

В условиях постоянно растущего потребления электрической энергии важнейшей задачей является ее рациональное распределение и использование. Современные концепции интеллектуальных распределительных электрических сетей включают в себя инструменты контроля и мониторинга процессов распределения и потребления электроэнергии, позволяющие обеспечить соответствие этих процессов действующим стандартам.

Цель исследования – создание устройства мониторинга нормируемых параметров качества электроэнергии, таких как напряжение, форма сигнала, коэффициент гармоник, с возможностью выявления отклонений этих параметров от нормы, с возможностью передачи полученных результатов по инфокоммуникационным сетям.

Интеллектуальные электрические сети (smart grid) – электрические сети, в которых организован обмен информацией между участниками сети, начиная от генерирующих мощностей и до конечных устройств-потребителей электроэнергии, в режиме времени. В рамках этой концепции абсолютно все составляющие системы – крупные энергопроизводители (ТЭЦ, ГЭС, АЭС, а также любые локальные генерирующие мощности (ДГУ, ветрогенераторы, небольшие солнечные электростанции и др.)), а также электрораспределительные сети и конечные потребители связываются с использованием инфокоммуникационных технологий в интеллектуальные сети.

Электроэнергетика на основе концепции сетей smart grid является частью промышленного Интернета вещей (Industrial Internet of Things, IIoT), предполагающего, в итоге, полную подключенность и автоматизацию управления промышленными процессами. В электроэнергетике в наибольшей степени видна необходимость и достижимость сквозного управления и оптимизации процессов производства, распределения и потребления энергетического ресурса на основе автоматических алгоритмов оптимизации.

Для обеспечения информационного обмена данными в smart grid предусмотрено использование цифровых коммуникационных сетей и интерфейсов обмена данными. Одной из важнейших целей smart grid является обеспечение практически непрерывного управля-

емого баланса между спросом и предложением электрической энергии [6]. Для этого элементы сети должны постоянно обмениваться между собой информацией о параметрах электрической энергии, режимах потребления и генерации, количестве потребляемой энергии и планируемом потреблении, коммерческой информацией. В итоге это дает возможность оптимальной эксплуатации инфраструктуры электроэнергетической системы.

Благодаря современным технологиям smart grid может применяться как в масштабах зданий, предприятий, так и для обычных домашних электрических устройств, например, холодильника или стиральной машины. Соответственно, все устройства, входящие в состав smart grid, должны быть оснащены техническими средствами, осуществляющими информационное взаимодействие между ними [5].

Параметры качества электроэнергии регламентируются ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [1]. Стандарт определяет качество электрической энергии (далее – КЭ) следующим образом: КЭ – это степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей КЭ. Стандарт устанавливает показатели и нормы КЭ в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц.

Настоящий стандарт предназначен для применения при установлении и нормировании показателей КЭ, связанных с характеристиками напряжения электропитания, относящимися к частоте, значениям и форме напряжения, а также к симметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения [3; 4]. Данные характеристики напряжения подвержены изменениям из-за изменений нагрузки, влияния кондуктивных электромагнитных помех, создаваемых отдельными видами оборудования, и возникновения неисправностей, вызываемых, главным образом, внешними событиями. В результате возникают случайные

изменения характеристик напряжения во времени в любой отдельной точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети, а также случайные отклонения характеристик напряжения в различных точках передачи электрической энергии в конкретный момент времени [1].

Согласно ГОСТ 32144-2013, потребитель электрической энергии должен обеспечить условия, при которых отклонения напряжения питания на выводах электроприемников не превышают установленных для них допустимых значений, при условии выполнения поставщиком электроэнергии требований настоящего стандарта к КЭ в точке передачи электрической энергии. Таким образом, для выполнения требований ГОСТа потребителю необходимо располагать данными о воздействии используемого им энергопотребляющего оборудования на параметры КЭ. Вся последовательность производства, передачи и потребления электрической энергии, должна обеспечивать возможности контроля качества электрической энергии, поставляемой потребителям, при условии соблюдения норм электромагнитной совместимости электроустановок и электротехнического оборудования при их производстве, а также контроля потребителем правильности эксплуатации оборудования и установок.

Основными показателями КЭ являются: отклонение напряжения, колебания напряжения, отклонение частоты, доза фликера, коэффициент временного перенапряжения, провал напряжения, импульсное напряжение, несинусоидальность кривой напряжения [2]. Указан-

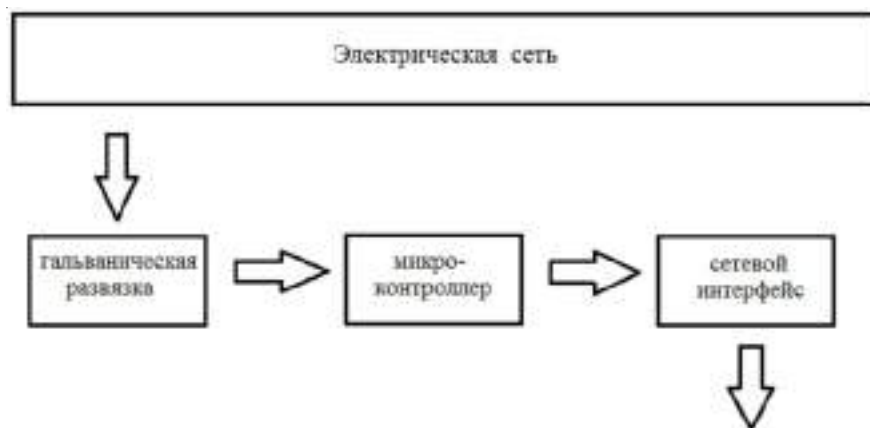
ные параметры и их допустимые значения определены в действующих стандартах.

Разрабатываемое устройство для мониторинга показателей КЭ представляет собой аналого-цифровой преобразователь (АЦП) на базе микроконтроллера ATmega328P-PU, связанного с распределительной электрической сетью через гальваническую развязку.

Структурная схема устройства приведена на рисунке.

Гальваническая развязка (с использованием оптопары) позволяет получить сигнал, эквивалентный по форме сигналу напряжения электросети, для дальнейшей обработки микроконтроллером. Микроконтроллер выполняет следующие задачи: определение мгновенной амплитуды напряжения сети и действующего значения напряжения, отклонения от нормы, аналого-цифровое преобразование полученного сигнала, получение его частотных характеристик с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT), сравнение их с нормами частотных показателей напряжения. Далее, при обнаружении критических отклонений от нормируемых по анализируемым параметрам, формируется отчет об их наличии для дальнейшей передачи через сетевой интерфейс. Сетевой интерфейс реализован в виде передачи данных через сеть Ethernet с применением протокола MQTT.

MQTT или Message Queue Telemetry Transport – распространенный, открытый и не требовательный к ресурсам протокол обмена данными, применяемый для передачи данных в сетях с ограничениями по размеру кода и пропускной способности канала.



Структурная схема устройства мониторинга показателей КЭ