

УДК 621.311

Черкашина Галина Игоревна, старший преподаватель. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002, Тел. +38-057-707-69-79. E-mail: Galinasherkachina@rambler.ru (orcid.org/ 0000-0003-1229-9604)

СИММЕТРИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БЫТОВОГО СЕКТОРА

В статье представлены метод симметрирования режимов работы системы электроснабжения в бытовом секторе, способ его реализации, результаты его апробации на реальном объекте.

Ключевые слова: коэффициент несимметрии, потребитель-регулятор, электрический водонагреватель, нечеткий регулятор, нечеткая логика, устойчивость процесса симметрирования.

Черкашина Галина Ігорівна, старший викладач. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, Вул. Фрунзе, 21, г. Харків, Україна, 61002, Тел. +38-057-707-69-79. E-mail: Galinasherkachina@rambler.ru (orcid.org/0000-0003-1229-9604)

СИМЕТРУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОБУТОВОГО СЕКТОРУ

В статті представлений метод симетрування режимів роботи системи електропостачання в побутовому секторі, спосіб його реалізації, результати його апробації на реальному об'єкті.

Ключові слова: коефіцієнт несиметрії, споживач-регулятор, електричний водонагрівач, нечіткий регулятор, нечітка логіка, стійкість процесу симетрування.

Cherkashina Galyna Igorevna, senior teacher. National technical university «Kharkiv polytechnic institute», Kharkov, Ukraine, 21 Frunze str., Kharkov, Ukraine, 61002, f. +38-057-707-69-79. E-mail: Galinasherkachina@rambler.ru (orcid.org/ 0000-0003-1229-9604)

THE BALANCING OPERATION MODES OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE DOMESTIC SECTOR

This paper presents a method of power supply the system modes balancing in the domestic sector, the method of its implementation, the results of its approbation on the real object.

Keywords: asymmetry coefficient, consumer regulator, electric water heater-tel, fuzzy controller, fuzzy logic, the stability of balancing the process.

Введение

За последнее время наблюдается стремительный и стабильный рост потребления электрической энергии в бытовом секторе. Как известно, потребители в быту являются однофазными, вследствие чего наблюдается значительная несимметрия по токам и напряжениям режимов работы их систем электроснабжения. При рассмотрении реальных характеристик питающих подстанций было выявлено, что коэффициент несимметрии по току лежит в пределах от 1,35 до 4,8. Такие режимы работы приводят к значительным потерям электрической энергии в элементах систем электроснабжения [1, 2, 3]. Кроме того, необходимо учитывать, что сети бытовых потребителей имеют значительную степень изношенности и не отвечают современному уровню нагрузок.

На сегодня известно большое количество методов и способов симметрирования режимов систем электроснабжения [4, 5, 6]. Практически все они основаны на введении в систему «искусственной» дополнительной нагрузки активной или реактивной, что дает возможность отсимметрировать режим. Недостатком таких способов являются дополнительные потери на покрытие «искусственных» нагрузок.

Целью настоящей работы является разработка метода и способа симметрирования режимов работы системы электроснабжения бытового сектора за счет нагрузки самих потребителей.

Основная часть

Для реализации возможности симметрирования режимов работы системы электроснабжения бытового сектора за счет нагрузки самих потребителей в работе решены

следующие задачи:

- 1) выделены бытовые электроприемники (потребители-регуляторы) – ресурс для симметрирования;
- 2) разработан новый способ электроснабжения бытовых потребителей;
- 3) разработан метод управления бытовыми потребителями-регуляторами;
- 4) определены условия устойчивости и погрешность процесса симметрирования;
- 5) проведена апробация метода на реальном объекте.

Идея симметрирования режимов работы системы электроснабжения состоит в следующем: из перечня бытовых электроприемников выделяется управляемая нагрузка – потребитель-регулятор (ПР). Критериями выбора являются приспособленность приемника к частым коммутациям, наличие данного ресурса в бытовых хозяйствах, возможность переноса работы электроприемника без существенного дискомфорта для пользователя. Для симметрирования режима данные потребители подключаются к наименее загруженному или отключаются от наиболее загруженного фазного провода системы электроснабжения. Процесс симметрирования осуществляется на уровне питающей трансформаторной подстанции.

Ресурс для симметрирования

Исходя из критериев, приведенных выше, в качестве потребителей-регуляторов в работе принято использовать электрические водонагреватели емкостного типа. Данный ресурс широко распространен в бытовом секторе Украины [7], по принципу своей работы он предназначен к частым коммутациям и имеет возможность переноса своей работы в течении времени без существенного дискомфорта для пользователя [8].

Способ электроснабжения бытовых потребителей

На сегодняшний день уже предложены варианты систем электроснабжения с возможностью переключения фаз питания потребителей [3, 9, 10]. Отличительными особенностями предлагаемого способа (рис. 1) являются:

- в процессе симметрирования участвуют только электроприемники, предназначенные для частых коммутаций;
- минимальный состав оборудования, что позволяет удешевить внедрение данного способа как на вновь строящихся, так и на действующих объектах;
- отсутствие мощной коммутационной аппаратуры;
- высокая гибкость, точность симметрирования (мощность переключаемых однофазных потребителей, невысока по сравнению с общей нагрузкой).

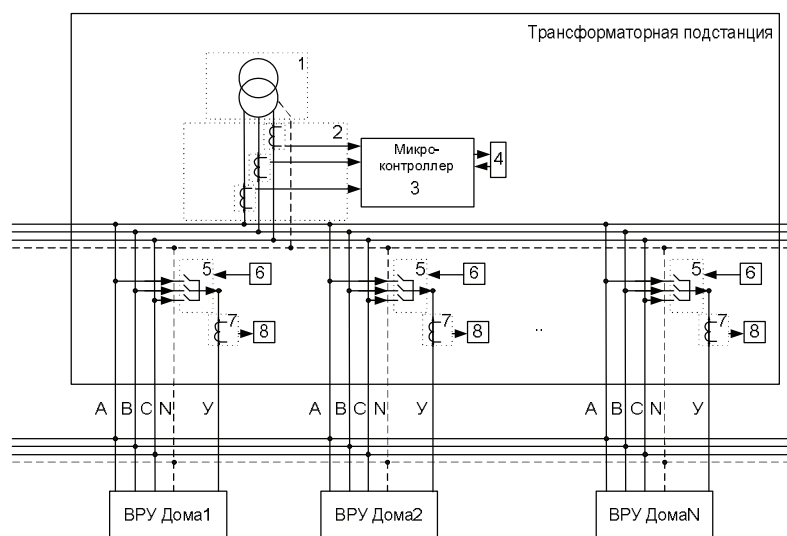


Рис. 1. Схема системы электроснабжения бытовых потребителей с возможностью переключения однофазных потребителей между фазами системы

На рис.1 обозначены: понижающий трансформатор 1, вводно-распределительные устройства п домов (1, 2 ..n), в котором неуправляемые потребители электрической энергии подключены к фазным проводам А, В, С, а управляемые потребители-регуляторы – к проводу У, датчики тока 7 с передающими устройствами 8, которые посылают сигнал на приемопередающее устройство 4 микроконтроллера 3, выключатели 5 с приводами, подсоединяющие управляемую нагрузку к фазам линии 0,4 кВ с приемными устройствами 6, датчики тока 2, установленные на шинах 0,4 кВ трансформатора и подающие сигнал на аналоговые входы микроконтроллера 3. Переключение отдельного провода У с одной фазы на другую осуществляется на трансформаторной подстанции.

Способ электроснабжения бытовых потребителей, заключается в том, что ПР к источнику питания подключается при помощи отдельного дополнительного провода, который при помощи выключателя с приемным устройством подключается на любую из фаз на РУ ТП. Управляющие сигналы на выключатель формируются микроконтроллером на основе разработанного метода симметрирования. Передача управляющего сигнала осуществляется при помощи приемопередающего устройства. Входными данными для формирования управляющего сигнала являются текущие значения тока в отдельном дополнительном проводе и на шинах 0,4 кВ понижающего трансформатора.

Если токи в фазах трансформатора и питающих фазах линии электропередач нагрузки не одинаковы, то сигналы с датчиков тока 8 передаются на приемопередающее устройство 4 микроконтроллера 3 и одновременно сигналы с датчиков 2 поступают на аналоговые входы микроконтроллера 3, который рассчитывает коэффициент несимметрии и скорость его изменения и по специальной программе определяет, какие из отдельных проводов У необходимо отключить от фазы с большим значением суммарного тока и к какой фазе с меньшим значением суммарного тока подключить эти провода. Микроконтроллер 3 с помощью приемопередающего устройства 4 посылает управляющий сигнал приёмным устройствам 6, управляющим выключателями 5 с приводами, присоединяющих отдельный провод У к фазе линии 0,4 кВ, которые отключают У от более загруженной фазы и подключают его к менее загруженной фазе.

Метод управления бытовыми потребителями-регуляторами

Для управления режимами потребления электрической энергии была выбрана замкнутая система управления с обратной связью на базе нечеткого регулятора, общий вид которой приведен на рис. 2.

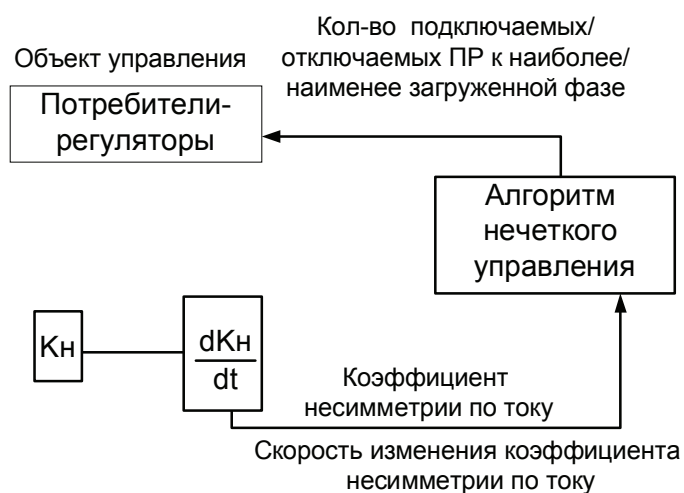


Рис. 2. Система управления на базе нечеткого регулятора

При проведении исследований был рассмотрен регулятор с нечеткой логикой (фаззи-регулятор) с двумя входными и одним выходным параметрами. К входным параметрам

относятся коэффициент несимметрии тока по нулевой последовательности ($k_{0(1)i}$) и скорость изменения коэффициента несимметрии тока по нулевой последовательности ($V_{k_{нec}}$):

$$k_{0(1)i} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0(1)i}}{I_{1(1)i}}$$

где $I_{0(1)i}$ – ток нулевой последовательности, А, $I_{1(1)i}$ – ток прямой последовательности, А.

$$V_{k_{нec}} = \frac{dk_{0(1)i}}{dt}$$

Для выделения симметричных составляющих тока при проведении работы в системе Matlab была разработана модель фильтра симметричных составляющих. За основу был взят метод симметричных составляющих.

Используя компьютерную модель фильтра симметричных составляющих, были исследованы режимы потребления электрической энергии в зависимости от симметричности нагрузки фаз в четырехпроводных системах, которые присущи для бытовых систем электроснабжения, то есть $k_{0(1)i} = f(\Delta I)$, где за ΔI было принято отклонение минимально загруженной от максимально загруженной фазы системы электроснабжения. В процессе исследования рассматривались случаи режимной несимметрии, которые отвечали условию $0 \leq k_{0(1)i} \leq 4$. Результаты приведены на рис. 3

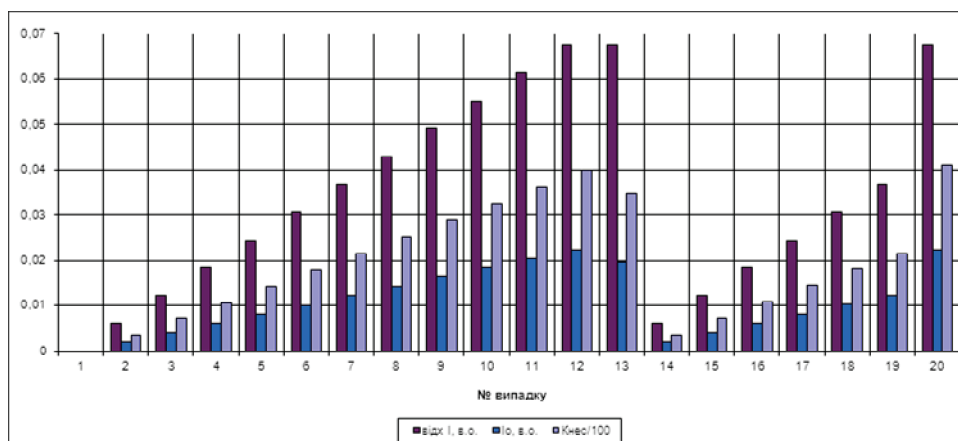


Рис. 3. Зависимость коэффициента несимметрии тока по нулевой последовательности от отклонения значений тока по фазным проводам системы электроснабжения

Исходя из полученных результатов, максимальное значение мощности регулирующего ресурса в нормально-допустимых границах должен быть 4 % от максимально загруженной фазы, в гранично-допустимых – 7 %.

К выходным параметрам относится количество подключаемых ПР к наименее загруженной фазе.

Для лингвистических переменных $k_{0(1)i}$, $V_{k_{нec}}$ были определены нечеткие множества с соответствующими идентификаторами для функций принадлежности $\mu(k_{0(1)i})$, $\mu(V_{k_{нec}})$ и были сформированы две функции принадлежности. Аргументами являются параметры $k_{0(1)i}$ и $V_{k_{нec}}$ (рис. 4). Для $\mu(k_{0(1)i})$ идентификаторы формулируются следующим образом: «нулевой» ($k_{нec_0}$), «маленький» ($k_{нec_мал}$), «допустимый» ($k_{нec_доп}$), «предельно-допустимый» ($k_{нec_гр-доп}$), «недопустимый» ($k_{нec_недоп}$); для $\mu(V_{k_{нec}})$ – «отрицательная большая» ($V_{k_{нec_нег_вел}}$), «отрицательная» ($V_{k_{нec_нег}}$), «отрицательная маленькая» ($V_{k_{нec_нег_мал}}$), «нулевая»

$(V_{k_{нec_0}})$, «положительная маленькая» $(V_{k_{нec_поз_мал}})$, «положительная» $(V_{k_{нec_поз}})$, «положительная большая» $(V_{k_{нec_поз_вел}})$.

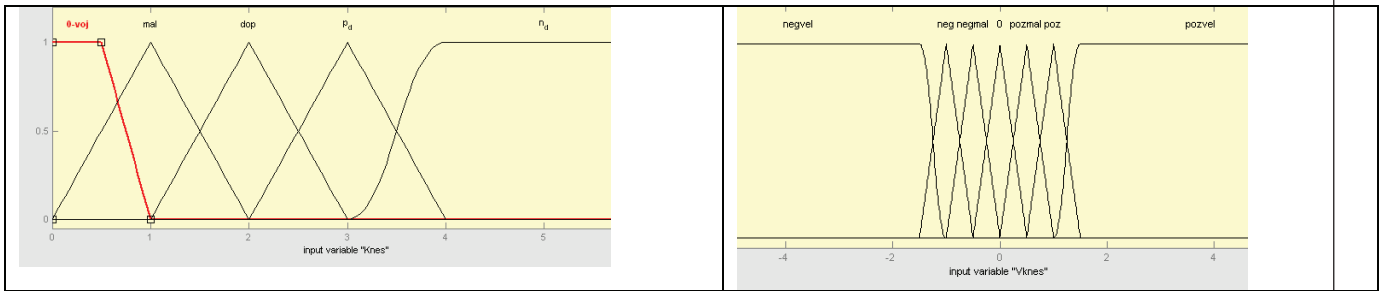


Рис. 4. Входные лингвистические функции принадлежности

С помощью функций принадлежности (рис. 5) задается необходимое количество нагрузки ПР, которая подключается к наименее загруженной фазе.

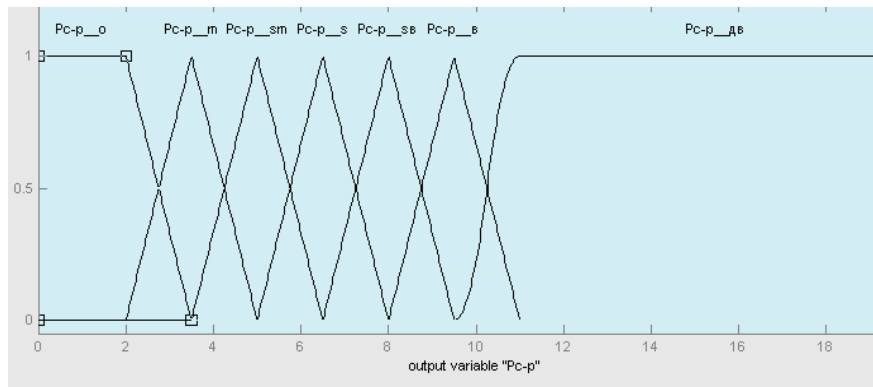


Рис. 5. Выходная лингвистическая функция принадлежности

Нечеткие переменные имеют идентификаторы: «нулевая» (P_{C-P_o}) , «маленькая» (P_{C-P_m}) , «средняя маленькая» $(P_{C-P_{sm}})$, «средняя» (P_{C-P_s}) , «средняя большая» $(P_{C-P_{sb}})$, «большая» (P_{C-P_b}) , «очень большая» $(P_{C-P_{дв}})$.

По результатам экспериментов сформулирована система логических выводов:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} [\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp})] \rightarrow d_j, j = 1, m$$

Реализация нечеткого вывода и композиция были выполнены соответственно на основании выражений Заде и Мамдани:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} [\bigcap_{i=1}^n (x_i \circ (a_i^{jp} \times d_j))] \rightarrow d_j$$

При определении параметров процесса симметрирования было принято допущение о том, что система напряжений источника питания симметрична. В работе получены аналитические выражения, которые позволили оценить погрешность данного допущения, и определить условия, при которых процесс симметрирования будет протекать устойчиво [11].

Коэффициент несимметрии токов по нулевой последовательности:

$$k_{0(1)i} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{0(1)i}}{I_{1(1)i}}$$

Значения токов фаз в случае, когда процесс симметрирования неустойчив:

$$\dot{I}_A = I_A ; \dot{I}_B = (I_A - \Delta)a^2 ; \dot{I}_C = I_A a$$

где Δ – разница между значениями токов фаз со стороны системы электроснабжения.

Подставим выражения значений токов фаз в выражение определения коэффициента несимметрии токов по нулевой последовательности:

$$k'_{0(1)i} = \frac{\sqrt{3}(I_A + (I_A - \Delta)a^2 + I_A a)}{I_A + a(I_A - \Delta)a^2 + a^2 I_A a} = \frac{\sqrt{3}(I_A + I_A a^2 - \Delta a^2 + I_A a)}{I_A + I_A - \Delta + I_A} = \frac{-\sqrt{3}\Delta a^2}{3I_A - \Delta}$$

Получаем:

$$k_{0(1)i} = \frac{\sqrt{3}(I_A + (I_A - \Delta)a^2 + I_A a)}{I_A + I_A + I_A} = \frac{-\sqrt{3}\Delta a^2}{3I_A}$$

Таким образом, погрешность процесса симметрирования:

$$\delta_c = \frac{k_{0(1)i}}{k'_{0(1)i}} = \frac{-\sqrt{3}\Delta a^2(3I_A - \Delta)}{3I_A(-\sqrt{3}\Delta a^2)} = \frac{3I_A - \Delta}{3I_A} = 1 - \frac{\Delta}{3I_A}$$

После N циклов симметрирования:

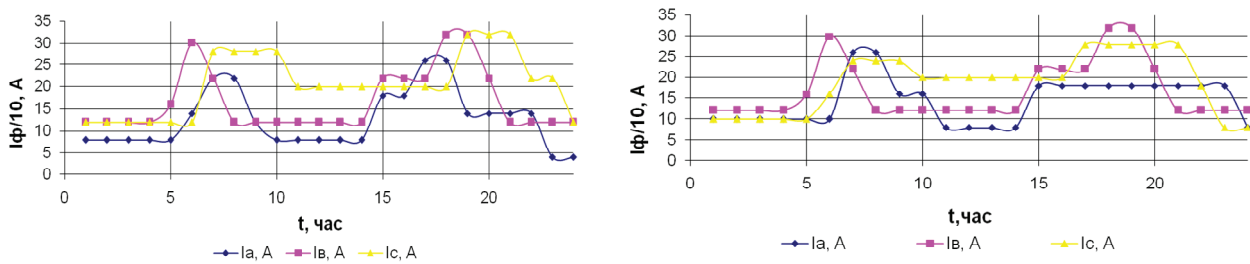
$$\delta_c^N = \left(1 - \frac{\Delta}{3I_A}\right)^N$$

Условие устойчивости процесса симметрирования:

$$N = \frac{\ln \frac{1}{|\delta_c|}}{\ln \left(1 - \frac{\Delta}{3I_A}\right)}$$

Апробация метода

В качестве объекта был выбран 9-ти этажный жилой дом, который является единственным потребителем ТП. На рис. 6 представлен суточный график нагрузки до и после симметрирования.



а)

б)

Рис. 6. Графики электрической нагрузки 9-ти этажного дома до выравнивания (а) и после (б)

Отклонение наиболее загруженной фазы от наименее загруженной до и после симметрирования представлено на рис. 7

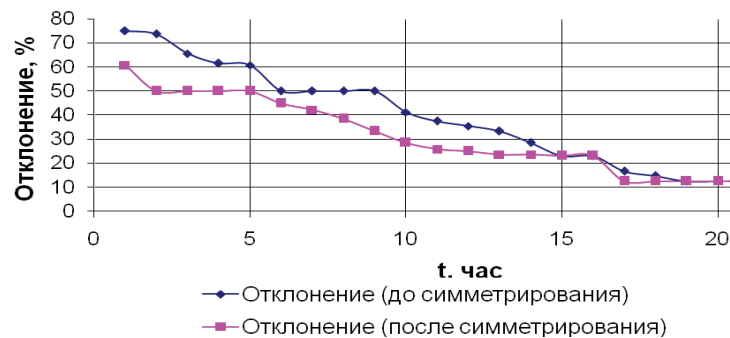


Рис. 7. Отклонение наиболее загруженной фазы от наименее загруженной до и после симметрирования

Среднесуточный коэффициент несимметрии по нулевой последовательности до симметрирования составил 4,13, после – 2,75.

Количество сэкономленной в течении суток электрической энергии за счет симметрирования составило 19,54 кВт·час при суточном потреблении электрической энергии пользователями жилого дома 524,17 кВт·час.

Выводы

Результаты апробации разработанного метода симметрирования режимов работы системы электроснабжения бытового сектора на базе нечеткой логики показали работоспособность данного метода.

Внедрение предложенной системы электроснабжения бытовых потребителей с возможностью переключения однофазных потребителей между фазами системы за счет наличия отдельного провода даст возможность реализации предложенного метода симметрирования, что в свою очередь приведет к повышению качества электрической энергии в системах электроснабжения бытовых потребителей, уменьшению потерь электрической энергии, связанной с неравномерностью загрузки фаз системы, уменьшению рисков возникновения аварийных ситуаций, обусловленных перекосом загрузки фаз.

Список использованной литературы:

1. Коваленко П. В., Смышляева О. А. Анализ потерь мощности в электрических сетях при неравномерной и несимметричной нагрузке // *Электрика*. – 2009. – № 9. – С. 18–22.
2. Лазуренко А. П., Черкашина Г. И. Анализ характеристик электропотребления жилого дома // *Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Энергетика: надежность и энергоэффективность*. – Харьков: НТУ «ХПИ» – № 1. – 2010. – 182 с.
3. Забелло Е. П., Булах В. Симметрирование электрических нагрузок по фазам при преобладании однофазных вводов // *Энергетика и ТЭК*. – 2014. – № 2. – Режим доступа: www.energetika.by;
4. Гриб О. Г. Контроль и регулирование несимметричных режимов в системах электроснабжения: учеб. пособие. – Харьков: ХНАГХ, 2004. – 180 с.
5. Шидловский А. К., Кузнецов В. Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. – К.: Наукова думка, 1985. – 268 с.
6. Шпиганович А. Н. Повышение эффективности функционирования систем электроснабжения: Монография / А. Н. Шпиганович, В. А. Пестунов. Елец: ЕГУ им. И. А. Бунина, Липецк: ЛГТУ, 2003. – 283 с.
7. Артюх С. Ф., Лазуренко А. П., Черкашина Г. И. Техничко-экономический эффект от выравнивания графика электрической нагрузки за счет бытовых потребителей-регуляторов // *Материалы международной научно-практической конференции «Современные научные достижения и их практическое применение (20–22 октября, 2014)»*. – К.: Знання України, 2014. – 131 [1] с.: іл., табл. – С. 7–15.
8. Лазуренко О. П., Черкашина Г. І. Щодо визначення об'єму робочого баку електричного водонагрівача емнісного типу // *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*. – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – № 56 (1098). – С. 83–90.
9. Сукьянова С. В. Применение технических средств симметрирования нагрузок в сельских распределительных сетях 0,38 кВ для повышения качества и снижения потерь электрической энергии. Диссертация по специальности 05.20.02. – Иркутск, 2004 г. – 172 с.: С.42.
10. Патент RU (11) 2351049 (13) С1, МПК 6 H02J3/00, H02J3/28 Способ снижения потерь электроэнергии / Гринкруг М. С., Митин И. А., Ткачева Ю. И./ Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре» государственный технический университет» (ГОУВПО «КнАГТУ») №2007149186/09; заявлено 29.12.2007; опубликовано 27.03.2009.

11. Гриб О. Г. Погрешность и устойчивость процесса симметрирования трехфазных сетей // Энергетика (Изв. высш. учебн. заведений). – 1987. – № 4. – С. 53–55.

References:

1. Kovalenko, P. V., Smyshlyaeva O.A. . Analysis of power losses in electrical networks with nonuniform and asymmetric load [Analiz poter' moshhnosti v jelektricheskikh setjah pri neravnomernej i nesimmetrichnoj nagruzke]// Electrician. – 2009. – No. 9. P. 18–22.

2. Lazurenko, A. P., Cherkashina G. I. Analysis of a dwelling house energy consumption the characteristics [Analiz harakteristik jelektropotreblenija zhilogo doma]// Bulletin of NTU "KHPI". Collection of scientific papers. The Futuroscope theme Park.-cue release: Energy: reliability and efficiency. – Kharkov: NTU "KHPI". – № 1. – 2010. – 182 p.

3. Zabello E. P., Bulah V. Balancing electrical loads on phases with the prevalence of single-phase inputs [Simmetrirovaniye jelektricheskikh nagruzok po fazam pri preobladanii odnofaznyh vvodov]// Power and FEC – 2014. – No. 2. – Access mode: www.energetika.by.

4. Gryb O. G. The control and EGR-stimulation of asymmetrical modes in power systems [Kontrol' i regulirovaniye nesimmetrichnyh rezhimov v sistemah jelektronsnabzhenija]: proc. the allowance. – Kharkov: KNAME, 2004. – 180 p.

5. Shidlovsky A. K., Kuznetsov V. G. The enhancement of power quality in electrical networks [Povyshenie kachestva jenergii v jelektricheskikh setjah]. – K.: Naukova Dumka, 1985. – 268 p.

6. Spiranovic A. N. The effective functioning of electrical systems [Povyshenie jeffektivnosti funkcionirovanija sistem jelektronsnabzhenija]: Monograph / A. N. Spiranovic, V. A. Pestunov. Dace: YSU them. I. A. Bunin, Lipetsk: LSTU, 2003. – 283 p.

7. Artyukh S. F., Lazurenko A. P., Cherkashina G I. Technical and economic effect of power load alignment at the expense of domestic consumers-regulators [Tehniko-jekonomicheskij jeffekt ot vyravnivaniya grafika jelektricheskoy nagruzki za schet bytovyh potrebitelej-reguljatorov] // Materials of international scientific-practical conference "Modern scientific achievements and their practical application (October 20-22, 2014)". – K. : Knowledge Of Ukraine, 2014. – 131 [1] p.: Il., table. – P. 7–15.

8. Lazurenko O. P., Cherkashina G. I. Regarding the determination of the capacitive type electric water heater working tank volume [Shhodo vyznachennja ob'jemu robochogo baku elektrychnogo vodonagrivacha jemnisnogo typu]// Bulletin of NTU "HP". Series: Energy: natinst the efficiency. - K. : NTU "HP", 2014. – № 56 (1098). – P. 83–90.

9. Sukhanova S. V. The use of technical means of balancing loads in rural distribution networks 0.38 kV to improve the quality and reduce the losses of electrical energy [Применение технических средств симметрирования нагрузок в сельских распределительных сетях 0,38 кВ для повышения качества и снижения потерь электрической энергии]. The thesis on 05.20.02. – Irkutsk, 2004. – 172 p.: P. 42.

10. Patent RU (11) 2351049 (13) C1, MPK 6 H02J3/00, H02J3/28 Method reduction of electricity losses [Sposob snizhenija poter' jelektronejergii]/ Grinkrug M. S., Mitin I. A., Y. I. Tkachev/ State educational institution of higher professional education "Komsomolsk-on-Amur state technical University (VPO "KnAGTU") No. 2007149186/09; declared 29.12.2007; published 27.03.2009.

11. Gryb O. G. Accuracy and the stability of three-phase networks balancing process [Pogreshnost' i ustojchivost' processa simmetrirovaniya trehfaznyh setej], Power (IWP. the high. training. institutions). – 1987. – No. 4 – P. 53–55.

Поступила в редакцию 23.03 2015 г.