

文章编号:1672-3961(2003)02-0172-04

基于 ispPAC10 实现状态变量有源滤波器

姚福安,卞琳

(山东大学 控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

摘要:利用在系统可编程模拟器件(ispPAC10)构成状态变量有源滤波器的方法,对 ispPAC10 实现的二阶低通、二阶高通、二阶带通滤波器进行性能仿真,证明该滤波器具有性能稳定,参数调整方便,灵敏度低等优点.

关键词:状态变量滤波器;传递函数;频率响应

中图分类号:TN713 文献标识码:A

Realizing state variable filter based on ispPAC10

YAO Fu-an, BIAN Lin

(School of Control Science and Eng., Shandong Univ., Jinan 250061, China)

Abstract: The method composed of state variable filter is introduced by ispPAC10 and property of second-order low-pass filter, second-order high-pass filter and second-order band-pass filter composed of ispPAC10 is emulated. The result shows its property stability, convenient to regulate character parameters, less sensitivity, etc.

Key words: state variable filter; transferring function; frequency response

对于特定的频率具有选择功能的装置称为滤波器.以运算放大器作有源单元,再配以无源元件(电阻、电容)可以组成各种性能的有源滤波器.状态变量有源滤波器是最为典型的一种结构,他用三个运算放大器可同时实现二阶低通、高通及带通功能,其特点是:适当选择元件数值,可使品质因数 Q 与中心频率 f_0 无关; f_0 、 Q 对元件参数的灵敏度比较低,可以得到比较高的 Q 值.但由于运算放大器的性能参数和无源元件的参数误差不稳定,要得到一个高精度的滤波性能将非常困难.随着微电子制造和计算机技术的迅速发展,美国 Lattice 公司首先推出了在系统可编程模拟集成电路(In-system Programmable Analog Circuits),为模拟电子系统设计提供了一条新途径.在系统可编程器件允许设计者使用开发软件

在计算机上设计、修改电路,将仿真好的电路通过一条编程电缆直接下载到芯片中.ispPAC10 即是一典型代表,它包含 4 个相同的信号处理块(PAC 块),每个 PAC 块可任意设置成信号求和、积分、有损积分环节,将多个 PAC 块互连可形成更复杂的运算功能,例如利用一片 ispPAC10 可实现二阶有源状态变量滤波器,但不需要外接任何其他元件,且该滤波器的性能指标非常优良.

1 ispPAC 块的传递函数

目前 Lattice 半导体公司已推出 ispPAC10, ispPAC20, ispPAC80 等多种型号的在系统模拟可编程集成器件,其中 ispPAC10 最适合应用于信号处理和滤波.ispPAC10 内部由 4 个可编程基本单元电路(简

收稿日期:2002-03-19
作者简介:姚福安(1963 -),男,副教授.主要研究方向:EDA(电子设计自动化)技术及应用、运动控制技术、现代电子技术应用等.已编著教材 2 部,发表论文 20 余篇.

称 PAC 块)所组成,每个 PAC 块包含两个输入仪用放大器 IA1, IA2, 一个输出放大器 OA 和反馈电阻 R_F 、积分电容 C_F , 其结构如图 1 所示. 输入仪用放大器的增益可在 $\pm 1 \sim \pm 10$ 之间整数编程选择, 积分电容是一个电容阵列, 其值有 128 种可供选择, 反馈电阻与一只可编程的开关串联. 当反馈电阻接通时, PAC 块可完成信号的加、减运算及一阶低通滤波(有损积分器). 当反馈电阻断开时, PAC 块对信号实现积分运算. 所以在不改变输入及输出负载特性的情况下, 可改变 PAC 块的传递函数.

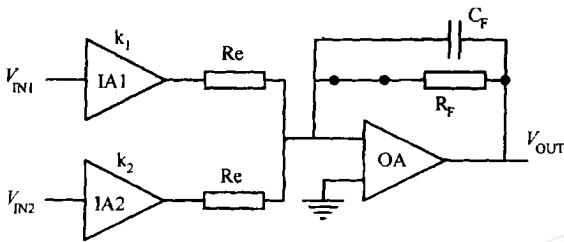


图 1 PAC 块电路原理图
Fig. 1 Schematic of PAC block

在两输入仪用放大器外接信号 V_{IN1} , V_{IN2} , 反馈电阻 R_F 接通时, PAC 块的传递函数为:

$$V_{OUT} = - \frac{K_1 V_{IN1} + K_2 V_{IN2}}{S + 1/(R_F C_F)} \cdot \frac{1}{R_e C_F} \quad (1)$$

其中 R_e 是输入仪用放大器的等效输出电阻. 其值 $R_e = R_F = 250 \text{ k}\Omega$. 一阶滤波器的极点频率为:

$$f_p = \frac{1}{2\pi R_F C_F} \quad (2)$$

在 $1 \text{ pF} \leq C_F \leq 62 \text{ pF}$ 时, $10 \text{ kHz} \leq f_p \leq 600 \text{ kHz}$.

若积分电容 C_F 取最小值, 输入信号的频率远小于 600 kHz , 则 PAC 块完成求和运算, 其传递函数为:

$$V_{OUT} = K_1 V_{IN1} + K_2 V_{IN2} \quad (3)$$

当反馈电阻 R_F 断开时, PAC 块的传递函数为:

$$V_{OUT} = - \frac{K_1 V_{IN1} + K_2 V_{IN2}}{S} \cdot \frac{1}{R_e C_F} \quad (4)$$

可见一个 PAC 块对两个输入信号可以实现“求和”、“积分”、“有损积分”运算.

2 状态变量有源滤波器分析

二阶有源状态滤波器的典型电路如图 2 所示, 从三个接点 V_1 , V_2 , V_3 输出, 可实现低通、带通和高

通滤波, 其传递函数分别为:

$$H_{LP}(S) = \frac{V_1}{V_i} = \frac{- (R_b/R_1) (1/C_1 C_2 R_4 R_5)}{S^2 + \frac{1 + R_b/R_1 + R_b/R_3}{1 + R_2/R_4} \cdot \frac{1}{C_1 R_4} S + \frac{R_b}{R_3} \cdot \frac{1}{C_1 C_2 R_4 R_5}} = \frac{A_v \omega_0^2}{S^2 + \frac{\omega_0}{Q} S + \omega_0^2} \quad (5)$$

$$H_{BP}(S) = \frac{V_2}{V_i} = \frac{(R_b/R_1) (1/C_1 R_4) S}{S^2 + \frac{1 + R_b/R_1 + R_b/R_3}{1 + R_2/R_4} \cdot \frac{1}{C_1 R_4} S + \frac{R_b}{R_3} \cdot \frac{1}{C_1 C_2 R_4 R_5}} = \frac{A_v \frac{\omega_0}{Q}}{S^2 + \frac{\omega_0}{Q} S + \omega_0^2} \quad (6)$$

$$H_{HP}(S) = \frac{V_3}{V_i} = \frac{- (R_b/R_1) S^2}{S^2 + \frac{1 + R_b/R_1 + R_b/R_3}{1 + R_2/R_4} \cdot \frac{1}{C_1 R_4} S + \frac{R_b}{R_3} \cdot \frac{1}{C_1 C_2 R_4 R_5}} = \frac{A_v S^2}{S^2 + \frac{\omega_0}{Q} S + \omega_0^2} \quad (7)$$

从图 2 电路结构看, 运算放大器 A_1 对信号 V_i , V_2 , V_3 实现求和, V_2 对 V_3 实现积分, V_1 对 V_2 也实现积分. 故电路图 2 的信号流程框图如图 3 所示.

3 利用 ispPAC10 组成的状态变量滤波器电路及分析

根据图 3, 将 ispPAC10 器件内的 PAC1 块、PAC2 块设定为加法器, 将 PAC3 块、PAC4 块设定为积分器, 即可实现状态变量滤波器的功能. 电路图如图 4 所示.

根据图 4, 可得到如下的方程组.

$$V_3 = (K_{11} V_i + K_{12} V_1) \cdot K_{21} + K_{22} V_2 \quad (8)$$

$$V_2 = - \frac{K_{31} V_3}{S} \cdot \frac{1}{R_e C_{F3}} \quad (9)$$

$$V_1 = - \frac{K_{42} V_2}{S} \cdot \frac{1}{R_e C_{F4}} \quad (10)$$

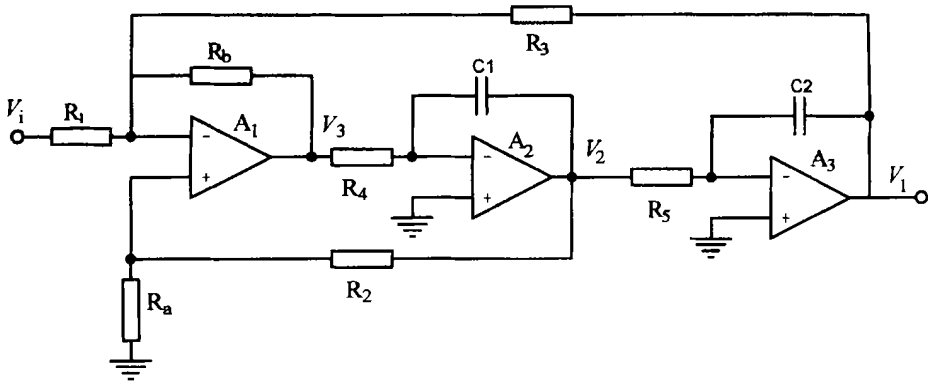


图 2 状态变量滤波器电路图
Fig. 2 Schematic of state variable filter

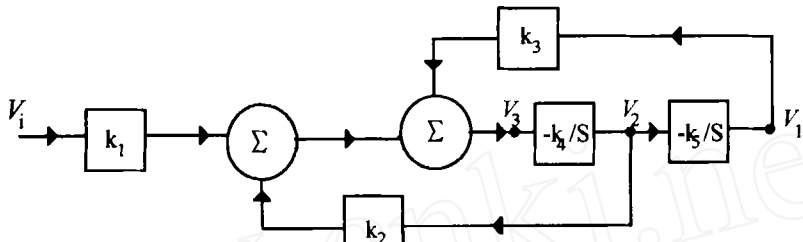


图 3 状态变量滤波器的框图
Fig. 3 Block Diagram of state variable filter

以带通滤波器为例,其传递函数为:

$$H_{BP}(S) = \frac{V_2}{V_i} = \frac{-\frac{K_{11} K_{21} K_{31}}{R_e C_{F3}} S}{S^2 + \frac{K_{22} K_{31}}{R_e C_{F3}} S - \frac{K_{12} K_{21} K_{31} K_{42}}{R_e^2 C_{F3} C_{F4}}} \quad (11)$$

若令 $C_{F3} = C_{F4} = C_F$,该滤波器的性能指标为:

$$f_0 = \frac{\sqrt{-\frac{K_{12} K_{21} K_{31} K_{42}}{2\pi R_e C_F}}}{2\pi R_e C_F}, Q = \frac{1}{K_{22}} \sqrt{\frac{-K_{12} K_{21} K_{42}}{K_{31}}}, \Delta f = \frac{f_0}{Q} = \frac{K_{22} K_{31}}{R_e C_F}, A_v = \frac{K_{11} K_{21}}{K_{22}}$$

可见 f_0, Q, A_v 能实现独立调节.

4 设计举例

由于 ispPAC10 器件内的电阻 $R_e = 250\text{ k}\Omega$ 为一固定值,所以通过设置 C_F 及仪器放大器的放大倍数,即可实现要求的滤波特性.若要设计的带通滤波器的指标为: $f_0 = 50\text{ kHz}, Q = 1, A_v = 10$.在图 4 电路中,设置 $K_{11} = 10, K_{12} = -1, K_{21} = K_{31} = K_{22} = K_{42} =$

$1, C_{F3} = C_{F4} = 12.78\text{ pF}$.在 PAC-Design 开发软件上,对带通滤波器的幅频响应及相频响应进行了仿真(V_2 输出),同时对低通滤波(V_1 输出)、高通滤波(V_3 输出)也进行了仿真,其特性曲线如图 5 所示.通过对下载到目标板上的实际电路测量,中心频率误差小于 0.5% ,精度非常高.

可见通过 ispPAC10 实现状态滤波器的主要优点是:(1)滤波器的参数精度高,由于 ispPAC10 内的仪表放大器的放大系数及反馈电容非常稳定.(2)滤波器的参数调节方便,可以作到 f_0, Q, A_v 三者独立调节.(3)设计快速灵活,当改变设计电路时,无须改动任何硬件,仅通过设计软件在数秒内即可完成,缩短了设计周期,降低了设计成本.另外,该模拟可编程集成期间同样适合于其他模拟电路系统设计中,而切应用更灵活、集成度更高、性能也更优越.可以预见,随着模拟可编程技术的不断进步和器件品种的逐步丰富,可编程模拟集成器件将会成为实现模拟电路的首选器件和最佳选择.

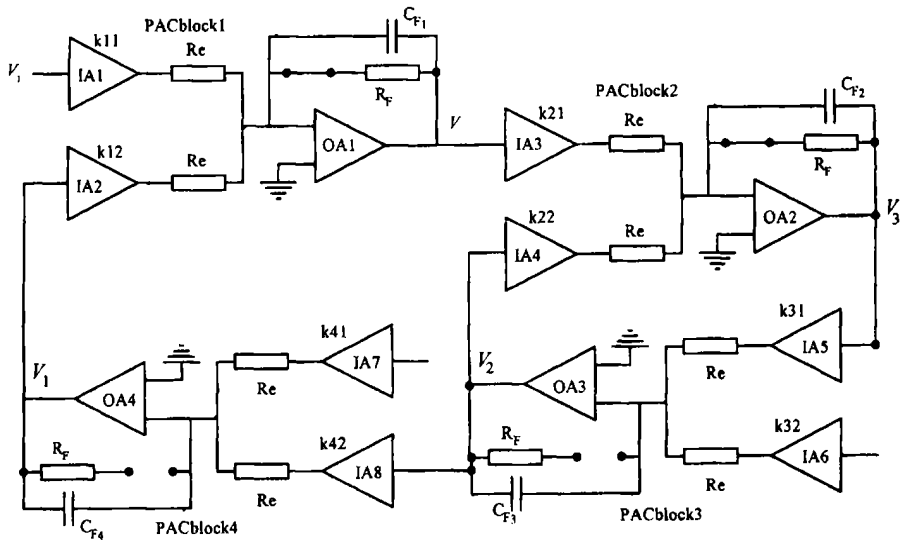


图 4 ispPAC10 组成状态变量滤波器电路图
Fig.4 Schematic of state variable filter for ispPAC10

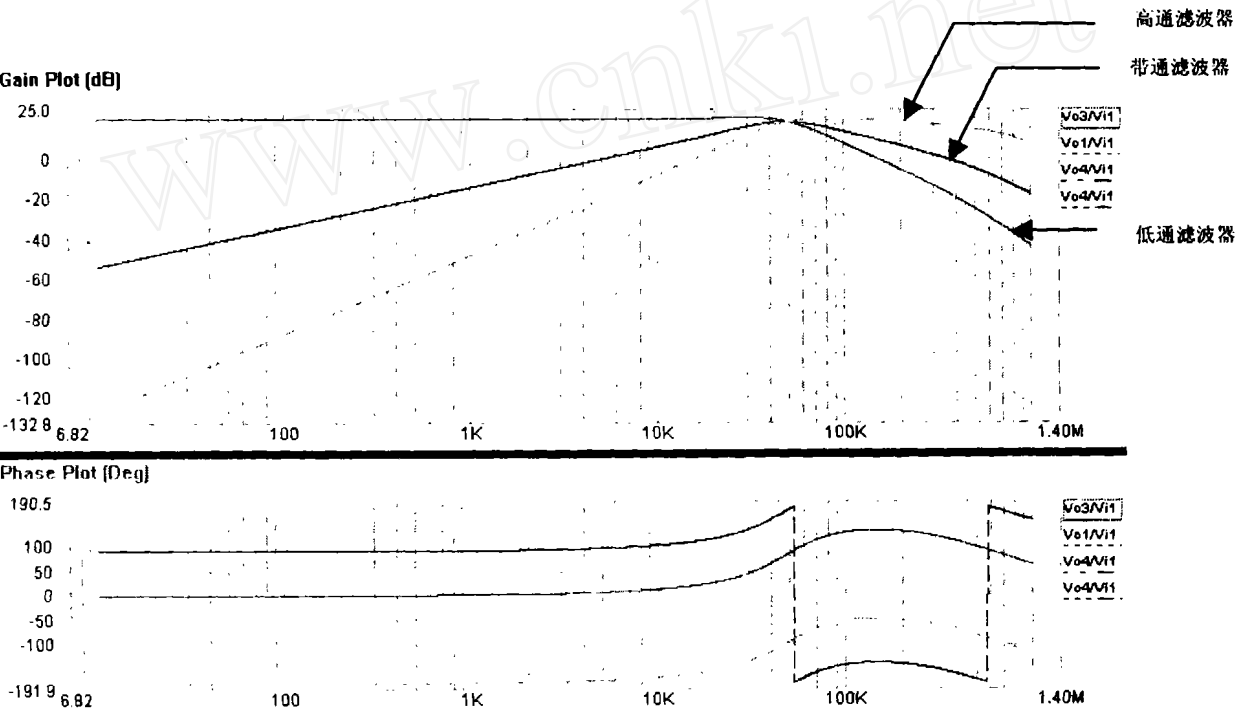


图 5 状态变量滤波器的特性曲线
Fig.5 Characteristic of state variable filter

参考文献:

[1] 赵不贻. 在系统可编程器件与开发技术[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
[2] ispPAC Handbook.Lattice Semiconductor Corporation,2000.

[3] 席德勋. 现代电子技术[M]. 北京:高等教育出版社. 1999
[4] 李远文,胡筠. 有源滤波器设计[M]. 北京:人民邮电出版社,1986
[5] 梁维铭,华成英. 在系统可编程模拟电路器件[J]. 桂林电子工业学院报,2001,21(1):91~93.