



УДК 621.391.31

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ АСУТП ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

А.Н. Васев, Р. Ш. Мисбахов, А. И. Зиганшина, В. В. Федотов

Казанский государственный энергетический университет, г.Казань, Россия

digital-laboratory@mail.ru

Резюме: в статье рассматривается экономичный способ развертывания систем диагностического мониторинга высоковольтных электроустановок за счет совместного использования каналов связи пассивных волоконно-оптических систем сбора и передачи информации (ССПИ) АСУТП и систем передачи диагностической информации (СПДИ) устанавливаемых систем непрерывной технической диагностики. Использование существующих ССПИ и коммуникационного оборудования АСУТП для систем диагностического мониторинга повысит экономическую эффективность и расширит область применения систем непрерывной диагностики, в том числе в самых распространенных электрических сетях – городских и пригородных сетях, а также в сетях электроснабжения промышленных предприятий среднего напряжения.

Ключевые слова: непрерывная техническая диагностика, система сбора и передачи информации, система передачи диагностической информации, пассивная оптическая сеть, xPON, GPON, волоконно-оптические каналы связи, АСУТП, волоконные брэгговские решетки.

DOI: 10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-16-26.

Для цитирования: Васев А.Н., Мисбахов Р.Ш., Зиганшина А.И., Федотов В.В. Комбинированные системы сбора и передачи технологической и диагностической информации АСУТП электроустановок // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 11-12. С. 16-26. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-16-26.

COMBINE COMMUNICATIONS OPTICAL NETWORK OF SCADA OF ELECTRIC POWER STATION AND SUBSTATION

A.N. Vasev, R.Sh. Misbakhov, A.I. Ziganshina, V.V. Fedotov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

digital-laboratory@mail.ru

Abstract: the article discusses an economical way to deploy diagnostic monitoring systems for high-voltage electrical units through a combination of passive fiber-optic systems for collecting and transmitting technological information of SCADA with diagnostic information transmission systems of systems for continuous technical diagnostics in them. The usage of existing communication network of SCADA will increase economy and expand the scope of continuous

diagnostic systems.

Keywords: *on-line technical diagnostics, SCADA, transmission of diagnostic information, passive optical network (xPON), GPON, optical data links, digital substation.*

For citation: *A.N. Vasev, R.Sh. Misbakhov, A.I. Ziganshina, V.V. Fedotov. Combine communications optical network of scada of electric power station and substation. Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS 2018. vol. 20. № 11-12. pp. 16-26. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-16-26.*

Введение

Энергетика – важнейшая отрасль экономики. Развитие энергетики, состояние её основных производственных фондов существенно влияют на качество жизни и деятельность общества, на конкурентоспособность и рост промышленности, а также на безопасность государства. В 2016 г. выработка электроэнергии электростанциями России, включая производство электроэнергии на электростанциях промышленных предприятий, составила 1071,8 млрд. кВт·ч (по ЕЭС России – 1048,5 млрд кВт·ч). В результате Россия сегодня занимает четвертое место в мире по объему выработки электроэнергии [1].

Анализ текущего состояния объектов электросетевого комплекса страны показывает, что на 2016 г. состояние ЕНЭС характеризуется следующим объемом оборудования со сверхнормативным сроком службы: 59% для ПС (более 25 лет) и 49% для ЛЭП – 18%.

Состояние воздушных линий Единой национальной электрической сети на 01.01.2015 г. характеризовалось следующим соотношением (по протяженности):

- «рабочее» состояние – 42%;
- «ухудшенное» состояние – 56%;
- «предаварийное» состояние – 2%.

Общая доля технологических нарушений в электросетевом комплексе по причинам, связанным со старением (износом) оборудования, по итогам 2015 года составила 24%.

Для продления сроков службы дорогостоящего высоковольтного электрооборудования и повышения надежности сети в целом необходимо внедрять системы и устройства технической диагностики и непрерывного мониторинга состояния оборудования [2]. Техническая диагностика в режиме реального времени позволяет оперативно обнаружить повреждения и дефекты рабочих частей электрооборудования на начальных этапах развития и предотвращать возникновение аварийных ситуаций. Однако внедрение систем непрерывной технической диагностики и мониторинга сегодня является дорогостоящим мероприятием, особенно для самых распространенных в городских, пригородных и промышленных электрических сетях электроустановок (ЭУ) среднего напряжения (СН). Также актуальной задачей, в связи со сложностью и дороговизной мероприятий по соблюдению требований электромагнитной совместимости в ЭУ при применении «медных» каналов связи в системах сбора и передачи информации (ССПИ) в автоматизированных системах управления технологическим процессом в электроэнергетике, а также снижением стоимости волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), является переход в ССПИ к использованию оптических каналов связи. При этом, в связи со значительной стоимостью активного оптического оборудования, монтажных и пуско-наладочных работ при его установке, применение ВОЛС ограничено ЭУ высоких классов напряжения. Альтернативой традиционным способам развертывания оптических сетей со множеством оптических коммутаторов в ССПИ являются находящиеся широкое применение в телекоммуникационной сфере технологии и оборудование пассивных оптических сетей (ПОС). Основным преимуществом технологий ПОС является древовидная

топология с одним ведущим оптическим коммутатором (*OLT*) и множеством экономичных оптических разветвителей (сплиттеров) в узлах сети, позволяющая снизить число и длину ВОЛС, соединяющие контроллеры присоединений АСУТП со встроенным терминальным модулем ПОС (*SFP ONT*) без установки промежуточных оптических коммутаторов, что, в свою очередь, позволяет снизить капитальные и операционные затраты в 2–3 раза по сравнению с традиционными решениями.

Надежность и качество электроснабжения потребителей

Уровень надежности электрических систем зависит от частоты и длительности перерывов электроснабжения, которые зависят от технического состояния электрооборудования на электрических станциях и подстанциях [3]. Уровень надежности можно повысить, в первую очередь, уменьшением частоты перерывов электроснабжения и отключений.

Одним из самых действенных путей уменьшения частоты отключений и надежного функционирования электросетевого комплекса является внедрение и широкое применение устройств, систем и мероприятий по технической диагностике. Техническая диагностика позволяет оперативно и своевременно обнаружить повреждения и дефекты, в том числе без отключения электроустановки, а также устранить их с целью предотвращения аварийных и ненормальных ситуаций [4]. Такие системы позволят своевременно и с большей вероятностью, чем традиционные виды диагностики (плановые мероприятия по ремонту) обнаружить повреждения, предотвратят аварийные ситуации, оперативно реагировать на изменение технического состояния эксплуатируемого оборудования, исключить «человеческий фактор» [5].

Согласно «Положению ОАО «Россети» о технической политике в электросетевом комплексе» [5] одним из факторов формирования интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью (Концепция ИЭС ААС) является оснащение подстанций различными системами и подсистемами автоматизированного контроля процессов, происходящих в электроустановках. Одним из приоритетов данной программы является переход на *непрерывную диагностику динамических свойств электрооборудования в режиме реального времени* с использованием современных технических средств обработки и передачи информации. Интеграция с интеллектуальными сетями возможна при совмещении систем непрерывной диагностики с системами сбора и передачи информации в сетях «*Smart Grid*» [7].

Применение систем технической диагностики, прежде всего электросетевыми компаниями, позволяет обеспечить:

- снижение или исключение экономических потерь (минимизация упущенных выгод)
- увеличение времени полезного использования и объема полезного отпуска электроэнергии потребителям;
- снижение длительности отключений потребителей и частоты таких отключений;
- предотвращение аварийных ситуаций (исключение и снижение частоты аварий, связанных с утратой основного оборудования подстанций);
- уменьшение показателей *SAIDI* и *SAIFI* [6].

Традиционно система непрерывного диагностического мониторинга состоит из трех уровней: первичные и измерительные датчики, блок мониторинга и обработки сигналов, средства отображения состояния контролируемых параметров. Связь между уровнями выполняется посредством цифровых каналов с использованием медных, волоконно-оптических или беспроводных каналов связи. Но высокая стоимость каналов связи может оказаться существенным препятствием для развертывания полноценной системы непрерывной диагностики. Поэтому использование уже имеющихся на энергообъекте каналов связи и коммуникационного оборудования АСУТП для развертывания систем

непрерывной технической диагностики оборудования позволит снизить стоимость и расширить сферу применения систем диагностики в режиме реального времени.

Экономическая эффективность при комбинированной работе систем передачи диагностической информации (СПДИ) и ССПИ АСУТП станций и подстанций достигается за счет:

- экономии капитальных затрат на оборудование и СМР и ПНР при развертывании систем передачи диагностической информации;
- экономии операционных затрат на обслуживание и обучение персонала;
- экономии времени развертывания СПДИ и ССПИ.

Применение оптических каналов связи в ССПИ АСУТП

Характерной особенностью существующих информационно-телекоммуникационных систем информационного обмена в электроэнергетике является их разделение на подсистемы связи различного назначения (технологической телефонной связи, оперативно-диспетчерской связи, передачи технологической информации, телемеханики и АИИСКУЭ). С развитием новых технологий и их удешевления все большее распространение в электроэнергетике получили цифровые оптические коммутаторы, которые в качестве среды передачи используют волоконно-оптический кабель (ВОК).

При этом, в настоящее время активно развиваются и получают распространение технологии пассивных оптических сетей, использующие в качестве среды передачи информации оптические каналы связи, с пассивными оптическими разветвителями (сплиттерами) в узлах сети, которые позволяют организовывать экономически выгодную сеть с топологией типа «древовидная звезда» посредством ВОЛС (технология *PON (passive optical network)*). При этом технология *PON* обладает необходимой эффективностью наращивания узлов сети и пропускной способностью, что является важным в технологических сетях (АСУТП) на объектах электроэнергетики.

Технологии пассивных оптических сетей позволяют обеспечить снижение капитальных вложений и издержек при проектировании, построении и обслуживании систем сбора и передачи информации (ССПИ) для современных систем автоматизации объектов энергокомпании (АСКУЭ, АСУТП, мониторинг РЗА и ПА, системы ТМ) [8].

Главными преимуществами при развертывании *PON* являются:

- пассивные узлы в сети, вместо активных;
- существенное сокращение ВОЛС и занимаемого пространства при прокладке в ЭУ;
- снижение затрат на эксплуатацию сети, в частности, снижение расходов на электропитание в силу отсутствия активного оборудования в телекоммуникационной сети, а также расходов на техническое обслуживание и ремонт благодаря значительному уменьшению количества коммутационного оборудования и кабелей в сети, а также встроенными средствами самодиагностики, администрирования и обслуживания.

При развертывании подстанционной сети на базе технологии *GPON*, *OLT* размещается в шкафах связи в распределительных устройствах среднего напряжения или в стойке телемеханики зала телемеханики, релейной защиты и автоматизации общеподстанционного пункта управления подстанцией высокого напряжения, и соединяется посредством оптического одномодового волокна с *ONT*, например, в ячейках КРУ, присоединенных к информационным интерфейсам УСО, РЗА, счетчиков электроэнергии и т.п.

Разделение нисходящего и восходящего потока трафика при использовании одного оптоволокна осуществляется путем выделения одной длины волны для передачи восходящего потока и одной длины волны для передачи нисходящего потока трафика (технология *WDM (Wavelength Division Multiple Access)* с разделением каналов по длине волны): *ONT* передает на длине волны 1310 нм, *OLT* – 1490 нм [9].

В качестве комбинированной системы на подстанции среднего напряжения в данной статье рассматривается совмещение ССПИ с системой СПДИ для передачи информации о температуре токоведущих элементов, всплеск света при частичных и коронных разрядах на высоковольтном электрооборудовании, уровня влажности и т.д.

Волоконно-оптические многосенсорные системы

На сегодняшний день одним из применений волоконно-оптических технологий для измерительных целей в промышленности являются волоконно-оптические многосенсорные системы (ВОМСС) [10]. К ВОМСС относят квази-распределенные сенсорные сети, построенные на базе волоконно-оптических датчиков (ВОД) на основе волоконных брэгговских решёток (ВБР). Одним из главных преимуществ ВБР является уникальный способ преобразования измеряемой величины в изменение длины волны излучения, проходящего через решётку и/или отражаемого от неё, а также простота изготовления [11]. ВБР зарекомендовали себя и получили распространение в строительстве, нефтедобыче, энергетике, аэрокосмической технике и др. Широкому применению в различных областях способствует множество факторов: миниатюрность – отдельные разработки имеют внешний диаметр рабочей части менее 100 мкм, что позволяет использовать их в труднодоступных местах без существенных конструктивных доработок устройств, в составе которых они работают; мультипликативность отклика на параметры внешней среды – температуру, влажность, механические воздействия и др.; отсутствие влияния электромагнитных помех, сохранение работоспособности, при наличии различных покрытий при температурах от 100 до 300° и пр.

Одним из актуальных направлений применения ВБР является электроэнергетика, в частности, в составе систем диагностического мониторинга ЭО в ЭУ различных классов напряжения: контактов, токоведущих элементов, болтовых соединений в трансформаторных подстанциях и распределительных пунктах СН (ТП и РП), в комплектных распределительных устройствах СН (КРУ), обмоток и масла силовых трансформаторов, аккумуляторных источников питания и др.

Несмотря на множество преимуществ, получаемых при использовании ВОМСС на базе ВБР в системах диагностического мониторинга ЭУ, следует отметить проблемы, связанные с дороговизной, высокой сложностью и временем прокладки отдельной сети волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) для ВОД, как на уже существующих, так и на строящихся энергообъектах, а также на обслуживании ВОМСС на базе ВБР. Одним из путей решения проблем высоких затрат является реализация подсистемы ВОМСС в составе ССПИ на базе ПОС, разворачиваемой для нужд АСУТП в ЭУ.

Согласно результатам проведенных исследований, в рамках диссертаций [10, 11], были сделаны выводы об успешности применения ВБР для измерения температуры токоведущих элементов. По результатам измерений смещения спектра проходящего через сенсоры оптического сигнала на длине волны 1550 нм, с высокой точностью определяется температура (в соответствии с заранее измеренной зависимостью смещения от температуры). РП 6–35 кВ являются важным элементом систем электроснабжения промышленных предприятий и распределительных электрических сетей среднего напряжения, обеспечивающим непосредственное электропитание высоковольтных потребителей электроэнергии. Это делает перспективным и обеспечивает массовость внедрения в их структуру ВОМСС многоточечного (контроль болтовых соединений, узлов коммутационного аппарата и т.д.) и квази-распределенного типа (контроль токоведущих линий, шин и т.д.).

Архитектура ВОМСС в составе ССПИ на базе технологии GPON

Для реализации ВОМСС в составе ССПИ на базе технологии GPON может быть использовано несколько вариантов структуры системы [12], конфигурация которой зависит

от конструкции волоконно-оптического датчика (ВОД). Конструкция ВОД имеет две разновидности: в виде щупа (рис. 1, а) и в виде кольцевого наконечника (рис. 1, б).

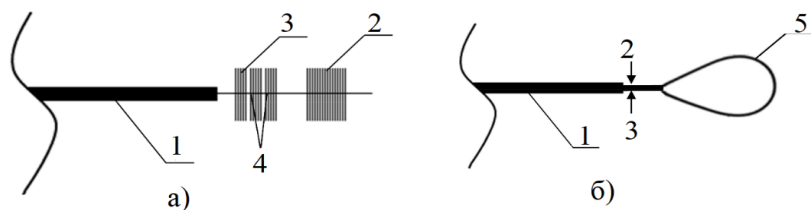


Рис. 1. Конструкция ВОД

1 – световод; 2 – первая ВБР с торца световода; 3 – волоконная решетка Брэгга с двумя фазовыми сдвигами; 4, 5 – петля [12]

На рис. 2 показан вариант реализации совместной работы ВОМСС с датчиками в виде концевых щупов в составе ССПИ на базе технологии GPON.

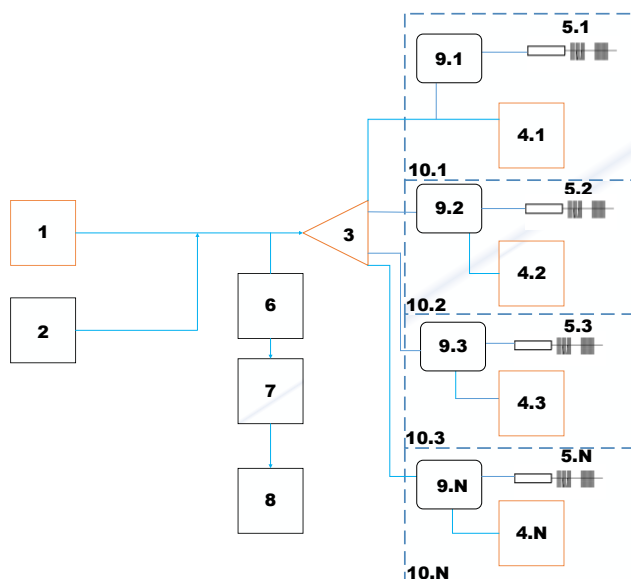


Рис. 2. Структурная схема ВОМСС с датчиками в виде концевых щупов в составе ССПИ на базе технологии GPON: 1 – GPON OLT LTP-4X; 2 – интеррогатор; 3 – оптический сплиттер; 4.1...4.N – контроллер присоединения ЭНИП-2 с поддержкой GPON; 5.1...5.N – ВОД в виде концевых щупов; 6 – оптический фильтр; 7 – фотоприемник; 8 – контроллер; 9.1...9.N – оптические разветвители; 10.1...10.N – ячейки КРУ 6–35 кВ

Предлагаемая архитектура имеет древовидную топологию, элементы 1, 2, 3, 6, 7, 8 которой располагаются в шкафу АСУ, элементы 4.1...4.N, 5.1...5.N располагаются в шкафах КРУ, в отсеке РЗА и на контактных соединениях соответственно.

Преимущества данной архитектуры заключаются в следующем:

- существенная экономия оптического волокна и оптических сплиттеров (по одному на каждое ответвление);
- сокращение сроков при прокладывании оптических кабелей.

Недостатки:

- вероятность влияния отраженного сигнала интеррогатора на каналы передачи данных в восходящем направлении.

На рис. 3 показан вариант реализации совместной работы ВОМСС с датчиками в виде кольцевого наконечника в составе ССПИ на базе технологии GPON.

Предлагаемая архитектура имеет древовидную топологию, элементы 1, 2, 3, 8, 9, 10 которой располагаются в шкафу АСУ, элементы 4.1...4.N, 5.1...5.N, 6.1...6.N, 7.1...7.N располагаются в шкафах КРУ, в отсеке РЗА и на токоведущих частях оборудования соответственно.

Преимущества данной архитектуры заключаются в следующем:

- упрощение работ при организации распределенного мониторинга токоведущих частей оборудования;
- снижение влияния ВОМСС на ССПИ на каналы передачи данных в восходящем направлении;
- возможность создания измерительных каскадов на участках 6.1...6.N.

Недостатки:

- увеличенный расход оптического кабеля;
- усложнение монтажа в силу наличия большого количества ветвлений оптического кабеля.

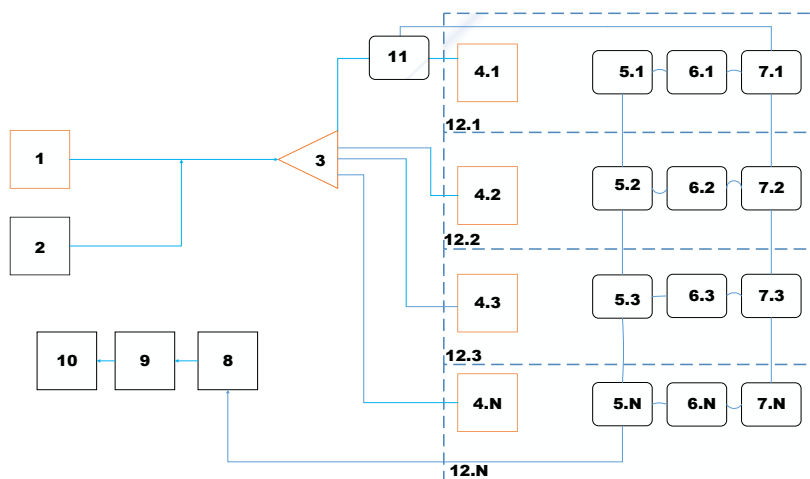


Рис. 3. Структурная схема ВОМСС с датчиками в виде концевой щупа в составе ССПИ на базе технологии GPON: 1 – GPON OLT LTP-4X; 2 – интеррогатор; 3 – оптический сплиттер; 4.1...4.N – контроллер присоединения ЭНИП-2 с поддержкой GPON; 5.1...5.N – оптический объединитель; 6.1...6.N – ВОД в виде кольцевого наконечника; 7.1...7.N – оптический разветвитель; 8 – оптический фильтр; 9 – фотоприемник; 10 – контроллер; 11 – главный оптический разветвитель; 12.1...12.N – ячейки КРУ 6-35 кВ

На рис. 4 показана амплитудно-частотная характеристика совместной работы ВОМСС на базе ВБР с одним сенсором и ССПИ на базе технологии GPON.

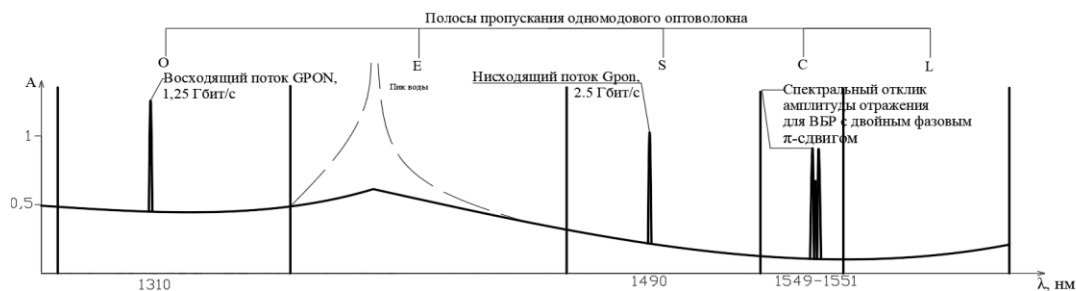


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика совместной работы ВОМСС на базе ВБР с одним сенсором и ССПИ на базе технологии GPON

Внедрение ССПИ на базе технологии GPON на объектах электроэнергетики

В качестве первого этапа внедрения комбинированных систем в электроустановках электросетевой компании была развернута опытная пассивная внутриобъектовая система связи на базе технологии GPON на подстанции «Центр» Набережночелнинских электрических сетей – филиал ОАО «Сетевая компания». Для этого, совместно со специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис» (г. Архангельск), был разработан контроллер присоединения ССПИ с интегрированным модулем SFP ONU GPON – так называемый преобразователь измерительный многофункциональный ЭНИП-2 с поддержкой технологии GPON.

На сегодняшний день ССПИ на базе технологии GPON успешно функционирует на указанном объекте более года. Все заложенные на этапе проектирования характеристики по надежности, электромагнитной совместимости и производительности системы подтвердились. Смонтированный в релейном отсеке ячейки КРУ ЭНИП-2 с поддержкой технологии GPON показан на рис. 5.



Рис. 5. Многофункциональный измерительный преобразователь ЭНИП-2 с поддержкой технологии GPON

Выводы

В данной статье предложена и рассмотрена возможность построения комбинированной системы ССПИ и СПДИ, позволяющая снизить капитальные и операционные затраты на развертывание АСУТП и системы диагностического мониторинга высоковольтного электрооборудования в электроустановках различных классов напряжения.

Экономическая эффективность при комбинированной работе систем передачи диагностической информации (СПДИ) и ССПИ АСУТП станций и подстанций достигается за счет:

- экономии капитальных затрат на оборудование и СМР и ПНР при развертывании систем передачи диагностической информации;
- экономии операционных затрат на обслуживание и обучение персонала;
- экономии времени развертывания СПДИ и ССПИ.

При реализации предлагаемого решения задачи систему непрерывной диагностики оборудования можно интегрировать с интеллектуальными сетями *Smart Grid*, что уменьшит срок окупаемости системы.

На первом этапе реализации комбинированных систем в электроустановках электросетевой компании была создана опытная пассивная внутриобъектовая система связи на технологии *GPON* на подстанции «Центр» Набережночелнинских электрических сетей – филиал ОАО «Сетевая компания». Контроллер присоединения ССПИ с интегрированным *SFP-ONU-GPON* модулем был разработан совместно со специалистами ООО «Инженерный центр» «Энергосервис». В дальнейшем планируется разработка и запуск пилотного проекта реализации полноценной комбинированной ВОМСС в составе ССПИ на базе технологии *GPON*.

Заключение

Одним из основных способов увеличения показателей надежности систем электроснабжения является применение систем непрерывной технической диагностики высоковольтного электрооборудования. Но высокая их стоимость является препятствием для реализации полноценной системы непрерывной диагностики в электроустановках, особенно в электроустановках среднего класса напряжения. Для решения данной проблемы предлагается использовать ВОМСС в составе ССПИ на базе пассивных оптических сетей. На основании предварительного анализа можно сделать вывод о возможности взаимной интеграции ССПИ первого уровня и ВОМСС на базе квази-распределенных датчиков ВБР различного назначения (измерение температуры, влажности, механических напряжений). Одним из ключевых аспектов внедрения подобной системы является её экономическая эффективность.

Данное решение позволит значительно расширить сферу применения систем непрерывной технической диагностики, кроме этого, пассивные оптические сети с оптическими разветвителями (сплиттерами) позволят организовать экономичные и скоростные внутриподстанционные пассивные оптические каналы связи для передачи и обмена информацией, в том числе с терминалов РЗА, АСУТП и АСКУЭ.

Литература

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (протокол от 22.02.2017 № 252).
2. Дарьян Л., Образцов Р., Ильина Е Сипачев К. Автоматизированная система мониторинга диагностики оборудования подстанции // Электроэнергия: передача и распределение. №1. 2015.
3. Куско А., Томпсон М. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии / пер. с англ. Рабодзея А.Н. М.: Додека-XXI, 2010. 336 с.: ил.
4. Непомнящий В.А. Оптимизация распределения надежности по иерархическим уровням системы электроснабжения. // Надежность и безопасность энергетики. 2011. № 1, 2.
5. Джакупова К.А. Диагностика и мониторинг электрооборудования подстанции // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: Материалы IV российской молодежной научной школы-конференции, 1–3 ноября 2016 г., Томск. в 2 т. Т. 2 /

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). Томск: ЦРУ, 2016. С. 273–274.

6. Мониторинг показателей надежности распределительных сетей ОАО «Сетевая компания» [Электронный ресурс]. URL: <http://cet.tatarstan.ru>. (Дата обращения: 15.03.2017).

7. Лифшиц А.М. «Переход к Smart Grid и цифровым подстанциям. Гибридный вариант построения сети связи и передачи данных» // Технические и программные средства систем автоматизации. №4. 2013.

8. Лизунов И.Н., Васев А.Н., Мисбахов Р.Ш., Федотов В.В., Хузиахметова Э.А. Технологии передачи данных в современных системах релейной защиты и автоматики и их показатели качества // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т.19, №1-2. С.52–63. DOI:10.30724/1998-9903-2017-19-1-2-52-63.

9. Иванов В.И. Применение технологии WDM в современных сетях передачи информации. Казань, 2010. 148с.

10. Мисбахов Р.Ш. Волоконно-оптическая многосенсорная система для контроля температуры коммутационных и токоведущих элементов энергетических объектов на основе брэгговских решеток с двумя симметричными фазовыми сдвигами: дис... канд. техн. наук: Казань, 2017. 174с.

11. Денисенко П.Е. Волоконно-оптические брэгговские датчики со специальной формой спектра для систем климатических испытаний: дис... канд. техн. наук. 177с.

12. Мисбахов Р.Ш. Волоконно-оптическая многосенсорная система для контроля температуры коммутационных и токоведущих элементов энергетических объектов на основе брэгговских решеток с двумя симметричными фазовыми сдвигами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.07 / Мисбахов Рустем Шаукатович. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ–КАИ). Казань, 2017. 30с.

Авторы публикации

Васев Алексей Николаевич – начальник ССДТУ филиала ОАО «Сетевая Компания» Набережночелнинские электрические сети. Email: argentums@mail.ru.

Мисбахов Ринат Шаукатович – канд. техн. наук, директор ИЦ "Компьютерное моделирование и инжиниринг в области энергетики и энергетического машиностроения" Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Email: zerdex@bk.ru.

Зиганишина Айсылу Ильясовна – инженер НИЛ «ЦСИСЭ» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Email: ais-94@mail.ru.

Федотов Владислав Валентинович – инженер НИЛ «ЦСИСЭ» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Email: vladislavfedotov1408@gmail.com.

References

1. Polozhenie PAO «Rosseti» «O edinoj tekhnicheskoy politike v ehlektrosetevom komplekse» (protokol ot 22.02.2017 № 252).

2. Dar'yan L., Obrazcov R., Il'ina E., Sipachev K. Avtomatizirovannaya sistema monitoringa diagnostiki oborudovaniya podstancii // EHlektroenergiya: peredacha i raspredelenie. №1. 2015.

3. Kusko A., Tompson M. Seti ehlektrosnabzheniya. Metody i sredstva obespecheniya kachestva ehnergii / per. s angl. Rabodzeya A.N. M.: Dodeka-HKH1. 2010. 336 s.: il.

4. Nepomnyashchij V.A. Optimizaciya raspredeleniya nadezhnosti po ierarhicheskim urovnjam sistemy ehlektrosnabzheniya. // Nadezhnost' i bezopasnost' ehnergetiki. 2011. № 1, 2.

5. Dzhakupova K.A. Diagnostika i monitoring ehlektrooborudovaniya podstancii // EHnergetika,

ehlektromekhanika i ehnergoehffektivnyye tekhnologii glazami molodezhi: Materialy IV rossijskoj molodezhnoj nauchnoj shkoly-konferencii. 1–3 noyabrya 2016 g., Tomsk: v 2 t. T. 2 / Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet (TPU). Tomsk: CRU, 2016. S. 273–274.

6. Monitoring pokazatelej nadezhnosti raspreditel'nyh setej OAO «Setevaya kompaniya».[EHlektronnyj resurs]. URL: <http://cet.tatarstan.ru>. (Data obrashcheniya: 15.03.2017).

7. Lifshic A.M. Perekhod k Smart Grid i cifrovym podstanciyam. Gibridnyj variant postroeniya seti svyazi i peredachi dannyh // Tekhnicheskie i programmnye sredstva sistem avtomatizacii. 2013. №4.

8. Lizunov I.N., Vasev A.N., Misbahov R.Sh., Fedotov V.V., Huziahmetova Eh.A. Tekhnologii peredachi dannyh v sovremennyh sistemah relejnoj zashchity i avtomatiki i ih pokazateli kachestva // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy ehnergetiki. 2017. V.19, №1–2. P.52–63. DOI:10.30724/1998-9903-2017-19-1-2-52-63.

9. Ivanov V.I. Primenenie tekhnologii WDM v sovremennyh setyah peredachi informacii . Kazan', 2010. 148s.

10. Misbahov R. SH. Volokonno-opticheskaya mnogosensornaya sistema dlya kontrolya temperatury kommutacionnyh i tokovedushchih ehlementov ehnergeticheskikh ob"ektov na osnove brehggovskih reshetok s dvumya simmetrichnymi fazovymi sdvigami.: Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni k.t.n. 174s.

11. Denisenko P.E. Volokonno-opticheskie brehggovskie datchiki so special'noj formoj spektra dlya sistem klimaticheskikh ispytaniy: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni k.t.g. 177s.

12. Misbahov R.SH. Volokonno-opticheskaya mnogosensornaya sistema dlya kontrolya temperatury kommutacionnyh i tokovedushchih ehlementov ehnergeticheskikh ob"ektov na osnove brehggovskih reshetok s dvumya simmetrichnymi fazovymi sdvigami: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk : 05.11.07 / Rustem SHaukatovich Misbahov. «Kazanskij nacional'nyj issledovatel'skij tekhnicheskij universitet im. A.N. Tupoleva – KAI» (KNITU–KAI). Kazan', 2017. 30 s.

Authors of the publication

Alexey N. Vasev – JSC "Network Company" Naberezhnochelninsky electric networks, Naberezhnye Chelny, Russia. Email: argentums@mail.ru.

Rinat Sh. Misbahov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Email: zerdex@bk.ru.

Aysylu I. Ziganshina – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Email: ais-94@mail.ru.

Vladislav V. Fedotov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Email: vladislavfedotov1408@gmail.com.

Поступила в редакцию

07 августа 2018 г.