

# Моделирование систем информационного обмена

## комплексов релейной защиты и автоматики цифровых подстанций

**Рассматриваются основные принципы построения и функциональные возможности программно-аппаратного комплекса моделирования цифровой подстанции, включающего трехфазную физическую модель двухтрансформаторной подстанции, снабженную микропроцессорными средствами РЗА с передачей сигналов в цифровой форме.**

**Алексей Андреев**

pppessis@mail.ru

**Александр Гребеньков**

alexandrgrebenkov@gmail.com

**Рустам Хусаинов**

rzh@susu.ac.ru

### Введение

Современное состояние электроэнергетики характеризуется все более широким внедрением микропроцессорных средств защиты и управления, развитием систем телеметрии, телесигнализации и телеуправления. Массовое применение устройств на микропроцессорной элементной базе привело к постепенному переходу на цифровую форму передачи сигналов измерений и управления.

В частности, наметилась определенная тенденция перехода к централизованным комплексам микропроцессорных систем релейной защиты и автоматики (РЗА), а также на цифровые электростанции и подстанции [1], в основу которых положен принцип передачи сигналов между первичными измерительными преобразователями, исполнительными элементами, средствами релейной защиты и автоматики, приборами учета электрической энергии и т. п. только в цифровой форме.

Непрерывно растущие функциональные возможности и совершенствование элементной базы микропроцессорных средств управления определяют новые принципы их построения и алгоритмы работы. Так, увеличение вычислительной мощности и совершенствование средств передачи информации применяемых контроллеров и микроконтроллеров в совокупности с ростом процента оснащения объектов электроэнергетики микропроцессорными средствами управления определило новый этап развития систем электроснабжения — переход к интеллектуальным электрическим сетям SmartGrid, которые характеризуются не только применением современной элементной базы, но и глобальным изменением принципов формирования систем управления.

Одним из актуальных направлений развития концепции интеллектуальных электрических сетей является совершенствование существующих и создание новых алгоритмов работы микропроцессорных

средств релейной защиты и автоматики. При этом, для экспериментальной оценки эффективности разработки, необходима модель электроэнергетического объекта, содержащая систему релейной защиты и автоматики, выполненную на микропроцессорной элементной базе и основанную на передаче сигналов в цифровой форме. Такая модель была создана в виде программно-аппаратного комплекса в рамках развития лабораторной и научно-исследовательской базы Южно-Уральского государственного университета в ООО НПП «Учебная техника — Профи» (г. Челябинск). Комплекс успешно применяется как для подготовки будущих специалистов, так и для выполнения научно-исследовательских работ студентов, магистров и аспирантов, проведения курсов повышения квалификации и переподготовки кадров, реализации хоздоговорных научно-исследовательских работ по заданиям от ведущих предприятий электроэнергетического комплекса России.

### Основные принципы реализации цифровых подстанций

В основе работы цифровой подстанции лежит иерархическая система связи интеллектуального первичного оборудования и сетевого вторичного оборудования, при этом осуществляется совместное использование информации и взаимные операции между интеллектуальным оборудованием. Если соотносить новую цифровую подстанцию с традиционной, можно выявить следующие изменения: новый интерфейс связи и коммуникационная модель на уровнях ячейки и подстанции, а на уровне процесса — замещение традиционных ТТ и ТН на электронные ТТ и ТН. Теперь информация во вторичных цепях передается по помехоустойчивому оптоволокну либо по витой дифференциальной паре.

Применение цифровой передачи данных позволяет: уменьшить стоимость вторичных цепей, увели-

чить помехоустойчивость, упростить процесс проектирования подстанции, топологию вторичных цепей и монтажные работы, применять унифицированные устройства, снизить стоимость устройств РЗА и АСУ ТП, уменьшить размеры подстанции, а соответственно, и текущие эксплуатационные расходы, связанные с отоплением, освещением, и т. п.

Одновременно при переходе на цифровые подстанции изменяется и характер монтажных и пусконаладочных работ. В частности, сокращается объем и трудоемкость работ по прокладке и тестированию кабелей вторичных цепей, появляется возможность централизованной настройки оборудования, диагностика и тестирование сети становятся более тщательными и всесторонними благодаря использованию механизмов цифровой имитации событий.

### Программно-аппаратный комплекс «Модель цифровой подстанции»

Комплекс выполнен в виде лабораторного стенда, включающего физическую трехфазную модель двухтрансформаторной подстанции и содержащего модели линий электропередачи, силовых трансформаторов, сборных шин, трехполюсных выключателей, измерительных трансформаторов тока и напряжения, приборов учета электрической энергии. В составе стенда имеются физические устройства релейной защиты и автоматики, выполненные на микропроцессорной элементной базе.

Лабораторный стенд обеспечивает моделирование нормальных и аварийных режимов работы, в частности, режимов симметричных

и несимметричных коротких замыканий. Особенностью стенда является реализация типовой структуры цифровой подстанции, предусматривающая моделирование цифровой передачи данных между основными элементами подстанции на уровне присоединения и на уровне процесса. С этой целью модели электроэнергетических объектов реализованы в виде интеллектуальных устройств, обеспечивающих преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму, обработку сигналов в цифровой форме, интеграцию с другими объектами модели подстанции по цифровым каналам передачи данных (рис. 1).

Объект управления выполнен на основе трехфазной модели двухтрансформаторной подстанции. Распределительное устройство высокого напряжения соответствует схеме «Блок линия-трансформатор», что типично для тупиковых подстанций с двумя подходящими линиями. Отходящие линии, питающие активно-индуктивную нагрузку, подключены к распределительному устройству низкого напряжения, представленному в виде схемы «Одна секционированная система сборных шин» (рис. 2). Модели высоковольтных выключателей, оснащенные устройствами согласования с шиной цифровой передачи данных, предоставляют возможность в ручном, автоматическом и дистанционном режимах коммутировать трехфазные силовые цепи, тем самым изменяя схемы питания нагрузок. Для имитации аварийных режимов в составе стенда предусмотрен модуль короткозамыкателя, позволяющий создавать симметричные и несимметричные виды коротких замыканий в различных точках схемы электроснабжения.

Измерительные органы комплекса состоят из моделей трансформаторов тока и трансформаторов напряжения. Модули трансформаторов тока вводных выключателей содержат по два однофазных трансформатора, размещенных в фазах «А» и «С». Модули трансформаторов тока отходящих линий содержат измерительные трансформаторы тока во всех трех фазах, что обеспечивает возможность учета электрической энергии. Соответственно, в модуле сборной шины также установлены трансформаторы напряжения в каждой фазе. Аналоговые сигналы, полученные с измерительных трансформаторов тока и напряжения, преобразуются с помощью аналого-цифровых преобразователей микроконтроллеров в цифровую форму и становятся доступными для других элементов модели цифровой подстанции, в частности, цифровых приборов учета электрической энергии, микропроцессорных защит, автоматизированных рабочих мест инженерного персонала и т. п.

Модули микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики выполняют функции трехступенчатой максимальной токовой защиты, защиты с пуском по напряжению, двукратное автоматическое повторное включение, автоматический ввод резерва и функцию устройства резервирования отказа выключателя. Модули обеспечивают возможность локального и дистанционного конфигурирования по сети. К основным параметрам цифровых защит относятся: выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения, «виртуальное» подключение вторичных выходных цепей, ввод/вывод функций защиты и автоматики, задание установок срабатывания защит.

Согласование процессов передачи данных, сигналов управления и измерений по цифровой шине поддерживается с помощью модуля сетевого концентратора. Концентратор является главным устройством, подключенным к шине данных. Обмен данными по сети основан на периодических посылах запросов от концентратора к присоединяемым устройствам. Кроме того, сетевой концентратор обеспечивает интеграцию «интеллектуальных» элементов цифровой подстанции с локальными вычислительными сетями более высокого уровня, например сетью, включающей автоматизированные рабочие места инженерного персонала.

Шина передачи данных выполнена на основе EIA-485 (RS-485) интерфейса. EIA-485 (англ. Electronic Industries Alliance-485) — стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса, регламентирующий электрические параметры полудуплексной многоточечной дифференциальной линии связи типа «общая шина». Наличие интерфейса RS-485 в структуре цифровой подстанции — это одно из типовых решений, применяемых на данный момент.

В качестве программного обеспечения стенда используется программная среда DeltaProfi. К основным возможностям DeltaProfi относятся: осциллографирование периодических сиг-

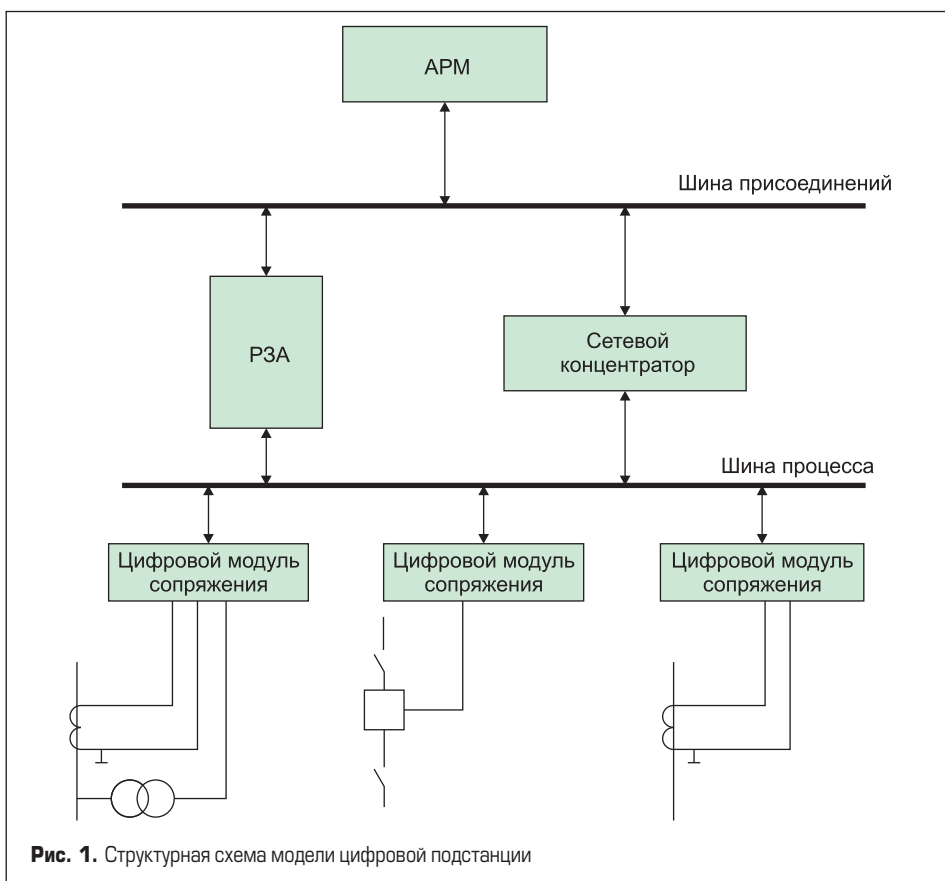


Рис. 1. Структурная схема модели цифровой подстанции

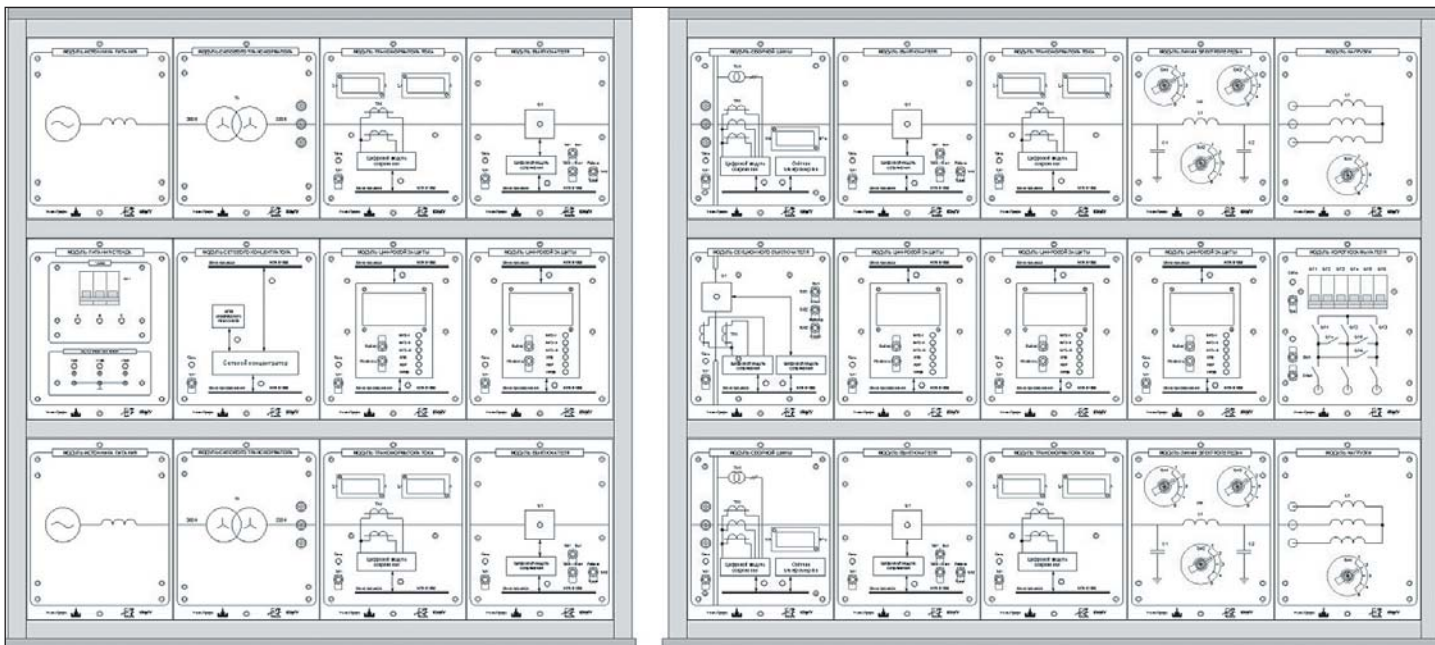


Рис. 2. Внешний вид лабораторного стенда «Модель цифровой подстанции»

налов с частотой выборки сигналов до 200 кГц; регистрация изменения мгновенных сигналов во времени; автоматизация проведения экспериментов и автоматическое снятие функциональных зависимостей; отображение интерактивных функциональных схем выполнения экспериментов (мнемосхем) с индикацией сигналов и управлением системой; программная реализация функций устройств релейной защиты и автоматики; измерение показателей качества электрической энергии. Ввод и вывод аналоговых сигналов измерений и управления осуществляется через специализированную плату аналогового и дискретного ввода/вывода DeltaProfi mod.5.4.3, созданную инженерами лабораторного комплекса. Работа с сигналами в цифровой форме в среде DeltaProfi осуществляется благодаря поддержке двух сетевых

интерфейсов: RS-485 и Ethernet. Поддержка интерфейса RS-485 обеспечивает интеграцию в сеть передачи сигналов управления на уровне подстанции и присоединений. Поддержка сети Ethernet — интеграцию в локальную вычислительную сеть предприятия. К основным функциям, связанным с цифровой передачей данных, относятся: сканирование информационной сети и отображение присутствующих устройств, конфигурирование цифровых трансформаторов тока, выключателей, микропроцессорных устройств РЗА, интеллектуальных приборов учета электроэнергии, дистанционное управление состоянием коммутационных аппаратов, мониторинг цифрового обмена данными между интеллектуальными устройствами в составе информационной сети, цифровая имитация последовательности собы-

тий на подстанции, отображение сигналов измерений в цифровой форме, ведение журнала и протоколов событий.

**Заключение**

Представленные возможности программно-аппаратной части лабораторного комплекса обеспечивают как изучение типовых технических решений, так и возможность исследования новых принципов работы и алгоритмов управления электроэнергетическими объектами.

**Литература**

1. [www.fsk-ees.ru/innovation/intelligent\\_network/network\\_management\\_systems\\_and\\_equipment/](http://www.fsk-ees.ru/innovation/intelligent_network/network_management_systems_and_equipment/)