



## ПРОГРАММНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ETHERCAT®

И.В. Конопляник, В.В. Костюк (ООО "Визутех Систем")

Сформулированы отличительные коммуникационные характеристики промышленной шины EtherCAT®. Представлена архитектура системы автоматизации на базе EtherCAT®. Рассмотрены компоненты этой архитектуры. Для максимально эффективной диагностики сети предлагается использовать программное средство проектирования, установки и диагностики КРА EtherCAT Studio. Представлена технология КРА Master Redundancy, позволяющая защитить производственную линию от сбоев.

Ключевые слова: коммуникационная шина, EtherCAT, резервирование, диагностика сети.

### Введение

Неотъемлемым компонентом систем автоматизации производства являются промышленные шины. EtherCAT® представляет собой промышленную шину нового поколения на базе Ethernet. Принцип работы EtherCAT® значительно отличает данную технологию от других Ethernet-решений и имеет ряд существенных преимуществ.

Во-первых, по производительности. EtherCAT® гораздо быстрее традиционных промышленных шин. Типичное время цикла EtherCAT® составляет 50...250 мкс, в других шинах на каждое обновление уходит 5...15 мс.

Во-вторых, по низким затратам на реализацию. Для работы не требуется никаких специальных аппаратных средств в мастер-устройстве и дополнительных активных устройств инфраструктуры, которые необходимы для традиционных шин. Недорогой подчиненный EtherCAT-контроллер решает все критичные по времени задачи, и при этом для обмена данными не задействуется мощность процессора. В среде EtherCAT® достаточно использовать кабели и соединители для Industrial Ethernet, которые стоят дешевле соответствующих шинных компонентов. Также тех-

нология EtherCAT® позволяет снизить трудозатраты по настройке и конфигурированию сети.

В-третьих, по гибкости топологии. Для сетей EtherCAT® нет практических ограничений по топологии. Это может быть «линия», «дерево», «звезда», «каскад» или их комбинации, с возможностью подключения до 65535 устройств. Протяженность сети почти не ограничена (> 500 км).

Помимо этого, технология EtherCAT® поддерживается ассоциацией пользователей и разработчиков систем автоматизации — EtherCAT Technology Group (ETG). В настоящее время она насчитывает более 5600 членов из 66 стран мира. В ассоциации созданы несколько технических рабочих групп (TWG), в которых эксперты промышленной автоматизации тщательно прорабатывают различные аспекты EtherCAT® для обеспечения стабильной работы и функциональной совместимости (рис. 1).

В 2014 г. EtherCAT® был принят как национальный технологический стандарт GB/T 31230 в Китае.

### Типовое решение по внедрению технологии EtherCAT®

На рис. 2 представлен пример реализации технологии EtherCAT®. Рассмотрим ее подробнее.

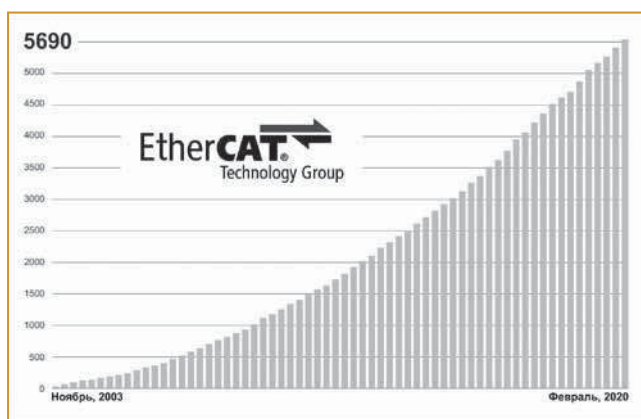


Рис. 1. Участники EtherCAT Technology Group

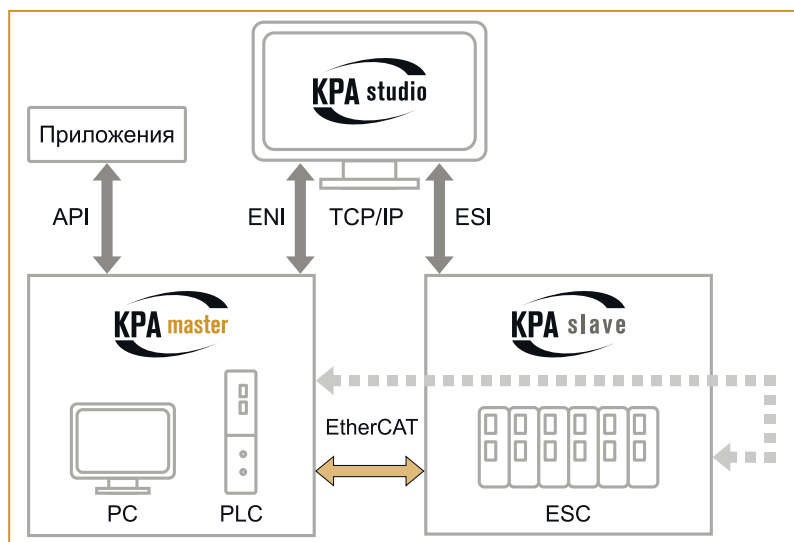


Рис. 2. Архитектура, реализующая технологию EtherCAT®

### Ведущее устройство EtherCAT®

Интерфейс для ведущего устройства EtherCAT® имеет единственное аппаратное требование — порт Ethernet. Нет необходимости в специальной интерфейсной карте, используется либо встроенный контроллер Ethernet, либо недорогая стандартная сетевая карта.

В большинстве случаев контроллер Ethernet интегрирован с помощью прямого доступа к памяти (DMA), поэтому для передачи данных между ведущим устройством и сетью не задействуется мощность процессора. В сети EtherCAT® сопоставление копий происходит на подчиненных устройствах. Каждое подчиненное устройство записывает свои данные в образ процесса и считывает данные, адресованные ему.

Для управления сетью используется стек KPA EtherCAT Master, который формирует команды загрузки для каждого подчиненного устройства. Эти команды экспортируются в специальный файл Network Information (ENI) с помощью инструмента конфигурации KPA EtherCAT Studio, который использует файлы информации о подчиненном устройстве EtherCAT® (EtherCAT Slave Information — ESI) с подключенных устройств.

KPA EtherCAT Master имеет модульную структуру для оптимального соответствия требованиям каждого конкретного проекта заказчика. Каждый компонент спроектирован как изолированный модуль с собственной документацией, модульным тестированием, конфигурацией, API и сгенерированными событиями. Изолированный контент помогает ускорить процесс разработки, улучшает методы тестирования и стабильность конечного продукта за счет улучшения процесса конфигурации и логики управления.

Для гибкого подключения дополнительных устройств в технологической линии с частым изменением топологии, а также периодического обслуживания и замены этих устройств в KPA EtherCAT Master предусмотрена функция «горячего подклю-

чения» (Hot Connect). Устройства могут быть опционально удалены или добавлены к трафику данных перед запуском или во время работы без ущерба для общей функциональности системы. Это значительно сокращает затраты на обслуживание и разработку программного и аппаратного обеспечения.

Для непрерывной работы во время вызова API в KPA EtherCAT Master используется асинхронная модель управления. При синхронном режиме управления пользователь ожидает завершения вызова API без возможности дальнейшего выполнения какой-либо работы. В асинхронной модели KPA EtherCAT Master API не блокирует пользовательский контекст выполнения и позволяет параллельно выполнять работу, а затем по необходимости проверить результат операции.

KPA EtherCAT Master спроектирован таким образом, чтобы он мог работать как в однопоточном, так и в многопоточном режимах. Однопоточный режим используется для покрытия низкоуровневых операционных систем, в которых ядро процессора тождественно равно процессу и главному потоку в рамках этого процесса. Многопоточный режим предназначен для достижения максимальной производительности и балансировки нагрузки. Классическими «болевыми точками» многопоточного приложения являются: инверсия приоритетов, блокировка и взаимная блокировка ресурсов, затраты времени на синхронизационные вызовы. Для решения этих проблем каждый поток мастера имеет изолированный контент. Поток работает с данными напрямую, что позволяет уйти от временных затрат на синхронизационные вызовы. Коммуникация между потоками происходит через отправку задач от одного потока другому. Сама задача является неделимой наименьшей единицей, а набор задач по своей сути образуют полноценную конкретную операцию. Благодаря такому подходу KPA EtherCAT Master может симулировать многопоточность (в случае однопоточного режима работы) и выполнять задачи различных операций. Задачи выполняются одна за другой в очереди синхронизации. Каждая задача может запланировать новую задачу и добавить ее в очередь. Имея много объектов и множество действий, задачи смешиваются в очереди синхронизации и по-прежнему выполняются одна за другой в соответствии с их приоритетами. Выполнение задач двух разных потоков может происходить одновременно.

В KPA EtherCAT Master диапазон доступных пакетов функций варьируется. В зависимости от целевого приложения можно либо подключить дополнительные функции, либо намеренно их опустить для оптимизации использования аппаратных и программных ресурсов. По этой причине KPA EtherCAT Master может поставляться как в базовой, так и в расширенной комплектации.

**Подчиненное устройство EtherCAT®**

В подчиненных устройствах EtherCAT® используются недорогие контроллеры ESC (EtherCAT Slave Controllers) в виде интегральной схемы специального назначения (ASIC), программируемой логической интегральной схемы (FPGA) или встроенные в стандартный микроконтроллер. Простые подчиненные устройства не нуждаются в дополнительном микроконтроллере, потому что входы и выходы могут быть напрямую подключены к ESC. Для более сложных подчиненных устройств производительность связи лишь в минимальной степени зависит от производительности микроконтроллера, и в большинстве случаев достаточно восьмиразрядного микроконтроллера.

Файл с информацией о подчиненном устройстве EtherCAT® (ESI), поставляемый с устройством, написан в формате XML и содержит полное описание доступных свойств подчиненного устройства, таких как данные процесса и их параметры сопоставления, поддерживаемые протоколы почтовых ящиков, включая дополнительные функции, а также поддерживаемые режимы синхронизации. Инструмент настройки сети KPA EtherCAT Studio использует эту информацию для оперативного и автономного конфигурирования сети.

Для устройств сети EtherCAT® используется программный стек KPA EtherCAT Slave, предназначенный для работы на микроконтроллерах, микропроцессорах (CPU) или цифровых сигнальных процессорах (DSP) с операционной системой или без нее. Каждый новый релиз стека KPA EtherCAT Slave проверяется на соответствие стандартам EtherCAT® актуальными версиями Conformance Test Tools (CTT).

KPA EtherCAT Slave может быть представлен в виде программного стека со встроенным слоем аппаратной абстракции (обычно реализуется через уровень абстракции операционной системы (OSAL) и драйвер) и может использоваться для простой поддержки любой интегральной схемы специального назначения EtherCAT (ASIC) и интерфейсов передачи данных (PDI) между ASIC и микроконтроллером.

Объем памяти RAM зависит от архитектуры приложения и объема словаря объектов (OD). Например, при использовании статического OD (сборка в виде исходного кода) объем RAM больше либо равен 3 KB для базового комплекта поставки и больше либо равен 8 KB для стандартного комплекта поставки. Объем ROM (постоянное запоминающее устройство) больше либо равен 55 KB для базового комплекта поставки и больше либо равен 64 KB для стандартного комплекта поставки.

Кроме того, для уменьшения итогового объема памяти, занимаемого приложением, стек KPA EtherCAT Slave может быть индивидуально настроен через конфигурационный файл, в котором, например, можно деактивировать Mailbox EoE, Mailbox VoE и Mailbox FoE.

**Диагностика и настройка сети EtherCAT®**

Диагностические возможности сети — важный фактор для настройки и времени ввода системы в эксплуатацию. Снижение времени простоя обеспечива-

ется за счет правильной и своевременной реакции на возникновение неисправности. Для максимально эффективной диагностики сети «Визутех Систем» предлагает программное средство проектирования, установки и диагностики KPA EtherCAT Studio.

KPA EtherCAT Studio содержит встроенную систему тревожных сообщений с руководством по устранению неисправностей, обеспечивающую персонал пояснениями и способами исправления известных ошибок.

Система регистрирует все тревожные сообщения и события, которые происходят в on-line-режиме KPA EtherCAT Studio. Степень важности события отражается в типе уведомления. Критические события отображаются в окне уведомлений, которые предупреждают и стимулируют принять меры для устранения причин сбоя.

Для большинства критических событий имеется перечень возможных причин и способов решения, представленный в виде базы данных. Эта база, составленная командой внедрения и поддержки «Визутех Систем» за годы работы с технологией EtherCAT®, содержит описания причин и способы решения типовых проблем, которые могут возникнуть во время наладки или оптимизации. Описания сделаны максимально подробными, они доступны в контексте конкретной проблемы или события.

Еще одной важной диагностической функцией KPA EtherCAT Studio является просмотр графиков (Online Chart Viewer), который позволяет мониторить несколько подчиненных устройств одновременно.

Более того, значения сигналов во время работы сети можно сохранять в виде «снимков» для последующего анализа в режиме просмотра. Работа со «снимками» уменьшает нагрузку на систему и не оказывает влияния на ее производительность.

При подключении к ведущему устройству KPA EtherCAT Studio считывает его конфигурацию либо сканирует сеть для определения реальной аппаратной конфигурации, после чего сравнивает конфигурацию ведущего устройства с конфигурацией, загруженной в KPA EtherCAT Studio. Если конфигурации не совпадают, есть возможность либо полностью заменить конфигурацию ведущего устройства на конфигурацию KPA EtherCAT Studio, либо провести интерактивное объединение конфигураций.

Настройка связи между подчиненными устройствами обеспечивает логическое взаимодействие подчиненных устройств через массив входных и выходных данных без физического кабельного соединения между ними.

Библиотека подчиненных устройств KPA EtherCAT Studio открыта для добавления новых устройств и может быть легко перестроена. Она представляет собой список доступных файлов EtherCAT Slave Information (ESI), которые используются для конфигурирования проекта. В KPA EtherCAT Studio поддерживается работа с несколькими коллекциями библиотеки. Мож-

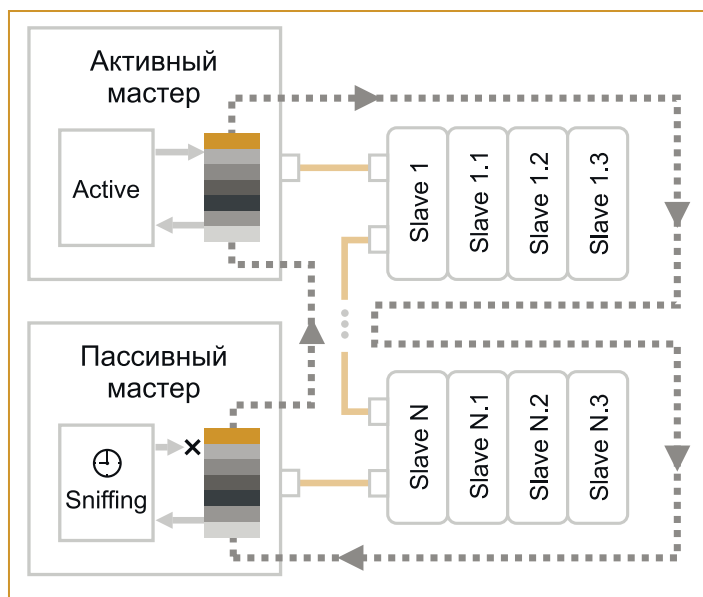


Рис. 3. Передача датаграммы при использовании KRA Master Redundancy

но менять активную коллекцию и управлять отображением данных по выбранным признакам.

Кроме того, KRA EtherCAT Studio позволяет связывать локальные библиотеки подчиненных устройств с удаленной библиотекой. Удаленная библиотека централизованно хранит последние версии корректных данных и обеспечивает их защиту от бесконтрольного внесения изменений, которые могут спровоцировать системные ошибки.

#### **Защита системы управления на базе EtherCAT® от сбоев системы управления**

Встроенная в технологию EtherCAT® функциональность кабельного резервирования позволяет защитить систему управления от сбоев, связанных с обрывом кабеля между целевой системой и конечным оборудованием в линии. Но он не может защитить саму целевую систему, на которой запущен EtherCAT мастер от перезагрузки, потери питания или сбоев операционной системы (зависание или классический Blue Screen Of Death, хорошо известный пользователям Windows).

Для защиты этого узкого места в системе управления инженерами «Визутех Систем» совместно с немецким партнером koenig-ра GmbH разработана специальная запатентованная технология — KRA Master Redundancy, которая позволяет защитить производственную линию даже в синхронизированной среде (рис. 3).

Конфигурация шины EtherCAT®, включающая в себя KRA Master Redundancy, предоставляет возможность подключения одного активного мастера и одного или нескольких пассивных. Мастер — это агент, кото-

рый циклически создает датаграммы, заполняет их необходимыми запросами и отправляет в шину через фиксированные промежутки времени. Датаграмма является общей для всех подчиненных устройств (один из базовых принципов EtherCAT®: для ускорения опроса всей линии и снижения сервисной составляющей данные нескольких устройств объединяются в единую датаграмму/фрейм), подключенных к шине, и передается от одного устройства к другому (принцип hop-by-hop).

Эта специфика чрезвычайно полезна для реализации отказоустойчивости. Любое устройство, подключенное к шине, полностью осведомлено о работе всех подчиненных устройств и может напрямую получать передаваемые данные между мастером и подчиненными устройствами. При этом нет необходимости модифицировать какие-либо подчиненные устройства и добавлять дополнительные сигналы или изменять протокол передачи. Необходимо лишь внести в контур управления еще одну идентичную целевую систему — пассивный (резервный) мастер, на котором запустить программу для системы управления.

Во время нормальной работы пассивный мастер находится в режиме ожидания. Он не отправляет свои датаграммы в шину, но при этом мониторит трафик для синхронизации логики управления. Когда пассивный мастер не получает датаграмму, которую он ожидает, он точно знает, что активный мастер перестал функционировать. Нет необходимости ждать окончания текущего цикла, — пассивный мастер немедленно берет управление на себя и начинает отправлять свои датаграммы, которые будут полностью идентичны датаграммам активного мастера на момент его остановки, так как все изменения одинаково отслеживались как активным, так и пассивным мастером.

#### **Заключение**

Продукты «Визутех Систем» для технологии EtherCAT® могут быть использованы как независимо, так и в виде единой системы автоматизированного управления для любых отраслей промышленности. Они позволяют сократить затраты на создание промышленного оборудования и эффективно улучшить его характеристики. Более того, компания предлагает разработку дополнительных программных компонентов, если они требуются для интеграции EtherCAT® в систему пользователя.

Специалисты компании «Визутех Систем» оказывают услуги по подбору программного решения для автоматизации конкретного производства, его доработкам, внедрению и дальнейшему сопровождению.

**Конопляник Иван Владимирович** — руководитель направления EtherCAT,  
**Костюк Виктория Викторовна** — технический писатель ООО "Визутех Систем".

Контактный телефон +375 29 3887078.

E-mail: [info@visutechsystem.by](mailto:info@visutechsystem.by)

<http://visutechsystem.by>