

**Пильцов Михаил Владимирович**,  
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: mpilcov@yandex.ru  
**Удачин Максим Александрович**,  
обучающийся, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: maxluck@bk.ru

## **К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ СТОИМОСТИ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

**Pilcov M.V., Udachin M.A.**

## **TO THE QUESTION OF REDUCING THE COST OF ELECTRONIC MEASURING INSTRUMENTS**

**Аннотация.** Рассмотрен способ удешевления измерительных приборов на примере анализатора качества электрической энергии, путем переноса ряда функций конструктивно обособленного прибора на персональный компьютер. При этом аппаратная часть прибора лишается блоков, отвечающих за отображение и обработку информации с датчиков, становясь простой системой сбора данных, что снижает её стоимость.

**Ключевые слова:** система сбора данных, качество электрической энергии, цифровой фильтр.

**Abstract.** A method for reducing the cost of measuring devices is considered by the example of an analyzer for the quality of electrical energy, by transferring a number of functions of a structurally separate device to a personal computer. At the same time, the hardware of the device loses the blocks, which is responsible for displaying and processing information from the sensors, becoming a simple data acquisition system, which reduces its cost.

**Keywords:** data acquisition system, power quality, digital filter.

Стоимость современных цифровых измерительных приборов складывается из множества элементов: стоимость компонентов, стоимость производства, стоимость доставки, добавленная стоимость и т.д. Многие измерительные приборы не требуют дополнительных технических средств для проведения с их помощью измерений. Соответственно, в состав такого прибора обязательно будут входить блоки, позволяющие математически обрабатывать измерительные сигналы с датчиков и выводить результат измерения на индикатор в форме, удобной оператору.

Если измерительный прибор прост и не выполняет во время своей работы сложных математических операций, а выводимая им информация не требует сложных индикаторов, то рассмотренные выше блоки несущественно повлияют на конечную стоимость прибора. Если же прибор в ходе измерений выполняет сложные расчеты (спектральный анализ, фильтрация), а выводимая им измерительная информация требует жидкокристаллический индикатор большой диагонали и разрешения, то стоимость компонентов, обеспечивающих работу данных блоков (сигнальные процессоры, ПЛИС драйверы ЖК-индикаторов и т.д.), будут ощутимо влиять на стоимость прибора. Значительно снизить стоимость измерительных приборов можно путем переноса функций

математической обработки измерительной информации и вывода её в конечной форме на персональный компьютер. При этом сам прибор превращается в простую систему сбора данных, связанную с ПК через USB или Ethernet интерфейс. В настоящее время данный метод удешевления применяют к цифровым осциллографам.

Большой интерес представляет применение данного метода к анализаторам качества электрической энергии [1]. Структурная схема такого устройства приведена на рисунке 1.

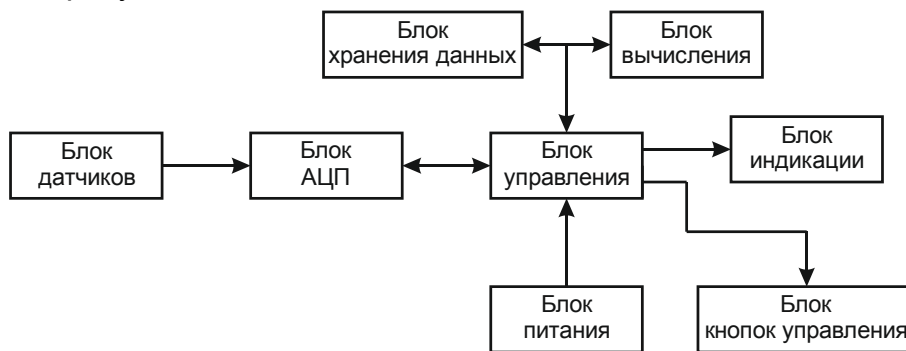


Рисунок 1 – Структурная схема анализатора качества электрической энергии

Сегодня эти приборы, внешне похожие на портативные осциллографы, снабженные цветными ЖК-индикаторами, могут превышать по стоимости полмиллиона рублей. При этом в состав данных приборов входят: датчики напряжения и тока (до 4 каналов), АЦП, управляющий микроконтроллер (кнопки управления, связь с ПК), блок вычислений (ПЛИС или сигнальный процессор), ЖК-индикатор с драйвером, а также блок памяти в несколько десятков гигабайт. Современный ПК средней мощности может заменить блок вычислений, а монитор компьютера ЖК-индикатор. При этом большую роль приобретает программное обеспечение для ПК. Структурная схема измененного описанным выше способом прибора показана на рисунке 2.

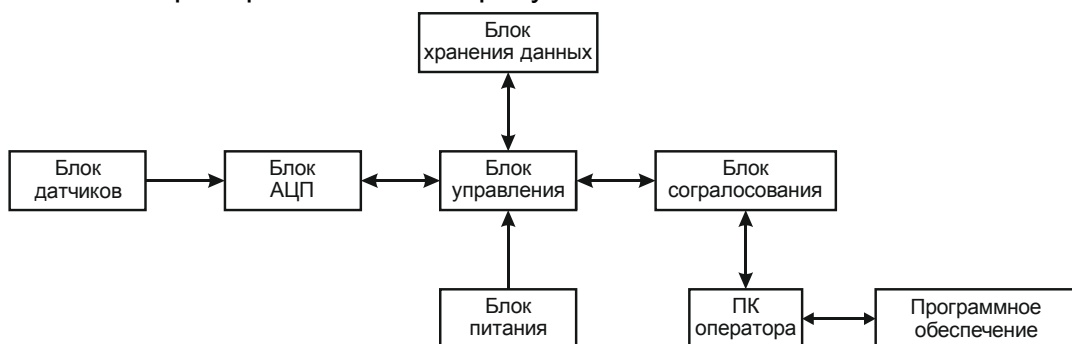


Рисунок 2 – Структурная схема удешевлённого анализатора качества электрической энергии

Для разработки программного обеспечения экономически целесообразно применять языки программирования и среды разработки с открытым исходным

кодом, распространяемые под лицензией GPL, например, языки Python или Java [2, 3]. К тому же в открытом доступе имеется большое число библиотек, реализующих методы цифровой обработки сигналов, что значительно упрощает реализацию и использование цифровых фильтров, необходимых при вычислении, например, коэффициента гармоник. Широкие возможности языков высокого уровня позволяют математически вычислять все электротехнические параметры цепей, которые можно определить на основе измерений мгновенных значений напряжения и тока (пиковые и средние значения сигнала, частоту, активную, реактивную и полную мощность, коэффициент мощности и т.д.) [4], а также реализовывать на экране монитора интерфейсы любой сложности (графики, таблицы, анимации).

Рассмотрим определение основных электротехнических параметров в измеряемой цепи при условии, что известны мгновенные значения тока  $i(t)$  и напряжения  $u(t)$  за некоторый промежуток времени, значительно превышающий период тока цепи  $T$ . При этом мгновенные значения получены с помощью АЦП и представляют из себя массивы данных, полученные через фиксированный промежуток времени, который значительно меньше периода  $T$ .

Амплитудное (пиковое) значение напряжения  $U_m$  (тока) можно определить простой сортировкой мгновенных значений тока или напряжения за период времени, равный периоду  $T$ , и выбором из них максимального значения без учета знака:

$$U_m = \max(|u(t)|).$$

Действующее значение напряжения  $U$  (тока) за один период  $T$  можно найти делением амплитуды  $U_m$  на  $\sqrt{2}$ . Данный способ предполагает, что напряжение и ток в цепи имеют идеально синусоидальную форму, что в реальных цепях не встречается, поэтому целесообразнее находить действующее значение напряжения (тока) по следующей формуле:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}.$$

Частоту переменного напряжения (тока) можно определить за период  $T$ , вычислив величину, обратную разности между третьим  $t_3$  и первым  $t_1$  переходом напряжения через нулевое значение:

$$f = \frac{1}{t_3 - t_1}.$$

Полную мощность, потребляемую нагрузкой за период  $T$ , можно определить, как произведение действующих значений напряжения  $U$  и тока  $I$ :

$$S = UI = \left( \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \right) \left( \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \right).$$

Активную мощность, потребляемую нагрузкой, можно определить, как среднее значение мгновенной мощности за период  $T$ :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt.$$

Реактивную мощность, потребляемую нагрузкой за период  $T$ , можно определить, используя найденную ранее полную и активную мощности:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

Сдвиг фаз между напряжением и током в цепи можно определить, используя найденное значение активной мощности  $P$  и действующие значения напряжения  $U$  и тока  $I$  в цепи:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{P}{UI}\right).$$

Коэффициент мощности определяется аналогичным образом:

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{UI}.$$

Коэффициент гармоник определить сложнее. Для этого из измерительного сигнала  $u(t)$  необходимо вычлнить действующее значение первой гармоники  $U_1$ , а также действующие значения высших гармоник  $U_2 \dots U_n$ . Сам коэффициент вычисляется по следующей формуле:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots U_n^2}}{U_1} 100.$$

Анализируя приведенные расчеты, можно сделать вывод, что они не представляют вычислительных трудностей для современного компьютера. Даже при наличии большого объема измерений, можно вычислять все рассмотренные выше параметры за один период переменного тока. При этом появляется возможность выполнить статистическую обработку полученных результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. М.: Энергия, 1984. 1980. – 331 с.
2. Лутц М. Изучаем Python, 4-е издание / М. Лутц – Спб.: Символ-Плюс, 2011. – 1280 с.
3. Хахаев И.А. Практикум по алгоритмизации и программированию на Python / И.А. Хахаев – М.: Альт Линукс, 2010. – 126 с.
4. Шербаков В.С., Гнездов И.Н. Измерение среднеквадратического значения напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.