

Контроль. Диагностика

Научно-технический журнал

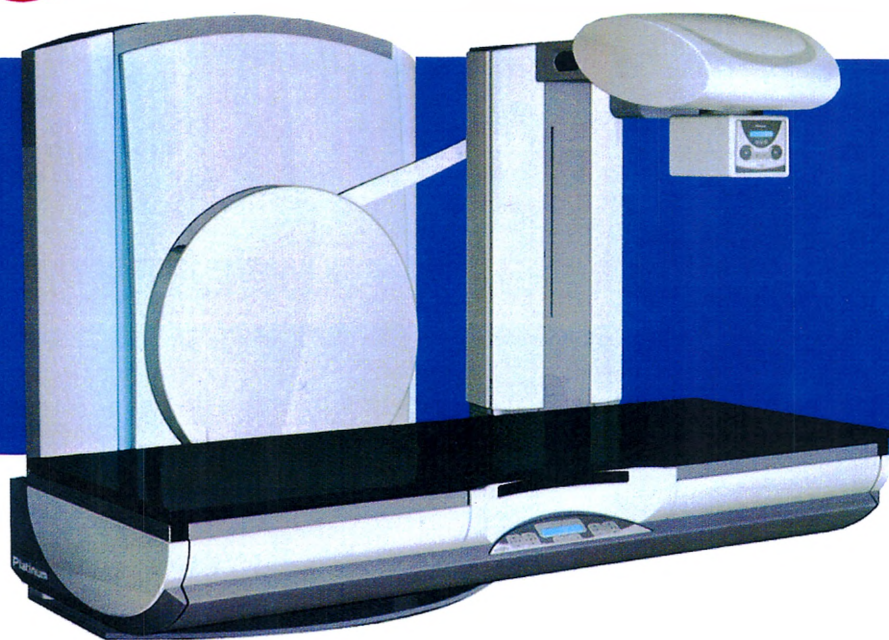
№5 (май) 2017



НИИИИ МПО "СПЕКТР"
PII MSIA "SPECTRUM"

**Универсальный телеуправляемый
рентгенодиагностический комплекс**

КРД-СМ 50/125-1



Комплекс представляет собой одно многофункциональное рабочее место, позволяющее проводить все виды рентгенологических исследований при любом (от -90° до $+90^\circ$) положении пациента.

Плоский крупноформатный детектор размером 43×43 см позволяет проводить непрерывную и импульсную рентгеноскопию, одиночные и серийные снимки высокого разрешения в цифровом формате. Значительные величины перемещения деки (продольного, поперечного и по высоте от 48 см) обеспечивают комфортную работу.

Углы и скорости томографии могут быть выбраны в широком диапазоне, как и автоматическая сшивка нескольких изображений и субтракционная ангиография.



СПЕКТРАП
SPECTRAP

119048, Россия, Москва, ул. Усачева, 35, стр. 1. Телефон (499) 245 40 00, факс (499) 933 02 99



Контроль. Диагностика

Научно-технический журнал

5 (227) май 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Клюев В. В., Артемьев Б. В., Ефимов А. Г., Матвеев В. И., Шубочкин А. Е., Клейзер П. Е. Форум «Территория NDT – 2017»	4
Данилов В. Н. Модель расчета смещения квазипоперечных волн, излучаемых наклонным преобразователем в трансверсально-изотропную среду	14
Будадин О. Н., Каледин В. О., Козельская С. О., Вячкина Е. А., Гилева А. Е. Приближенная модель термомеханических процессов в броневой защите из ткани при взаимодействии с поражающим элементом	28
Савкова Е. Н., Жиженко Е. О. Внутрилабораторный эксперимент по оценке фактора «Персонал» при микробиологических исследованиях водных ресурсов	34
Оморов Т. Т., Осмонова Р. Ч., Такырбашев Б. К. Диагностика состояний электрических линий распределительных сетей в составе АСКУЭ	44
Мокрицкий Б. Я., Кравченко Е. Г., Усова Т. И. Метод маятникового скрайбирования как средство экспресс-оценочного контроля качества инструментальных материалов	50
Матвеев В.И. Международная школа для молодых учёных «Регистрация подповерхностных объектов радиолокаторами малой дальности»	54
Отчетно-выборная конференция РОНКТД	62

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

В. В. Клюев, д-р техн. наук, проф., акад. РАН, член Европейской академии

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:Э. С. Горкунов, д-р техн. наук, проф., акад. РАН
В. Г. Шевалдыкин, д-р техн. наук, проф.
П. Е. Клейзер**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**Б. В. Артемьев, д-р техн. наук, проф.
В. Т. Бобров, д-р техн. наук, проф.
О. Н. Будадин, д-р техн. наук
А. А. Буклей, д-р техн. наук
В. П. Вавилов, д-р техн. наук, проф.
В. А. Голенков, д-р техн. наук, проф.
А. Г. Ефимов, д-р техн. наук
Г. В. Зусман, д-р техн. наук
В. В. Коннов, д-р техн. наук, проф.
Н. Н. Коновалов, д-р техн. наук
В. Н. Костюков, д-р техн. наук, проф.
Н. Р. Кузелев, д-р техн. наук, проф.
А. Р. Маслов, д-р техн. наук, проф.
В. И. Матвеев, канд. техн. наук
Г. А. Нуждин, канд. техн. наук
К. В. Подмастерьев, д-р техн. наук, проф.
А. В. Попунан, д-р техн. наук
С. Г. Сандомирский, д-р техн. наук
Ю. С. Степанов, д-р техн. наук, проф.
Л. Н. Степанова, д-р техн. наук, проф.
В. В. Сухоруков, д-р техн. наук, проф.
В. М. Труханов, д-р техн. наук, проф.**РЕДАКЦИЯ:**

П. Е. Клейзер, Д. А. Елисеев, С. В. Сидоренко

УЧРЕДИТЕЛИ:Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД);
ООО «Издательский дом «Спектр»**ИЗДАТЕЛЬ**ООО «Издательский дом «Спектр»
119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1
Тел.: (495) 514 76 50, 8 (916) 676 12 38
Http://www.idspektr.ru. E-mail:info@idspektr.ru**ПОДПИСКА**В любом почтовом отделении.
Индексы по каталогам агентств:
«Роспечать» – 47649;
«Пресса России» – 29075;
«Каталог Российской прессы» – 60260.
«Почта России» электронный каталог – П3652
Подписка через издательство:
тел. (495) 514 26 34; e-mail: zakaz@idspektr.ru**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1
Тел.: (495) 514 76 50, 8 (916) 676 12 38
Http://www.td-j.ru;
E-mail:td@idspektr.ru, tdjpost@gmail.comЖурнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия Российской Федерации.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-46328Верстка: Евсейчев А. И., Корабельникова Г. Ю.
Корректор Евсейчев А. И. Сдано в набор 05.04.2017 г.
Подписано в печать 05.05.2017 г. Формат 60x88 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,89. Уч. изд. л. 8,12. Свободная цена.Отпечатано в типографии ООО «МЕДИАКОЛОР»
105187, г. Москва, ул. Вольная, д. 28, стр. 10

© ООО «Издательский дом «Спектр»

Журнал «Контроль. Диагностика» входит в перечень изданий, утвержденных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней.

При использовании материалов ссылка на журнал «Контроль. Диагностика» обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

УДК 620.9:658.011.56
DOI: 10.14489/td.2017.05.pp.044-048

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЛИНИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ В СОСТАВЕ АСКУЭ



Т. Т. Оморов,

д-р техн. наук,
чл.-кор. НАН КР,
Национальная академия
наук Кыргызской
Республики, г. Бишкек,
Кыргызстан.
E-mail: omorovtt@mail.ru



Р. Ч. Осмонова,

Национальная академия
наук Кыргызской
Республики, г. Бишкек,
Кыргызстан.
E-mail: r.osmonova@mail.ru



Б. К. Такырбашев,

Национальная академия
наук Кыргызской
Республики, г. Бишкек,
Кыргызстан.
E-mail: b.takyrbashev@gmail.com

Рассматривается проблема диагностики состояний силовых линий трехфазной распределительной электрической сети (РЭС), характеризующихся такими параметрами, как сопротивления ее межабонентских участков. Для этой цели предварительно решается задача параметрической идентификации РЭС на основе измерительных данных, полученных по каналам связи со счетчиков электроэнергии, установленных у абонентов сети. При эксплуатации сети эти параметры изменяются во времени случайным образом в зависимости от состояния внешней среды. Предложена методика их идентификации, основанная на представлении переменных сети в комплексной форме. При этом задача идентификации сводится к формированию уравнений относительно искомых параметров и их решению. Процедура диагностики осуществляется на основе сравнения результатов идентификации сопротивлений межабонентских участков сети и их базовых значений, определяемых по паспортным данным. Полученные результаты можно использовать в составе автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) для диагностики состояний линий электропередачи в режиме реального времени.

Ключевые слова: распределительная сеть, параметры сети, уравнения, идентификация параметров, диагностика.

T. T. Omorov, R. Ch. Osmonova, B. K. Takyrbashev
(National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek)

DIAGNOSTICS OF CONDITIONS OF DISTRIBUTIVE NETWORKS ELECTRIC LINES AS A PART OF ACSKAE

The paper considers the problem of diagnostics of statuses of the force lines of the three-phase distributive electrical network (DEN) characterized by such parameters as resistance of its interpersonal sections. For this purpose the problem of parametric identification of DEN on the basis of the measuring data obtained on communication links from the counters of the electric power set at subscribers of a network beforehand is solved. In case of operation of a network, these parameters are changed in time in a random way depending on a status of an external environment. The technique of their identification based on representation of variables of a network in the complex form is offered. At the same time the task of identification comes down to formation of the equations of rather required parameters and their solution. The procedure of diagnostics is carried out on the basis of the comparing the results of identification of resistance of interpersonal sections of a network and their basic values determined by passport data. The received results can be used as a part of the automated control system and the accounting the electric power (ACSKAE) for diagnostics of statuses of power lines in real time.

Keywords: distributive network, parameters of network, equation, identification of parameters, diagnostics.

Статья поступила в редакцию 31.01.2017

Received 31.01.2017

В целях автоматизации процессов в *распределительных электрических сетях* (РЭС) напряжением 0,4 кВ широкое применение находят *автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии* (АСКУЭ) [1], состоящие в основном из двух уровней. Структура нижнего уровня включает в себя группу *счетчиков электроэнергии* (Сч),

устанавливаемых у абонентов сети, и *концентратор данных* (КД), который строится на базе микропроцессорного контроллера и устанавливается в *трансформаторной подстанции* (ТП).

Концентратор дистанционно осуществляет оперативный сбор данных со счетчиков электроэнергии в автоматическом режиме, их хранение и



после предварительной обработки периодически передает в центральный компьютер верхнего уровня, который располагается в диспетчерском пункте управления. Обмен данными между структурными элементами автоматизированной системы осуществляется по каналам связи с использованием различных технологий (PLC, GSM и др.).

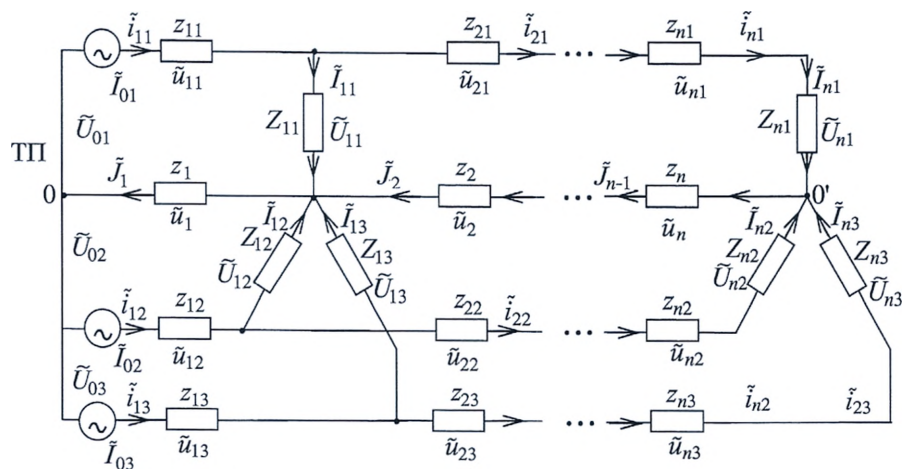
Главной задачей АСКУЭ является автоматизация коммерческого учета электроэнергии и контроля за состоянием счетчиков электроэнергии.

В то же время в РЭС наиболее актуальной является проблема диагностики и контроля ее состояний [2 – 6]. При этом часть проблемы связана с диагностикой состояний электрических линий сети. Алгоритмизация этой задачи требует разработки соответствующей математической модели и метода идентификации параметров РЭС, таких как сопротивления межабонентских участков, в режиме реального времени.

Как известно, при эксплуатации РЭС эти параметры изменяются во времени случайным образом в зависимости от состояния внешней среды, что приводит к определенным трудностям при разработке моделей физических процессов в РЭС и алгоритмов параметрической идентификации [2, 4, 7, 8]. В данной работе предлагается метод диагностики состояний электрических линий трехфазной сети на основе идентификации ее параметров, ориентированный на использование в составе АСКУЭ.

Постановка задачи. Рассматривается четырехпроводная трехфазная РЭС с напряжением 0,4 кВ, расчетная схема которой показана на рисунке, где для удобства дальнейших выкладок через индексную переменную k ($k = \overline{1, 3}$) указаны соответственно фазы A, B и C , а через v номера электрических контуров сети.

Остальные обозначения имеют следующий смысл: Z_{vk} – сопротивление электроприемника (нагрузки) сети с координатой (v, k) , подключенного к фазе с номером k ; \tilde{I}_{vk} , \tilde{U}_{vk} – мгновенные ток и напряжение на нагрузке Z_{vk} ; \tilde{i}_{vk} , z_{vk} – мгновенный ток и сопротивление v -го межабонентского участка (МАУ) k -й фазы; \tilde{u}_{vk} , \tilde{u}_v – напряжения соответственно на v -м МАУ k -й фазы и нейтрального провода; \tilde{J}_v , z_v – мгновенный ток и



Расчетная схема трехфазной РЭС

сопротивление v -го участка нейтрального провода; \tilde{U}_{0k} , $\tilde{I}_{0k} = \tilde{i}_{1k}$ – мгновенные напряжения и токи на входах соответствующих фаз.

Далее принимаем следующие положения:

- 1) РЭС функционирует в нормальном режиме;
- 2) в сети имеется несимметрия токов и напряжений;
- 3) сопротивления межабонентских участков z_{vk} и z_v априори неизвестны, а линейные и нейтральные провода сети имеют одинаковые сечения;

4) *концентратор данных* (КД) периодически осуществляет сбор данных со счетчиков электроэнергии ($S_{чvk}$) в дискретные моменты времени $t \in [t_\xi, t_{\xi+1}]$ с шагом дискретизации $\Delta t_\xi = t_{\xi+1} - t_\xi$, где $\xi = 1, 2, \dots$. При этом в базу данных КД в каждом интервале наблюдения $[t_\xi, t_{\xi+1}]$ поступают следующие данные:

- действующие токи I_{vk} и напряжения U_{vk} на нагрузках Z_{vk} ;
- коэффициенты мощности $\cos \varphi_{vk}$, определяемые фазовыми сдвигами φ_{vk} между соответствующими напряжениями \tilde{U}_{vk} и токами \tilde{I}_{vk} .

Введем матрицу Z и вектор Z_0 , составленные из оценок сопротивлений z_{vk} и z_v в текущем интервале наблюдения $[t_\xi, t_{\xi+1}]$:

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{11} & \dots & z_{n1} \\ z_{12} & z_{22} & \dots & z_{n2} \\ z_{13} & z_{23} & \dots & z_{n3} \end{bmatrix}, \quad Z_0 = [z_1, z_2, \dots, z_n].$$

Будем предполагать, что по паспортным данным предварительно определены и записаны в базе данных концентратора КД базовые матрица Z^* и

вектор Z_0^* , составленные соответственно из номинальных значений параметров сети z_{vk}^* и z_v^* :

$$Z^* = \begin{bmatrix} z_{11}^* & z_{12}^* & \dots & z_{1n}^* \\ z_{12}^* & z_{22}^* & \dots & z_{2n}^* \\ z_{13}^* & z_{23}^* & \dots & z_{n3}^* \end{bmatrix}, Z_0 = [z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*].$$

Задача заключается в диагностике состояний электрических линий РЭС на основе идентификации элементов матрицы Z и вектора Z_0 в режиме реального времени с использованием исходных данных, указанных в п. 4, и о базовых матрице Z^* и векторе Z_0^* .

Решение задачи идентификации параметров РЭС. В каждый момент времени $t \in [t_\xi, t_{\xi+1}]$ суммарные токи на входах фаз $\tilde{I}_k(t)$ ($k = \overline{1, 3}$), потребляемые абонентами сети в соответствующих фазах, определяются выражениями

$$\tilde{I}_k(t) = \sum_{v=1}^n \tilde{I}_{vk}(t), \quad k = \overline{1, 3}.$$

Предполагаем, что в нормальном режиме работы РЭС отсутствуют действия внешних возмущающих факторов, таких как несанкционированные отборы электроэнергии и утечки токов, которые вызывают потери электроэнергии. В этом случае для всех $t \in [t_\xi, t_{\xi+1}]$ выполняются условия

$$|\tilde{I}_k(t) - \tilde{I}_{0k}(t)| \leq \Delta I_{\max}, \quad k = \overline{1, 3}, \quad (1)$$

где $I_{0k}(t)$ – действующий ток на входе k -го линейного фазного провода, измеряемый Сч на выходе трансформаторной подстанции; ΔI_{\max} – максимально допустимая погрешность измерения токов.

Решение сформулированной задачи состоит из основных этапов:

1) представление переменных (токов и напряжений) электроприемников в комплексной форме;

2) оценка межабонентских токов i_{vk} и j_v при нормальном режиме работы РЭС, т.е. при выполнении условий (1);

3) параметрическая идентификация элементов матрицы Z и вектора Z_0 ;

4) диагностика состояний электрических линий трехфазной сети на основе результатов параметрической идентификации.

Представление переменных электроприемников в комплексной форме. Необходимо отметить, что для оценки недоступных для измерения межабонентских токов \tilde{i}_{vk} , \tilde{j}_v и напряжений \tilde{u}_{vk} , \tilde{u}_v ,

непосредственное использование данных, полученных со счетчиков электроэнергии, не представляется возможным. В целях корректного применения законов Кирхгофа синусоидальные токи и напряжения на нагрузках Z_{vk} целесообразно представить в комплексной форме [5, 9]:

$$\dot{I}_{vk} = I_{vk}^B + jI_{vk}^M = I_{vk} e^{j\alpha_{vk}}; \quad (2)$$

$$\dot{U}_{vk} = U_{vk}^B + jU_{vk}^M = U_{vk} e^{j\psi_{vk}}, \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}, \quad (3)$$

где символы «в» и «м» обозначают вещественные и мнимые части соответствующих комплексных переменных; I_{vk} , U_{vk} , α_{vk} , ψ_{vk} – модули (действующие токи и напряжения) соответствующих комплексных переменных и их фазовые сдвиги соответственно; $j = \sqrt{-1}$ – мнимое число.

Методика определения искомым вещественных I_{vk}^B , U_{vk}^B и мнимых I_{vk}^M , U_{vk}^M частей, входящих в выражения (2) и (3), предложена в работе [8].

Оценка межабонентских токов. Комплексные представления (2) и (3) дают возможность определить межабонентские комплексные токи i_{vk} и j_v в каждом цикле наблюдения $[t_\xi, t_{\xi+1}]$ на основе первого закона Кирхгофа [9]:

$$i_{vk} = \sum_{l=v}^n \dot{I}_{lk} = \sum_{l=v}^n (I_{lk}^B + jI_{lk}^M) = i_{vk}^B + j i_{vk}^M, \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}; \quad (4)$$

$$j_v = i_{v1} + i_{v2} + i_{v3}, \quad v = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где вещественные и мнимые части:

$$i_{vk}^B = \sum_{l=v}^n I_{lk}^B, \quad i_{vk}^M = \sum_{l=v}^n I_{lk}^M.$$

Идентификация элементов матрицы Z и вектора Z_0 . Комплексные напряжения \dot{u}_{vk} и \dot{u}_v в v -х контурах сети удовлетворяют второму закону Кирхгофа [9]:

$$\dot{u}_{vk} + \dot{u}_v + \dot{U}_{vk} - \dot{U}_{v-1,k} = 0, \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}. \quad (6)$$

Соотношения (6) запишем в виде

$$\dot{u}_{vk} + j_v z_v = \dot{b}_{vk}, \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}, \quad (7)$$

где $\dot{b}_{vk} = \dot{U}_{v-1,k} - U_{vk}$.

С учетом

$$j_v = \frac{\dot{u}_{v1}}{z_{v1}} + \frac{\dot{u}_{v2}}{z_{v2}} + \frac{\dot{u}_{v3}}{z_{v3}}, \quad v = \overline{1, n},$$

напряжения \dot{u}_v на участках нейтрального провода определяются по формуле

$$\dot{u}_v = \frac{z_v}{z_{v1}} \dot{u}_{v1} + \frac{z_v}{z_{v2}} \dot{u}_{v2} + \frac{z_v}{z_{v3}} \dot{u}_{v3}, \quad v = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Если сечения линейных и нейтрального проводов одинаковы, то $z_{vk} = z_v$. Тогда с учетом формулы (8) для v -го контура сети соотношения (7) преобразуются к следующей системе линейных алгебраических уравнений относительно напряжений \dot{u}_{vk} :

$$\begin{aligned} 2\dot{u}_{v1} + \dot{u}_{v2} + \dot{u}_{v3} &= \dot{b}_{v1}; & \dot{u}_{v1} + 2\dot{u}_{v2} + \dot{u}_{v3} &= \dot{b}_{v2}; \\ \dot{u}_{v1} + \dot{u}_{v2} + 2\dot{u}_{v3} &= \dot{b}_{v3}; & v &= \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (9)$$

где \dot{b}_{vk} – известные комплексные коэффициенты, вычисляемые на основе ранее определенных составляющих комплексных напряжений \dot{U}_{vk} :

$$\begin{aligned} \dot{b}_{v1} &= \dot{U}_{v-1,1} - \dot{U}_{v1} = b_{v1}^B + jb_{v1}^M; \\ \dot{b}_{v2} &= \dot{U}_{v-1,2} - \dot{U}_{v2} = b_{v2}^B + jb_{v2}^M; \\ \dot{b}_{v3} &= \dot{U}_{v-1,3} - \dot{U}_{v3} = b_{v3}^B + jb_{v3}^M. \end{aligned}$$

Легко видеть, что определители систем уравнений (9) отличны от нуля ($\Delta = 4$). Следовательно, их единственные решения можно найти по методу Крамера:

$$\begin{aligned} \dot{u}_{v1} &= (3\dot{b}_{v1} - \dot{b}_{v2} - \dot{b}_{v3})/4; \\ \dot{u}_{v2} &= (-\dot{b}_{v1} + 3\dot{b}_{v2} - \dot{b}_{v3})/4; \\ \dot{u}_{v3} &= (-\dot{b}_{v1} - 3\dot{b}_{v2} + 3\dot{b}_{v3})/4; \quad v = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (10)$$

Комплексные напряжения \dot{u}_v на соответствующих участках нейтрального провода находят путем подстановки найденных напряжений \dot{u}_{v1} , \dot{u}_{v2} , \dot{u}_{v3} , в правые части соотношений (8) при условии $z_{vk} = z_v$.

В результате оценки текущих значений комплексных сопротивлений z_{vk} и z_v межбонентских участков РЭС определяются на основе закона Ома:

$$\begin{aligned} z_{vk} &= \dot{u}_{vk} / \dot{i}_{vk}; \\ z_v &= z_{vk}, \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}. \end{aligned}$$

Идентифицированные таким образом матрица Z и вектор параметров Z_0 записываются в базу данных концентратора КД, которые в дальнейшем

можно использовать для решения ряда задач диагностики и контроля состояния распределительной сети в составе АСКУЭ [4 – 6].

Диагностика состояний электрических линий трехфазной сети. Для этой цели используют данные идентификации текущих параметров РЭС, т.е. матрицы Z и вектора Z_0 , и базовые значения матрицы Z^* и вектора Z_0^* . Предварительно оценивают уровни износа электрических линий межбонентских участков сети. Для этого вычисляют относительные отклонения текущих значений параметров сети от их номинальных значений:

$$\begin{aligned} \Delta z_{vk} &= \left(|z_{vk} - z_{vk}^*| \right) / z_{vk}^*, \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}; \\ \Delta z_v &= \left(|z_v - z_v^*| \right) / z_v^*, \quad v = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

Как известно, технические потери электроэнергии в соответствующих участках сети увеличиваются, если найденные оценки Δz_{vk} , Δz_v превышают их критические значения. Поэтому критерием нормального состояния электрических линий РЭС является выполнение условий:

$$\Delta z_{vk} \leq \Delta z_{vk}^{\max}, \quad \Delta z_v \leq \Delta z_v^{\max}, \quad v = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}, \quad (11)$$

где Δz_{vk}^{\max} , Δz_v^{\max} – максимально допустимые уровни износа соответствующих линий электроснабжения.

Таким образом, изложенная процедура диагностики на основе проверки критериальных условий (11) позволяет распределительным компаниям принимать оперативные меры по поддержанию электрических линий РЭС в нормальном состоянии.

Заключение

Предложен метод диагностики состояний электрических линий распределительной сети напряжением 0,4 кВ, функционирующей в условиях несимметрии токов и напряжений. В качестве критерия диагностики используется показатель, характеризующий уровень износа силовых линий по значениям сопротивлений межбонентских участков сети. Разработана методика идентификации указанных параметров, основанная на представлении токов и напряжений, характеризующих электрическое состояние сети, в комплексной форме.

Методика сведена к формированию системы линейных алгебраических уравнений для каждого контура трехфазной сети относительно напряжений на ее межбонентских участках. Найдено ее аналитическое решение, что позволило значительно упростить процедуру идентификации искомых параметров сети. Процедура диагностики осуществляется на основе сравнения результатов иденти-

фикации и их базовых значений, определяемых по паспортным данным. Вычислительная схема разработанного метода ориентирована на использование в составе АСКУЭ для диагностики состояний линий электропередачи в режиме реального времени, что дает возможность функционирования распределительной сети в нормальном режиме за счет принятия оперативных мер при обнаружении критических ситуаций. Полученные результаты также можно использовать в целях идентификации и мониторинга потерь электроэнергии в трехфазной сети.

Библиографический список

1. Ожегов А. Н. Системы АСКУЭ. Киров: ВятГУ. 2006. 102 с.
2. Сапронов А. А., Кузечков С. Л., Тынянский В. Г. Оперативное выявление неконтролируемого потребления электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1 кВ // Изв. вузов. Электромеханика. 2004. № 1. С. 55 – 58.
3. Косоухов Ф. Д., Васильев Н. В., Филиппов А. О. 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.
4. Кочергин С. В., Кобелев А. В., Хребтов Н. А. и др. Моделирование сельских распределительных электрических сетей 10/0,4 кВ // Fractal Simulation. 2013. № 1. С. 5 – 13.
5. Оморов Т. Т., Такырбашев Б. К. Идентификация и мониторинг потерь электроэнергии в распределительной сети в составе АСКУЭ // Электричество. 2016. № 11. С. 4 – 11.
6. Оморов Т. Т., Такырбашев Б. К. Идентификация состояния распределительной электрической сети в системах автоматизации учета и управления энергопотреблением // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. № 10. С. 651 – 656.
7. Арутюнян А. Г. О расчете дополнительных потерь мощности в трехфазных четырехпроводных сетях // Электричество. 2015. № 10. С. 55 – 58.
8. Оморов Т. Т., Такырбашев Б. К., Осмонова Р. Ч. К проблеме идентификации состояний распределительных сетей в системах автоматизации контроля и учета электроэнергии // Автоматизация и управление в технических системах. 2016. № 3. URL: auts.esrae.ru/20-380.

9. Демирчян К. С., Нейман Л. Р., Коровкин А. В. Теоретические основы электротехники. Т. 1. СПб.: Питер, 2009. 512 с.

References

1. Ozhegov A. N. (2006). *Automated control and accounting systems for electricity*. Kirov: ViatGU. [in Russian language]
2. Sapronov A. A., Kuzhekov S. L., Tynianskii V. G. (2004). Operative detection of uncontrolled consumption of electricity in electrical networks with a voltage of up to 1 kV. *Izvestiia vuzov. Elektromekhanika*, (1), pp. 55-58. [in Russian language]
3. Kosoukhov F. D., Vasil'ev N. V., Filippov A. O. (2014). Reduction of losses from asymmetry of the currents and improvement of quality of electric energy in 0.38 kV networks with municipal and household loads. *Elektrotehnika*, (6), pp. 8-12. [in Russian language]
4. Kochergin S. V., Kobleev A. V., Khrebtov N. A. et al. (2013). Modeling of rural distribution of electric networks of 10/0,4 kV. *Fractal Simulation*, (1), pp. 5-13. [in Russian language]
5. Omorov T. T., Takyrbashev B. K. (2016). Identification and monitoring of electricity losses in the distribution network as part of automated control and accounting systems of electricity. *Elektrichestvo*, (11), pp. 4-11. [in Russian language]
6. Omorov T. T., Takyrbashev B. K. (2016). Identification of the state of the distribution network in automation systems of automated control and accounting systems of electricity. *Mekhatronika, avtomatizatsiia, upravlenie*, (10), pp. 651-656. [in Russian language]
7. Arutiunian A. G. (2015). Calculation of additional power losses in three-phase four-wire networks. *Elektrichestvo*, (10), pp. 55-58. [in Russian language]
8. Omorov T. T., Takyrbashev B. K., Osmonova R. Ch. (2016). The problem of identifying the states of distribution networks in the systems of automated control and accounting systems of electricity. *Avtomatizatsiia i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh*, (3). Available at: auts.esrae.ru/20-380. [in Russian language]
9. Demirchian K. S., Neiman L. R., Korovkin A. V. (2009). *Theoretical fundamentals of electrical engineering*. Vol. 1. St. Petersburg: Piter. [in Russian language].