



УДК 621.316

**СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ****Кузнецов Игорь Евгеньевич,**

магистрант,

E-mail: ig.kuznets@bk.ru

Куренщиков Александр Владимировичкандидат технических наук, доцент кафедры метрологии, стандартизации и
сертификации, Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н. П. Огарёва

430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68.

E-mail: akur@inbox.ru

Аннотация

В статье рассматривается процесс контроля параметров качества электроэнергии (КЭ). Актуальность темы обусловлена важностью показателей КЭ для правильной работы оборудования и экономии электроэнергии. Отмечается, что параметры КЭ установлены в соответствующих стандартах. Проводится обзор средств измерений параметров КЭ. Показан процесс определения гармонических искажений с помощью анализаторов Fluke. В заключении предполагаются пути развития средств контроля КЭ.

Ключевые слова: качество электрической энергии, показатели качества электроэнергии, электрическая сеть, измерение, контроль, гармонические искажения.

**MODERN EQUIPMENT FOR MEASURING POWER QUALITY
PARAMETERS****Igor E. Kuznetsov,**

undergraduate

E-mail: valivd@list.ru

Alexander V. KurenshchikovCandidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metrology,
Standardization and Certification, National Research Mordovia State University named after N. P.
Ogaryov

430005, Republic of Mordovia, Saransk, st. Bolshevik, d. 68.

E-mail: akur@inbox.ru

ABSTRACT

The article discusses the process of monitoring the parameters of power quality (PQ). The relevance of the topic is due to the importance of PQ indicators for the correct operation of equipment and energy savings. It is noted that the PQ parameters are set in the relevant standards. A review of measuring instruments for PQ parameters is carried out. Shows how to determine harmonic distortion using Fluke analyzers. In conclusion, the ways of development of means of control of PQ are suggested.

Keywords: linguistics, power quality, power quality indicators, power network, measurement, control, harmonic distortion.

Отклонение показателей качества электроэнергии (КЭ) от нормальных приводит к неправильной работе оборудования предприятия, следствием чего является экономический ущерб, в котором можно выделить две части: повышенное потребление электроэнергии и сбой электропитания. Очевидно, что сбой электропитания – это наихудшее событие для любого предприятия, но даже небольшие помехи, такие как провалы напряжения, переходные токи или асимметрия, также ставят под угрозу непрерывность электропитания. Часто потребители начинают замечать проблемы с КЭ в связи с чувствительностью своего оборудования. С другой стороны, удержание стабильности КЭ возлагает на потребителей ответственность за ограничение собственного влияния на энергосистему, например, путем ограничения уровня гармоник высшего порядка. Отслеживая и анализируя напряжение и ток в течение определенного времени, оператор электросети и потребители собирают информацию о текущем состоянии сети. Кроме того, они могут решать обнаруженные проблемы, поскольку определенные явления ухудшения КЭ часто можно проследить до первопричины. Всякий раз, когда форма сигнала электропитания отклоняется от синусоиды, возникают нарушения показателей качества электроэнергии. Обеспечение нормальных показателей КЭ в современных электросетях было и остается важной технической задачей, поскольку от этого в значительной степени зависит качество и стабильность электроснабжения.

В Европе для контроля качества электроэнергии принят стандарт EN 50160. Стандарт устанавливает параметры КЭ и их пределы, которым должна соответствовать электросеть. Кроме того, подробно рассматриваются обязательства потребителя электроэнергии в отношении активной и реактивной мощности. К показателям качества электроэнергии стандарт EN 50160 относит следующие [1]: частота, амплитуда, импульсы напряжения, просадки-провалы напряжения, короткие прерывания подачи напряжения, длинные прерывания подачи напряжения, повышения напряжения промышленной частоты, динамическое перенапряжение, дисбаланс питающего напряжения, напряжение гармоник. В России в настоящее время действует межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 61000-4-30-2017, который установил показатели КЭ, а также методы их измерения.

Если электрическая сеть не работает должным образом, то требуется найти причину, устранить проблему и инициировать корректирующие мероприятия [2]. Для сбора данных в режиме реального времени обычно используются анализаторы КЭ. Чаще всего используются портативные анализаторы, но некоторые из них устанавливаются стационарно в системе распределения и передачи [3, 4]. Эти анализаторы могут измерять параметры КЭ, такие как коэффициент мощности, напряжение, ток, гармоники напряжения и тока, провалы и выбросы напряжения, частоту, дисбаланс мощности / напряжения / тока, мерцания и т. д. [5, 6]. Большинство проблем КЭ можно определить,

если анализатор способен измерять и записывать эти параметры. Несоблюдение стандартов КЭ может иметь очень серьезные последствия для оборудования потребителя.

Анализаторы или измерители гармоник являются относительно простыми инструментами для измерения и записи данных о гармонических искажениях. Как правило, анализаторы гармоник содержат измеритель с экраном отображения формы сигнала, входы (провода) напряжения и токоизмерительные клещи. Некоторые из анализаторов являются портативными устройствами, другие предназначены для стационарного использования. Многие приборы обеспечивают мгновенный снимок формы волны и гармонических искажений, а также могут вести непрерывную запись гармонических искажений в течение некоторого времени.

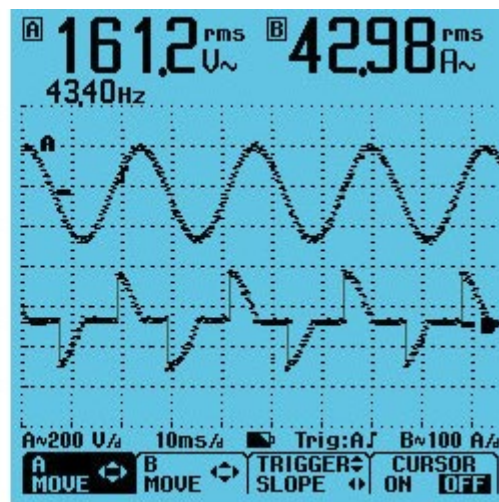
Для точного определения частотного содержания измеряемого сигнала частота дискретизации измерительного прибора должна более чем в два раза превышать частоту самой высокой гармоники. Это правило называется критерием Найквиста. Согласно критерию Найквиста, для точного определения частотного состава сигнала основной частоты 60 Гц (в России 50 Гц) до 25-го номера гармоники прибор для измерения гармоник должен иметь минимальную частоту дискретизации 3000 ($25 \times 60 \times 2$) выборок в секунду.

Разумеется, более высокие частоты дискретизации более точно отражают реальную форму сигнала. Для измерения данных о гармониках напряжения требуются провода, которые можно подсоединить к точкам, в которых необходимы измерения искажений. Типичные провода напряжения имеют длину от 120 до 180 см. При таких длинах это не проблема, так как самая высокая измеряемая частота находится в диапазоне от 1500 до 3000 Гц (с 25-й по 50-ю гармоники); следовательно, вводы напряжения не должны вносить значительного затухания или искажения.

Измерение текущих гармонических искажений имеет определенную специфику. В большинстве токоизмерительных клещей используется трансформатор с железным сердечником, предназначенный для установки вокруг проводников, в которых необходимы измерения гармоник (рис. 1).



а)



б)

Рисунок 1 – Осциллограф Fluke 124: а) внешний вид с токоизмерительными клещами; б) снимок экрана осциллографа [7].

Токоизмерительные клещи со стальным сердечником подвержены повышенной погрешности на высоких частотах и насыщению при токах выше номинальных значений. Перед установкой токоизмерительных клещей для испытаний на гармонические искажения необходимо убедиться, что клещи подходят для использования на высоких частотах без существенной потери точности. Как правило, можно ожидать потерю точности на 5,0 %, если форма сигнала содержит значительные уровни гармоник высшего порядка.

На рисунке 2 показано использование портативного прибора Fluke 43B для измерения гармоник. Этот прибор представляет собой однофазное измерительное устройство, которое можно использовать в цепях до 600 В переменного тока. С его помощью можно проводить анализ напряжений, токов и мощности до 51-й гармоники, определять коэффициент мощности, снимать осциллограммы напряжений и токов. С помощью установленного термодатчика прибор позволяет контролировать температурные показатели оборудования и способен выявлять перегрев отдельных узлов.



Рисунок 2 – Анализатор качества электроэнергии Fluke 43B [8].

На рисунке 3 показан процесс измерения гармонических искажений с помощью трехфазного анализатора гармоник и помех Fluke 434 II. В приборе реализована функция калькуляции потерь электроэнергии. Анализатор позволяет проводить мониторинг системы энергоснабжения на соответствие стандарту EN 50160.



Рисунок 3 – Анализатор энергии Fluke 434 II [9].

На рисунке 4 представлена текущая форма волны и запись истории измерений на панели анализатора гармоник за 5 дней. Моментальные снимки гармонических искажений вместе с графиком истории очень полезны для определения природы гармоник и характера их появления [10].

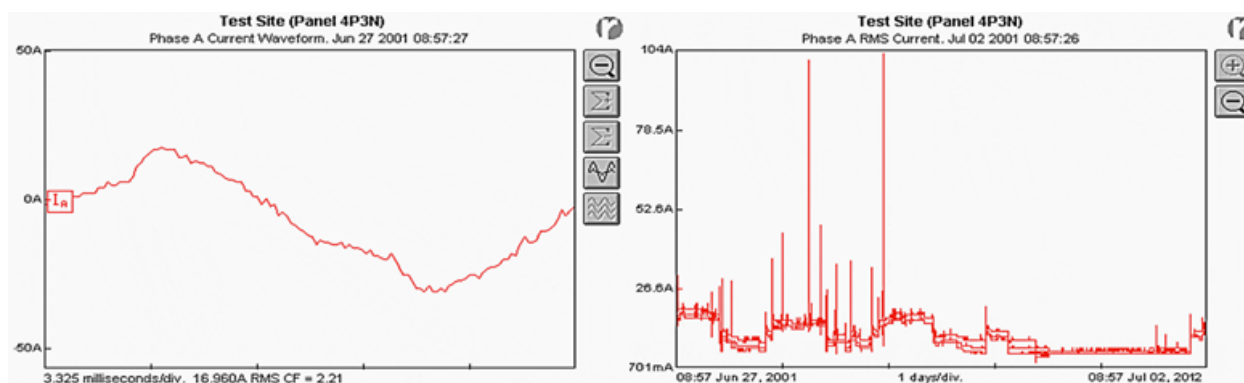


Рисунок 4 – Результаты измерений гармонических искажений анализатором в течение 5 дней [10].

Уровень развития технологий позволяет в настоящее время проводить измерения, контроль и анализ параметров КЭ на все более высоких частотах и передавать результаты по беспроводной связи для более глубокого изучения. Новое измерительное оборудование заменяет старое, в связи с чем, происходит смещение к более высоким измеряемым частотам, вплоть до 150 кГц и выше. Это обстоятельство требует пересмотра существующих пределов измерений гармоник высшего порядка, фазовых углов и несимметрии напряжений. Из-за увеличения объемов энергоэффективного освещения гармонические искажения в электросетях увеличатся. В связи с постоянно растущим объемом измерений параметров КЭ потребуются новые модели систем, включающие как программное, так и аппаратное обеспечение, для получения большей информации. Текущее состояние систем должно визуализироваться и контролироваться с помощью гибких и удобных методов. В будущих электросетях потребуется соблюсти баланс между обычными анализаторами КЭ, контроллерами и реле, решениями на основе Asterisk Managment Interface (AMI) с возможностями измерения КЭ. Что же касается потребителей – анализ выбросов должен включать мониторинг влияния оборудования потребителя на качество электроэнергии в электросети.

Список литературы:

1. EN 50160:2010. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks. URL: https://www.studmed.ru/view/standart-en-50160_f0512214053.html
2. Yang L. Compliance verification and probabilistic analysis of state-wide power quality monitoring data / L. Yang, J. Peng, T. Wang, Y. Li, Z. Deng, Y. Liu, M. Tan // Global Energy Interconnection. – 2018. № 1 (3). – P. 391–395. URL: <https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.03.011>
3. Gallo D. Issues in the characterization of power quality instruments / D. Gallo, C. Landi, M. Luiso // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. – 2010. Vol. 43 (8). – P. 1069–1076. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2010.03.010>
4. Barnett R. Power Quality Measurement and Analysis / R. Barnett // Maintenance (EC&M) Magazine. March 1. – 2012. URL: <https://www.ecmweb.com/power-quality/power-quality-measurement-and-analysis-basics>
5. Saqib M. A. Power-quality issues and the need for reactive-power compensation in the grid integration of wind power / M. A. Saqib, A. Z. Saleem // Renewable and Sustainable

- Energy Reviews. – 2015. Vol. 43. – P. 51–64. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.035>
6. Bhonsle D. C. Analyzing power quality issues in electric arc furnace by modeling / D. C. Bhonsle, R. B. Kelkar // Energy. – 2016. Vol. 115. – P. 830–839. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.043>
7. Fluke 123/003 – Текст : электронный // Test Equipment Depot : [сайт]. – URL: <https://www.testequipmentdepot.com/fluke/scopemeter/123.htm>
8. Fluke 43B/003 - Analizador de calidad de energía – Текст : электронный // Amazon : [сайт]. – URL: <https://www.amazon.com.mx/Fluke-43B-Power-Quality-Analyzer/dp/B000VRFKC0>
9. Контроль качества электроэнергии: проблемы и способы их решения – Текст : электронный // Test-energy.ru : [сайт]. – URL: <https://test-energy.ru/kontrol-kachestva-ehlektroehnergii-problemy-i-sposoby-ih-resheniya/>
10. Measuring and Solving Power Quality Problems // Power quality / C. Sankaran – Washington, D.C.: CRC Press LLC, 2002. – Глава 9. – С. 173–191.

References:

1. EN 50160:2010. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks. URL: https://www.studmed.ru/view/standart-en-50160_f0512214053.html
2. Yang L. Compliance verification and probabilistic analysis of state-wide power quality monitoring data / L. Yang, J. Peng, T. Wang, Y. Li, Z. Deng, Y. Liu, M. Tan // Global Energy Interconnection. – 2018. № 1 (3). – P. 391–395. URL: <https://doi.org/10.14171/j.2096-5117.gei.2018.03.011>
3. Gallo D. Issues in the characterization of power quality instruments / D. Gallo, C. Landi, M. Luiso // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. – 2010. Vol. 43 (8). – P. 1069–1076. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2010.03.010>
4. Barnett R. Power Quality Measurement and Analysis / R. Barnett // Maintenance (EC&M) Magazine. March 1. – 2012. URL: <https://www.ecmweb.com/power-quality/power-quality-measurement-and-analysis-basics>
5. Saqib M. A. Power-quality issues and the need for reactive-power compensation in the grid integration of wind power / M. A. Saqib, A. Z. Saleem // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. Vol. 43. – P. 51–64. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.035>
6. Bhonsle D. C. Analyzing power quality issues in electric arc furnace by modeling / D. C. Bhonsle, R. B. Kelkar // Energy. – 2016. Vol. 115. – P. 830–839. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.043>
7. Fluke 123/003 – Text : electronic // Test Equipment Depot : [website]. – URL: <https://www.testequipmentdepot.com/fluke/scopemeter/123.htm>
8. Fluke 43B/003 - Analizador de calidad de energía – Text : electronic // Amazon : [website]. – URL: <https://www.amazon.com.mx/Fluke-43B-Power-Quality-Analyzer/dp/B000VRFKC0>

9. Power quality control: problems and solutions – Text : electronic // Test-energy.ru : [website]. – URL: <https://test-energy.ru/kontrol-kachestva-ehlektroehnergii-problemy-i-sposoby-ih-resheniya/>
10. Measuring and Solving Power Quality Problems // Power quality / C. Sankaran – Washington, D.C.: CRC Press LLC, 2002. – Chapter 9. – P. 173-191.