

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК: 620.9: 658.011.56

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В СОСТАВЕ АСКУЭ

Качикеева Айжамал Бектуровна, аспирант, Национальная академия наук Кыргызской Республики, г.Бишкек, e-mail: aijamal.bekturova@gmail.com

Иманакунова Женишкуль Сартбаевна, к.т.н., доцент, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: j.imanakunova@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4790-33365.

Осмонова Римма Чынарбековна, Национальная академия наук Кыргызской Республики, г.Бишкек, e-mail: r.osmonova@mail.ru

Оморов Туратбек Турсунбекович, д.т.н., член-корреспондент Национальной академии наук Кыргызской Республики, г.Бишкек, пр. Чуй, 66а, e-mail: omorovtt@mail.ru, ORCIDID 0000-0002-5902-0220

Аннотация. При эксплуатации автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), которые в настоящее время активно внедряются для автоматизации и цифровизации информационных процессов в распределительных электрических сетях (РЭС), возникает необходимость оценки комплексных токов и напряжений. В статье предлагается метод идентификации математической модели трехфазной РЭС, функционирующей в условиях несимметрии токов и напряжения, что дает возможность мониторинг ее электрического состояния в режиме реального времени. Для этой цели используются исходные данные АСКУЭ, полученные по каналам связи со счетчиков электроэнергии, установленных у абонентов сети и в трансформаторной подстанции. Особенностью используемого метода является то, что в отличие от существующих подходов к решению рассматриваемой задачи в нем используются более простые вычислительные схемы ее решения.

Ключевые слова: распределительная сеть, математическая модель, идентификация комплексных токов и напряжений.

IDENTIFICATION OF THE ELECTRICAL STATE OF THE DISTRIBUTION NETWORK AS A COMPOSITION OF AMR

Kachikeeva Aizhamal Bekturova, postgraduate student, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: aijamal.bekturova@gmail.com

Imanakunova Zhenishkul Sartbaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Aitmatov Ave. 66, e-mail: j.imanakunova@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4790-33365.

Osmonova Rimma Chynarbekovna, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: r.osmonova@mail.ru

Omorov Turatbek Tursunbekovich, Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Chui Ave., 66a, e-mail: omorovtt@mail.ru, ORCIDID 0000-0002-5902-0220

Annotation. When operating automated systems for monitoring and metering electricity (ASKUE), which are currently being actively implemented for the automation and digitalization of information processes in distribution electrical networks (RES), it becomes necessary to assess complex currents and voltages. The article proposes a method for identifying a mathematical model of a three-phase RES operating under conditions of asymmetry of currents and voltages, which makes it possible to monitor its electrical state in real time. For this purpose, the initial data of the AMR are used, obtained via communication channels from the electricity meters installed at the network subscribers and in the transformer substation. A feature of the method used is that, in contrast to the existing approaches to solving the problem under consideration, it uses simpler computational schemes for its solution.

Key words: distribution network, mathematical model, identification of complex currents and voltages.

Введение. Автоматизация и цифровизация процессов в распределительных электрических сетях (РЭС) напряжением 0,4 кВ в настоящее время осуществляется путем широкого внедрения автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) [1]. Как известно, в составе традиционных АСКУЭ, в основном, выполняются функции коммерческого учета электроэнергии. В то время ряд важных функциональных задач, таких как задачи оптимизации режимов работы [2-6] и диагностики [7-9] состояния магистральной линии распределительной сети, в составе этих информационных систем не решаются.

Анализ показывает, что решение указанных функциональных задач представляет определенные трудности, связанные с несимметрией токов и напряжений [10-13], а также наличием внешних возмущающих факторов, таких как несанкционированные отборы (хищение) электроэнергии [14-15]. Поэтому имеется необходимость разработки новых математических моделей, описывающих электрические состояния несимметричных РЭС по данным счетчиков электроэнергии АСКУЭ в режиме реального времени. Известные в настоящее время подходы и методы идентификации моделей распределительных сетей [16-18] при указанных условиях недостаточно адаптированы к применению их в составе АСКУЭ.

В статье предлагается метод идентификации математической модели несимметричной РЭС, в котором дается дальнейшее развитие подхода, изложенного в работе [19].

Постановка задачи. В качестве объекта исследования рассматривается четырехпроводная РЭС напряжением 0,4 кВ, расчетная схема которой показана на рис. 1.

Обозначения имеют следующий смысл: k, ν - индексные переменные, обозначающие соответственно номера фаз А, В, С ($k = \overline{1,3}$) и электрических контуров сети ($\nu = \overline{1,n}$); \tilde{E}_{0k} - ЭДС - ой фазы; $\tilde{U}_{0k}, \tilde{I}_{0k} = \tilde{i}_{1k}$ - мгновенные синусоидальные напряжения и токи соответственно на входах соответствующих фаз; $\tilde{I}_{\nu k}, \tilde{U}_{\nu k}, Z_{\nu k}$ - синусоидальные мгновенные ток, напряжение и сопротивление нагрузки (электроприемника) с координатой (ν, k) ; $\tilde{i}_{\nu k}, z_{\nu k}$ - мгновенный ток и комплексное сопротивление ν -го межабонентского участка (МАУ) k -ой фазы; $\tilde{u}_{\nu k}, \tilde{u}_{\nu}$ - напряжения соответственно на ν -ом МАУ k -й фазы и нейтрального провода; \tilde{J}_{ν}, z_{ν} - мгновенный ток и комплексное сопротивление ν -го участка нейтрального провода.

Далее предполагается, что выполняются следующие условия:

- 1) трехфазная сеть является линейной системой;
- 2) фазные и нейтральные провода сети имеют одинаковые сечения, т.е. межабонентские сопротивления $z_{\nu k} = z_{\nu}$ ($k = \overline{1,3}, \nu = \overline{1,n}$);
- 3) в системе используются технические средства для подавления высших гармонических составляющих токов и напряжений в сети;
- 4) со счетчиков электроэнергии ($C_{\nu k}$), установленных у абонентов сети и в трансформаторной подстанции, в базу данных АСКУЭ по каналам связи в дискретные моменты времени $t \in [t_{\xi}, t_{\xi+1}]$ с шагом дискретизации $\Delta t_{\xi} = t_{\xi+1} - t_{\xi}$ ($\xi = 1, 2, \dots$) поступают следующие данные:

- действующие значения токов $I_{\nu k}$ и напряжений $U_{\nu k}$ на нагрузках сети;
- коэффициенты мощности $c_{\nu k} = \cos \varphi_{\nu k}$, определяемые фазовыми сдвигами $\varphi_{\nu k}$ между соответствующими напряжениями $\tilde{U}_{\nu k}$ и токами $\tilde{I}_{\nu k}$ ($k = \overline{1,3}, \nu = \overline{0,n}$).

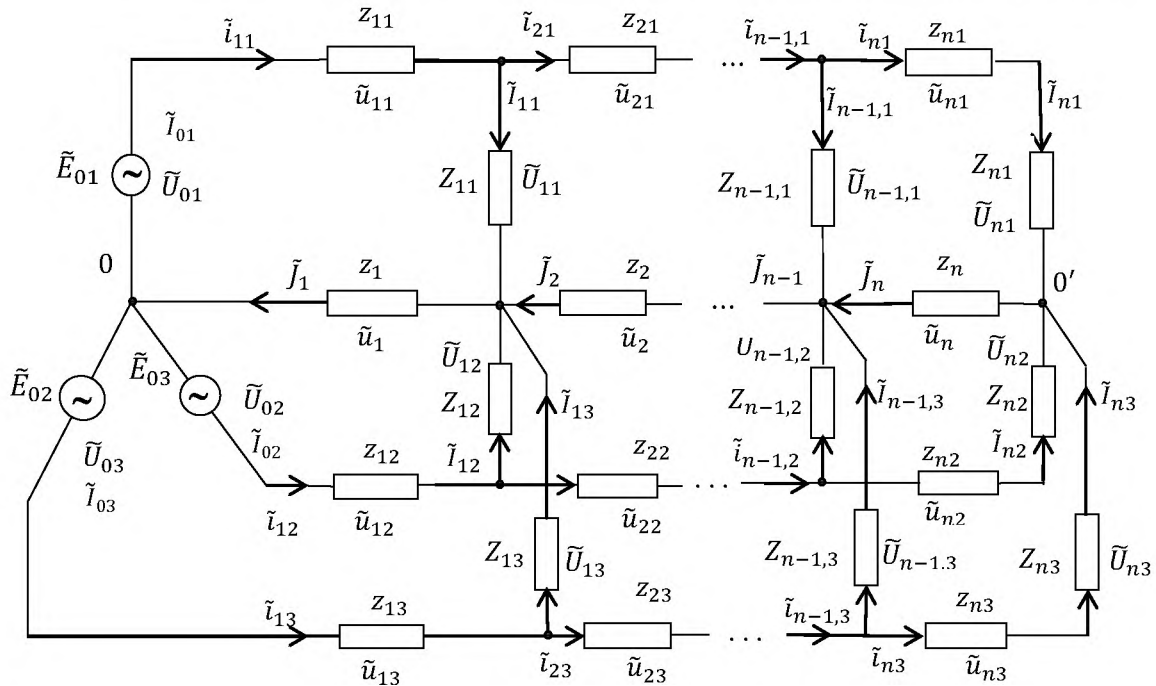


Рис.1. Расчетная схема трехфазной сети

Как известно, мгновенные синусоидальные переменные трехфазной сети ($\tilde{I}_{vk}, \tilde{U}_{vk}, i_{vk}, j_v$) и сопротивления на нагрузках (Z_{vk}) в установившемся режиме можно представить в комплексной форме [20]:

$$\tilde{I}_{vk} = I_{vk} e^{j(\beta_k + \alpha_{vk})}, \tag{1}$$

$$\tilde{U}_{vk} = U_{vk} e^{j(\beta_k + \psi_{vk})},$$

$$Z_{vk} = \bar{Z}_{vk} e^{j\varphi_{vk}}, \quad v = \overline{0, n}, \quad k = \overline{1, 3},$$

$$i_{vk} = l_{vk} e^{j(\beta_k + \tilde{\alpha}_{vk})}, \tag{2}$$

$$j_v = i_{v1} + i_{v2} + i_{v3}, \quad v = \overline{1, n},$$

где $I_{vk}, U_{vk}, \bar{Z}_{vk}, l_{vk}$ – модули комплексных переменных $\tilde{I}_{vk}, \tilde{U}_{vk}, Z_{vk}, i_{vk}$ соответственно; $\alpha_{vk}, \psi_{vk}, \tilde{\alpha}_{vk}$ – приращения фазовых сдвигов соответствующих токов и напряжений относительно их базовых значений β_k , обусловленные несимметрией токов и напряжений в сети. При этом

$$\varphi_{vk} = \psi_{vk} - \alpha_{vk}, \quad \beta_k = 2(k - 1)\pi/3.$$

Отметим, что действующие значения токов I_{vk} , напряжений U_{vk} , коэффициентов мощностей $c_{vk} = \cos\varphi_{vk}$ и модули сопротивлений \bar{Z}_{vk} являются известными величинами, которые определяются по данным счетчиков электроэнергии АСКУЭ. Таким образом, из выражений (1) и (2) видно, что задача построения математической модели трехфазной сети в комплексной форме сводится к идентификации приращений фазовых сдвигов α_{vk} и $\tilde{\alpha}_{vk}$, а также действующих значений (модулей) l_{vk} межабонентских токов i_{vk} ($v = \overline{1, n}, k = \overline{1, 3}$).

Задача заключается в том, чтобы на основе данных АСКУЭ, полученных со счетчиков электроэнергии, рассчитать комплексных переменных $\tilde{I}_{vk}, \tilde{U}_{vk}, Z_{vk}, i_{vk}$ несимметричной трехфазной сети в режиме реального времени.

Решение задачи идентификации. Как известно, межабонентские токи i_{vk} и токи \tilde{I}_{vk} на нагрузках абонентов сети в узлах k -ой фазы удовлетворяют следующим соотношениям:

$$i_{v+1,k} = i_{vk} - \tilde{I}_{vk}, \quad v = \overline{1, n-1}, \quad k = \overline{1, 3}. \tag{3}$$

Представим их в экспоненциальной форме:

$$l_{v+1,k} e^{j(\beta_k + \tilde{\alpha}_{v+1,k})} = l_{vk} e^{j(\beta_k + \tilde{\alpha}_{vk})} - I_{vk} e^{j(\beta_k + \alpha_{vk})}, \quad v = \overline{1, n-1}, \quad k = \overline{1, 3}. \tag{4}$$

В работе [А] показано, что величины $l_{v+1,k}$ определяются следующими формалами

$$l_{v+1,k} = \sqrt{l_{vk}^2 + I_{vk}^2 - 2l_{vk}I_{vk}\cos\lambda_{vk}}, \quad k = \overline{1, 3}.$$

При этом параметры λ_{vk} являются известными величинами, которые определяются по формулам:

$$\lambda_{vk} = \alpha_{vk} - \tilde{\alpha}_{vk}, \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}. \tag{5}$$

После несложных преобразований с учетом (5) соотношение (4) можно представить в виде

$$e^{j\tilde{\alpha}_{v+1,k}} = F_{vk} e^{j\alpha_{vk}}, \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}, \quad (6)$$

где F_{vk} – комплексные величины, определяемые формулами

$$F_{vk} = \frac{l_{vk} e^{-j\lambda_{vk}} - l_{vk}}{l_{v+1,k}} = r_{vk} + jd_{vk}, \quad (7)$$

где r_{vk}, d_{vk} – вещенные и мнимые части F_{vk} , определяемые выражениями

$$r_{vk} = \frac{l_{vk} \cos \varphi_{vk} - l_{vk}}{l_{v+1,k}},$$

$$d_{vk} = -\frac{l_{vk} \sin \varphi_{vk}}{l_{v+1,k}}.$$

Теперь для нахождения неизвестных фазовых сдвигов $\tilde{\alpha}_{v+1,k}$ и α_{vk} соотношения (6) с учетом (7) представим в тригонометрической форме:

$$\cos \tilde{\alpha}_{v+1,k} + j \sin \tilde{\alpha}_{v+1,k} = (r_{vk} + jd_{vk})(\cos \alpha_{vk} + j \sin \alpha_{vk}), \quad v = \overline{1, n-1}, \quad k = \overline{1, 3}.$$

После несложных преобразований полученные равенства запишутся в виде

$$\cos \tilde{\alpha}_{v+1,k} + j \sin \tilde{\alpha}_{v+1,k} = r_{vk} \cos \alpha_{vk} - d_{vk} \sin \alpha_{vk} + j(d_{vk} \cos \alpha_{vk} + r_{vk} \sin \alpha_{vk}),$$

$$v = \overline{1, n-1}, \quad k = \overline{1, 3}.$$

Отсюда приравнивая их вещественные и мнимые части соответственно получаем следующие системы уравнений:

$$\cos \tilde{\alpha}_{v+1,k} = r_{vk} \cos \alpha_{vk} - d_{vk} \sin \alpha_{vk},$$

$$\sin \tilde{\alpha}_{v+1,k} = d_{vk} \cos \alpha_{vk} + r_{vk} \sin \alpha_{vk}. \quad (8)$$

Для решения системы (8) можно использовать известные численные алгоритмы, в частности, метод, изложенный в [19].

Анализ показывает, что нет необходимости решать всю совокупность систем уравнений (8). Достаточно решение только одной системы для начального участка трехфазной сети, имеющего координату $(1, k)$, т.е. для $v = 1$ и $k = \overline{1, 3}$. При этом из набора неизвестных составляем вектор $\alpha_k = [\alpha_{1k}, \tilde{\alpha}_{2k}]$. Согласно указанному выше алгоритму вначале на основе системы соотношений (8) составляются ошибки (невязки) идентификации $E_1(\alpha_k)$ и $E_2(\alpha_k)$:

$$E_1(\alpha_k) = \cos \tilde{\alpha}_{2k} - r_{1k} \cos \alpha_{1k} + d_{1k} \sin \alpha_{1k},$$

$$E_2(\alpha_k) = \sin \tilde{\alpha}_{2k} - d_{1k} \cos \alpha_{1k} - r_{1k} \sin \alpha_{1k}, \quad k = \overline{1, 3}.$$

Далее для решения системы уравнений (8) в рассмотрение вводится квадратичная критериальная (штрафная) функция:

$$E(\alpha_k) = E_1^2(\alpha_k) + E_2^2(\alpha_k). \quad (9)$$

В результате задача определения вектора $\alpha_k = [\alpha_{1k}, \tilde{\alpha}_{2k}]$, обеспечивающего минимум штрафной функции $E(\alpha_k)$, сводится к решению следующей экстремальной задачи:

$$\min_{\alpha_k \in R^2} E(\alpha_k) = E(\alpha_k^*), \quad (10)$$

где R^2 – двумерное арифметическое пространство; $\alpha_k^* = [\alpha_{1k}^*, \tilde{\alpha}_{2k}^*]$ – искомый вектор-параметр.

Для решения экстремальной задачи (10) используется следующее критериальное условие [19]:

$$\int_0^t E \frac{dE}{dt} d\tau < 0, \quad (11)$$

выполнение которого обеспечивает минимизацию штрафной функции $E(\alpha_k)$ во времени t , где t – независимая переменная, которая характеризует процесс идентификации. Поиск искомых параметров на основе соотношений (11) осуществляется посредством уравнений адаптации компонентов вектора $\alpha_k = [\alpha_{1k}, \tilde{\alpha}_{2k}]$ во времени t . Для получения этих уравнений вначале определяется производная штрафной функции:

$$\frac{dE}{dt} = 2E_1 \frac{dE_1}{dt} + 2E_2 \frac{dE_2}{dt}. \quad (12)$$

Производные $dE_1/dt, dE_2/dt$ на основе выражений (8) определяются по следующим формулам:

$$\frac{dE_1}{dt} = -\sin \tilde{\alpha}_{2k} \frac{d\tilde{\alpha}_{2k}}{dt} + (r_{1k} \sin \alpha_{1k} + d_{1k} \cos \alpha_{1k}) \frac{d\alpha_{1k}}{dt},$$

$$\frac{dE_2}{dt} = \cos \tilde{\alpha}_{2k} \frac{d\tilde{\alpha}_{2k}}{dt} + (d_{1k} \sin \alpha_{1k} - r_{1k} \cos \alpha_{1k}) \frac{d\alpha_{1k}}{dt}, \quad k = \overline{1, 3}.$$

Подставляя полученные производные в выражение для dE/dt , определяемое формулой (12), получаем

$$\frac{dE}{dt} = 2(E_2 \cos \tilde{\alpha}_{2k} - E_1 \sin \tilde{\alpha}_{2k}) \frac{d\tilde{\alpha}_{2k}}{dt} + 2[E_1(r_{1k} \sin \alpha_{1k} + d_{1k} \cos \alpha_{1k}) + E_2(d_{1k} \sin \alpha_{1k} - r_{1k} \cos \alpha_{1k})] \frac{d\alpha_{1k}}{dt}.$$

Теперь подставляя выражение для dE/dt в соотношение (12) на основе методики, изложенной в [19], получаем следующие уравнения адаптации искомого вектор-параметра $\alpha_k = [\alpha_{1k}, \tilde{\alpha}_{2k}]$:

$$\begin{aligned} \frac{d\alpha_{1k}}{dt} &= \gamma_1 f_1(\alpha_k), \\ \frac{d\tilde{\alpha}_{2k}}{dt} &= \gamma_2 f_2(\alpha_k), \quad k = \overline{1,3}, \\ \alpha_k^0 &= [\alpha_{1k}^0, \tilde{\alpha}_{2k}^0], \end{aligned} \quad (13)$$

где α_k^0 – значение вектор – параметра в начальный момент времени $t_0 = 0$; $f_1(\alpha_k)$, $f_2(\alpha_k)$ – функции, определяемые по формулам

$$\begin{aligned} f_1(\alpha_k) &= E_1(r_{1k} \sin \alpha_{1k} + d_{1k} \cos \alpha_{1k}) + E_2(d_{1k} \sin \alpha_{1k} - r_{1k} \cos \alpha_{1k}), \\ f_2(\alpha_k) &= E_2 \cos \tilde{\alpha}_{2k} - E_1 \sin \tilde{\alpha}_{2k}, \quad k = \overline{1,3}. \end{aligned}$$

где γ_1 , γ_2 – вещественные отрицательные числа, т.е. $\gamma_1 < 0$, $\gamma_2 < 0$.

Далее определяем установившиеся решения системы дифференциальных уравнений (13):

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \alpha_{1k} = \alpha_{1k}^*, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\alpha}_{2k} = \tilde{\alpha}_{2k}^*, \quad k = \overline{1,3}.$$

При достаточно малом значении $E(\alpha_k^*)$, близком к нулю, компоненты найденного вектора $\alpha_k^* = [\alpha_{1k}^*, \tilde{\alpha}_{2k}^*]$ являются оценками искомого разностей фазовых сдвигов, т.е. $\alpha_{1k} = \alpha_{1k}^*$, $\tilde{\alpha}_{2k} = \tilde{\alpha}_{2k}^*$.

В результате будут определены следующие токи и напряжения в комплексной форме:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{1k} &= I_{1k} e^{j(\beta_k + \alpha_{1k}^*)}, \\ \dot{i}_{1k} &= i_{1k} e^{j(\beta_k + \tilde{\alpha}_{2k}^*)}, \\ \dot{U}_{1k} &= U_{1k} e^{j(\beta_k + \psi_{1k}^*)}, \\ \dot{i}_{2k} &= i_{2k} e^{j(\beta_k + \tilde{\alpha}_{2k}^*)}, \quad k = \overline{1,3}. \end{aligned} \quad (14)$$

Далее используя найденные комплексные переменные, описываемые формулами (14), определяем остальные токи и напряжения начального участка трехфазной сети (рис. 1):

$$\begin{aligned} \dot{J}_1 &= \dot{i}_{11} + \dot{i}_{12} + \dot{i}_{13}, \\ \dot{u}_1 &= \dot{J}_1 z_1, \\ \dot{u}_{1k} &= \dot{i}_{1k} z_1, \\ \dot{U}_{0k} &= \dot{u}_{1k} + \dot{u}_1 + \dot{U}_{1k}, \quad k = \overline{1,3}. \end{aligned}$$

Продолжая указанную вычислительную процедуру можно идентифицировать все комплексные токи и напряжения, описывающие электрические состояния участков распределительной сети, имеющих координаты $(2, k)$, $(3, k)$, ..., (n, k) .

Выводы. Разработан метод идентификации модели распределительной электрической сети, функционирующей в условиях несимметрии токов и напряжений. При этом переменные модели (токи, напряжения) представляются в комплексной форме, а в качестве исходной информации используются данные АСКУЭ. Проблема идентификации модели сводится к определению фазовых сдвигов ее переменных, определяющих электрическое состояние трехфазной сети. Получены математические соотношения, описывающие функциональные связи между переменными состояниями и параметрами трехфазной сети, а также алгебраические уравнения относительно искомого фазовых сдвигов. Для их нахождения вводится и минимизируется специально построенная критериальная функция на основе решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Полученные результаты можно использовать как основу для решения оптимизационных и диагностических задач, направленных на повышение эффективности функционирования распределительных сетей папряжением 0,4 кВ, а также на улучшение технико-экономических показателей традиционных АСКУЭ и распределительных компаний.

Литература

1. Якушев, К.В. Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии для розничного рынка // Информатизация и системы управления в промышленности. – 2009. – №3. – С. 9-13.
2. М.Г.Киселев, М.Г.Лепанов Симметрирование токов в сетях электроснабжения силовым электрическим регулятором неактивной мощности // Электротехника. – 2018. – №11. – С.63-70.

3. Т.Т. Оморов Симметрирование распределенной электрической сети методом цифрового регулирования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т.19. №3. С.194-200.
4. Пат. № 2548656 (РФ). Способ симметрирования фазных токов трехфазной четырехпроводной линии и устройство для его осуществления/ В.В. Самокиш. – Бюл. №11. 27.12.2013.
5. Пат. № 2249286 (РФ). Способ автоматизированного активного контроля уровня несимметрии напряжений и токов / Г.А. Большанин. – Бюл. №9. 27.03.2005.
6. А.М.Ершов, О.В.Филатов., А.В.Молоток Система защиты электрической сети напряжением 380В от обрывов воздушной линии// Электрический станции. – 2016. – №5. – С.28-33.
7. А.Н.Клочков, Устройство для обнаружения трехфазных сетей с обрывом фазного провода // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. – 2011. – № 1. – С. 221-223.
8. Omorov T., Koibagarov T., Zhanybaev T., Takyrbashev B., Boronin A. For the construction of subsystem for power line diagnostic states of distribution networks as a part of AMRCS // E3S Web of Conference science. 2020.
9. Б.К.Такырбашев, Р.Ч.Осмонова, Т.Д.Койбагаров Идентификация утечек тока в распределительных сетях по данным АСКУЭ // Вестник ЮУрГУ. Серия Энергетика. 2018. Т.18. №2. С.48-54.
10. О.И.Пономаренко, И.Х.Холидинов Влияние несимметричных режимов на потери мощности в электрических сетях распределенных систем электроснабжения// Энергетик. – 2015. – №12. – С.6-8.
11. М.А.Авербух, Е.В.Жилин О потерях электроэнергии в системах электроснабжения индивидуального жилищного строительства // Энергетик. –2016. – №6. – С. 54-56.
12. Ф.Д.Косоухов, Н.В.Васильев, А.О.Филиппов Снижение потерь от несимметрии токов и повышение качества электрической энергии в сетях 0,38 кВ с коммунально-бытовыми нагрузками// Электротехника. – 2014. – №6. – С. 8-12.
13. А.А.Сапронов, С.Л.Кужеков, В.Г.Тынянский Оперативное выявление неконтролируемого потребления электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1 кВ // Изв.вузов. Электромеханика. –2004. – №1. – С.55-58.
14. Т.Т.Оморов, Б.К.Такырбашев, Р.Ч.Осмонова, Т.Ж. Койбагаров Идентификация координаты несанкционированного отбора электроэнергии в распределительной сети в составе АСКУЭ // Контроль. Диагностика. 2019. № 1. С.50-55.
15. С.В.Кочергин, А.В.Кобелев, Н.А.Хребтов [и др.] Моделирование сельских распределительных электрических сетей 10/0,4 кВ // Fractalsimulation. – 2013. – №1. – С.5-13.
16. И.К.Будникова, Е.С.Белашова Компьютерное моделирование параметров распределительной электрической сети //Известие высших учебных заведений.Проблемы энергетики.2014. №9/10.- С.75-81.
17. Е.Г.Зеленский, Ю.Г.Кононов, И.И.Левченко Идентификация параметров распределительных сетей по синхронизированным измерениям токов и напряжений// Электротехника. – 2016. – №7. – С.3-8.
18. А.С.Степанов, С.А.Степанов, С.С.Костюкова Идентификация параметров моделей элементов электрических сетей на основе теоремы Теллегена// Электротехника. – 2016. – №7. – С. 8-11.
19. Т.Т.Оморов, Б.К.Такырбашев, Р.Ч. Осмонова К проблеме математического моделирования трехфазной несимметричной распределительной сети // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №1. С. 93-102.
20. К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, А.В.Коровкин. Теоретические основы электротехники / – СПб.: Питер, 2009. – Т. 1. – 512 с.

THE LITERATURE

1. K.V. Yakushev Automated system of commercial metering of electricity for the retail market // Informatization and control systems in industry. - 2009. - No. 3. -WITH. 9-13.
2. M.G. Kiselev, M.G. Lapanov Balancing currents in power supply networks with a power electric regulator of inactive power. - 2018. - No. 11. - S.63-70.
3. Т.Т. Оморов Balancing a distributed electrical network using the digital control method // Mechatronics, automation, control. 2018.T.19. No. 3.P.194-200
4. Pat. No. 2548656 (RF). Method of balancing the phase currents of a three-phase four-wire line and a device for its implementation [Text] / V.V. Samokish. - Bul. No. 11. 12/27/2013.
5. Pat. No. 2249286 (RF). Method of automated active control of voltage and current asymmetry level. Bolshaniin. - Bul. No. 9. March 27, 2005.
6. A.M. Ershov., O.V. Filatov, A.V. Hammer System of protection of an electric network with a voltage of

- 380V from breaks in an overhead line // Electric stations. - 2016. - No. 5. - S.28-33.
8. Omorov T., Koibagarov T., Zhanybaev T., Takyrbashev B., Boronin A. For the construction of subsystem for power line diagnostic states of distribution networks as a part of AMRCS // E3S Web of Conference science. 2020.
 9. B.K., Takyrbashev, R.Ch.Osmonova, T.Zh.Koibagarov Identification of current leaks in distribution networks according to ASKUE data // Bulletin of SUSU. Energy series. 2018.Vol. 18. No. 2. S.48-54.
 10. O.I. Ponomarenko, I.Kh. Kholiddinov Influence of asymmetric modes on power losses in electrical networks of distributed power supply systems // Energetik. - 2015. - No. 12. - P.6-8.
 11. MA Averbukh, EV Zhilin On the loss of electricity in power supply systems for individual housing construction // Energetik. -2016. - No. 6. - S. 54-56.
 12. F.D. Kosoukhov, N.V. Vasiliev, A.O. Filippov Reducing losses from unbalanced currents and improving the quality of electrical energy in 0.38 kV networks with household loads // Elektrotehnika. - 2014. - No. 6. - S. 8-12.
 13. A.A Saprnov, S.L Kuzhekov, V.G Tynyansky Rapid detection of uncontrolled consumption of electricity in electrical networks with voltage up to 1 kV // Izv.universities. Electromechanics. -2004. - No. 1. - S.55-58.
 14. T.T.Omorov, B.K.Takyrbashev, R.Ch.Osmonova, T.Zh.Koibagarov. Identification of coordinates of unauthorized selection of electricity in the distribution network as a part of ASKUE // Control. Diagnostics. 2019. No. 1. P.50-55.
 15. S.V.Kochergin, A.V. Kobelev, N.A. Khrebtov [and others] Modeling of rural distribution electric networks 10 / 0.4 kV // Fractalsimulation. - 2013. - No. 1. - C.5-13.
 16. I.K.Budnikova, E.S.Belashova Computer modeling of the parameters of the electrical distribution network // Bulletin of higher educational institutions. Problems of energy. 2014. No. 9 / 10.-P.75-81.
 17. E.G.Zelensky, Yu.G.Kononov, I.I.Levchenko Identification of parameters of distribution networks by synchronized measurements of currents and voltages // Elektrotehnika. - 2016. - No. 7. - P.3-8.
 18. A.S.Stepanov, S.A.Stepanov, S.S.Kostyukova Identification of parameters of models of elements of electrical networks on the basis of Tellegen's theorem // Electrical engineering. - 2016. - No. 7. - S. 8-11.
 19. T.T.Omorov, B.K.Takyrbashev, R.Ch. Osmonova On the problem of mathematical modeling of a three-phase asymmetric distribution network // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavod. Energy problems. 2020.Vol. 22.No. 1. S. 93-102.
 20. K.S. Demirchyan, L.R. Neiman, A.V. Korovkin. Theoretical foundations of electrical engineering / - SPb .: Peter, 2009. - T. 1. - 512 p.