

集成运放构成的信号处理电路

集成运放广泛应用于模拟信号处理，常见的有：有源滤波器、信号比较器等。

1、有源滤波器

滤波器是这样一种电路，它能使有用频率信号通过，同时抑制无用频率信号的选频电路。

滤波器通常可分为低通、高通、带通、带阻滤波器等。

(1) RC 低通滤波器

如图 1 (a) 所示，为简单 RC 低通滤波电路。

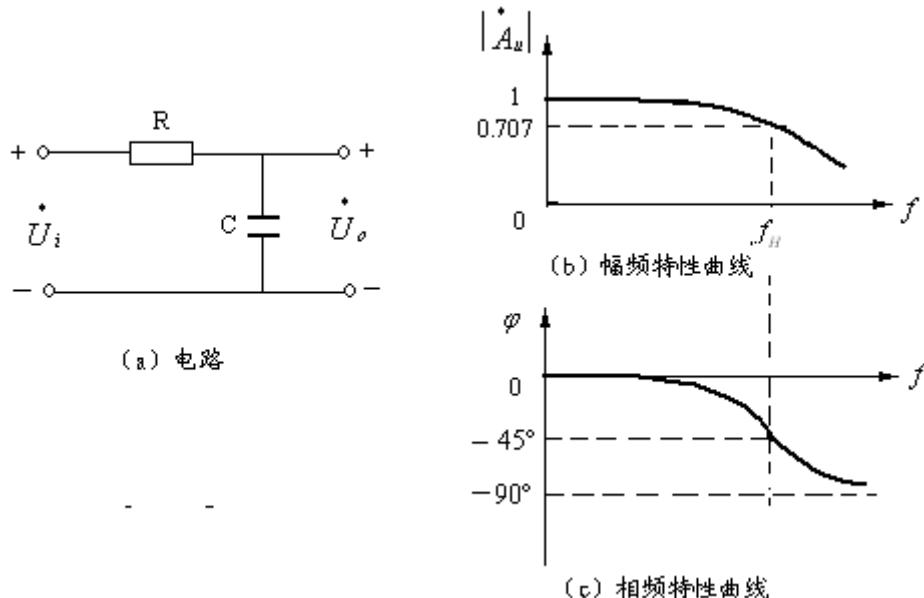


图 1 简单 RC 低通滤波电路

其电压传输系数为

$$\overset{*}{A}_u = \frac{\overset{*}{U}_o}{\overset{*}{U}_i} = \frac{1/j\omega C}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{1}{1 + j\omega CR}$$

$$\text{令 } \omega_H = \frac{1}{RC}; f_H = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$\overset{*}{A}_u = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_H}} = \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_H}}$$

其幅频特性和相频特性分别为

$$\left| A_u^* \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_H} \right)^2}}$$

$$\varphi = -\arctan \frac{\omega}{\omega_H} = -\arctan \frac{f}{f_H}$$

由上式画出幅频特性曲线如图 1 (b) 所示。

从幅频特性曲线可看出，对相同的输入电压来说，频率越高输出电压就越小。低频信号比高频信号更容易通过。

$$\text{在 } f = f_H \text{ 时, } \left| A_u^* \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707,$$

f_H 称为低通滤波电路的上限截止频率，说明 RC 低通滤波器的通带范围为 $0 \sim f_H$ 。

可画出相频特性曲线如图 1 (c) 所示。

从相频特性曲线可看出，随着频率增大， φ 趋近于 -90° ，

在 $f = f_H$ 时， $\varphi = -45^\circ$ 。

(2) RC 高通滤波器

如图 2 (a) 为简单 RC 高通滤波电路。

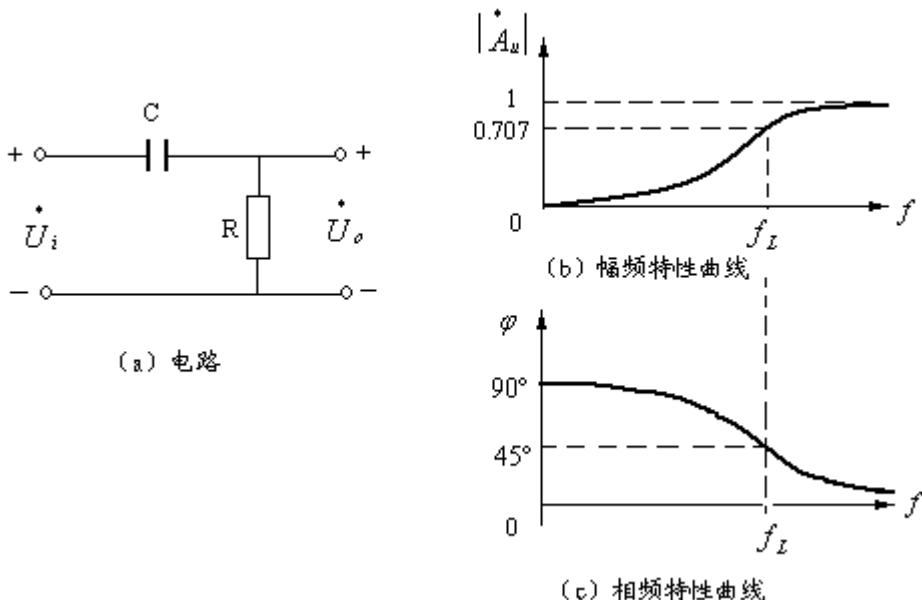


图 2 简单 RC 高通滤波电路

其电压传输系数为

$$\frac{*}{*} A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega CR}}$$

$$\text{令 } \omega_L = \frac{1}{RC}; f_L = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$\frac{*}{*} A_u = \frac{1}{1 - j\frac{\omega_L}{\omega}} = \frac{1}{1 - j\frac{f_L}{f}}$$

其幅频特性和相频特性分别为

$$\left| \frac{*}{*} A_u \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{\omega_L}{\omega})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{f_L}{f})^2}}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega_L}{\omega} = \arctan \frac{f_L}{f}$$

由上式可画出幅频特性曲线如图 2 (b) 所示；由图 2 可知， f_L 为高通滤波电路的下限截止频率，说明 RC 高通滤波器的通带范围为 $f_L \sim \infty$ ，

由上式可画出相频特性曲线如图 2 (c) 所示。

从相频特性曲线可看出，随着频率增大， φ 趋近于 0° ，

在 $f = f_L$ 时， $\varphi = 45^\circ$ 。

(3)、用集成运放构成的有源滤波器

如图 3 所示，是一阶有源滤波器，它是由同相比例运算电路和 RC 无源滤波器两部分组成。

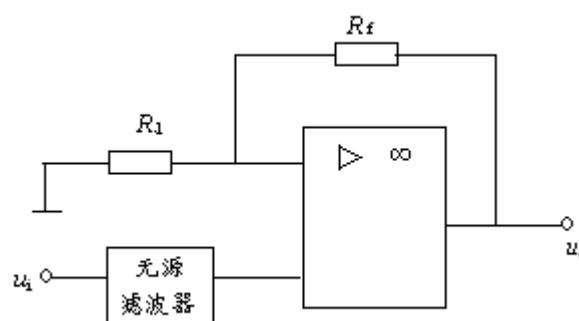


图 3 用集成运放构成的有源滤波器

因集成运放是有源器件，故将集成运放构成的滤波器称为有源滤波器。

假设无源滤波器的输出为 \dot{U}_+ ,

$$\text{则有 } \dot{U}_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) \dot{U}_+$$

由上式可知, 集成运放构成的有源滤波器具有与其内部包含的无源滤波器基本相同的频率特性及和集成运放基本相同的负载特性, 具有较好的稳定性。

例 1 分析图 4 所示电路的频率特性。

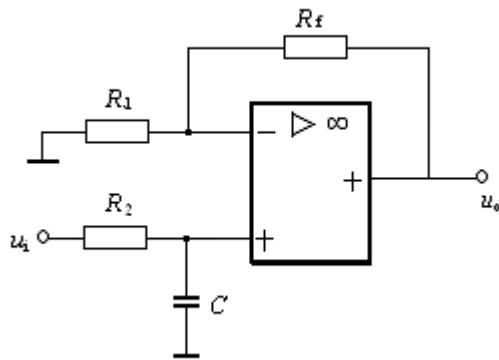


图 4 例 1 电路图

解: 无源滤波器的电压传输系数为

$$A_{u1}^* = \frac{1}{1 + j\omega CR}$$

$$\text{同相比例运放的电压放大倍数 } A_u = (1 + \frac{R_f}{R_1})$$

有源滤波器

$$\dot{U}_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) \dot{U}_+$$

有源滤波器的电压传输系数为

$$A_u^* = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i^*} = (1 + \frac{R_f}{R_1}) \frac{1}{1 + j\omega CR} = \frac{A_{uf}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_o}}$$

其幅频特性和相频特性分别为

$$\left| A_u^* \right| = \frac{|A_{uf}|}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_o})^2}}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega}{\omega_o}$$

根据上述分析可作出电路的幅频特性曲线和相频特性曲线如图 5 所示。可知电路为一阶低通滤波电路。

为了改善滤波效果,有时也将两级 RC 电路串接起来,形成二阶有源滤波器。

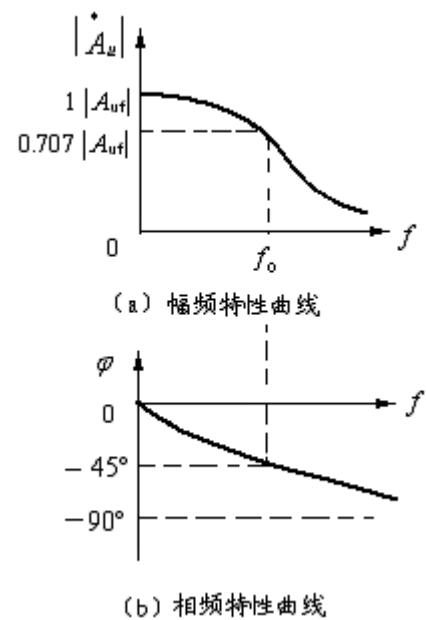


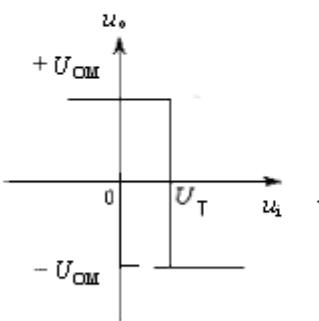
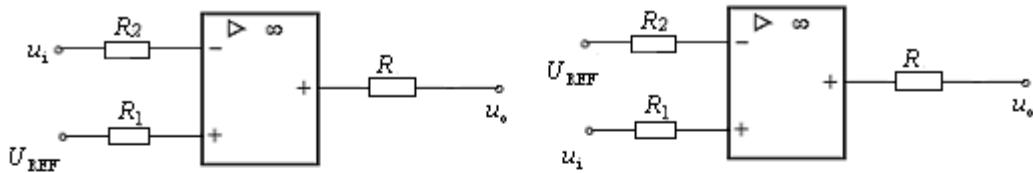
图 5 例 1

2、电压比较器

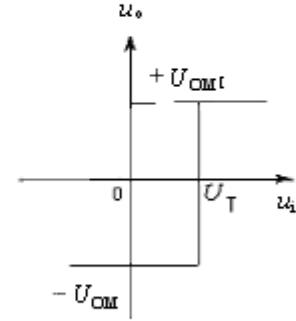
电压比较器是把输入电压信号(被测信号)与基准电压信号进行比较,根据比较结果输出高电平或低电平的电路。

通常在电压比较器中,电路不是处在开环工作状态,就是引入正反馈,集成运放工作在非线性区。输出电压与输入电压不是线性关系。输出电压只有两种情况,当 $U_+ > U_-$ 时, $U_o = +U_{OM}$; 当 $U_+ < U_-$ 时, $U_o = -U_{OM}$ 。也就是说,比较器的输入信号是连续变化的模拟量,而输出信号则只有高、低电平两种情况,可看作是数字量“1”或“0”。因此,电压比较器可以作为模拟电路与数字电路一种最简单的接口电路。

图 6 中分别是反相输入式和同相输入式单限电压比较器。它可用于检测输入信号电压是否大于或小于某一个给定的参考电压 U_{REF} ,其值可以为正,也可以为负。该电路只有一个门限电压 U_l ,故称为 单限电压比较器。



(a) 反相输入式单限电压比较器
及电压传输特性



(b) 同相输入式单限电压比较器
及电压传输特性

图 6 单限比较器

由图 6 (a) 它们可以看出, 对于反相输入式单限比较器, 当输入信号电压 $u_i > U_T$ 时, 输出电压 u_o 为 $+U_{OM}$; 当输入信号电压 $u_i < U_T$ 时, 输出电压 u_o 为 $-U_{OM}$ 。

对于同相输入式单限比较器, 当输入信号电压 $u_i > U_T$ 时, 输出电压 u_o 为 $+U_{OM}$; 当输入信号电压 $u_i < U_T$ 时, 输出电压 u_o 为 $-U_{OM}$, 见图 6 (b)。

当输入信号 u_i 增大或减小的过程中, 只要经过某一电压值, 输出电压 u_o 就发生跳变, 传输特性上输出电压发生转换时的输入电压称为门限电压 U_T (或阈值电压)。

当阈值电压 U_T 为零时, 比较器称为过零电压比较器, 简称过零比较器。过零比较器实际上是单限比较器的一种特例。其电路和电压传输特性见图 7。

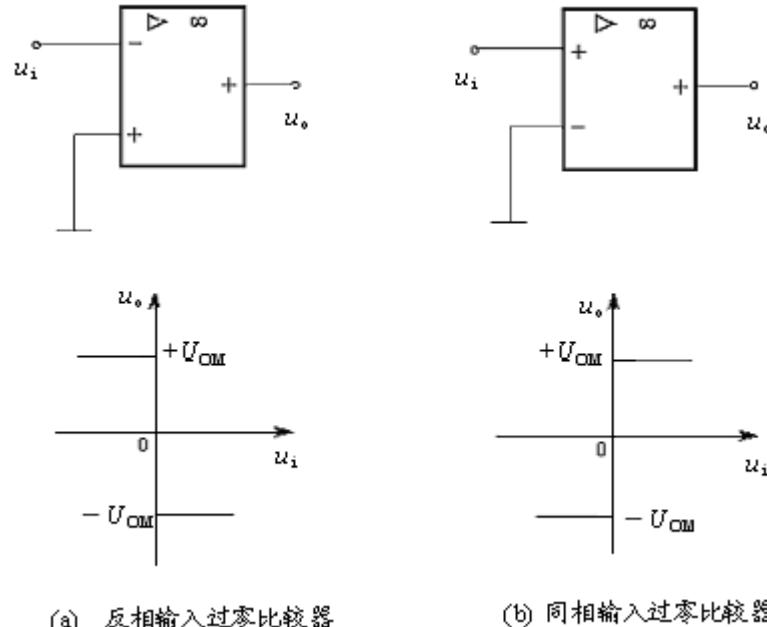


图 7 过零电压比较器

为了使比较器的输出电压等于某个特定值，可以采取限幅的措施。图 8 (a) 中，电阻 R 和双向稳压管 U_z 构成限幅电路，稳压管的稳压值 $U_z < U_{OM}$ ， U_z 的正向导通电压为 U_D 。所以输出电压 $u_o = \pm (U_z + U_D)$ 。在实用电路中常将稳压管接到集成运放的反相输入端，如图 8 (b) 所示。

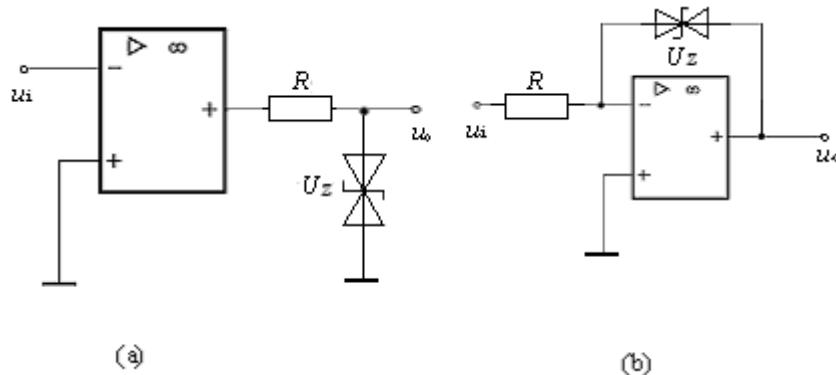


图 8 带稳压管的过零电压比较器

例 2 电路如图 9 所示，(1) 试画出它的传输特性。(2) 当输入电压 $u_i = 6 \sin \omega t (V)$ 时，画出输出电压 u_o 的波形。

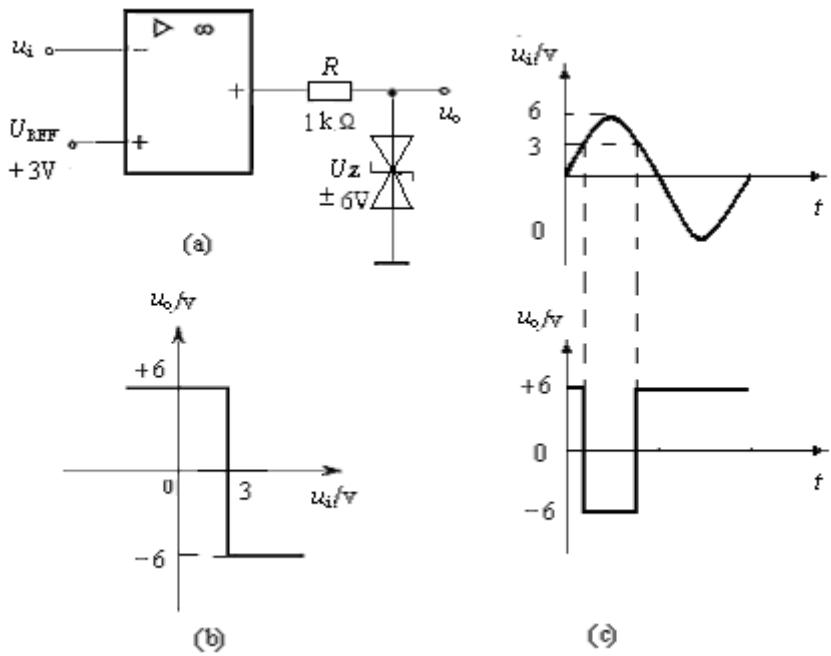


图 9 例 2

解：(1) 由图可知电路为反相输入单限比较器， $U_t=3V$ ，当 $u_i>3V$ 时，输出电压 u_o 为 $-6V$ ；当输入信号电压 $u_i<3V$ 时，输出电压 u_o 为 $+6V$ 。传输特性见图 (b)。

(2)根据传输特性可画出输出电压 u_o 的波形见 (c)。