

# Микропроцессорные контроллеры и системы управления на их основе: опыт построения

**Сорок лет назад группой инженеров из США на тендер по разработке автоматизированной системы управления технологическим процессом был предложен первый в мировой практике модульный принцип построения управляющего устройства с микропрограммным управлением. Он строился на 5 типовых модулях, включая и модуль микропрограммного управления.**

**Суть принципа заключалась в разработке типовых модулей на 8 каналов для связи датчиков и исполнительных механизмов с вычислительным устройством и создании на их базе наращиваемых измерительно-управляющих систем для построения системы управления транспортными средствами и технологических процессов предприятий.**

Такой подход (рис. 1) был назван Modular Digital Control – модульное цифровое управление. Его применение позволило создать принципиально новое направление в построении систем управления. Производители оборудования по достоинству оценили его, и число компаний, выпускающих модульные управляющие контроллеры, стало стремительно увеличиваться.

На первых порах модули связи с объектом и центральное вычислительное устройство контроллеров выполнялись на микросхемах первой – второй степени интеграции и дискретных элементах, в связи с чем надежность данных устройств была не очень высокой. Однако примененный метод модульного построения контроллеров позволял заменить отдельный модуль без остановки всей системы, что было значительным шагом вперед по сравнению с традиционными немодульными системами управления, выход из строя элементов которых требовал остановки всей системы управления на несколько дней для ее диагностики и ремонта. Поскольку на складе в виде ЗИПа хранилось небольшое количество типовых модулей замены, восстановление работы систем управления не представляло большого труда. Соответственно, значительно снизились и затраты на эксплуатацию оборудования.

Недостатки первых модульных контроллеров подтолкнули конструкторов к поиску путей повышения надежности и уменьшения габаритов систем управления. Поскольку основными ненадеж-

ными элементами таких систем были паяные соединения и разъемы, началось повышение степени интеграции как отдельных узлов, так и агрегатов в целом. Были разработаны микропроцессоры с блоками микропрограммного управления, микросхемы ОЗУ, мультиплексоры, однокристалльные АЦП и ЦАП. Это позволило создать первые микропроцессорные контроллеры (рис. 2), надежность и вычислительная мощность которых на порядок превосходили соответствующие показатели первых модульных цифровых контроллеров. Так, если наработка на отказ модульных цифровых контроллеров составляла 1,5–2 тыс. ч при количестве каналов ввода/вывода 100 шт., то микропроцессорные контроллеры первого поколения (рис. 2) уже имели наработку на отказ 8–10 тыс. ч. Что же содержало повышение надежности первых микропроцессорных контроллеров? Прежде всего, их архитектура. От первых модульных цифровых

контроллеров им в наследство досталась архитектура с тремя шинами: данных, адреса и управления. При 16-разрядной архитектуре каждый модуль должен был иметь разъем с 60–80 контактами. При достаточно высокой надежности самих модулей многоконтактные разъемы становились самым ненадежным узлом.

При проектировании второго поколения микропроцессорных контроллеров были разработаны микропроцессоры с мультиплексированной шиной адреса/данных – Q-шина (рис. 3), что позволило обходиться небольшим количеством разъемных соединений (порядка 20). Это, в свою очередь, позволило дублировать контакты разъемов и резко повысить надежность соединений. Кроме того, были разработаны микросхемы АЦП и ЦАП с интегрированной Q-шиной, благодаря чему удалось избавиться от дешифраторов адреса, микросхем шинных формирователей, буферов и других микросхем средней интеграции.

Учитывая также то обстоятельство, что микропроцессоры, АЦП и ЦАП были выполнены по технологии «кремний на сапфире», появилась возможность увеличить производительность процессора до 64 Мбит/с (при тактовой частоте 32

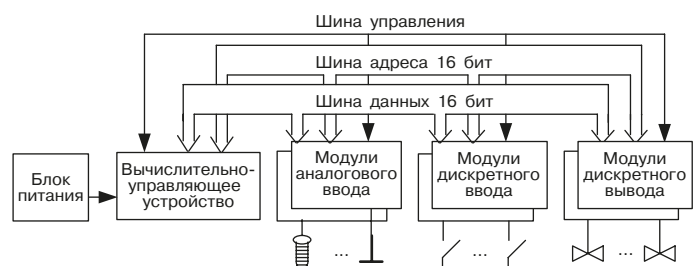


Рис. 1. Структурная схема модульного цифрового управляющего контроллера 1-го поколения

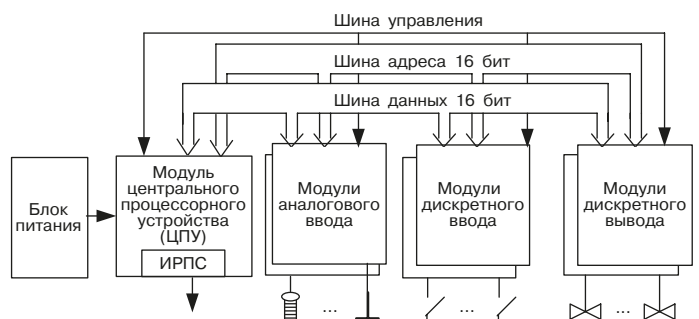


Рис. 2. Структурная схема модульного микропроцессорного контроллера 1-го поколения

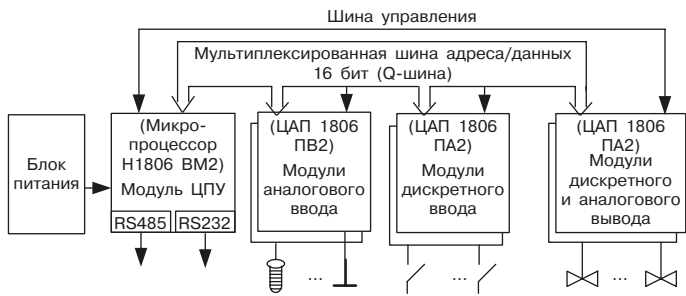


Рис. 3. Структурная схема модульного микропроцессорного контроллера 2-го поколения с Q-шиной

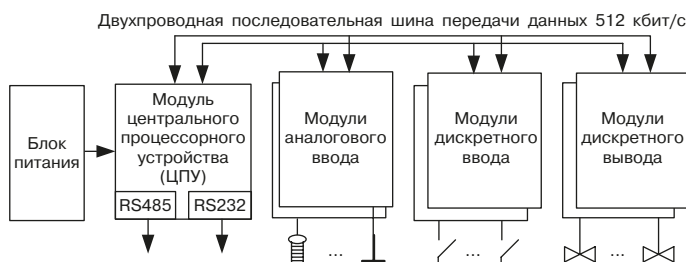


Рис. 4. Структурная схема модульного микропроцессорного контроллера 3-го поколения с последовательной шиной передачи данных

МГц) и повысить наработку на отказ микропроцессорного контроллера второго поколения до 40–50 тыс. ч. Технология «кремний на сапфире» также позволила микропроцессорным контроллерам работать при уровне радиационного излучения вплоть до 300 рентген/ч и сделала их пригодными для построения систем управления АЭС.

И все же модульная система с Q-шиной кроме ряда неоспоримых преимуществ (снижение стоимости, повышение надежности) обладала одним существенным недостатком – она не позволяла при однопроцессорной архитектуре создавать программно-технические комплексы для контроля и управления более 500–600 каналами. При количестве входов/выходов более 256 быстродействие системы начинало резко снижаться, а время цикла опроса датчиков – увеличиваться.

Применение быстродействующей цифровой шины для связи с модулями контроллера в микропроцессорных контроллерах 3 поколения (рис. 4) позволило еще больше повысить надежность, однако проблема увеличения емкости системы и ее быстродействия так и осталась нерешенной.

Выходом из сложившейся ситуации стало создание архитектуры распределенных микропроцессорных комплексов с серверной связью. Такой комплекс с использованием 10 микропроцессорных контроллеров был применен автором при создании АСУ теплофикационного комплекса Минской ТЭЦ-4 (рис. 5). Это позволило довести количество датчиков в системе до 1,5–2 тыс. шт. при

сохранении высоко-го быстродействия каждого контроллера. Однако и распределенная микропроцессорная структура с серверной связью имеет слабое место – наличие расчетного или управляющего сервера (сервера баз данных), обеспечивающего обмен информацией между микропроцессорными контроллерами. При выходе сервера из строя полностью нарушается работа всего программно-технического комплекса. При применении дублирования расчетного или управляю-

щего сервера эта проблема в основном решается, однако безударное переключение с основного сервера на дублирующий во всех возможных ситуациях остается проблемой до настоящего времени.

Помочь в ее решении могло бы создание многопроцессорных комплексов 4 поколения (рис. 6). И такие комплексы для создания дублированных отказоустойчивых систем контроля, защит и управления в нефтехимической промышленности, газовом хозяйстве, на взрывоопасных производствах были разработаны. Суть подхода заключается в следующем. Микропроцессорный контроллер строится на базе дублированных высокопроизводительных микропро-

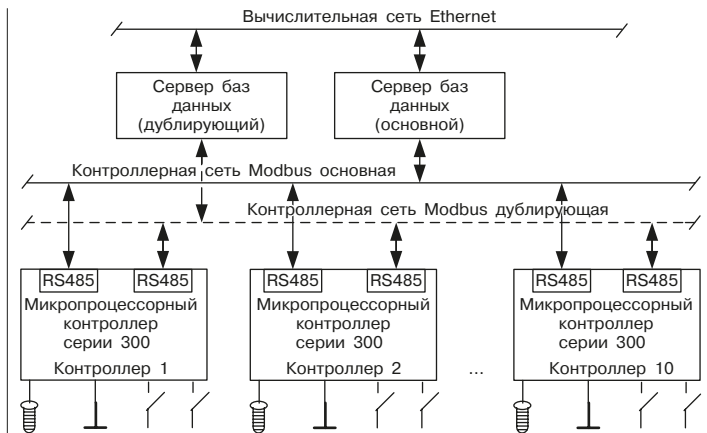


Рис. 5. Структурная схема распределенной микропроцессорной системы с серверной связью

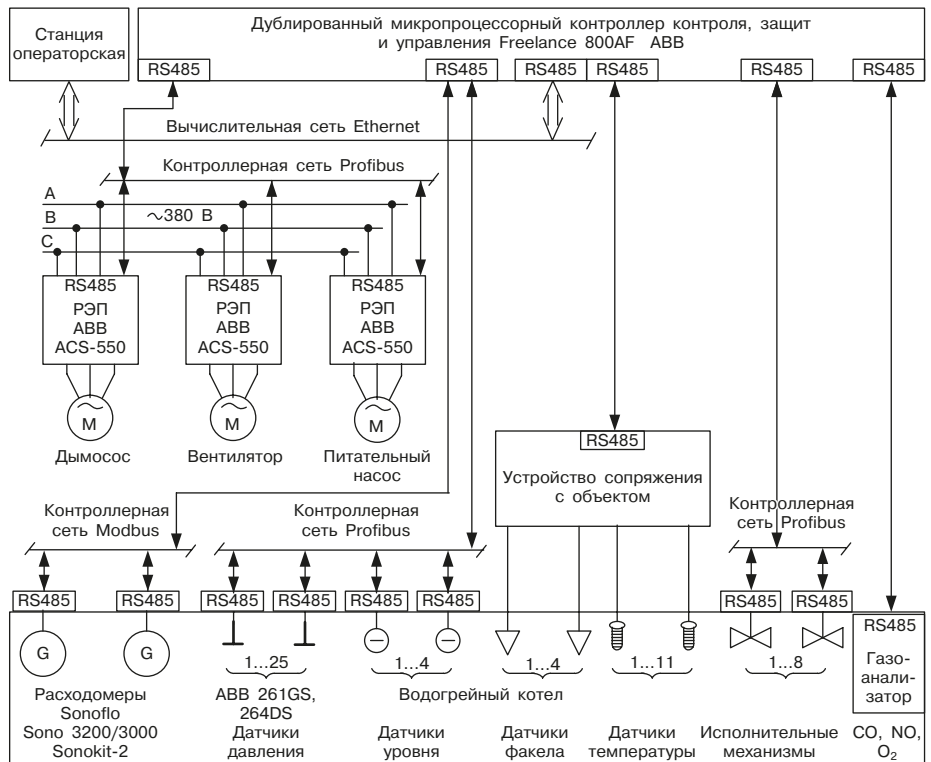


Рис. 6. Структурная схема децентрализованного микропроцессорного контроллера 4-го поколения с выносным УСО

цессоров и набора коммуникационных микропроцессоров, обеспечивающих связь с цифровыми датчиками по интерфейсу RS485. При этом обеспечивается поддержка основных промышленных протоколов обмена Modbus, Profibus, Multibus. Устройства связи с объектом выполняются также микропроцессорными и обеспечивают дублированную связь с каждым из центральных процессоров. Такая архитектура позволила подключить к информационно-вычислительному комплексу (ИВК) интеллектуальные датчики и исполнительные механизмы с выходным интерфейсом RS485 без применения промежуточных устройств связи. Как результат – повысилась надежность программно-технических комплексов до 0,9999 за 1 тыс. ч. Кроме того, в модули связи и интерфейсы RS485 были встроены искрозащитные барьеры, что позволило применять данные ИВК на взрывоопасных производствах без внешних искрозащитных устройств. Средняя наработка на отказ при этом составляет, по данным статистики, 500–600 тыс. ч.

Завершением многолетних усилий по созданию микропроцессорных комплексов было создание многопроцессорного нейротранспьютера (рис. 7). Это стало значительным шагом вперед по сравнению с одно- и двухпроцессорными контроллерами и распределенными сетевыми структурами. Нейротранспьютер представляет собой многопроцессорный контроллер с непосредственными связями между микропроцессорами. Транспьютер состоит из ряда модулей центральных процессорных устройств (от 1 до 256), в каждом модуле которого установлено шестнадцать 16...32-разряд-

ных процессоров с последовательными интерфейсами. Микропроцессоры модуля объединены в кольцо, в котором каждый микропроцессор связан с 4 смежными микропроцессорами непосредственно в модуле и с 8-ю микропроцессорами соседнего модуля – через оптические разъемы.

Датчики и исполнительные механизмы подключаются к микропроцессорному контроллеру через оптические разъемы при помощи внешних устройств сопряжения с объектом (УСО), номенклатура которых выбирается проектировщиками систем.

Применение оптоволоконной связи микропроцессоров с датчиками и модулями УСО сделало такие контроллеры пригодными для построения систем управления на радиоактивных и взрывоопасных производствах, не ограничивая при этом удаленность управляющего комплекса от опасного производства.

Данные транспьютеры являются на сегодняшний день наиболее совершенным типом микропроцессорных программно-

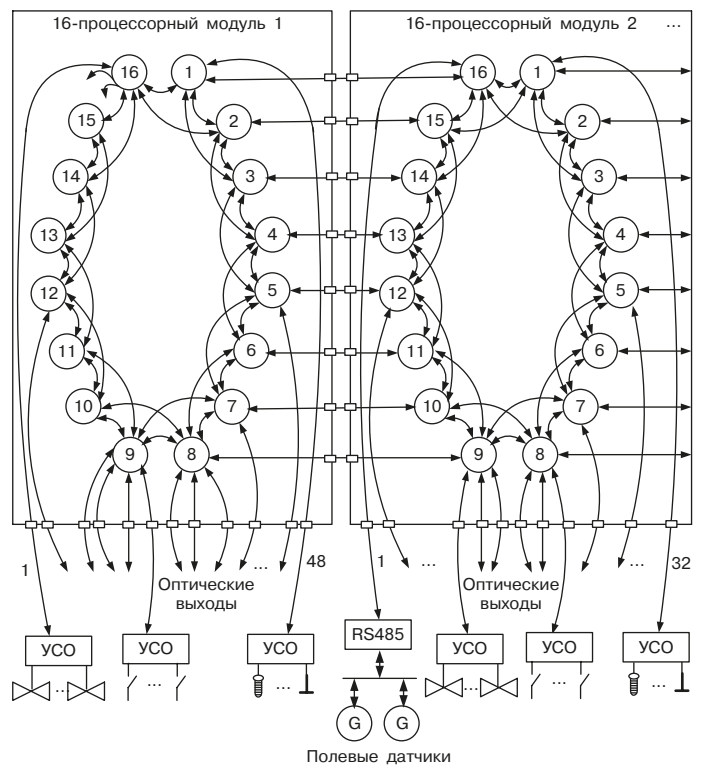


Рис. 7. Структурная нейротранспьютера 5-го поколения с выносными УСО

технических комплексов и обладают непревзойденной надежностью. Вероятность отказа у таких комплексов составляет  $10^{-22}$ – $10^{-24}$ .

**Владимир ЖУК,**  
начальник отдела АСУ ООО  
«Энергопромис»