

**К ПРОБЛЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

**ОМОРОВ ТУРАТБЕК ТУРСУНБЕКОВИЧ<sup>1</sup>,  
ТАКЫРБАШЕВ БЕЙШЕНАЛЫ КАСЫМАЛИЕВИЧ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Национальная академия наук КР

<sup>2</sup> ОАО “Северэлектро”

Тип: статья в журнале - научная статья Язык: русский

Номер: 6 Год: 2016 Страницы: 11-15

ЖУРНАЛ:

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ. УПРАВЛЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА

Издательство: Издательство "Научтехлитиздат" (Москва)

ISSN: 2073-0004

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

ТРЕХФАЗНАЯ СЕТЬ, THREE-PHASE NETWORK, НЕСИММЕТРИЧНЫЙ РЕЖИМ, ПОТЕРИ МОЩНОСТИ, LOSSES OF POWER, ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА, OPTIMIZATION OF REGIME, ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР, DIGITAL REGULATOR, ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ, SWITCHING ELEMENT, ASYMMETRIC REGIME

АННОТАЦИЯ:

Рассматриваются трехфазные распределительные электрические сети (РЭС) как объекты управления при их несимметричных режимах. Такие режимы работы РЭС являются не оптимальными, в частности, они приводят к значительным потерям активной мощности в сети и питающих трансформаторных подстанциях, что требует поиска эффективных путей решения этой проблемы. Предлагается новый подход к оптимизации несимметричных режимов работы РЭС на основе адаптации нагрузок потребителей посредством их переключения с одной фазы на другую. Процесс управления переключением осуществляется системой автоматического управления, состоящей из цифрового регулятора и объекта, включающего группу счетчиков электроэнергии с переключающимися элементами. В целях оценки качества и эффективности функционирования РЭС вводится критериальная функция, характеризующая потери активной мощности в сети. Синтезируется регулятор, обеспечивающий формирование управляющих воздействий на объект на основе оптимизации рассматриваемого критерия.

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ:

Входит в РИНЦ®: да

Цитирований в РИНЦ®: 9

Входит в ядро РИНЦ®: да

Цитирований из ядра РИНЦ®: 5

Норм. цитируемость по журналу:

Импакт-фактор журнала в РИНЦ: 0,272

Норм. цитируемость по  
направлению: 7,696

Дециль в рейтинге по  
направлению: 1

Тематическое направление: [Electrical engineering,](#)  
[electronic engineering](#)

Рубрика ГРНТИ: [Энергетика](#)

#### АЛЬТМЕТРИКИ:

Просмотров: 41  
(9)

Загрузок: 1 (0)

Включено в  
подборки: 8

Всего оценок: 0

Средняя оценка:

Всего отзывов: 0

#### ОПИСАНИЕ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

To the problem the optimization of asymmetric regime work of  
distributive networks

[Omorov Turatbek Tursunbekovich](#)<sup>1</sup>, [Takyrbashev Beishenaly](#)  
[Kasymalievich](#)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Academy of Science of the KR

<sup>2</sup> JSC “Severelectro”

It is considered the three-phase distributive electrical networks (DEN) as an object of control at their asymmetric regimes. Such regime work of DEN are not optimal, in particular, they lead to considerable losses of active power in the network and supplying transformer substations, that requires a search for effective ways to solve this problem. It is offered a new approach to the optimization of asymmetric regime work of DEN on the basis of adaptation of consumer loads through their switching from one phase to another. The process of switching control is carried out by automatic control system, consisting of a digital regulator and an object, including the group of electricity meters with the switching elements. In the purpose of evaluation of quality and efficiency of the DEN functioning is entered criteria function, characterizing the losses of active power in the network. It is synthesized the regulator, providing the formation of control actions on the object based on the optimization of the considered criterion.

УДК 620.9: 658.011.56

## **К ПРОБЛЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

**ОМОРОВ ТУРАТБЕК ТУРСУНБЕКОВИЧ<sup>1</sup>, ТАКЫРБАШЕВ  
БЕЙШЕНАЛЫ КАСЫМАЛИЕВИЧ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Национальная академия наук КР, Бишкек

<sup>2</sup>ОАО «Северэлектро», Бишкек

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в целях автоматизации процессов энергопотребления на уровне распределительных электрических сетей (РЭС) широко внедряются автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) [1], которые представляют собой информационно-измерительные системы из двух уровней. Структура нижнего уровня включает: концентраторы данных (КД); комплекс измерительных приборов (счетчиков электроэнергии(Сч)); телекоммуникационные модули (ТКМ). Концентраторы (КД) строятся на основе микропроцессорной техники, которые, в основном, располагаются в трансформаторных подстанциях (ТП). Они выполняют функции сбора данных со счетчиков, их хранение и предварительную обработку с последующей передачей необходимой информации на верхний уровень управления, где с использованием вычислительного комплекса решается ряд функциональных задач (оценка потерь электроэнергии, расчет энергобаланса в РЭС, контроль технического состояния Сч и др.). Информационный обмен между уровнями (подсистемами) АСКУЭ осуществляется с помощью ТКМ.

При этом главной задачей АСКУЭ является автоматизация коммерческого учета электроэнергии. В то же время показатели качества и эффективности РЭС существенным образом зависят от решений, связанных с обеспечениями оптимальных режимов функционирования сети. Как известно [2–4], такие возмущающие факторы (возмущения) как разбалансировка нагрузок и неравномерное их распределение по фазам являются причиной того, что распределительные сети, в основном, работают в несимметричных режимах, при которых токи в нейтральных проводах изменяются в значительных пределах. Действия этих возмущений приводят к повышенным потерям активной мощности в сети и трансформаторных подстанциях (ТП), к выходу из строя бытовой техники и промышленных установок, а также к сокращению сроков эксплуатации функциональных элементов (ТП, линий электропередачи и др.) РЭС. Эффективное решение этой проблемы в режиме реального времени в настоящее время не существует, а известные методы и средства [2, 5–7] направлены на ее частичное решение.

Таким образом, оптимизация несимметричных режимов работы РЭС при наличии указанных выше возмущающих факторов является наиболее актуальной проблемой. При этом важное значение имеет выбор критерия оптимальности, в качестве которого целесообразно принять потери мощности (электроэнергии), вызванные несимметричностью режимов сети. Один из возможных путей решения рассматриваемой проблемы состоит в создании системы автоматического управления (САУ), обеспечивающей в режиме реального времени минимизацию указанного критерия за счет

перераспределения потоков электроэнергии между фазами сети, что можно реализовать посредством желаемых переключений приемников потребителей электроэнергии. Структура такой САУ состоит из цифрового регулятора и объекта управления, в качестве которого выступает совокупность счетчиков  $\{Сч_v\}$ , установленных у потребителей (абонентов) сети. Регулятор на основе измерительных данных, полученных в концентраторе, по определенному алгоритму формирует управляющие воздействия (сигналы), которые передаются на объект для реализации. Применение таких САУ приводит к тому, что РЭС будет адаптироваться в условиях действий неконтролируемых случайных возмущений в режиме реального времени путем автоматической самонастройки своей структуры. В результате такую распределительную сеть можно рассматривать как систему с переменной структурой [8]. Практическая реализация такого принципа перераспределения потоков энергии между фазами сети является в настоящее время реальной задачей, так как в современных однофазных и трехфазных счетчиках (серии Альфа, Меркурий, МИР и др.) имеются электромагнитные реле с мощными контактами до 100А, которые можно использовать для переключения приемников с одной фазы на другую путем подачи соответствующих управляющих импульсов (сигналов).

В статье предлагается один из возможных подходов к решению проблемы оптимизации несимметричных режимов работы трехфазных распределительных сетей на основе создания цифровой системы автоматического управления (САУ), обеспечивающей минимизацию действующего тока нейтрального провода в режиме реального времени.

### **Постановка задачи управления**

Для удобства изложения без потери общности рассмотрим трехфазную распределительную сеть с напряжением 0,4 кВ, условная схема которой представлена на рис.1.

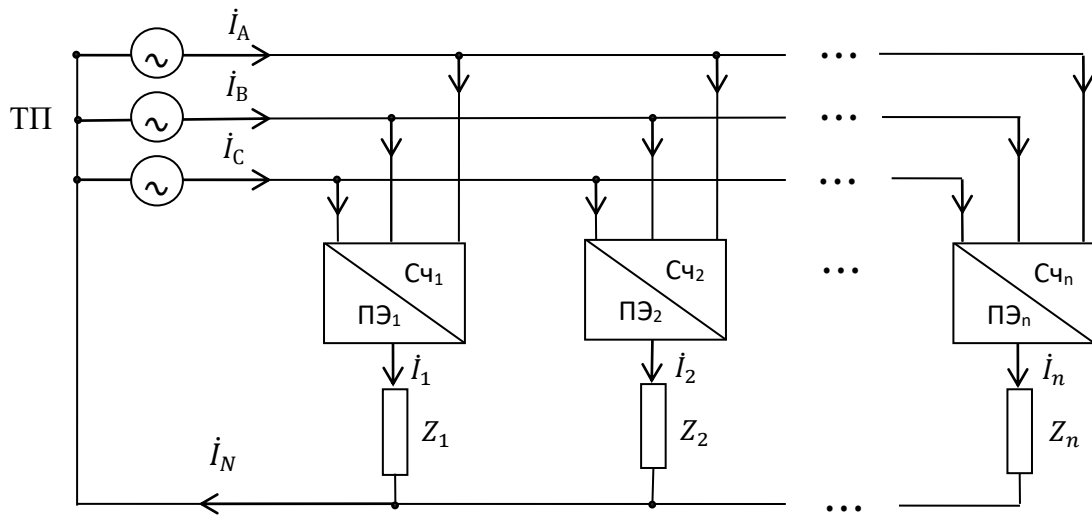


Рис 1. Условная схема трехфазной распределительной сети

Она включает питающую трансформаторную подстанцию (ТП), группу из  $n$  счетчиков электроэнергии ( $Сч_v$ ) ( $v = \overline{1, n}$ ), установленных у однофазных потребителей электроэнергии. На рис.1  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C, \dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$  – комплексные токи и напряжения соответственно на фазах А, В, С на входе сети;  $Z_v$  – обозначение  $v$ -го приемника потребителя (нагрузки) ( $v = \overline{1, n}$ );  $\dot{I}_v, \dot{U}_v$  – комплексный ток и напряжение на нагрузке  $Z_v$ ;  $\dot{I}_N$  – комплексный ток в нейтральном проводе; ПЭ $_v$  – переключающий элемент счетчика  $Сч_v$ .

Индексы А, В и С обозначают, что указанные переменные относятся к соответствующим фазам. Далее предполагается, что выполняются следующие условия:

1. Счетчики электроэнергии ( $Сч_v$ ) имеют переключательные элементы (ПЭ $_v$ ).
2. Действующие значения фазных токов  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C, \dot{I}_v$  и напряжений  $\dot{U}_v$  на нагрузках потребителей  $Z_v$  ( $v = \overline{1, n}$ ), а также соответствующие активные и реактивные мощности измеряются с большой частотой и передаются посредством ТКМ в концентратор данных (КД).

Текущее состояние сети определяется набором векторов:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{I}}_{ABC} &= [\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C], & \dot{\mathbf{U}}_{ABC} &= [\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C], \\ \dot{\mathbf{I}} &= [\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dots, \dot{I}_n]. & \dot{\mathbf{U}} &= [\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dots, \dot{U}_n]. \end{aligned} \quad (1)$$

Далее будем считать, что компоненты (составляющие) векторов  $\dot{I}_{ABC}$  и  $\dot{I}$  представлены в комплексной форме:

$$\dot{I}_A = I_A^B + jI_A^M, \quad \dot{I}_B = I_B^B + jI_B^M, \quad \dot{I}_C = I_C^B + jI_C^M, \quad (2)$$

$$\dot{I}_v = I_v^B + jI_v^M, \quad v = \overline{1, n},$$

где верхние знаки **в** и **м** – здесь и далее обозначают вещественные и мнимые части соответствующих комплексных величин;  $j = \sqrt{-1}$  – мнимое число.

Счетчиками электроэнергии измеряются только модули (действующие значения) комплексных токов  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C, \dot{I}_v$  ( $v = \overline{1, n}$ ). Далее будем считать, что их вещественные и мнимые части определяются по известной методике на основе данных измерений.

Комплексный ток  $\dot{I}_N$  в нейтральном проводе [9]

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C, \quad (3)$$

который можно представить в виде

$$\dot{I}_N = I_N^B + jI_N^M = I_N \exp(j\alpha_N), \quad (4)$$

где  $\alpha_N$  – сдвиг фазы;  $I_N$  – действующее значение (модуль) тока:

$$I_N = \sqrt{(I_N^B)^2 + (I_N^M)^2}. \quad (5)$$

Как известно [9], амплитуда мгновенного тока в нейтральном проводе прямо пропорциональна  $I_N$ . Отсюда следует, что величина действующего тока  $I_N$  в определенной степени может служить показателем качества и эффективности функционирования РЭС, так как чем меньше эта величина, тем ниже активные потери мощности в сети. Таким образом, для оптимизации режима работы сети можно использовать следующую критериальную (целевую) функцию:

$$E = I_N^2, \quad (6)$$

так как экстремумы функций  $E$  и  $I_N$  совпадают.

Основная функция цифрового регулятора САУ заключается в формировании и минимизации критерия  $E$ . Эта процедура осуществляется так, чтобы минимум показателя  $E$  однозначно определял координату искомого приемника, который необходимо

переключать с одной фазы на другую. По результатам такой оптимизации формируются управляющие воздействия  $u_\nu$  ( $\nu = \overline{1, n}$ ) на объект, посредством которых реализуются соответствующие переключения приемников. При этом критериальная функция  $E = E(u_\nu)$ , а совокупность сигналов  $u_\nu$  ( $\nu = \overline{1, n}$ ) образует дискретное множество  $U = \{u_\nu\}$ .

Задача синтеза заключается в определении структуры и алгоритма функционирования цифрового регулятора, обеспечивающего минимизацию критериальной функции  $E$ , т.е.

$$\min_{u_\nu \in U} E(u_\nu) = E(u_m) = E(u^*), \quad (7)$$

где  $u^* = u_m$  – оптимальный управляющий сигнал, представляющий собой командный цифровой код, который содержит информацию о координате приемника (счетчика) и наименованиях пары фаз трехфазной сети, которые необходимо переключать.

### Решение задачи синтеза цифрового регулятора

Решение сформулированной выше задачи включает следующие этапы:

1. Представление компонентов векторов  $\dot{I}$  и  $\dot{I}_{ABC}$  в комплексной форме.
2. Идентификация пары фаз сети для осуществления требуемых переключений приемников потребителей.
3. Формирование критериальной функции  $E$  и ее оптимизация.
4. Формирование управляющего сигнала для переключения выбранного приемника.

Далее будем считать, что компоненты комплексных векторов  $\dot{I}$ ,  $\dot{I}_{ABC}$  представлены в форме (2). В целях выбора требуемой пары фаз сети необходимо найти максимальное  $I_{max}$  и минимальное  $I_{min}$  значения среди действующих фазных токов  $I_A, I_B, I_C$ :

$$\begin{aligned} I_{max} &= \max\{I_A, I_B, I_C\}, \\ I_{min} &= \min\{I_A, I_B, I_C\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Эти величины однозначно определяют искомую пару фаз сети, на которых имеется необходимость выполнения требуемых переключений некоторого, пока не известного приемника. Очевидно, что необходимо переключать приемник с фазы, где достигается

$I_{max}$ , на фазу с наименьшим значением действующего тока  $I_{min}$ . Для того, чтобы минимизировать количество переключений введем следующие переменные:

$$I_0 = (I_A + I_B + I_C)/3,$$

$$e_A = I_A - I_0, \quad e_B = I_B - I_0, \quad e_C = I_C - I_0.$$

Определим величины  $e_{max} = \max\{e_A, e_B, e_C\}$ ,  $e_{min} = \min\{e_A, e_B, e_C\}$ . Операцию переключения целесообразно осуществлять только тогда, когда выполняется следующее условие

$$\frac{\Delta I_{max}}{I_0} > \delta, \quad (9)$$

где  $\Delta I_{max} = \max\{e_{max}, |e_{min}|\}$ ;  $\delta$  – малое положительное число, задающее максимально допустимый разбаланс фазных токов на входе сети.

Теперь рассмотрим вопрос о формировании критериальной функции  $E$ . В целях конкретизации задачи оптимизации (7) далее без потери общности предположим, что

$$I_{max} = I_A, \quad I_{min} = I_B.$$

Необходимо формировать целевую функцию  $E$  так, чтобы ее минимальное значение однозначно идентифицировало координату переключаемого приемника. Рассмотрим процесс управления, который осуществляется в дискретные моменты времени  $t = t_\mu = \mu\Delta t$  ( $\mu = 0, 1, 2, \dots$ ), где  $\Delta t$  – шаг дискретизации. Предположим, что в начальный момент времени  $t = t_0$  условие (9) не выполняется и количество приемников  $Z_\nu$ , подключенных к соответствующим фазам составляют  $n_a, n_b, n_c$  ( $n_a + n_b + n_c = n$ ). В целях наглядности дальнейших выкладок упорядочиваем токи приемников  $i_\nu$  ( $\nu = \overline{1, n}$ ) путем введения новых обозначений. Далее через  $i_k$  ( $k = \overline{1, n_a}$ ),  $j_\xi$  ( $\xi = \overline{1, n_b}$ ),  $i_r$  ( $r = \overline{1, n_c}$ ) обозначим комплексные токи приемников, получающих питание соответственно через фазы А, В, С. Тогда в момент времени  $t = t_0$  для фазных токов справедливы соотношения:

$$i_A^0 = \sum_{k=1}^{n_a} i_k^0 = I_A^0 e^{j\alpha_A^0},$$



$$i_B^0 = \sum_{\xi=1}^{n_b} j_{\xi}^0 = I_B^0 e^{j\alpha_B^0}, \quad (10)$$

$$i_C^0 = \sum_{r=1}^{n_c} i_r^0 = I_C^0 e^{j\alpha_C^0},$$

где верхний индекс «0» означает, что соответствующие переменные определены при  $t = t_0$ ;  $I_A^0$ ,  $I_B^0$ ,  $I_C^0$  – действующие значения соответствующих фазных токов, которые измеряются счетчиками электроэнергии на выходе ТП;  $\alpha_A^0$ ,  $\alpha_B^0$ ,  $\alpha_C^0$  – фазовые сдвиги соответствующих токов.

Теперь допустим, что в следующий момент времени  $t = t_1$  условие (9) выполняется, т.е. разбаланс фазных токов на входе сети выше заданного уровня. Тогда необходимо осуществлять операцию переключения некоторого, пока неизвестного, приемника с фазы А на фазу В. В этом случае прогнозные значения фазных токов с учетом (10) запишутся в виде

$$i_A = i_A^0 - i_m^0 = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^{n_a} i_k^0 = I_A e^{j\alpha_A},$$

$$i_B = i_B^0 + j_{n_b+1} = j_{n_b+1} + \sum_{\xi=1}^{n_b} j_{\xi}^0 = I_B e^{j\alpha_B}, \quad (11)$$

$$i_C = i_C^0 = \sum_{r=1}^{n_c} i_r^0 = I_C e^{j\alpha_C},$$

где  $I_A$ ,  $I_B$  – прогнозные действующие значения токов  $i_A$ ,  $i_B$  в предположении, что вероятным кандидатом на переключение является приемник, через который в момент времени  $t = t_0$  протекает ток  $i_m$ ;  $j_{n_b+1} = J_{n_b+1}^B + jJ_{n_b+1}^M$ .

Далее для определения комплексного тока  $i_N$  в нейтральном проводе, определяемого формулой (3), используются соотношения (11), а его модуль  $I_N$  вычисляется по формуле (5).

Введем вектор параметров  $\mathbf{p}_m = [p_{m1}, p_{m2}, p_{m3}, p_{m4}]$  ( $m = \overline{1, n_a}$ ), где  $p_{m1} = I_m^B$ ,  $p_{m2} = I_m^M$ ,  $p_{m3} = J_{n_b+1}^B$ ,  $p_{m4} = J_{n_b+1}^M$ . При этом критериальная функция  $E = E(\mathbf{p}_m)$ . Совокупность векторов  $\mathbf{p}_m$  образует дискретное множество  $P = \{\mathbf{p}_m\}$ . В результате задача оптимизации (7) сводится к следующей экстремальной задаче:

$$\min_{\mathbf{p}_m \in P} E(\mathbf{p}_m) = E(\mathbf{p}_{m^*}) = E(\mathbf{p}^*), \quad (12)$$

где  $p^* = p_{m^*}$  – оптимальное решение, которое определяет координату искомого приемника для переключения и требуемый управляющий сигнал  $u^* = u_{m^*}$  на объект.

Задача оптимизации (12) имеет дискретный характер и при небольшом  $n_a$  решается относительно просто, например, путем перебора вариантов.

Общая структура САУ с цифровым регулятором приведена на рис.2.

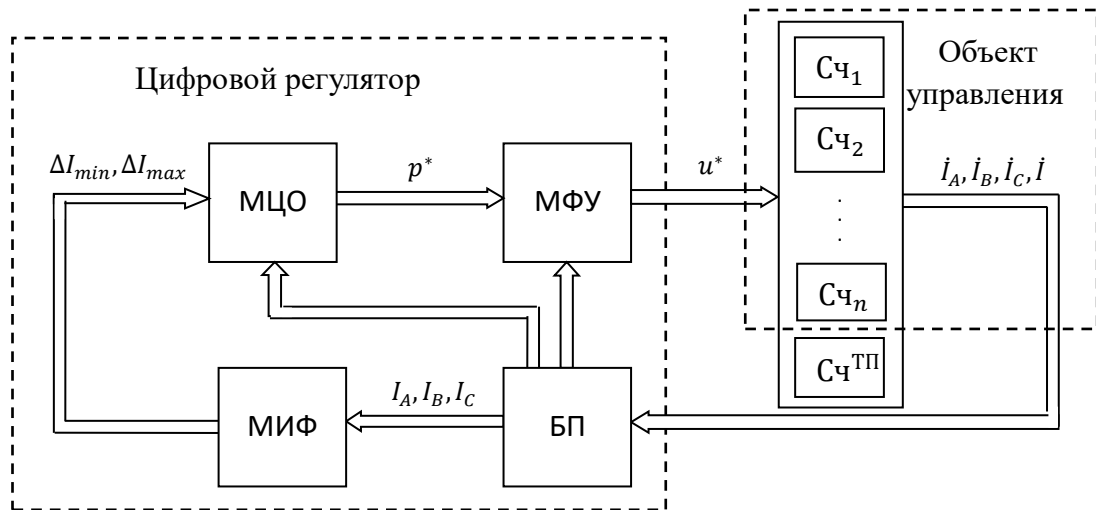


Рис.2. Общая структура цифровой САУ

На основе результатов решения экстремальной задачи (12) цифровая САУ формирует управляющий сигнал  $u^*$ , который передается по каналам ТКМ на счетчик (Сч) выбранного приемника и через переключающий элемент (ПЭ) реализует соответствующую операцию переключения. При этом структура сети и ток в нейтральном проводе изменяются во времени в зависимости от результатов переключений приемников. Фазные токи на входе сети непрерывно измеряются счетчиком  $Сч^{ТП}$  в трансформаторной станции (ТП) и подаются на вход САУ. Поэтому изложенная выше вычислительная процедура циклически повторяется, что обеспечивает оптимальность синтезированной системы управления по критерию минимума целевой функции  $E$ , определяемой соотношением (6). Регулятор системы управления реализуется на основе микропроцессорного контроллера. Его функциональная структура (рис.2) включает блок памяти (БП) и программные модули: идентификации фазовых пар (МИФ); цифровой оптимизации (МЦО); формирования управляющих сигналов (МФУС). Основная функция МИФ заключается в определении требуемых фазовых пар сети. На основе этой информации и данных о комплексных токах в сети модуль МЦО формирует критериальную функцию  $E$  и осуществляет решение экстремальной задачи (12). На основе результатов оптимизации МФУС формирует управляющую команду на выбранный объект для реализации соответствующих переключений приемников потребителей.

Алгоритм функционирования цифрового регулятора состоит из следующих основных этапов:

1. Измерение действующих значений (модулей) компонентов комплексных векторов, представленных в (1), и передача их в концентратор данных (КД).
2. Проверка условия (9). Если оно выполняется, то переход к п.3, иначе через интервал времени  $\Delta t$  к п.1.
3. Приведение фазных токов  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$  и токов приемников  $\dot{I}_\nu$  ( $\nu = \overline{1, n}$ ) в комплексную форму (2).
4. Формирование целевой функции  $E$  по формуле (6) на основе прогнозных значений комплексных токов  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ , определяемых формулами (11).
5. Решение экстремальной задачи (12) для идентификации координаты приемника с целью его переключения на другую фазу и формирования соответствующего управляющего сигнала  $u^*$  на объект.
6. Реализация управляющего сигнала  $u^*$  на выбранном объекте с использованием соответствующего переключающего элемента.
7. Переход к пункту 1.

## ВЫВОДЫ

Распределительная трехфазная сеть рассматривается как адаптивная система с переменной структурой. Предложен новый подход к проблеме оптимизации несимметричных режимов работы РЭС за счет перераспределения потоков электроэнергии между фазами сети путем переключения приемников потребителей с одной фазы на другую. Для оценки эффективности функционирования сети вводится критериальная функция, описывающая потери мощности в РЭС вследствие несимметричности ее режима. Синтезирован алгоритм функционирования системы управления на основе микропроцессорного регулятора, обеспечивающего оптимизацию выбранного критерия. Полученные результаты позволяют уменьшить активные потери в сети и трансформаторной подстанции, увеличить сроки службы функциональных элементов РЭС, а также уменьшить аварийные ситуации в ней. Практическая реализация синтезированного микропроцессорного регулятора дает возможность повысить технико-экономические показатели распределительных компаний.

## Литература

1. Ожегов А.Н. Системы АСКУЭ. Киров: ВятГУ, 2006. 102 с.
2. Ф.Д.Косоухов, Н.В.Васильев, 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.

3. Арутюнян А.Г. О расчете дополнительных потерь мощности в трехфазных четырехпроводных сетях // Электричество. 2015. №10. С.55-58.
4. Пономаренко О.И., Холиддинов И.Х. Влияние несимметричных режимов на потери мощности в электрических сетях распределенных систем электроснабжения // Энергетик. 2015. №12. С.6-8.
5. Патент № 2490768 (РФ). И.В. Наумов, Д.А.Иванов, С.В. Подъячих, Гантулга Дамдинсурэн. Симметрирующее устройство для трехфазных сетей с нулевым проводом // Бюлл. № 23. 20.08.2013.
6. Патент № 2249286 (РФ). Г.А. Большанин. Способ автоматизированного активного контроля уровня несимметрии напряжений и токов // Бюлл. №9. 27.03.2005.
7. Патент №110876 (РФ). Ф.Д. Косоухов, А.О.Горбунов, В.А.Романов, М.Ю.Темерецкий. Филтросимметрирующее устройство для трехфазной сети с нулевым проводом / Бюлл. №33.27.11.2011.
8. Емельянов С.И., Уткин В.И., Таран В.А. и др. Теория систем с переменной структурой. М.: Наука, 1970. 592с.
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. Sistemy ASKUEH (Systems of ACSEA). Kirov: VyatGU, 2006. 102 s.
2. F.D.Kosouhov, N.V.Vasil'ev, Filippov A.O. Snizhenie poter' ot nesimmetrii tokov i povyshenie kachestva ehlektricheskoy ehnergii v setyah 0,38 kV s kommunal'no-bytovymi nagruzkami (Decrease in losses from asymmetry of currents and improvement of quality of electric energy in networks of 0,38 kV with household loadings) // Elektrotehnika. 2014. №6. s. 8-12.
3. Arutyunyan A.G. O raschete dopolnitel'nyh poter' moshchnosti v trekhfaznyh chetyrekhprovodnyh setyah (Additional power loss calculation in three-phase, four-wire networks) // EHlektrichestvo. 2015. №10. s.55-58.
4. Ponomarenko O.I., Holiddinov I.H. Vliyanie nesimmetrichnyh rezhimov na poteri moshchnosti v ehlektricheskikh setyah raspredelennyh sistem ehlektrosnabzheniya (Influence of the asymmetrical modes on losses of power in electric networks of the distributed systems of power supply) // Energetik. 2015. №12. s.6-8.
5. Patent № 2490768 (RF). I.V.Naumov, D.A.Ivanov, S.V.Podyachih, Gantulga Damdinsurehn. Simmetriruyushchee ustrojstvo dlya trekhfaznyh setej s nulevym

provodom (The symmetrizing device for three-phase networks with a zero wire) //Byull.№23. 20.08.2013.

6. Patent № 2249286 (RF). G.A. Bol'shanin. Sposob avtomatizirovannogo aktivnogo kontrolya urovnya nesimmetrii napryazhenij i tokov (Way of the automated active control of level of asymmetry of tension and currents) // Byull.№9. 27.03.2005.

7. Patent №110876 (RF). F.D.Kosouhov, A.O.Gorbunov, V.A.Romanov, M.YU.Temereckij. Fil'trosimmetriruyushchee ustrojstvo dlya trekhfaznoj seti s nulevym provodom (The filter the symmetrizing device for a three-phase network with a zero wire) / Byull.№33.27.11.2011.

8. Emel'yanov S.I., Utkin V.I., Taran V.A. i dr. Teoriya sistem s peremennoj strukturoj (The theory of systems with variable structure) M.: Nauka, 1970. 592s.

9. Demirchyan K.S., Nejman L.R., Korovkin A.V. Teoreticheskie osnovy ehlektrotekhniki (Theoretical foundations of electrical engineering) T.1. SPb.: Piter, 2009. 512 s.

## **К ПРОБЛЕМЕ ОПТИМИЗАЦИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

**ОМОРОВ ТУРАТБЕК ТУРСУНБЕКОВИЧ<sup>1</sup>, ТАКЫРБАШЕВ БЕЙШЕНАЛЫ  
КАСЫМАЛИЕВИЧ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Национальная академия наук КР, Бишкек

<sup>2</sup>ОАО «Северэлектро», Бишкек

## **TO THE PROBLEM THE OPTIMIZATION OF ASYMMETRIC REGIME WORK OF DISTRIBUTIVE NETWORKS**

**OMOROV TURATBEK TURSUNBEKOVICH<sup>1</sup>, TAKYRBASHEV BEISHENALY  
KASYMALIEVICH<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek

<sup>2</sup>JSC «Severelectro», Bishkek