

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ОТБОРА ЭНЕРГИИ В ЛОКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

*Предлагается алгоритм идентификации и локализации координат несанкционированного отбора электроэнергии для использования в составе автоматизированной информационно-управляющей системы.*

*Propose an algorithm for the identification and localization of coordinates unauthorized withdrawal of electricity for use in automated information management system.*

В целях автоматизации процессов потребления в распределительных электрических сетях (РЭС) применяются автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления (АСКУЭ). Несмотря на то, что эти системы имеют высокий технический уровень, с применением современных информационных, телекоммуникационных технологий и интеллектуальных счетчиков электроэнергии (СчЭ), и обладают широкими функциональными возможностями. Однако, не во всех системах реализованы такие функции как: идентификация несанкционированного отбора энергии; оптимизация нагрузок потребителей по фазам сети; мониторинг технических и коммерческих потерь электроэнергии в РЭС; проведение оперативных балансовых расчетов энергоресурсов; получение максимальной информации о параметрах энергопотребления потребителями. Поэтому, в целях совершенствования возможностей существующих АСКУЭ в НАН КР разрабатывается альтернативная автоматизированная информационно-управляющая система энергопотребления (АИУСЭ), отличающаяся от известных тем, что в ее составе кроме традиционных функций (измерение параметров и учета энергопотребления, автоматизация сбора и обработка информации и т.п.) планируется включить вышеуказанные функции [1]. Проблемы, связанные с выявлением несанкционированного отбора электроэнергии рассматриваются в работах [2, 3, 4].

На рис. 1 показана обобщенная схема некоторой РЭС 0,38 кВ.

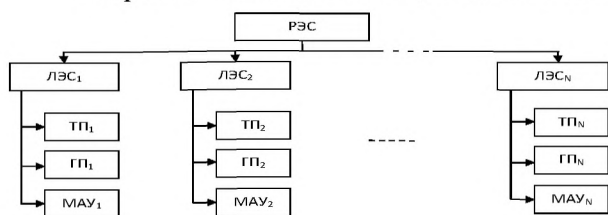


Рис.1. Обобщенная структура РЭС.

Состоит из  $N$  локальных электрических сетей (ЛЭС), каждая из которых объединяет трансформаторную подстанцию (ТП), группу из  $n$  потребителей (ГП) и межабонентские участки (МАУ) передачи электроэнергии. Схема замещения ЛЭС представлена на рис. 2.

В данной статье предлагается вычислительная процедура (алгоритм), позволяющей идентификацию несанкционированного отбора энергии в ЛЭС. Для этой цели используются параметры схемы замещения некоторой ЛЭС (рис. 2). Межабонентские участки, представляющие длинные линии заменены элементами с сосредоточенными параметрами – активными сопротивлениями.

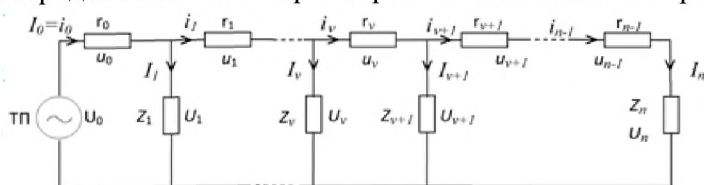


Рис 2. Схема замещения ЛЭС.

Для схемы на рис.2 введены следующие обозначения:

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

$I_0 = I_0(t)$  – действительное значение тока в фазном проводе на входе ЛЭС в момент времени  $t$ ;

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

$I_v = I_v(t)$  – значение тока в момент времени  $t$ , протекающего через нагрузку  $Z_v$  абонента  $A_v$ ;

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

$r_v$  – активное сопротивление  $v$ -го межабонентского участка ( $МАУ_v$ ) сети, т.е. линии между абонентами  $A_v$  и  $A_{v+1}$ ;

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

Предполагается, что величины напряжений  $U_v$  и токов  $I_v$ ,  $v = \overline{0, n}$ , измеряются с помощью счётчиков электроэнергии (СчЭ) с требуемой точностью.

Если все функциональные элементы ЛЭС работают без сбоев и с заданной точностью, то выполняется условие:  $I_0(t) = I_A(t)$  (1)

для каждого момента времени  $t$  в интервале  $T$ . Этот режим работы ЛЭС называется нормальным. В противном случае, т.е. если  $I_0(t) \neq I_A(t)$ , (2)

то такой режим назовем аномальным режимом работы ЛЭС. В последнем случае имеется факт несанкционированного отбора энергии.

Основная проблема - идентификация координат несанкционированного отбора энергии, т.е. локализацию места расположения несанкционированных потребителей и оценку коммерческих потерь из-за хищения электроэнергии.

Такая проблема решается в 2 этапа: на первом этапе в режиме нормальной работы ЛЭС определяются активные сопротивления  $r_v$  ( $v = \overline{0, n}$ ) межабонентских участков

(МАУ) сети, а на втором этапе – координаты несанкционированного отбора и соответствующие коммерческие потери электроэнергии.

**Расчет сопротивлений межабонентских участков.** Для схемы замещения ЛЭС (рис.2) характеристики можно задать следующими векторами  $I = [I_0, I_1, \dots, I_n]$ ,  $i = [i_0, i_1, \dots, i_{n-1}]$ ,  $U = [U_0, U_1, \dots, U_n]$ ,  $u = [u_0, u_1, \dots, u_{n-1}]$ ,  $r = [r_0, r_1, \dots, r_{n-1}]$ .

Компоненты векторов  $I$  и  $U$  измеряются счетчиками электроэнергии (СчЭ), которые установлены у абонентов сети, а элементы вектора  $r$  могут быть приближенно вычислены на основе проектных данных ЛЭС. Идентификация вектора  $r$  в процессе эксплуатации ЛЭС производится в реальном масштабе времени.

В процессе нормальной работы ЛЭС выполняется условие (1). Состояние ЛЭС в этом режиме в момент времени  $t$  описывается векторами  $I = I^* = [I_0^*, I_1^*, \dots, I_n^*]$ ,  $i = i^* = [i_0^*, i_1^*, \dots, i_{n-1}^*]$ ,  $U = U^* = [U_0^*, U_1^*, \dots, U_n^*]$ ,  $u_v = u_v^* = [u_0^*, u_1^*, \dots, u_{n-1}^*]$ ,  $r = [r_0, r_1, \dots, r_{n-1}]$ .

Для этого случая компоненты вектора  $i^*$  определяются выражением 
$$i_v^* = i_0^* - \sum_{j=1}^v I_j^*, \quad i_0^* = I_0^*, \quad v = \overline{1, n}, \quad (3)$$

или

$$i_v^* = \sum_{j=v+1}^n I_j^*, \quad v = \overline{0, n-1}. \quad (4)$$

Определение компонентов вектора  $u^*$  осуществляется на основе балансовых соотношений для электрических контуров ЛЭС, образованных между соседними абонентами. В частности, для  $v$  – го контура, т.е. контура « $Z_v - r_v - Z_{v+1}$ » имеем следующие соотношения:  $U_v^* = U_{v+1}^* + u_v^*$ ,  $v = \overline{0, n-1}$ . (5)

Из уравнения (5) следует, что  $u_v^* = U_v^* - U_{v+1}^*$ ,  $v = \overline{0, n-1}$ . (6)

В результате искомые компоненты  $r_v^*$  вектора  $r^*$  определяются по формуле  $r_v^* = \frac{u_v^*}{i_v^*}$ ,  $v = \overline{0, n-1}$ . (7)

В целях дальнейшего использования полученное значение вектора  $r^* = [r_0^*, r_1^*, \dots, r_{n-1}^*]$  записывается в базу данных (БД) микропроцессора подсистемы нижнего уровня АИУСЭ.

**Определение координат несанкционированного отбора энергии.** Если выполняется условие (2), т.е. в системе существует несанкционированный отбор энергии. Текущее состояние ЛЭС, вектора  $r^*$  найдены ранее и записаны в БД концентратора данных. Задача состоит в определении компонентов векторов  $u$  и  $i$ . Для этой цели составляются соответствующие балансовые соотношения для напряжений для каждого электрического контура ЛЭС. В частности, для  $v$  – го контура имеем, что  $u_v = U_v - U_{v+1}$ .  $v = \overline{0, n-1}$ . (8)

Далее используя известные компоненты векторов  $u$  и  $r^*$  нетрудно определить искомые токи, протекающие на межабонентских участках ЛЭС:

$$i_v = \frac{u_v}{r_v^*}, \quad v = \overline{0, n-1}. \quad (9)$$

Полученный вектор  $i_v$  записываем в базу данных. В результате в базе данных (БД) имеем таблицу, содержащую значения векторов  $i^* = [i_0^*, i_1^*, \dots, i_{n-1}^*]$  и  $i = [i_0, i_1, \dots, i_{n-1}]$ .

Таблица 1

$i^*$	$i_0^*$	$i_1^*$	...	$i_v^*$	$i_{v+1}^*$	...	$i_{n-1}^*$
$i$	$i_0$	$i_1$	...	$i_v$	$i_{v+1}$	...	$i_{n-1}$

Используя полученные данные можно вычислить вектор  $\Delta i = [\Delta i_0, \Delta i_1, \dots, \Delta i_{n-1}]$ :  $\Delta i_v = i_v^* - i_v$ ,  $v = \overline{0, n-1}$ . (10)



Величина тока  $I_s$ , потребляемого несанкционированными потребителями, определяется как  $I_s = I_0 - I_A$ . (11)

Процедура поиска координат несанкционированного отбора энергии необходимо начинать с конечного (последнего) контура ЛЭС (рис.2), т.е. при  $\nu = n - 1$ . Вначале проверяется условие  $\Delta i_{n-1} = 0$ . (12)

Если условие (12) выполняется, то принимается решение о том, что в конечном контуре « $Z_{n-1} - r_{n-1} - Z_n$ » нет хищения энергии. В противном случае устанавливается факт несанкционированного отбора энергии в рассматриваемом контуре ЛЭС. При этом величина тока несанкционированного отбора энергии  $\tilde{I}_{n-1} = \Delta i_{n-1}$ . (13)

Далее проверяется условие  $\tilde{I}_{n-1} = I_s$ , (14)

Если условие выполняется, то процедура поиска завершается, иначе процесс отыскания координат других потребителей – нарушителей необходимо продолжить, так как наличие разности токов  $\Delta I = I_s - \tilde{I}_{n-1}$  (15)

свидетельствует, о том, что хотя бы еще в одном контуре ЛЭС происходит несанкционированный отбор энергии. При этом процедура поиска продолжается до тех пор пока не выполнится условие

$$I_s = \sum_{k \in K} \tilde{I}_k, \quad (16)$$

где  $k$  - номер (индекс) контура, в котором имеется несанкционированный отбор энергии;  $K$  – множество, состоящее из этих индексов. Из элементов  $K$  образуем вектор  $\tilde{k} = [k_1, k_2, \dots, k_m]$ , где  $k_j$  – индекс контура, в котором имеется  $j$ -й нарушитель;  $m$  – количество всех нарушителей в ЛЭС.

Таким образом, локализация координат несанкционированного отбора энергии осуществляется с помощью следующего алгоритма:

1. Опрос СчЭ в режиме нормальной работы ЛЭС и запись в базу данных (БД) векторов  $I^*$  и  $U^*$ .

2. Вычисление токов  $i_v^*$  и  $u_v^*$  ( $\nu = \overline{0, n-1}$ ) по формуле (4) и (6) и их запись в БД.

3. Оценка сопротивлений  $r_v^*$  ( $\nu = \overline{0, n-1}$ ) межабонентских участков ЛЭС по формуле (7) и их запись в БД.

4. Опрос СчЭ и запись в БД векторов  $I(t)$  и  $U(t)$  в текущий момент времени  $t$ .

5. Вычисление  $I_A$  и  $I_s$  по формулам (1) и (11).

6. Проверка условия (3). Если оно выполняется, то перейти к п.7 для локализации координат несанкционированного отбора энергии, иначе к пункту 13.

7. Вычисление токов  $\Delta i_\nu$  ( $\nu = \overline{0, n-1}$ ) по формуле (10).

8. Задание начальных значений параметров процедуры:

- содержимое счетчика номера (индекса) контура:  $\nu := n - 1$ ;
- содержимое счетчика числа несанкционированных потребителей:  $j := 0$ ;
- содержимое сумматора, определяющее суммарную величину токов, протекающих через нагрузки несанкционированных потребителей:  $\tilde{I} := 0$ .

9. Проверка условия  $\Delta i_\nu = 0$ . (17)

Если условие (17) выполняется, то принимается решение о том, что в  $\nu$ -ом контуре нет несанкционированного отбора энергии и осуществляется переход к п.15. В противном случае перейти к п.10.

10. Увеличение содержимого счетчика количества потребителей - нарушителей  $j := j + 1$  и определение величины несанкционированного тока в  $\nu$ -ом контуре

$$\tilde{I}_\nu = \Delta i_\nu.$$

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

11. Запись элемента  $k_j := \nu$  вектора  $\tilde{k}$  в БД.
12. Суммирование несанкционированного тока  $\tilde{I} := \tilde{I} + \Delta i_\nu$ .
13. Проверка условия  $\tilde{I} = I_s$ . (18)

Если условие (18) выполняется, то перейти к пункту 16, иначе – к п. 14.

14. Переход к следующему контуру ЛЭС:  $\nu := \nu - 1$  и перейти к п. 9.
15. Проверка условия  $\nu = 0$ . (19)

Если условие (19) не выполняется, то  $\nu := \nu - 1$  и перейти к пункту 9, иначе к п. 16.

16. Конец процедуры идентификации.

Суммарные коммерческие потери и потери у каждого абонента, вызванные хищением электроэнергии в ЛЭС, приводится в [4].

Предложенный алгоритм может служить основой для создания подсистемы мониторинга энергобаланса в РЭС в составе автоматизированной информационно-управляющей системы энергопотребления (АИУСЭ).

### Литература:

1. Оморов Т.Т. Альтернативная автоматизированная информационная система учета, контроля и управления процессами энергопотребления в распределительных электрических сетях Кыргызской Республики. – Бишкек: Акыл Тирек, 2013.
2. Сапронов А. А., Кужеков С. Л., Тынянский В. Г. Оперативное выявление неконтролируемого потребления электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1 кВ. //Электромеханика, № 1, 2004.
3. Оморов Т.Т., Мухутдинов К.Ш., Романчук В.К. Способ обнаружения мест несанкционированного отбора электроэнергии и линии электроснабжений 0,4 кВт. //Оф-й бюллетень «Интеллектуальная собственность» № 5, Бишкек, 2013. Патент № KG 1541C131052013.
4. Оморов Т.Т. Закиряев К.Э. Алгоритм оценки потерь электроэнергии в системах автоматизации процессов энергопотребления. // Наука, техника и образование, № 5. - М., 2014. - С.43-49.