

УДК 62.8

В. Л. Сосонкин, д-р техн. наук, проф.,

Г. М. Мартинов, д-р техн. наук, проф.,

МГТУ "СТАНКИН"

## Архитектоника цифровых следящих приводов подач технологических машин

Рассмотрены архитектура цифровых приводов и особенности многокоординатного управления на базе SERCOS-интерфейса. Проанализирована эволюция коммуникационной системы от SERCANS к SoftSERCANS. Раскрыта специфика реализации нового поколения SERCOS-интерфейса со стандартом Ethernet, получившим наименование SERCOS-III.

За последние годы традиционные следящие приводы с позиционной обратной связью претерпели кардинальные изменения. Во-первых, состоялся переход к асинхронному регулируемому сервоприводу во внутреннем контуре следящей системы. Во-вторых, следящие приводы стали цифровыми и получили стандартный внешний SERCOS-интерфейс, который позволил строить сетевые многокоординатные системы. Дальнейшая эволюция коснулась уже собственно SERCOS-стандарта, в результате чего он объединился со стандартом ETHERNET

### Структура современных следящих приводов

В течение многих лет следящие приводы подач технологических машин были чисто аналоговыми, использовали (рис. 1) каскадную структуру и двигатели постоянного тока ("Handbook of AC Servo Systems", [www.MotionOnline.com](http://www.MotionOnline.com)). Технология аналоговых приводов достигла высокого уровня развития и стандартизации.

Все необходимые вычисления традиционно выполнялись самой системой управления (например, системой ЧПУ), поскольку аналоговые приводы не располагали

необходимыми вычислительными способностями. Для аналоговых приводов входной управляющий сигнал  $\pm 10$  В стал международным стандартом.

Каскадная структура следящего привода постоянного тока оказалась наилучшим решением для ответственных применений, какими являются, например, приводы подачи металлорежущих станков. Эффективность каскадной структуры зависит от правильной настройки соотношения полос пропускания различных регуляторов. Регулятор тока имеет наибольшую полосу пропускания, а регулятор позиционного контура — наименьшую. Одним из достоинств каскадной структуры является простота ограничения любой заданной переменной. При том, что сила тока в двигателях постоянного тока легко регулируема, недостатком этого типа приводов является наличие механического коммутатора. Эволюция привела к бесколлекторным высокомоментным двигателям (двигателям с электронной коммутацией). Приводы отличались высоким быстродействием и имели все шансы получить широкое распространение; однако этому воспрепятствовала высокая стоимость двигателей постоянного тока, в особенности в зонах высоких мощностей.

В связи с этим возник интерес к приводам с асинхронными двигателями (рис. 2) ([www.boschrexroth-us.com](http://www.boschrexroth-us.com)).

По сравнению с двигателями постоянного тока асинхронные двигатели имеют бесспорное преимущество, поскольку теплоотдача осуществляется через внешнюю поверхность статора. Постоянные магниты ротора размещают различным способом, что зависит от фирмы-производителя. Материал магнитов варьируется от дешевых керамических до дорогостоящих, с применением редкоземельных материалов.



Рис. 1. Каскадная структура традиционной следящей системы с двигателем

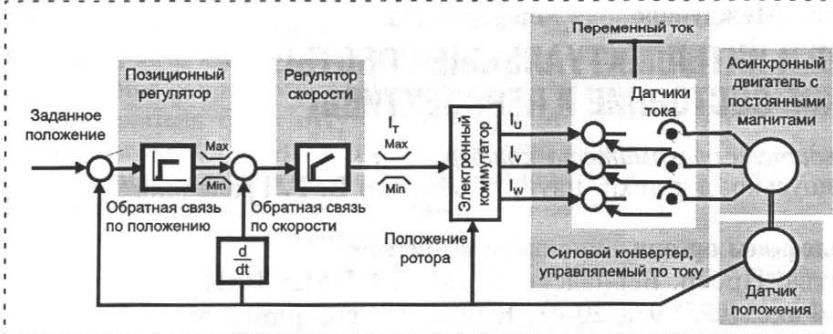


Рис. 2. Структура следящей системы с асинхронным двигателем

Современный асинхронный двигатель представляет собой прецизионный мехатронный узел, оснащенный многофункциональным поворотным датчиком, который осуществляет электронную коммутацию переменного тока и замыкает скоростной и позиционный контуры обратной связи следящего привода. В качестве таких датчиков используют оптические приборы, резольвометры и др. Наилучшим решением является такое, при котором привод с асинхронным двигателем является цифровым (рис. 3) и обработка всех сигналов осуществляется в цифровой форме ([www.schneiderelectric.com/](http://www.schneiderelectric.com/)).

### Многокоординатное управление и SERCOS-интерфейс

Оставалась, однако, проблема многокоординатного управления, поскольку каждый отдельный привод независимо "замыкался" в интерфейсе системы управления (рис. 4). Такое решение было дорогостоящим и сложным в настройке и не имело перспектив достижения высокой точности (< 1 мкм) и скорости подачи порядка десятков метров в минуту.

Эволюция привела к созданию интеллектуальных цифровых приводов, обеспечивающих высокие скорость и точность при минимальных затратах. Для их использования оказался необходимым быстродействующий цифровой открытый и стандартный интерфейс, который обеспечивал бы возможность подключения приводов от любых производителей. Всем этим требованиям отвечает SERCOS-интерфейс (Serial Real-time Communication System) для цифровых следящих приводов; он стал международным стандартом IEC 61491 и европейским стандартом EN 61491 для систем ЧПУ ([www.sercos.de](http://www.sercos.de), [www.sercos.com](http://www.sercos.com)). С момента внедрения стандарт был использован во многих приложениях.

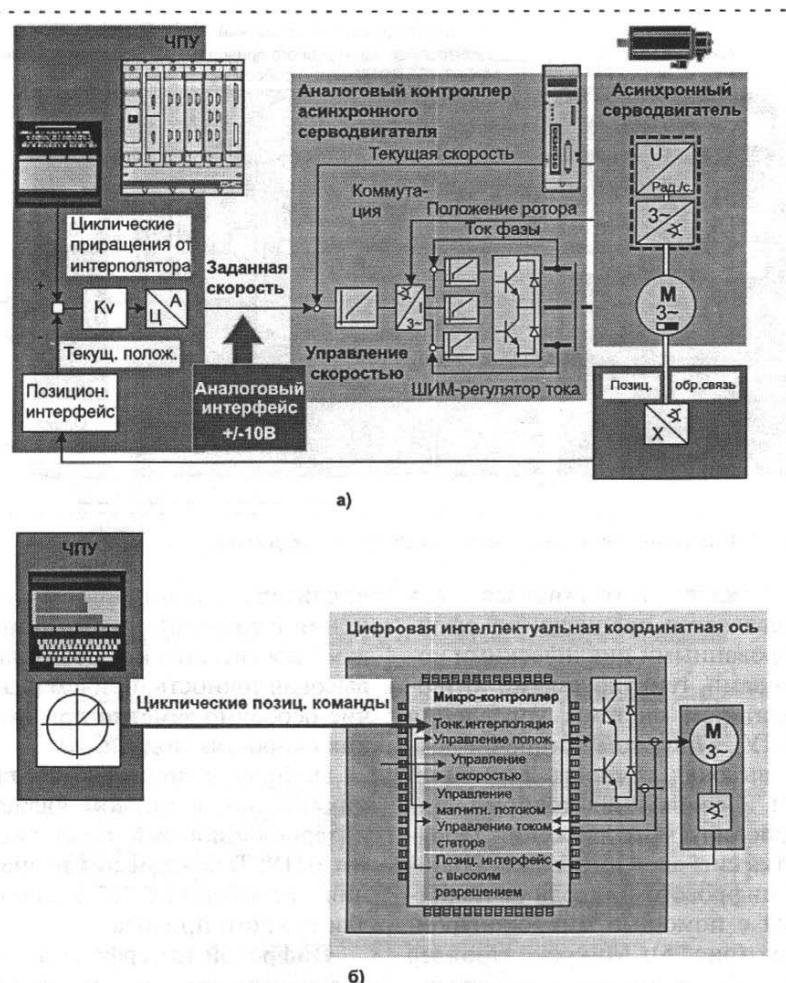


Рис. 3. Цифровой следящий привод с асинхронным двигателем:  
а — структура с замыканием позиционного контура в системе управления; б — структура автономного следящего привода с входным микроконтроллером

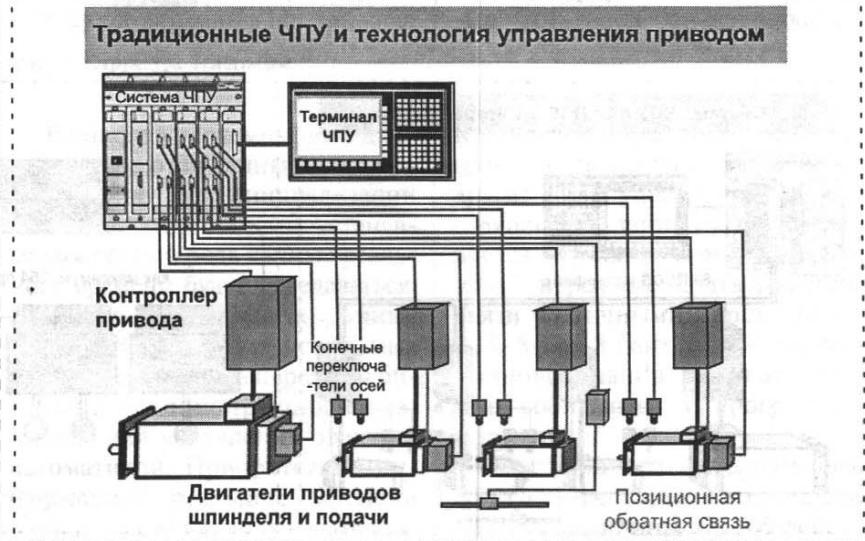


Рис. 4. Многокоординатная система приводов с независимой связью с интерфейсом системы управления



Рис. 5. Цифровой следящий привод с SERCOS-интерфейсом

Каждая координатная ось управляемается прецизионно сформированными циклическими командами, генерируемыми интерполятором системы управления (ЧПУ). При этом обеспечиваются высокая точность отдельной оси и совокупная точность интерполируемого движения. Обработка сигналов интеллектуального цифрового привода выполняется с помощью микроконтроллера (рис. 5). Микроконтроллер способен не только осуществлять традиционное управление моментом и скоростью подачи, но и выполнять тонкую интерполяцию и позиционное управление с исключительно коротким вы-

числительным циклом. В сравнении с традиционными приводами достигается исключительно высокая точность, причем различие особенно заметно при высоких скоростях подачи.

Цифровые приводы работают циклически, а циклом является интерполяционный цикл системы ЧПУ. В каждом цикле значения переменных обновляются для каждого привода.

Цифровой интерфейс должен обеспечить синхронизацию циклов контроллера и следящих приводов. Такая синхронизация осуществляется с микросекундной точностью, поскольку оказывает влияние на взаимную координа-

цию приводов и одновременное выполнение команд. SERCOS-интерфейс осуществляет синхронизацию для любого числа следящих приводов. Важными являются следующие свойства цифровых приводов с SERCOS-интерфейсом:

- совместимость цифровых приводов по своим параметрам с различными приложениями и контроллерами;
- цифровые приводы допускают визуализацию своих внутренних параметров и диагностической информации;
- средства визуализации и соответствующие входы в контроллере абсолютно необходимы, поскольку настройка цифровых приводов сложнее, чем у традиционных аналоговых.

Отдельные следящие приводы объединяются по своим входам в "кольцо" с помощью оптоволоконного кабеля (рис. 6). Движение информации в кольце возможно со скоростями 2, 4, 8 и 16 Мбит/с. Оптоволоконный кабель был выбран из соображений устойчивости против электромагнитных помех. Структура кольца проста и не предусматривает разветвлений. На рис. 6 показана схема цифровых приводов с асинхронными двигателями и SERCOS-интерфейсом.

Длина каждой передающей

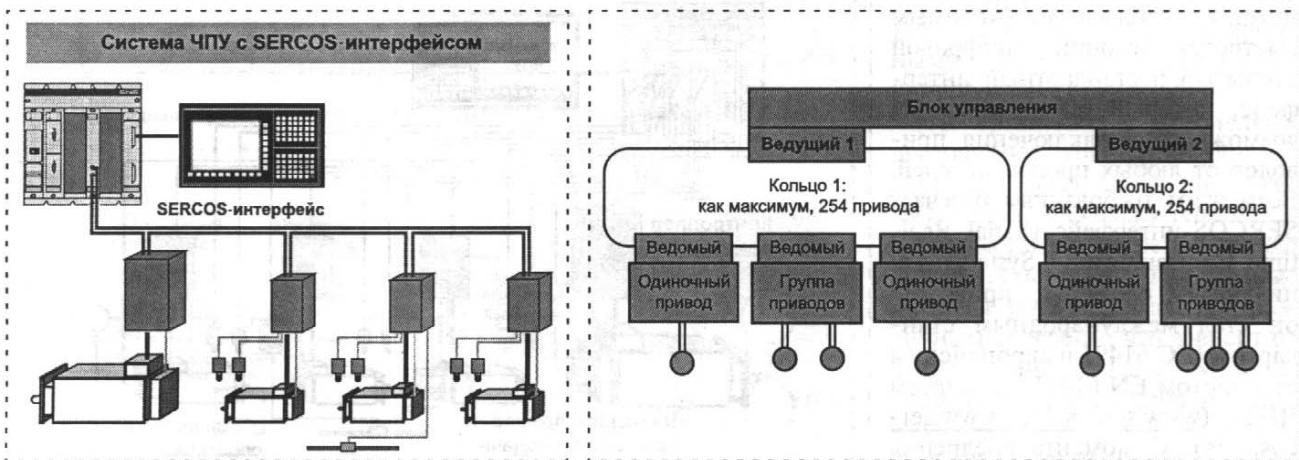


Рис. 6. Схема цифровых приводов с асинхронными двигателями и SERCOS-интерфейсом

Рис. 7. Группы, формируемые по принципу: "один ведущий — одно кольцо"

секции достигает 50 м для пластиковых кабелей и 250 м для стеклянных оптоволоконных кабелей. В принципе, максимальное число приводов в одном кольце равно 254, но таких колец может быть несколько (рис. 7).

Однако выбранное число приводов влияет на продолжительность коммуникационного цикла, объем передаваемых данных и скорость передачи. Коммуникация (по типу "ведущий—ведомый") представляет собой последовательность циклических операций, причем фиксированное время цикла может быть выбрано при инициализации: 62; 125; 250 мкс; другое время, кратное 250 мкс, вплоть до 65 мс. Это время зависит от числа приводов в кольце. Система ЧПУ или другая система управления всегда служит в SERCOS-интерфейсе коммуникационным "ведущим". Коммуникация состоит в передаче в пределах одного цикла нескольких управляющих телеграмм: **MST** (Master Sync Telegram, см. рис. 8, а), **AT** (Axis Telegram, см. рис. 8, б, в), **MDT** (Master Data telegram, см. рис. 8, г). Синхротелеграмма **MST** "ведущего" поступает одновременно ко всем приводам и используется для синхронизации зависимых от времени действий в системе ЧПУ и приводах. Каждая телеграмма типа **AT** передает ведущему данные своего привода. Телеграмма типа **MDT** записывает данные ведущего каждому приводу в отдельном временном слоте [1].

Структура телеграмм, состоящих из отдельных блоков, приведена на рис. 9. На рис. 9, а эта структура показана в укрупненном виде совокупности телеграмм. На рис. 9, б представлены поля данных, соответственно, для телеграмм **MST**, **MDT**, **AT**. Из рис. 9, в следует, что поле данных **MDT** состоит из фиксированной и конфигурируемой частей, содержание которых показано на рис. 9, г.

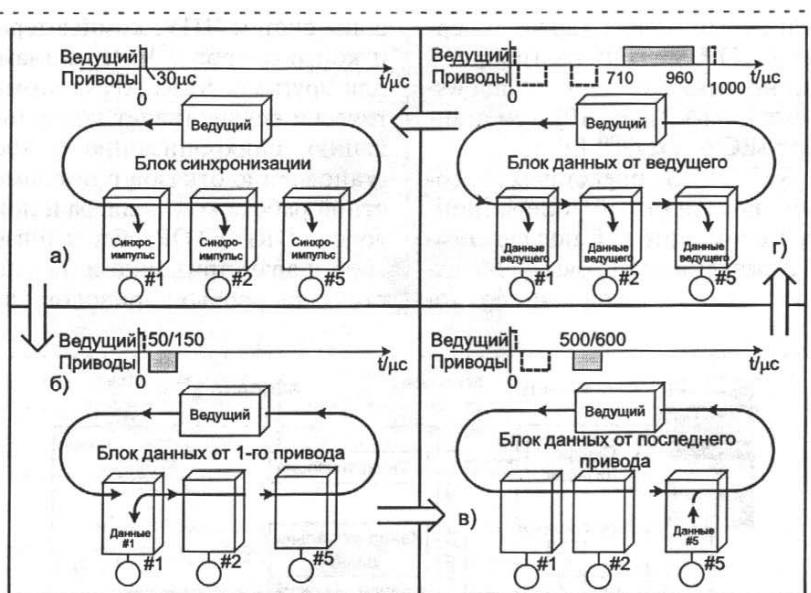


Рис. 8. Блоки коммуникационного цикла взаимодействия ведущего с ведомыми

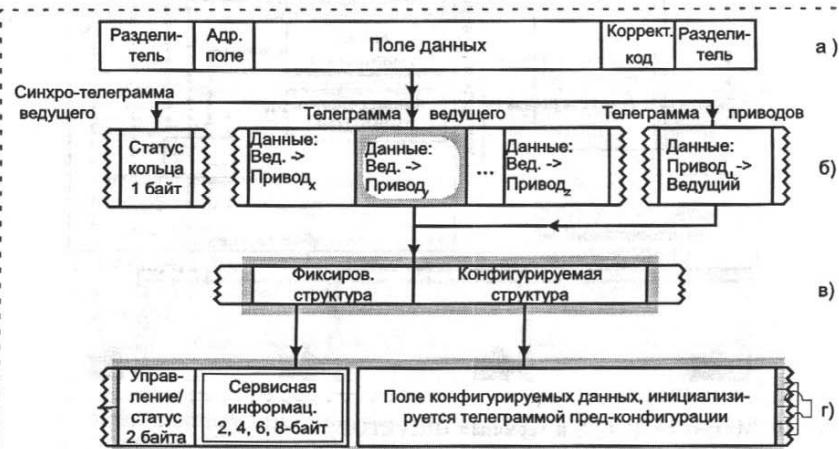


Рис. 9. Структура телеграмм

В конфигурируемом поле данных передаются данные реального времени. При инициализации идентификатор системы устанавливается, какого рода данные реального времени будут передаваться. Отдельно от числовых данных (значений команд и актуальных данных) могут быть переданы битовые списки инструкций ввода-вывода для управления электроприводами. Приоритетной информацией реального времени служат предельный момент, заданные скорость и положение.

Конфигурирование данных реального времени позволяет задавать и другие моды управления. Обмен сервисными данными осуществляется только по команде "ведущего" в режиме подтверждения связи различными порциями по 2, 4, 6 или 8 байт в поле сервисной информации. Затем эти порции собираются у программы-получателя.

Для удобного использования SERCOS-интерфейса с системой ЧПУ разработаны быстродействующий модуль SERCANS, вы-

полненный в виде карты, и терминал DRIVETOP настройки и диагностики на базе Windows-компьютера (рис. 10) (см. стандарт IEC 61491/2<sup>nd</sup> Edition).

SERCANS представляет собой комплектный операционный блок, который поддерживает управление цифровыми интеллектуальными приводами со сто-

роны систем ЧПУ, компьютеров и контроллеров с VME-шинами или другими. SERCANS автоматически осуществляет коммуникацию, синхронизацию и восстановление отказов при совместной работе контроллера и приводов. DRIVETOP обеспечивает сбор, параметризацию и диагностику цифровых приводов, за-

грузку и хранение параметров приводов. Он располагает также мощными функциями осциллографа (рис. 11) и спектрального анализа сигналов.

SERCANS имеет собственный микропроцессор и расширенную двухпортовую память. Поэтому SERCANS самостоятельно выполняет инициализацию, коммуникацию и диагностику в коммуникационном пространстве между системой управления и приводами. Первоначально необходимо лишь указать тип телеграммы, число приводов и время цикла. К одной SERCANS-карте можно подключить до восьми приводов. К двухпортовой памяти RAM каждой карты подключены следующие каналы для обмена данными с системой управления: канал значений команд, канал значений данных, канал команд, канал сервиса системы ЧПУ, канал диагностики. Дополнительно имеется общий канал доступа к интерфейсу пользователя.

Аппаратура SERCANS служит для самостоятельного выполнения функций "ведущего" в SERCOS-интерфейсе. SERCANS представляет собой подключаемую карту, состоящую из: специализированной БИС SERCON 410B, интерфейса оптоволоконного кольца, микропроцессора, памяти программ и данных, двухпортовой памяти RAM, индикаторов ошибок системы диагностики, последовательного интерфейса (RS-232). Карта может быть установлена на шину микропроцессора, на ISA-шину, на VME-шину.

При каждой подаче синхронизирующего сигнала система управления циклически формирует новые значения команд, загружает их в двухпортовую память RAM, а затем эти значениячитываются из двухпортовой памяти. Система управления имеет доступ ко всем обменным данным, как если бы они сохранялись во внутреннем регистре систем управления. В зависимости от версии кон-

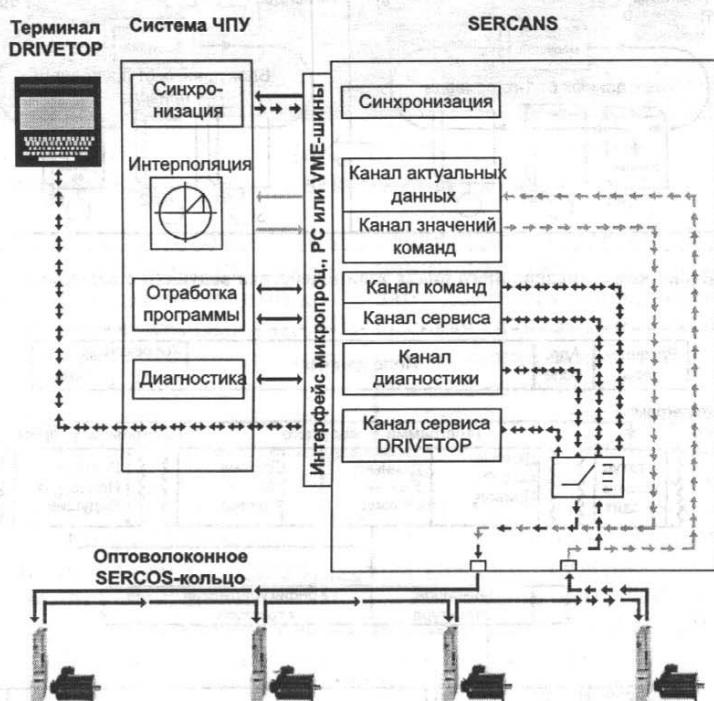


Рис. 10. Модуль SERCANS и терминал DRIVETOP

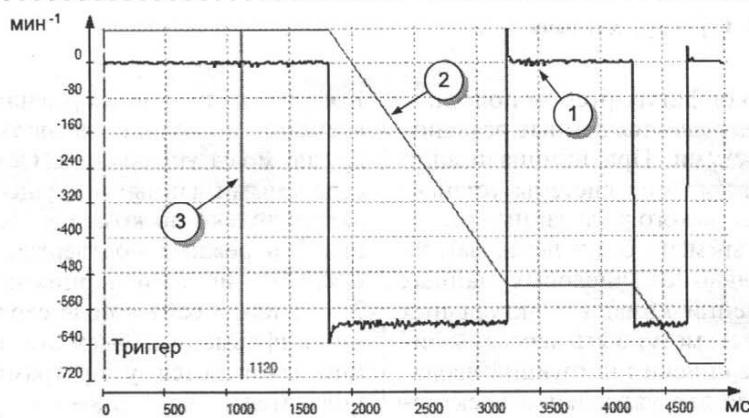


Рис. 11. Экран цифрового осциллографа в терминале DRIVETOP со встроенными функциями спектрального анализатора. Триггер — начало измерения:  
1 — сигнал обратной связи по скорости (S-0-0040, Velocity feedback value); 2 — сигнал заданной позиции (S-0-0047, Position command value); 3 — курсор, отображающий значения текущей позиции

крайней аппаратуры синхронизирующий сигнал генерируется либо системой управления, либо SERCANS. Последний вариант имеет то преимущество, что система управления освобождается от очной привязки ко времени и лишь выполняет интерполяцию в каждом коммуникационном цикле.

### Эволюция коммуникационной системы

Дальнейшим шагом в развитии системы коммуникации стал переход от SERCOS к SoftSERCANS (рис. 12). Характеристики SoftSERCANS собраны и представлены на рис. 13.

На Ганноверской выставке в 2003 г. был впервые представлен новый проект, объединяющий высокотехнологичный существующий SERCOS-интерфейс со стандартом Ethernet с тем, чтобы перейти к новому поколению SERCOS, получившему наименование SERCOS-III [2, 3].

SERCOS-III выстроен на базе существующего механизма реального времени SERCOS-интерфейса, работающего циклически с постоянной частотой. При этом стандартная IP-теграмма (соответственно протоколу TCP/IP) может быть передана в выделенном временном промежутке "не-реального" времени параллельно с информацией реального времени, необходимой для управления следящими приводами. Контроллер SERCOS-III поддерживает обмен подобными телеграммами между любыми сетевыми устройствами. SERCOS-III, таким образом, включает существующие механизмы реального времени с их диагностическими способностями в универсальную коммуникационную среду, построенную на Ethernet. SERCOS-III представляет собой не только открытый интерфейс, но и универсальный интерфейс автоматизации, ориентированный на управление устройствами ввода-вывода, электро-

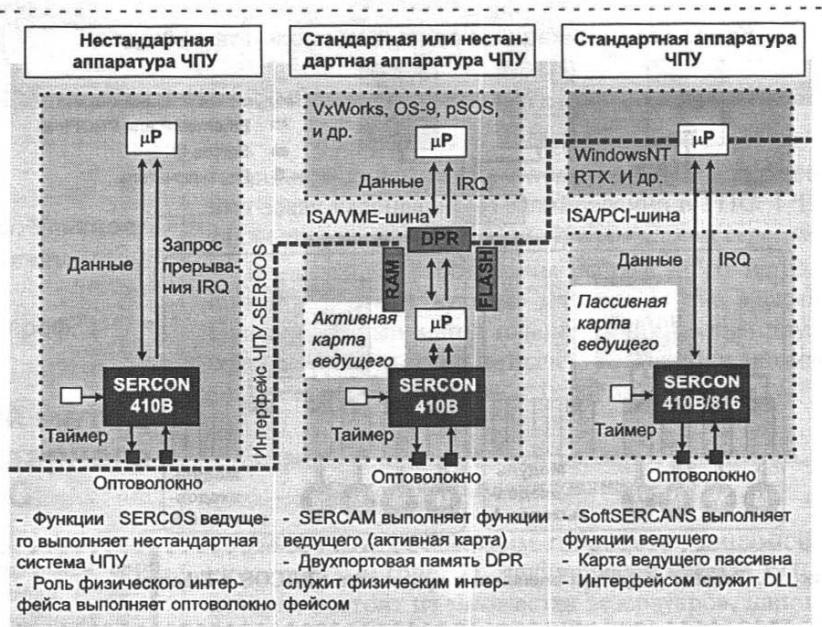


Рис. 12. Эволюционные переходы от SERCOS-контроллера к активной карте SERCANS и, наконец, к пассивной карте SoftSERCANS

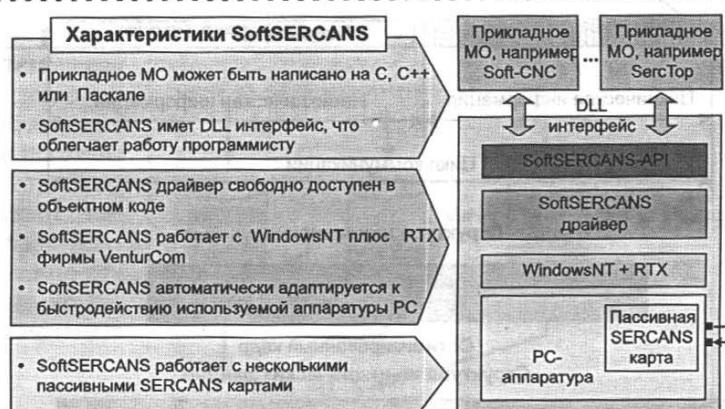


Рис. 13. Характеристики SoftSERCANS



Рис. 14. Топология построения SERCOS-III

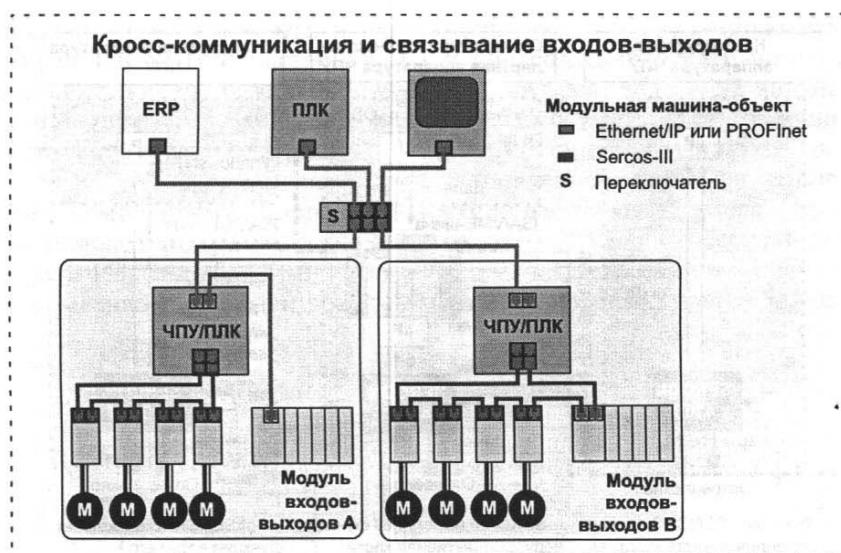


Рис. 15. Типовая структура смешанных протоколов SERCOS и Ethernet

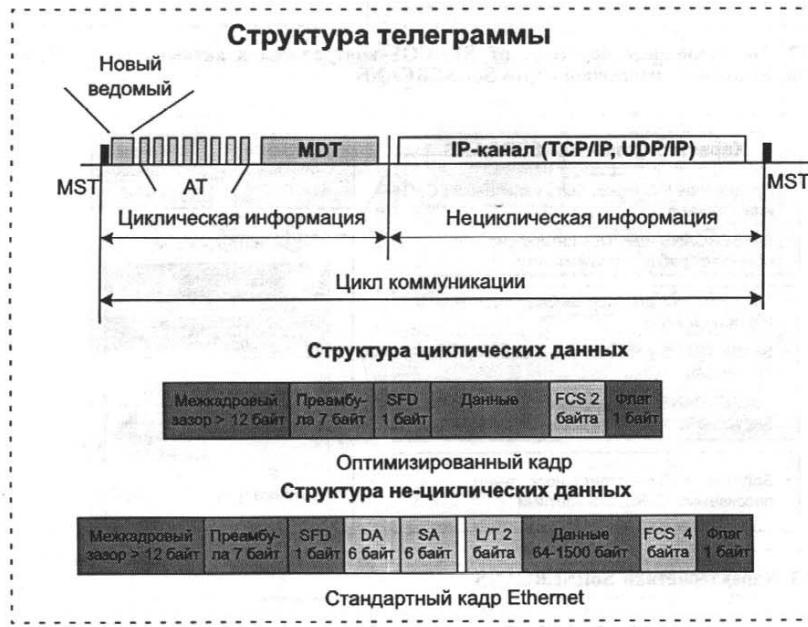


Рис. 16. Структура телеграммы в цикле коммуникации: SFD — Start Frame Delimiter; DA, SA — Destination and Source MAC Addresses; L/T — Length Type; FCS — Frame Check Sequence

гидравлическими приводами, частотными конвертерами и следящими приводами.

SERCOS-III совместим с существующими SERCOS-механизмами, поэтому переход к новому стандарту не составляет труда. Прототип SERCOS-III станет широко доступным уже в этом году.

Планируемые расширения SERCOS-интерфейса состоят в

интеграции офисных протоколов и протоколов микролокальных сетей (т. е. TCP/IP и Profibus). Базовые идеи состоят в объединении хорошо зарекомендовавших себя Sercos-механизмов с широко известными сетями Ethernet. При этом имеется в виду совместимость при обмене данных с хост-машиной; сокращение затрат при замене оптоволок-

на на скрученную пару; увеличение скорости передачи данных до 100 Мбит/с; интеграция IP-канала; резкое сокращение затрат на интерфейс следящего привода; передача циклических и нециклических данных; сокращение времени цикла до 31,25 мкс; использование дополнительных IP-каналов; интеграция существующих Ethernet узлов (посредством шлюзов); маршрутизация для нестандартных протоколов; кросс-коммуникация всех узлов (любая телеграмма прозрачна в любом узле).

Топология построения SERCOS-III показана на рис. 14. Типовая структура смешанных протоколов SERCOS и Ethernet представлена на рис. 15.

Коммуникационный цикл составлен из циклической информации, построенной традиционным для SERCOS-интерфейса способом, а также и нециклической информации, передаваемой во встроенном IP-канале (рис. 16).

\*\*\*

Современные следящие приводы подачи технологических машин представляют собой высокоскоростные и высокоточные цифровые мехатронные модули, которые во многих приложениях объединяются в сетевые многокоординатные системы. Число узлов в такой системе может исчисляться десятками. Сеть передает и принимает информацию (положение, скорость, момент), поддерживает синхронное управление приводами и может доставлять "нециклические" данные в Ethernet-формате.

#### Список литературы

- Сосонкин В. Л. Сетевая коммуникационная среда персональной системы управления // СТИН. 1996. N 7.
- Miles Budimir. The third generation of the Sercos network protocol, dubbed Sercos III, combines legacy Sercos and Ethernet. [www.machinedesign.com](http://www.machinedesign.com).
- Interest group SERCOS. SERCOS interface and Ethernet. [www.drivesurvey.com/index\\_library.cfm?feature\\_id=79](http://www.drivesurvey.com/index_library.cfm?feature_id=79).