

# Расчет и реализация входных и выходных фильтров для программируемых аналоговых схем Anadigm

Александр ЩЕРБА  
shcherba@prosoft.ru

**В статье описываются особенности работы дискретных аналоговых систем, построенных на базе переключаемых конденсаторов. Приведены схемы и даны расчеты входных и выходных фильтров нижних частот, необходимых для устранения эффекта наложения спектра и подавления нежелательных гармоник в выходном сигнале.**

## Особенности работы схем на переключаемых конденсаторах

Программируемые аналоговые микросхемы производства Anadigm работают на схемах с переключающими конденсаторами. Схемы на переключающих конденсаторах (СПК) построены на принципе замещения резисторов конденсаторами. Такое решение позволяет использовать интегральные технологии и хорошо отработанный процесс производства высокочастотных МОП-конденсаторов вместо интегральных резисторов, которые занимают большую площадь на кристалле ИМС, имеют низкую точность и сильную зависимость от температуры окружающей среды и времени эксплуатации. Для МОП-конденсаторов характерны малые токи утечки и температурная стабильность. Тот факт, что для СПК важно не абсолютное значение емкостей, а только отношение между ними, делает возможным создание интегральных схем обработки аналоговых сигналов высокой степени интеграции с абсолютными значениями емкостей менее  $10^{-12}$  мкФ.

На рис. 1а представлена упрощенная блок-схема устройств на переключаемых конденсаторах. Вначале аналоговый сигнал поступает на фильтр нижних частот ФНЧ<sub>1</sub>, устраняющий эффект наложения спектров, затем с помощью устройства выборки хранения от аналогового сигнала берутся дискретные во времени значения входного сигнала с частотой  $f_C$ , потом сигнал направляется на вход схемы с переключающими конденсаторами. После необходимой обработки сигнал поступает на устройство выборки хранения УВХ<sub>2</sub>, выполняющее функции фильтра нулевого порядка, и далее — на аналоговый восстанавливающий фильтр нижних частот ФНЧ<sub>2</sub>, который производит сглаживание кусочно-постоянного сигнала [2].

При проектировании схем на переключающих конденсаторах необходимо учитывать следующие особенности:

1. Сквозное прохождение сигнала тактовой частоты переключения конденсаторов. Как правило, тактовая частота переключения конденсаторов значительно (в 30 раз) удалена от верхней границы частоты обрабатываемого сигнала и легко удаляется аналоговым фильтром низких частот на выходе СПК.

2. Спектральные компоненты входного сигнала, которые отстают по частоте от тактового сигнала переключения конденсаторов на величину, соответствующую частотам полосы пропускания, будут присутствовать на выходе в виде разностной составляющей между частотой полезного сигнала и частотой переключения конденсатора (эффект наложения спектров). Это означает, что если входной сигнал с верхней границей полезного сигнала 1 кГц будет содержать паразитный сигнал с частотой от 99 до 101 кГц, то при частоте переключения конденсаторов 100 кГц на выходе в спектре полезного сигнала появится паразитный сигнал. Такие спектральные компоненты удаляются фильтром низких частот на входе СПК.
3. Наличие шума на выходе СПК из-за неполного гашения инжекции заряда МОП-ключей. Поэтому динамический диапазон ограничен: 100–140 дБ.

## Реализация фильтров для ПАИС Anadigm AN121E04/AN221E04

Все аналоговые сигналы от внешних источников заводятся в ПАИС Anadigm через ячейки ввода/вывода (рис. 2). На базе ячеек ввода/вывода можно реализовать самостоятельные конфигурируемые модули, в том числе усилители и программируемые фильтры нижних частот (ФНЧ). Для конфигурирования ячейки ввода/вывода в режим ФНЧ необходимо с помощью меню настроек ячеек вво-

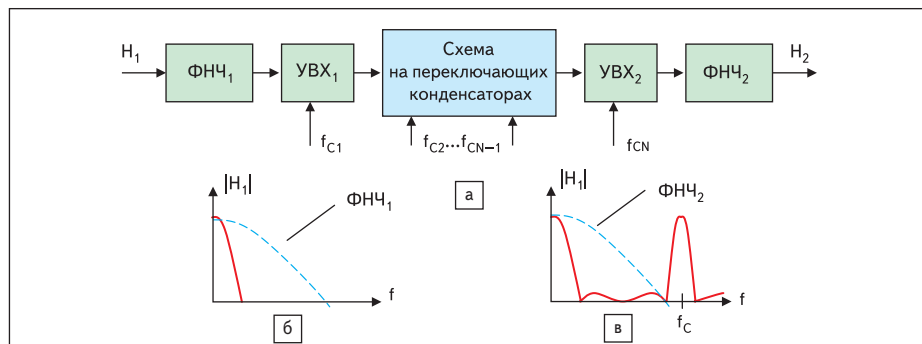


Рис. 1. а) Блок-схема обработки сигнала на схемах с переключающими конденсаторами; б) спектр входного сигнала; в) спектр выходного сигнала

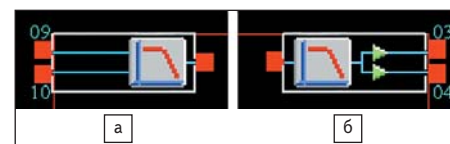


Рис. 2. Условное обозначение ячеек ПАИС 2-го поколения: а) входной ячейки; б) выходной ячейки

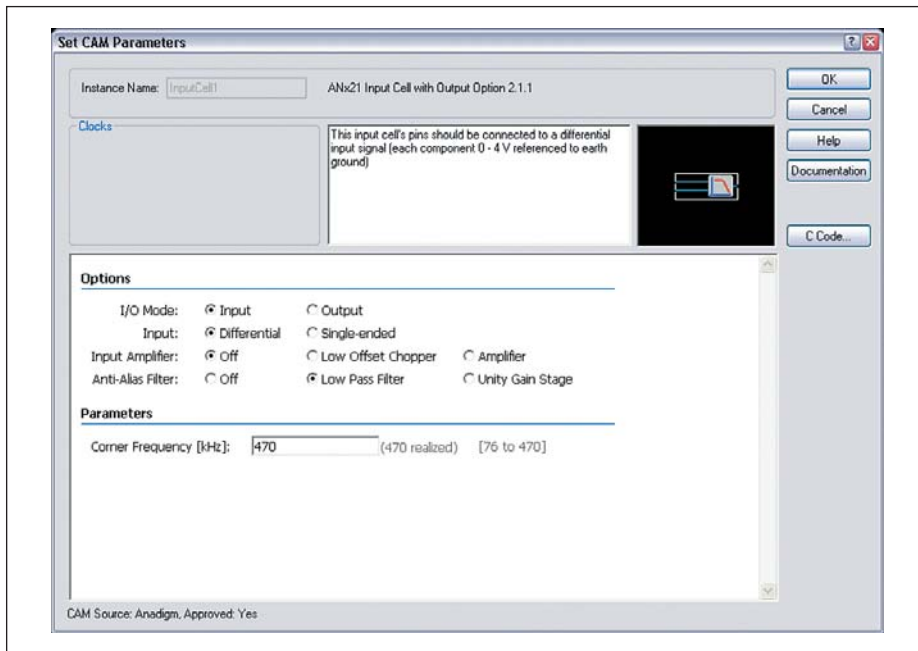


Рис. 3. Меню настроек ячейки ввода/вывода для ПАИС 2-го поколения

да/вывода (рис. 3) выбрать режим работы “Low Pass Filter” («Фильтр нижних частот»), а с помощью окна “Corner Frequency” установить нужную частоту среза. Важно, чтобы частота среза не была ниже верхней границы частоты полезного сигнала.

### Реализация фильтров для ПАИС Anadigm AN131E04/AN231E04

В отличие от 2-го поколения, ПАИС 3-го поколения не имеют встроенных фильтров нижних частот. Для реализации фильтров в ПАИС 3-го поколения предусмотрены встроенные дифференциальные усилители во входных ячейках (рис. 4, таблица).

Эти усилители позволяют сконструировать входные и выходные цепи фильтров низких частот, используя только пассивные компоненты (рис. 5). Для этого необходимо выполнение 4 условий:

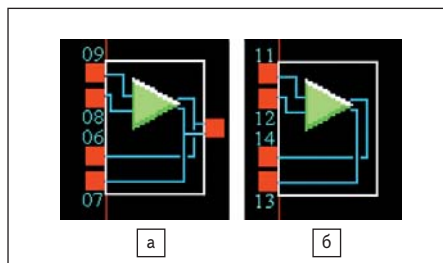


Рис. 4. Условное обозначение ячеек ввода/вывода для построения фильтров нижних частот ПАИС 3-го поколения: а) входных; б) выходных

- 1) Входной сигнал должен быть дифференциальным.
- 2) В целях уменьшения шума входной фильтр должен быть 2-го порядка.
- 3) Входной сигнал должен быть униполярным с постоянной составляющей +2 В.
- 4) Амплитуда сигнала на выходе фильтра не должна превышать +3 В.

Значение номиналов фильтра нижних частот рассчитывается исходя из частоты среза фильтра  $F_C$ , коэффициента передачи  $G$  и добротности  $Q$  (обычно  $Q = 0,707$ ). Как правило, тактовая частота значительно превышает верхнюю частоту полезного сигнала, поэтому для эффективной фильтрации достаточно применять фильтр Баттерворта 2-го порядка. Данный тип фильтра обладает отличной линейностью в полосе пропускания.

Расчет номиналов проводится по следующим формулам:

$$R_2 = G \times R_1,$$

$$R_3 = R_1(G/(G+1)),$$

$$C_1 = (Q(G+1))/(\pi G F_C R_1),$$

$$C_2 = 1/(4\pi G F_C R_1 Q),$$

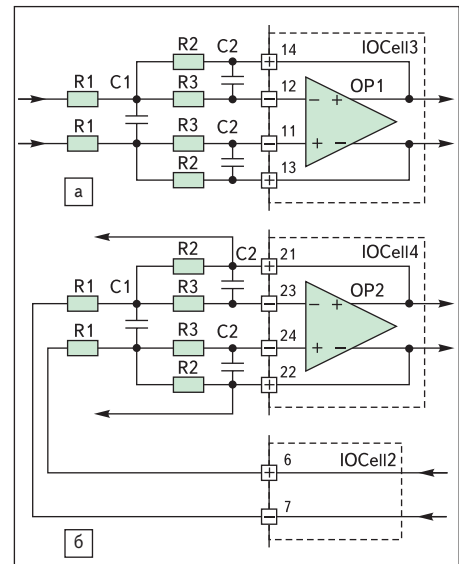


Рис. 5. Фильтры нижних частот, реализованные с помощью встроенных дифференциальных усилителей ПАИС: а) входной фильтр; б) выходной фильтр

где  $F_C$  — частота среза фильтра;  $G$  — коэффициент передачи фильтра;  $Q$  — добротность фильтра ( $Q = 0,707$  для фильтра Баттерворта).

Для примера приведем расчетные данные фильтра нижних частот:  $F_C = 15$  кГц;  $G = 3$ ;  $R_1 = 10$  кОм;  $R_2 = 30$  кОм;  $R_3 = 7,5$  кОм;  $Q = 0,7071$ ;  $C_1 = 2,0$  нФ;  $C_2 = 0,25$  нФ.

### Рекомендации по выбору компонентов

Следует использовать конденсаторы с диэлектриком NPO или COG, а также поверхностный монтаж для минимизации паразитных емкостей. Нужно избегать применения емкостей менее 10 пФ. Предпочтительны металло-пленочные резисторы с маленьким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Точность компонентов должна быть лучше, чем 1%.

### Заключение

При проектировании схем с использованием переключающих конденсаторов необходимо учитывать специфику работы аналоговых дискретных систем. Для уменьшения шумов нужно применять фильтры нижних частот для входного и выходного сигналов. При использовании рекомендуемой тактовой частоты необходим фильтр 2-го порядка, построенный на базе ресурсов ПАИС. ■

### Литература

1. AN121E04/AN221E04 Field Programmable Analog Arrays. User Manual. [www.anadigm.com](http://www.anadigm.com)
2. Гауси М., Лакер К. Активные фильтры с переключаемыми конденсаторами / Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1986.

Таблица. Основные электрические характеристики дифференциальных усилителей

	Обозначение	Минимум	Типовое	Максимум
Выходное напряжение, В	Vinouta	0,125	—	2,875
Дифференциальное входное/выходное напряжение, В	Vdiffioa	—	—	±2,75
Эквивалентное напряжение смещения, мВ	Vofseti	2,85	—	13,9
Эквивалентное напряжение смещения в режиме автокалибровки нуля, мВ	Voffset AZ	—	0,5	1,0
Усиление с разомкнутой петлей обратной связи, дБ	Av	—	103	—
Коэффициент подавления синфазной составляющей входного сигнала, дБ	CMRR	60	—	—
Коэффициент подавления пульсаций напряжения питания, дБ	PSSR	60	—	—
Скорость нарастания дифференциального выходного напряжения, В/мкс	Slew	—	50	—
Частота единичного усиления, МГц	UGB	63	—	—
Входное сопротивление, МОм	Rin	10	—	—
Выходное сопротивление, Ом	Rout	—	33	—