

# Программируемые аналоговые ИС Anadigm: структура и принцип построения

Александр Полищук (Москва)

В предыдущем номере («СЭ» № 2, 2004) мы рассказали об общих принципах построения и структуре программируемых аналоговых интегральных схем. В данной статье более подробно рассмотрена структура аналоговой части ПАИС Anadigm на примере наиболее высокоинтегрированного изделия AN221E04.

## КОНФИГУРИРУЕМЫЕ АНАЛОГОВЫЕ БЛОКИ

Принцип действия программируемых аналоговых интегральных схем основан на использовании схемотехники на переключаемых конденсаторах. Основу ПАИС составляют конфигурируемые аналоговые блоки (КАБ). Anadigm выпускает два варианта ПАИС: с двумя и четырьмя КАБ. Все функции, доступные в библиотеке конфигурируемых аналоговых модулей (КАМ), отображаются в КАБ в виде программируемых аналоговых схем. На рис. 1 показана обобщенная структура одной из ячеек матрицы КАБ. Каждая ячейка содержит статические и динамические ключи. Динамические ключи управляются входными и тактовыми сигналами, а также логикой регистра последовательного приближения. Статические ключи определяют общие схемы коммутации блоков, значения ёмкостей конденсаторов и подключение входов. Независимо от назначения, все ключи

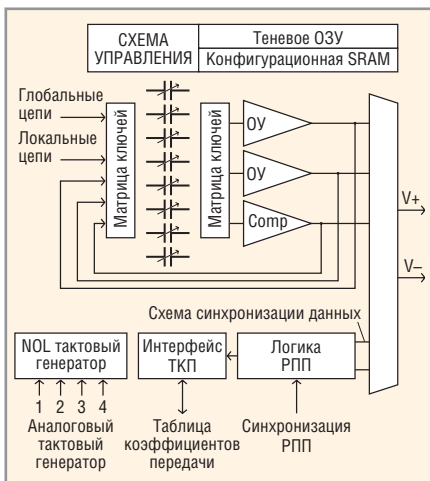


Рис. 1. Обобщенная структура ячейки матрицы КАБ

управляются с помощью конфигурационной памяти (SRAM).

При включении питания микросхемы SRAM очищается, после этого с помощью конфигурационной логики данные загружаются из внешнего EPROM в теневое ОЗУ, а из него копируются в конфигурационное ОЗУ. Во время работы ПАИС теневое ОЗУ может быть перезагружено новыми данными, которые впоследствии могут использоваться для перепрограммирования структуры ПАИС. В этом случае содержимое теневого ОЗУ копируется в конфигурационную память, и с приходом очередного такта синхронизации микросхема начинает работать в новой конфигурации, без прерывания процесса обработки сигнала.

Аналоговые сигналы направляются в ближайший блок по кратчайшему пути с помощью матрицы первой группы входных аналоговых ключей. На эту же матрицу выводятся обратные связи двух внутренних операционных усилителей и компаратора.

Конфигурируемый аналоговый блок содержит также группу из восьми программируемых конденсаторов, каждый из которых может иметь относительное значение ёмкости от 0 до 255 единиц. Для элементов КАМ важно не абсолютное значение ёмкости, а соотношение между ними, которое выдерживается с точностью не меньше 0,1%.

Вторая матрица ключей предназначена для организации внутренней топологии и выполняет соответствующие внутренние коммутации цепей. Основу ячейки КАБ составляют два операционных усилителя и компаратор. Их выходы заводятся об-

ратно в матрицу входных ключей для организации обратных связей, а также в соседнюю ячейку КАБ.

Обработка сигнала внутри КАБ осуществляется схемами на переключаемых конденсаторах. Для корректной работы такие схемы нуждаются в так называемой неперекрывающейся синхронизации (non-overlapping clocks, NOL). Такой тактовый генератор является частью КАБ и вырабатывает все необходимые NOL-сигналы для его функционирования.

При инициализации логики регистра последовательного приближения для реализации 8-разрядного АЦП используется внутренний компаратор КАБ. ПАИС содержит специальную область памяти объёмом 256 байт, называемую таблицей коэффициентов передачи (ТКП), с помощью которой можно реализовать нелинейные аналоговые функции, такие как перемножение, сжатие, линеаризация, автоматическая регулировка усиления.

Её 8-разрядный адресный вход может подключаться к выходу АЦП или специальному LUT-счётчику. В этом случае каждое новое значение счётчика представляет собой адрес в таблице коэффициентов передачи. Данные, находящиеся по этому адресу, считываются из таблицы и записываются в теневое ОЗУ в ячейку, где хранится информация о конфигурации соответствующего аналогового компонента. После загрузки в конфигурационное ОЗУ они используются для формирования передаточной функции устройства. Синхронизация LUT-счётчика осуществляется от одного из четырёх аналоговых тактовых генераторов.

Загрузка данных таблицы коэффициентов передачи из теневого в конфигурационное ОЗУ может производиться с приходом байта данных конфигурации, а также по сигналу от внутреннего детектора пересечения нуля, компаратора или внешнего сигнала EXECUTE.

Комбинируя конфигурации ТКП/КАБ, можно осуществлять модуляцию стандартных сигналов или формировать сигналы произвольной формы.

Конфигурируемый аналоговый блок включает в себя все необходимые компоненты для создания 8-разрядного АЦП последовательного приближения. Для его работы требуются два тактовых сигнала с соотношением частот 1 к 16. Низкочастотный сигнал, называемый СЛОСКА, определяет скорость преобразования и не должен превышать 250 кГц. Высокочастотный сигнал, называемый СЛОСКВ, используется непосредственно для преобразования (тактовая синхронизация АЦП). Оба сигнала формируются схемой деления основной тактовой частоты.

Результат преобразования представляется в формате знак (1 бит) + значение (7 бит) и может подаваться на адресный порт ТКП или возвращаться обратно в КАБ, на базе которого создан АЦП. Входное напряжение АЦП должно быть ограничено величиной  $\pm 1,5$  В относительно системного нуля (опорного напряжения VMR).

АЦП может использоваться как генератор адресов таблицы коэффициентов передачи. В конце каждого цикла преобразования 8-разрядный результат воспринимается ТКП как новый адрес. Конфигурационная схема считывает содержимое таблицы, находящееся по этому адресу, и загружает его в соответствующую область теневого ОЗУ.

Типовое использование совместной работы АЦП и ТКП – линейаризация и калибровка входного сигнала. Сигнал подаётся через входную ячейку в КАБ, в котором сконфигурирован усилитель с функцией линейаризации и преобразуется с помощью АЦП в 8-разрядный код. Результат преобразования поступает на адресную шину таблицы, в которой хранится массив значений функции линейаризации. Используя механизм, аналогичный описанному в предыдущем параграфе, конфигурационная схема загружает содержимое таблицы, находящееся по данному адресу, в соответствующую область теневого ОЗУ. При этом устанавливается текущий коэффициент передачи усилителя, требуемый для осуществления линейаризации.

При использовании АЦП как самостоятельного устройства результат

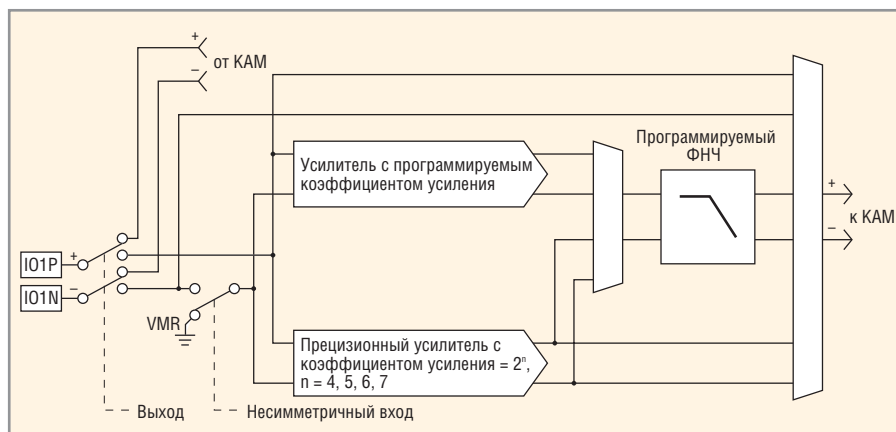


Рис. 2. Структура конфигурируемой ячейки

преобразования возвращается обратно в конфигурационную память КАБ. На выходе АЦП формируются последовательный поток данных и синхросигнал, которые можно вывести через выходные ячейки, сконфигурированные как цифровые выходы.

### Аналоговый интерфейс

Аналоговый интерфейс ПАИС состоит из конфигурируемых двуправленных ячеек входа/выхода I/O\_Cell и выходных ячеек Output\_Cell.

Каждая конфигурируемая ячейка I/O\_Cell (рис. 2) содержит набор ресурсов, позволяющих подключать внешние приёмники и источники сигналов без дополнительных внешних компонентов. Для обеспечения максимальной точности все сигналы внутри ячеек обрабатываются в полностью дифференциальной форме. Вход/выход каждой ячейки также является дифференциальным. При необходимости ячейка может быть сконфигурирована в режиме несимметричного входа, при этом второй (инверсный) вход соединяется внутри ячейки с источником опорного напряжения VMR +2 В (он является опорным для внутренних аналоговых устройств).

Для многих применений, таких как обработка сигналов постоянного тока, бывает необходимо использовать на входе фильтр нижних частот для очистки сигнала от помех. Входная часть ячейки I/O\_Cell содержит ФНЧ второго порядка с программируемой частотой среза. При его использовании рекомендуется выбирать соотношение частоты среза и максимальной частоты сигнала не более 30.

Другим уникальным ресурсом I/O\_Cell является наличие двух усилителей: с программируемым коэф-

фициентом усиления и прецизионного со стабилизацией напряжения смещения прерыванием. Это оказывается очень полезным при необходимости усиления слабого низкочастотного сигнала. Величина его усиления может быть установлена из ряда  $2^n$ , где  $n = 4...7$ . Усилитель с программируемым коэффициентом усиления может также выполнять функцию входного буфера. Сигнал с усилителей может подаваться в КАБ как напрямую, так и через сглаживающий ФНЧ. Несимметричный входной сигнал также может непосредственно подаваться на усилитель или ФНЧ, что обеспечивает его преобразование в дифференциальную форму внутри ячейки. Необходимо отметить, что перечисленные ресурсы могут использоваться только при конфигурации ячейки в режиме входа. В режиме выхода выводы ячейки непосредственно соединяются с соответствующим аналоговым блоком.

ПАИС содержит также дополнительную конфигурируемую мультиплексированную ячейку входа/выхода. Она содержит на входе двуправленный мультиплексор, который подключает один из четырёх дифференциальных или несимметричных сигналов к ячейке I/O\_Cell, аналогичной по структуре описанным выше.

Так же как и входные I/O\_Cell, выходные ячейки Output\_Cell разработаны с учётом обеспечения максимальной точности обработки и позволяют выводить из ПАИС как аналоговые сигналы, так и логические уровни. Сигналы из различных аналоговых блоков подаются на вход ячейки через программируемый входной мультиплексор (рис. 3).

Каждая выходная ячейка содержит программируемый ФНЧ, который

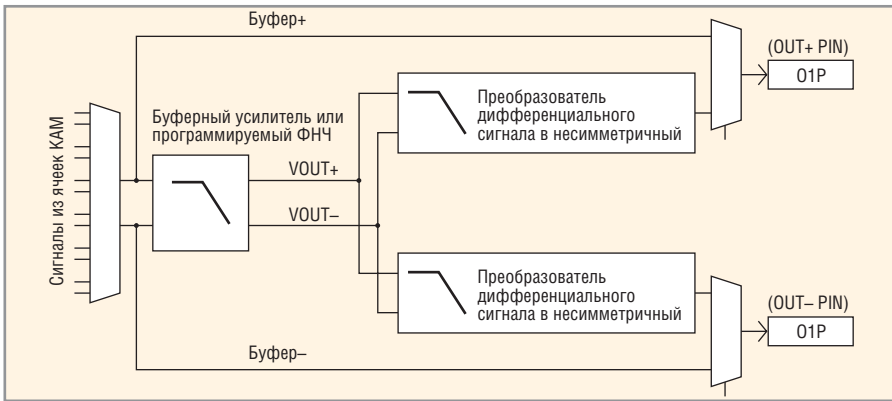


Рис. 3. Структура входного мультиплексора

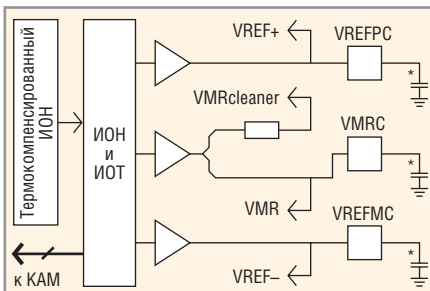


Рис. 4. Термокомпенсированный источник образцового напряжения

может быть отключён или активирован с установленной частотой среза. После ФНЧ установлены преобразователи дифференциального сигнала в несимметричные, которые смещены относительно нуля на величину опорного напряжения VMR. С выходов Output\_Cell можно снимать как несимметричные, так и дифференциальные сигналы. Необходимо отметить, что амплитуда несимметричного сигнала будет равна половине амплитуды дифференциального сигнала.

В некоторых случаях может потребоваться вывести сигнал через Output\_Cell, минуя фильтр и выходные буферы. Это можно осуществить, сконфигурировав ячейку соответствующим образом.

Несколько элементов из стандартной библиотеки конфигурируемых аналоговых модулей требуют вывода сигнала в цифровой форме (логическими уровнями), например, выходы данных и синхронизации АЦП или компараторов. В этом случае ячейка Output\_Cell может быть сконфигурирована в режиме цифрового выхода.

**ОПОРНЫЕ И ТАКТОВЫЕ СИГНАЛЫ**

ПАИС включает в себя формирователи трёх основных сигналов: опорных напряжений, тактовых частот, аналоговых синхросигналов.

В качестве системного нуля, относительно которого передаются и обрабатываются аналоговые сигналы внутри ПАИС, используется шина +2 В опорного напряжения VMR. Этот сигнал вырабатывается прецизионным термокомпенсированным источником образцового напряжения (рис. 4), который также формирует сигналы VREF+ (VMR +1,5 В) и VREF- (VMR -1,5 В). Напряжение VMR внутри КАБ подаётся двум группам различных по характеру потребителей. Оно поступает на все цепи заряда переключаемых конденсаторов, где требования к уровню его шумов

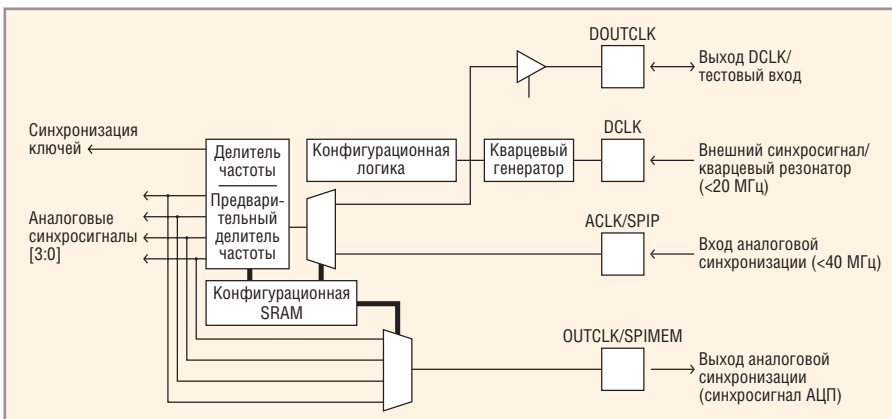


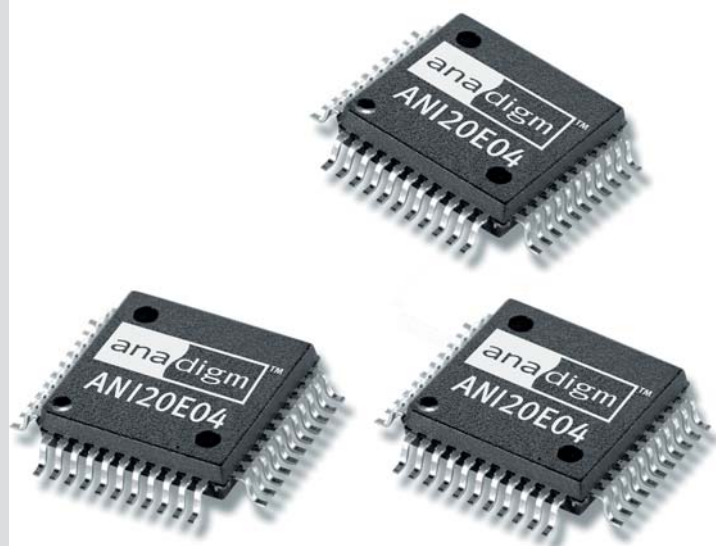
Рис. 5. Структурная схема системных тактовых и функциональных генераторов

невысоки. В то же время VMR используется операционными усилителями в качестве виртуальной земли для улучшения времени установления, что требует малого уровня его шумов. Для компромиссного удовлетворения требований к шумам используются внешние фильтрующие конденсаторы, подключаемые к выводам VREFPC, VMRC и VREFMC. Рекомендуемое значение ёмкости этих конденсаторов лежит в диапазоне 75...100 нФ. Более высокое значение может ухудшить характеристики времени установления, более низкое – снизить устойчивость схемы. Используемые конденсаторы должны иметь малое значение собственной индуктивности. Источники VREF+ и VREF- могут использоваться в качестве элементов библиотеки конфигурируемых аналоговых модулей, например в качестве опорных напряжений для компараторов. Диапазон VREF-...VREF+ рекомендуется также в качестве ограничения уровня входного сигнала библиотечного АЦП.

Структурная схема системных тактовых и функциональных генераторов показана на рис. 5. Тактовая частота конфигурационной логики формируется на выводе DCLK, к которому можно подключить как внешний кварцевый резонатор, так и генератор с частотой до 40 МГц. Все аналоговые сигналы формируются от единого источника ACLK или DCLK. Какой из сигналов будет использоваться в качестве основного, определяется конфигурацией изделия. Этот сигнал делится на 5 независимых сигналов. Первый из них используется только для усилителей со стабилизацией прерыванием в ячейках I/O\_Cell, остальные четыре формируются с помощью предварительного делителя частоты и подаются на четыре делителя, программируемых пользователем. Каждый из них может использоваться для логики регистра последовательного приближения или схем на переключаемых конденсаторах внутри КАБ. Схемотехника системы генераторов гарантирует полную синхронность всех производных сигналов и основной тактовой частоты. Это особенно важно, когда используется наращивание производительности схемы за счёт использования совместной работы нескольких ПАИС.



# Программируемые аналоговые интегральные схемы (FPAА): весь спектр аналоговой электроники на одном кристалле!



Микросхемы FPAА Anadigm



Отладочный комплект с ПО Anadigm Designer® 2

## ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА ANADIGM DESIGNER 2

- Удобная среда разработки, интуитивно понятная разработчику
- Отладка схемы в реальном времени
- Цифровой осциллограф, вольтметр, частотомер
- Быстрое программирование ИС через стандартный порт RS232 непосредственно из среды разработки
- Тестирование прошивки непосредственно на кристалле или в системе
- Динамическое перепрограммирование структуры

## ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА FPAА

- Статическая и динамическая конфигурация структуры
- Однокристалльные системы аналоговой обработки
- Программное изменение характеристик системы
- Автоматически перестраиваемые и адаптируемые схемы
- Упрощение настройки и регулировки
- Увеличение жизненного цикла изделия
- Снижение стоимости
- Повышение надёжности

## На одном кристалле FPAА содержится:

- Дифференциальные компараторы
- Операционные и инструментальные усилители
- Инструментальные усилители
- Фильтры
- Источники образцового напряжения
- Усилители-ограничители
- Мультиплексор
- Выпрямители с ФНЧ
- Генераторы синусоидального сигнала
- Генераторы периодических сигналов специальной формы
- АЦП последовательного приближения
- Программируемые усилители

## Области применения

- Системы сбора данных
- Медицинское оборудование
- Автоэлектроника
- Промышленная автоматика
- Аудиотехника
- Прецизионные измерительные системы и т.п.