

АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВНУТРЕННЕЙ ШИНЫ ОБМЕНА ПРОГРАММИРУЕМОГО КОНТРОЛЛЕРА ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМУ КАНАЛУ

© В. А. Чумычкин, Н. А. Галанина
ЧГУ им. И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

Рассматривается проблема реализации внутренней шины контроллера на основе различных последовательных интерфейсов. Представлены результаты исследования внутренней шины контроллера на основе последовательного канала UART, позволяющие получить необходимое время цикла обмена основного процессора с модулями ввода/вывода при значительном уменьшении аппаратных затрат. Для критически важных сигналов достигнуто время обмена не более 1 мс, для стандартных сигналов – не более 10 мс. Разработан программный протокол передачи данных для обмена с 200 малоканальными модулями дискретного и аналогового ввода/вывода. На основе предложенного решения выполнено успешное внедрение контроллера для АСУ ТП водогрейных котлов.

Ключевые слова: промышленные логические контроллеры, ПЛК, цифровой последовательный интерфейс, внутренняя шина UART, встроенные системы, архитектура ПЛК, STM8, STM32, K1986BE92QI.

Введение. Все современные промышленные логические контроллеры (ПЛК) имеют модульную структуру, состоящую из основного модуля высокопроизводительного центрального процессора (ЦП) и различных модулей ввода/вывода: дискретных, аналоговых, интерфейсных. Такая структура обеспечивает простое и гибкое конфигурирование системы под различные задачи автоматизации и унификацию модулей для малых и больших задач. Для обеспечения связи модулей между собой в контроллере присутствует высокоскоростная внутренняя шина данных. Её структура определяет основные характеристики ПЛК по удобству монтажа, надежности и быстродействию [10].

В первых поколениях ПЛК это была параллельная шина, она обеспечивала высокое быстродействие и простоту аппаратной реализации, но обладала низкой надежностью и дороговизной из-за большого количества контактов при небольшой длине линии и значительных габаритах устройства.

Все современные ПЛК снабжены в основном высокоскоростными последовательными

внутренними шинами, т.к. они обладают минимальным количеством линий связи, простотой межмодульного соединения с возможностью контроля целостности передаваемых данных. При этом пропускная способность современных последовательных передатчиков существенно выросла, несмотря на необходимость передачи, кроме полезных данных, дополнительной служебной информации: синхросигналов, заголовков пакетов, контрольных сумм и т.д.

Для повышения скорости обмена и приоритетной обработки сообщений для некоторых применений в электроэнергетике используются много-магистральные последовательные внутренние интерфейсы [3].

Для авиационной и космической отрасли в качестве внутренней магистрали, с учетом специфики функционирования и требований по резервированию, применяется магистральный последовательный интерфейс [1, 2].

Рассмотрим особенности организации наиболее распространенных последовательных шин ПЛК – RS-485, CAN, Ethernet, которые обладают высокой надежностью и поме-

хозащищённостью даже при длинных линиях связи [1, 5, 9].

Шины RS-485 и CAN относительно просты в программной реализации, но требуют встроенных в микроконтроллер периферийных модулей UART и CAN, соответственно, а также дополнительных микросхем согласования физического уровня [12, 13, 14].

Шина Ethernet обладает наибольшим быстродействием, но отличается высокой сложностью программной реализации, требованием к наличию интегрированного в кристалл узла контроллера MAC (Media Access Control) и внешней микросхемы трансивера физического уровня PHY (Physical Layer) с изолирующим трансформатором [4]. При этом для топологии сети «звезда» необходимо использование внешнего коммутатора с большим количеством каналов, а для топологии сети «кольцо» – более дорогого внешнего трансивера PHY со встроенным 3-канальным коммутатором. Сложность реализации программного стека Ethernet требует наличия во всех модулях высокопроизводительного микроконтроллера, с выделенной памятью только на эти нужды, как минимум 64Кб ПЗУ и 16Кб ОЗУ.

Производители ПЛК обычно не раскрывают подробные принципы реализации внутренних шин, но в целом можно выделить основные программные протоколы реализации системной шины на основе данных интерфейсов:

- Ethernet – PROFINET, EtherCAT, POWERLINK, FBUS;
- CAN – CANopen, DeviceNet;
- RS-485 – MODBUS, PROFIBUS и т. д.

Оценим среднюю стоимость электронных компонентов различных производителей для поддержки внутренних последовательных шин контроллера, необходимых для ре-

лизации физического уровня и программного протокола. В табл. 1 представлена минимально возможная стоимость необходимых компонентов в зависимости от типа шины ПЛК (по цене, указанной на сайтах основных производителей электронных компонентов для крупных партий от 3000 шт. без учета доставки и налогов).

Как видно из представленных данных, при большом количестве модулей существенно увеличиваются накладные расходы на интерфейс шины относительно стоимости непосредственно самого микроконтроллера модуля. А при повсеместном внедрении малой автоматизации и Интернета вещей (internet of things, IoT) [8], для которых характерны большое разнообразие различных типов модулей, используемых одновременно в одном проекте, небольшое количество сигналов на одном модуле и малые габаритные размеры устройства, существенное конкурентное преимущество имеет низкая цена отдельных модулей и конечного изделия в целом.

Для решения задачи уменьшения себестоимости рассмотрим организацию внутренней шины без дополнительной микросхемы физического уровня по асинхронному последовательному каналу UART, который доступен в большинстве недорогих микроконтроллеров и отличается простотой программной реализации.

Аппаратная реализация внутренней шины по интерфейсу UART. Для примера возьмём STM8S003, один из самых распространённых микроконтроллеров в низшем ценовом сегменте стоимостью \$0.27, имеющий следующие характеристики: тактовая частота 16 МГц, 8 Кб ППЗУ, 1 Кб ОЗУ, последовательный канал UART с максимальной скоростью передачи 1 Мбод, 16 портов ввода-вывода,

Таблица 1

Минимальная стоимость компонентов для поддержки шины данных на каждый модуль

Тип шины данных	Ethernet	CAN	RS-485
Микроконтроллер с поддержкой функции	\$3.5	\$1.5	\$0.3
Микросхема физического уровня и дополнительные компоненты	\$2.5	\$1	\$0.5
Всего	\$6	\$2.5	\$0.8

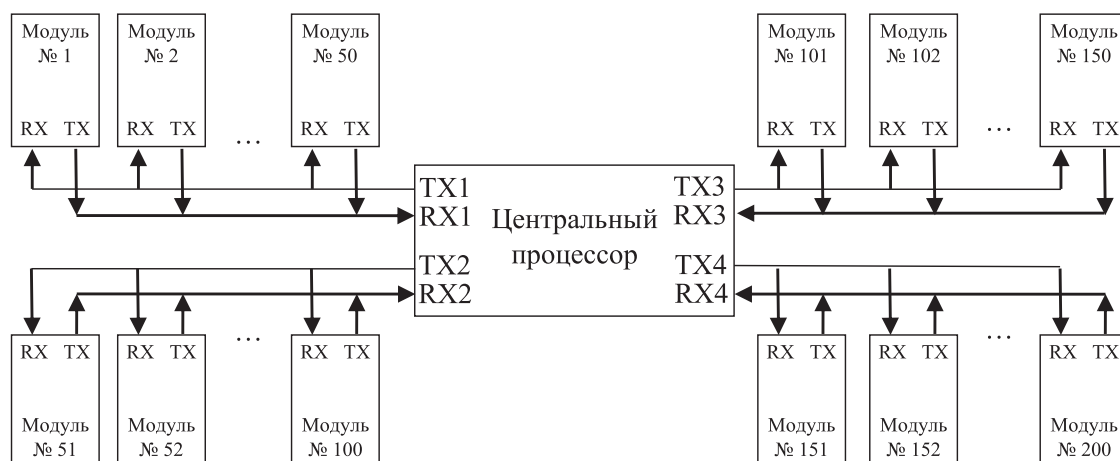


Рис. 1. Структура внутренней шины ПЛК

включая 5 каналов АЦП, малогабаритный корпус UFQFPN20 размером 3×3 мм.

В данном случае, без дополнительных микросхем преобразования физического уровня, с использованием только микроконтроллера в компактном корпусе UFQFPN20, возможно изготовление модулей ввода/вывода с количеством до 7 дискретных или 3 аналоговых каналов с очень малыми габаритными размерами – не более 1 см в ширину. При необходимости в этих же габаритах также возможна установка дополнительных элементов гальванической изоляции, например, с каждой стороны печатной платы по ширине размещается до 3-х оптронов TLP291, 2-х оптореле CPC1008 или 2-х узких механических реле HF41F. Таким образом, длина линии связи для 50 модулей составит не более 50 см. Это позволяет использовать канал UART на максимально допустимой для STM8S003 скорости обмена в 1 Мбод и сохранения безошибочной передачи данных. Структура внутренней шины для ПЛК с 4 внутренними шинами UART представлена на рис. 1.

Таким образом, из 200 малоканальных модулей, объединенных относительно короткими линиями UART, возможно создание ПЛК с общим количеством более 600 входов/выходов

со свободной конфигурацией различных типов модулей.

Ресурсов выбранного микроконтроллера модуля достаточно для первичной обработки входных и выходных дискретных и аналоговых сигналов, фильтрации помех, автономного подсчета импульсов до 10 КГц, формирования битов ошибок, перевода при необходимости в заранее заданное безопасное состояние выходов при потере связи, с дальнейшей синхронизацией по последовательному каналу UART с высокопроизводительным центральным процессором, выполняющим основную технологическую программу автоматизации промышленных процессов. Малое количество каналов на модулях ввода/вывода позволяет свободно сформировать контроллер как для малых, так и больших систем на единой аппаратной базе с минимальной избыточностью и, соответственно, минимальными габаритными размерами и стоимостью.

Рассмотрим подробнее организацию обмена по UART. В стандартном применении UART позволяет выполнить только соединение точка-точка, с одним ведущим устройством (Master) и одним ведомым устройством (Slave). Данный режим представлен на рис. 2.

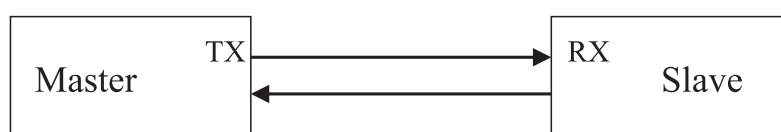


Рис. 2. Соединение точка-точка UART

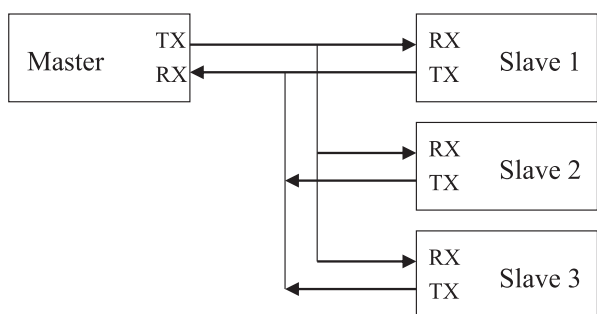


Рис. 3. Многоточечное соединение UART

В современных микроконтроллерах, благодаря наличию дополнительного бита конфигурации TXEN, появилась возможность многоточечного соединения UART. Он позволяет без отключения приемника (RX) отключить передатчик (TX) ведомого устройства с переводом данной ножки микроконтроллера из режима двухтактного выхода (push-pull) в высокоимпедансное состояние (Z – состояние, floating), при этом исключается конфликт на линии при наличии нескольких передатчиков. В данном режиме возможна реализация обмена согласно рис. 3, без использования дополнительных логических микросхем для объединения линии TX от нескольких Slave устройств.

Программная реализация внутренней шины по интерфейсу UART. В общепринятой стандартной реализации протокола обмена суммарное время t_c , необходимое для обмена с одним устройством, определяется (рис. 4):

- t_{tx} – время передачи запроса от ведущего устройства в шину ПЛК;
- t_{txa} – время обработки полученного запроса от ведущего устройства, проверки его целостности и контрольной суммы, кода операции, подготовки отклика и включения передатчика Slave устройства;
- t_{rx} – время передачи отклика от ведомого устройства в шину ПЛК;

• t_{rxa} – время отключения передатчика Slave устройства, обработки полученного отклика от ведомого устройства, проверки его целостности и контрольной суммы, кода операции, и подготовки следующего запроса.

В общем случае, когда длина запроса и отклика заранее не определена, ведущее устройство не может начать следующую посылку до полной обработки предыдущего цикла передачи/приема для исключения одновременного выхода на линию двух Slave устройств и возникновения коллизии на линии. Таким образом, общее время цикла обмена t_{all} для n абонентов будет определяться согласно формуле 1:

$$t_{all} = n t_c . \quad (1)$$

В частном случае, когда длина отклика гарантированно меньше длины запроса, возможна передача следующего запроса без ожидания обработки отклика, что значительно ускоряет обмен, при этом должно выполняться условие согласно формуле 2:

$$t_{tx} \geq t_{rx} + t_{txa} + t_{rxa} . \quad (2)$$

Диаграмма данного ускоренного режима представлена на рис. 5.

Как видно из диаграммы, при приеме последнего отклика передача запроса от ведущего устройства уже не происходит, поэтому в данном случае общее время цикла обмена t_{all} для n абонентов будет равно:

$$t_{all} = (n + 1) \cdot t_c . \quad (3)$$

Для более полноценного использования линии TX во время приема последнего отклика возможно произвести отправку пакета, предназначенного для всех модулей и не требующего отклика (рис. 6). В частности, в нем могут содержаться команды синхронизации времени, задания конфигурации режима работы для всех модулей и другие сервисные операции.

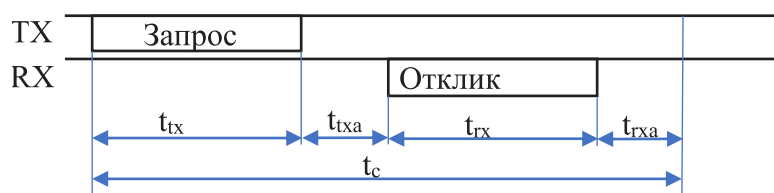


Рис. 4. Диаграмма стандартного режима передачи-приема

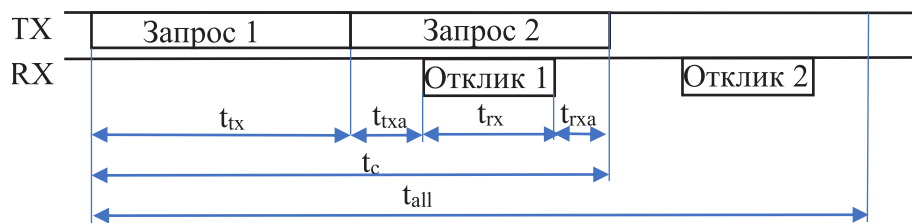


Рис. 5. Диаграмма ускоренного режима передачи-приема

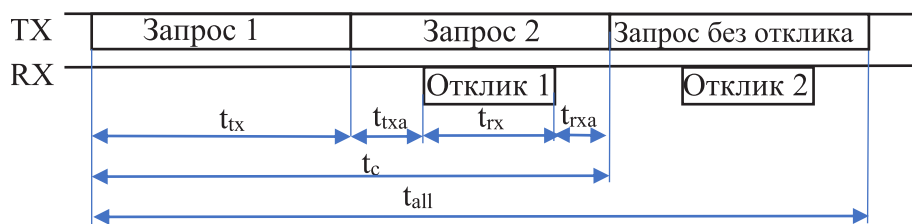


Рис. 6. Диаграмма ускоренного режима передачи-приема с общим пакетом

Оценим минимальное возможное время обработки t_{txa} и t_{rxa} в микроконтроллерах для определения того, на сколько байт длина отклика должна быть меньше запроса согласно формуле 2.

Для расчета возьмём максимальную скорость обмена STM8S003, равную 1 Мбод, что соответствует времени передачи 1 байта за 10 мкс, для режима UART 8N1 (1 старт бит, 8 бит данных, 1 стоп бит).

Выполним оценку времени выполнения подпрограмм прерываний по последовательному каналу для нескольких типов микроконтроллеров с разной архитектурой и характеристиками, не хуже STM8S003. Полученные результаты времени выполнения оптимизированных подпрограмм прерывания по заверше-

нию приема и передачи представлены в табл. 1 и осциллограмме на рис. 7.

Следует отметить, что микроконтроллеры выполнены на разных архитектурах, поэтому время выполнения одинаковых программ, написанных на языке Си, нелинейно зависит от частоты микроконтроллеров. Из особенностей аппаратной реализации и конфигурации модулей UART для микроконтроллеров STM8S можно отметить дополнительное аппаратное время ожидания в 1 байт (после переключения линии TX из Z-состояния в режим передачи и непосредственно передачей данных по ней), обратное переключение происходит без задержек [11].

Как показано в таблице 1, суммарное время $t_{txa} + t_{rxa}$ не превышает времени передачи

Таблица 1
Временные характеристики используемых микроконтроллеров в модулях входов/выходов

	STM8S003	STM32F103	STM32L432	K1986BE92QI
Частота, МГц	16	72	80	80
Время выполнения одной инструкции, нс	62,5	13,9	12,5	12,5
Время выполнения прерывания по завершению приема пакета запроса, t_{txa} , мкс	16,5	3,6	3,4	3,5
Время выполнения прерывания по завершению передачи пакета отклика, t_{rxa} , мкс	2,2	1,2	1,0	1,1
Суммарное время, $t_{txa} + t_{rxa}$, мкс	18,7	4,8	4,4	4,6

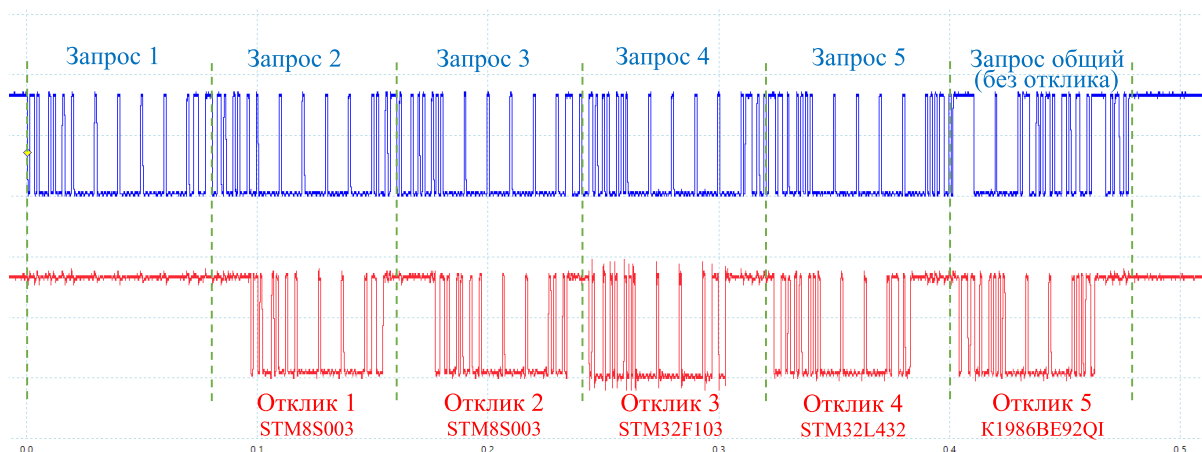


Рис. 7. Осциллограмма передачи-приема для 5 модулей с различными микроконтроллерами

2-х байт (20 мкс), соответственно наиболее оптимальным будет принять количество байт отклика на 2 байта меньше количества байтов запроса. В этом случае линии TX и RX приемо-передатчика позволяют передать максимальное количество информационных байт в единицу времени.

Оценим максимальное количество байт запроса и отклика для всех типов модулей входов/выходов контроллера, выделив минимально необходимые байты для приема-передачи в каждом пакете:

- адрес модуля (1 байт) – возможно подключение до 255 модулей на 1 последовательный канал;

- тип модуля и его исполнение (1 байт) – возможно расширение до 256 различных типов модулей и их модификаций;

- информационные данные модуля (3 байта), зависящие от типа модуля: значение параметра, номер параметра и диагностическая информация, оценка для различных типов модулей представлена в табл. 2;

- контрольная сумма пакета для модуля (1 байт).

В итоге максимальное количество передаваемых данных для отклика составляет 6 байт, что соответствует 8 байтам запроса и времени обмена с одним модулем $t_c=80$ мкс. Т. к. оценка проведена для минимального количества ин-

Таблица 2

Оценка информационной части пакета для различных типов модуля

Тип модуля	Количество байт запроса	Количество байт отклика
дискретные входы – до 7 каналов	1	1
дискретные входы в счетном режиме, разрядность счетчика 16-24 бит	3	3
дискретные выходы – до 7 каналов	1	1
аналоговые входы, разрядность значения АЦП 16-24 бит	1	3
аналоговые выходы, разрядность значения ЦАП 16-24 бит	3	1
интерфейсные модули RS-485, CAN, WIFI, Ethernet, GSM, с возможностью передачи за цикл обмена не менее 16 бит обработанных данных, суммарно 256 байт за 16 пакетов/циклов	3	3
Итого, максимум	3	3

формации в пакете, свободные биты, при выбранном для всех типов модулей едином количестве 8 байт запроса и 6 байт отклика, могут быть использованы для более удобной конфигурации и расширенной диагностики модулей.

Представленная на рис. 6 диаграмма для обмена с большим количеством модулей, в данном случае, легко реализуется в ведущем обмене модуле центрального процессора параллельно по нескольким каналам UART. При этом можно отметить следующие преимущества:

- благодаря фиксированному размеру пакета, не зависящего от типа модуля, возможна очень быстрая реализация подпрограмм прерывания или использование каналов прямого доступа к памяти (DMA) с последующей реализацией обработки содержимого пакета в основной программе;
- при использовании каналов DMA отсутствуют многократные прерывания основной технологической программы на каждый байт или пакет, что особо важно для систем реального времени;
- формирование запросов и анализ пакетов откликов происходит один раз за цикл на все модули после их обработки в основной технологической программе.

Оценим обеспечение периодичности опроса сигналов не более 1 мс для соответствия требованиям по точности фиксации событий и значений дискретных и аналоговых сигналов по отношению к системному времени. Данные требования присутствуют, например, для некоторых критически важных сигналов программно-технических комплексов для автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) тепловых электростанций в части подсистем технологических защит [6].

Такие сигналы можно выделить на модули ввода-вывода, подключённые на последовательные каналы UART с количеством модулей n не более 11. Согласно формуле 3, время обмена по данным каналам UART составит:

$$t_{all} = (n+1) \cdot t_c = (11+1) \cdot 80 = 960 \text{ мкс}.$$

Таким образом, при необходимости будет выполнено требование к периодичности опро-

са сигналов не более 1 мс, что для 4 последовательных каналов внутренней шины UART позволяет суммарно обрабатывать до 44 модулей ввода/вывода с циклом обмена не более 1 мс.

При установке максимального количества – 200 модулей, цикл обмена составит не более 4,08 мс, что соответствует большинству задач АСУ ТП, для которых стандартно применяется требование к периодичности опроса не более 10 мс.

Благодаря соответствию общим техническим требованиям к программно-техническим комплексам для АСУ ТП тепловых электростанций, возможно применение контроллера на основе предложенного решения для систем управления котлоагрегатами, как в рамках среднего и нижнего уровня для непосредственного управления процессом, сбора информации и реализации управляющих воздействий, так и в части систем защит и блокировок [7].

Результаты. Были проведены успешные лабораторные испытания с подключением 200 модулей различных типов по 4-м последовательным каналам к центральному процессору ПЛК, выполненному на основе высокопроизводительного микроконтроллера STM32H743. Установленные в ПЛК интерфейсные модули RS-485 использовались для связи с удалёнными объектами по индивидуальным линиям, при этом обмен со SCADA системой осуществлялся по дублированному интерфейсу Ethernet центрального процессора.

Дополнительно опробован вариант сборки небольшого контроллера для удалённого сбора и управления, в котором интерфейсный модуль RS-485 на основе микроконтроллера STM32L432 использовался уже в качестве процессора ПЛК и осуществлял обмен с 50-ю модулями входов/выходов по одному последовательному каналу.

Программирование технологической части программы для обоих вариантов ПЛК осуществлялось на языках стандарта МЭК 61131-3.

Для всех вариантов периодичность опроса сигналов соответствует расчётным данным.

При испытании на помехозащищённость не выявлено возникновение ошибок на внутренней шине, достигнуто 100% качество свя-

зи и отсутствие сбойных пакетов. Это достигнуто благодаря малой длине линии связи – не более 50 см, а также использованием специальных мер защиты с локальным экранированием линии на печатных платах на всех участках.

Разработанная модель внутренней шины обладает минимальной стоимостью по сравнению с шинами Ethernet, CAN и RS-485/RS-422,

но при этом позволяет реализовать достаточно большие проекты по автоматизации. На основе данной разработки успешно выполнено опытное внедрение АСУ ТП для реализации функций информационного сбора, управления общекотельным оборудованием и химводоподготовкой, регулирования технологических параметров для водогрейных котлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов В. А.* Анализ и разработка внутренней магистрали для блока управления летательного космического аппарата / *В. А. Иванов, Ю. В. Савченко, А. Н. Серов, А. Н. Луковников* // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 12-2. С. 68-74.
2. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей.
3. *Дубовой Н. Д., Портнов Е. М.* Межмодульный внутренний интерфейс распределенных систем управления в энергетике // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2011. № 4. С. 80-84.
4. *Каршенбойм И.* Внутриприборный интерфейс на микросхемах фирмы Micrel // Компоненты и технологии. 2009. № 5 (94). С. 46-54.
5. *Мишин С. А., Галанина Н. А.* Выбор способа передачи данных // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 04 июня 2021 года / Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова. Чебоксары, 2021. С. 54-55.
6. РД 153-34.1-35.127-2002 Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУ ТП тепловых электростанций.
7. *Садыков Х. А., Сусуркаев Х. Н., Амхадов М. А.* Автоматизация производства пара для бытовых и производственных потребителей // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2019. Т. 15. № 3 (17). С. 29-34.
8. *Хаджиева Л. К., Мальцагов Х. Х.* Анализ технологии «интернет вещей» (IOT) и ее роль в «умном доме» // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2019. Т. 15. № 4 (18). С. 27-32.
9. *Шишов О. В.* Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации: учебник. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2017. 474 с.
10. *Bryan L. A., Bryan E. A.* Programmable Controllers Theory and Implementation, 2nd Edition. Industrial Text Company Publication, Atlanta. 1997.
11. Reference manual. STM8S Series and STM8AF Series 8-bit microcontrollers. [Электронный ресурс]. URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0016-stm8s-series-and-stm8af-series-8bit-microcontrollers-stmicroelectronics.pdf (дата обращения: 10.05.2022).
12. *Xiang Sun, Zhao Feng, Ren Xucai, Luo Xuan, Hao Fengqi.* The research of PLC architecture based on CAN BUS. 2010 Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System. 2010. Vol. 2. Pp. 225-227.
13. *Xiang Sun, Zhao Feng.* The research of synchronization control with PLC based on the bus of serial communications. 2010 Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System. 2010. Vol. 2. Pp. 228-231.
14. *Вахидова К. Л., Минцаев М. Ш., Исаева М. Р., Пашаев В. В.* Алгоритм распознавания основных дефектов поверхностей колец подшипников с применением метода фрактальной размерности и нейронных сетей // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3 (87). С. 124-132.

HARDWARE AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE PLC INTERNAL SERIAL COMMUNICATION BUS

© V. A. Chumychkin, N. A. Galanina

CSU named after I. N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

The problem of implementing the internal bus of a programmable logic controller (PLC) based on various serial interfaces is considered. Developed a solution for the internal bus of the PLC based on the serial channel UART, which can significantly reduce the cost of hardware and at the same time get the necessary cycle time of the exchange of the main processor with the I / O modules. The exchange time for critical signals is less than 1 ms, for standard signals – no more than 10 ms. Software protocol for data exchange with 200 low-channel digital and analog I/O modules was developed. Successful implementation of the controller, based on the proposed solutions, for automated process control systems of hot water boilers was carried out.

Keywords: PLC, digital serial interface, internal bus, UART, embedded systems, PLC architecture, microcontrollers, STM8, STM32, K1986BE92QI.

REFERENCES

1. Ivanov, V. A., Savchenko, Yu. V., Serov, A. N. and Lukovnikov, A. N. (2014) 'Analiz i razrabotka vnutrenney magistrali dlya bloka upravleniya letatel'nogo kosmicheskogo apparata' [Analysis and development of an internal highway for the control unit of an aircraft spacecraft] *Izvestiya Tula State University. Technical sciences*, № 12-2. Pp. 68-74.
2. 'GOST R 52070-2003. Interfeys magistralnyy posledovatelnyy sistemy elektronnykh moduley' [GOST R 52070-2003. The interface is a backbone serial system of electronic modules].
3. Dubovoy, N. D. and Portnov, E. M. (2011) 'Mezhmodulnyy vnutrenniy interfeys raspredelennykh sistem upravleniya v energetike' [Intermodular internal interface of distributed control systems in power engineering] *Defense complex – scientific and technical progress of Russia*, № 4. Pp. 80-84.
4. Karshenboym., I. (2009) 'Vnutripribornyy interfeys na mikroskhemakh firmy Micrel' [Intra-device interface on microchips of the Micrel company] *Components and Technologies*, № 5 (94). Pp. 46-54.
5. Mishin, S. A. and Galanina, N. A. (2021) 'Vybor sposoba peredachi dannykh' [Choosing a data transmission method]. *Dynamics of nonlinear discrete electrical and electronic systems: proceedings of the XIV All-Russian Scientific and Technical Conference*, Cheboksary, June 04, 2021. I. N. Ulyanov Chuvash State University. Cheboksary. Pp. 54-55.
6. 'RD 153-34.1-35.127-2002 Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya k programmno-tekhnicheskim kompleksam dlya ASU TP teplovykh elektrostantsiy' [RD 153-34.1-35.127-2002 General technical requirements for software and hardware complexes for automated control systems of thermal power plants].
7. Sadykov, Kh. A., Susurkayev, Kh. N. and Amkhadov, M. A. (2019) 'Avtomatizatsiya proizvodstva para dlya bytovykh i proizvodstvennykh potrebiteley' [Automation of steam production for household and industrial consumers]. *Herald of GSTOU. Technical sciences*. Vol. 15, № 3 (17). Pp. 29-34.
8. Khadzhizheva, L. K., Maltsagov, Kh. Kh. (2019) 'Analiz tekhnologii "internet veshchey" (IOT) i yeye rol v "umnom dome"' [Analysis of the Internet of Things (IOT) technology and its role in the smart home]. *Herald of GSTOU. Technical sciences*. Vol. 15, № 4 (18). Pp. 27-32.
9. Shishov, O. V. (2017) 'Programmiruyemyye kontroliery v sistemakh promyshlennoy avtomatizatsii: uchebnik' [Programmable controllers in industrial automation systems:

- textbook.] Moscow: Limited Liability Company “Scientific and Publishing Center INFRA-M”. 474 p.
10. Bryan, L. A. and Bryan, E. A. (1997) Programmable Controllers Theory and Implementation, 2nd Edition. Industrial Text Company Publication, Atlanta.
 11. Reference manual. STM8S Series and STM8AF Series 8-bit microcontrollers. Available at: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0016-stm8s-series-and-stm8af-series-8bit-microcontrollers-stmicroelectronics.pdf (Accessed: 10.05.2022).
 12. Xiang, Sun, Zhao, Feng, Ren, Xucai, Luo, Xuan and Hao Fengqi. (2010) Research of PLC architecture based on CAN BUS. 2010 Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System. Vol. 2. Pp. 225-227.
 13. Xiang, Sun, Zhao, Feng. (2010) Research of synchronization control with PLC based on the bus of serial communications. 2010 Second Pacific-Asia Conference on Circuits, Communications and System. Vol. 2. Pp. 228-231.
 14. Vakhidova, K. L., Mintshev, M. Sh., Isaeva, M. R. and Pashaev, V. V. (2022) ‘Algorithm raspoznavaniya osnovnykh defektov poverhnostej kolec podshipnikov s primeneniem metoda fraktal’noj razmernosti i nejronnykh setej. *Inzhenernyj vestnik Dona*’. [Algorithm for recognition of the main defects of the surfaces of bearing rings using the fractal dimension method and neural networks. Don Engineering Gazette]. №3 (87). Pp. 124-32.