

M-801

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



25/11-78

5646 / 2-78

13 - 11828

Б.А.Морозов, П.В.Номоконов, В.А.Смирнов

ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА ДАННЫХ
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
ПО pp -, pd - И pHe -РАССЕЯНИЮ
НА МАЛЫЕ УГЛЫ

(Электронная аппаратура)

1978

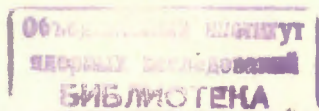
13 - 11828

Б.А.Морозов, П.В.Номоконов, В.А.Смирнов

ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА ДАННЫХ
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
ПО pp -, pd - И pHe -РАССЕЯНИЮ
НА МАЛЫЕ УГЛЫ

(Электронная аппаратура)

Направлено в ПТЭ



Морозов Е.А., Номоконов П.В., Смирнов В.А.

13 - 11828

Организация сбора данных в экспериментах по pp-, pd- и pHe -рассеянию на малые углы. (Электронная аппаратура)

В работе рассматриваются вопросы создания электронной аппаратуры для организации приема данных в серии экспериментов по изучению процессов pp-, pd- и pHe -рассеяния на малые углы, которые были выполнены в Лаборатории им. Ферми (Батавия, США) в течение 1976 и 1977 годов. В этих экспериментах информация с полупроводниковых детекторов с помощью регистрирующей и управляющей электронной аппаратуры поступала в малую ЭВМ PDP-11/20.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Morosov E.A., Nomokonov P.V., Smirnov V.A.

13 - 11828

Data Acquisition Set Up in Experiments on pp-, pd- and pHe Small Angle Scattering (Electronics)

A data acquisition set up for studying pp-, pd- and pHe small angle scattering is described. These experiments have been performed in the Fermilab (Batavia, USA) during 1976 and 1977. The readout and control electronics of the set up were for digitizing and transferring the data from semiconductor detectors into the small PDP 11/20 computer.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

1. ВВЕДЕНИЕ

В работе описываются регистрирующая электроника и организация приема данных в серии экспериментов по изучению упругого и неупругого рассеяния протонов на легких ядрах в области малых переданных импульсов. Эти эксперименты были выполнены группой физиков ОИЯИ и США в отделении внутренних мишеней на ускорителе Лаборатории им. Ферми в 1976 - 1977 годах. С помощью кремниевых полупроводниковых детекторов измерялись угол и энергии ядер отдачи, получаемых при взаимодействии внутреннего пучка ускорителя с газовой струйной мишенью. Для идентификации ядер применялись телескопы из полупроводниковых детекторов /ППД/^{1/1/}. Телескоп состоял из двух или трех полностью обедненных поверхностно-барьерных ППД^{1/1/}. Минимальная энергия ядер, необходимая для их идентификации, определяется толщиной первого детектора, а максимальная энергия - суммарной толщиной всех детекторов телескопа. Одновременное измерение энергии ΔE в первом детекторе и полной энергии E в телескопе позволяет разделить регистрируемые ядра, так как $\Delta E \cdot E \sim M \cdot Z^2$, где M - масса ядра отдачи, а Z - его заряд.

Соотношение толщин ППД в телескопе может быть оптимизировано в зависимости от типа ядер и их полной энергии. В наших экспериментах в двухдетекторном телескопе толщина первого детектора (d_F) была приблизительно в десять раз меньше толщины второго детектора (d_B). В зависимости от диапазона регистрируемой энергии d_F менялось в пределах $17 \text{ мкм} \leq d_F \leq 200 \text{ мкм}$.

В основном энергетическое разрешение первого детектора определяет разрешение телескопа по массам. Мы использовали ППД, величина энергетического разрешения которых менялась от детектора к детектору

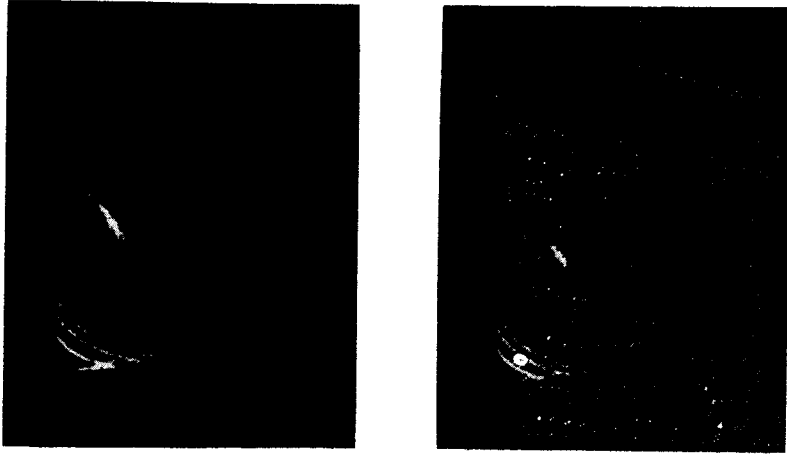


Рис. 1. Разделение легких ядер по их массам.

в пределах от 15 до 60 кэВ при регистрации α -частиц с энергией ~ 3 МэВ. Этого было достаточно почти для стопроцентной идентификации ядер ${}^4\text{He}$, ${}^3\text{He}$, D, H /см. рис. 1/.

Информация с детекторов с помощью регистрирующей и управляющей электронной аппаратуры поступает в ЭВМ PDP-11/20 ^{1/2} /см. рис. 2/. К магистрали ввода-вывода ЭВМ подключены следующие периферийные устройства:

1. Телетайп, который используется оператором для диалога с управляющей программой.
2. Графический дисплей с памятью.
3. Матричное печатное устройство, на которое можно сканировать изображение с экрана дисплея.
4. Магнитофон, который обеспечивает запись экспериментальной информации на магнитную ленту.
5. Быстрый диск с неподвижной головкой чтения - записи данных. На этот диск запись информации проводится во время ее приема.
6. Устройство для установки сменных дисков с вариантами дисковых операционных систем.
7. Пульт внешних прерываний, по которым организуется синхронизация приема данных с работой ускорителя.

8. Драйвер ветви, через который к ЭВМ может быть подключено до семи крейтов в стандарте КАМАК. Вся электронную аппаратуру спектрометра можно разделить на три функциональные группы:

1. Спектрометрические каналы.
2. Блоки, формирующие условия разрешения на прием данных.
3. Блоки, управляющие приемом данных в ЭВМ.

2. ОПИСАНИЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО КАНАЛА

Съем информации с полупроводниковых детекторов и ее дальнейшее преобразование в цифровой код осуществляются с помощью спектрометрических блоков, которые образуют двадцать четыре тождественных спектрометрических тракта. Логика аппаратуры позволяет группировать три тракта в один спектрометрический канал. Таким образом, в экспериментах, где в идентификации ядер отдачи не было необходимости, мы имели макси-

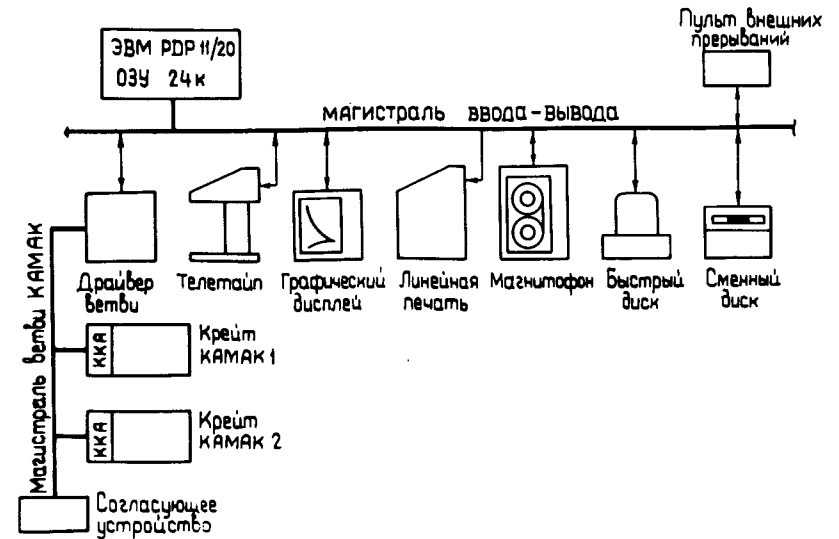


Рис. 2. Структурная схема ЭВМ PDP-11/20.

мальную 24-канальную спектрометрическую систему. Максимальное число каналов в экспериментах с необходимостью идентификации было восемь. На рис. 3 рассмотрена блок-схема одного из таких восьми спектрометрических каналов. Заряд, индуцируемый детектором после прохождения заряженной частицы, преобразуется в амплитуду импульса с помощью стандартной цепочки: предусилитель-усилитель.

Предусилитель фирмы ОРТЕК ^{3/}, тип 109А, имеет чувствительность по заряду 150 мВ на 1 МэВ энергии, потерянной частицей в детекторе. Интегральная нелинейность в диапазоне выходных амплитуд от 0 В до ± 1 В на нагрузке 50 Ом не превышает 0,1%.

Усилитель /также фирмы ОРТЕК, тип 471/ имеет регулируемый коэффициент усиления в диапазоне от 2,5 до 3000 с интегральной нелинейностью лучше чем 0,05% в диапазоне амплитуд выходных сигналов от 0 до ± 6 В. Постоянные формирующих цепочек в усилителях выбраны равными ~ 1 мкс.

Усилитель одновременно генерирует два импульса. Первый сформирован с целью лучшего энергетического разрешения и является "спектрометрическим" импульсом.

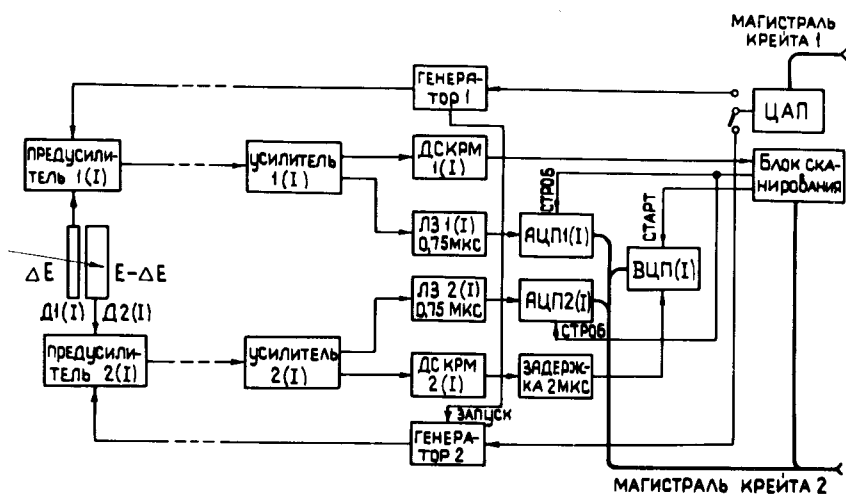


Рис. 3. Блок-схема спектрометрического канала.

Второй - это импульс с коротким передним фронтом ~ 30 нс/, и он минуя интегрирующую формирующую цепь усилителя. Первый импульс поступает через линейную задержку /0,75 мкс/ на вход 256-канального АЦП, второй - на вход однопорогового дискриминатора. Задержка необходима для того, чтобы обеспечить сдвиг измеряемого сигнала относительно переднего фронта стробирующего импульса, длительность которого, равная ~ 2 мкс, была выбрана с таким расчетом, чтобы обеспечить его временное совпадение с максимальным значением амплитуды измеряемого импульса. Стробирующий сигнал вырабатывается следующим образом. Импульс с дискриминатора спектрометрического тракта первого детектора приходит на один из восьми входов запуска блока сканирования, который вырабатывает импульс стробирования АЦП и импульс-старт для время-цифрового преобразователя /ВЦП/.

АЦП фирмы ОРТЕК ^{3/}, типа AD811, состоит из восьми 2047-канальных аналого-цифровых преобразователей, интегральная нелинейность которых - 0,2%, дифференциальная нелинейность - 1,5% в диапазоне входных амплитуд от 0 до +2 В. Максимальное время преобразования составляет 13 мкс.

Калибровка спектрометрических трактов осуществлялась генератором импульсов точной амплитуды, опорное напряжение для которого менялось ступенчатым образом с помощью цифро-аналогового преобразователя /ЦАП/ по программе ЭВМ. Для привязки шкалы ЦАП к энергоснабжению в детекторах использовались источники α -частиц с энергиями от 3,18 МэВ (¹⁴⁸Ga) до 8,786 МэВ (²²⁸Th).

3. УСЛОВИЯ РАЗРЕШЕНИЯ НА ПРИЕМ ДАННЫХ

Регистрация ядер отдачи проводилась во время цикла ускорения при нескольких значениях энергии ускоряемого пучка. Количество энергетических "точек" определялось количеством формируемых газовых струй во время каждого цикла /максимальное число - это четыре струи/. Формирование струй и выработка сигналов разрешения

на прием данных производились с помощью серии импульсов - меток нарастающего магнитного поля / В - таймера/.

Организация работы программ приема данных в реальном масштабе времени осуществляется с помощью сигналов прерывания, которые поступают в ЭВМ с пульта внешних прерываний /ПВП/, от часов реального времени и из блоков буферной памяти. На рис. 4 приведена структурная схема, которая поясняет появление сигналов с ПВП. Перед каждым циклом ускорения на экспериментальную установку поступает импульс "Начало цикла ускорения" /НЦУ/. Он приходит на вход "Прерывание А" в ПВП, а также осуществляет сброс установочных счетчиков /Т1 ÷ Т4/, блока сканирования и счетчика числа импульсов, приходящих по линии "В-таймер". На рис. 5 показаны временные соотношения между появлением сигналов прерывания и сигналов разрешения на прием данных. ЭВМ узнает о наступлении момента времени, после которого возможно появление событий взаимодействия пучка с мишенью, по сигналу прерывания из ПВП, обусловленного импульсом на входе "Прерыва-

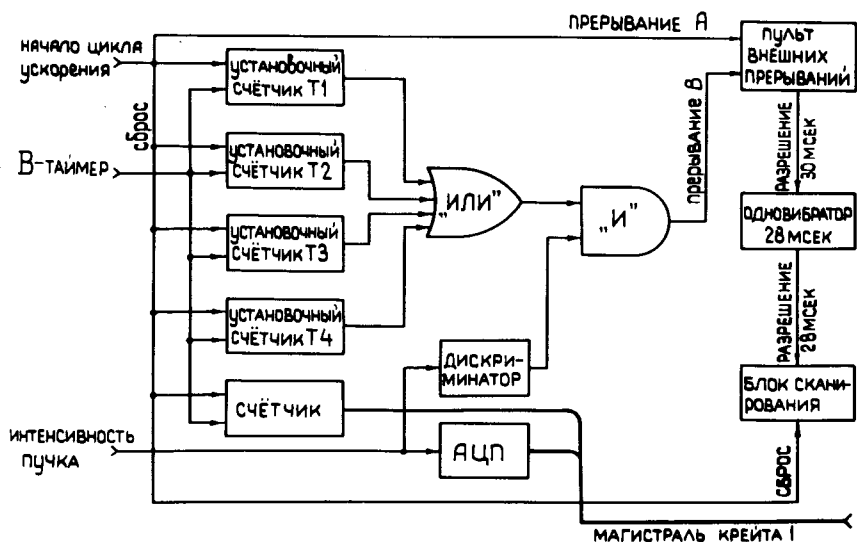


Рис. 4. Структурная схема выработки условий разрешения на прием данных.

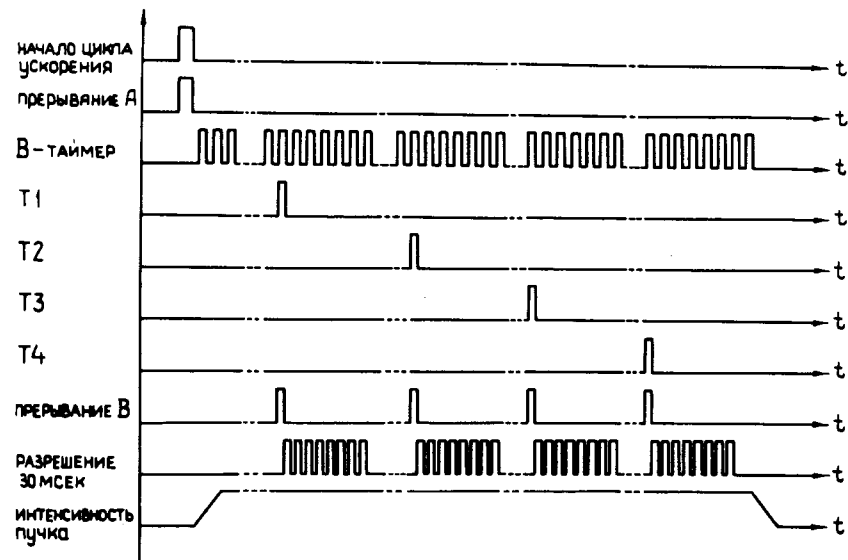


Рис. 5. Временные диаграммы, объясняющие появление сигналов разрешения на прием данных.

ние В". В течение цикла ускорения возможен приход до четырех таких импульсов /по одному из каждого установочного счетчика, число которых определяет количество рабочих газовых струй/. Время появления импульса на выходе i -го установочного счетчика относительно момента появления НЦУ определяется значением установленного вручную кода T_i и частотой, с которой идут импульсы по линии "В-таймер".

Импульсы из установочных счетчиков не поступают на вход "Прерывание В" в ПВП, если уровень интенсивности пучка был ниже заранее выбранного предела. В ответ на этот сигнал прерывания ЭВМ генерирует восемь последовательно идущих импульсов разрешения

на прием данных, длительность каждого из них равна 30 мс, а время между их появлением - 10 мс. Длительность этой пачки импульсов равна 310 мс, а длительность струи - 100 мс. Коды Т1, Т2, Т3, Т4 выбираются так, чтобы струя по времени попадала

на середину пачки импульсов разрешения. По концу каждого сигнала разрешения ЭВМ считывает цифровой код со счетчика числа импульсов, приходящих по линии "В-таймер". Этот код пропорционален энергии ускоренных частиц в момент времени, совпадающий с задним фронтом импульса разрешения. Реальный импульс разрешения работы экспериментальной установки на прием данных задается с помощью одновибратора на 2 мс короче, что предотвращает сбой в приеме данных.

4. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ЭВМ

Передача экспериментальной информации в ЭВМ производится через драйвер ветви в стандарте КАМАК^{/4/}, который связан с контроллерами двух крейтов. Первый контроллер работает только под управлением программы ЭВМ, второй контроллер может работать также под управлением блока сканирования, который управляет записью данных в блоки буферной памяти. Промежуточное запоминание данных в двух блоках памяти позволяет в значительной мере сокращать мертвое время спектрометра на один сигнал запуска. Мертвое время спектрометра (T_{MB}) при отсутствии блоков памяти можно найти следующим образом:

$$T_{MB} = T_{реакции} + N \cdot 4 \cdot T_{передачи} \quad /1/$$

$T_{реакции}$ - это время, необходимое для вызова программы приема данных по сигналу прерывания, сформированного в момент прихода сигнала запуска. Если программы работают под управлением дисковой операционной системы, то $T_{реакции} = 1$ мс. N - это число спектрометрических каналов, в которых отмечена регистрация события для данного сигнала запуска и которое в большинстве случаев равно единице. $T_{передачи}$ - это время, необходимое на передачу одного слова данных из любого блока в крейте в ЭВМ и равное 20 мкс. Коэффициент 4 определяет количество слов, которое необходимо прочитать на одно событие в одном

из каналов. Подставляя численные значения в выражение /1/, найдем, что $T_{MB} \approx 1,1$ мс. При использовании промежуточного запоминания в процессе передачи данных величину мертвого времени спектрометра можно оценить следующим образом:

$$T_{MB} = T_{преобразования} + N \cdot 4 \cdot T_{цикла} \div \Delta T \quad /2/$$

$T_{преобразования}$ - это максимальное время, необходимое для преобразования амплитуды аналогового сигнала в цифровой код и равное 15 мкс. $T_{цикла}$ - это время, необходимое для чтения слова данных из любого блока крейта в блок сканирования и равное 1 мкс. ΔT учитывает то обстоятельство, что время чтения 64 слов данных ($T_{чтения}$) из одного блока памяти может быть больше времени заполнения данными другого блока памяти ($T_{заполнения}$). $\Delta T = 0$, если в течение одного сигнала разрешения на прием данных приходит не более 64 событий /информация на одно событие содержится в двух словах памяти/. В противном случае процесс передачи данных в промежуточную память должен прерываться на время $T_{ожидания}$, где

$$T_{ожидания} = \max [T_{чтения}, T_{заполнения}] - T_{заполнения} \quad /3/$$

$$T_{чтения} = T_{реакции} + 64 \cdot T_{передачи} \quad /4/$$

$$T_{заполнения} = 32 \cdot T_{среднее} \quad /5/$$

$T_{среднее}$ - это среднее время между приходом двух последовательно пришедших сигналов запуска. Поправку ΔT можно представить как $T_{ожидания} /32$. Из выражения /3/ можно найти условие, при котором $\Delta T = 0$, - это $T_{чтения} \leq T_{заполнения}$, откуда найдем, что

$$T_{среднее} \geq (T_{реакции} + 64 \cdot T_{передачи}) / 32 \quad /6/$$

Подставляя в выражение /6/ численные значения, получим, что при $T_{\text{среднее}} \geq 70 \text{ мкс}$ поправкой ΔT можно пренебречь. В рассматриваемом спектрометре при самых больших нагрузках $T_{\text{среднее}} \approx 500 \text{ мкс}$, следовательно, $\Delta T = 0$, а $T_{\text{МВ}} \approx 0,02 \text{ мс}$ в случае промежуточного запоминания данных.

На рис. 6 показаны основные связи между блоками сканирования и другими блоками спектрометра. По командам блока сканирования данные из аналого-цифровых и время-цифровых преобразователей записываются поочередно в один из двух блоков буферной памяти. ЭВМ считывает содержимое блока памяти как при его заполнении, так и по концу сигнала "Разрешение - 30 мс". На рис. 7 приведена структурная схема блока сканирования,

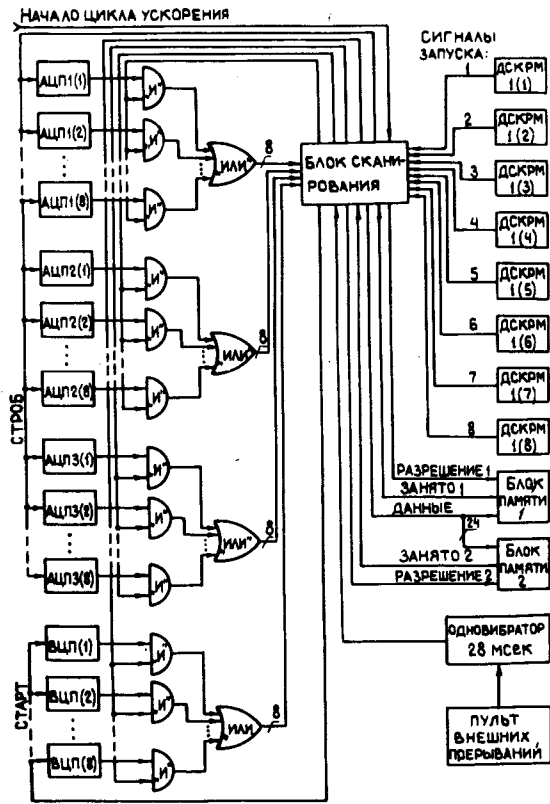


Рис. 6. Схема связей блока сканирования с другими блоками спектрометра.

ния, а на рис. 8 - временные диаграммы, поясняющие процесс записи данных в блоки памяти. По сигналу ускорителя НЦУ блок сканирования подготавливается к работе и ожидает появления импульса "Разрешение - 28 мс", во время которого по любому из 16 входов может проходить сигнал запуска. Так как в спектрометре всего восемь каналов, то используется только восемь первых входов. Появление сигналов на двух или более входах считается одновременным и формирует один запуск блока сканирования, если эти сигналы приходят в интервале времени 60 нс после появления переднего фронта первого из них. Логические уровни сигналов на входах запуска в конце 60-наносекундного интервала стробируются в параллельный 16-разрядный регистр, и устанавливается триггер мертвого времени /T1/, который запрещает последующие запуски блока сканирования. Затем вырабатываются импульс-старт ВЦП и импульс-строб АЦП и запускается одновибратор выдержки на время преобразования в АЦП /ОД4/. По концу импульса выдержки начинается поиск номера одного из спектротрических каналов, в котором произошло событие. Этот номер однозначно связан со значением субадреса восьмиканальных АЦП и ВЦП. Для найденного значения A_i осуществляется процесс чтения четырех восьмиразрядных слов данных из трех АЦП и одного ВЦП. Из каждых двух слов и номера сработавшего канала формируется одно 24-разрядное слово, которое записывается в тот блок памяти, для которого потенциал "Разрешение" равен "1". Для наглядности процесса передачи информации емкость каждого блока памяти равна двум словам /см. рис. 8/. При записи двух слов данных в блок памяти 1 появляется сигнал "Занято 1", в ответ на который снимается сигнал "Разрешение 1" и устанавливается сигнал "Разрешение 2", а в ЭВМ поступает сигнал прерывания. После чтения информации, соответствующей i -му спектротрическому каналу, блок сканирования осуществляет поиск номеров /j и l/ следующих сработавших каналов. Затем организуется чтение данных по субадресам A_j и A_l из блоков АЦП и ВЦП. При завершении процесса сканирования сбрасывается триггер мертвого времени T1, который разрешает про-

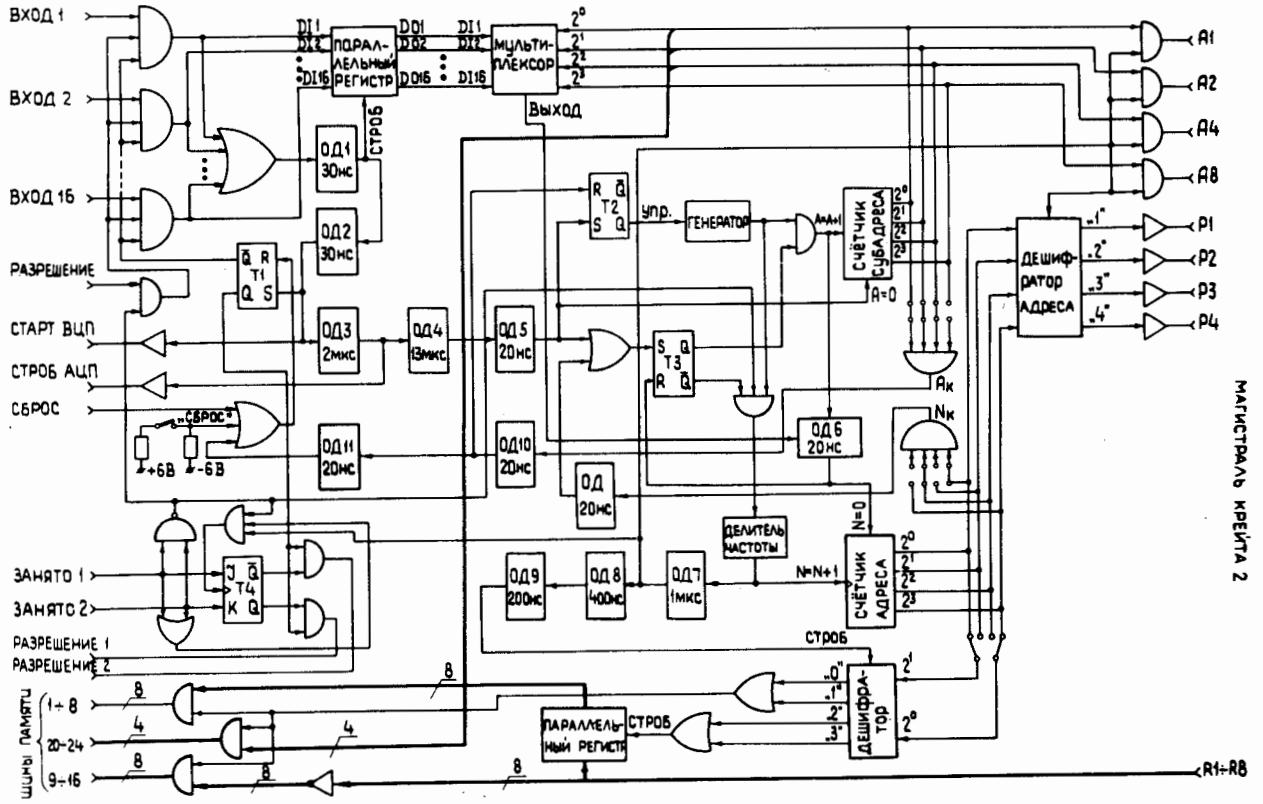


Рис. 7. Структурная схема блока сканирования.

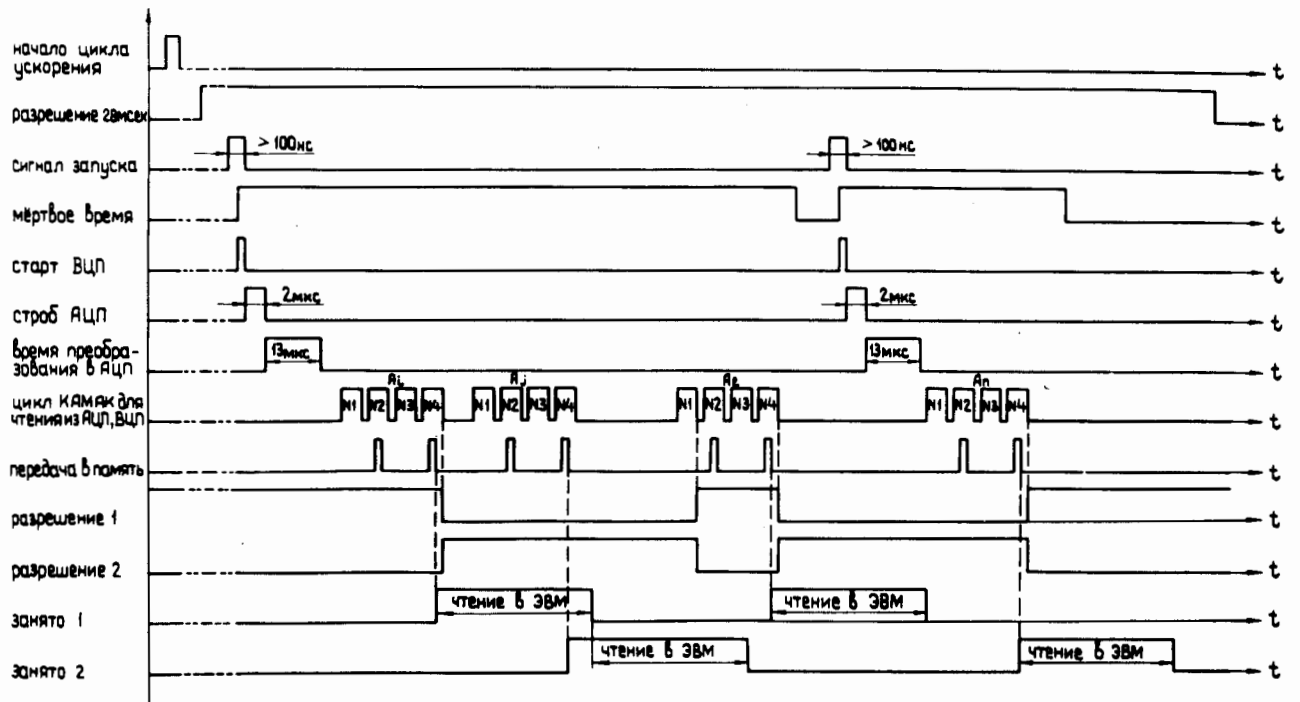


Рис. 8. Временные диаграммы работы блока сканирования.

хождение сигнала запуска в блок сканирования. Исчезновение сигнала "Разрешение-28 мс" запрещает дальнейшие запуски блока сканирования. По концу сигнала "Разрешение - 30 мс" ЭВМ считывает информацию из блоков памяти, из счетчика числа импульсов по линии "В-таймер" и из АЦП, измеряющего уровень интенсивности пучка протонов. Разница в 2 мс между приходом конца сигнала "Разрешение - 28 мс" и конца сигнала "Разрешение - 30 мс" обеспечивает завершение процесса сканирования данных, соответствующих последнему сигналу запуска.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рассмотренной в работе электронной аппаратуре спектрометра ядер отдачи была проведена серия экспериментов в Лаборатории им. Ферми /Батавия/. Прием данных осуществлялся с минимально возможным мертвым временем, равным 20 мкс, за счет их промежуточного запоминания. В течение приема данных запрещались запуски по всем спектрометрическим каналам, в результате существовало одно и то же мертвое время для всех каналов.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность коллегам по советско-американской коллаборации Э.Маламуду, Д.Гроссу, Э.Дженкинсу, Р.Ямада, М.Мияджима, А.А.Кузнецову, В.А.Никитину, Ю.К.Пилипенко, А.Сандачу и А.Буяку за ценные рекомендации и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ORTEC Instruction Manual Surface Barrier Detectors.*
2. *PDP 11/20 Processor Handbook. Digital Equipment Corporation.*
3. *ORTEC Catalog of Instruments for Research and Industry, 1976.*
4. *Kinetic Systems Catalog, November 1975.*

*Рукопись поступила в издательский отдел
11 августа 1978 года.*