

В.И. Виноградов

(Институт ядерной физики РАН, Москва; МГУ им. М.В. Ломоносова)

А.О. Суров

(Институт ядерной физики РАН, Москва)

**ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ
НА БАЗЕ РС-КАМАК**

The simple interface for PC-CAMAC complex are developed for data acquisition control and communication tasks. The analog-digital modules subsystems on the fiber-optic links are described. The System Parallel Interface SPIN modules for short links and serial electronic/Fiber-Optical System link modules FOS-1,2,3 are discussed for data acquisition, control, communications automation, using existing in many laboratories controllers and modules.

Введение

Автоматизация научных и технологических объектов в последние годы осуществлялась в основном на базе модульных систем КАМАК и 16-разрядных компьютеров фирмы DEC [1]. Появление РС поставило задачу создания современных систем с более экономичной структурой интерфейса. Первый опыт использования волоконно-оптических линий связи для систем сбора и управления показал эффективность создания распределенных систем на основе электронно-оптических каналов как для дистанционного контроля, так и для сетевой связи компьютерных систем [2].

Для современных электронно-оптических информационно-вычислительных систем на базе РС-КАМАК разработан базовый комплекс средств, обеспечивающий решение инструментальных задач измерения и управления, построения иерархических систем сбора и обработки, а также создания коммуникационных узлов связи инструментальных систем и рабочих станций.

**1. Структура системы сопряжения
персональных компьютеров IBM PC XT/AT с системой КАМАК**

Требования использования большого количества средств информационно-измерительной техники, разработанных на основе КАМАК и ЭВМ типа СМ—4, "Электроника—60", привели к необходимости разработки интерфейсных средств для сопряжения персональных компьютеров типа IBM PC с КАМАК-контроллерами, совместимых с интерфейсами UNIBUS и Q-BUS.

PC-BUS является системным интерфейсом IBM PC совместимых компьютеров. Состав и назначение сигнальных линий PS BUS, используемых в интерфейсной плате, приведены в табл. 1. Обращение к PC BUS начинается с адресации подчиненного. При этом в интерфейсе устанавливается адрес ведомого, данные (если происходит процесс передачи данных из ведущего в ведомый) и затем вырабатывается сигнал записи IOW или MEMW для записи в порт ввода—вывода или в память РС соответственно. Для адресации порта необходимы лишь линии адреса A(00—09). При чтении ведущий устанавливает адрес

Таблица 1

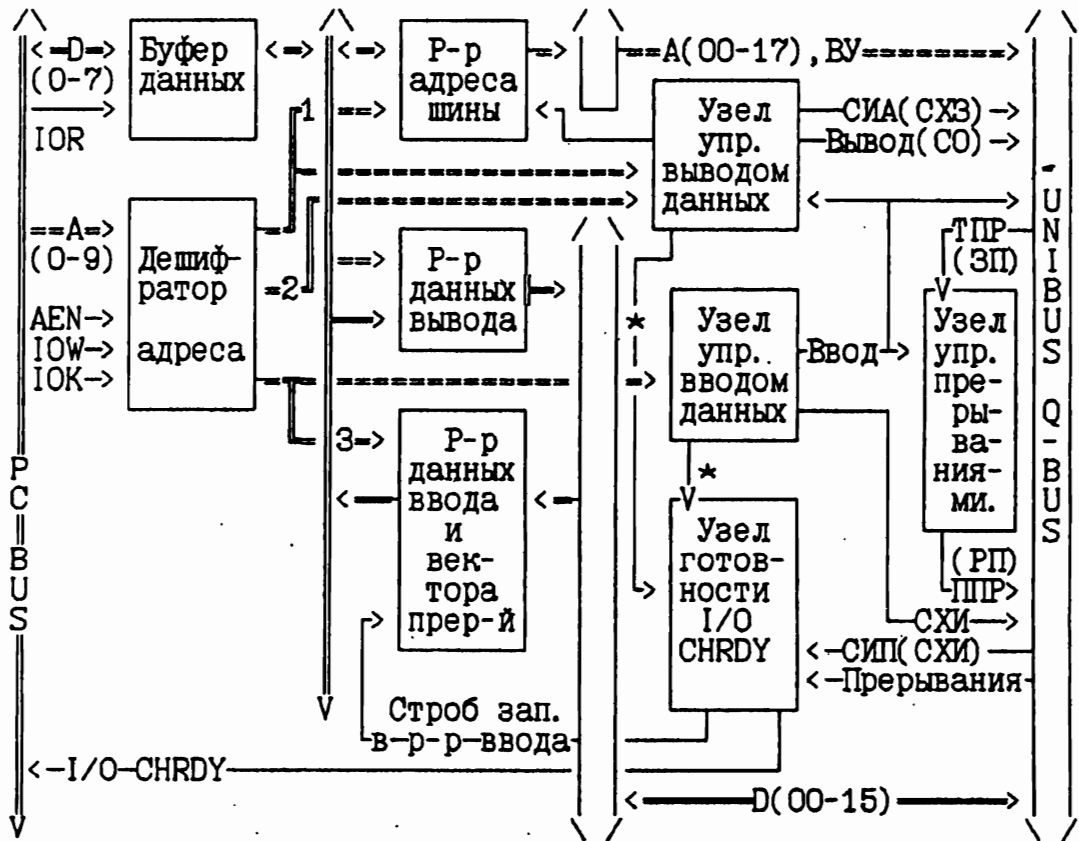
Наименование	Мнемоника	Число линий
Адрес	A (0—19)	20
Данные	D (0—15)	16
Младший байт	D (0—7)	8
Старший байт	D (8—15)	8
Запись в порт	IOW	1
Чтение из порта	IOR	1
Запись в память	MEMW	1
Чтение из памяти	MEMR	1
Тактовая частота	CLK	1
Установка в исходное состояние	RESET	1
Запрет приема адреса	AEN	1
Готовность устройства	I/O CHRDY	1
Запрос прерывания	IRQ (2—7)	6

и вырабатывает сигнал IOR или MEMR. Через 250 нс ведущий убирает сигнал чтения и еще через 250 нс снимает адрес с шин адреса. Сигнал AEN запрещает прием адреса устройствами в процессе прямого доступа к памяти. Сигнал I/O CHRDY сигнализирует процессору, что адресованное устройство готово к приему/передаче данных. Из восьми уровней прерывания IRQ устройствам доступны лишь пять IRQ2 - IRQ7, причем IRQ7 обладает наименьшим приоритетом. По линии CLK передаются сигналы с тактовой частотой 4,38 МГц. Задержка сигнала I/O CHRDY может быть не больше 10 циклов CLK. Сигнал RESET вырабатывается при включении компьютера и устанавливает в исходное состояние все устройства на PC BUS.

На структурной схеме разработанной интерфейсной платы PC - UNIBUS (Q-BUS), приведенной на рисунке, сигналы, заключенные в скобки, относятся к UNIBUS. Принцип действия платы основан на моделировании сигналов UNIBUS (Q-BUS). Интерфейсная плата состоит из следующих узлов:

- двунаправленного буфера данных, направление передачи данных которого определяется состоянием сигнала IOR;
- дешифратора адреса платы, в котором вырабатываются сигналы записи в регистр адреса шины, регистр данных вывода и чтения, регистр ввода данных и вектора прерывания, обозначенные на структурной схеме как Адр0, Адр1 и Адр2 соответственно;
- узла управления выводом данных в UNIBUS (Q-BUS);
- узла управления вводом данных и вектора прерывания;
- узла прерываний;
- узла готовности I/O CHRDY.

В исходном состоянии выходы регистров находятся в высокоимпедансном состоянии. По окончании записи в регистр адреса открываются его выходы и вырабатывается сигнал СИА, если интерфейсная плата работает с Q-BUS. По заднему фронту Адр1 вырабатывается сигнал ВЫВОД. (По переднему фронту Адр1 выходы регистра адреса шины переводятся в высокоимпедансное состояние). Затем открываются выходы регистра данных вывода и данные поступают на Q-BUS. Сигнал I/O CHRDY переводится в состояние логического нуля и останавливает работу шины PC до получения сигнала СИП. По сигналу СИП цикл шины PC завершается, снимаются сигналы IOW, AEN A(00—09), а также сигналы ВЫВОД, СИА и выходы регистра данных переводятся в высокоимпедансное состояние. Сигнал СИП заканчивается после снятия сигнала ВЫВОД. Если же интерфейсная плата работает с UNIBUS, то сигнал СХЗ появляется



Структурная схема интерфейсной платы PC-UNIBUS/Q-BUS.

- $\leftarrow = \Rightarrow$ - шина адресов; 1 — Адр 1;
 \rightleftarrows - шина данных; 2 — Адр 2;
 \rightleftarrows - другие шины; 3 — Адр 3;
 * - блокировка I/O CHRDY.

только через 250 нс после установления на шине сигналов A(00—17) и CO. При вводе данных из Q-BUS по Адр0 заносится адрес устройства и вырабатывается сигнал СИА. По переднему фронту Адр2 (чтение регистра данных ввода и вектора прерывания) вырабатывается сигнал ВВОД, поступающий на шину Q-BUS, останавливается цикл шины PC и ожидается СИП. По фронту СИП данные заносятся в регистр ввода, цикл шины PC заканчивается, снимается сигнал Адр2, по которому в свою очередь снимается сигнал ВВОД. По окончании сигнала ВВОД устройство снимает СИП, что приводит к снятию СИА. Если интерфейсная плата работает в UNIBUS, то по сигналу Адр2 вырабатывается сигнал СХЗ. Узел прерываний принимает с шины Q-BUS сигнал ТПР и вырабатывает запрос прерывания IQR в процессор PC.

Ввод адреса вектора прерывания происходит следующим образом. При наличии сигнала ТПР и сигнала ВВОД (при этом сигнал СИА не вырабатывается) на шину Q-BUS выдается сигнал ППР, по которому устройство устанавливает на шину данных адрес вектора прерывания и сопровождает его сигналом СИП. По СИП адрес вектора заносится в регистр ввода данных и вектора прерывания. Затем снимается ВВОД, адрес вектора вводится в PC, убирается СИП и интерфейсная плата приводится в исходное состояние.

В случае, когда интерфейсная плата работает с UNIBUS, сигнал ЗП вырабатывает сигнал IRQ. По сигналу ВВОД в UNIBUS выдается сигнал РП, прерывающее устройство устанавливает на шине данных UNIBUS адрес вектора прерывания и сопровождает его сигналом ППЕР. Этот сигнал воздействует на

интерфейсную плату аналогично сигналу СИП. Адрес вектора прерывания заносится в регистр ввода данных и вектора прерывания. Узел управления вводом данных вырабатывает сигнал СХИ, сигнализирующий устройству о том, что адрес вектора прерывания введен в регистр. Далее следует уже описанная процедура окончания цикла обмена.

Перевод интерфейсной платы в режим работы UNIBUS или Q-BUS осуществляется подключением к ней кабеля соответствующего интерфейса; две перемычки, сделанные в кабеле, устанавливают плату в режим работы, соответствующий тому или иному интерфейсу.

Интерфейсная плата реализована в конструктиве РС IBM XT, размещается в корпусе РС и содержит 22 интегральные схемы, 8 резисторов и 2 конденсатора.

2. Модульный аналого-цифровой комплекс и средства связи на базе световодов

Задачи сбора и распределения аналоговой информации в территориально распределенных системах контроля и управления требуют передачи аналоговых сигналов на значительные расстояния, что приводит к снижению помехоустойчивости систем, особенно в условиях больших электромагнитных помех индустриального характера. Проблема усложняется в связи с ростом требований к разрешающей способности преобразователей (АЦП, ЦАП). Для повышения точности работы преобразователей их выделяют в отдельные секции с независимым от дискретных систем питанием. Кроме того, при создании сложных систем контроля и управления возникает необходимость независимого распределения подсистем по функциональным и территориальным признакам. Если преобразователи приблизить к объекту, сократив до минимума длину трактов передачи аналоговой информации за счет увеличения длины каналов передачи дискретной информации, то существенно повышается точность и достоверность сбора распределенных данных. Наибольшую помехоустойчивость передачи данных можно обеспечить при использовании световодных каналов связи. Таким образом, к измерительным и управляющим системам нового поколения предъявляют следующие требования:

- 1) разделение аналоговой и цифровой аппаратуры с полной их гальванической развязкой;
- 2) независимость территориального и функционального распределения, при которой модули преобразователей (АЦП, ЦАП) приближают территориально к месту расположения датчиков на объектах, а средства сбора дискретной информации распределяют функционально по микропроцессорным подсистемам и комплексам, соответствующим однотипному оборудованию;
- 3) для систем непрерывного контроля и управления требуется режим постоянного отслеживания измеряемой величины с пороговым контролем по допускам и аварийным ситуациям;
- 4) требования по разрешению аналоговых каналов — 12 разрядов;
- 5) требуемое быстродействие ЦАП и АЦП — сотни микросекунд;
- 6) оптимальная группировка каналов на 1 модуль — 8—16;
- 7) средства автоматизации должны удовлетворять международным стандартам на модульную аппаратуру (например, стандарту КАМАК или VME);
- 8) модули преобразователей (по 8—16 каналов каждый) должны группироваться в секции по 8—10 модулей для локализации их по требованию размещения оборудования, причем передача данных от преобразователей должна осуществляться по световодам длиной до 100—300 м;

9) сбор данных в функционально выделенных подсистемах должен осуществляться с предварительным отбором и анализом на основе микропроцессорных комплексов или микро-ЭВМ;

10) локальные подсистемы сбора и управления должны объединяться в локальные сети, включающие одну или несколько микро-ЭВМ для создания распределенных банков данных и программ;

11) измерительные тракты в подсистемах должны проверяться автоматически (программно) на работоспособность путем выделения встроенных тестовых каналов в ЦАП и периодической подачи через них контрольных сигналов на входы каналов АЦП под управлением микропроцессора или микро-ЭВМ с последующим контролем трактов.

Для реализации систем, удовлетворяющих перечисленным требованиям, создан базовый набор модулей взаимного аналого-цифрового преобразования информации с одинаковым разрешением, работающих в следящем режиме с дистанционной передачей (приемом) дискретной информации от управляющих модулей микропроцессорного комплекса. В качестве управляющего комплекса может использоваться ПЭВМ IBM PC.

Аналого-цифровой комплекс в минимальном виде представляет собой распределенную подсистему ввода—вывода сигналов в аналоговой форме и включает два базовых модуля:

- 1) модуль дистанционного распределения аналоговых данных (РАД);
- 2) модуль дистанционного сбора аналоговых данных (САД).

Аналоговые модули выполнены в стандарте КАМАК (2М) и соединяются каналами оптоволоконной связи с центральным управляющим модулем, устанавливаемым в системной секции или в микро-ЭВМ. Минимальный комплекс обеспечивает 8 каналов ЦАП (РАД) и 16 каналов АЦП (САД). Модифицированные модули могут использоваться как дистанционно, так и локально в управляющей секции (двухпортовое управление).

Модуль управления вводом—выводом дискретной информации предназначен для буферного приема данных от модуля САД и передачи данных в модуль РАД и подобен модулям связи с ассоциативной памятью сортировки переменных от САД.

Модули распределенных аналоговых данных РАД предназначены для приема дискретной информации из ЭВМ по световодному каналу, преобразованию и выводу аналоговых сигналов по восьми программируемым каналам. Основные характеристики: число аналоговых выходных каналов — 8; диапазон выходных сигналов 10,24 В; разрешение 2(-12); абсолютная погрешность 50 мВ; напряжение смещения нуля 50 мВ; время преобразования по одному каналу 15 мс; размер модуля 2М; выходная нагрузка $R=2k\Omega$, $C_H=100$ пФ; используемые номиналы напряжения питания +5, +15, -15В. Модуль работает в режиме отслеживания значений кодов по каждому из каналов, программируемых в предыдущем модуле волоконно-оптической связи, соединенных световодным волокном.

Модули сбора аналоговых данных САД выполнены в стандарте КАМАК и предназначены для многоканального сбора и преобразования аналоговых сигналов в код и передачи полученных кодов по световодному каналу связи в ЭВМ. Основные характеристики: число аналоговых входных каналов — 16; диапазон входных сигналов — от -10,24 до +10,24 В; разрешение преобразователя— 2(-12); абсолютная погрешность при граничных значениях входных сигналов 50 мВ; напряжение смещения 50 мВ; время преобразования по одному каналу — 40 мс; размер модуля — 2М; входное сопротивление не менее 10 МОм.

Таблица 2

Команда	Совместимые команды для адаптера ВОС (для ЭВМ класса PDP-11)	Эквивалентные команды КАМАК
Сброс	INIT	C
Инициализация	INIT	Z
Проверка готовности данных и маски в РУС приемника	R, 16xxx0	C(x)N(y)A(0)F0
Установка состояния маски готовности данных в РУС приемника	W, 16xxx0, D7	C(x)N(y)A(0)F16 W7
Сброс маски данных в РУС приемника	W, 16xxx0, D7	C(x)N(y)A(0)F16 $\overline{W7}$
Прием данных (чтение по шинам R1—R16)	R, 16xxx2	C(x)N(y)A(1)F0
Проверка состояния готовности и маски канала передачи данных в РУС передатчика	R, 16xxx2	C(x)N(y)A(2)F0
Установка состояния готовности и канала передачи данных в РУС передатчика	W, 16xxx4, D7	C(x)N(y)A(2)F16 W7
Сброс маски готовности канала в РУС передатчика	W, 16xxx4, D7	C(x)N(y)A(2)F16 $\overline{W7}$
Передача данных (по шинам W1—W16)	W, 16xxx6, D1—D16	C(x)N(y)A(3)F16 W1—W16

Модули связи в виде системного параллельного интерфейса типа СПИН для быстрой связи на короткие расстояния и последовательной связи по световодам типа ВОС-1/2 работают по одинаковому протоколу связи (табл. 2).

3. Базовое программное обеспечение стенда РС-КАМАК

Комплекс программ, поддерживающих работу стенда, написан в среде С++ и содержит набор средств, позволяющих моделировать структуру секции с помощью библиотеки модулей, осуществлять диагностику контроллера и проводить тестирование отдельных модулей из библиотеки (на первом этапе включает в себя ВОС и СПИД-2, а также средства для настройки модулей).

Программный интерфейс РС-КАМАК включает процедуры ввода/вывода и прерывания. Система прерывания РС недостаточно совершенна для решения задач реального времени. Поэтому в комплексе предусмотрена возможность инициализации драйвера с помощью программного прерывания.

Буферизация данных ввода—вывода по прерыванию реализована с помощью отдельной программы. Взаимодействие других программ с программой обслуживания буфера осуществляется через программное прерывание.

Программное обеспечение стенда содержит: базовый исполнительный модуль; резидентный драйвер прерывания; резидентный администратор буфера. При работе пользователь может применять систему подсказок, выбирать опции и параметры процессов из меню с помощью клавиш управления курсором. Информация на экране отображается с помощью окон, включающих изображение модулей в секции КАМАК, подсказки, начального диалога, таймера.

В режиме тестирования и настройки пользователь может выбрать следующие функции: тест системного контроллера; полный перебор активных уст-

ройств; прогон массива; режим ручного контроллера; проверка ВОС — АЦП (типа САД—РАД, ВОС—ВОС и др.); тест отдельных устройств; тест прерывания; простой язык программирования для настройки модулей; выбор устройств для диагностики; выход.

Работа со стендом начинается с проведения диагностики контроллера. Тесты (диагностика) модулей сопровождаются визуальным отображением результатов проверок. Исходная программная система включает следующие тестовые модули: тест системного контроллера UNIBUS; тест каналов СПИД и ВОС; тест памяти ВОС; тест работы по прерыванию.

Тест контроллера UNIBUS предназначен для определения работоспособности системного контроллера КАМАК с платой сопряжения и реализует следующие функции: проверка регистра управления и состояния (РУС); проверка регистра маски и запроса (РМЗ); проверка регистра старшего байта (РСБ).

Тест каналов СПИД и ВОС реализует следующие функции: проверка установки состояния маски готовности данных в РУС передатчика; проверка сброса состояния маски готовности данных в РУС передатчика; проверка установки состояния маски готовности данных в РУС приемника; проверка сброса состояния маски готовности данных в РУС приемника; проверка передачи данных по шинам W(1—16) (0, 1, бегущая единица); проверка приема данных по шинам W(1—16) (0, 1, бегущая единица).

Тест памяти ВОС проверяет соответствие записываемой и считываемой информации в память ВОС.

Тест прерывания рассчитан на проверку работы комплекса РС-КАМАК по аппаратному каналу IRQ. Для корректной работы теста необходимо наличие в памяти загруженных резидентного драйвера обработки прерываний и резидентной программы обслуживания буфера. После выбора теста прерывания в режиме начального диалога откидывается окно диалога с пользователем. В этом окне можно выбрать один из следующих режимов работы теста: прием по прерыванию; передача по прерыванию.

После выбора режима "Прием по прерыванию" необходимо указать номер станции приемника и номер станции передатчика, после чего запускается тест приема по прерыванию блока данных 4КБ и после прохождения теста выдается результат проверки. После выбора режима "Передача по прерыванию" необходимо указать номер станции приемника и номер станции передатчика, после чего запускается тест передачи по прерыванию блока данных 4КБ и по окончании прохождения теста выдается результат проверки.

Тест работы по прерыванию состоит из трех основных частей:

1. Модуля диалога с пользователем и организации приема/передачи данных, являющегося частью основной программы.

2. Отдельного резидентного драйвера, выполняющего задачи идентификации произошедшего прерывания, вычисления номера станции устройства, инициировавшего прерывание, а также передачи и приема информации и взаимодействия с буфером.

3. Отдельной резидентной программы — администратора буфера. Эта программа создает в памяти компьютера кольцевой буфер и обслуживает его, обеспечивая сохранение в буфере информации и ее выдачу по требованию других программ.

Средства настройки модульных систем обеспечены режимами ручного контроллера и упрощенным языком программирования КАМАК. Режим ручного контроллера обеспечивает настройку и отладку модулей. Режим ориентирован на задание $F(x) N(y) A(z)$, ввода данных и выполнения конкретной операции. Упрощенный язык тестирования используется для тестирования и наладки модулей КАМАК путем управления их работой на языковом уровне. Числовые константы языка могут быть представлены только в явном виде,

причем используемая система счисления определяется префиксами. Команды чтения/записи имеют вид

$N\langle val-1 \rangle A\langle val-2 \rangle M\langle val-3 \rangle [W\langle val-4 \rangle] F\langle val-5 \rangle$

где $val-1$ — номер станции, $val-2$ — субадрес, $val-3$ — значение бита способа адресации, $W(val-4)$ — записываемое слово, $val-5$ — команда КАМАК.

Кроме того, введены команды сравнения, безусловного перехода, проверки состояния сигнала Q , проверки состояния сигнала X .

Таким образом, рассмотренные методы и средства обеспечивают возможность создания следующих типов модульных систем на базе РС-КАМАК: системы локального и дистанционного контроля данных и управления; системы базового узла (*host*) для сбора и обработки данных; системы коммутационного узла связи на РС-КАМАК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов В.И. Информационно-вычислительные системы М., 1986.
2. Виноградов В.И., Манойлов В.В., Фирсов А.А. // Научное приборостроение. 1991. Т.1, №1. С. 129-136.

Рукопись поступила 25.10.93