

УДК 681.3

Успех КАМАКа и его преемников / Ф.Славик, Я.Вири // Научное приборостроение. — 1991. — Т. 1. — N 3. — С. 156-175.

Дана история развития системы КАМАК, которая воплотила в себе огромную теоретическую работу в сочетании с большим опытом разработок и применения. Приведены основные направления и разработки новых мультипроцессорных шин. Конкретно рассмотрена шина VME и условия ее эксплуатации. Библ. — 6 назв. Ил. — 12. Табл. — 1.

Ф.Славик, Я.Вири

(Институт физики Академии наук Венгрии, Будапешт)

УСПЕХ КАМАКА И ЕГО ПРЕЕМНИКОВ

Это исторический факт и реальность наших дней, что развитию различных технологических отраслей способствуют научные исследования. Например, более поздние поколения компьютеров обязаны своим рождением настоятельным требованиям науки. Это утверждение применимо и к развитию устройств компьютерной измерительной техники, так называемых периферийных устройств, работающих в реальном масштабе времени: системных шин для передачи данных, инструкций и информации о состоянии системы.

Не считая военных технологий, естественные науки и, в первую очередь, физика с ее постоянно растущими потребностями в области сбора и обработки данных непрерывно стимулируют это развитие, в результате наиболее выгодным, по крайней мере, в экономическом смысле, становится контроль промышленных процессов. (Ниже под контролем процессов будем подразумевать автоматизацию измерений).

1. Периферийные устройства, работающие в реальном масштабе времени

Рассмотрим принцип работы периферийных устройств, работающих в реальном масштабе времени (рис.1).

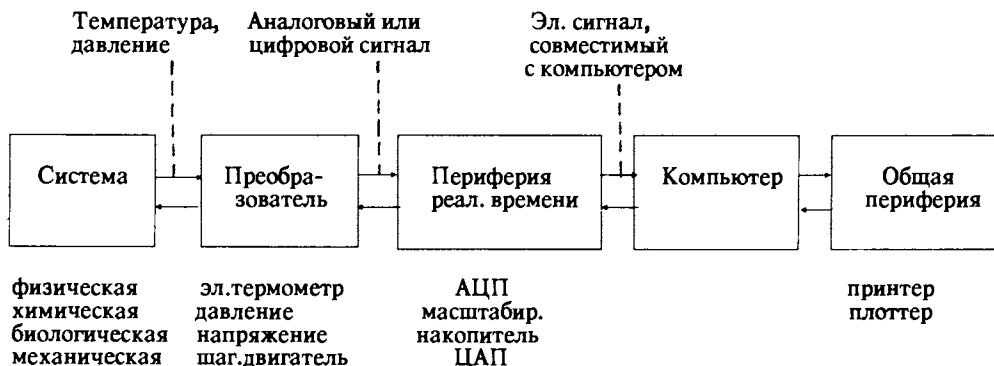


Рис. 1. Периферия в реальном времени в автоматизированных компьютерных измерительных системах

Периферия реального времени используется для того, чтобы связать исследуемый процесс (который необходимо часто контролировать) и экспериментальное оборудование с компьютером и другим программируемым оборудованием, процессорами. Одна группа периферийных устройств реального времени преобразует информацию, поступающую из эксперимента или какого-либо другого процесса, и уже преобразованную в электрический сиг-

нал (например, аналоговые или цифровые параметры, описывающие мгновенные значения некоторых физических, химических и других величин и моменты времени эксперимента) в форму, которая может быть принята и обработана компьютером. Другая группа преобразует команды, посылаемые компьютером эксперименту, таким образом, чтобы они смогли быть поняты и выполнены воздействующими устройствами.

Для того, чтобы проиллюстрировать необходимость передачи информации в реальном масштабе времени в двух направлениях, рассмотрим реализацию одного важного экспериментального прибора из области физики твердого тела — трехосного нейтронного спектрометра. Одной из причин такого выбора послужило то обстоятельство, что в этом приборе сочетается высокотехнологичная механика, изготовленная в советских организациях, и устройства для автоматизации измерений, разработанные в Центральном исследовательском институте физики в Будапеште, иными словами, компоненты, изготовленные в местах, расположенных далеко друг от друга.

Трехосный нейтронный спектрометр используется для изучения статического и динамического поведения атомов. Он состоит из трех основных частей (рис. 2): монохроматора, держателя с образцом, анализатора.

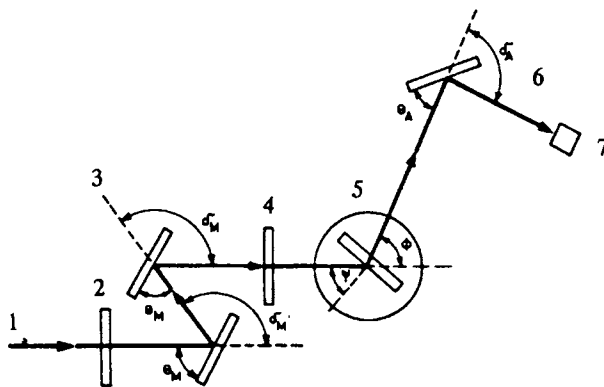


Рис. 2. Основной путь нейтронного пучка и вращение осей в трехосном нейтронном спектрометре: 1 - нейтронный пучок; 2 - монитор (дет. 1); 3 - двойной монохроматор; 4 - монитор (дет. 2); 5 - образец; 6 - анализатор; 7 - детектор

Считывать необходимо показания всего пяти оптических угловых кодеров, контролировать пять шаговых двигателей, учитывать результаты вычислений в реальном времени, следить за четырьмя магнитными прерывателями и обрабатывать электрические импульсы от трех нейтронных детекторов. (Эти задачи могут быть расширены за счет новых функций по ходу измерений).

2. Система КАМАК

Несколько десятилетий назад значительное количество результатов, заслуживающих внимания, было достигнуто при создании приборов для автоматизации научных измерений, которые первоначально отличались

компактностью, индивидуальным дизайном, а позже — сочетанием модульных частей, разработанных определенными фирмами независимо друг от друга. По мере распространения компьютерной техники, крупные научные лаборатории форсировали реализацию независимых периферийных устройств реального времени компьютерного типа.

Среднее экономическое время жизни устройств для автоматизации измерений:

Прибор	Среднее экономическое время
Компьютер	5
Периферия, работающая в реальном масштабе времени	10
Преобразователи, воздействующие устройства	20

Из вывода следует, насколько неэкономичной может быть ситуация, если периферия реального времени жестко привязана к компьютеру.

Другой причиной является то обстоятельство, что если периферия реального времени будет независима от компьютера, более вероятно, что различные производители будут осуществлять ее выпуск, что означает уменьшение уязвимости потребителя, особенно в случае, если такие системы станут стандартными и будут совершенствоваться на этой основе.

Мы выбрали систему КАМАК как одну из основных в нашем сообщении, потому что, хотя она и уступила место новым и более современным периферийным устройствам реального времени в некоторых областях, она справедливо сохраняет позиции в автоматизации измерений в различных научных и других лабораториях и в области контроля промышленного процесса. Однако мы уделили особое внимание системе КАМАК, главным образом потому, что она является тщательно разработанной координированными усилиями многочисленных и высококвалифицированных сотрудников в течение многих лет в разных странах и может послужить полезным опытом для создания следующих поколений (наиболее сложных, быстродействующих и т.д.).

История КАМАКа

Требования по стандартизации периферии реального времени появились впервые в технике ядерных измерений, главным образом, благодаря тому, что измерения и предобработка в реальном времени огромного количества данных от самых разных источников (например, от большого числа детекторных ячеек) в научных лабораториях, занимающихся физикой высоких энергий, представляли такую необъятную и трудную задачу, что не было альтернативы использованию стандартизированных модулей и интегрированных систем на их основе.

Стандартизация модулей КАМАК была выполнена Международной комиссией ESONE (Европейский стандарт по ядерной электронике), основываясь на опыте, собранном различными ведущими лабораториями. Эта комиссия была полностью открытой, т.е. не только западные, но и восточноевропейские исследовательские институты принимали участие в этой работе.

Первый стандарт, заверченный в 1968 г., в 1972 г. был опубликован в окончательном виде, который также был принят и опубликован в США ИИЭР в 1975 г. Европейские и американские ученые работали в тесном взаимодействии, начиная с 1972 г.

Ниже представлен список наиболее существенных публикаций-документов по КАМАКу, который представляет интерес с точки зрения дальнейшего развития систем реального времени:

- EUR 4100 e /EURATOM, 1972/: "CAMAC — A Modular Instrumentation System for Data Handling";
- EUR 4100 e /EURATOM, 1972/: "CAMAC — Organization of Multi-Crate Systems";
- EUR 5100 e /EURATOM, 1974/: "CAMAC — Specification of Amplitude Analogue Signals";
- TID-26488 /US AEC-NIM, 1973/: "CAMAC — Serial System Organization";
- ESONE /IML/01 /ESONE, 1974/: "CAMAC — The DEfinition of IML";
- EUR 6500 /EURATOM, 1978/: "CAMAC — Multiple Controllers in a CAMAC Crate";
- EUR 8500 /EURATOM, 1983/: "CAMAC — Updated Specifications V. 1., V. 2."

Названия документов хорошо отражают их содержание.

Позже мы вернемся к техническим терминам, появившимся в списке. Здесь только упомянем, что вместо автономного программного языка для КАМАКа был разработан язык низкого уровня, так называемый "промежуточный язык" (IML), который может быть встроен в любой общепринятый язык высокого уровня, например, путем использования макротрансляторов.

Взгляд на КАМАК с "птичьего полета"

Модуль КАМАК. Самая маленькая часть оборудования в системе — это модуль, который выполняет одну или несколько независимых функций в реальном времени. Модули можно разделить на две большие группы: универсальные и функциональные. Для универсальных модулей тип окончного устройства, используемого для связи с данным экспериментом или процессом (передатчик, воздействующее устройство и т.п.), не определен. Эта группа содержит следующие периферийные устройства реального времени условного опознавания:

- регистры входа и выхода — последовательные и параллельные;
- индикаторные и дисплейные узлы;
- АЦП и ЦАП;
- генераторы сигналов времени и даты;
- мультиплексоры.

Функциональные модули разрабатывались для специальных типов оконечных устройств. Они способствуют согласованию как логических, так и электрических сигнальных уровней, программированию компьютера и т.п.

Как пример успешного построения системы на базе модулей КАМАК следует упомянуть наш научный центр, в котором на протяжении последних 15 лет было создано около 150 различных модулей КАМАК.

КАМАК-каркас, каркасный контроллер. Каркас, который представляет собой раму, содержащую модули в буквенной последовательности, имеет размеры, соответствующие международной 19-дюймовой системе. (Здесь мы хотели бы упомянуть, что система VECTOR, которая должна была перевести КАМАК в метрическую систему, не смогла одержать даже временную победу и остается как просто другое возможное решение). Один каркас может содержать 25 модулей одинаковой ширины. В более широком смысле слова "каркас" означает раму, содержащую уже соединенные между собой модули.

Два или три широких модуля, расположенных справа, являются каркасным контроллером. Он организует распространение сигналов по 86-проводной синхронной шине, так называемый путь данных, на обратной стороне модулей. Эта шина становится электрически связанной с модулями в тот момент, когда они вставляются в каркас.

Каркасные контроллеры могут быть как стандартного типа, так и с интеллектуальной системой. А-1, А-2, L-1, L-2 — стандартные типы, которые мгновенно присоединяются, связаны с каким-либо компьютером; интеллектуальные машины "автономны".

Теперь обратим внимание на группу сложных контроллеров; они открывают новые перспективы для дальнейших системных разработок (рис.3).

Сложные контроллеры отличаются от других контроллеров КАМАКа своим собственным набором команд. Среди их преимуществ можно отметить, например, что адреса и функции КАМАКа могут формировать часть выходных и входных команд так, что передача между регистрами контроллера и любого другого модуля может быть реализована одной командой.

Многокаркасные системы КАМАК. Если требуется большое число модулей, используются различные решетки, соединенные второй шинной систе-

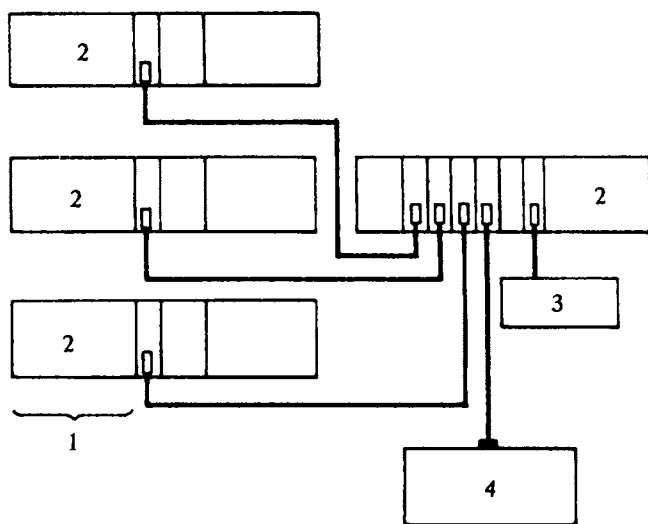


Рис. 3. Система КАМАК с распределенным интеллектом: 1 - модули пользователя; 2 - автономные контроллеры; 3 - поддерживающее запоминающее устройство; 4 - центральный компьютер

мой, так называемой магистралью. Магистраль работает как связующая линия между каркасными контроллерами, управляется либо непосредственно компьютером, либо управляющим устройством, связанным с компьютером. Основные типы магистралей: последовательные и параллельные.

Параллельная магистраль, содержащая большое количество проводов, позволяет осуществлять передачу информации с высокой скоростью, но ее длина существенно ограничивается, в основном, возможными электрическими помехами. Максимальное число каркасов — 7. Система, основанная на параллельной магистрали, называется "ветвь КАМАК". Ее диаграмма показана на рис.4.

В системах КАМАК с последовательным соединением каркасы подсоединены к последовательной магистрали. Магистраль с передачей последовательно по битам или байтам образует однопроходной контур (рис.5).

Последовательный контур может содержать до 62 КАМАК-каркасов одновременно. Несмотря на то, что скорость этих систем ниже, чем у параллельных, они могут оказаться предпочтительнее вследствие межсоединений каркасов, особенно если они распределены на большей площади.

Есть несколько свежих примеров межсоединений интеллектуальных КАМАК-каркасов или подсистем с использованием ЛС (локальных сетей, например, ETHERNET), разрабатывавшихся для обработки данных.

Форматы сообщений, поток сигналов. Сигналы передаются по шинам. Полное сообщение в КАМАКе имеет длину приблизительно 50 бит и содержит: адрес, функцию, данные, состояние, общий контроль.

Типичные времена передачи КАМАК-сообщений по различным шинам:

Шина	Время передачи сообщения
Путь данных	1 мкс - время цикла (синхронизация по времени)
Магистраль ветви	1.6 - 2 мкс (временная диаграмма квитиования)
Последовательная магистраль: для частоты передачи 5 МГц время передачи полного КАМАК-сообщения (приблизительно 13 байт)	
	3 мкс (без учета задержки в кабеле)

Если используются простые КАМАК контроллеры, большое число битов КАМАК-сообщений затрудняет передачу с высокой скоростью по шинам КАМАК, поскольку формирование полного сообщения требует нескольких команд — в зависимости от типа компьютера (подсоединенного). Поэтому реальное время цикла, включающее дополнительное время на подготовку команды или накопление данных, может достигать 10 — 30 мкс.

Вчера, сегодня и завтра КАМАКа

За годы, прошедшие с момента ее создания, система КАМАК быстро получила признание не только в физических, химических лабораториях или в лабораториях, занимающихся другими естественными науками, но и во многих других областях.

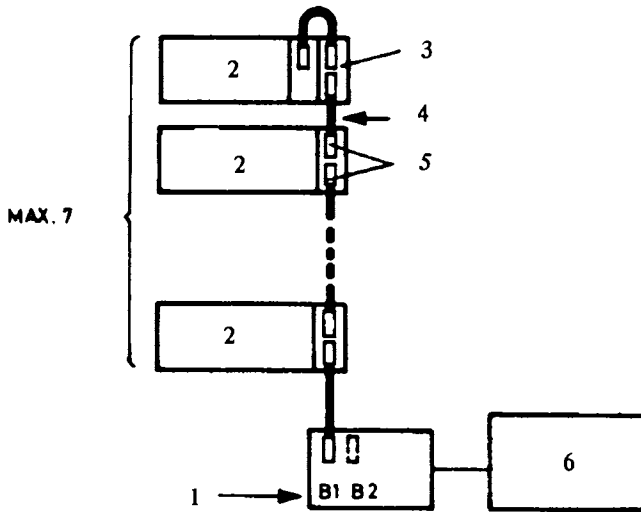


Рис. 4. КАМАК - ветвь: 1 - драйвер магистрали ветви; 2 - КАМАК-каркас; 3 - каркасный контроллер А-1, А-2; 4 - магистраль ветви; 5 - соединители; 6 - компьютер

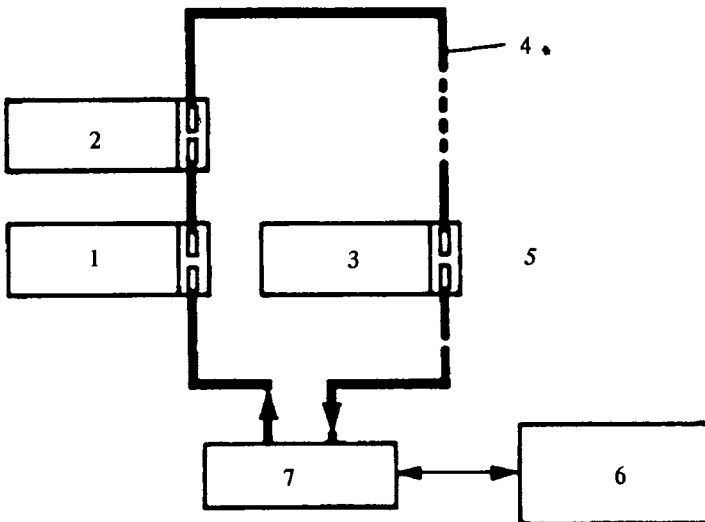


Рис. 5. Последовательная система КАМАК: 1 - КАМАК-каркас 1; 2 - КАМАК-каркас 2; 3 - КАМАК-каркас Max. 62; 4 - последовательная магистраль; 5 - последовательный решеточный контроллер типа L1, L2; 6 - компьютер; 7 - последовательный драйвер

Впоследствии рынок в определенной степени насытился и в течение более 10 лет компетентные источники предсказывали упадок КАМАКа. Однако, хотя расцвет КАМАКа, без сомнения, уже позади, все еще можно ожидать его долгой жизнеспособности.

Напомним, что с момента появления ранних КАМАКов их технология претерпела значительные изменения. Поэтому сегодня системы КАМАК все чаще содержат более сложные интегральные схемы и/или быстродействующие компоненты, также надежность электромеханических частей — в основном, многополюсных соединителей, являющихся слабым местом технического обеспечения, — значительно увеличена ведущими предприятиями-изготовителями.

Уже отмечался тот факт, что КАМАК дает возможность рассредоточить интеллектуальную систему и размещать ресурсы в удаленных местах. Это свойство широко используется, поскольку задачи, будучи более четко разделены, могут модифицироваться, также можно будет более легко разгружать компьютеры, к тому же возрастает надежность всей системы в целом.

Главным достоинством системы КАМАК является то, что она воплотила огромную теоретическую работу в сочетании с большим опытом разработок и применения. Если задача не выходит за пределы возможностей КАМАКа, этой системе все еще часто отдается предпочтение перед другими, поскольку благодаря ее тщательной и всесторонней стандартизации она не преподносит неприятных сюрпризов пользователю. В настоящее время в действующих или разрабатываемых системах часто используется КАМАК с более современными шинами, например, соединенный с VME, как в случае автономной измерительной подсистемы сбора данных КАМАК (например, CERN, VALET).

Среди всех модулей КАМАК можно предположить, что дольше всех будут жить так называемые функциональные модули КАМАК, например, такие, которые привязаны к данному передатчику или электромеханическому периферийному устройству.

Существует очень большой выбор таких модулей, при этом постоянно увеличивающийся. Вы можете сами убедиться в этом, просмотрев последние тома журнала "Приборы и техника эксперимента": почти в каждом номере содержится информация о новых функциональных модулях КАМАК. Многие универсальные модули современных систем, работающих в реальном масштабе времени, укомплектованы функциональными модулями КАМАК.

3. Перспективная система шин

Выбор наиболее подходящей пользователю шинной системы является основной проблемой при разработке систем, работающих в реальном масштабе времени. В целях удовлетворения растущих требований пользователей они должны обладать жизнеспособностью в течение длительного времени, возможностью работы со сложным техническим и программным обеспечением, большой скоростью передачи данных.

Основные направления

В течение последнего десятилетия учеными всего мира предпринимались значительные усилия для разработки новых мультипроцессорных шин. Это такие шины, как Multibus-1, VME, Multibus-II и т.п. Следует упомянуть, что комиссией ESONE совместно с комиссией NIM (США) после КАМАКа была разработана система FASTBUS. Инициатива деятельности по стандартизации шин и, естественно, финансовая поддержка, исходила не от лабораторий фундаментальных исследований, а от предприятий приборостроительной промышленности и в некоторых случаях от министерств обороны. Конечно, рано или поздно эти разработки внесут свой вклад и в автоматизацию научных экспериментов.

Как правило, эти шины имеют несколько уровней (системная шина, локальная шина, последовательная шина). Непосредственно на этих уровнях они формируют условия для передачи данных, общей многопроцессорной обработки и специальных функций в реальном времени. Простые функции в реальном времени, как правило, проще и дешевле выполнить с помощью подсистемных шин, чем с помощью вышеупомянутых систем (т.е. с помощью S-100, G 64/G 96, AMS-M, PC).

Стоит упомянуть такое направление, как чередующееся использование шин и микропроцессоров. Например, хотя в VME применяются, главным образом, популярные во всем мире процессоры Motorola 68000, существуют некоторые конструкции VME, в которых применяется процессор INTEL. Это направление также поддерживается международными организациями по стандартизации, которые стремятся облегчить производство, создав независимые стандарты со свободным (т.е. бесплатным) доступом.

(Заметим в скобках, так как это не принадлежит к главным направлениям разработок, ведущих к существенному улучшению технических параметров, что значение персональных компьютеров, в первую очередь, IBM/PC/XT/AT, будет возрастать. Эти машины на базе собственных низкопроизводительных шин играют ключевую роль в дополнительной автоматизации многих измерительных установок. Работая вместе с определенными устройствами, основанными на современных шинах, они вносят свой вклад в решение проблемы автоматизации измерений также на уровне подсистемной шины. К тому же они могут использоваться в инструментальных программах и в качестве "интеллектуальных" устройств для операторов).

Следующей характеристикой эволюции является то, что макетные/испытательные системы все больше отделяются от целевых систем. Другими словами, главное, что требуется от макетных систем — иметь максимальную емкость запоминающего устройства и дисков и гибкую операционную систему, тогда как от целевых систем требуется минимальная конфигурация, частично из соображений экономии, частично — для увеличения надежности.

В процессе развития новых видов шин обычный централизованный арбитраж все больше уступает место распределенному арбитражу. КАМАК работает по принципу физической адресации для установления, присоединено ли устройство к данному гнезду шины (соответствующему положению модуля в каркасе КАМАК), и выяснения назначения этого устройства. (Так называемая географическая адресация).

Другое свойство современных высокопроизводительных шин — замена общепринятого прерывания виртуальным: специальным сообщением прерывания, содержащим названия источника, целевого терминала и ин-

формацию (так называемый вектор), необходимую для работы; виртуальное прерывание играет значительную роль в многопроцессорной обработке, когда любой процессор может запросить помощь любого другого процессора. Предположим, что количество процессоров n , тогда при общепринятой процедуре прерывания потребуется $n(n - 1)$ индивидуальных проводов прерывания.

Повышение надежности шин является всеобщим желанием. В некоторых системах среди других факторов этому содействует распределенный арбитраж и контроль по четности передаваемой информации. Например, поломка процессора не парализует работу остальных процессоров, более того, если используется распределенный арбитраж, они могут принять на себя функции вышедшего из строя процессора.

Системы последнего поколения, хотя и развивались по различным направлениям, почти без исключения схожи в одном аспекте: в их высокопроизводительных шинах и подсистемных шинах, а также системных элементах и модулях, основанных на таких шинах, используются механика EURO и соединители EURO DIN. Этого самого по себе достаточно для создания в обозримом будущем новых современных автоматизированных измерительных систем на базе одного всеохватывающего стандарта в виде закрытой, почти моногамной линии, соединяющей разработчиков и пользователей в век КАМАКА.

Сегодня имеется множество новых систем, находящихся на различных уровнях разработки, производства и поступления на рынок, и очень важным шагом является принятие (или пересмотр) решения, какое из высокопроизводительных периферийных устройств, работающих в реальном масштабе времени, должно на долгое время завоевать широкого потребителя.

Для облегчения выбора необходимо взвесить следующие общие аспекты в порядке их важности:

1. Перспективная совместимость.
2. Доступность для нескольких источников.
3. Принятый стандарт.
4. Стоимость.
5. Ширина полосы пропускания.
6. Эксплуатация и обслуживание.
7. Распространенность.
- 8 "Ширина" шины данных.
9. Независимость от типа процессора.
10. Арбитраж.
11. Размеры платы.
12. Соединители.

В добавление к сказанному выше, также существенно, чтобы выбранная шина имела достаточное число свободных линий, тем самым содействуя расширению функций на последующей стадии разработки.

Для иллюстрации сказанного посмотрим на таблицу, содержащую некоторые основные параметры нескольких шин типа EURO.

Основываясь на приведенных выше общих положениях и конкретных, однако лаконичных данных, можно ожидать, что во главе списка будущих высокопроизводительных периферийных систем, работающих в реальном масштабе времени, будет шина Future-bus, на втором месте — Multibus-II, на третьем — VME. Однако Future-bus имеет довольно ограниченное применение вследствие своих требовательных, а значит усложненных техни-

Характеристики шин

Шина (год введения)	Кол-во информац. компонент		Активные $\Sigma_{\text{контакт}}$	Синхронизация: асинхр.-синхр.
	данные первичный (вторичный)	адрес первичный (вторичный)		магистраль данных: мультипл. - немультипл.
FUTURE-BUS (1986)	32 /24, 16, 8/	32	67 /96/	Асинхр. мультиплекс.
NUBUS (1983)	32 /16, 8/	32	49 /96/	Синхр., 10М мультиплекс.
MULTIBUS-II (1983)	32 /24, 16, 8/	32	67 /96/	Синхр., 10М мультиплекс.
VME (1981)	16 /32, 24, 26, 8/	24 /32/	107 /128/	Асинхр. немультипл.
AMS-M (1982)	16 /8/	24	72 /96/	Асинхр. немультипл.
G-96 (1983)	16 /8/	24	72 /96/	Синхр/Асинхр. немультипл.
G-64 (1979)	16 /8/	16 +1	53 /64/	Синхр/Асинхр. немультипл.
SMP (1980)	8 /16/	20	57 /96/	Синхр., 8М немультипл.

¹ Целостность: P- контроль по четности; PF — отказ; SF — повреждение в системе; перерыв.

² Новый тип функции шины: GA — географическая адресация; AC — автоконфигурация;

³ Во включенном состоянии.

типа EVRO

Арбитраж	Прерыва- ние	Целостность ¹	Новый тип функции шины ²	Ширина полосы, Мбит/с
Дистриб.	Виртуал.	A-D 1 бит/байт, + 2 бит др. P, RS	GA, AC, LI, CA	117.6
Дистриб.	Виртуал.	A-D 1 + 1 бит др. P, RS	GA	37.5
Дистриб.	Виртуал.	A-D 1 бит/байт P, SE, TO, RS, PF, +	MPC, GA ³ , AC ³	40
Центр.	7 линий	PF, SF, SR	—	20 - 57
Центр.	8 линий	6 сигн. (по выбору пользователя): RF, SE, RS, TO	—	10
Дистриб.	6 линий	1 бит данные P, SF, RS	—	4 - 10
—	3 линий	1 бит данные P, RS	—	—
—	1 линий	RS ввод/вывод	—	—

R8 — возврат в исходное состояние; SR — возврат системы; SE — системная ошибка; TO —

LI — вставки; CA — касса; MPC — передача сообщения.

ческих условий, поэтому реально можно говорить о выборе между Multibus-II и VME.

Изучив публикации в специальных журналах и труды конференций, опубликованные за последние несколько лет или только за 1989-1990 гг., нельзя не увидеть, что доминирует система VME. Среди всех новых систем эта, подобно КАМАКу, прошла спиральный путь развития, росло число разработчиков, производителей и продавцов — больше и больше пользователей — увеличивается опыт (основываясь на нем, усовершенствование) — рост объема производства, продажи, применений и т.д. В соответствии с этим необходимо дать общее описание и подчеркнуть отдельные свойства системы VME.

Шина VME и условия ее эксплуатации

Из истории VME. В конце 70-х годов специалистами фирмы Motorola была разработана макетная система для второго поколения микропроцессоров 68000. Задняя панель этой системы была названа VERSABUS, также было разработано семейство модулей, присоединяемых к ней, под названием VERSAmodules.

После автоматизации систем Motorola Mostek и N.V.Philips/Signetics присоединились к разработкам новых микросхем процессоров типа 68000 и модулей, выполненных на платах. Они решили положить в основу своих разработок шину вида VTSAbus-E, которую они назвали шиной VMEbus. За первой спецификацией на VMEbus последовали другие.

В 1982 г. фирмы, производящие шины VME, а их число постоянно увеличивалось, привели технические условия на механическую часть в соответствии со стандартом Eurocard Standart IEC 297-3. В этом же году IEC начал разработки по приведению предписаний для VME шины к международному стандарту. Затем в 1983 г. IEEE создал свою группу для стандартизации VME. IEC и IEEE получили много полезных результатов, на основе которых специалисты Motorola разработали версию технических условий на шину VME для обеих структур стандартизации в виде общего документа. Стандарт IEC был выпущен в 1986 г., стандарт IEEE — в 1987 г.

Для координации деятельности производителей и пользователей VME в 1984 г. была создана Международная торговая ассоциация по шинам VME VITA. Эмблема VITA представлена на рис. 6.

Эталоны характеристик систем VME. Среди основных положений спецификации системы мы хотели бы привести здесь одно, которое, по нашему мнению, наилучшим образом отражает сущность принципа работы VME: стремление достичь высокой степени приспособляемости: "чтобы дать свободу дизайнерам, чтобы они могли оптимизировать стоимость и/или производительность, не воздействуя на совместимость". Эти намерения также прослеживаются в методе межсоединения основных элементов системы (рис.7).

На рис.8 показаны наиболее важные блоки и шины интерфейса системы VME.

Некоторые особенности шины VME (по спецификации на шину VME, Rev. C.1). Так называемая задняя панель шины VME представляет собой печатную плату с 96-контактными соединителями, соединенными между собой сигнальными линиями. Они сгруппированы следующим образом:

шина передачи данных (ШПД);

шина приоритетного прерывания;
шина арбитража данных;
шина обслуживания программы.

Каждая сигнальная линия на задней панели имеет ассоциативный характеристический импеданс Z_0 . Следует избегать разрывов и рассогласований Z_0 для обеспечения быстрого распространения и малого искажения сигнала.

Нам кажется, что наилучшим образом систему можно охарактеризовать, выбрав два из правил регулирования ШПД.

Модификация адреса:

"Имеется 6 линий модификации адреса. Коды модификации адреса классифицируются на 3 категории:

- определенные,
- резервные,
- определенные пользователем".

"Подчиненные панели НЕ ДОЛЖНЫ отвечать на резервные модификационные коды". "Эти коды не подлежат усовершенствованию" (т.е. дальнейшему улучшению стандартов VME).

Конвейерная обработка адресов. Шина VME стробирует адреса и данные отдельными сигналами. Это позволяет задающему устройству выдавать адрес для последующего цикла, в то время как данные предыдущего цикла еще передаются. Это означает, что соседние циклы перекрываются, давая возможность передавать данные с большой скоростью.



Рис. 6. Эмблема VITA

Взгляд в будущее системы VME

По нашим оценкам, система VME будет сохранять свою ведущую роль среди заднепанельных шин в течение, по крайней мере, еще пяти лет (ее создатели и сторонники считают, что 10 лет). В дополнение к вышеуказанным преимуществам можно назвать еще два обстоятельства:

а) производительность системы VME позволяет удовлетворить большинство настоящих и ожидаемых в будущем запросов;

б) международная группа VME в настоящее время и, вероятно, в обозримом будущем, будет легко модифицироваться в соответствии с требованиями развивающейся автоматизации измерений. Например, структура из 16 битов была усовершенствована в 32-битовую и уже выполнен анализ для создания 64-битовой структуры для улучшения спецификаций шины.

(Стоит упомянуть недавнее достижение — введение так называемой функции Retry, разъединяющей взаимоблокировки, возможные в системах с двойными шинами). Конечно, часто дополнительные улучшения в течение многих лет приводят к "синдрому рождественской елки", т.е. к тому, что в устройствах VME появляются дополнительные подкарты, применяемые к уже существующим, то же и с дополнительными соединителями. И с такими "шрамами от пластических операций" система должна постоянно

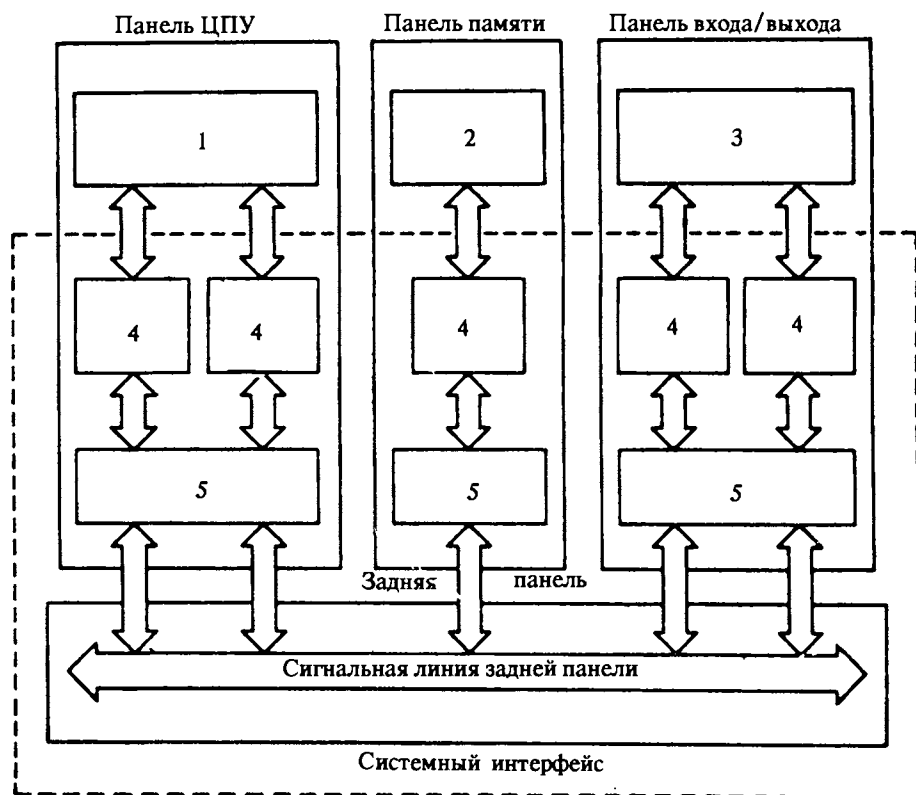


Рис. 7. Элементы системы VME: 1 - устройство обработки данных; 2 - устройство накопления данных; 3 - устройство ввода/вывода данных; 4 - универсальный модуль; 5 - логический интерфейс задней панели

соревноваться с более молодыми, новыми, потенциально более современными шинами, такими, как уже упоминавшиеся Multibus-II или FUTUREBUS.

Непросто создать современную систему, работающую в реальном масштабе времени, в которой ни модули, ни другие системные элементы не будут преподносить пользователю неприятные сюрпризы. По этой причине мы подчеркнем тот факт, что Комиссия европейского сообщества недавно учредила проект Стандартизованного тестирования шинных интерфейсов (VICT). Цель этого проекта — вооружить Европейскую информационно-техническую сертификационную систему аппаратным и программным обеспечением, позволяющим проводить тестирование изделия на соответствие его стандарту. Блок-диаграмма на рис.9 иллюстрирует суть этой процедуры.

Партнеры по проекту VICT концентрируют усилия на создание служб по стандартам шин VME и Multibus-II.

Владельцы и потребители систем VME пытаются продлить продолжительность жизни VME, главным образом, за счет объединения системы (путем использования соответствующего технического обеспечения и расширения программного обеспечения) с другими системами, работающими в определенных областях, и/или подающими надежды на будущее. В качест-

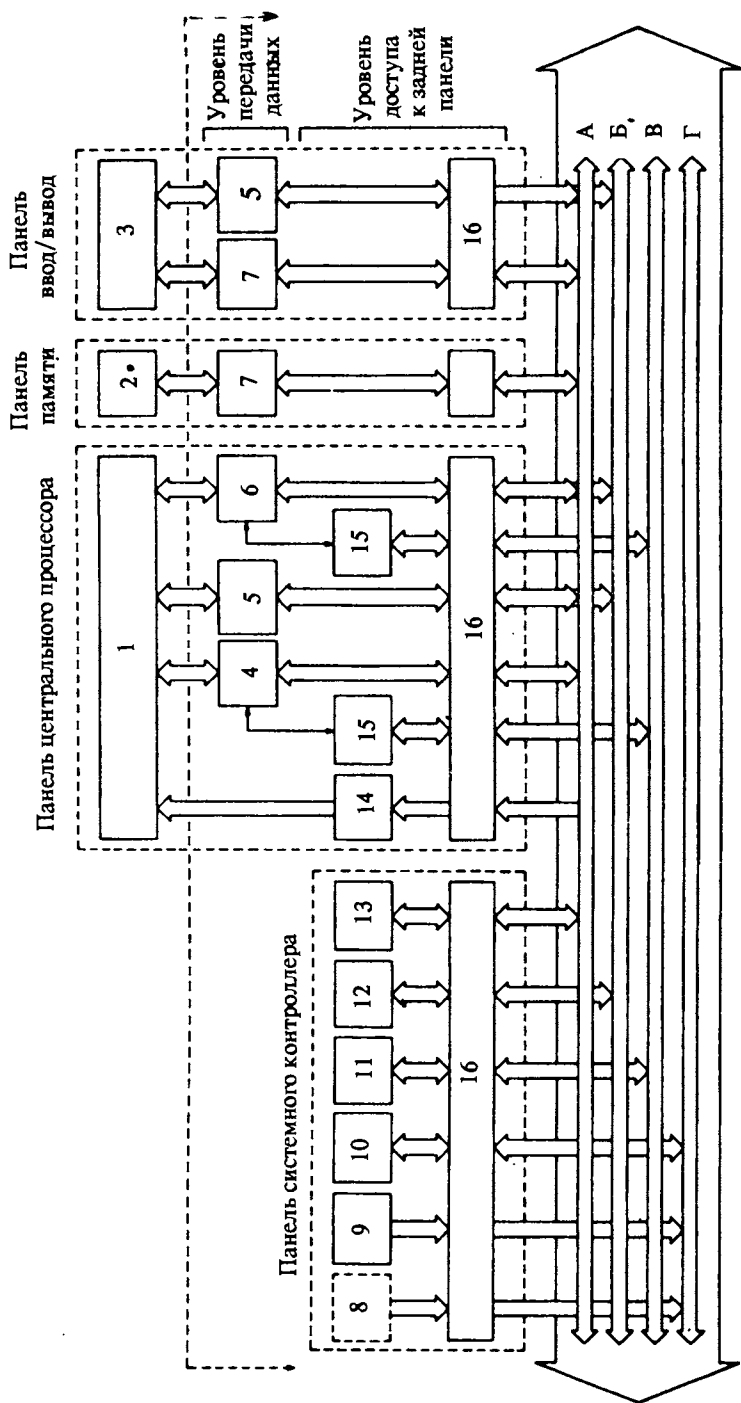


Рис. 8. Общий вид системы VME: 1 - устройство обработки данных; 2 - устройство накопления данных; 3 - устройство ввода/вывода данных; 4 - задающее устройство; 5 - прерыватель; 6 - манипулятор прерывания; 7 - исполнительный механизм; 8 - последовательный тактовый драйвер; 9 - системный тактовый драйвер; 10 - монитор мощности; 11 - система разрешения конфликтов; 12 - драйвер потерь гирлянды; 13 - шинный таймер; 14 - монитор местоположения; 15 - запрашивающее устройство; 16 - заднепанельный логический интерфейс (ЗЛИ). А - передача данных; Б - приоритетное прерывание; В - распределенный арбитраж; Г - утилиты

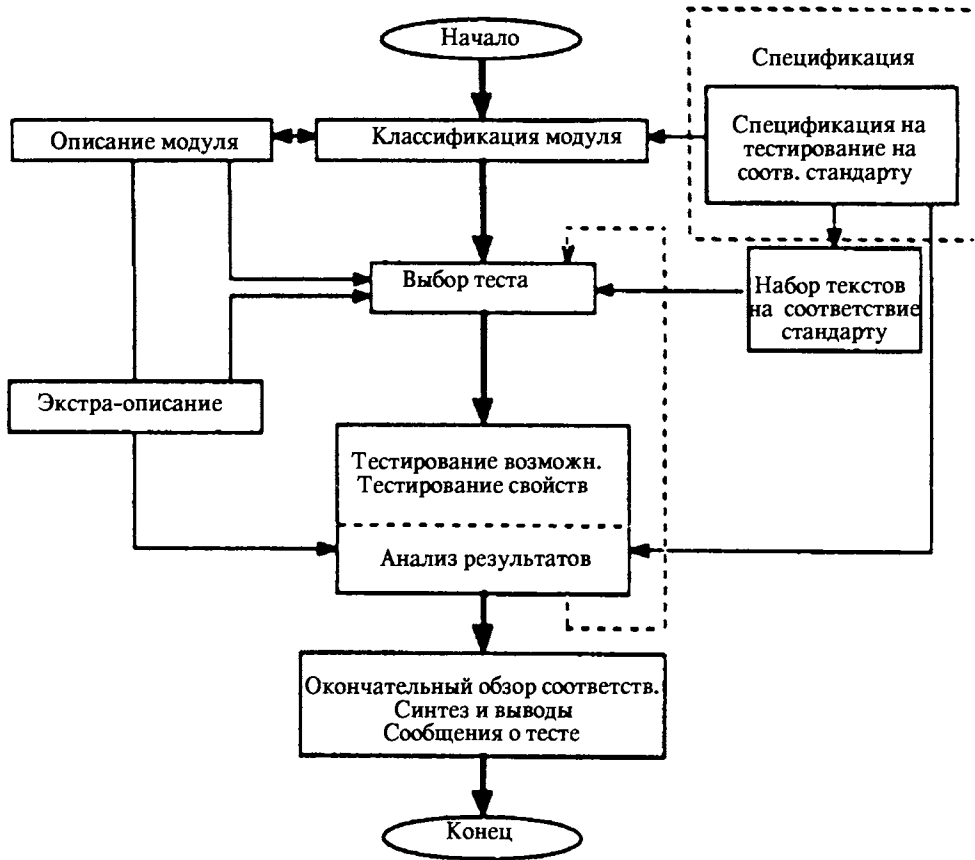


Рис. 9. Предполагаемая тестовая процедура для VICT

ве примера можно привести VFEA (VME Futurebus + расширенная архитектура).

Следующим фактором увеличения продолжительности жизни VME является то обстоятельство, что шины VSB и VIS были разработаны в согласовании с системой VME. Из этого следует:

– VSB (VME подсистемная шина, 1986 г.) – вторая шина для выполнения/поддержки многопроцессорной обработки и передачи большого количества данных внутри каркаса;

– VIS (VME международная система, 1989 г.) – предназначена для параллельных соединений нескольких каркасов VME между собой.

Futurebus+. Эту шину можно считать подающей большие надежды в смысле ускорения передачи данных в соответствии с требованиями экспериментальной физики высоких энергий.

Система Futurebus+ на шинной структуре шириной 32, 64, 128 или 256 бит. Арбитражный принцип системы удовлетворяет требованиям как конфигурации, основанной на приоритетах, так и конфигурации, основанной на равных возможностях.

"Пиковые значения ширины полосы пропускания", или максимальные скорости передачи данных приведены на рис. 10, который неявным образом иллюстрирует открытый характер системы.

Стандарт Futurebus+, включающий более высокие уровни системной технологии, был создан путем улучшения и расширения технических условий на Futurebus, стандартизованных в проекте IEEE 8896.1 в 1987 г. (сейчас на стадии завершения).

Знак "+" означает возможность расширения спецификации системы, т.е. то обстоятельство, что разработки компьютерного аппаратного (запасные части и техника) и программного обеспечения могут легко применяться в данной системе, а также приспособляемость системы к индивидуальным требованиям структур специального применения с одновременной гарантией отличной совместимости с другими устройствами, которые будут находиться на любой стадии системного развития.

В обзоре, представленном д-ром П.Боррилем на конференции ESONE в Цюрихе "Исследования по VME шинам", сделан прогноз ожидаемых направлений применения шин VME и других относительно новых систем (рис.11).

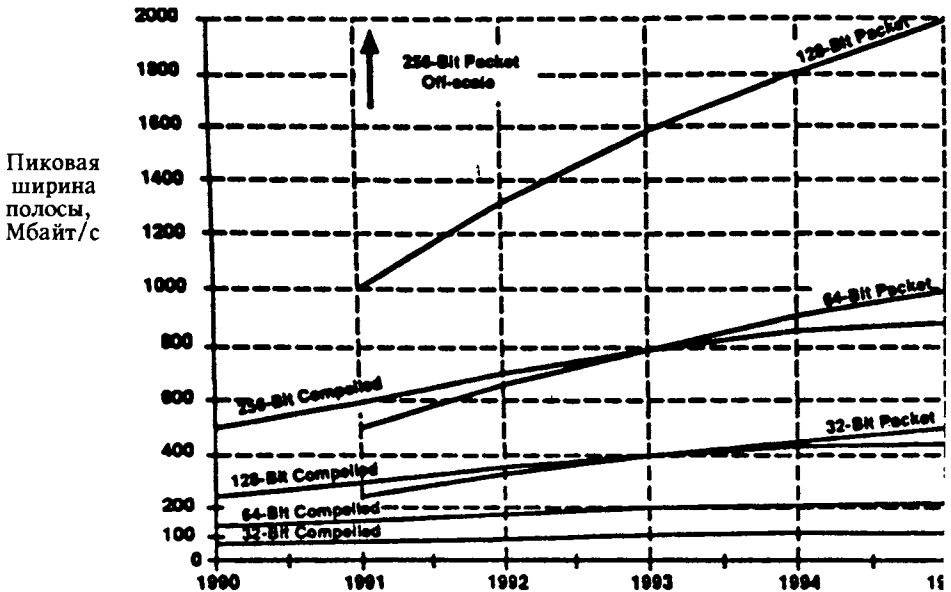


Рис. 10. Ширина полосы пропускания (пиковая) шины Futurebus+ по протоколу

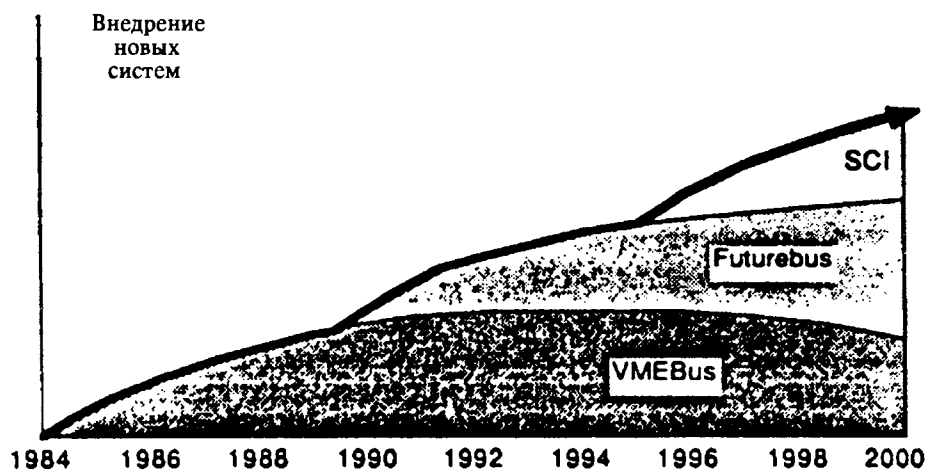


Рис. 11. Технологические направления применения новых систем, основанных на VME и VME-стандартах по годам

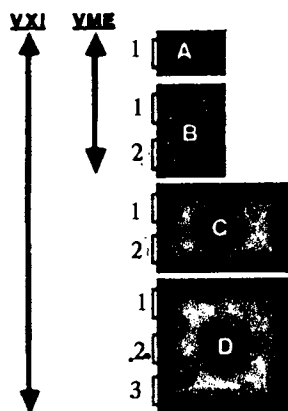
На рис. 11 обозначение SCI (масштабируемый когерентный интерфейс) относится к параллельной/последовательной кольцевой структуре, способной принимать узлы до 64 к со скоростью передачи данных 1 Гбайт/с. Рабочая группа IEEE начала создавать основу этой структуры, которая с точки зрения стоимости, присущей передовым технологиям, будет обязательно ограничена применением в физике высоких энергий.

Система VXI

В заключение хотелось бы затронуть относительно новую и перспективную систему, заслуживающую специального внимания в отношении автоматизации научных экспериментов. Аббревиатура VXI означает: расширение VME для измерительных приборов. Разработка этой системы инициировалась Воздушными Силами США для усовершенствования приборов автоматического контроля. Позже к проекту примкнули некоторые производители приборов. Они обнаружили, что шины HP IEEE-48 IEC-625, обеспечивающие невысокую автоматизацию измерительных приборов, отстают от растущих требований, подобно КАМАКу, и что требования комплексной автоматизации измерений, включающие требования к бортовым приборам, лучше всего могут быть удовлетворены путем расширения системы VME. На рис.12 проиллюстрирован принцип работы системы VXI и ее основные особенности.

В дополнение хотелось бы упомянуть, что механическая конструкция системы обеспечивает низкий уровень шумов, что требуется для измерений с высоким разрешением, тогда как электрическая часть обеспечивает точное согласование по времени распределения сигнала для выбранного числа триггерных или тактовых сигналов.

Рис. 12. Шинная система VXI основана на спецификации шины VME с двумя дополнительными размерами и с 2x96 заднепанельными сигналами контрольно-измерительной аппаратуры: 1 - VME компьютерная шина (16-битовая передача данных; 16-мегабайтная адресация, мультиуправляемый арбитраж, приоритетное прерывание, утилитарная шина); 2 - центральный ряд добавляет (VME 32-битовые данные и 4-гигабайтная адресация); внешние ряды - VXI добавляют (10 МГц тактовая частота, триггерная шина TTL & ECL, 12-контактная локальная шина - аналоговая шина SUM, шина идентификации модулей, шина распределения мощности); 3 - VXI повышает производительность (100 МГц тактовая частота, триггерная шина ECL Star, 24-контактная локальная триггерная шина ECL, шина распределения мощности). A - $3.9 \times 6.3^\circ$; B - $9.2 \times 6.3^\circ$; C - $9.2 \times 13.4^\circ$; D - $14.4 \times 13.4^\circ$



Как весь накопленный к настоящему моменту опыт, так и теоретическое рассмотрение показывают, что VXI может удовлетворить требования измерительных систем сбора данных любого типа независимо от того, подаются ли эти данные с большой скоростью от нескольких источников или происходит обслуживание исследовательских или других лабораторных систем, оперирующих большим количеством параметров на средних или малых скоростях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Szlavik F. et al. Development of Correlation Instruments/ International Atomic Energy Agency Research Contracts, Series N 144. Final Report IAEA-R-855F, Vienna, 1973.
2. Biri J., Lukacs J. CAMAC Peripheral System (in Hungarian). -- Müszaki Könyvkiado, Budapest, 1976.
3. Biri J., Gígler J. Perspective Real-Time Peripheral System Project. V. 1.01 (in Hungarian)/ Central Research Institute for Physics, Budapest, 1987.
4. Motorola Inc.: The VMEbus Specification Rev. C.1. -- Micrology Inc., USA, 1985.
5. VMEbus in Research/ Proc. of ESONE International Conference, ETH Zurich, Elsevier, Amsterdam, 1988.
6. New Backplane Bus Architectures/ Proc. of ESONE VMEbus Workshop, CERN, Geneva, 1990.

Рукопись поступила 20.05.91