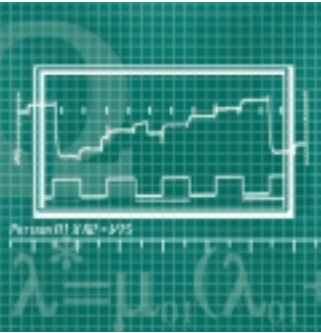




Необслуживаемый микропроцессорный комплекс контроля качества электроэнергии «Инспектор К»

Валерий Андронов, Константин Андронов, Герман Карасев,
Александр Павловский, Елена Шерпаева

В статье рассматриваются принципы построения и технические характеристики необслуживаемого программно-аппаратного комплекса, решающего задачи измерения, обработки, запоминания и длительного хранения статистической информации о показателях качества электроэнергии в сети.

Потребность в электрической энергии является одной из важнейших в современном обществе. Уровень потребления электроэнергии, как правило, характеризует состояние социальных и промышленных объектов любого масштаба — от жилого дома и небольшого предприятия до крупного населенного пункта или целой отрасли промышленности. Однако, чтобы отвечать имеющимся потребностям, электроэнергия должна быть качественной.

Что такое качество электроэнергии?

В соответствии с ГОСТ 23875-79 (термины и определения качества электрической энергии) качество электрической энергии есть совокупность

свойств электрической энергии, обуславливающих пригодность ее для нормальной работы энергоприемников в соответствии с их назначением при расчетной работоспособности. Другими словами, качество электрической энергии характеризует совместимость питающей сети и потребителей электроэнергии.

Качество электрической энергии определяется рядом показателей. Требования к качеству электроэнергии, а вернее, к показателям качества электроэнергии (ПКЭ), регламентируются ГОСТ 13109-97. К основным ПКЭ, определяющим свойства электрической энергии, относятся:

- отклонения напряжения,
- размах изменения напряжения,

- коэффициенты несинусоидальности и n-ой гармонической составляющей напряжения,
- коэффициент обратной последовательности напряжений,
- коэффициент нулевой последовательности напряжений,
- отклонения частоты питающего напряжения,
- длительность провала напряжения,
- импульсное напряжение.

Имеются также показатели, характеризующие амплитудную модуляцию напряжения, небаланс фазных и межфазных напряжений. Для всех показателей ГОСТом установлены нормальные и предельные значения.

Зачем контролировать качество электроэнергии?

Характерным для развития современной электроэнергетики является широкое внедрение мощных электрических нагрузок и силового электрооборудования на тиристорно-транзисторной основе, ухудшающих качество электроэнергии в электрических сетях.

В то же время последние десятилетия характеризуются интенсивным ростом доли электрических нагрузок, чувствительных к качеству питающего напряжения. К ним прежде всего относятся:

- высококачественное офисное оборудование — компьютеры, оргтехника, средства связи;
- медицинское и измерительное оборудование;



- бытовые электроприборы и электрооборудование, а также многие другие виды электрических нагрузок, для которых ухудшение качества питающего напряжения является критичным.

Известно, что, в конечном счете, колебания напряжения вредны для любых видов электроприборов и электрооборудования, именно поэтому величины таких колебаний лимитирует ГОСТ.

Несинусоидальные искажения эпюры переменного напряжения не страшны для нагревателей, однако для моторной нагрузки эти искажения могут вызвать дополнительные потери электроэнергии, незначительные для отдельной нагрузки, но громадные в масштабе большого предприятия. Изменения частоты питающего напряжения также ограничены ГОСТом из-за их искажающего влияния, например, на функционирование медицинских приборов. Для пользователя, имеющего трехфазную нагрузку, важно, чтобы трехфазная система напряжений была симметрична и по фазам, и по амплитудам напряжений. Превышение предельно допустимых норм отклонения напряжения, коэффициента несинусоидальности либо величины импульсного напряжения приводит к мгновенному или постепенному выходу из строя бытовых приборов. Нарушения электроснабжения с последующим восстановлением напряжения, возникающие при авариях в электрической сети, приводят к повреждениям компьютерного оборудования и потере данных.

Выход показателей качества электроэнергии за пределы, определяемые ГОСТ, приводит к нарушению работоспособности и отключению ответственных нагрузок, и, как следствие, к ощутимому материальному и моральному ущербу. Нерегулярность электроснабжения, недопустимое изменение его параметров представляют угрозу жизни, здоровью и имуществу бытовых потребителей электроэнергии. Отсутствие требуемого качества электроэнергии на электрических шинах промышленных предприятий ведет к непроизводительным потерям, повышению стоимости продукции и, в конечном счете, к издержкам, многократно превышающим стоимость потребляемой электроэнергии. Чтобы уменьшить эти издержки, предприятия инвестируют существенные денежные средства в системы резервного электроснабжения.

В то же время из-за отсутствия регулярной и точной информации о показателях качества потребляемой электроэнергии предприятия не получают материального возмещения от электроснабжающей организации, несущей ответственность перед своими клиентами-потребителями электроэнергии за причиненный им ущерб. Чтобы иметь возможность обосновывать свои претензии по качеству электроснабжения, а также принимать экономически оправданные технические решения по его резервированию, необходимо обладать достоверной информацией, полученной в результате постоянного контроля параметров поставляемой электрической энергии.

ЧЕМ КОНТРОЛИРОВАТЬ КАЧЕСТВО?

Контроль качества электроэнергии выполняется, как правило, специализированными техническими средствами, обеспечивающими измерение параметров электрической энергии, их обработку, хранение и представление в наиболее удобном для пользователей виде.

В настоящее время известен целый ряд устройств, обеспечивающих кон-

троль качества электрической энергии. К ним, в первую очередь, следует отнести специализированный переносной программируемый прибор «Qualimetre» французской фирмы EDF, анализатор гармоник в электрической сети, разработанный канадской фирмой Ontario Hydro and Canadian Electrical Association, анализатор качества электрической энергии американской фирмы Dranetz technologies, портативный анализатор электропотребления AR.4M фирмы «НТЦ Энергоэффект», измерительно-вычислительный комплекс «Омск» (Омский политехнический институт) информационно-измерительную систему «Анализатор качества напряжения» (МЭИ), регистратор электрических процессов и событий (РЭС-3), разработанный фирмой Про-софт-Е, и другие. Каждое из перечисленных устройств имеет свои преимущества и ограничения по измерительным возможностям, времени непрерывного контроля, перечню расчетных показателей.

В данной статье описан разработанный Инженерно-маркетинговым центром «Лаборатории перспективных технологий» микропроцессорный ком-



Рис. 1. Комплекс «Инспектор К»

плекс контроля качества электроэнергии «Инспектор К» (рис. 1).

Комплекс состоит из двух частей: необслуживаемого эксплуатационного комплекта (КЭ) и комплекта отображения (КО).

Комплект эксплуатационный выполнен в виде отдельного прибора, который устанавливается на контролируемом объекте (у потребителей, на предприятиях, подстанциях и в энергосистемах).

КЭ в условиях отсутствия эксплуатационного персонала при нестабильности и перерывах электроснабжения обеспечивает измерение, обработку, запоминание и хранение статистической информации о показателях качества электроэнергии в сети, имеющей сложную конфигурацию. В комплект входит источник бесперебойного питания (ИБП) фирмы APC семейства Back-UPS. Характерной особенностью комплекта является использование блока с энергонезависимым перепрограммируемым запоминающим устройством.

Комплект отображения на основе персональной ЭВМ типа IBM PC позволяет информацию, накопленную в эксплуатационном комплекте, использовать для анализа, отображения и документирования.

Комплекс «Инспектор К» имеет ряд свойств, обуславливающих высокую эффективность его использования для контроля качества электроэнергии:

- комплексное измерение всех основных показателей качества электроэнергии;
- регистрацию конфигурации и особенностей состояния схемы контролируемого объекта;
- синхронную фиксацию измеряемого параметра по всем трем фазам;
- малый интервал повторяемости и высокое быстродействие производимых измерений и расчетов;
- фиксацию импульсных напряжений грозового и коммутационного харак-

тера, а также провалов и пропаданий напряжения;

- длительное (многолетнее) накопление и хранение информации о показателях качества;
- сохранность накопленной информации даже при перерывах в питании устройства;
- отсутствие необходимости обслуживания;
- возможность съема информации без нарушения и останова работы комплекса;
- возможность получения накопленной информации по каналу последовательной передачи данных;
- удобство и наглядность представления информации на индикаторах эксплуатационного комплекта и на экране комплекта отображения.

Наличие перечисленных свойств позволяет автоматизировать процесс контроля показателей качества электроэнергии на местах и при необходимости передавать информацию на дальние расстояния.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСА «ИНСПЕКТОР К»

Блок-схема эксплуатационного комплекта

Эксплуатационный комплект (КЭ) содержит следующие основные блоки (рис. 2):

- блок трансформаторов напряжения (БТН),
- блок источника питания (БИП),
- источник бесперебойного питания (ИБП),
- блок автоматики питания (БАП),
- блок импульсных напряжений (БИН),
- блок микропроцессорный (БМП),
- блок управления и индикации (БУИ),
- блок ввода информации (БВИ),
- блок перепрограммируемых постоянных запоминающих устройств (БППЗУ).

БТН обеспечивает гальваноразвязку и нормализацию входных сигналов с помощью метрологически аттестованных трансформаторов малой мощности; БТН позволяет фиксировать трехфазные системы напряжений двух различных секций шин энергообъекта.

В БИП размещается многоканальный источник напряжений $+5$ и ± 15 В.

ИБП обеспечивает питание прибора переменным напряжением при пропа-

дании основного сетевого напряжения.

Блок автоматики питания выполняет функцию контроля включенного состояния ИБП и отключает его через заданное время, предотвращая разряд батареи.

БИН предназначен для выработки сигналов прерывания при появлении импульсных напряжений и преобразования амплитуды и длительности импульсных напряжений в фиксируемые аналоговые сигналы.

Блоки БМП, БППЗУ, БВИ и БУИ образуют четырехплатный контроллер.

Блок микропроцессора (БМП) обеспечивает

- измерение и преобразование напряжений при участии БВИ, содержащего три аналого-цифровых преобразователя (АЦП) и оптоэлектронные ключи,
- обработку, вычисление результатов измерений, их запоминание вместе с датой в ОЗУ и в энергонезависимой памяти (флэш-памяти),
- индикацию результатов текущих расчетов на встроенном индикаторе БУИ,
- вывод накопленных данных в память компьютера по команде, набранной на клавиатуре БУИ,
- управление режимами эксплуатационного комплекта.

Функциональная схема контроллера эксплуатационного комплекта

Согласно функциональной схеме (рис. 3), контроллер имеет в своем составе микропроцессор, программное (ROM), оперативное (RAM) и энергонезависимое (флэш) ЗУ, встроенные часы-календарь, а также интерфейсные модули, обеспечивающие

- связь с датчиками информации, ввод и преобразование сигналов,
- связь с комплектом отображения по каналу RS-232,
- связь с оператором при задании режимов и контроле полученной информации.

Согласование с датчиками аналоговых сигналов выполняет группа из трех аналого-цифровых преобразователей, запускаемых одновременно, а с датчиками дискретных сигналов — группа из восьми оптоключей.

Преобразование информации в формат RS-232 реализуют микросхемы последовательной передачи данных.

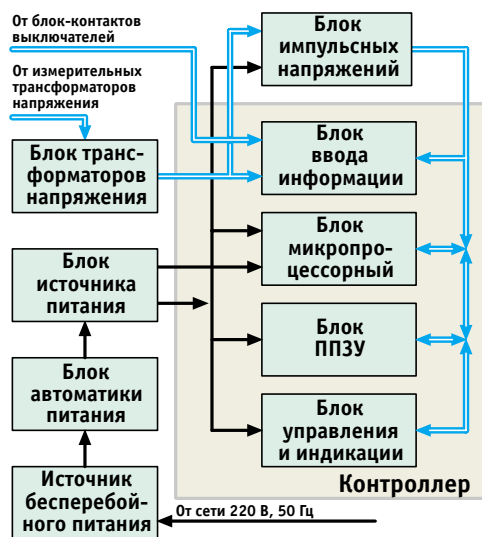


Рис. 2. Блок-схема КЭ

Интерфейс оператора состоит из 8-кнопочной клавиатуры и двух семи-сегментных индикаторов.

Основные режимы работы комплекса

Предусмотрены следующие режимы работы комплекса:

- рабочие режимы накопления данных,
- тестовые режимы,
- режимы передачи информации по каналу межпроцессорной связи комплексов,
- режимы хранения и копирования содержимого микросхем памяти (ОЗУ во флэш, флэш в ОЗУ).

Команда на запуск выбранного режима задается с клавиатуры.

Всего рабочих режимов — четыре, из них один основной и три вспомогательных. Они отличаются объемом обработки информации и объемом индикации, а также временем цикла обработки.

Первый (основной) рабочий режим характеризуется минимальным временем обработки и минимальным объемом отображаемой на индикаторах информации. Время цикла обработки в этом режиме составляет 2 с. Процесс обработки начинается с анализа силовой схемы: определяется, какие выключатели силовой схемы включены, а какие отключены. Информацией для этого анализа служат входные дискретные сигналы от блок-контактов выключателей, которые поступают в контроллер через узел дискретного ввода. По результатам анализа схемы определяется, какие датчики аналоговых сигналов следует опрашивать. За один цикл об-

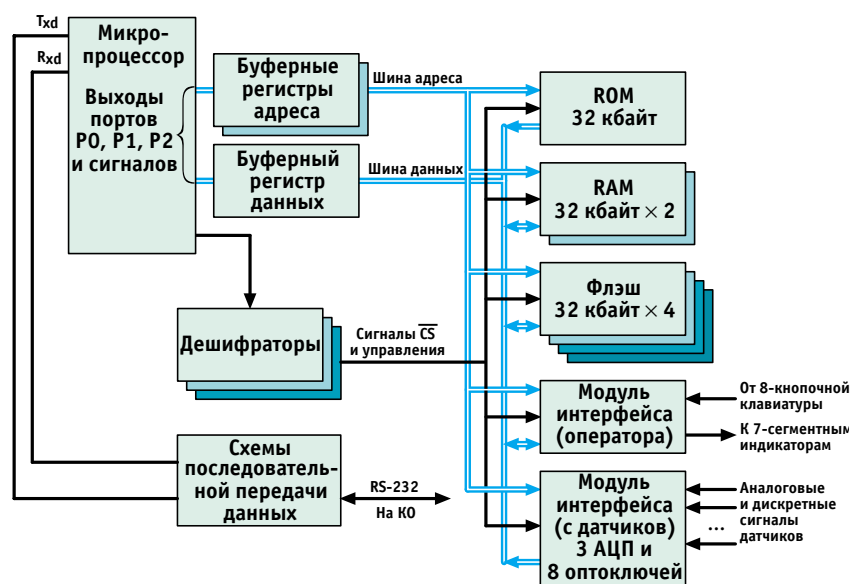


Рис. 3. Функциональная схема контроллера

работки производится измерение 512 мгновенных значений измеряемого параметра каждой фазы с дискретностью 100 мкс. Всего за один цикл обрабатываются три фазы одной секции шин. В процессе обработки определяется частота сигнала по каждой фазе и рассчитываются действующие значения напряжений. Затем по известным формулам, определенным ГОСТ, рассчитываются все показатели качества электроэнергии. При этом в основном режиме работы устройства коэффициент несинусоидальности рассчитывается не в каждом цикле, а один раз в 20 минут, причем в этом же цикле определяются уточненные значения коэффициентов обратной и нулевой последовательности, а также коэффициентов небаланса. Время этого цикла в сравнении с основным рабочим циклом удлинняется на 5 с за счет проведения гармонического анализа.

Второй рабочий режим отличается от первого тем, что расчет коэффициента несинусоидальности производится в каждом цикле обработки, причем время цикла увеличивается до 7 с.

Третий и четвертый рабочие режимы позволяют производить контроль качества энергии только на первой и второй секциях системы шин соответственно.

Любой из рабочих режимов позволяет не только регистрировать и рассчитывать численные значения стационарных показателей, но и выполнять регистрацию и расчет характеристик импульсных напряжений, возникающих как случайные события. Макси-

мальная величина измеряемого импульсного напряжения ограничена 4-кратным уровнем номинального значения, фиксируемая длительность импульсного напряжения находится в пределах 0,1 - 10 мс.

Каждому показателю качества электроэнергии соответствует своя гистограмма. Частота появления того или иного показателя в соответствующем разряде фиксируется в десятиразрядной гистограмме этого показателя. Информация, накопленная в гистограммах, содержится в ОЗУ и периодически (каждый час) переносится во внутреннюю флэш-память. Во внешнюю флэш-память информация переписывается по команде с клавиатуры.

В тестовых режимах аппаратные средства контролируются с помощью теста АЦП, теста ОЗУ и программы проверки часов, а достоверность расчетов проверяется на трех смоделированных математических периодических сигналах треугольной формы частоты 50 Гц, сдвинутых по фазе относительно друг друга на 120 градусов.

В режимах передачи и хранения данных накопленная в комплексе за контролируемый период (квартал, год и т.д.) информация может быть непосредственно передана в ПЭВМ по каналу связи или скопирована в съемный элемент флэш-памяти, размещенный в БППЗУ.

Непрерывность контроля качества и точность измерений

Непрерывность контроля качества электроэнергии обеспечивается за счет некоторых особенностей реализа-

ции прибора (эксплуатационного комплекта).

Во-первых, при пропадании электропитания вся накопленная информация переписывается в энергонезависимую память. Питание устройства в это время обеспечивается источником бесперебойного питания (APC Back-UPS). При восстановлении напряжения информация копируется из энергонезависимой памяти в оперативную, после чего продолжается работа в том же режиме, что и до потери питания. Все функции осуществляются автоматически и не требуют вмешательства оператора.

Во-вторых, прибор обеспечивает при исчезновении питания сохранение текущего времени электронных часов за счет использования микросхемы со встроенной литиевой батарейкой.

В-третьих, долговременная регистрация информации обеспечивается также за счет выбранной формы ее представления в виде гистограмм: энергонезависимая флэш-память емкостью 32 кбайт позволяет (по оценке) осуществлять накопление информации в течение 7 лет.

В-четвертых, съем накопленной информации может осуществляться без нарушения нормальной работы прибора.

Указанные особенности позволяют использовать прибор в непрерывном, фактически необслуживаемом режиме.

При необходимости эксплуатационный комплект комплекса «Инспектор К» может быть использован в качестве измерительного прибора. В этом случае максимальная ошибка измерительного тракта частоты составляет 0,07% (0,033 Гц), а максимальная ошибка измерительного тракта напряжения — 0,4%. Кроме того, определение кратностей импульсных напряжений производится с точностью до десятых долей кратности; определение длительностей импульсных напряжений производится с точностью до 0,1 мс.

Комплект отображения

Для отображения накопленной и переданной в персональный компьютер информации о показателях качества электроэнергии служит программа отображения на экране монитора гистограмм (рис. 4) и таблиц (рис. 5). Программа позволяет загрузить нужный для анализа файл, выбрать по списку интересующую гистограмму для опре-

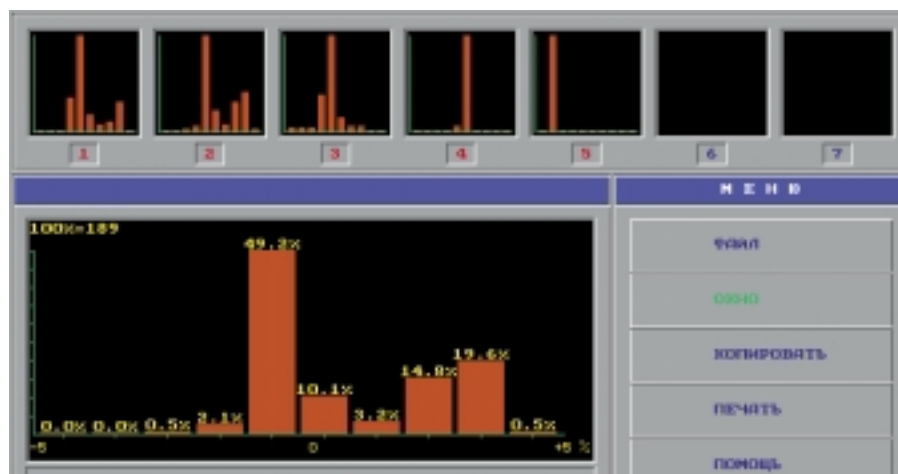


Рис. 4. Экран отображения гистограммы напряжения

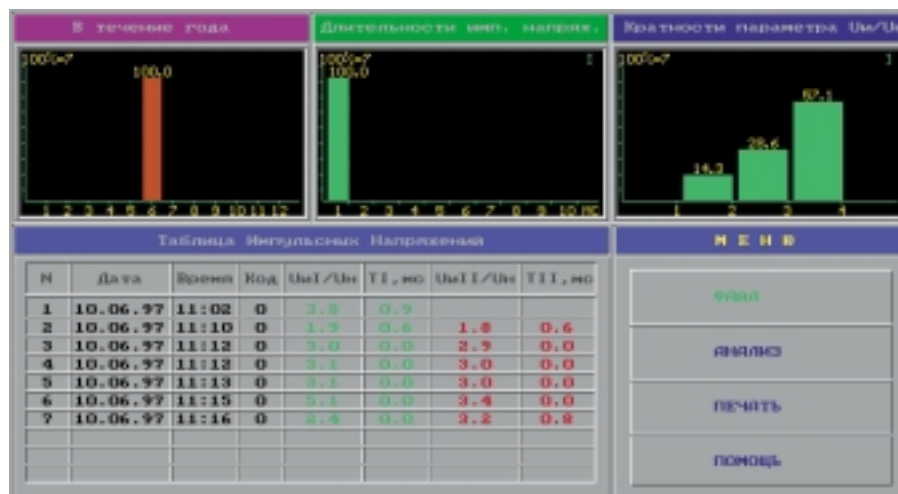


Рис. 5. Экран отображения таблицы импульсных напряжений

деленного состояния схемы объекта, переместить ее в одно из вспомогательных семи окон, позволяющих провести пофазное сравнение гистограмм, а также просмотреть таблицы импульсных напряжений и пропаданий напряжения. Для документирования в системе отображения предусмотрен режим печати с заданием подзаголовков и комментариев.

На рис. 4 приведена копия экрана, на котором изображена гистограмма отклонений напряжения. Гистограмма содержит 10 разрядов (при основании гистограммы $\pm 5\%$).

На рис. 5 показана таблица импульсных напряжений и гистограммы распределений. В приведенной таблице, общая емкость которой — 200 событий, указан номер появления события в хронологическом порядке, дата, время, код, свидетельствующий об определенной конфигурации контролируемой сети, кратность импульсного напряжения на первой секции шин (или в любом первом узле схемы контролируемого энергообъекта) и его длительность в

миллисекундах, кратность и длительность импульсного напряжения на другой секции или в другом узле схемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микропроцессорный комплекс контроля качества электроэнергии «Инспектор К» предназначен для использования на подстанциях промышленных предприятий, на предприятиях, содержащих аппаратуру, чувствительную к качеству электроэнергии, и на других предприятиях-потребителях электроэнергии. Отличительной чертой комплекса является возможность его использования на удаленных и необслуживаемых энергообъектах в многофункциональном режиме с длительным накоплением и хранением информации. ●

Авторы — сотрудники Инженерно-маркетингового центра «Лаборатории перспективных технологий»

Телефон: (812) 106-1345