

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.324.687

### ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ОСТАТКА В БЕЗКОНДЕНСАТОРНЫХ АЦП С СЕКЦИОНИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

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

### ESTIMATION AND PROCESSING OF RESIDUE SIGNALS IN PIPELINED ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS WITHOUT SWITCHED-CAPACITORS

*Kononov V.S.*

*Technique for evaluation and processing of residue signals without classic sample and hold device is described. It is shown, that usage of RC-circuits with fixed delay for analogue and clock signals with compensation of integration effect, provides acceptable precision of evaluation of residue signals and removes classic limitation on frequency range.*

**Keywords:** processing, architecture, capacitor, delay, residue, range.

**Ключевые слова:** обработка, архитектура, конденсатор, задержка, остаток, диапазон.

#### Введение

В конденсаторных АЦП с секционированной архитектурой [1] (рис. 1) сигнал остатка вычисляется как разность между сохраненным аналоговым сигналом и грубым цифровым приближением этого сигнала, полученным в результате последовательного преобразования сначала в секционном  $N$ -разрядном АЦП, а затем в секционном ЦАП аналогичной разрядности.

Сохранение аналогового сигнала в процессе грубого преобразования осуществляется в УВХ в виде заряда на конденсаторе  $C_{xp}$ , который заряжается при выборке через открытый МОП-транзистор (рис. 2).

Такой подход является достаточно эффективным и удобным при создании АЦП для приложений, не предназначенных для эксплуатации в «жестких» условиях. В последнем случае, как показал опыт эксплуатации АЦП с переключаемыми конденсаторами, наблюдается заметное ухудшение точностных характеристик, которые существенно деградируют с течением времени.

Одной из основных причин деградации точностных характеристик таких АЦП является утечка тока в стоковом рп-переходе ключевого МОП-транзистора (см. рис. 2), которая непосредственно влияет на зарядовое состояние конденсатора  $C_{xp}$ . Предотвратить возникновение и нарастание утечки тока не представляется возможным, так как этот процесс из-за влияния эффектов

*Описан способ вычисления и обработки сигналов остатка без использования классического устройства выборки/хранения. Показано, что применение RC-линий фиксированной задержки аналоговых и тактовых сигналов с нивелированием влияния эффекта интегрирования на амплитуду последних обеспечивает приемлемую точность вычисления остатка и снимает классическое ограничение на ширину диапазона частот преобразования.*

старения и воздействия условий эксплуатации является необратимым. В этом смысле УВХ можно считать наиболее уязвимыми устройствами в АЦП и поэтому их использование нежелательно, несмотря на очевидную значимость для конденсаторных АЦП.

Целью данной статьи является разработка способа вычисления и обработки сигналов остатка без использования УВХ для сохранения аналоговых сигналов.

В общем виде техника вычисления и обработки сигналов остатка уже рассматривалась в [2], где отмечалась необходимость использования двух линий задержки в цепях передачи аналогового и тактового сигналов. Забегая вперед, отметим, что при более детальном анализе этой техники потребовалось преодолеть определенные трудности, чтобы сохранить базовый принцип работы безконденсаторного АЦП. Согласно этому принципу такой АЦП должен работать в широком диапазоне частот преобразования – от нескольких килогерц до нескольких гигагерц (в нашем случае до 1 ГГц), что недоступно ни одному из известных конденсаторных АЦП.

Практическая реализация схемы вычисления и обработки сигналов остатка показана на рис. 3.

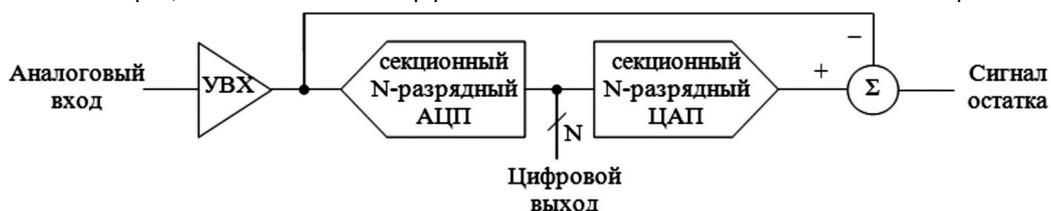


Рис. 1.  $N$ -разрядная секция конденсаторного АЦП: УВХ – устройство выборки/хранения

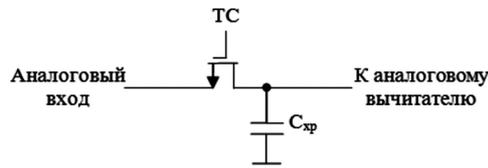


Рис. 2. Структура УВХ с переключаемым конденсатором: TC – тактовый сигнал

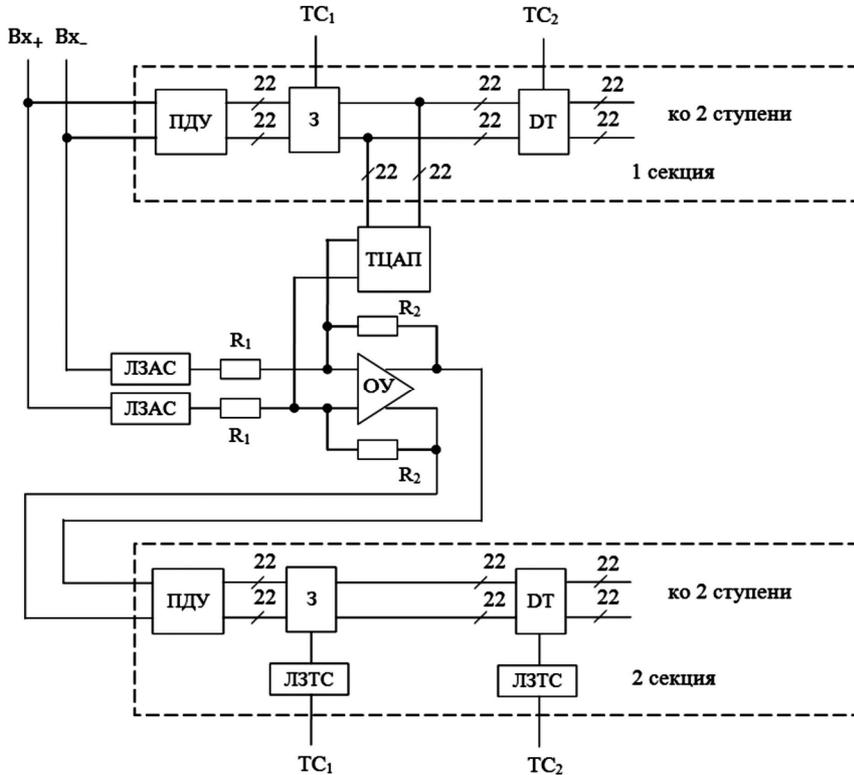


Рис. 3. Схема вычисления и обработки сигналов остатка:

ПДУ – предварительный усилитель; 3 – защелка; DT – D-триггер; ТЦАП – термометровый ЦАП; ОУ – операционный усилитель; ЛЗАС, ЛЗТС – линии задержки аналоговых ( $V_{x+}$ ,  $V_{x-}$ ) и тактовых ( $TC_1$ ,  $TC_2$ ) сигналов

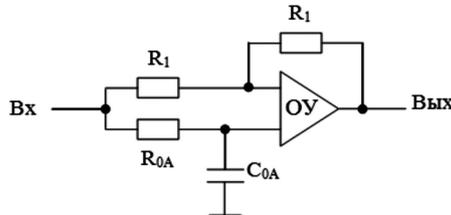


Рис. 4. Линия задержки аналогового сигнала

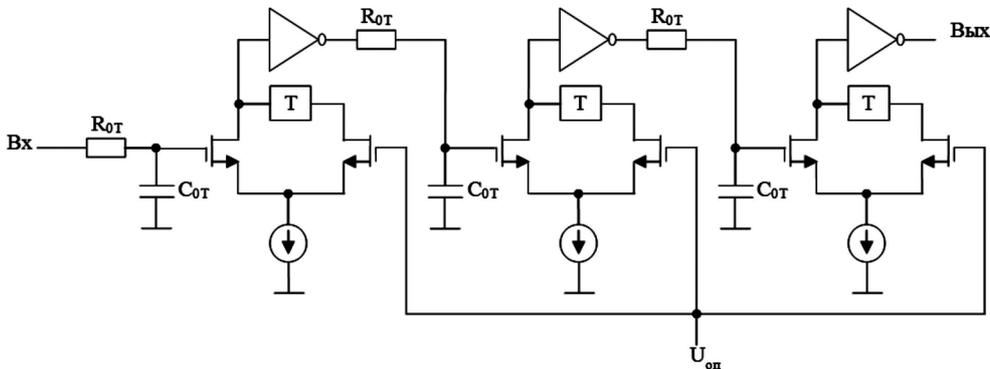
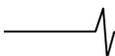


Рис. 5. Линия задержки тактовых сигналов  $TC_1$ ,  $TC_2$ :

T – триггер;  $U_{он}$  – опорное напряжение;  $R_{0T} \approx 0,3 \cdot R_{0A}$ ,  $C_{0T} \approx C_{0A}$  ( $R_{0A}$  и  $C_{0A}$  – резистор и конденсатор на рис. 4)

Линии задержки ЛЗАС, ЛЗТС выполнены по различным схемам (рис. 4, 5), но имеют одинаковые времена задержки сигналов, сопоставимые с временем восстановления преобразованного сигнала на выходе ЦАП.

Строго говоря, время задержки ЛЗТС должно превышать время задержки ЛЗАС на величину, равную времени суммарной задержки ОУ и ПДУ на входе второй секции АЦП.



По результатам моделирования схемы (рис. 3) в КМОП-исполнении с проектными нормами 0,18 мкм время этой задержки составило около 3 нс. В результате при произвольной длительности тактовых сигналов  $TC_1$ ,  $TC_2$ , которая может быть как больше, так и меньше полученного времени задержки, возникли определенные трудности при сохранении постоянной амплитуды задержанных тактовых сигналов из-за влияния эффекта интегрирования (рис. 6).

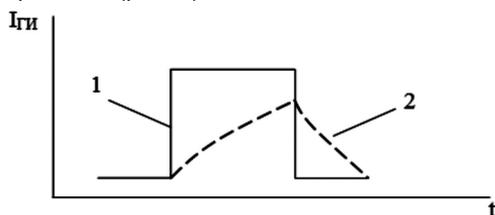


Рис. 6. Иллюстрация влияния эффекта интегрирования на амплитуду задержанного тактового сигнала при  $\tau_{ii} < \tau_z$ :

1 – исходный тактовый сигнал длительностью  $\tau_{ii}$ ;

2 – задержанный тактовый сигнал;

$\tau_z$  – необходимое время задержки

Чтобы избежать влияния этого эффекта, фиксированная задержка набиралась с помощью трех одинаковых каскадов (см. рис. 5), каждый из которых обеспечивает время задержки около 1 нс, что соответствует минимальной длительности тактовых сигналов  $TC_1$ ,  $TC_2$ .

При создании линии задержки для аналоговых сигналов (ЛЗАС) подобные трудности не возникали. Поэтому электрическая схема ЛЗАС (рис. 4) оказалась достаточно простой [3].

Завершая проведенный анализ техники вычисления и обработки сигналов остатка, необходимо отметить, что применение фиксированной задержки аналоговых и тактовых сигналов не приводит к ограничению длительности и периода тактовых сигналов. При этом точность установления задержанных аналоговых сигналов на входе ОУ оказалась по результатам моделирования соизмеримой с точностью установления аналоговых сигналов, сохраняемых на переключаемых конденсаторах в классических УВХ. Данное наблюдение позволило

отказаться от использования переключаемых конденсаторов, которые по сравнению с обычными RC-элементами несоизмеримо больше подвержены влиянию эффектов старения и воздействию «жестких» условий эксплуатации.

## Выводы

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Применение конденсаторов хранения в классических УВХ является эффективным и удобным способом, обеспечивающим вычисление сигнала остатка, однако этот способ мало пригоден для специальных приложений, предназначенных для эксплуатации в «жестких» условиях.

2. Применение RC-линий задержки аналоговых и тактовых сигналов с нивелированием влияния эффекта интегрирования на амплитуду последних позволяет отказаться от использования классических УВХ с конденсаторами хранения аналоговых сигналов, которые из-за утечек тока ограничивают возможность работы АЦП в широком диапазоне частот преобразования.

3. Предложенный способ вычисления и обработки сигналов остатка обеспечивает приемлемую точность установления входного и восстановленного аналоговых сигналов на входах межсекционного операционного усилителя, что, благодаря использованию линий фиксированной задержки сигналов, не приводит к ограничению диапазона частот преобразования.

## Литература

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование [Текст]: монография / У. Кестер; пер. с англ. Е.Б. Володина. – М.: Техносфера, 2007. – 1016 с.

2. Кононов В.С. Архитектуры безконденсаторных КМОП-КНИ-АЦП для космического применения [Текст] / В.С. Кононов // Вестник Воронежского гос. технического университета. – 2016. – Т. 12. – №1, С. 70-73.

3. van Valkenburg M.E. Analog Filter Design [Text] / M.E. van Valkenburg – Oxford University Press, 1995. – 608 p.