

УДК 681.142.5

ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ЛИНИИ С ЭВМ (ОБЗОР ПО ОПУБЛИКОВАННЫМ МАТЕРИАЛАМ)

И. Ф. Колпаков

Объединенный институт
ядерных исследований, г. Дубна

Рассмотрена электронная аппаратура третьего поколения для физических экспериментов с применением сцинтилляционных счетчиков, проводочных камер на линии с ЭВМ. Особое внимание обращается на модули, обеспечивающие связь с ЭВМ и сбор информации. Показано, что система САМАС является основой электроники третьего поколения для физических экспериментов. Приведены примеры электроники физических установок, выполненных в этой системе.

A third generation electronics for physics counter and wire chamber experiments on-line is considered. It is shown that SAMAC system is the basis for third generation electronics for physics experiments in interfacing modules especially.

Electronic installations for physics experiments in this system are considered.

Вводные замечания. Транзисторную электронику для физических экспериментов можно охарактеризовать, если пользоваться терминологией, применяемой к ЭВМ, как электронику второго поколения. Модули третьего поколения блоков для физических экспериментов, выполняемых преимущественно на интегральных схемах, предназначены для использования на линии с ЭВМ, в то время как блоки второго поколения лишь иногда использовались на линии с ЭВМ [1, 2]. В основу конструкции и логики связи модулей третьего поколения положена система САМАС [3, 4]. Система САМАС разработана в крупнейших западноевропейских физических центрах в 1968—1969 гг., принята межинститутским органом по стандартизации электроники для физических исследований — комитетом ESONE (European Standards of Nuclear Electronics). В 1970 г. система САМАС была принята в физических институтах США. В настоящее время к комитету ESONE при-

соединились Центральный институт физических исследований (Будапешт) и Институт ядерных исследований (Сверк, Варшава).

Модули третьего поколения размещают в шасси-крейтах (рис. 4) со стандартной разводкой и автономным блоком питания [5]. В системах электроники для физических экспериментов второго

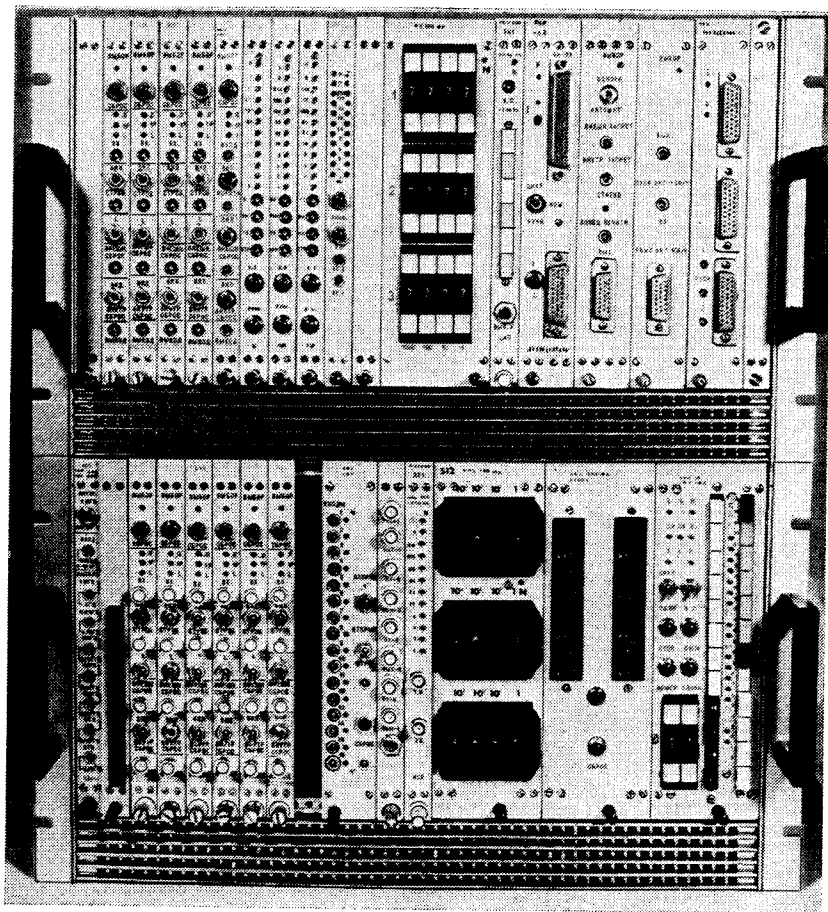


Рис. 4. Внешний вид крейтов с цифровыми модулями.

поколения, например в системе NIM, также используется автономное шасси-бин с питанием. Крейт характеризуется наличием стандартной разводки для логических сигналов, конструктивной ориентацией на использование интегральных схем, примерно на порядок большей мощностью источника питания (250 *вт*)

и обязательной вентиляцией. В одном крейте имеется 25 ответных 86-контактных разъемов-станций для размещения модулей. Максимальное число модулей в крейте равно 23. Две крайние правые позиции в крейте предназначены для блока контроллера, который управляет всем обменом информации в крейте. Увеличение потребляемой мощности связано с увеличением плотности схем и числа функций, выполняемых одним модулем. Крейт, в сущности, является вынесенной магистралью для обмена информацией между различными модулями, используемыми в эксперименте, и ЭВМ. Системы, связанные с обработкой, приемом и передачей цифровых данных, в настоящее время выполняются как блочные схемы третьего поколения [6—13]. Переход на третье поколение намечается в спектрометрических модулях [14] и модулях для съема информации с бесфильмовых нитяных камер [7]. В меньшей степени этот процесс наблюдается в счетчиковой электронике, хотя и здесь также имеется тенденция использования интегральных схем и выполнения модулей в системе САМАС [15].

Рассмотрим последовательно электронику третьего поколения по перечисленным основным направлениям. Следуя за прохождением физической информации в экспериментальных установках, сначала рассмотрим электронику детекторов, а затем модули связи с ЭВМ.

Счетчиковая электроника. Быстрая счетчиковая электроника содержит набор стандартных модулей для съема и мониторингования временных сигналов со сцинтилляционных счетчиков и счетчиков Черенкова [16], полупроводниковых детекторов и задач времяпролетной техники. В связи с тем что в последние годы временные характеристики детекторов мало изменились, набор временных блоков и их характеристики практически остались прежними. Временные модули состоят из логических блоков, включающих размножитель, смеситель и схемы совпадений, задержку и формирователи амплитуды сигналов от ФЭУ. Логические блоки принимают и выдают сигналы с уровнями 0—16 ма на резисторы сопротивлением 50 ом (по стандарту NIM [17]) и имеют время нарастания — спада сигналов 1—2 нсек. Временная отметка снимается по передним фронтам сигналов ФЭУ формирователями. Модули времяпролетной техники включают время-амплитудный преобразователь, наносекундные линейные ворота и формирователь амплитуды со следящим порогом, снимающий временную отметку по постоянной части амплитуды импульса ФЭУ. Перевод этих модулей на третье поколение связан с использованием интегральных схем с временем нарастания — спада 1—2 нсек типа MECL II и MECL III, уменьшением размеров модулей, созданием новых функциональных блоков, объединяющих несколько функций, и введением цифрового управления блоками задержки и питания ФЭУ. Блоки быстрой электроники программируются вручную.

соединениями высокочастотных кабелей в соответствии с конфигурацией эксперимента через разъемы на передних панелях и переключением задержек и изменением напряжений питания.

Переход на разъемы LEMO RA 00250 * дал уменьшение ширины модулей в 2—4 раза [18, 19]. Ширина передней панели составляет 34,4 мм, высота равна 221 мм. Дальнейшее уменьшение размеров

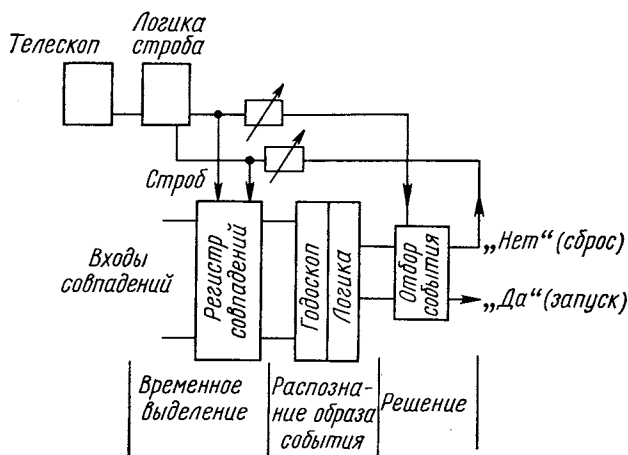


Рис. 2. Структурная схема логики физического эксперимента со сцинтилляционными счетчиками.

блоков в 1,5—2 раза возможно при использовании более миниатюрных размеров, например, типа SC 51-024-0000 (Seaelectro Con-Hex) [20] **. При этом плотность элементов в блоках будет оставаться низкой по сравнению с цифровыми блоками.

Применение еще меньших разъемов едва ли целесообразно. Возможны два пути развития этих схем: отказ от модульного исполнения, и, таким образом, исключение промежуточных разъемов, и ускорение обработки сигналов. Тогда в одном блоке собирается целиком быстрый процессор [19—23]. Второй путь — отказ от ручного программирования быстрой логики и управление блоками цифровым кодом [15, 24], что позволит освободить переднюю панель от коммутационных деталей.

Логика многих электронных физических экспериментов с применением сцинтилляционных счетчиков представлена структурной схемой (рис. 2). Телескоп счетчиков совпадений, установленный на входящем пучке частиц, выдает разрешающий строб-импульс

* МК-1А — чешский вариант LEMO.

** Аналогичный разъем 50-2-X1 производства ГДР (VEB Elektronische Bauelemente, Dorfhai, Betriebsteil, Glashütte).

на остальную часть электроники, выделяя событие во времени. Строб подается на годоскопическую систему ворот. С выходов ворот стандартные импульсы пропускаются на логическую часть, выделяющую требуемое событие, откуда сигнал события поступает на запуск системы искровых камер.

Таким образом, логика разделяется на две части: 1) временную, годоскопическую, и 2) принимающую решение [25—29]. Именно такой принцип лежит в основе системы OMNIlogis фирмы Le Croy [19]. В виде отдельного модуля можно выполнить годоскоп и процессор [21].

В больших экспериментальных установках временная часть требует трудоемкой настройки и калибровок, которые заключаются в ручном подборе задержек в каждом канале, установке напряжений высоковольтного питания ФЭУ, снятии калибровочных кривых совпадений, установки порогов формирователей и ослабления в аттенюаторах. Для автоматической настройки системы необходимы управляемые цифровым кодом блоки задержки [15, 24, 30], аттенюаторы [11, 31], источники высоковольтного питания [24, 32] и импульсов для световых диодов. Для управляемых блоков задержки и аттенюаторов наносекундного диапазона нужны реле с малыми межконтактными емкостями, чтобы коэффициент отражения для фронтов 1—2 нсек был менее 5%. К этим требованиям близки миниатюрные поляризованные реле, например Infranor MR [24]. В случае задержек временных сигналов используется также активная линия задержки с управляемыми транзисторными усилителями. Высоковольтное питание управляется или через реле или шаговыми двигателями [32].

Структурная схема системы автоматической калибровки счетчиковых экспериментов с большим числом счетчиков в упрощенном виде показана на рис. 3. Она позволяет автоматически по программе ЭВМ устанавливать оптимальные величины задержек, коэффициентов ослабления и напряжений высоковольтного питания ФЭУ и снимать кривые задержанных совпадений [15]. Автоматически управляемыми являются модули высоковольтного питания ФЭУ, блоки аттенюаторов и задержки. Использовалось только два временных канала, хотя на практике с помощью мультиплексоров, управляемых цифровым кодом, можно подсоединить любые две пары каналов. Она управляется малой ЭВМ через канал прямого доступа (КПД) и соответствующий контроллер крейта. Каждый из устанавливаемых параметров изменяется программой ЭВМ дискретными шагами. При каждом шаге счетчики регистрируют число импульсов от ФЭУ и схемы совпадений, а также число импульсов от генератора световых вспышек, и в ЭВМ производится сравнение счетов. Кривая совпадений выводится на дисплей. Программным путем определяется плато ФЭУ по питанию и находится средняя его точка. В эксперименте по зарядовой асимметрии

на беватроне [25] применяется система из 144 сцинтилляционных счетчиков, управляемая и контролируемая с помощью малой ЭВМ PDP-9. Логика этого эксперимента в целом подобна логике годо-

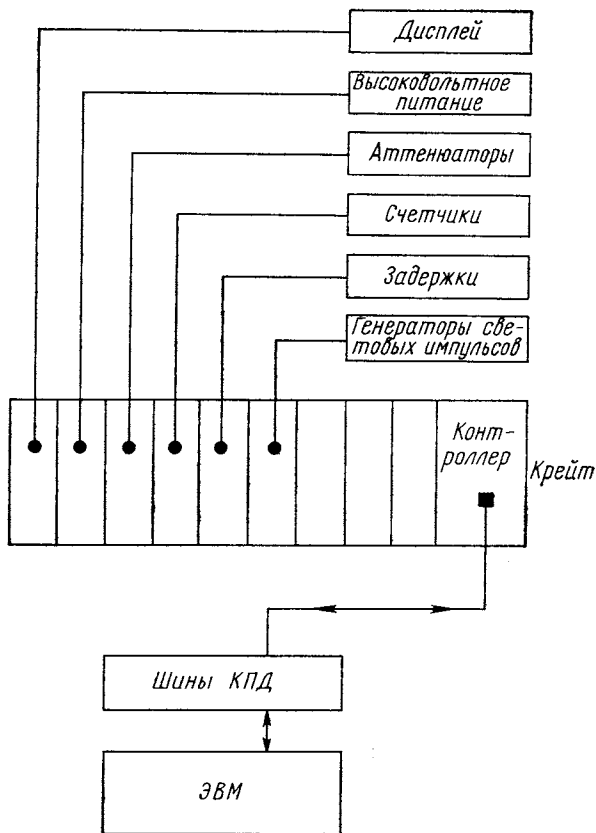


Рис. 3. Структурная схема системы автоматической калибровки счетчиковых экспериментов в крейте SAMAS.

скопических экспериментов (см. рис. 2). На рис. 4, а показана структурная схема одного временного канала в годоскопе.

Подключение быстрой электроники на линию с ЭВМ связано с выполнением всех модулей в системе SAMAS. При уменьшении ширины передней панели до 34,4 мм, что позволяет размещать в крейте вдвое большее число модулей по сравнению с бином NIM, стоимость модулей счетчиковой электроники в системе SAMAS можно сравнить со стоимостью ее в системе NIM. Кроме

Спектротрическая электроника. Она состоит из набора блоков для амплитудных измерений с полупроводниковых детекторов и сцинтилляционных счетчиков. В набор входят линейные усилители, аналого-цифровой преобразователь на 8192 канала [14, 33], интегратор. В усилителях, как правило, отсутствует выход на магистраль, хотя управление коэффициентом усиления возможно, используя полевой транзистор в качестве регулируемого сопротивления [34]. Управляемый аттенюатор выполняется без трудностей, поскольку фронты сигналов составляют 10 *нсек* и более.

Электроника проволочных камер. Методика проволочных искровых камер основана на применении ЭВМ на линии. Большие проволочные пропорциональные камеры основаны на специальных интегральных схемах. Чтобы снять координатную и временную информацию, в каждой проволочке необходимо подключать канал усиления и формирования. Современные системы из проволочных камер содержат тысячи каналов, поэтому требуется их низкая стоимость и высокая надежность. Структурная схема временного канала пропорциональной камеры дана на рис. 4, б. Следует отметить подобие его каналу сцинтилляционного годоскопа, связанное с общей логикой временного эксперимента (см. рис. 4, а). Сигнал от проволочки усиливается во входном усилителе-компараторе с регулируемым порогом. Усиленный сигнал формируется до амплитуды логического уровня в формирователе А и появляется на быстром выходе, а также формируется по времени в одновибраторе. Спад сигнала с одновибратора формируется в формирователе В и устанавливает триггер. Общая задержка в схеме сигнала на быстром выходе равна 40 *нсек*. С выходов формирователей снимаются стандартные импульсы длительностью 30 *нсек*. Выдержка одновибратора составляет 0,1—100 *мксек*. Возможна фиксированная выдержка длительностью 300 *нсек*. Время восстановления одновибратора — не более длительности его выходного импульса. Порог входного усилителя 1 *мв*. Входное сопротивление заключено в пределах 1—2 *ком*. Подобный временной канал выполняется в виде единого интегрального модуля [35, 36]. Стоимость канала в дискретном исполнении составляет около 40 долл. При использовании интегральных модулей стоимость канала понижается в 10—20 раз (микросхемы фирм «Texas Instruments» и «Fairchild»). Для комбинационной логики применяется быстрый выход интегрального модуля. Логический уровень NIM поступает на множители, смесители и параллельные регистры, уже применяемые в быстрой счетчиковой электронике. Сигналы с выходного триггера подаются на параллельные входные регистры, подключенные к регистрам САМАС, а оттуда — на ЭВМ.

Цифровая электроника. Задача цифровой электроники — съем информации с установки и передача ее на ЭВМ. Отдельные приборы установки — счетчики, аналого-цифровые преобразователи

(АЦП) и цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) и т. п. — выполняются в виде отдельных модулей с минимальной шириной ячейки 17,2 мм. Вывод сигналов и подвод питания осуществляется через двусторонний печатный разъем на плате модуля. Внешние устройства, выполненные в других конструктивных размерах, или нестандартные — цифровые вольтметры, цифропечать, перфатор и т. п. — должны иметь своих «представителей» в крейте в виде модулей интерфейсов. Контроллер является «диспетчером» крейта, определяющим последовательность передачи информации в крейте. Если установка работает на линии с ЭВМ, то контроллер выполняется таким образом, что одновременно он является интерфейсом ЭВМ. Если в системе более двадцати трех модулей, которые необходимо сопрягать с ЭВМ, то образуется ветвь, которая связывает крейты (рис. 5). Наибольшее число крейтов в ветви равно семи. При организации ветви в качестве контроллеров крейта используются так называемые контроллеры типа А [4], через которые проходит магистраль ветви. По магистрали ветви осуществляется обмен информацией с блоком-драйвером ветви, являющимся одновременно интерфейсом используемой ЭВМ. Таким образом, в многокрейтной системе драйвер ветви — эквивалент контроллера в однокрейтной системе как интерфейса ЭВМ. Система цифровых модулей образует иерархию, на вершине которой находятся: драйверы ветви — интерфейсы и все модули, необходимые для организации ветви; контроллер типа А; согласователь магистрали ветви. Следующей ступенью иерархии является класс контроллеров крейта — интерфейсов ЭВМ и просто контроллеров крейта. Внизу находятся функциональные модули и интерфейсы приборов и внешних устройств, размещаемые в крейте. Наборы цифровых модулей в системе САМАС были разработаны в ряде физических институтов [6, 12, 14, 28, 37—69] и фирм [8, 9]. В настоящее время они выпускаются более чем десятком фирм [8, 10—12, 19, 30, 31, 70—78]. Эти цифровые модули составляют всевозможные устройства сопряжения измерительных приборов и детекторов с собственно ЭВМ [79]. Набор цифровых модулей удобно рассматривать по классам: 1) модули ветви; 2) контроллеры крейта; 3) преобразователи; 4) регистры и счетчики; 5) интерфейсы приборов.

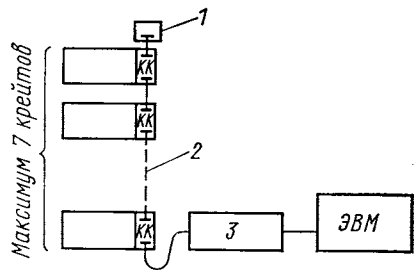


Рис. 5. Структурная схема организации ветви из нескольких крейтов в больших системах:

1 — согласователь магистрали; 2 — вертикальная магистраль или ветвь; 3 — драйвер ветви; КК — контроллер крейта типа А.

Все модули можно также разделить на две большие группы: модули, управляемые только ЭВМ, и модули, требующие взаимодействия с человеком. Последняя группа модулей значительно дороже (на 50%) из-за устройств преобразователей для общения с человеком, таких, как преобразователь двоичного кода в двоично-десятичный, цифровой дисплей, наборных и клавишных переключателей и соответствующих дешифраторов, т. е. всех устройств, облегчающих простоту ввода и наглядность представления информации.

Модули ветви управляются только программным путем. К ним относятся драйверы ветви, которые являются интерфейсами ЭВМ. Разработан и выпускается набор драйверов ветви для некоторых современных малых ЭВМ: PDP-11, PDP-15, PDP-9, Нр 2114В-2116В [39]. Контроллеры типа А и согласующие устройства для ветви также выпускаются большим числом фирм [10, 30, 38, 70—74]. Разработан блок проверки ветви [63]. В ветви, содержащей семь крейтов, возможен $7 \times 23 = 161$ запрос. Для передачи запросов на магистрали ветви используется только 24 разряда, поэтому требуется кодировка запросов. Блок кодировки запросов или LAM grader [36] устанавливает приоритет модулей внутри крейта. Этот модуль не стандартизован, и кодировку приоритетов можно осуществлять по выбору пользователя. Для настройки ветви используется ручной драйвер ветви [10, 31], позволяющий вручную управлять обменом информацией в ней.

Контроллеры крейта разработаны и выпускаются фирмами почти для всех современных малых ЭВМ: PDP-8 [9, 30, 80], Нр2115В [35], Nova [70], PDP-516 [10]. Для систем, не использующих ЭВМ, выполняются специализированные контроллеры, программирующие работу системы. Например, если цель системы — снять информацию с пересчетных схем и вывести на цифропечать или перфоратор (задача, часто встречающаяся в экспериментах небольшого масштаба), то последовательность работы системы может определяться контроллером печати [44]. Если требуется только вывод на цифровой дисплей, то он осуществляется через контроллер дисплея [42].

Универсальными контроллерами бескомпьютерных систем являются программирующие контроллеры или генератор программ [9, 10]. Контроллер крейта, как правило, делают автономным, т. е. способным генерировать полный цикл команд на магистрали, чтобы не загружать ЭВМ программированием второстепенных операций, связанных с циклом САМАС. Программирование контроллера осуществляется через вспомогательное наборное табло и через внешнюю постоянную память [9, 10]. Для проверки и наладки применяется ручной контроллер [31, 59, 75], который имеет на передней панели клавиатуру для набора числа, адреса станции, субадреса, функций и кнопки пуска цикла.

Все рассмотренные выше модули имеют вспомогательное значение, организуя обмен информацией и определяя ее последовательность. Измерительные приборы, входящие в состав экспериментальной установки или системы управления, образуют набор основных модулей. Сюда относятся счетчики, входные (выходные) регистры, ЦАП, АЦП, интерфейсы нестандартных (в смысле системы САМАС) приборов и периферийных устройств.

Отдельную группу составляют модули для организации взаимодействия с человеком: наборная клавиатура, установочные счетчики, преобразователи кодов, индикаторные (дисплейные) модули.

Модули счетчиков и регистров являются наиболее распространенной частью физических установок. Поскольку большинство систем предназначено для работ на линии с ЭВМ, то счетчики, как правило, выполняются двоичные, без индикации. Содержимое их выводится на выходные устройства ЭВМ или на индикаторный модуль (десятичные дисплеи) через блок преобразователя кодов из двоичного в двоично-десятичный. В системах второго поколения счетчики были, как правило, десятичные с индикацией каждой декады. Из-за обратных связей скорость счета счетчиков второго поколения не превышала 10—20 Мгц. В счетчиках третьего поколения на входе используются схемы типа MECL II и MECL III, их быстродействие на порядок больше и составляет 100—250 Мгц. Модуль счетчика имеет ширину 17,2 мм. Степень интеграции микросхем позволяет в одном модуле иметь или четыре счетчика на шестнадцать разрядов [10, 53, 70, 73, 75], или два счетчика на 24 разряда [31, 48, 72—74]. Реже встречается счетчик на двенадцать разрядов [9], удобный для двенадцати-разрядных мини-ЭВМ и экономичный для съема информации с АЦП. Выбор счетчика на шестнадцать разрядов связан с разрядностью распространенных мини-ЭВМ. В то же время емкость шестнадцати-разрядного счетчика часто недостаточна при счете частиц от мониторного счетчика в физических экспериментах на ускорителях, где требуется емкость до 10^7 , поэтому наряду с 16-разрядным используется и 24-разрядный счетчик (емкость $1,6 \cdot 10^7$). Счетчики иногда называют последовательными регистрами по принципу занесения информации. В экспериментах с пропорциональными и проволочными искровыми камерами и с годоскопическими системами сцинтилляционных счетчиков используются модули параллельных входных регистров [8, 10, 19, 62, 72, 73, 76]. Обычная разрядность таких регистров 16, хотя встречаются регистры по 8, 12 и 24 разряда. Второе назначение параллельных регистров входные-выходные регистры для линий передачи. Восьмиразрядный регистр используется для приема — передачи информации по линиям связи с байтами (1 байт = 8 двоичным разрядам). Параллельные регистры имеют 16 или 24 разряда и часто сильноточный релейный выход [8, 10, 76], с помощью которого можно управлять мощными схе-

мами. Такой регистр необходим для задач автоматического управления системами с обратной связью, замкнутой через ЭВМ. При работе физической установки на линии экспериментатор периодически выводит на дисплей информацию о зарегистрированном в данный момент событии. Например, через какие счетчики прошли частицы, через какие проволочки в искровых камерах идут треки взаимодействия. Обычно для этой цели применяют 16-разрядный быстрый регистр совпадений, имеющий вход строб-импульса (Latch Register) [72], или, как говорят, модуль отображения (Pattern Unit) [19, 28, 61, 73]. Этот регистр имеет на входе 16 входов, управляемых строб-импульсом, сигналы с которых поступают на 16-разрядный выходной регистр. Временной масштаб задается генератором часов, представляющим комбинацию генератора, стабилизированного кварцем, и декадного счетчика. Обычно на входе такого генератора можно получить сигналы от 1 Мгц до 1 гц через декаду [5, 9—11, 31]. Генератор реального времени или программируемый таймер содержит двоичный счетчик, устанавливаемый кодом, и имеет диапазон времен от микросекунд до часов, задаваемый программным путем с магистралами [9, 73]. Генератор реального времени, управляемый по входу, может использоваться как измеритель временных интервалов и преобразователь время-цифровой код.

Набор преобразователей аналоговых величин в цифровой код (АЦП) и цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) обеспечивает замкнутый цикл управления. Преобразователи время-цифровой код представляют собой двоичные счетчики с воротами на входе, открываемыми на измеряемый временной интервал [19, 70]. АЦП имеют точность 10—12 разрядов и используются для импульсных измерений и в качестве цифровых вольтметров средней точности [8—10, 19, 31, 72—73]. Как правило, они выполняются по принципу Вилкинсона с преобразованием линейного разряда емкости в серию. Частота серии составляет обычно 100—200 Мгц и время преобразования порядка 10 мксек. Модули ЦАП необходимы для управления исполнительными устройствами и вывода на дисплей на электроннолучевой трубке (ЭЛТ), для которого точность составляет 10^{-4} . Отсюда модули ЦАП имеют обычно точность 10—12 разрядов с временем преобразования в несколько микросекунд [9—11, 58, 59, 72]. Для преобразования используется, как правило, матрица точных резисторов типа R-2R.

Интерфейсы измерительных приборов и внешних устройств. Множество измерительных приборов и периферийных устройств ввода — вывода выполняются не в системе САМАС и требуют отдельных модулей интерфейсов. К таким модулям относятся интерфейсы печати [10, 45], перфоратора [10], телетайпа [10, 19, 31], шагового двигателя [10, 66], цифрового вольтметра [81], интерфейс блока ферритовых искровых камер [55, 31], светового пера

[73]. Модули интерфейсов согласуют сигналы внешних устройств с сигналами на магистрали, обеспечивая общение этих устройств с контроллером через магистраль крейта. Интерфейсы вбирают в себя, нивелируют, индивидуальные особенности приборов применительно к требованиям САМАС.

Модули, обеспечивающие общение человека, предназначены для ввода информации в наглядном виде (десятичные числа) на магистраль крейта и вывода в удобном для восприятия виде на знаковый дисплей (десятичные числа) или на дисплей на ЭЛТ (числа, символы, графики). Информация вводится вручную через ручные контроллер, драйвер ветви, через модуль ввода констант (Parameter Unit) [5, 9, 10, 46, 61, 73, 81] и установочные счетчики (Preset scalers) [9, 10, 30, 31, 52, 70]. Блок ввода констант позволяет набрать вручную необходимые числа, например, служебную информацию эксперимента, которые при очередном цикле должны быть считаны на магистраль крейта. Для набора чисел в десятичном коде обычно на передней панели устанавливаются наборные переключатели, позволяющие набрать четыре 4-разрядных слова. Установочный счетчик имеет на передней панели ряд переключателей для предварительного набора числа, до которого необходимо производить счет (заполнение счетчика). В установочных счетчиках одновременно возможен ввод числа через магистраль, и в этом они ничем не отличаются от таймеров реального времени. Установочные счетчики могут быть двоичными и двоично-десятичными с десятичным и двоичным вводом информации. При десятичном вводе любое число можно задать с погрешностью 1%, т. е. возможен набор любого числа от 1 до 99 и порядка.

Наиболее наглядным является представление выходных данных в виде десятичных чисел, в то время как большинство источников информации (счетчики, АЦП, регистры) содержат двоичные коды. Чтобы вывести информацию на цифровой индикатор и периферийные выходные устройства (цифropечать, телетайп), необходим блок преобразователя кода из двоичного в двоично-десятичный [8—10, 50].

Если использовать механические выходные устройства, то необходимо иметь преобразователь из двоичного кода в код ASCII [19]. Преобразователь кода будет в сущности минипроцессором с жесткой программой и при выполнении его на схемах второго поколения представлял бы довольно большое устройство. Модуль преобразователя кода на микросхемах имеет ширину 34,2 мм. Преобразование прямым комбинационным способом с помощью дешифратора аппаратно громоздко, а преобразование последовательным способом параллельного счетчика в двоичном и декадном счетчиках часто оказывается медленным (время преобразования до 1 сек). Поэтому обычно преобразование осуществляется сдвигом кода в выходном 24-разрядном регистре и коррекцией

[50, 69]. Время преобразования составляет единицы микросекунд.

На рис. 6 показана организация крейта для вывода на цифровой индикатор (дисплей). Вывод информации на дисплей с любого модуля (счетчика, АЦП и т. п.) осуществляется по командам контроллера сначала в блок преобразователя кода, затем непосредственно на дисплей. Контроллер представляет собой или контроллер ЭВМ, или специально контроллер дисплея [42], или просто ручной контроллер. Модуль цифрового дисплея выполняется на цифровых индикаторных лампах Nixi. Он содержит шесть — восемь индикаторов [5, 9, 11, 30, 31, 43] и регистр приема слова с магистрали. Для организации связи дисплея на ЭЛТ с магистралью используется модуль-интерфейс дисплея, который называется драйвер дисплея [9, 11, 73].

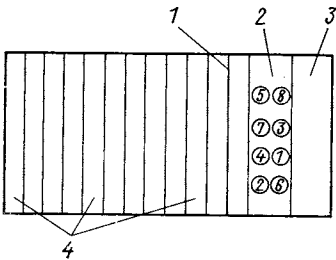


Рис. 6. Структурная схема системы с выводом на цифровой индикатор:

1 — преобразователь кода двоичного в двоично-десятичный; 2 — цифровой дисплей; 3 — контроллер дисплея; 4 — счетчики, АЦП, регистры, интерфейсы приборов.

Блоки, необходимые для дисплея на ЭЛТ, такие, как генератор знаков, векторов, ЦАП [58, 59, 72, 73], также выполняются в виде модулей в системе САМАС.

Подобным образом организуется вывод на цифropечатающее устройство. Модули, информация с которых выводится на цифро-

печатающее устройство (счетчики, АЦП, регистры), опрашиваются специальным контроллером крейта, который является контроллером печати. Сначала двоичные коды с модулей поступают на

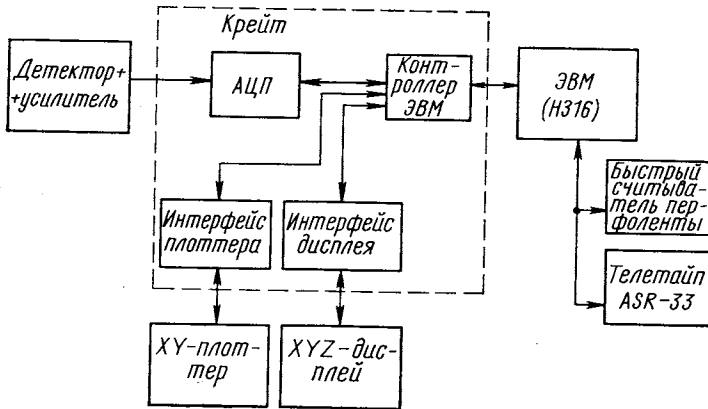


Рис. 7. Структурная схема многоканального амплитудного анализатора в системе САМАС на основе мини-ЭВМ.

печатающее устройство (счетчики, АЦП, регистры), опрашиваются специальным контроллером крейта, который является контроллером печати. Сначала двоичные коды с модулей поступают на

преобразователь кода, а затем на интерфейс цифрорпечатающего устройства и оттуда на вывод.

Структурная схема амплитудного анализатора, собранного на основе набора модулей АЦП, интерфейсов, плоттера и дисплея, контроллера ЭВМ, ЭВМ, считывателя перфоленты, телетайпа [82] приведена на рис. 7.

Блоки АЦП, интерфейсы и контроллер выполнены в стандарте САМАС и находятся в крейте. Остальные устройства являются

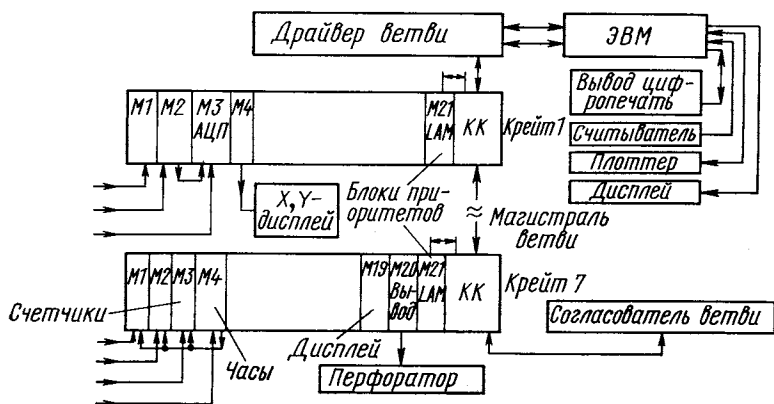


Рис. 8. Структурная схема установки в системе САМАС на линии с ЭВМ для экспериментов на ускорителях частиц высоких энергий (M — модуль).

внешними по отношению к крейту. Память ЭВМ играет роль ЗУ анализатора. В принципе система может быть многомерной при установке в крейт дополнительных АЦП.

Более детально возможная многокрейтная система на линии с ЭВМ [83] показана на рис. 8. Внешние устройства — цифрорпечатающее, считыватели перфоленты, плоттер и дисплей подключаются к магистрали ЭВМ. Остальные устройства выполняются в виде модулей САМАС (АЦП, счетчики, десятичный дисплей, блоки задания приоритетов, часы) или подключаются к крейту через соответствующие интерфейсы, также выполненные в САМАС (дисплей, перфоратор).

Двухкрейтная система электроники спектрометра со счетчиками и проволочными камерами для экспериментов на гиперонных пучках Брукхейвенского синхротрона на линии с ЭВМ показана на рис. 9. Информация с искровых камер считывается преобразователями время — код в системе MIDAS [84] и через интерфейс MIDAS-SAMAS поступает на магистраль крейта. Отдельный мо-

дуль-интерфейс используется для считывания информации с триггеров пропорциональных камер. Для регистрации информации со сцинтилляционных счетчиков служат 24-разрядные счетчики на 100 Мгц, годоскопы, 8-разрядные АЦП (тактовая частота — 40 Мгц) и 8-разрядные преобразователи времени пролета в цифровой код [72]. Модуль приоритета прерываний принимает до

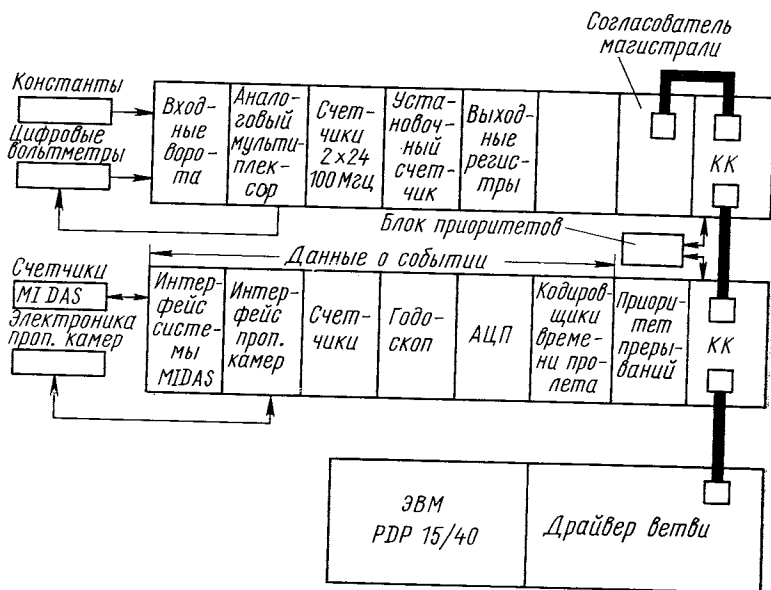


Рис. 9. Структурная схема установки в системе SAMAS на линии с ЭВМ для экспериментов на гиперонных пучках брукхейвенского синхротрона.

двенадцати импульсных входов NIM, вызывающих внешние прерывания. Константы эксперимента и показания цифровых вольтметров (ЦВ) считываются на 48-разрядный регистр ворот по стробу. Вывод постоянных напряжений и токов магнитов на ЦВ производится через 15-разрядный релейный мультиплексор. Модуль выходных регистров загружается с магистрали крейта. С его выхода снимаются строб-сигналы NIM, управляющие воротами счетчиков, АЦП, годоскопов. Схема электроники во многом похожего ищрового спектрометра на линии с ЭВМ PDP-15/20, используемого на ускорителе в Сакле для экспериментов по изучению упругого рассеяния на водороде [85], приведена на рис. 10. Считывание информации с магнитострикционных камер производится системой SPADAC [73], которая через интерфейс SPADAC — SAMAS имеет выход на магистраль крейта. Остальные модули,

т. е. счетчики, АЦП, мультиплексеры имеют то же назначение, что и в предыдущей системе.

Электроника установки трехосного нейтронного спектрометра, предназначенного для исследований по физике твердого тела в реакторном центре в Юлихе [86], показана на рис. 11. Установка выполнена в двух крейтах САМАС и используется на линии

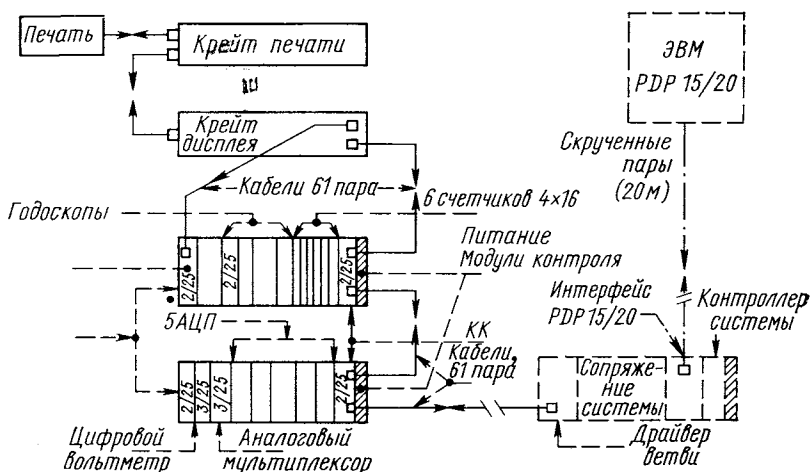


Рис. 10. Структурная схема установки в системе САМАС на линии с ЭВМ для изучения упругого рассеяния пионов на ядрах водорода в Сакле.

с ЭВМ (PDP-8/1). Исследуемый образец облучается моноэнергетическими нейтронами под определенным углом, поворот его производится шаговым двигателем по командам ЭВМ. Кодировка угла поворота осуществляется преобразователем угол — код. Используются шаговые оптические кодировщики (10^4 импульсов на оборот вала). Шаговые двигатели рассчитаны на 200 шагов на оборот. Блок шагового контроллера (см. рис. 11) выдает импульсы на шаговый двигатель, сигналы старт — стоп и направления вращения. Временная последовательность работы спектрометра задается часами и регистром запроса прерываний от приборов температурного контроля, переключателей границ и т. д. Прерывания можно вызвать также установочными 24-разрядными счетчиками [11].

Принцип вынесенной унифицированной магистрали, используемый в САМАС, можно применить не только в исследованиях, связанных с ядерной физикой и физикой высоких энергий, а во всех областях, где требуется вывод цифровых данных и работа на

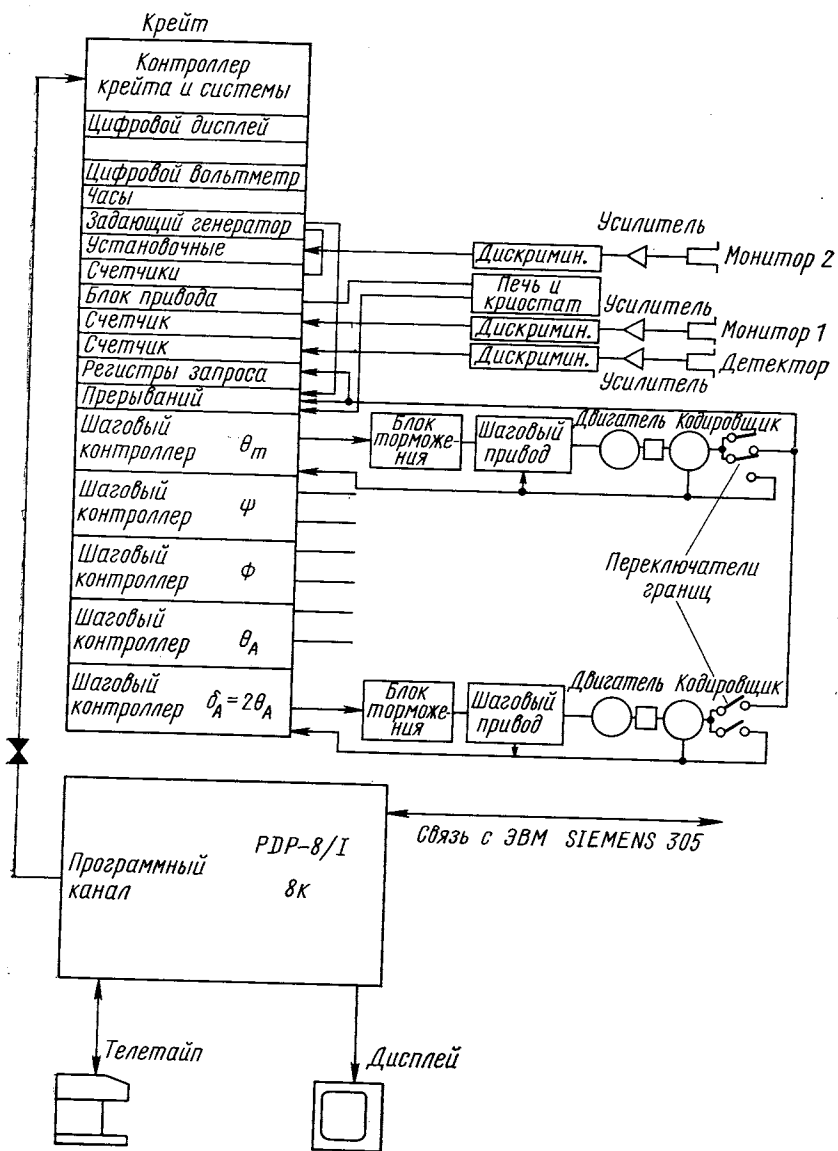


Рис. 11. Структурная схема установки в системе САМАС на линии с ЭВМ для электроники трехосного нейтронного спектрометра, установленного на реакторе.

линии с ЭВМ. В частности, модули в системе САМАС используются в медицине для анализа электроэнцефалограмм [87], в метеорологии — для контроля загрязнения воздуха [88] и в морских исследованиях — при анализе подводных звуковых колебаний [89].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Foley K. J. e. a.** Proc. of the Informal Meeting on Film-less Spark Chamber Techniques and Associated Computer Use, CERN Report 64—30, p. 11, 1964.
2. **Blieden H. e. a.** Ibid., p. 49 (1964).
3. Euratom report, EUR4 100e, 1969.
4. Euratom report, EUR4 600e, 1971.
5. **Арефьев В. А.** и др. Цифровые блоки для физических экспериментов и измерений в системе САМАС. Труды VI симпозиума по ядерной электронике. Варшава, 22 сентября — 1 октября 1971. Дубна, D13-6210, 1972, с. 218.
6. **Iselin F. e. a.** Review 1, CERN-NP, CAMAC Note 0—01, 1969.
7. **Iselin F. e. a.** CAMAC Bulletin N1, 15—17, 1971.
8. CAMAC Harwell 7000 Series, Проспект фирмы ЕКСО (England), 1970.
9. **Sanghera D.** CAMAC — A Review of Progress, ЕКСО CAMAC Report, 1971.
10. CAMAC Modular Data Handling. Проспект фирмы GEC-Elliot, 1970.
11. CAMAC Compatible Modular Data Transfer System, Каталог фирмы Nuclear Enterprises, 1971.
12. CAMAC — ЦИФИ. Проспект ЦИФИ, Будапешт, 1971.
13. **Huffer E.** Data Switches. Ecole Polytechnique. Report LPNHE 2.72 (01), 1972.
14. Nucl. Instrumentation N40, CEA Sacleay, France, June 1970.
15. **Zacharov B., Peatfield A. C.** Automatic Calibration of Experiments. Daresbury report DNPL/p40, 1970.
16. **Арефьев В. А.** и др. Препринт ОИЯИ, 13-5447, Дубна, 1970.
17. Standard Nuclear Instruments Modules, USAEC, TID-20893, Washington, 1966.
18. **Verveij H.** The new CERN fast Nuclear electronics system, CERN report 69—31, 1968.
19. Omnilogic, Проспект фирмы LRC-Le Croy, США, 1970.
20. **Cresswell J. V., Wilde P.** The Tunnel system, Rutherford Lab. report, 1965.
21. **Dufournaud J., Friend B.** CERN report 69-21, 1969.
22. Проспект фирмы EGG, США, 1971.
23. **Maglich B., Sannes F.** Megaphol — a fast on-line noncomputer multiparameter data reduction system. Rutgers Univ. report HEP-72-103, 1972.
24. **Maeder D., Sabev M.** System de circuits logiques avec affichage et commande en vue d'une telecommande par ordinateur. Proc. International Symposium Nucl. Electronics. Versailles, Sept. 1968, p. 571.
25. **Bertolucci B. e. a.** CAMAC discriminator-gated latch with digital multiplicity logic, SLAC-Pub-984, Stanford, 1971.
26. **Briandet Ph.** CAMAC applications, LPNHE 10.71 (01). Ecole Polytechnique, Lab. de Physique Nucleaire des Hautes Energies, Paris, 1971.
27. **Graven R. M. e. a.** An on-line Scintillation Counter Control System. Preprint UCRL-20636, LRL, Berkeley, 1971.
28. **Iselin F. e. a.** Pattern A, CERN-NP CAMAC Note, 8-00, Jan. 1969.
29. **Droege T. e. a.** Operating experience with a modular digital data system, PRAD 671E, Princeton University report, 1969.

30. Проспект фирмы Frieseke, ФРГ, 1971.
31. Проспект фирмы Schlumberger-SAIIP, France, 1971.
32. Heep W., Stiefel W. CAMAC-Hochspannungsmodul, Typ LEM-52/15-1, Kernforschungszentrum Karlsruhe bericht 22/74-3, 1971.
33. Sarquiz M. В сб.: Труды VI симпозиума по ядерной электронике. Варшава, сентябрь 1971. Дубна, Д13-6210, 1972, с. 204.
34. Zander K. В сб.: «Труды VI симпозиума по ядерной электронике. Варшава, сентябрь 1971». Дубна, Д13-6210, 1972, с. 277.
35. Larsen R. S. Interlaboratory development of an integrated circuit for multiwire proportional chambers, SLAC-pub-986, Stanford, 1971.
36. Charpak G. e. a. Nucl. Instrum. and Meth., 1971, 97, 377-388.
37. Iselin F. e. a. CERN-NP CAMAC Note 27-00, Hp-CC, typ 066, Jan. 1971.
38. Iselin F. e. a. CERN-NP CAMAC Note 26-00, Lam grader, 1971.
39. Iselin F. e. a. CERN-NP CAMAC Note 1-00, CAMAC options, 1968.
40. Iselin F. e. a. Crate CTR, CERN-NP CAMAC Note 2-00, Jan. 1969.
41. Iselin F. e. a. X-CTR, CERN-NP CAMAC Note, 3-00, Jan. 1969.
42. Iselin F. e. a. Display CTR, CERN-NP CAMAC Note, 4-00, Feb. 1969.
43. Iselin F. e. a. Oct.-dec. display, CERN-NP, CAMAC Note, 5-00, Feb. 1969.
44. Iselin F. e. a. Print controller, CERN-NP CAMAC Note, 6-00, Feb. 1969.
45. Iselin F. e. a. PRTML, CERN-NP CAMAC Note, 7-00, March 1969.
46. Iselin F. e. a. Parameter A, CERN-NP CAMAC Note, 9-00, Jan. 1969.
47. Iselin F. e. a. TR SLTR, CERN-NP CAMAC Note, 10-00, Nov. 1969.
48. Iselin F. e. a. Miniscaler, CERN-NP CAMAC Note, 11-00, Feb. 1969.
49. Iselin F. e. a. Bin. display, CERN-NP CAMAC Note, 12-00, May 1969.
50. Iselin F. e. a. B to D CVTR, CERN-NP CAMAC Note, 13-00, April 1969.
51. Iselin F. e. a. Digest of CERN-NP CAMAC XCL, CERN-NP, CAMAC Note, 14-00, May 1969.
52. Iselin F. e. a. Preset scaler, CERN-NP, CAMAC Note, 15-00, May 1969.
53. Iselin F. e. a. Microscaler, CERN-NP, CAMAC Note, 16-00, Feb. 1970.
54. Iselin F. e. a. Crate CTR, CERN-NP, CAMAC Note, 18-00, Jan. 1970.
55. Iselin F. e. a. SCRO, CERN-NP, CAMAC Note, 19-00, Nov. 1970.
56. Iselin F. e. a. System controller I, CERN-NP, CAMAC Note, 21-00, Jan. 1970.
57. Iselin F. e. a. TR SLTR, CERN-NP, CAMAC Note, 22-00, April 1970.
58. Bal F. e. a. D to A CVTR, CERN-NP, CAMAC Note, 28-00, March 1971.
59. Bal F. e. a. D to A CVTR, CERN-NP, CAMAC Note, 29-00, March 1971.
60. Bal F. e. a. CERN-NP type 057 CAMAC interfaces, CERN-NP, CAMAC Note, 31-00, March, 1971.
61. Bal F. e. a. Pattern B, CERN-NP, CAMAC Note, 32-00, July 1971.
62. Bal F. e. a. 21st Reg., CERN-NP, CAMAC Note, 33-00, July 1971.
63. Bal F. e. a. Branch test box, CERN-NP, CAMAC Note, 34-00, August 1971.
64. Elements fonctionnels normalisee, CEA, Saclay, France, 1972.
65. Ottes J., Tradowsky K. Spezifikationen für den CAMAC-Timer-Modul Typ LEM-52/2.4, External Bericht 22/70-3, Karlsruhe, 1970.
66. Deimling B. e. a. Kernforschungszentrum Karlsruhe bericht 22/71-5, 1971.
67. Ottes J., Tradowsky K. Kernforschungszentrum bericht LEM-52/1.3, 1971.
68. Ottes J. G. CAMAC System kontrolller für CALAS-Endstelle, Karlsruhe, KFK 1471, 1971.
69. Ottes J. Karlsruhe bericht, KFK 1185, 1970.
70. Проспект фирмы Borer and Co., Швейцария, 1971.
71. Проспект фирмы DEC, США, 1971.
72. Проспект фирмы Jorway, США, 1971.
73. Проспект фирмы SEN, Швейцария, 1971.
74. Проспект фирмы Siemens, ФРГ, 1971.
75. Проспект фирмы RDT, Италия, 1971.
76. Проспект фирмы AEG-Telefunken, ФРГ, 1971.
77. Проспект фирмы J&P, Англия, 1971.

78. Проспект фирмы Micro Consultants, Англия, 1971.
79. Satish Dhawan, Yale-NAL CAMAC System. IEEE Trans, 1971, 17, 65—68.
80. Egl W. e. a. CAMAC Crate controller für PDP-8L od I, Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie, Institut für Electronik.
81. Колпаков И. Ф., Никитюк Н. М. Контроллер ТРА. Препринт ОИЯИ, 11-6122, Дубна, 1971.
82. Multichannel analyzer system in CAMAC. ЕКСО CAMAC Report. Проспект фирмы ЕКСО, 1970.
83. Ottes J., Tradowsky K. Das CAMAC-System rechnergeführter Electronik, Karlsruhe bericht, KFK 1466, 1971.
84. MIDAS. Multiple-input data acquisition system. Проспект фирмы SAC, США, 1970.
85. Duclos J., Sarguiz M. CAMAC bulletin, No. 1, 12÷14, 1971.
86. Zwoll K. e. a. Kernforschungsanlage Jülich Bericht, Jül-774-ZE-FF, 1971.
87. Simmen A. Automatic analysis of sleep encephalograms, CAMAC bulletin, No. 1,5 ÷ 6, 1971.
88. Ward L. D. A Meteorological data logging system in the CAMAC standard, CAMAC bulletin, No. 1,7 ÷ 11, 1971.
89. MacLennan D. N. Analysis of underwater sound recording, CAMAC bulletin, No. 2, 12 ÷ 14, 1971.