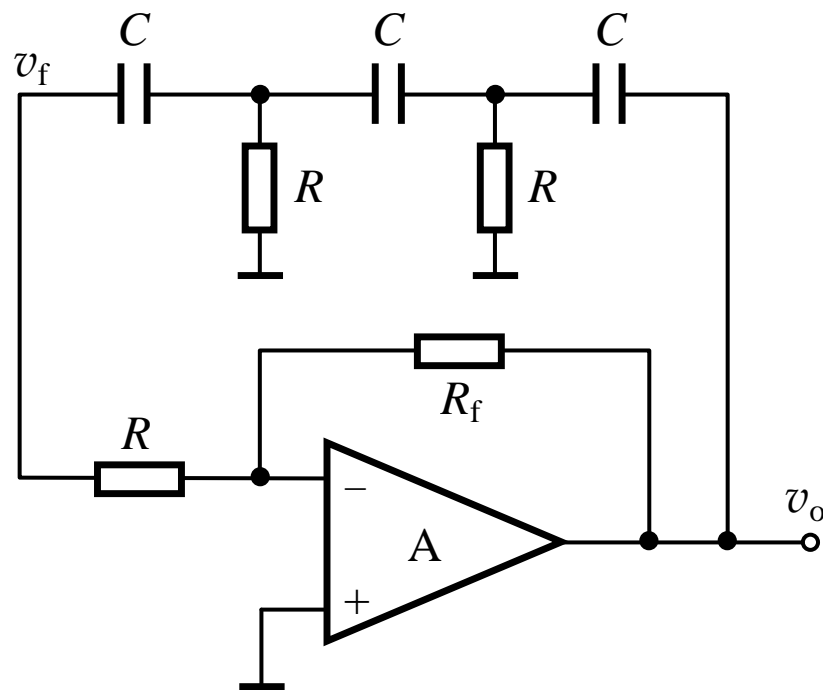
$$F_v = -\frac{jR^3C^3\omega^3}{(1-6R^2C^2\omega^2) + j(5RC\omega - R^3C^3\omega^3)}$$

要求 $\varphi_f = 180^\circ$ 即 $1 - 6R^2C^2\omega_0^2 = 0$

得 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{6RC}}$

此时 $F_v = -\frac{R^2C^2\omega_0^2}{5 - R^2C^2\omega_0^2} = -\frac{1/6}{5 - 1/6} = -\frac{1}{29}$

要求 $|A_v F_v| = 1$ 则 $|A_v| = \frac{R_f}{R} = 29$



10 信号处理与信号产生电路



10.1 有源滤波电路 (10.1, 10.2, 10.3)

10.3 正弦波振荡电路的振荡条件 (10.5)

10.4 RC 正弦波振荡电路 (10.6)

10.6 电压比较器 (10.8.1)

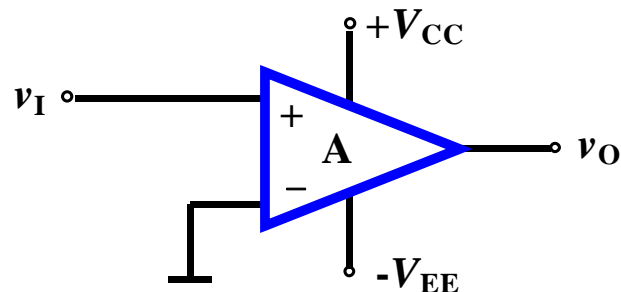
10.7 非正弦信号产生电路 (10.8.2, 10.8.3)

10.6 电压比较器

1. 单门限电压比较器

增益 A_0 大于 10^5

$$-V_{EE} \leq v_O \leq +V_{CC}$$



运算放大器工作在非线性状态下

(1) 过零比较器 (假设 $|-V_{EE}| = |+V_{CC}| = V_M$)

$|v_I| \geq \frac{V_M}{A_0}$ 时, $|v_O| = |A_0 v_I| > V_M$, 但是 $|v_O|$ 不可能超过 V_M ,

所以 $|v_{Omax}| = V_M$ (忽略了放大器输出级的饱和压降)

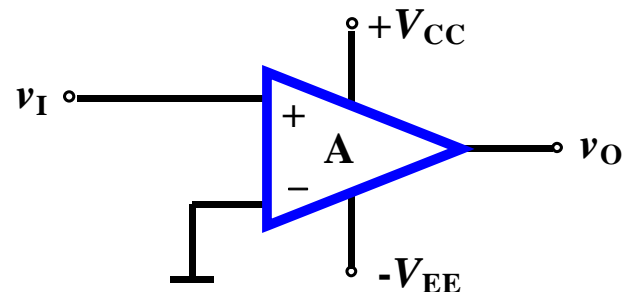
当 $|+V_{CC}| = |-V_{EE}| = V_M = 15V$, $A_0 = 10^5$ 时, $\frac{V_M}{A_0} = \frac{15}{10^5} = 0.15mV \approx 0$

可以认为 $\begin{cases} v_I > 0 \text{ 时, } v_{Omax} = +V_{CC} \\ v_I < 0 \text{ 时, } v_{Omax} = -V_{EE} \end{cases}$

(过零比较器)

10.6 电压比较器

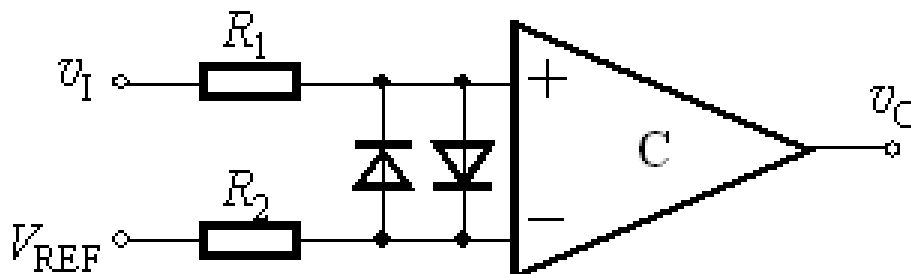
1. 单门限电压比较器



2) 注意问题

- 由于运放工作于非线性状态，所以虚短不再成立。
- 由于运放的输入电阻较大，虚断成立。

3) 提高响应速度的限幅电路



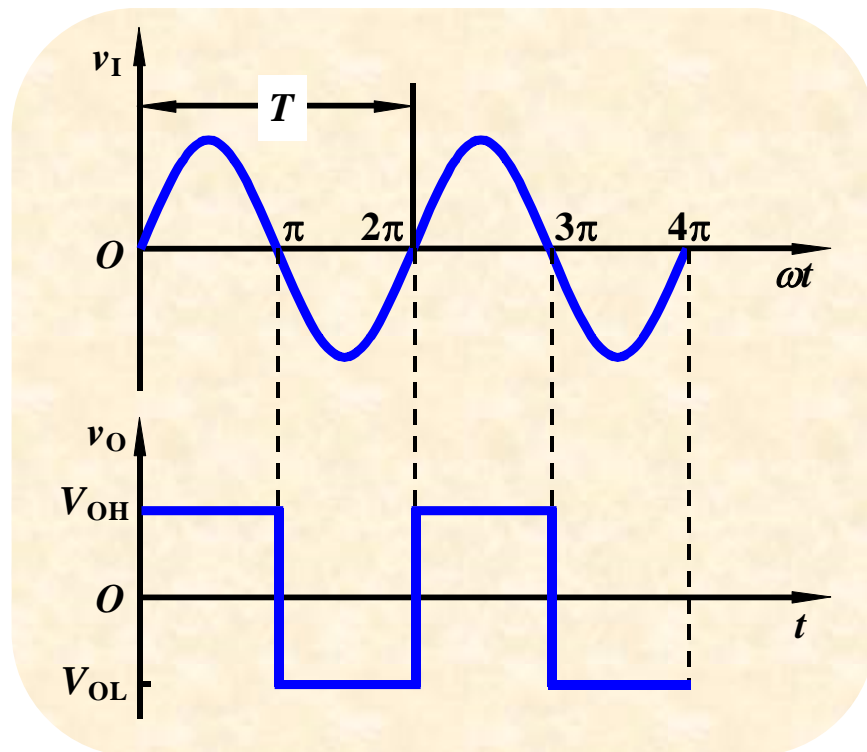
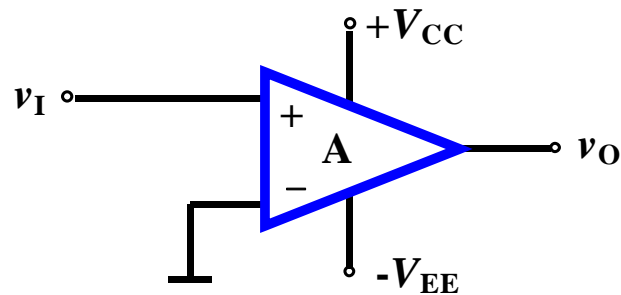
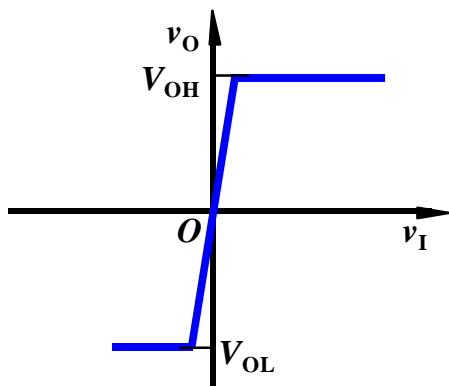
10.6 电压比较器

1. 单门限电压比较器

(1) 过零比较器

输入为正负对称的正弦波时，输出为方波。

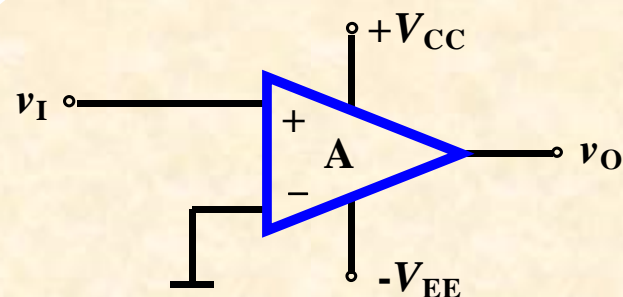
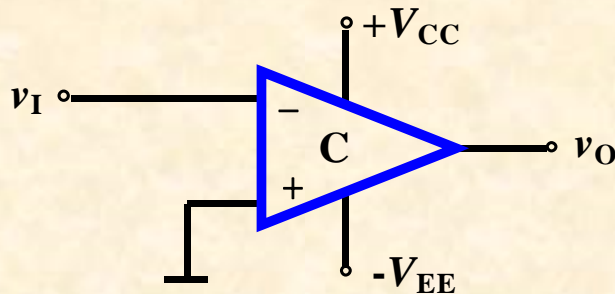
电压传输特性



10.6 电压比较器

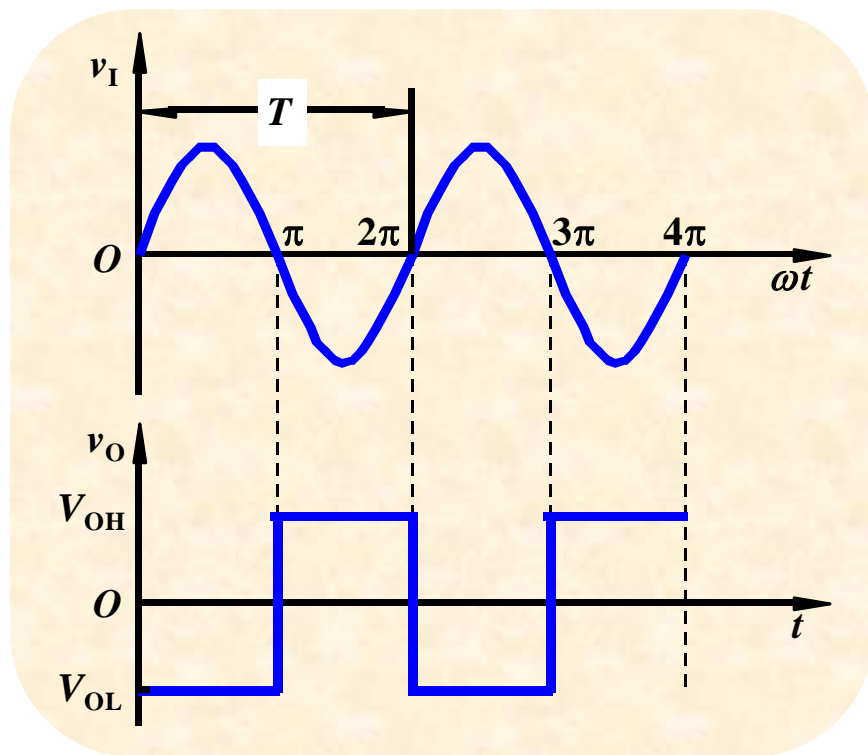
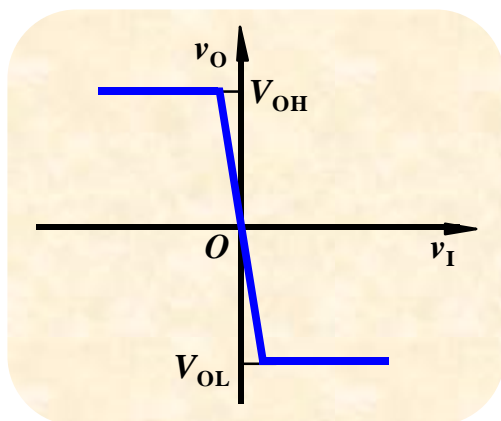
1. 单门限

思考



1. 若过零比较器如左图所示，则它的电压传输特性将是怎样的？

2. 输入为正负对称的正弦波时，输出波形是怎样的？



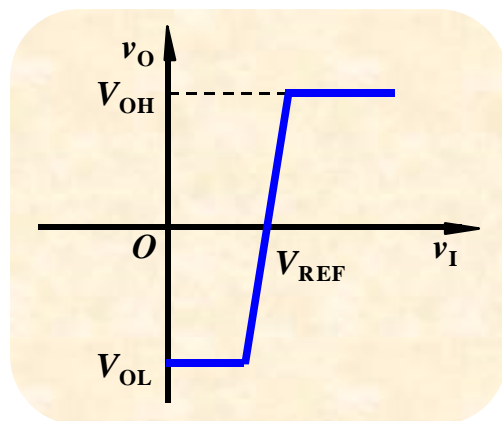
10.6 电压比较器

1. 单门限电压比较器

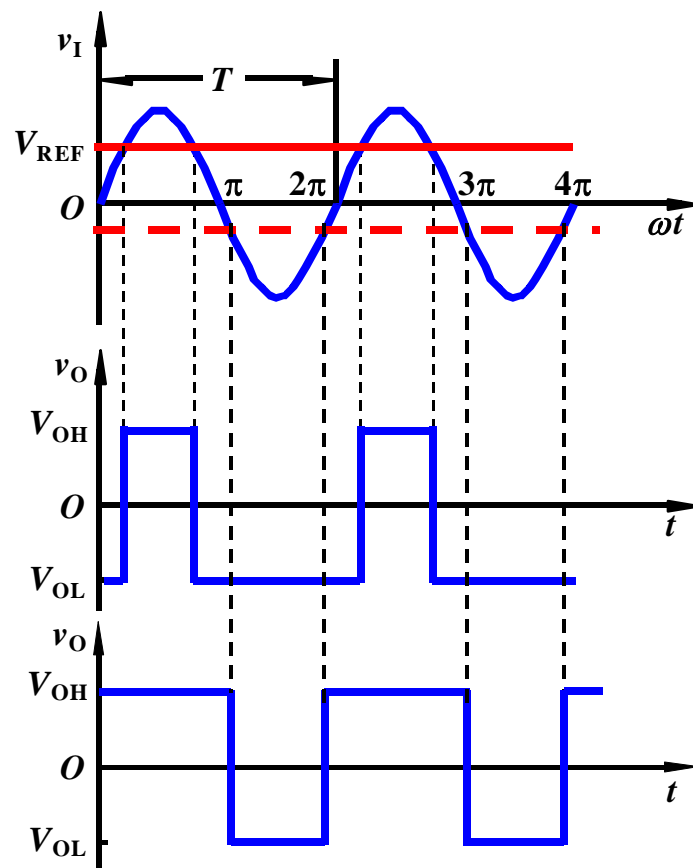
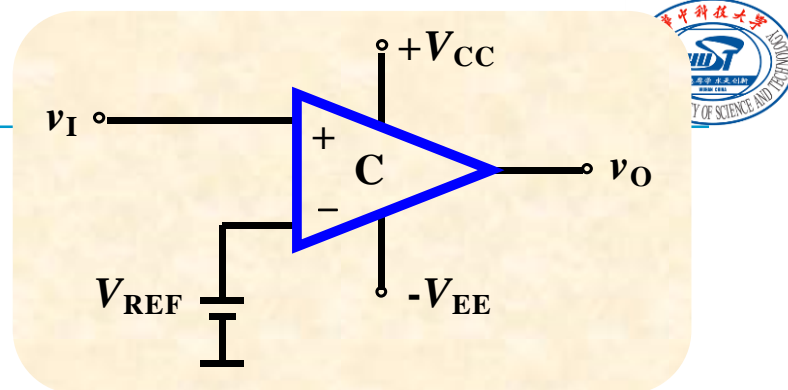
(2) 门限电压不为零的比较器

(门限电压为 V_{REF})

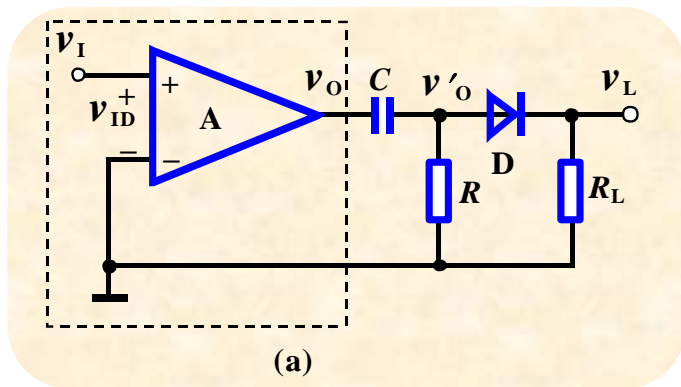
电压传输特性



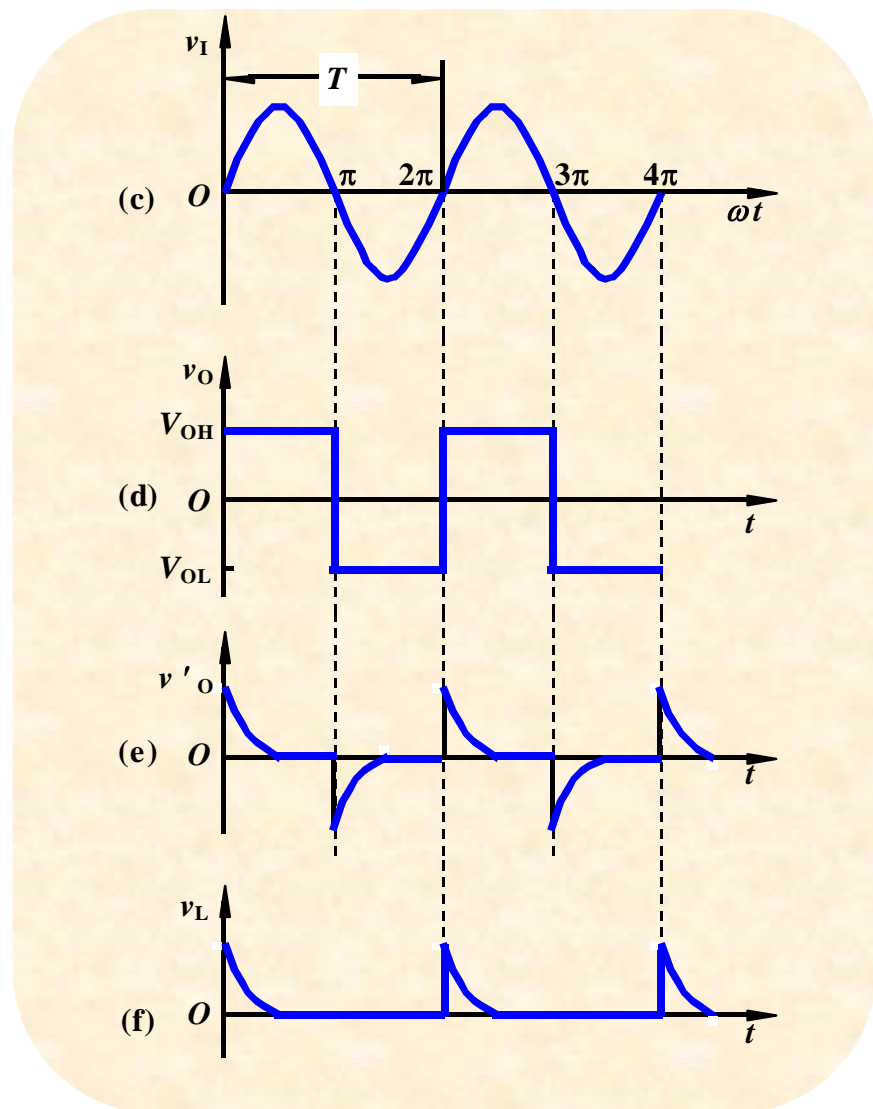
输入为正负对称的正弦波时，输出波形如图所示。



例 电路如图所示，当输入信号如图c所示的正弦波时，定性画出 v_o 、 v'_o 及 v_L 的波形。



- 解：**
- (1) A 构成过零比较器
 - (2) RC 为微分电路，
 $RC \ll T$
 - (3) D 削波（限幅、检波）

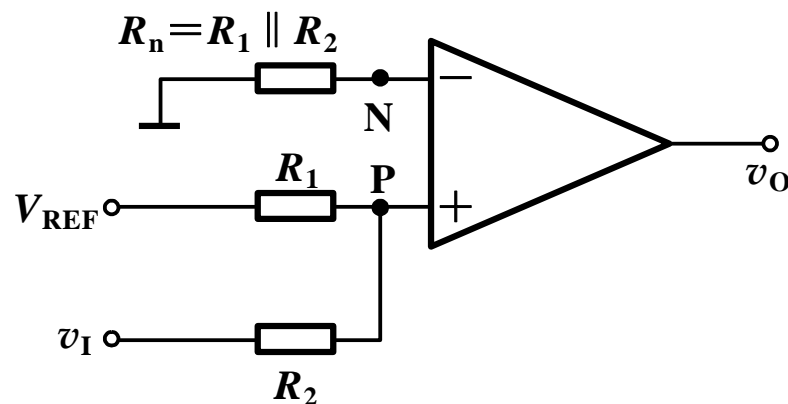


例

图示为另一种形式的单门限电压比较器，试求出其门限电压(阈值电压) V_T ，画出其电压传输特性。设运放输出的高、低电平分别为 V_{OH} 和 V_{OL} 。

解：利用叠加原理可得

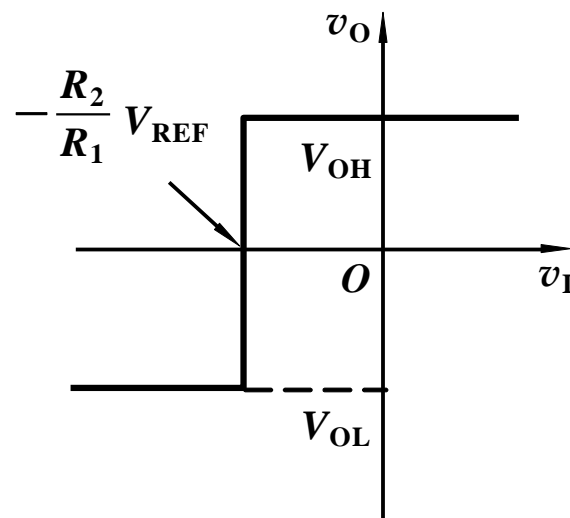
$$v_P = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{REF} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_I$$



理想情况下，输出电压发生跳变时对应的 $v_P = v_N = 0$ ，即

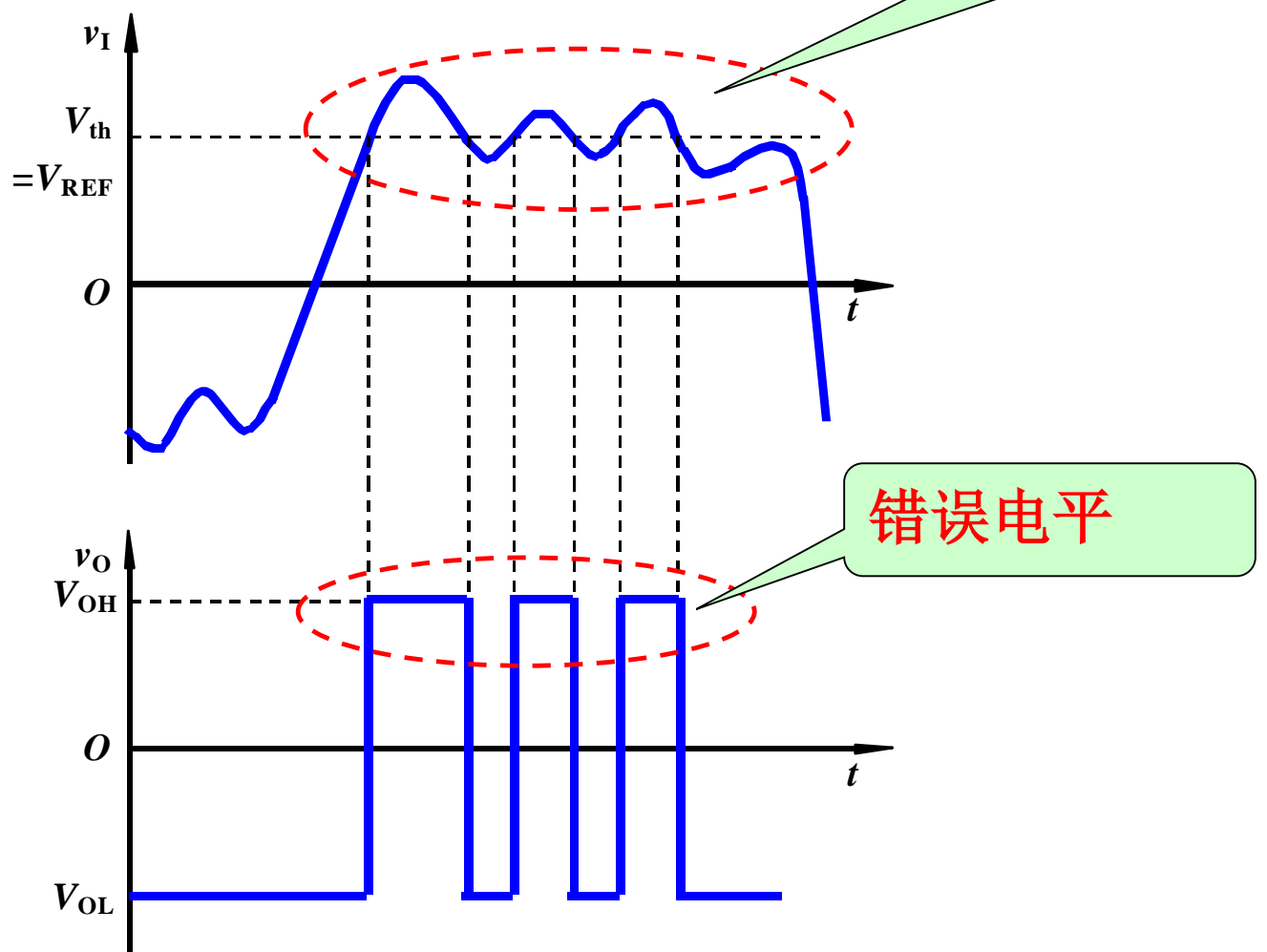
$$R_2 V_{REF} + R_1 v_I = 0$$

$$\text{门限电压 } V_T = (v_I =) -\frac{R_2}{R_1} V_{REF}$$



10.6 电压比较器

单门限比较器的抗干扰能力



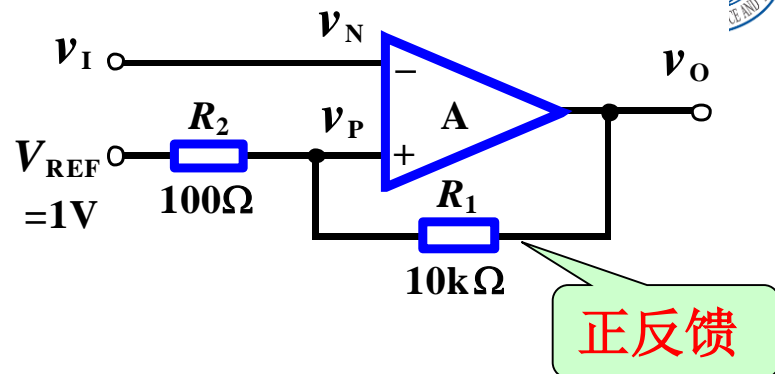
10.6 电压比较器

2. 迟滞比较器

(1) 电路组成 (反相输入)

(2) 门限电压 v_P 为门限电压,

$v_I > v_P$ 时, $v_O = V_{OL}$ (低电平) $v_I < v_P$ 时, $v_O = V_{OH}$ (高电平)



而 v_P 与 v_O 有关, 对应于 v_O 的两个电压值得得 v_P 的两个门限电压

$$\left\{ \begin{array}{ll} V_{T+} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OH}}{R_1 + R_2} & \text{上门限电压} \\ V_{T-} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OL}}{R_1 + R_2} & \text{下门限电压} \end{array} \right.$$

回差电压

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = \frac{R_2 (V_{OH} - V_{OL})}{R_1 + R_2}$$

10.6 电压比较器

2. 迟滞比较器

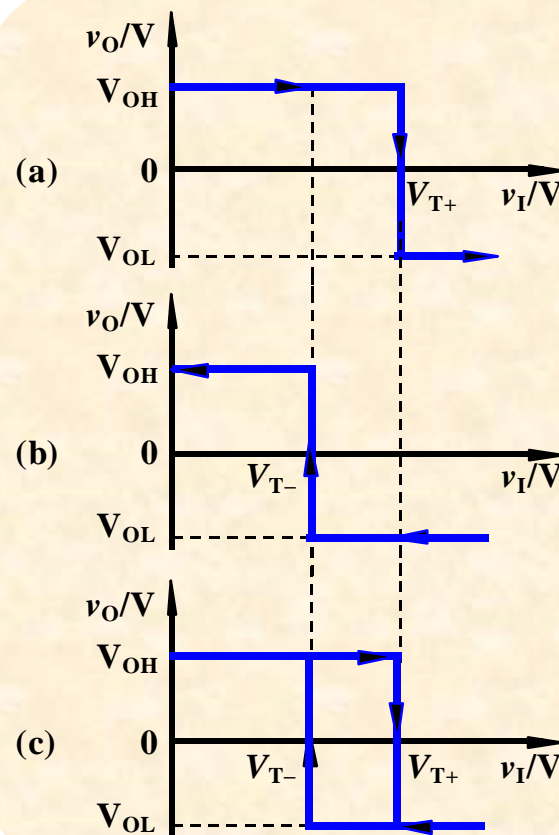
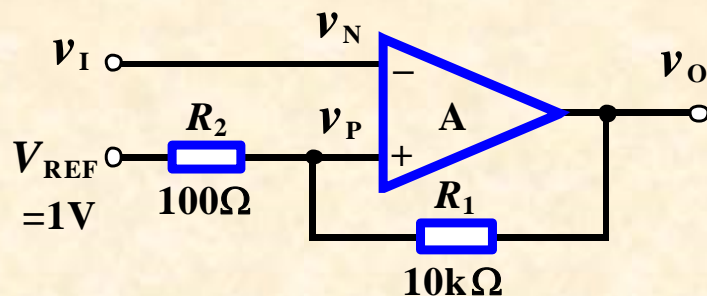
(3) 传输特性

$$V_{T+} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OH}}{R_1 + R_2}$$

$$V_{T-} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OL}}{R_1 + R_2}$$

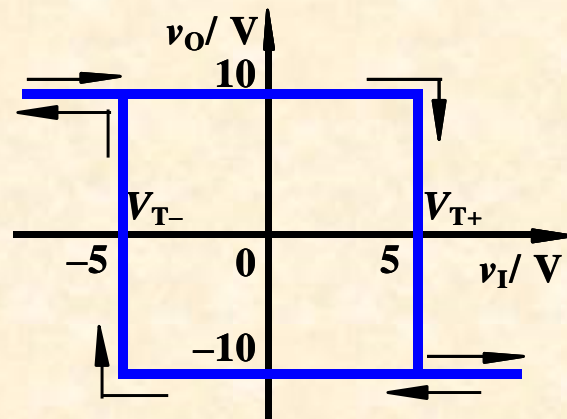
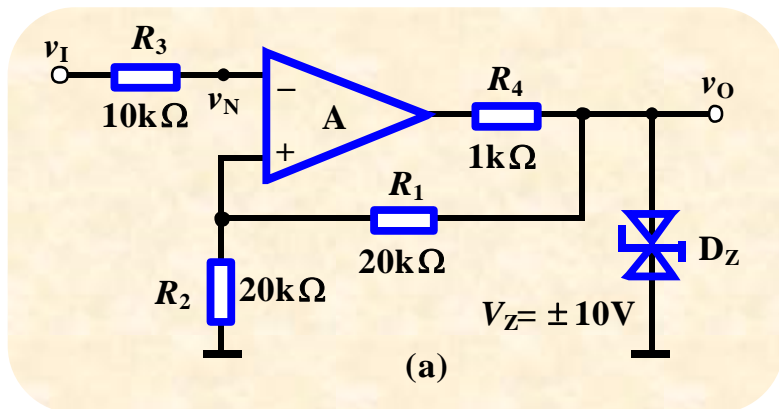
(4) 分析要点

- 门限电压随输出电压变化
- 任何时刻只有一个有效的门限电压
- 当输入介于两门限之间时输出不变。只有当输入高于有效的上门限或低于有效的下门限时，输出才翻转。翻转方向取决于输入输出的相位关系。



例

电路如图9.4.6a所示，试求门限电压，画出传输特性和图c所示输入信号下的输出电压波形。



(b)

解：(1) 门限电压

$$V_{REF} = 0 \quad V_O = \pm 10V$$

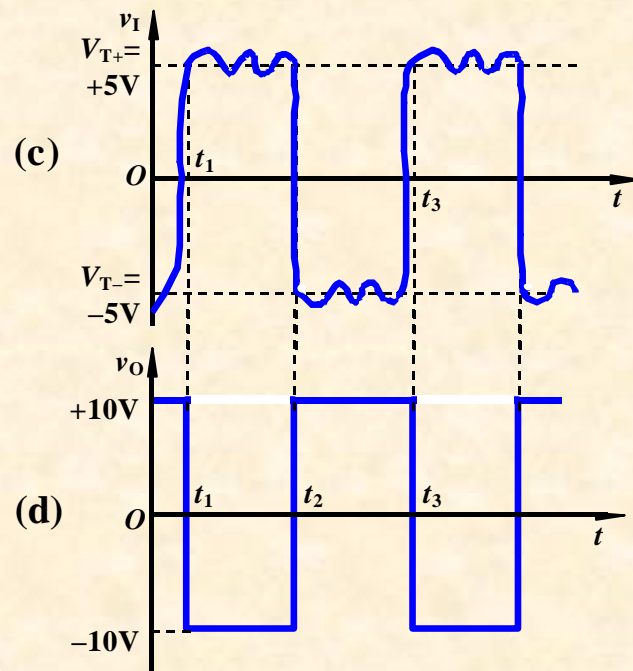
$$V_{T+} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OH}}{R_1 + R_2} = 5V$$

$$V_{T-} = \frac{R_1 V_{REF}}{R_1 + R_2} + \frac{R_2 V_{OL}}{R_1 + R_2} = -5V$$

(2) 传输特性

(3) 输出电压波形

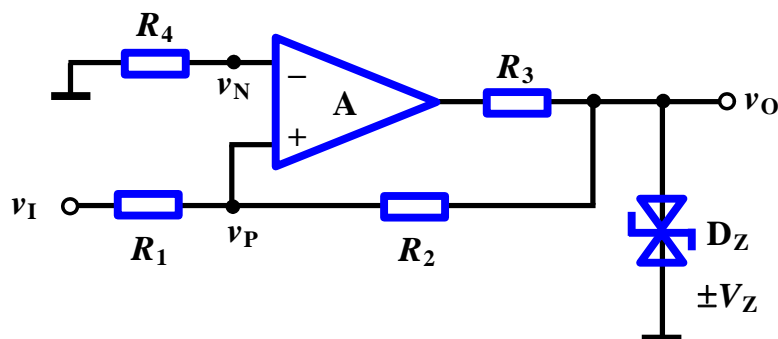
与单门限相比，迟滞比较器在电路翻转时有何特点？



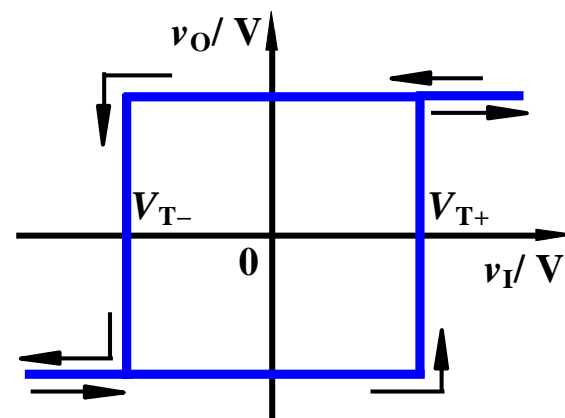
10.6 电压比较器

例

电路如图所示，试求门限电压，画出传输特性。



(2) 传输特性



解：(1) 门限电压

$$v_P = \frac{R_2 v_I}{R_1 + R_2} + \frac{R_1 v_O}{R_1 + R_2}$$

翻转时刻， $v_P = v_N = 0$ $v_O = \pm V_Z$

$$v_I = -\frac{R_1}{R_2} (\pm V_Z) \quad V_{T+} = -\frac{R_1}{R_2} (-V_Z) \quad V_{T-} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_Z$$

10.6 电压比较器

通过上述几种电压比较器的分析，可得出如下结论：

(1) 用于电压比较器的运放工作在非线性区（开环或正反馈），其输出电压只有高电平 V_{OH} 和低电 V_{OL} 两种情况。**虚短**不再成立。

(2) 一般用电压传输特性来描述输出电压与输入电压的函数关系。

(3) 电压传输特性的关键要素

输出电压的高电平 V_{OH} 和低电平 V_{OL}

门限电压

输出电压的跳变方向

- 令 $v_P = v_N$ 所求出的 v_I 就是门限电压
- v_I 等于有效门限电压时输出电压发生跳变
- 跳变方向取决于是同相输入方式还是反相输入方式

10.6 电压比较器

3. 集成电压比较器

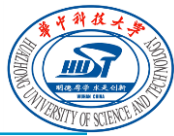
集成电压比较器与集成运算放大器比较：

开环增益低、失调电压大、共模抑制比小，灵敏度往往不如用集成运放构成的比较器高。

但集成电压比较器中无频率补偿电容，因此转换速率高，改变输出状态的典型响应时间是 $30\sim 200\text{ns}$ 。

相同条件下741集成运算放大器的响应时间为 $30\mu\text{s}$ 左右。

10 信号处理与信号产生电路



10.1 有源滤波电路 (10.1, 10.2, 10.3)

10.3 正弦波振荡电路的振荡条件 (10.5)

10.4 RC 正弦波振荡电路 (10.6)

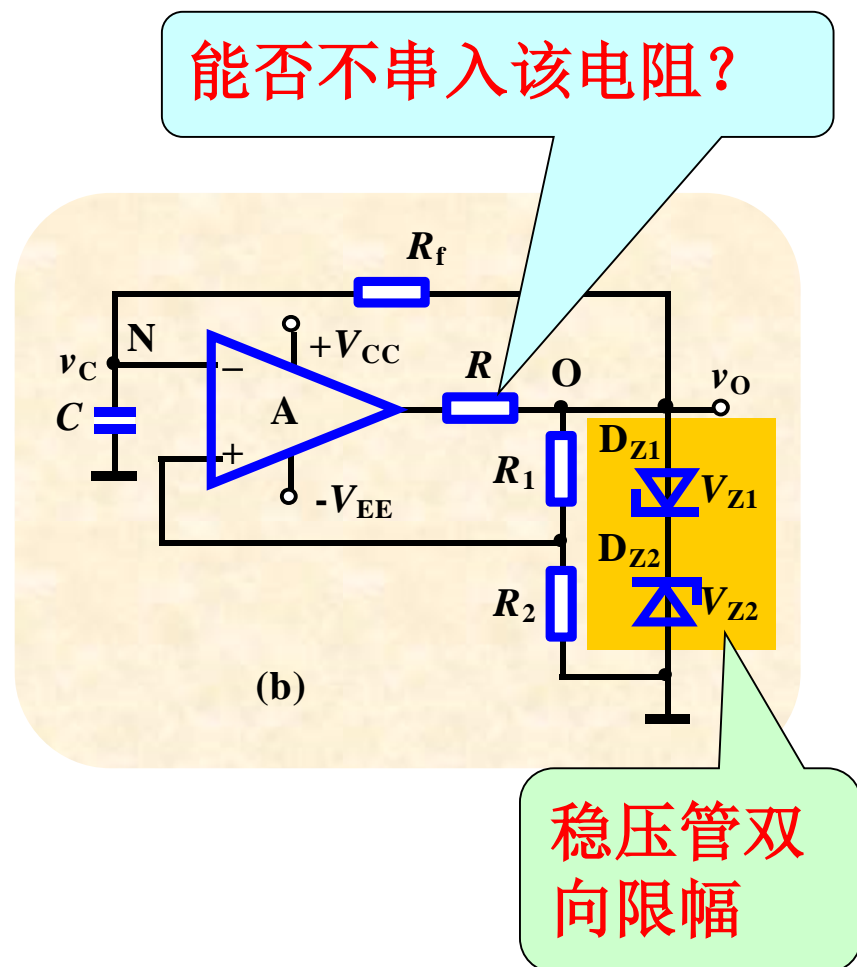
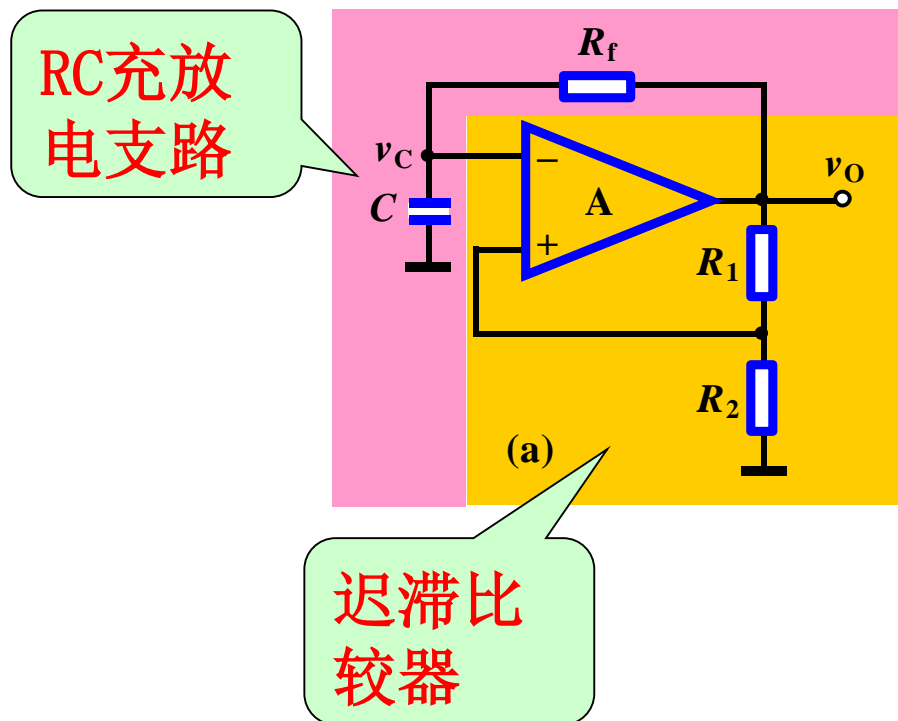
10.6 电压比较器 (10.8.1)

10.7 非正弦信号产生电路 (10.8.2, 10.8.3)

10.7 非正弦信号产生电路

1. 方波产生电路

1) 电路组成（多谐振荡电路）



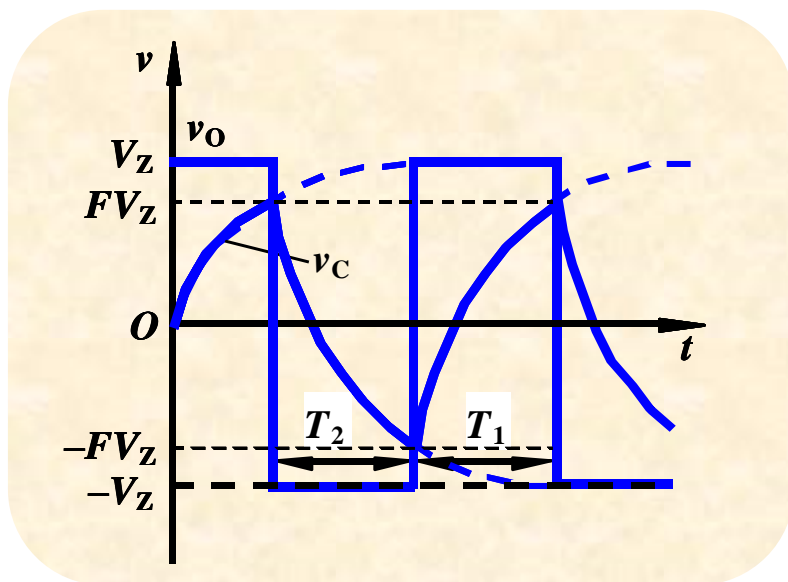
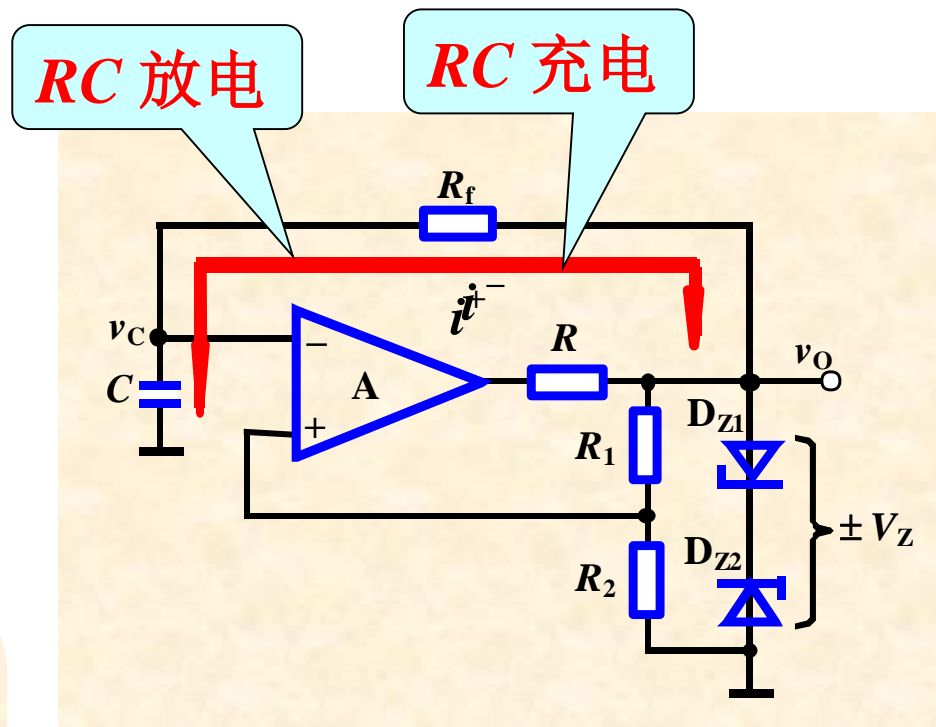
10.7 非正弦信号产生电路

1. 方波产生电路

2) 工作原理

由于迟滞比较器中正反馈的作用，电源接通后瞬间，输出便进入饱和状态。

假设为正向饱和状态



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

10.7 非正弦信号产生电路

1. 方波产生电路

3) 振荡周期

利用三要素法公式

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

其中 $v_C(\infty) = -V_Z$ $v_C(0+) = FV_Z$

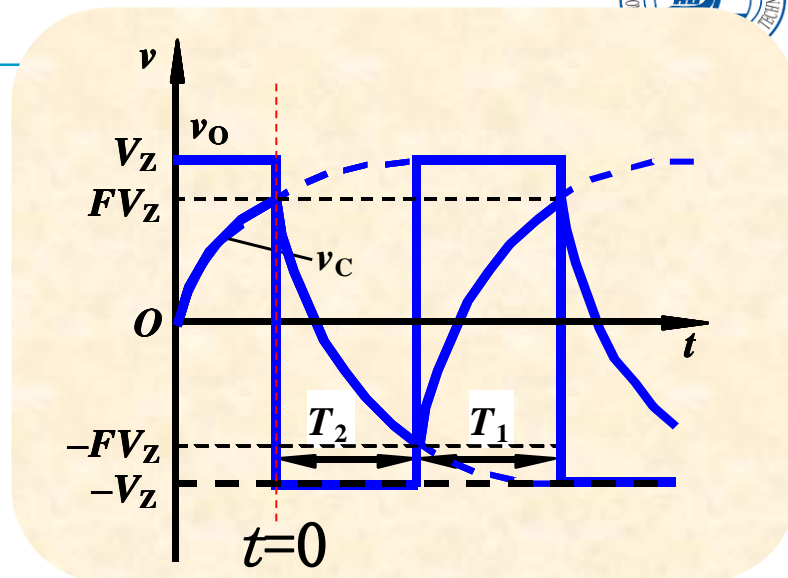
$$\tau = R_f C \quad v_C(T_2) = -FV_Z \quad F = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

则 $-FV_Z = [FV_Z + V_Z]e^{-\frac{T_2}{R_f C}} - V_Z$ 又 $T_1 = T_2$

$$\begin{aligned} \Rightarrow T_2 &= R_f C \ln \frac{1+F}{1-F} \\ &= R_f C \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow T = 2R_f C \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

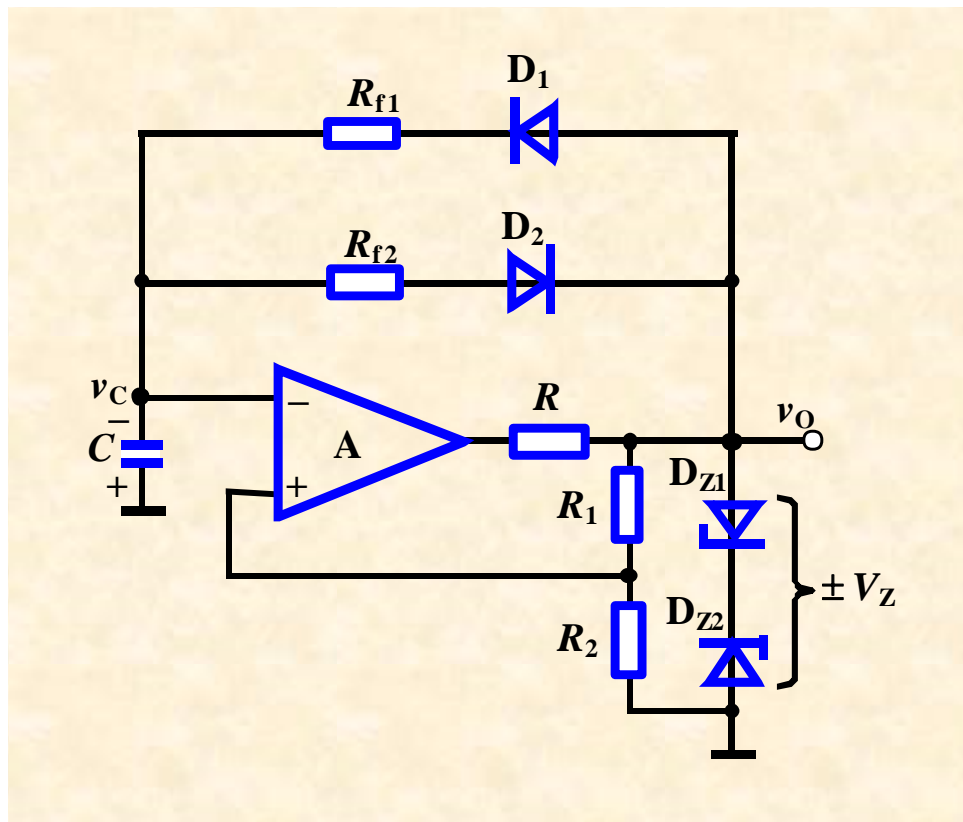
当 $F=0.462$ 时 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2R_f C}$



10.7 非正弦信号产生电路

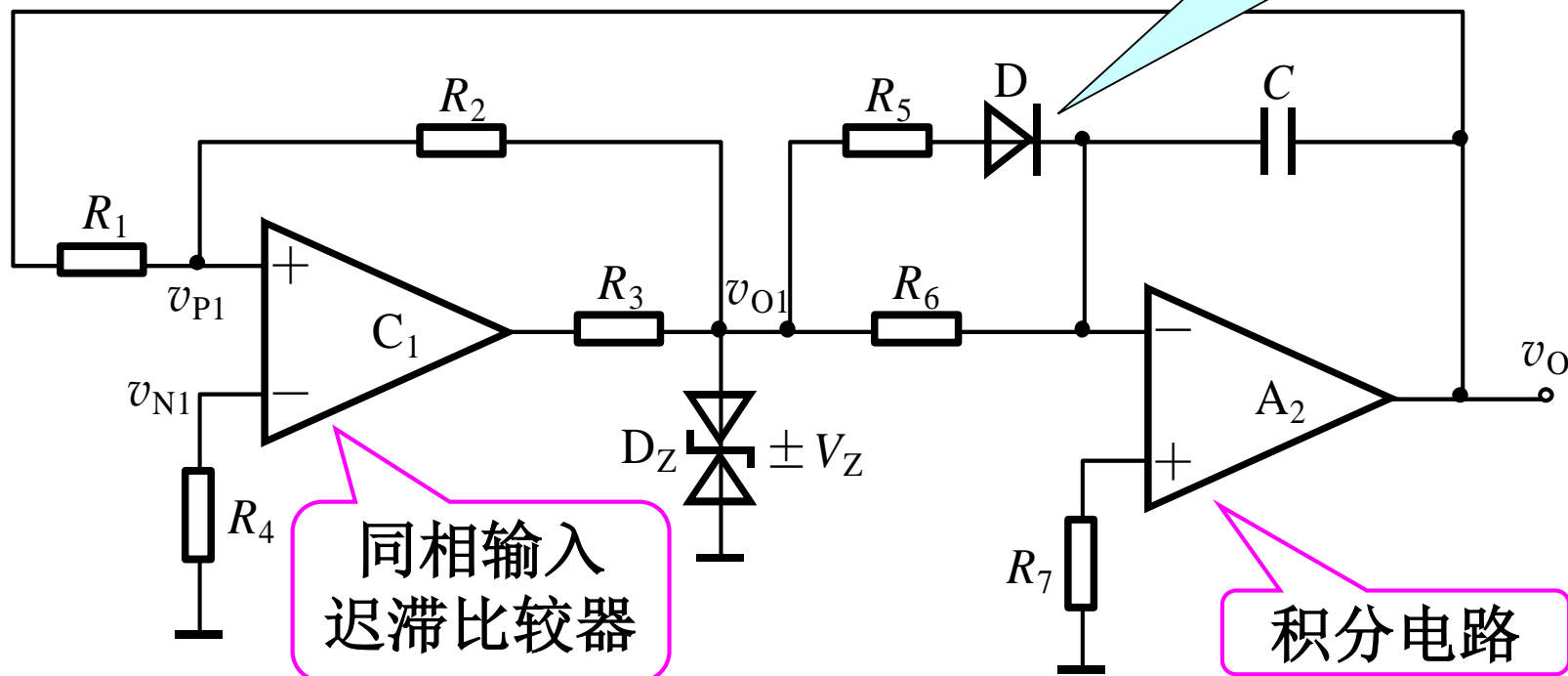
1. 方波产生电路

4) 占空比可变的方波产生电路



10.7 非正弦信号产生电路

2. 锯齿波产生电路

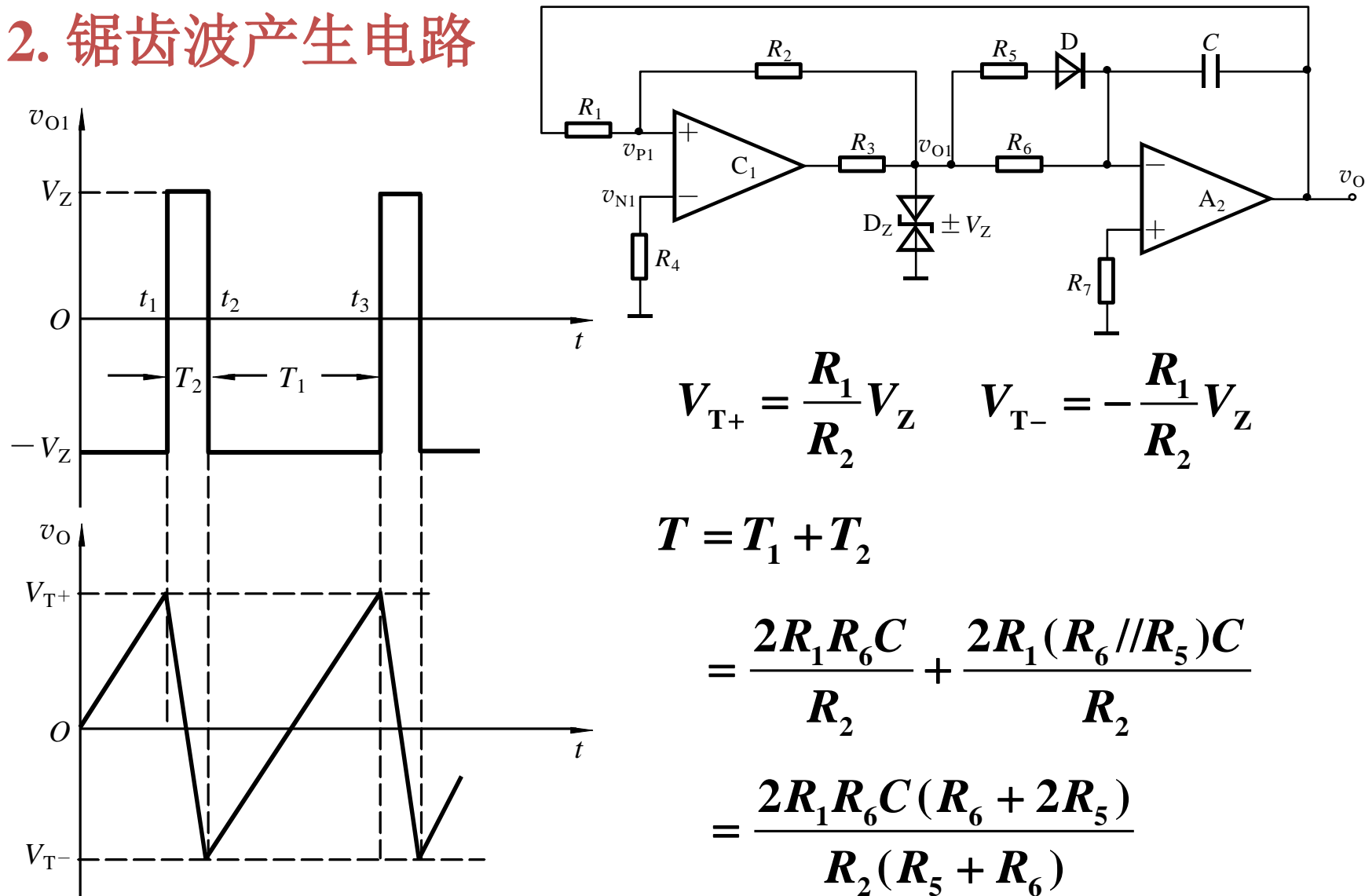


$$V_{T+} = \frac{R_1}{R_2} V_Z$$

$$V_{T-} = -\frac{R_1}{R_2} V_Z$$

10.7 非正弦信号产生电路

2. 锯齿波产生电路



Questions and Answers