



ЭНЕРГЕТИК·4 2017

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-МАССОВЫЙ ЖУРНАЛ

**ПРАКТИЧЕСКОЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ИЗДАНИЕ**

115280, Москва,

ул. Автозаводская, 14

Тел. +7(495) 234-74-21

E-mail: energetick@mail.ru

www.energetik.energy-journals.ru

ЭНЕРГЕТИК

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-МАССОВЫЙ
ЖУРНАЛ

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНЭНЕРГО РОССИИ, ФСК ЕЭС,
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ
АССОЦИАЦИЯ «КОРПОРАЦИЯ ЕЭЭК»,
НТФ «ЭНЕРГОПРОГРЕСС»,
ВСЕРОССИЙСКИЙ ЭЛЕКТРОПРОФСОЮЗ,
НП «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ ЕЭС»

№ 4

апрель

2017 г.

Москва, НТФ «Энергопрогресс»

Издаётся с июня 1928 г.



Информационный
партнёр подкомитета
В5 РНК СИГРЭ
«Релейная защита
и автоматика»

Редакционная коллегия:

Э. П. ВОЛКОВ, академик РАН,
д. т. н., проф. (главный редактор)
Е. В. АМЕТИСТОВ,
член-корр. РАН, д. т. н., проф.
Я. Л. АРЦИШЕВСКИЙ, к. т. н.
Б. А. АФАНАСЬЕВ
И. И. БАТЮК
Б.-Э. БАЯР, к. т. н. (Монголия)
Е. И. БОРИСОВ, д. т. н., проф.
П. А. БУТЫРИН, член-корр. РАН,
д. т. н., проф.
И. С. ВАРТАЗАРОВ, к. т. н.
Ю. А. ВИНЯРСКАЯ
(зам. главного редактора)
Ю. В. ВИХРЕВ, к. т. н.
В. И. ГУЩА
В. А. ДЖАНГИРОВ, к. э. н.
Л. М. ЕРЁМИН
В. В. ЖУКОВ, д. т. н., проф.
Ю. И. ЖУКОВ, к. т. н.
Е. Н. ИВАНОВ, к. т. н.
М. КОЛЦУН, к. т. н., проф.
(Словацкая Республика)
В. П. КУЗИЧЕВ
Г. Б. ЛАЗАРЕВ, к. т. н.
Б. К. МАКСИМОВ, д. т. н., проф.
В. В. МОЛОДЮК, д. т. н., проф.
В. Г. НИКОЛАЕВ, д. т. н.
И. А. НОВОЖИЛОВ
(зам. главного редактора)
Э. М. ПЕРМИНОВ, к. т. н.
Н. Д. РОГАЛЁВ, д. т. н., проф.
Н. А. РУСТАМОВ, к. ф.-м. н.
С. Л. СЛЯДНЕВ
В. И. ТРЕМБОВЛЯ
(зам. главного редактора)
Э. М. ФАРХАДЗАДЕ, д. т. н., проф.
(Азербайджанская Республика)
Н. М. ЧУТЧЕВ
А. Ф. ШКОНДИН
Н. Г. ШУЛЬГИНОВ, к. т. н.
В. И. ЭДЕЛЬМАН, д. э. н., проф.

Журнал включён
в Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий ВАК
АДРЕС РЕДАКЦИИ:
115280, Москва, ул. Автозаводская, 14
Тел. +7 (495) 234-74-21
www.energetik.energy-journals.ru
E-mail: energetick@mail.ru

Редакторы Л. А. Кочетова, Е. В. Ромашко
Корректор Л. Н. Николенко
Худож.-техн. редактор Т. Ю. Андреева

Перепечатка, копирование материалов, опублико-
ванных в журнале «Энергетик», допускается только
с письменного разрешения редакции.
Сдано в набор 18.03.2017. Подписано в печать
20.04.2017. Формат 60×84 $\frac{1}{8}$. Печать офсетная.
Печ. л. 7,5. Заказ ЕН/04-2017. Оригинал-макет
выполнен издательством «Фолиум».
Отпечатано типографией издательства «Фолиум»

Содержание

- НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. Рахматуллин С. С., Голота М. Н., Мельден-
берг А. Н., Осипов П. В. О разработке промежуточных опор из композит-
ных материалов воздушных линий электропередачи напряжением 0,4 и
6 – 10 кВ 3
- Подкомитет В5 РНК СИГРЭ. По материалам 46-й сес-
сии СИГРЭ. Романов Ю. В., Нудельман Г. С. Схема быстродействующей
резервной защиты генератора, работающего в блоке с повышающим
трансформатором 8
- Климова Т. Г., Николаева О. О., Темкина Р. В. Оценка качества функцио-
нирования автоматического регулятора возбуждения синхронного генера-
тора по частотным характеристикам 11
- ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА. Игнатьев С. Г. Новые методы оценки
ветроэнергетического потенциала и оптимизации параметров ветроэнерге-
тических установок. 17
- КОНКУРС «НОВАЯ ИДЕЯ». Донской Е. А. Умная спецодежда 22
- Сизых А. Н. Модернизация системы компенсации реактивной мощности
трансформаторной подстанции, питающей агрегаты воздушного
охлаждения газа 23
- Горохов А. П., Коновалов Н. П., Горощенев А. С. Разработка технологии
утилизации отходов углеобогащения с применением гибридных связующих
на основе тяжёлых нефтяных остатков АО «АНХК» НК Роснефть при произ-
водстве топливных брикетов. 26
- ✓ Оморов Т. Т., Такырбашев Б. К., Осмонова Р. Ч. К расчёту трёхфазных
распределительных сетей в системах автоматизации контроля и учёта элект-
роэнергии 28
- ВЕСТИ ИЗ ПЕНСИОННОГО ФОНДА. Первые 30 компаний — клиентов
НПФ электроэнергетики уже используют Личный кабинет для юридических
лиц 31
- ЗАРУБЕЖНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. Нефёдова Л. В. Опыт и перспективные пла-
ны по освоению возобновляемых источников энергии в Кении 32
- Вести из НП «НТС ЕЭС». Молодюк В. В., Исамухамедов Я. Ш., Ба-
ринов В. А. Результаты технологического и ценового аудита строительства
ГТУ-ТЭЦ в г. Артём пос. Синяя Сопка на стадии обоснования инвестиций 36

ОБМЕН ОПЫТОМ

- Пузырёв Е. М., Голубев В. А., Пузырёв М. Е. Разработка вихревых топок
для энергетических котлов 44
- Зиле А. З., Тарадай Д. В., Томашевский С. Б., Деомидова Ю. А. О конт-
роле вибрации турбоагрегатов 47
- В ПОРЯДКЕ ОБСУЖДЕНИЯ. Скоробогатченко Д. А. О необходимости
информационной системы принятия решений при управлении ремонтами
электрических сетей 52

ОБОРУДОВАНИЕ, УСЛУГИ

- Казыкин С. В. Тест первого отключения прибором ПКВ/М7 — измере-
ние фактического времени срабатывания выключателя 55
- Памяти Ю. Д. Башарова. Энергетика — это на всю жизнь 57
- Abstracts. 58

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несёт

© НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2017 г.

К расчёту трёхфазных распределительных сетей в системах автоматизации контроля и учёта электроэнергии

ОМОРОВ Т. Т., доктор техн. наук, член-корр. НАН КР
 Кыргызская Республика, 720071,
 г. Бишкек, просп. Чуй, д. 265а; omorovtt@mail.ru
 ТАКЫРБАШЕВ Б. К., ОАО «Северэлектро»
 ОСМОНОВА Р. Ч., Национальная академия наук
 Кыргызской Республики



Т. Т. Оморов



Б. К. Такырбашев



Р. Ч. Осмонова

Рассматривается распределительная электрическая сеть (РЭС) напряжением 0,4 кВ, функционирующая в несимметричном режиме. В условиях внедрения автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учёта электроэнергии актуальной становится проблема оценки неизмеряемых и неконтролируемых переменных параметров сети. Предлагается метод расчёта переменных составляющих состояния РЭС, основанный на их представлении в комплексной форме. Результаты исследований ориентированы для построения подсистемы мониторинга состояния распределительной сети и потерь мощности в ней в составе автоматизированной информационной системы.

Ключевые слова: трёхфазная сеть, несимметричный режим, метод расчёта.

В целях автоматизации и информатизации процессов энергоучёта в РЭС напряжением 0,4 кВ находят широкое применение автоматизированные информационно-измерительные системы контроля и учёта электроэнергии (АИИС КУЭ) [1]. Структуры этих систем в основном типовые и включают в себя функциональные элементы: концентраторы данных (КД) и комплексы счётчиков электроэнергии (СЭ), установленных у потребителей (абонентов) электроэнергии.

Для обмена технологической и служебной информацией между подсистемами АИИС КУЭ в составе КД и СЭ имеются телекоммуникационные модули на основе различных технологий передачи данных (PLC, GSM и пр.). Концентраторы данных обеспечивают сбор данных со СЭ, их хранение и обработку в целях решения соответствующих функциональных задач по энергоучёту в рамках распределительной сети.

При этом главная задача АИИС КУЭ — коммерческий учёт электроэнергии. Вместе с тем для повышения эффективности автоматизированной системы её функциональная структура должна включать в себя подсистемы оперативного мониторинга, диагностики состояния сети [2, 3] и управления потерями электроэнергии [2, 4, 5]. Для этого необходимо решать задачу идентификации электрического состояния РЭС в режиме реального времени.

Применение существующих методов [2, 4, 6] для её решения представляет определённые трудности. В частности, при этом необходимы данные о сопротивлениях межабонентских участков магистральных линий (МЛ), которые изменяются в зависимости от внешних факторов (погодных условий и пр.). В статье предлагается один из возможных методов оценки электрического состояния несимметричных распределительных сетей, позволяющий упростить решение задач

диагностики сети и управления потерями электроэнергии в составе АИИС КУЭ.

Постановка задачи

Рассмотрим трёхфазную распределительную сеть напряжением 0,4 кВ, функционирующую в несимметричном режиме. Её расчётная схема представлена на рис. 1, где фазы А, В, С пронумерованы соответственно через индексную переменную ξ ($\xi = 1, 3$). 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, т.е. на выходе трансформаторной подстанции (ТП); $\dot{i}_{v\xi}$ — комплексный ток, протекающий в v -м участке линейного провода ξ -фазы; $Z_{v\xi}$ — обозначение v -го приёмника (нагрузки) потребителя ($v = \overline{1, n}$), подключённого к фазе с номером ξ ; $\dot{U}_{v\xi}$ — комплексный ток и напряжение на нагрузке $Z_{v\xi}$; \dot{U}_v — напряжения на сопротивлениях z_v соответственно v -го межабонентского участка линейного провода ξ -й фазы и нейтрального провода; \dot{J}_v — комплексный ток v -го участка нейтрального провода.

Примем следующие условия: распределительная сеть относится к классу линейных систем;

действующие значения (модули) токов $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3, \dot{i}_{v\xi}$ и напряжений $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3, \dot{U}_{v\xi}$ ($v = \overline{1, n}, \xi = \overline{1, 3}$), а также соответствующие активные и реактивные мощности, измеряемые СЭ, передаются посредством телекоммуникационного модуля КД и записываются в его базу.

Распределительная сеть рассматривается как многомерный объект, текущее состояние которого в произвольный момент времени $t = t_0$ характеризуется следующим набором векторов:

$$\dot{I} = [\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3]; \dot{U} = [\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3];$$

$$\dot{i}_\xi = [\dot{i}_{1\xi}, \dot{i}_{2\xi}, \dots, \dot{i}_{n\xi}]; \dot{U}_\xi = [\dot{U}_{1\xi}, \dot{U}_{2\xi}, \dots, \dot{U}_{n\xi}];$$

$$\dot{u}_\xi = [\dot{u}_{0\xi}, \dot{u}_{1\xi}, \dots, \dot{u}_{(n-1)\xi}]; \dot{i}_\xi = [\dot{i}_{0\xi}, \dot{i}_{1\xi}, \dots, \dot{i}_{(n-1)\xi}];$$

$$\dot{U} = [\dot{U}_0, \dot{U}_1, \dots, \dot{U}_{(n-1)}]; \dot{J} = [\dot{J}_0, \dot{J}_1, \dots, \dot{J}_{(n-1)}]; \xi = \overline{1, 3}.$$

Далее считается, что в базе данных КД имеются данные, определяющие действующие значения компонентов векторов $\dot{I}, \dot{U}, \dot{i}_\xi, \dot{U}_\xi$ ($\xi = 1, 3$). Задача состоит в том, чтобы на основе указанных данных оценить вещественные и мнимые частотные компоненты векторов $\dot{I}, \dot{U}, \dot{i}_\xi, \dot{U}_\xi$, а также компоненты векторов $\dot{u}_\xi, \dot{i}_\xi, \dot{U}, \dot{J}$, где $\xi = \overline{1, 3}$.

Метод решения задачи

Решение включает в себя следующие основные этапы:

- измерение действующих значений (модулей) компонентов комплексных векторов, представленных в формулах (1)–(4), а также соответствующих активных и реактивных мощностей, потребляемых приёмниками потребителей электроэнергии их передача в КД;

- представление компонентов векторов $\dot{I}, \dot{U}, \dot{i}_\xi, \dot{U}_\xi$ в комплексной форме;

- оценка токов на межабонентских участках МЛ;

- оценка напряжений на межабонентских участках МЛ. Будем считать, что путём опроса СЭ, установленных абонентов сети, в КД выполнены процедуры первого этапа.

Представление переменных состояния сети в комплексной форме. Счётчиками электроэнергии, установленными на абонентах сети (СЭ), измеряются лишь действующие значения

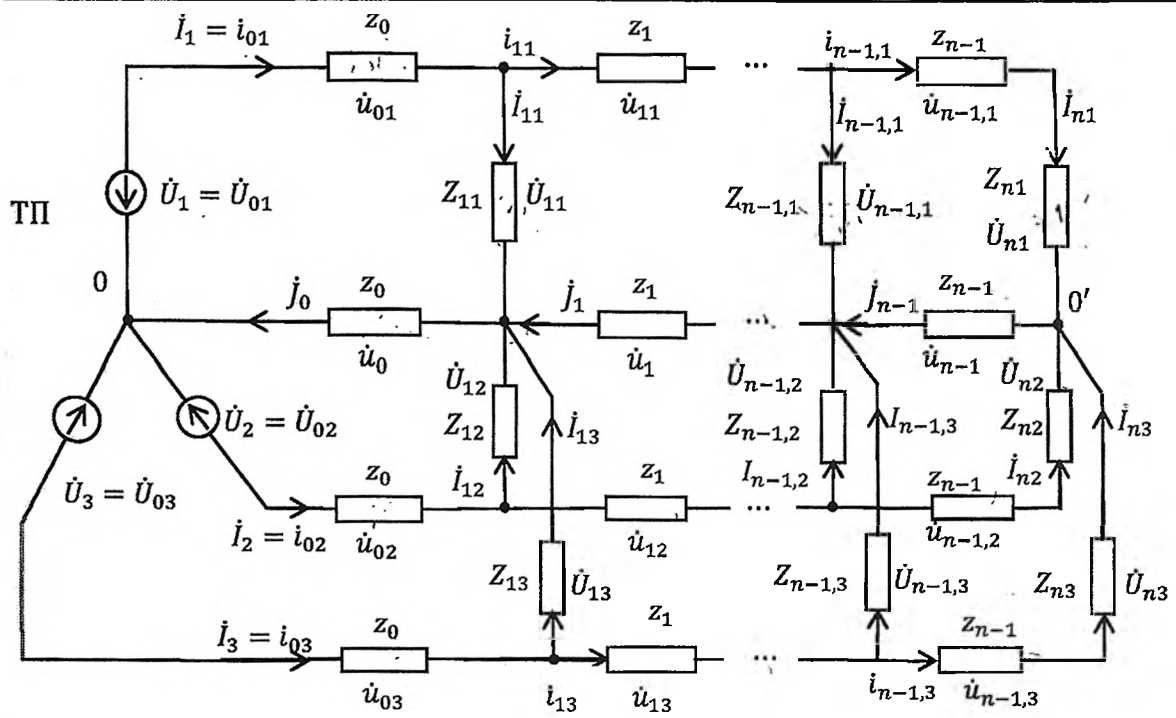


Рис. 1. Расчётная схема трёхфазной РЭС

гии в со
ть напря
ном ре
где фаз
сную пе
еют сле
ные ток
на выхе
плексны
вода ξ-
узки) по
мом ξ; $i_{v\xi}$
 $Z_{v\xi}$; $u_{v\xi}$
енно v-ч
азы и не
астка не
линейн
ξ и напря
соотве
меряемы
ного мост
векторы
ногостер
извольн
цим набр
];
ξ];
1, 3.
ся данны
тов вект
бы на осн
активные $p_{v\xi}^M$
имые час
риемниками,
енты вект
отношениям:
е этапы:
) compone
рмулах (1
мощности
юэнергии,
z, U_z в ко
МЛ;
исках МЛ
ювленных
вого этап
з комплекс
завленными
уравнений
относительно
искомых парамет
для реше
ние значе
ия которой
используются
численные методы
[7]. Далее

токов $I_{v\xi}$ и напряжений $U_{v\xi}$, а их вещественные и мнимые части остаются неизвестными. Для определения последних комплексные токи $I_{v\xi}$, напряжения $U_{v\xi}$ и мощности $P_{v\xi}$ представляются в следующем виде:

$$I_{v\xi} = I_{v\xi}^B + jI_{v\xi}^M; \quad (2)$$

$$U_{v\xi} = U_{v\xi}^B + jU_{v\xi}^M; \quad (3)$$

$$P_{v\xi} = U_{v\xi} I_{v\xi}^* = p_{v\xi}^B + jp_{v\xi}^M \quad (v = \overline{1, n}; \xi = \overline{1, 3}),$$

Символы «в» и «м» в показателе степени означают вещественные и мнимые части соответствующих комплексных переменных; $j = \sqrt{-1}$ — мнимое число; $I_{v\xi}^*$ — сопряжённое значение комплексного тока $I_{v\xi}$; действующие значения (модулы векторов) токов $I_{v\xi}$ и напряжений $U_{v\xi}$, а также активные $p_{v\xi}^B$ и реактивные $p_{v\xi}^M$ мощности, потребляемые соответствующими приемниками, с учётом формул (2) и (3) удовлетворяют соотношениям:

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

$$U_{v\xi}^B I_{v\xi}^B + U_{v\xi}^M I_{v\xi}^M = p_{v\xi}^B; \quad U_{v\xi}^M I_{v\xi}^B - U_{v\xi}^B I_{v\xi}^M = p_{v\xi}^M \quad (v = \overline{1, n}; \xi = \overline{1, 3}), \quad (4)$$

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

$$[\varphi_{v\xi} = \psi_{v\xi} - \alpha_{v\xi} = \arctg(p_{v\xi}^M / p_{v\xi}^B); \quad (6)$$

— фазовые сдвиги соответственно напряжения $U_{v\xi}$ и тока $I_{v\xi}$ и между ними].

Соотношения (4) представляют собой систему алгебраических уравнений относительно искомых параметров, для решения которой используются численные методы [7]. Далее

рассмотрим возможность её аналитического решения. С этой целью для комплексных токов $I_{v\xi}$ и напряжений $U_{v\xi}$ вводятся относительные величины

$$L_{v\xi} = \frac{I_{v\xi}^B}{I_{v\xi}^*}; \quad U_{v\xi} = \frac{U_{v\xi}^B}{U_{v\xi}^*}; \quad v = \overline{1, n}; \xi = \overline{1, 3}, \quad (7)$$

где $I_{v\xi}^*$, $U_{v\xi}^*$ — базовые (номинальные) величины соответствующих действующих значений токов и напряжений, которые считаются заданными. Для удобства расчётов и сокращения записи индекс ξ номера фазы в дальнейшем не используем. Теперь для относительных переменных L_v , U_v их комплексная форма имеет вид:

$$L_v = L_v^B + jL_v^M = L_v e^{j\alpha_v};$$

$$U_v = U_v^B + jU_v^M = U_v e^{j\psi_v}; \quad v = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где L_v , U_v — модули соответствующих относительных комплексных переменных.

Тогда искомые вещественные и мнимые части определяются по формулам:

$$I_v^B = I_v^* L_v^B = I_v^* L_v \cos \alpha_v; \quad I_v^M = I_v^* L_v^M = I_v^* L_v \sin \alpha_v; \quad (9)$$

$$U_v^B = U_v^* U_v^B = U_v^* U_v \cos \psi_v;$$

$$U_v^M = U_v^* U_v^M = U_v^* U_v \sin \psi_v; \quad v = \overline{1, n}.$$

Здесь необходимо отметить, что базовые значения токов I_{vk}^* и напряжений U_{vk}^* должны удовлетворять следующим условиям:

$$U_{vk}^* = z_{vk} I_{vk}^*; \quad v = \overline{1, n}; \quad k = \overline{1, 3}, \quad (10)$$

где $z_{vk} = U_{vk} / I_{vk}^*$.

Поставим задачу определения фазовых сдвигов $\alpha_v = \bar{\alpha}_v$, $\psi_v = \bar{\psi}_v$ мгновенных токов I_v и напряжений U_v на нагрузках

Z_v , подключённых к фазе А ($k = 1$). Геометрическое представление комплексных переменных \dot{L}_v и \dot{U}_v показано на рис. 2, где видно, что отрезок АВ и угол ρ_v определяются по теореме косинусов [8]

$$AB = \sqrt{U_v^2 + L_v^2 - 2U_v L_v \cos \varphi_v}, \quad \rho_v = \arccos \frac{U_v^2 + AB^2 - L_v^2}{2U_v AB}.$$

При этом соответствующие углы следующие:

$$\gamma_v = \pi - (\rho_v + \varphi_v), \quad \beta_v = \gamma_v - \alpha_v, \quad \theta_v = \pi - \psi_v. \quad (11)$$

В целях решения сформулированной задачи рассмотрим соотношение

$$AO = OC + CA. \quad (12)$$

При этом длина отрезка АО известна: $AO = U_v$.

Далее необходимо получить выражения, определяющие отрезки ОС и СА. Для нахождения СА используется теорема синусов для треугольника САВ [8]:

$$\frac{CA}{\sin \beta_v} = \frac{AB}{\sin \psi_v}.$$

Отсюда с учётом (11) и $\alpha_v = \psi_v - \varphi_v$ имеем

$$CA = \frac{AB \sin \beta_v}{\sin \psi_v} = \frac{AB \sin(\gamma_v - \alpha_v)}{\sin \psi_v} = \frac{AB \sin(\psi_v + \rho_v)}{\sin \psi_v}. \quad (13)$$

Теперь отрезок ОС определим из треугольника ОСF. При этом учитывая, что $CF = L_v^M = L_v \sin \alpha_v$, получим

$$OC = \frac{CF}{\sin \psi_v} = \frac{L_v \sin(\psi_v - \varphi_v)}{\sin \psi_v}. \quad (14)$$

Таким образом, с учётом (13) и (14) соотношение (12) можно записать в виде

$$U_v = \frac{L_v \sin(\psi_v - \varphi_v)}{\sin \psi_v} + \frac{AB \sin(\psi_v + \rho_v)}{\sin \psi_v}. \quad (15)$$

Далее используем известные формулы

$$\begin{aligned} \sin(\psi_v + \rho_v) &= \sin \psi_v \cos \rho_v + \cos \psi_v \sin \rho_v, \\ \sin(\psi_v - \varphi_v) &= \sin \psi_v \cos \varphi_v - \cos \psi_v \sin \varphi_v. \end{aligned} \quad (16)$$

Подставив выражения (16) в соотношение (15) получим равенства

$$\begin{aligned} U_v \sin \psi_v &= L_v(\sin \psi_v \cos \varphi_v - \cos \psi_v \sin \varphi_v) + \\ &+ AB(\sin \psi_v \cos \rho_v + \cos \psi_v \sin \rho_v); \quad v = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (17)$$

На основе несложных преобразований соотношения (17) представим в виде

$$q_v \sin \psi_v + f_v \cos \psi_v = 0; \quad v = \overline{1, n}, \quad (18)$$

где $q_v = AB \cos \rho_v - U_v + L_v \cos \varphi_v$ и $f_v = AB \sin \rho_v - L_v \sin \varphi_v$ — известные коэффициенты.

Путём деления левых частей соотношений (18) на $\cos \psi_v \neq 0$ получаем следующие уравнения относительно неизвестных фазовых сдвигов ψ_v :

$$\operatorname{tg}(\psi_v) = \lambda_v; \quad v = \overline{1, n}, \quad (19)$$

где $\lambda_v = -f_v/q_v$.

Таким образом, на основе решения уравнений (19) искомые фазовые сдвиги ψ_v определяются через главные значения $\operatorname{arctg}(\lambda_v)$ по формулам

$$\psi_v = \operatorname{arctg}(\lambda_v); \quad v = \overline{1, n}.$$

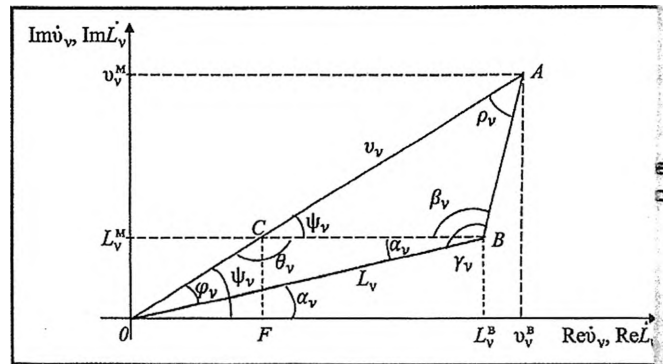


Рис. 2. Геометрическая иллюстрация переменных \dot{L}_v и \dot{U}_v

При этом фазовые сдвиги α_v определяются согласно выражению

$$\alpha_v = \psi_v - \varphi_v; \quad v = \overline{1, n}.$$

В результате искомые вещественные и мнимые части рассчитываются по формулам (9). В случае, когда $\xi =$ (фаза А), фазовые сдвиги следующие:

$$\psi_{v1} = \psi_v, \quad \alpha_{v1} = \psi_v - \varphi_v, \quad v = \overline{1, n}.$$

На основе изложенной методики можно определить с танальные неизвестные фазовые сдвиги α_{v2} , α_{v3} , ψ_{v2} и ψ_{v3} в случае, когда $\xi = 2$ и $\xi = 3$ с учётом соответствующих сдвигов фаз на $2\pi/3$ и $4\pi/3$. Аналогичным образом находятся вещественные и мнимые части комплексных токов \dot{I}_ξ и напряжений \dot{U}_ξ на входах соответствующих фаз ($\xi = \overline{1, 3}$).

Оценка токов на межабонентских участках МЛ. В случае, когда вещественные и мнимые части компонентов векторов $\dot{I}_\xi = [\dot{I}_{1\xi}, \dot{I}_{2\xi}, \dots, \dot{I}_{n\xi}]$ известны, составляющие векторов $\dot{I}_v = [\dot{I}_{0\xi}, \dot{I}_\xi, \dots, \dot{I}_{n-1\xi}]$ определяются на основе первого закона Кирхгофа [9]:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{v\xi} &= \sum_{k=v+1}^n \dot{I}_{k\xi} = \sum_{k=v+1}^n \dot{I}_{k\xi}^a + j \sum_{k=v+1}^n \dot{I}_{k\xi}^m = \dot{I}_{v\xi}^a + j \dot{I}_{v\xi}^m, \\ v &= \overline{0, n}, \quad \xi = \overline{1, 3}, \end{aligned}$$

где

$$\dot{I}_{v\xi}^a = \sum_{k=v+1}^n \dot{I}_{k\xi}^a; \quad \dot{I}_{v\xi}^m = \sum_{k=v+1}^n \dot{I}_{k\xi}^m; \quad \dot{I}_\xi = \dot{I}_{0\xi}.$$

Комплексные токи \dot{J}_v на межабонентских участках нейтрального провода определяются следующим образом:

$$\dot{J}_v = \dot{I}_{v1} + \dot{I}_{v2} + \dot{I}_{v3}; \quad v = \overline{0, n-1}.$$

Оценка напряжений на межабонентских участках. Напряжение \dot{U}_v на нейтральном проводе с учётом своей линейности и одинаковых сечений проводов рассматривается трёхфазной сети рассчитывается по формуле

$$\dot{U}_v = \dot{U}_{v1} + \dot{U}_{v2} + \dot{U}_{v3}, \quad v = \overline{0, n-1}.$$

Далее в целях нахождения напряжений \dot{U}_{v1} , \dot{U}_{v2} , \dot{U}_{v3} каждого контура сети составляем балансовые соотношения напряжений

$$\dot{U}_{v\xi} = \dot{U}_{v\xi}^a + \dot{U}_v + \dot{U}_{(v+1)\xi}; \quad v = \overline{0, n-1}; \quad \xi = \overline{1, 3},$$

где $\dot{U}_{0\xi} = \dot{U}_\xi$.

Стогда имеем, что

$$\dot{u}_{v\xi} + \dot{u}_v = U_{v\xi} - U_{(v+1)\xi}; \quad v = \overline{0, n-1}; \quad \xi = \overline{1, 3}. \quad (21)$$

Теперь на основе соотношений (21) с учётом (20) получаем следующие системы линейных алгебраических уравнений относительно искомых напряжений $\dot{u}_{v\xi}$:

$$\begin{aligned} 2\dot{u}_{v,1} + \dot{u}_{v,2} + \dot{u}_{v,3} &= b_{v,1}; & \dot{u}_{v,1} + 2\dot{u}_{v,2} + \dot{u}_{v,3} &= b_{v,2}; \\ \dot{u}_{v,1} + \dot{u}_{v,2} + 2\dot{u}_{v,3} &= b_{v,3}; & v &= \overline{0, n-1}, \end{aligned} \quad (22)$$

коэффициенты $b_{v1} = \dot{U}_{v1} - \dot{U}_{(v+1)1}$, $b_{v2} = \dot{U}_{v2} - \dot{U}_{(v+1)2}$, $b_{v3} = \dot{U}_{v3} - \dot{U}_{(v+1)3}$ вычисляются на основе ранее определённых вещественных и мнимых частей комплексных напряжений. Нетрудно заметить, что определители систем уравнений отличны от нуля ($\Delta = 4$), следовательно полученные системы имеют единственные решения, которые можно записать в явном виде:

$$\begin{aligned} \dot{u}_{v,1} &= (3b_{v1} - b_{v2} - b_{v3})/4; & \dot{u}_{v,2} &= (-b_{v1} + 3b_{v2} - b_{v3})/4; \\ \dot{u}_{v,3} &= (-b_{v1} - b_{v2} + 3b_{v3})/4; & v &= \overline{0, n-1}. \end{aligned}$$

Таким образом, путём подстановки найденных напряжений $\dot{u}_{v,1}$, $\dot{u}_{v,2}$, $\dot{u}_{v,3}$ в правую часть формулы (20) определяем комплексные напряжения \dot{u}_v на соответствующих участках нейтрального провода.

Выводы

1. Предложен аналитический метод вычисления вещественных и мнимых частей токов и напряжений на нагрузках потребителей с использованием измерительных данных со счётчиков электроэнергии, установленных у абонентов сети. Предложенный метод позволяет оценить неизмеряемые и неконтролируемые переменные состояния РЭС без использования данных о сопротивлениях межабонентских участков магистральных линий.

2. Полученные результаты можно использовать для создания подсистемы мониторинга состояния распределительной сети и оценки потерь мощности в ней в составе АИИС КУЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игумнов С. Н. Автоматизированная система проектирования АИИС КУЭ // Известия Волгоградского ГТУ. 2008. Т. 8. № 5.
2. Сапронов А. А., Кужеков С. Л., Тынянский В. Г. Особенности выявления неконтролируемого потребления электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1 кВ // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2004. № 1.
3. Хлебников В. К., Подгорный Д. Э. Методика расчёта потерь электроэнергии в сети 0,38 кВ по измерениям напряжений и токов с учётом схемно-технической информации // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2004. № 6.
4. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2009.
5. Омаров Т. Т., Такырбашев Б. К. К проблеме оптимизации метрических режимов работы распределительных сетей // Энергетика и системы: Управление, контроль, диагностика. 2016. № 5.
6. Арутюнян А. Г. О расчёте дополнительных потерь мощности в трёхфазных четырёхпроводных сетях // Электричество. 2005. № 10.
7. Бахвалов Н. С. Численные методы. — М.: Наука, 1975.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. — М.: Наука, 1973.
9. Демирчян К. С., Нейман Л. Р., Коровкин А. В. Теоретические основы электротехники. Т. 1. — СПб.: Питер, 2009.

ВЕСТИ ИЗ ПЕНСИОННОГО ФОНДА

Первые 30 компаний — клиентов НПФ электроэнергетики уже используют Личный кабинет для юридических лиц

С января 2017 года НПФ электроэнергетики предоставил своим клиентам по корпоративным пенсионным программам доступ к Личному кабинету для юридических лиц. Первые 30 компаний — клиентов Фонда, принимавших участие в тестировании функционала, которое завершилось ещё в конце декабря 2016 года, на сегодняшний день успешно используют возможности нового сервиса.

«Ещё на этапе тестирования мы отметили высокую технологичность предоставляемой услуги, — отмечает Артём Гойденко, представитель компании АО «СО ЕЭС», одного из старейших клиентов Фонда по корпоративному пенсионному обеспечению. — В Личном кабинете клиента компания получила возможность широкого доступа к сведениям по нашим пенсионным договорам, заключённым с Фондом. Благодаря этому наши специалисты могут в режиме онлайн не только получить необходимые оперативные данные по договору негосударственного пенсионного обеспечения, но и самостоятельно подготовить аналитические и отчётные документы. Таким образом, мы получили от НПФ электроэнергетики выход на новый уровень коммуникации, и для нас, как клиентов, крайне важна такая открытость взаимодействия с Фондом».

Личный кабинет многофункционален. Получить информацию по реализуемой пенсионной программе на предприятии теперь можно в один клик. В любое время специалист компании-клиента может получить данные по пенсионным счетам, выгрузить необходимую финансовую информацию для предоставления в уполномоченные организации, сформировать необходимые отчеты.

«На сегодняшний день онлайн-технологии и экономия времени — одни из основных требований, предъявляемых клиентами к финансовым организациям. Мы рады, что за короткий период времени смогли создать Личный кабинет для юридических лиц, предоставляющий нашим корпоративным клиентам удалённый доступ к сведениям по заключённым договорам негосударственного пенсионного обеспечения. Функционал сервиса охватывает практически все потребности наших клиентов от отслеживания информации по пенсионным счетам до оценки бюджета реализуемой корпоративной программы. Отмечу, что сервис Личного кабинета будет расширен, мы продолжаем добавлять новые возможности для улучшения коммуникации с клиентами», — комментирует вице-президент АО «НПФ электроэнергетики» Оксана Власьева.

ПЕНСИОННЫЙ ФОНД ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ



Лицензия Банка России № 3/2 от 22.03.2005 г., бессрочная www.npfe.ru

Получить подробную информацию об АО «НПФ электроэнергетики» и ознакомиться с уставом, пенсионными и страховыми правилами, а также с иными документами, предусмотренными федеральными законами, нормативными правовыми актами Российской Федерации и Банка России, можно, обратившись в Фонд по адресу: 129110, Москва, ул. Гиляровского, д. 39, стр. 3. Тел. 8 (495) 411-64-65.