

УДК 539.1.07+621.384.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «ОТКРЫТЫХ» СТАНДАРТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Смирнов В.А.

В работе рассматриваются вопросы автоматизации установок Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, ориентированной на проведение экспериментальных исследований в области физики высоких энергий и релятивистской ядерной физики. Для построения систем автоматизации используется электронная аппаратура, выполненная в «открытых» стандартах. Показаны основные особенности создания средств автоматизации для экспериментальных установок, стендов и ускорителей. Обсуждаются возможности использования средств и методов автоматизации производственных процессов при разработке отдельных подсистем контроля и управления ускорителем.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

An Automation of Physics Research on Base of Open Standards

Smirnov V.A.

A wide range of problems is considered concerning an automation of Laboratory of High Energies, JINR set-ups oriented to carry out the experimental researches in high energy and relativistic nuclear physics. Electronics of discussed automation systems is performed in open standards. Main peculiarities in the creation process of automation tools for experimental set-ups, stands and accelerators are shown. Some possibilities to build some accelerator control subsystems on base of industrial automation methods and techniques are discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

1. Введение

В Лаборатории высоких энергий, ориентированной на проведение экспериментальных исследований в области физики высоких энергий (ФВЭ) и релятивистской ядерной физики (РЯФ), автоматизации подлежат три основных типа установок: спектрометры, ускорители и стенды. В связи с этим часто возникает проблема выбора аппаратных средств, необходимых и достаточных для их автоматизации.

При создании систем автоматизации используется большой набор устройств, которые разрабатываются для частных применений в самой лаборатории и, как правило, плохо документированы, что вызывает затруднения при их обслуживании и воспроизведении. Преодолению этих недостатков способствует МОДУЛЬНОЕ исполнение аппа-

ратуры в одном из СТАНДАРТОВ электроники, а также СТАНДАРТИЗАЦИЯ таких основных элементов, как коммуникационные шины, элементы связи, операционные системы и т.п. Аппаратура автоматизации разбивается на конечное число заменяемых логических компонентов и функциональных блоков, организация которых позволяет достаточно просто вводить в систему любое новое устройство независимо от того, где оно произведено. При этом достигается уменьшение стоимости и обеспечивается легкость в обслуживании и модернизации систем автоматизации. Мировой рынок предлагает достаточно большой ассортимент электронных средств и следует выбирать изделия, выполненные на модульной основе, в соответствии со стандартами, используемыми в большинстве близких по тематике лабораторий.

Наиболее полного успеха при построении систем автоматизации удастся добиться при использовании аппаратуры, не связанной с конкретным производителем и созданной на основе ОТКРЫТЫХ стандартов.

Термин «открытость» означает отсутствие на стандарт патентов или авторских прав, его безлицензионное использование и включает в себя открытое обсуждение положений стандарта, гибкость и способность к восприятию новейших технических решений [1]. Права собственности принадлежат некоммерческим международным организациям. За последние 10 лет системы, созданные на основе «открытых» стандартов, завоевали около 90% рынка автоматизации. К «открытым» стандартам средств автоматизации, используемым или имеющим перспективы применения в области физики высоких энергий, относятся: CAMAC, VME (и сопряженный с ним VSB), FASBTUS, VICbus, FUTUREBUS+, SCI и Fieldbus.

2. Автоматизация спектрометров

На спектрометрах, работающих в области ФВЭ и РЯФ, изучаются процессы, характеризующиеся очень низкой вероятностью их проявления, на фоне процессов, на несколько порядков более вероятных. На рис.1 показаны сферы применения средств вычислительной техники в эксперименте. Значительная часть их необходима для организации системы сбора данных (ССД). Даже сравнительно небольшая по количеству входящих в ее состав детекторов современная установка включает в себя несколько сотен каналов регистрации, что дает представление о том объеме электронной аппаратуры, который необходим для преобразования информации, получаемой с детекторов, в набор цифровых данных, а также для организации сбора данных и их хранения. Аппаратную основу ССД составляют модули ядерной электроники, средства вычислительной техники (ВТ), к которым относятся ЭВМ и модули ВТ, выполненные в одном из ее стандартов (CAMAC, VME, FASTBUS и т.п.), а также интерфейсы ЭВМ.

Экспериментальные установки в ФВЭ и РЯФ предназначены для проведения исследований на ускорителях заряженных частиц. Как правило, время работы экспериментальной установки на ускорителе строго ограничено. Это обстоятельство при-

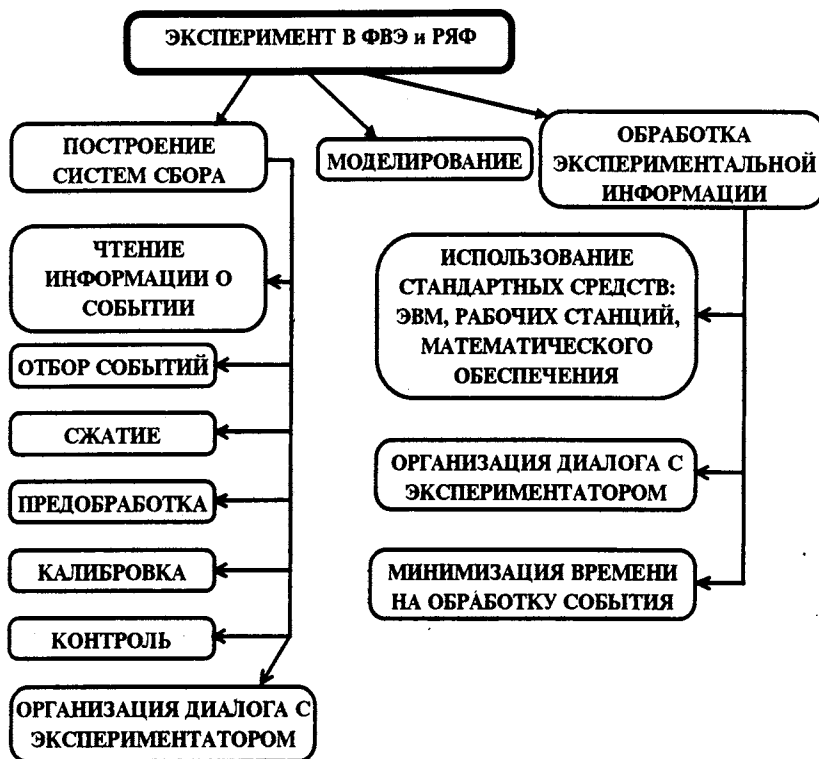


Рис.1. Использование вычислительной техники в эксперименте

водит к необходимости построения высокопроизводительных ССД, которые позволяют регистрировать достаточное количество событий изучаемого физического процесса за минимально возможное время ее экспозиции на ускорителе. Таким образом, основной задачей ССД является регистрация максимально возможного количества полезных событий в единицу времени. На этот процесс в первую очередь влияют эффективность отбора событий и время, затрачиваемое на чтение данных о событии, которые, в свою очередь, зависят от способа организации ССД.

Практически вся история создания ССД для спектрометров связана с использованием «открытых» стандартов [2]. В 70-е годы создавались ССД централизованного типа. Они были основаны на применении малой ЭВМ и электронной аппаратуры в стандарте САМАС для регистрации сбора и накопления данных (см. рис.2а). Дальнейшее развитие экспериментальной методики потребовало внедрения в состав ССД многочисленных процессорных устройств, которые нужно было распределять по системе и организовывать их параллельную работу. Кроме того, САМАС ограничивал скорость передачи данных (3 Мбайт/с). В настоящее время ведутся работы по модернизации стандарта САМАС в направлении увеличения скорости передачи до 60 Мбайт/с [3].

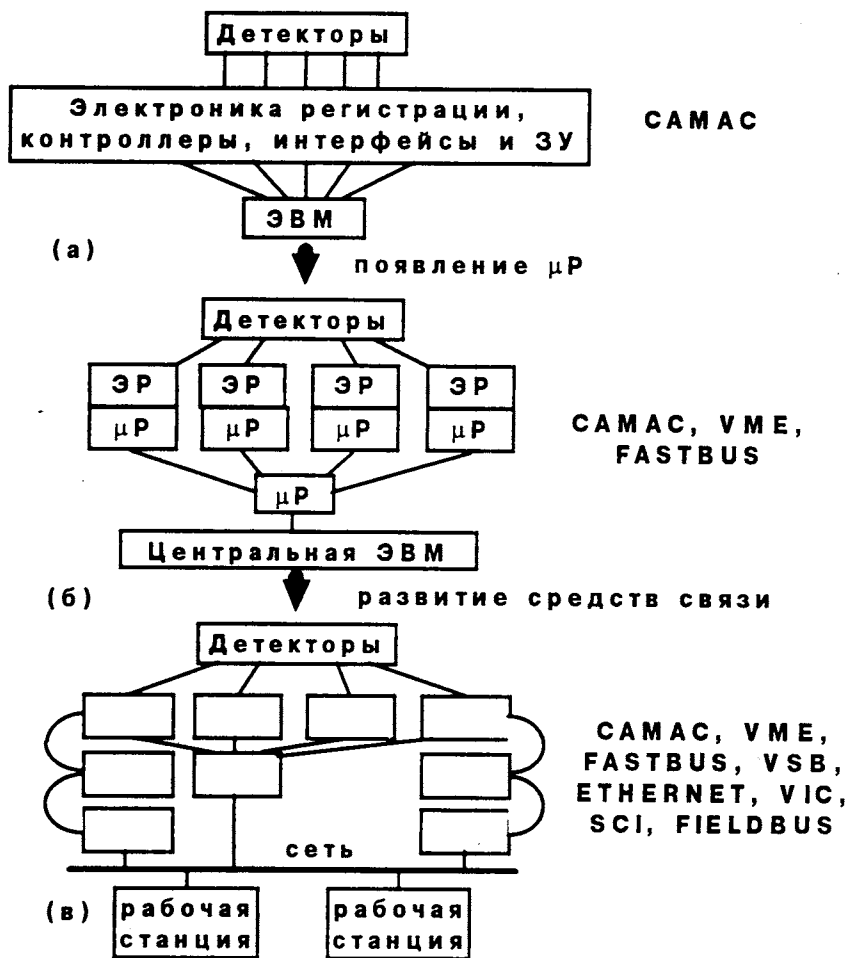


Рис.2. Эволюция принципов архитектурного построения ССД

Появление микропроцессоров (μP) и такого стандарта многопроцессорной модульной магистрали, как VME, обусловило переход к новому архитектурному построению ССД (см. рис.26). Основной единицей построения аппаратуры в стандарте VME является крейт с магистралью. Новый способ организации основан на использовании центрального крейта VME, магистраль которого предназначена для объединения и обеспечения одновременной работы нескольких процессорных устройств. Введение хотя бы одного процессорного элемента в каждом из кластеров электронной аппаратуры, относящегося к отдельному детектору, обеспечивает одновременный съем информации по нескольким параллельным ветвям. Одному из процессоров отводится роль центрального. Он синхронизирует работу всех элементов системы по сбору данных о событии и

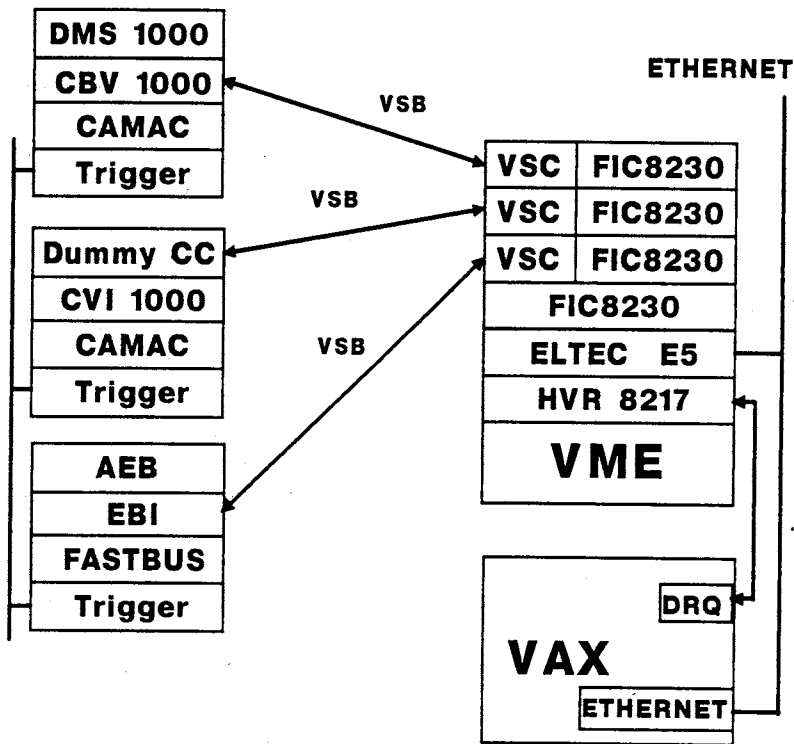


Рис.3. Блок-схема ССД, объединяющей электронную аппаратуру различных стандартов

составляет полное событие на основе информации из отдельных подсистем. В такую систему могут входить процессоры для проведения экспресс-анализа данных непосредственно в ходе эксперимента, а также для графического представления принятой и переработанной информации, что обеспечивает оперативный контроль за ходом эксперимента. Кроме того, при таком способе образования системы происходит объединение электронных модулей, выполненных в различных стандартах [4]. К настоящему времени проведено усовершенствование стандарта VME [5], с целью использования его для адресации и передачи данных 64-разрядных кодов одновременно по линиям адреса и данных. При этом новые модули могут работать на одной магистрали крейта VME вместе со старыми. В ближайшем будущем предполагается вести усовершенствование стандарта VME в следующих направлениях [6]: передача блока данных с синхронизацией по обоим фронтам синхросигнала; организация передачи данных одновременно к нескольким модулям; возможность замены модулей без выключения питания; введение дополнительных заземляющих контактов за счет установки новых

160-контактных пятирядных разъемов: географическая адресация; введение нового разъема P0/J0 (между разъемами P1/J1 & P2/J2).

Говоря о развитии VME, необходимо упомянуть о стандарте PCI, который на сегодняшний день является доминирующим средством расширения как большинства локальных магистралей, являющихся основой современных компьютеров, так и магистрали VME [7]. PCI предоставляет возможность мезонинного подключения или расширения таких локальных вычислительных ресурсов, как ОЗУ, сеть, диски, аппаратные специализированные процессоры и т. п. По магистрали PCI данные могут передаваться со скоростью 132 Мбайт/с или 264 Мбайт/с при удвоении ширины магистрали, а скорости 528 Мбайт/с предполагается достичь, удваивая тактовую частоту магистрали.

Один из способов объединения аппаратуры, выполненной в стандартах VME, FASTBUS и CAMAC, создан в GSI (Дармштадт, Германия) (см. рис.3). В качестве средства объединения для работы на расстояния до 50 м используется модифицированная стандартная магистраль VSB, которая является дополнением и расширением стандарта VME [8]. Специализированный адаптер магистрали VSB устанавливается со стороны разъемов VSB магистрали VME и обеспечивает передачу сигналов VSB в виде дифференциальных сигналов. Магистраль дифференциальных сигналов VSB получила название VDB. Она обеспечивает передачу 32-разрядных данных со скоростью 2 Мбайт/с на расстояния до 5 м и со скоростью 1,2 Мбайт/с на расстояния 50 м. В качестве модуля управления магистралью VDB может быть выбран любой одноплатный процессор в стандарте VME, имеющий выход на VSB. Одним из примеров использования VDB-магистрали является построение системы сбора данных для экспериментальной установки OBELIX в ЦЕРНе. На рис.4 приведена блок-схема этой системы. В качестве регистрирующей части электронной аппаратуры используются 8-разрядные flash-ADC, имеющие скорость преобразования 100 МГц. Эти АЦП располагаются в специализированных крейтах, там же размещаются модуль подавления нулевой информации (SIM), программируемый модуль распределения тактовой частоты (SAM) и два процессора обработки сигналов (DSP), предназначенные для сжатия информации в реальном масштабе времени. DSP проводят анализ формы импульса и запоминают результаты анализа в специальном буфере ЗУ, который может быть прочитан по магистрали VDB расположенным в VME-крейте процессором (FEP). Потоки данных проходят через три уровня VME-процессоров. Сборку полного события по всем детекторам и запись на ленту выполняет центральная ЭВМ.

Широкое распространение в настоящее время получил также способ организации систем на основе VIC-магистрали, созданной для образования межкрейтной связи между крейтами VME [9,10]. VICbus является мультиплексной магистралью, объединяющей много управляющих и управляемых модулей. Передача данных осуществляется со скоростью до 10 Мбайт/с на расстояния до 100 м. Передатчики дифференциальных сигналов обеспечивают одновременный доступ ко многим устройствам, таким образом раз-

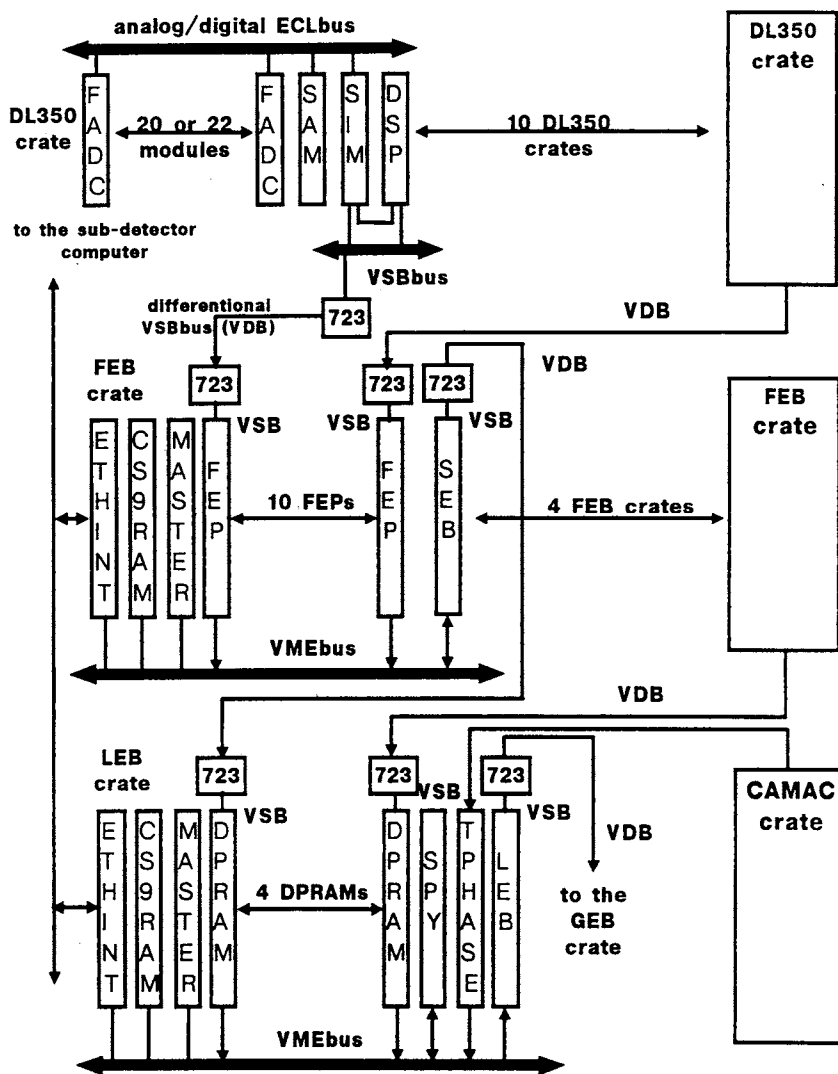


Рис.4. Блок-схема для экспериментальной установки OBELIX

решая работу в режимах трансляции и общего вызова. На рис.5 приведена схема подключений различных устройств к магистрали VIC.

С начала 90-х годов в связи с активным развитием коммуникационных средств архитектура ССД приобретает вид показанной на рис.2в. Объединение процессорных устройств, распределенных по уровням системы, производится на основе использования наиболее развитых сетевых стандартов, таких, как ETHERNET, SCI и Fieldbus. Стандарт HIPPI является идеальным средством связи при построении современной

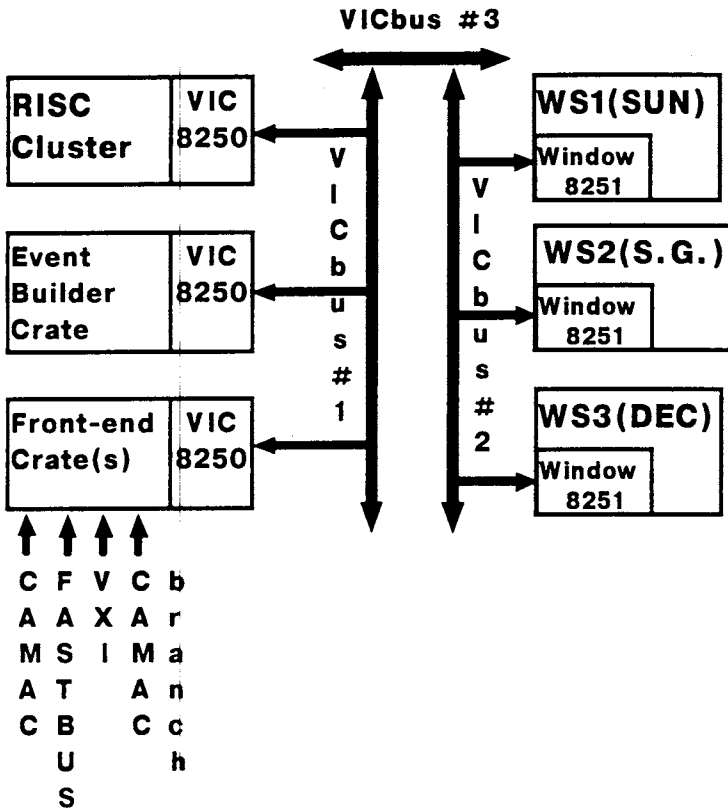


Рис.5. Схема подключений различных устройств к магистрали VIC

ССД, в которой требуется передавать потоки данных до десятков мегабайт в секунду. Одним из примеров решения этой проблемы служит NA48 (ЦЕРН) [11]. Стандарт ATM определяет механизм переключения потоков данных. Он обеспечивает передачу данных со скоростями от 100 до 622 Мбит/с. Этот стандарт более всего применим для создания сетей [12].

В настоящее время в ЦЕРНе ведутся исследования возможности применения стандарта SCI (Scalable Coherent Interface — IEEE-1596) для установок, создаваемых для работы на LHC (Large Hadron Collider) [13,14]. SCI обеспечивает связь, которая разработана по подобию модульной магистральной шины, между отдельными элементами сети, соединенными в кольцо. Возможна организация более сложных структур SCI с использованием специализированных мостовых элементов. На рис.6 показана такая структура, позволяющая также решать проблему объединения аппаратуры, выполненной в различных стандартах. Скорость передачи данных по линии SCI может

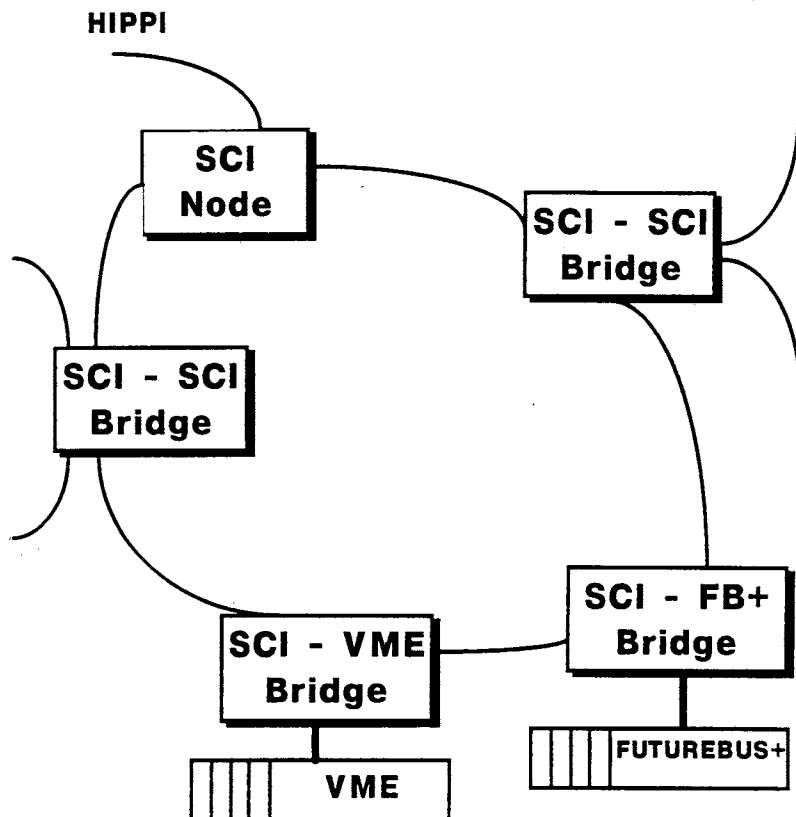


Рис.6. Организация системы на основе стандарта SCI

достигать 1 Гбайт/с. Стандарт обеспечивает построение как небольших одноуровневых систем, так и очень сложных многоуровневых.

3. Автоматизация стендовых установок

Созданию стендовых установок в современной физической лаборатории уделяется большое внимание, так как они являются основой для организации как большинства методических исследований, так и участков массового производства и тестирования детекторов, магнитов и других элементов ускорителей и спектрометров. Так, детектирующая часть современной экспериментальной установки состоит из набора детекторов (калориметры, регистраторы треков, мюонные детекторы и т.д.), каждый из которых имеет свою собственную систему регистрирующей электроники и систему

мониторирования. Все системы детекторов должны быть соответствующим образом оттестированы перед сборкой. Таким образом, существует настоятельная необходимость в организации тестирования этих элементов на самых различных этапах их существования, начиная от самых ранних макетов на стадии конструирования, и в обеспечении продолжения их функционирования на протяжении более чем 10 лет в составе установки во время физических измерений [2].

Для каждого из детекторов экспериментальной установки следует осуществлять:

- совершенствование и постоянную модернизацию регистрирующей электроники;
- проведение тестовых сеансов полномасштабных прототипов на ускорителе;
- организацию контроля за производством электронных модулей;
- калибровку конечной продукции;
- полную отладку всех элементов от детекторов до электроники при сборке и во время тестов на космике;
- организацию контроля и управления в режиме реального времени при работе всей установки.

Система автоматизации стенда должна быть надежной, легко перестраиваемой и гибкой в использовании. Принципы архитектурного построения такие же, как для ССД небольших экспериментальных установок.

4. Автоматизация ускорителей

Системы автоматизации ускорителей имеют свою специфику. Это — измерение параметров пучка и систем ускорителя, ведение контроля за этими параметрами в реальном масштабе времени и организация управляющих воздействий на системы ускорителя как для задания рабочих режимов работы, так и при появлении нарушений в их функционировании. Элементы системы автоматизации распределены по ускорителю и могут располагаться на значительном расстоянии друг от друга (100 и более метров), при этом проблемы коммуникации и разделения функций автоматизации между ними выходят на первое место. Архитектура систем автоматизации ускорителей во многом напоминает схему, изображенную на рис.2в. Но в ней объединены сетью не только большие группы устройств (крейты, стойки), но и отдельные устройства, которые соотносятся друг с другом по принципу клиент — сервер. Это во многом напоминает автоматизацию производственных процессов как по структуре, так и по набору датчиков (измерение температур, давления, уровней жидкостей и других медленно изменяющихся во времени параметров) и исполнительных устройств (вентили, заслонки, переключатели и т.п.).

Построение современных систем автоматизации производственных процессов основано на использовании группы стандартов, объединенных концепцией Fieldbus [9]. Основная цель стандарта — это коммуникационная поддержка полевых, то есть рас-

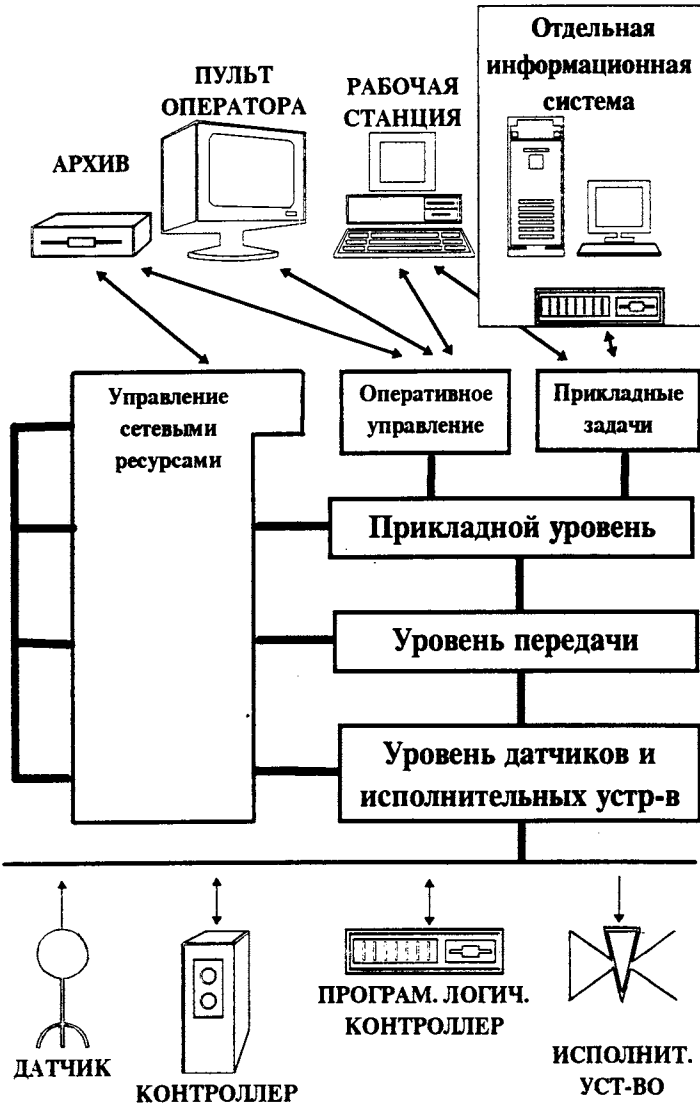
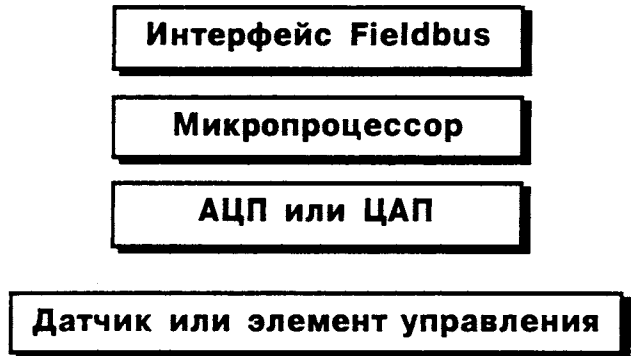


Рис.7. Модель системы, основанной на использовании стандарта Fieldbus

предельных по объекту автоматизации, приборов и систем управления процессами. Стандартизованный протокол Fieldbus простым и эффективным образом обеспечивает образование коммуникаций между устройствами и контроллерами по всему объекту.

Рис.8. Блок-схема «умного» прибора



На рис.7 показана схема системы автоматизации, построенной на основе этого стандарта. Это многоуровневая система. На нижнем физическом уровне (ФУ) осуществляется кодировка и расшифровка данных для полевых приборов. На уровне передачи данных (УПД) поддерживается протокол сетевой связи, осуществляются простые операции по связи ФУ с ПУ. На прикладном уровне (ПУ) производится поддержка процессов управления и решения прикладных задач автоматизации. Уровень пользователя является дополнительным и служит для организации связей между отдельными подсистемами в реальном масштабе времени. Все уровни объединены сетью для организации локального обслуживания (передача констант, запуск программ и т.д.). Приборы, используемые в системе, являются «умными», так как в них встроены микропроцессоры (см. рис.8), при этом данные передаются уже в цифровом, а не в аналоговом виде.

Система автоматизации, основанная на стандарте Fieldbus, по сравнению с ранее созданными обладает следующими преимуществами: в ней уменьшается количество кабельных соединений; организована двусторонняя связь управляющих устройств с датчиками и исполнительными устройствами для проведения периодического контроля, калибровки и диагностики неисправностей; образована сеть «умных» приборов, что позволяет проводить нормализацию передаваемых данных и обмен данными между любой парой приборов; использовано стандартное программное обеспечение, так как все устройства выполнены в едином стандарте.

5. Заключение

В работе рассмотрены преимущества использования «открытых» стандартов при построении систем автоматизации для всех создаваемых в лабораториях типов установок, ориентированных на проведение экспериментальных исследований области ФВЭ и РЯФ. Среди этих стандартов выделены группы широко используемых, известных стандартов (CAMAC, VME, VSB, FASTBUS), сравнительно недавно завоевавших право на жизнь (дифференциальная шина VSB и VIC) и разрабатываемых для будущих применений (SCI, Fieldbus). Показаны общие и специфические особенности в построении систем автоматизации для экспериментальных установок, стендов и ускорителей. Исследования, описанные в данной публикации, были выполнены при поддержке меж-

дународного научного фонда (in part by Grant No. NKD000 and Grant No. NKD300 from the International Science Foundation) и Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта РФФИ №96-07-98183.

Литература

1. Рыбаков А.Н. — Мир компьютерной автоматизации 95/1. М.: Ассоциация VERA+, 1995, с.5.
2. Le Du P. — In: RT93 Conference Record of the Eighth Conference on Real-Time Computer Applications in Nuclear, Particle and Plasma Physics. Vancouver, June 8–11, 1993, TRI-93-1, TRIUMF Publications Office, Vancouver, 1993, p.202.
3. Dhawan S. et al. — In: Proc. of the Fifth International Conference on Electronics for Particle Physics. LeCroy Corporation, New York, May 10–11, 1995. LeCroy Corporation, New York, 1995, p.25.
4. Smirnov V.A. — In: Proc. of the ESONE Intern. Confer. RTD'94, JINR, Dubna, June 27 — July 1, 1994. JINR, E10,11-95-387, Dubna, 1995, p.185.
5. VME64 Extensions Specification (VITA 1.1-1995), VITA, 10229 N. Scottsdale Road, Suite B, Scottsdale, AZ 85253-1437, USA, 1995.
6. The US VME-P and CERN VSC committees to the VME Hardware and Software Standards for the Physics Community. — In: Proc. of the Intern. Conf. on Computing in High Energy Physics'95, Rio de Janeiro, Brazil, September 18–22, 1995, <http://www.hep.net/conferences/chep95/html>.
7. Muller H., Bogaerts A., Lindenstruth V. — In: Proc. of the Intern. Conf. on Computing in High Energy Physics'95. Rio de Janeiro, Brazil, September 18 — September 22, 1995, <http://www.hep.net/conferences/chep95/html>.
8. Essel H.G. et al. GOOSY — In: IEEE Seventh Conference REAL TIME'91 on Computer Applications in Nuclear, Particle and Plasma Physics Conference Record. June 24–28, 1991, Julich, Fed. Rep. of Germany. — IEEE Inc, New York, 1991, p.383.
9. Parkman C. — ONLINE — The Newsletter of Data Acquisition and Computing for Experiments, No.6, April 1993. CERN, Geneva, 1993, p.26.
10. Worm F.-H. — In: IEEE Seventh Conference REAL TIME'91 on Computer Applications in Nuclear, Particle and Plasma Physics Conference Record. June 24–28, 1991, Julich, Fed., Rep. of Germany. — IEEE Inc, New York, 1991, p.196.
11. Bozzoli W. et al. ONLINE — The Newsletter of Data Acquisition & Computing for Experiments, No.7, July 1993, CERN, Geneva, p.8.
12. Togawa H. et al. — In: Proc. of the International Conference on «Computing in High Energy Physics'97», Berlin, April 7–11, 1997, Berlin, 1997, p.392.

13. Muller H. — In: RT93 Conference Record of the Eighth Conference on Real-Time Computer Applications in Nuclear, Particle and Plasma Physics. Vancouver, June 8—11, 1993, TRI-93-1, TRIUMF Publications Office, Vancouver, 1993, p.15.
14. RD24 Status Report 1996. <http://www.cern.ch/RD24>.
15. Furness H. — CONTROL ENGINEERING, Jan. 1994, Cahners Publishing, USA, p.23.