

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА БАЗЕ ПЛИС

А.В. Борляков, В.М. Геворкян

В статье рассматривается возможность схемотехнической реализации на базе ПЛИС алгоритмов обнаружения и измерения импульсных помех в широком временном диапазоне (передний фронт от 3,5 нс до 5 мс). Это позволяет создать на базе ПЛИС законченный цифровой блок обнаружения и измерения параметров импульсных помех

Ключевые слова: импульс напряжения, быстрые процессы, измерение, цифровая обработка, ПЛИС

Введение

Одной из причин выхода оборудования из строя могут стать импульсы напряжения в сети питания. Их источником могут быть как природные явления (разряд молнии), так и коммутационные процессы. Для предотвращения возможного ущерба от воздействия импульсов напряжения на оборудование путем его отключения, заземления или компенсацией импульсного воздействия в реальном времени, а также для анализа возможных причин выхода оборудования из строя необходимо иметь возможности обнаружения и измерения параметров импульсов напряжения на фоне полигармонического сигнала промышленной частоты (50 Гц).

В соответствии с нормативными документами [1,2] длительность переднего фронта импульсов напряжения лежит в диапазоне от 3,5 нс до 5 мс по и имеет общий вид, представленный на рисунке 1.

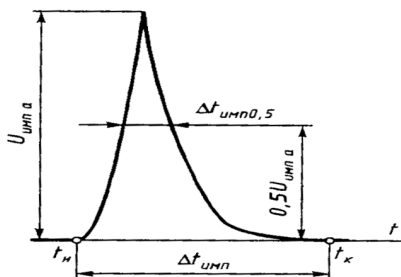


Рисунок 1 - Кривая импульса напряжения

Условно импульсы напряжения можно разделить по их временным характеристикам на 3 группы, где в числителе указана длительность переднего фронта по уровням 0,1 – 0,9, а в знаменателе – длительность по уровню 0,5:

- "быстрые" импульсы (3,5/350 – 500/5000 нс)

- импульсы "средней длительности" (500/5000 нс – 50/500 мкс)
- "медленные" импульсы (50/500 мкс – 5/50 мс)

Современные устройства регистрации и измерения импульсных помех не предназначены для работы в среде с сильным внешним электромагнитным воздействием (на стороне высокого потенциала) и не обеспечивают обработки в реальном времени. Кроме того, имеющиеся на рынке решения не охватывают весь (в соответствии с нормативными документами) временной диапазон длительностей импульсов. Исключение составляют высокоскоростные осциллографы, использование которых для этих задач является не рациональным и которые также не предназначены для работы в сложной электромагнитной обстановке. Поэтому создание устройства, обеспечивающего обнаружение и измерение импульсов в режиме реального времени в широком диапазоне на стороне высокого потенциала является актуальной задачей.

Выбор алгоритмов обработки

Важным моментом при обнаружении импульса на фоне полигармонического сигнала является соотношение его длительности и длительности периода частоты основной гармоники. В зависимости от этого соотношения для выделения импульса необходимо применять различные алгоритмы, которые были бы наиболее эффективны в конкретном случае.

Реализация алгоритмов обработки на базе ПЛИС в режиме реального времени предъявляет к ним определенные требования. Алгоритм обработки "быстрых" процессов должен отличаться простотой и ориентированностью на максимальную производительность, а для "медленных" процессов до-

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА БАЗЕ ПЛИС

пускается усложнение структуры алгоритма, но в пределах, ограниченных емкостью ПЛИС. Таким образом, формируется критерий для каждого из разрабатываемых алгоритмов.

Из литературы [3 – 5] известны следующие методы обнаружения импульсов напряжения:

1 – обнаружение импульсов по крутизне фронта (вычисление производной). Этот метод используется в цифровом приборе контроля качества электроэнергии АКЭ-824. В случае, если значение dU/dt становится больше заданного порога, то происходит измерение параметров импульса. Оцифровка сигнала производится с двумя различными частотами, что позволяет эффективно измерять импульсы различной длительности.

2 – выделение импульса из полигармонического сигнала путем фильтрации основной гармоники промышленной частоты.

3 – выделение импульса посредством вейвлет-преобразований.

Метод 3 имеет высокую вычислительную сложность и его применение в системе реального времени представляется затруднительным. Метод 2 не эффективен для быстрых процессов, когда временные параметры импульсов много меньше периода основной гармоники. Выделение импульса с помощью фильтров для сигналов, длительность которых соизмерима с периодом основной частоты, может привести к нежелательным искажениям. Поэтому предлагается применить метод, при котором импульсная помеха выделяется из общей кривой напряжения путем вычитания сигналов $S(t)$ и $S(t-T)$, сдвинутых на период T промышленной частоты (в допущении, что гармонический состав сигнала и частота основной гармоники не меняются в течении нескольких периодов).

К примеру, на рисунке 2,а показано исходное контролируемое напряжение. На рисунке 2,б показана кривая напряжения, смещенная на один период, а на рисунке 2,в изображена разность двух сигналов.

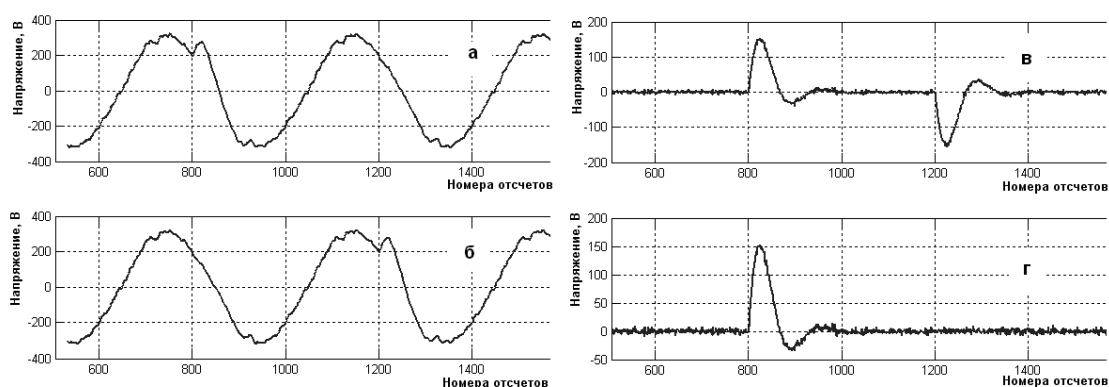


Рисунок 2 - Метод обнаружения медленных импульсов: а– общая кривая напряжения; б– кривая напряжения, смещенная на один период; в– разность двух сигналов и появление "ложного" импульса напряжения, г – вычитание "ложного" импульса

Недостаток данного метода заключается в возможных отклонениях частоты основной гармоники от своего номинального значения. Поэтому перед началом вычислений, а также в процессе работы необходимо производить мониторинг (измерение) промышленной частоты.

Так как исходный сигнал дискретен, то, при сдвиге сигналов относительно друг друга на один период всегда будет присутствовать погрешность сдвига, величина которой будет зависеть от частоты дискретизации. При частоте дискретизации, равной 250-300 кГц эффект от "неточности" сдвига будет минимизирован и составит ± 1 уровень квантования АЦП.

Для измерения частоты основной гармоники предложен следующий метод:

1) Формируется двоичный сигнал $F(i)$ по правилу (рисунок 3,б):

если $S(i) < 0$, то $F(i) = 0$

если $S(i) \geq 0$, то $F(i) = 1$,

где i – номер текущего отсчета, S – исходный сигнал (рисунок 3,а)

2) Проводится "выравнивание" сигнала – устранение шума при переходе сигнала $F(i)$ через ноль (рисунок 3,в)

3) Осуществляется суммирование длительностей полученных интервалов нулей и единиц (рисунок 3,в) с последующим их усреднением к числу периодов.

РАЗДЕЛ IV. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ И ДАННЫХ

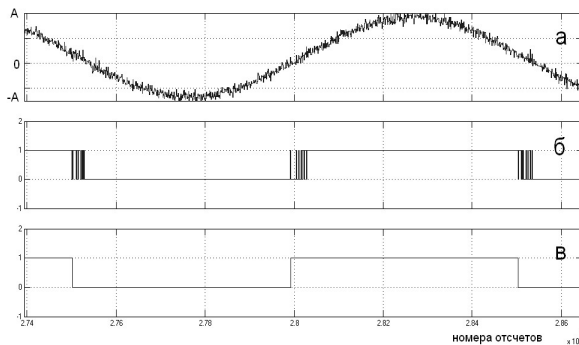


Рисунок 3 - Обработка сигнала при измерении частоты основной гармоники

Для предотвращения возможных ошибок измерения частоты основной гармоники в случае, если длительности полученных интервалов заведомо не соответствуют возможным отклонениям частоты от номинального значения (вследствие каких-либо искажений формы синусоидального сигнала), то такие данные исключаются из вычислений.

Таким образом, реализуется смещение двух сигналов на 1 период основной частоты относительно друг друга

При непрерывном вычислении разности двух сдвинутых сигналов наблюдается появление второго (ложного) импульса. Это вызвано тем, что при сдвиге сигналов и последующем их вычитании один и тот же импульс участвует в вычислениях два раза (рисунок 2,в). При обнаружении импульса по превышению заданного порога разности двух сигналов производится устранение "ложного" импульса и возможных искажений формы "действительного" импульса путем суммирования обнаруженного импульса напряжения с

его "двойником" через период основной частоты (рисунок 2,г).

Возвращаясь к анализу методов, отметим, что метод 1 эффективен для "быстрых" процессов. Кроме того, он обладает достаточно низкой вычислительной сложностью, что делает его привлекательным для систем обработки в режиме реального времени

Моделирование работы предлагаемых алгоритмов проводилось с помощью программных пакетов System Generator (компании Xilinx) и MatLab. В качестве исходного использовался сгенерированный сигнал, представляющий собой сумму:

1) полигармонического сигнала в соответствии с ГОСТ 13109-97, имитирующего сетевое напряжение с возможным набором дополнительных гармоник

$$s(t) = \sum_{k=1}^M A_k \sin(2\pi f k t + \phi_k), \quad (1)$$

где A_k , ϕ_k – амплитуда и фаза k -й гармоники; M – число гармоник (согласно стандарту $M=40$);

f – частота основной гармоники (по стандарту $f=50\pm 0,4$ Гц);

2) импульса напряжения с заданными параметрами (форма импульса, длительность переднего фронта, длительность импульса и амплитуда импульса)

Общая схема обработки сигнала представлена на рисунке 4. Блоки "Обработка 1" ... "Обработка 3" представляют собой реализацию алгоритмов для обработки импульсов "быстрой", "средней" и "медленной" длительностей соответственно.

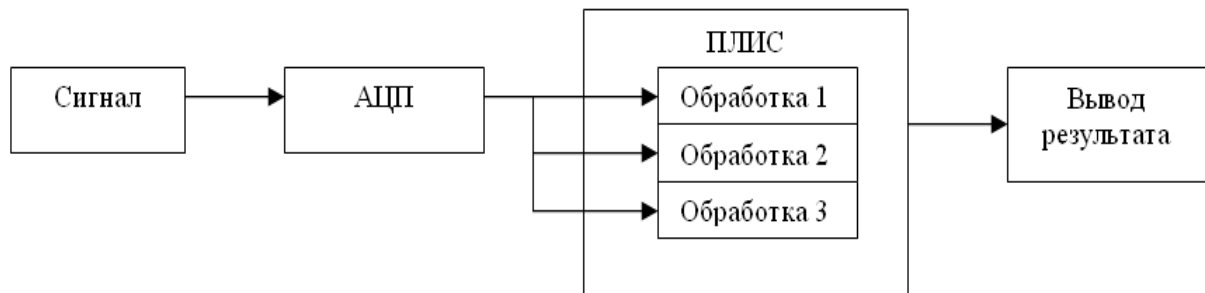


Рисунок 4 - Общая схема обработки сигнала

"Обработка 1" и "Обработка 2" представляет собой вычисление производной на фиксированном интервале времени и сравнение её значения с заданным порогом (рисунок 5). При разработке схемной реализации применялись целочисленные вычисления с 12-разрядными числами. Абсолютная по-

грешность измерения импульсного напряжения (максимального значения) по результатам моделирования лежит в пределах одного разряда АЦП. По результатам моделирования максимальная производительность алгоритма при его размещении на микросхеме

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ НА БАЗЕ ПЛИС

Xilinx XC5VSX50T, составила $\approx 388,2$ МГц при частоте дискретизации 200 МГц.

"Обработка 3", реализующая обработку медленных импульсов, принципиально отличается от двух других алгоритмов наличием средства слежения за частотой основной гармоники, по результатам измерения которой модифицируются сдвиговые регистры, входящие в состав алгоритма, а также наличием дополнительных корректирующих узлов, связанных с появлением искажений и "ложных" импульсов.

Реализация этого алгоритма обработки с размещением на той же плате компании Xilinx показала использование не более 5% емкости ПЛИС.

Выводы

Таким образом, предлагаемые алгоритмы и их схемотехнические реализации могут быть построены на базе ПЛИС для создания устройства обнаружения и измерения импульсных помех в широком диапазоне временных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск: ИПК Издательство стандартов, 1998.
- ГОСТ 29156-91. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Технические требования и методы испытаний. Москва: Издательство стандартов, 1992.
- Шиганов, А.А. "Новые приборы контроля качества электроэнергии" [Электронный ресурс] / А. А. Шиганов; ЗАО «Прист» – Режим доступа: http://www.prist.ru/info.php/articles/ake-823_824.htm
- "Автономное устройство регистрации импульсных помех" [Текст]: Сборник докладов шестой российской научно-технической конференции «Электромагнитная совместимость технических средств и биологических объектов» ЭМС-2000 / В. Е. Гальперин [и др.] – Санкт-Петербург 2000 г. С. 420-421
- Горева, Т.С. "Вейвлет-технология анализа импульсных помех случайного характера в системах электроснабжения с идентификацией структурных компонентов в ортогональном вейвлет-базисе" [Текст] / Т.С. Горева. – Москва, 4-5 октября, ВЕЛК-2011, С. 126-127

Инженер 1-категории, А.В. Борляков – porew-2@yandex.ru; к.т.н. проф. В.М. Геворкян – gvmt@emc.tpei.ac.ru; 111250, Москва, ул. Красноказарменная, 14, НИУ МЭИ, каф. Электрофизики информационных систем, тел. (495) 3627176