

УДК 621.316.925 + 621.311.4:004

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ЦИФРОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДСТАНЦИЙ**

*А.Н. Андреев, А.С. Гребеньков*

Разработана физическая модель программно-аппаратного комплекса цифровой передачи данных на цифровых подстанциях, включающая алгоритмические модели основных узлов измерения, управления и защиты, выполненные в соответствии с требованиями стандарта МЭК-61850.

Ключевые слова: цифровая подстанция, IEC 61850, GOOSE, SV, MMS-сервер, шина процесса, шина присоединения.

Переход на микропроцессорную элементную базу в комплексах релейной защиты и автоматики обуславливает необходимость постепенного перехода на цифровую форму передачи сигналов измерений и управления, фактически к новому поколению комплексных электроэнергетических объектов – цифровым подстанциям.

В основе работы цифровой подстанции лежит иерархическая система связи интеллектуального первичного оборудования и сетевого вторичного оборудования, при этом реализовано совместное использование информации и взаимные операции между интеллектуальным оборудованием [1]. 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 передаётся по помехоустойчивому оптоволокну, либо по витой дифференциальной паре.

Таким образом, система передачи сигналов измерений и управления на цифровой подстанции представляет собой совокупность нескольких информационных сетей с передачей данных в двоичной форме. Разработанная модель передачи данных содержит три уровня сети. Верхний уровень, представляющий локальную сеть предприятия и реализованный на интерфейсе Ethernet, предназначен для реализации функций чтения данных текущих измерений, чтения/записи уставок защит, настройки параметров устройств, дистанционного управления коммутационными аппаратами посредством протокола МЭК-9506 MMS [2] (Manufacturing Message Specification), являющегося основой стандарта передачи данных на цифровых подстанциях МЭК-61850. Реализация данных функций требует наличия MMS-серверов в каждом интеллектуальном устройстве стенда МЦП-СК. При этом, стандарт МЭК-61850 предусматривает возможность реализации

нескольких логических устройств в одном физическом устройстве, что позволяет интегрировать в модель цифровой передачи данных по МЭК-61850 практически любые цифровые устройства, поддерживающие один из существующих протоколов передачи данных. Данная особенность стандарта МЭК-61850 использована в качестве основы для разработки модели цифровой передачи данных в стенде МЦП-МЭК61850-СК. В соответствии с этой моделью, функции MMS-серверов всех устройств подстанции объединены в одном физическом устройстве – MMS-сервере, выполненном в соответствии с требованиями и стандартами МЭК-61850, а взаимодействие интеллектуальных устройств (трансформаторов тока и напряжения, выключателей, защит, приборов учета электроэнергии) осуществляется по закрытым протоколам передачи данных. Для обеспечения интеграции комплекса интеллектуальных устройств стенда МЦП-СК с промышленными устройствами релейной защиты и автоматики, поддерживающими протоколы передачи данных МЭК-61850, MMS-сервер, входящий в состав стенда выполняет функции преобразования информационных пакетов, передаваемых между интеллектуальными устройствами стенда по закрытым протоколам в стандартные пакеты управления по протоколу GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) и пакеты текущих измерений по протоколу SV (Sampled Values). Соответствующая структурная схема модели передачи данных представлена на рисунке.

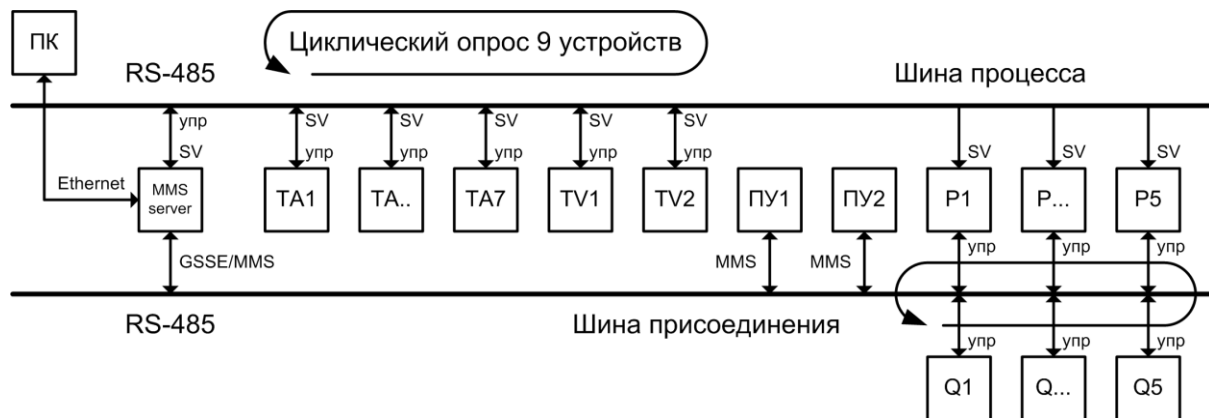


Схема передачи данных в стенде МЦП-СК

Передача данных осуществляется по трем уровням сети: 1 уровень – «Шина процесса», выполненная на базе интерфейса RS-485; 2 уровень – «Шина присоединения», выполненная на базе интерфейса RS-485; 3 уровень – «Локальная сеть предприятия», выполненная на базе интерфейса Ethernet.

«Шина процесса» предназначена для передачи данных текущих измерений от измерительных трансформаторов тока и напряжения к устройствам цифровой защиты и автоматики. Поскольку передача данных в сети RS-485 требует наличия мастер-устройства, одной из функций MMS-

сервера стенда МЦП-СК является управление процессом передачи данных (циклический опрос). При отсутствии команд управления по сети Ethernet сервер отправляет в шину процесса информационный пакет «Опрос состояния» адресованный текущему устройству из списка опрашиваемых. Список опрашиваемых устройств содержит только трансформаторы тока ТА1..ТА7 и напряжения TV1..TV2. Устройство, получившее пакет «Опрос состояния» формирует выходной пакет типа «Данные с трансформатора тока/напряжения». Данный пакет получают все устройства релейной защиты Р1..Р5, а также MMS-сервер. Устройства защиты в соответствии с заданными параметрами могут использовать полученные данные как сигналы для пусковых органов. MMS-сервер запоминает полученные данные в соответствующих атрибутах SCL-модели трансформатора тока/напряжения, связанной с данным физическим трансформатором, и затем, переходит к опросу состояния следующего устройства на шине процесса.

При получении команды на изменение уставок трансформаторов тока/напряжения по сети Ethernet (MMS-запрос типа «write request») MMS-сервер вместо опроса состояния текущего устройства на шине процесса отправляет пакет типа «Изменение уставок», адресованный одному из трансформаторов. При получении ответного пакета типа «Выполнено», сервер заносит полученные уставки в SCL-модель данного трансформатора, формирует ответ успешного выполнения команды по сети Ethernet (MMS-ответ типа «write response»), и переходит к опросу текущего устройства в списке. В случае отсутствия ответа (в течение заданного интервала времени), сервер формирует ответ ошибки выполнения команды по сети Ethernet без изменения данных в SCL-модели трансформатора.

«Шина присоединения» обеспечивает передачу цифровых сигналов между устройствами релейной защиты Р1..Р5 и моделями трехфазных выключателей Q1..Q5. Так как в рассматриваемой модели шина присоединения также реализована на базе интерфейса RS-485, управление процессом передачи данных (циклический опрос) осуществляется MMS-сервером стенда МЦП-СК. При отсутствии команд управления по сети Ethernet сервер отправляет в шину присоединения информационный пакет «Опрос состояния» адресованный текущему устройству из списка опрашиваемых. Список опрашиваемых устройств содержит только выключатели Q1..Q5 и устройства защиты Р1..Р5.

Если текущим устройством в цикле опроса является устройство защиты Р1..Р5, в ответ на пакет «Опрос состояния» ожидается формирование выходного пакета типа «Текущее состояние». Однако, в случае срабатывания, защита формирует выходной пакет типа «Управление выключателем», адресованный одному из выключателей Q1..Q5, и только после получения от выключателя ответного пакета типа «Выполнено», защита формирует вы-

ходной пакет «Текущее состояние». При этом, в данном пакете содержится информация о сработавших ступенях защиты. В случае отсутствия ответа от выключателя в течении заданного интервала времени, а также при не сработавшем состоянии, защита формирует выходной пакет «Текущее состояние», содержащий информацию о наличии сигналов пуска защиты. MMS-сервер запоминает полученные в пакете «Текущее состояние» данные в соответствующих атрибутах SCL-модели защиты, и затем, переходит к опросу состояния следующего устройства на шине присоединения. При этом, если полученные от защиты данные входят в набор данных (DataSet) блока управления GOOSE-сообщением [3] (GOOSE control block) и значения полученных данных отличаются от текущих значений соответствующих атрибутов SCL-модели защиты, MMS-сервер формирует в сеть Ethernet информационный пакет с данными текущего состояния защиты в соответствии с протоколом GOOSE. Передача данного GOOSE-сообщения повторяется через заданное минимальное значение времени, которое удваивается при каждой следующей передаче сообщения до тех пор, пока не достигнет заданного максимального значения времени повторения сообщения. При отсутствии изменений состояния защиты, формирование GOOSE-сообщений от защит осуществляется через заданные максимальные значения времени повторения сообщения.

Если текущим устройством в цикле опроса является выключатель, в ответ на пакет типа «Опрос состояния» формируется выходной пакет типа «Данные с выключателя», содержащий текущее состояние блок-контактов выключателя и текущее состояние ключа управления выключателем (последняя команда локального или дистанционного управления). Данный пакет получают все устройства релейной защиты P1..P5, а также MMS-сервер. Устройства защиты в соответствии с заданными параметрами могут использовать полученные данные как сигналы для пуска/возврата логических функций автоматического управления. MMS-сервер запоминает полученные данные в соответствующих атрибутах SCL-модели выключателя, и затем, переходит к опросу состояния следующего устройства на шине присоединения. При этом, если полученные от выключателя данные входят в набор данных (DataSet) блока управления GOOSE-сообщением (GOOSE control block) и значения полученных данных отличаются от текущих значений соответствующих атрибутов SCL-модели выключателя, MMS-сервер формирует в сеть Ethernet информационный пакет с данными текущего состояния выключателя в соответствии с протоколом GOOSE. Периодичность передачи данного сообщения соответствует стандарту МЭК-61850 и аналогична организации передачи GOOSE-сообщений от устройств защит.

При получении команд на чтение или запись уставок защит по сети Ethernet (MMS-запросы типа «write request» и «read request») MMS-сервер

вместо опроса состояния текущего устройства на шине присоединения отправляет пакет типа «Изменение уставок», адресованный одной из защит. При получении ответного пакета типа «Выполнено», сервер заносит полученные уставки в SCL-модель данной защиты и формирует ответ успешного выполнения команды по сети Ethernet (MMS-ответ типа «write response» или «read response» соответственно), и переходит к опросу текущего устройства в списке. В случае отсутствия ответа (в течение заданного интервала времени), сервер формирует ответ ошибки выполнения команды по сети Ethernet без изменения данных в SCL-модели защиты. Приборы учета электроэнергии ПУ1, ПУ2 опрашиваются только при получении MMS-запросов на чтение текущих показаний по сети Ethernet. В этом случае основной цикл опроса приостанавливается и в шину присоединения отправляется пакет «Опрос состояния», адресованный одному из приборов учета электроэнергии. Ответный пакет типа «Данные с ПУ» используется для формирования MMS-ответа и основной цикл опроса продолжается.

Рассмотренные принципы построения модели передачи данных в стенде МЦП-СК полностью соответствуют требованиям действующего стандарта МЭК-61850. Это позволяет эффективно использовать полученную модель для таких целей как исследование взаимодействия микропроцессорных защит, совершенствования алгоритмов существующих и разработки новых алгоритмов защиты, учитывающих особенности и функциональные возможности микропроцессорной элементной базы и цифровой передачи данных, проведение исследований и разработка рекомендаций по совершенствованию/оптимизации протоколов передачи данных.

#### Библиографический список

1. IEC 61850-7-1.; Communication networks and systems in substations – Basic communication structure for substation and feeder equipment Principles and models, International Electrotechnical Commission (IEC), 2003.
2. IEC 61850-8-1.; Communication networks and systems in substations – Specific Communication Service Mapping (SCSM) Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3, International Electrotechnical Commission (IEC), 2003.
3. Retonda J., Behardien S.; Simulation of an IEC 61850 Based GOOSE Message, and Analysis of its Structure, OMICRON Users Conference, 2010.

[К содержанию](#)