

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В СОСТАВЕ АСКУЭ

Т.Т.Оморов¹, Р.Н.Курманалиева², Р.Ч.Осмонова³

¹Национальная академия наук КР, г. Бишкек, Кыргызстан

²Кыргызский государственный университет строительства и архитектуры,
г.Бишкек

³Кыргызский государственный технический университет, г. Бишкек
omorovtt@mail.ru

Резюме: рассматривается задача расчета потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях (РЭС) напряжением 0,4 кВ. Предполагается, что на РЭС действуют такие возмущающие факторы, как несимметрия токов и напряжений, несанкционированные отборы электроэнергии в сети и параметрические неопределенности, обусловленные случайными вариациями сопротивлений межабонентских участков магистральных линий из-за изменения климатических условий. Применение известных методов расчета в этих условиях приводит к сложным вычислительным процедурам. Предлагается новая методика оценки технических и коммерческих потерь электроэнергии в РЭС, ориентированная для создания алгоритмического и специального программного обеспечения соответствующей подсистемы автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ).

Ключевые слова: распределительная сеть, несимметричный режим, потери электроэнергии, методика расчета

ASSESSMENT OF LOSSES OF THE ELECTRIC POWER IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY AS A PART OF ACSKAE

T.T. Omorov¹, R.N. Kurmanalieva², R.Ch. Osmonova³

¹National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek

²Kyrgyz state university of construction, transport and architecture, Bishkek
³Kyrgyz state technical university, Bishkek, Kyrgyzstan

omorovtt@mail.ru

Abstract: The task of calculation of losses of the electric power on the distributive electrical networks (DEN) of 0,4 kV is considered. It is supposed that such perturbing factors as asymmetry of currents and tension, unauthorized selections of the electric power in the networks and parametric uncertainties caused by accidental variations of resistance of interpersonal sections of trunk lines because of changes of climatic conditions act on DEN. Application of the known methods of calculation in these conditions leads to difficult computing procedures. The new technique of assessment of technical and commercial losses of the electric power in DEN oriented for creation of the algorithmic and special software of the appropriate subsystem of the automated control system and the accounting of the electric power (ACSKAE) is offered.

Keywords: distributive network, asymmetrical mode, loss of the electric power, calculation procedure

Введение

Распределительные электрические сети (РЭС) относятся к классу больших (сложных) систем [1]. Это обуславливает определенные трудности при разработке математических моделей протекающих в них физических процессов, а также методов расчета не доступных для контроля переменных (токов и напряжений) состояния и показателей качества функционирования РЭС. Эта проблема становится наиболее актуальной в условиях внедрения новых технологий в виде автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) [2]. Как известно, основным функциональным элементом системы является концентратор данных (КД), который осуществляет сбор данных со счетчиков электроэнергии (Сч), установленных у абонентов сети, их хранение, предварительную обработку и передачу необходимой информации в центральный диспетчерский пункт управления. Обмен данными между уровнями управления (подсистемами) осуществляется с помощью каналов связи (PLC, GSM и др.). В настоящее время с помощью АСКУЭ главным образом решаются задачи коммерческого учета электроэнергии. Однако значительного повышения технико-экономических показателей этих систем можно достичь, если в их составе будут решаться задачи оперативного мониторинга [3–5], диагностики состояний [6, 7] и оптимизации режимов работы [8–10] распределительных сетей с оценкой показателей их качества и эффективности. Решение указанного комплекса задач требует разработки соответствующих моделей и методов. Основная трудность при этом заключается в том, что практически большинство РЭС имеют сложную структуру, функционируют в условиях несимметрии токов и напряжений и подвержены действию внешних возмущающих факторов. К последним, в частности, относятся несанкционированные отборы электроэнергии (НОЭ) и параметрические неопределенности, вызванные «дрейфом» сопротивлений межабонентских участков (МАУ) магистральной линии из-за случайных изменений параметров внешней среды (температуры, влажности и др.). В этих условиях применение существующих моделей и методов расчета трехфазной сети (методы симметричных составляющих, узловых напряжений, графов и др.) [3, 11–14] представляет определенные сложности. В работе [5] предложен метод идентификации и мониторинга потерь электроэнергии в РЭС при наличии в сети НОЭ. Отличительная особенность метода состоит в том, что при реализации его вычислительной схемы не требуется знания сопротивлений МАУ магистральной линии. В то же время, с точки зрения оптимизации объемов вычислительных операций целесообразным является предварительная идентификация указанных параметров в режиме реального времени и их использование при расчете трехфазной сети.

В работе предлагается методика оценки технических и коммерческих потерь электроэнергии в условиях несимметрии токов и напряжений трехфазной распределительной сети на основе идентификации сопротивлений межабонентских участков магистральной линии с учетом несанкционированного отбора электроэнергии (НОЭ).

Постановка задачи

Рассматривается трехфазная РЭС с напряжением 0,4 кВ, расчетная схема которой показана на рис.1.

На рис.1 через индексную переменную k ($k = \overline{1,3}$) пронумерованы соответственно фазы А, В и С. Остальные обозначения имеют следующий смысл: $Z_{\nu k}$ – обозначение ν -й нагрузки (электроприемника) $\nu = \overline{1, n}$, подключенной к фазе с номером k ; $\tilde{I}_{\nu k}$, $\tilde{U}_{\nu k}$ – мгновенные ток и напряжение на нагрузке $Z_{\nu k}$; $\tilde{i}_{\nu k}$, $z_{\nu k}$ – мгновенный ток и сопротивление ν -го межабонентского участка (МАУ) k фазы; $\tilde{u}_{\nu k}$, $\tilde{u}_{\nu}$ – напряжения, соответственно, на ν -ом МАУ k -й фазы и нейтрального провода; $\tilde{J}_{\nu}$, z_{ν} – мгновенный ток

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

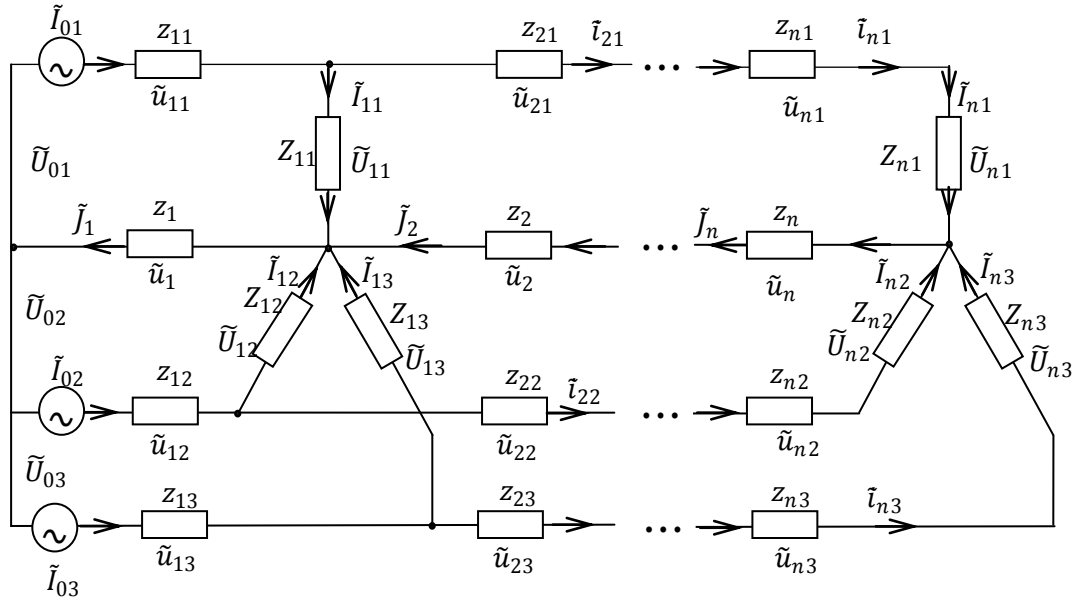


Рис.1. Расчетная схема трехфазной РЭС

Далее будем считать, что РЭС функционирует в условиях несимметрии токов и напряжений. Сопротивления межабонентских участков ($Z_{\nu k}, Z_{\nu}$) сети априори неизвестны, а фазные и нейтральный провода имеют одинаковые сечения, т.е. $Z_{\nu k} = Z_{\nu}$. Концентратор данных (КД) осуществляет сбор данных со счетчиков электроэнергии ($\tilde{N}_{\nu k}$) и контроль состояний РЭС в дискретные моменты времени $t \in [t_{\xi}, t_{\xi+1}]$ с шагом дискретизации $\Delta t_{\xi} = t_{\xi+1} - t_{\xi}$, где $\xi = 1, 2, \dots, m$; m – общее количество интервалов наблюдения. При этом в базу данных КД в каждом интервале поступают следующие данные:

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

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

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

Распределительная сеть характеризуется следующими состояниями:

- 1) нормальное (желаемое) состояние $S(t)$;
- 2) возмущенное состояние $S'(t)$.

В нормальном состоянии в РЭС отсутствуют НОЭ и для всех $t \in [t_{\xi}, t_{\xi+1}]$ выполняются следующие соотношения:

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

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

В случае, когда хотя бы одно из условий (1) не выполняется, сеть переходит в возмущенное состояние $S'(t)$, что обуславливается наличием в ней НОЭ, которые вызывают коммерческие потери электроэнергии.

Задача заключается в оценке технических и коммерческих потерь электроэнергии в РЭС для заданного интервала наблюдения $T = t_m - t_1$ при наличии НОЭ.

Методика решения задачи.

Решение сформулированной задачи состоит из следующих основных этапов:

1) оценка межабонентских токов и напряжений в режиме нормального состояния РЭС;

2) идентификация сопротивлений межабонентских участков сети;

3) оценка технических и коммерческих потерь электроэнергии в РЭС.

Оценка межабонентских токов и напряжений. Для этой цели вначале рассмотрим нормальное состояние РЭС, т.е. когда выполняются условия (1), и в сети отсутствует НОЭ. Так как счетчики электроэнергии ($\tilde{N}_{\nu k}^{\pm}$), установленные у абонентов сети, измеряют лишь действующие токи и напряжения, для идентификации установившихся мгновенных значений токов $\tilde{i}_{\nu k}$, $\tilde{J}_{\nu}$ и напряжений $\tilde{U}_{\nu k}$ межабонентских участков сети нельзя использовать законы Кирхгофа. Для их корректного применения в данном случае целесообразно использовать комплексный метод [5, 11]. При этом синусоидальные токи и напряжения на нагрузках $Z_{\nu k}$ представляются в виде:

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

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

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

Аналитический метод оценки искоемых вещественных $I_{\nu k}^B$, $U_{\nu k}^B$ и мнимых $I_{\nu k}^M$, $U_{\nu k}^M$ частей, входящих в выражения (2) и (3), предложен в работе [15]. На основе комплексного представления (2) межабонентские токи $\dot{i}_{\nu k}$ и комплексные токи $\dot{J}_{\nu}$ в нейтральном проводе в каждом цикле наблюдения $[t_{\zeta}, t_{\zeta+1}]$ определяются следующими выражениями:

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

$$\dot{J}_{\nu} = \dot{i}_{\nu 1} + \dot{i}_{\nu 2} + \dot{i}_{\nu 3}, \quad \nu = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где

$$\dot{i}_{\nu k}^B = \sum_{l=\nu}^n I_{lk}^B, \quad \dot{i}_{\nu k}^M = \sum_{l=\nu}^n I_{lk}^M.$$

Теперь для оценки напряжений на межабонентских участках РЭС используется следующая вычислительная схема [5]. Комплексные напряжения $\dot{U}_{\nu k}$ и $\dot{U}_{\nu}$ в ν -х контурах сети удовлетворяют второму закону Кирхгофа [11]:

$$\dot{U}_{\nu k} + \dot{U}_{\nu} + \dot{U}_{\nu k} - \dot{U}_{\nu-1,k} = 0, \quad \nu = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}, \quad (6)$$

В случае, когда фазные и нейтральный провода имеют одинаковые сечения ($Z_{\nu k} = Z_{\nu}$) напряжения $\dot{U}_{\nu}$ ($\nu = \overline{1, n}$) на нейтральном проводе рассматриваемой трехфазной сети определяются выражением [15]:

$$\dot{U}_{\nu} = \dot{U}_{\nu 1} + \dot{U}_{\nu 2} + \dot{U}_{\nu 3} = u_{\nu}^{\hat{a}} + ju_{\nu}^i, \quad \nu = \overline{1, n}. \quad (7)$$

С учетом (7) соотношения (6) можно представить в виде систем линейных алгебраических уравнений относительно искомых напряжений $\dot{U}_{\nu k}$:

$$\begin{aligned} 2\dot{U}_{\nu 1} + \dot{U}_{\nu 2} + \dot{U}_{\nu 3} &= \dot{b}_{\nu 1}, \\ \dot{U}_{\nu 1} + 2\dot{U}_{\nu 2} + \dot{U}_{\nu 3} &= \dot{b}_{\nu 2}, \\ \dot{U}_{\nu 1} + \dot{U}_{\nu 2} + 2\dot{U}_{\nu 3} &= \dot{b}_{\nu 3}, \quad \nu = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}, \end{aligned} \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned} \dot{b}_{\nu 1} &= \dot{U}_{\nu-1,1} - \dot{U}_{\nu 1} = b_{\nu 1}^{\hat{a}} + jb_{\nu 1}^i, \\ \dot{b}_{\nu 2} &= \dot{U}_{\nu-1,2} - \dot{U}_{\nu 2} = b_{\nu 2}^{\hat{a}} + jb_{\nu 2}^i, \\ \dot{b}_{\nu 3} &= \dot{U}_{\nu-1,3} - \dot{U}_{\nu 3} = b_{\nu 3}^{\hat{a}} + jb_{\nu 3}^i. \end{aligned}$$

При этом вещественные и мнимые части этих коэффициентов определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} b_{\nu 1}^{\hat{a}} &= U_{\nu-1,1}^{\hat{B}} - U_{\nu 1}^{\hat{B}}, \quad b_{\nu 1}^{\hat{M}} = U_{\nu-1,1}^{\hat{M}} - U_{\nu 1}^{\hat{M}}; \\ b_{\nu 2}^{\hat{B}} &= U_{\nu-1,2}^{\hat{B}} - U_{\nu 2}^{\hat{B}}, \quad b_{\nu 2}^{\hat{M}} = U_{\nu-1,2}^{\hat{M}} - U_{\nu 2}^{\hat{M}}; \\ b_{\nu 3}^{\hat{B}} &= U_{\nu-1,3}^{\hat{B}} - U_{\nu 3}^{\hat{B}}; \quad b_{\nu 3}^{\hat{M}} = U_{\nu-1,3}^{\hat{M}} - U_{\nu 3}^{\hat{M}}. \end{aligned}$$

Легко видеть, что определители систем уравнений (8) отличны от нуля ($\Delta = 4$), следовательно, они имеют единственные решения, которые можно записать в явном виде [5]:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\nu 1} &= (3\dot{b}_{\nu 1} - \dot{b}_{\nu 2} - \dot{b}_{\nu 3})/4, \\ \dot{U}_{\nu 2} &= (-\dot{b}_{\nu 1} + 3\dot{b}_{\nu 2} - \dot{b}_{\nu 3})/4, \\ \dot{U}_{\nu 3} &= (-\dot{b}_{\nu 1} - \dot{b}_{\nu 2} + 3\dot{b}_{\nu 3})/4, \quad \nu = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (9)$$

Комплексные напряжения $\dot{U}_{\nu k}$ на соответствующих участках нейтрального провода находятся путем подстановки найденных напряжений $\dot{U}_{\nu 1}$, $\dot{U}_{\nu 2}$, $\dot{U}_{\nu 3}$ в правые части соотношений (7). При этом их вещественные и мнимые части вычисляются по формулам:

$$u_{\nu}^{\hat{e}} = u_{\nu 1}^{\hat{e}} + u_{\nu 2}^{\hat{e}} + u_{\nu 3}^{\hat{e}}; \quad u_{\nu}^i = u_{\nu 1}^i + u_{\nu 2}^i + u_{\nu 3}^i.$$

Необходимо отметить, что изложенная процедура нахождения напряжений $\dot{U}_{\nu k}$ и $\dot{U}_{\nu}$ на межабонентских участках сети справедлива и для случая, когда в РЭС действует НОЭ.

Оценка сопротивлений межабонентских участков сети. Полученные выше результаты позволяют оценить текущие значения комплексных сопротивлений $Z_{\nu k}$ и Z_ν межабонентских участков РЭС на основе закона Ома:

$$z_\nu = \dot{u}_{\nu k} / \dot{i}_{\nu k}, \quad (10)$$

$$Z_\nu = Z_{\nu k}, \quad \nu = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}.$$

Полученные значения сопротивлений МАУ записываются в базу данных концентратора (КД), которые можно использовать для решения ряда функциональных задач АСКУЭ, в частности, для мониторинга и идентификации потерь электроэнергии в РЭС и диагностики ее состояний.

Оценка технических и коммерческих потерь электроэнергии. Энергобаланс в распределительной сети определяется соотношением:

$$W(\xi) = W^A(\xi) + W^{TP}(\xi) + W^{KP}(\xi), \quad (11)$$

где $W(\xi)$ – количество электроэнергии, поступающей из источника (трансформаторной подстанции) на вход сети; $W^A(\xi)$ – суммарное количество электроэнергии, потребляемой всеми абонентами сети; $W^{TP}(\xi)$ – технические потери электроэнергии на МАУ; $W^{KP}(\xi)$ – коммерческие потери электроэнергии, вызванные НОЭ.

Необходимо отметить, что количество электроэнергии $W(\xi)$ и $W^A(\xi)$ в каждом интервале наблюдения $[t_\xi, t_{\xi+1}]$ измеряется счетчиками электроэнергии, установленными соответственно на выходе трансформаторной подстанции и у абонентов сети. Эти данные передаются в базу данных концентратора и являются известными величинами. Как известно, величины технических $W^{TP}(\xi)$ и коммерческих $W^{KP}(\xi)$ потерь электроэнергии не доступны для измерения. Для их оценки будем использовать полученные выше результаты. При этом вначале необходимо вычислить комплексные потери мощности $\dot{p}_{\nu k}(\xi)$ на участках линейного провода соответствующей фазы и потери мощности $\dot{p}_\nu(\xi)$ на участках нейтрального провода в интервале времени $[t_\xi, t_{\xi+1}]$, которые определяются по следующим формулам:

$$\dot{p}_{\nu k}(\xi) = \dot{u}_{\nu k}^*(\xi) \dot{i}_{\nu k}(\xi) = \dot{u}_{\nu k}^*(\xi) \dot{u}_{\nu k}(\xi) / z_{\nu k}, \quad (12)$$

$$\dot{p}_\nu(\xi) = \dot{u}_\nu^*(\xi) \dot{j}_\nu(\xi) = \dot{u}_\nu^*(\xi) \dot{u}_\nu(\xi) / z_\nu, \quad \nu = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, 3}.$$

где $\dot{u}_\nu^*$, $\dot{u}_{\nu k}^*$ – сопряженные значения комплексных напряжений $\dot{u}_\nu$ и $\dot{u}_{\nu k}$, вычисляемых, соответственно, на основе формул (7) и (9). Тогда оценку суммарных технических потерь комплексной мощности $\dot{P}^{TP}(\xi)$ в линейных проводах соответствующих фаз в интервалах $[t_\xi, t_{\xi+1}]$ можно записать в виде:

$$\dot{P}^{TP}(\xi) = \sum_{k=1}^3 \sum_{\nu=1}^{n-1} \dot{p}_{\nu k}(\xi), \quad (13)$$

а потери мощности в нейтральном проводе определяются по формуле:

$$\dot{P}^0(\xi) = \sum_{\nu=1}^{n-1} \dot{p}_\nu(\xi). \quad (14)$$

При этом вещественные и мнимые части комплексных выражений (13) и (14) определяют соответствующие потери активных мощностей:

$$P^{\text{лп}}(\xi) = \text{Re}[\dot{P}^{\text{лп}}(\xi)]; P^0(\xi) = \text{Re}[\dot{P}^0(\xi)].$$

В результате оценка технических потерь электроэнергии сети $W^{\text{лп}}(T)$ за интервал наблюдения T запишется в виде

$$W^{\text{лп}}(T) = \sum_{\xi=1}^m [P^{\text{лп}}(\xi) + P^0(\xi)] \Delta t_{\xi}. \quad (15)$$

Теперь используя найденную оценку $W^{\text{лп}}(T)$, на основе соотношения энергобаланса (11) можно определить оценку коммерческих потерь электроэнергии в сети за время T :

$$W^{\text{кп}}(T) = W(T) - W^A(T) - W^{\text{лп}}(T). \quad (16)$$

Точность идентификации технических и коммерческих потерь электроэнергии, определяемых соотношениями (15) и (16), в основном зависит от величин шагов дискретизации и погрешностей вычисления токов $i_{\nu k}$, j_{ν} и напряжений $u_{\nu k}$, u_{ν} . В целях достижения инженерной точности указанных показателей целесообразно, чтобы счетчики электроэнергии имели класс точности не ниже 0,5 S для измерения активной мощности, что соответствует измерению действующих значений токов $I_{\nu k}$ и напряжений $U_{\nu k}$ на нагрузках $Z_{\nu k}$ с точностью порядка 0,25% от их номиналов. При этом разрядность микроконтроллера концентратора данных (КД) должна составлять не менее 32 бита. Шаг дискретизации Δt_{ξ} , в основном, определяется временем опроса счетчиков электроэнергии (τ_1) и временем обработки данных (τ_2) в КД. При этом из-за высокой скорости микроконтроллера КД $\tau_1 \gg \tau_2$. В современных АСКУЭ, в зависимости от используемого канала связи (GSM, PLC и др.), имеется возможность обеспечить время опроса от нескольких секунд до нескольких минут в зависимости от количества потребителей электроэнергии. Таким образом, повышение точности искомых оценок достигается за счет использования в составе АСКУЭ технических средств (микропроцессорных контроллеров, систем передачи данных, счетчиков электроэнергии) с высокими показателями быстродействия и точности.

Заключение

Предложена методика, позволяющая оценить технические и коммерческие потери электроэнергии в распределительной сети напряжением 0,4 кВ. Отличительная особенность методики состоит в том, что ее можно использовать для соответствующих расчетов трехфазной сети в условиях несимметрии токов и напряжений, а также при наличии несанкционированных отборов электроэнергии в ней. Основу составляет идея восстановления недоступных для измерения переменных, описывающих установившиеся физические процессы в межабонентских участках сети, на основе предварительной идентификации сопротивлений межабонентских участков магистральной линии с использованием данных, полученных со счетчиков электроэнергии по каналам связи. Полученные результаты дают возможность идентифицировать также уровень износа фазных проводов трехфазной сети.

Предложенную методику можно использовать для создания подсистемы мониторинга потерь электроэнергии в распределительных сетях в составе АСКУЭ.

Литература

1. Вавилов А.А. Структурный и параметрический синтез сложных систем. Ленинград, 1979. 87с.
2. Ожегов А.Н. Системы АСКУЭ. Киров; ВятГУ, 2006. 102 с.

3. Сапронов А.А., Кужеков С.Л., Тынянский В.Г. Оперативное выявление неконтролируемого потребления электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1 кВ // Известия вузов. Электромеханика. 2004. №1. С.55–58.
4. 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// Известия вузов. Электромеханика. 2004. №6. С.28–31.
5. Оморов Т.Т., Такырбашев Б.К. Идентификация и мониторинг потерь электроэнергии в распределительной сети в составе АСКУЭ// Электричество. 2016. №11. С.4–11.
6. ArvindSaiSarathiVasan, Bing Long, Michael Pecht. Diagnostics and Prognostics Method for Analog Electronic Circuits // IEEE Transactions on Industrial Electronics.2013. 60(11).pp. 5277-5291.
7. Оморов Т.Т., Такырбашев Б.К. Идентификация состояния распределительной электрической сети в системах автоматизации учета и управления энергопотреблением // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. №10. С. 651–656.
8. Omorov T.T., Takyrbashev B. K., Osmonova R.Ch.Synthesis of the managing director of the subsystem for optimization of the operating mode of the distributive electric network // Engineering Studies. 2016. №3. pp.606-615.
9. Косоухов Ф.Д., Васильев Н.В., Филиппов А.О. Снижение потерь от несимметрии токов и повышение качества электрической энергии в сетях 0,38 кВ с коммунально-бытовыми нагрузками // Электротехника. 2014. №6. С. 8–12.
10. Войтов О.Н., Мантров В.А., Семенова Л.В. Анализ несимметричных режимов электроэнергетических систем и управление ими // Электричество. 1999. № 10.С. 2–18.
11. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин А.В. Теоретические основы электротехники. Т.1. СПб. Питер, 2009. 512 с.
12. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Москва: ЭНАС, 2009. 456с.
13. Арутюнян А.Г. О расчете дополнительных потерь мощности в трехфазных четырехпроводных сетях // Электричество. 2015. №10. С.55–58.
14. Кочергин С.В., Кобелев А.В., Хребтов Н.А., Киташин П.А., Терехов К.И. Моделирование сельских распределительных электрических сетей 10/0,4 кВ // Fractalsimulation. 2013. №1. С.5–13.
15. Оморов Т.Т., Такырбашев Б.К., Осмонова Р.Ч. К проблеме моделирования несимметричных распределительных электрических сетей в составе АСКУЭ // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия энергетика. 2017. №1. С. 21–28.

Авторы публикации

Оморов Туратбек Турсунбекович – д-р. техн. наук, член-корреспондент НАН КР, заведующий лабораторией «Адаптивные и интеллектуальные системы» Института физико-технических проблем и материаловедения НАН КР. E-mail: omorovtt@mail.ru.

Курманалиева Роза Насбековна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Компьютерная лингвистика и межкультурная коммуникация» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры (КГУСТА). E-mail: nas.roza@mail.ru.

Осмонова Рима Чынарбековна – старший преподаватель кафедры «Прикладная математика и информатика» Кыргызского государственного технического университета. E-mail: r.osmonova@mail.ru.

References

1. Vavilov A.A. Strukturnyj I parametricheskij sintez slognyh system. Leningrad: 1979. -87pp.
2. Ozhegov A.N. Sistemy ASKUJe [Systems of ACSEA] . Kirov, VjatSt.Univ. Publ., 2006. -102 pp.

3.Sapronov A.A., Kuzhekov S.L., Tynjanskij V.G. [Expeditious identification of uncontrollable electricity consumption in electric networks up to 1 kV]. Izvestijavuzov. Jeletromehanika [News of higher education institutions. Electromechanics] 2004. no.1. pp. 55-58.

4.Hlebnikov V.K., PodgornyjD.Je. Metodikarascchetapoter' jelektroenergii v seti 0,38 kV poizmerenijamnaprjazhenij i tokov s uchetomshemno-tehnicheskoinformacii [Method of calculation electricity losses in grid 0,38 kV measurements of voltages and currents based on circuit-technical information]. Izv.VUZ. Jeletromehanika [Higher School Proceedings. Electromechanics].2004, no.6.1.pp.28-31.

5.Omorov T.T., Takyrbashev B.K. Identification and monitoring of losses of the electric power in distributive network as a part of ACSEA. Electricity. 2016, no.11. pp.4-11.

6.ArvindSaiSarathiVasan, Bing Long, Michael Pecht. Diagnostics and Prognostics Method for Analog Electronic Circuits. // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2013, 60(11). pp. 5277-5291.

7.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. Mechatronics, automation, management. 2016. no.11. pp. 651-656.

8.Omorov T.T., Takyrbashev B. K., Osmonova R.Ch.Synthesis of the managing director of the subsystem for optimization of the operating mode of the distributive electric network // Engineering Studies. 2016, №3. pp.–606-615.

9.Kosouhrov F.D., Vasil'ev N.V., Filippov A.O. Snizheniepoter' otnesimmetriitokov i povyseniekachestvaehlektricheskojehnergii v setyah 0,38 kV s kommunal'no-bytovymnagruzkami [Decrease in losses from asymmetry of currents and improvement of quality of electric energy in networks of 0,38 kV with household loadings]. Elektrotehnika [Electrical Equipment]. 2014. no.6. pp.8-12. (in Russ.)

10. Vojtov O.N., Mantrov V.A., Semenova L.V. Analiznesimmetrichnyhrezhimovjelektroenergeticheskixsistem i upravlenieimi [Analysis of the asymmetrical modes of electrical power systems and management of them]. Jelektrichestvo [Electricity]. 1999. no. 10. pp. 2-18.

11. Demirchjan K.S., Nejman L.R., Korovkin A.V. Teoreticheskieosnovyjelektrotehniki [Theoretical foundations of electrical engineering] Vol.1. SPb.,Piter, 2009. 512 p.

12. ZhelezkoJu.S. Poterijelektroenergii. Reaktivnajamoshhnost'. Kachestvojelektroenergii [Power loss. Reactive power. Power quality]. Moscow, JeNAS Publ., 2009. 456 p.

13. Arutjunjan A.G. O raschedopolnitel'nyhpoter' moshhnosti v trehfaznyhchetyrehprovodnyhsetjah [Additional power loss calculation in three-phase, four-wire networks]. Jelektrichestvo [Electricity]. 2015, no.10. pp. 55-58.

14. Kochergin S.V., Kobelev A.V., Hrebtov N.A., Kitashin P.A., Terehov K.I.Modeling of rural distributive electric networks 10/0,4 of kV. Fractalsimulation Publ., 2013. no.1.

15. Omorov T.T., Takyrbashev B. K., Osmonova R.Ch. K problememodirovaniyanesimmetrichnyhraspredelitel'nyhelektricheskixsetej v sostave ASKUEH [On modelling unbalanced distributive networks incorporated in ASCAE] //Vestnikyuzhno-ural'skogogosudarstvennogouniversiteta. Seriyaehnergetika. 2017. №1. pp.21-28.

Authors of the publication

Omorov Turatbek Tursunbekovich – doct.sci. (techn.), correspondingmember, Head of the laboratory «Adaptive and intellectual systems», National Academy of Science of the Kyrgyz Republic, Bishkek,E-mail: omorovtt@mail.ru.

Kurmanaliev Roza Nasbekovna – cand.sci. (techn.), associate professor,Department «Computational linguistics and cross-cultural communication», Kyrgyz state university of construction, transport and architecture, Bishkek,E-mail: nas.roza@mail.ru.

Osmonova Rima Chynarbekovna – high teacher, Department «Applied mathematics and informatics»,
Kyrgyz state technical university, Bishkek, E-mail: r.osmonova@mail.ru.

Поступила в редакцию

26 декабря 2016 г.