

Практические аспекты реализации МЭК 61850-9-2 в микропроцессорных защитах

А.Н.ПОДШИВАЛИН, И.А.КАПУСТИНА, И.Н.НИКОЛАЕВ

Исследовательский центр «Бреслер»

Россия

podshivalin_a@ic-bresler.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МЭК 61850-9-2, цифровая передача аналоговых сигналов, цифровая подстанция.

1 ВВЕДЕНИЕ

Устройства релейной защиты и автоматики оперируют сигналами токов и напряжений, измеренными в определенных (узловых) точках электрической сети, и оценивают состояние защищаемого электроэнергетического объекта. В традиционных схемах аналоговые величины подводятся непосредственно к устройству релейной защиты от измерительных трансформаторов напряжения и тока (рис. 1). Микропроцессорные терминалы осуществляют аналогово-цифровое преобразование этих сигналов.



Рис. 1: Традиционная схема подведения аналоговых величин к устройству РЗА

Стандарт МЭК 61850, завоевывающий все большую популярность, предоставляет возможность цифрового обмена информацией между измерительными преобразователями и терминалами защиты. Цифровые измерительные преобразователи (ЦИП) (рис. 2), являющиеся частью цифровой подстанции, оцифровывают аналоговые сигналы и передают в шину процесса в виде пакетов, обеспечивающих их маркировку и целостность при передаче [1], [2]. Шина процесса представляет собой коммуникационную сеть, передающую информацию от источников данных устройствам-подписчикам. Микропроцессорные терминалы принимают цифровые пакеты и выделяют нужную информацию о токах и напряжениях. Передача отсчетов мгновенных значений токов и напряжений требуется для исполнения всего диапазона функций РЗА.

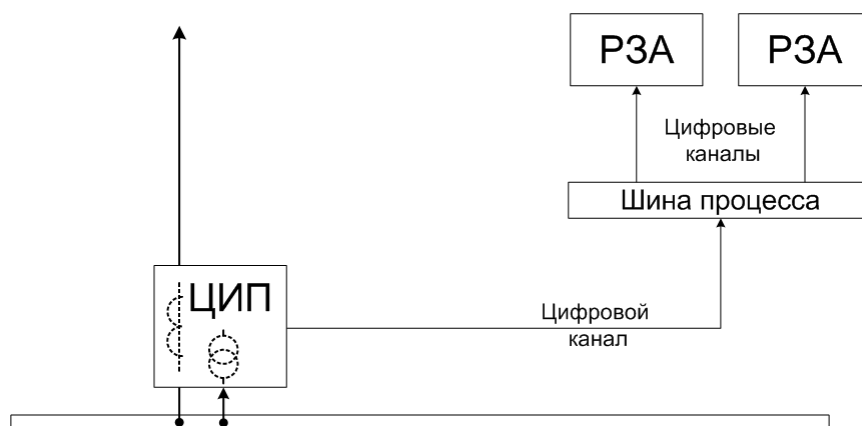


Рис. 2: Цифровая схема подведения аналоговых величин к устройству РЗА

Цифровая связь, как правило, осуществляется по оптическим кабелям и имеет ряд преимуществ по отношению к традиционным проводным схемам [3], [4], [5]:

- значительное сокращение кабельных связей на подстанции,
- высокая электромагнитная помехозащищенность передачи данных,
- обеспечение гальванической развязки цепей,
- повышенная надежность передачи данных (контроль наличия канала связи и целостности данных),
- повышенная точность измерений,
- возможность внедрения современных способов измерений.

Имеются и недостатки, связанные с ограничениями применения ЦИП:

- единая частота дискретизации (выбирается по самым требовательным устройствам),
- погрешность работы ЦИП сказывается на всех его подписчиках,
- высокие требования к вычислительной мощности терминалов защиты для обработки входящей информации,
- трудность достижения требуемой синхронности измерений одной системы шин или всей подстанции (ранее это обеспечивалось техническими решениями внутри терминала).

Переход к цифровым технологиям происходит с сохранением, а отчасти и усилением, требований надежности и совместимости. Настоящий доклад посвящен исследованию режимов работы систем с цифровой передачей аналоговых сигналов в сравнении с традиционными технологиями, выявлению и преодолению возможных недостатков технологических решений.

2 КЛАССИФИКАЦИЯ ЭФФЕКТОВ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ ДЛЯ УСТРОЙСТВ РЗА

Традиционные микропроцессорные решения предполагают, что измерение аналоговых сигналов производится терминалом с определенной дискретизацией по времени. Частота дискретизации может быть постоянной, а может подстраиваться под частоту входного сигнала. Поскольку при использовании МЭК 61850-9-2 функция измерения передана ЦИП, микропроцессорный терминал не может контролировать поступление выборок сигналов. В МЭК 61850-9-2LE для систем с номинальной частотой сети 50 Гц зафиксирована частота дискретизации 4000 Гц [6]. Эти особенности являются источником нежелательных эффектов, характерных для систем с цифровой передачей аналоговых сигналов и мешающих нормальному решению прикладных задач:

- потеря одного или нескольких пакетов цифровой передачи данных в цифровых каналах связи;
- задержка доставки пакетов по шине процесса, обусловленная режимом работы коммуникационного оборудования;
- потеря связи с источником данных (ЦИП) вследствие нарушения каналов связи или отказа измерительного преобразователя;

- плохое качество данных вследствие повреждения измерительного преобразователя, обнаруживаемого его системой самодиагностики;
- рассинхронизация измерительных преобразователей.

При этом отсутствует влияние факторов, характерных для традиционной передачи аналоговых сигналов:

- наведение помехи от других аналоговых каналов как следствие протяженности измерительных кабелей;
- наведение импульсной помехи при грозовых перенапряжениях, при коммутациях;
- повреждение вторичных цепей тока и напряжения между измерительным преобразователем и устройством РЗА;
- повреждение измерительного тракта в терминале РЗА.

3 ПОТЕРЯ ПАКЕТОВ ИСТОЧНИКА ДАННЫХ

Особенностью цифровой связи является ее дискретность. Поэтому возможна порча части пакета или его полная потеря (например, вследствие перегруженности каналов связи). В соответствии со стандартом МЭК 61850-9-2LE в пакете передается по одной выборке трех фазных токов и трех фазных напряжений, а также тока и напряжения нейтрали. Большинство алгоритмов фильтрации рассчитано на равномерное распределение отсчетов на оси времени и весьма чувствительно к потере даже одного из них. В таких условиях терминал должен применять специальные меры, которые могут включать блокирование работы отдельных функций или аппроксимацию упущенного значения. Блокирование может крайне негативно отразиться на характеристиках работы защиты, поэтому аппроксимация видится более предпочтительной. Рассмотрим следующие способы восстановления информации:

- 1) принятие нулевого значения отсчета;
- 2) использование предыдущего отсчета;
- 3) линейная интерполяция потерянного значения по известным соседним отсчетам.

Также существуют более точные методы интерполяции, сложные вычислительно и использующие большее окно наблюдения. В данном докладе они не рассматриваются.

Каждый из рассматриваемых способов восстановления информации условно проиллюстрирован на рис. 3: кривая 1 – исходный сигнал, кривая 2 – принятие нулевого значения потерянного отсчета, кривая 3 – использование предыдущего отсчета, кривая 4 – линейная интерполяция потерянного значения по известным соседним отсчетам.

Исследована погрешность каждого рассматриваемого способа восстановления при потере одного отсчета на одном периоде синусоидального сигнала промышленной частоты 50 Гц. Оценивалось максимальное отклонение вектора, полученного фильтрацией результирующего сигнала по Фурье (табл. 1).

Способ восстановления потерянной выборки	Максимальное отклонение вектора	
	по амплитуде, %	по углу, град
Принятие нулевого значения отсчета	10	3
Использование предыдущего отсчета	0,4	0,5
Линейная интерполяция потерянного значения по известным соседним отсчетам	0,03	0,01

Табл. 1: Оценка погрешности способов восстановления потерянных выборок

Очевидно преимущество алгоритма восстановления потерянных данных с помощью линейной интерполяции.

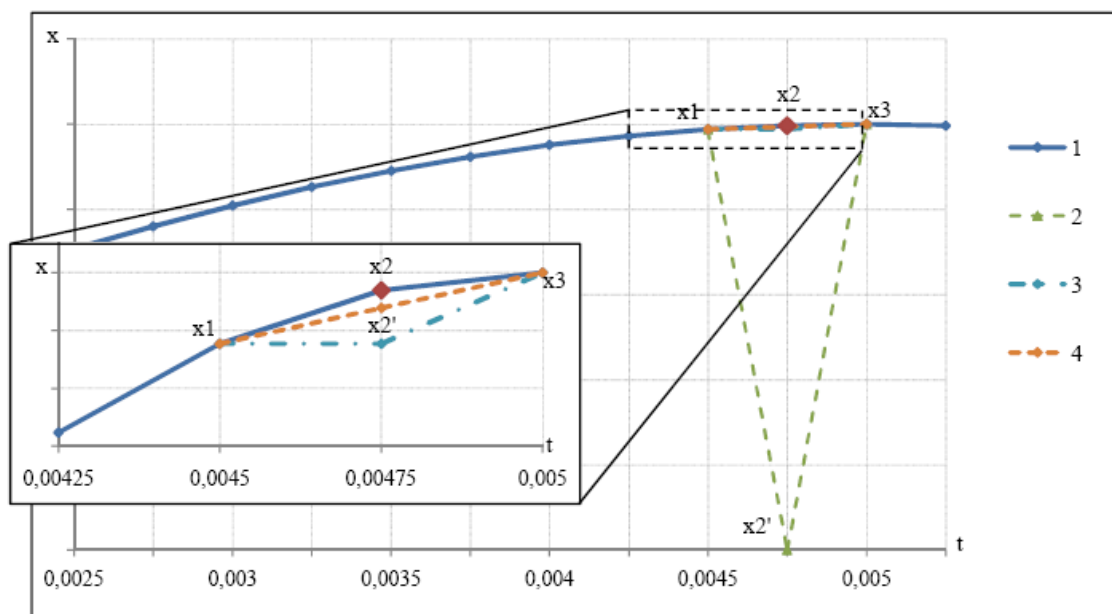


Рис. 3: Способы восстановления потерянной выборки: кривая 1 – исходный сигнал, кривая 2 – принятие нулевого значения потерянного отсчета, кривая 3 – использование предыдущего отсчета, кривая 4 – линейная интерполяция потерянного значения по известным соседним отсчетам

Рис. 4 иллюстрирует погрешность метода восстановления потерянного значения с помощью линейной интерполяции при наблюдении переходного процесса. Исходный сигнал – кривая 1 – построена по оси 1, погрешность восстановления потерянного значения, вычисленная при поочередной потере каждого из отсчетов, – кривая 2 – по оси 2.

Указанные особенности работы терминалов должны учитываться в структуре измерительных органов (ИО), а также при выборе соответствующих уставок. Наибольшее влияние потеря отсчетов оказывает на ИО дифференциальной защиты, на ИО по приращению.

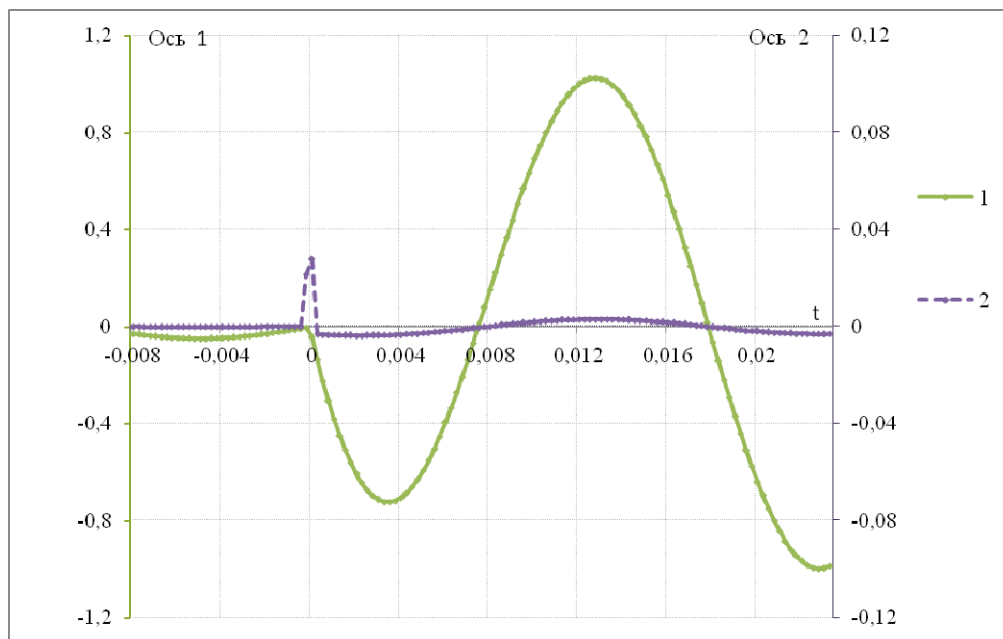


Рис. 4: Погрешность восстановления потерянного значения с помощью линейной интерполяции при наблюдении переходного процесса: исходный сигнал – кривая 1 – построена по оси 1, погрешность восстановления потерянного значения – кривая 2 – по оси 2

4 НЕРАВНОМЕРНОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ ДАННЫХ ОТ ЦИП

Другим эффектом цифровой передачи данных является неопределенность времени передачи пакетов по сети. Неопределенность выражается в том, что на устройство защиты данные поступают неравномерно, с задержками. Это необычно для алгоритмов РЗА, требующих, как правило, строгую периодичность исполнения. Возможны два пути преодоления этой проблемы: неравномерное исполнение прикладных функций и их исполнение с некоторой задержкой. В первом случае могут возникать новые проблемы с обеспечением точности исполнения программных таймеров. Во втором случае для учета задержки пакетов в канале связи и сохранения требуемой периодичности обработки выборок в терминале организуется буфер выборочных значений, из которого данные передаются прикладным функциям с некоторой задержкой. Время буферизации должно перекрывать максимальное время передачи в канале связи. Результирующее время работы защиты увеличивается на эту величину задержки.

5 ПРИЕМ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕСКОЛЬКИХ ЦИП

При использовании в терминале РЗА информации от нескольких цифровых измерительных преобразователей необходимым фактором является их синхронизация между собой. Для выравнивания выборок, полученных от разных измерительных устройств, используется счетчик выборок, передающийся в пакете данных. Счетчик выборок увеличивается на единицу с каждым произведенным измерением и раз в секунду обнуляется.

В буфере выборочных значений, из которого они передаются прикладным функциям, происходит сопоставление полученных данных (рис. 5). Буфер рассчитан на некоторую несвоевременность прихода пакетов, не превышающую допустимую задержку.

Если измерительные устройства не синхронизированы, полученные выборки невозможно сопоставить. Совместное использование таких данных невозможно. Происходит блокировка прикладных функций и индикация неисправности для обслуживающего персонала.

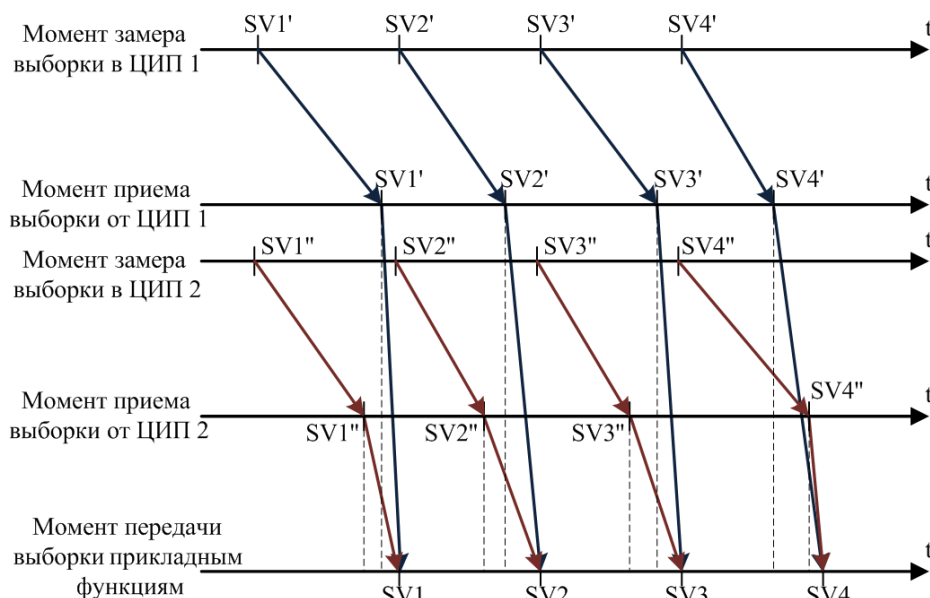


Рис. 5: Выравнивание выборок от разных ЦИП

Важно, чтобы выборки с одинаковыми номерами измерялись в один и тот же момент времени. Для этого на подстанции используются специальные протоколы синхронизации времени, обеспечивающие точность ± 1 -4 мкс.

Если моменты измерения не совпадают, увеличивается погрешность вычислений при использовании данных от разных устройств.

6 ПОТЕРЯ СВЯЗИ С ЦИП

Потеря связи с источником данных для шины процесса по своему влиянию на работу прикладных функций аналогична повреждению вторичных цепей тока и напряжения. Потеря связи обнаруживается по истечении максимальной допустимой задержки пакета, что позволяет обеспечить своевременную реакцию терминала. Происходит блокировка прикладных функций, для работы которых требуются данные от указанного источника, и индикация потери связи для обслуживающего персонала.

Для уменьшения вероятности такого развития событий применяется резервирование каналов связи (рис. 6).

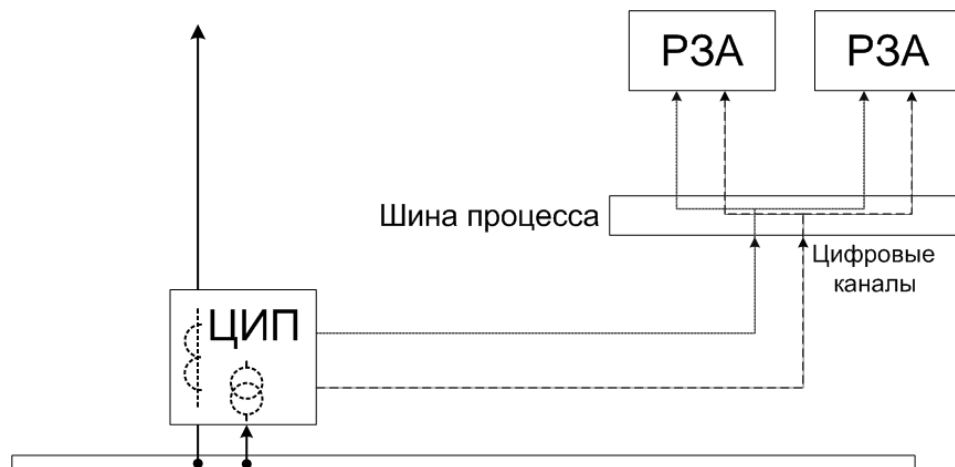


Рис. 6: Цифровая схема подведения аналоговых величин к устройству РЗА с резервированием каналов связи

Необходимость резервирования каналов шины процесса обусловлена требованиями к их высокой надежности. Шина процесса фактически является основным способом взаимодействия устройства РЗА с внешним оборудованием – коммутационным и измерительным. Применение таких методов резервирования, как STP (Spanning Tree Protocol), RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), MRP (Media Redundancy Protocol) в условиях работы шины процесса не удовлетворяет требованиям. Например, по протоколу RSTP время восстановления связи может достигать 1 секунды и выше. Даже если ограничить топологию сети кольцевой структурой, добиться времени восстановления сети меньше 100 мс непросто. Использование протокола MRP позволяет уменьшить это время до 10-50 мс, однако даже такие времена для шины процесса оказываются критичными.

Решением проблемы резервирования является применение современных методов параллельного и бесшовного резервирования – PRP (Parallel Redundancy Protocol) и HSR (High-availability Seamless Redundancy) [7]. Особенность этих методов заключается в постоянном существовании минимум двух одновременных активных соединений между устройствами. Все кадры синхронно отправляются и принимаются устройствами по двум Ethernet каналам. В ситуации, когда две параллельные сети идентичны, время переключения основного на резервный канал близко к нулю.

Здесь стоит отметить важность реализации поддержки данного протокола именно в устройствах РЗА и ЦИП. Несмотря на то, что сегодня в случае отсутствия поддержки устройством этих протоколов возможно применение специализированных устройств RedBox, такое решение усложняет общую структуру сети, вносит дополнительные задержки в передачу данных по каналам связи, и, что немаловажно, приводит к утрате резервирования самих устройств Redundancy Box, что не способствует повышению надежности.

7 ПЛОХОЕ КАЧЕСТВО ДАННЫХ ОТ ЦИП

Цифровые измерительные преобразователи должны проводить диагностику своего состояния. При обнаружении внутренних неисправностей данные маркируются признаком плохого качества в соответствии с МЭК 61850, причем каждый канал аналоговых данных передается с собственной меткой качества.

При получении единичной выборки с плохим качеством значение сигнала можно восстановить по алгоритмам, применяемым к потерянной выборке. Восстанавливаются значения только тех сигналов в пакете, которые помечены как неисправные, для остальных сигналов используются полученные значения. При получении более одной выборки с плохим качеством происходит блокировка прикладных функций, для работы которых требуется указанный аналоговый сигнал, и терминал сигнализирует о неисправности для обслуживающего персонала.

Использование внешних по отношению к терминалу цифровых измерительных преобразователей дает возможность с малыми затратами осуществить резервирование источников информации и повысить надежность работы системы. Тогда вместо данных от неисправного аналогового канала в отдельных случаях терминал может использовать значения от резервного источника с хорошим качеством, что позволит продолжить защиту объекта без вывода терминала из работы. Такое переключение может производиться автоматически, без задержки.

8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование цифровой передачи аналоговых сигналов имеет свои достоинства и недостатки. Требуемая надежность схем релейной защиты обеспечивается за счет расширения возможностей диагностики и упрощения резервирования каналов связи и источников данных.

Для преодоления нежелательных эффектов, характерных для цифровой передачи аналоговых сигналов, необходима как реализация специальных алгоритмов в устройствах РЗА, так и учет дополнительных требований при проектировании шины процесса и системы синхронизации времени на подстанции, при выборе уставок защиты.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IEC 61850-1 (International Standard). Communication Networks and Systems in Substations – Part 1: Introduction and overview.
- [2] IEC 61850-7-2 (International Standard). Communication Networks and Systems in Substations – Part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Abstract communication service interface (ACSI).
- [3] Горелик Т.Г. (ОАО «НИИПТ»), Кириенко О.В. (ООО «ЭнергопромАвтоматизация»). Автоматизация энергообъектов с использованием технологии «Цифровая подстанция». Первый российский прототип // Релейная защита и автоматизация. – 2012. – №3. – С. 86-89.
- [4] И.Н. Дорофеев (ООО «ЛИСИС»). Новые принципы создания систем автоматизации на ПС с «цифровыми» вторичными цепями. Организация системы защиты и управления на базе программного комплекса iSAS // РЕЛАВЭКСПО-2012. Сборник тезисов и докладов. – С. 116-121
- [5] А. Бойко, Ю. Ершов, Я. Михайленко. ЦИФРОВЫЕ ЦЕПИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ. Применение в релейной защите. // Новости Электротехники. – 2006. - №6(42).
- [6] IEC 61850-9-2 LE (Lite Edition). Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers using IEC 61850-9-2.
- [7] IEC 62439-3 (International Standard). Industrial Communication Networks – High Availability Automation Networks – Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR).