



About the authors

Dr Viktor Ponimatkin – Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Aleksey Tipikin – PhD, Senior Researcher, MESC MMF «VMF», Kaliningrad.
E-mail: alextip@mail.ru

Andrey Kazakov – PhD student, MESC MMF «VMF», Kaliningrad.
E-mail: strannik_1978@mail.ru

Gabriela Podlubnaja – student, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.
E-mail: GPodlubnaja@kantiana.ru

69

УДК 539.143.539.183

Д. Г. Артёмов, В. Е. Пониматкин

К ВОПРОСУ О ВОССТАНОВЛЕНИИ СИГНАЛА ПРИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Исследованы процесс функционирования аналого-цифрового преобразователя и трудности, возникающих при восстановлении исходного сигнала. Представлено решение проблемы апертурной неопределенности путём использования конструктивного метода с приближительным анализом восстановленного сигнала.

The work of analog-to-digital converter and the problems arising in the reduction of the input signal are investigated. A solution to the problem of aperture uncertainty is presented by using a constructive method with an approximate analysis of the reconstructed signal.

Ключевые слова: аналого-цифровой преобразователь, апертурное время, дискретизация, восстановленный сигнал, цифровая обработка сигнала.

Key words: analog-to-digital converter, aperture time, sampling, recovered signal, digital signal processing.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) являются устройствами, которые принимают входные аналоговые сигналы и генерируют соответствующие им цифровые сигналы. Процедура аналого-цифрового преобразования непрерывных сигналов, которую реализуют с помощью АЦП, представляет собой преобразование непрерывной функции времени $U_c(t)$, описывающей исходный сигнал, в последовательность чисел

$$U_c^1(t_j), j = 0, 1, 2, \dots,$$

отнесенных к некоторым фиксированным моментам времени.



Эту процедуру можно разделить на две самостоятельные операции [1]. Первая из них называется *дискретизацией* и состоит в преобразовании непрерывной функции времени $U_c(t)$ в непрерывную последовательность $\{U(t_j)\}$. Вторая — *квантованием* и состоит в преобразовании непрерывной последовательности в дискретную $U_c^1(t_j)$.

В основе дискретизации непрерывных сигналов лежит принципиальная возможность представления их в виде взвешенных сумм

$$U(t) = \sum a_j f_j(t),$$

где a_j — некоторые коэффициенты или отсчеты, характеризующие исходный сигнал в дискретные моменты времени; $f_j(t)$ — набор элементарных функций, используемых при восстановлении сигнала по его отсчетам.

Наиболее распространенная форма дискретизации — равномерная, в основе которой лежит теорема отсчетов. Согласно этой теореме в качестве коэффициентов a_j следует использовать мгновенные значения сигнала $\{U(t_j)\}$ в дискретные моменты времени $t_j = j\Delta t$, а период дискретизации выбирать из условия $\Delta t = \frac{1}{2}F_m$, где F_m — максимальная частота спектра преобразуемого сигнала. При этом выражение

$$U(t) = \sum a_j f_j(t)$$

переходит в известное выражение теоремы отсчетов

$$U(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} U(j\Delta t) \frac{\sin[2\pi F_m(t - j\Delta t)]}{2\pi F_m(t - j\Delta t)}.$$

Для сигналов со строго ограниченным спектром это выражение является тождеством. Однако спектры реальных сигналов стремятся к нулю лишь асимптотически. Применение равномерной дискретизации к таким сигналам приводит к возникновению в системах обработки информации специфических высокочастотных искажений, обусловленных выборкой. Для уменьшения этих искажений необходимо либо увеличивать частоту дискретизации, либо использовать перед АЦП дополнительный фильтр нижних частот, ограничивающий спектр исходного сигнала перед его аналого-цифровым преобразованием.

Как следует из рисунка 1, значение исходного сигнала U_c и восстановленного сигнала U_t существенно различаются.

Для достаточно узкополосных сигналов операцию дискретизации можно выполнять с помощью самих АЦП и совмещать таким образом с операцией квантования. Основной закономерностью такой дискретизации является то, что за счет конечного времени одного преобразования и неопределенности момента его окончания, зависящего в общем случае от параметров входного сигнала, не удается получить одно-



значного соответствия между значениями отсчетов и моментами времени, к которым их следует отнести. В результате при работе с изменяющимися во времени сигналами возникают специфические погрешности, динамические по своей природе, для оценки которых вводят понятие апертурной неопределенности, характеризующейся обычно апертурным временем.

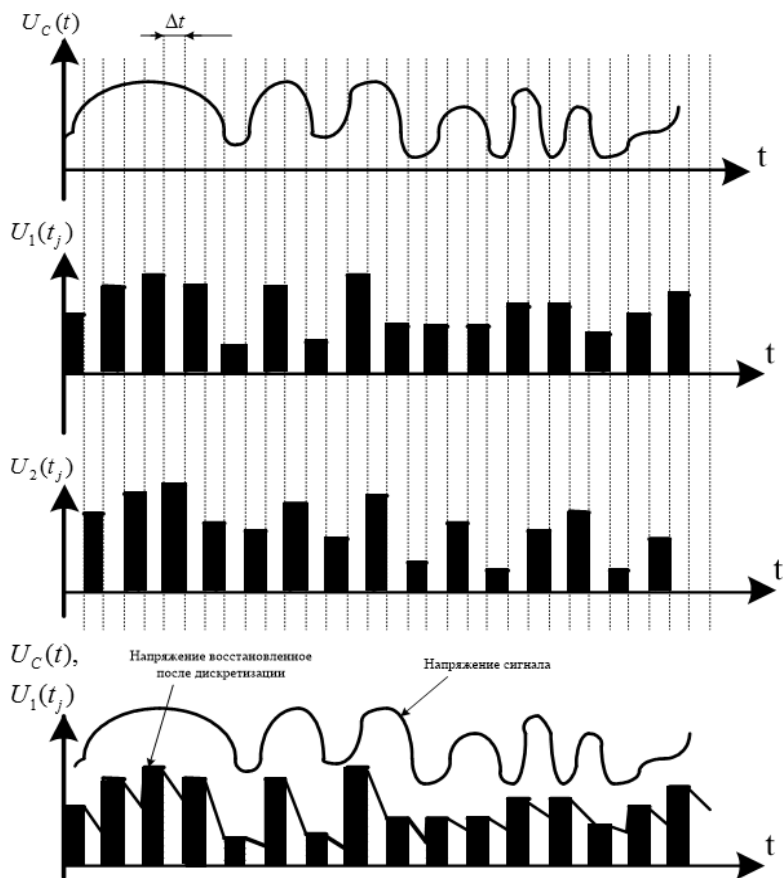


Рис. 1. Процесс восстановления сигнала по временным интервалам

Апертурным временем t_a называют время, в течение которого сохраняется неопределенность между значением выборки и временем, к которому она относится. Эффект апертурной неопределенности проявляется либо как погрешность мгновенного значения сигнала при заданных моментах измерения, либо как погрешность момента времени, в который производится измерение при заданном мгновенном значении сигнала. При равномерной дискретизации следствием апертурной неопределенности является возникновение амплитудных погрешностей, которые называются апертурными, численно равными приращению сигнала в течение апертурного времени [2].

Если использовать другую интерпретацию эффекта апертурной неопределенности, то ее наличие приводит к «дрожанию» истинных моментов времени, в которые берутся отсчеты сигнала, по отношению к равноотстоящим на оси времени моментам [3]. В результате вместо равномерной дискретизации со строго постоянным периодом осуществляется дискретизация с флюктуирующим периодом повторения, что приводит к нарушению условий теоремы отсчетов и появлению уже рассмотренных апертурных погрешностей в системах цифровой обработки информации.

Такое значение апертурной погрешности можно определить, разложив выражение для исходного сигнала в ряд Тейлора в окрестностях точек отсчета, которое для j -й точки имеет вид и дает в первом приближении апертурную погрешность

$$U(t) = U(t_j) + t_a U'(t_j) + \frac{t_a^2}{2} U''(t_j) + \dots, \quad \Delta U_a(t_j) \approx t_a U'(t_j),$$

где t_a — апертурное время, которое для рассматриваемого случая является в первом приближении временем преобразования АЦП. Обычно для оценки апертурных погрешностей используют синусоидальный испытательный сигнал $U(t) = U_m \sin \Delta t$, для которого максимальное относительное значение апертурной погрешности

$$\frac{\Delta U_a}{U_m} = \Delta t_a.$$

Для устранения эффекта апертурной неопределенности, а также более точного восстановления исходного сигнала предлагается следующая схема (рис. 2).

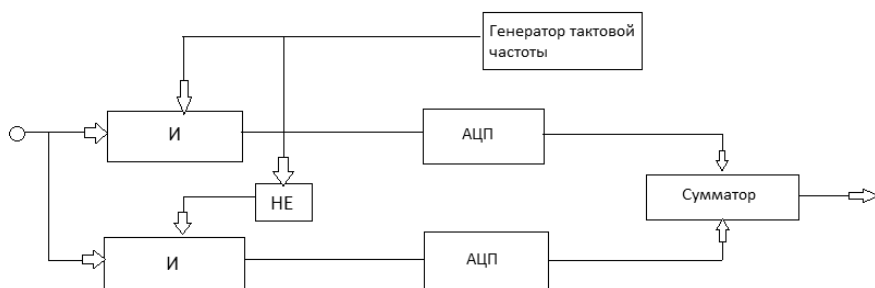


Рис. 2. Предлагаемая структура аналогово-цифрового преобразования

Сигнал делится на две временные части $t_1 \dots t_3 \dots t_5$ и $t_2 \dots t_4 \dots t_6$, каждый временной интервал с помощью АЦП оцифровывается и передается на сумматор, на котором два значения сравниваются и выстраивается усредненный более точный сигнал (рис. 3).

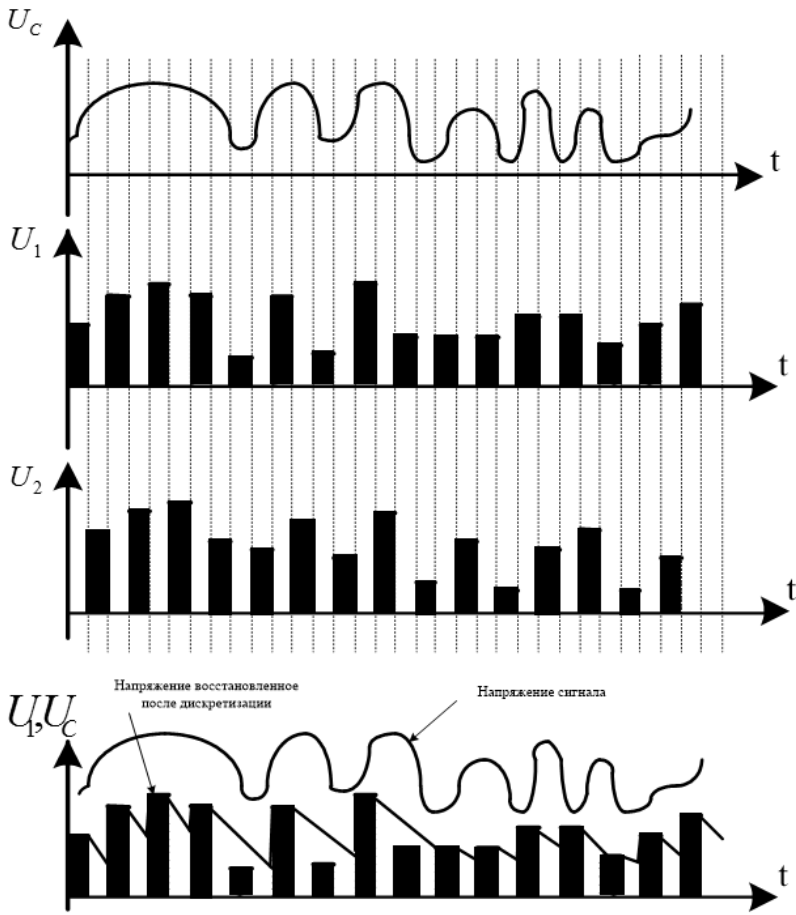


Рис. 3. Схема восстановления сигнала с помощью двойной дискретизации

На рисунке 4 показано, как будет выглядеть сигнал после дискретизации в данном случае. При использовании предлагаемого метода сигнал должен восстанавливаться более точно, уменьшая погрешность и соответствующее апертурное время.

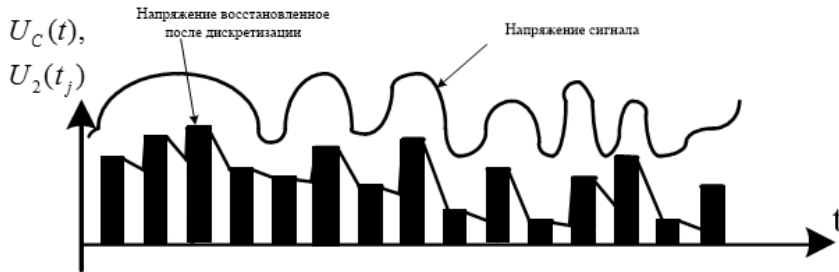


Рис. 4. Сигнал после восстановления с помощью двойной дискретизации



Список литературы

1. Балакай В. Г., Крюк И. П., Лукьянов Л. М. Интегральные схемы аналого-цифровых преобразователей. М., 2008.
2. Гельман М. М. Аналого-цифровые преобразователи для информационно-измерительных систем. М., 2009.
3. Рабаи Жан М., Чандракасан А., Николич Б. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования = Digital Integrated Circuits. М., 2007.

Об авторах

74

Дмитрий Геннадьевич Артёмов — магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.
E-mail: DArtemov@kantiana.ru

Виктор Ефимович Пониматкин — канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

About the authors

Dmitriy Artemov — student, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.
E-mail: DArtemov@kantiana.ru

Dr Viktor Ponomatkin — Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru