

СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ В МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

WAYS OF ORGANIZING INTERACTION OF TELECOMMUNICATIONS MICROPROCESSOR DEVICES OF DIFFERENT TYPES IN MULTI-ENGINE ELECTRIC DRIVES

V. Spence
B. Vasiliev
O. Kalashnikov

Summary. the Article is devoted to the analysis of various modern industrial data transmission protocols in order to determine the most appropriate Protocol for the organization of telecommunication interaction of microprocessor devices of various types in multi-motor drives.

The article deals with various data transfer protocols such as Modbus, Profibus, Industrial Ethernet and CAN. Their shortcomings and advantages are analysed, conclusions about expediency of use of each Protocol are drawn. It is shown that for the organization of effective telecommunication interaction of microprocessor devices of different types in multi-motor drives it is advisable to use high-level CAN-protocols, such as CANopen and DeviceNet.

Keywords: data transmission protocols; multi-motor electric drives; telecommunications; microprocessor devices; data exchange.

Шпенст Вадим Анатольевич

Д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский горный университет
shpenst@spmi.ru

Васильев Богдан Юрьевич

К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский горный университет
vasilev.bu@yandex.ru

Калашников Олег Владимирович

Аспирант, Санкт-Петербургский горный университет
Kalashnikov.OV@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу различных современных промышленных протоколов передачи данных, с целью определить наиболее подходящий протокол для организации телекоммуникационного взаимодействия микропроцессорных устройств различных типов в многодвигательных электроприводах.

В статье рассмотрены различные протоколы передачи данных, таких как Modbus, Profibus, Industrial Ethernet и CAN. Проанализированы их недостатки и преимущества, сделаны выводы о целесообразности использования каждого протокола. Показано, что для организации эффективного телекоммуникационного взаимодействия микропроцессорных устройств различных типов в многодвигательных электроприводах целесообразно использовать CAN-протоколы высокого уровня, такие как CANopen и DeviceNet.

Ключевые слова: протоколы передачи данных; многодвигательные электропривода; телекоммуникации; микропроцессорные устройства; обмен данными.

Введение

В настоящее время для организации взаимодействия между электроприводами и построения промышленных сетей в целом, используется множество протоколов передачи данных. При разработке промышленной микропроцессорной сети, перед коллективом разработчиков стоит важная задача правильности выбора этих протоколов [1]. Именно от решения этой задачи зависит возможность обеспечения высокого уровня быстродействия и безопасности передачи данных между микроконтроллерами, датчиками и исполнительными механизмами.

Наиболее распространенными промышленными протоколами обмена данными являются Modbus, Profibus,

Industrial Ethernet и CAN. Эти протоколы разработаны с учетом особенностей производств и технических систем, что позволяет им обеспечивать надежное соединение и высокую точность передачи данных между различными устройствами. Несмотря на это, далеко не все из них могут обеспечить высокую эффективность телекоммуникационного взаимодействия микропроцессорных устройств непосредственно в многодвигательном электроприводе.

В работе рассмотрены различные протоколы обмена данными на их приспособленность к построению промышленной информационно-управляющей сети для многодвигательного электропривода.

Modbus — это коммуникационный протокол, использующий клиент-серверную архитектуру для установле-

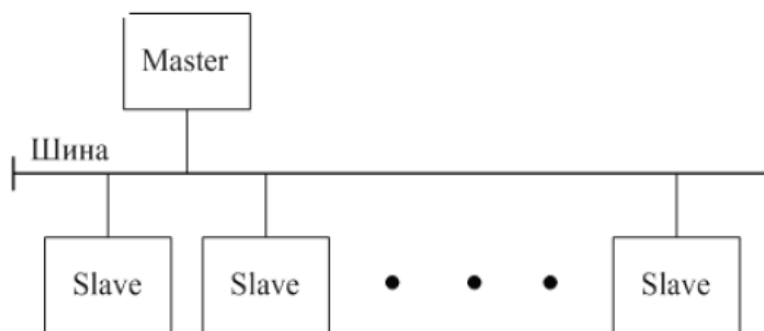


Рис. 1. Структура системы Mono-master

ния связи между устройствами на микроконтроллерах или микропроцессорах. Он может работать как в сетях TCP/IP (Modbus TCP), так и на последовательных линиях связи, таких как RS-232, RS-485 (ASCII и RTU) [2]. Сеть на основе RS-485 позволяет объединить до 32 подчиненных устройств, однако их может быть больше, если это допустимо исходя из нагрузочной способности передатчиков и входного сопротивления приемников. Максимальная длина магистрального кабеля при скорости передачи 9600 бит/с составляет 1200 м., а отводы от магистрального кабеля не должны быть длиннее 20 м. Допускается увеличение скорости вплоть до 115 Кбит/с за счет сокращения длины магистрали.

Основной особенностью протокола является наличие в сети одного «ведущего» устройства — master. Только «ведущее» устройство может опрашивать остальные устройства сети, которые являются «ведомыми» — slave. Подчиненное устройство не может самостоятельно инициировать передачу данных или запрашивать какие-либо данные у других устройств, то есть, работа сети строится только по принципу «запрос — ответ». Мастер может также выдать широковещательный запрос, адресованный всем устройствам в сети, в таком случае ответное сообщение не посылается [3]. На канальном уровне протокол Modbus допускает наличие в структуре одного ведущего и до 247 ведомых устройств. Структура системы с одним ведущим устройством представлена на рис. 1.

Преимуществами протокола Modbus являются простота его программной реализации на различных устройствах, отсутствие необходимости в специальных интерфейсных контроллерах (в отличие от CAN и Profibus), а также высокая степень открытости протокола. Все это значительно снижает затраты на интеграцию протокола и освоение стандарта системными интеграторами [4].

Недостатком протокола является то, что Modbus осуществляет сетевой обмен исключительно по прин-

ципу «ведущий/ведомый», при этом передача сообщений по инициативе «ведомого» исключена, а «ведущим» может выступать только одно устройство. Также протоколом не предусмотрен способ, с помощью которого подчиненное устройство могло бы обнаружить потерю связи с «ведущим». Помимо этого длина запроса в Modbus ограничена, а сами данные могут быть запрошены только из последовательно расположенных регистров. Это увеличивает задержки и накладные расходы при использовании сети, так как для получения данных из регистров, расположенных далеко друг от друга в адресном пространстве, мастер должен либо запрашивать ненужные данные, либо использовать несколько запросов.

Profibus — это открытый промышленный протокол, который сегодня широко используется в Европе, особенно в машиностроении и управлении промышленным оборудованием. Данный протокол позволяет объединять разрозненные устройства автоматизации в единую систему на уровне датчиков и приводов. Существует несколько разнообразных совместимых друг с другом версий Profibus: Profibus-DP, Profibus-PA и Profibus-FMS. Все протоколы используют одинаковые технологии передачи данных и общий метод доступа к шине, поэтому они могут функционировать на одной шине.

Стандарт Profibus-DP позволяет создавать системы с одним или несколькими ведущими устройствами. Структурная схема с несколькими ведущими устройствами представлена на рис. 2. В этом случае реализуется гибридный способ доступа к шине. С одной стороны обеспечивается децентрализованный обмен маркером (Token) между активными участниками (Masters), а с другой стороны централизованный обмен Master-Slave. Активные участники упорядочены по возрастанию их адресов в логическое маркерное кольцо (Token Ring). В этом кольце маркер, а вместе с ним и право на доступ к шине, передается между активными участниками через специальную маркер-телеграмму [5]. Любое ведущее устройство может читать входные или исходные образы.



Рис. 2. Структура системы Multi-master

Записывать данные в известное DP-устройство может только одно ведущее устройство (которое задается при конфигурировании). Цикл шины в системах с несколькими ведущими устройствами больше, чем в системах с одним ведущим устройством.

К достоинствам протоколов семейства Profibus относятся высокий диапазон скоростей передачи данных, возможность мультимастерности, а также открытость протоколов. Основными недостатком Profibus являются высокий расход при передаче коротких сообщений, отсутствие питания по шине и более высокая по сравнению с другими шинами стоимость.

Industrial Ethernet — это мощная коммуникационная сеть верхнего уровня, которая чаще всего используется для обмена данными между программируемыми контроллерами и системами человеко-машинного интерфейса, и реже для обмена данными между контроллерами, а также подключения к ним удаленного оборудования, такого как датчики и исполнительные устройства.

Industrial Ethernet является высокоскоростной информационно-управляющей сетью — скорость передачи данных в ней достигает 10 Мбит/с. Процедура доступа к сети Industrial Ethernet используют протокол CSMA/CD. Этот метод доступа является децентрализованным, то есть все ведущие устройства, подключенные к сети с его помощью, обладают равными правами. Перед тем как отправить данные, каждое ведущее устройство сначала проверяет, не передаются ли по каналу связи данные другими ведущими устройствами, и начинает отправку, только если канал связи не занят ими. Если же ведущее устройство обнаружило, что среда передачи уже используется, оно должно дождаться освобождения

канала связи. Таким образом, если несколько ведущих устройств одновременно запланируют передавать данные и обнаружат, что канал связи свободен, они начнут передачу и спустя короткое время произойдет коллизия. Industrial Ethernet предусматривает механизмы, позволяющие обнаруживать такие коллизии. В случае их обнаружения, все ведущие устройства прекращают передачу данных, для каждого из них производится вычисление величины задержки обращения к сети, и только после этого, с учётом задержек, повторяется попытка передачи. Устройство, для которого вычисленная величина задержки будет меньше, заблокирует все остальные передачи и начнет отправку данных первым.

Industrial Ethernet ориентирован на использование 3-х стандартных сегментов: 10BASE5, 10BASE-T и 10BASE-FL. В промышленности наиболее распространён 10BASE-T, представляющий собой экранированный кабель с двумя витыми парами и обеспечивающий передачу данных со скоростью до 10 Мбит/с. Витая пара позволяет устанавливать соединение «точка-точка» между двумя электрически активными компонентами. Максимальная длина сегмента не может превышать 100 м. Каждая пара проводов передает информацию только в одну сторону. Использование встречно направленных пар упрощает задачу детектирования коллизий. Коллизия детектируется тогда, когда имеется входной сигнал во времени передачи [6].

Несмотря на высокую скорость передачи данных, Ethernet не может обеспечить работу системы в реальном времени, так как использует механизм доступа CSMA/CD, который делает невозможным гарантию обмена небольшим количеством информации (единицы байт) с высокой частотой (миллисекундные циклы обмена). Однако существуют Ethernet-совместимые протоко-

лы реального времени, такие как EtherNet/IP, EtherCAT, Powerlink и PROFINET.

К достоинствам Industrial Ethernet можно отнести относительно низкую цену, высокую скорость передачи больших объемов данных и широкое распространение [7]. Недостатками сети являются большие издержки при передаче данных небольшого объема, а также отсутствие подачи питающего напряжения по сетевому кабелю. Основным недостатком является то, что обычная сеть Industrial Ethernet не обладает таким свойством как детерминизм и стабильность электрических характеристик (repeatability). Иными словами, гарантия своевременной доставки в традиционном Ethernet отсутствует. Однако существует ряд способов построения вполне детерминированных Ethernet-систем, построенных на Ethernet-совместимых протоколах перечисленных выше. Минусом этих протоколов является их сложность и закрытость, что значительно увеличивает затраты на их интеграцию и освоение системными интеграторами.

Технология CAN была создана компанией Bosch в начале 1980-х годов для упрощения процесса проводки кабелей в автомобилях Мерседес. К достоинствам CAN-сетей относится невысокая стоимость самой сети и ее разработки, простота конфигурирования и масштабирования сети, отсутствие теоретических ограничений на количество узлов. Основным достоинством CAN является эффективно реализованный режим реального времени, который возможен благодаря мультимастерности, широковещанию, побитовому арбитражу и высокой скорости передачи данных в сети CAN. Также, особенной отличительной чертой CAN-сетей является их высокая степень надежности, обусловленная эффективными механизмами обнаружения ошибок, дублированием ошибочных сообщений, самоизоляцией неисправных узлов и высокой устойчивостью к электромагнитным помехам.

Однако базовый стандарт CAN определяет только первые два уровня ISO/OSI — физический и канальный, что сильно ограничивает его применение в сложных сетях, как правило, использующихся в промышленной автоматизации. Это связано с тем, что физический и канальный уровни не обеспечивают решение таких важных задач как адресация узлов, распределение между ними идентификаторов, передача данных длиной более 8 байт и других задач, присущих более высоким уровням.

Для устранения описанных недостатков присущих низким уровням, различными независимыми компаниями и ассоциациями по промышленной автоматизации было разработано множество CAN-протоколов высокого уровня — CAN HLP (Higher Level Protocol). Из этого множества особенно зарекомендовали себя CANopen

и DeviceNet. Эти протоколы имеют сжатую трехуровневую архитектуру, включающую в себя физический и канальный уровень CAN, а также прикладной уровень. Сервисные функции промежуточных уровней либо отсутствуют, либо включены в прикладной. Соблюдение полной иерархии уровней эталонной модели OSI/ISO в системах управления не требуется, кроме того, наличие дополнительных изолирующих межуровневых интерфейсов привело бы к потере производительности системы в режиме реального времени и сделало бы существенно менее предсказуемыми задержки прохождения сообщений в сети [8].

Основное отличие CANopen от других протоколов, работающих по принципу «ведущий-ведомый», заключается в возможности любого узла сети самостоятельно обращаться к шине и обмениваться данными напрямую с любым другим узлом, минуя главное устройство. Максимальная длина линии, использующей протокол CANopen, не превышает 2500 м., а скорость передачи данных варьируется от 20 кбит/с до 1 Мбит/с в зависимости от длины линии. Оптимальные значения скорости (125 кбит/с и выше) достигаются при длине линии не более 500 м., однако скорость 20 кбит/с является обязательной для всех модулей CANopen.

Важным преимуществом протокола DeviceNet является возможность построения автономной сети, не зависящей от наличия или качества внешнего питания. Это достигается за счет наличия возможности питания модулей непосредственно от сетевого кабеля. Также допускается наличие нескольких (в отличие от других стандартов на базе CAN) источников питания, например, с целью резервирования, в любой точке шины. Это позволяет подключать и отключать модули в сети DeviceNet без ее предварительного обесточивания, а также легко демонтировать и снова разворачивать систему на новом месте. Максимальное число узлов в сети DeviceNet, как и в сети CANopen — 64. Однако общее число устройств ввода-вывода может достигать 2048 (по 32 на узел). Скорость передачи данных колеблется от 125 до 500 кбит/с в зависимости от длины линии, которая должна быть не более 500 м.

В зависимости от потребностей обмена и возможностей модулей существуют «ведущий-ведомый» (master-slave), мультимастерный (multi-master) или равноправный (peer-to-peer) способы взаимодействия устройств. Таким образом, модули в сети могут быть как UCMM-типа, способные взаимодействовать на равноправной (peer-to-peer) основе с другими модулями (обмениваясь данными напрямую, без предварительной отсылки информации в главное устройство), так и Predefined Master/Slave типа, которые не могут произвольно выбирать путь соединения [9].

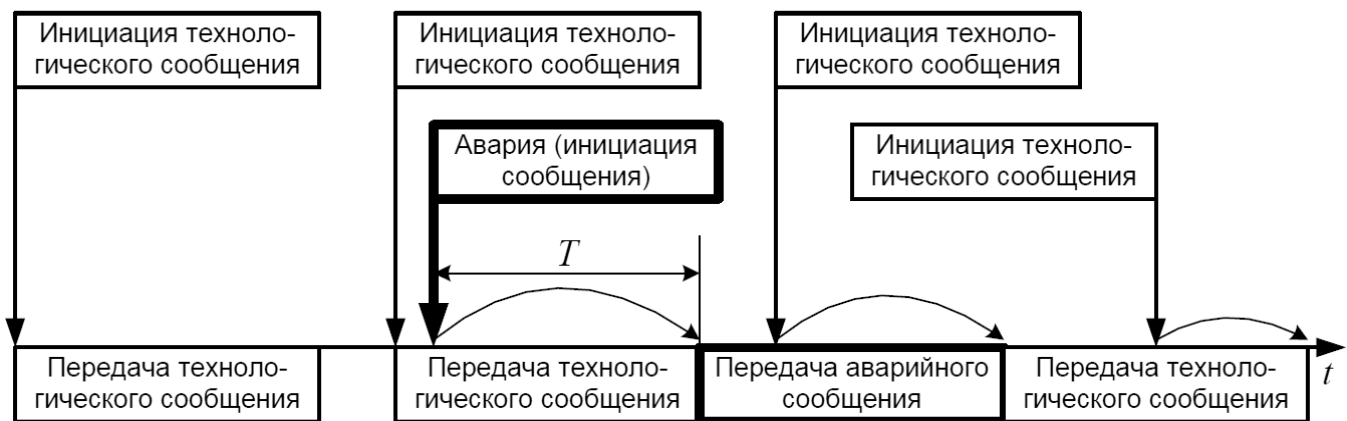


Рис. 3. Структура передачи сообщений методом недеструктивного арбитража: T — время пересылки одного сообщения.

Если сравнивать скорость CAN-сетей со скоростью, например, Profibus-DP (до 12 Мбит/с), то первая очень сильно проигрывает. Проигрыш в скорости связан с физическим принципом передачи информации в CAN-сети. CAN-сеть разрешает коллизии (одновременное включение на передачу двух или нескольких устройств сети) методом недеструктивного арбитража. Этот метод позволяет определять самое приоритетное из передающих устройств без потери времени на разрешение коллизии (рис. 3.). То есть, в CAN сети допускается, чтобы несколько устройств начинали передачу сообщений одновременно, но это абсолютно неприемлемо в высокоскоростных сетях, поэтому там применяют технологию «ведущий-ведомый». В сети Profibus-DP каждый «мастер» сети должен опрашивать каждое устройство по очереди, чтобы получить с него данные и определить его состояние.

Таким образом, несмотря на наличие у CAN-протоколов некоторых недостатков, таких как ограниченная длина линии, ограниченная пропускная способность и ограниченный размер сообщений, они обладают рядом весомых преимуществ, играющих важнейшую роль в построении организации телекоммуникационного взаимодействия микропроцессорных устройств различных типов в многодвигательных электроприводах. К этим преимуществам, в первую очередь, относится возможность иметь несколько ведущих устройств в сети, благодаря использованию мультимастерного (multi-master) или равноправного (peer-to-peer) режима. Также к немаловажным достоинствам CAN-сетей являются достаточно высокая скорость (до 1 Мбит/с), надежная система обнаружения и исправления ошибок, а в случае DeviceNet — возможность построения автономной сети, не зависящей от наличия или качества внешнего питания. Стоит отметить, что ограниченная пропускная способность CAN-сети компенсирована её рациональ-

ным использованием благодаря методу доступа CSMA/CA, который сочетает минимальную задержку передачи информации с эффективным арбитражем ситуаций, когда несколько узлов начинают передавать данные одновременно. Именно это гарантирует доставку сообщений и делает систему детерминированной.

Заключение

Для организации телекоммуникационного взаимодействия микропроцессорных устройств непосредственно в многодвигательных электроприводах необходимо использовать сети реального времени. Это связано в первую очередь с тем, что многодвигательный электропривод является сложной электромеханической системой, в которой система управления должна постоянно собирать данные о параметрах работы сразу нескольких электродвигателей и, как правило, обеспечивать их быстрое слаженное взаимодействие, основанное на учете изменений не только собственной нагрузки, но и нагрузки друг друга. Любая задержка в данном случае может привести к серьезным последствиям. Таким образом, работа системы реального времени в первую очередь подразумевает собой выполнение задачи в заданный промежуток времени. Ответственность за исполнение такой задачи во многом лежит на протоколе передачи данных, реализованном в сети.

Среди рассмотренных в статье разных протокольных решений, таких как Modbus, Profibus, CAN и Industrial Ethernet для создания сети реального времени и реализации информационно-управляющего взаимодействия микропроцессорных устройств в многодвигательных электроприводах, целесообразней всего использовать CAN-протоколы высокого уровня, такие как CANopen и DeviceNet. Это обуславливает ряд преимуществ, присущих CAN-сетям, построенным на данных протоколь-

ных решениях, а именно возможность иметь несколько ведущих устройств в топологии одной сети, использование метода доступа CSMA/CA, обеспечивающего минимальную задержку передачи информации с эффективным арбитражем ситуаций, а также надежная система обнаружения и исправления ошибок. Благодаря этому гарантируется передача данных со строго регламентированным временем доставки. Также немаловажным достоинствами CAN-сети является достаточно высокая скорость — до 1 Мбит/с.

Если говорить об известных недостатках CAN-сетей, таких как ограниченные пропускная способность и размер сообщений, то здесь необходимо учитывать

несколько факторов. Ограниченная пропускная способность CAN-сети компенсирована её рациональным использованием, а малый размер пакета — это первый признак CAN-сети, как сети реального времени, так как каждая посылка не отнимает большого количества времени и между низкоприоритетными посылками могут вклиниваться высокоприоритетные сообщения, которые быстро достигают адресата благодаря эффективному арбитражу ситуаций.

Таким образом, использование CAN-сетей является максимально эффективным для организации телекоммуникационного взаимодействия микропроцессорных устройств в многодвигательных электроприводах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vasiliev B. Y., Kalashnikov O. V., Oleynikova A. M., Ivanovsky A. I. and Grudin N. N., Research of frequency converters energy characteristics of drilling rigs, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2017, № 87, с. 211
2. Рушкин Е.И., Семёнов А. С., Саввинов П. В., Анализ применения протокола Modbus для управления электроприводом на горных предприятиях, Фундаментальные исследования, 2014, № 11, с. 2616
3. Лопатин Д.А., Новые инструменты построения сетей М Bus, Информатизация и системы управления в промышленности (ИСУП), 2012, № 5, с. 27
4. Ледин С.С., Игнатищев А. В., Развитие промышленных стандартов внутри- и межсистемного обмена данными интеллектуальных энергетических систем, Автоматизация и ИТ в энергетике, 2010, № 10, с. 84
5. Невструев И.А., Арсеньев А. В. построение сетей доступа передачи информации по электрическим сетям// Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2007, Т. 3. № 3, с. 15
6. Гайкович Г.Ф., Стандартизация в области промышленных сетей. Развитие беспроводных стандартов для АСУ ТП, Электронные компоненты, 2009, № 1, с. 48
7. Крюков О.В., Реализация АСУ электротехнических объектов на базе Ethernet-сетей, Электротехника, информационные технологии, Системы управления, 2017, № 21, с. 8
8. Крюков О. В. Коммуникационная среда передачи данных сети Ethernet на полевого уровне различных объектов, Автоматизация в промышленности, 2012, № 12, с. 27
9. Шербаков А.В., Крюков О. В., О новых возможностях технологии Smart Grid, Электроснабжение: эксплуатация и ремонт, № 2, 2013, с. 47

© Шпенст Вадим Анатольевич (shpenst@spmi.ru),

Васильев Богдан Юрьевич (vasilev.bu@yandex.ru), Калашников Олег Владимирович (Kalashnikov.OV@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»