

УДК 621.316.11

Е.А. Черевко

Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь
кафедра автоматизации и компьютерных технологий
E-mail: cherevko_e.a@mail.ru

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 КВ

Приведены сведения об организации автоматического контроля режимов работы низковольтных сетей 0,4 кВ на основе разработанного датчика тока, позволяющего контролировать параметры режимов работы сети в реальном времени, определять места несанкционированного отбора электроэнергии и однофазного замыкания на землю. Разработанная программа расчета позволяет рассчитывать режимы работы данных сетей, определять предельно допустимую величину погрешности датчика тока. Выполнена программная реализация обнаружения мест обрыва проводов ЛЭП.

Ключевые слова: *распределительные сети, датчик тока, несанкционированный отбор электроэнергии, однофазное замыкание на землю.*

Общая постановка проблемы. В общей структуре потребителей электрической энергии (ЭЭ) важное место занимают поселковые электрические сети. В подавляющем большинстве случаев они имеют радиальную структуру. В ее основании находится понижающий трансформатор. К шинам его низшего напряжения (0,4 кВ) присоединяются параллельно ЛЭП. Их магистральные участки всегда имеют трехфазное исполнение (за редким исключением конечных участков), в то время как ответвления от магистралей к потребителям могут выполняться во всех трех возможных вариантах: трех-, двух- и однофазном исполнении.

Преобладание в рассматриваемых сетях однофазных потребителей с вероятностным характером величин их нагрузок не позволяет оперативно на диспетчерском уровне поддерживать наиболее экономичный симметричный по фазам режим работы ЛЭП, что обуславливает необходимость применения для моделирования их режимов работы математических моделей, включающих все фазы составляющих элементов этих сетей. ЛЭП распределительных сетей напряжением 0,4 кВ имеют распределенную по их длине одно- и трехфазную нагрузку потребителей, что приводит к необходимости опорного учета электрических узлов ЛЭП по всем ее фазам.

Рассматриваемые ЛЭП характеризуются также относительной нестабильностью их структур в процессе эксплуатации сетей, обусловленной переносом отдельных потребителей с одной фазы на другую, переводом потребителей с одно- на трехфазное питание, установкой дополнительных осветительных приборов и др. В таких ЛЭП часто имеет место несанкционированный отбор электрической энергии (НОЭЭ), в основном это наброс на голые провода, установка магнитов или отматывающих устройств для индукционных счетчиков и др.

Постановка задач исследования. Целью работы является улучшение качества контроля режимов работы низковольтных распределительных сетей путем разработки способа автоматического обнаружения мест несанкционированного отбора ЭЭ, основанного на использовании токового датчика, что позволит снизить коммерческую составляющую потерь ЭЭ. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- разработать структурную схему определения мест несанкционированного подключения к ЛЭП;
- создать и исследовать датчик тока, позволяющий контролировать параметры сети,

определять места несанкционированного отбора ЭЭ и определять места однофазного замыкания на землю;

– разработать программное обеспечение, позволяющее производить расчеты режимов работы низковольтных сетей;

– создать алгоритм и выполнить программную реализацию обнаружения мест обрыва проводов ЛЭП.

Результаты разработки и исследований. *Разработка структурной схемы и датчика тока для обнаружения мест подключения к ЛЭП.* Предложена схема электроснабжения [1] с учетом установки датчиков тока для измерения токов на участках линии между потребителями и токов у потребителей. Схема датчиков предусматривает возможность беспроводной передачи данных на диспетчерский пункт или на ретранслятор с накопителем. Счетчики ЭЭ в данном решении должны также обладать возможностью беспроводной передачи данных [2]. Разработанный датчик тока [3], позволяет контролировать параметры сети, определять места хищения ЭЭ, параметры токов и напряжений, протекающих в сети.

На рис. 1 приведена укрупненная принципиальная схема датчика тока, где обозначено: ПР – проводник с контролируемым током; С – сердечник с зазорами d ; $w1$ – обмотка для питания схемы датчика; $w2$ – обмотка подачи сигнала на измерительную схему; ВС – выпрямитель стабилизированный для питания схемы датчика; УОПД – устройство обработки и передачи данных; А – приемо-передающая антенна.

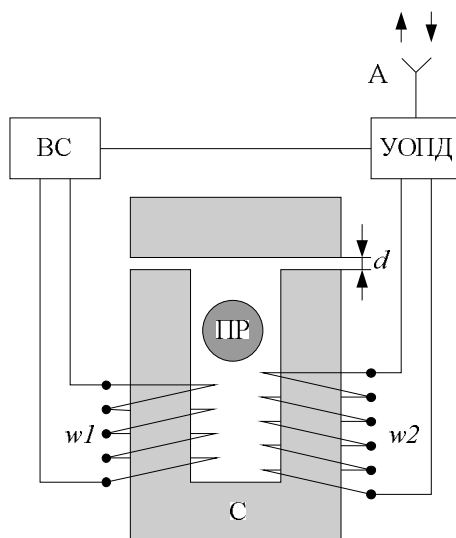


Рисунок 1 – Укрупненная принципиальная схема датчика тока

В состав УОПД входят следующие блоки: ключ, определяющий режимы приема и передачи информации; микроконтроллер с АЦП [6], приемо-передающая микросхема, операционные усилители и усилители СВЧ. Приемо-передающая часть датчика работает в диапазоне нелицензируемых частот. Для настройки работы датчика в различных диапазонах величин измеряемых токов (изменяющихся по мере их отбора потребителями) на обмотке $w2$ выполнен ряд отпаек. Корпус датчика сделан разъемным и в его конструкции используется U-образный пермалловый сердечник с ярмом. Разъемная конструкция датчика позволяет устанавливать его в любом месте на силовой провод, по которому протекает контролируемый ток. Конструкция датчика предусматривает его защиту от проникновения влаги, сохраняет работоспособность в диапазоне температур от $+50^{\circ}\text{C}$ до -50°C .

Для работы с датчиком предусматривается стационарное приемо-передающее устройство, имеющее накопитель, и связанное с управляющей ЭВМ. Для съема информации с датчика предусмотрен циклический опрос, который предусматривает последовательный съем информации с датчиков через устанавливаемые последовательные интервалы времени. Сни-

маемая в течение этих интервалов времени информация накапливается в микроконтроллере. Для идентификации датчиков каждому из них присваивается определенный кодовый номер.

Предложенная схема установки датчиков [1] имеет ограничения, связанные с получением необходимой чувствительности на начальных участках ЛЭП с большими токами в фазных проводах, а также с необходимостью определения активной мощности, что предполагает определение коэффициента мощности. Последнее накладывает дополнительные требования к функциональности датчиков тока и всей системы контроля сети в целом.

Более перспективным для решения поставленной задачи является применение на контролируемых участках неизолированных проводов без ответвлений (в одном или нескольких пролетах ЛЭП или на ответвлениях к потребителям) и сопоставление токов в начале и конце провода по известному из релейной защиты принципу продольного дифференциально-токового сравнения. В случае отсутствия НОЭЭ действующие значения токов, измеренные датчиками тока, расположенными в начале и в конце контролируемого участка будут практически одинаковыми. НОЭЭ внесет различие в величины указанных токов, пропорциональное мощности НОЭЭ.

В разности сопоставляемых токов присутствует также небаланс токов. Последний может возникать из-за погрешности применяемых датчиков тока, а также неучета фазового сдвига в сопоставляемых токах в случае значительного отклонения коэффициентов мощности участка электропередачи и НОЭЭ.

Математическая модель и алгоритм расчета режимов работы распределительных сетей. Создание разрабатываемой системы контроля сети предполагает определение требований по чувствительности используемых в ней датчиков тока. Для этой цели необходима оценка режимных параметров ЛЭП распределительной сети напряжением 0,4 кВ. Отсутствие достаточного количества штатных приборов контроля не позволяет для этих целей эффективно использовать методы натуральных испытаний на действующем электрическом оборудовании. Поэтому в данной работе в качестве основного принят метод математического моделирования. В качестве математической модели распределительной сети 0,4 кВ принята ее эквивалентная схема замещения, построенная в фазной системе координат. Схема включает все токоведущие элементы ЛЭП, питающий их трансформатор и потребителей электроэнергии, питаемых от ЛЭП. Большое количество узлов и ветвей схемы замещения (их количество исчисляется многими сотнями) обуславливает необходимость описания ее топологии с помощью направленного графа с фрагментированием последнего по отдельным ЛЭП путем размещения их информации в отдельных файлах.

Для повышения наглядности и обзорности результатов такого большого количества элементов, во-первых, применена символьная (вместо традиционной числовой) идентификация узлов и ветвей моделируемой электрической сети, что позволяет исключить трудоемкие процессы нумерации и вынужденного изменения номеров узлов в случае каких-либо изменений в структуре ЛЭП в процессе ее эксплуатации.

Во-вторых, учитывая относительную независимость работы параллельно включенных ЛЭП, в модели распределительной сети применено предварительное (перед расчетом режима работы каждой ЛЭП) эквивалентирование всех смежных с ней ЛЭП.

Для расчета параметров режимов работы ЛЭП распределительной сети 0,4 кВ применен метод узловых потенциалов в векторно-матричной форме записи его уравнений. Основное уравнение рассматриваемого метода предполагает определение напряжений узлов, предполагаемых в векторе U_u :

$$U_u = Y_u^{-1} \cdot I_u, \quad (1)$$

где Y_u – квадратная матрица узловых проводимостей, определяемая как:

$$Y_u = P \cdot [\text{diag}(Z_v)]^{-1} \cdot P^T, \quad (2)$$

где P – прямоугольная матрица связи узлов с ветвями; Z_v – вектор сопротивлений ветвей расчетной схемы, diag – стандартная функция формирования квадратной диагональной матрицы.

Ранжирование величин нагрузок потребителей позволяет выполнить для исследуемой сети серию расчетов, отражающих статистический характер нагрузок потребителей, вызванных переменным графиком их потребления в пределах суток, времен года и др.

Определение эквивалентных сопротивлений фаз ЛЭП выполняется путем формирования по (2) матрицы узловых проводимостей ветвей линии с последующим ее обращением:

$$Z_u = Y_u^{-1}. \quad (3)$$

В соответствующих диагональных элементах полученной матрицы Z_u располагаются искомые входные сопротивления фаз эквивалентизируемой ЛЭП. В матрицу описания параметров ЛЭП занесены данные нормального режима работы линии. Моделирование НОЭЭ производится путем замены сопротивления фазного провода выбранного пользователем пролета на три новых сопротивления. Два из них включаются последовательно вместо заменяемого сопротивления фазного провода пролета, а третье сопротивление НОЭЭ, включается между балансирующим узлом и точкой между двумя предыдущими сопротивлениями.

Моделирование обрыва фазного провода производится путем исключения из расчетной схемы замещения сопротивления фазного провода выбранного пользователем пролета и введения в нее нового активного сопротивления земли, включенного между узлом на опоре, расположенной со стороны питающего трансформатора, и балансирующим узлом.

Результаты моделирования режимов работы ЛЭП. Расчеты выполнены при коэффициенте мощности нагрузки, равном 0,95 для варианта максимальных детерминированных значений мощностей нагрузок. В расчетах НОЭЭ в качестве расчетных принято значение активной мощности, равные 0,5 кВт, при коэффициенте мощности 0,6. Оценка соотношений токов в НОЭЭ и проводах фазы А ЛЭП приведена в таблице 1. Строчной буквой i обозначены мгновенные значения токов ($i_{нп}$ – в начале пролета, $i_{кп}$ – в конце пролета, $i_{но}$ – в НОЭЭ), а такой же прописной I – действующие значения токов.

Таблица 1 – Долевое участие токов НОЭЭ в токах фаз ЛЭП

Пролеты ЛЭП	1 – 2	12 – 13	16 – 17
$i_{нп}$, А	96,2 – j 38,5	19,9 – j 9,53	4,4 – j 3,7
$I_{нп}$, А	103,6	22,1	5,7
$i_{кп}$, А	94,1 – j 35,35	18,0 – j 6,7	2,5 – j 0,9
$I_{кп}$, А	100,5	19,2	2,6
$i_{но}$, А	2,2 – j 3,1	1,93 – j 2,8	1,9 – j 2,8
$I_{но}$, А	3,8	3,4	3,38
$I_{но}/I_{нп}$	3,7	17,2	59,0
$(I_{кп} - I_{нп})/I_{нп}$	3,0	13,0	54,3
Погрешность, %	18,9	24,4	8,0

Как видно из приведенных выше данных, соотношение разности действующих значений токов в начале и конце пролета ЛЭП (до и после НОЭЭ), где будут устанавливаться датчики тока, к току в начале данного участка существенно изменяется на протяжении ЛЭП. Первое соотношение мгновенных значений токов учитывает их угловые соотношения, а второе – нет. Кроме того, неучет фазовых соотношений сравниваемых токов вносит погрешность, как это видно из последней строки таблицы, от 8 до 24,4 %.

Моделирование обрывов фазных проводов производилось для значений активных сопротивлений земли из диапазона 1 – 5 Ом. Результаты расчетов режимных параметров приведены на рисунках 2 – 4. На указанных рисунках обозначены зависимости расчетных параметров при обрыве фазного провода в пролетах: 1–2 – $Z_{tr}\langle 1 \rangle$, $U_z\langle 1 \rangle$, $I_z\langle 1 \rangle$; 6–7 – $Z_{tr}\langle 2 \rangle$, $U_z\langle 2 \rangle$, $I_z\langle 2 \rangle$; 12–13 – $Z_{tr}\langle 3 \rangle$, $U_z\langle 3 \rangle$, $I_z\langle 3 \rangle$ и 16–17 – $Z_{tr}\langle 4 \rangle$, $U_z\langle 4 \rangle$, $I_z\langle 4 \rangle$.

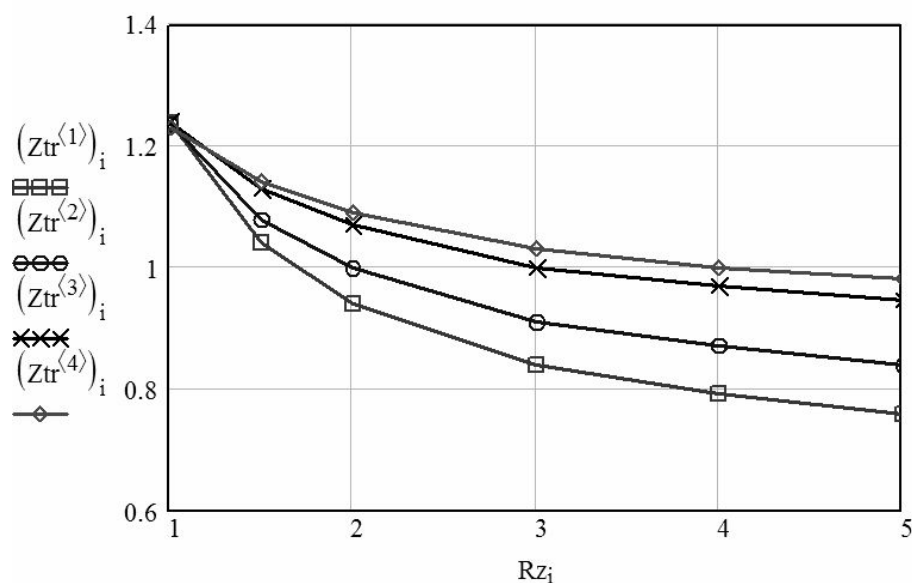


Рисунок 2 – Расчетные зависимости загрузки фазы трансформатора при обрыве фазного провода от величины сопротивления земли

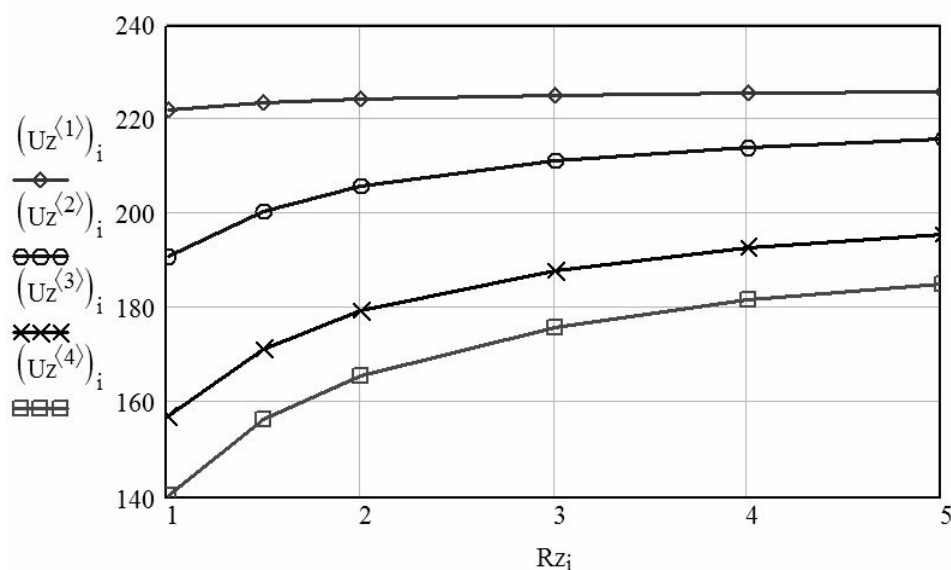


Рисунок 3 – Расчетные зависимости напряжения в месте замыкания на землю при обрыве фазного провода от величины сопротивления земли

Как следует из результатов, приведенных на рис. 2, перегруз фазы понижающего трансформатора не превысил допустимого для него значения, равного 1,4. Защитный аппарат на поврежденной ЛЭП отключаться не будет. Таким образом, опасный с точки зрения электробезопасности аномальный режим линии может продолжаться длительное время, что недопустимо.

Из результатов, приведенных на рис. 3, видно, что напряжение в месте замыкания на землю имеет максимальное значение и остается практически неизменным при обрыве на начальном участке ЛЭП. По мере удаления от начала ЛЭП значение напряжения в месте обрыва фазного провода уменьшается и в большей степени зависит от сопротивления земли. Во всех случаях значения напряжения на оборванном проводе остается достаточно большим и представляет опасность для людей и животных, находящихся вблизи оборванного провода.

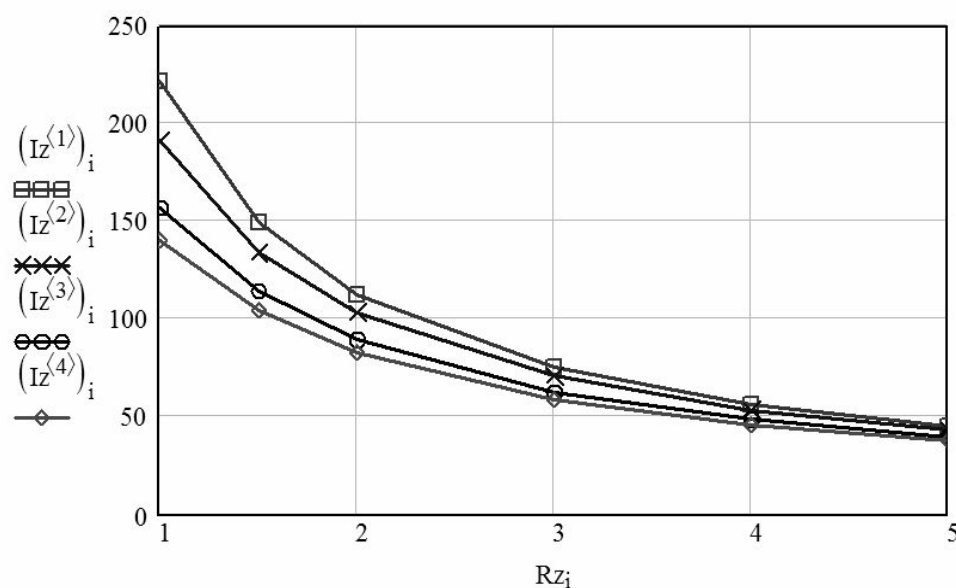


Рисунок 4 – Расчетные зависимости тока замыкания на землю при обрыве фазного провода от величины сопротивления земли

Анализируя рис. 4, видно, что ток замыкания на землю имеет одинаковую зависимость от сопротивления земли при обрывах провода в различных местах ЛЭП, при этом максимальное значение имеет место при обрыве на начальном участке ЛЭП. Полученные результаты позволили определить термическую стойкость разработанного датчика тока.

Выводы.

1. Разработана структурная схема определения мест несанкционированного отбора ЭЭ, основанная на принципе продольного дифференциально-токового сравнения, не требующего учета угловых сдвигов векторов тока, и приведены результаты исследования режимов ее работы.

2. Впервые создан датчик тока, позволяющий контролировать параметры сети, определять места хищения ЭЭ, параметры токов и напряжений, протекающих в сети и определять места однофазного замыкания на землю, отличающийся тем, что схема датчика предусматривает возможность беспроводной передачи данных на диспетчерский пункт или на ретранслятор с накопителем. Преобразование аналогового сигнала датчика в цифровую форму позволяет сопрягать датчик с вычислительной техникой и обеспечивать его достаточную помехоустойчивость при передаче по радиоканалу.

3. Предложена и разработана программа расчета на ПК, которая позволяет проводить расчеты режимов работы низковольтных сетей напряжением 0,4 кВ с учетом большинства

определяющих расчет факторов: несимметрии загрузки фаз ЛЭП, взаимоиנדукции между проводами двухцепных ее участков, неоднородности применяемых токопроводов, детерминированного и вероятностного значений величин нагрузок потребителей и др.

4. Выполненные с помощью программы расчеты установившихся режимов работы распределительной сети напряжением 0,4 кВ позволили установить метрологические характеристики датчика тока, определить предельно допустимую величину погрешности датчика, равную 3 %.

5. Результаты моделирования переходных режимов работы распределительной сети, связанных с обрывом фазных проводов, позволили разработать алгоритм обнаружения мест обрыва проводов ЛЭП.

Список использованной литературы

1. Пат. 47879 Україна, МПК G 02 J 13/00. Структурна схема визначення місць несанкціонованого підключення до лінії електропередачі / Л.О. Добровольська, О.О. Черевко; Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет» (Україна). – № u200909592; заявл. 18.09.2009; опубл. Бюл. № 4 від 25.02.2010.
2. Сарахан Е. Беспроводные технологии для счетчиков электроэнергии, расхода воды и газа / Е. Сарахан // Электронные компоненты и системы. – 2011. – № 10. – С. 3 – 7.
3. Пат. 102026 Україна, МПК H02J 13/00. Пристрій для автоматичного контролю режимів розподілу струмів в низьковольтних електричних мережах / В.С. Зайцев, О.О. Черевко, Л.О. Добровольська; Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет» (Україна). – № a201201184; заявл. 06.02.2012; опубл. Бюл. № 10 від 27.05.2013.
4. Черевко Е.А. Интеллектуальный датчик тока для автоматического контроля режимов работы поселковых распределительных электрических сетей / Е.А. Черевко, Л.А. Добровольская // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – Випуск 2(23). – С. 259 – 264.
5. Зайцев В.С. К выбору способа определения места несанкционированного отбора электроэнергии / В.С. Зайцев, Л.А. Добровольская, Е.А. Черевко // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2012. – Випуск 2(25). – С. 232 – 239.
6. Ремизевич Т.В. Микроконтроллеры для встраиваемых приложений. От общих подходов – к семействам HC05 b HC08 Motorola / Т.В. Ремизевич. – М. : Додэка, 2000. – 272 с.
7. Охрименко В.В. Узкополосная технология передачи данных по электросетям / В.В. Охрименко // Электронные компоненты и системы. – 2010. – № 1. – С. 18 – 27.
8. Охрименко В.В. Узкополосная технология передачи данных по электросетям / В.В. Охрименко // Электронные компоненты и системы. – 2010. – № 2. – С. 21 – 30.
9. Охрименко В.В. Узкополосная технология передачи данных по электросетям / В.В. Охрименко // Электронные компоненты и системы. – 2010. – № 3. – С. 14 – 25.
10. Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы / Л.А. Солдаткина. – М.: Энергия, 1978. – 216 с.
11. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1999. – 559 с.
12. Глазунов А.А. Электрические сети и системы / А.А. Глазунов. – М.: Госэнергоиздат, 1954. – 574 с.
13. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики : підруч. для студ. електроенергет. спец. / В.С. Перхач. – Львів : Вища шк., 1989. – 464 с.

References

1. Dobrovolskaya, L.A. and Cherevko E.A., State Institute of Higher Education “Priazovskyi State Technical University” under Ministry of Education and Science of Ukraine (2010), *Strukturalna sxema viznachennya misz' nesanczionovannogo pidklychennya do linii electropredachi* [The structure scheme for determination of places of unapproved connection to a transmission line] State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 47879.
2. Sarahan, E. (2011), “Wireless technologies for counters of the electric power, the water and gas expenditure”, *Electronnie componenti i sistemi*, vol. 10, pp. 3 – 7.
3. Zaycev, V.S., Cherevko E.A. and Dobrovolskaya L.A., State Institute of Higher Education “Priazovskyi State Technical University” under Ministry of Education and Science of Ukraine (2013), *Pristriy dlya avtomatichnogo controlu rezimiv rozpodilu strumiv v niz'kovol'tnix electrichnix merezax* [The device for automatic monitoring of modes of distribution of currents on low-voltage electrical networks], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 102026.
4. Cherevko, E.A. and Dobrovolskaya L.A. (2011) “Intelligent current sensor for automatic control of modes of township electricity distribution networks”, *Visnyk Priazovskogo derjavnogo tehnicnogo universitetu. Seriya: Tehnicni nauki*, vol. 1, no. 23, pp. 259 – 264.
5. Zaycev, V.S., Dobrovolskaya L.A. and Cherevko E.A. (2012) “By the choice of method for determining the place of unauthorized selection of electricity”, *Visnyk Priazovskogo derjavnogo tehnicnogo universitetu. Seriya: Tehnicni nauki*, vol. 1, no. 25, pp. 232 – 239.
6. Remizevich, T.V. (2000), *Microcontrolleri dlya vstraivaemix prilozheniy. Ot obschix podxodov – k semeystvam HC05 b HC08 Motorola* [Microcontrollers for embedded applications. From the general approaches to families HC05 b HC08 Motorola], Dodeka, Moscow, Russia.
7. Okhrimenko, V.V. (2010), “Narrow-band technology of communication of data on the electric systems”, *Electronnie componenti i sistemi*, vol. 1, pp. 18 – 27.
8. Okhrimenko, V.V. (2010), “Narrow-band technology of communication of data on the electric systems”, *Electronnie componenti i sistemi*, vol. 2, pp. 21 – 30.
9. Okhrimenko, V.V. (2010), “Narrow-band technology of communication of data on the electric systems”, *Electronnie componenti i sistemi*, vol. 3, pp. 14 – 25.
10. Soldatkina, L.A. (1978), *Electricheskie seti i sistemi* [Electrical networks and systems], Energiya, Moscow, Russia.
11. Bessonov, L.A. (1999), *Teoreticheskie osnovi electrotechniki* [Theoretical bases of the electrical engineering], Visshaya shkola, Moscow, Russia.
12. Glazunov, A.A. (1954), *Electricheskie seti i sistemi* [Electrical networks and systems], Gosenergoizdat, Moscow, Russia.
13. Perhach, V.S. (1989), *Matematichni zadachi elektroenergetiki: pidruchnic dlya studentov elektroenergetichnix specialnostey* [Mathematical Problems of Electricity: textbook for students of electricity specialties], Vishcha shkola, Lviv, Ukraine.

Поступила в редакцію:
30.03.2015

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. А.А. Зори

О.О. Черевко.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

Електронна система контролю розподільних мереж напругою 0,4 кВ. Наведено відомості про організацію автоматичного контролю режимів роботи низьковольтних мереж 0,4 кВ на основі розробленого датчика струму, що дозволяє контролювати параметри режимів роботи мережі в реальному часі, визначати місця несанкціонованого відбору електроенергії та однофазного замикання на землю. Розроблена програма розрахунків дозволяє розраховувати режими роботи даних мереж, визначати гранично допустиму величину похибки

датчика струму. Виконана програмна реалізація виявлення місць обриву проводів ЛЕП.

Ключові слова: розподільні мережі, датчик струму, несанкціонований відбір електроенергії, однофазне замикання на землю.

E.A. Cherevko

Priazovskyi State Technical University

Electronic control system of distribution networks 0.4 kV. In the overall structure of electricity consumers township electric networks occupy an important place. The predominance in these networks of single-phase consumers with the probabilistic nature of the values of their load does not allow to maintain at the dispatch level the most cost-symmetric with respect to the phases of operation power lines, which necessitates the use of simulation for their modes of mathematical models, including all phases of the constituent elements of these networks. Considered power lines are also characterized by the relative instability of structures in service networks, due to the transfer of individual customers from one phase to another, by transfer from consumers to the single phase power supply, installation of additional lighting and others. In such power lines siphoning off electricity often takes place, mainly it is lashed out at the bare wire, installation of magnets or unrolling device for induction meters and others. To improve the quality control of operating modes of low-voltage distribution networks we designed a block diagram of locating unauthorized selection of electric energy based on the principle of a longitudinal differential current comparison, which does not require registration of angular shifts of current vectors. To control the network parameters and locate the sites of theft of electricity we created by a current sensor, in which the sensor scheme provides wireless transmission of data to the control station or repeater with the drive. Converting an analog signal to a digital form allows the sensor to match the computer hardware and ensure sufficient noise immunity for transmission over the air. A program based on a PC, which allows to perform calculations of modes of low-voltage networks with a voltage of 0.4 kV with the most determining factors of calculation: load unbalance phase power line, mutual inductions between the wires of its double-circuit parts, deterministic and probabilistic values of variables and loads of consumers, etc. The calculations of the modes of the distribution network voltage of 0.4 kV made it possible to establish the metrological characteristics of the current sensor and to determine the maximum permissible value of sensor error (3 %). Results of the modelling of the distribution network related to the breaking of the phase conductors, allowed developing a detection algorithm for breaks of the wire transmission line.

Keywords: distribution network, current sensor, unauthorised selection of electric power, single-phase ground fault.



Черевко Елена Александровна, Украина, окончила Приазовский государственный технический университет, ассистент кафедры автоматизации и компьютерных технологий. ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» (ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500, Украина). Основное направление научной деятельности – разработка, моделирование и исследование компьютеризированных информационно-измерительных систем в энергетике.