

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК681.324.687

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ КМОП-АЦП С ШИРОКИМ ДИАПАЗОНОМ ЧАСТОТ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОТ НЕСКОЛЬКИХ КИЛОГЕРЦ ДО НЕСКОЛЬКИХ ГИГАГЕРЦ

Кононов В.С., к.т.н., АО «Специализированное конструкторско-технологическое бюро электронных систем», e-mail: casandra1983@mail.ru.

DESIGN OF ARCHITECTURE OF CMOS-ADC WITH WIDE BANDWIDTH FROM FEW KILOHERTZ TO FEW GIGAHERTZ

Kononov V.S.

Key words: architecture, design, CMOS-ADC, capacitor, bandwidth, range.

Ключевые слова: АЦП, конвейер, конденсатор, частота, преобразование.

Введение

В настоящее время основную долю рынка высокоскоростных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) занимают многоразрядные преобразователи с конвейерной архитектурой [1] (рис. 1).

Такая архитектура отличается способностью одной секции обрабатывать данные другой секции в пределах одного такта. В результате выходной сигнал предыдущей секции передается в следующую секцию через устройство выборки-хранения (УВХ), а секция получает новые данные для дальнейшего преобразования. В этом состоит принцип конвейерного преобразования. Следует отметить, что благодаря УВХ конвейерные АЦП имеют широкий динамический диапазон, так как УВХ нивелирует неидентичность задержек компараторов внутри каждой секции.



Рис. 1. Блок-схема типичной

К-разрядной секции конвейерного АЦП: $AC_{вх}$,

$AC_{вых}$ – аналоговые сигналы на входе и выходе секции;

ЦС – цифровой сигнал на выходе секции

Роль УВХ, как известно, заключается в способности сохранять информацию о сигнале на входе секции до момента завершения, так называемого, «грубого» преобразования, что позволяет вычислить сигнал остатка на выходе секции и передать его в следующую секцию для дальнейшего преобразования.

Однако эта способность не гарантирует сохранение необходимой точности в течение продолжительного времени. Дело в том, что конденсатор, обычно используемый в качестве элемента хранения (рис. 2), теряет заряд под воздействием различного рода утечек, основными из которых являются подпороговый ток и утечки сток/источниковых $p\text{-}$ переходов ключевого МОП-транзистора [2].

Рассмотрены особенности классических КМОП-АЦП с конденсаторной архитектурой с точки зрения зависимости полосы частот преобразования от емкости конденсаторов хранения промежуточной информации. Показано, что для расширения полосы частот в сторону низких значений можно использовать встроенный генератор тактовых сигналов с высокой фиксированной частотой, обеспечивающей максимально возможную частоту преобразования и накопления цифровых данных в выходном регистре АЦП, вывод которых становится возможным практически на любой частоте внешнего источника тактовых сигналов.

В результате стремление к повышению частоты преобразования, которое обычно сопровождается уменьшением емкости конденсатора хранения, неминуемо приводит к повышению минимальной частоты преобразования, что ограничивает использование высокоскоростных КМОП-АЦП на низких частотах.

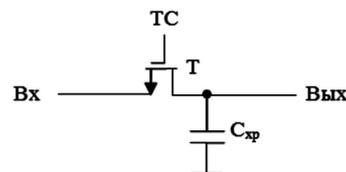


Рис. 2. Устройство выборки-хранения:

T – ключевой транзистор; $C_{хр}$ – конденсатор хранения;

ТС – тактовый сигнал

Целью данной статьи является разработка архитектуры КМОП-АЦП на основе переключаемых конденсаторов, позволяющей осуществлять преобразование сигналов одним АЦП в широком диапазоне частот от нескольких килогерц до нескольких гигагерц.

Направивается техническое решение, основанное на использовании встроенного генератора тактовых сигналов с высокой фиксированной частотой, при которой обеспечивается максимально-возможная скорость преобразования (рис. 3).

В результате проблема изменения зарядового состояния конденсатора хранения устраняется, а вывод цифровой информации из выходного регистра становится возможным практически на любой частоте, не превышающей частоту встроенного генератора.

Такое решение фактически превращает обычный

КМОП-АЦП с классической конденсаторной архитектурой в АЦП со свойствами, присущими бесконденсаторной архитектуре [3, 4]. В дальнейшем для удобства анализа такой КМОП-АЦП будем называть псевдо бесконденсаторным АЦП.

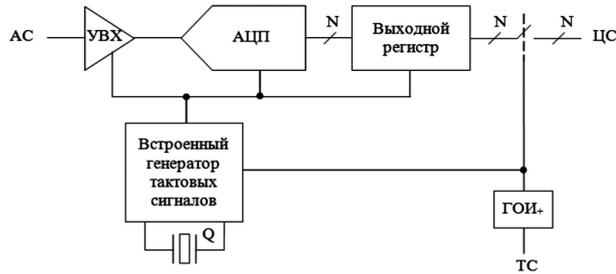


Рис. 3. Блок-схема АЦП со встроенным генератором тактовых сигналов с фиксированной частотой: ГОИ+ – генератор одиночных импульсов, возникающих по переднему фронту ТС; Q – кварц

Практическое применение псевдо бесконденсаторных АЦП имеет свои особенности. Дело в том, что любой генератор тактовых сигналов, как внешний, так и внутренний в АЦП, должен быть «кварцованным», чтобы удовлетворять определенным требованиям по «дрожанию» тактовых сигналов [1]. Из-за существующих ограничений по доступной номенклатуре кварцев в АЦП с частотой преобразования до нескольких гигагерц не удастся воспользоваться простой схемой непосредственной генерации тактовых сигналов с требуемой частотой (рис. 4).

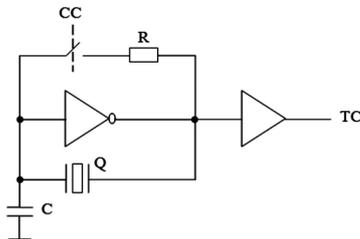


Рис. 4. Схема простого кварцевого генератора тактовых сигналов: R, C – элементы калибровки; СС – сигнал синхронизации

Поэтому на кристалле КМОП-АЦП необходимо размещать встроенный генератор с петлей фазовой автоподстройки основной частоты (ФАПЧ), в которой схема (рис. 4) будет играть роль источника опорной частоты. Так как опорная частота является фиксированной и более низкой по сравнению с основной ча-

стотой, то обеспечить устойчивую работу встроенного генератора и в целом петли ФАПЧ не представляет большой сложности.

Выводы

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Классические конденсаторные КМОП-АЦП с конвейерной архитектурой широко представлены на рынке, но имеют ограничения по полосе тактовых частот не только сверху, но и снизу. Ограничения сверху определяются в основном инерционностью транзисторов и паразитными емкостями соединительных шин на кристалле. Ограничения снизу связаны с изменением зарядового состояния переключаемых конденсаторов из-за подпороговых токов ключевых МОП-транзисторов и утечек стоков/истоковых $p\bar{n}$ -переходов этих транзисторов.

2. Использование встроенных генераторов тактовых сигналов высокой фиксированной частотой, обеспечивающей максимально возможную скорость преобразования, позволяет снять проблему изменения зарядового состояния конденсаторов хранения и, одновременно, создать возможность вывода цифровой информации из выходного регистра АЦП практически на любой частоте, не превышающей частоту встроенного генератора.

3. Для выполнения требований по «дрожанию» тактовых сигналов встроенный генератор должен быть «кварцованным» и охваченным петлей ФАПЧ, необходимость которой обусловлена не схемотехнической целесообразностью, а ограничениями по номенклатуре кварцев, доступных для применения в России.

Литература

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование [Текст]: монография / У. Кестер; пер. с англ. Е.Б. Володина. – М.: Техносфера, 2007. – 1016 с.
2. Rudy van de Plassche. CMOS integrated analog-to-digital and digital-to-analog converters [Text] / Rudy van de Plassche. – Kluwer academic publishers, 2003. – 588 p.
3. Кононов В.С. Архитектуры бесконденсаторных КМОП-КНИ-АЦП для космического применения [Текст] / В.С. Кононов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2016. – Т. 12. – №1, С. 70-73.
4. Кононов В.С. Особенности вычисления и обработки сигналов остатка в бесконденсаторных АЦП с секционированной архитектурой [Текст] / В.С. Кононов // Цифровая обработка сигналов. – 2017.–№1, С. 70-72.

Уважаемые коллеги!

Для тех, кто не успел оформить подписку на второе полугодие 2017 года через АО «Роспечать», сохраняется возможность приобретения журналов непосредственно в редакции по адресу: г. Москва, ул. Авиамоторная, дом 8, Научный Центр МТУСИ, ком. 612. Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, метро «Авиамоторная», или оформить Заказ в соответствии с требованиями, выставленными на сайте журнала: www.dsps.ru.

Справки по телефону: (+7 903)201-53-33 (Самсонов Геннадий Андреевич).

E-mail: rntores@mail.ru