

Література

1. Blinn J. F. Simulation of wrinkled surfaces / J. F. Blinn // Computer graphics and interactive techniques. – ACM Press, 1978. – P. 286– 292.
2. Peercy M. Efficient bump mapping hardware / M. Peercy, J. Airey, B. Cabral // SIGGRAPH'97. – NY.: ACM, 1997. – P. 303– 306. – ISBN 0-89791-896-7.
3. Shirley P. Fundamentals of computer graphics / P. Shirley, S. Marschner. – AK Peters, 2009. – 752 p. – ISBN 13: 978-1568-8146-98.
4. Szirmay-Kalos L. Displacement Mapping on the GPU State of the Art / L. Szirmay-Kalos, T. Umenhoffer // Computer Graphics Forum. – 2008. – Vol. 27. – Issue 6. – P. 1467– 1492. – ISSN 1467-8659.
5. Kaneko T. Detailed shape representation with parallax mapping / T. Kaneko, T. Kakahei, M. Inami, N. Kawakami, Y. Yanagida, T. Maeda, S. Tachi // Artificial Reality and Telexistence: International Conference, 5-7 December 2001: Proceedings. – Tokyo, 2001. – P. 205– 208.
6. Welsh T. Parallax Mapping with Offset Limiting: A Per-Pixel Approximation of Uneven Surfaces / T. Welsh // Tech. rep., Infiscape Corporation. – 2004. – 9 p.
7. Gao R. Parallax Effect of rendering on the Surface with Small Detail / R. Gao, B. Yin, D. Kong, H. Si, Y. Zhang // Image and Signal Processing. – 2008. – P. 594– 597. – ISSN 978-0-7695-3119-9.
8. Dummer J. Cone Step Mapping: An Interactive Ray-Heightfield Intersection Algorithm [Електронний ресурс] / J. Dummer // Technical Report. – 2006. – Режим доступу: <http://www.lonesock.net/files/ConeStepMapping.pdf>.
9. Hart J. C. Sphere tracing: Simple robust antialiased rendering of distance-based implicit surfaces / J. C. Hart // In SIGGRAPH 93 Course Notes: Modeling, Visualizing, and Animating Implicit Surfaces. – 1993. – P. 1– 11.
10. Tatarchuk N. Dynamic parallax occlusion mapping with approximate soft shadows / N. Tatarchuk // Symposium on Interactive 3D graphics and games. – ACM Press, 2006. – P.63– 69. – ISBN: 1-595-9329-5-X.
11. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 830 с.

Надійшла до редакції
8.5.2012 р.

УДК 681.324. 004.45

В.Д. РУДИК, В.Д. ТРОМСЮК

Вінницький національний технічний університет

ПРОЕКТУВАННЯ НА ПАІС В СЕРЕДОВИЩІ ANADIGM DESIGNER2

В статті розглянута можливість проектування компонентів аналогової обробки сигналів на основі ПАІС в середовища Anadigm Designer2. Наведена інформація про додаткові можливості середовища. Показані результати проектування та оптимізації.

In this article the possibility of designing analog signal processing components based on the FPAA in the environment Anadigm Designer2. The information on the options for protection. Results had shown the design and optimization. Ключові слова: програмовані аналогові мікросхеми, проектування компонентів аналогової обробки, фільтри, програми, результати.

Вступ

Вирішити проблему створення сучасних аналогових компонентів у короткі терміни, з мінімальними витратами та прийнятними параметрами дозволяє використання програмованих аналогових інтегральних мікросхем – ПАІС (ФРАА). Проектування пристроїв з використанням ПАІС дозволяє зменшити габарити пристрою, підвищити його надійність, продовжити життєвий цикл виробу, спростити настройку та регулювання [1].

Синтез пристроїв на ПАІС

Сучасна аналогова схемотехніка базується на математичній базі, яка дозволяє будь який аналоговий пристрій подати у вигляді сукупності обмеженого набору елементарних ланок [2]. Цей процес, наприклад, для активного фільтра НЧ 2-го порядку, починається зі складання системи рівнянь прямого перетворення його еквівалентної схеми (1), рис. 1 [3]:

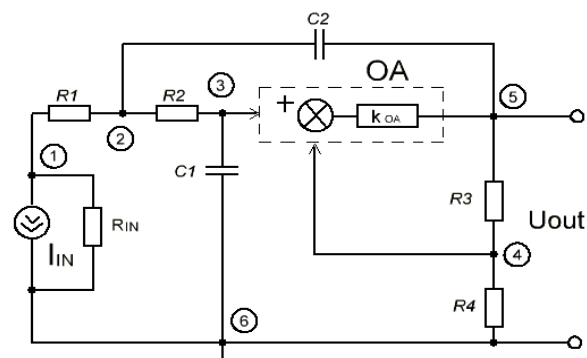


Рис. 1. Схема еквівалентна фільтра нижніх частот

$$\begin{pmatrix} G_{IN} + G_1 & -G_1 & 0 & 0 & 0 & G_{IN} \\ -G_1 & G_1 + G_2 + sG_2 & -G_2 & 0 & -sG_2 & 0 \\ 0 & -G_2 & G_3 + sG_1 & 0 & 0 & sG_1 \\ 0 & 0 & 0 & G_3 + G_4 & -G_1 & -G_4 \\ 0 & -sG_2 & 0 & -G_1 & sG_2 + G_1 & 0 \\ G_{IN} & 0 & sG_1 & -G_4 & 0 & -G_{IN} + sG_1 + G_4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_3 - k_{OA}(U_1 - U_4) \\ U_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Після розв'язку системи (1) відносно головних змінних, отримаємо:

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{I_1}{G_{IN} + G_1} + \frac{G_1}{G_{IN} + G_1} U_2 = R_{IN} T_1 + k_{1z} U_2; \\ U_2 &= \frac{G_1}{G_1 + G_2 + sG_2} U_1 + \frac{G_2}{G_1 + G_2 + sG_2} U_3 + \frac{sC_2}{G_1 + G_2 + sG_2} U_3 = \frac{k_1 U_1 + k_2 U_3 + sT_1 U_3}{1 + sT_1}; \\ U_3 &= \frac{G_3}{G_3 + sG_1} U_2 = \frac{k_1}{(1 + sT_2)} U_2; \\ U_4 &= \frac{G_3}{G_3 + G_4} U_3 = k_3 U_3; \\ U_3 &= \frac{sC_2}{G_3 + sC_3} U_2 + \frac{G_2}{G_2 + sC_3} U_4 - k_{OA}(U_3 - U_4) = \frac{sT_2}{1 + sT_3} U_2 + \frac{1}{1 + sT_3} U_4 - k_{OA}(U_3 - U_4), \end{aligned} \quad (2)$$

де k_{OA} – коефіцієнт передачі операційного підсилювача.

Для спрощення, складні коефіцієнти замінюються типовими або елементарними ланками, відповідно до наступних правил [4]:

$$\begin{aligned} \frac{G_k}{G_f + G_m} &= k_t \\ \frac{G_k}{G_f + G_m + sC_n} &= \frac{k_t}{(1 + sT_t)} \quad k_t = \frac{G_k}{G_f + G_m} T_t \quad \frac{C_n}{G_f + G_m} = C_n R_{fm}; \\ \frac{sC_n}{G_f + G_m + sC_n} &= \frac{sT_t}{(1 + sT_t)} \quad G_{fm} = G_f + G_m \quad T_t = \frac{C_n}{G_{fm}} = C_n R_{fm} \end{aligned} \quad (3)$$

Отримані рівняння дозволяють синтезувати структуру активного фільтра НЧ, рис 2, яка є графічним відображенням математичної моделі фільтра і складається з наступних типових ланок [5]: пропорційна ланка з передаточною функцією k_t ; аперіодична інерційна ланка з передаточною функцією $k_t / (1 + sT_t)$; диференціувальна інерційна ланка з передаточною функцією $sT_t / (1 + sT_t)$.

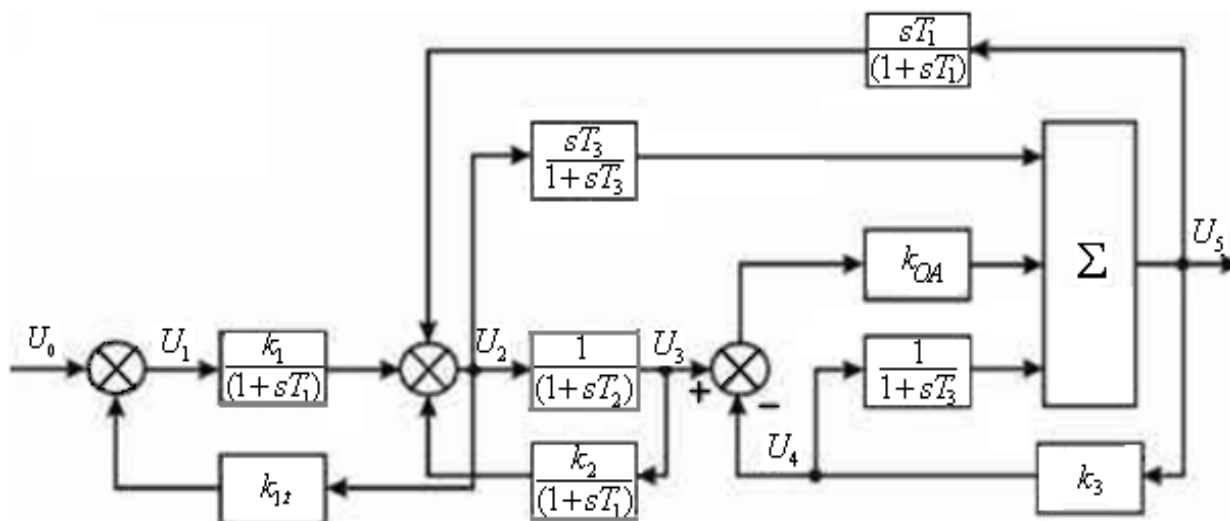


Рис. 2. Структура фільтра НЧ на основі типових ланок

Перелічені типові ланки, в свою чергу, можуть бути розвинені на з'єднанні між собою елементарні ланки [2]. Так наприклад, передаточна функція $k_t / (1 + sT_t)$ – аперіодичної інерційної ланки, забезпечується при паралельному з'єднанні пропорційної і диференціувальної елементарних ланок. Передаточна функція $sT_t / (1 + sT_t)$ – диференціувальної інерційної ланки, може бути отримана з диференціувальної і аперіодичної інерційної ланок при їх послідовному з'єднанні.

Повна структура фільтра отримується заміною типових ланок на відповідні сукупності елементарних ланок.

Особливості ПАІС

ПАІС це набір базових комірок, які можуть бути налаштовані і з'єднані між собою для реалізації необхідних аналогових функцій [1]. Особливостями сучасних ПАІС є: диференціальна архітектура; уніфіковані конфігуровані аналогові модулі КАМ (САМ); низька напруга зсуву в режимі прецизійного входу – менше 50 мкВ; буферні перетворювачі несиметричних сигналів в диференціальні; опції лінеаризації; смуга частот 0 – 4 МГц; відношення сигнал / шум 120 дБ; коефіцієнт гармонік -100 дБ.

Основу будь-якої ПАІС складає бібліотека КАМ, кожен з яких може використовуватися для виконання широкого кола аналогових функцій шляхом завдання відповідних параметрів. Для стандартизації та уніфікації на одному кристалі ПАІС міститься [5]: диференціальні компаратори; операційні та інструментальні підсилювачі; інструментальні підсилювачі; фільтри; джерела зразкової напруги; підсилювачі обмежувачі; мультиплексор; випрямлячі з ФНЧ; генератори синусоїдального сигналу; генератори періодичних сигналів спеціальної форми; АЦП послідовного наближення; програмовані підсилювачі. Перераховані вище КАМ можуть відрізнитися для кожної мікросхеми.

Існує два основних типа ПАІС – статично і динамічно конфігуровані [5]. Процес статичного конфігурування ПАІС, наприклад, AN120E04 і AN121E04 компанії Anadigm, включає в себе розробку схеми, збереження відповідного їй файлу конфігураційних даних і програмування послідовного EPROM за допомогою файлу конфігураційних даних. Після програмування EPROM ПАІС конфігурується автоматично, рис. 3.

Статична конфігурація за-безпечує розробників потужними ресурсами, але справжні переваги ПАІС розкриваються при використанні динамічної конфігурації [6]. Динамічна конфігурація, на відміну від статичної, дозволяє повністю або частково змінювати функціональну структуру в реальному часі без відключення пристрою.

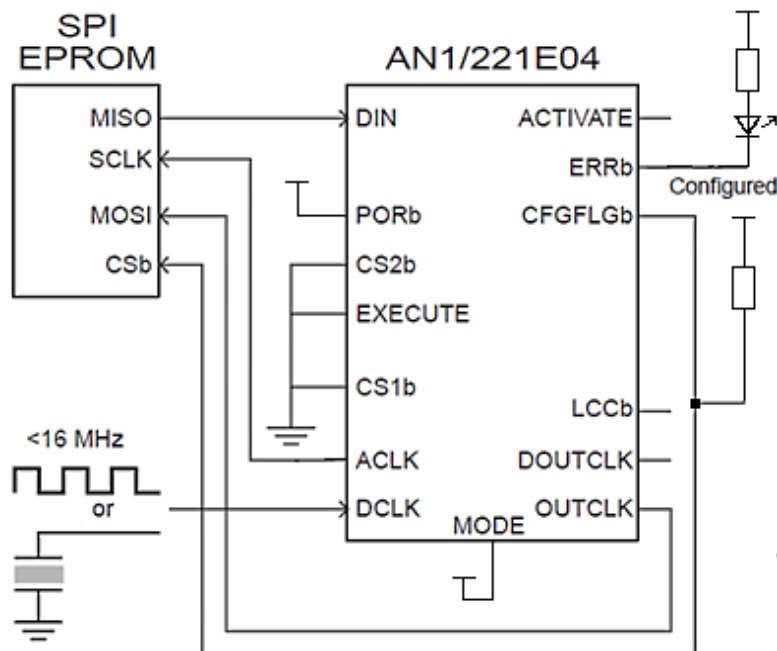


Рис. 3. Принцип загрузки даних в статично конфігуровану ПАІС

Для ПАІС з динамічною кон-фігурацією, наприклад AN220E04, AN221E04 і AN221E02 компанії Anadigm, можливі два варіанти завантаження даних: через інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface – послідовний периферійний інтер-фейс); через інтерфейс SSI (Server Side Includes – включення на стороні сервера) порту мікроконтролера, рис. 4.

Мікроконтролер і генератор Сі коду дозволяють здійснювати динамічну переконфігурацію пристроїв. Зміна параметрів або завантаження нової конфігурації здійснюється без їх перезавантаження і активується за один такт синхронізації. Генератор Сі коду створює мінімальний набір конфігураційних даних, які необхідно завантажити для досягнення необхідної зміни, забезпечуючи швидку і компактну переконфігурацію.

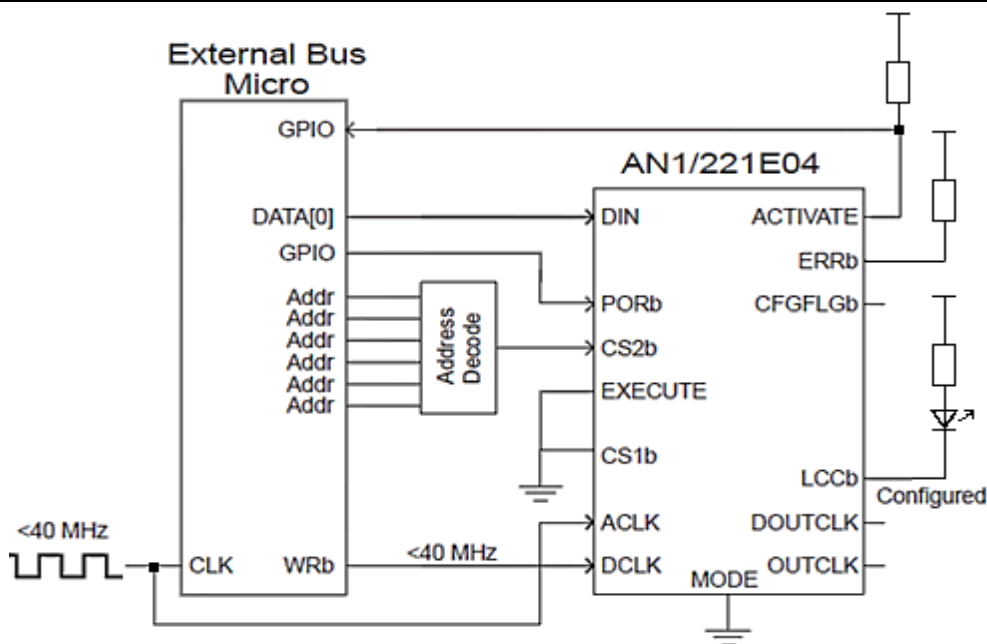


Рис. 4 Завантаження конфігурованих даних з шини даних мікроконтролера

САПР Anadigm Designer2

Для проектування на ПАІС використовується САПР Anadigm Designer2 [3], яка ґрунтується на розглянутих вище засадах. Ця САПР безкоштовно доступна для всіх користувачів Інтернету, що здатні її використовувати. Вона призначена для розробки широкого класу пристроїв на ПАІС, вміщує значні переліки моделюючих програм tools (інструменти), має велику, сучасну бібліотеку компонентів, яка постійно оновлюється. Компанії розробники таких САПР зацікавлені в їх безкоштовному поширенні, постійному оновленні і вдосконаленні, оскільки це дозволяє їм просувати свій продукт на світові ринки.

Після відкриття вікон «Welcom to Anadigm designer 2» і «Chip selection» – обирається тип мікросхеми з наведеного переліку, в конкретному випадку, обрано ПАІС 2-го покоління AN221E04. Потім з меню tools (інструменти) обирається інструмент, наприклад, Anadigmfilter, рис. 5, що дозволяє вибрати тип фільтра і вид апроксимації.

Filter Type	Approximation
<input checked="" type="radio"/> Low Pass	<input type="radio"/> Butterworth
<input type="radio"/> High Pass	<input type="radio"/> Chebyshev
<input type="radio"/> Band Pass	<input type="radio"/> Inverse Chebyshev
<input type="radio"/> Band Stop	<input checked="" type="radio"/> Elliptic
<input type="radio"/> Custom	<input type="radio"/> Bessel

Рис. 5. Вибір типу фільтра і апроксимації

Parameters	Target
Pass Band Ripple	Instance Name
285 m dB	filt0
Pass Band Gain	Chip
0 dB	FPAA1
Stop Band Atten.	Clock
35 dB	Clock 0: 74.7к
Pass Band Freq.	Advanced...
3 k Hz	<input type="checkbox"/> Automatically adjust clocks.
Stop Band Freq.	<input type="checkbox"/> Prepend filter with Hold CAM.
3.01 k Hz	

Рис. 6. Параметри фільтра

Можливе використання 2-х методів проектування фільтрів [7], графічного, який потребує попередньо сформувану необхідну форму АЧХ фільтра у графічній формі та параметричного, що вимагає попереднього введення необхідних параметрів фільтра у спеціальному вікні, рис. 6.

Module	Filter Type	Corner Frequency	Gain	DC Gain	High Frequency Gain	Quality Factor
Hold						
FilterBiquad	Band Stop	2.264 kHz		1	0.211	1.31
FilterBiquad	Band Stop	2.8 kHz		1	0.685	5.31
FilterBiquad	Band Stop	2.954 kHz		1	0.912	21.9
FilterBiquad	Band Stop	2.992 kHz		1	0.978	91.3
FilterBiquad	Band Stop	3.001 kHz		1	0.993	489
FilterBilinear	Low Pass	1.5 kHz	1			

Рис. 7. Параметри ланок фільтра

В наведеному прикладі, фільтр НЧ синтезується за 2-м методом на основі еліптичної апроксимації з використанням 5 режекторних ланок 2-го порядку і однієї НЧ ланки 1-го порядку. Параметри ланок фільтра,

що входять до його складу, наводяться у таблиці, рис. 7.

Після введення даних, будується АЧХ фільтра методом перемноження характеристик окремих його ланок, рис. 8.



Рис. 8. АЧХ НЧ фільтра

В подальшому, у вікні «Untitled – Anadigm designer 2», виводиться топологія фільтра на основі обраних типових ланок, рис. 9, де: Sample and hold – ланка збереження і затримки (1); Filter band stop – режекторна ланка 1-го або 2-го порядку (2); Filter low pass – НЧ ланка 1-го порядку (3).

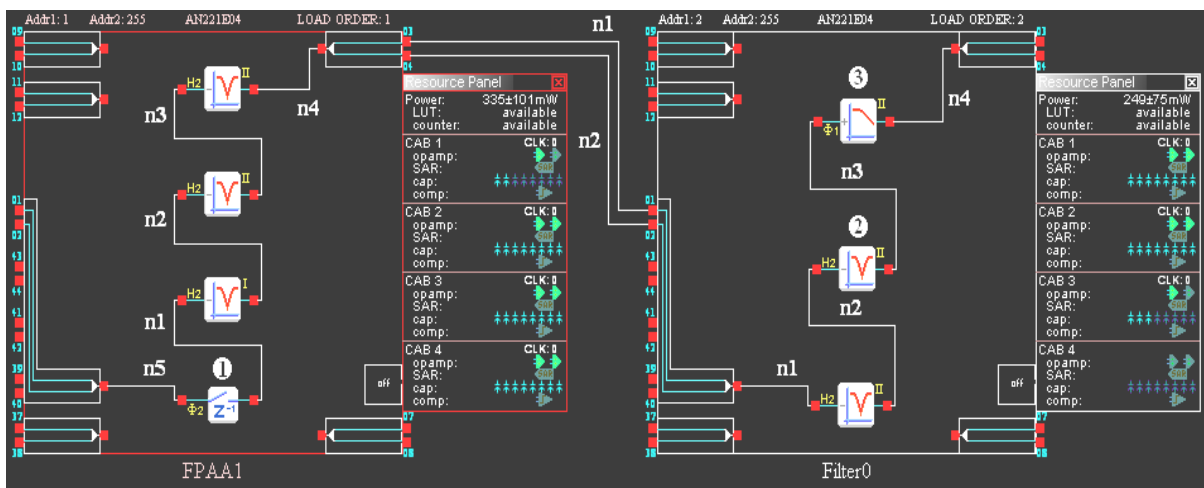


Рис. 9. Топологія НЧ фільтра на типових ланках

Опис параметрів кожної ланки можна отримати підвівши до неї курсор. В описі зазначаються тип ланки, тип апроксимації і основні параметри. Також показаний тип внутрішнього лічильника і його частота. Додатково можна отримати ФЧХ і груповий час затримки фільтра.

Після проведення розгнаних операцій генерується Сі код [6] і створюється програма, для мікроконтролера. Нижче, для прикладу, наведено Сі код для НЧ ланки (3), рис. 10.

Відповідно до рис. 9, на основі двох динамічно конфігурованих ПАІС серії AN221E04, які програмуються через послідовний периферійний інтерфейс SPI, був розроблений фільтр НЧ (рис. 11) за апроксимацією Кауера (еліптична апроксимація). Для спрощення, входні кола і кола живлення виконані на однотипних елементах з однаковими номіналами [6]. Для індикації роботи і перевірки конфігурації використовуються 2 LED діоди. Опис та нумерація входів і виходів наведена згідно даних технічної документації для AN221E04 (Datasheet Dynamically Reconfigurable FPAA With Enhanced I/O).

```

1 #include "CAMCode.h"
2 /*****
3 * AnadigmDesigner2 C Code
4 *****/
5 * File: CAMCode.c
6 * Circuit: Untitled1
7 * Generated: April 07, 2012: 10:09 AM
8 * Version: 2.7.0.0 - (Standard) - External Release
9 * Copyright: Copyright © 2004 Anadigm. All rights reserved.
10 /*****
11 # FilterBilinear.cam #
12 #
13 # Gain and Corner Frequency (
14 #
15 # setFilterLowPass
16 #
17 # Description
18 #
19 # A full floating-point method for setting the corner frequency
20 # [kHz] and gain of a low-pass filter.
21 #
22 # Instance Name cam chip
23 #
24 # filt0_6 an_Filter0_filt0_6 an_Filter0
25 #
26 #
27 # double an_setFilterLowPass(an_CAM cam, double Fo, double G)
28 # {
29 # static const double an_Pi = 3.1415926535897931;
30 # short dCin, dCout;
31
32 short dCint = 255;
33 short Cin, Cout;
34 double aG, aomega, aFo;
35 long clocka = an_GetClockFrequency(cam, an_CAMClock_ClockA);
36 // Prewarp omega (Fo) into omega_a with Bilinear Transform
37 double omega = 2.0 * clocka * tan(an_Pi*Fo*1000.0/clocka);
38 double alpha = (clocka/omega - 0.5);
39 double err = 99999;
40 double bestErr = 999;
41 while (dCint>0)
42 {
43     dCout = an_AdjustCap(dCint/alpha);
44     dCin = an_AdjustCap(1.0*G*dCout);
45     aG = 1.0*dCin/dCout;
46     aomega = 2.0 * dCout *clocka/(2.0 * dCint + dCout);
47     err = aG/G + G/aG + aomega/omega + omega/aomega;
48     if (err < bestErr)
49     {
50         bestErr = err;
51         Cout = dCout;
52         Cint = dCint;
53         Cin = dCin;
54     }
55     dCint--;
56 }
57 aomega = 2.0 * Cout * clocka/(2.0 * Cint + Cout);
58 aFo = 0.001*clocka * atan(0.5 * aomega / clocka) / an_Pi;
59 an_SetCapValue(cam, an_AnadigmVortex_FilterBilinear_Cin,Cin);
60 an_SetCapValue(cam, an_AnadigmVortex_FilterBilinear_Cout,Cout);
61 an_SetCapValue(cam, an_AnadigmVortex_FilterBilinear_Cint,Cint);
62 return aFo;
63 }
64

```

Рис. 10. Приклад програми в Сі кодї для НЧ ланки фільтра

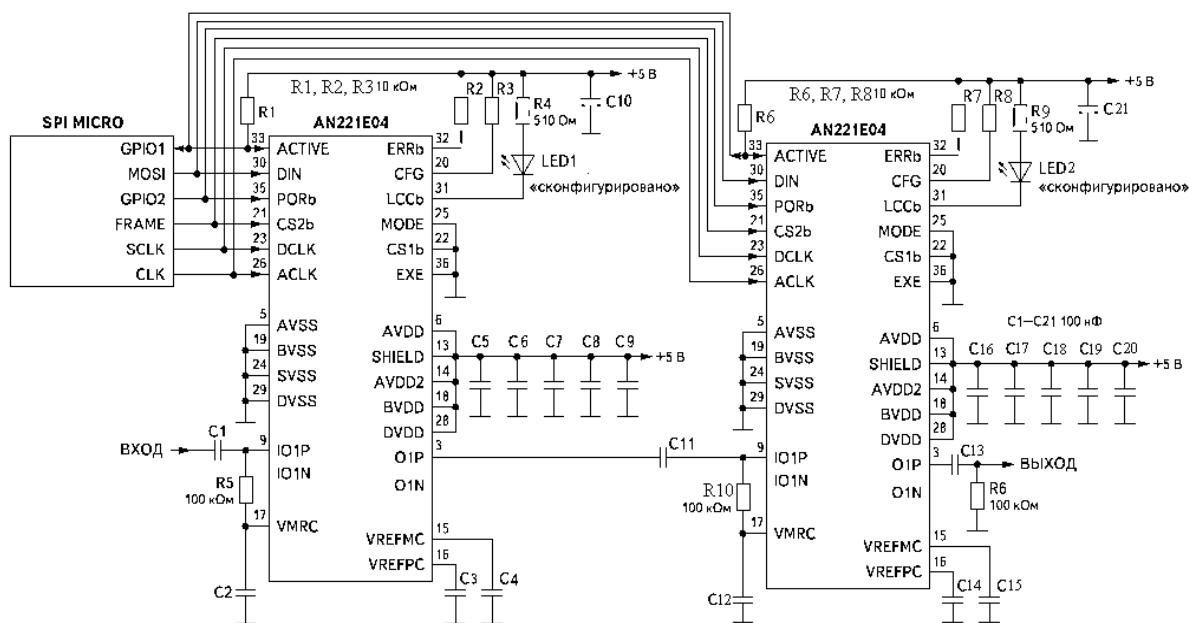


Рис. 11. Елептичний фільтр НЧ

Дослідження АЧХ та ФЧХ, розробленого фільтра, показало збіг результатів з розрахунком.

Висновки

Існує велика кількість задач розв'язок яких доцільний на основі аналогових компонентів, тоді як рішення на основі цифрової обробки аналогових сигналів може бути громіздким і недоцільним. ПАІС можуть стати незамінним інструментом при розробці систем для обробка аналогових сигналів з високою точністю, таких як, фільтри, точні вимірювальні системи, пристрої обробки сигналів звукового діапазону частот, системи промислової автоматики, медичного обладнання, автоелектроніки, збору та обробки даних. Способи статичного та динамічного конфігурування ПАІС прості у реалізації, не вимагають розширених знань в програмуванні, забезпечують можливості гнучкого програмування аналогової схеми і переконфігурації окремих параметрів або функцій в режимі реального часу. Але широкому використанню ПАІС перешкоджає мала інформованість виробників обладнання про їх можливості.

Література

1. Полищук А. Программируемые аналоговые ИС Anadigm: весь спектр аналоговой электроники на одном кристалле. Первое знакомство / А. Полищук // Современная электроника. – 2004. – № 2. С. 8 -11.
2. Мишин Г. Новые решения в аналоговой микроэлектронике / Г. Мишин // Технологии приборостроения. – 2003. – № 4. С. 33 – 45.
3. Хьюлсман Л.П. Введение в теорию и расчет активных фильтров / Л.П. Хьюлсман, Ф.Е. Аллен – М.: Радио и связь. 1984. – 384 с.
4. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления / Е.П. Попов – М.: Наука. – 1989. – 304 с.
5. Полищук А. Программированные аналоговые интегральные схемы Anadigm. Часть 2. Загрузка конфигурации / А. Полищук // Компоненты и технологии. – 2005. – № 3. – С. 124 – 127.
6. Щерба А. Динамическое программирование аналоговых схем Anadigm управляющим методом / А. Щерба // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12. – С. 7-10.
7. Стешенко В. Школа схемотехнического проектирования устройств обработки сигналов / В. Стешенко // Компоненты и технологии. – 2002. – № 1. – С. 122 – 125.

Надійшла до редакції
16.5.2012 р.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Хмельницького національного університету,
протокол № 10 від 23.05.2012**

Підп. до друку 23.05.2012 р. Ум.друк.арк. 19,4 Обл.-вид.арк. 18,45
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № 172/05

Тиражування здійснено редакційно-видавничим центром
Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63