

# 一种新的通用高阶 OTA-C 滤波器的设计

宋德贤 奚柏清 高胜保

(南京邮电学院 86 信箱,南京 210003)

**摘要** 本文提出以传递函数的信号流图实现为基础,设计出一种新的通用高阶可调 OTA-C 滤波器。该滤波器仅需要 OTA 器件和接地电容,适合于用 MCS 技术实现。实验结果证明了它的可行性。

**关键词** OTA-C 滤波器;传递函数;信号流图

## 1. 引言

跨导运算放大器(OTA)在理想情况下,可以等效成一个差分电压控制电流源(DVCCS)。由于它的跨导系数( $g_m$ )可调和使用的频率比运算放大器高等优点,因而,在滤波器领域受到越来越大的重视。由 OTA 器件和电容(C)构成的可集成连续时间滤波器是继有源 RC 滤波器(ARCF)、开关电容滤波器(SCF)和 MOSFET-C 滤波器之后出现的又一种新型滤波器。有关二阶 OTA-C 滤波器的报道已有不少<sup>[1,2]</sup>。但是,关于高阶 OTA-C 滤波器的报道还不多。文献[3]设计出了一种高阶 OTA-C 低通滤波器,可惜该电路不具有通用性,即不能由此电路得到高阶高通、带通和带阻滤波器;另外,每个 OTA-C 积分器都是差分输入的,这对减少寄生参数的影响不利。本文提出了一种新的设计方法,即从滤波器的传递函数出发,画出它的信号流图实现中的一种,根据这种形式的信号流图,再用抗寄生参数影响的 OTA-C 基本积木块来实现电路,从而设计出一种新的抗寄生参数高阶 OTA-C 滤波器。这种滤波器还具有通用性的优点,可以实现高阶低通、高通、带通、带阻和通用双二阶函数。设计过程表明,应用信号流图法,不仅使设计过程变得简单明了,而且又使设计过程具有了一定的理论性和系统性。

## 2. 设计和分析

(1) **加法器和积分求和器** 本文设计的通用高阶 OTA-C 滤波器需要两个基本积木块,即加法器和积分求和器。

由 OTA 构成的加法器如图 1(a)所示。它把两个输入信号加权后再相加。它的输出为

$$v_0 = (g_{m_1}/g_{m_0})v_1 + (g_{m_2}/g_{m_0})v_2 \quad (1)$$

(1)式的信号流图如图 1(b)所示。

1992.03.09 收到,1992.07.13 定稿。

宋德贤 男,1962 年生,硕士,助理工程师,现在无锡县邮电分局从事程控交换方面的工作。邮政编码 214017

奚柏清 男,1938 年生,教授,现从事模拟信号的处理和传输方面的研究。

由 OTA-C 构成的积分求和器如图 2(a) 所示。它把两个输入信号分别加权后相减。它的输出为

$$v_0 = (g_{m1}v_1/C - g_{m2}v_2/C)s \tag{2}$$

(2)式的信号流图如图 2(b) 所示。

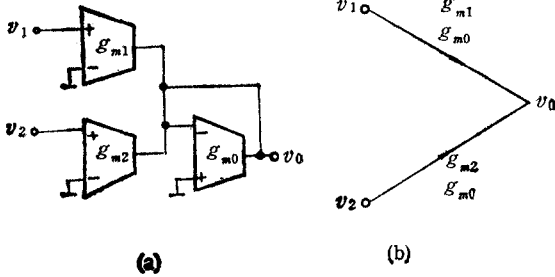


图 1

值得指出的是，以上两个电路中每个 OTA 都有一个输入端接地，并且电容也接地，因此，它们对寄生参数是不灵敏的；(2)式的信号流图实现有多种(例如：将图 2(b) 中前向传输  $1/s$  作反向移动就得到另一种信号流图)。选择图 2(b)的信号流图正是本文设计通用高阶 OTA-C 滤波器的技巧所在。因为在下面讨论高阶滤波器传递函数的多种信号流图实现中，正好可以找到一种由图 1(b) 和图 2(b) 的子信号流图构成的实现。

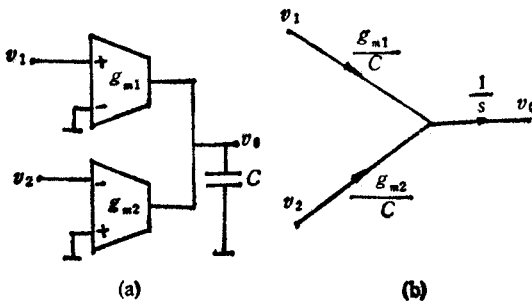


图 2

(2) 设计 高阶滤波器的传递函数为

$$H(s) = \left( \sum_{i=0}^{n-1} b_i s^i + b_n s^n \right) / \left( \sum_{i=0}^{n-1} a_i s^i + s^n \right) \tag{3}$$

上式的信号流图实现到底有多少种一直是个未知数。直到 1985 年林本铭<sup>[4]</sup>才提出了一个取得给定传递函数的所有可能方法。根据这一方法，首先作出(3)式的所有信号流图实现；其次，在这所有实现中选择一种包含图 1(b) 和图 2(b) 子信号流图的实现。如图 3(a) 所示；最后，把图 3(a) 的信号流图用图 1(a) 和 2(a) 的子电路连接，得到相应的电路如图 3(b) 所示。图 3(b) 就是所要设计的通用高阶可调 OTA-C 滤波器。由于图 3(b) 的电路中每个 OTA 都有一个输入端接地，每个电容都接地，甚至可以取相同的数值(见后面的实例)，因此，该电路不仅便于大规模集成，而且对寄生参数是不灵敏的，这将大大改善 OTA-C 滤波器的稳定性，使其应用频率进一步提高。这是图 3(b) 电路的突出优点。

(3) 电路参数确定 比较图 3 的信号流图和电路图有

$$a'_i = g_{ai}/C_i, \quad (i = 0, 1, \dots, n-1) \tag{4}$$

$$b'_i = g_{bi}/C_i, \quad (i = 0, 1, \dots, n-1) \tag{5}$$

$$b'_n = g_{bn}/g_{an} \tag{6}$$

$$k_i = g_i/C_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \tag{7}$$

$$k_n = g_n/g_{an} \tag{8}$$

又图 3(a) 信号流图的传递函数可由梅森公式求出

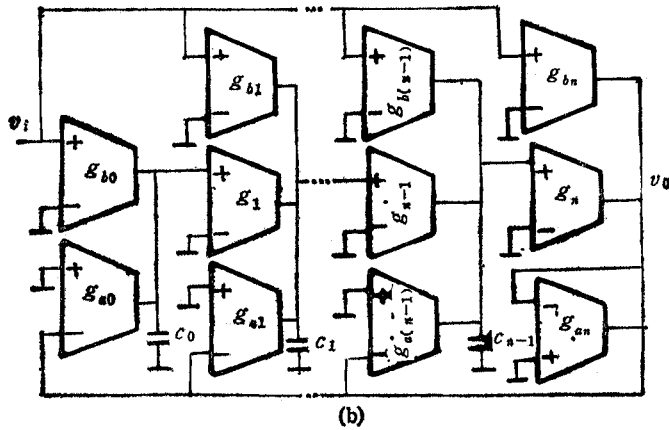
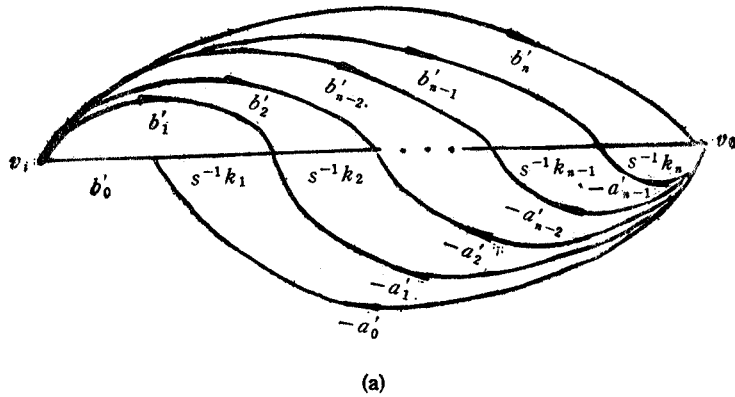


图 3

$$H(s) = \left( \sum_{i=0}^{n-1} b'_i \sum_{l=i+1}^n k_l s^l + b'_n s^n \right) / \left( \sum_{i=0}^{n-1} a'_i \sum_{l=i+1}^n k_l s^l + s^n \right) \quad (9)$$

比较(3)式和(9)式,同时考虑到(4)~(8)式,就得到图 3(b) 电路参数所满足的等式:

$$a_i = (g_{ai}/C_i) \prod_{l=i+1}^{n-1} (g_l/C_l)(g_n/g_{an}), \quad (i = 0, 1, \dots, n-1) \quad (10)$$

$$b_i = (g_{bi}/C_i) \prod_{l=i+1}^{n-1} (g_l/C_l)(g_n/g_{an}), \quad (i = 0, 1, \dots, n-1) \quad (11)$$

$$b_n = g_{bn}/g_{an} \quad (12)$$

当给定了滤波器的技术指标,就可以确定相应的传递函数,再根据(10)~(12)式选择确定图 3(b) 的电路参数(跨导系数  $g_m$  和电容  $C$ ),并且使分母多项式的系数  $a_i (i = 0, 1, \dots, n-1, a_n = 1)$  满足劳斯-赫尔维茨稳定条件,从而设计出满足给定要求的滤波器。

(4) 分析 图 3(b) 的电路具有很好的通用性、稳定性、灵敏度特性和噪声特性,有关稳定性、灵敏度特性和噪声特性将另文详细讨论,这里着重分析电路的通用性。

(a) 若  $g_{bn} = 0$ , 则得到  $n$  阶低通滤波器。特别地,若  $g_{bi} = 0 (i = 1, 2, \dots, n)$ ,  $g_{ai} = g_i (i = 1, 2, \dots, n-1)$  和  $g_{a0} = g_{b0}$ , 则图 3(b) 可以被简化成与文献[3]中图 5-1

样的电路。具体简化过程是：对图 3(b)，首先去掉上面一排 OTA 器件，再去掉下面一排前  $n$  个 OTA 器件，最后将中间一排前  $n$  个 OTA 器件反相输入端悬浮后分别加入反馈信号  $v_0$ 。就  $n$  阶低通滤波器而言，虽然本文所设计的电路比文献[3]中图 5 的电路所用的 OTA 器件数目几乎多一倍，但换来的好处是，避开了 OTA 的差分输入形式，这样就减少了寄生参数的影响；同时，提高了每个 OTA 的输入电压的线性范围。

(b) 若  $g_{b0} = 0$ ，则得到  $n$  阶高通滤波器。

(c) 若  $g_{bn} = g_{b0} = 0$ ，则得到  $n$  阶带通滤波器。

(d) 若  $g_{bi} = 0 (i = 1, 2, \dots, n-1)$ ，则得到  $n$  阶带阻滤波器。

(e) 若  $n = 2$ ，则得到通用双二阶滤波器，这时

若  $g_{b1} = g_{b2} = 0$ ，则为二阶低通滤波器；

若  $g_{b0} = g_{b1} = 0$ ，则为二阶高通滤波器；

若  $g_{b0} = g_{b2} = 0$ ，则为二阶带通滤波器；

若  $g_{b1} = 0, g_{b0} = g_{b2}$ ，则为二阶带阻滤波器；

若  $g_{a0} = g_{b0}, g_{a1} = -g_{b1}$ ，则为二阶全通滤波器。

以上讨论表明图 3(b) 的滤波器的通用性。

### 3. 实验

设计一个三阶巴特沃思低通滤波器，其传递函数为

$$H(s) = b_0 / (S^3 + a_2 S^2 + a_1 S + a_0)$$

其中  $S = s/\omega_0$ 。查手册<sup>[2]</sup>， $a_0 = b_0 = 1, a_1 = a_2 = 2$ 。OTA 器件选用 CA3080E，滤波器截止频率为 40kHz， $n = 3$ ，取  $C_0 = C_1 = C_2 = 6.8\text{nF}$ ， $g_{a0} = g_{b0} = g_0, g_{a1} = g_1, g_{a2} = g_2, g_{a3} = g_3$ ，由(10)–(12)式计算得  $g_0 = 0.855\text{mS}, g_1 = 1.7\text{mS}, g_2 = 3.418\text{mS}, g_3 = 0.5\text{mS}$ ，实验结果如图 4 的曲线所示。

### 4. 结论

本文设计出了一种新的通用  $n$  阶可调 OTA-C 滤波器。该滤波器具有对寄生参数不灵敏的特点。另外，可以实现  $n$  阶低通、高通、带通、带阻和双二阶传递函数。

### 参 考 文 献

- [1] M.A. Tan et al., *IEEE Trans on CAS*, **CAS-35** (1988) 4, 478–480.
- [2] Sanchez-Sinencio E et al., Generation of continuous-time two integrator loop OTA filter structures. Proc. IEEE/ISCAS, Philadelphia, PA, Vol. 3, (1987) pp.325–328.
- [3] Wei-Wei Guo et al., *Int. J. Electron.*, **65**(1988)6, 1153–1157.
- [4] P.M. Lin, *IEEE Trans. on AC*, **AC-30** (1985) 11, 1104–1106.
- [5] 北京师范大学出版社编，电子与信息科学基础课程手册，北京师范大学出版社，北京，1985年，第 881–890 页。

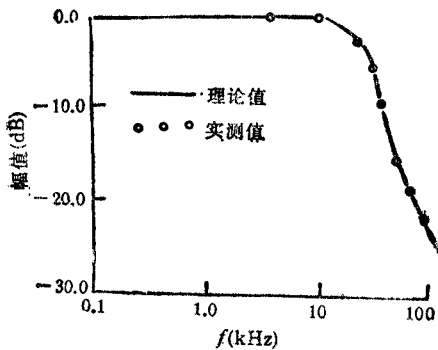


图 4

## REALIZATION OF A NEW UNIVERSAL HIGH-ORDER OTA-C FILTER

Song Dexian Xi Baiqing Gao Shengbao

*(Nanjing Institute of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003)*

**Abstract** A new universal tunable high-order OTA-C filter based on a signal-flow-graph realization of the transfer function is designed. The filter needs only OTAs and grounded capacitors, and it is convenient for realization with MOS technology. Experimental results are given to show its feasibility.

**Key words** OTA-C filter; Transfer function; Signal-flow-graph