

Анализатор Качества Электроэнергии

# Измеряемые Параметры и алгоритмы их вычисления

Версия: 0.1  
Дата: 12.04.08  
Проект: Анализатор Качества Электроэнергии  
Автор: ИП Илья Воронов  
Http: <http://powerdsp.narod.ru/>  
Email: [powerdsp@narod.ru](mailto:powerdsp@narod.ru)

## Содержание

<b>СОДЕРЖАНИЕ.....</b>	<b>2</b>
<b>1 ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>3</b>
1.1 Функции Измерителя.....	3
<b>2 АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Предварительная обработка данных.....	3
2.2 Частота.....	3
2.3 Напряжения.....	4
2.4 Разбаланс по обратной и нулевой последовательностям.....	5
2.5 Гармоники и нелинейные искажения.....	5
2.6 Усреднение измеряемых значений.....	6
2.7 Фликер.....	6
<b>3 ОБНАРУЖЕНИЕ СОБЫТИЙ И ЗАПИСЬ ФОРМЫ СИГНАЛОВ.....</b>	<b>6</b>
3.1 ОБНАРУЖЕНИЕ СОБЫТИЙ.....	6
3.1.1 Обнаружение коротких импульсов напряжения.....	6
3.2 ЗАПИСЬ ФОРМЫ СИГНАЛОВ.....	6
<b>4 ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМА.....</b>	<b>7</b>
4.1 ВЫБОР ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ.....	7
4.2 КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЯ.....	7
4.3 ОСОБЕННОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.....	7
4.4 ПОИСК ПЕРЕХОДОВ НАПРЯЖЕНИЯ ЧЕРЕЗ НОЛЬ.....	7
4.4.1 Измерение частоты при потере синхронизации.....	7
4.4.2 Подстройка дробного интерполятора при потере синхронизации.....	8

## 1 Введение

Измеритель Качества Электроэнергии (в дальнейшем Измеритель) предназначен для количественной оценки Параметров Качества Электроэнергии (в дальнейшем КЭ). Параметры КЭ рассчитываются программно на основе мгновенных значений напряжения. В данном документе, под Измерителем понимается программа, исполняемая на цифровом сигнальном процессоре и реализующая алгоритмы этих вычислений.

Данный документ описывает измеряемые параметры, алгоритмы их вычисления и факторы влияющие на результаты вычислений.

### 1.1 Функции Измерителя

Исходными данным для вычисления всех измеряемых параметров являются отсчеты оцифрованного напряжения по четырем каналам (четыре независимых канала или три фазы и нейтраль). Эти отсчеты программа считывает из АЦП по последовательному интерфейсу сигнального процессора. В результате своей работы, измеритель формирует структуру текущих измеренных значений. Эти значения считываются хост процессором по последовательному интерфейсу для предоставления пользователю в удобном для него виде.

Измеритель КЭ регистрирует события, связанные с выходом измеряемых параметров за допустимые пределы и передает соответствующее сообщение хост процессору. При обнаружении событий, Измеритель может зафиксировать и передавать хост процессору форму сигналов соответствующего входного канала, в котором было обнаружено событие.

## 2 Алгоритм вычисления измеряемых параметров

Общая структура алгоритма вычисления Параметров КЭ представлена на Рисунок 1 Общая структура Алгоритма.

Измеритель может использоваться как в 3-х фазном режиме измерения (3 фазы и нейтраль) так и в режиме измерения по четырем независимым фазам.

### 2.1 Предварительная обработка данных

Мгновенные значения напряжения по 3-м фазам и нейтрали оцифровываются 13-ти битным АЦП на частоте 200 кГц. Отсчеты АЦП группируются в блоки по 200 отсчетов на канал и подаются на вход Измерителя. В зависимости от величины входных напряжений, переключаются пределы измерения АЦП, что максимизирует динамический диапазон прибора.

После этого, отсчеты поступают на блок компенсации сдвига нуля и ошибки коэффициента передачи аналоговых цепей прибора. Сдвиг нуля и коэффициент передачи содержатся в структуре параметров калибровки Измерителя, загружаемых перед началом работы. Сдвиг нуля и коэффициент передачи определяется отдельно для каждого канала и для каждого предела измерения по каналу.

После компенсации, отсчеты сохраняются в циклическом буфере во внешней памяти для реализации функции записи формы сигналов. Для дальнейшей обработки, данные прореживаются в 8 раз с помощью децимирующего КИХ фильтра, выходная частота дискретизации 25 кГц.

Децимированные отсчеты поступают на дробный интерполятор с выходной частотой дискретизации, пропорциональной частоте сети. При частоте 50 Гц частота дискретизации на выходе дробного интерполятора составляет 10240 Гц. Это позволяет использовать алгоритм БПФ для вычисления гармоник, вне зависимости от отклонения частоты сети от номинального значения.

### 2.2 Частота

Для измерения частоты сети, данные с частотой дискретизации 25 кГц децимируются КИХ фильтром в 5 раз. После этого они пропускаются через полосовой БИХ фильтр с полосой 40 – 70 Гц и ищутся переходы напряжения через ноль. Полосой фильтр подавляет влияние гармоник и помех на точность обнаружения переходов через ноль. Моменты перехода напряжения через ноль корректно определяются при нахождении частоты сети в заданных пределах, более подробно факторы, влияющие на измерение частоты, описаны в разделе 4.4.

Количество переходов через ноль за интервал 20с используется для вычисления значения частоты сети. 20-ти секундные интервалы соответствуют с 20-ти секундными интервалами реальному времени, а не синхронны с частотой дискретизации АЦП.

Для управления дробным интерполятором, частота оценивается по количеству переходов через ноль за время 0.1с и сглаживается за время порядка 1с.

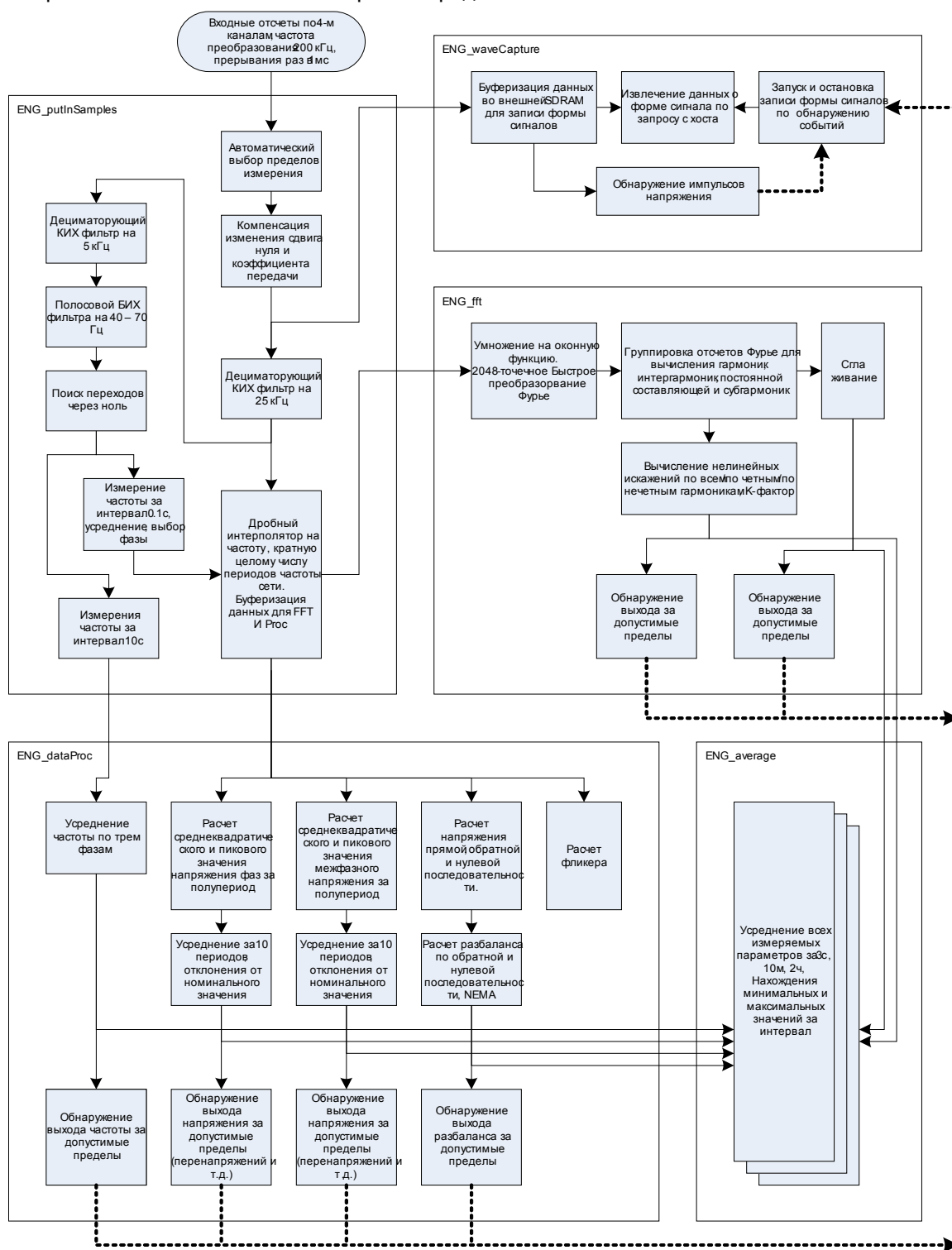


Рисунок 1 Общая структура Алгоритма.

### 2.3 Напряжения

С выхода дробного интерполятора, отсчеты напряжения по каждой фазе и нейтрали, используются для вычисления значения напряжения за полупериод. Значение напряжения вычисляется как корень квадратный из суммы квадратов напряжений, деленной на количество суммируемых членов. Так же за

полупериод фиксируется максимальное амплитудное значение напряжения. Если частота сети вышла за допустимые пределы или на входе прибора присутствуют гармоники, постоянная составляющая или шум соизмеримый с уровнем основной частоты, вычисляемые значения напряжения за полупериод лишается смысла. Более подробно эта ситуация описана в разделе 4.4. Вычисленные значения напряжения в этом случае соответствуют среднеквадратическому напряжению за некоторый интервал времени.

Среднеквадратическое значение напряжения за полупериод используется для вычисления среднеквадратического значения за 10 периодов (200мс для номинальной частоты). Значение напряжения вычисляется как корень квадратный из суммы квадратов напряжений, деленной на количество суммируемых членов.

На основании значения среднеквадратического напряжения за 10 периодов рассчитывается превышение и занижения напряжения в процентах по отношению к заданному номинальному значению.

Максимальное амплитудное значение напряжения за период усредняется за 10 периодов и используется для получения пикфактора.

В случае выхода частоты за допустимые пределы или наличия на входе недопустимых уровней гармоник, постоянной составляющей и шума, среднеквадратическое значение напряжения за 10 периодов остается достоверным.

Сказанное выше относилось к измерению напряжений по 3-м фазам и нейтрали. В точности аналогичные вычисления выполняются по 3-м межфазным напряжениям. В качестве входных отсчетов используются разности отсчетов соответствующих фаз, в качестве момента перехода через ноль используется момент перехода через ноль первой из фаз.

#### **2.4 Разбаланс по обратной и нулевой последовательностям**

Разбаланс по обратной и нулевой последовательностям вычисляется в соответствии с формулами Б.18 и Б.23, приведенными в ГОСТ 13109.

Разбаланс по алгоритму NEMO вычисляется как отношение максимального отклонения напряжения по трем фазам от среднего по трем фазам к среднему по трем фазам.

#### **2.5 Гармоники и нелинейные искажения**

Вычисление гармоник начинается с вычисления Быстрого Преобразования Фурье по 2048 точкам. При этом, благодаря использованию дробного интерполятора на входе, бины Фурье (выходные отсчеты после преобразования) точно попадают по частоте гармоники, бины идут с шагом 5 Гц. За одно комплексное вычисление БПФ выполняется два вещественных преобразования. Для уменьшения влияния ошибки оценки частоты на результаты измерения, отсчеты выравниваются в буфере по пересечению нуля и умножаются на оконную функцию. Гармоники вычисляются раз в 10 периодов частоты сети (раз в 200 мс).

Для вычисления амплитуд гармоник используются два различных способа: без использования группировки и с ее использованием. При использовании группировки, бины Фурье суммируются следующим образом: бин, точно соответствующий частоте гармоники суммируется с двумя соседними бинами для вычисления уровня данной гармоники. Бины, находящиеся между бинами гармоник, суммируются для вычисления уровня интергармоник. Нулевой и первый бины используются для вычисления постоянной составляющей. Интергармоника, находящаяся между постоянной составляющей и первой гармоникой называется субгармоникой. Группировка бинов при вычислении гармоник показана на Рисунке 2 Группировка .

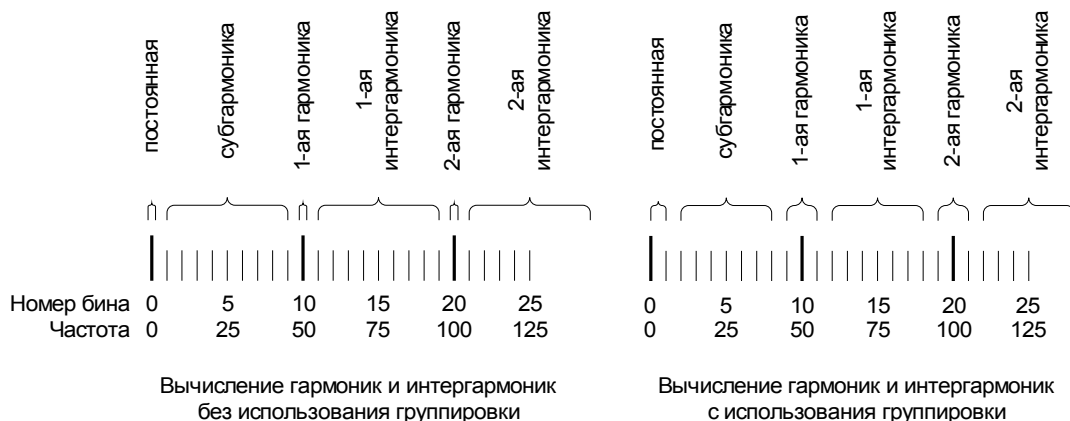


Рисунок 2 Группировка бинов

Вычисленные значения амплитуд гармоник, интергармоник, субгармоник и постоянной составляющей усредняются за время 8 измерений. По вычисленным значениям амплитуд, вычисляются отношения значения амплитуд гармоник к амплитуде первой гармонке.

Амплитуды гармоник используются для определения коэффициента нелинейных искажений по всем гармоникам, отдельно по четным и нечетным гармоникам, по интергармоникам и субгармониками. Дополнительно, рассчитывается К-фактор как корень квадратный из отношения суммы квадратов амплитуд гармоник умноженных на номер гармоники к сумме квадратов амплитуд гармоник.

## 2.6 Усреднение измеряемых значений

Все измеряемые значения усредняются за интервалы 3с, 10мин, 2ч (3-х секундное усреднение для измерения частоты не имеет смысла). Кроме этого, определяется максимальное и минимальное значение за период усреднения. Для среднеквадратических измеряемых величин используется соответственно среднеквадратическое усреднения.

Интервалы усреднения соответствуют интервалам реального времени, и не синхронны с частотой дискретизации АЦП. Отсчет интервалов усреднения начинается с нуля минут и нуля секунд нулевого часа.

## 2.7 Фликер

Отсчеты напряжения с выхода дробного интерполятора используются для вычисления фликера. Для этого абсолютное значение напряжения пропускается через фильтр низких частот, взвешивающий фильтр и фильтр высоких частот. Далее напряжение нормируется, возводится в квадрат и сглаживается. Результат используется для построения гистограммы распределения значений, гистограмма линейная, размером 1024 точки.

После заполнения гистограммы строится интегральная функция распределения и по ней вычисляются уровни фликера, значения которых были превышены в соответствующие проценты времени. По ним вычисляется кратковременную дозу фликера вычисляется в соответствии с формулами Б.9 и Б.10, приведенными в ГОСТ 13109. Долговременная доза фликера вычисляется как корень третьей степени из суммы кратковременных доз фликера в третьей степени за интервал усреднения, деленной на три. Значения фликера не усредняются по описанному в разделе 2.6 выше алгоритму.

# 3 Обнаружение событий и запись формы сигналов

## 3.1 Обнаружение событий

Все измеряемые значения проверяются на нахождение в допустимых пределах, граничные значения сгруппированы в таблицу, определяющую конфигурацию измерителя. Сказанное не относится к вторичным значениям, полученным в результате усреднения уже проверенных значений.

Для проверки большинства параметров используется единственное граничное значение, определяющее максимально допустимое значение. Для частоты и среднеквадратического напряжения проверяется выход за обе границы как верхней, так и нижней.

При обнаружении события Измеритель передает хост процессору сообщение, содержащее информацию о типе и моменте обнаружения события. По окончании события также передается

сообщение, которое содержит такие параметры события как длительность, среднее значение параметра за время события, максимальное отклонение от номинального значения и др.

### 3.1.1 Обнаружение коротких импульсов напряжения

Измеритель позволяет обнаруживать особый вид событий, связанных с короткими импульсами напряжения. Короткие импульсы определяются по превышению скорости изменения напряжения (разности между предыдущим и последующим отсчетом) заданного порога. В виду малой длительности события, по обнаружению импульса напряжения Измеритель передает хосту единственное сообщение (а не два сообщения в начале и конце события как для всех описанных выше событий).

## 3.2 Запись формы сигналов

Измеритель позволяет при обнаружении событий записывать формы сигналов по каналам, в которых обнаружено событие. Для этого, входные отсчеты с АЦП после компенсации сдвига нуля и ошибки коэффициента передачи сохраняются в кольцевом буфере во внешней памяти. При обнаружении события и получении запроса с хост процессора, Измеритель формирует пакеты отсчетов и передает их на хост. В пакете присутствует информация о событии, по которому сформирован пакет, номеру канала, длительности пакета, времени которому соответствует отсчет в начале пакета, является ли этот пакет последним по данному событию. Кроме этого, имеется флаг, информирующий хост о том, что часть отсчетов потеряна из-за переполнения буфера.

Имеется возможность запуска и остановки записи данных до обнаружения события или после него. Длительность записи данных до обнаружения события определяется размером буфера. Структура данных определяющая параметры. Записываемые данные прореживаются без фильтрации в зависимости от требуемой частоты дискретизации.

## 4 Особенности алгоритма

### 4.1 Выбор пределов измерения

Для расширения динамического диапазона измеряемых значений, Измеритель имеет функцию переключения пределов измерения. Переключение реализуется путем переключения пределов измерения входных АЦП AD7324. Имеется три предела измерения 600 В среднеквадратическое значение (1000 В амплитудное), 300 В (500 В), 150 В (250 В). Предел измерения может быть установлен на одно из этих трех фиксированных значений или может быть установлен в режим автоматического выбора пределов измерения. В последнем случае, усредненное абсолютное значение отсчетов АЦП сравнивается с верхним и нижним порогом, и при выходе за границы изменяется предел измерения.

### 4.2 Калибровка измерителя

Измеритель имеет функцию калибровки сдвига нуля и коэффициента передачи входных цепей. Параметры калибровки задаются индивидуально для каждого входного канала и каждого предела измерения.

### 4.3 Особенности вычисления реального времени

Измеритель использует формат реального времени, состоящий из двух величин – счетчика секунд (32 битное беззнаковое целое) и счетчика миллисекунд в пределах данной секунды (16 битное беззнаковое целое). При включении измерителя, он начинает отсчет с нулевой миллисекунды нулевой секунды. Время может быть установлено и считано командами с хост процессора. Нужно учитывать, что установка времени приводит к получению ошибочных результатов при вычислении длительности интервала времени, в течении которого оно устанавливалось. Например, Измеритель зафиксировал начало события перенапряжения 100-ой секунде, затем хост процессор установил время 10 секунд, затем на 20 секунде нового времени Измеритель зафиксировал конец события перенапряжения. Измеритель сообщит о длительности события  $20 - 100 = -80 = 4294967216$  секунд.

Еще одной особенностью отсчета времени является то, что секунды отсчитываются по прерываниям часов реального времени, а миллисекунды по прерываниям АЦП. Из-за отклонения тактовых частот, возможно пропадание 999-ой миллисекунды или удвоение длительность 1000-ой миллисекунды.

#### **4.4 Поиск переходов напряжения через ноль**

Большинство измеряемых параметров вычисляются за интервалы времени, синхронизированные с полупериодами напряжения. Таким образом, поиск моментов переходов напряжения через ноль влияет на большинство измеряемых параметров. Использование узкополосного фильтра ослабляет влияние мешающих факторов, тем не менее, значительные отклонения частоты сети, присутствие на входе Измерителя гармоник, постоянной составляющей или шума соизмеримого с уровнем основной частоты может привести к недостоверности определения переходов через ноль.

Алгоритм поиска пресечений нуля работает следующим образом. После последнего найденного пересечения нуля, пропускается количество отсчетов, соответствующих полупериоду максимальной сетевой частоты. Затем ищется следующий переход. Если он не был найден за количество отсчетов, соответствующих полупериоду минимальной сетевой частоты, устанавливается флаг потери синхронизации. Не зависимо от того, найден ли реальный переход или истек период его ожидания, интервал используется для вычисления параметров, связанных со среднеквадратическим значением напряжения. Это позволяет, хоть и с потерей точности, но продолжить измерение напряжения.

##### **4.4.1 Измерение частоты при потере синхронизации**

При установке флага потери синхронизации, текущие данные о длительности полупериода не используются для вычисления частоты сети. При однократных потерях синхронизации, это соответствует фактическому исключению из времени вычисления частоты интервалов потери синхронизации. При длительных потерях синхронизации, измеренное значение частоты теряет смысл. В любом случае, ставится флаг недостоверности значения измеренной частоты.

##### **4.4.2 Подстройка дробного интерполятора при потере синхронизации**

При установке флага потери синхронизации, текущие данные о частоты сети считаются недостоверными. Частота подстройки дробного интерполятора фиксируется на уровне последнего достоверного значения, пока не будет восстановлена синхронизации на весь период измерения.

Кроме этого, подстройка интерполятора также замораживается при наличии резких скачков измеренной частоты и выходе частоты за границы, более узкие, чем используемы для обнаружения переходов через ноль.

При работе Измерителя в режиме 3- фазных измерений, для подстройки дробного интерполятора по всем 3 фазам и нейтрали используется единственное общее значение частоты, полученное от фазы с наиболее стабильной частотой.