

## ЦИФРОВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ НА ОСНОВЕ УСТРОЙСТВ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИКИ

*БАРАНОВ Н.Г., КЛЮЧНИК И.И., ЛОДЫГИН М.А.*

Рассматривается способ, позволяющий создавать для анализа периодических сигналов цифровые осциллографы на основе серийно выпускаемых компонентов, которые имеют низкую себестоимость в сравнении с аналогичными устройствами.

Значительным препятствием широкому распространению цифровых осциллографов является их высокая стоимость. Преодоление ценового барьера возможно при использовании недорогих технологий, применяемых в такого рода приборах.

*Целью* представленной работы является создание прибора с минимальной стоимостью и характеристиками, максимально приближенными к качественным показателям более дорогих аналогов.

*Основной задачей*, решаемой при реализации подобного рода приборов, является разработка метода обработки входных сигналов с минимальным использованием ресурсов аппаратуры и времени.

Решить эту проблему можно путем применения оптимальных по своим параметрам программируемых логических устройств в качестве основы модуля обработки полученной цифровой информации и персонального компьютера для визуализации результатов.

Одним из основных требований к современным осциллографам является необходимость обеспечения анализа произвольных (в том числе непериодических) сигналов, что приводит к обязательному использованию буферного запоминающего устройства на основе большого количества статической (SRAM) памяти. Это одна из основных причин повышения стоимости устройств. К сожалению, на данном этапе развития техники невозможно отказаться от использования статического типа памяти. Она необходима для наблюдения за быстрыми процессами, а в случае работы с очень быстрыми сигналами гигагерцового диапазона скорости работы современной памяти даже не хватает.

В то же время для наблюдения за периодически повторяющимися сигналами большого объема памяти не требуется, так как вся необходимая информация содержится в одном периоде. В этом случае для корректного отображения периодического сигнала в памяти достаточно хранить сравнительно небольшое количество информации. Возникает проблема — каким образом получить в памяти устройства оцифрованный набор байт, соответствующий одному периоду исследуемого сигнала. Указанная проблема может быть разрешена с помощью известного метода, получившего название “Последовательный способ” (рис. 1).

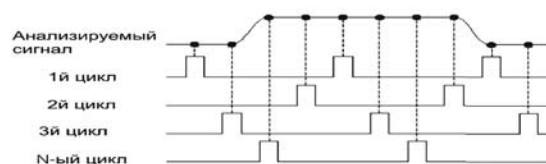


Рис. 1. Пример работы цифрового осциллографа последовательным способом

Работа последовательным способом реализуется посредством строгого следования выборок друг за другом через четко определённые промежутки времени таким образом, что уже через несколько периодов обеспечивается накопление достаточного для качественного отображения сигнала количества информации. Большим достоинством способа является возможность работы с частотами, превышающими частоту работы АЦП, а также возможность использования меньшего количества памяти, чем при традиционном “способе случайных выборок”. В то же время последовательный способ не нашёл широкого применения в связи с тем, что он работает удовлетворительно только с совершенно стабильными сигналами, а так как таких сигналов в природе практически не существует, то область его применения ограничена. Работа осциллографа последовательным способом представлена на рис. 2.

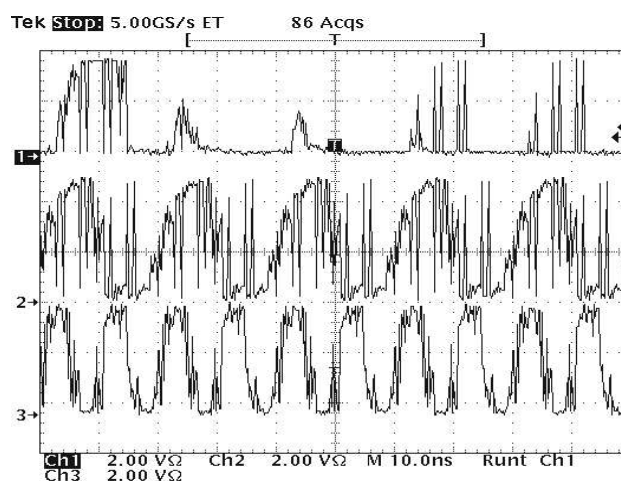


Рис. 2. Работа осциллографа «последовательным способом» при нестабильном сигнале

В связи с перечисленными недостатками, принципиально присущими основным способам, которые применяются в существующих цифровых осциллографах, предложен новый способ, обеспечивающий работу с реальными периодическими сигналами.

Память устройства разбивается на два равных банка. В начале работы в один банк заносятся первые поступившие данные. После его заполнения начинает заполняться второй банк. Параллельно происходит сравнение (получение разности) двух соответствующих ячеек каждого банка — предыдущей и текущей. Последней операцией реализуется определение среднего арифметического абсолютного значения разности. Производимые операции можно представить в виде формулы:

$$C = \frac{\sum_{i=0}^N |(fit - fi_{п})|}{N}, \quad (1)$$

где  $C$  – критерий;  $N$  – количество выборок в пакете;  $i$  – номер текущей выборки;  $fit$  – текущая выборка;  $fi_{п}$  – предыдущая выборка.

Следующим циклом данные заносятся в первый банк, а второй банк становится таким, который содержит данные предыдущего цикла, и всё повторяется снова. Рассчитанное в конце последнего цикла значение среднего арифметического сравнивается с предыдущим. На основе анализа полученной информации прибор имеет возможность изменить свои настройки и установки.

В идеальном случае при анализе периодического сигнала и условия, что банки памяти содержат одинаковые данные, среднее арифметическое разности значений (критерий сравнения  $C$  [compare]) будет равно нулю. Таким образом, алгоритм работы прибора должен реализовывать условия, при которых значение вычисляемого параметра стремилось бы к нулю. В этом случае достигается полная синхронизация сигнала.

В реальности значение критерия  $C$  никогда не будет равным нулю и может лишь стремиться к нему. Следовательно, необходимо определять так называемую “чувствительность нуля”, т.е. какое значение критерия  $C$  можно считать “практически равным нулю”. Слишком большое значение “чувствительности нуля” не будет позволять прибору найти стабильное состояние, а слишком малое – приведёт к неадекватному отображению сигнала.

Работу прибора можно представить в виде постоянного сравнения полученного пакета с предыдущим. Если сигнал, информация о котором находится в пакете, соответствует полученному перед этим, и это повторяется стабильно, можно сделать вывод о том, что наблюдаемый сигнал – периодический. В противном случае необходимо определить: получаемый сигнал непериодический или прибор ещё не настроил параметры таким образом, чтобы засинхронизировать сигнал.

В случае непрерывного (в течение нескольких циклов) контроля значения критерия  $C$  можно проследить динамику его изменения. Если критерий  $C$  стабильно уменьшается и, наконец, доходит до значения, удовлетворяющего “чувствительности нуля”, то, следовательно, процесс синхронизации завершен. Если критерий  $C$  не достигает такого значения, то анализируемый сигнал не может быть проанализирован прибором либо значение “чувствительности нуля” задано слишком малое.

При обеспечении условия синхронизации наблюдается стабильный сигнал. В этом случае данные в банках практически одинаковы, а устройство отображения, следовательно, можно лишь информировать об отсутствии изменений. Это обеспечивает уменьшение нагрузки на канал связи. При измене-

нии входного сигнала произойдёт лишь однократная коррекция данных в памяти и после их обновления на экране устройства отображения произойдёт смена осциллограммы на соответствующую последнему периоду входного сигнала. Безусловно, входящие периоды сигнала будут несколько отличаться друг от друга, но если их изменения не превышают допустимых значений определяемых “чувствительностью нуля”, то для пользователя можно показывать сигнал как неизменный. В случае появления каких-либо нестабильностей входного сигнала прибор реагирует на это новым циклом синхронизации.

Описанный способ работы прибора требует использования небольшого количества памяти (для хранения двух периодов сигнала) и устройств обработки информации, имеющих возможность обрабатывать параллельно данные. Этими характеристиками обладают устройства программируемой логики FPGA. Современные модели этих устройств имеют в своём составе оперативную память. В последнее время их стоимость значительно снизилась. Следовательно, требование невысокой цены прибора, построенного на основе устройств программируемой логики, будет выполнено.

Работа осциллографа предложенным способом может быть представлена на основе соответствующей математической модели. Такая модель была создана с использованием пакета MathCAD. С его помощью проведена имитация работы прибора с периодическим сигналом, содержащим случайные шумы, размещенные по нормальному закону распределения. Полученная модель сигнала представлена на рис. 3, моделируемый сигнал графически представлен на рис. 4.

```

Ampl := 1           maximum := 6
deviation := 0.2    step := 0.002
f := 100
omega := 2 * pi * f   Tmax := maximum / step
t := 0, step .. maximum - step
noise := rnorm ( Tmax, Ampl, deviation )
Signal ( t ) := Ampl * noise * sin ( omega * t * deg )

```

Рис. 3. Модель сигнала

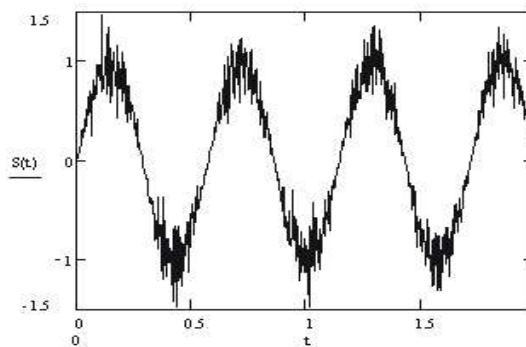


Рис. 4. Моделируемый периодический сигнал с шумами

Математическая модель работы осциллографа на основе предложенного способа изображена на рис. 5. Зависимость критерия С от содержимого банков представлена на рис. 6.

```

startTime := 0
bankTime := 0, 0.02 .. 2
c(T) :=
  i ← 0
  sum ← 0
  Delay ← T
  for i ∈ st, step .. Delay
    sum ← ( | Signal ( i ) - Signal ( i + Delay ) | ) + sum
  crit ←  $\frac{\text{sum}}{\left(\frac{T}{s}\right)}$ 
  crit

```

Рис. 5. Математическая модель способа работы цифрового осциллографа

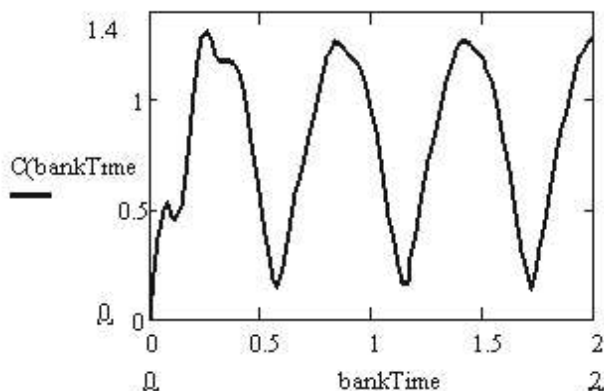


Рис 6. Зависимость значения критерия С от размеров банков

Представленная модель обеспечивает определение критерия С для заданного в параметре bankTime размера (по времени) банка. Анализируемый сигнал при этом остаётся неизменным. Из рис. 6 видно, что при условии идентичности содержимого банков (фактически периода исследуемого сигнала) значение критерия С минимально.

Представленный способ реализует работу устройства в качестве цифрового осциллографа анализирующего периодический аналоговый сигнал. Он позволяет параллельно получать и обрабатывать данные о входном сигнале. Применение програм-

мируемых логических устройств даёт возможность параллельной обработки информации. Критерий С, необходимый в процессе обработки анализируемой информации, позволяет устройству формировать управляющие сигналы для дальнейшей работы. Контроль при помощи изменения значения «чувствительности нуля» обеспечивает возможность точной настройки на сигнал. Основным недостатком способа является принципиальное отсутствие возможности анализа неперiodических сигналов.

Представленный способ может быть реализован с использованием недорогих FPGA фирмы ALTERA EP1K30, что позволяет снизить стоимость двухканального устройства с частотой АЦП 50МГц до 300грн (продажная цена будет в 2-2,5раза больше, т.е. около 800грн). Аналогичный, по совокупности свойств, осциллограф фирмы Velleman на сегодняшний день стоит 2200грн, а стоимость подобного прибора Tektroniks с несколько расширенными функциональными возможностями достигает 16000грн. Таким образом, при производстве цифровых осциллографов на основе предлагаемого метода при тех же характеристиках, что и у аналогов, затраты на их изготовление могут быть снижены практически в 2-3 раза. Ещё более высокий экономический эффект может быть получен при использовании для обработки и визуализации сигналов устаревшей вычислительной техники, что становится возможным вследствие минимизации необходимых вычислительных процессов с применением реализуемого метода.

Поступила в редколлегию 11.01.2004

**Баранов Николай Гаврилович**, старший преподаватель кафедры ПЭА ХНУРЭ. Научные интересы: цифровая осциллография. Адрес: Украина, 61146, Харьков, ул. Академика Павлова, 148а, кв. 17. тел. +380-572-654425.

**Ключник Игорь Иванович**, канд. техн. наук, профессор кафедры ПЭА ХНУРЭ. Научные интересы: техника СВЧ, автоматизация проектирования, медицина, психология. Увлечения: охота, филателия. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14 тел. +380-57-7021-440; +380-57-7021-448; +380-57-7021-494.

**Лодыгин Михаил Александрович**, аспирант ХНУРЭ. Научные интересы: измерительные приборы, цифровая техника. Увлечения: кинематограф. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Шекспира, 12, кв.39, тел. +380-572-321974.