

Повышение точности измерения параметров сигналов в цифровом тракте

10, октябрь 2014

Логвиненко А. С., Жураковский В. Н.

УДК: 621.396.621

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
sm2-2@inbox.ru

Введение

Цифровая обработка сигналов (ЦОС) в последние годы все шире используется в радиоприемных устройствах. Интерес к цифровой обработке сигналов вызван тем, что на ее основе можно создавать устройства с характеристиками, недостижимыми при использовании аналоговых методов обработки сигналов. Несмотря на множество уже решенных технических задач в области применения ЦОС существует ряд неисследованных проблем. Одной из них является возникновение задержек разной величины на различных этапах цифровой обработки. Для правильной работы схемы в целом нужно их учитывать, согласовывая друг с другом различные блоки схемы обработки.

В данной статье рассмотрена система распознавания сигналов, представляющая собой цифровой блок обработки сигналов, состоящий из обнаружителя импульсов с адаптивным порогом и схемы измерения параметров импульса. Обработка производится в режиме реального времени, поэтому для правильного измерения параметров необходимо согласование входного сигнала и измерителя.

Рассмотренная в работе система цифровой обработки информации является очень сложной – она состоит из множества подсистем и алгоритмов, каждый из которых нуждается в исследовании. В силу этих причин описать данную систему теоретически не представляется возможным, поэтому оптимальным аппаратом для исследования является построение имитационной модели. Для разработки и отладки алгоритмов была создана такая модель в среде Matlab, моделирующая обработку сигналов на всех этапах.

1. Схема обработки сигналов.

На вход цифрового тракта обработки поступает сигнал на промежуточной частоте, который обнаруживается. Результат обнаружения поступает на измеритель параметров, на который также поступает входной сигнал, на выходе измерителя - параметры сигнала, по

которым в дальнейшем будет определяться его тип. Укрупненная схема описанной обработки представлена на рис.1.

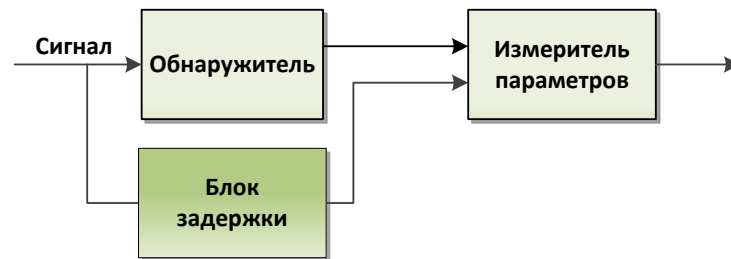


Рис. 1. Обобщенная схема обработки сигналов

Так как шумы в общем случае не стационарны, то в данной схеме обработки сигналов используется обнаружитель с адаптивным порогом, его структурная схема показана на рис.2.

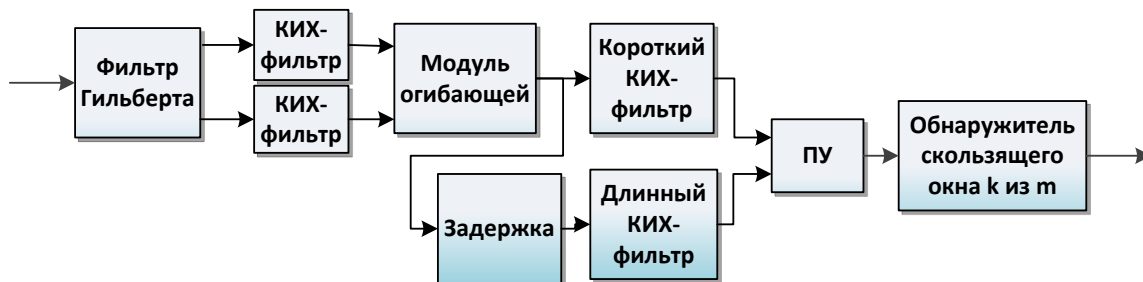


Рис. 2. Структурная схема обнаружителя с адаптивным порогом

Рассмотрим обработку сигнала в соответствии с описанной выше схемой более подробно.

Предположим, что на вход системы поступает импульсный сигнал с гармоническим заполнением (рис 3.). Запишем этот сигнал в виде:

$$S_{1s}(t) = A(t) \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_1)$$

Сигналы после оцифровки поступают на блок преобразования Гильберта, на выходе которого, получаются две квадратуры сигнала

$$S_{1s}(t) = A(t) \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_1)$$

$$S_{1c}(t) = A(t) \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi_1)$$

Квадратуры поступают на фильтры нижних частот, отфильтровывающие высокочастотную составляющую. Используемые КИХ-фильтры характеризуются следующим уравнением дискретной свертки:

$$y[n] = \sum_{k=0}^n x[k] \cdot h[n-k] = \sum_{k=0}^n h[k] \cdot x[n-k], n = 0, 1, 2, \dots$$

где n – количество отсчетов импульсной характеристики;

$h[n]$ – импульсная характеристика;

$I(t), Q(t)$ – отфильтрованные квадратуры

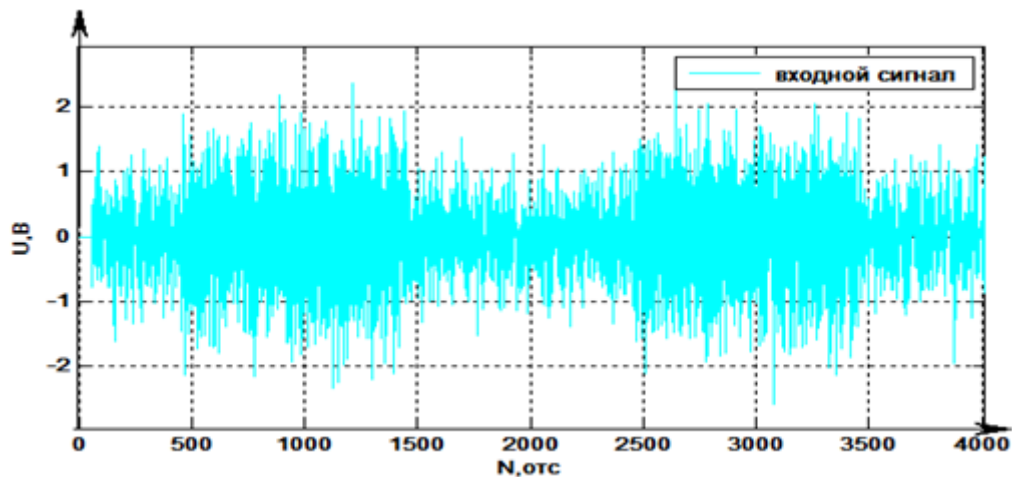


Рис. 3. Входной сигнал

Полученные квадратуры используются для получения огибающей сигнала (рис.4). По ней и будет производиться обнаружение сигнала.

$$M(t) = \sqrt{I(t) \cdot I(t) + Q(t) \cdot Q(t)}.$$

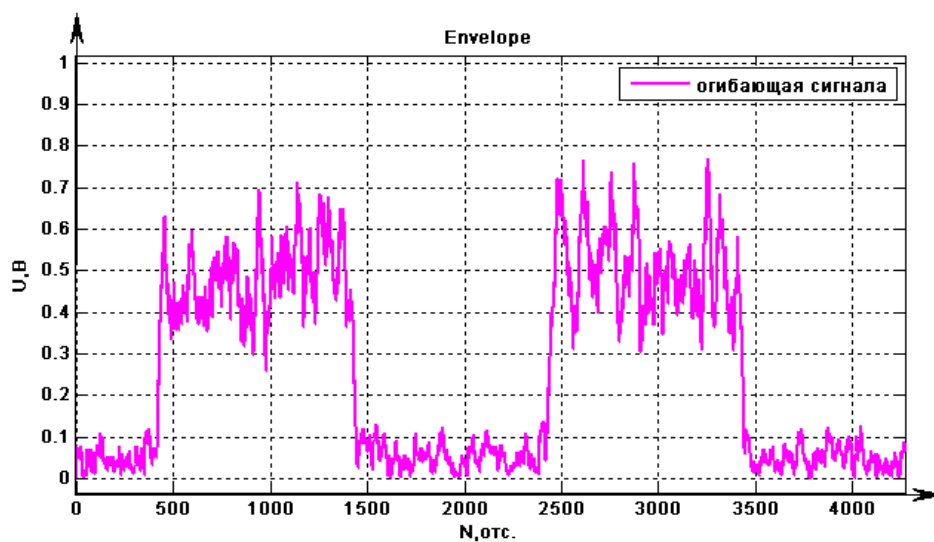


Рис. 4. Огибающая сигнала

Как уже отмечалось выше, шумы в каналах в общем случае различны и нестационарны, для обнаружения используется схема с адаптивным порогом.

После выделения огибающей входной сигнал пропускается через два фильтра: «короткий» и «длинный» - Н1 и Н2 соответственно.

Первый оценивает текущее значение огибающей, второй оценивает среднее значение шумов и участвует в формировании порогового значения.

Чтобы отсчеты, формирующие мгновенную оценку, не участвовали в формировании порога, отсчеты для второго КИХ-фильтра отстоят от текущего на длину окна короткого фильтра.

После сравнивающего устройства реализован обнаружитель скользящего окна k из m : m последних отсчетов записываются в буфер, суммируются и в случае если сумма превышает порог n , выдается сигнал обнаружения.

2.Согласование обнаружителя и измерителя параметров.

После обнаружения сигнала необходимо измерить его параметры. В общем случае сигнал обнаружения рассогласован по времени с принимаемым сигналом, поэтому для измерения параметров эту рассогласованность необходимо устранить. Данная задача решается путем формирования корректного измерительного строба, определяющего начало и конец измерения. На рис.5 показана схема обработки, включающая обнаружитель, описанный выше, и формирования измерительного строба.

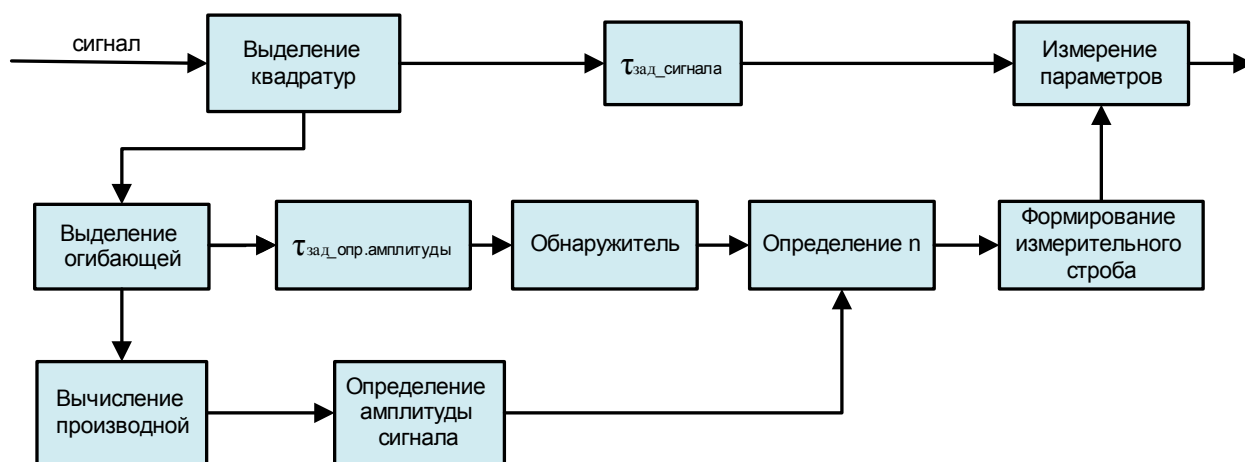


Рис. 5. Схема формирования измерительного строба

Так как обнаружитель работает с огибающей импульсов, которая по длительности получается больше сигнала на величину порядка КИХ фильтра, отфильтровывающего высокочастотную составляющую в квадратурах, полученное обнаружение нужно обрезать на величину порядка этого КИХ фильтра ($N_{ких}$) (рис.5).

Также, так как фильтр Гильберта порядка N_g , участвующий в формировании квадратур, имеет конечную импульсную характеристику, то возникает явление Гиббса (появляется определенное искажение сигнала по краям импульса), поэтому не все отсчеты обнаружения должны входить в схему определения параметров, для этого обнаружение нужно обрезать на величину $2 \cdot g$, где g - количество отсчетов в начале/конце импульса, которое мы не включаем в дальнейшую оценку параметров.

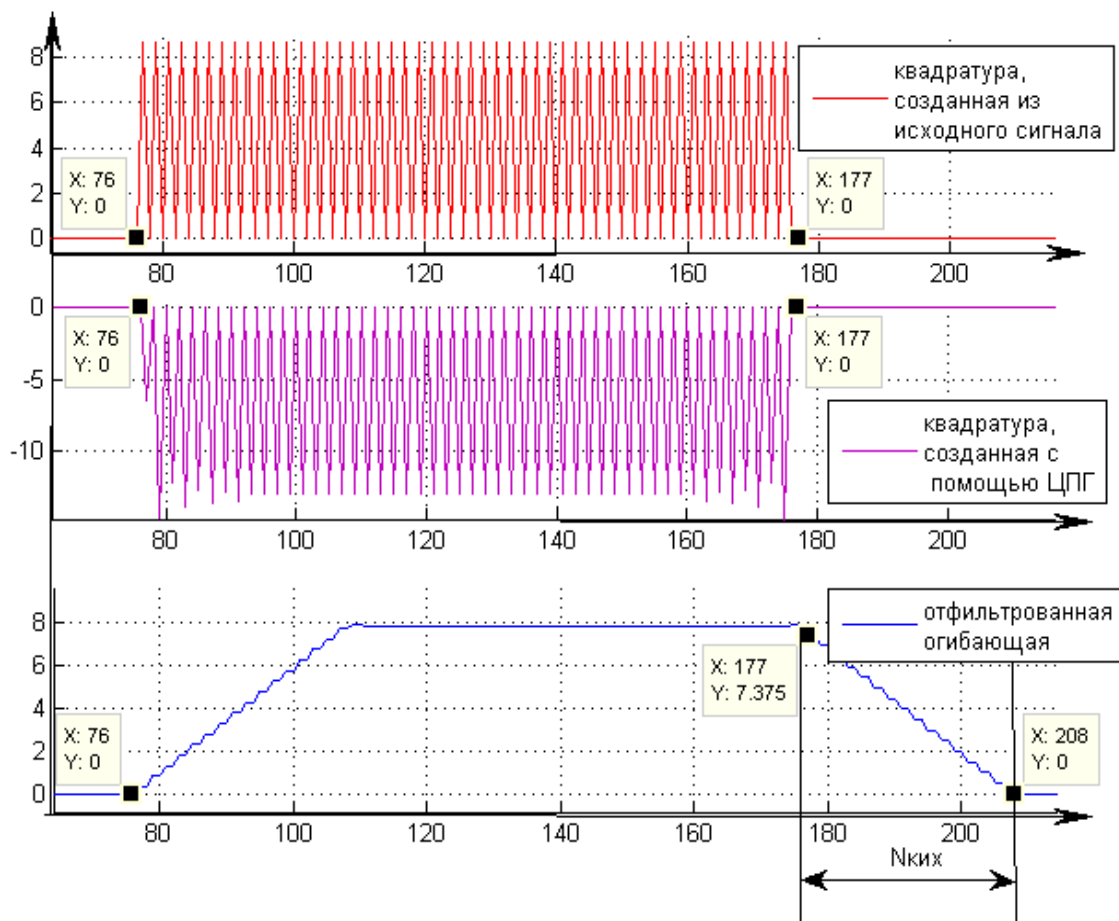


Рис. 6. Взаимные квадратуры сигнала и взаимная огибающая

На рис.7 показано это явление - искажение сигнала в начале и конце импульса, и как следствие неправильная оценка частоты в этих участках импульса.

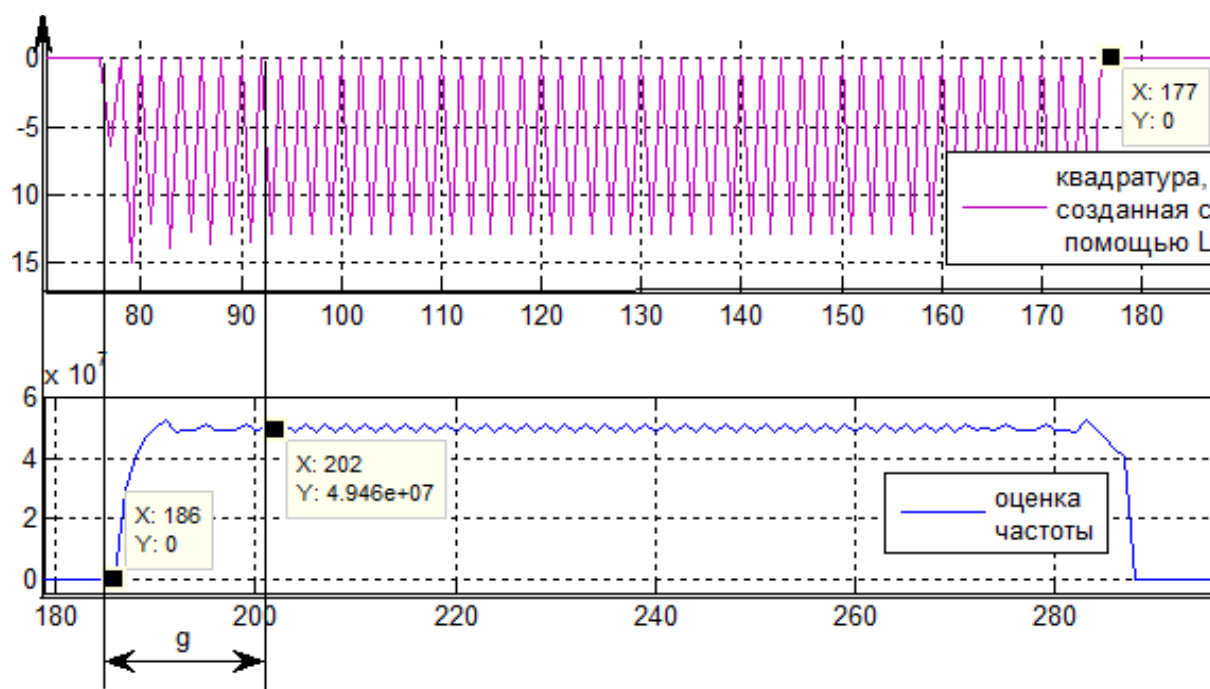


Рис. 7. Влияние явления Гиббса на оценку частоты

Так как обнаружитель в случае малого ОСШ может сработать не в начале огибающей (рис.8), необходимо ввести поправку в длительность измерительного stroba (n).

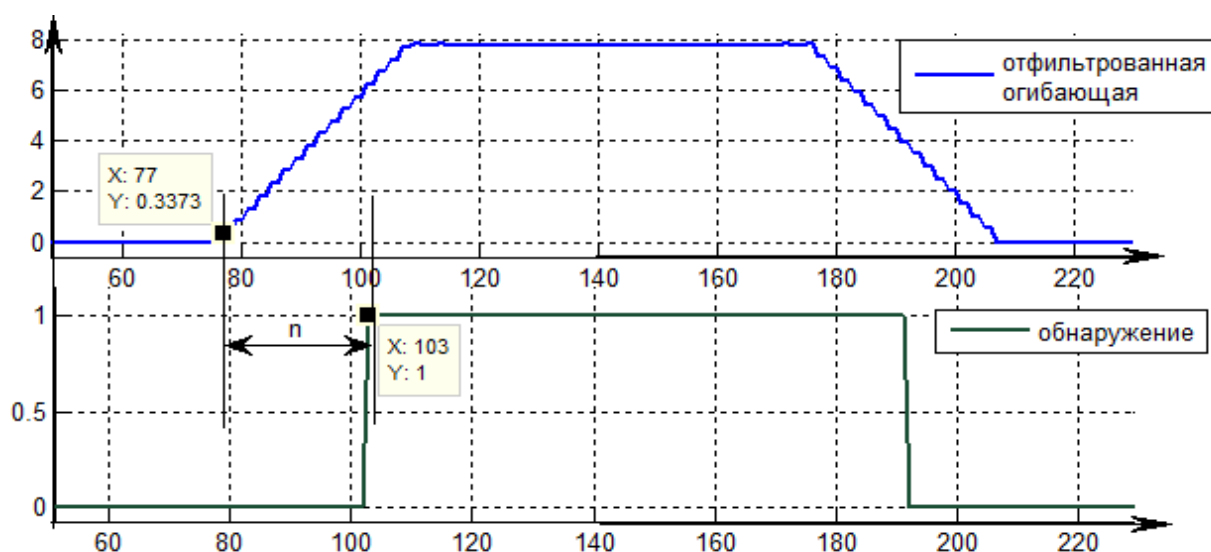


Рис.8. Срабатывание обнаружителя на фронте огибающей

Она позволит точнее определить длительность сигнала и точнее измерить необходимые параметры. Была получена следующая формула для расчета n

$$n = \text{fix} \left(\frac{\text{porog} \cdot N_{\text{ких}}}{\text{Amp}} \right),$$

где porog - порог в обнаружителе, Amp - амплитуда огибающей.

Из формулы видно что для того чтобы рассчитать n необходимо знать амплитуду огибающей (при этом после выделения огибающей необходимо ввести задержку на величину равную времени, необходимому для определения амплитуды и только потом подать ее на обнаружитель).

Для того чтобы определить амплитуду огибающей нужно определить момент времени в котором она максимальна, для этого необходимо взять производную от огибающей. Вычисление производной можно производить так: вычислить разность соседних отсчетов и сгладить затем ее КИХ фильтром порядка $N_{\text{пр}}$, после этого находим точку второго пересечения производной с порогом близким к нулю (с большего в меньшее), и в этот момент назначаем амплитуде значения огибающей задержанное на величину (рис.9).

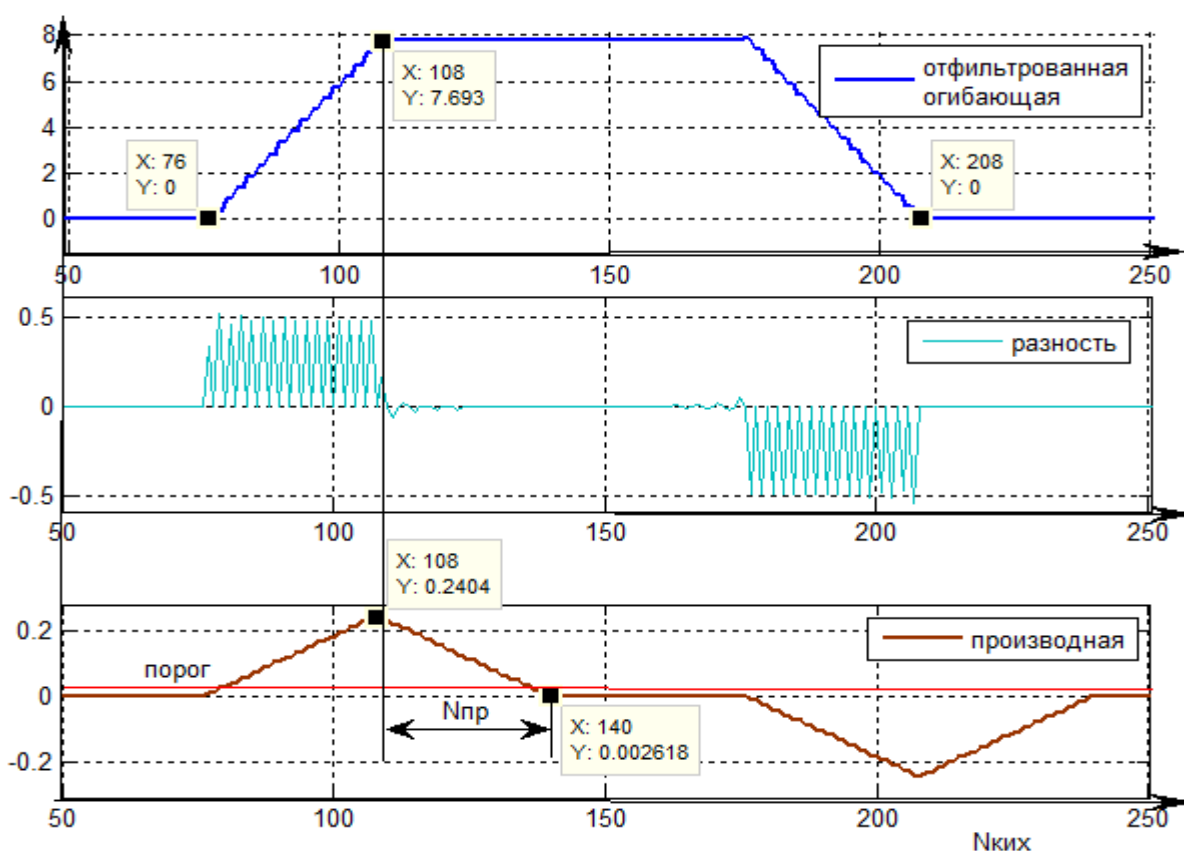


Рис. 9. Определение амплитуды огибающей

3. Расчет временных задержек.

Так как элементы схемы обнаружителя вносят определенные задержки, то полученное обнаружение нужно согласовать с квадратурами, из которых будут браться отсчеты для оценки параметров импульса. Для этого нужно задержать их на следующую величину:

$$\tau_{\text{зад.сигнала}} = (N_{\text{ких}} + N_{f_{\text{short}}} + g + N_{\text{маж}}) + \tau_{\text{зад.опр.амплитуды}},$$

а начало измерительного stroba относительно сигнала обнаружения необходимо задержать на величину

$$\tau_{\text{зад_stroba}} = N_{\text{ких}} + 2 \cdot g - n + Nf_{\text{short}},$$

длительность измерительного stroba, который будет использоваться в схеме определения параметров, должна быть равна величине:

$$\tau_{\text{стр}} = \tau_{\text{обн}} - (N_{\text{ких}} + Nf_{\text{short}} + 2 \cdot g + \tau_{\text{маж}}) + 2 \cdot n$$

Где $\tau_{\text{обн}}$ – длительность обнаружения,

$N_{\text{ких}}$ – порядок КИХ фильтра

Для того чтобы обеспечить необходимые задержки и сформировать правильную длительность измерительного stroba нужно:

В момент начала обнаружения формировать strob путем задержки отсчетов обнаружения на величину $\tau_{\text{зад_stroba}}$, а по окончании сигнала обнаружения запустить счетчик на $(n + \tau_{\text{маж}})$ отсчетов и прибавить к stroбу $(n + \tau_{\text{маж}})$ отсчетов.

На рис. 10 показаны результаты моделирования в среде Matlab - одна из квадратур сигнала, по которой будут определяться параметры сигнала и правильно сформированный измерительный strob.

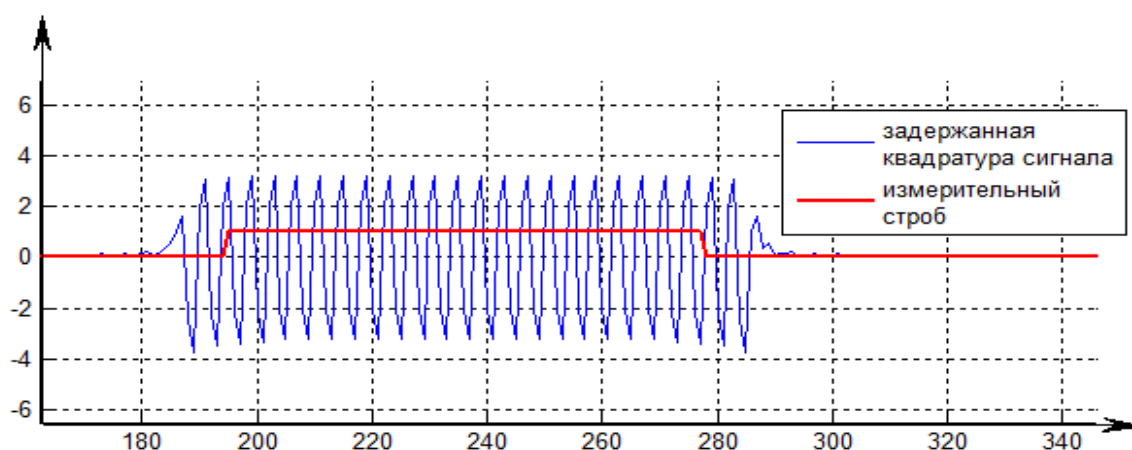


Рис. 10. Расположение измерительного stroba относительно сигнала

4. Погрешность измерения параметров.

4.1. Сравнение погрешности измерения частоты в схемах с применением и без применения измерительного stroba.

На рис. 11 показаны погрешности оценки частоты для двух алгоритмов, для длительности сигнала $\tau_{\text{сиг}} = 80$ отс., в зависимости от ОСШ. Верхней кривой на графике соответствует ошибка измерения частоты при использовании алгоритма, приведенного на рис. 1 (без измерительного stroba), нижней – при использовании алгоритма, приве-

денного на рис. 5 (с измерительным стробом). Левая часть графика показывает, что при малых ОСШ, порог выставляется большим по отношению к амплитуде сигнала и как следствие в первом алгоритме меньшее число отсчетов участвует в оценке $N_1 < N_2$, поэтому $\sigma_{N_1} = \sigma_1/\sqrt{N_1}$ больше $\sigma_{N_2} = \sigma_1/\sqrt{N_2}$, где $\sigma_{N_1}, \sigma_{N_2}$ - СКО оценок в первом и во втором алгоритме соответственно, σ_1 - СКО единичного измерения, N_1, N_2 - число отсчетов, участвующих в оценке. Во втором алгоритме порог не влияет на N . Правая часть графика отражает влияние явления Гиббса на погрешность оценки частоты в первом алгоритме: с увеличением ОСШ порог относительно сигнала уменьшается и поэтому в оценку попадают отсчеты, искаженные явлением Гиббса, во втором алгоритме эти отсчеты вырезаются и поэтому не портят оценку частоты. Таким образом, рис.10 наглядно демонстрирует преимущество использования измерительного строба - при любом ОСШ погрешность оценки частоты во втором алгоритме меньше чем в первом.

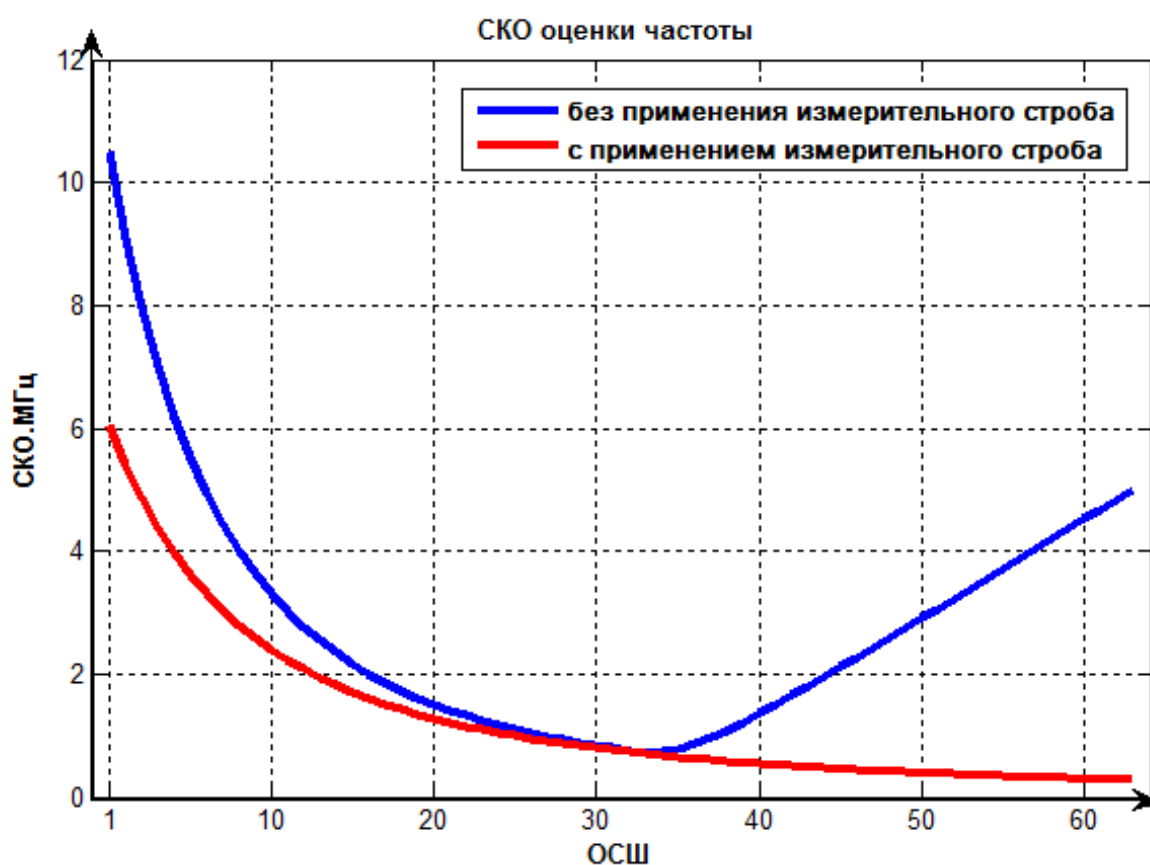


Рис. 11. СКО оценки частоты

4.2. Погрешность измерения частоты во втором алгоритме для разных длительностей сигнала.

Рассмотрим зависимость СКО оценки частоты от длины измерительного stroba.

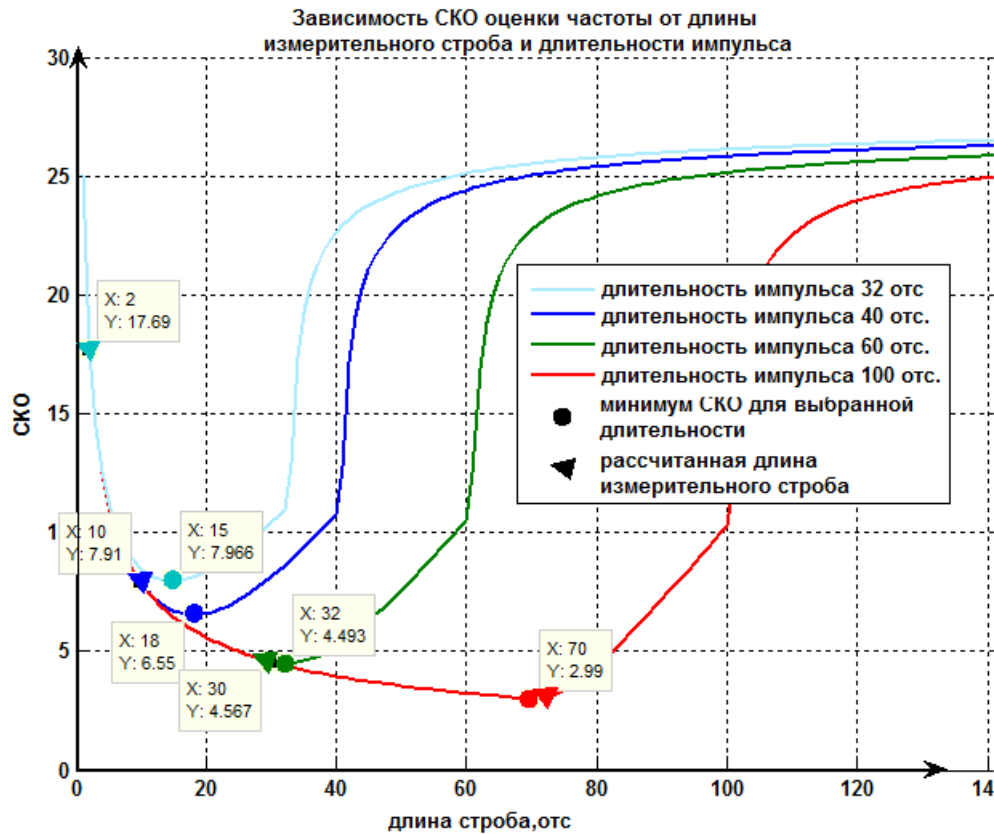


Рис. 12. СКО оценки частоты

Из рис.12 видно, что при большой длительности импульса оптимальная длина измерительного stroba должна быть равна длине импульса минус порядок фильтра Гильберта (соответственно $g=Ng/2$).

$$\tau_{\text{стропт}} = \tau_{\text{сиг}} - Ng$$

Где $\tau_{\text{стропт}}$ – оптимальная длина измерительного stroba,

$$\tau_{\text{сиг}} = \tau_{\text{обн}} - (N_{\text{ких}} + Nf_{\text{short}} + \tau_{\text{маж}}) + 2 \cdot n - \text{длительность сигнала.}$$

В случае сравнительно маленьких длительностей импульса $\tau_{\text{сиг}} < 60$ отс.

$$\tau_{\text{сиг}} < 60 \text{ отс. } \tau_{\text{стропт}} \neq \tau_{\text{сиг}} - Ng$$

Из этого следует, что необходимо делать отдельный алгоритм формирования измерительного stroba для коротких импульсов. Несмотря на это второй алгоритм все равно дает лучшие результаты, чем первый, так как в первом при $\tau_{\text{сиг}} < 60$ отс. и при определенных ОСШ оценка вообще не будет производиться.

Заключение

Таким образом, в статье показано, что при проектировании цифровых трактов обработки сигналов необходимо осуществлять специальные операции, которые слабо отражены в классической литературе по теории цифровой обработки. Обычно такие операции формируют разработчики соответствующего программно-математического обеспечения, опытным путем подбирая параметры алгоритмов.

Разработанный в данной статье алгоритм формирования измерительного строба позволяет за счет некоторого усложнения тракта обработки существенно улучшить качество измерения параметров сигналов.

Список литературы

1. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У.: Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.-992 с.: ил. –Парал. Тит. Англ.
2. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций / Авторы: А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева / Изд. 2-е и перераб. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768 с.: ил.
3. Попов Д. И.: Статистическая теория радиотехнических систем : учеб. пособие; РГРТУ. - Рязань, 2011. - 80с.