

EtherCAT – The Ethernet Fieldbus



Перевод на русский:
www.oscat.ru

EtherCAT 
Technology Group

Оглавление

Оглавление	2
Промышленный протокол – это ещё не всё.....	3
Краткий обзор EtherCAT.....	4
EtherCAT Technology Group.....	6
Станьте участником	6
Международный стандарт.....	8
Глобальная деятельность.....	8
Основные вехи EtherCAT.....	9
Почему EtherCAT?	10
Технология в деталях.....	13
EtherCAT – технология, основанная на Ethernet	13
Как работает EtherCAT?	14
Протокол EtherCAT	15
Гибкая топология.....	17
Распределенные часы для точной синхронизации времени	18
Диагностика и локализация ошибок.....	20
Универсальный диагностический интерфейс master-устройств.....	21
Высокая надежность	23
EtherCAT G: обмен на гигабитных скоростях.....	24
EtherCAT P: передача данных и питания по одному кабелю.....	27
Обзор протокола	28
Safety over EtherCAT.....	28
Коммуникационные профили.....	30
Коммуникация на уровне предприятия с использованием EtherCAT Automation Protocol (EAP)	33
Интеграция других промышленных протоколов	35
EtherCAT в контексте цифровизации, Индустрии 4.0 и IoT	36
Поддержка EtherCAT в промышленных устройствах	38
Разработка master-устройства.....	39
Разработка slave-устройства.....	41
Проверка на соответствие и сертификация	43
www.ethercat.org	45
Контакты	46

Промышленный протокол – это ещё не всё...

...но без него оборудование ни на что не способно! Протокол не только является основой архитектуры системы управления – от него зависит, сможет ли она достичь требуемого быстродействия. Протокол также является ключевым фактором, влияющим на стоимость и время внедрения системы, а также степень её надежности. Поэтому хороший инженер начинает проектирование системы с выбора промышленного протокола.

Мы написали эту брошюру, чтобы рассказать вам об EtherCAT – промышленном протоколе, основанном на Ethernet. Ознакомившись с ней, вы узнаете, что делает EtherCAT самым быстрым протоколом для промышленных Ethernet-сетей. Также мы расскажем про EtherCAT Technology Group (ETG) – крупнейшую в мире организацию среди объединений пользователей промышленных протоколов. Но самое главное – мы надеемся объяснить, почему EtherCAT является наилучшим вариантом для решения вашей задачи. Если у вас появятся какие-то вопросы – пожалуйста, свяжитесь с нами. Мы всегда будем рады на них ответить.

от имени команды EtherCAT Technology Group
Мартин Ростан, исполнительный директор EtherCAT Technology Group



Мартин Ростан,
исполнительный директор
EtherCAT Technology Group



*Международная команда ETG на глобальном стратегическом
форуме*

Краткий обзор EtherCAT

EtherCAT – это высокопроизводительный, дешёвый в реализации и простой в использовании промышленный протокол с поддержкой различных топологий сети, основанный на стандарте Ethernet. Впервые он был представлен в 2003 году и, начиная с 2007 года, является международным стандартом. Продвижением и развитием протокола занимается организация [EtherCAT Technology Group](#). EtherCAT является открытой технологией – любой производитель оборудования может внедрить или использовать её.

Как это работает

Ключевой принцип EtherCAT связан с механизмом обработки обычных Ethernet-фреймов: каждое устройство «на лету» считывает из фрейма нужные данные и записывает в него те данные, которые хочет передать. Это позволяет эффективно использовать пропускную способность канала связи (во многих случаях достаточно одного фрейма для опроса всей системы), а также обойтись без использования хабов и коммутаторов.

Скорость передачи

Уникальный способ обработки Ethernet-фреймов делает EtherCAT самым быстрым промышленным протоколом. Никакая другая известная технология не обеспечивает такой высокой скорости передачи данных.

Гибкая топология

В дополнение к скорости EtherCAT позволяет иметь в рамках сети до 65 535 устройств без каких-либо ограничений в топологии: линия, шина, дерево, звезда – или любые комбинации этих вариантов. Физический уровень Fast Ethernet позволяет подключать устройства, расстояние между которыми не превышает 100 метров – но это ограничение можно обойти при использовании оптоволоконных линий связи. EtherCAT также включает в себя специальные функции для обеспечения гибкости системы – например «горячее» подключение и замену устройств, а также поддержку резервирования для кольцевой топологии.

Универсальность

EtherCAT может использоваться как в централизованных, так и распределенных системах автоматизации. Он поддерживает режимы «master-to-slave», «master-to-master» и «slave-to-slave», а также интеграцию с другими промышленными протоколами. На уровне производства используется [EtherCAT Automation Protocol](#), который позволяет решить все задачи на базе уже существующей Ethernet-инфраструктуры.

Простота

По простоте настройки EtherCAT однозначно выигрывает у «классических» промышленных протоколов: адреса устройств здесь распределяются автоматически без участия пользователя, а встроенные средства диагностики с определением причин ошибок упрощают отладку. EtherCAT проще в настройке, чем Ethernet – нет необходимости настраивать коммутаторы и разбираться с IP- и MAC-адресами.

Это дёшево

EtherCAT предоставляет все преимущества промышленного Ethernet без особой разницы в цене. Как так получается? Во-первых, EtherCAT не требует создания специализированной сетевой инфраструктуры. Master-устройства не требуют специализированных сетевых карт, а slave-устройства могут быть разработаны на базе интегрированных чипов с адекватной ценой, предоставляемых множеством поставщиков. Кроме того, нет необходимости в высокооплачиваемых IT-специалистах для внедрения и поддержки системы.

Промышленный Ethernet

EtherCAT поддерживает обычные интернет-технологии без влияния на передачу данных технологического процесса в реальном времени. Профиль «Ethernet over EtherCAT» позволяет инкапсулировать FTP, HTTP, TCP/IP и т.д.

Промышленная безопасность

Промышленная безопасность в EtherCAT соответствует возможностям самого протокола – она не требовательна к ресурсам и обеспечивает высокое быстродействие. Её механизмы встроены прямо в протокол с поддержкой как централизованной, так и распределенной логики безопасности. За счет использования «[чёрного канала](#)» они поддерживаются и для других интегрированных с EtherCAT промышленных протоколов.

Открытая технология

EtherCAT – это открытая технология, принятая в качестве международных стандартов. Это означает, что любой производитель может использовать этот протокол при разработке своих устройств в случае сохранения совместимости со стандартом. Тем не менее, открытость технологии не означает, что кто угодно может адаптировать её под свои нужды – иначе это стало бы концом совместимости. Развитием и сохранением совместимости занимается [EtherCAT Technology Group](#) – крупнейшая в мире организация среди объединений пользователей промышленных протоколов.

Проверено на практике

К настоящему моменту EtherCAT широко используется во всём мире в совершенно разных отраслях промышленности – для управления технологическими линиями, в измерительных приборах, медицинском оборудовании, автомобилях и на транспорте, а также во множестве встраиваемых систем.

EtherCAT Technology Group

EtherCAT Technology Group (ETG) обеспечивает доступность технологии EtherCAT для всех заинтересованных лиц. Это позволяет производителям оборудования, поставщикам технологий и пользователям сотрудничать для совместного развития протокола. В состав группы входит несколько технических комитетов, в которых эксперты работают над различными специфическими аспектами EtherCAT. Все эти активности имеют общую цель: обеспечение стабильности и совместимости реализаций протокола. Поэтому существует только одна версия EtherCAT – без ежегодных релизов новых версий, как это иногда бывает. ETG каждый год проводит мероприятия EtherCAT Plug Fests в Европе, Азии и Америке. На этих встречах разработчики EtherCAT-устройств тестируют свою продукцию на совместимость. С помощью утилиты EtherCAT Conformance Test Tool любой разработчик может проверить свои устройства на соответствие требованиям спецификации перед их выпуском на рынок. После успешного тестирования оборудования в аккредитованной ETG лаборатории производитель получает сертификат соответствия. ETG также проводит международные семинары и мастер-классы, а также представляет EtherCAT на торговых выставках по всему миру. Организация участвует в создании буклетов, оформлении стендов и других маркетинговых аспектах, чтобы помочь в продвижении EtherCAT-устройств своим участникам.

ETG – крупнейшая в мире организация среди объединений пользователей промышленных протоколов. Список участников опубликован на сайте ETG. Однако важнее не то, сколько участников в организации, а то, насколько они активны. Количество и разнообразие устройств с поддержкой EtherCAT не имеет себе равных, а скорость его распространения в мире превосходит воображение.

Станьте участником

Членство в ETG доступно любой компании – неважно, производит ли она оборудование с EtherCAT или только использует его.

Участники ETG получают:

- доступ к техническим спецификациям и форуму разработчиков;
- возможность способствовать развитию EtherCAT в рамках участия в технических комитетах;
- возможность обратиться за консультациями по реализации EtherCAT в местный офис ETG;
- свободную реализацию части стека, утилиты и доступ к дополнительным ресурсам для разработчиков;
- разрешение использовать логотипы EtherCAT и ETG для своей продукции и маркетинговых материалов;
- возможность опубликовать информацию о своей продукции в EtherCAT Product Guide и продемонстрировать ее на выставках и мероприятиях ETG.

Устав организации, регистрационная форма и дополнительная информация доступны по ссылкам info@ethercat.org и <http://www.ethercat.org>



На выставочном стенде ETG приведена информация о самой технологии, а также демонстрируются различные устройства с поддержкой EtherCAT



Встречи местных подразделений ETG проводятся на регулярной основе

Международный стандарт

EtherCAT Technology Group является официальным партнером Международной электротехнической комиссии (МЭК). И EtherCAT, и Safety over EtherCAT являются стандартами МЭК (IEC 61158 и IEC 61784 соответственно). Эти стандарты описывают не только нижние уровни протокола, но и уровень приложения, а также профили устройств (например, сервоприводов). Организация SEMI™ (Semiconductor Equipment and Materials International) приняла EtherCAT как свой стандарт (E54.20) для индустрии производства полупроводников. Несколько технических комитетов в ETG Semiconductor Technical Working Group (TWG) разработали специфические профили и рекомендации по внедрению EtherCAT для этой отрасли.

Спецификация EtherCAT доступна на английском, японском, корейском и китайском языках.

Глобальная деятельность

EtherCAT Technology Group объединяет участников из стран всего мира. Эксперты в офисах Германии, Китая, Японии, Кореи и США осуществляют поддержку участников организации на этапе проектирования, разработки и сопровождения их устройств. Несколько технических комитетов (Technical Working Groups; TWG) занимаются развитием протокола и унифицируют работы с различными устройствами путем разработки шаблонов аппаратной реализации и руководств по их использованию. Всем участникам ETG предлагается вносить свой вклад в работу TWG.



Во многих странах EtherCAT получил статус национального стандарта

Основные вехи EtherCAT



Почему EtherCAT?

Уникальный способ передачи данных делает EtherCAT очевидным выбором для инженера. Ниже описаны дополнительные функции, которые могут быть полезны в ряде задач.

1. Исключительное быстродействие

EtherCAT – это не только самая быстрая и функциональная полевая шина; она также позволяет обеспечить соблюдение заданного периода передачи данных с наносекундной точностью. Это является огромным преимуществом в системах, где мониторинг и управление технологическим оборудованием осуществляется с помощью этого протокола. Уменьшение времени задержек, связанных с передачей данных, позволяет обеспечить более быстрый переход от одного этапа технологического процесса к другому, что повышает его эффективность. Кроме того, за счет архитектуры EtherCAT нагрузка на CPU контроллера обычно снижается на 25-30% по сравнению с другими промышленными протоколами, обеспечивающими такой же период опроса. При разумном использовании EtherCAT позволяет повысить точность соблюдения периода опроса и более эффективно использовать канал связи, что приводит к снижению затрат на разработку системы управления.

2. Гибкая топология

В системах EtherCAT структурная схема оборудования определяет сетевую топологию, а не наоборот. В системах с промышленным Ethernet существует ограничение на число хабов и коммутаторов, что в свою очередь ограничивает число вариантов подключения устройств. Поскольку в EtherCAT в хабах и коммутаторах нет необходимости – то у него нет таких ограничений. В EtherCAT можно использовать любую топологию сети – шину, дерево, звезду и любые комбинации этих вариантов с практически неограниченным числом подключенных устройств. За счёт автоконфигурирования целые сегменты сети можно отключать, а потом подключать в другой точке. Шинная топология может быть расширена до кольцевой для обеспечения резервирования канала связи. Для этого все устройства в системе должны иметь второй Ethernet-порт и поддерживать технологию резервирования. В этом случае возможна горячая замена устройств без прекращения управления процессом.

3. Простота и надежность

Простота конфигурирования, диагностики и сервисного обслуживания определяет стоимость внедрения и сопровождения системы управления. EtherCAT в этом смысле предоставляет серьезные преимущества: адреса slave-устройств распределяются автоматически и их ручная настройка не требуется. Эффективное использование канала связи и последовательное соединение устройств обеспечивает защиту от электромагнитных помех. Встроенные средства диагностики позволяют локализовать причину неисправности сети вплоть до конкретного устройства, что облегчает отладку. Во время запуска master-устройство производит сравнение ожидаемой и фактической структуры сети. EtherCAT упрощает конфигурирования системы за счет отсутствия «сетевых» настроек. За счет высокой пропускной способности протокол может инкапсулировать конфигурационные TCP/IP-пакеты. При этом сам EtherCAT не основан на стеке TCP/IP, поэтому нет необходимости разбираться с IP- и MAC-адресами и привлекать IT-специалистов для настройки сетевого оборудования.

4. Встроенные средства безопасности

Безопасность как элемент сетевой архитектуры? Не проблема с FailSafe over EtherCAT (FSoE). Надежность FSoE доказана устройствами, сертифицированными TÜV, которые выпускаются с 2005 года. Этот профиль EtherCAT соответствует всем требованиям [SIL3](#) и подходит как для централизованных, так и распределенных систем управления. За счет использования концепции «[черного канала](#)» и компактной контейнерной реализации FSoE может применяться и в других промышленных протоколах. Простота профиля и его интеграция с EtherCAT позволяют снизить затраты на внедрение системы управления. Кроме того, обычные (non-safety) ПЛК также могут получать и обрабатывать «безопасные» данные.

5. Доступность

EtherCAT предоставляет все преимущества промышленного Ethernet по цене, сопоставимой (или даже более низкой) с ценой внедрения «классических» промышленных протоколов. Для master-устройства требуется только наличие порта Ethernet – никаких дополнительных дорогих сетевых карт или сопроцессоров не нужно. Специализированные микросхемы, требующиеся для slave-устройств, доступны в различных вариантах: в виде [ASIC](#) (на базе FPGA) или как опция для обычного микропроцессора. Поскольку эти микроконтроллеры берут на себя все задачи, связанные с передачей данных, то сам EtherCAT не предъявляет каких-то требований к CPU slave-устройства, что позволяет снизить его стоимость. Так как EtherCAT не требует использования коммутаторов и другого сетевого оборудования, то издержки на создание, настройку и сервисное обслуживание сети также будут снижены.

По этим причинам EtherCAT часто используется в:

- робототехнике;
- для автоматизации станков;
- упаковочных машинах;
- печатных машинах;
- системах производства пластмасс;
- прессах;
- системах производства полупроводников;
- испытательных стендах;
- установщиках SMD-деталей;
- измерительном оборудовании;
- электростанциях и подстанциях;
- обрабатывающей промышленности;
- системах обработки багажа;
- для управления сценическим светом;
- автоматизированных сборочных системах;
- целлюлозно-бумажной промышленности;
- системах контроля туннелей;
- сварочном оборудовании;
- для управления кранами и подъемниками;
- для управления сельскохозяйственной техникой;
- нефте- и газодобывающей промышленности;
- деревообрабатывающей промышленности;

- в оборудовании для производства окон;
- в системах автоматизации зданий;
- на металлургических комбинатах;
- для управления ветрогенераторами;
- в мебельной промышленности;
- для управления фрезеровочными станками;
- в автоматически управляемых транспортных средствах (погрузчиках и т.д.);
- для автоматизации аттракционов;
- в медицинском оборудовании;
- в оборудовании для производства листового стекла;
- в весоизмерительном оборудовании;
- и так далее.

Технология в деталях

EtherCAT – технология, основанная на Ethernet

EtherCAT основан на промышленном Ethernet и использует те же самые Ethernet-фреймы и тот же физический уровень, определенный спецификацией IEEE 802. Но в дополнение к этому он соответствует специфическим требованиям, предъявляемым к системам автоматизации, в которых:

- существует необходимость в работе в режиме жесткого реального времени с детерминированным временем отклика;
- есть множество узлов, каждый из которых обрабатывает небольшое число точек ввода-вывода;
- снижение затрат на оборудование более принципиально, чем, например, при построении IT-инфраструктуры.

Эти требования делают фактически невозможным использование обычного Ethernet в качестве промышленного протокола. Если для обмена между устройствами будут применяться стандартные Ethernet-датаграммы, то пропускная способность канала связи будет использоваться крайне неэффективно: самая короткая датаграмма содержит 84 байта (включая IFG – межфреймовый интервал), из которых только 46 могут использоваться для передачи данных. Предположим, с сервопривода нужно считать 4 байта (текущее положение и регистр статуса) и записать 4 байта (требуемое положение и слово состояния). Таким образом, в обеих датаграммах (чтения и записи) полезные данные будут составлять только $4/84 = 4.8\%$. Кроме того, существует пауза между операциями чтения и записи. Таким образом, скорость передачи 100 Мбит/с не особо помогает в данной ситуации.

Стек протоколов TCP/IP, который широко используется в IT-приложениях, требует дополнительных накладных расходов на установку и поддержку соединения для каждого узла сети, а также вносит дополнительные задержки в работу устройств.

Как работает EtherCAT?

EtherCAT решает проблемы, описанные в предыдущем пункте, благодаря особо эффективному режиму работы, при котором для чтения и записи значений во все узлы сети достаточно всего лишь одной датаграммы!

Master-устройство отправляет по интерфейсу один запрос, который проходит через каждое slave-устройство. При этом slave «на лету» считывает из запроса предназначенные ему данные и вставляет в него данные, которые нужно передать дальше. Задержки передачи в данном случае связаны только с аппаратными задержками интерфейсных микросхем. Последнее устройство в сети обнаруживает, что ни к чему не подключено, и пересылает датаграмму обратно master-устройству, используя полнодуплексный режим работы Ethernet.

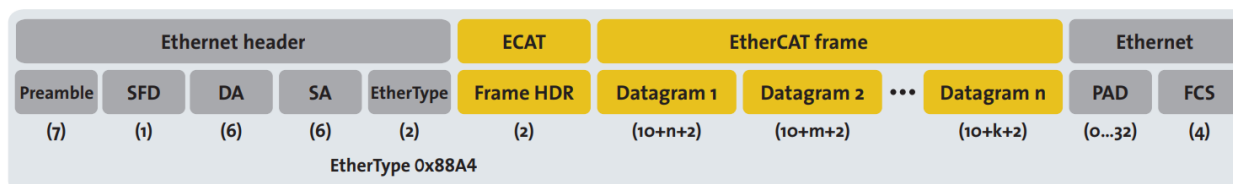
Объем полезной информации в датаграмме превышает 90%, и за счет режима полного дуплекса теоретическая эффективная скорость передачи данных может превышать 100 Мбит/с.

Только master-устройство может являться инициатором отправки запроса. Все остальные устройства лишь обрабатывают запрос master'а и пересылают его дальше. Это позволяет избежать непредсказуемых задержек и обеспечить передачу данных в реальном времени. Master-устройства используют стандартный для Ethernet Media Access Controller (MAC) и не нуждаются в каких-либо специальных сетевых картах. Это позволяет реализовать master-устройства на любой аппаратной платформе с поддержкой Ethernet независимо от ее RTOS и программного обеспечения.

Slave-устройства используют EtherCAT Slave Controller (ESC) для обработки кадров «на лету» на аппаратном уровне, что делает эффективность сетевого обмена предсказуемой и независимой от особенностей реализации конкретного устройства.

Протокол EtherCAT

EtherCAT использует для передачи данных обычные Ethernet-фреймы. Фрейм EtherCAT имеет идентификатор 0x88A4 в поле EtherType. Поскольку EtherCAT оптимизирован для быстрой циклической передачи небольших порций данных, то он не использует ресурсоемкие стеки протоколов TCP/IP и UDP/IP.



EtherCAT использует обычные Ethernet-фреймы (соответствующие стандарту IEEE 802.3)

В случае необходимости интеграции EtherCAT в IT-инфраструктуру TCP/IP-трафик может туннелироваться через «почтовый ящик» (Mailbox) без влияния на оперативные данные процесса управления, передаваемые в реальном времени.

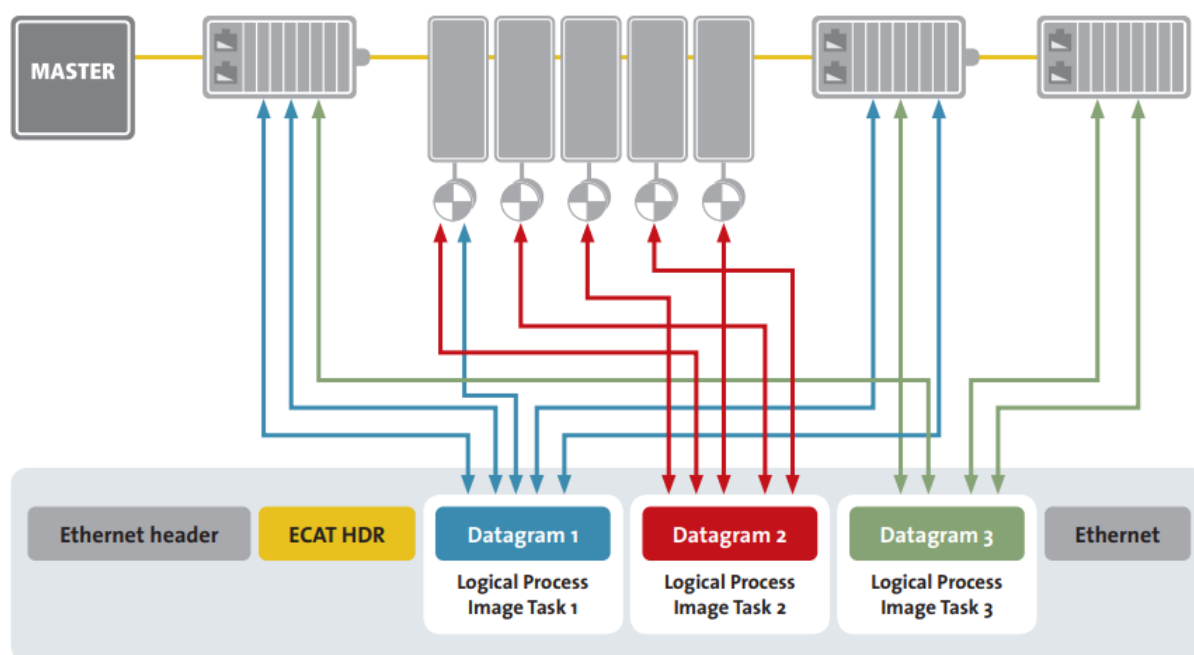
Во время запуска master-устройство конфигурирует slave-устройства и определяет список их параметров. Объем данных от одного узла сети может составлять как один бит, так и несколько байт или даже килобайт.

Фрейм EtherCAT включает заголовок и одну или несколько датаграмм. В заголовке датаграммы указывается тип доступа к данным:

- «чтение», «запись» или «чтение и запись»;
- доступ к конкретному устройству через прямую адресацию или доступ к нескольким устройствам через логическую (неявную) адресацию.

Логическая адресация используется для циклического обмена оперативными данными. Каждая датаграмма обращается к определенным данным в конкретном сегменте EtherCAT-сети, для которых доступно 4 Гб адресного пространства. Во время своего запуска master-устройство назначает каждому slave-устройству один или несколько адресов из этого пространства. Если нескольким slave-устройствам назначены одинаковые адреса, то они могут быть опрошены одной датаграммой. Поскольку в заголовке датаграммы содержится вся нужная информация для доступа к данным, то master-устройство может определить подходящие периоды опроса. Например, сигналы управления приводами могут отправляться так часто, как только возможно, а вот команды на чтение входов модулей ввода-вывода могут посылаться реже; при этом пользователю не требуется как-то настраивать структуру оперативных данных. Это также упрощает настройку обмена по сравнению с другими промышленными протоколами, в которых требуется индивидуальная настройка опроса для каждого slave-устройства и копирование значений из буфера интерфейса в память приложения и наоборот. В EtherCAT master-устройству нужно лишь сформировать один фрейм и отправить его в сеть через прямой доступ к памяти (DMA). Когда фрейм будет заполнен данными от slave-устройств и вернется на сетевой интерфейс контроллера, то ему будет достаточно скопировать эти данные через DMA – без необходимости использования CPU.

Помимо циклического опроса существует возможность отправлять датаграммы событийно (асинхронно).



Slave-устройства обрабатывают датаграммы «на лету»

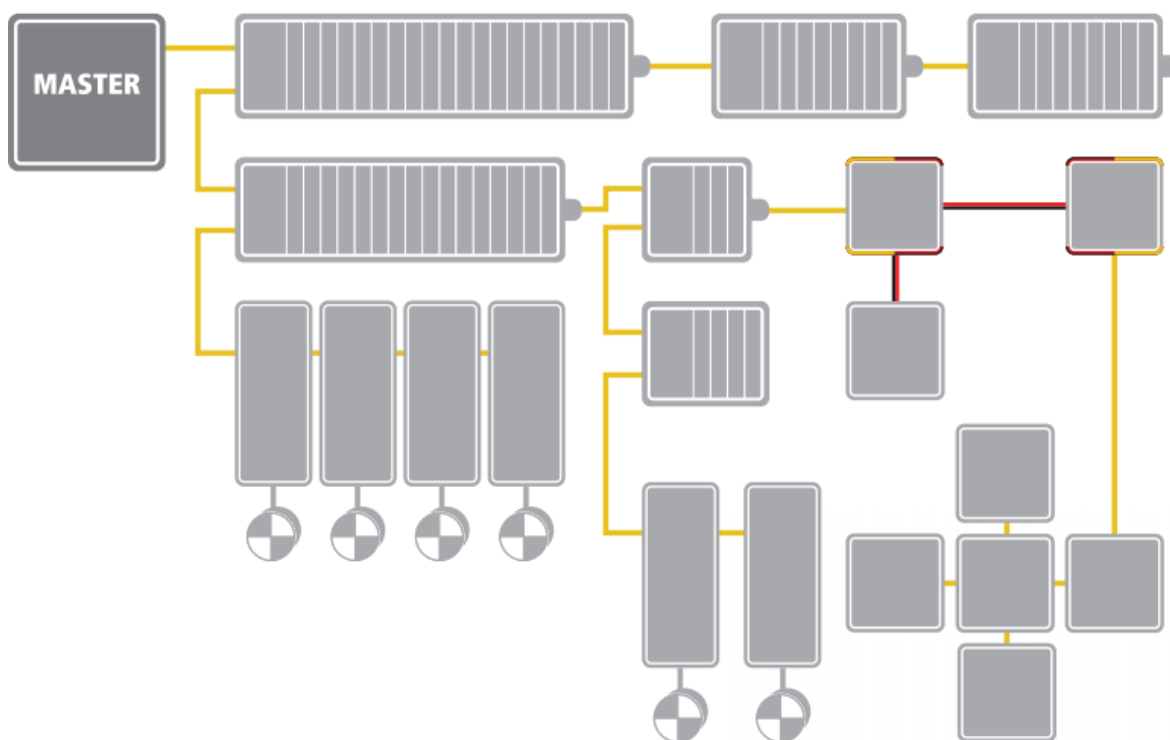
В дополнение к логической адресации master-устройство может обращаться к slave-устройствам по их порядковым номерам в сети. В процессе запуска драйвера EtherCAT master-устройство определяет текущую сетевую топологию и сравнивает ее с ожидаемой (настроенной в проекте контроллера).

После этого master-устройство назначает каждому slave-устройству сетевой адрес, который будет использоваться для обмена данными. Это обеспечивает доступ к slave-устройству даже в том случае, если топология сети изменяется в процессе работы системы – например, при замене модулей ввода-вывода «на горячую».

Существует два способа для настройки обмена в режиме slave-to-slave. В первом случае slave-устройство отправляет данные «соседнему» (подключенному к нему) slave-устройству. Поскольку фреймы EtherCAT передаются только в одном направлении, то этот способ имеет ограниченную применимость и подходит для установок с жестко фиксированным набором slave-устройств (например, упаковочных машин). Второй способ позволяет передавать данные от любого slave-устройства любому – через master-устройство. Для этого потребуются два цикла опроса (но не обязательно два цикла задачи ПЛК). Благодаря высокой производительности EtherCAT этот способ все равно обеспечивает низкое по сравнению с другими протоколами время задержки реакции системы.

Гибкая топология

«Шина», «дерево», «звезда» или «цепочка» (daisy-chain) – EtherCAT поддерживает практически все существующие сетевые топологии. EtherCAT позволяет подключить к шине сотни устройств без использования коммутаторов и другого промежуточного оборудования – что позволяет снизить затраты и избежать ограничений при проектировании сети.



Варианты топологии: шина, дерево, звезда и daisy-chain

Особенно выгодно совместить шинную топологию с отводами-«лучами». Многие модули ввода-вывода имеют встроенные порты для создания отводных линий, поэтому приобретение дополнительных коммутаторов не требуется. Разумеется, можно использовать и классическую для Ethernet топологию «звезда».

Модульные установки или автоматические станки со сменой инструментов требуют подключения или отключения сегментов сети прямо в ходе технологического процесса. Slave-контроллеры EtherCAT уже включают базовый функционал для реализации функции горячей замены. Если какое-то устройство отключается, то порт на соседнем устройстве закрывается, и оставшийся сегмент сети продолжает работать без каких-либо помех. Время обнаружения отключения устройства не превышает 15 микросекунд, что обеспечивает плавный переход к новой структуре сети.

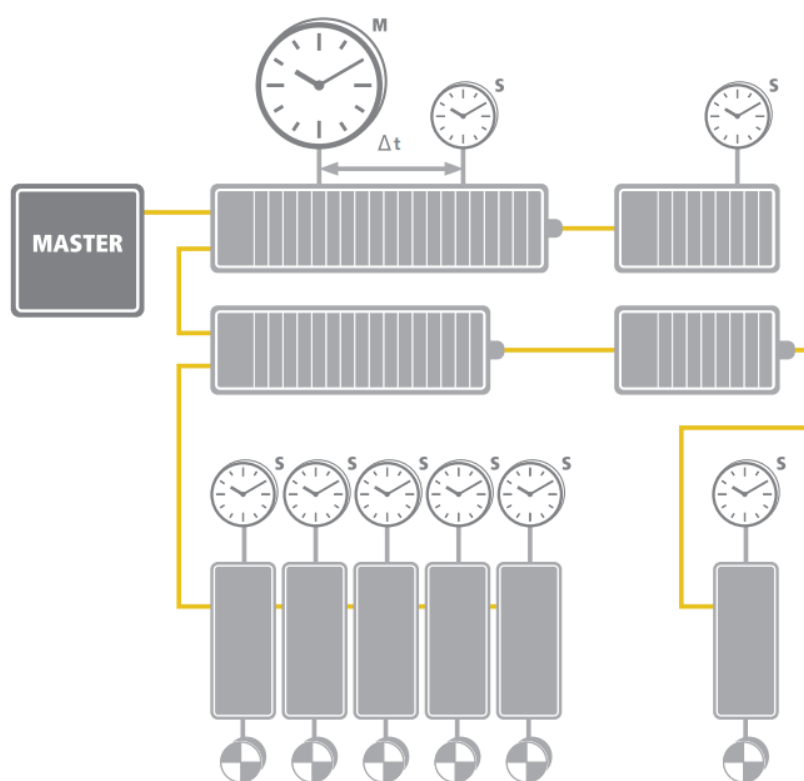
EtherCAT гибко подходит к вопросу поддержки кабелей связи, что позволяет выбрать для каждого сегмента сети наиболее подходящий для него тип кабеля. Недорогие кабели для промышленного Ethernet могут использоваться в режиме 100BASE-TX, если расстояние между устройствами не превышает 100 м. Протокол [EtherCAT P](#) позволяет передавать питание и данные по одной линии связи. Эта возможность, например, позволяет строить шины из датчиков с

использованием всего одного кабеля. Для передачи данных на дальние расстояния (более 100 м) можно использовать оптоволокно (например, 100BASE-FX). EtherCAT также поддерживает все типы кабелей, используемые в обычных Ethernet-сетях.

В одном сегменте EtherCAT может быть до 65 535 устройств, поэтому возможности по масштабированию сети практически безграничны. Это позволяет в рамках модульных станций ввода-вывода назначать каждому модулю свой уникальный адрес. Таким образом, использование каплеров с собственной внутренней шиной оказывается ненужным; за счет высокой производительности EtherCAT можно использовать его для объединения всех устройств и избежать задержек, которые обычно возникают на коммуникационном модуле каплера.

Распределенные часы для точной синхронизации времени

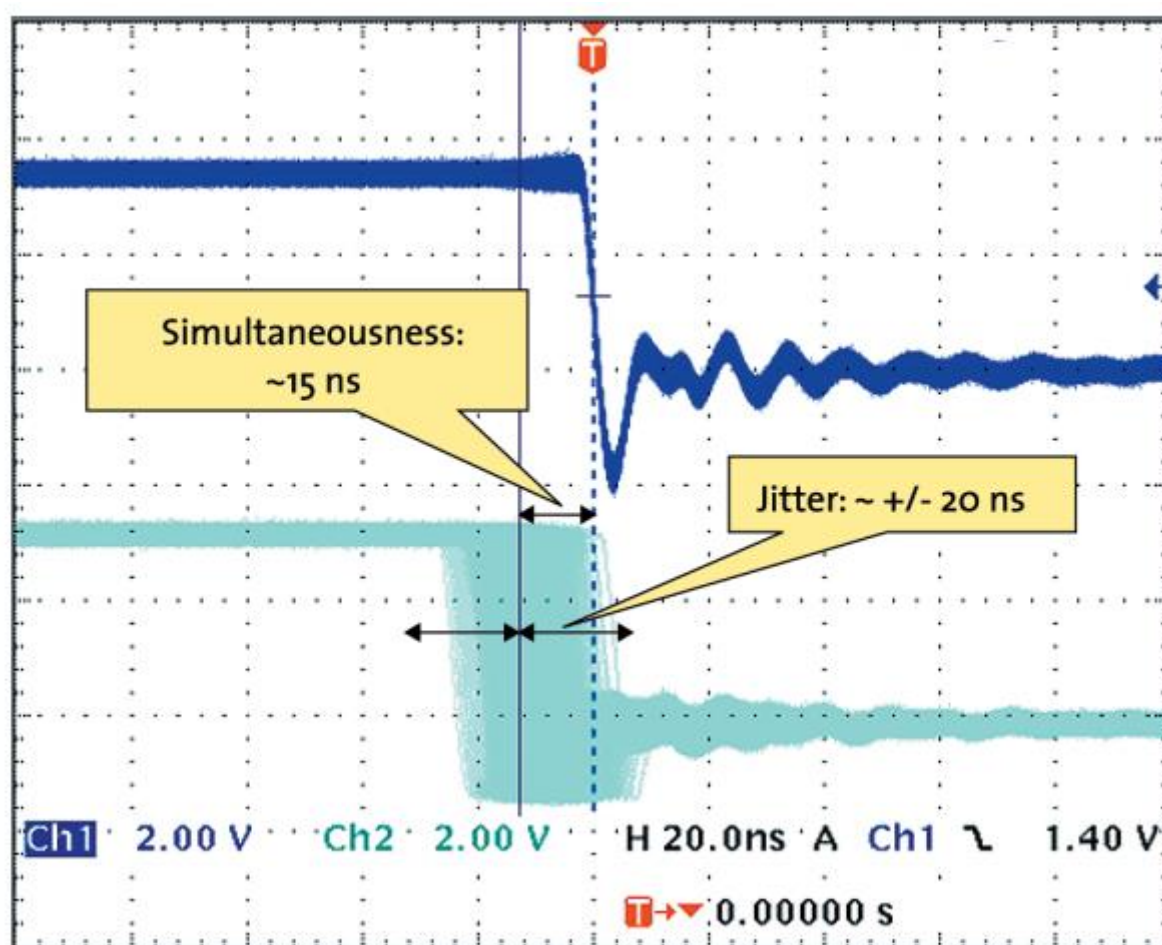
В системах, где требуется одновременное выполнение нескольких операций, очень важна синхронизация времени между устройствами. Например, это относится к задачам перемещения, где нужно координировать перемещение объекта по нескольким сервоосям. В отличие от полностью синхронного обмена данными, при котором степень синхронизации сразу уменьшается в случае наличия ошибок связи, распределенные часы позволяют обеспечить низкий джиттер. Поэтому EtherCAT использует технологию распределенных часов (Distributed Clocks; DC).



Полностью аппаратная синхронизация времени с компенсацией задержек передачи

Калибровка времени на slave-устройствах является полностью аппаратной. Время от первого подчиненного устройства во время пересылки EtherCAT-фрейма распределяется по всем остальным устройствам сети. С помощью этого механизма все slave-устройства синхронизируются с общим опорным временем. Джиттер не превышает одной микросекунды.

Поскольку время, зафиксированное опорными часами, распространяется между устройствами с некоторой задержкой, то эту задержку необходимо определять и компенсировать для каждого slave-устройства для обеспечения точной синхронизации времени. Эта задержка может измеряться в момент запуска системы или, если это необходимо, с заданной периодичностью для обеспечения гарантии того, что джиттер часов устройств не будет превышать одной микросекунды.



Измерение джиттера двух устройств в сети с 200 узлами и длиной линии связи 120 м

Если все slave-устройства имеют синхронизированное время, то они могут одновременно устанавливать выходы и передавать состояния своих входов. В задачах управления движением кроме синхронизации также важна детерминированность цикла опроса, потому что в этом случае скорость перемещения обычно определяется на основании расстояния, пройденного за заданный интервал времени, и измерение этих интервалов должно быть предельно точным. Даже очень небольшие отклонения между интервалами измерения могут привести к большим погрешностям при вычислении скорости – особенно при малом времени цикла ПЛК. В EtherCAT период измерения определяется часами устройства, а не особенностями самого протокола, что приводит к крайне высокой степени точности измерения времени.

Кроме того, использование механизма распределенных часов снижает нагрузку на master-устройство. Поскольку различные события (например, измерение параметров) запускаются по встроенному таймеру, а не по факту получения фрейма, то у master-устройства нет жестких требований к производительности для отправки очередного фрейма slave-устройствам. Это позволяет программно реализовать стек для EtherCAT Master практически на любой стандартной платформе с поддержкой Ethernet. Даже джиттер в диапазоне нескольких микросекунд не снижает точность распределенных часов. Поскольку точность хода часов не зависит от момента, когда они были установлены, абсолютное время передачи очередного фрейма не имеет значения. Master-устройству нужно только проверить, что фрейм с данными был отправлен достаточно рано для того, чтобы в момент генерации события по распределенным часам на slave-устройствах у них уже были нужные данные.

Диагностика и локализация ошибок

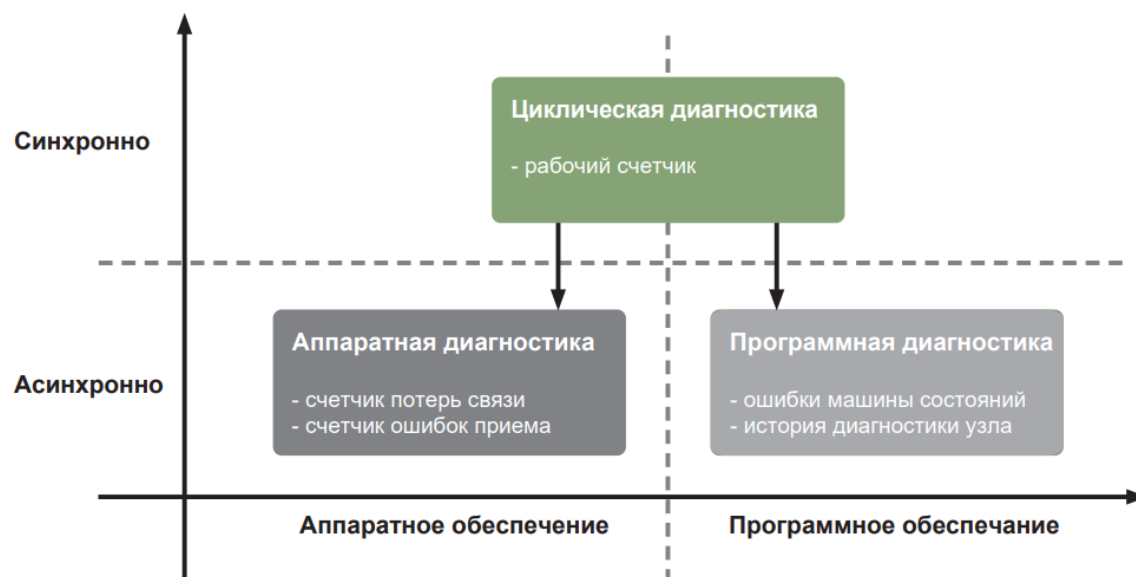
Опыт использования известных промышленных протоколов показывает, что возможности диагностики ошибок существенно влияют на время ввода системы в эксплуатацию. Помимо диагностики ошибок очень важным является возможность определить устройство, с которым они связаны. EtherCAT позволяет сравнить ожидаемую и реальную топологию сети во время запуска master-устройства. Кроме того, протокол поддерживает множество других функций диагностики.

Каждое slave-устройство проверяет контрольную сумму EtherCAT-фрейма. Обработка данных производится только в том случае, если рассчитанная контрольная сумма совпадает с контрольной суммой фрейма. В случае несовпадения slave инкрементирует счетчик ошибок в фрейме, и следующие устройства на шине будут знать, что фрейм поврежден. Master-устройство также определит, что фрейм содержит ошибки, и не будет анализировать содержащиеся в нем данные; с помощью значения счетчика ошибок оно определит, в каком slave-устройстве произошел сбой. Это является существенным преимуществом по сравнению с другими промышленными протоколами, где определить источник ошибки обычно невозможно. EtherCAT позволяет детектировать и устранять случайные сбои в сети до того, как это повлияет на работу системы.

Благодаря уникальному принципу использования пропускной способности сети, эффективность которого на несколько порядков превышает обычный промышленный Ethernet, который использует отдельные запросы для опроса каждого устройства, вероятность появления ошибок в фрейме EtherCAT существенно ниже – при той же частоте опроса. А если рассматривать характерную для EtherCAT более высокую частоту опроса – то время, необходимое на устранение этих ошибок (путем отправки нового фрейма) сильно сокращается. Таким образом, устранять такие проблемы при использовании EtherCAT гораздо проще.

Значение рабочего счетчика (working counter), записываемое в каждую датаграмму, позволяет определить согласованность данных. Каждое slave-устройство, к памяти которого происходит обращение в процессе обработки датаграммы, увеличивает значение этого счетчика на единицу. Если значение рабочего счетчика отличается от ожидаемого – то EtherCAT Master не передает данные этой датаграммы в пользовательское приложение. После этого master-устройство может детектировать причину ошибку с помощью информации о статусе и ошибках slave-устройств, а также о факте наличия связи с каждым из них.

Поскольку EtherCAT использует стандартные Ethernet-фреймы, то трафик сети может быть прослушан с помощью бесплатных средств анализа. Например, крайне известная программа [Wireshark](#) содержит встроенный парсер EtherCAT-фреймов, что позволяет просматривать в ней специфичную для протокола информацию (значение рабочего счетчика, используемых команд и т.д.) в виде обычного текста.



Обзор возможностей диагностики EtherCAT

Универсальный диагностический интерфейс master-устройств

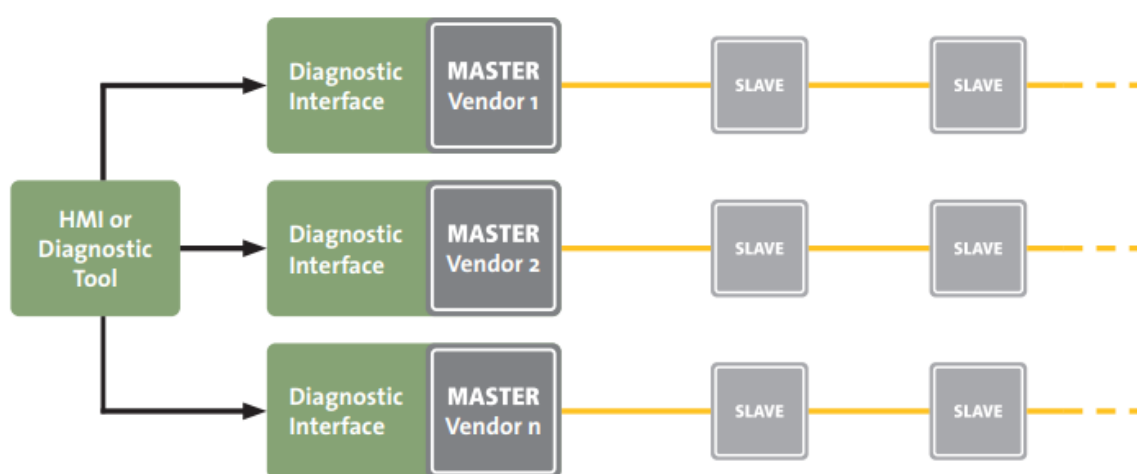
За счет возможностей, описанных в предыдущем пункте, вся диагностическая информация мониторинга сети и ошибок обмена доступна в драйвере master-устройства.

Но эта «сырая» информация должна быть обработана и передана в соответствующее ПО (например, в систему исполнения ПЛК или среду разработки) для того чтобы стать доступной пользователю. Спецификация ETG.1510 определяет профиль универсального диагностического интерфейса master-устройства, не зависящий от конкретной аппаратной платформы и программной реализации EtherCAT.

ETG.1510 является расширением спецификации ETG.1500 EtherCAT Master Classes. Диагностическая информация добавляется в словарь (Object Dictionary) EtherCAT Master-устройства, определенный в спецификации ETG.5001. В эту информацию входит как ожидаемая master-устройством топология сети, так и реальная, полученная во время онлайн-сканирования. Основная диагностическая информация представлена счетчиками, значения которых обновляются с момента запуска master-устройства. В результате считывать значения этих счетчиков можно в произвольные моменты времени независимо от цикла опроса, и внешнему ПО не требуется возможность работы в реальном времени.

Доступ к диагностической информации осуществляется по хорошо зарекомендовавшему себя прикладному протоколу CAN over EtherCAT (CoE). Диагностический интерфейс, полностью основанный на этом стандартизированном протоколе и его функциях, может быть легко реализован в качестве плагина для любого программного EtherCAT Master. Этот плагин требует минимального количества ресурсов, что позволяет реализовать его на любой аппаратной платформе, включая встраиваемые системы.

Используя диагностический интерфейс EtherCAT, разработчики ПО для сетевого мониторинга и диагностики могут легко получить данные о статусе и ошибках EtherCAT-устройств для предоставления их операторам и сервисным инженерам в удобном графическом виде. При этом не потребуется производить адаптацию под конкретные устройства – универсальность интерфейса позволяет реализовать его один раз и использовать для работы с приборами любых производителей.

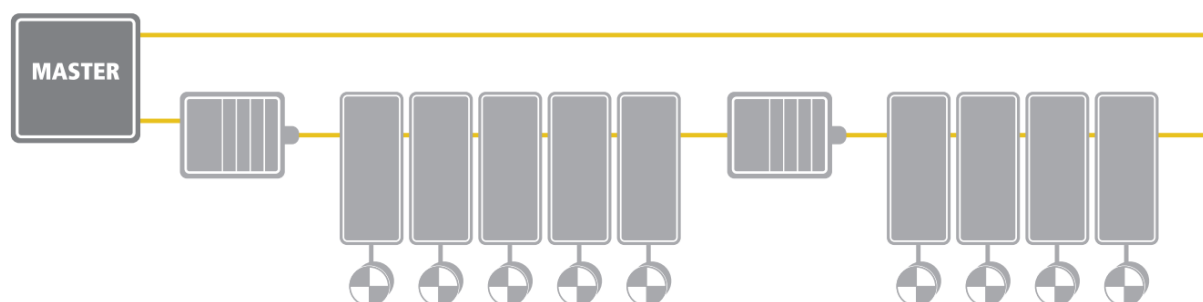


Принцип использования универсального диагностического интерфейса

Высокая надежность

Для систем с высокими требованиями к надежности обрыв кабеля или неисправность одного из slave-устройств не должны приводить к недоступности всей сети или ее сегмента.

EtherCAT позволяет легко обеспечить резервирование канала связи. Второй Ethernet-порт последнего устройства на линии соединяется со вторым Ethernet-портом master-устройства – и таким образом шинная топология превращается в кольцевую. Обрыв кабеля или неисправность slave-устройства детектируется плагином на стороне master-устройства. Slave-устройства не требуют никаких доработок для работы в кольце – потому что с их точки зрения это ничем не отличается от обычного режима работы.



Бюджетное резервирование сети с помощью кольцевой топологии

Время восстановления работы сети при обнаружении неисправности не превышает 15 микросекунд, так что из-за сбоя может быть пропущен максимум один цикл опроса. Это означает, что даже в задачах управления движением обрыв кабеля связи не приведет к сбою в техпроцессе.

EtherCAT также позволяет организовать горячее резервирование для master-устройства. Потенциально ненадежные линии связи (например, кабель-каналы) могут быть присоединены не к основной, а к отводной линии EtherCAT – тогда в случае обрыва кабеля остальная часть системы продолжит работать в обычном режиме.

EtherCAT G: обмен на гигабитных скоростях

EtherCAT G – это расширение стандарта EtherCAT, которое позволяет осуществлять передачу данных со скоростью 1 гигабит/с и 10 гигабит/с. Это особенно актуально при передаче в рамках сегмента сети большого объема данных – например, в задачах машинного зрения, сверхточного и быстрого измерения параметров или сложных приложениях, связанных с управлением движением.

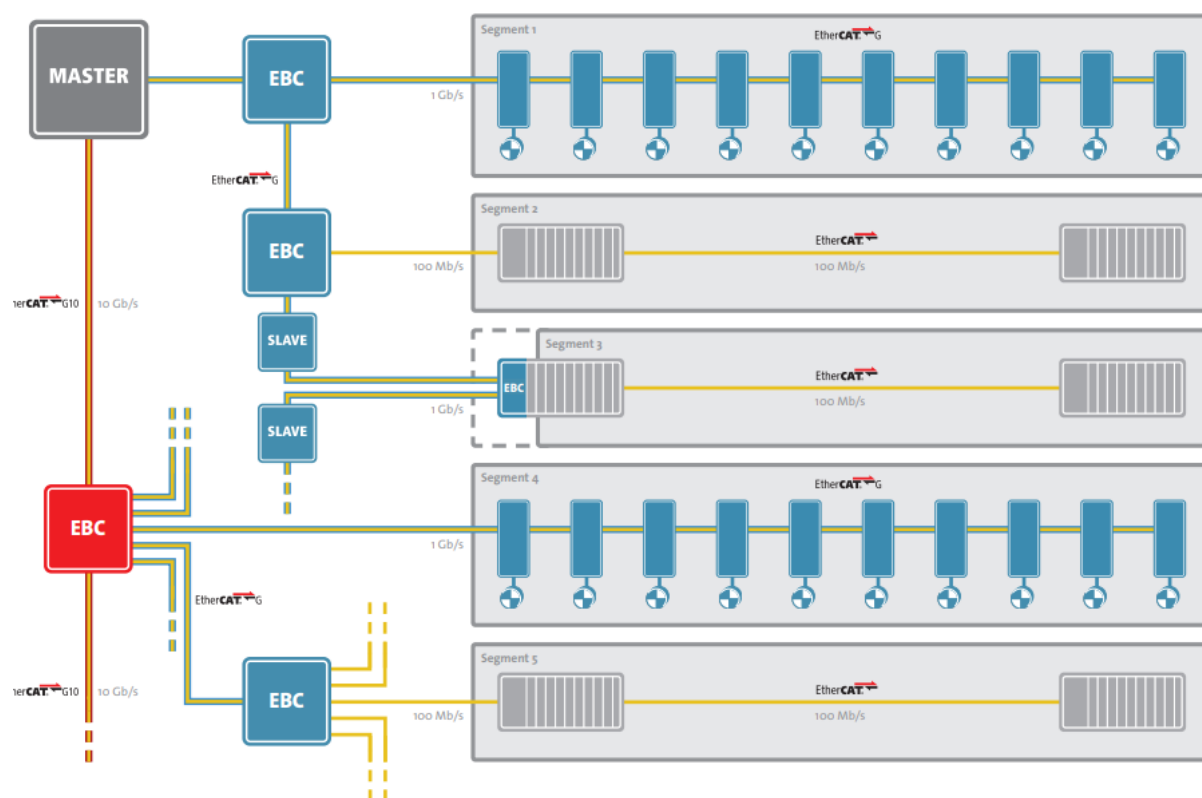
EtherCAT G/G10 поддерживает все возможности EtherCAT и полностью совместим со стандартом IEEE 802.3. Сохраняется и гибкость топологии – устройства могут быть соединены в шину (в т.ч. с отводными линиями), дерево или цепочку (daisy-chain).

EtherCAT G также добавляет в стандарт концепцию ветвей, которая реализуется с помощью EtherCAT Branch Controllers (EBC). EBC представляют собой шлюзы между гигабитными и мегабитными (100 мбит/с) сегментами сети. Это позволяет легко интегрировать в систему различные типы сетей.

Пересылка фреймов в сегменты сети происходит на основании приоритетов или через заданные интервалы времени. При этом каждая ветвь обрабатывается как независимый сегмент EtherCAT – фрейм не проходит через все сегменты, а отправляется только в нужный сегмент. Передача фреймов в разные сегменты происходит параллельно. Это значительно сокращает затраты времени на передачу данных в сетях с большим количеством устройств и повышает производительность системы.

В типовом случае конфигурирование EBC производит master-устройство, поэтому никаких дополнительных инструментов не требуется. Единственное дополнительное требование к master-устройству – это наличие гигабитного Ethernet-порта. Такие функции, как команды диагностики и или синхронизация времени через распределенные часы, поддерживаются EBC и пересылаются в нужные сегменты сети.

Таким образом, EtherCAT G/G10 позволяет использовать более широкую пропускную способность и не требует оснащения всех slave-устройств гигабитными сетевыми интерфейсами – за счет EBC можно продолжать использовать уже проверенные временем 100-мегабитные устройства совместно с новыми гигабитными. Это значит, что EtherCAT уже готов к будущим требованиям к повышению скорости передачи данных и уменьшению времени отклика в промышленных сетях.



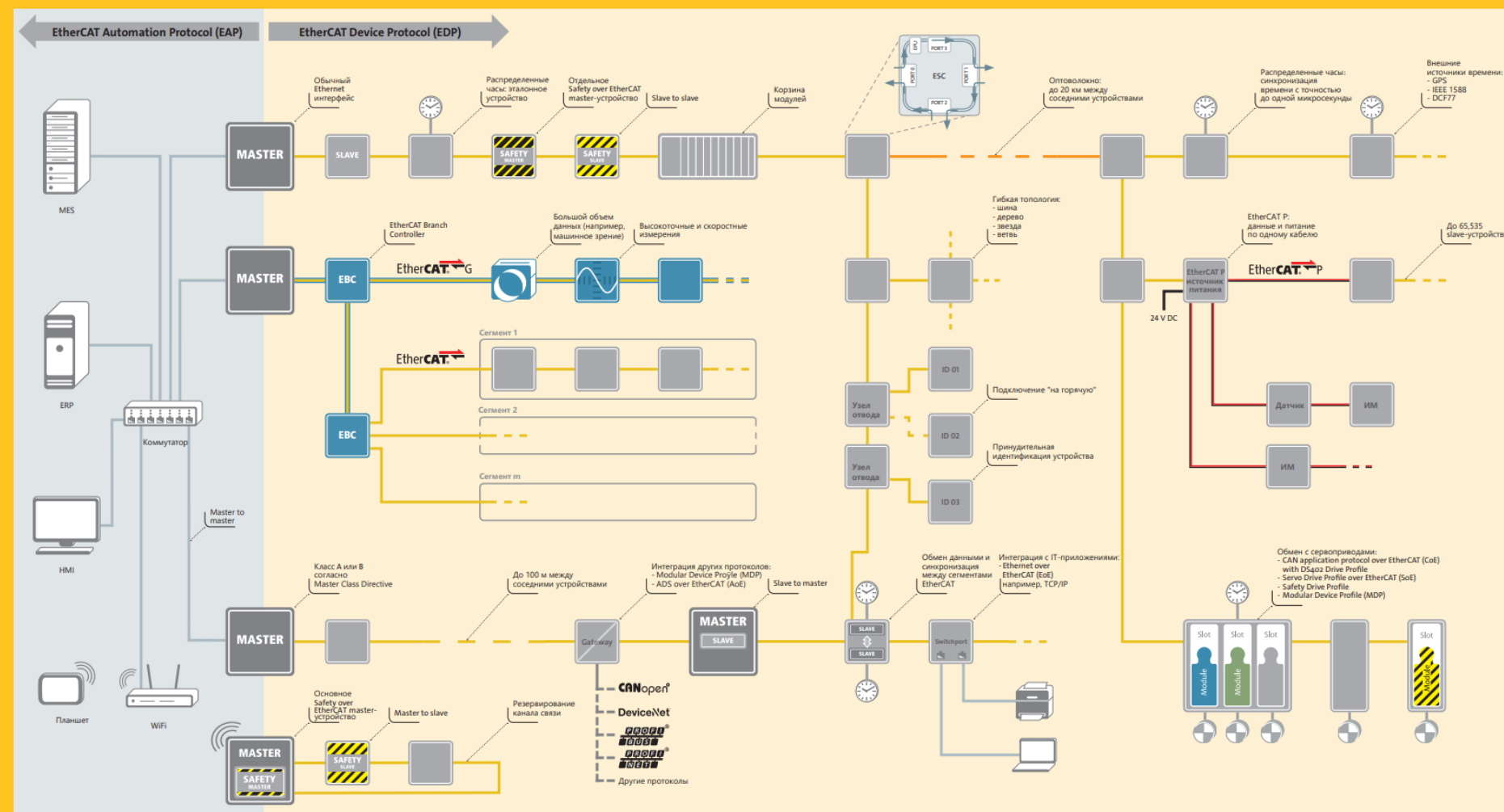
Пример сети с EtherCAT G / G10

Дополнительная информация о протоколе EtherCAT G доступна по ссылке:
<https://www.ethercat.org/en/ethercat-g.html>

Объект управления

Сеть предприятия

Промышленная сеть



EtherCAT P: передача данных и питания по одному кабелю

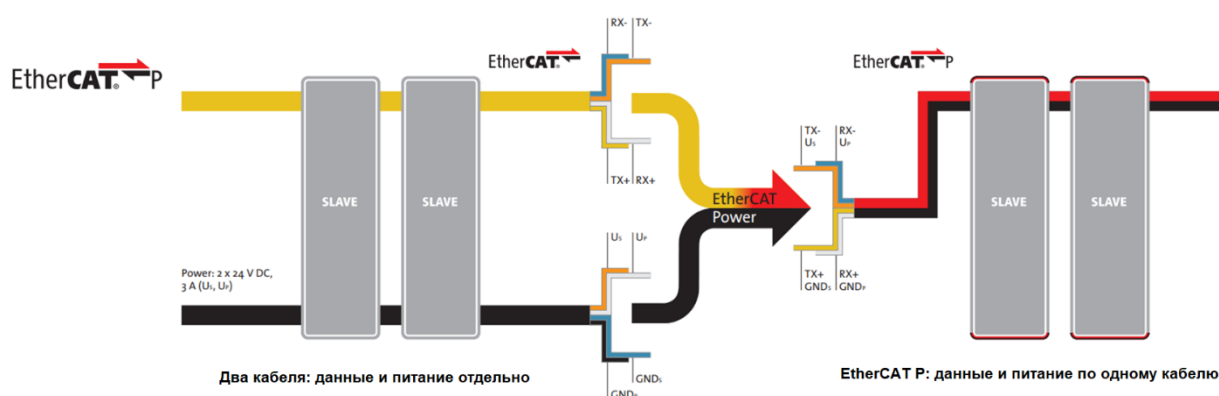
EtherCAT P (*p* означает «power») – это еще одно расширение стандарта EtherCAT. Оно позволяет передавать как данные, так и питание по одному стандартному 4-проводному Ethernet-кабелю.

EtherCAT и EtherCAT P идентичны с точки зрения протокола и отличаются только на физическом уровне. Для создания slave-устройств с поддержкой EtherCAT P подходят стандартные EtherCAT Slave Controllers. Так что можно с уверенностью сказать, что EtherCAT P сохраняет все преимущества обычного EtherCAT, добавляя к ним упрощение организации электропитания для устройств.

Для этого в устройстве должны присутствовать два электрически изолированных и индивидуально переключаемых источника питания: U_s для обеспечения питания контроллера и датчиков и U_p для обеспечения питания периферии и исполнительных механизмов. Оба источника питания подключаются непосредственно к 100-мегабитной шине EtherCAT. Благодаря этому пользователь может соединить и обеспечить питанием несколько slave-устройств с помощью всего лишь одного кабеля, что упрощает монтаж оборудования и позволяет сделать систему управления более компактной и дешевой.

EtherCAT P особенно хорошо подходит для автономных узлов системы управления и подключения датчиков: разъем M8 позволяет легко подключить датчики к промышленной сети и избежать ошибок монтажа.

EtherCAT P может использоваться в одной сети с обычным EtherCAT. Для этого применяются специальные выпрямительные устройства, которые преобразуют сигнал EtherCAT в сигнал EtherCAT P и обратно.



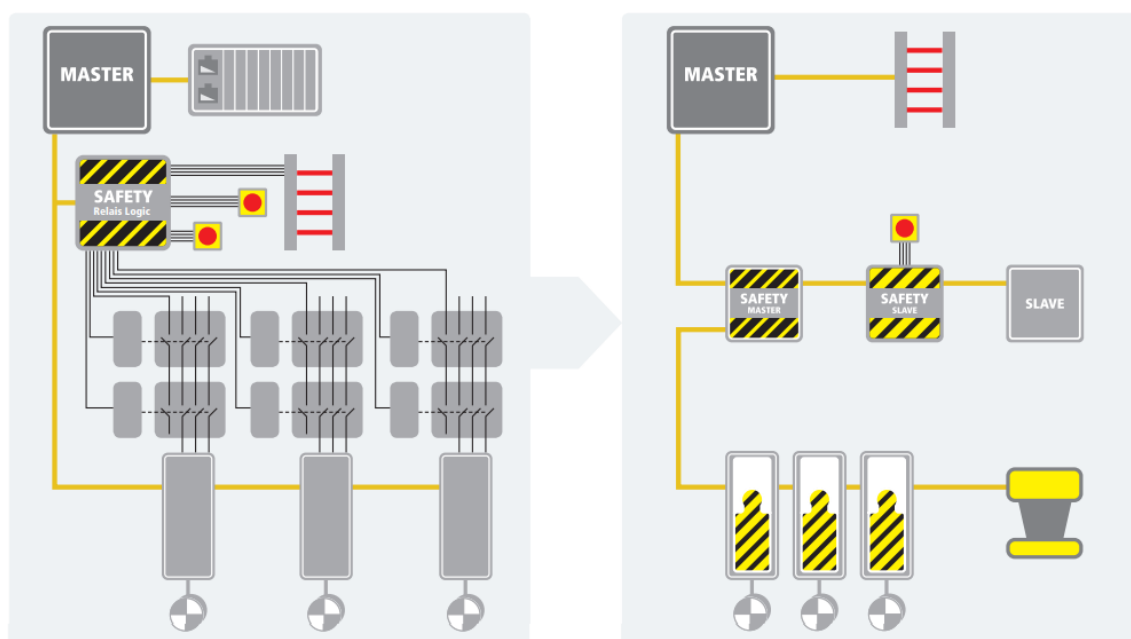
Дополнительная информация о протоколе EtherCAT G доступна по ссылке:
<https://www.ethercat.org/en/ethercat-p.html>

Обзор протокола

Safety over EtherCAT

В современных системах автоматизации требуется не только детерминированная по времени передача управляющих сигналов, но и отправка критически важной с точки зрения промышленной безопасности информации по тому же каналу связи. В стандарте EtherCAT для этого используется протокол Safety over EtherCAT (*FSoE – FailSafe over EtherCAT*), который позволяет:

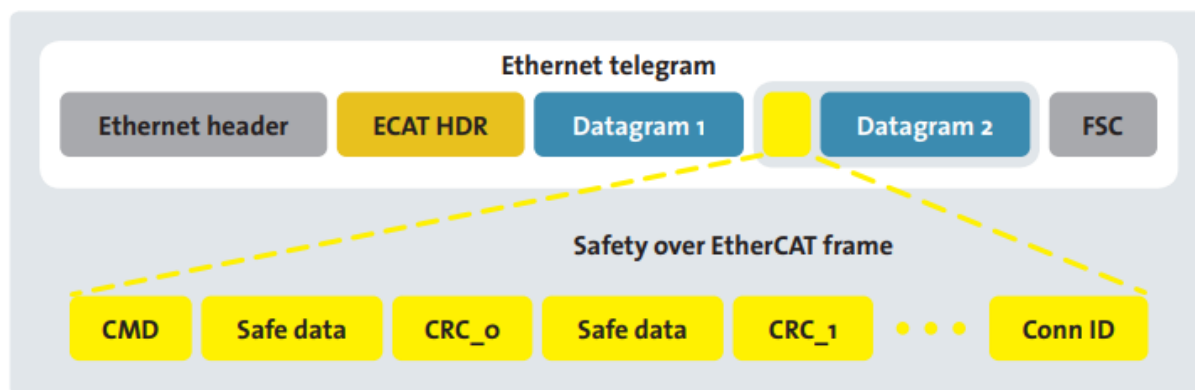
- использовать единый канал связи для передачи оперативных и критических важных данных;
- гибко изменять и масштабировать архитектуру системы безопасности;
- применять уже сертифицированные устройства;
- использовать развитые средства диагностики для устройств безопасности;
- бесшовно интегрировать систему промышленной безопасности в систему автоматизации;
- использовать одни и те же инструменты для создания как обычных, так и систем с повышенным требованиями к надежности.



Safety over EtherCAT позволяет создавать более простые и гибкие системы безопасности по сравнению с системами, построенными на реле

Safety over EtherCAT был разработан в соответствии со стандартом IEC 61508, сертифицирован TÜV и принят в качестве стандарта IEC 61784-3. Протокол подходит для использования в системах с требованиями к уровню функциональной безопасности вплоть до SIL3. С использованием Safety over EtherCAT система связи считается частью «[черного канала](#)», который не является частью системы безопасности. Передача и управляющих сигналов, и критически важной (с точки зрения безопасности) информации осуществляется по единому каналу связи. Фреймы протокола Safety over EtherCAT (также называемые «контейнеры безопасности») содержат

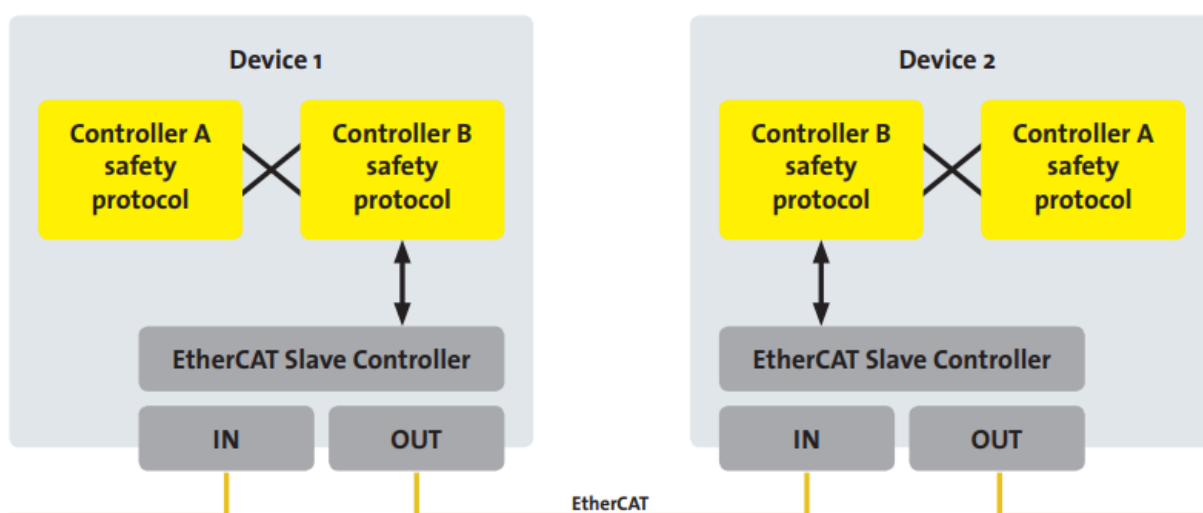
критически важные данные и информацию для их защиты. Контейнеры безопасности передаются по сети в составе EtherCAT-фрейма. Безопасность передачи данных не зависит от используемого протокола канального уровня – им может быть как EtherCAT, так и другие промышленные протоколы; контейнеры безопасности могут передаваться по Ethernet с использованием оптоволокну, витой пары или даже беспроводной связи.



Фрейм Safety over EtherCAT (контейнеры безопасности) является частью фрейма EtherCAT

За счет такой гибкости безопасное подключение различных частей системы управления становится более простым. Контейнер безопасности проходит сквозь все slave-устройства и обрабатывается в различных сегментах системы. Это позволяет легко организовать аварийную остановку всего оборудования или его отдельных блоков – даже если часть из них подключена по другому протоколу (например, по Ethernet).

Для поддержки FSoE не требуется значительных аппаратных ресурсов. Протокол обеспечивает высокую производительность и низкое время реакции. Например, в робототехнике FSoE используется в системах с замкнутыми контурами, работающими на частоте 8 кГц.



Принцип «черного канала»: используется стандартный коммуникационный интерфейс

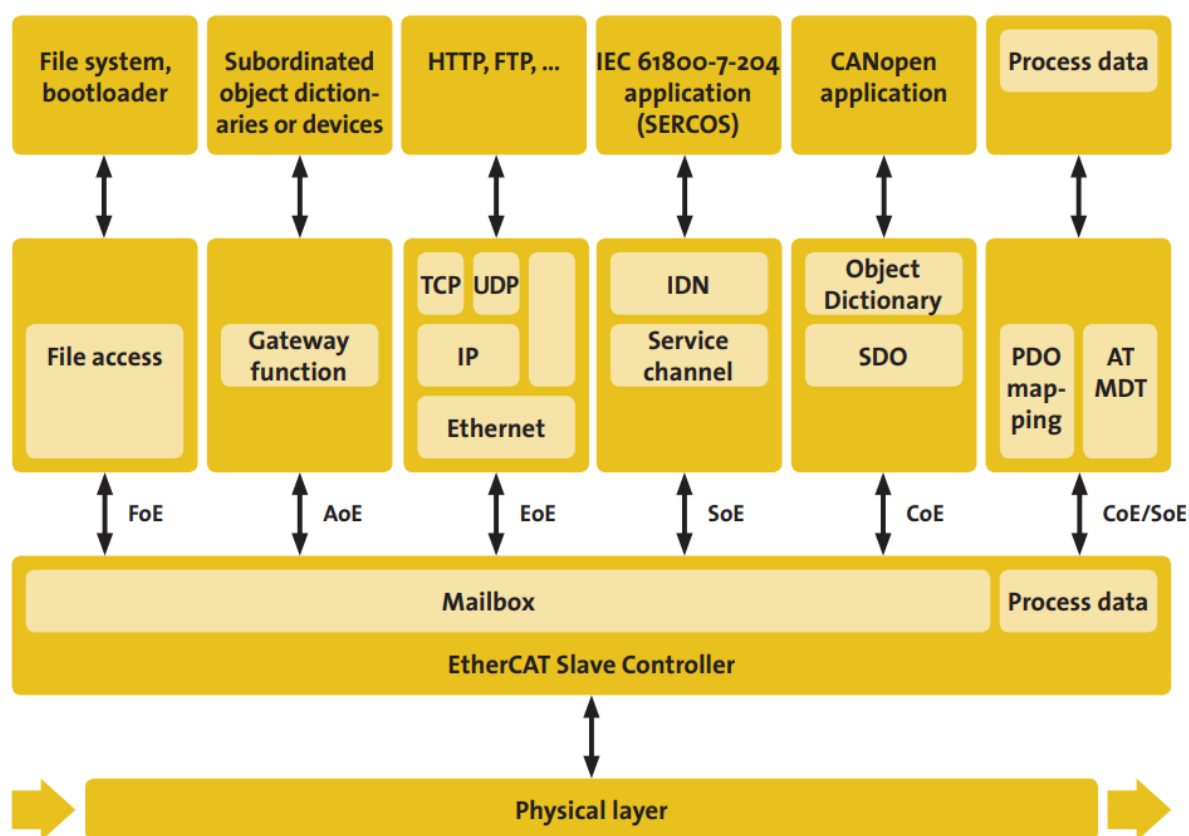
Дополнительная информация о протоколе Safety over EtherCAT доступна по ссылке: <https://www.ethercat.org/en/safety.html>

Коммуникационные профили

Для конфигурирования и диагностики slave-устройств существует возможность ациклического доступа к их переменным. Для этого используется технология «почтового ящика» (mailbox) с функцией автоматического восстановления поврежденных сообщений.

Для поддержки наибольшего количества устройств и решения различных задач были разработаны следующие коммуникационные профили EtherCAT:

- CAN application protocol over EtherCAT (CoE);
- Servo drive profile, в соответствии с IEC 61800-7-204 (SoE);
- Ethernet over EtherCAT (EoE);
- File access over EtherCAT (FoE);
- ADS over EtherCAT (AoE).



В рамках одной системы могут использовать различные коммуникационные профили

Slave-устройство не обязано поддерживать все коммуникационные профили; разработчик сам определяет, какие профили могут быть полезны для конкретного прибора. Master-устройство определяет профили, поддерживаемые slave-устройством, на основании информации из файла описания slave-устройства.

CAN application protocol over EtherCAT (CoE)

CoE добавляет в EtherCAT механизмы связи, определенные в стандарте CANopen®-Standard EN 50325-4: словарь объектов (object dictionary), PDO (process data objects; оперативные данные) и SDO (service data objects; конфигурационные данные). Даже конфигурирование сети схоже с протоколом CAN. Это позволяет легко поддерживать EtherCAT в устройствах с протоколом CANopen – и повторно использовать значительную часть написанного для них кода. При желании можно отказаться от 8-байтового ограничения PDO (связанного с историческими причинами) и использовать пропускную способность EtherCAT для загрузки всего словаря объектов. Профили устройств (например, профиль приводов CiA 402) также можно использовать в EtherCAT.

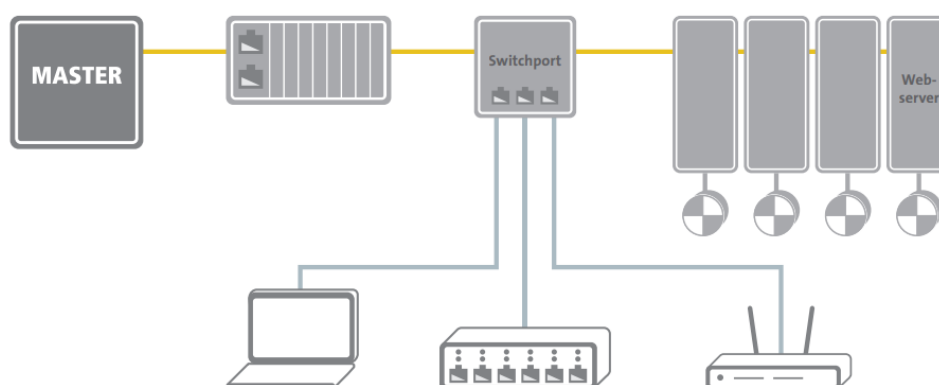
Servo drive profile according to IEC 61800-7-204 (SoE)

SERCOS™ – это протокол реального времени, часто используемый в системах управления движением. Профиль устройств SERCOS™ является частью международного стандарта IEC 61800-7. Этот стандарт также описывает реализацию этого профиля для EtherCAT. Конфигурирование сервоприводов (включая полный доступ ко всем параметрам и функциям) осуществляется через «почтовый ящик» slave-устройства.

Ethernet over EtherCAT (EoE)

EtherCAT использует физический и канальный уровень Ethernet и стандартные Ethernet-фреймы. Ethernet часто используется в IT-инфраструктуре для передачи данных с помощью стека протоколов TCP/IP.

С помощью профиля Ethernet over EtherCAT (EoE) весь сетевой трафик может передаваться через сегменты EtherCAT. Ethernet-устройства подключаются к EtherCAT с помощью специализированных коммутаторов. Фреймы Ethernet туннелируются через сеть EtherCAT (аналогично протоколам TCP/IP, VPN, PPPoE (DSL) и т.д.), что делает ее «прозрачным шлюзом» для Ethernet-устройств. Нужные фрагменты TCP/IP-фрейма добавляются в EtherCAT-трафик на уровне коммутатора, что позволяет сохранить передачу данных в реальном времени для EtherCAT-сегментов.



Прозрачная передача IT-трафика через EtherCAT-сегмент

Кроме того, некоторые EtherCAT-устройства поддерживают другие протоколы (например, HTTP) и поэтому могут использоваться как обычные Ethernet-устройства за пределами EtherCAT-сегмента. Master-устройство в этом случае выполняет роль коммутатора уровня L2, отправляя фреймы по протоколу Ethernet over EtherCAT по соответствующим MAC-адресам. Таким образом, все обычные IT-протоколы могут быть использованы в рамках EtherCAT – веб-серверы, электронная почта, передача файлов по FTP и т.д.

File Access over EtherCAT (FoE)

Простой протокол, аналогичный [TFTP](#) (Trivial File Transfer Protocol), который обеспечивает доступ к файлам slave-устройств и обновление их прошивок. Протокол специально упрощен, чтобы его можно было поддерживать в начальном загрузчике. Наличие стека TCP/IP не требуется.

ADS over EtherCAT (AoE)

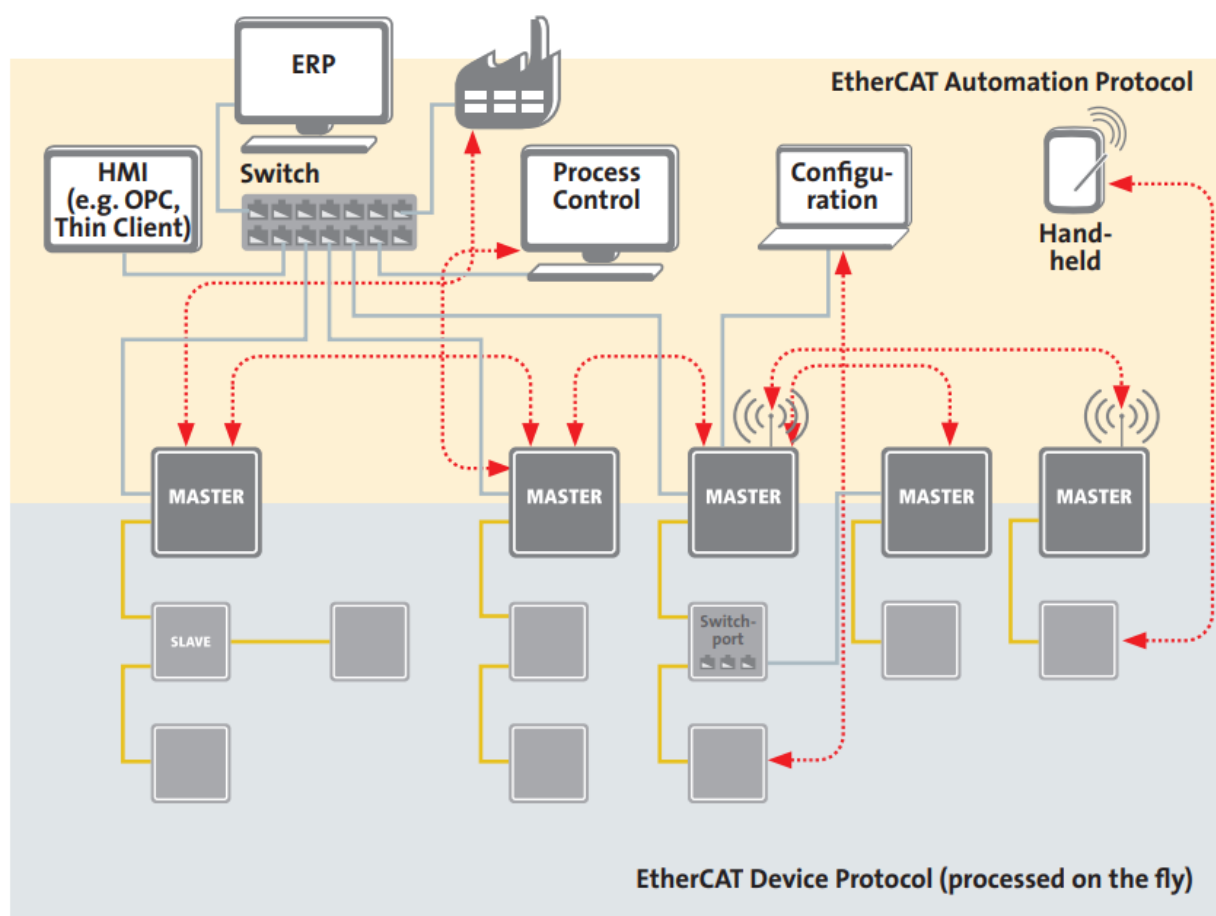
АоЕ – это клиент-серверный протокол, основанный на концепции «почтового ящика» (mailbox). В дополнение к протоколам типа CoE, которые включают в себя подробную семантическую модель, АоЕ позволяет маршрутизировать через сеть EtherCAT произвольный трафик. Это, например, может быть полезным при работе со шлюзами EtherCAT/CANopen®, EtherCAT/IO-Link™ и другими.

АоЕ требует значительно меньше накладных расходов, чем протокол IP. В каждой датаграмме содержатся адреса отправителя и получателя. В результате, реализация как сервера, так и клиента, не требует значительных ресурсов. АоЕ является предпочтительным способом для ациклического обмена через протокол верхнего уровня [EtherCAT Automation Protocol](#) (EAP) и позволяет обеспечить связь между MES-системой, master-устройством и полевыми slave-устройствами, подключенным к сети EtherCAT через различные шлюзы. Также АоЕ используется диагностическими утилитами для мониторинга состояния и ошибок slave-устройств.

Коммуникация на уровне предприятия с использованием EtherCAT Automation Protocol (EAP)

Требования к обмену данными на уровне управления всем производством немного отличаются от требований к коммуникации на полевом уровне, описанным в предыдущих разделах. Достаточно часто требуется передача информации между отдельными установками и производственными линиями. Кроме того, обычно в системе присутствует центральный контроллер, который управляет производственным процессом на глобальном уровне, распределяя задания по отдельным производственным линиям.

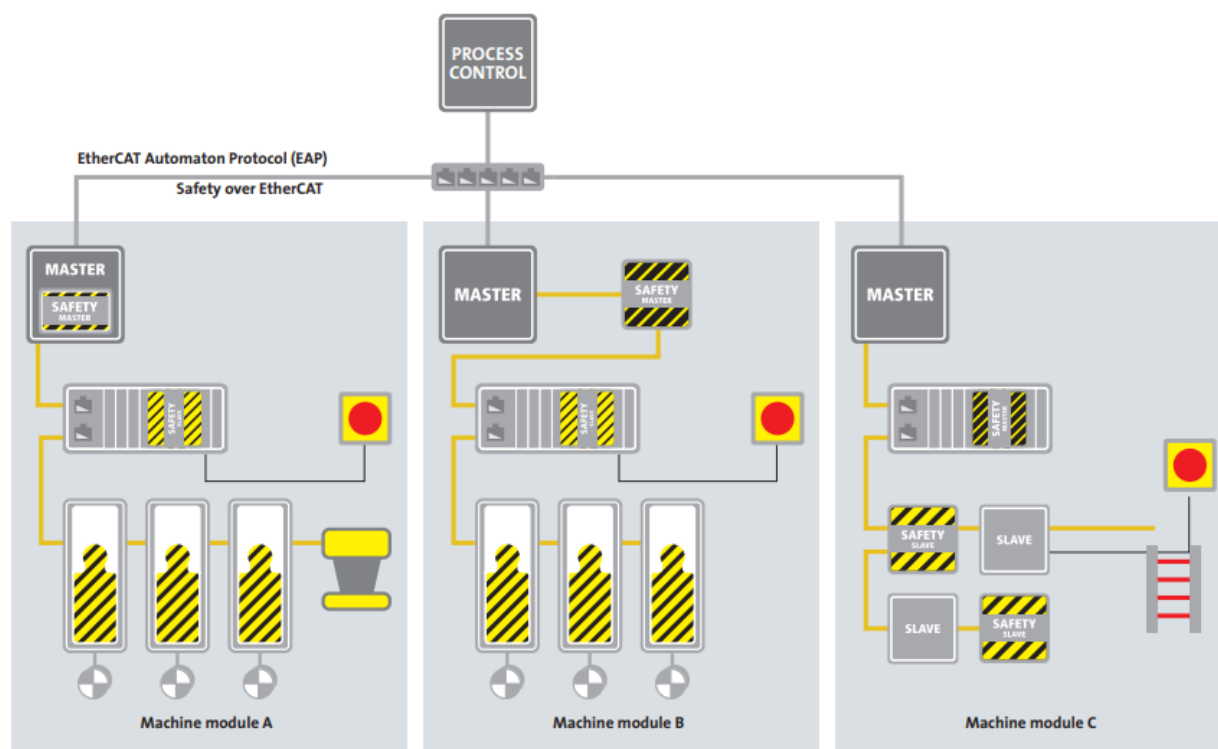
Для решения этих задач используется протокол EtherCAT Automation Protocol (EAP).



Коммуникация на уровне производства с использованием протокола EtherCAT

Протокол определяет следующие интерфейсы и сервисы:

- обмен данными между master-устройствами;
- обмен данными с HMI (человеко-машинным интерфейсом);
- маршрутизацию трафика через шлюзы протокола EtherCAT в другие промышленные протоколы;
- интеграцию ПО для конфигурирования устройств и системы автоматизации.



Коммуникация на уровне производства с использованием протокола EtherCAT Automation Protocol и Safety over EtherCAT

Коммуникационные протоколы, входящие состав в EAP, являются частью международного стандарта IEC 61158. EAP использует в качестве физического уровня Ethernet – включая беспроводные варианты соединения, что позволяет применять его в [автоматически управляемых транспортных средствах](#) (AVG), которые часто используются при производстве полупроводников и в автомобильной промышленности.

EAP позволяет производить циклический обмен данными в режимах push и poll. В режиме push каждое устройство отправляет данные с периодом, равным времени его цикла (или кратным этому времени). Каждое устройство может подписаться на получение данных только от определенных устройств. Настройка данных отправителей и получателей производится через словарь объектов (object dictionary). В режиме poll каждое устройство отправляет запросы другим устройствам, и каждое из этих устройств отвечает на запрос.

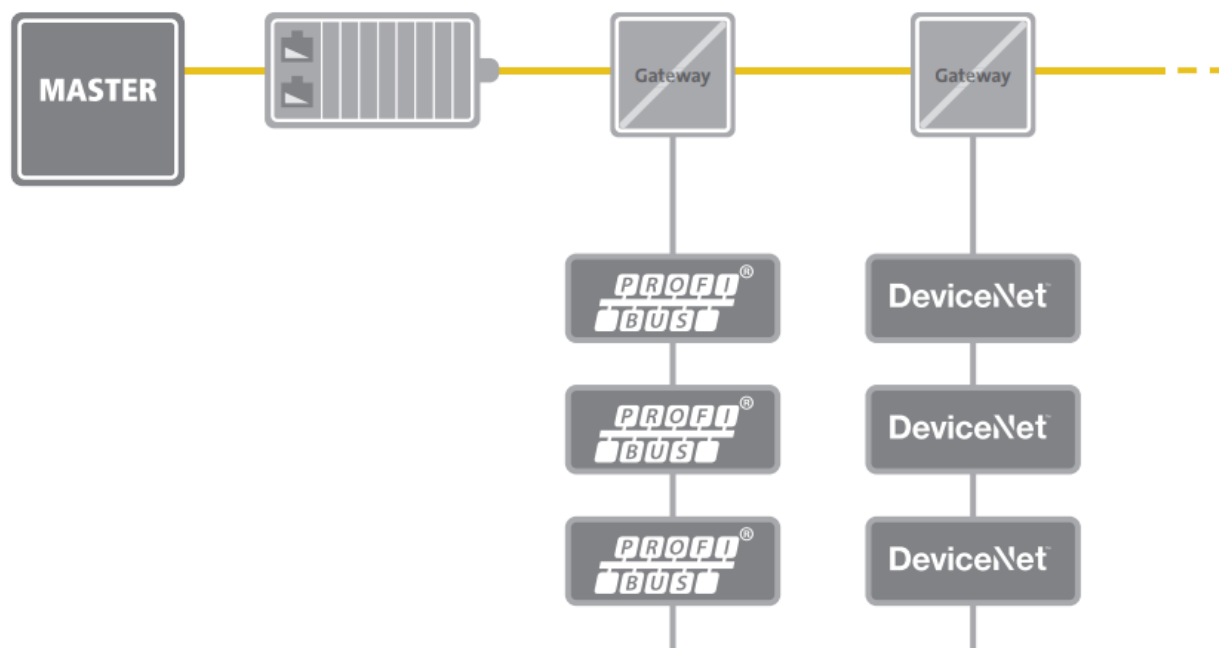
Циклический обмен в EAP основан на использовании стандартных Ethernet-фреймов с идентификатором 0x88A4 в поле EtherType. Это позволяет передавать часто изменяющиеся данные

с миллисекундным циклом. Если требуется передача данных между устройствами, расположенными в разных сегментах сети, то может использоваться протокол TCP/IP или UDP/IP.

Кроме того, EAP позволяет использовать протокол Safety over EtherCAT для передачи критически важных данных. Обычно он используется в системах управления производственными линиями, в которых отдельным управляющим блокам необходимо обмениваться критически важными данными для возможности синхронной аварийной остановки или для передачи сообщений другим линиям в случае остановки конкретной линии.

Интеграция других промышленных протоколов

Пропускная способность EtherCAT позволяет интегрировать в его сеть другие промышленные протоколы, что особенно полезно во время поэтапной модернизации системы автоматизации. В рамках постепенного перехода на EtherCAT не является проблемой интеграция тех устройств, которые не поддерживают этот протокол.



Интеграция других промышленных протоколов в сеть EtherCAT

Возможность использования шлюзов позволяет уменьшить размеры промышленного ПК (часто используемого в качестве master-устройства), а иногда даже перейти на встраиваемые промышленные ПК, потому что пропадает необходимость в слотах под дополнительные коммуникационные адаптеры. В прошлом такие адаптеры требовались для подключения устройств по различным промышленным протоколам или для повышения скорости опроса по последовательным интерфейсам. В EtherCAT для всех этих задач достаточно использовать один обычный Ethernet-порт – и данные из сетей других промышленных протоколов становятся доступными в сети EtherCAT.

EtherCAT в контексте цифровизации, Индустрии 4.0 и IoT

Оптимизация производственных процессов, предиктивная диагностика, «[производство как услуга](#)», адаптивные системы управления, экономия сырья, «умные фабрики», снижение издержек – есть множество причин для использования данных мониторинга производственных процессов в системах верхнего уровня. Интернет вещей (IoT), «[Сделано в Китае 2025](#)», [Industrial Value Chain Initiative](#) демонстрируют, что есть общая потребность в бесперебойной, непрерывной и унифицированной связи между всеми уровнями промышленных систем. Информация от датчиков передается в облако вместе с параметрами и рецептами, которые загружаются из ERP-системы в управляющие устройства. Рассмотрим, например, систему с передачей сырья между двумя установками – в этом случае требуются и горизонтальные, и вертикальные связи между компонентами системы.

EtherCAT соответствует требованиям наступающей цифровизации за счет своей производительности, гибкости и открытости. Исключительное быстродействие протокола позволяет использовать концепцию «[больших данных](#)» в промышленных сетях.

EtherCAT обеспечивает гибкие возможности подключения к облачным сервисам без необходимости переконфигурирования master- и slave-устройств: коммуникационный шлюз может получить доступ ко всем данным с помощью доступа к «почтовому ящику» (mailbox) master-устройства. Коммуникационный шлюз может представлять собой отдельное устройство, взаимодействующее с EtherCAT Master по протоколу TCP/IP или UDP/IP, или же являться приложением, запускаемым на самом master-устройстве.

Кроме того, открытость протокола позволяет интегрировать в него IT-протоколы – например, OPC UA, MQTT, AMQP и любые другие – либо на стороне master-устройства, либо прямо на slave-устройствах, обеспечивая прямую передачу данных от датчиков до облачного сервиса с помощью единого протокола.

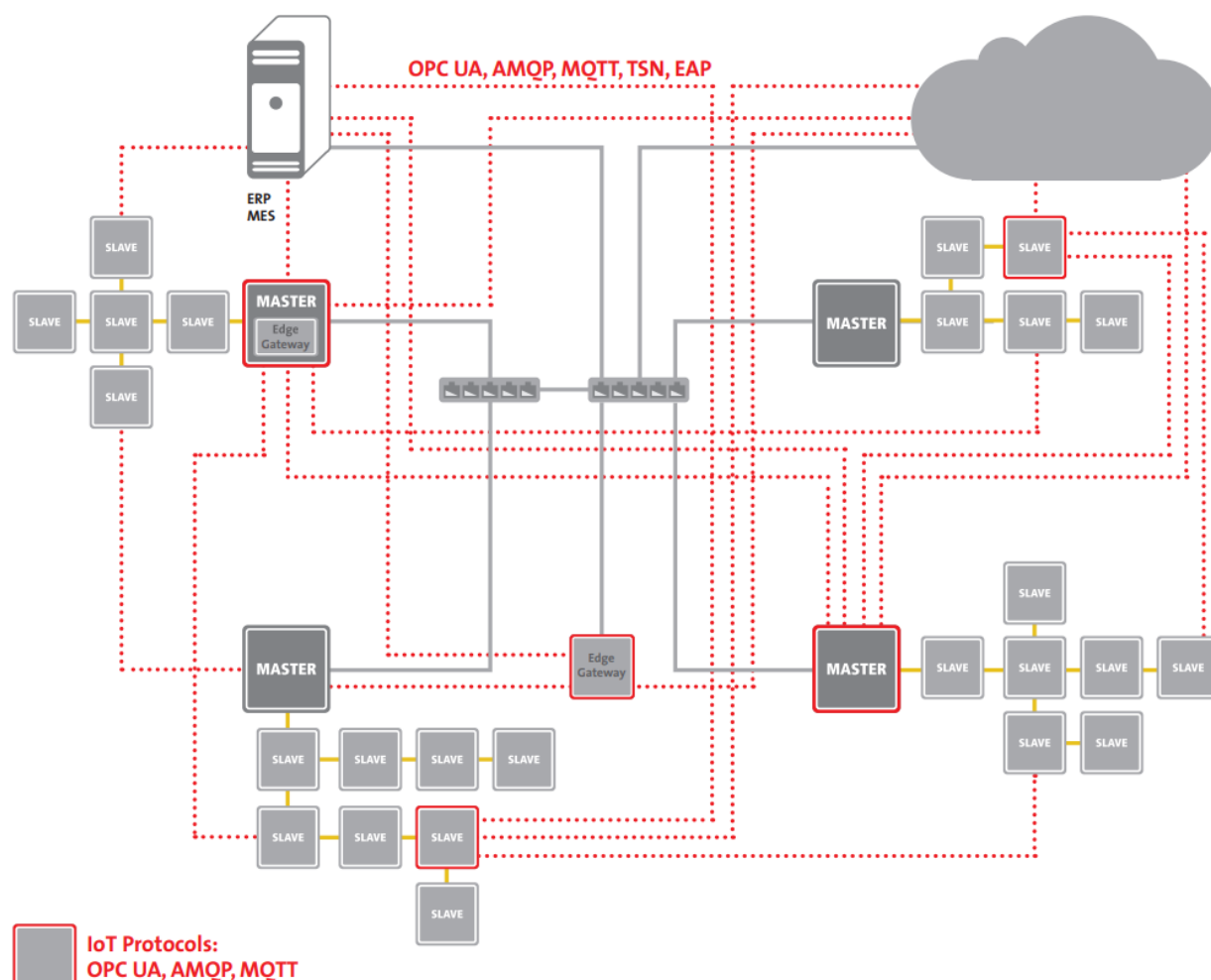
Все описанные выше возможности всегда были частью EtherCAT, что позволяет оценить продуманность его архитектуры. По мере развития технологий и требований рынка EtherCAT получает поддержку новых функций. Конечно, думая о будущем, необходимо и сохранять прошлое – добавление каких-либо функций никак не влияет на стабильность передачи данных. Протокол EtherCAT был стабильным и готовым к использованию уже в первой версии, выпущенной в 2003 году.

Разработки в области [TSN](#) (Time-Sensitive Networking) позволяют организовать обмен между контроллерами с передачей данных в режиме реального времени. Благодаря TSN любые системы управления (даже облачные) смогут получить доступ к шине EtherCAT через сеть предприятия. Поскольку EtherCAT использует всего один фрейм для передачи всех данных, то такой доступ будет гораздо более быстрым по сравнению с любым другим промышленным протоколом. Эксперты ETG вносят свой вклад в рабочую группу TSN IEEE 802.1 с первых дней ее основания – когда TSN еще назывался AVB.

Дополнительная информация о поддержке TSN в EtherCAT доступна по ссылке: https://www.ethercat.org/en/ethercat_and_tsn.htm

ETG также была одной из первых организаций – разработчиком промышленного протокола, заключившей партнерство с OPC Foundation. OPC UA отлично дополняет EtherCAT – это масштабируемая технология связи на базе клиент-серверной архитектуры и стека TCP/IP, имеющая встроенные средства информационной безопасности и позволяющая интегрировать промышленные сети с MES и ERP-системами.

За счет протокола OPC UA PubSub эту технологию также можно использовать для [межмашинного взаимодействия](#) (M2M) и связи с облачными сервисами. ETG активно участвует во всех этих разработках, чтобы EtherCAT и OPC UA как можно лучше дополняли друг друга. Так что EtherCAT не просто готов к Интернету вещей (IoT), EtherCAT уже является его частью!

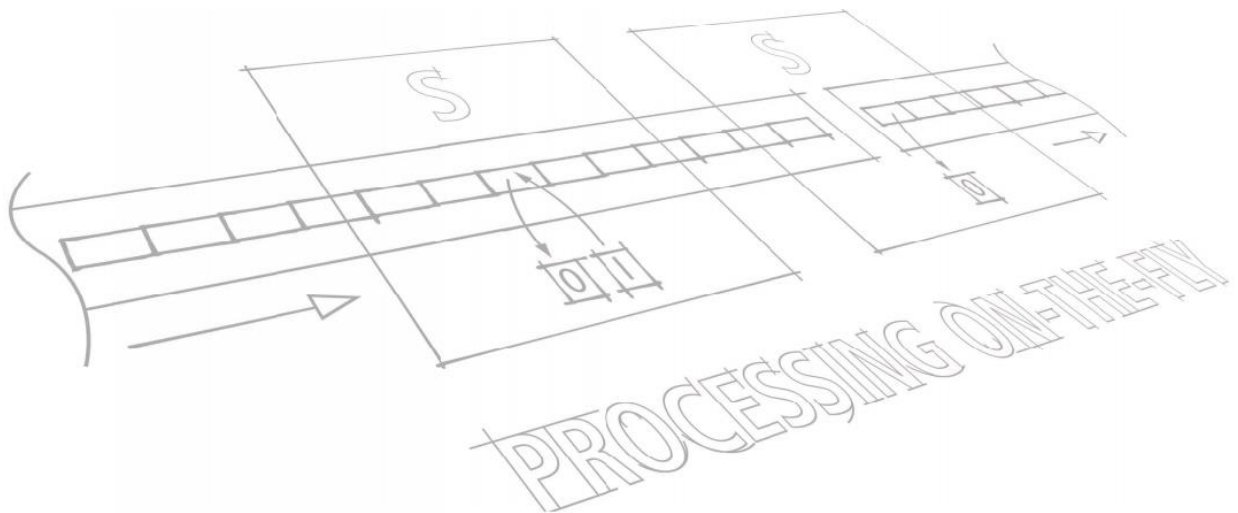


Поддержка EtherCAT в промышленных устройствах

Технология EtherCAT специально оптимизирована для снижения затрат на разработку устройств, поэтому добавление этого интерфейса к датчику, модулю ввода-вывода или контроллеру, не должно существенно увеличить его себестоимость. Кроме того, добавление EtherCAT не требует использования более производительного процессора.

Помимо требования к аппаратному обеспечению при поддержке нового протокола очень важным является наличие уже разработанных коммуникационных стеков и техническая поддержка. EtherCAT Technology Group обеспечивает поддержку разработчикам по всему миру, оперативно отвечая на возникающие вопросы и помогая решать технические проблемы. Многие компании предоставляют демонстрационные платы, проводят обучения и выкладывают примеры кода, что упрощает начальные этапы работы над реализацией протокола.

Для конечного пользователя наиболее важным является вопрос совместимости устройств с EtherCAT от различных производителей. Чтобы гарантировать совместимость, производитель должен провести тестирование на соответствие перед выпуском своего устройства на рынок. Это тестирование позволяет оценить, соответствует ли данная реализация спецификации EtherCAT; оно может быть проведено с помощью утилиты EtherCAT Conformance Test Tool. Утилита может также использоваться на этапе разработки для своевременного обнаружения ошибок.



Разработка master-устройства

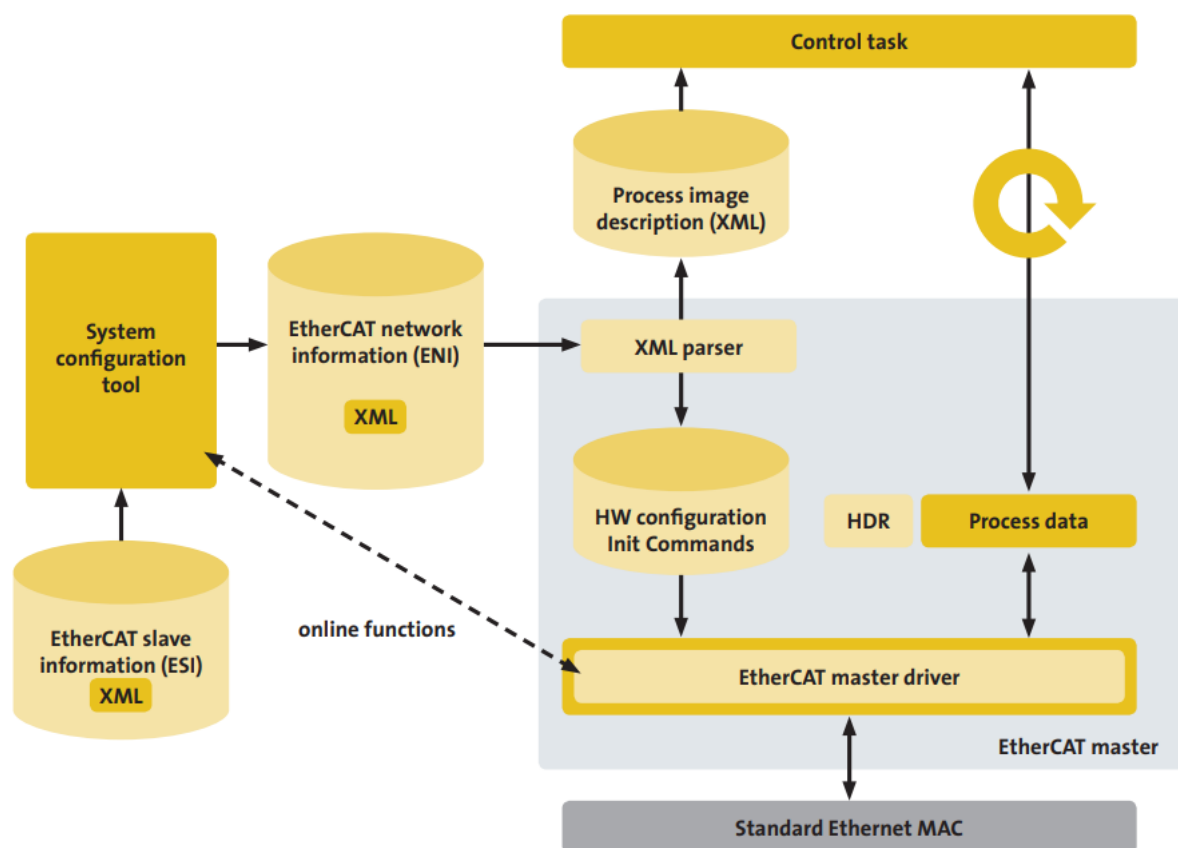
Существует только одно очень простое требование к аппаратным характеристикам EtherCAT Master: наличие интерфейса Ethernet. Обычно используется или встроенный Ethernet-контроллер, или стандартная сетевая карта (никаких специальных коммуникационных адаптеров не требуется). Это означает, что даже с обычным Ethernet-интерфейсом вы сможете разработать master-устройство, которое будет способно вести обмен данным в режиме жесткого реального времени.

В большинстве случаев обмен с контроллером Ethernet происходит через [прямой доступ к памяти](#) (DMA), поэтому для передачи данных не требуется использования ресурсов процессора. В EtherCAT обработка данных происходит на уровне slave-устройств. Каждое устройство считывает и записывает данные в нужные фрагменты одного EtherCAT-фрейма, который циркулирует по сети. Таким образом, master-устройству не нужно заниматься дополнительной обработкой этого фрейма.

Поскольку для обработки фрейма не нужны ресурсы процессора, то на его выбор влияют исключительно требования к быстродействию самого устройства (поддержка устройством EtherCAT никаких на них не влияет). Для задач малой и средней сложности с четко сформулированным набором требований реализовать поддержку EtherCAT Master совсем нетрудно. Уже существуют готовые реализации для Windows и Linux (в различных вариациях), QNX, RTX, VxWorks, Intime, eCos – и это лишь некоторые примеры ОС. Участникам ETG предлагаются различные варианты поддержки – начиная от бесплатных библиотек с реализацией EtherCAT Master и примеров кода и заканчивая разработкой «под ключ» для любых процессоров и ОС.

Для нормального функционирования master-устройству требуется список параметров каждого slave-устройства, а также команды их инициализации. Эти команды могут быть экспортированы в файл формата ENI (EtherCAT Network Information) с помощью конфигурационной утилиты EtherCAT, которая извлекает их из файлов описания slave-устройств формата ESI (EtherCAT Slave Information).

Различные реализации EtherCAT Master поддерживают разные наборы функций. В зависимости от требований к конкретному master-устройству некоторые функции могут намеренно не реализовываться для экономии памяти. Поэтому master-устройства разделяются на два класса: класс А соответствует стандартным устройствам с поддержкой всех функций, а класс В – устройствам с урезанными функциями. В принципе, любая реализация должна ориентироваться на класс А. Класс В рекомендуется только для тех случаев, когда характеристики устройства сильно ограничены (например, это характерно для встраиваемых систем).



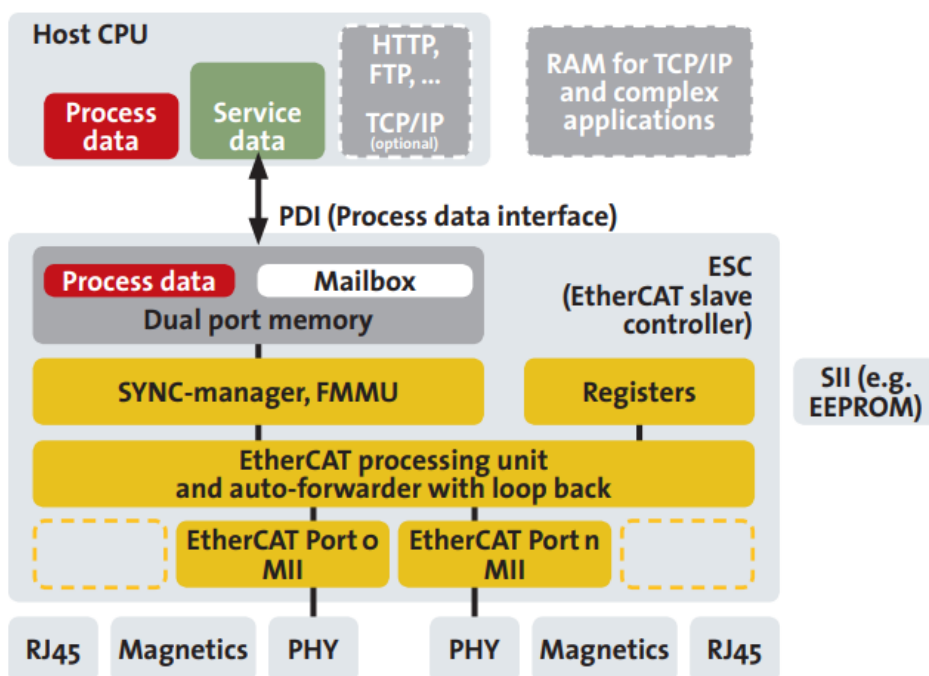
Типовая программная архитектура EtherCAT Master

Разработка slave-устройства

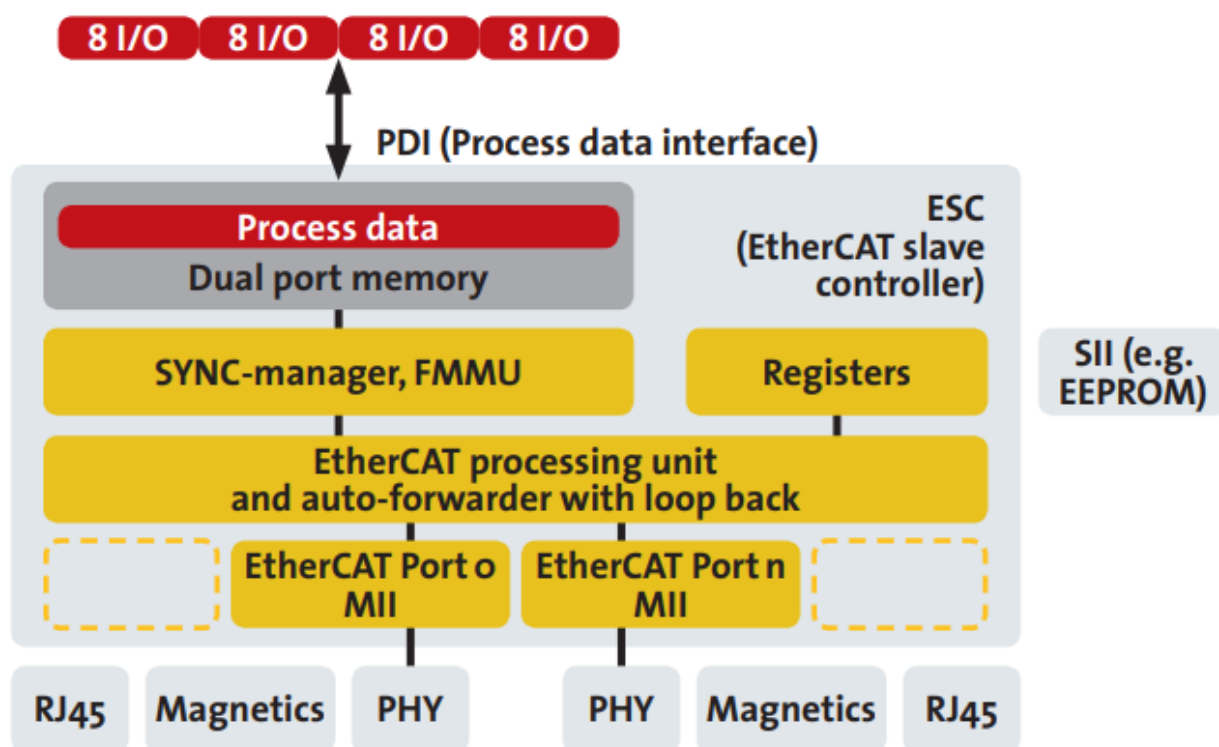
В slave-устройствах EtherCAT используются недорогие ESC (EtherCAT Slave Controllers) в виде отдельной микросхемы (ASIC или FPGA) или интегрированные прямо в микроконтроллер. Для простых дискретных модулей даже не нужен дополнительный микроконтроллер, потому что входы и выходы могут быть подключены напрямую к ESC. Для более сложных устройств производительность обмена минимально зависит от ресурсов контроллера, и в большинстве случаев 8-битного микроконтроллера будет достаточно.

На рынке представлены ESC от разных производителей в различных модификациях, отличающихся объемом встроенной DPRAM и числом модулей управления памятью промышленной шины (FMMU). Поддерживаются различные вариации интерфейсов данных процесса (PDI) для обмена данными между микроконтроллером и внешней памятью:

- 32-битный интерфейс параллельного ввода-вывода подходит для подключения 32 дискретных входов и выходов, а также для простых датчиков и исполнительных механизмов, для которых достаточно такого количества бит;
- интерфейс SPI подходит для устройств с небольшим объемом данных (аналоговых модулей ввода-вывода, модулей энкодеров, простых сервоприводов);
- параллельный 8/16-битный интерфейс микроконтроллера соответствует обычному интерфейсу ESC со встроенной DPRAM. Он подходит для устройств с большими объемами данных;
- синхронные шины для различных микроконтроллеров уже реализованы для устройств с FPGA и System-on-Chip (SoC).



EtherCAT Slave Controller с дополнительным микроконтроллером



EtherCAT Slave Controller с прямым подключением I/O

Конфигурационные параметры хранятся в энергонезависимой памяти (например, EEPROM). Slave Information Interface (SII) содержит информацию об основных возможностях устройства, чтобы EtherCAT Master смог прочитать ее на этапе загрузки устройства и смог работать с ним, даже если для него отсутствует файл описания. Файл описания (ESI) представляет собой файл формата «.xml» и обычно поставляется вместе с устройством; он содержит полное описание его параметров, список поддерживаемых протоколов для «почтового ящика» (mailbox), поддерживаемые режимы синхронизации и т.д. Утилиты для конфигурации сети EtherCAT используют эти файлы в процессе своей работы.

Различные производители предлагают свои демонстрационные платы slave-устройств. Эти комплекты включают в себя исходники прошивки, а иногда даже тестовый EtherCAT Master. С помощью таких демонстрационных комплектов можно очень быстро настроить тестовую сеть EtherCAT.

На сайте ETG выложена спецификация ETG.2200 Slave Implementation Guide, которая содержит полезные советы и подсказки по разработке slave-устройств: https://www.ethercat.org/en/downloads/downloads_7BA2567EB9F443219AD0014448F674F2.htm

Проверка на соответствие и сертификация

Двумя наиболее важными факторами, влияющими на успех коммуникационного стандарта, является соответствие между его спецификацией и реализациями, а также совместимость различных устройств между собой. Поэтому EtherCAT Technology Group очень серьезно относится к этим вопросам. Кроме требования проверки каждого устройства на соответствие стандарту (ее можно автоматизировать с помощью утилиты EtherCAT Conformance Test Tool) ETG проводит различные активности для обеспечения совместимости между master-устройствами, slave-устройствами и конфигурационным ПО.

EtherCAT Plug Fests

Чтобы убедиться в совместимости устройств – нужно подключить их друг к другу и проверить обмен. Поэтому ETG несколько раз в год проводит семинары EtherCAT Plug Fests – обычно они занимают 2 дня. На этих семинарах производители различных устройств могут проверить их совместимость. Участники могут обмениваться советами и рекомендациями, а также получить консультации у экспертов ETG. ETG проводит EtherCAT Plug Fests в Европе, Северной Америке и Азии.

EtherCAT Conformance Test Tool

EtherCAT Conformance Test Tool (CTT) позволяет провести автоматизированное тестирование устройства на соответствие спецификации EtherCAT.

CTT – это ПО для ОС Windows, для работы которого требуется только наличие Ethernet-порта. Оно содержит набор готовых тест-кейсов. Тест считается успешно пройденным, если ответ на запрос совпадает с ожидаемым. Тест-кейсы представляют собой файлы формата «.xml». Это позволяет редактировать их без внесения изменений в саму утилиту. Разработкой тест-кейсов занимается специальный технический комитет ETG.

Помимо тестирования, CTT производит валидацию файлов описаний устройств (ESI). Кроме того, утилита позволяет тестировать коммуникационные профили – например, CiA 402.

Вся информация о процессе тестирования сохраняется в логе для возможности дальнейшего анализа или публикации в качестве отчета.

ETG постоянно актуализирует и добавляет новые тесты в CTT. Важно, чтобы производитель оборудования всегда использовал самую свежую версию утилиты. Чтобы упростить получение свежих версий – можно подписаться на рассылку на сайте ETG. Также CTT полезна на этапе проектирования для обнаружения ошибок на ранней стадии разработки.

Рабочая группа по вопросам совместимости

Политика проверки соответствия EtherCAT требует, чтобы производители проводили тестирование каждого своего устройства перед выпуском его на рынок с последней на данный момент версией СТТ. Производитель может провести это тестирование прямо у себя в офисе. Технический комитет ETG создал рабочую группу по вопросам совместимости, которая занимается продумыванием и описанием процедуры тестирования, тест-кейсами и разработкой EtherCAT Conformance Test Tool. Также в рамках деятельности рабочей группы была описана процедура тестирования совместимости между различными устройствами.

Испытательные лаборатории EtherCAT

В Европе, Азии и Северной Америке расположены аккредитованные испытательные лаборатории, которые проводят официальное тестирование на соответствие устройства спецификации EtherCAT. Это тестирование включает в себя тесты СТТ, тесты на совместимость, а также проверку маркировки и работу индикаторов EtherCAT-порта.

Для производителей устройств является желательным (но не обязательным) проведение тестирования в испытательной лаборатории. Преимуществом прохождения такого тестирования является получение официального сертификата соответствия. Этот сертификат не может быть выдан для устройств, тестирование которых проводилось внутри компании-производителя.

Дополнительные тестирования в испытательных лабораториях повышают совместимость и унифицированность при использовании и диагностике различных устройств. Конечные пользователи должны ориентироваться на наличие сертификата об официальном тестировании при выборе устройств для своего проекта.

Для устройств с повышенными требованиями к надежности (FSoE) согласно принятой политике существует обязательная проверка на соответствие. Тестирование проводится специальной уполномоченной организацией, которая выдает сертификат о полном соответствии устройства спецификации протокола Safety over EtherCAT.

Дополнительная информация о тестировании и сертификации доступна по ссылке:
<https://www.ethercat.org/en/conformance.html>

www.ethercat.org

На официальном сайте ETG приведена исчерпывающая информация о технологии EtherCAT, а также публикуются новости о предстоящих мероприятиях, выпущенных устройствах с поддержкой протокола и списке компаний-участников ETG. Также на сайте есть разделы, посвященные отдельным аспектам протокола – например, профиле Safety over EtherCAT, вопросам тестирования и сертификации и т.д. Кроме того, в разделе загрузок имеются презентации, пресс-релизы и статьи об EtherCAT.

EtherCAT Product Guide

EtherCAT Product Guide – это каталог устройств с поддержкой EtherCAT, выпускаемых компаниями-участниками ETG. Он доступен по ссылке: <https://www.ethercat.org/en/products.html>. Если у вас возникнут какие-то вопросы по представленным устройствам – то, пожалуйста, обращайтесь к их производителю, так как ETG не занимается продажей какого-либо оборудования.

Раздел событий

В разделе событий публикуется информация о всех мероприятиях, проводимых ETG, а также мероприятиях, организованных в сотрудничестве с ETG. К таким мероприятиям относятся встречи рабочих групп, торговые выставки, мастер-классы, семинары и т.д. Календарь событий доступен по ссылке: https://www.ethercat.org/en/events_2021.htm

Раздел для участников

Участники ETG имеют доступ к закрытому разделу сайта (www.ethercat.org/memberarea), в котором доступны спецификации EtherCAT, база знаний со всей необходимой информацией для поддержки и использования протокола, а также форум разработчиков.

Контакты



Штаб-квартира ETG

Ostendstraße 196
90482 Nuremberg Germany
Phone: +49 (911) 5405620
Fax: +49 (911) 5405629
info@ethercat.org

Офис в США

Carlsbad, CA, USA
Phone: +1 (877) ETHERCAT
info.na@ethercat.org

Офис в Китае

Beijing, P. R. China
Phone: +86 (0)10 82200090
Fax: +86 (0)10 82200039
info@ethercat.org.cn

Офис в Японии

Yokohama, Japan Phone:
+81 (45) 650 1610 Fax: +81
(45) 650 1613
info.jp@ethercat.org

Офис в Южной Корее

Seoul, Korea
Phone: +82 (0)2 2107 3242
Fax: +82 (0)2 2107 3969
info.kr@ethercat.org

EtherCAT®, EtherCAT G®, EtherCAT P®, Safety over EtherCAT®, are trademarks or registered trademarks, licensed by Beckhoff Automation GmbH, Germany. Other designations used in this publication may be trademarks whose use by third parties for their own purposes could violate the rights of the owners.

03/2020