

УДК 621

СЕНСОРНЫЕ СЕТИ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Воденников Д. А., директор, филиал ПАО «Россети Московский регион»,
Жилкина Ю. В., канд. экон. наук, главный специалист, ПАО «Россети ФСК ЕЭС»

В работе предлагается создание системы оперативного мониторинга технического состояния воздушных линий на базе модульных устройств. Модульное устройство конфигурируется в зависимости от решаемых задач: контроль гололедообразования; контроль плавки гололеда; локализация места короткого замыкания, обрыва, удара молнии; определение электрических нагрузок на проводе или контроль нагрузки транзитных ВЛ; определение механических нагрузок на проводе; определение условий возникновения гололедообразования.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, модульное устройство, беспроводная передача данных, мониторинг, гололедообразование, диагностика, сенсорная сеть.

SENSOR NETWORKS FOR OVERHEAD POWER LINES

Vodennikov D. A., director of the branch of PJSC Rosseti Moscow Region,
Zhilkina Yu. V., PhD of economics sciences, Chief Specialist of PJSC Rosseti FGC UES

The paper proposes the creation of a system for operational monitoring of the technical condition of overhead lines based on modular devices. The modular device is configured depending on the tasks to be solved: control of ice formation; control of ice melting; localization of the place of short circuit, breakage, lightning strike; determination of electrical loads on the wire or control of the load of transit overhead lines; determination of mechanical loads on the wire; determination of conditions for the occurrence of ice formation.

Keywords: overhead power lines, modular device, wireless data transmission, monitoring, ice formation, diagnostics, sensor network.

Протяженность воздушных линий электропередачи в Российской Федерации составляет свыше 2,8 млн км. Электросетевое хозяйство стремительно устаревает. Уровень износа оборудования достигает 70% [1]. Это приводит к возникновению аварийных ситуаций на воздушных линиях электропередачи и снижению качества поставки электроэнергии. Одно из основных направлений улучшения ситуации – проведение глубокой модернизации электросетевого

хозяйства с ориентиром на энергоэффективность.

Исходя из этого, следует вести работы в области создания системы контроля параметров системообразующих воздушных линий (ВЛ) напряжением 110 кВ и выше, с целью повышения надежности их работы и оптимизации перераспределения потоков мощности в случае возникновения на данных линиях аварийной ситуации либо перегрузки на определенных участках данных ЛЭП.

В соответствии со стратегией развития топливно-энергетического комплекса Республики Татарстан на период до 2030 г. ведется внедрение и развитие интеллектуальной активно-адаптивной сети *Smart Grid*.

Разрабатываемая система имеет широкий спектр выполняемых задач путем применения различных наборов датчиков, подключаемых по модульному принципу (модуль системы глобального позиционирования, модуль измерения частичных разрядов, модуль определения стрелы провиса, модуль высокочастотного зондирования ВЛ, модуль определения КЗ и обрывов, модуль определения параметров окружающей среды, модуль определения температуры провода). Это позволит без серьезных финансовых затрат оснащать ВЛ диагностическими системами путем простой установки на провод разрабатываемого устройства, конструкция которого позволяет изменять конфигурацию оборудования и решать широкий спектр задач. Кроме того, функциональные возможности данных приборов расширяются за счет их универсальной основы (информационный модуль), что позволит использовать ее для организации информационного канала связи передачи данных и создать на ВЛ инфраструктуру для внедрения интеллектуальных сетей.

Система оперативного мониторинга технического состояния ВЛ включает в себя разрабатываемые модульные устройства [2, 3], устанавливаемые на проводах ВЛ, передающие информацию друг через друга и питающиеся непосредственно от линии. При этом топология сенсорной сети зависит от решаемых задач (на расположение датчиков на линии влияют задачи диагностирования параметров ВЛ и необходимость ретрансляции данных). Реализуется резервирование каналов связи, что подразумевает передачу данных, минуя неисправное устройство [4], не только в пределах одного фазного провода, но и через устройства на соседних фазных проводах. Модуль сбора информации может быть заменен на дру-

гой, в зависимости от задач мониторинга, а неизменный модуль связи может быть использован в качестве инфраструктуры для передачи данных. Данные с модульных устройств собираются на «облачном» сервере, где обрабатываются. Обработанные данные доступны для диспетчеризации и наблюдения посредством *web*-интерфейса.

В качестве узла сенсорной сети выступает модульное устройство (рис. 1), состоящее из основной платы, на которой установлен микроконтроллер с необходимой обвязкой и модуль связи [5]. Устройство устанавливается непосредственно на фазный провод (рис. 2 и 3). Возможны модификации с модулем автономного питания, модулем электростатического питания – для линий 110 кВ и выше с отбором мощности от ВЛ, модулем электромагнитного питания – для линий до 110 кВ с отбором мощности от ВЛ. В первую очередь предполагается оснащение сенсорами именно распределительных сетей напряжением 35 кВ и ниже, так как данные воздушные линии являются наименее обследованными, но при этом самыми протяженными. В сетях данного типа преобладают радиально-магистральные (древовидные) структуры.

Модульное устройство конфигурируется в зависимости от решаемых задач (рис. 4): контроль гололедообразования; контроль плавки гололеда; локализация места короткого замыкания, обрыва, удара молнии; определение электрических нагрузок на проводе или контроль нагрузки транзитных ВЛ; определение механических нагрузок на проводе; определение условий возникновения гололедообразования.

Контроль гололедообразования осуществляется путем установки модуля определения стрелы провиса и/или модуля высокочастотного зондирования ВЛ. Стрела провиса определяется благодаря акселерометрам, передающим информацию об угле наклона датчика, устанавливаемого непосредственно на проводе. Тем больше стрела провиса, тем выше гололедная нагрузка на данный провод.

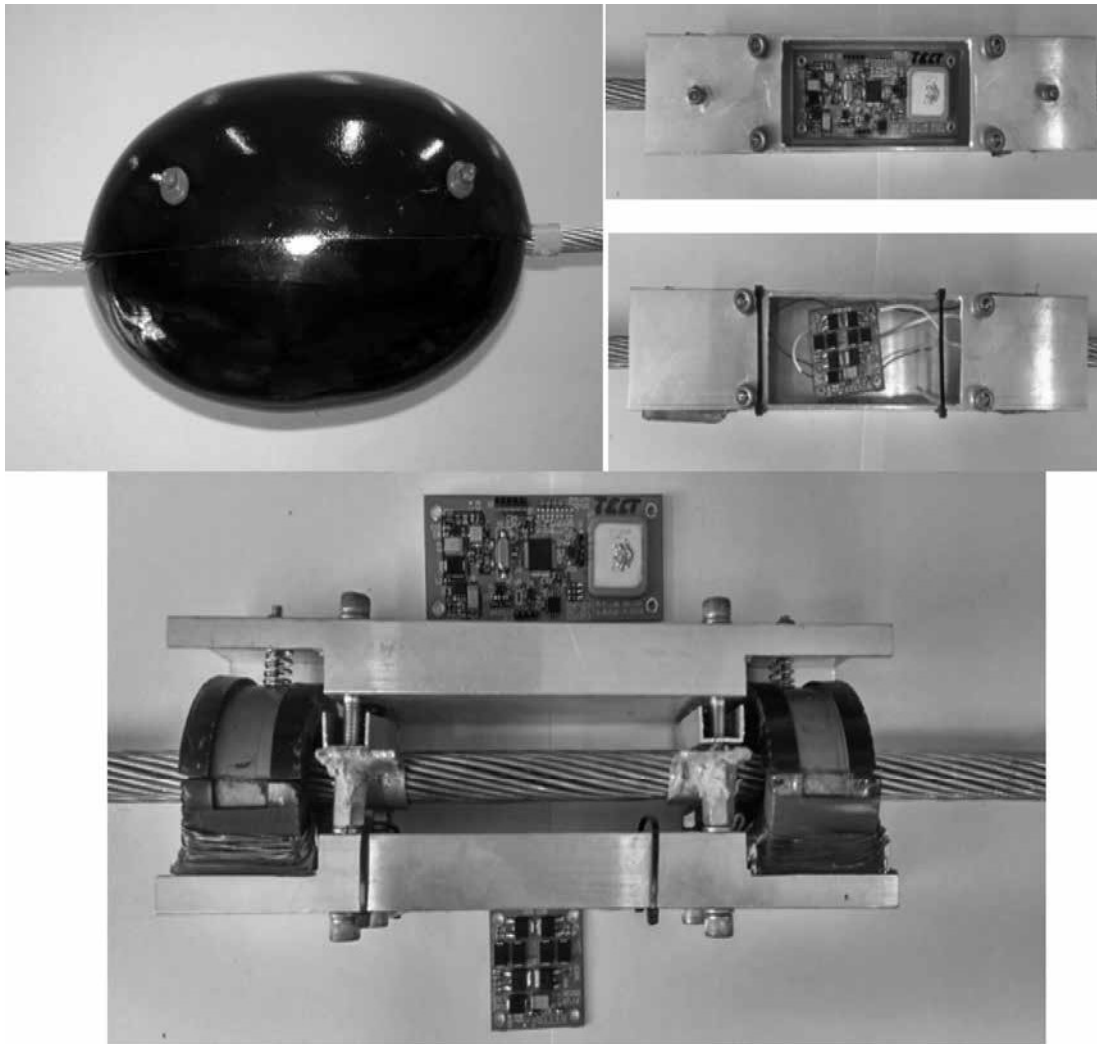


Рис. 1. Модульное устройство

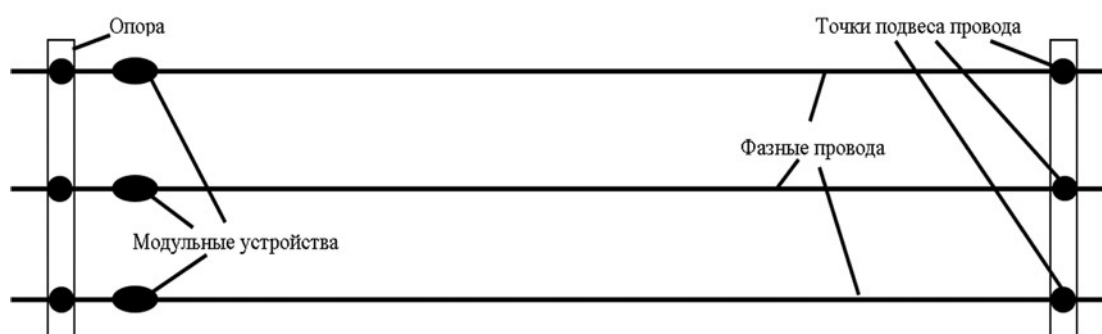


Рис. 2. Пролет ВЛ с модульными устройствами, установленными на каждом фазном проводе

Однако следует учитывать и перетяжку проводов между соседними пролетами. При высокочастотном зондировании осуществляется локация провода зондирующими импульсами и обеспечивается обнаружение сигналов, отраженных

от неоднородностей волнового сопротивления линии. Появление гололеда на проводах линии обнаруживается по уменьшению амплитуды и увеличению запаздывания импульса, отраженного от конца линии [6].

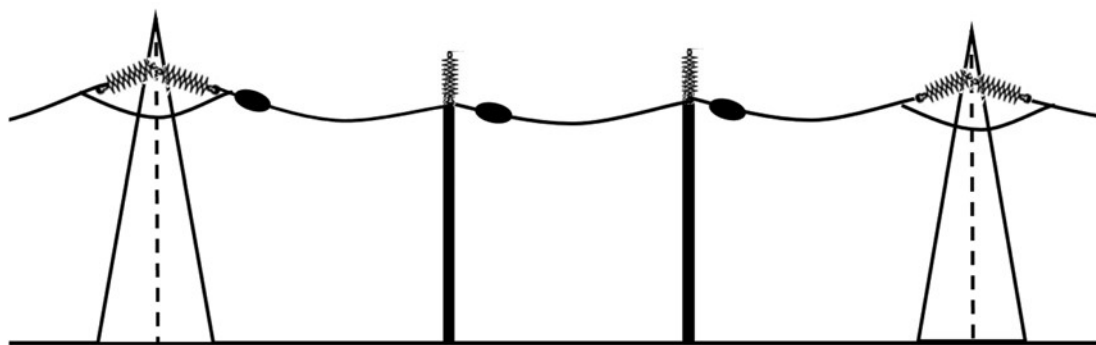


Рис. 3. Участок воздушной линии электропередачи между двумя соседними анкерными опорами, оснащенный модульными устройствами

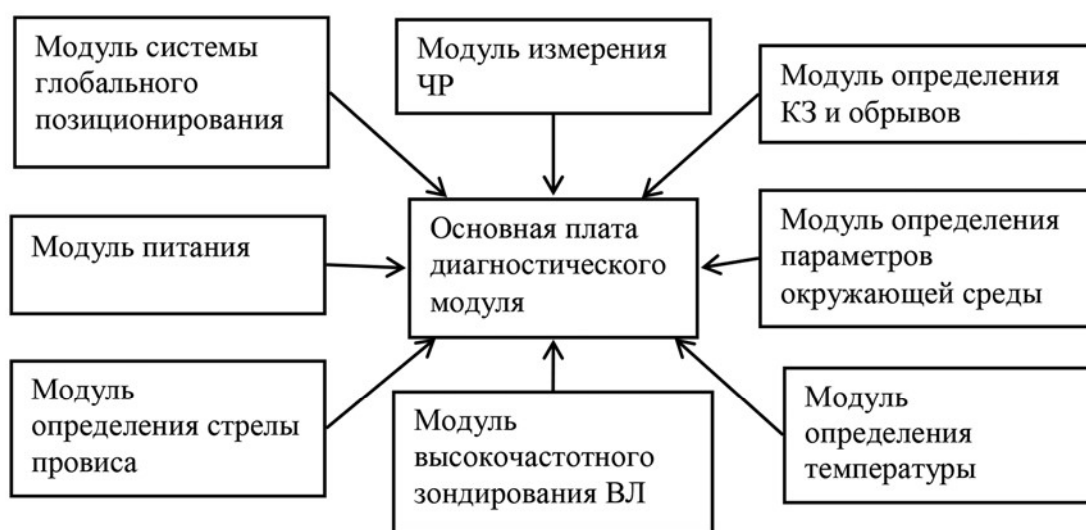


Рис. 4. Блок-схема модульного устройства

Контроль плавки гололеда проводится благодаря использованию модуля определения температуры провода. Это позволяет избегать перегрузок провода по току, приводящих к его повреждению.

Локализация места короткого замыкания, обрыва, удара молнии реализуется путем установки датчика тока и модуля системы глобального позиционирования. Роль модуля глобального позиционирования может заменить адрес устройства диагностики, местоположение которого заранее известно. Более точная локализация будет наблюдаться, если устройства будут установлены в начале и в конце воздушной линии.

Определение электрических нагрузок на проводе или контроля нагрузки транзитных ВЛ осуществляется установ-

кой модуля определения температуры провода. Это позволяет оптимизировать загрузку линии, учитывая текущие потери и термические воздействия на провод.

Определение механических нагрузок на проводе осуществляется благодаря модулю определения стрелы провиса. Это позволяет определять текущие испытываемые проводом механические воздействия, а также уровень износа (усталости) воздушной линии.

Определение условий возникновения гололедообразования достигается за счет установки модуля определения параметров окружающей среды. Данный модуль включает в себя датчик температуры провода, датчик температуры воздуха и датчик относительной влажности. Мо-

дуль позволяет выявить точку десублимации [6].

Беспроводная передача данных осуществляется при помощи модулей БСАП на основе собственного протокола «интеллектуальный провод», являющегося модификацией стандарта IEEE 802.15.4 [7, 8]. Он позволяет организовать не только недорогую, но и способную к самовосстановлению сеть (при выходе из строя одного из устройств передача данных будет осуществляться через соседнее устройство), что повышает надежность работы системы в целом.

Устанавливаемые на линии электропередачи устройства производят сбор, предварительную обработку и накопление данных об угле провиса, температуре окружающей среды, температуре провода, влажности окружающей среды и действующем значении силы тока.

Данные с датчиков собираются на «облачном» сервере, где обрабатываются согласно разработанной модели. Обработанные данные доступны для диспетчеризации и наблюдения посредством *web*-интерфейса и/или МЭК-61850.

Реализация проекта позволит создать систему мониторинга состояния ВЛ на основе сенсорных сетей, устанавливаемых непосредственно на линии. Состояние ВЛ можно будет отслеживать в режиме реального времени, своевременно оповещая об этом соответствующие службы. Система мониторинга позволит:

- оптимизировать пропускную способность (более эффективно управлять существующими ВЛ), что особенно актуально в условиях высокой плотности нагрузки в крупных городах Республики Татарстан;
- снизить потери и минимизировать внешние воздействия на линии электропередачи благодаря своевременному обнаружению дефектов на ВЛ и предотвращению либо скорейшему устранению аварийных ситуаций ввиду быстрой локализации места дефекта;
- информация с сенсорной сети, а также информация, обработанная

- математическими моделями, может быть использована системой противоаварийной и режимной автоматики, а также автоматизированными системами учета электроэнергии;
- сенсорная сеть может сама являться автоматизированной системой учета электроэнергии;
- осуществлять прогнозирование состояния и загрузки ВЛ [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация и построение на основе разрабатываемых модульных устройств интеллектуальной сети дает следующие преимущества:

- более высокая скорость передачи данных по сравнению со стандартными протоколами связи (*ZigBee*, *LoRa* и т. д.), т. к. создаваемая сенсорная сеть уже имеет фиксированную структуру, что позволяет значительно меньше загружать информационный канал за счет минимизации в посылке информации о топологии и конфигурации сети устройств (реальная скорость может достигать 250 кбит/с, а не 40 кбит/с, благодаря использованию современных модулей передачи данных, работающих по стандарту IEEE 802.15.4);
- возможность дальнейшего развития системы ввиду открытости кода для разработчиков.

Внедрение системы оперативного мониторинга технического состояния ВЛ на основе разрабатываемого модульного устройства мониторинга состояния ВЛ позволит в кратчайшие сроки и с минимальными затратами повысить информативность линий электропередачи и предотвратить значительное количество аварийных ситуаций. Это станет возможным благодаря базовому информационному модулю собственной разработки для организации канала связи, а также различным наборам диагностических модулей, позволяющих адаптировать функционал устройства под решение конкретных задач.

Исследование, разработка и внедрение элементов данной сети позволят снизить потери на ВЛ, повысить надежность работы электросетевого хозяйства и возможные объемы передачи мощности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Боков Г.** Техническое перевооружение российских электрических сетей. Сколько это может стоить? // Новости электротехники. – 2002. – № 2 (14). – С. 10–14.

2. **Savelyev O.G., Murataev I.A., Sadykov M.F., Misbakhov R.S.** Application of wireless data transfer facilities in overhead power lines diagnostics tasks // Journal of engineering and applied sciences. – 2016. – Vol. 11 (6). – P. 1151–1154.

3. **Ivanov D.A., Yaroslavsky D.A., Sadykov M.F., Goryachev M.P., Yambaeva T.G.** Investigations of topological features of construction an intelligent overhead power trans-

mission line based on wireless sensors // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2017. – Vol. 8 (12). – P. 903–908.

4. **Ляпунов Е.В., Жилкина Ю.В.** Исследовательский комитет В2 «Воздушные линии» // Энергетика за рубежом. Приложение к журналу «Энергетик». – 2022. – № 12. – С. 81–88.

5. **Yaroslavsky D.A., Ivanov D.A., Sadykov M.F., Goryachev M.P., Savelyev O.G., Misbakhov R.S.** Real-time operating systems for wireless modules // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11 (6). – P. 1168–1171.

6. **Панфилов Д., Соколов М.** Введение в беспроводную технологию ZigBee стандарта 802.15.4 // Электронные компоненты. – 2004. – № 12. – С. 73–79.

7. **Жилкина Ю.В.** Роль вертикально-интегрированных структур на отраслевых рынках // Вестник МЭИ. – 2021. – № 1. – С. 42–49.



На правах рекламы

подписные индексы



84816



П7222

УНИВЕРСАЛЬНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЦЕХОВ

elceh.panor.ru

Ежемесячное издание большого формата (205×285 мм), 80 страниц.

Производственно-технический журнал «Электроцех» посвящен практическим рекомендациям по организации безотказной работы электрооборудования, электрокоммутационных устройств, электрослаботочной аппаратуры и сетей. На страницах издания публикуется информация о новейшем отечественном и зарубежном электрооборудовании, опыте его эксплуатации и ремонта. Секретами и опытом делятся профессионалы-практики.

Основные тематические направления журнала «Электроцех»: безаварийная и экономичная работа электрооборудования; проверка и ремонт; оптимизация работы электроцехов; повышение квалификации персонала; нормирование, оплата и охрана труда электриков.

Издается при информационной поддержке Московского энергетического института и Российской инженерной Академии.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Оптимизация работы электроцехов
- Диагностика и испытания
- Энергосбережение
- Обмен опытом
- Автоматизация. Системы автоматики и телемеханики
- Эксплуатация и ремонт. Продление срока службы электрооборудования
- Мастер-класс
- Нормирование и оплата труда
- Охрана труда и ТБ
- Организация труда в электроцехах
- Повышение квалификации

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты podpiska@panor.ru или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).