

# Анализ сигналов и систем

УДК 681.23

## Восстановление дискретизированного сигнала при несинхронизированном стробировании

Калюжный А.А., Поздняков А.Д., Поздняков В.А.

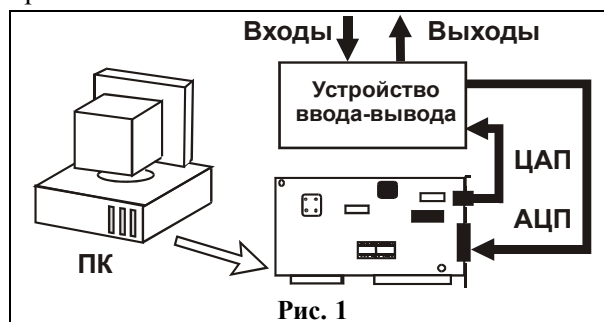
Рассмотрен метод восстановления периодического сигнала в виртуальном осциллографе при несинхронизированном стробировании путем перестановки дискретных отсчетов. Массив цифровых данных, полученных с помощью стробирующего аналого-цифрового преобразователя при нелинейной трансформации временного масштаба, выстраивается в нужном порядке путем вычисления положения каждой точки. Предлагается выбирать такую частоту дискретизации, для которой на периоде восстановленного сигнала укладывается целое число отсчетов. Результаты представлены в виде таблиц и графиков исходных и восстановленных сигналов.

**Ключевые слова:** восстановление сигнала, стробирование, аналого-цифровой преобразователь, трансформация временного масштаба, дискретизация.

### Введение

Развитие средств вычислительной техники и алгоритмов косвенных измерений значительно расширило сферы применения численных методов для оценки параметров радиоустройств и радиосигналов [1,2]. Применение методов синтеза и цифровой обработки сигналов (ЦОС) делает возможным использование компьютера в качестве универсального измерительного комплекса способного совместить процессы получения и обработки массива дискретных отсчетов [3,4]. Для этого достаточно оснастить компьютер быстродействующими, многоканальными аналого-цифровыми и цифроаналоговыми преобразователями (АЦП и ЦАП) и формирователями, как показано на рис. 1. Такой комплекс компьютерных вычислительных (виртуальных) приборов (КВП) при использовании специализированного программного обеспечения (ПО) может заменить свыше 10 автономных генераторных и измерительных приборов. С помощью ЦАП формируются сигналы, подаваемые на входы объекта испытания, АЦП позволяет получить совокупность дискретных отсчетов на его выходах. Информация о входных и выходных сигналах обрабатывается в ПК. Использование серийных ПК закладывает основу низкой

стоимости КВП, малых габаритов, высокого быстродействия. Аппаратная и программная база КВП в настоящее время интенсивно развивается.



Перед исследователем возникает задача, как на основе цифровых данных, полученных на конечном интервале времени, сформировать максимально достоверное представление об основных характеристиках сигнала. Часто требуется получить информацию о форме сигнала, то есть восстановить его и представить на экране виртуального осциллографа.

### Описание метода синхронизированного стробирования

Для расширения полосы пропускания при исследовании периодических сигналов широко применяется метод синхронизированного стробирования. В этом методе восстановление формы сигнала осуществляется

путем линейной интерполяции между отсчетами, положение которых синхронизируется с периодом исследуемого процесса так, чтобы получить требуемый коэффициент трансформации временного масштаба.

На выходе стробоскопического преобразователя образуется последовательность расширенных импульсов, огибающая амплитуд которых повторяет форму исходного сигнала. Недостатком синхронизированного стробирования является узкий диапазон рабочих частот дискретизации.

Заменить аппаратное аналоговое стробоскопическое преобразование можно цифровым, путем обработки массива мгновенных отсчетов сигнала, полученных с помощью стробирующего АЦП с регулируемой частотой дискретизации. Высокочастотный АЦП позволяет решать широкий спектр измерительных задач на программном уровне и реализовать трансформацию временного масштаба путем вычислений без применения аппаратных средств задержки и синхронизации. Серийно выпускаемые стробирующие АЦП имеют полосу пропускания до единиц гигагерц при частоте дискретизации порядка сотен мегагерц, что позволяет проводить исследования в широком диапазоне радиочастот.

#### Восстановление дискретизированного сигнала с помощью несинхронизированного стробирования

В работах [3,4] рассмотрен метод восстановления формы периодического дискретизированного сигнала при несинхронизированном стробировании. Особенностью метода является перестановка получаемых мгновенных отсчетов, собранных путем стробирования в интервале целого числа периодов сигнала, частота которого известна или измеряется. Полученные отсчеты располагают на оси времени в правильном порядке, который определяется в результате вычислений их положения ( $t_i$ ) в соответствии с выражением:

$$t_i = jT_D - iT_S,$$

где  $j$  – порядковый номер (целое число)

отсчета сигнала;  $i$  – целое число, для которого выполняется условие  $T_S \geq jT_D - iT_S > 0$ ;  $T_S$  и  $T_D$  – периоды сигнала и дискретизации.

Для определения возможностей восстановления сигнала методом перестановки отсчетов была разработана компьютерная программа моделирования, интерфейс которой представлен на рис. 2.

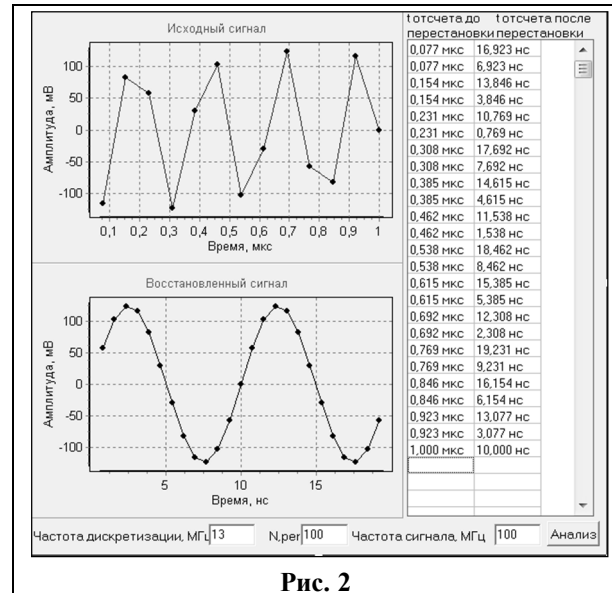


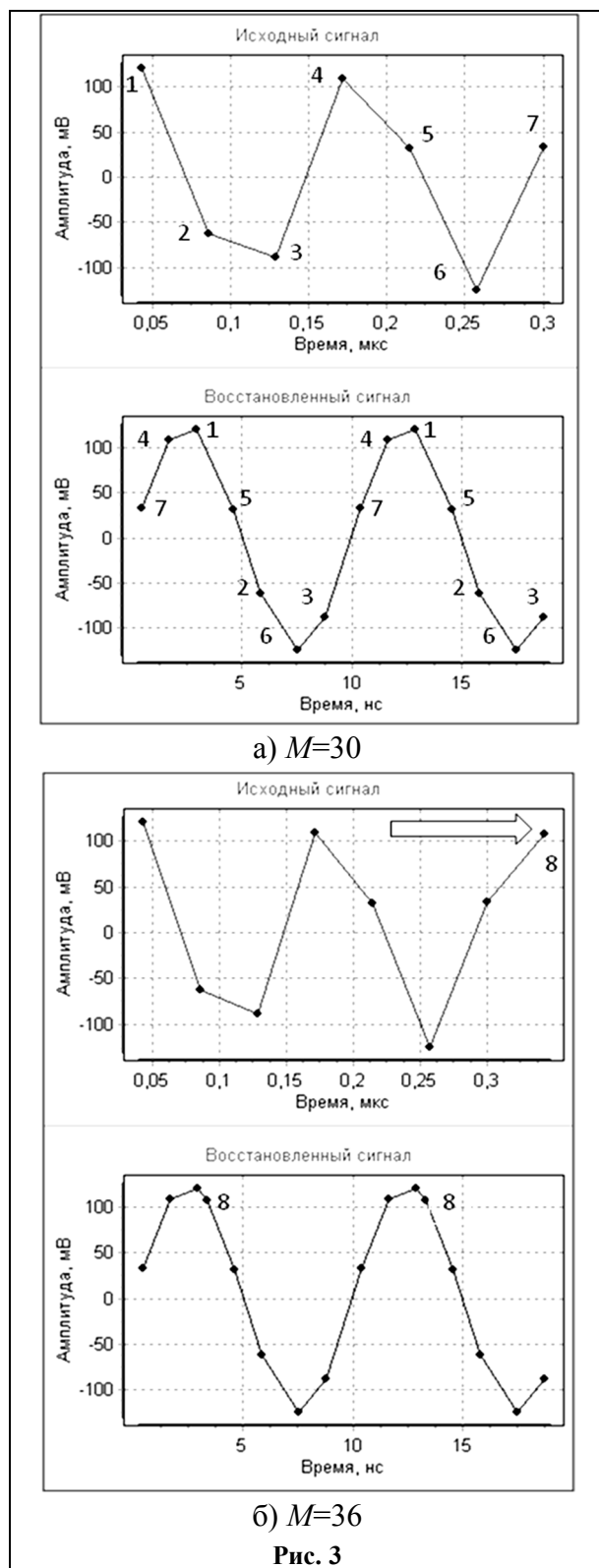
Рис. 2

Моделирование и апробация метода перестановки отсчетов выявили задачу правильного выбора рабочей частоты дискретизации, для которой в периоде восстановленного сигнала укладывается целое число отсчетов  $N$  с равномерным шагом. При этом период дискретизации сигнала можно задать выражением:  $T_D = MT_S / N$ , где  $M$  – коэффициент трансформации временного масштаба, численно равный целому числу периодов сигнала укладываемых в интервале сбора массива неповторяющихся отсчетов. Частота равномерной дискретизации

$$F_D = F_S N / M,$$

где  $F_S$  – частота сигнала,  $N/M$  – простая несокращаемая дробь;

Как показало моделирование, важным требованием является выбор такой частоты дискретизации, для которой период восстановленного сигнала делится на целое число одинаковых интервалов без остатка. При этом дополнительные отсчеты повторяют значения уже полученных данных.



Если период восстановленного сигнала делится не на целое число интервалов, то расстояние между отсчетами не будет одинаковым, и это затруднит обработку сигнала. Увеличение времени анализа приведет к сдвигу отсчетов с образованием групп разбросанных точек. Можно выбрать отношение

$N/M$  таким, чтобы для заданной частоты сигнала была доступная частота дискретизации. Например, для целого  $N = 7, 8, \dots, 16$  и фиксированного  $M = 131$  получается несокращаемое отношение  $N/M$ .

На рис. 3 представлен процесс получения и перестановки 7 и 8 отсчетов для частоты сигнала 100 МГц и частоты дискретизации 23,3 МГц, т.е. отношение  $F_s/F_D=4,292$  не является целым.

Получены отсчеты в виде последовательности 1-2-3-4-5-6-7, которая после перестановки стала 7-4-1-5-2-6-3. Дополнительный 8-й (рис. 3В) отсчет разделил интервал между 1-м и 5-м отсчетами. При восстановлении порядок расположения точек стробирования изменяется, и последний отсчет может стать первым, как показано на рис. 3А. Условием нормальной работы является высокая стабильность частот дискретизации и исследуемого периодического сигнала в интервале сбора массива отсчетов.

При линейной интерполяции соседние дискретные точки восстанавливаемого сигнала соединяют прямыми линиями. Наибольшая погрешность оценки амплитуды при этом будет тогда, когда два соседних отсчета располагаются симметрично относительно точки экстремума. При этом интерполирующая линия пройдет горизонтально, и погрешность может быть найдена как разность между амплитудой синусоиды и ее отсчетом. Для заданной допустимой приведенной к амплитуде погрешности восстановления синусоиды  $\gamma_{доп}$  можно оценить [2] минимальное число равномерных шагов для восстановления одного периода сигнала:

$$N_{мин} \geq \pi / \sqrt{2\gamma_{доп}}$$

При линейной интерполяции и допустимой относительной погрешности оценки амплитуды синусоиды 0,01 (1%) требуется не менее 22 отсчетов на один период.

**Заключение**

Компьютерное моделирование показало:  
 1. Восстановление формы периодического сигнала в виртуальном осциллографе

при несинхронизированном стробировании позволяет расширить диапазон рабочих частот дискретизации АЦП.

2. Частоту дискретизации при нелинейной трансформации временного масштаба следует выбирать такую, для которой в периоде восстановленного сигнала укладывается целое число отсчетов с равномерным шагом.

3. Если задать частоту дискретизации с точностью до четвертого знака и увеличить время сбора отсчетов, то это приведет к повторному считыванию в тех же временных точках периода восстановленного сигнала.

4. Если задать частоту дискретизации с погрешностью и увеличить время сбора отсчетов, то это приведет к появлению промежуточных точек в периоде восстановленного сигнала с непостоянным шагом.

5. При несинхронизированном стробировании можно восстанавливать периодические сигналы любой формы, если эквивалентная частота дискретизации позволяет воспроизвести высшую гармонику спектра сигнала.

### Литература

1. Руфов А.А. Интерполяционный алгоритм восстановления и измерения среднеквадратического значения гармонического сигнала при малом числе отсчетов / А.А. Руфов, А.Д. Поздняков // Известия Института инженерной физики. - 2015. - №1. - С. 13-18.

2. Руфов А.А. Интерполяционный алгоритм определения гармонического сигнала по ограниченной выборке мгновенных значений / А.А. Руфов, А.Д. Поздняков // Проектирование и техно-

**Поступила 14 июня 2017 г.**

логия электронных средств. - 2015. - №1. - С. 38-42.

3. Афонский А.А. Интерполяция в цифровой осциллографии / А.А. Афонский, Е.В. Суханов // Контрольно-измерительные приборы и системы. - 2010. - №5. - С. 13-16.

4. Варенцова С.А. Восстановление сигнала и его мгновенных спектральных характеристик методом скользящих окон / С.А. Варенцова, В.А. Трофимов // Журнал технической физики. - 2007. - №5. - С. 58-64.

5. Волович Г.И. Аналого-цифровое измерение переменного напряжения и теорема Котельникова / Г.И. Волович // Компоненты и технологии. - 2010. №7. - С. 144-149.

6. Зиятдинов С.И. Восстановление сигнала по его выборкам на основе теоремы отсчетов Котельникова / С.И. Зиятдинов // Изв. вузов Приборостроение. - 2010. - №5. - С. 44-47.

7. Кирьянов К.Г. Оптимальная дискретизация экспериментальных данных для последующей цифровой обработки / К.Г. Кирьянов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. - 2008. - №1. - С. 39-46.

8. Логинов А.А. Выбор информационно-оптимального шага для дискретизации непрерывных сигналов / А.А. Логинов, О.А. Морозов, Е.А. Солдатов, В.Р. Фидельман, И.О. Бережной // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. - 2007. - №2. - С. 91-94.

9. Лычев, А.О. Сокращение времени измерения среднеквадратического значения периодического сигнала / А.О. Лычев // Науковедение. - 2013. - №5(18). - С. 21.

10. Мелентьев, В.С. Имитационно-моделирующий подход к определению среднеквадратических значений периодических сигналов / В.С. Мелентьев // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: физико-математические науки. - 2004. - №27. - С. 62-69.

The method of reconstruction the array of acquired data of periodical signal is under concern. This method based on asynchronous stroboscopic analog to digital conversion. The array of acquired data is reordered according to index recalculation formula. The value of sampling frequency should provide integer number of samples in a period of the reconstructed signal. The results are given in the form of charts and tables that illustrates reordering process.

*Key words:* periodical signal, reconstruction, stroboscopic, analog to digital conversion, asynchronous gating.

*Калюжный Александр Александрович* – магистрант кафедры радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* aleksandrkaluzhnyy@mail.ru.

*Поздняков Александр Дмитриевич* – доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* Vlad\_23@mail.ru.

*Поздняков Владислав Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* Vlad\_23@mail.ru.

*Адрес:* 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, каф. РТ и РС.