

беспокойство, так как строительство ВЭС может приводить к нарушению экосистемы. Для преодоления этих проблем требуется разработка долгосрочной стратегии, включающей оптимизацию законодательства, стимулирование инвесторов и развитие научно-технической базы [4].

Выводы

1. Был выполнен анализ литературы, касающийся обзора ветроэнергетических станций 4 типа.
2. Подробно рассмотрены основные виды ВЭС. Было выявлено, что наземные ветроэлектростанции инверторного включения используются намного чаще других видов.
3. Благодаря значительному прогрессу в технологиях производства ветроэлектростанций и снижению себестоимости энергии, ВЭС 4 типа становятся конкурентоспособными с традиционными источниками энергии.
4. Новые бизнес-модели и инвестиционные стратегии ускоряют внедрение ветроэнергетических проектов, способствуя их дальнейшему распространению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационный бюллетень рынок возобновляемой энергетики России: текущий статус и перспективы развития. Ассоциация развития возобновляемой энергетики. [Электронный ресурс]. – URL: <https://reda.ru/bulletin> (дата обращения: 20.10.2024)
2. Разживин И.А., Рубан Н.Ю., Аскарлов А.Б., Уфа Р.А. Разработка программно-технических средств моделирования ветроэнергетической установки 4 типа // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24, № 1 (150). – С. 183–194.
3. Денисов Р.С., Елистратов В.В., Гзенгер Ш. Ветроэнергетика в России: возможности, барьеры и перспективы развития // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2017. – Т. 23. – № 2. – С. 17–27.
4. Щеглетов К.А. Экологическая безопасность и перспективы развития технологий использования энергии ветра // в сб.: Наука молодых. Сборник научных статей по материалам XII Всероссийской научно-практической конференции. – 2020. – С. 276–284.
5. Generic Models and Model Validation for Wind and Solar PV Generation: Technical Update. EPRI, Palo Alto, CA: 2011, 1021763 [Online].
6. EPRI, «Proposed Changes to the WECC WT4 Generic Model for Type 4 Wind Turbine Generators», Prepared under Subcontract No. NFT-1-11342-01 with NREL, Issued to WECC REMTF and IEC TC88 WG27 12/16/11; (last revised 1/23/13) [Online].

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА МЭК 61850 SAMPLED VALUES НА МИКРОКОНТРОЛЕРЕ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ В СОСТАВЕ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

К.А. Ахтырский¹, В.А. Кабиров²

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
каф. ПрЭ, группа 242-2023*

*Томский политехнический университет,
Старший лаборант Организационного отдела ИШЭ¹;
ООО «Вип Электроника», главный инженер²*

Научный руководитель: В.Д. Семенов, к.т.н., профессор, с.н.с. кафедры ПрЭ ТУСУРа

Введение

Одним из главных недостатков схемы подключения устройств РЗА к измерительным трансформаторам тока и напряжения в составе электрической подстанции является необходимость прокладки большого количества проводов от измерительных устройств до тер-

миналов РЗА. Это приводит к значительным сложностям при модернизации подстанций, добавлении нового оборудования и проведении обслуживания устройств в составе подстанции. С развитием цифровых технологий появились новые возможности организации сетей передачи информации от измерительных устройств к терминалам РЗА. Это повлекло за собой появление нового типа подстанций – цифровых подстанций [1–3].

Преимущества цифровых подстанций

В отличие от традиционных подстанций, в цифровых подстанциях передача данных между измерительными устройствами и терминалами РЗА происходит не в аналоговой, а в цифровой форме, что позволяет передавать большие объемы данных на большее расстояние, чем при традиционной организации электрической подстанции [4]. Кроме того, такой способ организации сети передачи данных позволяет значительно сократить количество проводов, передающих данные между устройствами. Это достигается за счет того, что все измерительные устройства и терминалы РЗА в составе цифровой подстанции соединяются общей «шиной процесса» – коммуникационной шиной данных, к которой подключаются измерительные устройства, коммутационные устройства и терминалы РЗА. По данной шине все устройства передают терминалам РЗА мгновенные значения измерений. Требования к шине процесса описываются протоколом МЭК 61850-1 и включают в себя [5]:

- Обеспечение передачи данных с высокой частотой и возможностью выбора частот (для целей релейной защиты используется меньшая частота, а для контроля качества электроэнергии – большая).
- Обеспечение минимальной задержки передачи данных в сети. От скорости передачи данных в сети зависит быстродействие устройств релейной защиты и автоматики.
- Высокая точность синхронизации по времени (не хуже ± 1 мкс) измерений, полученных от разных устройств в составе цифровой подстанции.
- Гибкость при формировании кадров данных. Протокол передачи данных должен предусматривать возможность передачи измерений токов и напряжений от измерительных трансформаторов в различных конфигурациях (настраиваемое количество и тип измерительных данных в пакете).

Протокол Sampled Values

Для обеспечения передачи данных между устройствами в составе цифровой подстанции с учетом перечисленных требований существует протокол Sampled Values (SV), описанный в стандарте МЭК 61850-9-2 [6]. Передача данных по данному протоколу происходит через интерфейс Ethernet на канальном уровне сетевой модели OSI, что позволяет передавать и обрабатывать пакеты данных с высокой скоростью. Сообщения SV передаются по модели «издатель-подписчик». Это значит, что отправители («издатели») напрямую не привязаны к получателям («подписчикам») сообщений. Вместо этого сообщения делятся на классы. Получатели «подписываются» на необходимые классы сообщений, что позволяет им их получать. Стандарт МЭК 61850 предусматривает возможность выбора одного из двух вариантов частот передачи выборок измерительной информации по данному протоколу: 4800 Гц (96 выборок на период сигнала с частотой 50 Гц) и 14400 Гц (288 выборок на период), однако на практике также широко используются частоты 4000 Гц (80 выборок на период) и 12800 Гц (256 выборок на период). Каждый информационный блок пакета данных (блок APDU – Application Data Unit) представляет собой одну выборку мгновенных значений сигналов. В каждый информационный блок может входить до 8 мгновенных значений токов и напряжений (значения токов и напряжений фаз А, В, С и нейтрали) [7]. Каждое мгновенное значение представлено в виде 8-байтного кода, что позволяет передавать числа двойной точности (double). В

одном пакете данных SV может содержаться до 8 блоков APDU (их число зависит от количества выборок измерительных сигналов на период и определяется стандартом МЭК 61850). Синхронизация устройств в составе цифровой подстанции согласно протоколу МЭК 61850 обеспечивается с помощью секундного импульса (1PPS), который одновременно поступает на все измерительные устройства и обнуляет счетчик выборок измерительной информации, благодаря чему выборки информации от всех устройств цифровой подстанции синхронизируются между собой и принимающие устройства могут обрабатывать значения токов и напряжений от разных устройств, komponуя их по номерам выборок. Кроме того, в настоящее время допускается использование иных методов синхронизации устройств в составе цифровой подстанции, например с помощью протокола IEEE 1588-2008 PTP [8]. Каждый пакет SV содержит информацию о статусе синхронизации устройства:

- Глобальная синхронизация – устройство синхронизировано с внешним источником точного времени.
- Локальная синхронизация – устройство потеряло связь с внешним источником точного времени менее, чем 60 секунд назад.
- Синхронизация отсутствует.

Реализация протокола МЭК 61850 Sampled Values на микроконтроллере

В связи с тем, что в настоящее время концепция цифровой подстанции только начинает внедряться в энергетическую систему России и мира, существует запрос на разработку измерительных устройств, передающих информацию в соответствии с принятыми стандартами для цифровых подстанций (МЭК 61850). Одним из важнейших компонентов цифровых измерительных устройств являются микроконтроллеры. Они позволяют обрабатывать измерительную информацию с высокой скоростью и передавать ее на другие устройства. Однако, на сегодняшний день в открытом доступе не существует реализаций протокола Sampled Values для микроконтроллеров. Наиболее распространенными реализациями данного протокола являются его реализации для операционных систем (ОС) Linux и Windows [9]. Встраивание вычислительных устройств, работающих на базе данных ОС, в измерительные устройства в составе цифровых подстанций влечет за собой существенные денежные затраты в то время, как микроконтроллеры являются сравнительно недорогими. В связи с этим в настоящее время существует задача реализации протокола Sampled Values на базе микроконтроллера.

Для реализации протокола SV авторами данной статьи был выбран микроконтроллер STM32F429. Данный микроконтроллер широко используется при разработке электронного оборудования и обладает аппаратной поддержкой интерфейса Ethernet, что облегчает реализацию поддержки протокола SV для него. Кроме того, микроконтроллеры серии STM32F4 обладают аппаратной поддержкой протокола IEEE 1588-2008 PTP, что позволит реализовать синхронизацию устройств на базе данного микроконтроллера не только с помощью секундного импульса, но и с помощью протокола PTP. Разработка протокола SV для микроконтроллера STM32F429 производилась на базе операционной системы реального времени FreeRTOS и библиотеки LWIP для работы с сетевыми протоколами. Реализация протокола SV на микроконтроллере предназначена для передачи измерительных данных с комбинированного цифрового трансформатора тока и напряжения на терминалы РЗА в составе цифровой подстанции. Возможность гибкой настройки работы протокола обеспечена с помощью веб-интерфейса управления, позволяющего задавать количество выборок измерений на период сигнала и MAC-адрес назначения пакетов данных (рис. 1).

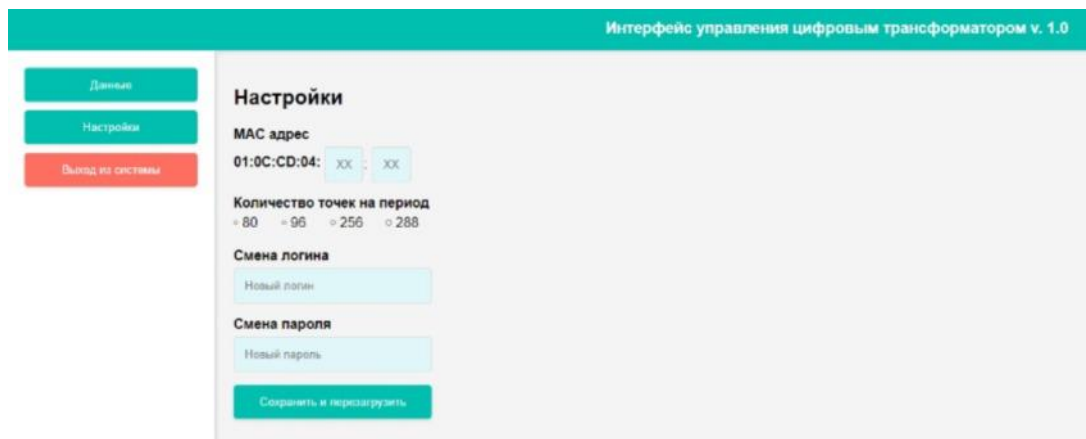


Рис. 1. Веб-интерфейс для настройки протокола SV на комбинированном цифровом трансформаторе тока и напряжения

Для проверки работоспособности разработанного протокола, цифровой трансформатор был подключен по интерфейсу Ethernet к ПК с установленным для анализа трафика цифровой подстанции «Сетевой анализатор» [10]. Цифровой трансформатор выступал издателем SV, а ПК – подписчиком. По протоколу SV передавались данные об измерении напряжений 230 В фаз А, В и С с частотой выборок 256 на период. Результаты работы представлены на рис. 2.

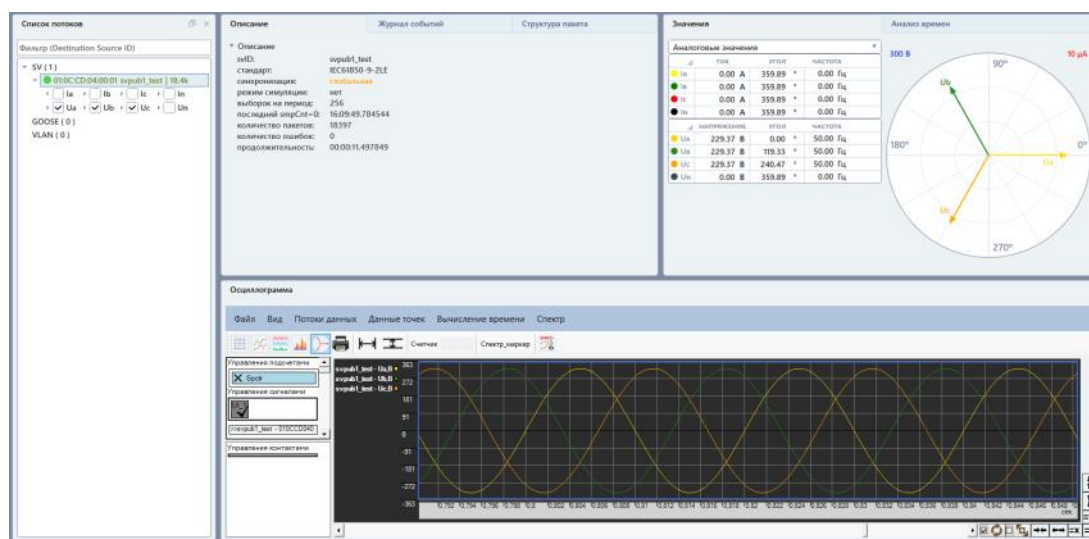


Рис. 2. Визуализация данных, полученных по протоколу SV от комбинированного цифрового трансформатора тока и напряжения, работающего на базе микроконтроллера STM32F429

Заключение

Результаты эксперимента показали, что разработанная реализация протокола SV для микроконтроллера STM32F429 корректно передает данные о напряжениях от измерительного устройства к терминалу с необходимой скоростью. Полученные результаты могут быть применены при разработке измерительных устройств для цифровых подстанций. Разработанная реализация протокола SV для микроконтроллера STM32F429 выложена авторами в открытый репозиторий Github AkhtyrskiyKirill/STM32F4-IEC61850-SV [11]. Следующей задачей для разработки данного проекта является внедрение в веб-интерфейс управления комбинированным цифровым трансформатором тока и напряжения возможности настройки состава передаваемых по протоколу SV данных (выбор фаз тока и напряжения), а также отображения в реальном времени графиков изменения измеряемых параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головшиков В.О. Цифровая подстанция-основной элемент цифровой электроэнергетической системы // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2019. – Т. 1. – С. 224–225.
2. Лобов Б.Н., Лызарь И.О., Левчук В.Э. Понятие «цифровая подстанция» // Молодой исследователь Дона. – 2020. – № 3 (24). – С. 49–52.
3. Курьянов В.Н. и др. Цифровые подстанции. Опыт реализации // Наука, образование и культура. – 2018. – № 3 (27). – С. 9–12.
4. Ахмеров А.Г. Цифровые подстанции: преимущества в использовании // Наука, образование, инновации: апробация результатов исследований. – 2020. – С. 93–96.
5. Михайлов Д.С., Верещак А.В., Мардарьев С.Н. Применение стандарта МЭК 61850 в релейной защите и автоматике // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства. – 2022. – С. 134–139.
6. Баранов П.Ф. и др. Программное обеспечение для эмуляции передачи мгновенных значений измерений в соответствии со стандартом МЭК 61850 // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2014. – Т. 324. – № 5. – С. 131–139.
7. Втюрин А.В. Структура цифровых потоков данных в протоколе МЭК 61850 // StudNet. – 2020. – Т. 3. – № 8. – С. 539–545.
8. IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems – Redline, in IEEE Std 1588-2008 (Revision of IEEE Std 1588-2002) – Redline, vol., no., pp.1-300, 24 July 2008
9. Kurek K. et al. Implementation of IEC 61850 power protection tester in Linux environment // Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences. – 2020. – С. 689–696.
10. ПО «Сетевой анализатор» // Динамика. – URL: <https://dynamics.com.ru/production/61850/networkanalyzer> (дата обращения 14.11.2024).
11. IEC 61850 Sampled Values publisher library for STM32 // Github AkhtyrskiyKirill/STM32F4-IEC61850-SV. – URL: <https://github.com/AkhtyrskiyKirill/STM32F4-IEC61850-SV> (дата обращения 14.11.2024).

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И УСТРОЙСТВА СБОРА ДАННЫХ
ДЛЯ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕТРИИ****А.В. Слива***Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа 5А13*

Научный руководитель: Ю.Д. Бай, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Системы телеметрии – совокупность устройств, осуществляющих получение, преобразование, передачу информации через каналы связи для дальнейшего приёма, обработки и регистрации данных о состоянии объектов и процессов, происходящих на них, с целью контроля на расстоянии.

В автоматизированных системах объектов электроэнергетики для работы автоматики необходимо использование устройств, которые преобразуют входной сигнал некоторой физической величины в выходной сигнал другого вида для удобства воздействия на последующие элементы. Также в рамках энергосистем необходимо осуществлять сбор и обработку информации на объектах для дальнейшей передачи на вышестоящие уровни. Для таких целей устанавливают измерительные преобразователи и устройства сбора данных [1].

На рис. 1 представлен измерительный преобразователь от компании «Энергосервис». Устройство представлено в модификации «Максимум». На лицевой панели устройства в верхней его части располагаются восемь дискретных входов (DI1–DI8), «–» внешнего источника питания 220 В (DIC), три винтовых клеммы для подключения через интерфейс RS-485-1 и три под питание как переменным, так и постоянным током. Слева размещен USB разъем для настройки через программное обеспечение производителя. В центре находятся четыре разъема под сетевой кабель RJ45. Разъем 24 V осуществляет питание внешних модулей, RS-485-2 предназначен для обмена данными с внешними модулями. Интерфейс Ethernet (LAN-1, LAN-2) необходим для передачи данных на вышестоящие уровни или другие устройства. В нижней части располагаются входы цепей напряжения и тока [2].