

УДК 004.3

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И КОЛИЧЕСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ ГОЛОЛЁДООБРАЗОВАНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Д.А. Ярославский, М.Ф. Садыков

Казанский государственный энергетический университет

E-mail: s-marik@yandex.ru

Резюме: В настоящее время остро стоит проблема своевременного обследования воздушных линий электропередачи (ВЛ). При этом, одной из основных задач является контроль гололёдообразования на ВЛ. Для её решения были разработаны устройства с возможностью организации беспроводной передачи данных без привязки к передающим станциям, включающие в себя набор датчиков, необходимых для измерения параметров диагностируемой ВЛ. Применение современных электронных технологий и схемы питания обеспечивает автономность устройства, так как оно не зависит от внешних источников питания, а производит отбор мощности непосредственно с линии. Беспроводная передача данных осуществляется при помощи модулей беспроводной сети автоматизации процессов (БСАП). Такой канал связи позволяет организовать не только недорогую сеть, но и способную к самовосстановлению.

Ключевые слова: беспроводной датчик, обследование, диагностика, мониторинг, воздушная линия электропередачи, беспроводная передача данных, гололёдообразование.

DEVELOPMENT OF SENSOR SYSTEM FOR MONITORING AND CONTROL OF QUANTITATIVE FREEZING FOR OVERHEAD LINES POWER

D.A. Yaroslavskiy, M.F. Sadykov

Kazan State Power Engineering University

Abstract: Currently, the acute problem of timely inspection of overhead power lines. At the same time, one of the main tasks is to monitor freezing to overhead power lines. To solve this problem the device with the possibility of wireless data transmission have been developed without reference to the transmitting stations, comprising a set of sensors needed to measure diagnosed overhead transmission line parameters. The use of modern electronic technology and power supply circuit provides a stand-alone device, since it does not depend on external sources of supply, and producing PTO directly from the line. Wireless data transmission is carried out with the help of wireless modules process automation (WPA). This link allows you to organize not only inexpensive network, but also able to repair itself.

Keywords: wireless sensor, examination, diagnosis, monitoring, overhead power line, wireless data transmission, icing.

Введение

В настоящее время сроки эксплуатации воздушных линий электропередач (ВЛ) превышают нормативные и составляют от 40 лет и более, поэтому остро стоит проблема

своевременного контроля за их состоянием. Кроме того, на остаточном сроке службы сказывается и воздействие внешних факторов окружающей среды в сочетании с эксплуатационными нагрузками.

Одна из серьезных причин аварий в электроэнергетических системах повышенной мощности состоит в образовании плотного ледяного осадка - гололеда при намерзании переохлажденных капель дождя, мороси или тумана при температуре от 0 до -5°C на проводах высоковольтных линий электропередачи. Отложения гололеда, изморози и мокрого снега представляют большую опасность для нормальной эксплуатации ВЛ. От гололеда в высоковольтных линиях электропередачи страдают многие страны мира, в том числе Россия, северные европейские страны, Канада. В каждой из названных стран по причине гололеда в энергосистемах происходит в год до 6 – 8 крупных аварий [1].

В результате значительного увеличения массы проводов и воздействующих на них динамических и статических нагрузок происходят опасные и нежелательные явления, особенно при сильном ветре. К их числу относятся обрыв токопроводящих проводов и грозозащитных тросов под тяжестью снега и льда, недопустимо близкое сближение проводов и их сильное раскачивание (так называемая «пляска»), ухудшение защитных свойств изоляторов, разрушение опор.

Одной из первых коммерческих систем мониторинга стала система *CAT-1*, разработанная в 1991 г. американской компанией *The Valley Group, Inc.* (на сегодня входит в концерн *NEXANS* (Франция)). В настоящее время во всем мире используется свыше 300 систем мониторинга *CAT-1*. Система обеспечивает мониторинг в реальном времени погодных условий и натяжения проводов в точках крепления к опорам. Основной модуль системы монтируется на опоре ЛЭП и весит порядка 50 кг. Несмотря на простоту измерений, система за счет использования патентованных алгоритмов анализа обеспечивает выявление и расчет многих полезных параметров ВЛ, например, стрелы провиса, токовой пропускной способности линии и даже наличия гололеда на проводах. Недостатками системы является узкий температурный диапазон используемых датчиков, необходимость использования тензометрического датчика, закрепленного к траверсе опоры, компоненты системы устанавливаются независимо друг от друга и требуют высококвалифицированный персонал для монтажа системы.

Получила широкое распространение и другая концепция реализации измерительного модуля для систем мониторинга *OTLM* (*Overhead Transmission Line Monitoring*), т.е. мониторинг пропускной способности ВЛ. В отличие от системы мониторинга *CAT-1*, измерительный модуль *OTLM* конструктивно монтируется на высоковольтный провод. Измерение тока в проводе и питание модуля осуществляется бесконтактно. Питание прибора производится от энергии, получаемой от провода через токовый трансформатор. Система *OTLM* обеспечивает в реальном времени измерение температуры провода и силы тока в нём.

Широко известная система мониторинга линии электропередачи *ASTROSE* предлагает всестороннюю техническую платформу для измерения таких параметров как: температура провода; угол провиса провода; действующее значение тока; механические вибрации. Данная система весьма информативна и образует самоорганизующуюся сеть беспроводной передачи данных. Кроме того, сенсоры системы весьма удобны для монтажа на ЛЭП. Однако система мониторинга *ASTROSE* имеет один существенный недостаток, связанный со способом питания сенсоров, так как отбор мощности осуществляется за счёт электростатического поля, что исключает применение данной системы на линиях 35 кВ и ниже.

В Российской Федерации на ООО «МИГ» проводятся работы по созданию системы определения точки начала гололёдообразования «МИГ» путём измерения температуры провода, влажности и температуры окружающего воздуха, а также ветровой нагрузки с

последующей их обработкой. Недостатком данной системы является то, что невозможно определить текущую нагрузку на провод.

Известен и локационный метод обследования воздушных ЛЭП, разработкой которого занимается коллектив из ФГБОУ ВО «КГЭУ» под руководством Минуллина Рената Гизатулловича. Однако для реализации данного метода необходима установка конденсаторов связи по концам обследуемой ВЛ, что экономически нецелесообразно на линиях 35 кВ и ниже.

Таким образом, наблюдается актуальность разработки систем мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи с возможностью сбора и беспроводной передачи данных на диспетчерский пульт по следующим параметрам и возможным событиям:

- контроль гололёдообразования;
- определение места механического воздействия на провода;
- контроль температуры проводов ЛЭП, вызванной изменением токовых нагрузок в системе, а также разогрева проводов, вызванного токами при борьбе с обледенением и налипанием на них снега;
- определение места обрыва или КЗ высоковольтных ЛЭП в каждом пролете и на каждой фазе проводов А, В и С.

Методика определения состояния воздушной линии электропередачи

Контроль гололёдообразования выполняется с помощью разработанной системы мониторинга состояния ВЛ. Аппаратная часть устройства имеет распределенную архитектуру (рис.1), которая включает набор датчиков для измерения параметров состояния проводов линии и окружающей среды и средства приема и передачи данных[2 – 4].

Для контроля гололёдообразования на ВЛ проводятся измерения следующих параметров:

- температура провода;
- относительная влажность воздуха;
- угол провиса провода.

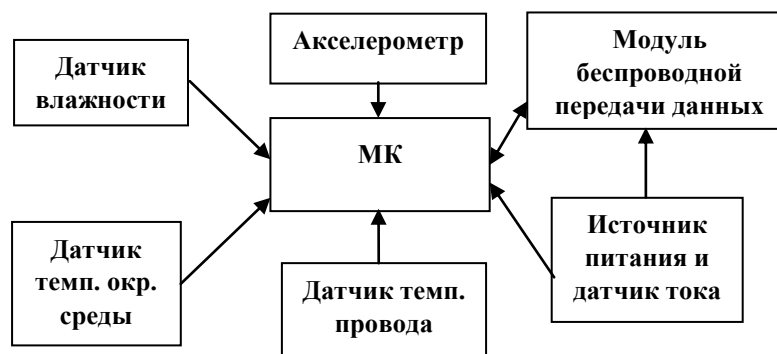


Рис. 1. Структура элемента (устройства) сети

Для измерения влажности и температуры окружающей среды использован датчик, представляющий собой интегральную микросхему, в корпусе которой находится первичный и вторичный преобразователь физической величины, аналого-цифровой преобразователь и драйвер шинного интерфейса I^2C , выводы которого подключаются на одноименные выводы микроконтроллера.

Датчики измерения температуры провода представляют собой терморезистор, включенный по мостовой схеме, аналоговый сигнал с которого оцифровывается

микроконтроллером. Он установлен на металлической пластине длиной 1,5 сантиметра, находящейся в непосредственном контакте с проводом. От внешних воздействий датчик температуры провода защищён внешней защитной оболочкой, при этом на нём отсутствует термоизоляция в целях исключения его нагрева.

Определение угла провиса провода выполнено с использованием акселерометра.

Кроме того, предусмотрена возможность определения действующего значения силы тока в проводе.

Питание устройства осуществляется за счёт отбора мощности с магнитной составляющей электромагнитного поля [5]. Первичным источником питания является трансформатор тока с разделяемым сердечником, установленный на проводе ЛЭП, а вторичная обмотка трансформатора соединена с мостовым диодным выпрямителем, в цепь постоянного тока которого и включен преобразователь. Выход блока питания соединяется с общей шиной питания. Второй трансформатор тока используется в качестве датчика тока.

Приём и передача данных осуществляются по радиоканалу на частоте 2,4 ГГц с использованием модуля беспроводной сети автоматизации процессов (БСАП). Модуль беспроводной радиосвязи представляет собой микросборку. Микросборка соединена с контроллером посредством интерфейса *UART*. В качестве модуля беспроводной радиосвязи могут быть использованы встраиваемые модули БСАП, сочетающие высокое быстродействие и низкое энергопотребление. Они содержат встроенное программное обеспечение, реализующее все основные операции в сети, такие как образование сети, присоединение к сети, ретрансляция данных и автоматическое восстановление сети. Причём надёжная связь между соседними устройствами может осуществляться на расстоянии до 1000 метров при расположении соседних устройств в пределах прямой видимости, что может быть использовано в случае выхода из строя одного или нескольких устройств, так как есть возможность передавать информацию, минуя неисправные звенья [6].

Из собранной информации формируется пакет с указанием идентификатора отправителя. Измерительный элемент (устройство) сети, находящийся на удаленном конце контролируемого участка ВЛ, производит передачу первым. Он передает пакет ближайшему соседнему элементу. Далее соседний элемент передает полученный и свой пакет следующему элементу, находящемуся ближе к контрольному центру или пункту сбора данных (рис. 2). Таким образом строится самоорганизующаяся сеть из устройств, включающих в себя датчики для измерения основных параметров воздушной линии. Информация о линии с этой сети далее поступает в центр хранения и обработки данных [6].



Рис. 2. Структура системы мониторинга состояния ВЛ.

Результаты работ

Разработанная по описанной методике система мониторинга и количественного контроля гололёдообразования воздушных линий электропередачи состоит из специального набора аппаратно-метрологических средств и соответствующего программного обеспечения.

Данные, получаемые от метрологических средств, собираются и передаются на персональный компьютер для дальнейшей обработки. Программное обеспечение, установленное на персональном компьютере, состоит из следующих блоков: модуль оценки угла провеса, модуль измерения силы тока в проводе, модуль термо-метеорологического прогнозирования, модуль оценки и индикации [7 – 9].

В модуле оценки стрелы провеса выполняется определение стрелы провеса при измеренных значениях соответствующего расчётного режима. Кривая провисания провода может моделироваться уравнением цепной линии.

Стрела провеса для каждого расчётного климатического условия определяется следующим образом [10,11]:

$$f = \frac{l^2}{8 \cdot a} \quad (1)$$

где l – длина пролёта, м; $a = H/q$; H – горизонтальная составляющая силы натяжения, Н; q – погонная масса, Н/м.

Согласно уравнению равновесия

$$y = \frac{l}{a} \left(\delta \cdot x - \frac{x^2}{2} \right) \quad (2)$$

где δ – расстояние по горизонтали от точки подвеса до нижней точки пролёта, м (принято за половину длины пролёта); x – координата установки прибора на ВЛ относительно точки подвеса, м.

Формула производной данного уравнения [11]:

$$y' = \frac{\delta - x}{a} = \text{tg } \alpha$$

где α – угол между прямой соединяющей соседние точки провиса и касательной в точке установки устройства мониторинга (рис. 3).

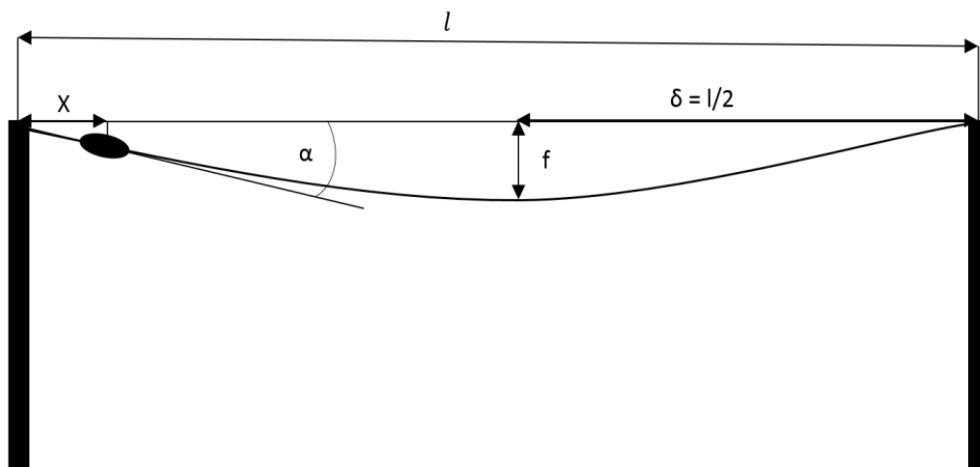


Рис. 3. Наглядное представление параметров линии, используемых при расчёте стрелы провиса.

Выразим a :

$$a = \frac{\delta - x}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (4)$$

Подставив в формулу определения стрелы провиса последнее выражение, получим формулу для определения стрелы провиса через угол α с устройства, установленного от точки подвеса на удалении x :

$$f = \frac{l^2}{8 \cdot a} = \frac{l^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{8 \cdot (\delta - x)} = \frac{l^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{8 \cdot (l/2 - x)} \quad (5)$$

Напряжение в материале провода для текущих климатических условий определяется по основному уравнению состояния провода в пролёте [10]:

$$\sigma = \frac{\gamma^2 \cdot l^2}{24 \cdot \sigma_m^2 \cdot \beta} = \sigma_m - \frac{\gamma_m^2 \cdot l^2}{24 \cdot \sigma_m^2 \cdot \beta} - \frac{\alpha}{\beta} \cdot (t - t_m), \quad (6)$$

где l - длина пролёта, соответствующая данной расчётной точке, м;

σ - напряжение в материале провода в соответствующем расчётном режиме при измеренных климатических условиях, даН/мм²; γ - удельная нагрузка в расчётном режиме при измеренных климатических условиях; σ_m - начальное напряжение в материале провода для соответствующего расчётного режима, даН/мм²; γ_m - удельная механическая нагрузка на провод соответствующего расчётного режима, даН/м·мм²; t_m - температура провода в различных климатических условиях, °С; $\beta = \frac{1}{E}$ - коэффициент упругого удлинения провода, мм²/даН; E - модуль упругости сталеалюминиевого провода, даН/мм²; α - коэффициент температурного расширения провода, 1/град.

Модуль термо-метеорологического прогнозирования выполняет оценку параметров окружающей среды и режимов работы линии электропередачи с целью определения вероятности появления гололедных образований.

Используя измерения температуры и влажности воздуха (рис. 4) возможно определение точки десублимации (температура перехода вещества из газообразного состояния в твёрдое, т.е. температура образования наледи) [12]:

$$T_i = \frac{272.62 \cdot \left[\ln(RH) + \frac{22.46 \cdot t}{272.62 + t} \right]}{22.46 \cdot \left[\ln(RH) + \frac{22.46 \cdot t}{272.62 + t} \right]}, \quad (7)$$

где t - температура воздуха, °С; RH - относительная влажность воздуха; T_i - точка десублимации, °С.

Далее полученные данные передаются в модуль оценки состояния и индикации, где выполняется их обработка для оценки состояния ВЛ.

На рис 4, 5 представлены показания, полученные с опытных образцов датчиков диагностики состояния ВЛ, установленных на действующей линии 35кВ за определённый промежуток времени (14.11.2016 1:38 до 17.11.2016 4:40).

Общеизвестно, что изменение силы тока в проводе приводит к изменению его температуры, а значит и его провиса [13,14]. Однако, в обследуемой линии электропередачи наблюдаются одни и те же токовые нагрузки, то есть циклические изменения силы тока в проводе отсутствуют в течение долгого периода времени (месяцы) и наблюдаются за всё время лишь при коммутациях. Таким образом, градиент температуры провода при неизменной температуре окружающей среды не влияет на проводимые измерения.

На графиках рисунка 4 температура провода за рассматриваемый период изменялась в пределах от -1,9 до -16,1 С°, а угол наклона устройства (угол между горизонтальной плоскостью и касательной к точке установки устройства на проводе) колебался в диапазоне от -5° до -6,4°. На рисунке 5 показано, что за этот же промежуток времени относительная

влажность изменялась от 47,2 до 100%. Таким образом, наблюдается зависимость угла наклона устройства, установленного на проводе, от температуры провода.

Стрела провиса, рассчитанная для пролёта длиной 39 метров с данным прибором, удалённым от точки подвеса на 1 метр при углах на нём 5° и $6,4^\circ$, составляла 0,9 и 1,16 метра, соответственно.

В настоящее время опытные образцы устройств проходят испытания для выявления недостатков и особенностей эксплуатации устройств данной конфигурации.



Рис. 4. Показания температуры провода и угла наклона устройства установленного на линии напряжением 35кВ



Рис. 5. Показания относительной влажности воздуха с устройства, установленного на линии напряжением 35кВ.

Обсуждение результатов.

Собрано устройство, на базе которого можно построить систему мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи. При этом, применение современных электронных технологий и схемы питания обеспечивает автономность работы данного устройства, так как оно не зависит от внешних источников питания (аккумуляторная батарея), а производит отбор мощности непосредственно с линии.

Устанавливаемые на линии электропередачи датчики (рис.6, рис. 7) производят сбор, предварительную обработку и накопление данных об угле провиса, температуре

окружающей среды, температуре провода, влажности окружающей среды и действующем значении силы тока.



Рис. 6. Внешняя оболочка устройства мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на ВЛ.

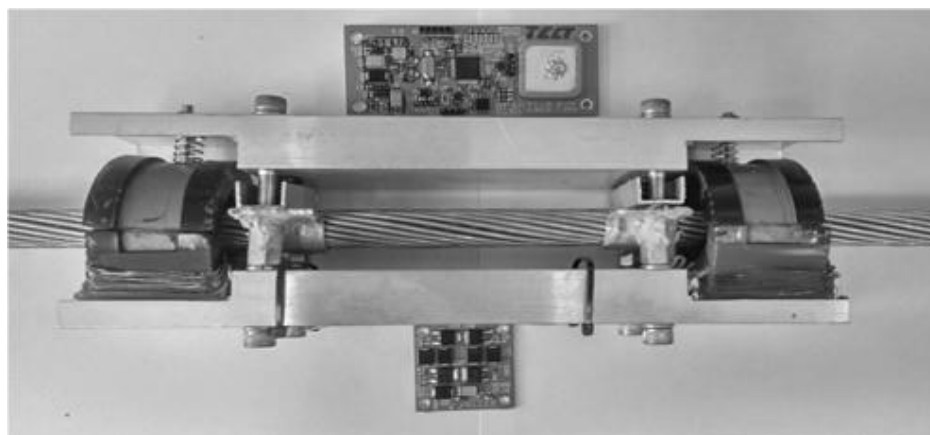


Рис. 7. Внутренняя часть устройства мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на ВЛ.

Беспроводная передача данных осуществляется при помощи модулей БСАП через недорогой канал связи, совместимый с протоколами *IEEE802.15.4*, позволяющий организовать не только недорогую сеть, но и способную к самовосстановлению (при выходе из строя одного из устройств передача данных будет осуществляться через соседнее устройство), что повышает надёжность работы системы в целом.

Мониторинг ВЛ на основе беспроводной сети анализаторов предоставляет возможность измерять температуру провода, угол провиса провода, относительную влажность воздуха, что позволяет осуществлять контроль гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи. Кроме того, предусмотрено измерение действующего значения тока в проводе, на котором установлен прибор, что позволяет анализировать режим работы линии и определять местоположение аварийных участков.

Полученные данные позволяют проводить измерения параметров ВЛ, а значит собирать статистические данные о провисе, параметрах окружающей среды, параметрах режима работы линии. Определение относительной влажности воздуха, температуры провода и угла провиса провода позволяет контролировать гололёдообразование на линии. Благодаря измерению действующего значения силы тока можно анализировать режим

работы линии и находить местоположение аварийных участков. По температуре провода можно судить о пиковых перегрузках проводов, что позволяет предотвратить их повреждение. Измерение вышеперечисленных параметров позволяет осуществлять контроль режимов работы ВЛ и определять опасные режимы эксплуатации проводов в пролетах, а при необходимости и информируя оперативный персонал об изменениях контролируемых параметров [9].

Данные, получаемые от метеорологических средств, собираются и передаются на персональный компьютер для дальнейшей обработки. Программное обеспечение, установленное на персональном компьютере, состоит из следующих блоков – модуль оценки угла провиса, модуль измерения силы тока в проводе, модуль термо-метеорологического прогнозирования, модуль оценки и индикации [7 – 9].

Модуль оценки стрелы провиса позволяет выполнять расчеты для различного сочетания температурных, ветровых и гололедных параметров. Следует учитывать, что степень изменения стрелы провиса также зависит от начальной величины провиса в нормальных условиях.

Модуль работает в режиме реального времени и автоматически выполняет расчет каждый раз при изменении исходных условий, определяемых измерительными датчиками. По результатам расчета строится кривая провисания провода, которая отображается в заданном расчетном режиме с помощью модуля индикации.

Заключение

Результаты работы показывают возможность определения стрелы провиса и параметров окружающей среды. Получаемые данные могут быть использованы в системе контроля состояния ВЛ и термо-метеорологического прогнозирования. Используя в комплексе перечисленные методы, необходимо создать систему мониторинга гололёдообразования ВЛ.

Кроме того, системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи, построенные на базе разрабатываемых устройств имеет и дополнительные функциональные возможности, такие как оперативное определение места обрыва или короткого замыкания высоковольтных линий электропередачи в каждом пролете и на каждой фазе проводов *A*, *B* и *C* благодаря измерению величины силы тока в проводе, на котором установлено данное устройство.

Данная система позволит предотвратить аварии на воздушных линиях электропередачи, возникающие из-за превышения допустимой гололедно-ветровой нагрузки, сократит издержки на ее содержание и повысит экономическую эффективность.

Работа по созданию устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи проводится в рамках договора на выполнение научно-исследовательской опытно-конструкторской работы с ПАО «Татнефть» №0002/11/29 от 19.01.2015г.

Литература

1. Каганов В.И. Нагрев проводов электрических сетей с помощью высокочастотной электромагнитной волны для борьбы с гололедом // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2012. № 3. С. 21– 25.
2. А. В. Никифоров. Технология PLC — телекоммуникации по сетям электропитания // «Сети и системы связи». 2002. № 5.
3. Richard Regep. Optical Fiber Communication Network Based on Power Distribution System. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela, 2006.

4. Zhang Gang, "Study on Electrical Switching Device Junction Temperature Monitoring System Based on ZigBee Technology," 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling.(ICCASM 2010).

5. Jian Huang, Peilei Rao, Xiaoguang Hu, Jin Xiao, "Research of On-line Monitoring System of the Condition of Circuit Breaker Based on ARM and FPGA", 2009 IEEE International Conference on Control and Automation Christchurch, New Zealand (December 9-11, 2009)

6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Издание шестое. Перевод с английского Б.Н. Бронина, А.И. Коротова, М.Н. Микшиса, Л.В. Поспелова, О.А. Соболевой, Ю.В. Чечеткина. Научное издание Москва: Издательство «Мир»: Редакция литературы по информатике и новой технике, 2003.

7. Самарин А.В., Рыгалин Д.Б., Шкляев А.А. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП // Естественные и технические науки. 2012. № 1, 2.

8. Qinyou Wang Ming ZhongYumei Liu, "Remote Monitoring and Intelligent Diagnosis for Power Transmission Lines", Control and Automation, 2003. ICCA'03. Proceedings. 4th International Conference on 12-12 June 2003.

9. F. V. B. de Nazaré, M.M. Werneck, "Temperature and Current Monitoring System for Transmission Lines Using Power-over-Fiber Technology," Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2010 IEEE.

10. Короткевич М.А. Проектирование линий электропередачи: Учебное пособие / М.А. Короткевич. - Минск: Вышэйшая школа, 2010. - 574 с.

11. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 240 с.

12. Титов Д.Е., Угаров Г.Г., Сошинов А.Г.Графическое представление условий гололёдообразования, как термодинамического процесса. Сборник науч. тр. SWorld. - 2013.- № 3. Т. 10. С. 60-63.

13. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан (ПУЭ). – Алматы, 2008. – 588 с.

14. Михалков А.В. Электрические сети и системы в примерах и задачах.

Авторы публикации

Ярославский Данил Александрович – старший научный сотрудник НИИ «СТИВПС» при Казанском государственном энергетическом университете (КГЭУ).

Садыков Марат Фердинантович – канд. физ.-мат. наук, доцент Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: s-marik@yandex.ru, sadykov@kgeu.ru.

References

1. Kaganov V.I. The heating wires of electrical networks using high-frequency electromagnetic wave to combat icing // Electro. Electrical power industry, electrical industry. 2012. № 3. P. 21-25.

2. A. Nikiforov. PLC technology - telecommunications networks for power supply // "Networks and communication systems." - 2002. - № 5.

3. Richard Regep. Optical Fiber Communication Network Based on Power Distribution System. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela, in 2006.

4. Zhang Gang, "Study on Electrical Switching Device Junction Temperature Monitoring System Based on ZigBee Technology," 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling. (ICCASM 2010).

5. Jian Huang, Peilei Rao, Xiaoguang Hu, Jin Xiao, "Research of On-line Monitoring System of the Condition of Circuit Breaker Based on ARM and FPGA", 2009 IEEE International Conference on Control and Automation Christchurch, New Zealand (December 9 -11, 2009)

6. Horowitz P., Hill W. circuitry Arts. Sixth Edition. Translation from English B.N. Bronina, A.I. Korotova, M.N. Mikshis, L.V. Pospelov, O.A. Soboleva, Y. Chechetkina. Scientific publication (Moscow, "Mir" Publisher: Revision of literature on computer science and new technology, 2003).

7. Samarin A.V., Rygalin D.B., Shklyaev A.A. Modern technologies of air monitoring of electric power transmission lines // Natural and Technical Sciences. 2012. № 1, 2.

8. Qinyou Wang Ming ZhongYumei Liu, "Remote Monitoring and Intelligent Diagnosis for Power Transmission Lines", Control and Automation, 2003. ICCA'03. Proceedings. 4th International Conference on 12-12 June 2003.

9. F. V. B. de Nazaré, M.M. Werneck, "Temperature and Current Monitoring System for Transmission Lines Using Power-over-Fiber Technology," Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2010 IEEE.

10. Karatkevich M.A. Design of power line: Textbook / M.A. Karatkevich. - Minsk Higher School, 2010. - 574 p.

11. D.R. Merkin Introduction to the mechanics of flexible filament. - M.: Nauka. Home edition of Physical and Mathematical Literature, 1980. - 240 p.

12. Titov D.E., Ugarov G.G., Soshina A.G. Graficheskoe representation gololëdoobrazovaniya conditions as a thermodynamic process. Collection of Scientific. tr. SWorld. - 2013.-№ 3. - T. 10. - P. 60-63.

13. Rules of electrical devices of the Republic of Kazakhstan (PUE). - Almaty, 2008. - 588 p.

14. Mikhalkov A.V. Electric systems and networks in the examples and problems.

Authors of the publication

Yaroslavskiy Danil Aleksandrovich - Senior Researcher, Laboratory "LT and AIE" at of Kazan State Power Engineering University.

Sadykov Marat Ferdinantovich - Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Docent of Kazan State Power Engineering University. E-mail: s-marik@yandex.ru, sadykov@kgeu.ru.

Поступила в редакцию

16 марта 2017 г.