

新型多功能单 OFC 电流型滤波器^{*}

洪 澜 任 山 吴 杰

(中山大学物理学系, 广州 510275) (湖南大学电气系)

摘 要 提出了一种新型的采用单块浮点运算传输器 (OFC) 实现多功能滤波特性的设计方法, 并由此综合出高通、低通、带通、全通、带阻滤波器. 该电路还具有低的灵敏度. 电路采用 PSPICE 模拟, 结果与理论分析一致.

关键词 电流模式, 滤波器, 有源网络

分类号 TN 713. 8

电流模式电路在带宽、功耗等方面优于传统的电压模式电路, 因而受到广泛关注^[1,2]. 有源电流滤波器设计是其中较重要的一大课题. 尤其浮点运算传输器 (Operation Floation Convertor 简称 OFC) 是在众多的电流型有源器件中最为引人注目的一种. 它即具有与电流传输器和电流反馈运算放大器类似的传输特性, 又另附加一个电流输出端, 从而可获得精确的输出采样电流, 因而 OFC 是一种更加灵活、通用、方便的电路模型^[3,4].

目前, 较为成熟的单 OFC 滤波结构一般不能同时实现五类双二阶滤波函数. 本文提出了一种新型多功能 OFC 有源 RC 滤波器, 它可实现带通、低通、高通、全通和陷波特性, 这些电路使用无源元件少, 灵敏度低, 电路简单, 在目前同类电路中尚未见报道.

1 新型多功能 OFC 滤波器的实现

根据 OFC 器件的端口特性, 经过大量的电路构造和设想, 以及大量的理论分析推导, 终于得出了如图 1 所示的双二次滤波函数综合电路. 该电路综合性强, 它可以实现各种各样的传递函数, 如高通、低通、带通等. 图中 OFC 为四端有源器件, 其端口特性如 (1) 式混合矩阵所示:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ I_y \\ V_w \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_x \\ V_y \\ I_w \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

根据这一端口特性, 对图 1 进行简单的电路分析, 满足条件: $V_x = V_y$, $i_z = -i_w$, 可得出如下电流传输函数

$$H(s) = I_o(s) / I_i(s) = (Y_3 Y_2 - Y_3 Y_4) / (Y_1 Y_2 + Y_1 Y_3 + Y_2 Y_3 + Y_4 Y_2) \quad (2)$$

^{*} 收稿日期: 1996-09-02 洪澜, 女, 34 岁, 副教授

(1) 令 (2) 式中 $Y_1 = 0, Y_2 = Y_3 = 1/R_2 + SC_2, Y_4 = 1/(R_2 + 1/SC)$, 并满足 $C_2 = C_4(1 - R_4/R_2)$ 条件时, 图 1 结构能实现二阶陷波器.

$$H(s) = \frac{I_o(s)}{I_i(s)} = \frac{S^2 C_2 C_4 R_2 R_4 + 1}{S^2 C_2 C_4 R_2 R_4 + S(C_4 R_4 + C_2 R_2) + 1} \quad (3)$$

同样, 如果选择不同的无源电路, 可得各种规范陷波电路 (另文详述).

(2) 令 $Y_1 = 1/R_1 + SC_1, Y_2 = 1/R_2, Y_3 = SC_3, Y_4 = 0$, 则可综合带通滤波特性

$$H(s) = \frac{I_o(s)}{I_i(s)} = \frac{(1/C_1 R_2) S}{S^2 + S[(1/C_1)(1/R_2 + 1/R_1) + 1/C_3 R_2] + 1/C_1 C_3 R_2 R_1} \quad (4)$$

(3) 令 $Y_1 = SC, Y_2 = (1/R_2) + SC_2, Y_3 = 1/R_3, Y_4 = SC_4$, 可得二阶低通滤波函数

$$H(s) = \frac{1}{R_2 R_3 (C_1 C_2 + C_2 C_4)} \left[S^2 + \frac{C_1/R_2 + C_1/R_3 + C_2/R_3 + C_4/R_2}{C_1 C_2 + C_2 C_4} S + \frac{1}{R_2 R_3 (C_1 C_2 + C_2 C_4)} \right] \quad (5)$$

(4) 令 $Y_1 = 1/R_1, Y_2 = SC_2 + 1/R_2, Y_3 = SC_3, Y_4 = SC_4 + 1/R_4$, 则可得到高通滤波函数

$$H(s) = \frac{I_o(s)}{I_i(s)} = \frac{C_3(C_2 - C_4)}{C_2 C_3 + C_2 C_4} S^2 \left[S^2 + \frac{C_2/R_1 + C_3/R_1 + C_3/R_2 + C_2/R_4 + C_4/R_2}{C_2 C_3 + C_2 C_4} S + \frac{1/R_1 R_2 + 1/R_2 R_4}{C_2 C_3 + C_2 C_4} \right] \quad (6)$$

(5) 令 $Y_1 = 0, Y_2 = 1/R_2, Y_3 = 1/R_3, Y_4 = SC_4 + 1/R_4$, 可得到全通函数

$$H(s) = \frac{I_o(s)}{I_i(s)} = \left[-\frac{SC_4}{R_3} + \left(\frac{1}{R_3 R_2} - \frac{1}{R_3 R_4} \right) \right] \left[\frac{SC_4}{R_2} + \frac{1}{R_2} \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \right] \quad (7)$$

实际上, 图 1 结构能实现形如 $(a_2 s^2 + a_1 s + a_0)/(b_2 s^2 + b_1 s + b_0)$ 的一般双二次函数. 并且, 所用元件及电路结构简单, 为我们提供了较大的自由度. 一方面使 Q, W_0 调节方便, 另一方面通过外接元件的调整在一定程度上可弥补 OFC 器件非理想特性带来的影响. 由于元件可调, 几种匹配条件很容易满足.

2 灵敏度分析

我们对上述各滤波电路进行灵敏度分析, 发现各电路的灵敏度均较低, 例如, 陷波电路的各参数灵敏度为:

$$\begin{aligned} S_{R_2}^{W_0} = S_{R_4}^{W_0} = S_{C_2}^{W_0} = S_{C_4}^{W_0} &= -1/2; & S_{R_2}^K &= -1/2 - C_2 R_2 \Delta \\ S_{R_4}^K &= -1/2 - R_4(C_2 + C_4) \Delta; & S_{C_2}^K &= -1/2 - C_2(R_2 + R_4) \Delta \\ S_{C_4}^K &= -1/2 - C_4 R_4 \Delta; & S_{R_2}^H = S_{R_4}^H = S_{C_2}^H = S_{C_4}^H &= 0 \end{aligned}$$

这里 $\Delta = C_2 R_2 + C_4 R_4 + C_2 R_4$, 由此可见, 该结构元件分散性小, 灵敏度较低.

3 实验结果与结论

对本文提出的 5 种滤波电路进行了计算机 PSPICE 仿真实验^[5].

(1) 陷波电路选取 $f_0 = 10 \text{ kHz}, R_2 = R_3 = 2R_4 = 7.6 \text{ k}\Omega, C_2 = C_3 = 2.1 \text{ nF}, C_4 = 4.2 \text{ nF}$, 得图 2a 传输特性曲线.

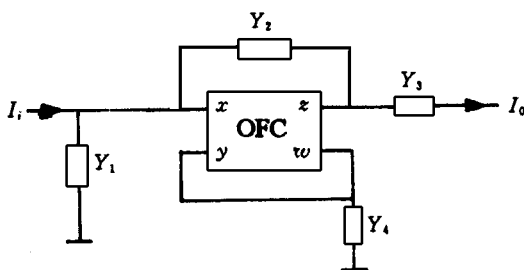


图 1 OFC 双二次滤波函数的综合电路

Fig. 1 The biquads circuit using single OFC

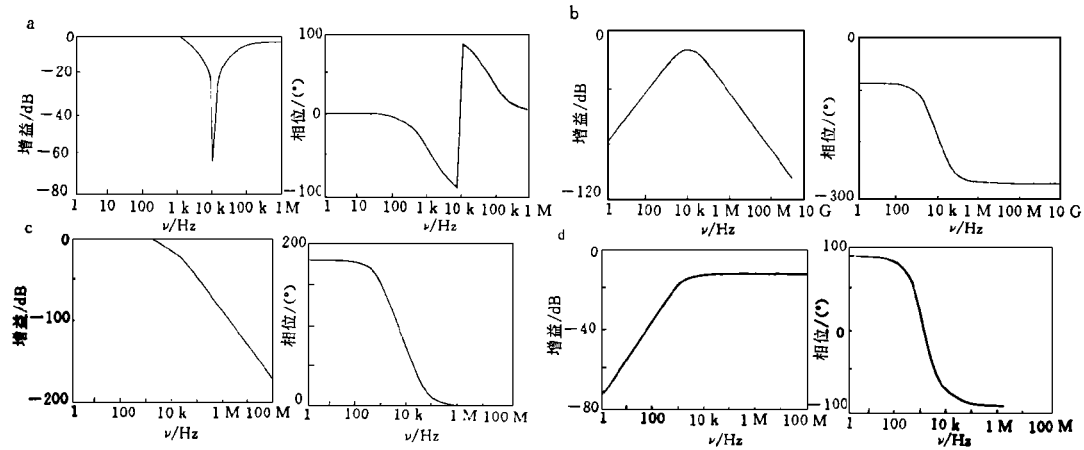


图 2 OFC滤波特性 a陷波;b带通滤波;c低通滤波;d高通滤波

Fig. 2 The second-order notch filtering function of this circuit

(2)带通滤波器,选取 $f_0=10\text{ kHz}$, $R_1=R_2=1.6\text{ k}\Omega$, $C_1=C_3=10\text{ nF}$,得图 2b 传输特性曲线.

(3)低通滤波器,选取 $f_0=10\text{ kHz}$, $R_2=2R_3=1.6\text{ k}\Omega$, $C_1=C_2=C_4=10\text{ nF}$,得图 2c 传输特性曲线.

(4)高通滤波器,选取 $f_0=1\text{ kHz}$, $R_1=R_2=R_4=160\Omega$, $C_2=C_3=0.1\mu\text{ F}$, $C_4=0.1\mu\text{ F}$,得图 2d 传输特性曲线.

(5)全通滤波器. $f_0=1\text{ kHz}$,选取 $R_2=R_3=R_4=9\text{ k}\Omega$, $C_4=200\text{ pF}$,得图 3 传输特性曲线.

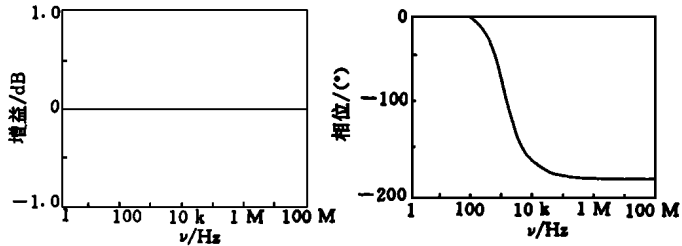


图 3 OFC全通滤波特性

Fig. 3 The first-order all-pass filtering function of this circuit

本文提出的新型 OFC 电流模式双二阶滤波电路,具有如下特点:

- (1)有源器件为 OFC,可集成实现.
- (2)电路结构简单,无源元件只含 RC,设计方便、灵活.
- (3)能同时完成实现如 $(a_2s^2+a_1s+a_0)/(b_2s^2+b_1s+b_0)$ 二阶函数.
- (4)具有较高输出阻抗.
- (5)具有较低灵敏度.

参 考 文 献

- 1 Wilson B. Recent developments in current conveyors and current-mode circuits. IEE Proc -G, 1990, 137: 63~ 77
- 2 Sedra A S, Roberts G W, Goth F. The current conveyor: history, progress and new results. IEE Proc-G, 1990, 137(2): 78~ 87
- 3 Higashimura M. Realisation of current-mode transfer function using four-terminal floating unitor. Electron Lett, 1991, 27: 170~ 171
- 4 Toumagou C, Payne A. Operational floating conveyor. Electron Lett, 1991, 27 (8): 651~ 652
- 5 李本俊. 电子电路计算机辅助分析与设计. 北京: 电子工业出版社, 1992. 70~ 125

Novel Multi-Function Current Mode Biquads Using Single OFC

Hong Lan^{} Ren Shan Wu Jie*

Abstract A design of a novel multi-function current mode biquads using single OFC is proposed. It can synthesize low-pass, high-pass, bandpass, all-pass, and notch filtering functions. The circuit has properties that sensitivity is very low. PSPICE aided simulation for these configurations shows good agreement with the theoretical results.

Keywords current-mode, filters, active network

^{*} Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou 510275