

УДК 62–83

И. В. Дайняк*

**Дайняк Игорь Викторович, к.т.н., доцент*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

dainiak@bsuir.by

С. Е. Карпович*

**Карпович Святослав Евгеньевич, д.т.н., профессор*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

mmmts@bsuir.by

Д. Г. Бегун*

**Бегун Дмитрий Геннадьевич, аспирант*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

mmmts@bsuir.by

В. В. Поляковский*

**Поляковский Виталий Викторович, аспирант*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

mmmts@bsuir.by

Н. И. Кекиш*

**Кекиш Николай Иванович, аспирант*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

mmmts@bsuir.by

Г. А. Зубов*

**Зубов Георгий Андреевич, аспирант*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

mmmts@bsuir.by

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ МНОГОКООРДИНАТНОГО ПРЕЦИЗИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ключевые слова: система управления, система перемещений, прецизионное оборудование.

Рассматриваются основные проблемы, возникающие при построении быстродействующих контуров управления системами перемещений прецизионного оборудования. Показано, что традиционная архитектура системы управления обладает ограниченным быстро-

действием. Предложен подход к построению систем управления реального времени на базе технологии EtherCAT. Приведен пример реализации предложенного подхода при регулировании скорости напыления тонких пленок.

Базовым исполнительным элементом во всем существующем многообразии прецизионных систем перемещений является преобразователь электромагнитной энергии в механические перемещения – модуль движения, реализующий с глубоким редуцированием и масштабированием перемещение в широких диапазонах координат, скоростей и ускорений без промежуточных механических трансмиссий или других преобразователей [1]. Благодаря блочно-модульному принципу построения для конфигурирования многокоординатных систем перемещений (и получения нескольких независимых координат) достаточно на модульном уровне осуществить конструктивное объединение подвижных частей из различных электромагнитных модулей в одной исполнительной многокоординатной системе. При этом удается заменить механические связи электромагнитными, которые контролируются средствами электронного управления, осуществляемого ПЭВМ.

Система управления многокоординатной системой перемещений представляет собой иерархическую многоуровневую структуру (рис. 1), в которой каждый из уровней обладает своим входным и выходным интерфейсами [2].

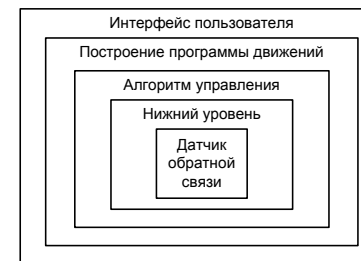


Рис. 1. Иерархическая структура системы управления многокоординатной системой перемещений

Общее программное обеспечение, относящееся к верхнему уровню, осуществляет управление системой перемещений и пред-

назначено для ввода пользователем режимов движения и команд на перемещение. Программа верхнего уровня разрабатывается на языке программирования высокого уровня и позволяет описать технологическую операцию; ее входным интерфейсом является интерфейс пользователя, а выходным – последовательность заданий на перемещение исполнительных модулей движения.

Последовательность команд, поступающих на вход следующего уровня системы управления (построение программы движений), преобразуется в команды контроллера в виде задания на перемещение для отдельных координат каждого из приводов. Вычислительные процедуры, осуществляющие построение программируемых движений, реализуются, как правило, в контроллере системы управления, аппаратная часть которого строится на базе процессора цифровой обработки сигналов (ПЦОС).

Совершенно очевидно, что такая структура системы управления обладает ограниченными быстродействием, так как на один контроллер возложены и функции интерпретации, и обработки команд управления верхнего уровня, и учета информационных сигналов датчиков обратных связей, и формирования управляющих сигналов для большого числа выходных контуров модулей движения. Для реализации режима управления реального времени быстродействующие контуры управления приходится замыкать локально внутри рассредоточенных устройств или через специализированные шины управления движением. При этом производительность как промышленных шин общего назначения, так и центрального модуля управления не позволяет реализовать другие решения.

В результате ограниченные производительность и полоса пропускания таких традиционных промышленных шин, как DeviceNet, Profibus, CC-Link, CANopen и Modbus определяют архитектуру системы управления для быстрых технологических процессов и высокоточных систем ЧПУ. Таким образом, быстродействующие контуры регулирования (позиционированием и скоростью сервоприводов, или даже температурой) замкнуты внутри интеллектуальных периферийных устройств, а система связи (традиционная промышленная шина) используется для задания параметров регуляторов и передачи команд, которые затем локально выполняются этими устройствами.

Такой классический подход имеет ряд недостатков.

1. Проблема «черного ящика». Встроенный в периферийное устройство алгоритм управления задан производителем устройства и недоступен для системного интегратора. Это означает, что системный интегратор или поставщик системы управления не может выделиться среди конкурентов за счет, скажем, применения передовых методов управления. Время разработки заказных приложений с интенсивным использованием IP стало увеличиваться из-за итеративного характера взаимодействия между производителем и заказчиком в ходе проектирования.

2. Сложная коммуникация. Алгоритмы управления, локализованные внутри периферийных устройств, требуют задания большого числа параметров, и управление конфигурацией устройств в больших сетях затруднено и часто привязано к конкретному производителю. Например, задание параметров плазменного табла становится длительным процессом, требующим привлечения материально-технической базы заказчика. Каждое «интеллектуальное» периферийное устройство поставляется вместе со специализированным инструментом конфигурирования (например, с программным обеспечением для настройки и задания параметров привода), который нужно установить, обслуживать и правильно использовать.

3. Зависимость от поставщика. Из-за сложных интерфейсов и обилия параметров переход от одного поставщика к другому – дело непростое и дорогостоящее. Результатом всего этого являются большие затраты на переконфигурирование и высокая стоимость периферийных устройств.

4. Проблема взаимозависимости контуров управления. Контуры управления, встроенные в изолированные периферийные устройства, имеют ограниченные средства для синхронизации и координации технологических процессов (например, управление концентрацией примесей, вводимых в кремниевую пластину, или плотностью плазмы). В общем и целом при использовании классической промышленной шины управление технологическими процессами на основе классического подхода к построению системы управления является недостаточно эффективным.

Современная технология EtherCAT [3, 4], использующая в качестве среды передачи сеть Ethernet, позволяет преодолеть все эти ограничения. Уникальный функциональный принцип аппаратной обработки пакета Ethernet «на лету» (рис. 2) без проме-

жуточной буферизации дает возможность почти на 100% использовать полосу пропускания, равную 100 Мбит/с.

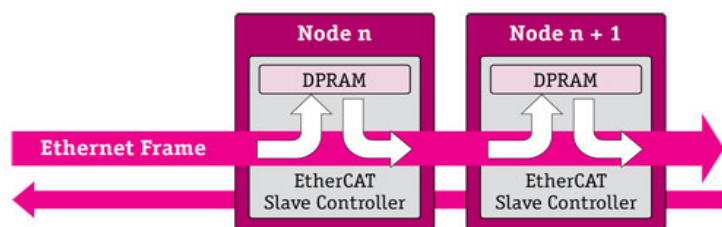


Рис. 2. Обработка кадра узлом EtherCAT «на лету»

Данный подход позволяет получить время цикла шины в диапазоне микросекунд, а не диапазона миллисекунд, характерного для традиционных промышленных шин. В сочетании с превосходной вычислительной мощностью современных управляющих систем на базе персональных компьютеров (ПК) это позволяет строить замкнутые контуры управления быстрыми процессами распределенным образом на промышленной шине.

EtherCAT – это промышленная шина на базе Ethernet, впервые представленная для использования в производстве полупроводниковых приборов в 2004 г. Она стандартизована такими ассоциациями, как SEMI, IEC и ISO. Функциональный принцип протокола устройств EtherCAT существенно отличает эту технологию от других, базирующихся на Ethernet-решениях. В технологии EtherCAT не используется такой режим, в котором пакет Ethernet сначала принимается, затем интерпретируется, и формируется ответный пакет от устройства ввода/вывода, содержащий данные технологического процесса.

Специальная микросхема каждого ведомого (управляемого) EtherCAT-устройства, оснащенная двухпортовой памятью DPRAM, считывает адресованные ему данные во время передачи кадра следующему устройству. Входные данные также «на лету» вставляются во время прохождения кадра. Кадры при этом практически не задерживаются, аппаратная задержка измеряется наносекундами. Кадр, отправленный ведущим устройством, передается каждому следующему устройству, пока не достигнет конца сегмента (или ветви). Последнее устройство определяет, что к его выходному порту не подключено никаких устройств, и

отправляет кадр назад ведущему устройству по второй витой паре. При определенных условиях возможна даже такая ситуация, при которой задержка распространения пакета через ряд ведомых устройств окажется меньше длительности самого пакета. Иными словами, ведущее устройство начнет получать ответ от устройств распределенного ввода/вывода раньше, чем успеет отправить весь пакет, как это ни парадоксально звучит.

В сети EtherCAT один-единственный Ethernet-кадр (так называемая телеграмма) включает входные и выходные данные многих устройств. Реальное использование полосы пропускания достигает 90% и более. Возможности дуплексной связи 100BaseTX используются в полной мере, обеспечивая скорость передачи данных более 100 Мбит/с (свыше 90% от полнодуплексного Ethernet 2×100 Мбит/с). Система EtherCAT не только значительно быстрее всех традиционных промышленных шин, но и самая быстрая среди промышленных решений, базирующихся на Ethernet. Типичное время цикла EtherCAT составляет 50...250 мкс, в то время как в традиционных промышленных шинах на каждое обновление требуется 5...15 мс, то есть традиционные промышленные шины работают медленнее от 20 до 300 раз.

Для синхронизации работы объединенных в сеть узлов в EtherCAT применяется точное согласование распределенных часов EtherCAT – внутренних часов микросхем EtherCAT-контроллеров. В отличие от полностью синхронной связи, где при возникновении ошибки сразу же страдает качество синхронизации, распределенные согласованные часы имеют высокую степень устойчивости к возможным задержкам из-за ошибок и кратковременных сбоях связи за счет локального хранения точного времени внутри каждого из распределенных устройств ввода/вывода.

Ведущие (управляющие) EtherCAT-устройства обычно реализуются программно с использованием стандартного оборудования Ethernet и не требуют выделенного специального коммуникационного сопроцессора. Ведомые (управляемые) устройства содержат встроенные контроллеры на основе БИС, обеспечивающие обработку пакета, поэтому мощные микроконтроллеры на стороне ведомых устройств не нужны. Инфраструктура EtherCAT не нуждается в коммутаторах и других активных компонентах, так как в ней используются стандартные кабели и разь-

емы. Трудозатраты на настройку и инженерно-конструкторские работы также уменьшаются, поскольку отпадает необходимость в настройке сети. И наконец, функции диагностики позволяют точно локализовать ошибки и снизить затраты времени на поиск и устранение неисправностей.

Сети EtherCAT не имеют практических ограничений на топологию – они могут иметь линейную, звездообразную, древовидную, резервированную кольцевую топологию или даже представлять собой комбинацию всего вышеперечисленного и позволяют использовать до 65 535 узлов в одном сегменте. Если расстояния между двумя узлами спецификации 100BaseTX, равного 100 м, недостаточно, то его можно увеличить до 2 км за счет волоконно-оптических кабелей. Поддержка «горячего подключения» позволяет подключать и отключать узлы или даже целые технологические камеры во время работы.

Протокол устройств EtherCAT может транспортировать по одной и той же физической сети и другие сервисы и протоколы, основанные на Ethernet. Они туннелируются через протокол EtherCAT, поэтому показатели реального времени не ухудшаются. Таким образом, в среде EtherCAT можно использовать все существующие на данный момент IP-технологии: HTTP, SECS/GEM, EDA, HSMS-SS, передачу по FTP и т.д.

Новейшим расширением возможностей технологии EtherCAT является протокол автоматизации EtherCAT – EAP. Протокол EAP объединяет EtherCAT-протоколы с классическими Ethernet-топологиями для интеграции ведущих устройств шины EtherCAT, инструментов конфигурирования сетей и беспроводных компонентов. В то время как протокол устройств EtherCAT с обработкой «на лету» работает абсолютно детерминированно (обычно в микросекундном диапазоне), время цикла EAP лежит в диапазоне миллисекунд в зависимости от топологии сети, но позволяет организовывать многоуровневую сеть EtherCAT с использованием стандартных маршрутизаторов и прочего стандартного сетевого оборудования и программного обеспечения.

Объединение производительности EtherCAT с вычислительной мощностью и пропускной способностью современных средств управления на базе ПК позволяет реализовать новый подход к архитектуре управления. Эта шина позволяет передавать не только параметры и команды для рассредоточенных контроллеров

или данные относительно медленных контуров управления, но и данные быстродействующих контуров управления.

Перенос алгоритмов управления на уровень центрального управляющего ПК позволяет «вскрыть черные ящики», характерные для прошлых подходов: теперь новые передовые алгоритмы можно разработать, испытать и, в конце концов, реализовать в инструментах без особых сложностей и без привлечения поставщика подсистемы, а значит, не делясь результатами с конкурентами. Вдобавок существенно упрощается интерфейс шины: вместо сложного и специфического для каждого производителя списка конфигурационных параметров происходит лишь обмен простыми, лишенными избыточности командами или фактическими значениями наряду со стандартизованными командами и словами состояния. Сервоприводы, контроллеры температуры и т.д. становятся менее избыточными и более дешевыми, что, в свою очередь, сводит к минимуму зависимость от поставщика.

При использовании EtherCAT для управления сервоприводом во всех трех режимах его работы («циклический синхронный момент», «циклическая синхронная скорость» и «циклическая синхронная позиция») контур управления замыкается через EtherCAT. Планирование перемещения и координирование движений при этом выполняются внутри центрального процессора контроллера сети, реализованного, например, на базе персонального компьютера. Приводы, поддерживающие эти режимы, имеют очень маленький набор локальных параметров и весьма просты в конфигурировании и обслуживании.

В приводах с классическими способами управления или при использовании низкопроизводительных промышленных шин формирование траектории и планирование пути осуществляются в самом приводе, и для координации движения по разным осям зачастую требуются специальные каналы связи между приводами, скорость обмена по которым не превосходит нормальную частоту сканирования. Эти приводы сами по себе гораздо сложнее и, как следствие, дороже в разработке по сравнению с типовым приводом EtherCAT, который может быть менее «интеллектуальным», но более быстрым.

Сверхбыстрая детерминированная сеть, поддерживающая устройства ввода/вывода, оси движения и устройства управления технологическими процессами, в сочетании с вычислительной мощностью многоядерных процессоров открывает неогра-

ниченные возможности для организации передового управления технологическими процессами при весьма скромной стоимости по сравнению с другими имеющимися промышленными решениями для управления технологическими процессами.

Рассмотрим типовую ситуацию регулирования скорости напыления тонких пленок в сфере производства полупроводниковых компонентов. Пусть для некоторого периферийного интеллектуального устройства задается уставка. Это устройство, выполняя свою функцию, будет изменять физическую среду в области протекания процесса, например, расход газа (изменение потока газа будет изменять давление), в то время как другое устройство, ответственное за поддержание постоянства среды протекания процесса, начнет «отрабатывать на возврат» к своей уставке, приводя среду протекания процесса в состояние, соответствующее существовавшему до этого или желаемому равновесию (автоматический контроллер давления или дроссельная заслонка для поддержания давления). В этом примере один контур управления изменяет среду процесса, после чего другой контур реагирует на это изменение. Независимо от того, насколько точно настроен второй контур управления, вышеописанная ситуация приведет к локальному возмущению условий протекания процесса. Этот эффект, пренебрежимо малый в крупных технологических узлах прошлого, становится более заметным сегодня, в процессах напыления тонких пленок, когда толщина слоя становится сравнимой с размерами атомов. Архитектура управления на основе EtherCAT позволяет естественным образом решить эту проблему благодаря передаче мгновенных значений параметров процесса с датчиков, значений уставок и т.д. от одного контура управления к другому через канал опережающей связи. Следует отметить, что при этом нет нужды реализовывать оба контура управления на центральном управляющем компьютере. Этот же прием (с некоторыми ограничениями) может быть реализован на устройствах с локальными контурами управления благодаря малому времени цикла обмена данными и детерминизму EtherCAT.

При управлении технологическими процессами производства полупроводников возможна ситуация, когда прямое измерение критически важного для протекания процесса параметра оказывается невозможным или экономически неоправданным, например, прямое измерение плотности плазмы. В таких случа-

ях управление процессом опирается на описание характеристик «окна процесса», которое задается и поддерживается во время обработки кремниевой пластины за счет объединения других контуров непрямого управления. Ограниченность такого подхода к управлению вызвана тем фактом, что разные контуры управления и их отклонение от оптимума оказывают различные воздействия на критические параметры процессов, называемые также критической размерностью. Иными словами, многомерное «окно процесса» имеет сложную форму и может быть более толерантным к отклонениям в одном измерении и менее толерантным – в другом.

Традиционная архитектура управления предполагает использование независимых контуров управления давлением, температурой, потоком газа, мощностью ВЧ-излучения и т.д. В такой архитектуре практически невозможно реализовать управление на основе модели, поскольку для этого требуется слишком много перекрестных связей между контурами управления.

Централизованная архитектура с мощным многоядерным центральным процессором в сочетании с быстрой промышленной сетью совершенно меняет дело, делая реальностью то, что было недостижимо ранее. Центральный контроллер, обладая огромной вычислительной мощностью, позволяет реализовать сложные и требующие большого объема вычислений алгоритмы. В то же время сеть EtherCAT обеспечивает магистраль с детерминированными характеристиками для передачи данных с датчиков и управления исполнительными механизмами. Способность управлять удаленными устройствами с высокой скоростью обмена данными особенно важна в производстве полупроводниковых приборов и материалов, где отдельные критически важные устройства (например, генераторы ВЧ-сигнала и источники питания систем нанесения PVD-покрытия) удалены от собственно инструментов управления процессом, а зачастую и вообще находятся на другом этаже здания.

Список литературы

1. Прецизионные координатные системы на основе электропривода прямого действия / С. Е. Карпович и др. – Минск : ГНПКТМ «Планар», 2001. – 198 с.
2. Мехатроника и современная механика : сб. науч. ст. / под ред. С. Е. Карповича. – Минск : Изд-во БГУИР, 2001. – 106 с.

3. Жарский В. В. Анализ тенденций развития линейных двигателей прямого действия // Инженерный вестник. – 2006. – № 1 (21)/5. – С. 53-58.

4. Жарский В. В. Системы прямого привода «Рухсервомотор» // Оборудование: рынок, предложение, цены : промышленный журнал. – 2006. – № 02 (110). – С. 90-97.

© Дайняк И. В., Карпович С. Е., Бегун Д. Г., Поляковский В. В.,
Кекиш Н. И., Зубов Г. А., 2014

УДК 004.075

А. В. Диц*

**Диц Анастасия Владимировна, студентка*

*Поволжский государственный университет сервиса, г. о. Тольятти
iamnanschiffer@gmail.com*

Научный руководитель: д.э.н., профессор Глухова Л. В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФИБОНАЧЧИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Ключевые слова: информация, защита информации, метод Фибоначчи, криптография, метод псевдослучайных чисел.

В современных условиях криптография широко используется как «наука сохранения сообщения в безопасности». Она состоит из алгоритмов и протоколов, которые призваны обеспечивать конфиденциальность и подлинность передаваемых по каналам связи сообщений. Псевдослучайные и случайные последовательности чисел широко используются для повышения контроля достоверности информации.

Рассматриваются особенности формирования псевдослучайных чисел для построения криптографических систем.

В последнее время много внимания уделяется защите информационных потоков с помощью криптографических методов [1-3].

Появляются различные публикации, в которых поднимается вопрос качества защиты информации в информационных системах или бизнес-системах, построенных с элементами электронного документооборота [5-6]. Этим объясняется актуальность выбранной темы исследования.

Генераторы псевдослучайных чисел обычно задаются детерминированным алгоритмом и функционируют в зависимости от фиксированных начальных условий генерации. Освоение практического использования псевдослучайных последовательностей является хорошей инструментальной базой для специалиста по информационной безопасности. Поэтому на практических занятиях по дисциплине «Криптографические методы защиты информации» ряд лабораторных работ был посвящен изучению особенностей работы с псевдослучайными последовательностями. Нами были изучены разные методы, но наиболее простым, с точки зрения программной реализации, оказался метод Фибоначчи с запаздыванием. Рассмотрим его более подробно.