

КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В. В. Дубинин, А. Н. Попов

В статье рассмотрено разработанное устройство контроля показателей качества электроэнергии в электрических сетях промышленного назначения напряжением до 1000 В. Приведены классификация и анализ существующих методов и приборов для измерения показателей качества электроэнергии. Приведены структурная и принципиальная схемы устройства.

Ключевые слова: качество электроэнергии, контроль, средства диагностики.

Качество электроэнергии является ключевым показателем, влияющим на надёжность работы технологического оборудования и энергосистемы предприятия в целом.

Если качество электроэнергии не соответствует параметрам, определенным в ГОСТ Р 54149–2010, могут возникать нарушения в работе оборудования, снижаться экономические показатели работы энергосистемы [1].

Причинами нарушения качества электрической энергии являются включенные в электросеть сварочные установки, вентильные преобразователи, индукционные и дуговые электрические печи, преобразователи частоты, тяговые подстанции железных дорог, троллейбусов и трамваев, электродуговые сталеплавильные и рудотермические печи, газоразрядные лампы, специальные однофазные нагрузки и ряд других электронных технических средств с нелинейной вольтамперной характеристикой (телевизоры, ПЭВМ, противопожарные средства, системы кондиционирования и т. д.).

Следует отметить, что одна из основных причин, по которой у потребителя электрической энергии уровень напряжения может не соответствовать требованиям ГОСТ – это превышение разрешенной к использованию мощности самим потребителем. Как показывают исследования, нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения далеко не всегда соблюдаются. Это приводит к неоптимальным режимам работы и даже к повреждениям элементов систем электроснабжения и приёмников электроэнергии, а также к увеличению потерь энергии. Поэтому в настоящее время весьма актуальной является проблема контроля и поддержания (регулирования) качества электроэнергии [2].

На рисунке 1 показана статистика нарушений показателей качества электроэнергии по данным ОАО "МРСК Сибири" "АлтайЭнерго" по состоянию за 2012 г.

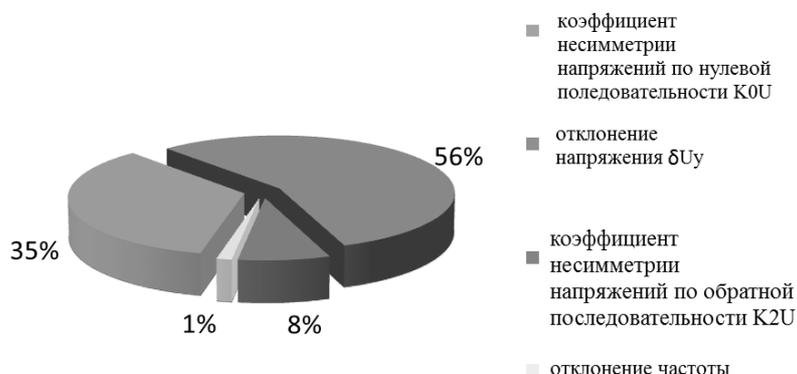


Рисунок 1 – Статистика нарушений показателей качества электроэнергии

Наибольшие проблемы наблюдаются с соблюдением предельных величин отклонения напряжения, которые составляют более

56 % от всех регистрируемых случаев нарушения параметров качества электроэнергии (ПКЭ), а их суммарная среднегодовая про-

КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

должительность достигает 4300 мин. Не менее остро дела обстоят с несимметрией напряжения. Таким образом, в электрических сетях наблюдается несоблюдение ПКЭ, с которыми невозможно не считаться.

Это приводит к неоптимальным режимам работы и даже повреждениям элементов систем электроснабжения и приёмников электроэнергии, а также к увеличению потерь энергии. Поэтому в настоящее время весьма актуальной является проблема контроля и поддержания (регулирования) качества электроэнергии.

Нормы качества электрической энергии (КЭЭ) одновременно являются уровнями электромагнитной совместимости для кондуктивных электромагнитных помех в системах электроснабжения общего назначения. Нормы распространяются на технические средства, участвующие в процессе производства, передачи и потребления электрической энергии и не касаются: 1) помех, возникающих за счет индуктивной или емкостной связи, 2) помех, возникающих при электромагнитном излучении. Также не учитываются вопросы электромагнитной совместимости биологических систем, включая человека.

ГОСТ Р 54149–2010 устанавливает следующие показатели КЭЭ:

- установившееся отклонение напряжения δU_y ;
- размах изменения напряжения δU_1 ;
- доза фликера P_f ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U ;
- коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} ;
- отклонение частоты Δf ;
- длительность провала напряжения Δt_P ;
- импульсное напряжение $U_{имп}$;
- коэффициент временного перенапряжения $K_{пер U}$.

Установлены два вида норм КЭЭ: нормально допустимые и предельно допустимые [3].

Для определения соответствия значений измеряемых показателей КЭЭ, за исключением длительности провала напряжения, импульсного напряжения, коэффициента временного перенапряжения, нормами настоящего стандарта устанавливается минимальный интервал времени измерений, равный 24 ч.

Наибольшие значения размаха изменения напряжения и дозы фликера, определяемые в течение минимального интервала времени измерений, не должны превышать предельно допустимых значений.

Наибольшие значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, коэффициента n -й гармонической составляющей напряжения, коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности и коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности, определяемые в течение минимального интервала времени измерений не должны превышать предельно допустимые значения. А значения тех же показателей КЭЭ, определяемые с вероятностью 95 % за тот же период измерений, не должны превышать нормально допустимые значения.

Наибольшие и наименьшие значения установившего отклонения напряжения и отклонения частоты, определяемые с учетом знака в течение расчетного периода времени, должны находиться в интервале, ограниченном предельно допустимыми значениями, а верхнее и нижнее значения этих показателей КЭ, являющиеся границами интервала, в котором с вероятностью 95 % находятся измеренные значения показателей КЭЭ, должны находиться в интервале, ограниченном нормально допустимыми значениями.

Существуют следующие способы повышения показателей качества электроэнергии:

- уменьшение сопротивлений элементов системы электроснабжения;
- изменение напряжений симметричных составляющих;
- ограничение токов симметричных составляющих основной и высших гармонических частот в местах их возникновения [5].

Первый способ заключается в использовании сдвоенных реакторов, установок продольной компенсации реактивной мощности, быстродействующих токоограничивающих устройств. Эти способы позволяют осуществить параметрическую стабилизацию режима напряжений, но не устраняют несимметрию и несинусоидальность токов и вызванные ими последствия (перегрузку обмоток вращающихся машин токами обратной последовательности, конденсаторных батарей токами высших гармоник, потерю мощности и пр.).

Второй способ – создание симметричной системы напряжений на зажимах многофазного электроприемника, подключенного к несимметричной системе. Его реализация, как правило, сопряжена со значительными затра-

тами и ограничивается индивидуальными электроприемниками. При этом несимметрия входных токов и напряжений не устраняется. Такой способ может быть использован, например, при разработке устройств питания трехфазных потребителей от системы два провода – земля, рельс, труба от однофазной сети; для симметрирования напряжений сети, подключенной к неполнофазной линии электропередач; стабилизации напряжения. При реализации этого способа из-за фильтров симметричных составляющих возникают большие потери энергии, обусловленные активными элементами фильтра.

Третий способ состоит в ограничении нагрузочных токов симметричных составляющих до допустимых значений с помощью поперечно включаемых компенсирующих устройств. Принципиальное отличие этого способа от двух предыдущих заключается в том, что его использование устраняет причину возникновения несимметрии (токи), а не ее следствие (напряжение).

Радикальным средством улучшения качества электроэнергии является применение компенсации реактивной мощности (КРМ), которая напрямую связана с режимом напряжения.

Контроль качества электрической энергии подразумевает оценку соответствия показателей установленным нормам, а дальнейший анализ качества электроэнергии – определение стороны, виновной в ухудшении этих показателей.

Основными задачами контроля качества электроэнергии являются:

- проверка выполнения требований стандарта в части эксплуатационного контроля показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в электрических сетях общего назначения;
- проверка соответствия действительных значений показателей КЭ на границе раздела сети по балансовой принадлежности значениям, зафиксированным в договоре энергоснабжения;
- разработка технических условий на присоединение потребителя в части КЭЭ;
- проверка выполнения договорных условий в части КЭЭ с определением допустимого расчетного и фактического вкладов потребителя в ухудшение КЭЭ;
- разработка технических и организационных мероприятий по обеспечению КЭЭ;
- определение скидок (надбавок) к тарифам на электроэнергию за ее качество;
- сертификация электрической энергии;
- поиск «виновника» искажений показателей качества электроэнергии [4].

В зависимости от целей, решаемых при контроле и анализе КЭЭ, можно выделить четыре метода контроля ПКЭ:

- диагностический;
- инспекционный;
- оперативный;
- коммерческий;
- технологический.

Диагностический метод контроля КЭЭ – основной целью диагностического контроля на границе раздела электрических сетей потребителя и энергоснабжающей организации является обнаружение «виновника» ухудшения КЭЭ, определение допустимого вклада в нарушение требований стандарта по каждому ПКЭ, включение их в договор энергоснабжения, нормализация КЭЭ.

Инспекционный метод контроля КЭЭ – осуществляется органами сертификации для получения информации о состоянии сертифицированной электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающей организации, о соблюдении условий и правил применения сертификата, с целью подтверждения того, что КЭЭ в течение времени действия сертификата продолжает соответствовать установленным требованиям.

Оперативный метод контроля КЭЭ – необходим в условиях эксплуатации в точках электрической сети, где имеются и в ближайшей перспективе не могут быть устранены искажения напряжения. Оперативный контроль необходим в точках присоединения тяговых подстанций железнодорожного и городского электрифицированного транспорта, подстанций предприятий, имеющих электроприемники с нелинейными характеристиками. Результаты оперативного контроля должны поступать по каналам связи на диспетчерские пункты электрической сети энергоснабжающей организации и системы электроснабжения промышленного предприятия.

Коммерческий метод контроля ПКЭ – подразумевает осуществление учета на границе раздела электрических сетей потребителя и энергоснабжающей организации и по результатам его определяются скидки (надбавки) к тарифам на электроэнергию за ее качество.

Для мониторинга, контроля и анализа качества электрической энергии и его влияния на сети, трансформаторы и нагрузку, прибор контроля должен обеспечивать анализ, регистрацию событий и автоматическое составление отчетов по качеству электроэнергии согласно ГОСТ Р 54149–2010.

КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Технологический метод контроля – это контроль КЭЭ с длительностью и/или погрешностью измерений, которые могут быть снижены по сравнению с требованиями ГОСТ Р 54149–2010. Другими словами, для этих целей могут использоваться более простые и дешевые средства измерений. Задачей технологического метода является установление влияния технологического процесса потребителя электроэнергии на КЭЭ.

В настоящее время существует множество устройств регистрации ПКЭ как импортного, так и отечественного производства с различными возможностями и ценами. Однако степень их внедрения на предприятиях оставляет желать лучшего. Для выяснения причины этого был произведен анализ существующих современных устройств регистра-

ции параметров качества электроэнергии, таких как «Парма РК 3.02», «Fluke 1760», «Энергомонитор 3.3Т1», наиболее широко представленных на российском рынке, который показал, что несмотря на их несомненные достоинства, все из них не лишены тех или иных недостатков: малые диапазоны измеряемых напряжений, отсутствие питания от независимого источника, большие габариты и масса, а также высокая стоимость. Таким образом, была обоснована необходимость разработки нового устройства лишённого рассмотренных выше недостатков.

На первом этапе проектирования устройства была разработана структурная схема, которая отражает взаимосвязь блоков и их функции. На рисунке 2 приведена структурная схема устройства.

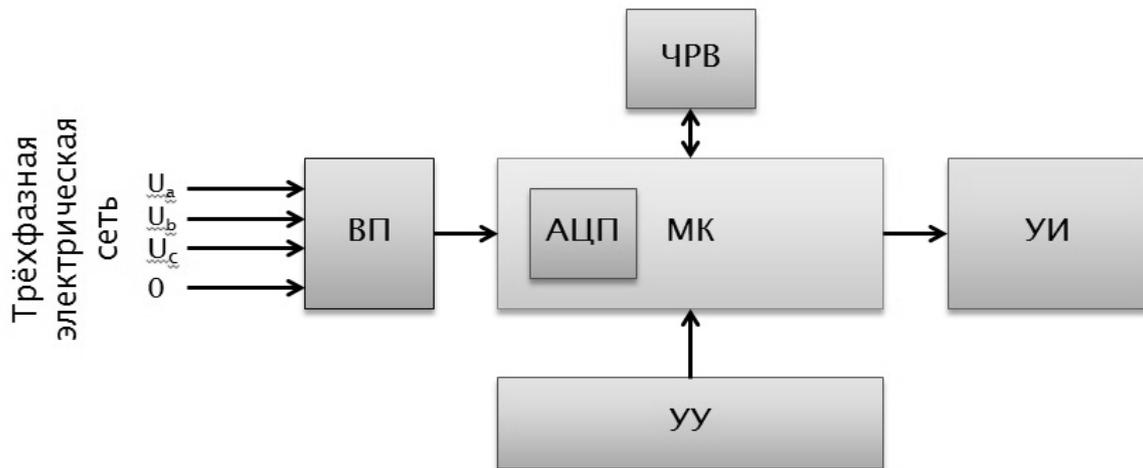


Рисунок 2 – Структурная схема разработанного устройства

ВП (входной преобразователь) осуществляет преобразование фазных напряжений в эквивалентно смасштабированные три синусоидально меняющихся напряжения для фаз А, В и С соответственно. АЦП (аналогово-цифровой преобразователь) осуществляет преобразование плавно изменяющихся и поступающих от блока ВП сигналов в их цифровой эквивалент. УУ (устройство управления) управляет режимами работы устройства, позволяя оператору выбрать те показатели качества электроэнергии, которые будут отображаться на УИ (устройство индикации). МК (микроконтроллер) на основании поступающих от блока АЦП мгновенных значений фазных напряжений осуществляет вычисления действующих значений фазного напряжения, частоты сетевого напряжения, коэффициента несинусоидальности и коэффициента несимметрии. Также МК осуществляет вычисление

и накопление статистики о показателях качества электроэнергии (максимальное и минимальное напряжение за период, максимальная и минимальная частота и т. д.).

На рисунке 3 представлена принципиальная схема разработанного устройства.

Блок входного преобразователя выполнен в виде последовательно соединенных однофазных однополупериодных выпрямителей и резистивных делителей напряжения соответственно для каждой из фаз питающего напряжения. Так, для фазы А, напряжение сначала поступает на диод D1 марки 1N4007, который отсекает отрицательные полуволны напряжения. Выпрямленное таким образом напряжение подается на резистивный делитель R1-R6 с коэффициентом деления 1:200. В результате максимально допустимое входное напряжение в 1000 В масштабируется в напряжение, равное 5 В.

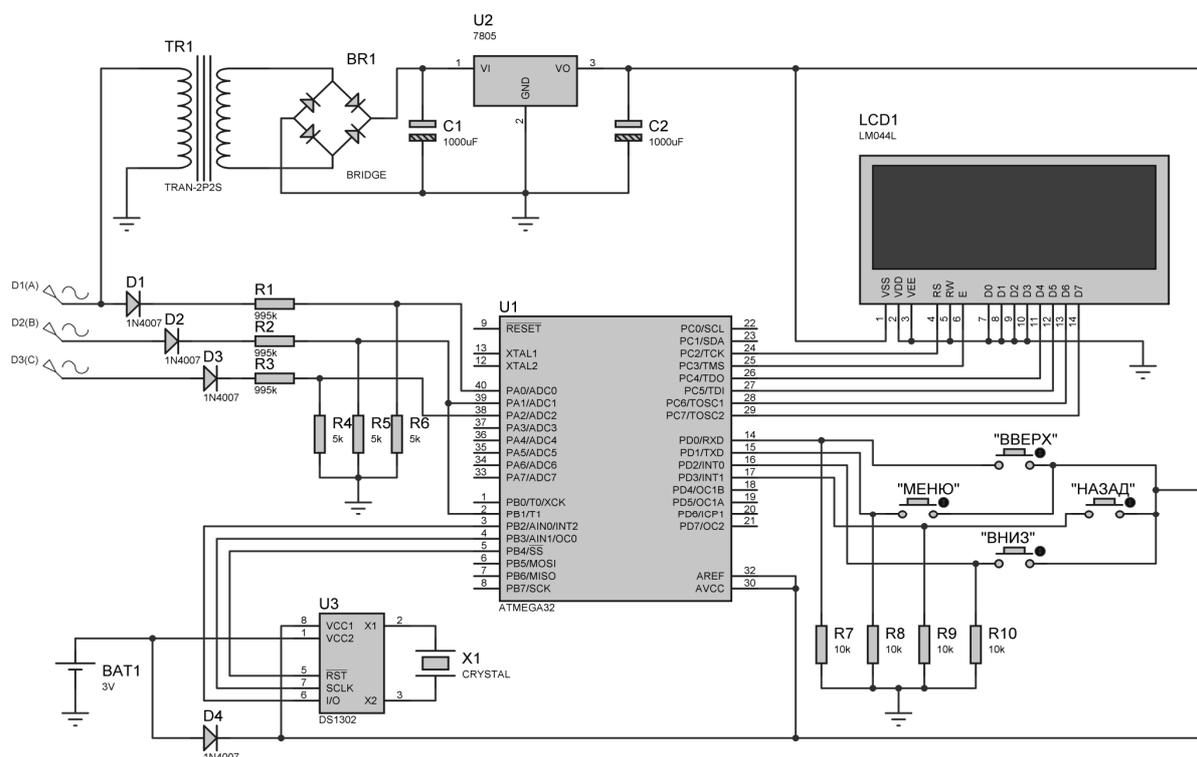


Рисунок 3 – Принципиальная схема разработанного устройства

Сформированное таким образом напряжение подается соответственно на три входа АЦП (аналого-цифрового преобразователя) микроконтроллера ATMEGA32. Микроконтроллер ATMEGA32 содержит в себе 8 блоков АЦП с разрядностью 10 бит. В данной схеме задействовано только три 3 блока аналого-цифрового преобразователя, их разрядность позволяет измерять входное напряжение с точностью менее 1 В, а их быстродействие составляет 106 измерений в секунду, что позволяет добиться точности измерения частоты более 0,001 Гц.

Блок ЧРВ (часы реального времени) реализован на специализированной для реализации функции высокоточных часов микросхеме DS1302. Данная микросхема позволит блоку МК осуществлять регистрацию времени возникновения событий качества электроэнергии в формате текущей даты и времени суток с точностью до секунды. Наличие резервного батарейного питания (батарея GB1) позволяет не прерывать контроль качества электроэнергии даже при значительных провалах и прерываниях электроснабжения в питающей сети продолжительностью до одной недели.

Устройство индикации (УИ) выполнено на четырехстрочном жидкокристаллическом дисплее с подсветкой, что позволяет осуще-

ствлять считывание показаний даже при отсутствии внешних источников света.

Устройство управления (УУ) выполнено на четырех однополюсных ножках без фиксации и четырех подтягивающих резисторах R7-R10 сопротивлением 10 кОм. Каждая из кнопок подключена к индивидуальному порту микроконтроллера и пока кнопка не нажата, за счет подтягивающего резистора на нем формируется потенциал логического нуля, а при нажатии кратковременно возникает логическая единица. Блок микроконтроллера осуществляет опрос состояния клавиши 1 раз в 100 мс.

Левая кнопка «Меню» позволяет пользователю прервать отображение текущих показателей качества электроэнергии и войти в режим отображения устройства индикации (УИ) накопленной микроконтроллером статистики за прошедшее время. Клавиши стрелок «Вверх» и «Вниз» позволяют пролистывать журнал событий по экрану (по 4 строки), а правая клавиша «Возврат» – вернуться к режиму отображения текущих показаний качества электроэнергии.

Проверка эффективности работы устройства осуществлена с помощью компьютерного моделирования в программе эмуляции электрических схем «PROTEUS v. 7.7». Моделирование проводилось с подключени-

КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

ем устройства к трехфазной сети с фазным напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Испытания работы прототипа в сборке проводились с подключением устройства к однофазной электрической сети. Полученные результаты, выведенные на дисплей, совпали с компьютерной моделью.

В ходе натурных испытаний созданного прототипа устройства была доказана правильность результатов, полученных с помощью компьютерного моделирования. Дешевизна и доступность элементов схемы, простота сборки и малое потребление мощности делает его конкурентно-способным на фоне существующих аналогов.

Таким образом, разработанное устройство позволяет потребителю самостоятельно производить контроль качества электроэнергии. В целом это предотвращает такие события, как увеличение потерь активной мощности и электроэнергии, сокращение срока службы электрооборудования и преждевременный выход его из строя; нарушение нормального хода технологического процесса производства потребителей, что приводит к снижению качества производимой продукции и увеличению энергозатрат на производство, а, следовательно, позволит сократить денежные потери энергообеспечивающей компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 54149 – 2010 ССБТ. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 2012. – 20 с.
2. Моделирование систем обеспечения надежности и качества электроснабжения [Текст] : учеб. пособие / О. И. Хомутов, А. Н. Попов, Е. В. Кобзев. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2009. – 169 с.
3. Гатуллин, А. М. Основные принципы построения системы контроля, анализа и управления качеством электроэнергии [Текст] / А. М. Гатуллин, М. Н. Бадретдинов, В. Л. Матухин, Д. Ф. Губаев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2007. – № 11–12. – С. 42–49.
4. Сташин, В. В. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах [Текст] / В. В. Сташин, А. В. Урусов, О. Ф. Мологонцева [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
5. Мозгалев В. С. Оценка эффективности контроля качества электроэнергии в ЭЭС [Текст] / В. С. Мозгалев, В. А. Богданов, И. И. Карташев, И. С. Пономаренко, С. Ю. Сыромятников // Электрические станции. – 1999. – № 1. – С. 12–18.

Дубинин В. В., магистрант, E-mail: storm2560@mail.ru; Попов А. Н., к.т.н., доцент, E-mail: oleandr78@mail.ru, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», +7(385-2) 29-07-76.