Т. Т. Оморов, чл.-корр., д-р техн. наук, зав. лабораторией, omorovtt@mail.ru,

Национальная академия наук Кыргызской Республики, Бишкек,

Б. К. Такырбашев, начальник службы релейной защиты и автоматики, b.takyrbashev@gmail.com,

ОАО "Северэлектро", Бишкек

Идентификация состояния распределительной электрической сети в системах автоматизации учета и управления энергопотреблением

Распределительная электрическая сеть (РЭС) рассматривается как объект автоматизации, где осуществляется отпуск электроэнергии как товарной продукции. Создание и внедрение современных автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) делает актуальной проблему идентификации электрического состояния РЭС и локализации координат неконтролируемых (ненормативных) потерь электроэнергии при наличии возмущающих факторов, таких как несанкционированный отбор электроэнергии и утечка токов в сети. Применение для этой цели существующих методов и алгоритмов в реальном времени представляет определенные сложности из-за стохастического характера отдельных параметров сети, например, активных сопротивлений межабонентских участков, которые существенным образом изменяются в зависимости от внешних факторов (температуры, влажности и др.). В работе предлагаются методологические и алгоритмические основы решения указанной проблемы, ориентированные на создание специального программного обеспечения соответствующей функциональной задачи (подсистемы) АСКУЭ.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, состояние сети, несанкционированный отбор электроэнергии, утечка токов, метод идентификации

Введение

Автоматизация технологических процессов энергопотребления в распределительных электрических сетях в настоящее время осуществляется с использованием современных технологий в виде автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) [1], структура которых состоит из двух или трех иерархических уровней. Общая структура двухуровневой системы показана на рис. 1. Она включает подсистему верхнего уровня

Рис. 1. Общая структура двухуровневой АСКУЭ

на, основу которой составляет вычислительный комплекс (ВК), расположенный в центральном диспетчерском пункте управления (ЦДПУ), и ряд подсистем нижнего уровня, через которые осуществляются контроль, учет и управление процессом энергопотребления.

Каждая подсистема нижнего уровня включает: концентратор данных (КД); группу счетчиков электроэнергии (Сч), установленных у потребителей (абонентов); телекоммуникационные модули (ТКМ), которые строятся по технологии PLC, GSM и входят в состав КД и Сч. Счетчики электроэнергии обеспечивают измерение потребляемой абонентами мощности и количества энергии, а также токов и напряжений на нагрузках потребителей. Концентратор данных строится на основе микропроцессорной техники, располагается в основном в трансформаторной подстанции распределительной электрической сети (РЭС) и выполняет функции сбора данных со счетчиков, их хранение и обработку в целях решения соответствующих функциональных задач нижнего уровня (оценка потерь электроэнергии в РЭС, контроль технического состояния Сч, управление нагрузкой абонентов и др.), а также для передачи необходимых данных на верхний уровень. Вычислительный комплекс (центральный компьютер, сервер базы данных, автоматизированные рабочие места) подсистемы верхнего уровня выполняет следующие основные функции: сбор, хранение и управление общей базой данных;

обработка и анализ полученных от подсистемы нижнего уровня данных в целях решения соответствующих функциональных задач (расчет потерь электроэнергии и составление энергобаланса по системе; принятие управленческих решений; формирование документов, связанных с отчетностью и оплатой за потребленную абонентами электроэнергию, взаимодействие с внешними информационными системами и др.). Функцию обмена информацией между верхним и нижним уровнями системы выполняет ТКМ по технологии GSM.

Процесс функционирования РЭС сопровождается действием ряда возмущающих факторов, вызывающих отклонения РЭС от нормального режима (состояния) и приводящих к дополнительным потерям электроэнергии в сети. В качестве таких возмущающих факторов (возмущений) далее будут рассматриваться несанкционированные отборы электроэнергии и утечки токов в межабонентских участках (МАУ) сети, которые не контролируются системой и имеют случайный характер. В условиях внедрения АСКУЭ становится реальностью постановка и решение таких актуальных проблем в режиме on-line, как:

- идентификация состояния РЭС, позволяющая осуществлять оперативную оценку потерь электроэнергии в сети, включая дополнительные потери, обусловленные действием указанных выше возмущающих факторов;
- выявление и локализация координат действующих в сети возмущений в целях их оперативного устранения.

Применение для этой цели существующих методов [2–5] в режиме реального времени представляет определенные трудности из-за сложности измерения или оценки параметров межабонентских участков сети, таких как их активные сопротивления и токи, протекающие через них. Можно отметить, что токи, протекающие через МАУ, при наличии возмущающих факторов являются случайными функциями, а сопротивления участков сети изменяются в зависимости от внешних факторов (температуры, влажности и др.). Использование же для этой цели технических средств [4–6] приводит к усложнению технической структуры подсистемы нижнего уровня и дополнительным затратам. В работе предлагаются основы нового подхода к идентификации состояний РЭС в условиях действий возмущающих факторов и локализации их координат в сети.

Постановка задачи

Для определенности рассмотрим одну из фаз трехфазной распределительной сети с напряжением 0,4 кВ в симметричном режиме, схема замещения которой показана на рис. 2. Она включает трансформаторную подстанцию (ТП), группу из n нагрузок по-

ребителей и межабонентские участки передачи электроэнергии. Последние, представляющие собой длинные линии, в первом приближении заменены элементами с сосредоточенными параметрами — активными сопротивлениями r_v ($v = \overline{0, n-1}$).

Обозначения имеют следующий смысл:

$U_0 = U_0(t)$ — действующее значение напряжения на выбранной фазе на выходе ТП в момент времени t ;

Z_v — нагрузка v -го абонента ($v = \overline{1, n}$);

$I_v = I_v(t)$ — действующее значение тока в момент времени t , протекающего через нагрузку Z_v ;

$U_v = U_v(t)$ — падение напряжения на нагрузке Z_v ;

$i_v = i_v(t)$ — сила тока, протекающего через активное сопротивление v -го МАУ;

$u_v = u_v(t)$ — падение напряжения на сопротивлении r_v .

Текущее состояние S рассматриваемой электрической сети (рис. 2) описывается следующей системой векторов:

$$\mathbf{I} = [I_0, I_1, \dots, I_n];$$

$$\mathbf{U} = [U_0, U_1, \dots, U_n];$$

$$\mathbf{u} = [u_0, u_1, \dots, u_{n-1}];$$

$$\mathbf{i} = [i_0, i_1, \dots, i_{n-1}].$$

Предполагается, что компоненты векторов $\mathbf{I}$ и $\mathbf{U}$ с требуемой точностью измеряются счетчиками электроэнергии, установленными у абонентов сети. Эти данные передаются концентратору (КД) по технологии PLC и записываются в его базу данных. Компоненты векторов $\mathbf{i}$ и $\mathbf{u}$ в процессе функционирования РЭС не измеряются, и их оценка в реальном масштабе времени представляет определенные сложности в условиях неопределенности, связанной с действием указанных возмущающих факторов и изменением активных сопротивлений r_v ($v = \overline{0, n-1}$) межабонентских участков в зависимости от погодных условий.

Рассмотрим следующие состояния распределительной сети:

- 1) нормальное (базовое) состояние S^* ;
- 2) возмущенное состояние S' .

В каждый момент времени t общий (полезный) ток $I_A(t)$, потребляемый всеми абонентами, определяется выражением

$$I_A(t) = \sum_{v=1}^n I_v(t). \quad (1)$$

Рис. 2. Схема замещения части РЭС в симметричном режиме

Нормальное состояние сети характеризуется тем, что для всех моментов времени t с определенной точностью выполняется балансовое соотношение

$$I_0(t) = I_A(t), \quad (2)$$

где $I_0(t)$ — сила тока в рассматриваемом фазном проводе на входе сети.

Концентратор данных периодически вычисляет токи $I_0(t)$ и $I_A(t)$ и осуществляет непрерывный контроль выполнения условия (2). При этом базовое состояние $\mathbf{S}^*$ распределительной сети в момент времени $t = t^*$ описывается следующей системой векторов:

$$\begin{aligned} \mathbf{I} &= \mathbf{I}^* = [I_0^*, I_1^*, \dots, I_n^*]; \\ \mathbf{U} &= \mathbf{U}^* = [U_0^*, U_1^*, \dots, U_n^*]; \\ \mathbf{u} &= \mathbf{u}^* = [u_0^*, u_1^*, \dots, u_{n-1}^*]; \\ \mathbf{i} &= \mathbf{i}^* = [i_0^*, i_1^*, \dots, i_{n-1}^*]. \end{aligned}$$

Векторы $\mathbf{u}^*$ и $\mathbf{i}^*$ характеризуют электрическое состояние МАУ сети $\mathbf{S}^*$.

В этом случае компоненты вектора $\mathbf{i}^*$ на основе закона Кирхгофа [7] определяются выражением

$$i_v^* = \sum_{j=v+1}^n I_j^*, I_j^* = I_j(t^*), v = \overline{0, n-1}. \quad (3)$$

Для оценки компонентов вектора $\mathbf{u}^*$ для каждого электрического контура сети составляются соответствующие балансовые соотношения для напряжений [7]. В частности, для v -го контура (рис. 2) эти соотношения имеют вид

$$U_v^* = U_{v+1}^* + u_v^*, v = \overline{0, n-1}.$$

Отсюда определяем

$$u_v^* = U_v^* - U_{v+1}^*, v = \overline{0, n-1}. \quad (4)$$

Считается, что базовое состояние сети $\mathbf{S}^*$, определенное в момент времени $t = t' - \Delta t$ (Δt — достаточно малый интервал времени), сохраняется в процессе оценки параметров возмущенного состояния РЭС.

Теперь предположим, что начиная с момента времени $t = t' = t^* + \Delta t$ условие (2) не выполняется, что приводит к появлению разности токов

$$\Delta I(t) = I_0(t) - I_A(t). \quad (5)$$

При этом с определенной точностью будет иметь место следующее условие:

$$\Delta I(t) > 0. \quad (6)$$

Данный факт свидетельствует, что в момент времени $t = t'$ в сети начинает действовать возмущающий фактор, и РЭС переходит в возмущенное

состояние $\mathbf{S}'$, которое описывается следующим набором векторов:

$$\begin{aligned} \mathbf{I}' &= [I'_0, I'_1, \dots, I'_n]; \\ \mathbf{U}' &= [U'_0, U'_1, \dots, U'_n]; \\ \mathbf{u}' &= [u'_0, u'_1, \dots, u'_{n-1}]; \\ \mathbf{i}' &= [i'_0, i'_1, \dots, i'_{n-1}]. \end{aligned}$$

Отметим, что компоненты векторов $\mathbf{I}'$ и $\mathbf{U}'$ измеряются счетчиками электроэнергии с требуемой точностью и передаются в концентратор данных, т.е. они являются известными величинами. В то же время для полной оценки возмущенного состояния сети $\mathbf{S}'$ необходимо определить данные о компонентах векторов $\mathbf{i}'$ и $\mathbf{u}'$, описывающих состояние межабонентских участков $\mathbf{S}'_{\text{МАУ}}$.

Таким образом, задача идентификации формулируется следующим образом: на основе данных о нормальном (базовом) состоянии сети $\mathbf{S}^*$ и векторах $\mathbf{I}'$ и $\mathbf{U}'$ требуется оценить компоненты векторов $\mathbf{i}'$ и $\mathbf{u}'$, определяющих возмущенное состояние межабонентских участков $\mathbf{S}'_{\text{МАУ}}$.

Метод решения задачи

Основная идея, используемая при решении сформулированной задачи, состоит в следующем. В результате действия возмущающего фактора силы токов i_v ($v = \overline{0, n-1}$), протекающих через МАУ сети, получают соответствующие приращения Δi_v , т.е.

$$i'_v = i_v^* + \Delta i_v, v = \overline{0, n-1}. \quad (7)$$

Образуем вектор $\Delta \mathbf{i} = [\Delta i_0, \Delta i_1, \dots, \Delta i_{n-1}]$. Теперь основная проблема состоит в нахождении вектора $\Delta \mathbf{i}$. Для этой цели вначале определим вектор $\mathbf{u}' = [u'_0, u'_1, \dots, u'_{n-1}]$, компоненты которого на основе формулы (4) запишутся в виде

$$u'_v = U'_v - U'_{v+1}, v = \overline{0, n-1}. \quad (8)$$

Для каждого контура введем относительный параметр ε_v , определяемый следующей формулой:

$$\varepsilon_v = \frac{u'_v - u_v^*}{u_v^*}, v = \overline{0, n-1}. \quad (9)$$

С учетом (4) и (8) соотношение (9) принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_v &= \frac{(U'_v - U'_{v+1}) - (U_v^* - U_{v+1}^*)}{U_v^* - U_{v+1}^*} = \beta_{v-1}, \\ v &= \overline{0, n-1}, \end{aligned} \quad (10)$$

где численные коэффициенты

$$\beta_v = \frac{U'_v - U'_{v+1}}{U_v^* - U_{v+1}^*}. \quad (11)$$

Физически параметр ε_v определяет относительное изменение напряжения u'_v на сопротивлении r_v за счет действия возмущающего фактора. Вместе с тем для напряжений u_v^* и u'_v по закону Ома справедливы следующие выражения:

$$u_v^* = i_v^* r_v, \quad (12)$$

$$u'_v = i'_v r_v, \quad v = \overline{0, n-1}, \quad (13)$$

где сопротивления r_v являются неизвестными.

Теперь с учетом выражений (7), (12) и (13) для параметров ε_v можно получить следующие соотношения:

$$\varepsilon_v = \frac{(i_v^* + \Delta i_v) r_v - i_v^* r_v}{i_v^* r_v} = \frac{\Delta i_v}{i_v^*}, \quad v = \overline{0, n-1}. \quad (14)$$

Далее, приравнявая правые части (10) и (14), получаем, что

$$\frac{\Delta i_v}{i_v^*} = \beta_v - 1, \quad v = \overline{0, n-1}. \quad (15)$$

Формула (15) позволяет в явной форме оценить искомые приращения токов:

$$\Delta i_v = (\beta_v - 1) i_v^*, \quad v = \overline{0, n-1}, \quad (16)$$

где базовые токи i_v^* вычисляются по формуле (3).

Соотношения (16) по существу устанавливают закон изменения приращений токов Δi_v , протекающих в МАУ сети, относительно их базовых значений i_v^* ($v = \overline{0, n-1}$) при наличии возмущающего фактора.

В результате с учетом (16) компоненты искомого вектора $\mathbf{i}'$ вычисляются по следующему простому алгоритму:

$$i'_v = i_v^* + (\beta_v - 1) i_v^* = \beta_v i_v^*, \quad v = \overline{0, n-1}, \quad (17)$$

где коэффициенты β_v вычисляются по формуле (11).

Подход к оценке неконтролируемых (неизменяемых) параметров МАУ распределительной сети на основе соотношений (16) и (17) в дальнейшем назовем *методом приращений*.

Таким образом, метод приращений дает возможность в реальном масштабе времени идентифицировать возмущенное состояние РЭС в условиях неопределенности. Результаты идентификации можно использовать для оценки ненормативных потерь электроэнергии, включая дополнительные потери, вызванные действием возмущающего фактора. При этом имеется возможность учета действий в РЭС нескольких возмущений и не требуется знания данных об активных сопротивлениях МАУ сети.

Далее рассмотрим возможность использования метода приращения для локализации координат

возмущающих факторов в сети. Можно выделить следующие возможные случаи:

1) в РЭС имеет место одиночный возмущающий фактор;

2) в РЭС одновременно действуют несколько возмущений;

3) в РЭС имеются несколько возмущающих факторов, действующих последовательно в разные моменты времени.

Вначале сформулируем критерий идентификации возмущающих факторов. Предположим, что на основе метода приращений найден вектор $\Delta \mathbf{i} = [\Delta i_0, \Delta i_1, \dots, \Delta i_{n-1}]$. Не трудно заметить, что его компоненты Δi_v имеют только m различных значений, где m — общее число одновременно действующих возмущающих факторов. Данное свойство позволяет установить условия, при выполнении которых возможна локализация координат возмущений в сети. Для этой цели введем следующие разности:

$$\Delta J_v = \Delta i_v - \Delta i_{v+1}, \quad v = \overline{0, n-1}, \quad (18)$$

где $\Delta i_n = 0$.

Образует вектор $\Delta \mathbf{J} = [\Delta J_0, \Delta J_1, \dots, \Delta J_{n-1}]$. Простой анализ показывает, что этот вектор обладает следующими свойствами:

- число его ненулевых элементов равно числу возмущающих факторов, действующих в данное время в распределительной сети;
- индексы (номера) его ненулевых компонентов определяют координаты возмущений.

Указанные свойства вектора $\Delta \mathbf{J}$ дают возможность сформулировать следующий критерий идентификации: координаты возмущающих факторов, действующих в распределительной сети в момент времени $t = t^*$, определяются индексами тех элементов вектора $\Delta \mathbf{J} = [\Delta J_0, \Delta J_1, \dots, \Delta J_{n-1}]$, при которых выполняются условия

$$J_v > 0, \quad v = \overline{0, n-1}. \quad (19)$$

Для иллюстрации методики локализации возмущающих факторов рассмотрим следующие примеры.

Пусть в распределительной сети действует одиночное возмущение. Предположим, что при этом найденный на основе метода приращений вектор $\Delta \mathbf{i}$ имеет вид

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{i} &= [\Delta i_0, \Delta i_1, \dots, \Delta i_{k-1}, \Delta i_k, \Delta i_{k+1}, \dots, \Delta i_n] = \\ &= [\Delta I, \Delta I, \dots, \Delta I, 0, 0, \dots, 0], \end{aligned}$$

где

$$\Delta I = \Delta i_0 = I_0 - \sum_{v=1}^n I_v^*, \quad \Delta i_v = \Delta I; \quad v = \overline{0, k-1},$$

$$\Delta i_v = 0, \quad v = \overline{k, n-1}.$$

Теперь по формуле (18) вычислим компоненты вектора $\Delta \mathbf{J}$:

$$\Delta \mathbf{J} = [0, 0, \dots, 0, \Delta I, 0, \dots, 0].$$

Из структуры вектора $\Delta \mathbf{J}$ видно, что критериальное условие (19) выполняется при $v = k$. Отсюда следует, что одиночный возмущающий фактор действует в k -м межабонентском участке сети.

Структура вектора $\Delta \mathbf{i}$ позволяет идентифицировать и координаты нескольких возмущающих факторов, действующих одновременно. Допустим, что в распределительной сети одновременно действуют два возмущения. Пусть при этом найденный на основе вышеизложенной методики вектор $\Delta \mathbf{i}$ имеет вид

$$\Delta \mathbf{i} = [\Delta i_0, \Delta i_1, \Delta i_2, \Delta i_3, \Delta i_4, \Delta i_5, \dots, \Delta i_{n-1}, \Delta i_n] = [\Delta I, \Delta I, \Delta I_1, \Delta I_1, \Delta I_1, 0, 0, \dots, 0, 0],$$

где $\Delta i_0 = \Delta i_1 = \Delta I$, $\Delta i_2 = \Delta i_3 = \Delta i_4 = \Delta I_1$,

$$\Delta i_l = 0 \quad (l = \overline{5, n-1}), \quad \Delta I = I_0 - \sum_{v=1}^n I_v^*.$$

Теперь, используя формулу (18), определим компоненты вектора $\Delta \mathbf{J}$:

$$\Delta \mathbf{J} = [0, \Delta \tilde{I}, 0, 0, \Delta I_1, 0, 0, \dots, 0],$$

где $\Delta \tilde{I} = \Delta I - \Delta I_1$.

Анализ структуры вектора $\Delta \mathbf{J}$ на основе критерия (19) показывает, что возмущающие факторы действуют в первом и четвертой межабонентских участках распределительной сети.

Метод приращений можно использовать и для идентификации координат нескольких возмущающих факторов, действующих последовательно в разные моменты времени. В частности, в случае, когда в сети действуют два возмущающих фактора, обобщенный алгоритм их локализации включает следующие основные этапы.

1. Периодически осуществляется опрос всех счетчиков электроэнергии (Сч) и результаты измерений — векторы $\mathbf{I} = [I_0, I_1, \dots, I_n]$ и $\mathbf{U} = [U_0, U_1, \dots, U_n]$ — записываются в базу данных концентратора (КД).

2. В КД периодически осуществляется вычисление общего тока I_A и разности ΔI по формулам (1) и (5) и непрерывная проверка условия (6). При выполнении условия (6) фиксируется момент времени $t = t'$ наступления первого возмущения и измеряются векторы $\mathbf{I}' = [I'_0, I'_1, \dots, I'_n]$ и $\mathbf{U}' = [U'_0, U'_1, \dots, U'_n]$.

3. На основе изложенного выше метода идентифицируется вектор приращений $\Delta \mathbf{i} = [\Delta i_0, \Delta i_1, \dots, \Delta i_{n-1}]$, вызванный действием первого возмущения и определяющий возмущенное состояние межабонентских участков сети $\mathbf{S}'_{\text{МАУ}}$.

4. Формируется критериальный вектор $\Delta \mathbf{J} = [\Delta J_0, \Delta J_1, \dots, \Delta J_n]$ с использованием соотношения (18).

5. На основе критериального условия (19) идентифицируются координаты первого возмущающего фактора.

6. Периодически вычисляется разность

$$\Delta I'(t) = I_0(t) - [I_A(t) + \Delta i_0],$$

где Δi_0 — оценка приращения тока на начальном участке сети ($v = 0$), вызванное первым возмущением.

7. Для выявления второго возмущающего фактора непрерывно проверяется условие

$$\Delta I'(t) = 0, \quad t \geq t'. \quad (20)$$

Если условие (20) с заданной точностью выполняется, то в сети пока действует первое возмущение. Как только не выполняется условие (20), в сети начинает действовать второе возмущение. Фиксируется момент времени $t = t''$ ($t'' > t'$), начиная с которого действует второе возмущение, т.е. осуществляется переход сети во второе возмущенное состояние $\mathbf{S}'$.

8. Осуществляется опрос счетчиков электроэнергии, и в базе данных концентратора формируются новые векторы $\mathbf{I}' = [I'_0, I'_1, \dots, I'_n]$, $\mathbf{U}' = [U'_0, U'_1, \dots, U'_n]$, соответствующие моменту времени $t = t''$. В качестве базового состояния сети $\mathbf{S}^*$ принимаются новые векторы $\mathbf{I}^* = [I_0^*, I_1^*, \dots, I_n^*]$, $\mathbf{U}^* = [U_0^*, U_1^*, \dots, U_n^*]$, $\mathbf{i}^* = [i_0^*, i_1^*, \dots, i_{n-1}^*]$, соответствующие моменту времени $t = t'' - \Delta t$.

9. На основе соотношений (16) определяется новый вектор приращений $\Delta \mathbf{i} = [\Delta i_0, \Delta i_1, \dots, \Delta i_{n-1}]$, соответствующий второму возмущению.

10. Формируется критериальный вектор $\Delta \mathbf{J} = [\Delta J_0, \Delta J_1, \dots, \Delta J_n]$ на основе соотношений (18) с использованием компонент вектора $\Delta \mathbf{i} = [\Delta i_0, \Delta i_1, \dots, \Delta i_{n-1}]$.

11. На основе критериального условия (19) идентифицируются координаты второго возмущающего фактора.

Использование этого алгоритма позволяет аналогичным образом определить координаты трех и более возмущающих факторов, действующих в сети последовательно в разные моменты времени.

Заключение

Предложен новый подход к идентификации состояния распределительной электрической сети в симметричном режиме при наличии неконтролируемых возмущающих факторов, названный методом приращений. В качестве возмущающих факторов рассматриваются несанкционированный отбор энергии, а также утечка токов в сети. Результаты идентификации можно использовать для оценки потерь электроэнергии в электрической сети в режиме реального времени, включая дополнительные потери, вызванные указанными возмущающими факторами.

На основе метода приращений разработан алгоритм локализации координат действующих в сети возмущающих факторов, позволяющий в оперативном порядке устранить их и, тем самым, минимизировать ненормативные потери электроэнергии. Полученные результаты можно использовать для создания специального программного обеспечения АСКУЭ, предназначенного для мониторинга текущего состояния распределительной сети, оценки ненормативных потерь электроэнергии и локализации рассматриваемого класса возмущающих факторов в сети.

Список литературы

1. Ожегов А. Н. Системы АСКУЭ. Киров: ВятГУ, 2006, 102 с.

2. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. М.: ЭНАС, 2009, 456 с.
3. Оморов Т. Т., Закиряев К. Алгоритм оценки потерь электроэнергии в системах автоматизации процессов энергопотребления // Наука, техника и образование. 2014. № 5. С. 43–48.
4. Арутюнян А. Г. О расчете дополнительных потерь мощности в трехфазных четырехпроводных сетях // Электричество. 2015. № 10. С. 55–58.
5. Хлебников В. К., Подгорный Д. Э. Методика расчета потерь электроэнергии в сети 0,38 кВ по измерениям напряжений и токов с учетом схемно-технической информации // Изв. вузов. Электромеханика. 2004. № 6.1. С. 28–31.
6. Пат. № 1547 КР. Способ обнаружения мест несанкционированного отбора электроэнергии из линии электроснабжения 0,4 кВ / Оморов Т. Т., Мухутдинов К. Ш., Романчук В. К. // Интеллектуальная собственность. Бишкек. 2013. № 5.
7. Демирчян К. С., Нейман Л. Р., Коровкин А. В. Теоретические основы электротехники. Т. 1. СПб.: Питер, 2009. 512 с.

Identification of the State of the Distributive Electrical Network in the Automated Systems of Accounting and Management of the Power Consumption

T. T. Omorov, omorovtt@mail.ru✉,

Institute of Physical-Technical Problems of NAS KR, Bishkek, 720071, KR

B. K. Takyrbashev, b.takyrbashev@gmail.com, Severelectro Co., Bishkek, 720005, KR

Corresponding author: Omorov Turatbek. T., Corresponding Member of NAS KR, Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory of the Institute of Physical-Technical Problems of NAS KR, e-mail: omorovtt@mail.ru

Received on May 25, 2016

Accepted on June 04, 2016

Distributive electrical network (DEN) is considered as an object of automation, which produces electricity as a marketable product. Development and introduction of modern automated control systems and electricity accounting (ACSEA) makes topical the problems of identification of the electrical state of DEN and localization of the coordinates of the uncontrollable (non-normative) disturbing factors, such as unsanctioned use of electricity and leakage currents in the network. Application for this purpose of the existing methods and algorithms in real time presents certain difficulties, because of the stochastic character of separate network parameters, for example, active resistances of the interperson sections, which is changed depending on the external factors (temperature, humidity, etc). The paper offers the methodological and algorithmic basics for solving this problem, based on identification of the current state of the distributive electrical network in the presence of the distributing factors. The received results are oriented on development of special software corresponding to the functional tasks (subsystems) of ACSEA.

Keywords: distributive electrical network, state of the network, unsanctioned use of electricity, leakage currents, method of identification

For citation:

Omorov T. T., Takyrbashev B. K. Identification of the State of the Distributive Electrical Network in the Automated Systems of Accounting and Management of the Power Consumption, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 10, pp. 651–656.

DOI: 10.17587/mau.17.651-656

References

1. Ozhegov A. N. *Sistemy ASKUe* (Systems of ACSEA), Kirov, Izd-vo VjatGU, 2006, 102 pp. (in Russian).
2. Zhelezko Ju. S. *Poteri jelektronegii. Reaktivnaja moshhnost'. Kachestvo jelektronegii* (Power loss. Reactive power'. Power quality), Moscow, JeNAS, 2009, 456 pp. (in Russian).
3. Omorov T. T., Zakirjaev K. *Algoritm ocenki poter' jelektronegii v sistemah avtomatizacii processov jenergotreblenija* (Algorithm for evaluation of power losses in the power automation process of systems), *Nauka, Tehnika i Obrazovanie*, 2014, no. 5, pp. 43–48 (in Russian).

4. Arutjunjan A. G. *O raschete dopolnitel'nyh poter' moshhnosti v trehfaznyh chetyrehprovodnyh setjah* (Additional power loss calculation in three-phase, four-wire networks), *Jelektrichestvo*, 2015, no. 10, pp. 55–58 (in Russian).

5. Hlebnikov V. K., Podgornij D. Je. *Metodika rascheta poter' jelektronegii v seti 0,38 kV po izmerenijam naprjazhenij i tokov s uchetom shemno-tehnicheskoi informacii* (Method of calculation electricity losses in grid 0,38 kV measurements of voltages and currents based on circuit-technical information), *Izv. vuzov. Jeletromehanika*, 2004, no. 6.1, pp. 28–31 (in Russian).

6. Patent № 1547 KR. *Sposob obnaruzhenija mest nesankcionirovannogo otbora jelektronegii iz linii jelektronegii 0,4 kV* (Method of detecting unauthorized places of electricity withdrawal from a power line 0,4 kV), Omorov T. T., Muhutdinov K. Sh., Romanchuk V. K., *Intellectualnaja Sobstvennost*, Bishkek, 2013, no. 5 (in Russian).

7. Demirchjan K. S., Nejman L. R., Korovkin A. V. *Teoreticheskie osnovy jelektronegii* (Theoretical foundations of electrical engineering), vol. 1, SPb., Piter, 2009, 512 pp. (in Russian).