

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. И. РАЗЗАКОВА

ISSN 1694-5557

ИЗВЕСТИЯ

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3 (39), часть I

Материалы Международной конференции

**«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ»**

Посвящается 75-летию академика А.Жайнакова

г. Бишкек, Кыргызстан 6-8 октября 2016 года

Бишкек

Издательский центр «Текник» 2016

Редакционная коллегия:

- М.Дж. Джаманбаев*, д-р физ.-мат. наук, проф., ректор Кыргызского государственного технического университета, главный редактор;
М.К. Чыныбаев, кандидат физ.-мат. наук, доцент, проректор по науке КГТУ им. И. Раззакова, заместитель главного редактора;
К.Дж. Боскебеев, кандидат техн. наук, доцент, ответственный секретарь;
С.А. Абдрахманов, д-р физ.-мат. наук, проф.;
К.А. Абдымаликов, д-р экон. наук, проф.;
А.А. Акунов, д-р истор. наук, проф.;
М.Б. Баткибекова, д-р хим. наук, проф.;
У.Н. Биримкулов, д-р техн. наук, проф., член-корр. НАН КР;
И.В. Бочкарева, д-р техн. наук, проф.;
Веслинг Волкер, доктор-инженер, проф. (Германия);
А.Х. Гильмутдинов, д-р техн. наук, проф., ректор КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева (Россия);
Ж.И. Батырканов, д-р техн. наук, проф.;
М.С. Джуматаев, д-р физ.-мат. наук, проф., академик НАН КР;
Т.Ш. Джунушалиева, д-р хим. наук, проф.;
М.М. Мусульманова, д.т.н., проф.;
Т.А. Джунуев, д-р техн. наук, проф.;
А.Ж. Жайнаков, д-р физ.-мат. наук, проф., академик НАН КР;
К.М. Иванов, д-р физ.-мат. наук, проф., ректор БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова (Россия);
А.С. Иманкулова, д-р техн. наук, проф.;
И.Ш. Кадыров, д-р техн. наук, проф.;
К.Ч. Кожоголов, д-р техн. наук, чл.-корр. НАН КР;
О.С. Колосов, д-р техн. наук, проф. НИУ «МЭИ» (Россия);
Т.Б. Маткеримов, д-р техн. наук, проф.;
Р.И. Низматулин, академик РАН, директор института Океанологии РАН РФ (Россия);
А.Дж. Обозов, д-р техн. наук, проф.;
К.О. Осмонбетов, д-р геолого-мин. наук, проф.;
Н.Д. Рогалев, д-р техн. наук, проф. ректор НИУ «МЭИ» (Россия);
С.М. Стазков, д-р техн. наук, проф. БГТУ «Военмех» (Россия);
А.Т. Татыбеков, д-р техн. наук, проф.;
Ж.Ж. Тургумбаев, д-р техн. наук, проф.;
А.Н. Тюреходжаев, д-р физ.-мат. наук, проф. КАЗ НТУ (Казахстан);

Журнал выходит ежеквартально.

Все материалы, поступающие в редколлегию журнала, проходят независимое рецензирование.

© Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова,
Издательский центр «Текник», 2016

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 620.9: 681.011.56

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ В АСКУЭ

Оморов Туратбек Турсунбекович, д.т.н., член-корреспондент, Национальная академия наук Кыргызской Республики (НАН КР), Кыргызстан, 720071, г.Бишкек, пр. Чуй, 265а.

E-mail: omorovtt@mail.ru.

Такырбашев Бейшеналы Касымалиевич, НАН КР, Кыргызстан, 720071, г.Бишкек, пр. Чуй, 265а. E-mail: b.takvrbashev@gmail.com.

Осмонова Рима Чынарбековна, м.н.с., НАН КР, Кыргызстан, 720071, г.Бишкек, пр. Чуй, 265а. E-mail: r.osmonova@mail.ru.

Рассматривается задача идентификации переменных состояния распределительных электрических сетей (РЭС) напряжением 0,4 кВ в несимметричном режиме на основе математического моделирования их функционирования в режиме реального времени. Предлагается методика расчета переменных состояния РЭС, основанная на их представлении в комплексной форме. В целях иллюстрации эффективности методики решается модельная задача по оценке действующих токов, протекающих в межабонентских участках магистральной линии РЭС. Полученные результаты ориентированы для построения подсистемы мониторинга состояния РЭС в составе автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) в режиме реального времени.

Ключевые слова: трехфазная сеть, моделирование, несимметричный режим, переменные состояния, комплексные переменные, методика идентификации.

MODELLING OF DISTRIBUTION NETWORKS IN ASCAE

Omorov Turatbek T., Doctor of Engineering Sciences, corresponding member NAS KR, 720071, c.Bishkek, Chui av., 265a. E-mail: omorovtt@mail.ru.

Takvrbashev Beishenaly K., NAS KR, 720071, c.Bishkek, Chui av., 265a. E-mail: b.takvrbashev@gmail.com.

Osmonova Rima Ch., research scientist, NAS KR, 720071, c.Bishkek, Chui av., 265a. E-mail: r.osmonova@mail.ru.

The task of identification of state variables of the distributive electrical networks (DEN) of 0,4 kV in the asymmetrical mode on the basis of mathematical simulation of their functioning in real time is considered. The method of calculation of state variables of DEN based on their representation in the complex form is offered. For the purpose of an illustration of efficiency of a technique the toy problem according to the operating currents proceeding in interpersonal sections of the DEN trunk line is solved. The received results are oriented for creation of a subsystem of condition monitoring of DEN as a part of the automated control system and the accounting of the electric power (ASKAE) in real time.

Keywords: three-phase network, modeling, the asymmetrical mode, state variables, complex variables, identification technique.

В настоящее время в целях повышения уровня автоматизации процессов энергоучета в распределительных электрических сетях (РЭС) напряжением 0,4 кВ находят широкое применение автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) [5]. Основными структурными и функциональными элементами этих систем являются

концентраторы данных (КД), комплекс счетчиков электроэнергии (Сч), установленные у потребителей (абонентов) электроэнергии. Для обмена технологической и служебной информацией между подсистемами АСКУЭ в составе КД и Сч имеются телекоммуникационные модули (ТКМ), построенные с использованием современных технологий передачи данных (GSM, Zigbee, PLC и др.). Главные функции КД: оперативный сбор данных со счетчиков электроэнергии (Сч); хранение полученных данных; цифровая обработка информации по решению соответствующих функциональных задач; обмен информацией с верхним уровнем управления. Анализ показывает, что в настоящее время в рамках АСКУЭ решаются, в основном, задачи коммерческого учета электроэнергии. В целях повышения эффективности разрабатываемых и внедряемых АСКУЭ в перспективе целесообразно, чтобы автоматизированные системы в своем составе дополнительно включали такие структуры, как подсистемы оперативного мониторинга, диагностики состояния сети [9, 10] и управления потерями электроэнергии [4, 6, 9], что потребует математическое моделирование процессов, протекающих в РЭС, а также решение задачи идентификации электрического состояния сети в режиме реального времени. Использование известных методик [1, 4, 9] для решения этих задач приводят к определенным трудностям, что связано, в частности, с необходимостью априорного знания данных о сопротивлении межабонентских участков магистральных линий (МЛ), значения которых существенным образом зависят от состояния внешних факторов (климатических условий и др.). В статье предлагается методика моделирования и идентификации электрического состояния несимметричных распределительных сетей, позволяющая упростить решение задачи диагностики сети и управления потерями электроэнергии в составе АСКУЭ.

Постановка задачи. Рассматривается трехфазная РЭС с напряжением 0,4 кВ, расчетная схема которой показана на рис.1. Предполагается, что сеть функционирует в несимметричном режиме. Для удобства на рис.1 фазы А, В, С пронумерованы соответственно через индексную переменную ξ ($\xi = \overline{1,3}$). Остальные обозначения имеют следующий смысл: $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3, \dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3$ – комплексные токи и напряжения соответственно на входах фаз; $\dot{I}_{v\xi}$ – комплексный ток, протекающий в v -ом участке линейного провода ξ -ой фазы; $Z_{v\xi}$ – обозначение v -го приемника (нагрузки) потребителя ($v = \overline{1, n}$), подключенного к фазе с номером ξ ; $\dot{I}_{v\xi}, \dot{U}_{v\xi}$ – комплексный ток и напряжение на нагрузке $Z_{v\xi}$; $\dot{u}_{v\xi}, \dot{z}_v$ – напряжения соответственно на v -ом межабонентском участке линейного провода ξ -ой фазы и нейтрального провода; \dot{J}_v, z_v – комплексный ток и сопротивление v -го участка нейтрального провода.

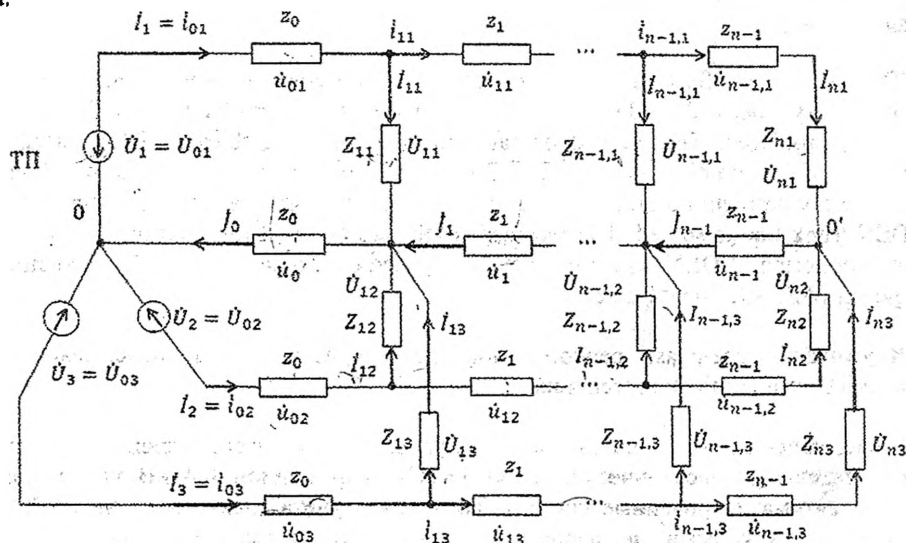


Рис.1. Расчетная схема трехфазной РЭС

Допустим, что справедливы следующие предположения:

1. Распределительная сеть функционирует в штатном (нормальном) режиме.
2. РЭС относится к классу линейных систем.
3. Действующие значения (модули) токов $i_1, i_2, i_3, i_{v\xi}$ и напряжений $U_1, U_2, U_3, U_{v\xi}$ ($v = \overline{1, n}, \xi = \overline{1, 3}$), а также соответствующие активные и реактивные мощности измеряются счетчиками электроэнергии (Сч_v), которые передаются посредством ТКМ концентратору (КЦ) и записываются в его базы данных.

Текущее состояние РЭС в произвольный момент времени $t = t_0$ характеризуется следующим набором векторов:

$$\begin{aligned} \dot{I} &= [i_1, i_2, i_3], & \dot{U} &= [U_1, U_2, U_3], \\ \dot{I}_\xi &= [i_{1\xi}, i_{2\xi}, \dots, i_{n\xi}], & \dot{U}_\xi &= [U_{1\xi}, U_{2\xi}, \dots, U_{n\xi}], \\ \dot{u}_\xi &= [u_{0\xi}, u_{1\xi}, \dots, u_{n-1, \xi}], & i_\xi &= [i_{0\xi}, i_{1\xi}, \dots, i_{n-1, \xi}], \\ \dot{u} &= [u_0, u_1, \dots, u_{n-1}], & \dot{J} &= [J_0, J_1, \dots, J_{n-1}], \quad \xi = \overline{1, 3}. \end{aligned} \quad (1)$$

Далее предполагается, что в концентраторе (КЦ) содержатся данные, определяющие действующие значения компонентов векторов $\dot{I}, \dot{U}, \dot{I}_\xi, \dot{U}_\xi$ ($\xi = \overline{1, 3}$). Задача состоит в том, чтобы на основе указанных данных идентифицировать значения токов, протекающих в межабонентских участках МЛ, на основе моделирования процессов в РЭС.

Методика решения задачи. Основные этапы решения сформулированной задачи состоят в следующем:

1. Сбор измерительных данных со счетчиков электроэнергии (Сч) и их запись в базе данных концентратора (КЦ).
2. Формирование компонентов векторов $\dot{I}, \dot{U}, \dot{I}_\xi, \dot{U}_\xi$ в комплексной форме.
3. Оценка токов в межабонентских участках магистральных линий (МЛ).

Далее предполагается, что выполнены процедуры первого этапа.

Формирование переменных сети в комплексной форме. Счетчиками электроэнергии, установленными у абонентов сети (Сч_v), измеряются лишь действующие значения токов $I_{v\xi}$ и напряжений $U_{v\xi}$, а их вещественные и мнимые части являются неизвестными величинами. Для их определения комплексные токи $\dot{I}_{v\xi}$, напряжения $\dot{U}_{v\xi}$ и мощности $\dot{P}_{v\xi}$ представим в следующей форме:

$$\dot{I}_{v\xi} = I_{v\xi}^B + jI_{v\xi}^M, \quad (2)$$

$$\dot{U}_{v\xi} = U_{v\xi}^B + jU_{v\xi}^M, \quad (3)$$

$$\dot{P}_{v\xi} = \dot{U}_{v\xi} \dot{I}_{v\xi}^* = p_{v\xi}^B + jp_{v\xi}^M, \quad v = \overline{1, n}, \quad \xi = \overline{1, 3},$$

где символы *B* и *M* обозначают вещественные и мнимые части соответствующих комплексных переменных; $j = \sqrt{-1}$ — мнимое число; $\dot{I}_{v\xi}^*$ — сопряженное значение комплексного тока $\dot{I}_{v\xi}$; действующие значения (модули) токов $I_{v\xi}$ и напряжений $U_{v\xi}$, а также активные $p_{v\xi}^B$ и реактивные $p_{v\xi}^M$ мощности с учетом (2) и (3) удовлетворяют следующим соотношениям:

$$(I_{v\xi}^B)^2 + (I_{v\xi}^M)^2 = I_{v\xi}^2, \quad (U_{v\xi}^B)^2 + (U_{v\xi}^M)^2 = U_{v\xi}^2, \quad (4)$$

$$U_{v\xi}^B I_{v\xi}^B + U_{v\xi}^M I_{v\xi}^M = p_{v\xi}^B, \quad U_{v\xi}^M I_{v\xi}^B - U_{v\xi}^B I_{v\xi}^M = p_{v\xi}^M, \quad v = \overline{1, n}, \quad \xi = \overline{1, 3},$$

где

$$p_{v\xi}^B = U_{v\xi} I_{v\xi} \cos \varphi_{v\xi}, \quad p_{v\xi}^M = U_{v\xi} I_{v\xi} \sin \varphi_{v\xi}, \quad (5)$$

$\psi_{v\xi}, \alpha_{v\xi}, \varphi_{v\xi}$ — фазовые сдвиги соответственно напряжения $\dot{U}_{v\xi}$, тока $\dot{I}_{v\xi}$ и между ними.

Соотношения (4) представляют собой систему алгебраических уравнений относительно искомых величин $I_{v\xi}^B, I_{v\xi}^M, U_{v\xi}^B, U_{v\xi}^M$ ($v = \overline{1, n}, \xi = \overline{1, 3}$), для решения которой можно использовать численные методы [2]. В [7, 8] предложена вычислительная процедура нахождения указанных переменных. При этом фазовые сдвиги $\alpha_{v\xi}$ определяются по формулам:

$$\alpha_{v\xi} = \arctg(I_{v\xi}^M/I_{v\xi}^B), \quad v = \overline{1, n}, \quad \xi = \overline{1, 3}. \quad (6)$$

Аналогичным образом находятся вещественные и мнимые части комплексных токов I_{ξ} и напряжений U_{ξ} на входах соответствующих фаз ($\xi = \overline{1, 3}$).

Оценка токов в межабонентских участках МЛ. В случае, когда вещественные и мнимые части компонентов векторов $I_{\xi} = [I_{1\xi}, I_{2\xi}, \dots, I_{n\xi}]$ известны, то составляющие векторов $i_{\xi} = [i_{0\xi}, i_{1\xi}, \dots, i_{n-1, \xi}]$ определяются на основе первого закона Кирхгофа [3]:

$$i_{v\xi} = \sum_{k=v+1}^n i_{k\xi} = \sum_{k=v+1}^n (I_{k\xi}^B + jI_{k\xi}^M) = I_{v\xi}^B + jI_{v\xi}^M, \quad v = \overline{0, n}, \quad \xi = \overline{1, 3}. \quad (7)$$

где

$$I_{v\xi}^B = \sum_{k=v+1}^n I_{k\xi}^B, \quad I_{v\xi}^M = \sum_{k=v+1}^n I_{k\xi}^M, \quad I_{\xi} = i_{0\xi}. \quad (8)$$

В результате действующие значения межабонентских токов $i_{v\xi}$ определяются по формуле:

$$i_{v\xi} = \sqrt{(I_{v\xi}^B)^2 + (I_{v\xi}^M)^2}, \quad v = \overline{0, n}, \quad \xi = \overline{1, 3}, \quad (9)$$

а соответствующие фазовые сдвиги:

$$\eta_{v\xi} = \arctg(I_{v\xi}^M/I_{v\xi}^B), \quad v = \overline{0, n}, \quad \xi = \overline{1, 3}. \quad (10)$$

Полученные результаты позволяют записать мгновенные значения синусоидальных токов межабонентских участков магистральных линий [3]:

$$i_{v\xi}(t) = i_{v\xi}^{max} \sin(\omega t + \eta_{v\xi}), \quad v = \overline{0, n}, \quad \xi = \overline{1, 3}, \quad (11)$$

где амплитуды $i_{v\xi}^{max}$ и круговая частота ω определяются по формулам:

$$i_{v\xi}^{max} = \frac{i_{v\xi}}{\sqrt{2}}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Как известно, для трехфазных четырехпроводных распределительных сетей напряжением 0,4 кВ период синусоидального тока $T = 0,02$ сек.

Комплексные токи J_v в межабонентских участках нейтрального провода определяются как

$$J_v = i_{v1} + i_{v2} + i_{v3} = J_v \exp(j\theta_v), \quad v = \overline{0, n-1}, \quad (12)$$

где J_v, θ_v – действующие значения и фазовые сдвиги соответственно. При этом мгновенные значения соответствующих токов определяются следующей суммой:

$$j_v(t) = i_{v1}(t) + i_{v2}(t) + i_{v3}(t), \quad v = \overline{0, n-1}. \quad (13)$$

В целях иллюстрации изложенной методики моделирования и расчета РЭС рассмотрим пример идентификации токов межабонентских участков МЛ для случая, когда количество приемников (электрических контуров) в каждой фазе равно 5 (рис. 1), т.е. $n=5$.

Предположим, что в целях моделирования рассматриваемой распределительной сети предварительно путем опроса абонентских счетчиков электроэнергии ($Сч_v$) в начальный момент времени $t=t_0$ получены измерительные данные, которые отражены в табл.1 и на рис.2. На основе этих данных и решения систем уравнений (4) с использованием вычислительной процедуры, разработанной в [7, 8], получены вещественные и мнимые части комплексных токов $I_{v\xi}$ в нагрузках $Z_{v\xi}$. Результаты расчетов приведены в табл.2. Далее на основе формул (7), (8), (9) и (10) вычислены составляющие комплексных токов $i_{v\xi}$ межабонентских участков МЛ, их действующие значения (модули) $i_{v\xi}$ и соответствующие фазовые сдвиги $\alpha_{v\xi}$, которые отражены в табл.3. Аналогичные значения вычислены для токов в межабонентских участках нейтрального провода, которые приведены в табл.4 и табл.5. Используя эти данные можно определить мгновенные значения токов, определяемых формулами (11) и (13). На рис.3 и 4 приведены распределение действующих токов в межабонентских участках МЛ и нейтральном проводе для соответствующих электрических контуров рассматриваемой сети. Повторяя выше указанные расчеты (процедуры) для

дискретных моментов времени $t_k = t_0 + k\Delta t$ (где Δt – шаг дискретизации; $k = 1, 2, 3, \dots$) можно провести анализ процессов в РЭС, функционирующей в несимметричном режиме.

Таблица I

Измеренные данные, полученные со счетчиков абонентов

| Наименование фаз | Показания Сч абонента | | | | |
|-------------------------|---------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------------------|
| | Номер абонента (нагрузки) | $I_{v\xi}$ (А) | $U_{v\xi}$ (В) | $P_{v\xi}^B$ (Вт) | $\cos(\varphi_{v\xi})$ |
| Фаза А ($\xi = 1$) | $v=1$ | 5 | 224,0 | 952,0 | 0,85 |
| | $v=2$ | 1,5 | 220,0 | 280,5 | 0,85 |
| | $v=3$ | 3,8 | 210,0 | 718,2 | 0,9 |
| | $v=4$ | 5,9 | 195,0 | 920,4 | 0,8 |
| | $v=5$ | 5,2 | 190,0 | 829,92 | 0,84 |
| Фаза В ($\xi = 2$) | $v=1$ | 6,5 | 221,0 | 1177,93 | 0,82 |
| | $v=2$ | 3,0 | 218,0 | 542,82 | 0,83 |
| | $v=3$ | 4,0 | 216,0 | 794,88 | 0,92 |
| | $v=4$ | 10,0 | 185,0 | 1609,5 | 0,87 |
| | $v=5$ | 4,5 | 180,0 | 648 | 0,8 |
| Фаза С ($\xi = 3$) | $v=1$ | 5 | 223,0 | 981,2 | 0,88 |
| | $v=2$ | 4,5 | 220,0 | 792 | 0,8 |
| | $v=3$ | 8,0 | 216,0 | 1555,2 | 0,9 |
| | $v=4$ | 5,0 | 190,0 | 798 | 0,84 |
| | $v=5$ | 5,9 | 186,0 | 910,842 | 0,83 |

Таблица II

Результаты расчетов вещественных и мнимых частей комплексных токов

| Наименование фаз | Составляющие комплексных токов $\dot{I}_{v\xi}$ на нагрузке $Z_{v\xi}$ | | | |
|-------------------------|--|------------------|------------------|-----------------------|
| | Координаты нагрузки $Z_{v\xi}$ | $I_{v\xi}^B$ (А) | $I_{v\xi}^M$ (А) | $\alpha_{v\xi}$ (рад) |
| Фаза А ($\xi = 1$) | $v=1$ | 4,32 | 2,5 | 0,52 |
| | $v=2$ | 1,3 | 0,75 | 0,53 |
| | $v=3$ | 3,2 | 2,05 | 0,57 |
| | $v=4$ | 5,2 | 2,78 | 0,5 |
| | $v=5$ | 4,51 | 2,58 | 0,51 |
| Фаза В ($\xi = 2$) | $v=1$ | 5,69 | 3,14 | 0,5 |
| | $v=2$ | 2,62 | 1,46 | 0,51 |
| | $v=3$ | 3,32 | 2,23 | 0,59 |
| | $v=4$ | 8,56 | 5,16 | 0,54 |
| | $v=5$ | 3,96 | 2,12 | 0,488 |
| Фаза С ($\xi = 3$) | $v=1$ | 4,26 | 2,62 | 0,55 |
| | $v=2$ | 3,96 | 2,12 | 0,49 |
| | $v=3$ | 6,73 | 4,32 | 0,57 |
| | $v=4$ | 4,34 | 2,48 | 0,52 |
| | $v=5$ | 5,145 | 2,87 | 0,51 |

Составляющие комплексных токов, действующие значения и фазовые сдвиги

| Наименование фаз | Составляющие комплексных токов $i_{v\xi}$ МАУ Координаты МАУ | $i_{v\xi}^B$ | $i_{v\xi}^M$ | $i_{v\xi}$ | $\eta_{v\xi}$ (рад) |
|-------------------------|---|--------------|--------------|------------|---------------------|
| | | | | | |
| Фаза А ($\xi = 1$) | $v=0$ | 18,53 | 8,68 | 21,234 | 0,438 |
| | $v=1$ | 14,21 | 8,16 | 16,239 | 0,521 |
| | $v=2$ | 12,91 | 7,41 | 14,738 | 0,521 |
| | $v=3$ | 9,71 | 5,36 | 10,949 | 0,504 |
| | $v=4$ | 4,51 | 2,58 | 5,196 | 0,521 |
| Фаза В ($\xi = 2$) | $v=0$ | 24,15 | 14,11 | 27,969 | 0,528 |
| | $v=1$ | 18,46 | 10,97 | 21,473 | 0,535 |
| | $v=2$ | 15,84 | 9,51 | 18,48 | 0,54 |
| | $v=3$ | 12,52 | 7,28 | 21,473 | 0,528 |
| | $v=4$ | 3,96 | 2,12 | 4,492 | 0,49 |
| Фаза С ($\xi = 3$) | $v=0$ | 24,44 | 14,41 | 28,372 | 0,535 |
| | $v=1$ | 20,18 | 11,79 | 23,37 | 0,528 |
| | $v=2$ | 16,22 | 9,67 | 18,88 | 0,54 |
| | $v=3$ | 9,49 | 5,35 | 10,89 | 0,514 |
| | $v=4$ | 5,15 | 2,87 | 5,89 | 0,514 |

Таблица IV

Вычисленные значения токов в нейтральном проводе

| J_0^B | J_0^M | J_0 | J_1^B | J_1^M | J_1 | J_2^B | J_2^M | J_2 | J_3^B | J_3^M | J_3 | J_4^B | J_4^M | J_4 |
|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|
| 67,1 | 37, | 76,7 | 52,8 | 30,9 | 61,2 | 44,9 | 26,5 | 52,2 | 31,7 | 17,9 | 36,4 | 13,6 | 7,5 | 15,3 |
| 2 | 2 | 4 | 5 | 2 | 3 | 7 | 9 | 4 | 2 | 9 | 6 | 2 | 7 | 8 |

Таблица V

Токи в нейтральном проводе и их фазовые сдвиги

| J_0 | θ_0 | J_1 | θ_1 | J_2 | θ_2 | J_3 | θ_3 | J_4 | θ_4 |
|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|
| 76,74 | 0,507 | 61,08 | 0,53 | 52,24 | 0,537 | 36,46 | 0,518 | 15,58 | 0,508 |

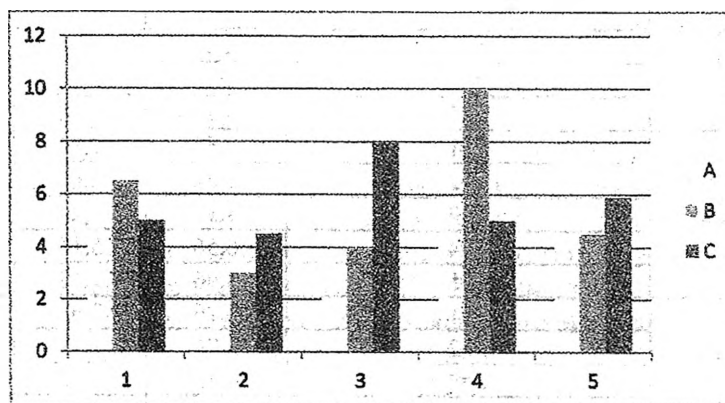


Рис.2. Измеренные токи нагрузок абонентов

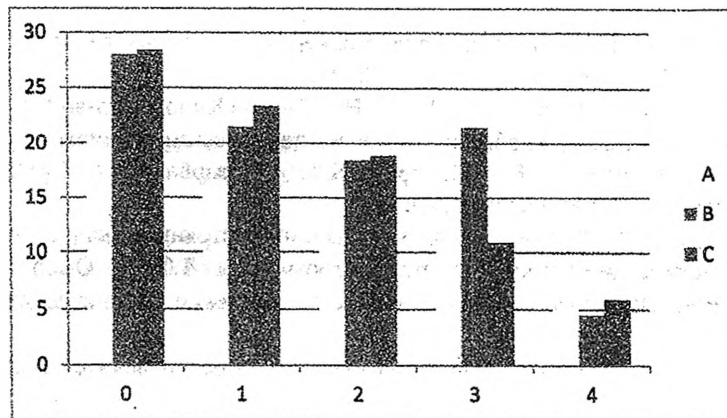


Рис.3. Действующие токи в межабонентских участках МЛ

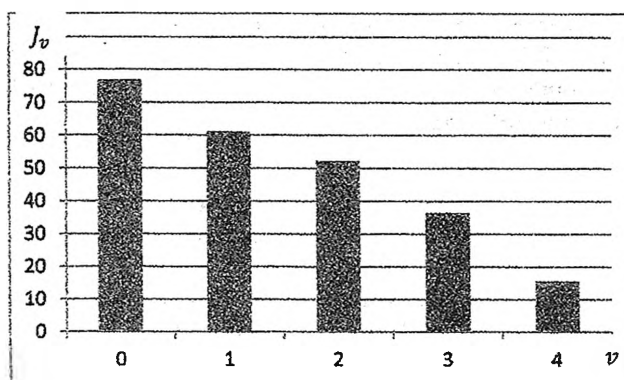


Рис.4. Действующие токи в нейтральном проводе МЛ

Заключение. Предложена методика математического моделирования и идентификации состояния распределительной сети напряжением 0,4 кВ, основанная на комплексном представлении токов и напряжений, описывающих динамические процессы в РЭС. При оценке вещественных и мнимых частей переменных состояния сети используются измерительные данные со счетчиков электроэнергии, установленных у абонентов сети, и специальная вычислительная процедура, ориентированная для идентификации параметров динамических систем. Результаты решения модельной задачи показывают, что разработанная методика является простой для инженерных расчетов и дает возможность оценить неизмеряемые (неконтролируемые) переменные состояния РЭС без использования данных о сопротивлениях межабонентских участков МЛ. Результаты исследований направлены на создание подсистемы мониторинга состояния распределительной сети и оценки технических потерь электроэнергии в ней в составе АСКУЭ.

Список литературы

1. Арутюнян А.Г. О расчете дополнительных потерь мощности в трехфазных четырехпроводных сетях /А.Г. Арутюнян // Электричество. 2015.- №10.
2. Бахвалов Н.С. Численные методы /Н.С. Бахвалов- М.: Наука, 1975.
3. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.1. /К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, А.В. Коровкин-СПб.: Питер, 2009.

4. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии /Ю.С. Железко -М.: ЭНАС, 2009.

5. Ожегов А.Н. Системы АСКУЭ /А.Н. Ожегов Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. -102с.

6. Оморов Т.Т.К проблеме оптимизации несимметричных режимов работы распределительных сетей / Т.Т., Оморов, Б.К. Такырбашев // Приборы и системы: Управление, контроль, диагностика. 2016.- №6.

7. Оморов Т.Т. К проблеме идентификации состояний распределительных сетей в системах автоматизации контроля и учета электроэнергии / Т.Т. Оморов, Б.К. Такырбашев, Р.Ч. Осмонова // Автоматизация и управление в технических системах. 2016.- №3.

8. Оморов Т.Т. Об идентификации параметров распределительной сети в системах автоматизации процессов энергопотребления /Т.Т. Оморов, Р.Ч Осмонова, Б.К. Такырбашев // Евразийский Союз Ученых. 2016.- №5.

9. Сапронов А.А. Оперативное выявление неконтролируемого потребления электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1 кВ /А.А. Сапронов, С.Л. Кужекко, В.Г. Тынянский // Известия вузов. Электромеханика. 2004.- №1.

10. Хлебников В.К. Методика расчета потерь электроэнергии в сети 0,38 кВ по измерениям напряжений и токов с учетом схемно-технической информации /В.К. Хлебников, Д.Э. Подгорный//Известия вузов. Электромеханика, 2004.- №6.1.