

16-КАНАЛЬНАЯ СИНХРОННАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И. Будкера СО РАН

В.Ф. Гурко, А.Н. Квашнин, А.Д. Хильченко, В.А. Хильченко

Институт ядерной физики СО РАН

Аннотация

В работе приведено описание 16-канальной синхронной системы сбора данных, включающей в свой состав до четырех четырехканальных модулей регистрации формы однофазных импульсных сигналов и модуль контроллера системной шины Еврокрейта, взаимодействующий с базовым компьютером диагностического комплекса по линии связи Ethernet 10/100 Base в рамках протоколов TCP/IP.

Модули регистрации построены на базе 12-ти разрядных АЦП. Отсчеты АЦП фиксируются в буферных ЗУ объемом до 32М слов/канал. Измерение текущих значений амплитуды входных сигналов во всех каналах регистрации производится одновременно, с разбросом моментов взятия отсчетов между каналами не более 0.5 нс. Максимальная частота дискретизации составляет 50 МГц. Выбор шкалы преобразования по амплитуде, текущего значения единой частоты дискретизации, используемого объема буферных ЗУ и режима работы системы производится программно. Возможен программный или внешний запуск процесса регистрации, а также формирование его временной шкалы с помощью внутреннего или внешнего опорного генератора.

Система предназначена для регистрации данных в многоканальных диагностических комплексах экспериментальных термоядерных установок.

16-КАНАЛЬНАЯ СИНХРОННАЯ СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ

В.Ф. Гурко, А.Н. Квашнин, А.Д. Хильченко, В.А. Хильченко

16-channel simultaneously sampling data recording system

V.F. Gurko, A.N. Kvashnin., A.D. Khilchenko, V.A. Khilchenko

16-channel simultaneously sampling data recording system on the base 12-bit ADC with sampling rate up to 50MHz is described. System includes up to 4 4-channel ADC modules with the 256Mb memory size, system bus controller on the base WebARM and power supply unit. For communication purposes Ethernet-10/100 interface is used

ИЯФ 2003-26

Новосибирск
2003

© Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

Введение

Система сбора данных, описанная в данной работе, исходно разрабатывалась для многоканальной диагностики плотности плазмы токамака "Глобус" ФТИ им. Иоффе РАН, основанной на гетеродинной СВЧ интерферометрии. Она использовалась для регистрации синусоидальных фазомодулированных плазмой сигналов и последующего спектрального анализа глубины фазовой модуляции с целью исследования колебаний плотности плазмы в полосе частот до 5МГц. Эта же система, благодаря высокому значению частоты дискретизации модулей регистрации (до 50МГц), синхронности проводимых ими измерений и большому объему буферного ЗУ, (до $32 \cdot 10^6$ отсчетов/канал) определяющему длительность процесса регистрации, может использоваться для построения обзорных каналов регистрации на многих экспериментальных электрофизических установках.

Построение системы

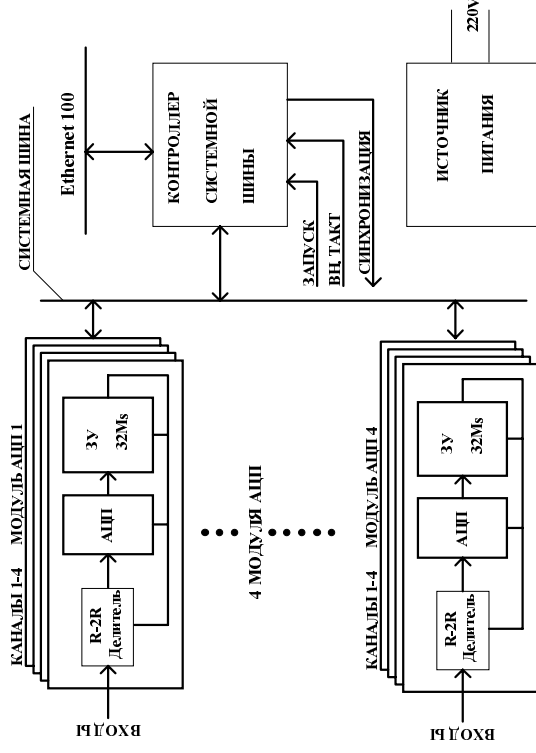


Рис. 1. Схема построения системы сбора данных

Схема построения системы сбора данных приведена на рис. 1. В ее состав входят:

- до 4-х четырехканальных модулей регистрации формы одночастотных импульсных сигналов,
 - объединительная магистраль (системная шина) еврокрейта,
 - контроллер системной шины,
 - источник питания крейта с трансформаторной гальванической развязкой и линейной схемой стабилизации выходных напряжений.
- Четырехканальные модули регистрации, включающие в свой состав тракты аналого-цифрового преобразования и буферные запоминающие устройства (ЗУ), выполняют в системе функции подчиненных устройств, работающих под контролем управляющего модуля – контроллера системной шины. С помощью последнего на этапе подготовки регистраторов к работе, осуществляется загрузка пределов по амплитуде, определяются значения единой для всех каналов частоты

дискретизации АЦП и используемого объема ЗУ, выбираются внутренний или внешний источники опорных синхросигналов, а также импульсов запуска.

В режиме регистрации данных контроллер системной шины формирует единую для всех модулей регистрации последовательность сигналов управления и синхронизации. По окончании регистрации контроллер обеспечивает передачу данных из ЗУ регистраторов по линии связи Ethernet 10/100 Base базовому компьютеру диагностического комплекса.

Модуль регистрации

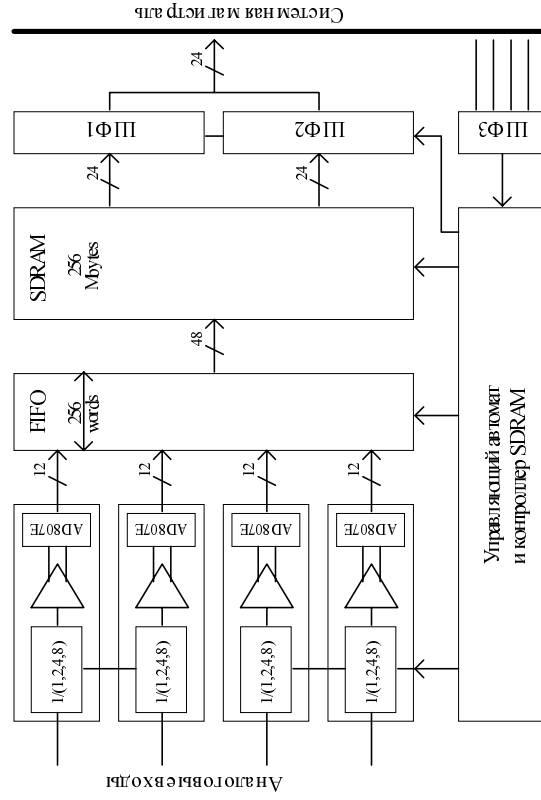


Рис. 2. Функциональная схема модуля регистрации

Функциональная схема построения модуля регистрации приведена на рис. 2. В его состав входят:

- четыре идентичных аналоговых тракта, предназначенных для согласования диапазона изменения входного сигнала со шкалой преобразования АЦП по амплитуде,

- четыре двенадцатиразрядных АЦП AD807E, осуществляющих преобразование текущего значения амплитуды входных сигналов в код,
- FIFO объемом 256 слов, согласующее скорости работы АЦП и ЗУ,
- ЗУ объемом до 32М отсчетов/канал на базе SDRAM, накапливающие результаты измерений АЦП,
- контроллер модуля регистрации состоящий из управляющего автомата и контроллера SDRAM,
- шинные формирователи ШФ1 и ШФ2, связывающие ЗУ с системной магистралью,
- шинные формирователи ШФ3, обеспечивающие прием с системной магистрали сигналов управления и импульсов синхронизации.

Измерения по всем каналам регистрации производятся одновременно. Результаты измерений АЦП по 48-разрядной шине данных поступают в разравнивающее FIFO, а затем переписываются в 48-разрядное ЗУ. По каждому адресу располагаются результаты измерений АЦП всех каналов, произведенные в один и тот же момент времени. В связи с тем, что системная магистраль имеет 24-разрядную шину данных, при считывании данные мультиплексируются. Сначала считываются данные каналов 1-2, а затем - каналов 3-4 из одного и того же адреса ЗУ.

Контроллер системной шины

Ядром контроллера является мезонинный коммуникационный модуль SO-DIMM Webnet/ARM на базе 32-х разрядного процессора семейства ARM7TDMI S3C4530, работающего под управлением ОС uCLinux. На мезонинной плате размещены процессор и набор периферийных устройств, состоящий из UART, контроллера Ethernet 10/100Base, контроллера DMA, контроллера прерываний, DRAM объемом в 16Мб и загрузочного ЗУ на базе Flash, объемом 8Мб. Предастановленная ОС uCLinux, протоколы поддержки сетевого интерфейса, файловая система и прикладной пользовательский код исходно заносятся во Flash и инициализируются сразу же после включения питания модуля.

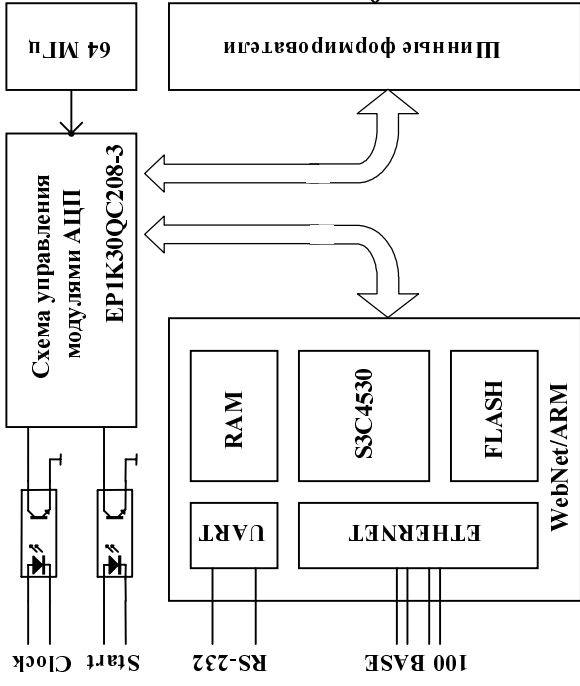


Рис. 3. Схема построения контроллера системной шины

Помимо Webnet/ARM в состав контроллера системной магистрали входят (рис. 3):

- схема управления модулями АЦП (контроллер системной магистрали), реализованная на базе программируемой матрицы ЕР1К30QC208-3 фирмы Altera,
- задающий кварцевый генератор с частотой следования синхросигналов 64 МГц,
- приемник внешних синхросигналов и импульсов запуска,
- шинные формирователи, сопрягающие схему управления модулями АЦП с системной магистралью.

В состав схемы управления модулями АЦП входят регистр состояния контроллера, регистр выбора пределов по амплитуде и сдвиговой регистр. Эти регистры отображены в адресном пространстве процессора в виде прямо адресуемых устройств ввода/вывода. Информационный массив читается на шину процессора через регистр данных, за которым расположен буфер FIFO – промежуточная память объемом

в 256 слов, согласующая скорость записи данных из модулей АЦП со скоростью их чтения процессором.

Набор базовых регистров схемы управления в адресном пространстве процессора выглядит следующим образом:

- 24-разрядный регистр данных адрес 0,
- 16-разрядный регистр состояния адрес 1,
- 9-разрядный сдвиговой регистр адрес 2,
- 8-разрядный регистр амплитуд адрес 3.

Регистр состояния, сдвиговой регистр и регистр амплитуд доступны как для записи, так и для чтения, а регистр данных доступен только для чтения. Все регистры представлены как 32-разрядные, неиспользуемые разряды читаются нулями.

Контроллер системной магистрали может выполнять следующие действия:

- инициализацию модулей АЦП и некоторых базовых регистров схемы управления (загрузку начальных значений). Инициализация производится при каждом включении питания и по команде процессора. При включении питания инициализируются регистр состояния, сдвиговой регистр и регистр амплитуд, а по команде процессора – только регистр состояния и сдвиговой регистр.
- определять значения единой частоты дискретизации для всех модулей АЦП и используемого при регистрации объема памяти.
- загрузить пределы преобразования по амплитуде в каждый тракт регистрации.
- формировать стартовый импульс, запускающего процесс регистрации данных, по внешнему импульсу запуска или по команде процессора.
- читать данные из 3U модулей регистрации и передавать их по каналу связи Ethernet 10/100 Base базовому компьютеру диагностического комплекса.

Перед запуском системы регистрации необходимо определить:

- пределы по амплитуде для каждого тракта регистрации в регистре амплитуд. Пределы по амплитуде трактов регистрации определяются содержанием регистр амплитуд, в котором каждому тракту регистрации соответствуют два управляющих разряда. Содержимое регистра амплитуд заносится в модуль АЦП, номер которого указан соответствующими разрядами регистра состояния контроллера.

лера. Форматы регистров амплитуд и состояния приведены в приложении.

- Необходимое значения частоты дискретизации для всех модулей АЦП и используемый ими объём памяти путем записи управляющей константы в сдвиговой регистр (см. формат сдвигового регистра в приложении). После записи в сдвиговой регистр контроллер системной магистралей формирует для процессора флаг занятости и одновременно передаёт в модуль АЦП (номер которого задан регистром состояния) содержимое регистра амплитуд и сдвигового регистра. Поэтому запись в сдвиговой регистр необходимо производить после записи в регистр амплитуд и загрузки в регистр состояния номера модуля АЦП. Чтобы задать пределы по амплитуде для каждого тракта регистрации, необходимо повторить описанную процедуру загрузки для каждого модуля АЦП. При этом после каждой записи в сдвиговой регистр следует проверять флаг занятости контроллера системной магистралей, поскольку он не может принимать новые данные от процессора во время передачи информации из сдвигового регистра в модуль АЦП.

Для запуска системы регистрации необходимо:

- с помощью регистра состояния определить частоту следования выходных импульсов синхронизации внешних устройств и их задержку сдвиг, источник частоты дискретизации АЦП (внутренний или внешний генератор), а также источник запуска (программный или от внешнего стартового импульса).
- в случае работы по внешнему импульсу запуска необходимо записать единицу в разряд разрешения внешнего запуска регистра состояния. Программный запуск производится записью единицы в разряд программного запуска того же регистра. При любом способе запуска контроллер системной шины на время регистрации формирует в регистре состояния флаг занятости для процессора.

Чтение информационного массива:

- признаком окончания процесса регистрации данных модулями АЦП является перевод контроллером системной магистралей флага занятости в его регистре состояния в пассивное состояние (логический ноль). После снятия данного флага процессор может подать запрос на чтение путём записи единицы в соответствующий разряд регистра состояния контроллера. В ответ на это схема управления модулями АЦП начнёт принимать данные от модуля АЦП, номер

которого задан в регистре состояния, в собственный промежуточный буфер FIFO.

- После заполнения буфера данными, контроллер системной шины переведет в регистре состояния флаг готовности данных в единичное состояние. С этого момента процессор может начать процедуру чтения информационного массива из регистра данных контроллера. В разрядах с 0 по 11 каждого слова данных, считанных из регистра состояния, данные будут последовательно принадлежать первому, третьему, затем опять первому, снова третьему, и так далее трактам регистрации, а в разрядах с 16 по 27-й будут таким же образом чередоваться данные по чётным измерительным трактам. Формат регистра данных приведён в приложении.
- Для окончания процедуры чтения данных из модуля регистрации процессор должен перевести в пассивное состояние флаг запроса на чтение в регистре состояния контроллера.
- Для изменения номера модуля АЦП, необходимо изменить состояние соответствующих разрядов регистра состояния контроллера (см. приложение).

Базовое программное обеспечение системы регистрации

Программное обеспечение системы регистрации состоит из:

- программы-сервера, работающей в процессоре контроллера системной шины. Эта программа обеспечивает прием поступающих из линии связи запросов на выполнение процедур загрузки управляющих регистров системы и модулей АЦП, а также осуществляет передачу данных, полученных в процессе регистрации, по линии связи;
- программы-клиента, исполняемой в базовом компьютере диагностического комплекса. Эта программа представляет собой графическую консоль оператора, с помощью которой задаются режимы работы системы регистрации и отображаются результаты измерений АЦП.

Взаимодействие сервера и клиента осуществляется по протоколу ТСР/IP через порт 2000. Клиент посылает серверу запрос на выполнение необходимой операции в виде пакета фиксированного размера – 10 шестнадцатиразрядных слов, первое из которых содержит код запроса (0÷7), второе – номер модуля регистрации (1÷4), а в словах с 3 по 10 передается вспомогательная информация, зависящая от кода запроса.

Сервер обеспечивает выполнение следующих операций:

Код запроса	Операция
0	сброс системы регистрации
1	загрузка пределов по амплитуде
4	разрешение запуска системы
5	передача полученных данных программе-клиенту
7	включение/выключение режима отладки

Сброс системы регистрации предназначен для прерывания любой операции, исполняемой контроллером системной шины, и приведения системы регистрации в исходное состояние. Так как этот запрос адресован к контроллеру системной шины, адрес модуля регистрации (второе слово в передаваемом пакете) должен быть равным 0. Слова с 3-го по 10-е также должны содержать значение – 0.

Загрузка пределов по амплитуде производится в каждый модуль регистрации индивидуально. Номер модуля, в который загружаются пределы определяется вторым словом пакета. Третье содержит код 8-ми разрядного регистра пределов. Соответствие разрядов регистра амплитуды каналу АЦП приведено в приложении. Слова с 4-го по 10-е в передаваемом пакете должны быть равны 0.

Алгоритм обслуживания запроса на **разрешение запуска системы** содержит следующую последовательность операций:

- в управляющие регистры всех модулей АЦП заносится требуемый объем памяти и значение делителя основной частоты дискретизации;
- в соответствии с указанным источником запуска – внешний или внутренний (программный) разрешается работа системы;
- по завершению цикла регистрации, условием которого является заполнение заданного объема ЗУ, из модуля АЦП с номером, указанным в запросе, считываются данные и передаются в канал связи.

Пакет запроса на разрешение запуска должен содержать во втором слове номер модуля, данные из которого будут переданы после окончания цикла регистрации. В 3-ем слове – информацию об объеме памяти и частоте регистрации. В 4-м слове определяются параметры запуска (программный/внешний), источник тактовых импульсов (внутренний/внешний) и параметры для выходного сигнала синхронизации. Соответствие разрядов в 4-ом слове указанным параметрам приведено

в приложении. Остальные слова в пакете должны быть содержать нулевые значения.

Так как после окончания цикла регистрации сервер передает клиенту данные только из одного модуля, для считывания остальной информации используется запрос на **передачу данных программе-клиенту**. По этому запросу сервер считывает из указанного модуля полученную информацию и передает ее в линию связи. Слова с 3-го по 10-е в пакете запроса должны быть равны 0.

Последний запрос (**вкл./выкл. режима отладки**) предназначен для тестовой проверки и настройки системы регистрации и в прикладных программах не должны использоваться.

Программа-сервер graph

При включении питания системы регистрации в процессор контроллера системной шины загружается ОС uCLinux и запускается программа-сервер **adc16**.

После своей инициализации сервер загружает во все модули регистрации максимальное значение пределов по амплитуде (4 В/шкалу) и переходит в режим ожидания соединения по порту 2000 с программой-клиентом. При установлении этого соединения сервер переходит в режим приема запросов от клиента. В случае, если программа клиент по каким либо причинам разрывает соединение, сервер переходит в режим ожидания следующего соединения.

Параллельно с программой-сервером **adc16** в процессоре контроллера системной шины исполняется программа **telnetd**, обеспечивающая подключение к системе регистрации через порт 23. С помощью стандартных Telnet-клиентов можно управлять работой ОС – запускать и останавливать программу-сервер, а также перезагружать ОС по линии связи.

Программа-клиент ADC812

Для управления работой системы из среды ОС Windows была написана программа-клиент, представляющая собой консоль оператора, с помощью которой можно задавать все реализуемые системой регистрации режимы работы, а также отображать результаты измерений в графической форме. Кроме того, программа-клиент позволяет сохранять полученные от модулей АЦП данные на жестком диске. Внешний

вид консоли оператора, показанный на рис. 4, напоминает лицевую панель современных цифровых осциллографов.

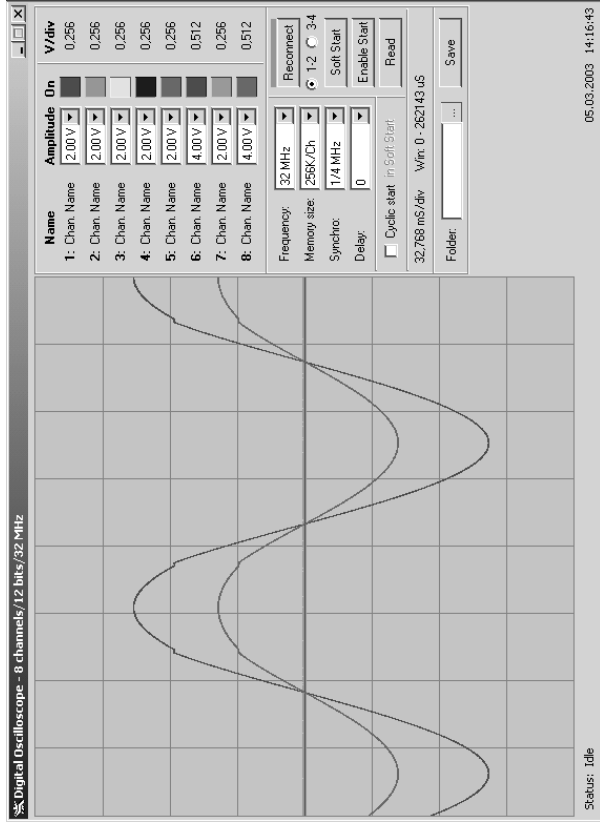


Рис. 4. Внешний вид консоли оператора

Заключение

Система сбора данных, описанная в данной работе, с марта 2003 года используется в составе диагностике плотности плазмы токамака "Глобус-М" ФТИ им. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург.

Технические характеристики

МОДУЛЬ РЕГИСТРАЦИИ:

число синхронных каналов регистрации	4
разрядность АЦП	12 бит
частота дискретизации:	до 32 (50) МГц
диапазон входных сигналов:	-2.00В ÷ +2.00В -1.00В ÷ +1.00В -0.50В ÷ +0.50В -0.25В ÷ +0.25В
входное сопротивление	50 Ом
полоса частот входного сигнала	0 ÷ 25 МГц
разброс моментов взятия отсчетов АЦП	не более 0.1 нс
объем буферной памяти на канал	256К ÷ 32М отсчетов
сетка частот дискретизации:	32(50)/(1,2,4,8,16,32,64,128)М Гц, внешний генератор с теми же коэффициентами деления

СИСТЕМА:

число каналов	до 16
разброс моментов взятия отсчетов между каналами	не более 0.5 нс
запуск	внешний/программный
частота дискретизации	внешний*/внутренний генератор
канал связи с базовым компьютером	Ethernet 10/100 Base
конструктив исполнения	Евромеханика, 3U

* Частота внешнего генератора для устойчивой работы системы регистрации ДОЛЖНА БЫТЬ не менее 10 МГц!

Приложение

Формат регистра данных:

Разряды	Назначение
0-11	Данные по трактам регистрации 1 и 3 выбранного модуля АЦП
12-15	Не используемые разряды, читаются нулями
16-27	Данные по трактам регистрации 2 и 4 выбранного модуля АЦП
28-31	Не используемые разряды, читаются нулями

Формат регистра состояния:

Разряд 0	Разряд 1	Назначение
0*	0*	Выбор первого модуля АЦП
0	1	Выбор второго модуля АЦП
1	0	Выбор третьего модуля АЦП
1	1	Выбор четвертого модуля АЦП

Разряд	Назначение при 0	Назначение при 1
2	Источник частоты для модулей АЦП – внутренний генератор*	Источник частоты для модулей АЦП – внешний генератор
3	Нет разрешения запуска модулей АЦП по внешнему импульсу*	Разрешение запуска модулей АЦП по внешнему импульсу
4	Нет программного запуска модулей АЦП*	Программный запуск модулей АЦП
5	Нет запроса на чтение данных Из выбранного модуля АЦП*	Запрос на чтение данных из выбранного модуля АЦП
6	Нет готовности данных для чтения* (Разряд недоступен для записи)	Готовность данных для чтения
7	Готовность контроллера* (Разряд недоступен для записи)	Контроллер занят
8	Нет программной инициализации*	Программная инициализация
9	Рабочий режим контроллера*	Тестовый режим контроллера

Разряд 10	Разряд 11	Разряд 12	Назначение
0*	0*	0*	Выбор частоты следования выходных импульсов синхронизации. Без деления - 32МГц
1	0	0	То же с делением на 2 (16МГц)
0	1	0	То же с делением на 4 (8МГц)
1	1	0	То же с делением на 8 (4МГц)
0	0	1	То же с делением на 16 (2МГц)
1	0	1	То же с делением на 32 (1МГц)
0	1	1	То же с делением на 64 (500КГц)
1	1	1	То же с делением на 128 (250КГц)

Разряд 13	Разряд 14	Разряд 15	Назначение
0*	0*	0*	Выбор задержки выходных импульсов синхронизации. Задержка на 4 периода основной частоты (32МГц)
1	0	0	То же с задержкой на 5 периодов
0	1	0	То же с задержкой на 6 периодов
1	1	0	То же с задержкой на 7 периодов
0	0	1	То же с задержкой на 8 периодов
1	0	1	То же с задержкой на 9 периодов
0	1	1	То же с задержкой на 10 периодов
1	1	1	То же с задержкой на 11 периодов

Разряды	Назначение
16-31	Не используемые разряды, читаются нулями

Формат регистра амплитуд:

Разряд 0	Разряд 1	Назначение
0	0	Пределы по амплитуде для тракта регистрации 1 выбранного модуля АЦП: от -0,25В до +0,25В
1	0	То же, от -0,5В до +0,5В
0	1	То же, от -1В до +1В
1*	1*	То же, от -2В до +2В

Разряд 2	Разряд 3	Назначение
0	0	Пределы по амплитуде для тракта регистрации 2 выбранного модуля АЦП: от -0,25В до +0,25В
1	0	То же, от -0,5В до +0,5В
0	1	То же, от -1В до +1В
1*	1*	То же, от -2В до +2В

Разряд 4	Разряд 5	Назначение
0	0	Пределы по амплитуде для тракта регистрации 3 выбранного модуля АЦП: от -0,25В до +0,25В
1	0	То же, от -0,5В до +0,5В
0	1	То же, от -1В до +1В
1*	1*	То же, от -2В до +2В

Разряд 6	Разряд 7	Назначение
0	0	Пределы по амплитуде для тракта регистрации 4 выбранного модуля АЦП: от -0,25В до +0,25В
1	0	То же, от -0,5В до +0,5В
0	1	То же, от -1В до +1В
1*	1*	То же, от -2В до +2В

Разряды	Назначение
8-31	Не используемые разряды, читаются нулями

Формат сдвигового регистра:

Разряд 0	Разряд 1	Разряд 2	Назначение
0*	0*	0*	Коэффициент деления частоты дискретизации модулей АЦП равен 1
1	0	0	То же 2
0	1	0	То же 4
1	1	0	То же 8
0	0	1	То же 16
1	0	1	То же 32
0	1	1	То же 64
1	1	1	То же 128

Разряд 3	Разряд 4	Разряд 5	Назначение
0*	0*	0*	Объём памяти, используемой при регистрации, 256к отсчётов/тракт
1	0	0	То же 512к отсчётов/тракт
0	1	0	То же 1м отсчётов/тракт
1	1	0	То же 2м отсчётов/тракт
0	0	1	То же 4м отсчётов/тракт
1	0	1	То же 8м отсчётов/тракт
0	1	1	То же 16м отсчётов/тракт
1	1	1	То же 32м отсчётов/тракт

Разряд	Назначение при 0	Назначение при 1
6	Нет сброса адресного счётчика модуля АЦП*	Сброс адресного счётчика модуля АЦП
7	Нет загрузки регистра пределов модуля АЦП*	Загрузка регистра пределов модуля АЦП

Разряды	Назначение
8-31	Не используемые разряды, читаются нулями

* помечены состояния разрядов после включения питания

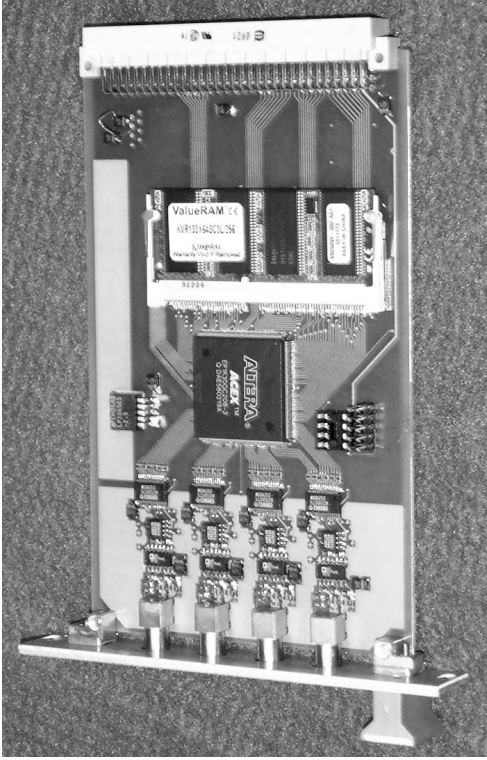


Рис. 5. Модуль регистрации

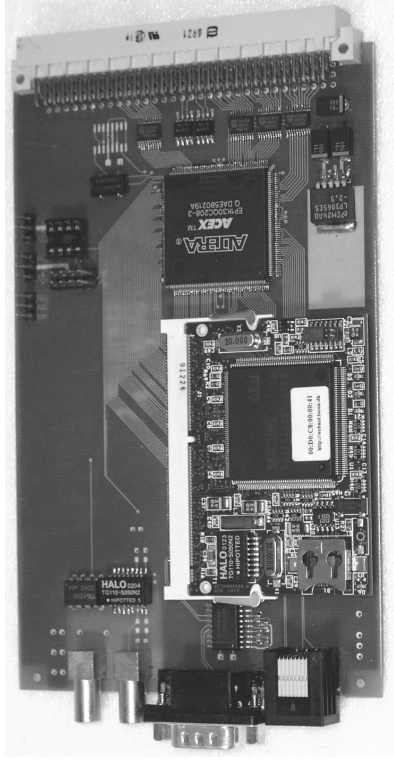


Рис. 6. Контроллер системной шины

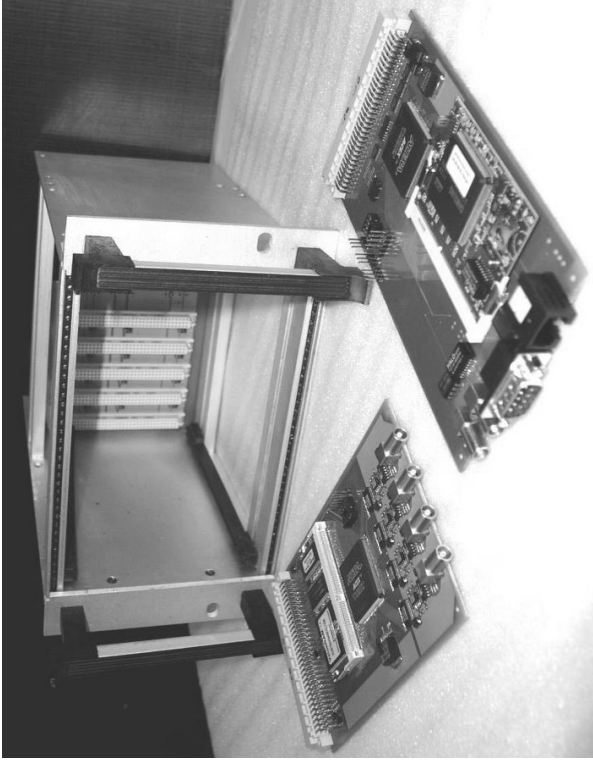


Рис. 7. Каркас и базовые модули системы сбора данных