



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 86 за 2012 г.



Павловский В.Е.,
Павловский В.В.

Модульная
микроконтроллерная
система управления
роботами РОБОКОН-1

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Павловский В.Е., Павловский В.В.
Модульная микроконтроллерная система управления роботами РОБОКОН-1 // Препринты ИПМ
им. М.В.Келдыша. 2012. № 86. 32 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-86>

Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ имени М.В.Келдыша
Российской академии наук

В.Е.Павловский, В.В.Павловский

**МОДУЛЬНАЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА
УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ РОБОКОН-1**

Москва, 2012 г.

УДК 004.3:531.1

В.Е.Павловский, В.В.Павловский
Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН (ИПМ)

МОДУЛЬНАЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ РОБОКОН-1

АННОТАЦИЯ

Описана масштабируемая аппаратно-программная система нижнего уровня управления, позволяющая непосредственно к модулям системы и далее к компьютеру подключать двигатели и аналоговые/цифровые сенсоры роботов и аналогичные устройства. Описаны способы масштабирования системы для разных задач. Приведено техническое описание разработанных устройств.

ключевые слова и выражения: система управления, робот, нижний уровень управления, контроллер, масштабирование.

Работа поддержана грантами РФФИ 10-07-00409-а, 10-01-00160-а.

V.E.Pavlovsky, V.V.Pavlovsky
Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS (KIAM)

MODULAR MICROCONTROLLER ROBOTS CONTROL SYSTEM ROBOCON-1

ABSTRACT

The scalable hardware-software system of the low control level is described, allowing directly to modules of system and further to the computer to connect drives and analog/digital sensors of robots and similar devices. Ways of scaling of system for different tasks are described. The technical specification on the developed devices is provided.

Key words and phrases: control system, robot, low control level, controller, scaling.

The work is supported by the RFBR grants 10-07-00409-a, 10-01-00160-a.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОКОН-1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.....	3
2. ЗАДАЧНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА РОБОКОН-1	4
2.1. Архитектура системы	4
2.2. Сети контроллеров.....	6
2.3. Выбор целевой архитектуры системы	6
3. ОПИСАНИЕ 4-КАНАЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ.....	9
3.1. Общая характеристика	9
3.2. Архитектура С1	10
3.3. Архитектура С2.....	11
3.4. Архитектура С6.....	13
3.5. Архитектура С7.....	15
3.6. Подключение внешних устройств к контроллерам.....	16
3.7. Сводная таблица характеристик контроллеров	20
4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ РОБОКОН-1. ПРОТОКОЛ УПРАВЛЕНИЯ КОНТРОЛЛЕРОМ	21
4.1. Основы протокола. Семибитное кодирование.....	21
4.2. Обмен с РС-1 (ходовые приводы с обратной связью на энкодерах).....	22
4.3. Обмен с РС-2 (дискретный порт и АЦП).....	22
4.4. Конфигурирование РС-2 (направление дискретного порта).....	23
5. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ РОБОКОН-1. БИБЛИОТЕКА ПОДДЕРЖКИ БЛОКА КОНТРОЛЛЕРОВ	24
5.1. Замечание по архитектуре.....	24
5.2. Функции инициализации и остановки	25
5.3. Функции текущего управления	26
6. ВНЕШНИЕ УСТРОЙСТВА РОБОКОН-1. УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ	28
6.1. Общая характеристика	28
6.2. Усилители А1, А2, 1-канальные	29
6.3. Усилитель А3, 2-канальный.....	30
6.4. Усиленный вариант А3.....	31
6.5. Усилитель А4, 4-канальный.....	31
7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	32
ЛИТЕРАТУРА.....	32

1. ВВЕДЕНИЕ. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РОБОКОН-1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Встраиваемая система РОБОКОН-1 предназначена для аппаратно-программного многоканального управления различными устройствами с исполнительными двигателями постоянного тока или с сервоприводами. Основное назначение — управление робототехническими устройствами, такими, как мобильные роботы или роботы-манипуляторы и комплексы этих устройств, однако этими областями применение системы не ограничивается (см. [1-5]).

Система разработана как аппаратно-программное звено нижнего уровня управления и позволяет непосредственно к модулям системы подключать двигатели и аналоговые и цифровые сенсоры роботов. Контроллеры (и некоторые другие модули системы) имеют выход по СОМ-линии, т.е. по

интерфейсу RS-232, на управляющий компьютер верхнего уровня, в качестве которого может применяться любой встраиваемый компьютер форм-фактора PC-104, или другие компьютеры, например компьютеры Micro PC. Система испытана с платами Fastwel (Россия), ICOP (Тайвань), CPC 303 Octagon Systems (США), ноутбуками и настольными компьютерами. Компьютер верхнего уровня исполняет программы системы управления роботом.

Все контроллеры системы допускают замену встроенных микроконтроллерных программ (прошивок). Имеется библиотека таких прошивок. В ряде случаев при использовании специальных прошивок система управления может быть замкнута на уровне РОБОКОН-1 без использования компьютеров верхнего уровня.

2. ЗАДАЧНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА РОБОКОН-1

Система РОБОКОН-1 является модульной, масштабируемой в смысле выбора состава конкретной реализации — позволяет выбирать архитектуру, целесообразно ориентированную на задачу управления. В настоящем разделе описываются методы выбора задачно-ориентированной архитектуры системы. Целью этих методов является выбор для систем с большим числом управляемых степеней свободы необходимого числа контроллеров и способов их компоновки в логически связную структурированную систему.

2.1. Архитектура системы

Ядром системы является комплекс микропроцессорных 4-канальных или 2-канальных контроллеров, обеспечивающих управление с обратной связью по нескольким каналам, всего от 1 до 120 каналов. Обратная связь обеспечивается в цифровом виде (при использовании энкодеров, т.е. импульсных датчиков), или в аналоговом виде (как при использовании потенциометров). Система разработана и может использоваться в различных вариантах: базовом, расширенном, в виде набора встраиваемых модулей. Дополнительно имеются модули расширения. В системе имеются семейства устройств, поддерживающих два согласованных форм-фактора: стандартный PC-104, условно форм-фактор 4", (плата размера 90x96 мм с расположением разъемов ввода-вывода и соединителей по стандарту PC-104, основной формат), "половинный PC-104", условно форм-фактор 2", (размер 47x90 мм).

Система поддержана необходимым программным обеспечением. Программное обеспечение (ПО) системы включает библиотеки функций для работы с модулями системы на нижнем уровне и клиентские программы верхнего уровня. Библиотеки функций реализованы как библиотеки API системы WINDOWS. ПО верхнего уровня предоставляет законченные приложения WINDOWS, которые реализуют клиент-серверную архитектуру, в которой клиентское приложение выполняется на хост-компьютере, а сервером является управляемая (бортовая) система контроллеров с поддерживаемыми ими бортовыми модулями управления.

На рис. 1 показана логическая архитектура контроллеров РОБОКОН-1.

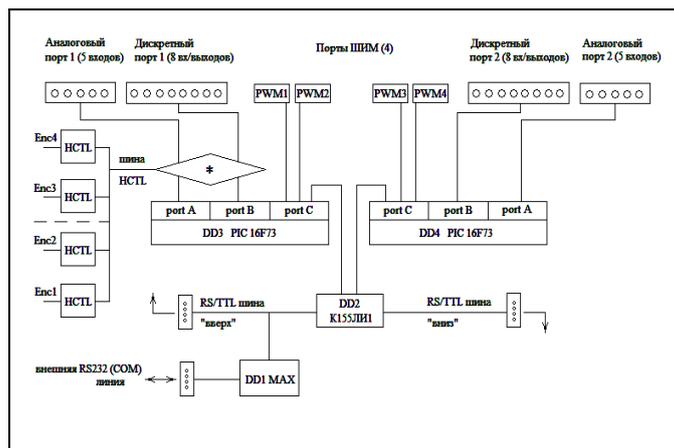


Рис. 1. Логическая архитектура контроллеров РОБОКОН-1.

Базовый вариант включает управляющий контроллер, усилители мощности, модули энкодеров с необходимыми кабелями для их подключения к системе. Обеспечивает до 4 каналов управления.

Расширенный вариант дополнительно комплектуется универсальной коммутационной платой для подключения различных дискретных и аналоговых устройств типа кнопок, модулей светодиодов, реле, серводвигателей и пр., а также для увеличения общей нагрузочной способности контроллеров. В этом варианте реализованы также специальные версии двухканальных контроллеров половинного формата (плата размера 47x90 мм) и контроллер с расширенными функциями ввода-вывода, в котором существенно увеличено количество каналов аналогового ввода и каналов цифрового ввода-вывода.

При реализации в виде набора модулей система может иметь в своем составе от 1 до 8 контроллеров (реализует до 32 каналов управления), соответствующее число усилителей мощности (2-канальных или 4-канальных), коммутационных плат, модулей расширения. Имеется сетевая архитектура базового контроллера, поддерживающая специализированную сеть DAISY-CHAIN с шинной конфигурацией, полная структура такой системы может включать до 30 контроллеров и, соответственно, до 120 каналов управления.

В номенклатуру модулей расширения входят: источники электропитания (4 модели), платы радиообмена, реализующие канал и протоколы обмена RADIO-RS-232 (до 100 м в помещении, до 300 м на открытом пространстве, до 65536 каналов), расширители канала RS-232 (3 модели, модули необходимы, если в системе имеется более 1 контроллера без шинной структуры), модули управления серводвигателями (3 модели, поддерживают до 24 серводвигателей на один модуль), специальные модули – универсальный модуль ЦАП, специализированный модуль ЦАП, модуль управления реле, сенсорные модули. Сенсоры таковы: модуль цифрового энкодера, модуль акселерометра, сенсор слуха, сенсор запаха, оптосенсор (сенсор освещенности, 3 модели), к системе могут быть подключены промышленные мини ТВ-камеры (USB, IP) и инфракрасные (ИК) мини-дальномеры. Имеются различные преобразователи интерфейсов и переключающие модули.

В устройствах РОБОКОН-1 в качестве основного микроконтроллера (основной микросхемы) используется МС PIC16F73 [1] фирмы MicroChip (США). В зависимости от типа устройства РОБОКОН-1 оно может иметь на плате от одного до нескольких (в типовом случае — двух) МС PIC16F73.

2.2. Сети контроллеров

Технически, т.е. на аппаратном уровне, возможно построение более сложных многоконтроллерных архитектур в РОБОКОН-1, оно выполняется путем построения сетей контроллеров и, соответственно, управляемых ими усилителей мощности, в совокупности реализующих многопараметрические законы управления степенями подвижности управляемой системы.

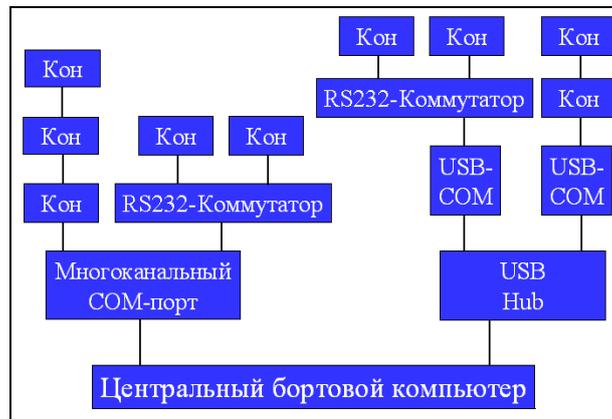


Рис. 2. Варианты архитектуры сетей контроллеров в РОБОКОН-1.

В таком варианте в системе возможно подключение к центральному бортовому компьютеру неограниченного числа контроллеров для произвольного числа различных типов степеней свободы управляемой системы.

Контроллеры могут организовываться в сеть вида "шина" или "дерево" с помощью модулей RS-232-коммутаторов, или напрямую соединяться в сеть вида "шина". Такая сеть ограничена только скоростью работы RS (COM) канала бортового компьютера. В сеть типа "шина" могут быть объединены контроллеры архитектуры С6, С7, в сети прочих вариантов могут быть объединены все описанные контроллерные модули. Несколько RS-сетей могут подключаться к одному компьютеру через многоканальный RS-контроллер или USB-хаб и несколько USB-COM переходников, обеспечивая неограниченное расширение, см. рис. 2. На этом рисунке "Кон" — блоки контроллеров в системе, в левой и правой частях диаграммы приведены варианты сетей типа "шина", прочие варианты – сети типа "дерево".

2.3. Выбор целевой архитектуры системы

Логическая структура системы управления строится на основе декомпозиции графа задачи на подграфы, структурно описывающие контроллеры системы. Графы, соответствующие контроллерам, являются базовыми и далее неделимыми структурными единицами системы.

Граф задачи это граф, типовая структура которого приведена на рис. 3.

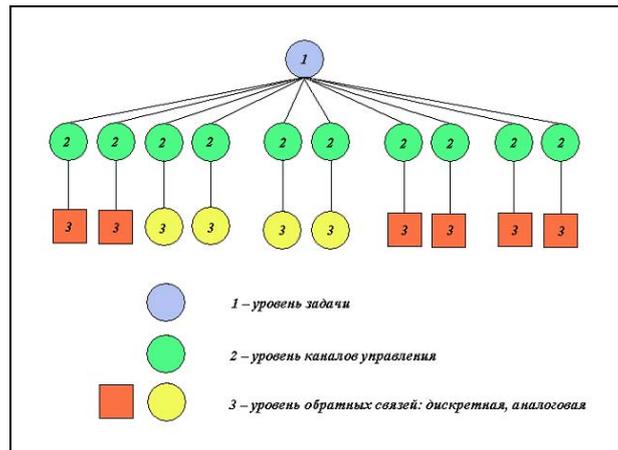


Рис. 3. Граф задачи аппаратного управления.

Это трехуровневое дерево, на первом уровне находится корневая (идентификатор) вершина, второй уровень графа соответствует каналам управления (ШИМ-каналам) в проектируемой системе, третий уровень описывает каналы обратной связи - их число и один из двух типов, дискретный (цифровой) или аналоговый тип. Каналы управления назначаются простым соответствием управляемым степеням подвижности системы, т.е. двигателям и линиям обратной связи в объекте управления.

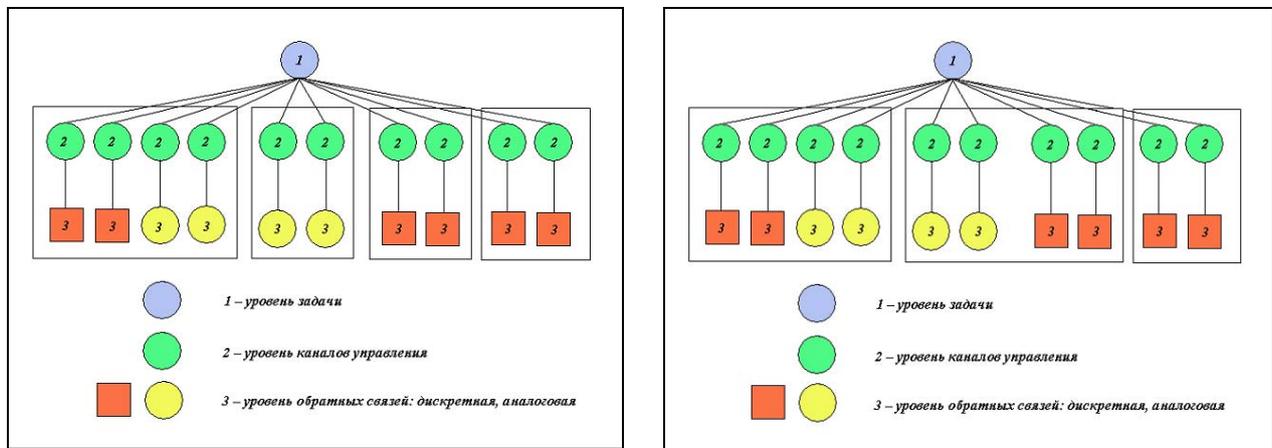


Рис. 4. Разбиение графа задачи на подграфы.

Примеры декомпозиции графа задачи на подграфы приведены на рис.4. На рисунке приведены два варианта разбиения, на 4 подграфа (левый рисунок) и на 3 подграфа (правый рисунок). Так в системе будут получены структуры: 4 управляющих контроллера, структура системы по числу каналов управления в каждом контроллере "4-2-2-2", и 3 управляющих контроллера с общей структурой "4-4-2". При этом по типам обратной связи в первом варианте должны быть использованы контроллеры трех различных типов, 4-канальный гибридный с двумя цифровыми обратными связями и двумя аналоговыми, один 2-канальный с двумя аналоговыми обратными связями и два 2-канальных с

двумя цифровыми обратными связями каждый. Обозначим типы этих контроллеров как "2Ц+2А", "2А" и "2Ц" соответственно. Во втором варианте должны быть использованы два контроллера "2Ц+2А" и один контроллер "2Ц".

Отметим, что в связи с простой планарной структурой графа задачи процедура его разбиения может быть формализована в виде программы проектирования, последовательно выполняющей направленный перебор вариантов структуры и предлагающей соответствующие конструктивные варианты системы управления. Заметим, что с ростом объема графа задачи эти переборы могут оказаться значительными. В простых же случаях решение очевидно.

В качестве примера задачи выбора архитектуры системы управления рассмотрим следующий.

Пусть проектируется робот, имеющий четыре тяговых и одновременно поворотных колеса, по две степени подвижности и по две обратных связи (цифровая на линейном движении и аналоговая на повороте) на каждое колесо, и манипулятор с восемью аналоговыми степенями. В манипуляторе аналоговая обратная связь используется на степенях с позиционным управлением, на всех восьми степенях. Соответствующая структурная схема приведена на рис. 5.

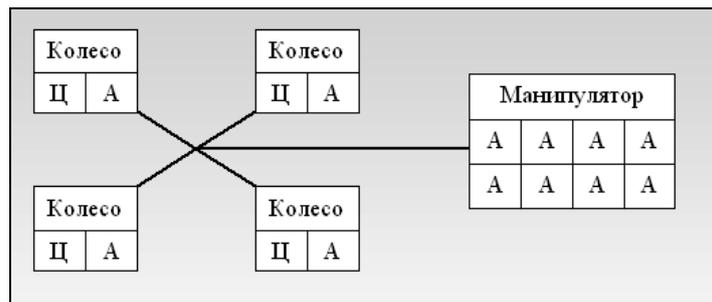


Рис. 5. Структура робота с 4-колесным шасси и манипулятором ("4-М").

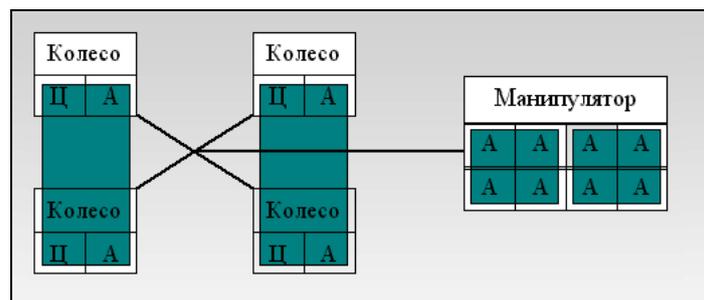


Рис. 6. Архитектура системы управления для робота "4-М".

На рис. 6 показан пример структуры системы управления для такого робота. Схематически показаны контроллеры, управляющие колесами и степенями подвижности манипулятора. Два гибридных контроллера "2Ц+2А" управляют ходовыми степенями. Два полных контроллера "4А" с аналоговыми обратными связями – манипулятором. Всего в системе 4 контроллера полного формата (РС-104) управляют системой с 16-ю степенями свободы.

3. ОПИСАНИЕ 4-КАНАЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

В разделе описываются технические характеристики контроллеров архитектур С1, С2а, С2b, С6, С7, являющихся базовыми в РОБОКОН-1. Эти модели представляют полноформатные 4" версии контроллеров в РОБОКОН-1.

3.1. Общая характеристика

- имеются 5 основных моделей контроллеров С1, С2а, С2b, С6, С7, они показаны ниже на рис. 7-8, (полное описание дано в [2]; модели С3-С5 — дополнительные устройства половинного форм-фактора 2", здесь не описываются),

- каждый контроллер реализует 4 канала ШИМ-управления, которые используются, например, для управления двигателями постоянного тока,

- поддерживается гибридная обратная связь (цифровая и аналоговая, 2/4 цифровых канала, 2/4 аналоговых канала обратной связи, всего до 5/10 каналов аналогового ввода),

- 5 (10 в модели С6) каналов АЦП,

- 8 (16 в модели С6) дискретных 8-битных каналов ввода/вывода,

- обмен с внешним компьютером выполняется по стандартной линии (порту) СОМ (RS232),

- модели С6, С7 имеют также RS232-TTL адресную шину, на шине допускается подключение до 30 контроллеров и полная конфигурация контроллеров может поддерживать до 120 каналов управления,

- форм-фактор: стандартный РС-104 (форм-фактор 4"),

- интеллектуальные функции управления инсталлированы в ИС модуля,

- используемые микроконтроллеры: PIC16F73.

Модели С1 и С2 (и С2а, и С2b) архитектурно и функционально аналогичны, их основные технические характеристики совпадают. Отличия таковы: версия С2а имеет аппаратные счетчики для ввода данных энкодеров, в версии С2b ввод энкодеров выполняется микропрограммно дополнительными микроконтроллерами, этот вариант поддерживает меньшую частоту работы энкодеров, но плата имеет и более простую топологию. Версия С1 рассчитана на питание от внешнего источника 5В, версии С2а и С2b рассчитаны на питание от внешнего источника 12В и имеют встроенный конвертор 12В → 5В, имеют защиту от переплюсовки по входу питания.

Отличия модели С6 — внешнее питание также от источника 5В, С6 имеет увеличенное количество дискретных и аналоговых каналов, в С6 реализована шина RS232-TTL (упомянута выше). В С6 нет выделенных устройств для цифровой обратной связи, ввод данных энкодеров осуществляют основные микроконтроллеры платы, частота опроса меньше, чем у С2b.

Отличия модели С7: полная реализация архитектуры, приведенной на рис. 1. Плата имеет несколько вариантов питания — от внешних источников от 5В до 12-24В. Все контроллеры могут получать питание по СОМ-линии.

Общий вид контроллера, базовая модель, версия С1, приведен на рис. 7.

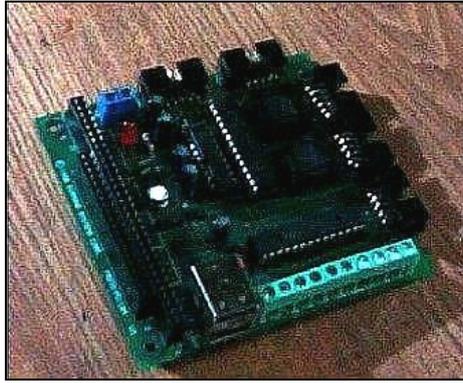
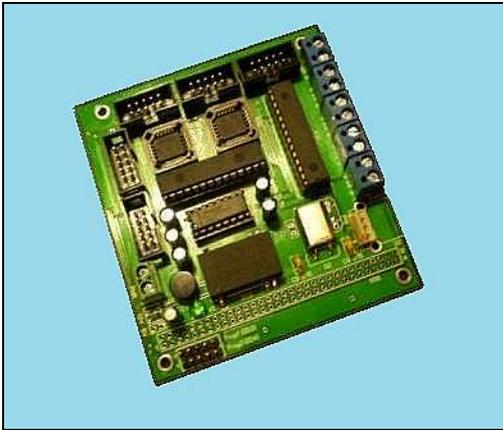
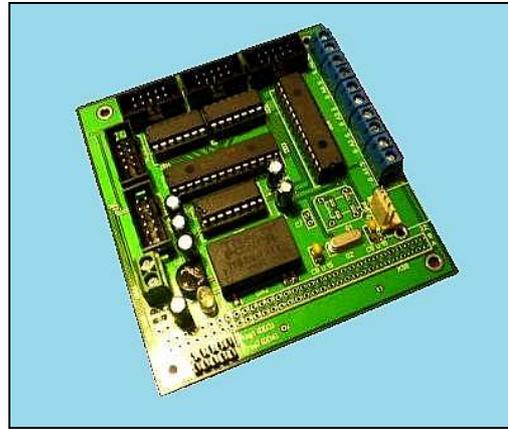


Рис. 7. Контроллер 4-канальный. Базовая модель С1.

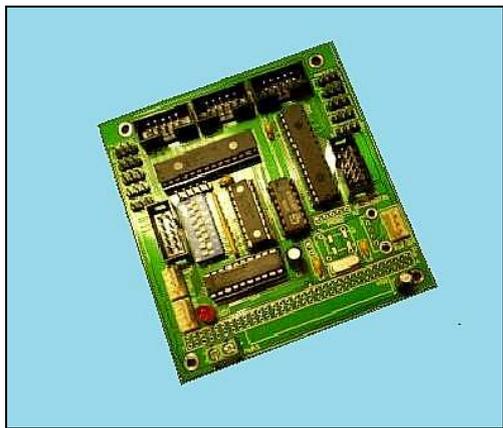
Версии С2а, С2b, С6, С7 показаны ниже на рис. 8.



Модель С2а



Модель С2b



Модель С6



Модель С7

Рис. 8. Контроллеры С2(а,b), С6, С7.

3.2. Архитектура С1

На рис. 9 показана компоновка модуля С1. Назначение разъемов ввода-вывода (портов контроллера) следующее: порт XS1 — порт и разъем питания модуля +5В (питание однополярное), XP1 - XP5 — порты ввода-вывода, COM, ШИМ и энкодеров, XS2 — разъем шины ISA8, XS3 - XS7 — порты

аналогового ввода, XS8 — выходной разъем питания 5В, выводит питание на выход модуля.

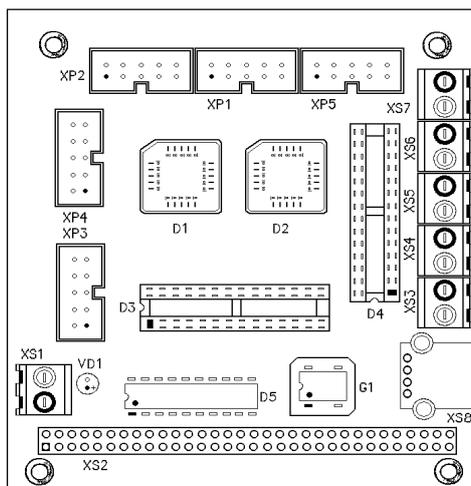


Рис. 9. Контроллер 4-канальный С1. Компоновка.

Подключение к внешнему компьютеру. Порт XP3.

Подключение контроллера по последовательному каналу RS-232 по порту XP3 к внешнему компьютеру осуществляется кабелем "кроссовер", где сигналы RX и TX интерфейса RS-232 включены навстречу друг другу. В минимальном варианте этого кабеля требуется также взаимное соединение сигналов GND ("земля") интерфейса RS-232.

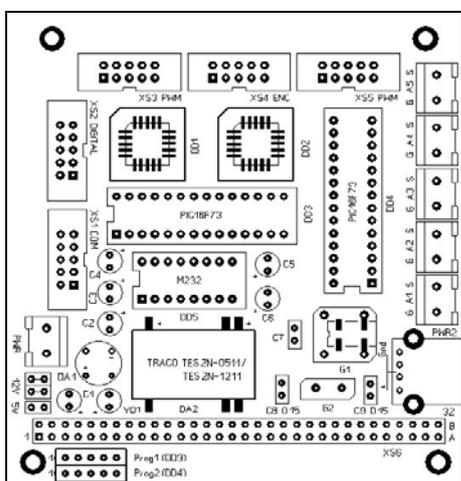
Прочие сигналы RS-232 контроллером не используются (однако их подключение в кабеле допускается). Для подключения используется специальный кабель, имеющий разъемы DB9 и IDC10 на концах, при этом в нем должно быть обеспечено необходимое включение RX и TX. Кабель обеспечивает прямое подключение к COM-порту внешнего компьютера (если такой порт имеется во внешнем компьютере), или подключение к соответствующему концевому COM-разъему стандартного переходника USB-COM. Модуль использует специальный протокол обмена по каналу RS-232, который допускает оба типа подключения. В контроллере могут реализовываться различные скорости обмена по RS-232, основные варианты — 28800 Бод или 19200 Бод. Для внешнего компьютера при этом контроллеры логически совершенно идентичны, программа обмена во внешнем компьютере должна лишь учитывать конкретную величину скорости обмена. Исходно установлена скорость 19200 Бод. Тип протокола и скорость обмена являются статическими характеристиками контроллера и не могут быть изменены программно внешней программой.

3.3. Архитектура С2

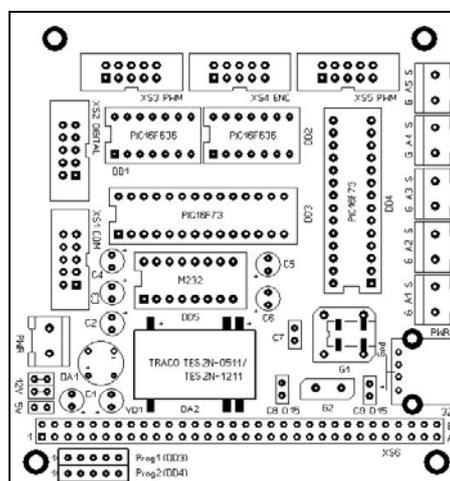
В разделе приведено общее описание архитектуры модуля С2, портов контроллера и способа подключения к внешнему компьютеру. На рис. 10 показаны компоновки модулей архитектуры С2а (слева) и архитектуры С2b (справа).

C2a и C2b различаются лишь типом микросхем DD1, DD2 в верхней части (по схеме на рис.10) модулей – в C2a установлены аппаратные счетчики типа НСТЛ-2016/2017/2020, в C2b вместо них установлены микроконтроллеры серии PIC16.

В архитектуре C2 порты получили иные наименования, назначение портов ввода-вывода (портов контроллера) следующее: порт PWR — порт и разъем питания модуля +12В (питание однополярное), полюсовка питания любая (есть защита), XS1 - XS5 — порты ввода-вывода, XS6 — разъем шины ISA8, A1 - A5 — порты аналогового ввода, PWR2 — выходной разъем питания 5В, транслирует это питание на выход модуля. XS6 может быть не установлен на плате, если плата рассчитана на использование в режиме "stand alone", т.е. в автономном режиме, а не в составе комплекса PC104 с другими платами этого формата. Prog1 и Prog2 зарезервированы для внутрисхемного программирования ИС платы.



Версия C2a.



Версия C2b.

Рис. 10. Архитектура C2. Компоновка.

Подключение к внешнему компьютеру. Порт XS1 COM.

В отличие от C1 подключение контроллера по последовательному каналу RS-232 по порту XS1 COM к внешнему компьютеру осуществляется "прямым" кабелем где соответственно напрямую соединены сигналы RX и TX интерфейса RS-232. В минимальном варианте этого кабеля требуется также взаимное соединение сигналов GND ("земля") интерфейса RS-232. Как и в C1, прочие сигналы RS-232 контроллером не используются (однако их подключение в кабеле допускается).

Модуль использует специальный протокол обмена по каналу RS-232 (тот же, что в архитектуре C1), который допускает два типа подключения, через COM и USB-COM. В архитектуре C2 контроллера по XS1 COM установлена скорость обмена 19200 бод. Тип протокола и скорость обмена являются статическими характеристиками.

3.4. Архитектура С6

На рис. 11 показана компоновка модуля архитектуры С6.

В архитектуре С6 назначение портов ввода-вывода (портов контроллера) следующее: порт PWR5 — порт и разъем питания модуля +5В (питание однополярное), XS1 - XS5 — порты ввода-вывода (у этих портов на плате указано их назначение), XS6-7 BUS — соответственно входной/выходной разъемы шины RS232-TTL, XS8 BUS — дублирующий выходной разъем шины RS232-TTL, XS9 — разъем шины ISA (контроллер рассчитан на вариант ISA8), ANALOG — порты аналогового ввода, обеспечивают 10 линий подключения аналоговых сигналов.

На плате контроллера установлен адресный переключатель SW1 на 8 разрядов (позиций), каждый его движок может быть установлен в положения ON/OFF, ON соответствует "1" в разряде, OFF соответствует "0" в разряде. Этот переключатель определяет адрес контроллера на шине RS232-TTL и должен быть установлен в корректный уникальный адрес перед использованием контроллера.

XS9 может быть не установлен на плате, если плата рассчитана на использование в режиме "stand alone", т.е. в автономном режиме, а не в составе комплекса PC104 с другими платами этого формата. PROG1 и PROG2 зарезервированы для внутрисхемного программирования ИС платы.

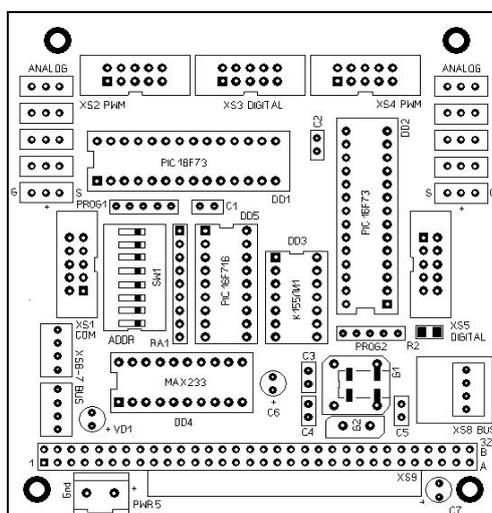


Рис.11. Архитектура С6. Компоновка.

Отличие от C1, C2: в архитектуре С6 нет выделенного порта для ввода энкодеров, вместо этого при необходимости энкодеры могут подключаться к одному, или обоим портам XS3 DIGITAL, XS5 DIGITAL.

Такое подключение зарезервировано в базовой версии и будет поддерживаться ПО системы РОБОКОН-1, могут также использоваться программы пользователей, учитывающие протокол обмена с контроллером (описан ниже в разделе 4). Для подключения энкодеров доступны контакты 1-8 каждого дискретного порта, контакты 9 и 10 этого порта — питание +5В и "земля" соответственно, используются для подключения питания к энкодерам.

Описанный режим имеет следующие преимущества: возможно подключение до 4-х энкодеров к одному контроллеру и тем самым возможно организовать полностью цифровую обратную связь по 4-м каналам (в С1,С2 цифровая обратная связь возможна только по 2-м каналам), также в этом режиме возможно подключать к системе энкодеры с различными интерфейсами, т.к. их подключение фактически реализуется переходными кабелями и программно.

Помимо этого, XS3 DIGITAL, XS5 DIGITAL используются как дискретные параллельные порты для подключения внешних устройств.

Подключение к внешнему компьютеру. Порт XS1 COM.

Подключение контроллера по последовательному каналу RS-232 по порту XS1 COM к внешнему компьютеру осуществляется "прямым" кабелем. В минимальном варианте необходимо соединение сигналов GND ("земля") интерфейса RS-232. В архитектуре С6 контроллера по XS1 COM установлена скорость обмена 19200 бод. Тип протокола и скорость обмена являются статическими характеристиками контроллера.

Концепция шины RS232-TTL, подключение контроллеров.

Шина RS232-TTL реализует протокол RS-232 на шине с TTL-уровнями сигналов (0-5В), предназначена для внутриобъектовой работы на достаточно малых расстояниях. На рис. 12 показана архитектура шины RS232-TTL, показан вариант использования шины RS232-TTL в системе с 4-мя контроллерами архитектуры С6, объединенными по этой шине.

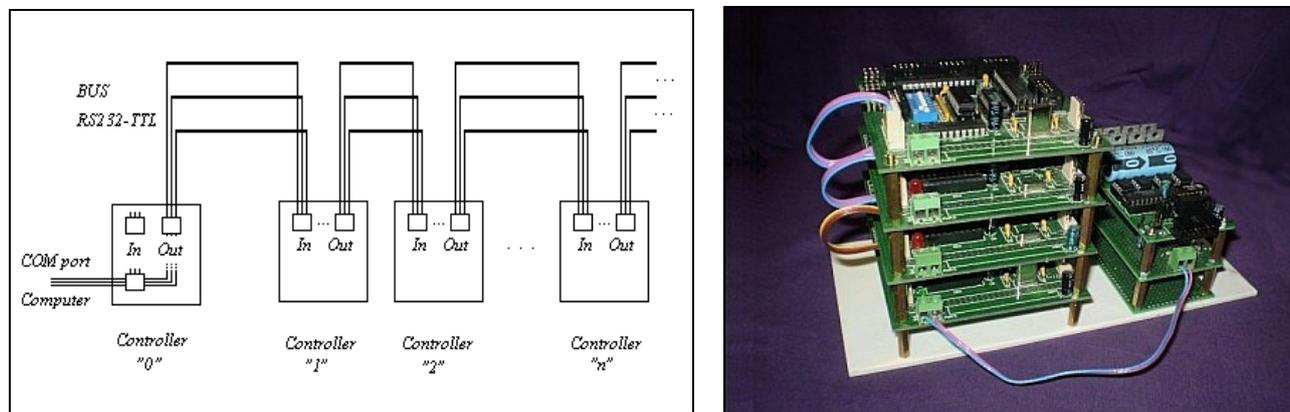


Рис. 12. Архитектура и реализация шины RS232-TTL.

Концепция шины RS232-TTL такова. Первый контроллер на шине, контроллер с адресом (номером) "0" (или любым другим уникальным) стандартно подключается к COM-порту внешнего компьютера. Это подключение идентично для всех архитектур С1 - С7. На этом контроллере должен быть установлен драйвер COM-порта, ИС DD4 (MAX 233), согласно схеме на рис. 11. Эта ИС устанавливается в соответствующую панель на плате.

Все последующие контроллеры цепочки подключаются по схеме на рис.12 по портам XS6-XS7 BUS, при этом порт XS6 — входной (порт "In" на схеме рис.11), порт XS7 — выходной (порт "Out" на схеме рис.11), в качестве

выходного может также использоваться порт XS8 BUS. На всех контроллерах шины, кроме начального, ИС DD4 не устанавливаются.

При подключении контроллеров к шине на них с помощью адресного переключателя SW1 должны быть установлены уникальные адреса. При этом при установке на плате адреса N платой фактически будут заняты два адреса N , $N+1$. Физическое следование контроллеров на шине не обязательно должно соответствовать последовательности изменения их адресов. При использовании системы возможно добавление контроллеров в систему (с уникальными адресами), или отключение контроллеров из системы. При этом необходимо соблюдать правило — все такие операции следует выполнять при отключенном электропитании системы.

При использовании шины электропитание 5В может быть подано только на один из контроллеров системы, на остальные питание будет передано по шине, возможно подключение питания к нескольким контроллерам шины, но строго от одного источника питания. Этот режим рекомендуется в случае большого числа контроллеров на шине. Необходимо следить, чтобы не была превышена нагрузочная способность источника питания.

При использовании описываемой шинной структуры программы во внешнем компьютере могут непосредственно адресоваться к контроллерам на шине по их адресам. Эта функция поддерживается в ПО системы РОБОКОН-1.

С использованием шины RS232-TTL в системе возможно использование до 30 контроллеров, при этом реализуется до 120 каналов управления.

3.5. Архитектура С7

В модели С7 объединены функции всех предшествующих архитектур. Модель полностью реализует логическую структуру, приведенную на рис. 1. Компоновка контроллера дана на рис. 13.

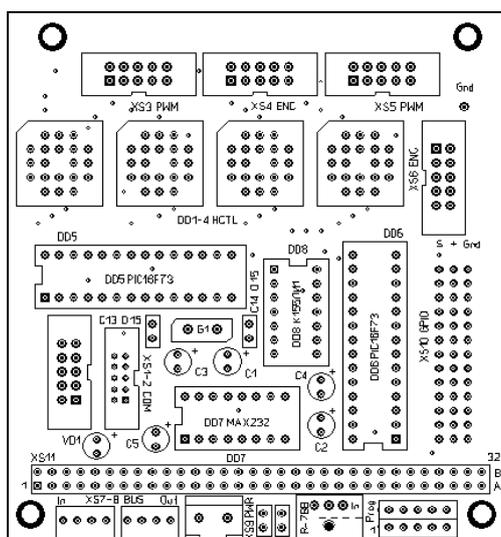


Рис.13. Архитектура С7. Компоновка.

3.6. Подключение внешних устройств к контроллерам

Описывается регламент подключения внешних устройств к портам ввода-вывода контроллеров — выход ШИМ-каналов, подключение энкодеров, аналоговых датчиков. Этот регламент практически идентичен для всех контроллеров C1, C2a, C2b, C6, C7. Отличия специально указываются в тексте.

Регламент дискретного порта (XP4 в C1, XS2 DIGITAL в C2, XS3 DIGITAL, XS5 DIGITAL в C6, GPIO 0-7 в C7).

Подключение дискретных устройств по дискретному порту выполняется прямым 10-жильным плоским кабелем с разъемом IDC10 (8-ю трехконтактными разъемами в C7) на конце, в кабеле используются все 10 линий. При подключении должна быть обеспечена общая нагрузочная способность, заданная внутренним конвертором или внешним источником электропитания. При необходимости реализации большей нагрузочной способности, должна использоваться универсальная коммутационная плата из набора модулей системы, в ней такая возможность поддерживается.

Регламент порта энкодеров (XP1 в C1, XS4 ENC в C2, XS4 ENC, XS6 ENC в C7).

Подключение энкодеров выполняется с помощью специальных портов энкодеров в архитектурах контроллеров C1, C2, C7. В C6 возможно использование дискретных портов XS3 DIGITAL, XS5 DIGITAL (зарезервированная функция). В этом случае подключение будет поддержано программными средствами, дополняющими использование дискретных портов.

Базовая версия контроллеров поддерживает интерфейс энкодеров типа HEDS/HEDM Hewlett-Packard (Agilent) или HOA-0911/12 Honeywell. При необходимости использования энкодеров с другими интерфейсами, например, с интерфейсами Maxon, следует использовать контроллеры архитектуры C6, где такая возможность поддерживается в ПО, либо должна использоваться универсальная коммутационная плата из набора модулей системы, в ней такая возможность также поддерживается.

Регламент портов ШИМ (XP2, XP5 в C1, XS3 PWM, XS5 PWM в C2, XS2 PWM, XS4 PWM в C6, XS3 PWM, XS5 PWM в C7).

Имеются следующие базовые варианты подключения.

а) *используется один одноканальный усилитель A2, 1 канал управления*, - подключение выполняется прямым кабелем. Порт ШИМ может использоваться любой. На усилителе включается либо первый, либо второй канал управления, программа управления должна обеспечить соответственный выбор канала, необходимая функция в ПО имеется.

б) *используются 2 одноканальных усилителя A2, 2 канала управления*, - подключение выполняется специальным кабелем. Усилители подключаются к двум концевым разъемам кабеля. Порт ШИМ может использоваться любой. На усилителях должны быть включены соответственно каналы: на одном —

первый, на другом — второй.

в) *используются 2 одноканальных усилителя А2, 2 канала управления*, но ШИМ-порты контроллера используются оба — подключение выполняется двумя прямыми кабелями. Порты контроллера используются оба. На усилителях включаются либо первый, либо второй каналы, программа управления должна обеспечить соответственный выбор каналов, необходимая функция в ПО имеется.

г) *используется один двухканальный усилитель А3, 2 канала управления*, - подключение выполняется одним кабелем. Порт ШИМ может использоваться любой. Каналы управления в усилителе выбираются автоматически.

д) *используются 2 двухканальных усилителя А3, или один А4, 4 канала управления*, - подключение выполняется двумя кабелями. Порты ШИМ контроллера используются оба.

Возможны также и комбинации указанных режимов подключения усилителей к ШИМ-портам.

Для вариантов *1 канал управления, 2 канала управления, 4 канала управления* рекомендуется соответственно использовать варианты подключения *а), г), д)*.

Регламент портов аналогового ввода

(XS3-XS7 в С1, А1 – А5 в С2, ANALOG в С6, GPIO 8-12 в С7).

Регламент портов различен для архитектур С1, С2 и С6, С7.

Порты аналогового ввода для контроллеров архитектур С1, С2.

Порты аналогового ввода XS3 - XS7, А1 – А5 двухконтактные, содержат каждый по две линии "сигнал" и "земля". Положение контактов "сигнал" на всех портах на схеме компоновки С1 показано темным цветом (кольцом). Порты аналогового ввода на платах архитектур С2 в соответствии со схемами компоновок подписаны на платах, порты также содержат по две линии "сигнал" и "земля", они обозначены на платах символами "S" (сигнал), и "G" (земля).

Для реализации этих портов использованы 2-контактные клеммники. Каждый контроллер реализует 5 линий аналогового ввода. Они должны работать последовательно во времени, но могут работать в любом порядке.

Порты аналогового ввода ANALOG в С6, GPIO 8-12 в С7 трехконтактные, на каждом порте имеются контакты "сигнал", "питание 5В", "земля". Порты реализованы штыревыми трехконтактными разъемами. Контроллер архитектуры С6 реализует 10 линий аналогового ввода. Они разбиты на 2 группы по 5 линий, порты разных групп могут работать одновременно, в каждой группе порты должны работать последовательно во времени, но могут работать в любом порядке. Группы по 5 линий расположены на плате вдоль левой и правой сторон платы (С6), нумерация портов в группе согласно схеме выполняется снизу-вверх, 1-й канал — нижний, 5-й канал — верхний, и т.д. В С7 реализованы 5 линий аналогового ввода, они выведены на общий порт GPIO.

Подключение к контроллеру дополнительных внешних устройств.

Подключение к контроллеру дополнительных периферийных устройств (ПУ) типа "кнопка", "светодиод", "мощное ПУ" и т.п. выполняется через порт дискретного ввода-вывода с соблюдением указанных ниже схемных условий. Обозначение PIC далее означает один из контактов D0-D7 ("пинов") дискретного порта.

Для справок по конфигурации контактов порта ниже указаны схемы входных/выходных контактов порта.

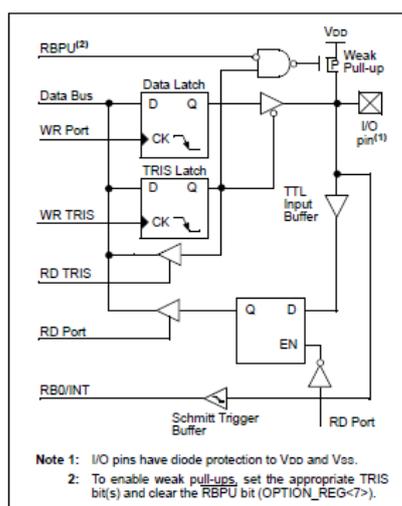


Схема контактов
0-3 дискретного порта

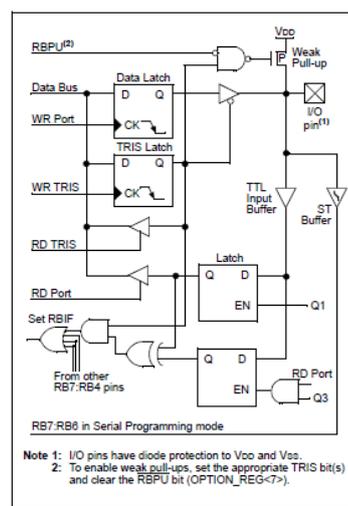


Схема контактов
4-7 дискретного порта

Рис.14. Схемы контактов дискретного порта в микроконтроллере (по документации на PIC контроллеры).

(а). Управление по выходам.

На схемах 1 и 2 (рис. 15) приведены варианты подключения периферийных устройств при управлении от портов PIC по выходам. По этим схемам подключаются маломощные нагрузки (схема 1) или мощные нагрузки с током порядка 100 мА и более (схема 2) на управляемое устройство. Важно отметить следующее: суммарная величина управляющего тока на весь порт — не более 50 мА. Из этого ограничения должны быть выбраны номиналы всех элементов схем.

Соответственно, в примере на схеме 1 должен быть выбран номинал резистора так, чтобы величина тока (в схеме ток определяется этим токоограничивающим резистором и сопротивлением перехода диода) была не более 10 мА. Необходимо выбрать диод такой, чтобы он нормально включался при таком токе. Один порт PIC по схеме 1 может управлять не более, чем 4-мя диодами, для большего числа необходимы усилители типа схемы 2.

Ток, протекающий по управляемой цепи в схеме 2, определяется резистором R_{lim} и транзистором. В простых случаях достаточно маломощного транзистора, иначе нужны каскадные схемы, где вместо одного транзистора

употребляются каскады. По схеме 2 напрямую к порту PIC могут подключаться, например, транзисторы типа КТ315. Можно использовать другие аналогичные транзисторы, микросхемные усилители. В схеме 2 при сопротивлении резистора в цепи базы управляемого транзистора 4.7КОм ток от порта PIC будет порядка 1 мА.

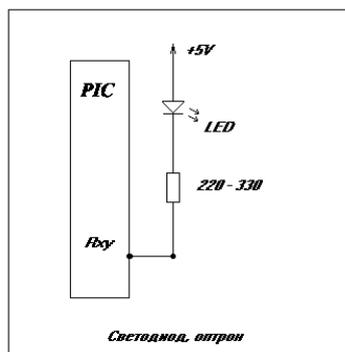


Схема 1

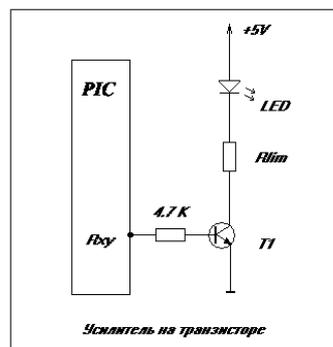


Схема 2

Рис. 15. Подключение ПУ по выходам контроллера.

(б). Управление по входам.

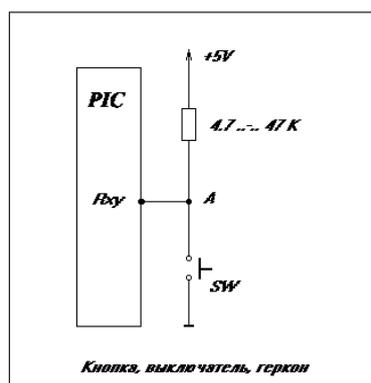


Схема 3.

Рис. 16. Подключение ПУ по входам контроллера.

По схеме 3 (рис. 16) подключаются устройства типа кнопок, выключателей, герконов. Сопротивление токоограничивающего резистора таково, что ток в управляемой цепи 1 - 0.1 мА. Если на схеме 3 кнопка SW отжата, в точке А устанавливается высокий потенциал (+5В, т.е. логическая 1), если нажата — потенциал земли, т.е. логический 0. Защиты от дребезга контактов в базовой версии нет, она должна выполняться вызывающей программой.

При подключении ПУ по указанным схемам необходимо соблюдать условие: соответствующие контакты дискретного порта должны быть соответственно сконфигурированы на выход или на вход. Конкретная конфигурация определяется программно внешней программой, программные вызовы для конфигурирования приведены ниже в описании ПО протокола связи с контроллером.

При подключении к контроллеру индуктивных нагрузок (двигателей, или аналогичных) в схемах подключения должны быть предусмотрены диоды, блокирующие обратные выбросы тока при выключении таких нагрузок.

Коммутационная плата. Краткая информация.

В номенклатуре устройств системы РОБОКОН-1 имеется специальная коммутационная плата, дополняющая описываемые контроллеры. В ней уже реализованы все перечисленные выше схемы 1-3 (рис. 15-16).

Дополнительно в плате реализовано специальное наборное (коммутационное) поле для конфигурирования произвольного типа интерфейсов подключения энкодеров обратной связи к контроллерам. Собственно контроллеры всех архитектур С1-С7 без коммутационной платы допускают подключение с использованием стандартных кабелей энкодеров лишь по интерфейсу Hewlett-Packard (Agilent) и Honeywell. С использованием коммутационной платы интерфейсы могут быть различными. Плата является внешним устройством к контроллеру.

3.7. Сводная таблица характеристик контроллеров

Здесь приводится сводная таблица (Таблица 1) основных характеристик контроллеров.

Таблица 1. Характеристики контроллеров.

<i>NN</i>	<i>свойство</i>	<i>С1</i>	<i>С2а</i>	<i>С2б</i>	<i>С6</i>	<i>С7</i>
1	форм-фактор	PC-104	PC-104	PC-104	PC-104	PC-104
2	част. системного генер., МГц	7.3728	7.3728	7.3728	7.3728	7.3728
3	номинал электропитания	5В	12В	12В	5В	5В, или 12-24В
4	внутренний DC-DC конвертор	нет	есть	есть	нет	есть (опция)
5	нагрузочная способность по 5В	внешний источник	350 мА	350 мА	внешний источник	1000 мА, или внешн. источник
6	защита от переплюсовки питания	нет	есть	есть	нет	нет
7	собственное потребление, мА по 5В	~30	~30	~30	~40	~40
8	кол-во портов ввода-вывода	5	5	5	5	7
9	кол-во портов ШИМ	2	2	2	2	2
10	кол-во каналов ШИМ	4	4	4	4	4
11	кол-во линий дискретного в/в	8	8	8	16 (2x8)	8

12	кол-во линий аналогового в/в	5	5	5	10 (2x5)	5
13	подключение энкодеров	аппаратное	аппаратное	микро-программа	микро-программа	аппаратное
14	кол-во подключ. энкодеров	2	2	2	до 4 (резерв.)	4
15	подключение внешнего компьютера	COM (1 канал)	COM (1 канал)	COM (1 канал)	COM (1 канал)	COM (1 канал, 2 типа)
16	скорость обмена, бод	19200	19200	19200	19200	19200
17	шина RS232-TTL	нет	нет	нет	есть	есть
18	установка адреса на шине RS232-TTL	нет	нет	нет	есть (переключатель)	прогр. при инициализации

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ РОБОКОН-1. ПРОТОКОЛ УПРАВЛЕНИЯ КОНТРОЛЛЕРОМ

В разделе описывается протокол обмена внешнего компьютера с контроллером. Протокол одинаков для контроллеров всех архитектур.

На этом протоколе строятся все функции ПО системы РОБОКОН-1, описанные ниже. Допускается также работа с модулями РОБОКОН-1 непосредственно прямым программированием по данному протоколу.

4.1. Основы протокола. Семибитное кодирование

Обмен информации по COM-линии (шине) осуществляется пакетами. Первый байт каждого пакета имеет старший бит 1 и содержит адрес контроллера. Последующие байты имеют старший бит 0 и данные в младших семи байтах.

В системе используется семибитное кодирование данных. Основная причина – необходимость различения адресных и информационных байтов в пакете. Для преобразования данных из восьмибитного в семибитное представление используется следующий алгоритм:

- данные разбиваются на группы по 7 байт
- младший бит каждого из 7 байт отделяется и собирается в дополнительный семибитный байт, таким образом, 7 восьмибитных байт превращаются в 8 семибитных.

При передаче к контроллеру дополнительный "байт младших битов" передается в начале, затем остальные байты. При передаче от контроллера дополнительный байт передается в конце.

Передачи осуществляются по стандартному протоколу RS-232, скорость 19200 бод, формат кадра 8-N-1 (8 бит в байте, нет четности, 1 стоповый бит).

4.2. Обмен с PIC-1 (ходовые приводы с обратной связью на энкодерах)

К контроллеру должны передаваться два байта X, Y – ШИМ первого и правого канала. От контроллера передается четыре байта A, B, C, D – байты A, B образуют 16-битное слово показаний энкодера первого канала, C, D – второго. С учетом семибитного кодирования к контроллеру фактически передается байт адреса, затем 3 байта данных, затем (как ответ контроллера) передаются 5 байт от контроллера.

Подробнее последовательность обмена дана в Таблице 2.

Таблица 2. Обмен с PIC-1.

<i>Напр.</i>	<i>В двоичном виде</i>	<i>Содержание</i>
→	1 0 0 0 0 0 0 1	81h - Байт адреса
→	0 0 0 0 0 0 Y0 X0	Байт младших битов
→	0 X7 X6 X5 X4 X3 X2 X1	Байт X – ШИМ первого канала
→	0 Y7 Y6 Y5 Y4 Y3 Y2 Y1	Байт Y – ШИМ второго канала
←	0 A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1	Байт A – первый энкодер, старший байт
←	0 B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1	Байт B – первый энкодер, младший байт
←	0 C7 C6 C5 C4 C3 C2 C1	Байт C – второй энкодер, старший байт
←	0 D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1	Байт D – второй энкодер, младший байт
←	0 0 0 0 A0 B0 C0 D0	Байт младших битов

→ передача к контроллеру ← передача от контроллера

4.3. Обмен с PIC-2 (дискретный порт и АЦП)

Контроллеру задаются три байта X, Y, Z – ШИМ первого, второго канала, и байт вывода на дискретный порт. От контроллера выводятся шесть байт – A, B, C, D, E, F – пять байтов показаний АЦП и байт ввода с дискретного порта. С учетом семибитного кодирования к контроллеру фактически передается байт адреса, затем 4 байта данных, затем возвращаются 7 байтов от контроллера.

Подробнее последовательность обмена приведена в Таблице 3.

Таблица 3. Обмен с PIC-2.

<i>Напр.</i>	<i>В двоичном виде</i>	<i>Содержание</i>
→	1 0 0 0 0 0 1 0	82h - Байт адреса
→	0 0 0 0 0 Z0 Y0 X0	Байт младших битов
→	0 X7 X6 X5 X4 X3 X2 X1	Байт X – ШИМ первого канала
→	0 Y7 Y6 Y5 Y4 Y3 Y2 Y1	Байт Y – ШИМ второго канала
→	0 Z7 Z6 Z5 Z4 Z3 Z2 Z1	Байт Z – вывод на дискретный порт
←	0 A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1	Байт A – АЦП канал 1
←	0 B7 B6 B5 B4 B3 B2 B1	Байт B – АЦП канал 2
←	0 C7 C6 C5 C4 C3 C2 C1	Байт C – АЦП канал 3
←	0 D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1	Байт D – АЦП канал 4
←	0 E7 E6 E5 E4 E3 E2 E1	Байт E – АЦП канал 5
←	0 F7 F6 F5 F4 F3 F2 F1	Байт F – ввод с дискретного порта
←	0 0 A0 B0 C0 D0 E0 F0	Байт младших битов

→ передача к контроллеру ← передача от контроллера

В описанном протоколе обмена все каналы АЦП опрашиваются квазиодновременно, независимо от наличия подключенных к АЦП устройств, – в следующем смысле. Показания всех 5-и каналов АЦП будут опрошены последовательно, но возвращены в запрашивающую программу в одной общей посылке, указанной выше.

4.4. Конфигурирование PIC-2 (направление дискретного порта)

К контроллеру передается байт X - направление дискретного порта. Контроллер отвечает подтверждающим кодом. С учетом семибитного кодирования к контроллеру передается байт адреса, затем 2 байта данных, затем возвращается 1 байт от контроллера – Таблица 4.

Таблица 4. Конфигурирование дискретного порта.

<i>Напр.</i>	<i>В двоичном виде</i>	<i>Содержание</i>
→	1 1 0 0 0 0 1 0	C2h - Байт адреса
→	0 0 0 1 0 0 0 X0	Байт младших битов
→	0 X7 X6 X5 X4 X3 X2 X1	Байт X – направление дискретного порта
←	0 1 0 1 1 0 1 0	5Ah – подтверждение приема

→ передача к контроллеру ← передача от контроллера

Значение бита 1 в байте X (т.е. в битах X7 X6 X5 X4 X3 X2 X1 X0) программирует линию на ввод, значение бита 0 – на вывод.

При передаче данных:

- значения, передаваемые на вывод для линий, сконфигурированных на ввод, игнорируются,
- значения, передаваемые как ввод с линий, сконфигурированных на вывод, дублируют выводимые значения.

Чтобы число байтов не менялось при переконфигурировании, соответствующие байты передаются, даже если целиком не используются (весь порт настроен на ввод или вывод). Если сначала передать значение на вывод для линий, сконфигурированных на ввод, оно запоминается; если после этого переключить линию на вывод, будет выдано именно это значение без периода неопределенности. Это используется, чтобы исключить нарушения в работе устройства при начальной инициализации. Поэтому изначально (после включения) все линии настраиваются на ввод.

Пример — для программирования четырех старших линий на ввод и четырех младших на вывод байт направления имеет вид X = 1111 0000:

Таблица 5. Пример конфигурирования.

<i>Напр.</i>	<i>В двоичном виде</i>	<i>В шестнадцатеричном виде</i>
→	1 1 0 0 0 0 1 0	C2h
→	0 0 0 1 0 0 0 0	10h
→	0 1 1 1 1 0 0 0	78h
←	0 1 0 1 1 0 1 0	5Ah

→ передача к контроллеру ← передача от контроллера

5. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ РОБОКОН-1. БИБЛИОТЕКА ПОДДЕРЖКИ БЛОКА КОНТРОЛЛЕРОВ

В разделе описывается библиотека базовых функций реального времени для системы РОБОКОН-1, исполняемая на компьютере верхнего уровня. Библиотека разработана на языке С, является функционально полной.

5.1. Замечание по архитектуре

Библиотека включает следующие файлы:

- robocon.dll** - сама библиотека,
- robocon.h** - заголовочный файл на языке С с описанием функций,
- robocon.lib** - статическая библиотека для загрузки DLL при запуске.

Для автоматического подключения библиотеки достаточно включить заголовочный файл и подключить статическую библиотеку (в свойствах проекта, обычно в настройках Linker). После этого описанные ниже функции станут доступны.

Альтернативно, можно загружать библиотеку во время исполнения с помощью стандартной Windows функции LoadLibrary(). Однако в этом случае придется получать адреса всех функций с помощью GetProcAddress, простые описания из h-файла работать не будут. Из-за громоздкости кода мы не рекомендуем этот способ и не будем его документировать; но в принципе, он возможен.

Для обеспечения работы в реальном времени библиотека создает отдельный поток Windows (thread) для обмена с контроллером. Обмен инициируется 20 раз в секунду (период 50 миллисекунд), в промежутках между обменами поток приостанавливается с помощью функции Sleep(). Поэтому расход процессорного времени на исполнение потока минимален.

При работе с библиотекой следует учитывать аспект синхронизации при работе в многопоточном окружении. Функции, устанавливающие скорости и считывающие показания, работают с атомарными величинами (скорости отдельных каналов, и т.д.), и потому всегда запишут значения корректно. При последовательном задании скоростей для нескольких каналов процесс обмена может быть инициирован между установками, в результате чего скорости для части каналов будут установлены только в следующем такте.

Если эта проблема критична, библиотека предоставляет следующую возможность синхронизации: можно задать callback-функцию, которая будет вызываться каждый раз по окончании цикла обмена для обработки результатов. Эта функция вызывается в контексте потока обмена, синхронно с ним - поэтому, например, установка скоростей всех каналов из этой функции гарантированно сработает корректно. В то же время, тогда следует обеспечивать синхронизацию уже между этой функцией и остальной программой. Кроме того, на базе callback функции можно реализовывать любые другие механизмы синхронизации. Например, для контроля концевых переключателей можно проверять значения отдельных битов, считанных из цифрового (дискретного) порта и активировать события Windows (SetEvent) для

межпоточной сигнализации о критических событиях. Таким образом, callback-функция является универсальной основой для реализации любых механизмов синхронизации. При использовании callback-функции для синхронизации следует учитывать, что она должна срабатывать достаточно быстро, не задерживая поток обмена с контроллером более чем на 10-20 мс.

5.2. Функции инициализации и остановки

void robocon_initialize(int nport);

Параметром функции является номер последовательного порта в WINDOWS, к которому подключен блок контроллеров. Функция открывает порт COM<nport>, создает поток управления и начинает процесс инициализации аппаратуры.

Отметим, что функция возвращает управление немедленно, но процесс инициализации продолжается в потоке управления еще некоторое время после возврата (3-5 сек). Такая архитектура выбрана, чтобы позволить основной программе одновременно параллельно начать инициализировать другие подсистемы, сокращая общее время запуска системы. В то же время, перед началом работы следует дождаться завершения инициализации, которая контролируется следующей функцией.

int robocon_get_init_status();

Функция возвращает статус процедуры инициализации, возможные значения описаны как константы в **robocon.h**:

ROBOCON_INIT_COMPLETE (=0) - инициализация завершена успешно,

ROBOCON_INIT_PROGRESS (=1) - инициализация еще идет,

ROBOCON_INIT_FAILED (=2) - в процессе инициализации возник сбой.

Сбои инициализации могут связаны с проблемами в работе COM-порта (порт занят другой программой или не поддерживает требуемый режим), отсутствием связи со всем блоком контроллеров (кабель не подключен или неисправен), или отсутствием ответа (неисправностью) одного из контроллеров блока.

void robocon_set_update_callback(robocon_update_callback update_callback);

Функция устанавливает callback-функцию для синхронизации, ее назначение описано выше. Callback-функция должна быть описана как

void __stdcall update_callback();

(разумеется, имя функции допустимо любое).

robocon_update_callback - тип подобной функции, описан как typedef в **robocon.h**.

void robocon_shutdown();

Функция останавливает все приводы, закрывает COM-порт, после чего завершает поток управления.

5.3. Функции текущего управления

Текущая версия библиотеки предметно ориентирована для систем не более, чем с 6 контроллерами управления. При необходимости библиотека может быть расширена.

Константа `ROBOCON_NUM = 6` (определена как константа в `robocon.h`) определяет количество контроллеров в блоке управления (отметим, что каждая плата содержит два контроллера, поэтому блок из трех плат включает шесть контроллеров). Каждый из 6 контроллеров обеспечивает два канала ШИМ-управления (всего в системе 12), 5 каналов АЦП (всего 30), 2 8-битных цифровых порта, дающих 16 линий (всего 6 цифровых портов и 48 цифровых линий), все цифровые линии имеют групповую или отдельную настройку направления обмена "ввод-вывод" (или "чтение-запись").

В библиотеке поддерживаются каналы: PWM (ШИМ — управление двигателями), ADC (АЦП — ввод аналоговых данных), цифровые дискретные порты DPORT (ввод или вывод дискретных данных, байтов или отдельных битов).

Нумерация всех каналов обмена идет по отдельным контроллерам, то есть ШИМ-каналы 0 и 1 и АЦП каналы 0-4 принадлежат первому контроллеру, ШИМ каналы 2 и 3 и АЦП каналы 5-9 — второму, и т.д. Нумерация самих контроллеров определяется переключателями адреса на плате или автоматически (функцией автоадресации), но два контроллера на одной плате всегда имеют последовательные номера. Вообще, здесь и далее конкретная адресация вычисляется указанным способом по номеру канала.

void robocon_set_PWM(int num, int val);

Функция задает желаемую скорость для указанного канала. Параметры **num** - номер канала 0..11, **val** — желаемая скорость -120..120. Отметим, что в библиотеке реализована защита от резких скачков скорости, для защиты моторов от повреждения. Поэтому желаемая скорость будет установлена не мгновенно, а через несколько тактов (максимальное изменение 10 за такт 50 мс, что означает 1.2 сек на полный реверс от -120 до 120). Чтобы узнать текущее используемое значение, предназначена следующая функция.

int robocon_get_curr_PWM(int num);

Функция позволяет узнать текущую скорость в указанном канале. Параметр **num** — номер канала 0..11. Отметим, что возвращаемое значение не является реальной скоростью вращения мотора - ее невозможно опросить в отсутствие соответствующего датчика. Это текущее выдаваемое значение ШИМ — которое, как сказано выше, изменяется относительно желаемого с некоторой задержкой.

int robocon_get_ADC (int num);

Функция позволяет узнать (опросить) значение, считанное указанным каналом АЦП. Параметр **num** — номер канала 0..30. Возвращаемое значение

0..255 соответствует изменению напряжения 0..5В, поэтому для пересчета в вольты следует поделить значение на 51. Соответственно, точность измерения порядка 20 мВ (без учета возможных наводок на аналоговые линии до входа АЦП).

void robocon_set_DPORT (int num, unsigned char val);

Функция задает значение, выдаваемое в дискретный (цифровой) порт указанного контроллера. Параметры **num** — номер канала 0..5, **val** — желаемое значение, байт, биты которого соответствуют устанавливаемым линиям порта, младший бит соответствует PIN0 порта. Отметим, что значение битов, настроенных в контроллере на ввод, будет игнорироваться (на аппаратном уровне контроллера). С другой стороны, если установить значение бита, а потом переключить его на вывод, установленное значение немедленно будет выведено. Поэтому эта процедура является безопасным способом включить порт на вывод: сначала выдается значение для бита, потом переключается режим порта.

unsigned char robocon_get_DPORT (int num);

Функция считывает значение, полученное через дискретный (цифровой) порт указанного контроллера. Параметр **num** — номер канала 0..5. Для битов, настроенных на вывод, возвращается значение, выводимое через эти биты.

void robocon_set_DPORT_dir(int num, unsigned char val);

Функция переключает направление работы (ввод или вывод) дискретного (цифрового) порта указанного контроллера. Направление отдельных разрядов порта управляется независимо. Параметры **num** — номер канала 0..5, **val** — желаемые направления. Бит **val**, равный 1, переключает соответствующую линию на ввод, бит 0 на вывод.

unsigned char robocon_get_DPORT_dir (int num);

Функция возвращает значение направления порта, установленное в порт предыдущей функцией.

void robocon_set_DPORT_bit(int num, int bitnum, unsigned char val);

Функция позволяет изменить отдельный бит в значении, выдаваемом в дискретный (цифровой) порт указанного контроллера. Параметры **num** - номер канала 0..5, **bitnum** — номер бита (0..7), **val** — желаемое значение (0 для сброса бита, любое другое значение для включения бита). Отметим, что значение битов, настроенных в контроллере на ввод, будет игнорироваться (на аппаратном уровне контроллера). С другой стороны, если установить значение бита, а потом переключить его на вывод, установленное значение немедленно будет выведено. Поэтому эта процедура является безопасным способом включить порт на вывод: сначала выдается значение для бита, потом переключается режим порта.

unsigned char robocon_get_DPORT_bit(int num, int bitnum);

Функция считывает отдельный бит в значении, полученном через дискретный (цифровой) порт указанного контроллера. Параметры **num** — номер канала 0..5, **bitnum** — номер бита (0..7). Для битов, настроенных на вывод, возвращается значение, выводимое через эти биты.

void robocon_set_DPORT_bitdir(int num, int bitnum, unsigned char val);

Функция переключает направление работы (ввод или вывод) указанной линии дискретного (цифрового) порта указанного контроллера. Параметры **num** - номер канала 0..5, **bitnum** — номер бита (0..7), **val** — желаемые направления. Значение 0 переключает линию порта на вывод, ненулевое значение на ввод.

unsigned char robocon_get_DPORT_bitdir (int num, int bitnum);

Функция возвращает значение бита, установленное в порт предыдущей функцией.

По умолчанию, все линии дискретного порта переключены на ввод (электрически линии находятся в высокоимпедансном состоянии). Это сделано для защиты возможной периферии от неправильных умолчаний в контроллере до начала обмена с управляющим компьютером (то есть, контроллер по умолчанию выдает 1, а для устройства надо 0, или наоборот). Считается, что следует начинать работу с установки требуемых значений через вызов **robocon_set_DPORT**, а затем настроить направление линий порта с помощью **robocon_set_DPORT_dir**. Либо можно использовать соответствующие битовые функции.

6. ВНЕШНИЕ УСТРОЙСТВА РОБОКОН-1. УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

В разделе кратко описываются усилители архитектур (моделей) А1-А2, А3 и А4, являющиеся базовыми в РОБОКОН-1, усилители различаются числом каналов управления, по мощности усилители идентичны.

6.1. Общая характеристика

Параметры усилителей таковы.

- усилители реализуют 1 канал ШИМ-управления (А1, А2), 2 канала ШИМ-управления (А3), и 4 канала (А4), которые используются для управления двигателями постоянного тока или аналогичными устройствами,
- в А1, А2 канал управления переключается на одно из 3-х возможных направлений, в остальных усилителях программно автоматически выбираются необходимые два направления в каждом канале или подканале,
- допустимое напряжение питания электродвигателей до 50 В,
- максимальный допустимый постоянный ток до 10 А (рабочий ток двигателей),

- усилители поддерживают позиционное управление двигателями или управление по скорости, режим управления задает внешняя управляющая программа через контроллеры системы РОБОКОН-1, обеспечено управление реверсом,

- форм-фактор: половинный РС-104 (2", плата размером 47x90 мм).

Внешний вид усилителей (ключей) А2 и А3 приведен ниже на рис. 17. Усилитель А2 изображен на рисунке слева, усилитель А3 – справа.

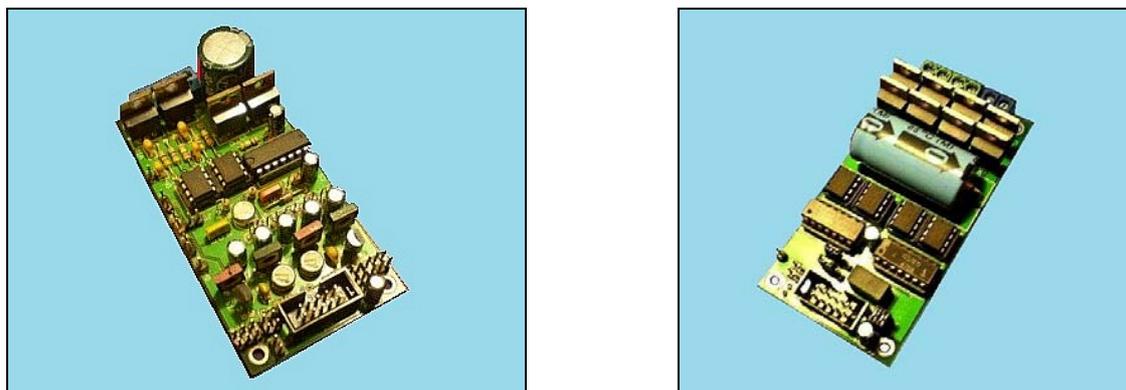


Рис. 17. Усилители А2 (слева) и А3 (справа).

6.2. Усилители А1, А2, 1-канальные

А1 – предварительная одноканальная модель усилителя управления двигателями. На ее основе разработана следующая модель А2. Модели А1 и А2 различаются лишь типом внутреннего импульсного генератора.

К усилителю (модулю) моделей А1, А2 может быть подключен 1 электродвигатель. Двигатель подключается к модулю по двухпроводной схеме. Компоновка модуля А2 приведена на рис. 18 (слева).

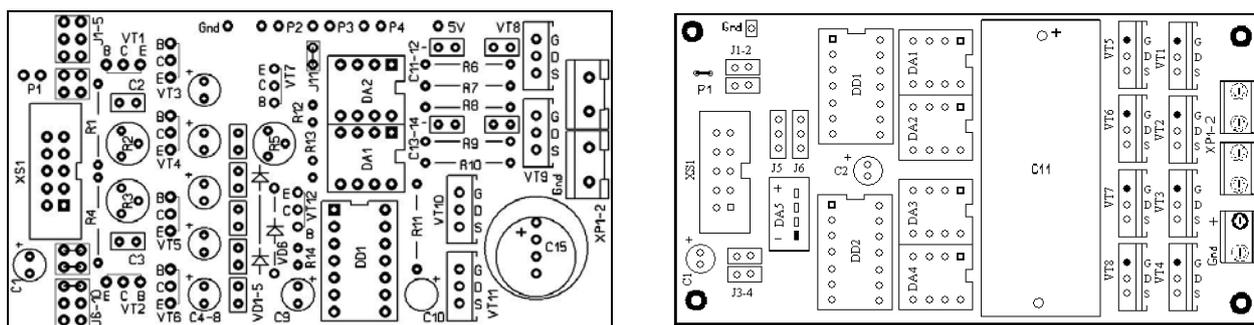


Рис. 18. Усилители А2 (1-канальный), А3 (2-канальный). Компоновка.

Назначение разъемов ввода-вывода (портов модуля) следующее. XS1 - входной разъем модуля типа IDC10 (на схемах компоновок слева), рассчитан на подключение модулей к контроллерам РОБОКОН-1, порты XP1-2 (на схеме справа) — силовые порты (клеммники) для подключения питания двигателя (XP1, на схеме А2 слева на рис.18 нижний) и самого электродвигателя (XP2, на схеме А2 слева на рис.18 верхний).

Подключение электродвигателя.

Порт силового питания электродвигателей (порт XP1 на схеме компоновки) требует обязательного соблюдения полярности подключения питающего напряжения. Электродвигатель подключается к портам произвольным образом, однако рекомендуется при этом соблюдать одинаковую полярность подключения двигателей к разным усилителям. Внешняя управляющая программа должна соответствующим образом калибровать и настраивать правильное (требуемое в реализации) правое или левое вращение двигателей. В ПО системы РОБОКОН-1 эта функция поддерживается.

6.3. Усилитель А3, 2-канальный

К усилителю А3 могут быть подключены 2 электродвигателя. Используется один ШИМ-порт контроллера. Двигатели могут быть одинаковыми или разных типов, но электропитание обоих двигателей будет одним и тем же. Каждый двигатель подключается к модулю по двухпроводной схеме.

На рис.18 (справа) показана компоновка модуля. Назначение разъемов ввода-вывода (портов модуля) следующее. XS1 — входной разъем модуля, рассчитан на подключение модуля к контроллерам РОБОКОН-1, может быть прямым или угловым, XP1-2 - силовые порты (клеммники) для подключения электродвигателей, нижний по схеме компоновки клеммник — порт силового питания электродвигателей.

Подключение электродвигателей.

Порт силового питания электродвигателей требует обязательного соблюдения полярности подключения питающего напряжения. Электродвигатели подключаются к XP1-2 каждый к своему разъему, полярность подключения выбирается произвольным образом, однако рекомендуется при этом соблюдать одинаковую полярность подключения. Внешняя управляющая программа должна соответствующим образом калибровать и настраивать правильное (требуемое в реализации) правое или левое вращение двигателей. В ПО системы РОБОКОН-1 эта функция поддерживается.

Дополнительные условия.

На платах модулей А2, А3, А4 цифровая земля управляющего порта (XS1) и аналоговая земля порта силового питания двигателей объединены, дополнительное их объединение не требуется.

Модули не имеют предохранителей в цепях силового питания, при необходимости они должны быть установлены во внешних цепях. Модули не имеют опторазвязок по цепям внешнего цифрового входа. Для каждого модуля требуется (строго), чтобы стабильность электропитания по цифровому входу (порту) была не хуже $5V \pm 5\%$. При несоблюдении этого требования ИС модуля отключаются и модуль блокируется.

6.4. Усиленный вариант А3

В расширенной версии РОБОКОН-1 (версия 2011 г.) реализован усиленный по мощности вариант двухканального модуля А3, плата реализована как 4-слойная с усилением силовых связей. Плата прошла испытания со следующими параметрами:

- напряжение питания двигателей 12 В,
- рабочий (длительный) ток через плату и ключевые транзисторы 12-15 А.

Заметим, что при длительной работе с предельными параметрами может оказаться необходимым принудительное охлаждение платы.

6.5. Усилитель А4, 4-канальный

Усилитель функционально представляет собой сдвоенный вариант усилителя А3, но реализованный строго в формате РС104. В связи с использованием этого формата плата имеет несколько измененную топологию по сравнению с простым удвоением А3. Для усилителя в целом справедливы все условия, описанные выше. Однако, питание электродвигателей разделено – питание в каналах 1-2 одинаково (управление отдельно), но может отличаться от питания двигателей в каналах 3-4, которое также одинаково между собой (аналогично, управление в каналах отдельно). Соответственно, плата имеет два порта подключения питания двигателей. Эта функция повышает гибкость использования устройства.

Вид и компоновка устройства приведены на рис. 19.

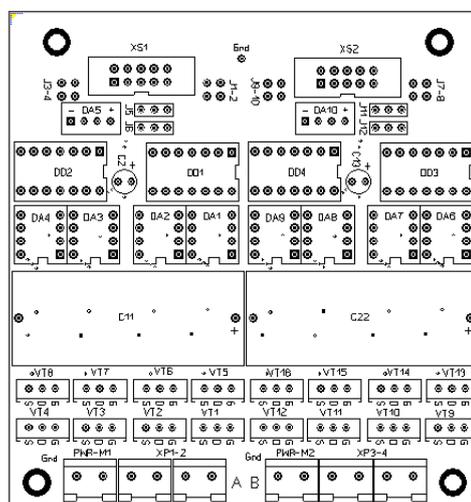


Рис. 19. Усилитель А4 (4-канальный). Вид и компоновка.

Контроллер модели С7 и усилитель А4 представляют собой полностью законченную 4-канальную систему управления с полным набором обратных связей (в конфигурации "4+4") и портов ввода-вывода, имеют эффективный набор вариантов электропитания. Расположение разъемов соединительных кабелей и монтажных отверстий на модулях совместимы — соответствует друг другу, и С7 и А4 могут быть объединены в универсальный сдвоенный модуль.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система РОБОКОН-1 разработана в рамках исследований в ИПМ им.М.Келдыша РАН по робототехнике и согласно гранту РФФИ 10-07-00409-а "Разработка и исследование методов интеллектуального управления, навигации, коммуникации для сложных роботов и автономных групп роботов" в части создания модульных масштабируемых систем управления. На базе РОБОКОН-1 реализовано более 10 вариантов систем управления различными сложными робототехническими устройствами. Все системы показали надежную устойчивую работу. Результаты позволяют рекомендовать РОБОКОН-1 к более широкому внедрению.

Номенклатура устройств РОБОКОН-1 постоянно расширяется. В систему предполагается вводить новые типы сенсоров, будут созданы соответствующие функции поддержки этих сенсоров в программных библиотеках РОБОКОН-1. В части канала обмена с внешним компьютером в дополнение к RS-232 реализуется шина USB. Предполагается расширять номенклатуру устройств формата 2".

Предполагается также реализовать в системе платы типового стандарта 3.5", габариты этих устройств меньше, чем в форм-факторе 4" PC-104, вычислительная мощность процессорных плат при этом сохраняется. В этом формате планируется снижение энергопотребления плат, что существенно для систем с батарейным питанием.

В системе предполагается реализовать функцию загрузки программ в микросхемные микроконтроллеры плат контроллеров непосредственно в этих платах через программные каналы COM и USB.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое описание микроконтроллера PIC16F73. Техническая документация фирмы MicroChip. <http://www.microchip.com>
2. Голубев Ю.Ф., Платонов А.К., Павловский В.Е., Павловский В.В. Аппаратно-программная система управления роботами РОБОКОН-1. Отчет ИПМ им.М.В.Келдыша РАН, 2012 г. № 5-002-12. 38 с.
3. John Catsoulis. Designing Embedded Hardware, 2-nd Ed. O'RELLY, 2005. 377 p.
4. Gary Stringham. Hardware/Firmware Interface Design: Best Practices for Improving Embedded Systems Development. Elsevier Inc., 2010, 360 p.
5. Stuart Ball. Analog Interfacing to Embedded Microprocessors: Real World Design. Butterworth-Heinemann, 2001, 271 p.