

Система мониторинга ограничителей перенапряжений на линиях электропередачи

БОРИСОВ Р.К., ЖУЛИКОВ С.С., ГЛАЗУНОВ П.С., КОШЕЛЕВ М.А., МИРЗАБЕКЯН Г.З.,
ТУРЧАНИНОВА Ю.С., МОНАКОВ Ю.В.

Разработан аппаратно-программный комплекс удаленного мониторинга линейных ограничителей перенапряжений (ОПН) под рабочим напряжением. Комплекс представляет собой двухуровневую распределенную систему с автономными точками мониторинга. Основными функциональными узлами комплекса являются: блок датчиков тока, устройство регистрации и связи, автономный источник питания, приемная базовая станция и автоматизированное рабочее место. Помимо измерения полного тока утечки и числа срабатываний комплекс регистрирует амплитуду и длительность протекающих через ОПН импульсов тока молнии. Данные параметры могут быть использованы для оценки остаточного ресурса ОПН и принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации. Для передачи информации выбран стандарт беспроводной связи LoRa, преимуществами которого являются: высокая помехоустойчивость, большая дальность передачи радиосигнала (до 10 км), низкое энергопотребление и высокая проникающая способность. Разработаны программные модули для устройства приема и передачи первичной информации и автоматизированного рабочего места (АРМ). Программно-аппаратный комплекс позволит предупреждать возникновение аварийных ситуаций на ВЛ, оперативно и более эффективно планировать сервисные и ремонтные работы, перейти на эксплуатацию ОПН по техническому состоянию.

К л ю ч е в ы е с л о в а: линии электропередачи, ограничитель перенапряжений, ток утечки, импульсный ток, программный модуль

Для повышения грозоупорности ВЛ широко применяются ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН), которые устанавливаются на воздушных линиях ВЛ, расположенных в районах с большими ветровыми, гололедными нагрузками и высокими сопротивлениями грунтов, т.е. там, где применение грозозащитных тросов неэффективно или приводит к многочисленным КЗ на ВЛ из-за обрыва тросов.

При эксплуатации ОПН подвергается различным воздействиям, среди которых основными являются:

- длительно приложенное рабочее напряжение;
- временное повышение напряжения на ВЛ;
- грозовые и коммутационные перенапряжения;
- механические нагрузки;

- повышенная температура на поверхности варисторов.

На техническое состояние ОПН оказывают влияние:

- вид, качество и конфигурация ребер изоляционной крыши;

- выбор конфигурации, размеров и расположения экранов;

- производственный брак и ненормированные эксплуатационные режимы работы.

Основным рабочим элементом ОПН являются варисторы, которые подвержены деградации в процессе длительной эксплуатации. При выходе из строя ОПН на ВЛ появляется место с ослабленной электрической прочностью, что снижает ее грозоупорность. При большом числе ОПН необходим оперативный контроль их состояния в процессе эксплуатации [1, 2].

Проведенный анализ зарубежных и отечественных систем мониторинга показал, что основными контролируемыми параметрами ОПН являются полный ток утечки, протекающий через ОПН при воздействии длительно приложенного рабочего напряжения, и число срабатываний [3]. Ухудшение состояния ОПН определяется по увеличению активной составляющей тока, определяемой методом гармонического анализа по осциллограмме полного тока утечки. Счетчики числа срабатываний дают информацию о том, сколько раз ОПН пропускал импульсные токи [3]. Такая информация теоретически может быть полезна для оценки эффективности работы ОПН в той или иной точке сети [3].

Существующие системы мониторинга применяются в основном для контроля технического состояния ОПН опорного типа на электрических подстанциях. Требования, предъявляемые к системе радиосвязи по дальности передачи информа-

ции, определяются размерами подстанции и, как правило, не превышают 1 км.

Для анализа причин ухудшения технического состояния ОПН система мониторинга помимо измерения полного тока утечки и числа срабатываний должна регистрировать амплитуду и длительность протекающих через ОПН импульсов тока молнии. Данные параметры необходимы для определения выделившейся в ОПН энергии, оценки остаточного ресурса и принятия решения о возможности его дальнейшей эксплуатации. Дальность передачи информации должна обеспечивать уверенный приём сигнала на расстоянии до нескольких километров (от места установки датчиков системы мониторинга на ВЛ до АРМ диспетчерского пункта).

В соответствии с программой ПАО «Россети» по совершенствованию систем и устройств молниезащиты, повышению грозоупорности и надежности внешней изоляции ВЛ и подстанций (ПС) напряжением 6–750 кВ была проведена работа по теме «Разработка аппаратно-программного комплекса удаленного мониторинга состояния ограничителей перенапряжения нелинейных на ВЛ под рабочим напряжением».

При создании комплекса удаленного мониторинга ОПН решались следующие задачи:

выбор контролируемых параметров и диапазоны их измерений;

выбор методов измерений контролируемых параметров;

разработка и создание датчика для регистрации параметров импульсных токов (амплитуды и длительности);

выбор автономного источника питания и расчет параметров его элементов;

выбор подсистемы связи;

разработка программного обеспечения АРМ диспетчера.

Структура системы мониторинга и ее технические характеристики. В соответствии с приведенной структурой (рис. 1) комплекс представляет собой двухуровневую распределенную систему с автономными точками мониторинга, основными функциональными узлами которых являются блок датчиков тока, блок первичной обработки данных (блок регистрации и связи), автономный блок питания. Число точек мониторинга определяется числом опор ВЛ с подвесными ОПН.

Блок регистрации и связи оцифровывает поступающие с датчиков тока аналоговые сигналы и передает их по радиоканалу связи на АРМ диспетчерского пункта. При необходимости используются ретрансляторы сигнала, устанавливаемые на опорах ВЛ.

Основные технические характеристики системы мониторинга:

| | |
|-----------------------------------|---|
| Напряжение ВЛ | 6–750 кВ |
| Число точек мониторинга | практически не ограничено |
| Канал связи с центральным уровнем | радиоканал (LoRa 868 МГц, GSM) |
| Изменяемые параметры | амплитуда протекающего через ОПН разрядного тока; полный ток утечки; число срабатываний ОПН |
| Регистрируемые параметры событий | дата и время события; амплитуда и длительность импульса |
| Источник питания | солнечная батарея; аккумуляторная батарея (резервный источник питания) |

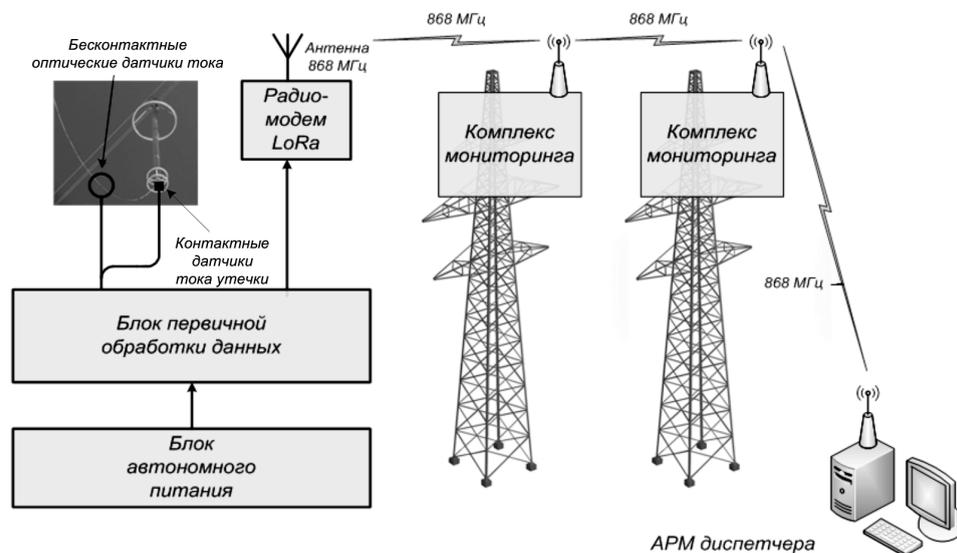


Рис. 1. Структура комплекса мониторинга линейных ОПН

Диапазоны измерения контролируемых параметров:

| | |
|--|-------------------|
| Амплитуда импульса разрядного тока | 5÷100 кА |
| Длительность импульсов разрядного тока | От 10 мкс до 1 с |
| Полный ток утечки | 0,05 ÷ 5 мА |
| Число срабатываний | 1÷1000 (не менее) |

Оптические датчики импульсного тока. Применяющиеся для регистрации высоких значений магнитных полей датчики тока трансформаторного типа обладают рядом существенных недостатков. Эти устройства работают при непосредственном контакте с токоведущими частями электроустановок, что предъявляет жесткие требования к прочности электрической изоляции и к условиям их безопасной эксплуатации. В рамках проекта создан простой портативный и относительно дешевый при серийном производстве оптический датчик (ОД) тока, регистрирующий высокие значения импульсного магнитного поля.

Принцип действия ОД основан на линейном магнитооптическом эффекте Фарадея, который используется для измерения магнитного поля и, соответственно, тока. Магнитооптический эффект заключается в линейном изменении поляризации света, проходящего через кристалл под действием магнитного поля [4, 5, 7]. Для ОД в качестве чувствительного элемента выбран оптически активный кристалл силиката висмута BSO [6] с кубической симметрией (рис. 2). Основным преимуществом кристаллов данного типа является высокая температурная стабильность в широком диапазоне температур (от -50 до $+50$ °С), что важно для работы в реальных условиях эксплуатации системы мониторинга.

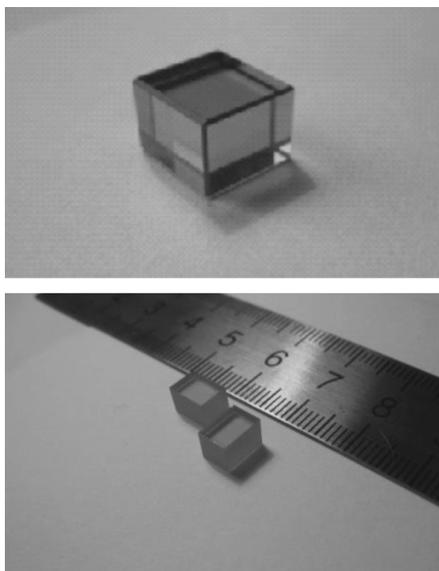


Рис. 2. Кристалл BSO с кубической симметрией



Рис. 3. Опытный образец оптического датчика тока ОД-1-1

Преимуществом датчиков тока на основе диамагнетиков является возможность измерения напряженности импульсного магнитного поля в широком диапазоне: от десятков до нескольких тысяч А/м. При использовании технологии бесконтактного измерения тока обеспечивается высокая устойчивость систем измерения к электромагнитным помехам, поскольку для передачи световых сигналов между датчиком и электронным модулем, устройством регистрации сигнала и связи используются оптоволоконные линии. Отсутствие эффектов насыщения чувствительного элемента, мгновенная реакция на изменение значения поля, малые габариты и вес являются очевидными преимуществами ОД-1-1 (рис. 3).

Градуировка ОД-1-1 проводилась в высоковольтной лаборатории кафедры ТЭВН НИУ «МЭИ» при подаче импульсов тока 8/20 мкс амплитудой от 5 до 100 кА (рис. 4).

Периодическая калибровка и поверка ОД-1-1 не предусматривается, так как установленная точность сохраняется в течение заявленного срока эксплуатации системы мониторинга. Для контроля полного тока утечки ОПН используются стандартные датчики ДТУ-03.

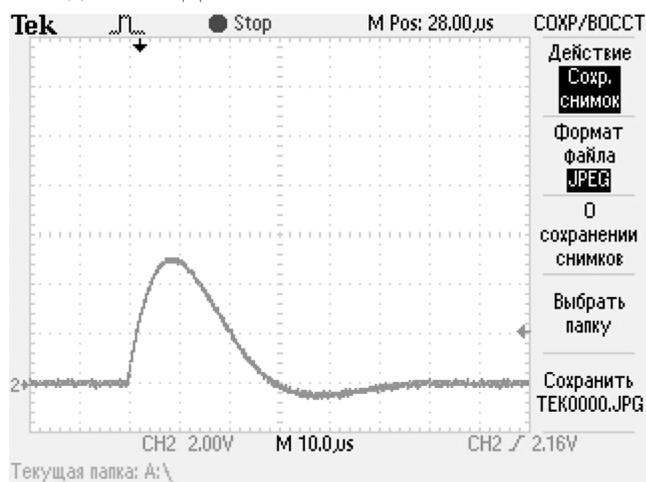


Рис. 4. Характерная осциллограмма импульса тока при градуировке ОД-1-1 ($k = 1000$)

Блок регистрации и связи. Блок регистрации и связи представляет собой программируемый микроконтроллер с двумя каналами аналого-цифрового преобразования со скоростью преобразования, достаточной для измерения параметров грозовых и коммутационных импульсов тока. Кроме этого, блок оснащен энергонезависимой памятью для хранения данных, а также модулями связи.

Для выбора стандарта беспроводной связи для системы мониторинга были рассмотрены [8-11]:

LoRa – вид модуляции, наиболее распространен на частоте 868 МГц, тип построения – звезда;

GSM (NB) – новый стандарт узкополосной передачи данных NB (Narrow Band), тип построения – звезда;

MESH – самоорганизующаяся сеть, работающая на частоте 868 МГц или 2,4 ГГц; основой сети являются устройства на основе протоколов ZigBee и XBee.

Из рассмотренных стандартов радиосвязи наиболее предпочтительным оказался стандарт LoRa, так как ключевой особенностью его радиointерфейса является высокая помехоустойчивость. Основными преимуществами сети на основе модуляции LoRa являются:

большая дальность передачи радиосигнала по сравнению с другими беспроводными технологиями, используемыми для телеметрии (10÷15 км на открытой местности; 1÷3 км в городской застройке; 0,5÷1 км внутри помещений);

низкое энергопотребление конечных устройств из-за минимальных затрат энергии на передачу небольшого пакета данных;

высокая проникающая способность радиосигнала в городской застройке при использовании частот субгигагерцового диапазона;

высокая помехозащищенность благодаря использованию сигналов с расширенным спектром;

высокая масштабируемость сети на больших территориях – способность справляться с увеличением рабочей нагрузки при добавлении аппаратных ресурсов;

отсутствие проблем в получении «частотного разрешения» и платы на радиочастотный спектр из-за использования нелицензируемых частот (ISM band).

При неустойчивой радиосвязи (в условиях холмистой местности или при дальности передачи радиосигнала более 10 км) применяются ретрансляторы. Ретрансляторы устанавливаются на опорах ВЛ, их число определяется конкретными условиями эксплуатации систем мониторинга. Электропитание ретрансляторов осуществляется с помощью автономных источников питания (АИП), аналогич-

ных по структуре и составу АИП, используемым для питания блоков регистрации и связи (рис. 1).

Модуль автономного источника питания. Для выбора АИП проведен сравнительный анализ наиболее распространенных методов прямого преобразования различных видов энергии в электрическую энергию [12–16]. При этом были рассмотрены как традиционные методы преобразования (фотовольтаический, термоэлектрический, пьезоэлектрический, термоэмиссионный), так и нетрадиционные методы, в которых используется извлечение энергии из низко- и среднечастотных электромагнитных полей (индуктивный, ёмкостный, резонансный, радиочастотный). По результатам проведенного анализа был выбран АИП на солнечных батареях с рабочей мощностью несколько десятков ватт совместно с резервным источником питания – аккумуляторной батареей [17].

На основании расчётов выбраны параметры элементов АИП с учётом характерных режимов работы нагрузки (постоянная, кратковременная) и климатических условий эксплуатации северо-запада России (до 70° с.ш.). Выбрана панель солнечной батареи мощностью 50 Вт и аккумуляторная батарея фирмы Sonnenschein. Типы аккумуляторных батарей, рекомендуемых для различных территорий, находящихся в зоне ответственности ПАО «МРСК Северо-Запада», приведены в таблице.

| Номер п/п | Район | Возможное число пасмурных дней подряд | Тип рекомендуемой АБ и ее емкость | Время автономной работы АБ при токе нагрузки системы мониторинга, сутки |
|-----------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1 | Ленинградская область | 45 | A512/25 G5 25 А·ч | 59 |
| 2 | Мурманская область | 73 | A512/40 A 40 А·ч | 79 |
| 3 | Архангельская область | 43 | A512/25 G5 25 А·ч | 59 |
| 4 | Вологодская область | 45 | A512/25 G5 25 А·ч | 59 |
| 5 | Республика Карелия | 44 | A512/25G5 25 А·ч | 59 |
| 6 | Республика Коми | 47 | A512/25 G5 25 А·ч | 59 |
| 7 | Новгородская область | 52 | A512/25 G5 25 А·ч | 59 |
| 8 | Псковская область | 42 | A412/20 G5 20 А·ч | 42 |

В качестве контроллера АИП используется стандартный блок LS1024 фирмы LPSolar, выполняющий набор функций по обеспечению бесперебой-

ного питания нагрузки. Эти функции распределены между узлами контроллера:

зарядным устройством;

блоком защиты;

устройством автоматического ввода резерва (АВР);

стабилизатором напряжения.

Модуль АИП выполняет следующие функции: питание цифровых микросхем стабилизированным напряжением с переключением на резервный источник (аккумуляторную батарею) в случае отсутствия энергии от основного источника;

формирование опорного напряжения;

заряд литий-ионной аккумуляторной батареи с переключением из режима стабилизации тока в режим стабилизации напряжения;

прекращение заряда аккумуляторной батареи при недостаточности энергии, необходимой для питания электронных узлов устройства;

отключение аккумуляторной батареи в случае ее разряда до предельно допустимого уровня или КЗ.

Программное обеспечение автоматизированного рабочего места (АРМ) (далее – программа) представляет собой Windows приложение, совместимое с операционной системой Windows 10. Для работы программы требуется, чтобы на компьютере АРМ были установлены все необходимые драйверы для работы с базовой станцией сети LoRa WAN.

Программа обеспечивает:

сетевое взаимодействие с цифровыми регистраторами и модемом;

непрерывный мониторинг состояния ОПН;

автоматизированный контроль работоспособности системы;

сохранение поступающей от ОПН информации;

сохранение данных мониторинга в таблицах Microsoft Excel;

принудительный опрос регистраторов;

настройка цифровых регистраторов и модема;

калибровка оптических датчиков цифровых регистраторов;

цветовая индикация состояния ОПН.

Основные функции программы. 1. Непрерывный контроль состояния ОПН выполняется автоматически. В случае поступления в программу АРМ данных, свидетельствующих об аварийном состоянии ОПН, выполняется подсветка соответствующей строки красным цветом.

2. Передача на монитор диспетчера АРМ сообщений в случае превышения контролируемыми параметрами ОПН допустимых значений или скачкообразного их изменения совместно с информацией о времени и точке наблюдения выполняется автоматически. При этом в главном окне программы

отображаются следующие параметры: дата и время события, ток утечки (мА), импульсный ток, протекающий через ОПН (кА), длительность последнего зафиксированного импульса (мс), общее число зафиксированных импульсов.

3. Периодическое подтверждение работоспособности датчиков по результатам самодиагностики выполняется автоматически. Чтобы убедиться в том, что информация от регистраторов поступает в программу АРМ, необходимо следить за индикатором, который должен включаться не реже, чем через каждые 30 с (значение по умолчанию).

4. Протоколирование и архивирование всей поступившей информации выполняется автоматически. Вся информация, поступающая от ОПН, заносится в специальную таблицу, а также в соответствующие таблицы Microsoft Excel (для каждого ОПН своя таблица). Сохранение таблиц Excel проводится автоматически. Создание Excel-файлов выполняется после первого поступления данных от соответствующего ОПН. При необходимости можно удалить любые Excel-таблицы из папки History.

5. Предусмотрено удаленное управление системой мониторинга, в том числе принудительный опрос и изменение настроек. Настройка калибровочных коэффициентов оптического датчика выполняется на основе полиномиальной модели второго порядка. Данные модели необходимо вносить при установке системы.

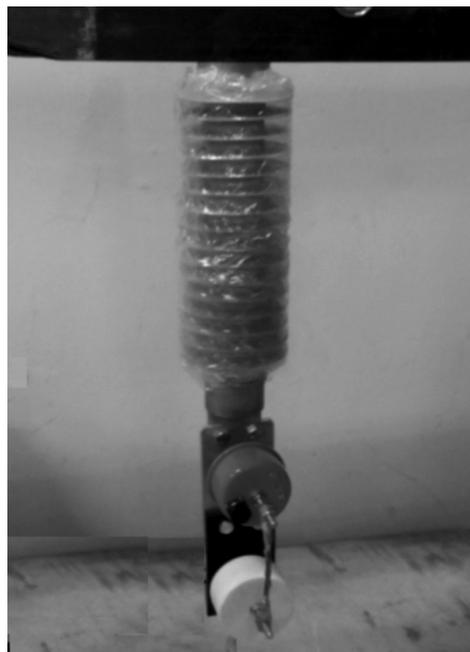
6. Результаты мониторинга состояния ОПН предоставляются пользователю в интуитивно понятной форме. Нормально функционирующие ОПН отображаются зеленым цветом, ОПН, от которых не поступает информация, – белым цветом; ОПН, у которых зафиксированы превышения рабочих параметров, – желтым цветом (например, ток утечки превышает 1,2 мА – значение, при котором необходимо решить вопрос о замене ОПН). Дефектные ОПН, которые подлежат замене, – красным цветом (ток утечки превышает предельное значение, при котором ОПН должен быть выведен из работы, например 1,5 мА). Значения тока утечки, соответствующие желтой и красной индикации, вводятся вручную после установки системы на ОПН в соответствии с РД 34.45-51.300-97 (Таблица 21.3) или паспортными техническими характеристиками ОПН. Вся информация о работе ОПН обновляется в режиме реального времени. После запуска программы все строки отображаются белым цветом. Если информация от какого-либо ОПН не поступит в программу в течение 15 мин после запуска (соответствующая строка остается белой), то ОПН считается неисправным.

7. По умолчанию вся информация о работе ОПН представляется оператору в табличной форме. При необходимости информация, полученная от ОПН, может быть обработана в программе Microsoft Excel, в табличном или графическом виде (в том числе в форме тренда), для этого необходимо воспользоваться соответствующими функциями Microsoft Excel (в частности функцией построения графиков). В таблицу заносятся: дата и время событий (в том числе срабатывания ОПН), ток утечки, число и время срабатываний ОПН, амплитуда и длительность импульсных токов, протекающих через ОПН.

Конструктивное исполнение. Конструктивно элементы комплекса устанавливаются в стальном монтажном шкафу со степенью защиты IP66 (рис. 5). На верхней стенке шкафа крепятся антенны радиомодулей, закрытые радиопрозрачными



Рис. 5. Варианты установки шкафа с элементами комплекса на опорах ВЛ



а)



б)

Рис. 6. Датчики ДТУ-03 и ОД-1-1, смонтированные на нижнем фланце ОПН (а) и на металлоконструкциях ВЛ (б)

кожухами. Стык между нижней кромкой кожуха и корпусом шкафа герметизируется, обеспечивая тем самым защиту антенн и высокочастотных разъемов от климатических и механических воздействий.

Датчики тока (ДТУ-03 и ОД-1-1) устанавливаются на нижние фланцы подвесных ОПН или на металлоконструкциях опоры ВЛ в разрыв заземляющего проводника (рис. 6).

Заключение. Положительный эффект от внедрения системы мониторинга линейных ОПН под рабочим напряжением на объектах ПАО «Россети» может быть получен за счёт:

снижения затрат на периодическую диагностику ОПН;

повышения эффективности и качества диагностических работ из-за применения новых более

точных методов контроля технического состояния ОПН;

снижения издержек на ремонтно-восстановительные работы из-за своевременного выявления и устранения дефектов ОПН;

снижения аварийности объектов электросетевого хозяйства и повышения надежности их работы.

Применение системы мониторинга линейных ОПН на объектах электросетевого хозяйства позволит предупреждать возникновение аварийных ситуаций на ВЛ, оперативно и более эффективно планировать сервисные и ремонтные работы, перейти на эксплуатацию ОПН по их техническому состоянию. Полученные по результатам мониторинга данные могут быть использованы для разработки мероприятий по защите оборудования от прямых ударов молнии с более обоснованным выбором типа защитных аппаратов и их параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демьяненко К.Б. К вопросу о необходимости диагностики ОПН в процессе эксплуатации. — Электро, 2008, № 3.
2. Дмитриев В.Л. Диагностика ОПН в эксплуатации. Достоверность оценки состояния. — Новости электротехники, 2007, № 5(47).
3. Дмитриев М.В. Регистрация числа срабатываний ОПН, необходимость или излишество. — Новости электротехники, 2008, 1(49).
4. Потапов В.Т., Потапов Т.В., А.В. и др. Волоконно-оптические датчики магнитного поля и электрического тока на основе эффекта Фарадея в кристаллах Bi₁₂GeO₂₀ и Bi₁₂SiO₂₀. Спецвыпуск «Фотон-Экспресс». — Наука, 2005, № 6, с. 166–176.
5. Абраменкова И., Корнеев И., Троицкий Ю. Оптические датчики тока и напряжения. — Компоненты и Технологии, 2010, № 8, с. 60–64.
6. Пат. (на полезную модель) № 83340 (РФ). Бесконтактный термостабильный датчик напряженности постоянных и переменных электрических полей на основе электрооптического эффекта в кристалле Bi₁₂SiO₂₀ (BSO)/ В.М. Абусев., П.М. Караваяев. ООО «Силлениты», 2009.
7. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах/Пер. с англ. М.: Мир, 1987, 616 с.
8. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005, 592 с.
9. Шахнович И. Современные технологии беспроводной связи. М.: Техносфера, 2006, 287 с.
10. Современные телекоммуникации. Технологии и экономика/Под общей ред. С.А. Довгого. М.: Эко-Трендз, 2003, 320 с.
11. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. Сети и системы радиодоступа. М.: Эко-Трендз, 2005, 384 с.
12. Lee V.C. Energy harvesting for wireless sensor networks (dissertation). — University of California, Berkeley, California, USA, 2012.
13. Covic G.A. and J.T. Boys. Inductive Power Transfer. — Proc. of IEEE101(6), 2013, pp. 1276–1289.
14. Song M., Belov P., Kapitanova P. Wireless power transfer inspired by the modern trends in electromagnetic. Applied physics reviews, 4, 021102, 2017.
15. Abdin Z. et al. «Solar energy harvesting with the application of nanotechnology», Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 26, pp. 837–852.
16. Ahrend U., Kunig K., ABB Corporate Research Germany, «The Role of Energy Harvesting in Creating Reliable WSN», Energy Harvesting & Storage Europe – 2014. Berlin, 2014, April 01–02.
17. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. «Солнечная энергетика». МЭИ, 2008, 317 с.

[04.02.2019]

А в т о р ы : Борисов Руслан Константинович окончил электроэнергетический факультет Московского энергетического института (МЭИ – ныне Национальный исследовательский университет «МЭИ» – НИУ «МЭИ») в 1971 г. В 1981 г. защитил кандидатскую диссертацию «Исследование восстановления электрической прочности в силовых импульсных коммутаторах». Ведущий научный сотрудник кафедры ТЭВН НИУ «МЭИ».

Жуликов Сергей Сергеевич окончил электроэнергетический факультет МЭИ в 1981 г. В 2003 г. защитил кандидатскую диссертацию «Разработка методов и технических средств для решения проблем электромагнитной совместимости на объектах связи». Доцент кафедры ТЭВН НИУ «МЭИ».

Глазунов Павел Сергеевич окончил физический факультет Московского государственного университета им М.В. Ломоносова (МГУ) в 2018 г. Аспирант кафедры общей физики МГУ.

Кошелев Михаил Алексеевич окончил ЭЭФ МЭИ в 1980 г. В 1991 г. защитил кандидатскую диссертацию «Разработка метода создания заряженных аэрозольных областей, способных инициировать искровые разряды». Доцент кафедры ТЭВН НИУ «МЭИ».

Мирзабекян Гарри Завенович окончил ЭФФ МЭИ в 1962 г. В 1976 г. защитил докторскую диссертацию «Коллективные процессы в электроаэрозолях». Профессор кафедры ТЭВН НИУ «МЭИ».

Турчанинова Юлия Сергеевна окончила ЭЭФ МЭИ в 2007 г. Ассистент кафедры ТЭВН НИУ «МЭИ».

Монаков Юрий Викторович окончил ЭЭФ МЭИ в 2009 г. В 2013 г. защитил кандидатскую диссертацию «Разработка рекомендаций по предотвращению срабатываний микропроцессорных средств защиты и автоматики энергообъектов от замыканий в системе оперативного тока». Доцент кафедры «Электрические станции» НИУ «МЭИ».

Monitoring System of Surge Arresters on Electrical Transmission Lines

BORISOV Ruslan K. (National Research University «Moscow Power Engineering Institute» – NRU «MPEI», Moscow, Russia) – Senior researcher, Cand. Sci. (Eng.)

ZHULIKOV Sergey S. (NRU «MPEI», Moscow, Russia) – Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

GLAZUNOV Pavel S. (Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia) – Postgraduate student

KOSHELEV Mikhail A. (NRU «MPEI», Moscow, Russia) – Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

MIRZABEKYAN Harry Z. (NRU «MPEI», Moscow, Russia) – Professor, Dr. Sci. (Eng.)

TURCHANINOVA Yuliya S. (NRU «MPEI», Moscow, Russia) – Assistant lecturer

MONAKOV Yury V. (NRU «MPEI», Moscow, Russia) – Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

The hardware and software complex of remote monitoring of the high voltage line arresters (HVLA) under operating voltage is developed. The complex is a two-level distributed system with autonomous monitoring points. The main functional units of the complex are: a block of current sensors, a registration and communication device, an autonomous power supply, a receiving base station and an automated workplace (AWP). In addition to measuring the total leakage current and the number of trips, the system records the amplitude and duration of the lightning current pulses flowing through the HVLA. These parameters can be used for assessment of the HVLA residual resource and making decision on a possibility of its further operation. For information transfer the standard of a wireless communication LoRa which advantages are is chosen: high noise immunity, larger range of transfer of a radio signal (up to 10 km), low energy consumption and high penetration. Program modules are developed for the device of reception and transfer of primary information and an automated workplace. The hardware and software system will allow to prevent emergence of a contingency situation on power lines, quickly and more efficiently to plan service and repair work, to pass to operation of HVLA on technical condition.

Key words: hardware and software complex, surge arrester, total leakage current, impulse current, optical sensor, leakage current sensor, independent power supply, program module

REFERENCES

1. Dem'yanenko K.B. *Elektr – in Russ. (Electro)*, 2008, No. 3.
2. Dmitriyev V.L. *Novosti elektrotehniki – in Russ. (News of Electrical Engineering)*, 2007, No. 5(47).
3. Dmitriyev M.V. *Novosti elektrotehniki – in Russ. (News of Electrical Engineering)*, 2008, 1(49).
4. Potapov V.T., Potapov T.V. et al. *Spetsvypusk «Foton-Ekspres» – in Russ. (Special edition «Foton-Ekspres»)*, 2005, No. 6, pp. 166–176.
5. Abramenkova I., Korneyev I., Troitskiy Yu. *Komponenty i Tekhnologii – in Russ. (Components and Technologies)*, 2010, No. 8, pp. 60 – 64.
6. Pat. RF na poleznuyu model' No. 83340. *Beskontaktnyi termostabil'nyi datchik napryazhennosti postoyannykh i peremennykh elektricheskikh polei na osnove elektroopticheskogo effekta v kristalle $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO)* (Pat. RF for utility model No. 83340. Contactless thermostable sensor of constant and alternating electric field strength based on the electro-optical effect in a $Bi_{12}SiO_{20}$ (BSO) crystal)/V.M. Abusev, P.M. Karavayev. LLC «Sillenity», 2009.
7. Yariv A., Yukh P. *Opticheskiye volny v kristallakh/Per. s ang. Optical waves in crystals / Trans. from English*. Moscow, Mir, 1987, 616 p.
8. Vishnevskiy V.M., Lyakhov A.I., Portnoy S.L., Shakhnovich I.V. *Shirokopolosnye besprovodnye seti peredachi informatsii (Broadband Wireless Information Networks)*. Moscow, Tekhnosfera, 2005, 592 p.
9. Shakhnovich I. *Sovremennye tekhnologii besprovodnoy svyazi (Modern wireless technology)*. Moscow, Tekhnosfera, 2006, 287 p.
10. *Sovremennye telekommunikatsii. Tekhnologii i ekonomika/Pod obshchey red. S.A. Dovgogo (Modern telecommunications. Technology and Economics / Under the general ed. S.A. Dovgoy)*. Moscow, Eko-Trends, 2003, 320 p.
11. Grigor'yev V.A., Lagutenko O.I., Raspayev Yu.A. *Seti i sistemy radiodostupa (Radio Access Networks and Systems)*. Moscow, Eko-Trendz, 2005, 384 p.
12. Lee V.C. *Energy harvesting for wireless sensor networks (dissertation)*. – University of California, Berkeley, California, USA, 2012.
13. Covic G.A. and J.T. Boys. *Inductive Power Transfer*. – Proc. of IEEE101(6), 2013, pp. 1276–1289.
14. Song M., Belov P., Kapitanova P. *Wireless power transfer inspired by the modern trends in electromagnetic*. Applied physics reviews, 4, 021102, 2017.
15. Abdin Z. et al. «Solar energy harvesting with the application of nanotechnology», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 26, pp. 837–852.
16. Ahrend U., Kunig K. *ABB Corporate Research Germany, «The Role of Energy Harvesting in Creating Reliable WSN»*, Energy Harvesting & Storage Europe – 2014. Berlin, 2014, April 01–02.
17. Vissarionov V.I., Derugina G.V., Kuznetsova V.A., Malinin N.K. «Solnechnaya energetika» («Solar energy»). Publ. of Moscow Power Engineering Institute, 2008, 317 p.