

УДК 621.316

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-30-38

Формализация функциональных требований к релейной защите и автоматике цифровой подстанции

А.А. Волошин, А.А. Лебедев, Д.О. Благоразумов, В.А. Вальгер

Серия стандартов МЭК 61850 на сегодняшний день — наиболее распространенный источник описания оборудования и процессов ЦПС, следовательно, развитие перспективных технологий в области проектирования РЗА должно неизбежно удовлетворять требованиям стандарта. Его изначальное назначение ограничено областью описания объектов и процессов АСУ ТП, что соответствующим образом лимитирует и его возможности. Проектирование устройств РЗА следует проводить с учетом требований, предъявляемых МЭК 61850, в то же время сам стандарт не стремится и не обладает инструментарием для подробного описания структуры и принципа функционирования устройств РЗА, ограничиваясь описанием внешнего интерфейса для контроля необходимых данных, что является достаточным с точки зрения АСУ ТП. Существование подобных ограничений наглядно проявляется при разработке систем централизованной РЗА, РЗА с мигрирующими функциями, а также систем автоматизированного проектирования и контроля ЦПС, предъявляющих более жесткие, по сравнению с АСУ ТП, требования к описанию структуры информационной модели и информационного обмена между ее частями. Факт отличия фактического алгоритмического обеспечения функций РЗА от их информационных моделей оказывает влияние на процесс разработки функциональных требований к логическим узлам.

Разработка функциональных требований к ЛУ невозможна без предварительного понимания структуры логического устройства, которое будет отражать определенную функцию, однако МЭК 61850 не нормирует структуры логических устройств. В результате, как структура логических устройств, так и реализуемый функционал в рамках одного ЛУ, могут существенно отличаться у различных производителей, что негативно сказывается на взаимосовместимости предлагаемых на рынке решений. Разработка логических устройств и узлов в рамках исследования выявила ряд проблем, связанных с особенностями реализации МЭК 61850, приводящих к неоднозначности реализаций ЛУ и логических устройств: стандарт не устанавливает источники сигналов, обеспечивающих функционирование ЛУ, не рассматривает функционал обработки и формирования измерений для нужд релейной защиты в составе информационной модели. В его рамках не описаны функции, характерные для отечественной практики проектирования РЗА, при этом корпоративный профиль ФСК ЕЭС конкретизирует их описание не в полной мере, поскольку наследует структуру описания от МЭК 61850.

Представлено изменение подхода к применению логических узлов. На данный момент информационная модель функции представляет собой лишь внешний интерфейс, позволяющий получить из «недр» алгоритмического обеспечения значения необходимых сигналов с требуемой семантикой, что представляет функциональную ценность лишь для АСУ ТП. Таким образом, функциональные требования к логическому узлу должны определять требования не к алгоритмическому обеспечению, реализующему функцию, а к внешнему интерфейсу, что несколько абсурдно. В рамках статьи предложено сопоставить некоторое независимое обособленное алгоритмическое обеспечение для каждого узла таким образом, чтобы структура алгоритмического обеспечения соответствовала структуре информационной модели. С учетом данной особенности разработаны логические устройства и узлы, отражающие функции РЗА объектов среднего и высокого классов напряжений, проведена категоризация объектов данных на категории входных, выходных сигналов и параметров настройки, а также расширение информационных моделей ЛУ в случае необходимости.

В ходе исследования установлен факт множественного применения однотипных узлов в различных функциях РЗА, предъявляющих специфические требования к работе ЛУ, в связи с чем принято решение унификации всего специфического функционала в рамках одного типа ЛУ с возможностью выбора необходимого режима работы при помощи параметров настройки.

Разработка алгоритмического обеспечения выявила повторяющиеся типы структуры алгоритмического обеспечения логических узлов, которые были объединены в три категории: измерительные, пуско-функциональные, функциональные. Каждому из типов ЛУ соответствует определенный набор функциональных блоков в составе ЛУ.

Проектирование функций РЗА на основе нового подхода к применению ЛУ несет в себе следующие преимущества: модульная структура схемы защиты позволяет в широком диапазоне выбирать функциональность защиты на этапе проектирования; строгое определение взаимосвязей и информационного обмена между ЛУ упрощает понимание функционирования защиты, а также дает возможность оценить влияние режима работы ЛУ на работу функции защиты в целом; модульная структура схемы защиты с предсказуемым поведением ЛУ не только контролирует исправную работу защиты автоматическими средствами, но и проектирует защиту автоматическими средствами. Недостатком подхода является необходимость создания алгоритмического обеспечения РЗА с нуля, поскольку разработанные ранее алгоритмы не подразумевают структуры информационной модели.

В рамках статьи процесс разработки логического устройства рассмотрен на примере функции МТЗ ВЛ среднего класса напряжения с подробным описанием структуры логического устройства и назначения представленных ЛУ. В ходе работы спроектировано ПО конфигуратора, позволяющего формировать логические устройства на основе библиотеки разработанных ЛУ с последующим созданием бинарных файлов для загрузки на аппаратную платформу. Однозначное описание информационного обмена между ЛУ потребовало расширения SCL-синтаксиса, в результате чего сформирован новый формат файлов CLD. Механизм применения объектов данных ссылок вида InRef и BlkRef в рамках стандартного синтаксиса SCL неприменим, поскольку последние лишены семантического смысла.

Описаны успешный процесс тестирования и аттестации разработанных алгоритмов/логических узлов и логических устройств на аппаратной платформе, а также обнаруженные в ходе тестирования проблемы, связанные с отсутствием нормативных требований к функциональному тестированию логических узлов и методикам учета влияния различных меток качества объектов данных.

Ключевые слова: РЗА ЦПС, функциональные требования, информационная модель, типизация логических узлов, корпоративный профиль, МЭК 61850.

Для цитирования: Волошин А.А., Лебедев А.А., Благоразумов Д.О., Вальгер В.А. Формализация функциональных требований к релейной защите и автоматике цифровой подстанции // Вестник МЭИ. 2022. № 5. С. 30—38. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-30-38.

Formalization of Functional Requirements for Digital Substation Protection and Automatic Control Systems

A.A. Voloshin, A.A. Lebedev, D.O. Blagorazumov, V.A. Val'ger

The series of IEC 61850 standards is currently the most widely used source for description of a digital substation's equipment and processes; therefore, advanced technologies in the field of designing relay protection and automatic controls (PAC) shall inevitably be developed in compliance with the requirements of these standards. However, the scope of this standard series was originally limited to describing SCADA-controlled facilities and processes, which poses certain restrictions on the standard series capabilities. PAC systems should be designed subject to the IEC 61850 requirements, but at the same time, the IEC 61850 standard does not provide any tools and has no intent for thoroughly describing the structure and operational principle of PAC devices, and only describes the external interface for monitoring the necessary data, which is sufficient from the SCADA system perspective. Such restrictions of the standard series can be clearly seen when it comes to designing centralized PAC systems, PACs with migrating functions and digital substation computer-aided designing and monitoring systems, which pose more stringent (compared to a SCADA) requirements for describing the information model structure and for data exchange between its parts. The fact that the actual algorithmic support of the PAC functions differs from their information models has an impact on designing the functional requirements for logic units (LU).

The functional requirements for LUs cannot be developed unless there is understanding of the logical device (LD) structure that will reflect a certain function; however, IEC 61850 does not specify any logical device structure. As a result, both the structure of logical devices and the functions implemented within one LU may differ essentially from manufacturer to manufacturer, which has a negative impact on the compatibility of the solutions offered in the market. The development of logical devices and units within the research framework revealed a number of problems connected with the specific features of implementing IEC 61850, which result in lack of unambiguity of LU and LD implementations. Thus, the standard does not specify the sources of signals supporting the LU operation, nor does it consider a functional for processing and producing measurements for relay protection as part of the information model. The standard does not describe the functions typical for the domestically adopted PAC designing practice. It should also be noted that the UES Federal Grid Company's corporate profile specifies them only partially since it inherits the description structure from IEC 61850.

The article suggests a change in the approach to the use of logical units. Currently, the function information model represents only an external interface. This interface makes it possible to obtain, from the midst of algorithmic support, the values of necessary signals with the required semantics, which is functionally useful only for the SCADA. Thus, it turns out that the functional requirements for an LU should define the requirements for the external interface instead of the algorithmic support implementing the PAC function, which to a certain degree makes a nonsense. The article proposes to set up, for each LU, an independent separate algorithmic support, so that the algorithmic support structure would be consistent with that of the information model. In view of this feature, logical devices and units are developed that reflect the PAC functions for facilities of medium and high voltage classes. In addition, data objects are classified into input, output signals and setting parameters, and the extensions of LU information models, should a need to do so arises, are suggested.

The study has revealed multiple applications of similar LUs in different PAC functions, which pose specific requirements for the LU operation. In this connection, it is decided to standardize the entire specific functional within a single LU type with the possibility to choose the necessary operation mode by changing the setting parameters.

The development of the algorithmic support has revealed repeating types of LU algorithmic support structure, which were combined into three categories: measuring, starting-functional, and functional. For each of the LU types, there is a certain set of LU functional blocks.

The designing of PAC functions on the basis of the new approach to the use of LUs has the following advantages: the protection scheme modular structure makes it possible to select the set of protection functions in a wide range at the designing stage; strict definition of interconnections and data exchange between LUs simplifies the understanding of protection operation, and opens the possibility to evaluate the influence of the LU operation mode on the performance of the protection function as a whole; the protection scheme modular structure with a predictable behavior of LUs makes it possible not only to monitor the correct operation of protection using special automatic tools, but also to automatically develop protection schemes. The disadvantage of this approach is the need to develop the PAC algorithmic support from scratch, because the previously developed algorithms do not imply the information model structure.

The process of developing a logical device is shown within the article framework on the example of the medium voltage class overhead power line overcurrent protection with a detailed description of the logic device structure and the purpose of the presented LUs. A configurator software was developed during the study, which makes it possible to configure logical devices based on the library of developed LUs with subsequently making binary files to be uploaded on a hardware platform. The unambiguous description of information exchange between LUs generated the need to extend the SCL syntax, as a result of which a new format of CLD files was produced. The mechanism of applying reference data objects like InRef and BlkRef, that are part of the standard SCL syntax is not applicable because they lack semantic meaning. The article describes a successful process of testing and validation of the developed algorithms/logic units and logic devices on a hardware platform, as well as the problems revealed during the testing, which are connected with the lack of regulatory requirements for functional testing of logic units and methods for taking into account the impact of various quality labels of data objects.

Key words: digital substation PAC systems, functional requirements, information model, standardization of logic units, corporate profile, IEC 61850

For citation: Voloshin A.A., Lebedev A.A., Blagorazumov D.O., Val'ger V.A. Formalization of Functional Requirements for Digital Substation Protection and Automatic Control Systems. Bulletin of MPEI. 2022;5:30—38. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-30-38.

Введение

Для исследования проблемы определения функциональных требований к логическим узлам в рамках комитета В5 CIGRE была создана рабочая группа В5.64 «Методы определения функциональных требований к релейной защите и автоматике энергосистем». В соответствии с отчетом [1], опубликованным в 2018 г., МЭК 61850 является наиболее популярным языком описания оборудования и процессов на подстанции. Отчет преимущественно рассматривает распространённость применяемых методов и форматов (языков) описания конфигурации среды участников рынка, но не затрагивает детального описания процесса и рабочего порядка формирования функциональных требований.

В настоящий момент активно развиваются проекты централизованной релейной защиты и автоматики (РЗА), РЗА с мигрирующими функциями, автоматических систем тестирования [2, 3]. Указанные системы непременно должны быть интегрированы в цифровые подстанции (ЦПС), а следовательно, соответствовать требованиям стандартов серии МЭК 61850, однако ограничения МЭК 61850, связанные с расширением области применения стандарта в ходе его развития, вызывают существенные затруднения при попытке реализации указанных систем.

Рассматриваемая тема содержит в себе некоторое противоречие, не позволяющее напрямую определить функциональные требования к логическим узлам (ЛУ). Оно связано с тем фактом, что предъявление каких-либо функциональных требований к логическим узлам возможно лишь с учетом понимания структуры логического устройства, составной частью которого являются нормируемые логические узлы. Однако, какой-либо нормативной базы, содержащей стандартизированные описания логических устройств согласно информационной модели МЭК 61850, на текущий момент не существует. В связи с этим для разработчика или исследователя проблематика разработки функциональных требований к логическим узлам неизбежно включает в себя проблему разработки функциональных требований и к логическому устройству.

«Бесшовное» создание логических устройств релейной защиты в соответствии с требованиями МЭК 61850, основанными на традиционных для СНГ принципах, невозможна в силу того факта, что информационные модели представленных в рамках МЭК 61850-7-4 логических узлов могут не подразумевать каких-либо традиционных функций или особенностей, например ДФЗ или блокировки качаний по разрешающему принципу работы. В связи с этим возникает необходимость расширения информационной модели новыми объектами данных, классами логических узлов или изменением подхода к применению стандартных для МЭК 61850-7-4 узлов. Адаптацией МЭК 61850 к отечественным реалиям служит Корпоративный профиль МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС». На момент проведения исследова-

ния он еще не был утвержден и находился в стадии проекта, в связи с чем проводимые изыскания подразумевали полный фронт работ по реализации отечественных принципов РЗА на базе МЭК 61850. Следует отметить, что даже в виде утвержденного стандарта организации корпоративный профиль не решает принципиальных проблем разработки функциональных требований к логическим узлам и устройствам.

Особенности МЭК 61850, затрудняющие разработку функциональных требований

Определение функциональных требований к логическим узлам невозможно без понимания структуры логического устройства, содержащего данные ЛУ. Однако, какой-либо нормативной базы, содержащей стандартизированные описания логических устройств согласно информационной модели МЭК 61850, на текущий момент не существует. Таким образом, для разработчика или исследователя проблематика разработки функциональных требований к логическим узлам неизбежно включает в себя проблему разработки функциональных требований и к логическому устройству.

Поскольку состав логических устройств нормативно не определяется, возможны различные подходы к компоновке логических узлов в логические устройства. В рамках данного исследования использован принцип соответствия функции РЗА определенному обособленному логическому устройству. При попытке подбора состава логических узлов для логического устройства определенной функции РЗА возник ряд проблем, среди которых можно выделить следующие основные.

1. МЭК 61850 не определяет источники сигналов, на основе которых формируются значения объектов данных логического узла. Это приводит к неоднозначности подходов реализации функции РЗА на основе логических узлов, а, следовательно, и неоднозначности состава логических узлов в логическом устройстве. Таким образом, невозможно однозначно сформулировать функциональные требования к логическому узлу, не определяя строгим образом набор входных сигналов, необходимых для работы узла.

На примере свободно конфигурируемой логики терминалов РЗА фирмы АВВ [4] можно видеть, что производители, стремящиеся использовать МЭК 61850 для полного описания структурно-функциональных схем алгоритма, вынуждены аналогичным образом определять входные сигналы функциональных блоков, соотносящихся с логическими узлами информационной модели. Проблема данной практики заключается в том, что входные сигналы логических узлов и связи между ними определяются лишь в проприетарном ПО производителя и не находят отражения в составе SCL файлов.

2. МЭК 61850 не рассматривает функционал обработки и формирования измерений в составе информационной модели, а также не определяет логические

узлы обработки и преобразования измерений для нужд релейной защиты. Данный подход обеспечивает полную свободу производителям в вопросе обработки и преобразования измерений, что позволяет продолжить применение разработанного ранее алгоритмического обеспечения. Недостаток заключается в отсутствии понимания порядка распределения измерений по логическим узлам — каждый логический узел, с точки зрения информационной модели, уже содержит необходимый набор измерений, что ведет к неоднозначности структуры реализации функций защит, а, следовательно, и функциональных требований. Следовательно, можно сделать вывод, что однозначное понимание алгоритмического источника преобразованных измерений в рамках информационной модели МЭК 61850 отсутствует.

3. МЭК 61850 преимущественно описывает логические узлы, выполняющие базовые функции, к которым можно отнести различного рода реле. В то же время, большинство отечественных подходов, таких как блокировки качаний по разрешающему принципу работы и неисправности цепей напряжения, АВР и ВНР, логическая защита шин, ДФЗ и прочие высокочастотные защиты, функции противоаварийной автоматики и др., к построению РЗА не предусмотрены. Существующий корпоративный профиль ФСК ЕЭС [5] пытается адаптировать МЭК 61850 к отечественным реалиям, однако ограничивается лишь внедрением новых классов логи-

ческих узлов и объектов данных, в связи с чем проблемы отсутствия указанных источников входных данных и неопределенной структуры логических устройств актуальны и для корпоративного профиля [5].

Изменение подхода к применению стандарта МЭК 61850 в части разработки релейной защиты и автоматики

На текущий момент МЭК 61850 подразумевает, что информационная модель — это лишь семантически определенный интерфейс для вывода данных наружу, в то время как фактическими источниками является алгоритмическое обеспечение за рамками информационной модели. Подобная практика представляет интерес как для производителей, поскольку не требует существенного изменения разработанного ранее алгоритмического обеспечения функций РЗА, так и обеспечения наладки АСУ ТП, поскольку значимость имеет лишь набор данных и их формат [6]. На рисунке 1 приведен пример подобного технического решения.

Приведенный факт говорит о том, что информационные модели, а, следовательно, и принципы функционирования логических узлов одного и того же класса, могут значительно отличаться у разных производителей. Постановка вопроса определения функциональных требований к логическим узлам несколько абсурдна, так как функциональные требования необходимо,

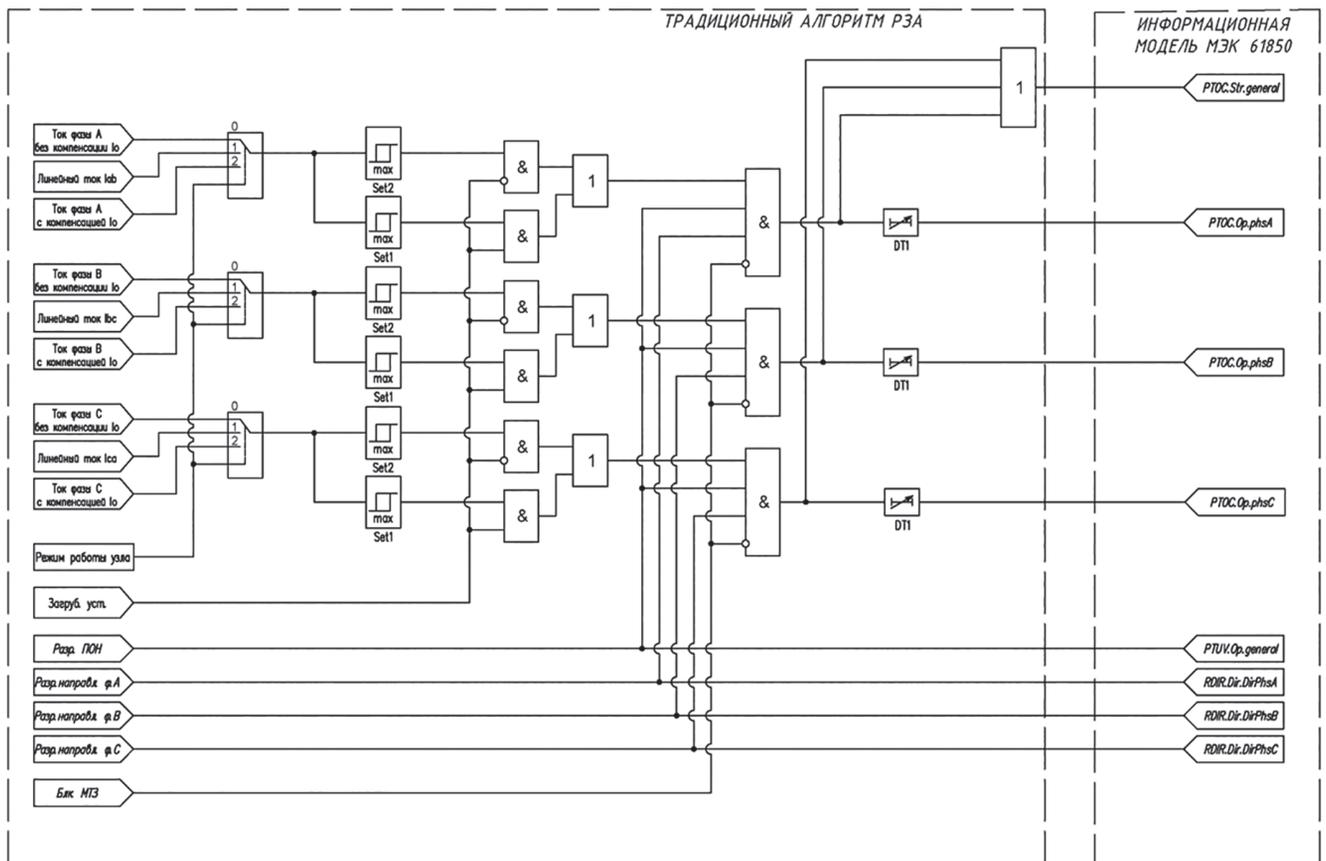


Рис. 1. Существующий подход к применению стандарта МЭК 61850

в первую очередь, определять для алгоритмического обеспечения, а не для интерфейса, извлекающего из него данные. Сложившаяся практика использования стандарта характеризуется отличием структуры информационной модели от структуры алгоритмического обеспечения, отсутствием однозначно определяемых источников данных для ЛУ и стандартизированной структуры информационной модели функций РЗА, что в совокупности существенно препятствует развитию технологий централизованной РЗА, РЗА с мигрирующими функциями, а также автоматизированных комплексов проектирования и наладки РЗА ЦПС.

В связи с возможностью развития перечисленных технологий было принято решение о смене подхода применения логических узлов таким образом, чтобы логический узел подразумевал обособленное и независимое алгоритмическое обеспечение функции. При таком подходе определение функциональных требований к логическим узлам идентично определению функциональных требований к обособленному алгоритмическому обеспечению логического узла, в связи с чем возникает задача поиска необходимого набора входных сигналов и данных. В то же время, для некоторых ЛУ функциональное обеспечение оказалось настолько различным, что возникла необходимость формирования производных новых классов ЛУ, а при отсутствии близкого к узлам МЭК 61850-7-4 [7] функционала — необходимость определения совершенно новых классов логических узлов. Новые классы логических узлов были установлены для функций АВР, ВНР, БК, ЗДЗ, ЗНФ, ЗНР, ЗОФ, ЛЗШ, ГЗ, ВЧ защит и др.

В ходе исследования составлены логические устройства, отражающие функции РЗА объектов среднего и высокого класса напряжений, для входящих в их состав логических узлов выполнено расширение информационной модели: объекты данных категоризированы на группы входных, выходных сигналов и параметров настройки; в случае необходимости добавлены новые объекты данных (преимущественно входных сигналов); разработано алгоритмическое обеспечение логических узлов в соответствии с установленными категориями. В результате выявлена необходимость расширения информационной модели МЭК 61850 новыми классами логических узлов, преимущественно в случаях реализации отечественных подходов к построению РЗА, не предусмотренных в рамках МЭК 61850, а также описания логических узлов обработки измерений.

Функциональные типы логических узлов

При разработке алгоритмического обеспечения выделяют повторяющиеся типы структуры узлов, классифицированные по назначению на:

- измерительные логические узлы;
- пуско-функциональные логические узлы;
- функциональные логические узлы;
- базовые (обязательные) логические узлы.

К измерительным логическим узлам относят логические узлы, выполняющие исключительно функцию фильтрации входных мгновенных значений тока и напряжения с последующим формированием действующих значений и комплексных величин фазных/междуфазных токов, напряжений, сопротивлений, а также величин токов и напряжений последовательностей основной и высших гармоник; величину частоты измеряемых величин.

Пуско-функциональные логические узлы обеспечивают контроль измеряемых величин, формируемых измерительными логическими узлами, а также внешних дискретных сигналов, характеризующих условия срабатывания логического узла, и в результате работы формируют сигналы срабатывания пускового органа или функции. Наиболее наглядными примерами таких узлов являются логические узлы реле (PTOV, PTOC, PDIS и т. п.), однако к пуско-функциональным относят логические узлы и других функций — например, реле направления мощности (RDIR) или блокировку качаний (RPSB).

Функциональные логические узлы формируют комплексные выходные логические сигналы управляющих воздействий на основе набора входных сигналов от пусковых органов и внешних дискретных сигналов.

К базовым (обязательным) логическим узлам причисляют логические узлы LLN0, LPHD и логический узел SGCB. Логические узлы LLN0, LPHD, SGCB, в соответствии с требованиями МЭК 61850, должны всегда находиться в составе логического устройства.

Разработка логических устройств (функций) релейной защиты и автоматики на основе логических узлов нового типа

В результате изменения подхода каждый логический узел становится носителем цельного алгоритма, выполняющего определенную функцию, а также обладает однозначно определяемыми входными и выходными сигналами. Таким образом, на основе логических узлов нового типа существует возможность формирования цельного алгоритма релейной защиты. Структура алгоритмического обеспечения полученной защиты будет идентична информационной модели МЭК 61850, что имеет ряд преимуществ:

- модульную структуру схемы защиты: структурно-функциональная схема защиты состоит из независимых друг от друга модулей, что дает широкий выбор требуемой функциональности на этапе проектирования, например, количества и типа ступеней в используемой защите, используемых функций (ускорение, контроль направленности, и т. п.);
- строгое определение взаимосвязей и информационного обмена между логическими узлами, как в составе одного, так и в составе различных логических устройств, упрощает понимание и восприятие принципов функционирования защиты, позволяет предсказуемо оценивать влияние изменения режимов работы ло-

гического узла на работу функции релейной защиты и определять источники сигналов измерений для узлов, что является критически важным для функционирования централизованной РЗА, РЗА с миграцией функций, а также автоматизированных систем проектирования и наладки подстанции;

- модульная структура схемы защиты с полностью предсказуемым поведением логических узлов не только автоматическим образом контролирует исправную работу защиты, но и автоматически проектирует необходимую конфигурацию защит.

Недостаток подхода определения логического узла как обособленной части алгоритмического обеспечения заключается в необходимости для производителей менять разработанное ранее алгоритмическое обеспечение терминалов, не имеющее общих черт со структурой информационной модели МЭК 61850. Следует отметить, что создание алгоритмов, соответствующих структуре информационной модели МЭК 61850, создаст проблему реализации в рамках алгоритма обработки меток качества сигналов, в то же время принципы присвоения меток качества выходных сигналов на основании меток качества входных сигналов не регламентированы и реализуются на усмотрение производителя. Таким образом, существует потребность использования единообразных принципов при формировании ме-

ток качества выходных сигналов для исключения необходимости обособленного учета поведения различных логических узлов.

Изучить структурную схему разрабатываемых логических устройств можно на примере разработки логического устройства МТЗ, предназначенного для воздушных линий среднего уровня напряжения. Функция МТЗ состоит из двух логических устройств — непосредственно логического устройства МТЗ и устройства измерений, содержащего ЛУ, осуществляющих обработку и преобразование измерений для нужд релейной защиты. Выделение логического устройства измерений необходимо, поскольку сформированные измерения могут быть использованы другими функциями РЗА, кроме МТЗ, что позволяет избежать потерь вычислительной мощности и дублирования вычислений. Схема логических устройств функции МТЗ дана на рис. 2, а назначение логических узлов на схеме приведено в таблице.

Представленные логические узлы обладают универсальной функциональностью для любых применений в составе функций РЗА, которая ограничивается для применения МТЗ посредством корректной конфигурации входов ЛУ и параметров настройки. Так, для узла ступени МТЗ РТОС в качестве контролируемого тока возможен выбор фазных (*A*) или линейных (*PPA*)

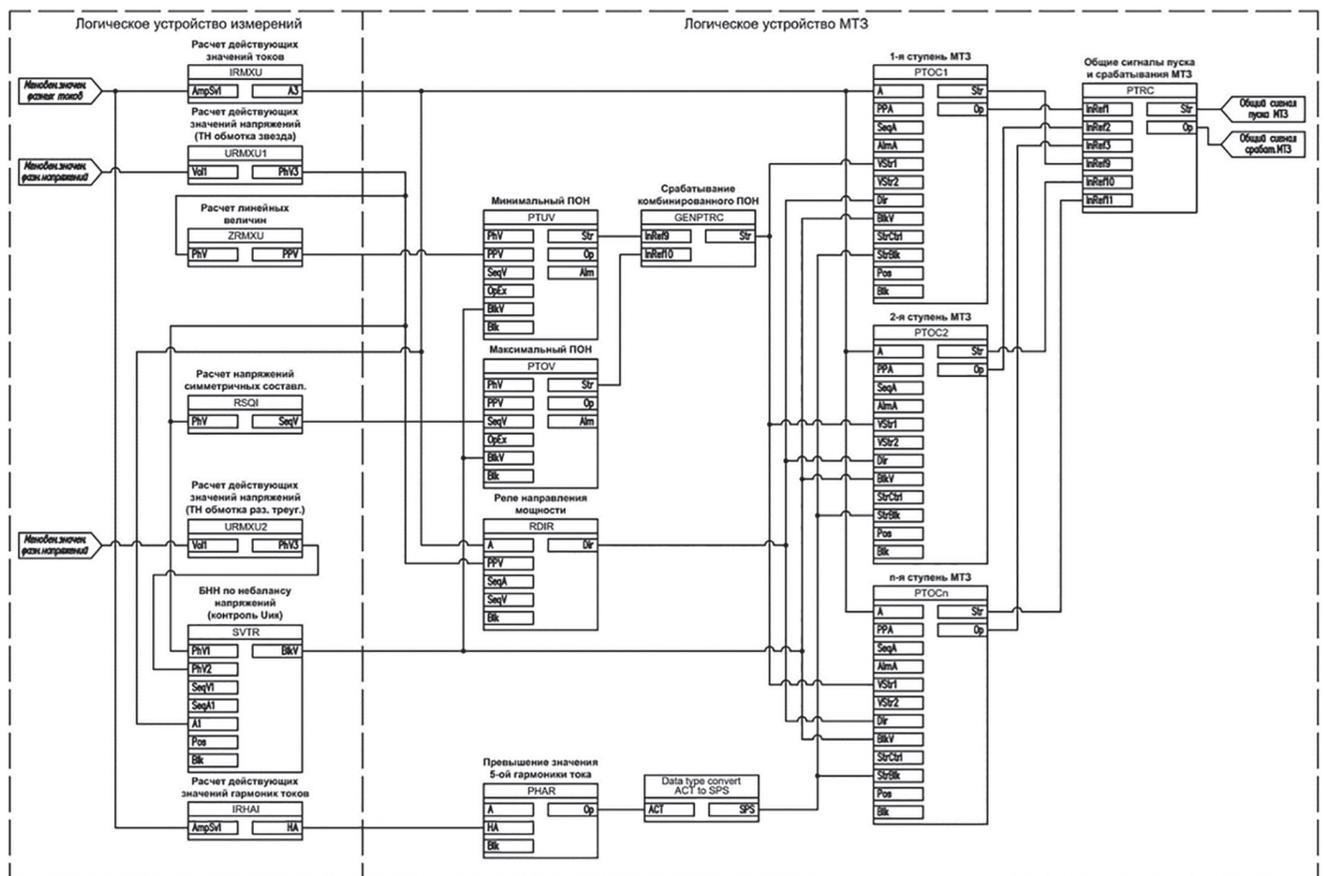


Рис. 2. Структурно-функциональная схема логических устройств МТЗ

Описание назначения логических узлов

Логические узлы			В наличии в МЭК 61850/ КП ФСК ЕЭС
наименование	назначение	тип	
IRMXU	Формирование действующих значений токов на основе мгновенных значений	измерительный	—/—
URMXU	Формирование действующих значений напряжений на основе мгновенных значений		—/—
ZRMXU	Формирование линейных токов, напряжений на основе действующих фазных значений		—/—
RSQI	Вычисление векторов токов и напряжений симметричных составляющих		—/—
IRHAI	Расчет действующих значений гармоник токов		—/—
SVTR	Блокировка неисправности цепей напряжения	пуско-функциональный	—/+
PTOV	Максимальное реле напряжения, контролирует напряжение обратной последовательности		+/+
PTUV	Минимальное реле напряжения, контролирует линейные напряжения		+/+
RDIR	Реле направления мощности		+/+
PHAR	Реле превышения определенной гармоники тока, контролирует 2-ю гармонику тока		+/+
PTOC	Степень максимальной токовой защиты, контролирует фазные токи		+/+
GENPTRC	Объединение сигналов пуска и срабатывания ступеней защит по схеме И/ИЛИ	функциональный	—/—
PTRC	Объединение сигналов пуска и срабатывания ступеней защит		+/+

токов, токов симметричных составляющих (*SeqA*) или аварийных токов (приращений) (*AlmA*). В рамках данного логического устройства контролируются лишь фазные токи. В составе узла предусмотрен контроль ПОН различных СШ, контроль требуемой направленности, информацию о которой формирует узел PHM RDIR, контроль БНН с возможностью вывода контроля ПОН или направленности при срабатывании БНН, контроль сигнала ступени автоматического ускорения, контроль положения разъединителя (применяется для аварийной МТЗ). В рамках использования МТЗ для узла введен лишь контроль единичного комбинированного ПОН и требуемой направленности («вперед»), а также контроль БНН.

В рамках исследования разработано ПО конфигурирующего формирования логических устройств посредством добавления в проект и определения соединений различных разработанных логических узлов (представленных в рамках ПО как библиотеки функциональных элементов), конфигурировать добавленные узлы для обеспечения требуемых режимов работы, выгружать бинарные файлы полученных функций, адаптированные под требуемую целевую платформу. Следует отметить, что в рамках стандартного синтаксиса SCL файлов не предусмотрены элементы, отражающие входные сигналы логических узлов или связи между логическими узлами в рамках одного

физического устройства. Механизм применения объектов данных ссылок вида InRef и BlkRef неприменим, поскольку последние лишены семантического смысла. В связи с данной проблемой для отражения и сохранения связей логических узлов в проекте разработан формат файлов CLD, содержащий строгое описание информационного обмена между логическими узлами.

Заключение

Таким образом, распространенность серии стандартов МЭК 61850 и их преимущественное использование для описания оборудования подстанции подразумевают необходимость применения стандартов для новых систем РЗА и новых задач, однако требования стандарта не адаптированы к реализации инновационных систем и решений в области РЗА.

Функциональные требования к логическим узлам невозможно определить без уточнения архитектуры логических устройств. Отсутствие нормирования структуры логических устройств приводит как к проблемам с совместимостью решений, так и различной практике применения логических узлов. Корпоративные профили также не решают данной проблемы, поскольку не содержат нормированной структуры логического устройства защиты.

Реализация централизованной РЗА, РЗА с миграцией функций и систем автоматизированного проекти-

рования и наладки терминалов РЗА ЦПС существенно затруднена рамками стандарта МЭК 61850, отделяющего информационную модель и алгоритмическое обеспечение. Для решения данного вопроса следует установить соответствие логического узла определенному изолированному независимому алгоритмическому обеспечению.

Описание взаимодействия ЛУ (для характеристики структуры логического устройства), а также определение функциональных требований ЛУ и его алгоритмического обеспечения требуют однозначного указания входных и выходных данных ЛУ/алгоритма. МЭК 61850 на данный момент не удовлетворяет этому требованию, поскольку применение объектов данных ссылок InRef и BlkRef предоставляет возможность определения связи, но последняя не обладает семантическим

смыслом, что существенно усложняет процесс проектирования/наладки. Необходимо расширить стандарт как в части описания объектов данных логических узлов, так и в части SCL синтаксиса для достижения возможности указания однозначных семантически понятных связей между логическими узлами в составе одного физического устройства.

Определение логического узла как структуры, содержащей специализированное алгоритмическое обеспечение, влечет за собой создание набора логических узлов, обеспечивающих преобразование и формирование измерений для нужд релейной защиты.

Необходима стандартизация ПМИ логических узлов, а также принципов формирования меток качества объектов данных в рамках функционального обеспечения РЗА, отсутствующая на данный момент.

Литература

1. Siqueira, I.P., Faarooqui, N.U., Nair, N.-K.C. A Review of International Industry Practices for Specification of Functional Requirements of Protection, Automation and Control. Paris: CIGRE Sci. & Eng., 2018. No. 11.
2. Дьяков А.Ф., Волошин А.А., Жуков А.В., Нудельман Г.С. Применение оптимизационных методов при создании функционально интегрированных систем релейной защиты и автоматики // Релейщик. 2016. № 1. С. 24—31.
3. Волошин А.А. и др. Сравнение различных вариантов построения РЗА ЦПС // Передача и распределение. 2017. № 2(41). С. 82—87.
4. Программный инструмент конфигурирования интеллектуальных устройств защиты и управления РСМ600. Руководство по началу работ [Электрон. ресурс] www.library.e.abb.com/public/6f75c44e9fd34819be13095339b79ae0/PCM60_getting_started_guide_758849_RU.pdf (дата обращения 20.10.2021).
5. СТО 56947007-25.040.30.309—2020. Корпоративный профиль МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС».
6. СТО 56947007-25.040.40.236—2016. Правила технической эксплуатации АСУ ТП ПС ЕНЭС. Общие технические требования.
7. IEC 61850-7-4:2010. Communication Networks and Systems for Power Utility Automation. Pt. 7-4: Basic Communication Structure. Compatible Logical Node Classes and Data Object Classes.

Сведения об авторах:

- Волошин Александр Александрович** — кандидат технических наук, заведующий кафедрой релейной защиты и автоматизации энергосистем НИУ «МЭИ», e-mail: voloshin.aa@yandex.ru
- Лебедев Антон Анатольевич** — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем НИУ «МЭИ», e-mail: lebedev.anan@yandex.ru
- Благоразумов Дмитрий Олегович** — старший преподаватель кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем НИУ «МЭИ», e-mail: blagorazumov.do@mail.ru
- Вальгер Виталий Александрович** — инженер кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем НИУ «МЭИ», e-mail: ric29g@gmail.com

References

1. Siqueira, I.P., Faarooqui, N.U., Nair, N.-K.C. A Review of International Industry Practices for Specification of Functional Requirements of Protection, Automation and Control. Paris: CIGRE Sci. & Eng., 2018;11.
2. D'yakov A.F., Voloshin A.A., Zhukov A.V., Nudelman G.S. Primenenie Optimizatsionnykh Metodov pri Sozdanii Funktsional'no Integrirovannykh Sistem Reley-noy Zashchity I Avtomatiki. Releyshchik. 2016;1:24—31. (in Russian).
3. Voloshin A.A. i dr. Sravnenie Razlichnykh Variantov Postroeniya RZA TSPS. Peredacha i Raspredelenie. 2017;2(41):82—87. (in Russian).
4. Programmnyy Instrument Konfigurirovaniya Intel'lektual'nykh Ustroystv Zashchity i Upravleniya PCM600. Rukovodstvo po Nachalu Rabot [Elektron. Resurs] www.library.e.abb.com/public/6f75c44e9fd34819be13095339b79ae0/PCM60_getting_started_guide_758849_RU.pdf (Data Obrashcheniya 20.10.2021). (in Russian).
5. СТО 56947007-25.040.30.309—2020. Korporativnyy Profil' MEK 61850 PAO «FSK EES». (in Russian).
6. СТО 56947007-25.040.40.236—2016. Pravila Tekhnicheskoy Ekspluatatsii ASU TP PS ENES. Obshchie Tekhnicheskieskie Trebovaniya. (in Russian).
7. IEC 61850-7-4:2010. Communication Networks and Systems for Power Utility Automation. Pt. 7-4: Basic Communication Structure. Compatible Logical Node Classes and Data Object Classes.

Information about authors:

Voloshin Aleksandr A. — Ph.D. (Techn.), Head of Relay Protection and Automation of Energy Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: voloshin.aa@yandex.ru

Lebedev Anton A. — Ph.D. (Techn.), Senior Lecturer of Relay Protection and Automation of Energy Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: lebedev.anan@yandex.ru

Blagorazumov Dmitriy O. — Senior Lecturer of Relay Protection and Automation of Energy Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: blagorazumov.do@mail.ru

Val'ger Vitaliy A. — Engineer of Relay Protection and Automation of Energy Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: ric29g@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 23.11.2021

The article received to the editor: 23.11.2021