

УДК 621.396

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e600042e12.85050941

А.А. Калужный, А.Д. Поздняков
(г. Владимир, Владимирский государственный университет)

ВЫБОР ЧАСТОТЫ СТРОБИРОВАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО СИГНАЛА МЕТОДОМ ПЕРЕСТАНОВКИ ДИСКРЕТНЫХ ОТСЧЕТОВ

Проведено компьютерное моделирование восстановления формы периодического сигнала методом перестановки отсчетов. Даны рекомендации по выбору частоты стробирования.

The method is considered and computer simulation of the restoration of the shape of a periodic signal by the sample permutation method is carried out. Recommendations on the choice of gating frequency are given.

Ключевые слова: восстановление сигнала, несинхронизированное стробирование, дискретизация.

Keywords: signal recovery, unsynchronized gating, sampling.

Развитие вычислительной техники и использование алгоритмов косвенных измерений значительно расширило сферы применения численных методов оценки параметров радиосигналов [1]. Компьютер, оснащенный аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и использующий современные алгоритмы цифровой обработки, превращается в комплекс виртуальных приборов. При измерении периодических сигналов для расширения полосы пропускания приборов применяется стробирование с линейной трансформацией временного и частотного масштаба в диапазоне частот до десятков гигагерц. Положение каждого отсчета синхронизируется с периодом исследуемого сигнала так, чтобы получить заданный шаг восстановления Δt . Важным требованием является точность и стабильность частоты дискретизации, устанавливаемой в узком диапазоне значений в соответствии с выражением $F = 1/(nT_s \pm \Delta t)$, где n – целое число, T_s – период сигнала.

При синхронизированном стробировании отсчеты значений измеряемого сигнала берутся с интервалом, близким, но не равным целому числу периодов сигнала n . Число пропускаемых периодов n и число отсчетов на периоде восстановленного сигнала $T_s / \Delta t$ зависят от формы сигнала и решаемой задачи. Линейная трансформация временного масштаба предполагает синхронизацию положения отсчетов получаемых с требуемым сдвигом каждые n периодов сигнала.

Метод восстановления формы периодического дискретизированного сигнала при несинхронизированном стробировании путем перестановки или

нелинейной трансформации временного масштаба рассмотрен в работах [2,3]. Стробирование сигнала с произвольным равномерным шагом, не равным целому числу периодов сигнала, образует последовательность отсчетов, не повторяющих форму исходного сигнала. При этом рабочие частоты дискретизации могут принимать значения в более широком диапазоне значений, чем при синхронизированном стробировании. При известном периоде сигнала отсчеты переставляются на оси времени в соответствии с выражением $t_i = jT_D - iT_S$, где j – порядковый номер (целое число) отсчета; i – целое число, для которого выполняется условие $T_S \geq jT_D - iT_S > 0$; T_S и T_D – периоды сигнала и дискретизации.

Функциональная схема, реализующая метод несинхронизированного стробирования в структуре компьютерного комплекса виртуальных приборов, представлена на рис. 1. Входное устройство выполняет функции аналогового адаптера. Вычислитель устанавливает доступную частоту дискретизации АЦП, переставляет отсчеты и выводит график сигнала на монитор компьютера. Определить частоту сигнала можно по данным АЦП или в дополнительном канале виртуального измерителя.

Моделирование метода перестановки показало [4], что следует выбирать такую частоту дискретизации, для которой в периоде восстановленного сигнала укладывается целое число отсчетов N с равномерным шагом. Это условие когерентности выборки, которое можно представить в виде равенства отношений $F_D/F_S = N/M$, где F_D – частота дискретизации; F_S – частота сигнала; M – число периодов сигнала за время выборки, N – объем выборки. Отношение N/M – несократимая дробь, показывающая, какое число отсчетов N делается в M периодах сигнала. Период дискретизации сигнала задается выражением $T_D = T_S M / N$, где M – коэффициент трансформации временного масштаба, численно равный целому числу периодов сигнала укладываемых в интервале сбора массива неповторяющихся отсчетов. Формирование блока данных заданного размера N осуществляется в интервале M периодов сигнала.

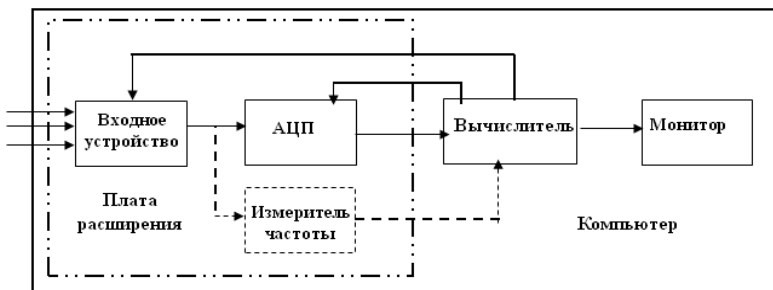


Рис. 1. Функциональная схема, реализующая метод несинхронизированного стробирования в структуре компьютерного комплекса виртуальных приборов

Для получения несократимого отношения N/M можно взять простое число M и удобное N , или удобное M и простое N , или оба простых числа. В табл. 1 приведен пример сетки значений M и N , комбинация которых является рабочим несократимым (Н) или нерабочим сократимым (С) отношением N/M . Таблица позволяет выбрать значения в МГц $F_D = N$ и $F_S = M$. Так, для частоты сигнала 1000 МГц можно выбрать частоты стробирования 3, 7, 9, 11, 13 МГц или любое другое несократимое значение. Для заданной частоты сигнала F_S можно выбрать $M = 10F_S$ и $F_D = 0.1N$, как показано в табл. 2.

Таблица 1. Пример сетки сократимого (С) и несократимого (Н) отношения N/M

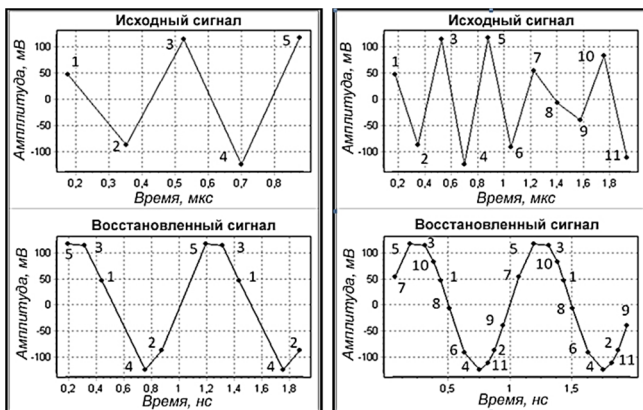
Число периодов сигнала $M = F_S$	Число точек восстановленного сигнала $N = F_D$													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
998	Н	С	Н	С	Н	С	Н	С	Н	С	Н	С	Н	С
999	С	Н	Н	С	Н	Н	С	Н	Н	С	Н	Н	С	Н
1000	Н	С	С	С	Н	С	Н	С	Н	С	Н	С	С	С
1001	Н	Н	Н	Н	С	Н	Н	Н	С	Н	С	С	Н	Н
1002	С	С	Н	С	Н	С	С	С	Н	С	Н	С	С	С

Таблица 2. Выбор частоты дискретизации для целых значений N

Параметры	F_D [МГц] в зависимости от N при F_S 1000 [МГц]; $M=10000$								
N	7	9	11	13	17	19	21	23	27
F_D	0,70	0,90	1,10	1,30	1,70	1,90	2,10	2,30	2,70
N	31	37	41	47	51	57	67	77	111
F_D	3,1	3,7	4,1	4,7	5,1	5,7	6,7	7,7	11,1

Исходный сигнал преобразуется в массив равноотстоящих последовательных отсчетов N с шагом T_D . При этом отношение $T_D/T_S = M/N$ показывает число периодов сигнала, укладывающихся в периоде дискретизации. На рис. 2 и 3 приведены примеры восстановления сигнала 1000 МГц при частоте дискретизации 5,7 МГц для целых значений M .

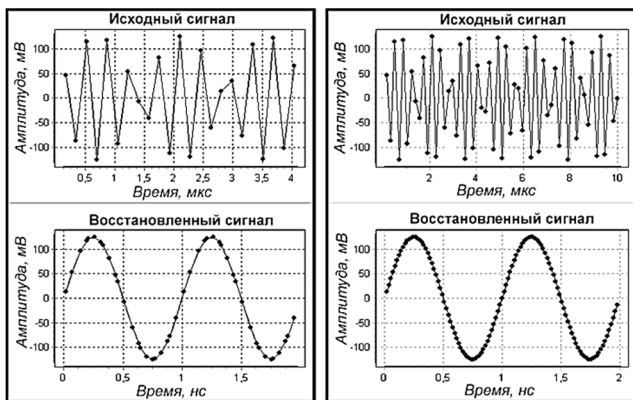
На рис. 2 а показано восстановление гармонического сигнала по 5 отсчетам на периоде для отношения $F_D/F_S = N/M = 5,7/1000 = 57/10000$, т.е. в виде несократимой дроби. Исходная последовательность отсчетов 1-2-3-4-5 формируется с шагом около 175,44 периодов сигнала, т.е. ее протяженность от 878 до 1053 нс ($M=900$). На рис. 2 б показано восстановление по 11 точкам отсчета. К последовательности 1-2-3-4-5 добавились отсчеты 6-7-8-9-10-11 в промежуточных точках восстановленного сигнала. На рис. 3 а и 3 б показано восстановление сигнала по 23 и 57 точкам отсчета. Увеличение отсчетов свыше 57 для заданных условий не дает новых промежуточных значений сигнала, дублируя уже полученные данные.



а) $M = 900$

б) $M = 2000$

Рис. 2. Восстановление сигнала по 5 и 11 точкам стробирования



а) $M = 4000$

б) $M = 10000$

Рис. 3. Восстановление сигнала по 23 и 57 точкам стробирования

Для заданной частоты сигнала F_s следует оценить значения M для доступных величин F_D по формуле $M = F_s N / F_D$. В таблицах 3 и 4 приведены возможные комбинации частот сигнала и дискретизации.

Таблица 3. Выбор частоты дискретизации для $N = 11$

Параметры	F_D [МГц] в зависимости от F_s [МГц] при $M = 10000$								
F_s	1000	1001	1002	1005	1010	1020	1050	1070	1090
F_D	1,1000	1,1011	1,1022	1,1055	1,1110	1,1220	1,1550	1,1770	1,1990
F_s	1100	1200	1500	1900	2500	3000	4000	8000	10000
F_D	1,2100	1,3200	1,6500	2,0900	2,7500	3,3000	4,4000	8,8000	11,000

Таблица 4. Выбор частоты дискретизации для $N = 7$

Параметры	F_D [МГц] в зависимости от F_S [МГц] при $M=10000$								
F_S	1000	1001	1002	1005	1010	1020	1050	1070	1090
F_D	0,7000	0,7007	0,7014	0,7035	0,7070	0,7140	0,7350	0,7490	0,7630
F_S	1100	1200	1500	1900	2500	3000	4000	8000	10000
F_D	0,7700	0,8400	1,0500	1,3300	1,7500	2,1000	2,8000	5,6000	7,0000

Возможность восстановления ограничивается нестабильностью частот дискретизации и исследуемого периодического сигнала в интервале сбора массива отсчетов, а также диапазоном значений частоты стробирования, которая должна устанавливаться с точностью до 5 - 8 знаков, что достигается в современных схемах построения синтезаторов частот.

Компьютерное моделирование позволило сделать следующие выводы:

- Восстановление периодического сигнала методом перестановки отсчетов расширяет возможности выбора рабочих частот дискретизации АЦП.

- Частоту дискретизации при нелинейной трансформации временного масштаба следует выбирать такую, для которой в периоде восстановленного сигнала укладывается целое или близко к целому числу отсчетов с равномерным шагом.

- В зависимости от соотношения частот сигнала и дискретизации число периодов интервала стробирования M и число отсчетов на периоде сигнала N выбираются целыми исходя из требований к разрешающей способности во времени.

- Отношение числа отсчетов на периоде сигнала N к числу периодов сигнала M в интервале оценки смещения и нестабильности частоты сигнала выбирается в виде несократимой дроби с учетом требований к разрешающей способности.

Список литературы

1. Степанов, А.В. Методы компьютерной обработки сигналов и систем радиосвязи / А.В. Степанов, С.А. Матвеев. – М.: СОЛОН – Пресс, 2003. – 208 с.
2. Никитин, О.Р. Восстановление формы сигнала на экране виртуального осциллографа. Перспективные технологии в средствах передачи информации / О.Р. Никитин, В.А. Поздняков, А.Д. Поздняков // Материалы докл. четвертой междунар. науч.-техн. конф. – Владимир, 2001. – 190-192 с.
3. Поздняков, А.Д. Автоматизация экспериментальных исследований, испытаний и мониторинга радиосистем / А.Д. Поздняков, В.А. Поздняков. – М.: Радиотехника, 2004. – 208 с.
4. Поздняков, А.Д. Восстановление периодического сигнала в виртуальном осциллографе при несинхронизированном стробировании. Проектирование и технология электронных средств / А.Д. Поздняков, В.А. Поздняков, А.А. Калужный, 2017. – №3. – 52-56 с.

Материал поступил в редколлегию 10.10.18.