

ЭМУЛЯТОР РЕГИСТРИРУЕМЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А. Д. Серебряков, Л. И. Сучкова

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

Среди многочисленных видов товаров, которыми мы пользуемся повседневно, есть и такой, как электроэнергия. Электроэнергия как товар обладает целым рядом специфических свойств. Она непосредственно используется при создании других видов продукции и оказывает существенное влияние на экономические показатели производства и качество выпускаемых изделий. Стандарты устанавливают допустимые уровни помех в электрической сети, которые характеризуют качество электроэнергии (КЭ) и называются показателями качества электроэнергии (ПКЭ). Существуют задачи мониторинга качества электроэнергии, требующие использования специальных приборов контроля качества.

Цель работы – разработка алгоритма расчета ПКЭ, а также создание программы, эмулирующей работу прибора, измеряющего ПКЭ.

Определение показателей качества электрической энергии задача нетривиальная, так как большинство процессов, протекающих в электрических сетях – быстротекущие, все нормируемые показатели качества электрической энергии не могут быть измерены напрямую – их необходимо рассчитывать, а окончательное заключение можно дать только по статистически обработанным результатам. Поэтому, для определения показателей качества электрической энергии, необходимо выполнить большой объем измерений с высокой скоростью и одновременной математической и статистической обработкой измеренных значений.

ПКЭ рассчитываются программно на основе мгновенных значений напряжения.

Описываемый программный продукт разработан в среде Microsoft Visual Studio 2008 Team System на языке C# с использованием технологии .NET. Для изображения графиков сигналов использована библиотека ZedGraph. Быстрое преобразование Фурье выполняется с помощью функций, описанных в библиотеке algLib.

Приложение представляет собой экранную форму с расположенными на ней элементами управления и меню (рисунок 1).

Главная форма отображает ПКЭ, нормируемые ГОСТ 13109-97: коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, частоту сигналов, коэффициент несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям, кратковременную дозу фликера, размах изменения напряжения, провал напряжения, коэффициент временного перенапряжения, установившееся отклонение напряжения, коэффициент n-ой гармонической составляющей. Также отображаются графики сигналов, счетчик секунд и кнопки управления процессом расчета и элементом управления, служащим для разрешения и запрещения отрисовки графиков.

Меню служит для управления работой программы и для вызова окна настроек, изображенного на рисунке 2. С помощью окна настроек есть возможность задавать параметры всех сигналов, такие как: частота, амплитуда, фаза, шумы, перенапряжения, провалы напряжения, а также амплитуды гармоник со второй по сороковую. Кроме того возможно восстановить значения по умолчанию, которые являются идеальными.

Может возникнуть необходимость в выводе генерируемых программой сигналов на звуковую карту компьютера, например, с целью тестирования аппаратно реализованного измерителя показателей качества электроэнергии.

Для этого в программе предусмотрена запись сигналов в звуковой файл в формате WAV. При этом имеется возможность сохранять как все сигналы в один файл, так и каждый сигнал в отдельный файл.

Алгоритм работы программы следующий. При инициализации главной формы приложения массивы сигналов и другие переменные инициализируются, запускается первый таймер с интервалом 1 мс, а также запрещается второй таймер с интервалом 25 мс. По срабатыванию первого таймера вызывается функция формирования сигналов.

ЭМУЛЯТОР РЕГИСТРИРУЕМЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

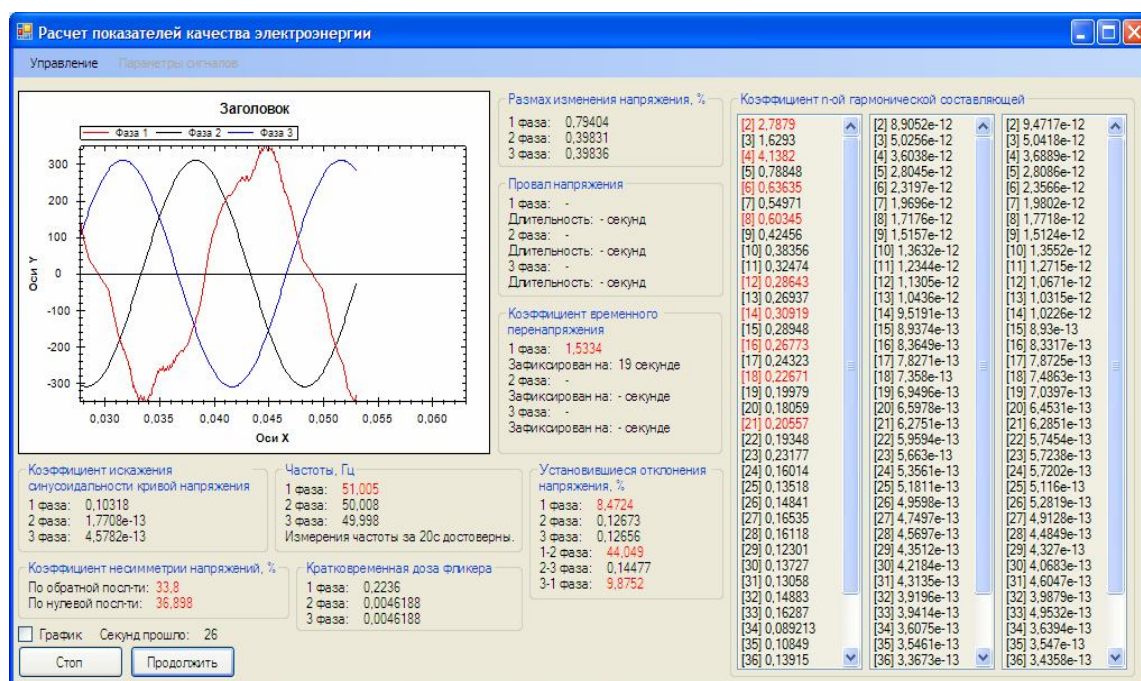


Рисунок 1 – Вид главной формы программы

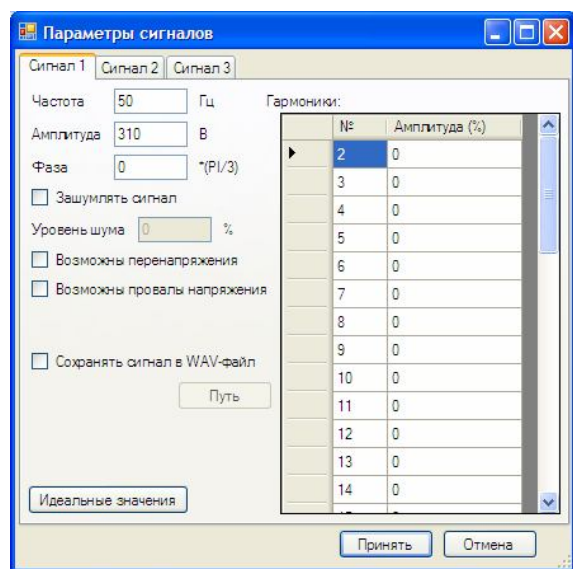


Рисунок 2 – Окно настроек программы

Далее, если пользователь на главной форме выбрал опцию отрисовки графиков сигналов, запускается второй таймер, который вызывает функцию изображения графиков на соответствующей панели формы. Функция изображения запускает первый таймер для формирования продолжения сигналов, когда отрисована текущая их часть.

Стоит отметить, что изображение графиков заметно замедляет процесс расчета ПКЭ,

т.к. первый таймер, реализующий алгоритм вычисления остановлен до тех пор, пока не отрисована текущая часть сигнала. Поэтому пользователь в любой момент может отключить график, что ускоряет вычисления.

Алгоритм расчетов следующий. Все вычисления производятся в цикле поиска переходов напряжения через ноль, что необходимо для определения частоты сигналов. После последнего найденного пересечения нуля, пропускается количество отсчетов, соответствующих полупериоду колебания на максимальной сетевой частоте. Затем ищется следующий переход. Если он не был найден за количество отсчетов, соответствующих полупериоду колебания напряжения на минимальной сетевой частоте, устанавливается флаг потери синхронизации. Независимо от того, найден ли реальный переход или истек период его ожидания, интервал используется для вычисления параметров, связанных со среднеквадратическим значением напряжения, что позволяет, хоть и с потерей точности, но продолжить измерение напряжения. После этого определяется среднеквадратическое значение напряжения за полупериод по трем фазам и действующие значения межфазных напряжений. Квадраты вычисленных значений суммируются для усреднения и дальнейшей обработки, а также, после нормировки и возведения в квадрат, добавляются в массивы, представляющие гисто-

граммы, необходимые для расчета фликера. Массивы имеют размерность 1000. Каждый элемент – счетчик количества отклонений значения напряжения от номинального на определенную величину, определяемую индексом массива. Величина отклонения увеличивается с каждым элементом на 0.0008, первый элемент соответствует нулевому отклонению. Кроме того, вычисленные среднеквадратичные значения напряжения в текущем полупериоде используются для обнаружения провала напряжения или его завершения. Если провал обнаружен, устанавливается специальный флаг, фиксируется время обнаружения и в последующих полупериодах, до тех пор, пока напряжение не восстановится – минимальное среднеквадратичное значение напряжения. Если напряжение восстановилось, то сбрасывается флаг, фиксируется время окончания события для вычисления длительности провала Δt_n в секундах по формуле (1) и вычисляется его глубина.

$$\Delta t_n = t_k - t_n, \quad (1)$$

где t_n , t_k – начальный и конечный моменты времени провала напряжения.

Одновременно с вычислением среднеквадратичных значений напряжения в полупериоде ведется обнаружение перенапряжения. Если данное событие зафиксировано, устанавливается специальный флаг, и пропускаются последующие 4 полупериода (т.к. согласно ГОСТ 13109-97, необходимо начинать измерения через 40 мс после начала перенапряжения). Далее, до тех пор, пока напряжение не восстановится, ведется фиксация максимального амплитудного значения напряжения $U_{a\max}$ за все время события. Если напряжение восстановилось, то сбрасывается флаг, фиксируется время окончания перенапряжения, и найденное наибольшее значение амплитуды напряжения используется для вычисления коэффициента временного перенапряжения $K_{\text{пер}U}$ по формуле

$$K_{\text{пер}U} = \frac{U_{a\max}}{\sqrt{2}U_{\text{ном}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное значение напряжения.

Также, после вычисления очередного среднеквадратичного значения напряжения в каждом полупериоде, проводится измерение размаха изменения напряжения δU_t . Для его определения по формуле (3) необходимо знать среднеквадратичные значения напряжения в текущем и предыдущем полупериодах (соответственно, U_{i+1} и U_i). Эти значения хранятся в специальных массивах и обнов-

ляются после очередного вычисления среднеквадратичного значения напряжения в текущем полупериоде.

$$\delta U_t = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

Один раз в 250 мс проводится очередной расчет коэффициентов несимметрии напряжения по обратной (K_{2U}) и нулевой последовательностям (K_{0U}), соответственно, по формулам (4) и (5), коэффициентов установившегося отклонения напряжения δU_y по трем фазам по формуле (6) и коэффициентов установившегося отклонения межфазных напряжений, а также осуществляется быстрое преобразование Фурье. Коэффициенты, полученные в результате БПФ, используются для вычисления коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения K_U и коэффициента n -ой гармонической составляющей $K_{U(n)}$, соответственно, по формулам (7) и (8).

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{2Ui}^2}{N}}, \quad (4)$$

где K_{2Ui} – коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности в i -м наблюдении, N – количество наблюдений.

$$K_{0U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{0Ui}^2}{N}}, \quad (5)$$

где K_{0Ui} – коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности в i -м наблюдении, N – количество наблюдений.

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где U_y – значение усредненного напряжения, $U_{\text{ном}}$ – номинальное значение напряжения.

$$K_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{Ui}^2}{N}}, \quad (7)$$

где K_{Ui} – коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения в i -м наблюдении, N – количество наблюдений.

$$K_{U(n)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{U(n)i}^2}{N}}, \quad (8)$$

где $K_{U(n)i}$ – коэффициента n -ой гармонической составляющей напряжения в i -м наблюдении, N – количество наблюдений.

ЭМУЛЯТОР РЕГИСТРИРУЕМЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Раз в 20 с проводится расчет кратковременной дозы фликера. Для этого по данным гистограмм (массивов) строятся интегральные функции распределения и вычисляются сглаженные уровни фликера P_{St} по формуле:

$$P_{St} = (0,0314P_{0,1} + 0,0525P_{1s} + 0,0657P_{3s} + 0,28P_{10s} + 0,08P_{50s})^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

где $P_{0,1}$ – уровень фликера, соответствующий интегральной вероятности, равной 0,1, P_{1s} , P_{3s} , P_{10s} , P_{50s} — сглаженные уровни фликера при интегральной вероятности, равной 1,0; 3,0; 10,0; 50,0 соответственно.

Все итоговые показатели выводятся на определенные элементы главной формы. Также проводится проверка выхода за допустимые границы. Если значение какой-либо величины превысило нормально допустимое значение, то это значение на форме выделяется красным шрифтом.

Таким образом, в ходе работы была написана программа, эмулирующая работу прибора, рассчитывающего ПКЭ. К основным возможностям программы следует отнести:

расчет ПКЭ в зависимости от параметров сигналов, которые можно изменять, сохранение сигналов в WAV-файл, вывод графиков сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефименко, Ю.Г. Качество электроэнергии [Электронный ресурс] / Ю.Г. Ефименко. Режим доступа: <http://home.onego.ru/~enadz/kachenerg.htm>
2. ГОСТ 13109 – 97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. Изд-во стандартов, 1998.
3. Воронов, И. Анализатор качества электроэнергии [Электронный ресурс] / И. Воронов. Режим доступа: http://powerdsp.narod.ru/analizator_kachestva/measpar.pdf
4. Павловская, Т.А. С#. Программирование на языке высокого уровня. [Текст] / Т.А. Павловская. – СПб.: Изд-во Питер, 2009. – 432 с.
5. Гросс, К. С# 2008 и платформа .NET 3.5 Framework: вводный курс. [Текст] / К. Гросс. – Изд-во Вильямс, 2009 – 480 с.