

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ АРХИТЕКТУРЫ РЗА для РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

М.С. Половников, В.И. Ухов (ООО «СИСТЕЛ»)

Рассматривается программная архитектура РЗА для распределенной системы цифровой подстанции, функционирующей по стандарту МЭК-61850. Описаны функциональность и области применения разработанных программных модулей, позволяющих упростить и ускорить конфигурирование системы, а также минимизировать время ее готовности к работе. Для резервирования распределенной системы РЗА описан механизм синхронизации оперативных данных с контролем выполнения команд телеуправления.

Ключевые слова: программная архитектура, РЗА, цифровая подстанция, МЭК 61850.

Релейная защита энергетических объектов является важной функцией выявления и своевременного реагирования на аварийные режимы работы энергосистем. Изобретенные более 100 лет назад индукционные реле [1] (известные у нас как ИТ-80, РТ-80) эксплуатируются и сегодня в устройствах релейной защиты (УРЗ), построенных с применением электро-механических реле индукционного и электромагнитного типов. Около 35–40 лет назад в релейной защите начали широко применяться [2] электронные устройства на полупроводниках, что позволило реализовать алгоритмическую схему защиты на небольшой микросхеме. Это упростило производственный процесс и существенно снижало трудозатраты при производстве УРЗ. Дальнейшее развитие электронных технологий привело к возможности реализации микропроцессорного УРЗ и начале применения таких устройств на энергообъектах. На сегодняшний день производительность и размеры микропроцессоров и электронных компонент таковы, что позволяют разместить и успешно выполнять на микросхемах суммарной площадью $\leq 1 \text{ см}^2$ требуемое число алгоритмов релейной защиты без существенного потребления процессорных ресурсов. Согласно закону Мура, максимально возможное число запущенных на процессоре алгоритмов будет только увеличиваться с ростом вычислительных мощностей, что позволяет навсегда обеспечить требуемую функциональность и продуктивность релейной защиты на существующей электронной базе небольших размеров.

В устройствах различных производителей, используемых на электроподстанциях, для обмена данными применяются различные протоколы связи, что приводит к затруднению совместимости, взаимозаменяемости устройств и усложнению системной интеграции. Для унификации передачи данных внутри подстанции

в 2003 г. был введен новый стандарт Международной электротехнической комиссии «Коммуникационные сети и системы подстанций» — МЭК 61850, описывающий правила событийного протокола передачи данных. Построенные с учетом этого стандарта системы — цифровые подстанции должны отвечать требованиям высокой надежности, гарантированного времени доставки и высокоскоростного обмена данными между устройствами. МЭК 61850 позволяет обеспечить взаимозаменяемость и совместимость устройств различных производителей.

Применение МЭК 61850 совместно с современными высокопроизводительными процессорами и комплектами позволяет проектировать и создавать распределенные и гибкие системы релейной защиты и автоматики (РЗА) цифровой подстанции, отвечающие современным тенденциям [3]. Объединенные единой информационной шиной, физически разнесенные компактные модули обеспечивают функциональность, которая прежде содержалась в монолитном устройстве РЗА. Расположение модулей определяется при проектировании системы РЗА, исходя из технологических особенностей электроустановки, требований надежности и удобства обслуживания. В составе системы присутствуют модули ввода мгновенных значений напряжений и токов, модули ввода дискретных значений положений выключателей, реле и модули формирования команд телеуправления. Цифровые мгновенные значения контролируемых величин передаются по протоколам МЭК 61850-9-2-LE и МЭК 61850-8-1-GOOSE на вычислительно-коммуникационный модуль (ВКМ), выполняющий функции РЗА. Вырабатываемые ВКМ команды телеуправления на включение/отключение выключателей осуществляются также по МЭК 61850-8-1-GOOSE.

Настройка и обслуживание распределенной системы РЗА должны быть доступными и удобными процедурами для персонала служб РЗА. Для этого разработана и реализована программная архитектура, согласно которой настройка распределенного устройства РЗА производится при помощи специального ПО (рис. 1). Программные модули позволяют визуально формировать алгоритмы РЗА и опреде-

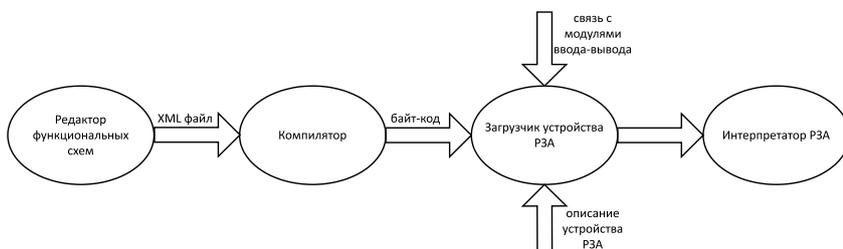


Рис. 1

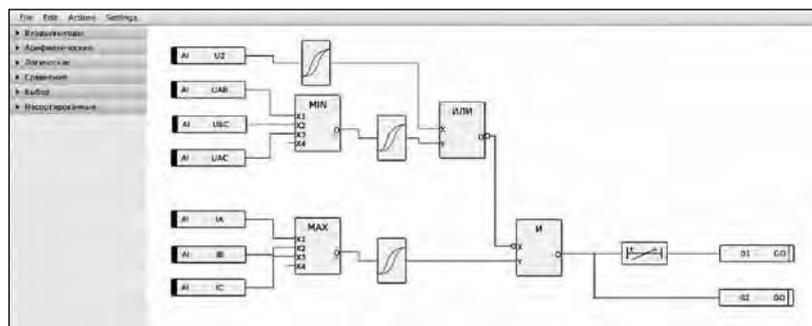


Рис. 2

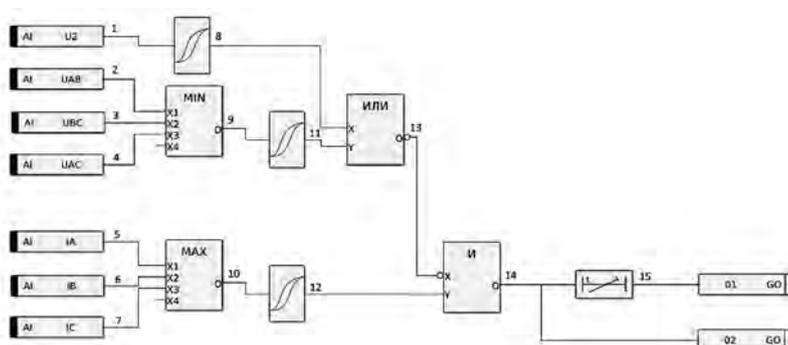


Рис. 3

лять их параметры, осуществлять привязку логических входов/выходов к физическим, оптимизировать и сформировать загрузочный код для его выполнения. На каждом этапе производится контроль соответствия возможностей устройства РЗА формируемым конфигурационным условиям.

Для создания и редактирования схем РЗА предназначен графический редактор (рис. 2). Он позволяет визуально отображать и изменять логику работы алгоритмов РЗА, изменять значения конфигурируемых логических элементов, добавлять и удалять внешние логические входы/выходы и др., определяя таким образом поведение противоаварийной автоматики. Для формирования схем доступен широкий набор логических элементов, применяемых в релейной защите, а также набор внешних входов/выходов, соответствующих типу конфигурируемого устройства. Тип устройства задается в редакторе. В процессе работы редактора производится контроль корректности схемы с выдачей сообщения в случае присутствия ошибок. Сформированная схема сохраняется в XML-файле, который впоследствии может быть повторно загружен в редактор для модификации схемы. Редактор схем реализован как кроссплатформенное приложение, позволяющее запускать его на всех современных ОС, поддерживающих java.

Для обеспечения минимального времени готовности распределенного устройства РЗА при запуске ВКМ необходимо обеспечить высокую скорость загрузки сформированных в редакторе схем алгоритмов. Созданный редактором файл, помимо описаний логических элементов и связей между ними, содержит специфичную информацию о их координатах на схеме.

Такая информация является избыточной для ВКМ, ее присутствие при запуске устройства увеличит время готовности.

Сокращение времени готовности осуществляется ПО компилятор, который подготавливает оптимизированный код (байт-код) для оперативной загрузки его в ВКМ. Компилятор производит анализ корректности созданной графическим редактором схемы и формирует двоичный оптимизированный файл в стандарте ASN.1 BER. В подготовленном файле содержится только необходимая информация об алгоритмах РЗА, позволяющая осуществить инициализацию и запуск алгоритмов РЗА в ВКМ за один проход загрузчика. Компилятор применяется в связке с графическим редактором и может быть запущен на ОС Windows и Linux.

Непосредственное выполнение алгоритмов РЗА осуществляет *интерпретатор*, который запускается на ВКМ совместно с подсистемой ввода/вывода внешних данных по протоколам МЭК 61850-9-2-LE и МЭК 61850-8-1-GOOSE. Инициализацию и запуск интерпретатора производит *загрузчик устройства*. Загрузчик

производит чтение конфигурационной информации о возможностях данной версии устройства РЗА, параметрах модулей, сопряженных с контролируемым оборудованием и применяемых алгоритмах РЗА (рис. 1). Информация о возможностях устройства содержит: модель устройства (возможность контроля токов и напряжений или только токов), соответствующее модели возможное число и типы (токи, напряжения) аналоговых внешних входов, возможное число дискретных входов/выходов, имя прошивки. Параметрами модулей, сопряженных с оборудованием, являются допустимое число входов/выходов, их типы, коммуникационные параметры (имена потоков, наборов данных, vlan, mac и т. д.), а также соответствие физических и логических входов/выходов модуля. Анализ несоответствия параметров конфигураций позволяет выявить и проинформировать о возможных ошибках (например, если имя и номер внешнего контролируемого логического сигнала отсутствует в устройстве или не сопоставлен физическому сигналу). Также осуществляется проверка корректности связей алгоритма РЗА. Следует заметить, что аналогичный контроль схемы алгоритма с допустимыми возможностями устройства осуществляется и при формировании графической схемы и ее последующей компиляции. Проверки корректностей схем и настроек на каждом этапе позволяют минимизировать вероятность неправильной работы, для этого в ПО соответствующего этапа производится выбор модели устройства, для которого производятся действия.

При загрузке кода алгоритмов РЗА загрузчик создает и инициализирует необходимые структуры,

определенные в соответствии с архитектурой интерпретатора. Такими структурами являются блок актуальных значений переменных и блок логических элементов. Каждый элемент блока переменных пронумерован, номер блока соответствует линии связи между сопряженными логическими элементами на схеме алгоритма (рис. 3). Оптимизированный код в стандарте ASN.1 BER содержит размер блока переменных и список логических элементов, у которых для входов/выходов указаны соответствующие номера из блока переменных. В первую очередь загрузчик создает структуры переменных и затем структуры логических элементов. В случае успешных проверок конфигураций и создания структур без критических ошибок производится запуск интерпретатора.

Подсистема ввода/вывода ВКМ в процессе приема данных по информационной шине от модулей ввода осуществляет вычисление действующих значений токов и напряжений и их фазовых углов, значений прямой, обратной и нулевых последовательностей и др., передачу этих значений на соответствующие логические входы интерпретатора, который, выполняя алгоритмы функций РЗА, генерирует выходные логические сигналы, передаваемые на модули телеуправления и другие внешние устройства (сервер подстанции, модуль отображения).

Для повышения надежности функционирования устройства возможно применение резервирования функциональных частей и информационной шины. В этом случае резервируемые устройства сопряжения передают данные по двум направлениям резервированной по протоколам HSR (High-availability Seamless Redundancy) или PRP (Parallel Redundancy Protocol) шины. Успешные разработки по синхронизации данных в резервируемых телемеханических системах [4, 5] позволяют применить аналогичные способы и при резервировании ВКМ. Такая реализация предполагает, что ВКМ выполняется с резервированием основного вычислительного блока идентичным, один из которых в процессе работы имеет логическое состояние основной, а другой — резервный. Свои логические состояния, а также другую служебную информацию блоки передают друг другу по резервному каналу связи. Оба блока имеют одинаковые конфигурации, что позволяет одновременно выполнять функции по приему, обработке данных, реализации функций РЗА и генерации команд телеуправления. В случае телеуправления с резервируемого ВКМ необходимо обеспечить подачу только одной команды, недопустимо выдавать идентичные команды на один объект с обоих блоков. Поэтому определено, что выдача производится только с блока в логическом состоянии основной. Так как логические состояния блоков могут изменяться, то необходимо осуществлять контроль выполнения выданных

команд телеуправления в процессе и после смены состояний. Прием и обработка данных обоими блоками не является синхронными операциями, как и работа интерпретатора, поэтому и одновременность выдачи команд телеуправления не будет соблюдаться. Если основной блок выдал команду, и произошла смена логических состояний, то возможна ситуация, при которой ставший основным блок еще не успел сгенерировать и выдать команду телеуправления. Команда будет выдана повторно, что недопустимо. Для устранения подобной ситуации необходимо обеспечить идентичность вычислений результатов, влияющих на выдачу команд телеуправления. Это можно достичь непрерывной синхронизацией результатов работы интерпретатора резервного блока с основным. Идентичность работы функций РЗА основного блока осуществляется передачей результатов вычислений блока переменных на резервный. Такая передача осуществляется по резервному каналу связи. В момент выдачи команды основным такое же состояние устанавливается и на резервном. Поэтому, даже после смены логического состояния, блок, ставший основным (бывший резервным), вправе принять и обработать квитанцию с результатом выполнения (как в случае, если бы он ее и отправил), так как данные результатов работы алгоритмов между резервируемыми блоками синхронизованы.

Разработанная и реализованная программная архитектура РЗА распределенной информационной системы цифровой подстанции на основе протокола МЭК 61850 обеспечивает доступное, удобное и понятное средство для персонала служб РЗА по настройке и обслуживанию такого устройства и позволяет упростить и ускорить конфигурирование устройства с минимизацией времени его готовности. При использовании резервированного распределенного устройства РЗА предложен механизм синхронизации значений результатов работы алгоритмов РЗА, что позволяет корректно вырабатывать и контролировать выполнение команд телеуправления.

Список литературы

1. Шабад М.А. Сто лет релейной защите. Сборник материалов. 2-е изд. СПб ПЭИПК. 2007. 60 с.
2. Гуревич В.И. Микропроцессорные реле защиты. Устройство, проблемы, перспективы. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 336 с.
3. Ухов В.И., Рыкованов А.С., Половников М.С. Распределенная система релейной защиты, функционирующая по стандарту МЭК 61850 // Информационные системы управления в промышленности. 2015. №4. с.37-39.
4. Половников М.С., Ухов В.И. Опыт развития резервированных систем телемеханики на примере ЦППС «Систел» // Промышленная Энергетика 2014. № 7, с.43-48.
5. Ковцова И.О., Ухов В.И. Разработка и реализация ПО для цифрового счетчика SysteLLogic УИП.12 // Автоматизация в промышленности 2014. №1. с.21-26.

Половников Максим Сергеевич — ведущий инженер,
Ухов Владимир Иосифович — канд. физ.-мат. наук, технический директор ООО «СИСТЕЛ».
 Контактный телефон (496)-731-08-36.
 E-mail: polovnikovm@gmail.com uxob@mail.ru