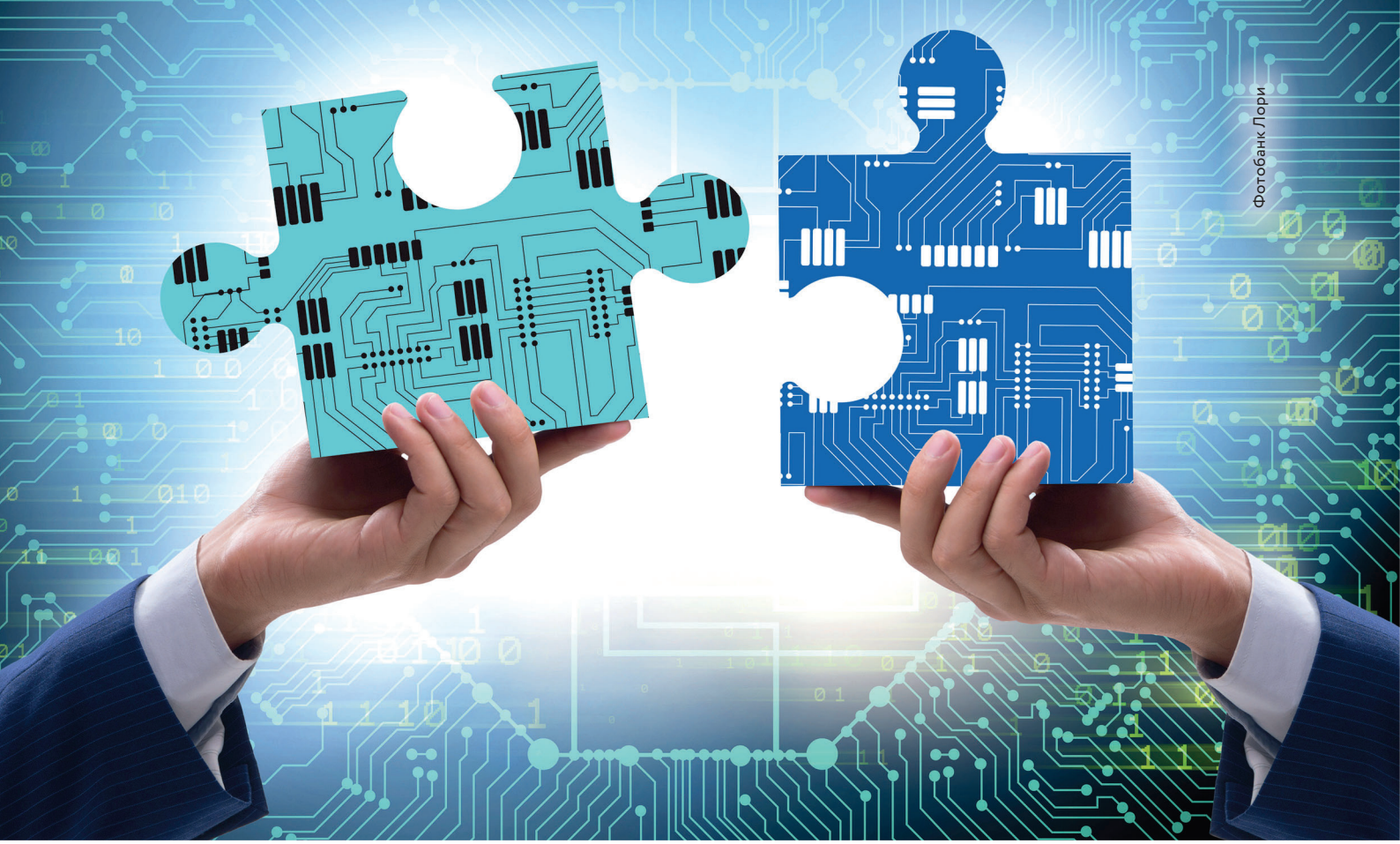

Фотобанк Лори

Применение беспроводных датчиков на цифровой подстанции

В качестве одного из главных преимуществ цифровой подстанции нередко указывается возможность почти полной замены медных кабелей для передачи сигналов управления на оптоволоконные. Да, по оптоволокну можно передавать только цифровые сигналы, а частичный отказ от меди — важный экономический фактор при высоких ценах на нее. Но нужно уже думать и о следующих шагах. Возможно ли в цифровой подстанции вообще отказаться от проводных систем передачи данных?

Появление единого стандарта IEC 61850 (в России адаптирован как ГОСТ Р МЭК 61850) для обмена данными внутри цифровой подстанции имело своей целью упростить построение и обслуживание объектов цифровой энергетики.

Переход на беспроводные технологии мог бы позволить продвинуться дальше в этом направлении. При замене или обслуживании аппаратуры больше не придется отключать и потом снова подключать сигнальные кабели. Также кабели не будут мешать доступу к оборудованию.

Но у беспроводной передачи информации есть и недостатки, критичные с точки зрения построения цифровой подстанции:

- прерывание связи в условиях действия сильных помех (которые теоретически могут быть вызваны в том числе и преднамеренными действиями по нарушению работы объекта энергетики);
- прерывание связи в условиях изменения прохождения радиоволн (например, приехала ремонтная бригада и поставила в зале подъемную вышку);
- при равной дальности связи время задержки сигнала в беспроводной сети, как правило, больше, чем в проводной, и его сложнее нормировать.

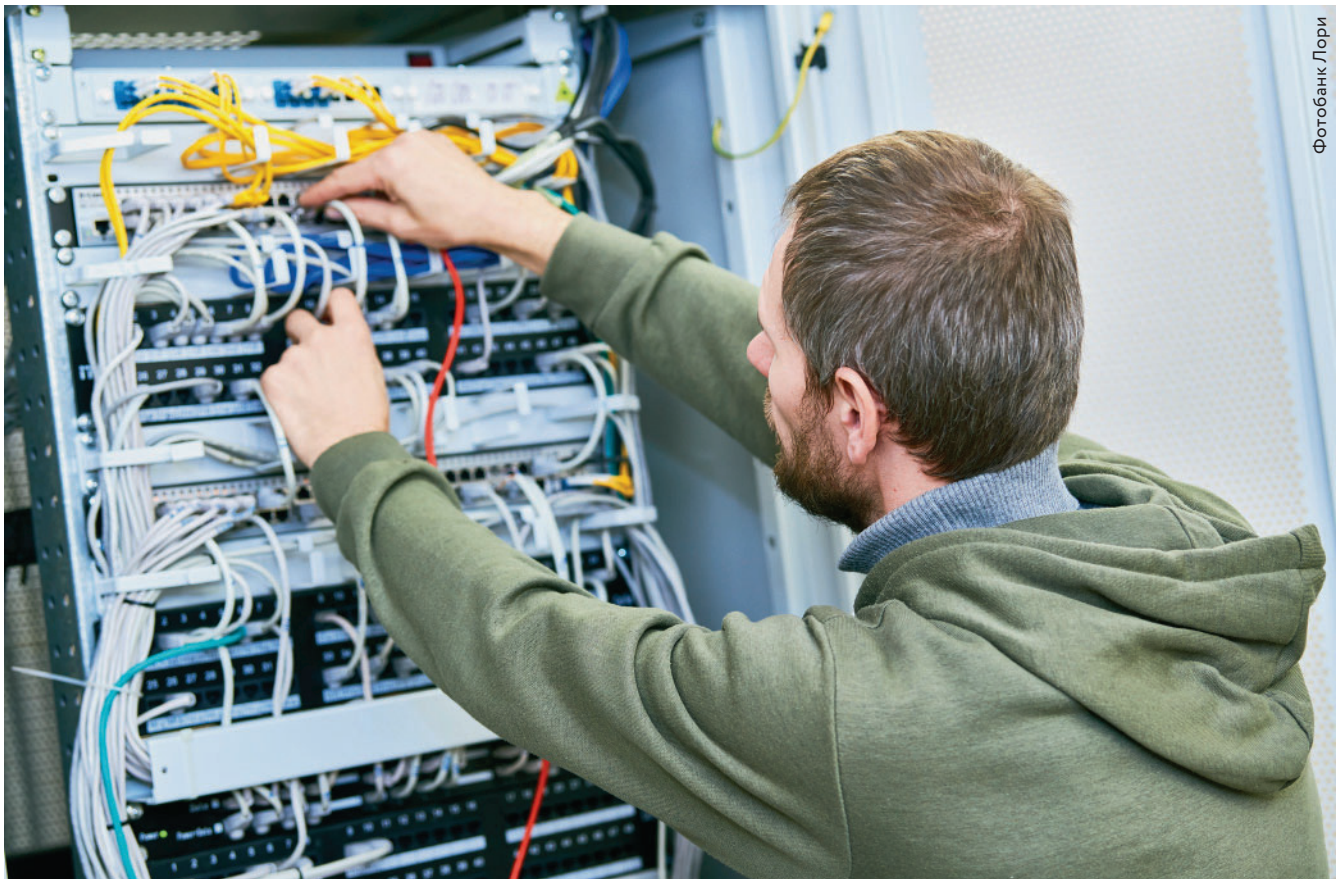
Из этого можно сделать вывод, что беспроводные технологии на цифровой подстанции пока нельзя использовать для передачи команд исполнительным устройствам (например, выключателям), а также для передачи информации от датчиков, по которой требуется немедленное реагирование при возникновении аварийной ситуации. Здесь по-прежнему следует использовать медь или оптоволокно. Для таких сообщений требуется задержка сигнала не более 3 мс, тогда как распространенные сейчас протоколы беспроводной связи дают задержку порядка десятков мс. По мнению автора, при дальнейшем развитии беспроводных технологий им можно будет когда-нибудь доверить и столь ответственные участки работы. Но пока ситуация такова, что их применение на цифровых подстанциях ограничено.

Для каких датчиков возможна беспроводная передача данных? Во-первых, она однозначно допустима для датчиков, собирающих информацию, на основе которой делаются предсказания о сроках проведения обслуживания оборудования. Например, на протяжении нескольких лет собираются данные об изменении состояния трансформатора. Задержка таких данных или кратковременный перерыв в их поступлении на контроллер практически не влияют на работоспособность подстанции или правильность принятия решений об обслуживании. Во-вторых, датчики, отслеживающие медленно меняющиеся параметры, например, температуру в зале (но не момент возгорания!) или объем потребляемой за час электроэнергии. Если датчик не отвечает на запрос, то есть время для выезда на место сотрудников для того, чтобы выяснить, в чем дело.

В общем, беспроводная передача пока может использоваться главным образом для информации, которая в обычных подстанциях собирается обслуживающим персоналом. И, на самом деле, количественно таких датчиков на цифровой подстанции намного больше, чем тех, для которых допустима передача информации только по проводным линиям. Поэтому уже сейчас применение беспроводных датчиков позволяет упростить обслуживание подстанции.

Узкополосные системы передачи

Полноценное преимущество беспроводные датчики имеют тогда, когда к ним не подводятся кабели электропитания. При соблюдении определенных условий возможно питание беспроводного датчика от одноразового литиевого элемента в течение промежутка времени до 10 лет. Для этого, во-первых, передатчик должен быть узкополосным, т. е. скорость передачи данных, как правило, не превышает 250 кбит/с. Благодаря этому тратится меньше энергии при передаче.


Фотобанк Лори

Переход на беспроводные технологии — следующий шаг в деле упрощения обслуживания оборудования

Управление исполнительными устройствами, например, выключателями, на подстанции может осуществляться только проводным способом

А, во-вторых, передача информации с датчика должна осуществляться по запросу, т. е. при поступлении команды на передачу в сочетании с идентификационным номером датчика. В остальное время датчик находится в «спящем» режиме, характеризующемся очень низким энергопотреблением. Поскольку 10 лет — это период времени, сопоставимый с заявленным сроком службы измерительной техники, появляется возможность делать конструкцию датчика неразъемной (что повышает его надежность) и заменять датчик целиком при разряде элемента питания.

К узкополосным системам относятся ZigBee, LoRaWAN, Bluetooth LE, NB-Fi и NB-IoT. Серьезным недостатком NB-IoT является необходимость пользоваться услугами стороннего оператора мобильной связи, от которого будет в итоге зависеть функционирование подстанции.

ZigBee

В работе [1] рассматривается возможность применения беспроводного протокола ZigBee на цифровых подстанциях для передачи пакетов стандарта IEC 61850. Эксперименты показали, что время задержки в сети ZigBee при загрузке радиоканала 50%, без использования ретрансляторов, не превышает 80 мс. Это укладывается в норму для сообщений средней скорости передачи, которая составляет 100 мс.

Тем не менее широкого распространения протокол ZigBee на цифровых подстанциях пока не нашел. Причина заключается в том, что в большинстве стран мира, в том числе и в России, для ZigBee отведен крайне загруженный диапазон 2,4 ГГц. Для борьбы с помехами в нем применяется mesh-топология сети с интеллектуальной маршрутизацией, что значительно увеличивает задержку сигнала относительно исследовавшегося в лаборатории режима работы без ретрансляции, вплоть до сотен мс. В IEC 61850 максимальная задержка для медленных сообщений не должна превышать 500 мс, данная норма в mesh-сети не всегда выполняется [2]. При этом выпускаются всевозможные датчики с поддержкой ZigBee для учета энергии и других применений в электроэнергетике, но о совместимости с требованиями IEC 61850 речи не идет.

Более современный протокол Bluetooth LE, также позволяющий устройству переходить в «спящий» режим и включаться по запросу, пока даже не

рассматривался исследователями. Хотя скорость передачи достигает 1 Мбит/с. Возможно, здесь сказались те же проблемы, что и у ZigBee, — загруженный диапазон в сочетании с mesh-архитектурой сети. Кроме этого, Bluetooth LE совместим с модулями Bluetooth 5.0 и выше, имеющимися в любом современном планшете или смартфоне, что может рассматриваться как потенциальная уязвимость с точки зрения информационной безопасности.

LoRaWAN

На цифровых подстанциях нашел применение беспроводной протокол LoRaWAN (распространено также сокращенное название LoRa), также относящийся к категории узкополосных. Он обеспечивает скорость передачи не более 50 кбит/с, что вполне достаточно для использования на подстанции. Данный протокол работает в «малозаселенном» диапазоне 868 МГц, используется топология «звезда», подразумевающая соединение базовой станции с датчиками напрямую. Использование рабочих частот ниже 1 ГГц значительно снижает, по сравнению с Bluetooth и ZigBee, вероятность прерывания связи из-за изменения условий распространения радиоволн.

Системы LoRaWAN делятся на три класса: A, B и C. Из них класс C для датчиков с автономным питанием не применяется. Класс A подразумевает, что датчик передает информацию на базовую станцию по определенному расписанию, прописанному в алгоритме его функционирования. После передачи информации в направлении базовой станции дважды открываются «окна» для приема информации датчиком. Прием или передача данных по инициативе базовой станции в классе A не предусмотрены. Особенностью класса B является то, что передача информации датчиком инициируется со стороны базовой станции. Датчик слушает радиоэфир в заданные промежутки времени, получает в эти «окна» данные с сервера и передает данные на сервер. Класс B является более быстродействующим относительно класса A, тем не менее длительность цикла опроса датчиков базовой станции для него составляет в среднем 128 с. То есть получать информацию с датчика можно с частотой не более 1 раза в 2 минуты.

Фотобанк Лори

Через Wi-Fi можно передавать данные согласно IEC 61850, если используется диапазон 5 ГГц

Как мы видим, передача пакетов IEC 61850 напрямую по протоколу LoRaWAN практически невозможна. Поэтому применяют шлюз между узкополосным протоколом и стандартом IEC 61850. Такой шлюз с точки зрения локальной сети цифровой подстанции является логическим датчиком. В свою очередь, логический датчик соединен с физически существующим датчиком посредством радиоканала, на параметры которого IEC 61850 уже не распространяется. Поскольку шлюз соединен с сетью проводным способом, нормы IEC 61850 без проблем выполняются.

Шлюзы LoRaWAN — IEC 61850 уже массово выпускаются, в частности, фирмами RAD (Израиль) и ADFweb (Италия).

Отдельно следует отметить отечественную разработку — беспроводной протокол NB-Fi (известный под названием Waviot), который близок по функциональности к LoRaWAN и тоже работает в диапазоне 868 МГц. NB-Fi по некоторым параметрам лучше конкурента, к тому же для него есть ГОСТ (а для LoRaWAN — пока только предварительный национальный стандарт). Тем не менее в цифровых подстанциях NB-Fi пока не применяется просто потому, что под него выпущено гораздо меньше оборудования. Введенные против России санкции пока не дали стимула для внедрения NB-Fi на подстанциях, т. к. LoRaWAN является открытым протоколом.

Wi-Fi соединение типа «точка-точка»

Беспроводная передача пакетов IEC 61850 может осуществляться через Wi-Fi. Повсеместно применяемое сейчас беспроводное оборудование стандарта IEEE 802.11n обеспечивает скорость передачи до 600 Мбит/с. Вместо кабеля связи устанавливается беспроводной мост между двумя адаптерами Wi-Fi. Такое соединение прозрачно для обмена информацией между элементами цифровой подстанции.

В [3] показано, что Wi-Fi может использоваться не только для сбора информации с датчиков, но и для построения системы защиты фидера. Время задержки, как показали результаты исследования, в значительной степени зависят от уровня шумов. Для Wi-Fi это важно в связи с высоким уровнем помех в диапазоне 2,4 ГГц. Норма задержки сигнала согласно IEC 61850 для системы защиты фидера составляет 4 мс. Эта норма для диапазона 2,4 ГГц выполняется в случае благоприятной ситуации с помехами. А вот для диапазона 5 ГГц, как показало исследование, время задержки менее 4 мс достижимо практически в любом случае.

Тем не менее недостатком Wi-Fi является необходимость подведения проводов с питанием к поддерживающему этот беспроводной протокол датчику. Поэтому передачу информации по Wi-Fi есть смысл организовывать от датчиков, к которым проблематично провести кабель связи, но они находятся недалеко от подходящего источника питания.

Использование же Wi-Fi в системе защиты фидера и аналогичных критически важных узлах цифровой подстанции пока представляет только научный интерес. Практическая реализация такого подхода требует решения многочисленных проблем с надежностью и безопасностью.

Оборудование для передачи пакетов IEC 61850 через Wi-Fi уже производится рядом компаний, например, Ixxat (Германия).

Выводы

Наиболее подходящими беспроводными технологиями для сбора данных от датчиков, не требующих быстрого отклика системы, являются LoRaWAN и NB-Fi. Беспроводное соединение Wi-Fi, организованное по принципу «точка-точка», является прозрачным для пакетов IEC 61850 и, при использовании диапазона 5 ГГц, соответствует нормам указанного стандарта. Поэтому Wi-Fi также можно использовать для передачи данных от датчиков в цифровой подстанции. Но следует учитывать, что при этом датчики уже не будут полностью беспроводными — к ним придется подводить электропитание.

При разработке стандарта мобильной связи 5G было особое внимание уделено нормированию времени задержки сигнала. Но пока о создании коммерческих образцов цифровых подстанций на основе 5G-сетей в мире не известно. Возможно, проблема в экономике — придется развертывать на территории подстанции небольшую собственную сеть мобильной связи, что является дорогостоящей затеей. Поэтому проводные и беспроводные системы передачи данных на подстанциях еще долго будут сосуществовать там, где применение каждой из систем наиболее выгодно.

Текст: **Алексей ДУБНЕВСКИЙ**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. D. Nowak, Ł. Krzak, C. Worek. Integration of ZigBee and IEC 61850 networks for a substation automation system // 2013 4th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), October 6–9, Copenhagen
2. Paulo Régis C. De Araújo, Raimir Holanda Filho, Joel J. P. C. Rodrigues, João P. C. M. Oliveira, Stephanie A. Braga. Infrastructure for Integration of Legacy Electrical Equipment into a Smart-Grid Using Wireless Sensor Networks // Sensors 2018, 18 (5), 1312
3. NASSER HASAN ALI, BORHANUDDIN MOHD ALI, OTMAN BASIR, MOHAMMAD LUTFI OTHMAN, FAZIRULHISYAM HASHIM. IEC 61580-based WLAN Peer-to-Peer Feeder Protection Improvement in Smart Grid Substation Automation System // Jounal of Theoretical and Applied Information Technology, 2015, Vol 80 № 3