

УДК: 621.312.08

DOI: [10.52754/16948610_2026_2_35](https://doi.org/10.52754/16948610_2026_2_35)

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

**БӨЛҮШТҮРҮҮЧҮ ЭЛЕКТР ТАРМАГЫНДАГЫ ТРАНСФОРМАТОРДУН
ПАРАМЕТРЛЕРИН ИДЕНТИФИКАЦИЯЛОО**

**IDENTIFICATION OF THE CURRENT PARAMETERS OF THE TRANSFORMER POWER
SUPPLY OF THE DISTRIBUTION NETWORK ACCORDING TO ASKUE DATA**

Жаныбаев Тилебалды Оторбекович

Жаныбаев Тилебалды Оторбекович

Zhanybaev Tilebaldy Otorbekovich

Аспирант, КГТУ им. И. Раззакова

аспирант, И. Раззаков атындагы КМТУ

Postgraduate student, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov

zhanybaev1979@mail.ru

ORCID:0009-0009-6653-9774

Иманакунова Женишкуль Сартбаевна

Иманакунова Женишкуль Сартбаевна

Imanakunova Zhenishkul Sartbaevna

к.т.н., доцент, КГТУ им. И. Раззакова

тех.и.к., доцент, И. Раззаков атындагы КМТУ

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov

j.imanakunova@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4118-6457

Жолдошов Толкунбек Мамытович

Жолдошов Толкунбек Мамытович

Zholdoshov Tolkunbek Mamytovich

к.т.н., доцент, Ошский государственный университет

тех.и.к., доцент, Ош мамлекеттик университети

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Osh State University

tjoldoshosv@oshsu.kg

ORCID: 0009-0002-1241-3665

Качикеева Айжамал Бектуровна

Качикеева Айжамал Бектуровна

Kachikeeva Aizhamal Bekturovna

аспирант, Национальная академия наук Кыргызской Республики

аспирант, Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясы

Postgraduate student of National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

ORCID: 0000-0002-8719-1676

Оморов Туратбек Турсунбекович

Оморов Туратбек Турсунбекович

Omorov Turatbek Tursunbekovich

д.т.н., профессор, член-корр. НАН КР

Тех.и.д., профессор, член-корр. Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясы
Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the KR

omarovtt@mail.ru

ORCID : 0000-0002-5902-0220

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Аннотация

Актуальность. Рассматривается задача оценки текущих значений внутреннего комплексного сопротивления (параметров) трансформатора распределительной электрической сети (РЭС) напряжением 0,4 кВ в условиях функционирования автоматизированной системы контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ). Актуальность задачи обусловлена необходимостью повышения эффективности управления распределительными сетями, снижения технических и коммерческих потерь электроэнергии, а также диагностики несанкционированных отборов электроэнергии. Предложен метод и алгоритм её решения по данным головного трёхфазного счётчика электроэнергии АСКУЭ без применения дополнительных измерительных приборов. На основе функциональных связей между ЭДС источника питания, токами и напряжениями фаз получена система уравнений относительно искомых параметров — модуля и фазы комплексного сопротивления трансформатора. Система решается аналитически, что обеспечивает высокую скорость вычислений и возможность применения алгоритма в режиме реального времени. Результаты ориентированы на создание дополнительных информационных подсистем в составе действующих АСКУЭ.

Ключевые слова: распределительная сеть, параметры трансформатора, алгоритм идентификации.

*Бөлүштүрүүчү электр тармагындагы
трансформатордун параметрлерин
идентификациялоо*

*Medico-social importance of a healthy lifestyle in
shaping the health of students*

Аннотация

Маанилүүлүк. Бөлүштүрүүчү электр тармагындагы (РЭС) 0,4 кВ чыңалуудагы трансформатордун ички комплекстүү каршылыгынын (параметрлеринин) учурдагы маанилерин баалоо маселеси автоматташтырылган электр энергиясын көзөмөлдөө жана эсепке алуу системасынын (АСКУЭ) иштөө шартында каралат. Маселени актуалдуулугу бөлүштүрүүчү электр тармактарын башкаруунун натыйжалуулугун жогорулатуу, электр энергиясынын техникалык жана коммерциялык жоготууларын азайтуу, ошондой эле электр энергиясын уруксатсыз пайдаланууну аныктоо зарылчылыгы менен негизделет. Бул маселени чечүү үчүн АСКУЭ системасындагы башкы үч фазалуу электр эсептегичтин маалыматтарынын негизинде, кошумча өлчөөчү приборлорду колдонбостон ишке ашырылуучу ыкма жана алгоритм сунушталат. Электр камсыздоо булагынын электр кыймылдаткыч күчү (ЭКК), фазалык токтор жана чыңалуулар ортосундагы функционалдык байланыштардын негизинде трансформатордун комплекстүү каршылыгынын модулу жана фазасы сыяктуу издөлүүчү параметрлерге карата теңдемелер системасы алынган. Аталган система аналитикалык жол менен чечилет, бул эсептөөлөрдүн жогорку ылдамдыгын камсыз кылып, алгоритмди реалдуу убакыт режиминде колдонууга мүмкүндүк берет.

Ачык сөздөр: бөлүштүрүүчү тармак, трансформатордун параметрлери, параметрлерди идентификациялоо алгоритми.

Abstract

Relevance. The problem of estimating the current values of the internal complex impedance (parameters) of a transformer in a 0.4 kV distribution electrical network (RES) is considered under the operating conditions of an automated system for monitoring and accounting of electrical energy (AMR/AMI). The relevance of the problem is обусловлена the need to improve the efficiency of distribution network management, reduce technical and commercial power losses, and detect unauthorized electricity consumption. A method and an algorithm for solving this problem are proposed based on the data of the main three-phase electricity meter of the AMR/AMI system, without the use of additional measuring instruments. Based on the functional relationships between the electromotive force (EMF) of the power source, phase currents, and voltages, a system of equations is obtained with respect to the unknown parameters—the magnitude and phase of the transformer's complex impedance. The system is solved analytically, which ensures high computational speed and enables the application of the algorithm in real-time operation. The results are aimed at the development of additional information subsystems within existing AMR/AMI systems.

Keywords: distribution network, transformer power supply parameters, parameter identification method.

Введение

В распределительных электрических сетях (РЭС) напряжением 0,4 кВ используются трансформаторы (Тихомиров, 1976), внутреннее комплексное сопротивление \dot{Z}_T которых включают системную часть \dot{Z}_C и составляющую самого трансформатора \dot{Z}'_T . При этом величина \dot{Z}_C определяется режимом работы высоковольтной части энергосистемы, а величина \dot{Z}'_T – паспортными данными используемого трансформатора. С течением времени указанные параметры изменяются из-за различных факторов (изменение режима энергосистемы, климатические условия и др. факторы). В настоящее время из-за отсутствия соответствующих приборов они недоступны для измерения и контроля. В то же время в условиях активного и широкого внедрения современных (традиционных) АСКУЭ в РЭС (Якушев, 2009; Еремина, 2015) количественные данные о текущих параметрах трансформатора дает возможность в их составе решить ряд актуальных и принципиально важных задач, таких как: оптимизация режимов работы РЭС (Киселев, Лепанов, 2018; Omorov, et al. 2016; Оморов, Кожокеева, 2011; Оморов, 2019; Omorov, Takyrbashev, et al. 2021) в условиях несимметрии токов и напряжений (Оморов, 2017; Косоухов, Васильев, Филиппов, 2014) диагностика критических состояний РЭС, включая идентификацию мест несанкционированных отборов (хищений) электроэнергии (НОЭ) (Оморов и др. 2018; Оморов, Такырбашев и др., 2018; Оморов, 2017; Стенников и др., 2024); мониторинг потерь электроэнергии в сетях (Железко, 2009). При этом оптимизация режимов работы сетей осуществляется путем симметрирования фазных нагрузок (Патент, Большанин, 2005; Патент, Наумов, Иванов и др., 2013; Патент, Самокиш, 2013), что дает возможность ограничить значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности, предельно допустимое значение которого не должно превышать 4% (ГОСТ 32144-2013, 2013). Экспериментально доказано, что при достижении величины этого коэффициента до 4% дополнительные потери мощности, относительно нормально допустимого уровня несимметрии, равного 2%, увеличиваются в 4 раза (Дед и др., 2013; Дед, Бирюков, Паршукова, 2014). А решение задачи идентификации координат НОЭ позволяет обнаружить несанкционированных потребителей электроэнергии в режиме реального времени, что дает возможность минимизировать коммерческие потери электроэнергии в РЭС. Таким образом, создание дополнительных информационных подсистем в составе традиционных АСКУЭ, предназначенных для решения указанных новых задач, позволяет снизить потери электроэнергии в сетях и повысить эффективность распределительных сетей и энергокомпаний. Здесь следует отметить, что текущие значения параметров трансформатора используются в качестве входных данных при функционировании указанных информационных подсистем.

Известные подходы (Шабад, 1981; Руководящие указания 1985). Для оценки внутреннего сопротивления трансформатора в недостаточной мере адаптированы для их применения в составе АСКУЭ в режиме реального времени.

В статье предлагается метод решения рассматриваемой задачи по данным головного трёхфазного счетчика электроэнергии АСКУЭ.

Постановка задачи. Рассматривается начальный участок с глухо заземлённой нейтралью четырехпроводной распределительной сети напряжением 0,4 кВ, включающий трансформатор. (рис.1).

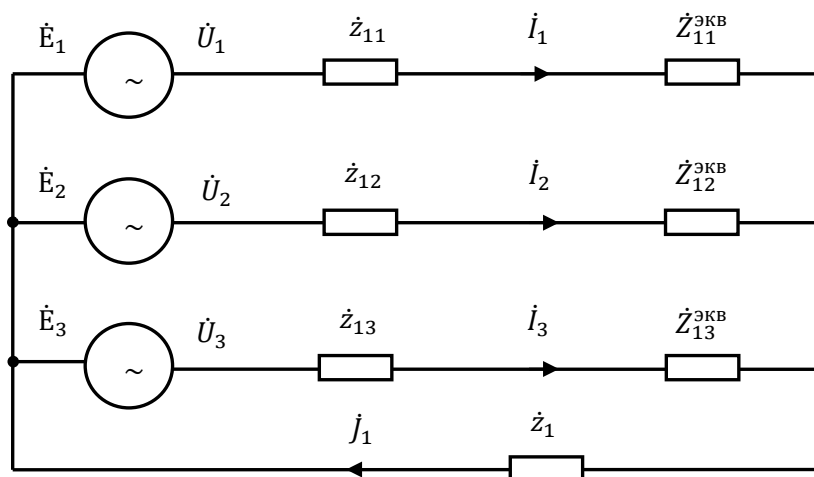


Рис.1 Расчетная схема начального участка РЭС

На рис.1 введены следующие обозначения: индексная переменная, значение которой соответствует определенной фазе (А, В, С), $k = \overline{1,3}$; \dot{E}_k - комплексная ЭДС k -ой фазы; \dot{I}_k - комплексный ток на входе k -ой фазы; \dot{J}_1 - комплексный ток на выходе нулевого провода; \dot{z}_{1k} , \dot{z}_1 - сопротивления межбонентских начальных участков фазных и нулевого проводов соответственно; $\dot{z}_{1k}^{\text{экв}}$ - эквивалентное сопротивление последующих участков k -ой фазы трехфазной сети.

Предполагается, что в дискретный момент времени $t = t_0$ в базу данных АСКУЭ поступают следующие данные:

- 1) действующие значения токов I_k и напряжений U_k на входах фаз, где $k = \overline{1,3}$;
- 2) коэффициенты мощностей $s_k = \cos \varphi_k$ между соответствующими токами I_k и напряжениями U_k .

Далее считается, что в базе данных АСКУЭ имеется действующее значение ЭДС источника питания $E = E_k$, которое определяется предварительно, где $k = \overline{1,3}$.

Как известно, функциональные связи между ЭДС \dot{E}_k источника питания и входными переменными сети определяются соотношениями:

$$\dot{E}_k = \dot{U}_k + \dot{U}_{kT}, \quad k = \overline{1,3}, \quad (1)$$

где \dot{U}_{kT} - комплексное напряжение на внутреннем сопротивлении \dot{z}_T трансформатора, определяемое выражением

$$\dot{z}_T = z_T e^{j\varphi_T} = r_T + jx_T, \quad (2)$$

а параметры z_T , φ_T - модуль и фаза сопротивления \dot{z}_T ; $j = \sqrt{-1}$ - мнимое число; r_T , x_T - активное и реактивное сопротивления трансформатора, определяемые по следующим формулам:

$$r_T = z_T \cos \varphi_T, \quad x_T = z_T \sin \varphi_T. \quad (3)$$

При этом

$$\dot{U}_{kT} = \dot{I}_k \dot{z}_T, \quad k = \overline{1,3}, \quad (4)$$

где \dot{I}_k - комплексный ток на входе k -той фазы сети.

Задача состоит в идентификации параметров z_T и φ_T , т.е искомого вектора параметров трансформатора $p = [z_T, \varphi_T]$ на основе данных, полученных с головного трехфазного счетчика электроэнергии АСКУЭ.

Решение задачи идентификации. Для этой цели предварительно производятся синхронизированные измерения необходимых данных в момент времени $t = t_0$, которые

перечислены выше, что записываются в базу данных АСКУЭ. Анализ соотношений (1) показывает, что действующие значения ЭДС E_k и входные напряжения сети U_k являются известными величинами. Предварительно можно вычислить напряжения U_{kT} на внутреннем сопротивлении трансформатора Z_T , для которых справедливы выражения

$$U_{kT} = I_k z_T, \quad k = \overline{1,3}.$$

Отсюда определяется один из неизвестных параметров z_T :

$$z_T = \frac{U_{kT}}{I_k}, \quad (5)$$

т.е. модуль комплексного сопротивления \dot{z}_T трансформатора. Для нахождения второго неизвестного параметра φ_T необходимо получить уравнение его идентификации. Для этой цели представим переменные, входящие в соотношения (1) и (4), в экспоненциальной форме (Демирчян, Нейман, Коровкин, 2009):

$$\begin{aligned} \dot{E}_k &= E_k e^{j(\beta_k + \eta_k)}, \\ \dot{U}_k &= U_k e^{j(\beta_k + \psi_k)}, \\ \dot{I}_k &= I_k e^{j(\beta_k + \alpha_k)}, \end{aligned} \quad (6)$$

где E_k, U_k, I_k - действующие значения соответствующих комплексных величин; η_k, ψ_k, α_k - отклонения фазовых сдвигов соответствующих электрических величин от их номинальных значений β_k , определяемых формулами:

$$\beta_k = 2(k - 1)\pi/3, \quad k = \overline{1,3}.$$

Теперь по данным синхронизированных измерений, полученным с головного трехфазного счетчика электроэнергии, можно определить общие комплексные сопротивления \dot{Z}_k каждой фазы на входе распределительной сети:

$$\dot{Z}_k = Z_k e^{j\varphi_k}, \quad k = \overline{1,3}, \quad (7)$$

где модули Z_k и фазы φ_k на основе исходных данных находятся по следующим выражениям:

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k}, \quad \varphi_k = \arccos(s_k).$$

Теперь с учетом $\dot{U}_k = \dot{I}_k \dot{Z}_k$, а также формул (2), (4) и (7) соотношения (1) можно представить в виде:

$$E_k e^{j(\beta_k + \eta_k)} = I_k e^{j(\beta_k + \alpha_k)} (Z_k e^{j\varphi_k} + z_T e^{j\varphi_T}). \quad (8)$$

Отсюда после несложных преобразований получаем комплексные соотношения

$$a_k e^{j\lambda_k} = Z_k e^{j\varphi_k} + z_T e^{j\varphi_T}, \quad k = \overline{1,3}, \quad (9)$$

где a_k, λ_k - параметры, которые определяются по формулам:

$$a_k = \frac{E_k}{I_k}, \quad (10)$$

$$\lambda_k = \eta_k - \alpha_k, \quad k = \overline{1,3}.$$

При этом параметры a_k являются известными величинами, а величины λ_k необходимо определить. Для определенности далее будем считать, что индексная переменная k обозначает одну из фаз трехфазной системы.

Теперь соотношение (9) представим в тригонометрической форме:

$$a_k (\cos \lambda_k + j \sin \lambda_k) - z_T (\cos \varphi_T + j \sin \varphi_T) = Z_k (\cos \varphi_k + j \sin \varphi_k).$$

Далее приравняв соответствующие вещественные и мнимые части левых и правых частей для идентификации неизвестных параметров φ_T и λ_k получаем два уравнения:

$$\begin{aligned} a_k \cos \lambda_k - z_T \cos \varphi_T &= Z_k \cos \varphi_k, \\ a_k \sin \lambda_k - z_T \sin \varphi_T &= Z_k \sin \varphi_k. \end{aligned} \quad (11)$$

Легко видеть, что соотношения (11) эквивалентны следующим равенствам:

$$(a_k \cos \lambda_k - z_T \cos \varphi_T)^2 + (a_k \sin \lambda_k - z_T \sin \varphi_T)^2 = Z_k^2, \quad (12)$$

$$\frac{a_k \sin \lambda_k - z_T \sin \varphi_T}{a_k \cos \lambda_k - z_T \cos \varphi_T} = \operatorname{tg} \varphi_k, \quad (13)$$

В результате несложных преобразований соотношения (12) получаем следующее выражение:

$$a_k^2 + z_T^2 - 2a_k z_T \cos(\lambda_k - \varphi_T) = Z_k^2,$$

Отсюда имеем равенство

$$\cos(\lambda_k - \varphi_T) = F_k, \quad (14)$$

где F_k – вещественное число, которая определяется по формуле:

$$F_k = \frac{a_k^2 + z_T^2 - Z_k^2}{2a_k z_T}.$$

Далее получаем решение уравнение (14):

$$\lambda_k - \varphi_T = C_k,$$

где $C_k = \arccos F_k$ – известное число.

Отсюда определяем параметр λ_k :

$$\lambda_k = \varphi_T + C_k.$$

Теперь подставляя выражение для λ_k в соотношение (13) получаем равенство

$$a_k \sin(\varphi_T + C_k) - z_T \sin \varphi_T = \operatorname{tg} \varphi_k [a_k \cos(\varphi_T + C_k) - z_T \cos \varphi_T].$$

Отсюда после несложных преобразований получаем следующее соотношение:

$$a_k [\sin \varphi_T \cos C_k + \cos \varphi_T \sin C_k] - z_T \sin \varphi_T = \operatorname{tg} \varphi_k [a_k (\cos \varphi_T \cos C_k - \sin \varphi_T \sin C_k)],$$

что эквивалентно равенству:

$$m_k \sin \varphi_T + g_k \cos \varphi_T = 0, \quad (15)$$

где коэффициенты m_k и g_k определяются по формулам:

$$\begin{aligned} m_k &= (a_k \cos C_k - z_T + \operatorname{tg} \varphi_k \sin C_k) \sin \varphi_T, \\ g_k &= (a_k \sin C_k - a_k \operatorname{tg} \varphi_k \cos C_k). \end{aligned} \quad (16)$$

Из соотношения (15) получаем уравнение:

$$\operatorname{tg} \varphi_T = \frac{-g_k}{m_k},$$

решение которого дает искомый параметр φ_T :

$$\varphi_T = \operatorname{arctg} \left(\frac{g_k}{m_k} \right). \quad (17)$$

Таким образом, на основе указанной выше вычислительной схемы определены компоненты искомого вектора параметров трансформатора $p = [z_T, \varphi_T]$.

В результате величины активного r_T и реактивного x_T сопротивлений трансформатора, входящих в выражение (2), определяются по формулам (3).

Полученные результаты позволяют сформулировать следующий обобщенный алгоритм идентификации параметров трансформатора:

1. Опрос головного счетчика электроэнергии АСКУЭ.
2. Запись исходных данных задачи идентификации в базу данных АСКУЭ: I_k, E_k, U_k и s_k .
3. Определение оценки величины напряжения U_{kT} и E_k .

4. Вычисление модуля z_T внутреннего сопротивления трансформатора на основе формулы (5).
5. Формирование уравнений идентификации (15) и вычисление их коэффициентов m_k и g_k по формулам (16) соответственно.
6. Решение уравнений идентификации (15) и определение параметра z_T по формуле (17).
7. Оценка численных значений активного r_T и реактивного x_T сопротивлений трансформатора по формуле (3).

Выводы. Разработан и детально обоснован вычислительный алгоритм идентификации параметров силового трансформатора распределительной сети напряжением 0,4 кВ, функционирующей в условиях реальной эксплуатации. Алгоритм базируется на данных, поступающих от головного счётчика электроэнергии, входящего в состав автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ). Предложенный подход позволяет осуществлять идентификацию непосредственно в процессе штатной работы системы, без необходимости проведения специальных измерительных экспериментов или отключения оборудования.

Теоретической основой разработанного алгоритма служат математические соотношения, описывающие функциональные и физические связи между искомыми параметрами трансформатора, а также напряжениями и токами, характеризующими электрическое состояние начального участка трёхфазной распределительной сети. Данные соотношения получены на основе строгого математического анализа схемы замещения трансформатора с учётом особенностей режимов работы распределительных сетей низкого напряжения. В результате математических преобразований получено уравнение идентификации искомых параметров, которое допускает аналитическое решение, что существенно упрощает его практическую реализацию и снижает вычислительную нагрузку на программные средства системы.

Предложенные научные и практические результаты ориентированы на создание новых дополнительных информационных подсистем в составе уже существующих и эксплуатируемых систем АСКУЭ. Внедрение таких подсистем направлено на повышение функциональности, точности и общей эффективности традиционных автоматизированных информационных систем, применяемых для автоматизации и цифровизации процессов энергопотребления, мониторинга и управления режимами работы распределительных электрических сетей. Тем самым обеспечивается дальнейшее развитие интеллектуальных систем учёта и управления энергопотреблением в соответствии с современными требованиями цифровой трансформации энергетической отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ 32144-2013*. (2013). Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: ФГУП «Стандартинформ».
2. Дед, А.В. и др. (2013). Дополнительные потери мощности в электрических сетях при несимметричной нагрузке. *Омский научный вестник*, 1(117), 157–158.

3. Дед, А.В., Бирюков, С.В., Паршукова А.В. (2014). Оценка дополнительных потерь мощности в электрических сетях 0,38 кВ на основе экспериментальных данных. Успехи современного естествознания, № 11, 64-67.
4. Демирчян, К.С., Нейман, Л.Р., Коровкин, А.В. (2009). Теоретические основы электротехники, Т.1, СПб.: Питер, 512.
5. Еремина, М.А. (2015). Развитие автоматических систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ). Молодой ученый, №3, 135-138.
6. Железко, Ю.С. (2019). Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии, М: ЭНАС, 456.
7. Киселев, М.Г., Лепанов, М.Г. (2018). Симметрирование токов в сетях электроснабжения силовым электрическим регулятором неактивной мощности. Электротехника, №11, 63-70.
8. Косоухов, Ф.Д., Васильев, Н.В., Филиппов, А.О. (2014). Снижение потерь от несимметрии токов и повышение качества электрической энергии в сетях 0,38 кВ с коммунально-бытовыми нагрузками. Электротехника, №6, 8-12.
9. Оморов, Т.Т. (2017). К проблеме локализации несанкционированного отбора электроэнергии в распределительных сетях в составе АСКУЭ. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, № 7, 27-32.
10. Оморов, Т.Т. (2019). Синтез цифрового регулятора для симметрирования распределительной электрической сети. Приборы и системы: Управление, контроль, диагностика, 11, 51-56.
11. Оморов, Т.Т., Кожекова, Г.А. (2011). Синтез системы управления синхронным генератором. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, № 1, 5-9.
12. Оморов, Т.Т., Такырбашев, Б.К., Осмонова, Р.Ч. (2017). К проблеме моделирования несимметричных распределительных электрических сетей в составе АСКУЭ. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, Т.17, №1, 21-28.
13. Оморов, Т.Т., Такырбашев, Б.К., Осмонова, Р.Ч., Койбагаров, Т.Ж. (2018). Идентификация утечек тока в распределительных сетях по данным АСКУЭ. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия энергетика, №2, 48-54.
14. Руководящая указание по релейной защите. (1985). Вып.13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110-500кВ: Расчеты, М.: Энергоатомиздат, 96.
15. Стенников, В.А., Голуб, И.И., Болоев, Е.В. (2024). Использование измерений интеллектуальных счетчиков для установления виновных в неучтенном потреблении электроэнергии. Энергетик, №4, 3-13.
16. Тихомиров, П. М. (1976). Расчет трансформаторов, М: Энергия, 544.
17. Шабад, М.А. (1981). Защита трансформаторов распределительных сетей, – Л.: Энергоиздат, 136.
18. Якушев, К.В. (2009). Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии для розничного рынка. Информатизация и системы управления в промышленности, № 3(23), 9-13.
19. Omorov, T. T., Takyrbashev, B. K., Osmonova, R. Ch. (2016). Synthesis of the managing director of the subsystem for optimization of the operating mode of the distributive electric network. Engineering Studies, № 3, С 606.

Патенты

1. Патент № 2249286 (РФ). Большанин, Г.А.. Способ автоматизированного активного контроля уровня несимметрии напряжений и токов // Бюлл. №9. 27.03.2005.
2. Патент № 2490768 (РФ). Наумов, И.В., Иванов, Д.А., Подъячих, С.В. Гантулга Дамдинсурэн. Симметрирующее устройство для трехфазных сетей с нулевым проводом // Бюлл. № 23. 20.08.2013.
3. Патент № 2548656 (РФ). Самокиш, В.В. Способ симметрирования фазных токов трехфазной четырехпроводной линии и устройство для его осуществления // Бюлл. №11. 27.12.2013.