
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Поступила в редакцию 28.08.2020
УДК 621.311

DOI 10.46960/2658-6754_2020_3_4

А.А. Севостьянов

СПОСОБ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

Представлен способ анализа уровней электромагнитных помех для оценки параметров качества электрической энергии (КЭЭ) в системах промышленного электроснабжения. Данный способ может быть использован для определения влияния параметров КЭЭ в трехфазной системе на конечного промышленного потребителя и последующей выработки управляющих воздействий с целью восстановления его нормального электроснабжения.

Ключевые слова: качество электрической энергии, распределенная генерация, система электроснабжения, электромагнитные помехи.

1. Введение

В настоящее время одной из тенденций развития систем промышленного электроснабжения является использование источников распределенной генерации (ИРГ). Стремясь снизить расходы на используемую электрическую и тепловую энергию, промышленные потребители внедряют ИРГ, в том числе – возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Это, в свою очередь, содействует возникновению режимов работы систем электроснабжения, на которые применяемые системы защиты и технологического управления промышленным производством не рассчитаны.

У промышленных потребителей, использующих зарубежные производственные технологические линии, соответствующие по своим техническим характеристикам требованиям зарубежных стандартов к качеству электрической энергии (КЭЭ), имеются риски по выпуску некачественной продукции, даже в условиях соблюдения требований отечественного стандарта по качеству электрической энергии [1] в системах электроснабжения

общего назначения [2]. Отсутствие гармонизации стандартов заставляет промышленные предприятия разрабатывать специальные технические и организационные мероприятия по управлению КЭЭ [3]. Для конкретной системы электроснабжения промышленный потребитель имеет возможность разработать варианты восстановления параметров КЭЭ, влияющих на технологический процесс и зависящих от схемно-режимных условий. Важно то, что ограничения на отклонения параметров КЭЭ зависят от особенностей технологического процесса промышленного потребителя и влияния параметров КЭЭ на качество выпускаемой продукции [4].

В таких условиях целесообразна разработка системы анализа КЭЭ с последующей реализацией управляющих воздействий на элементы электрической сети для восстановления электроснабжения с заданными требованиями к КЭЭ. Основу такой системы могут составлять результаты имитационного моделирования системы промышленного электроснабжения в различных режимах и условиях искажений токов и напряжений [5].

II. Постановка задачи и цели исследования

Необходимость анализа КЭЭ в трехфазной системе промышленного электроснабжения продиктована свойствами нагрузки промышленного потребителя, особенностями его технологических процессов и управления ими, величиной ущербов при нарушении производственных процессов, вызванных отклонениями КЭЭ, а также необходимостью последующей реализации управляющих воздействий для восстановления нормального функционирования технологической системы потребителя.

Для систем электроснабжения с ИРГ (ВИЭ) характерны быстро меняющиеся режимы, сопровождающиеся существенными отклонениями параметров КЭЭ. При этом для оценки параметров токов и напряжений выделяются короткие временные интервалы (скользящее окно данных), составляющие, например, один период промышленной частоты [6]. Требуемой разрешающей способности по частоте для определения, например, искажающих гармоник на таких коротких временных интервалах не удается достичь [7]. Вследствие этого результаты вычисления некоторых параметров КЭЭ будут неточными и не соответствующими реальной ситуации с искажениями токов и напряжений. Соответственно, в системах промышленного электроснабжения целесообразна разработка новых методов анализа и идентификации искажений токов и напряжений.

Важной задачей, связанной с анализом искажений токов и напряжений, является распознавание сигналов. При наличии результатов имитационного моделирования искаженных сигналов токов и напряжений, характерных для функционирования отдельных (или совокупностей) технологических установок, а также различных режимов системы промышленного

электроснабжения, путем распознавания сигналов токов и напряжений возможно обеспечить выявление источников искажений параметров КЭЭ и на основе этой информации организовать процесс восстановления нормального электроснабжения промышленного потребителя. Таким образом, разработка способа анализа качества электрической энергии в трехфазной системе, учитывающей особенности конкретной системы промышленного электроснабжения, является перспективной [8].

III. Описание и обоснование метода решения

В настоящее время известен ряд способов определения параметров КЭЭ трехфазной сети [9, 10], недостатком которых является ограниченная применимость в системах промышленного электроснабжения: они не позволяют при необходимости выявить источники и степень искажения синусоидальных колебаний тока и напряжения.

Поставленная цель может быть достигнута путем анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения, содержащим этапы, на которых измеряют совокупность электрических величин (при этом совокупность содержит одну электрическую величину на каждую фазу) и формируют пространственный вектор на основе моментального трехмерного преобразования совокупности измеренных электрических величин. В соответствии с этим, текущую совокупность комплексных мгновенных значений пространственного вектора нормируют в заданном скользящем окне и затем подают на блок распознавания. На другие входы блока распознавания подают сформированные по результатам имитационного моделирования аналогичные совокупности комплексных мгновенных значений пространственного вектора, характерные и соответствующие нарушениям показателей качества электрической энергии в анализируемой системе электроснабжения промышленного потребителя. По результатам сравнения в блоке распознавания текущей совокупности комплексных мгновенных значений пространственного вектора с совокупностями комплексных мгновенных значений пространственного вектора, полученными по результатам имитационного моделирования, определяют соответствующие им условия, а также степень и источник искажений токов и напряжений в трехфазной системе промышленного электроснабжения. При этом формируют сигнал, характеризующий нарушения качества электрической энергии, на выходе блока распознавания.

На рис. 1 представлена структурная схема устройства, реализующего способ анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения.

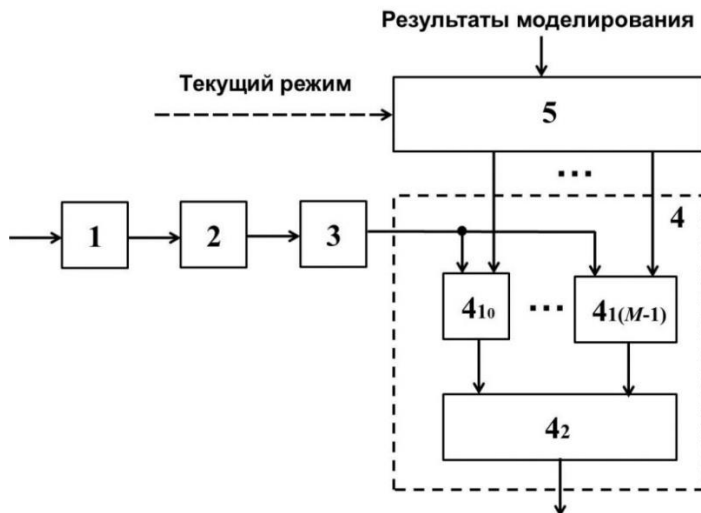


Рис. 1. Структурная схема устройства, реализующего способ анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения

Система, реализующая способ анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения (рис. 1), включает последовательно соединенные модуль сбора данных 1, модуль трехмерного преобразования 2, модуль нормировки 3, блок распознавания 4. Выходы под номером m ($m = 0, \dots, M-1$) блока хранения результатов имитационного моделирования 5 подключены к соответствующим вторым входам под номером m блока распознавания 4. Входы блока 5 хранения результатов имитационного моделирования служат для загрузки данных имитационного моделирования, а также ввода информации о текущем режиме функционирования системы промышленного электроснабжения. Вход модуля сбора 1 данных подключен ко входу устройства, а выход блока распознавания 4 – к выходу устройства.

Блок распознавания 4 включает M модулей $4_{10} \dots 4_{1(M-1)}$ сравнения и модуль 4_2 анализа результатов сравнения. При этом первые входы m -го модуля сравнения 4_m ($m = 0, \dots, M-1$) подключены ко входу блока распознавания 4, а вторые входы m -го модуля сравнения 4_m подключены к соответствующему второму входу блока 4 распознавания под номером m . Выходы модулей сравнения $4_{10} \dots 4_{1(M-1)}$ через модуль анализа 4_2 результатов сравнения подключены к выходу блока распознавания 4.

Система, реализующая способ анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения, функционирует следующим образом. Каждой отдельной точке присоединения промышленного потребителя соответствует собственный набор искажений синусоидальности токов и напряжений, зависящий от технологических особенностей нагрузки и режимов функционирования системы электроснабжения, определяемый, в том числе, посредством имитационного моделирования.

Для обеспечения эффективного функционирования способа анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения реализуется предварительное имитационное моделирование, целями которого являются:

- определение режимов функционирования системы промышленного электроснабжения с учетом особенностей промышленной нагрузки, а также возможностей проведения ремонтно-эксплуатационных работ;
- выявление режимов с возможными существенными отклонениями параметров КЭЭ, требующих реализации мероприятий по восстановлению нормального функционирования системы промышленного электроснабжения;
- создание специальной базы данных сигналов токов и напряжений для каждого из режимов с существенными отклонениями параметров КЭЭ, которые характеризуют степень и источник искажающих воздействий.

При реализации способа анализа качества электрической энергии и выполнении предварительного имитационного моделирования формируется база данных искаженных сигналов токов и напряжений при существенных отклонениях параметров КЭЭ в различных режимах функционирования системы промышленного электроснабжения. Результаты имитационного моделирования вносятся в память блока 5 хранения результатов моделирования (рис. 1) для последующего выбора совокупности искаженных сигналов токов и напряжений в определенном режиме работы системы промышленного электроснабжения.

Модуль 1 устройства, реализующего способ анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения, позволяет получать величины фазных значений токов и напряжений в точке присоединения. В нем выполняется аналого-цифровое преобразование, и на его выход подаются мгновенные значения фазных токов и напряжений. Модуль 1 подключен к модулю 2 трехмерного преобразования (рис. 1). В каждый момент времени модуль 2 принимает мгновенные значения фазных токов и/или напряжений $x_a(n)$, $x_b(n)$, $x_c(n)$ (где n – текущее дискретное время), измеренные в точке присоединения трехфазной элек-

трической сети. В модуле 2 осуществляется преобразование Кларка, являющееся разновидностью преобразования симметричных составляющих:

$$\begin{bmatrix} x_a(n) \\ x_b(n) \\ x_o(n) \end{bmatrix} = k \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a(n) \\ x_b(n) \\ x_c(n) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Две первые составляющие, полученные в результате преобразования (1), объединяются для получения комплексного числа, зависящего от дискретного времени и называемого пространственным вектором:

$$\underline{x}(n) = x_a(n) + j \cdot x_b(n). \quad (2)$$

Пространственный вектор содержит всю необходимую информацию об исходной трехфазной системе для анализа КЭЭ. Если трехфазная система является сбалансированной (уравновешенной), пространственный вектор описывает окружность на комплексной плоскости. Нарушение синусоидальности сигналов токов и напряжений приводит к деформации пространственного вектора, видимой на комплексной плоскости. Деформации позволяют характеризовать и количественно определять различные нарушения, влияющие на трехфазную электрическую сеть.

В результате трехмерного преобразования (1) по фазным мгновенным значениям получают также составляющую нулевой последовательности $x_o(n)$, которая является действительной величиной. Поскольку пространственный вектор содержит всю необходимую информацию об искажениях токов и/или напряжений, составляющая нулевой последовательности может не использоваться при реализации предлагаемого способа анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения.

Мгновенные значения комплексного вектора из модуля 2 устройства поступают на модуль 3 нормировки. В модуле 3 в скользящем окне данных, включающем, например, N комплексных отсчетов (мгновенных значений) пространственного вектора, производится их нормировка (приведение к нормированному виду) по энергии. Для этого вычисляется энергия совокупности N комплексных значений пространственного вектора в текущем скользящем окне, и каждое из комплексных мгновенных значений пространственного вектора этого текущего скользящего окна нормируется к рассчитанной энергии. Впоследствии нормированные совокупно-

сти комплексных мгновенных значений пространственного вектора из модуля 3 поступают в блок 4 распознавания.

Рассмотрим принцип организации процедуры распознавания в блоке 4 искаженной совокупности комплексных мгновенных значений пространственного вектора (комплексного дискретного сигнала $\underline{x}(n)$) в скользящем окне данных, включающем N отсчетов.

Пусть на вход блока 4 распознавания поступает дискретный комплексный сигнал $\underline{x}(n)$. Примем, что $\underline{x}(n)$ входит в совокупность из M дискретных сигналов $\{\underline{x}_m(n), m = 0, \dots, M-1\}$, характеризует возможные отклонения показателей КЭЭ конкретной системы электроснабжения в текущем режиме ее функционирования. Комплексные дискретные сигналы $\underline{x}_m(n)$ нормированы по энергии (имеют одинаковую энергию):

$$E = E_m = \sum_{i=0}^{N-1} \underline{x}_m(i) \cdot \underline{x}_m^*(i). \quad (3)$$

Блок 4 решает задачу распознавания: какой из комплексных дискретных сигналов поступил на его вход. При решении задачи распознавания задействуется блок 5 хранения результатов имитационного моделирования. В соответствии с текущим режимом функционирования системы промышленного электроснабжения, блок 5 хранения результатов имитационного моделирования подает на вторые входы модулей сравнения $4_{10} \dots 4_{1(M-1)}$ комплексные дискретные сигналы, соответствующие текущему режиму и характеризующие возможные искажения параметров КЭЭ трехфазной системы промышленного электроснабжения. На первые входы модулей сравнения поступает комплексный дискретный сигнал с выхода модуля 3 нормировки. В модулях сравнения $4_{10} \dots 4_{1(M-1)}$ блока 4 реализуется сравнение комплексного дискретного сигнала, поступившего на вход блока 4 с каждым из хранящихся комплексных дискретных сигналов в блоке 5, соответствующих текущему режиму системы электроснабжения. По результатам сравнения модулем анализа 4_2 блока 4 принимается решение о том, какой комплексный дискретный сигнал действует на входе и, соответственно, какой вариант отклонений параметров КЭЭ характерен для текущего режима системы электроснабжения.

Поскольку при имитационном моделировании для текущего режима функционирования системы электроснабжения и варианта отклонений параметров КЭЭ задается степень и источник трехфазных искажений токов и напряжений, то на основе реализации процедуры распознавания можно выявить степень и источник искажений токов и напряжений в трехфазной системе промышленного электроснабжения.

В модулях сравнения блока 4 при сравнении сигналов $\underline{x}(n)$ и $\underline{x}_m(n)$ устанавливается степень их взаимного соответствия по форме. В качестве меры соответствия нормированных по энергии комплексных дискретных сигналов может быть выбрана энергия разностного сигнала, определяемая как:

$$E_p = \sum_{i=0}^{N-1} (\underline{x}(i) - \underline{x}_m(i)) \cdot (\underline{x}(i) - \underline{x}_m(i))^* \quad (4)$$

В случае совпадения сигналов $\underline{x}(n)$ и $\underline{x}_m(n)$ их разность равна нулю, соответственно и $E_p = 0$. Следовательно, чем меньше энергия разностного сигнала, тем в большей степени сигналы $\underline{x}(n)$ и $\underline{x}_m(n)$ соответствуют друг другу.

Производя вычисления по (4), получаем:

$$E_p = \sum_{i=0}^{N-1} (\underline{x}(i) - \underline{x}_m(i)) \cdot (\underline{x}(i) - \underline{x}_m(i))^* = E + E_m - R - R^*, \quad (5)$$

где E и E_m – энергии комплексных дискретных сигналов;

$$R = \sum_{i=0}^{N-1} \underline{x}(i) - \underline{x}_m^*(i) = \left(\sum_{i=0}^{N-1} \underline{x}^*(i) - \underline{x}_m(i) \right)^* = R^*, \quad (6)$$

коэффициент взаимной корреляции между комплексными дискретными сигналами. В (6) учтено, что коэффициент корреляции обладает сопряженной симметрией относительно своих индексов.

Таким образом, с учетом свойств коэффициента корреляции, выражение для разностной энергии получим в виде:

$$E_p = E + E_m - R - R^* = E + E_m - 2 \cdot \text{Re}(R). \quad (7)$$

Поскольку энергия разностного сигнала является положительной величиной $E_p \geq 0$, действительная часть коэффициента корреляции не превосходит полусуммы энергии сравниваемых сигналов:

$$\text{Re}(R) \leq \frac{(E + E_m)}{2}. \quad (8)$$

Отметим, что чем больше значение действительной части коэффициента корреляции, тем меньше энергия разностного сигнала и тем больше

сигналы подобны друг другу по форме. При совпадении сравниваемых комплексных дискретных сигналов коэффициент корреляции максимален и равен их энергии (6). Таким образом, сравнение комплексных дискретных сигналов может также осуществляться и на основе анализа значений коэффициента корреляции. При этом гарантируется, что максимальное значение действительной части коэффициента корреляции будет получено только в том модуле сравнения блока 4, где произошло совпадение по форме анализируемого и эталонного комплексных дискретных сигналов. Номер этого модуля сравнения блока 4 распознавания может быть установлен модулем анализа 4_2 по максимальному действительному значению коэффициента корреляции.

Согласно (6), модуль коэффициента корреляции является симметричным относительно индексов, т.е., $|R| = |R^*|$, а использование неравенства Буняковского-Шварца приводит к выражению:

$$|R| = \left| \sum_{i=0}^{N-1} \underline{x}(i) - \underline{x}_m^*(i) \right| \leq \sqrt{E} \cdot \sqrt{E_m}, \quad (9)$$

в котором равенство достигается при совпадении комплексных дискретных сигналов.

Таким образом, свойства модуля коэффициента корреляции аналогичны свойствам его действительной части. Поэтому при организации процедуры распознавания в блоке 4 может использоваться и модуль коэффициента корреляции. В блок 5 хранения результатов имитационного моделирования устройства (рис. 1), реализующего способ анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения, поступает информация о текущем режиме, выраженная, например, в виде номера режима. Такая информация может поступать, например, из SCADA-системы или из систем диспетчерско-технологического управления системой электроснабжения. Номер режима определяет текущий набор M комплексных дискретных сигналов, выдаваемых с выходов блока 5 хранения результатов имитационного моделирования в блок 4 распознавания. Информация о текущем режиме функционирования системы промышленного электроснабжения необходима для снижения вычислительной нагрузки на блок 4 распознавания.

В случае отсутствия канала связи для передачи информации о текущем режиме или, например, отсутствии ограничений на быстродействие и вычислительную нагрузку блока 5 распознавания возможна работа устройства в автономном режиме, когда распознавание блоком 4 реализуется по всему массиву комплексных дискретных сигналов, в частности,

путем последовательного перебора всех возможных режимов функционирования системы промышленного электроснабжения.

IV. Заключение

Предлагаемый способ анализа КЭЭ в трехфазной системе промышленного электроснабжения с учетом данных имитационного моделирования и распознавания комплексных дискретных сигналов позволяет фиксировать факт отклонений параметров КЭЭ от значений, необходимых для функционирования конкретной системы промышленного электроснабжения, а также определять степень и источник искажений токов и напряжений. Разработан способ анализа качества электрической энергии в трехфазной системе, учитывающей особенности конкретной системы промышленного электроснабжения.

© Севостьянов А.А., 2020

Библиографический список

- [1] ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
- [2] Вагин Г.Я., Куликов А.Л. Качество электрической энергии в системах электроснабжения. Анализ состояния методов нормирования и контроля // Электрические станции. 2019. № 6 (1055). С. 54-59.
- [3] Вагин Г.Я., Севостьянов А.А. Интеллектуальные электрические сети: Требования к электромагнитной совместимости технических средств // Интеллектуальная электротехника. 2020. №1 (9). С. 5-12.
- [4] Солнцев Е.Б. Разработка технико-экономических характеристик электроприемников и узлов нагрузки машиностроительных предприятий при отклонениях напряжения и частоты: дис. канд. техн. наук, ГПИ им. А.А. Жданова, Горький, 1986. – 258 с.
- [5] Волошко А.В., Харчук А.Л. К вопросу мониторинга качества электрической энергии // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 3. С. 76-85.
- [6] Илюшин П.В., Куликов А.Л. Автоматика управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределённой генерацией. Н. Новгород: НИУ РАНХиГС, 2019. – 364 с.
- [7] Рибейро П.Ф., Дуке К.А., да Силвейра П.М., Серкейра А.С. Обработка сигналов в интеллектуальных сетях энергосистем. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 480 с.
- [8] Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Севостьянов А.А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Н. Новгород: НГТУ, 2004. – 214 с.
- [9] Шидловский А.К., Невмержицкий Н.И., Таранов С.Г., Гринберг И.П., Брайко В.В., Галицкий Р.М., Карасинский О.Л., Мирфайзиев О.М., Собонович В.В.,

Хусид Р.Б., Цыганок А. М., Ящук В.А. Способ определения параметров качества электрической энергии трехфазной сети, Пат. 1109655 SU, заявл. 21.02.79; опубл. 23.08.84. – Бюл. № 31.

- [10] Лепреттр Б., Крачун О., Баша С., Гранжон П., Радю Д. Способ и устройство анализа качества электрической энергии в трехфазной электрической сети, Пат. 2613584 RU, заявл. 27.11.15; опубл. 17.03.17. – Бюл. № 8.

A.A. Sevostyanov

METHOD FOR ANALYSIS OF POWER QUALITY IN THREE-PHASE INDUSTRIAL POWER SUPPLY SYSTEM

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. A method for analyzing the levels of electromagnetic interference for assessing the electric power quality in industrial power supply systems is presented. This method can be used to determine the influence of the electric power quality parameters in a three-phase system on the end industrial consumer and the subsequent development of control actions in order to restore its normal power supply.

Keywords: distributed generation, electromagnetic interference, power supply system, power quality.

References

- [1] Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems, GOST 32144-2013, July 2014.
- [2] G.Ya. Vagin and A.L. Kulikov, “Electricity quality in power supply systems. Analysis of rationing and control methods”, *Electrical stations*, no. 6 (1055), pp. 54-59, 2019.
- [3] G.Ya. Vagin and A.A. Sevostyanov, “Smart grid: Requirements for electromagnetic compatibility of technical equipment”, *Интеллектуальная электротехника*, no. 1 (9), pp. 5-12, 2020.
- [4] E.B. Solntsev, “*Razrabotka tekhniko-ekonomicheskikh harakteristik elektropriemnikov i uzlov nagruzki mashinostroitel'nyh predpriyatij pri otkloneniyah napryazheniya i chastoty [Development of technical and economic characteristics of electrical receivers and load nodes of machine-building enterprises with voltage and frequency deviations]*”, Cand. of Tech. S. thesis, Gorky Polytechnic Institute, Gorky, 1986 (in Russian).
- [5] A.V. Voloshko and A.L. Kharchuk, “On the issue of monitoring power quality”, *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, vol. 326. no. 3, pp. 76-85, 2015.
- [6] P.V. Ilyushin and A.L. Kulikov, *Avtomatika upravleniya normal'nymi i avarijnymi rezhimami energorajonov s raspredelyonnoj generaciej [Automatic control of nor-*

- mal and emergency modes of power districts with distributed generation*]. N. Novgorod: RANEPА, 2019.
- [7] P.F. Ribeiro, A.S. Cerqueira, M.V. Ribeiro, P.M. Silveira and C.A. Duque, *Power systems signal processing for smart grids*. Wiley, 2020.
- [8] G.Ya. Vagin, A.B. Loskutov and A.A. Sevostyanov, *Elektromagnitnaya sovместimost' v elektroenergetike [Electromagnetic compatibility in the electric power industry]*. N. Novgorod: NNSTU, 2004.
- [9] A.K. Shidlovsky, N.I. Nevmerzhitsky, S.G. Taranov, I.P. Grinberg, V.V. Braiko, R.M. Galitsky, O.L. Karasinsky, O.M. Mirfayziev, V.V. Sobotovich, R.B. Khusid, A.M. Tsyganok and V.A. Yashchuk, “*Sposob opredeleniya parametrov kachestva elektricheskoy energii trekhfaznoj seti [Method for determining the quality parameters of electrical energy in a three-phase network]*”, Patent SU 1109655, Aug. 23, 1984 (in Russian).
- [10] B. Leprettre, O. Craciun, S. Bacha, P. Granjon and D. Radu, “*Method and device for analysing the quality of the electrical energy in a three-phase electric network*”, Patent WO 2013/057416, Apr. 25, 2013