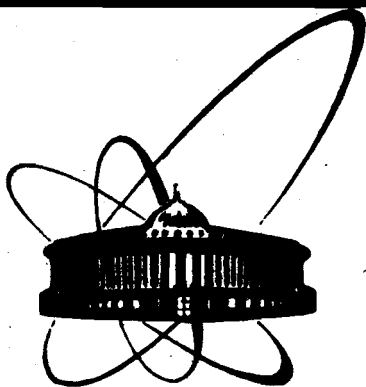


89-93



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

A 391

13-89-93

**Ю.К.Акимов, И.И.Гайсак, М.И.Госткин, Ю.Б.Гуров*,
С.И.Мерзляков, А.Г.Молоканов, К.О.Оганесян,
Е.А.Пасюк, С.Ю.Пороховой**

**УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРОТОНОВ
ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ С ЯДРАМИ**

* Московский инженерно-физический институт

1989

Развитие исследований при промежуточных энергиях предъявляет все возрастающие требования к точности измерения средней энергии, энергетического разброса и интенсивности падающего пучка, к надежности идентификации и измерения энергии вторичных частиц.

В настоящей работе описывается установка для исследования рождения пионов в протон-ядерных столкновениях, которая может быть также использована для изучения других процессов взаимодействий протонов промежуточных энергий с ядрами. Она позволяет регистрировать различные заряженные продукты этих взаимодействий (пионы, протоны, дейтроны), идентифицировать их и измерять энергетические спектры.

ПРОТОННЫЙ ПУЧОК

Установка размещена на протонном канале медико-клинического комплекса фазотрона ОИЯИ¹¹. Схема канала приведена на рис. 1. Выведенный протонный пучок с энергией 660 МэВ попадает в блок углеродного замедлителя, толщина которого может варьировать дистанционно с шагом 2 г/см². За ним расположен набор сменных коллиматоров К1 различных размеров. С помощью системы из трех магнитов (СП-37, СП-10 и СП-57) из замедленного пучка отбираются частицы с нужным импульсом. Величина импульсного разброса определяется размером коллиматора К5. Далее пучок фокусируется на мишени с помощью триплетов квадрупольных линз Т1 и Т2. Экспериментальная установка расположена в промежутке между элементами Т2 и Т3. Канал позволяет выводить протонный пучок в широком интервале энергий от нескольких десятков МэВ до 660 МэВ с импульсным разбросом $\Delta p/p \geq 0,5\%$ и интенсивностью до $10^8 - 10^9 \text{ с}^{-1}$. Таким образом, имеется возможность для оптимизации параметров протонного пучка под требования конкретного эксперимента.

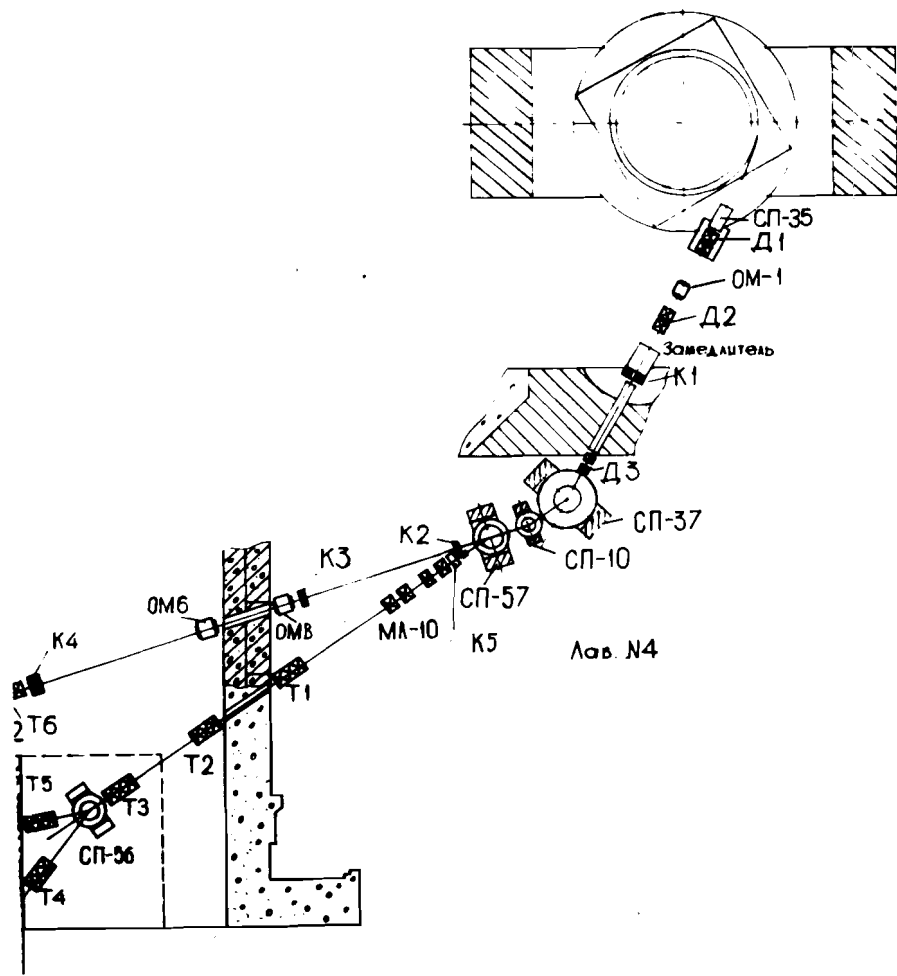


Рис. 1

ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРОТОННОГО ПУЧКА

Для измерения энергии протонного пучка используется времяпролетная система с базой около 15 м. Стартовый счетчик располагается за системой анализирующих магнитов после коллиматора К5, стоповый счетчик — непосредственно перед установкой. Размеры сцинтилляторов стартового и стопового счетчиков равны соответственно $39 \times 15 \times 4 \text{ мм}^3$ и $20 \times 15 \times 8 \text{ мм}^3$. Необходимая точность измерения средней энергии падаю-

щего протонного пучка достаточно высока — $\Delta T_p \ll 1 \text{ МэВ}$. Для энергии протонов 350 МэВ на данной базе время пролета составляет около 60 нс, а изменение энергии на 1 МэВ дает изменение во времени пролета 60 пс. Указанная точность определяет требования к параметрам времяпролетной системы. Схема электроники для времяпролетной системы приведена на рис. 2. Сигналы со счетчиков поступают через "Constant fraction" — дискриминатор $\Phi 214$ на входы "Старт" и "Стоп" времяамплитудного преобразователя ПВА-203^{2/2} и далее —

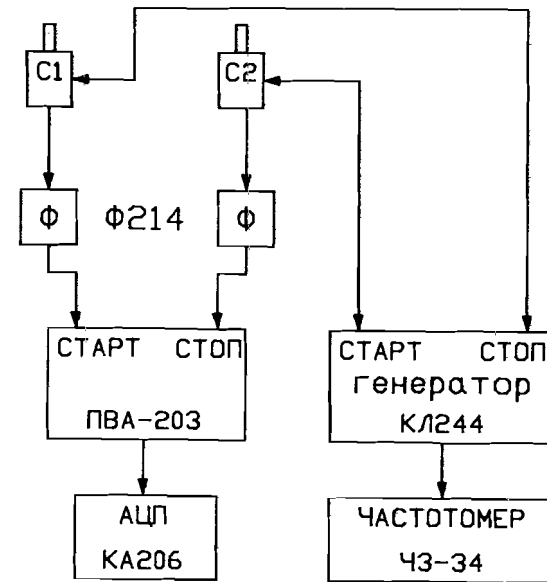


Рис. 2

на вход 13-разрядного амплитудно-цифрового преобразователя КА206^{3/3}. Для калибровки и контроля стабильности временной шкалы разработан генератор точных временных интервалов КЛ244. Сигналы этого генератора запускают светодиоды, расположенные в обоих счетчиках. Тем самым обеспечивается проверка всего спектрометрического тракта. Устройство и параметры блоков $\Phi 214$ и КЛ244 описаны ниже.

Абсолютная калибровка временной шкалы осуществлялась с помощью пучка электронов. Для определения нуля шкалы счетчики помещались вплотную друг к другу. Зная ноль шкалы и ее калибровочную характеристику, можно точно определить пролетную базу. Собственное временное разрешение времяпролетной системы составило 180 пс для протонов с энергией 100 МэВ. Времяпролетная система позволяет контролировать среднюю энергию частиц пучка с точностью лучше 0,1-0,5 МэВ.

ОБЩАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

Общая схема установки приведена на рис. 3. Детектирующая часть установки состоит из времяпролетной системы сцинтилляционных счетчиков и сцинтилляционного спектрометра полного поглощения. Сцинтилляторы времяпролетной системы С1 и С2, С3 имеют размеры

40 x 40 x 3 мм³ и 70 x 70 x 8 мм³ соответственно. Сцинтиллятор в детекторе С2, С3 просматривается двумя фотоумножителями для компенсации временного разброса, связанного с неопределенностью точки попадания частицы в сцинтиллятор. В детекторах С1 и С2, С3 используются фотоумножители ХР2020. В спектрометре полного поглощения С4 сцинтиллятор имеет форму усеченного конуса с высотой 250 мм и диаметрами 140 мм и 210 мм. Со стороны меньшего диаметра сцинтиллятор просматривается фотоумножителем ХР2040. Времяпролетная база составляет 108 см. Детекторы расположены на поворотной ферме и могут вращаться вокруг мишени Т в диапазоне углов от 0° до 130°. При калибровке детекторы помещаются в прямой пучок.

Для измерения прошедшего через мишень потока протонов используется методика счета рассеянных в мишени МТ частиц с помощью телескопа М1-М2. Калибровка мониторингной системы осуществляется следующим образом. При пониженной интенсивности протонного пучка (до $10^4 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$) на месте рабочей мишени помещается сцинтилляционный счетчик с размерами, равными размерам мишени, и два дополнительных счетчика впереди и позади него (телескоп М3, М4, М5 — на рисунке не показан). Таким образом, этот телескоп непосредственно измеряет поток частиц, проходящий через мишень. Далее определяется коэффициент пересчета интенсивности прямого пучка и счета бокового телескопа. Такая процедура производится для различных энергий пучка. При рабочих измерениях дополнительный телескоп удаляется из пучка, и падающий поток легко определяется исходя из счета телескопа М1-М2. Систематическая ошибка в определении потока меньше 10%.

Дополнительно к описанному способу нами был предложен и использован еще один. Дальше по пучку помещается тонкий кремниевый поверхностно-барьерный полупроводниковый детектор D, работающий в режиме токовой ионизационной камеры и подключенный к преобразователю ток — частота. Этот детектор может нормально работать при

рабочей интенсивности $10^8 \cdot 10^9 \text{ c}^{-1}$ и позволяет непосредственно контролировать интенсивность протонного пучка.

Основные параметры установки следующие: порог регистрации пионов — 10 МэВ в мишени, по протонам соответственно 30 МэВ; максимальная энергия для частиц, чей пробег укладывается в С4, — 100 и 200 МэВ для пионов и протонов соответственно. Энергетическое разрешение С4 составляет 2% для протонов с энергией 100 МэВ.

СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Блок-схема электроники установки приведена на рис. 4. Сигналы с детекторов С1-С4 по кабелям поступают на восьмиканальный дискриминатор КА225 и далее на преобразователь заряд — код КА010^{1/4} для получения информации об энерговыделении в каждом из детекторов. Сигналы с быстрых выходов через управляемые линии задержки КЛ354^{1/5} поступают на схему совпадений КЛ355^{1/5}. Выходной сигнал этой схемы является сигналом триггера для установки. Сигнал с детектора С4 не используется в выработке триггера, что позволяет понизить энергетический порог за счет регистрации частиц, останавливающихся в детекторе С2, С3. Этот сигнал строит блок КА225, и на его выходах Т появляются задержанные сигналы, которые используются для времяпролетных измерений. Одновременно с этим происходит запись информации о сработавших детекторах во внутренний регистр и вызывается триггер блокировки Т_{бл}, который закрывает все входы системы до тех пор, пока вся информация не будет считана в ЭВМ. Сформированный по длительности сигнал со схемы совпадений задает время интегрирования для преобразователя заряд — код. Длительность его равна 120 нс. Такая длительность выбрана из соображений получения оптимального энергетического разрешения для пионов. Время жизни пиона составляет 26 нс, при этом вероятность того, что остановившийся пион распадется, а мюон из его распада не распадется, достигает максимума 94% при 117 нс. Таким образом, при выбранной длительности интервала интегрирования, в него попадут сигналы от пиона и мюона с энергией 4,13 МэВ из его распада. Эта дополнительная поправка к энергии затем вычитается. Сигналы с мониторинговых детекторов М1-М5 также через блок КА225 поступают на схемы совпадений, а затем — на счетчики. Вся информация считывается в ЭВМ СМ-3, где записывается на магнитную ленту. ЭВМ также проводит настройку системы (установку необходимых параметров, измерение кривых задержанных совпадений, контроль расщепления пучка с помощью блока КЛ226^{1/6}) и экспресс-обработку информации. Во время проведения измерений на экране цветного монитора

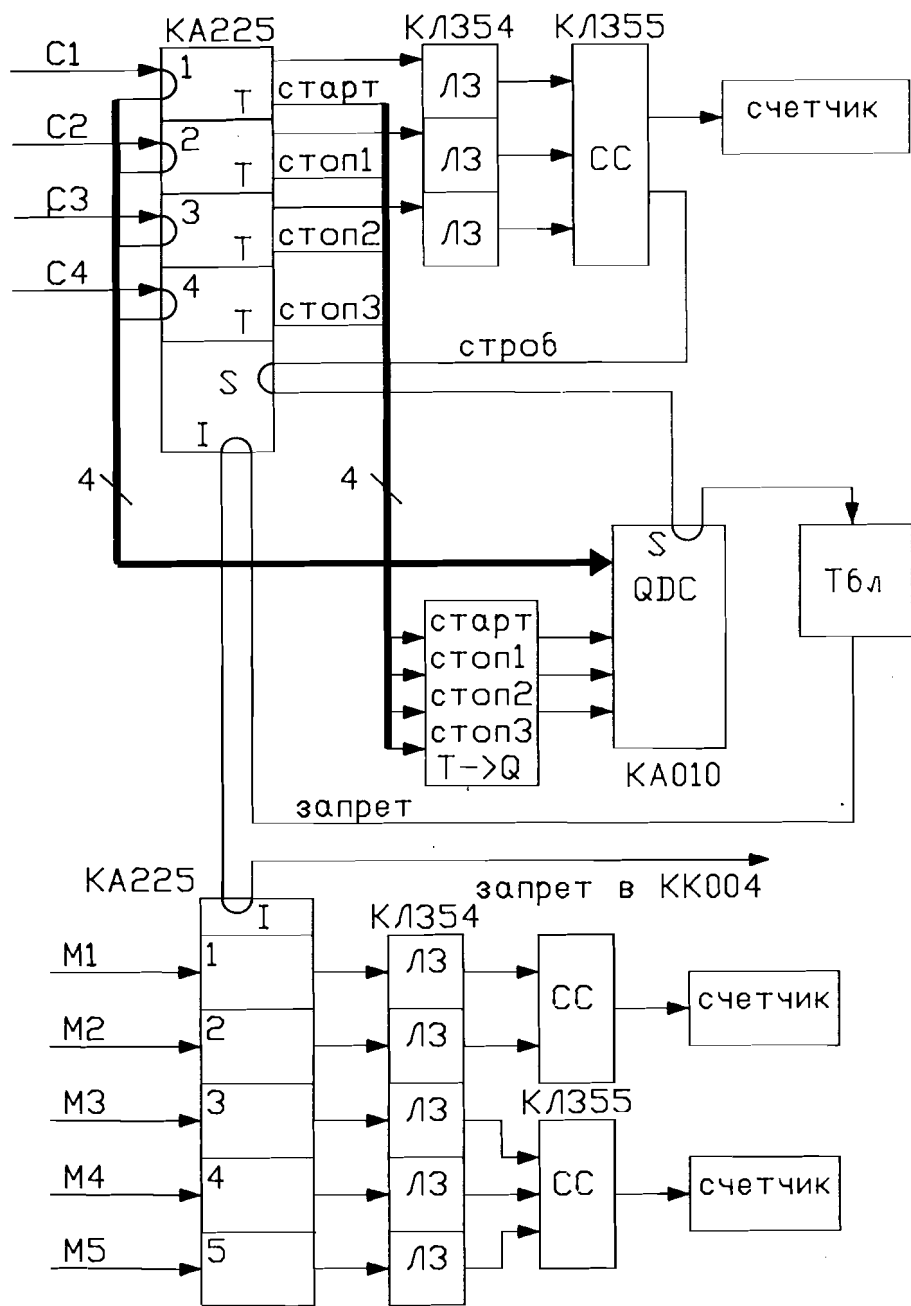


Рис. 4

можно наблюдать шесть двумерных распределений для любых пар из семи измеряемых величин (четыре амплитуды и три времени пролета) и различные счета.

Анализируя двумерные распределения $\Delta E-E$, $t-E$ для различных комбинаций детекторов, можно достаточно надежно проводить идентификацию частиц. На рис. 5 приведен пример двумерного распределения $E-t$. Видны хорошо разделяющиеся области, соответствующие пионам, протонам и дейтронам.

Так как для временной привязки используются формирователи с фиксированным порогом, существует зависимость временной отметки от амплитуды сигнала. Кроме того, имеется временной разброс, связанный с неопределенностью точки попадания в сцинтиллятор. Для устранения этих неопределенностей производится коррекция времени в зависимости от амплитуды сигналов с детекторов и усреднение времен пролета C1-C2 и C1-C3. Известно¹⁷¹, что хорошие результаты дает использование для коррекции следующей формулы:

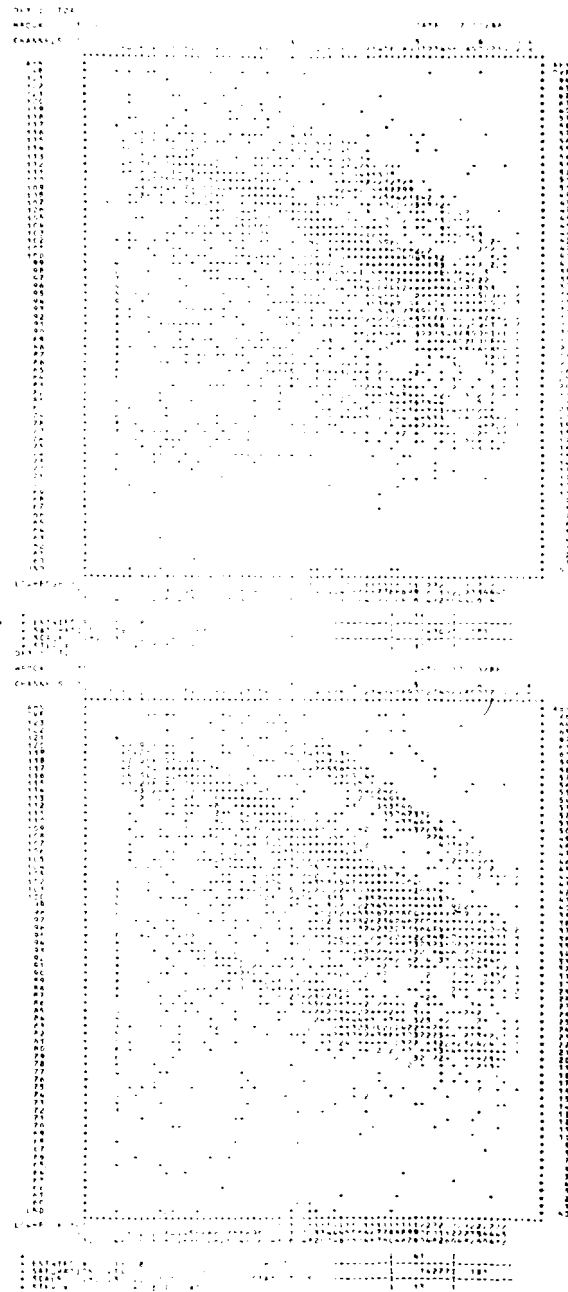


Рис. 5

$$\Delta t = k \left(\frac{1}{\sqrt{a_0}} - \frac{1}{\sqrt{a}} \right),$$

где Δt — поправка, k и a_0 — параметры, a — амплитуда сигнала. Значения k и a_0 определяются при калибровке системы моноэнергетическими частицами в прямом пучке. Окончательно время пролета вычисляется следующим образом:

$$t = \frac{\tau_1 + \tau_2 - \Delta t_2 - \Delta t_3 - 2\Delta t_1}{2},$$

где τ_1, τ_2 — времена пролета между С1-С2 и С1-С3 соответственно, $\Delta t_1, \Delta t_2$ и Δt_3 — соответствующие поправки для каждого из трех фотомножителей. При введении коррекции временное разрешение улучшается в два раза, с 900 до 450 пс. На рис. 5 изображены двумерные распределения энергия — время пролета. Верхнее распределение без коррекции, нижнее — с коррекцией. Из рисунка видно, что разделение ветвей, соответствующих различным частицам, заметно улучшается, что делает более надежной идентификацию частиц.

ФОРМИРОВАТЕЛЬ Ф214

Блок-схема одного канала двухканального формирователя Ф214, предназначенного для точной временной привязки сигналов с ФЭУ, приведена на рис. 6. Прибор, выполненный на основе подхода "fast-fast coincidence"^{8,9}, включает в себя дифференциальный дискриминатор (компараторы ТН1, ТН2, триггер Тг1 и схема ИЛИ1), "Constant fraction" - формирователь (компаратор ТН3 и триггер Тг2) и выходную логику (одновибраторы "Мертвое время", "Длительность выхода" и схема ИЛИ2).

Работает модуль следующим образом. Сигнал с ФЭУ поступает сначала на входы компараторов ТН1 и ТН2 (дифференциального дискриминатора, логическая часть которого реализована на триггере Тг1 и схеме ИЛИ1). Инверсный выход триггера устанавливается в нулевое состояние сигналом компаратора нижнего уровня ТН2, а возвращается в единичное состояние или импульсом с компаратора высокого уровня ТН1, или сигналом с триггера "Constant fraction"-формирователя Тг2. С дифференциального дискриминатора входной сигнал через внешнюю кабельную задержку ЛЗ = Т1 поступает на вход "Constant fraction"

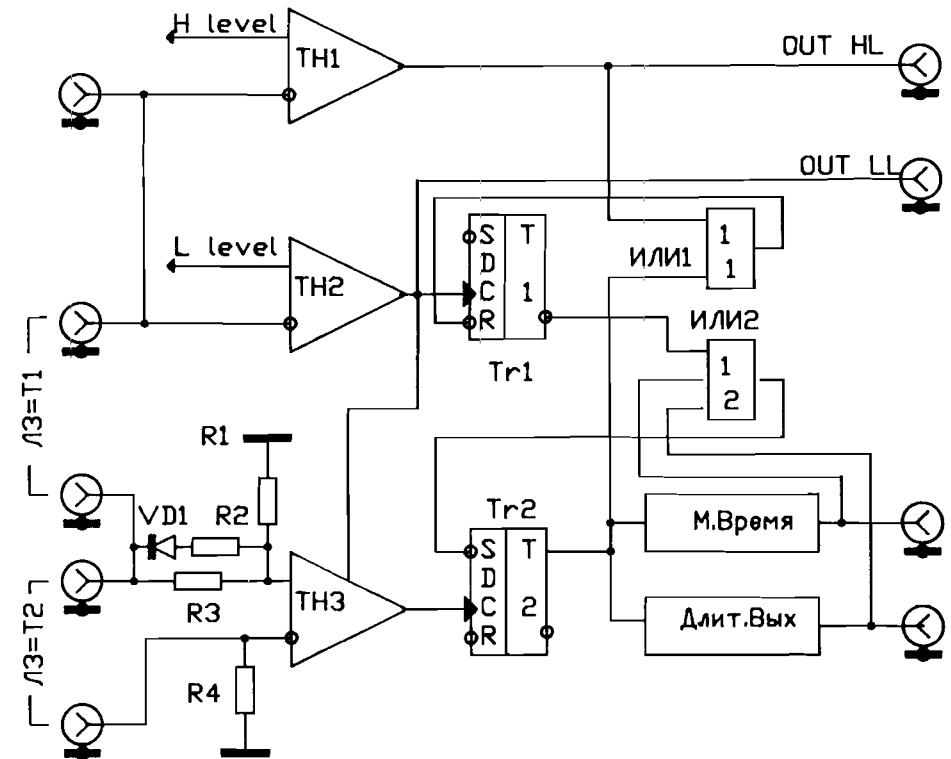


Рис. 6

формирователя, разветвляется и поступает на прямой вход компаратора ТН3 через нелинейный делитель (R1-R3, VD1)⁹, а на инверсный вход через внешнюю кабельную задержку ЛЗ = Т2. Положительным перепадом напряжения на выходе компаратора ТН3 переключается триггер Тг2, причем условием переключения является наличие разрешающего сигнала на S-входе триггера Тг2, а именно — низкий уровень на инверсном выходе триггера Тг1 и отсутствие сигналов с одновибраторов "Мертвое время" и "Длительность выхода".

Все компараторы прибора реализованы на микросхемах КР597СА1, недостатком которых является их склонность к самовозбуждению при малых (несколько мВ) значениях порога. Поскольку именно этот режим принципиально требуется для работы компаратора "Constant fraction" -формирователя ТН3, то в модуле введено управление работой ТН3 со стороны компаратора нижнего уровня ТН2 (компаратор ТН3 активен лишь при наличии сигнала компаратора ТН2).

задаваемого временного интервала. Этот код используется для установки коэффициента деления в делителе частоты, выходные сигналы с которого распределяются выходной логикой по выходам "Старт", "Стоп" и "Частота" с учетом состояния триггера управления выходом Тг1 и наличия запрещающих сигналов "Inhibit" и "Запрет".

Хотелось бы акцентировать внимание на примененную в данном устройстве схему управляемого делителя частоты, способную работать при входной частоте до 110 МГц. В состав делителя входят два реверсивных счетчика с предварительной установкой СТ2-1 и СТ2-2 типа КР500ИЕ136 и D-триггер Тг6 типа КР500ТМ131. Рабочая частота до 110 МГц для схемы, включающей в себя два счетчика, достигнута благодаря тому, что для формирования сигнала переноса в первом счетчике применено "проводное И", а для установки счетчиков в исходное состояние использована следующая последовательность операций. По заполнении обоих счетчиков (для счета используются 7 разрядов) выход Q4 второго счетчика переключается в единичное состояние, блокируя тем самым по входу С1 первого счетчика дальнейший счет. Следующим импульсом генератора переключается состояние триггера Тг6, переводя счетчики по входам S1 из счетного режима в режим начальной установки. С приходом следующего генераторного сигнала в счетчики заносится содержимое регистра параметров, а выход Q4 второго счетчика обнуляется (при этом снимается блокировка по входу С1). И, наконец, последним генераторным сигналом сбрасывается триггер Тг6, и счетчики вновь переводятся в счетный режим. Период следования выходных импульсов схемы описывается выражением $T = (1/f) \cdot (4 + N)$, где f — частота входных сигналов, а N — код задаваемого временного интервала.

Работа выходной логики основана на последовательном переключении триггеров Тг2 и Тг3, на С-входы которых поступают импульсы отрицательной полярности с делителя частоты. Работает эта часть схемы следующим образом. По концу первого импульса при отсутствии на D-входе блокирующих сигналов триггер Тг2 устанавливается в единичное состояние и открывает ворота G1 по первому входу. Второй импульс, пройдя через ворота G1, формирует сигнал "Старт", а по окончании второго импульса переключается триггер Тг3, открывая ворота G1 по второму входу и сбрасывая в нулевое состояние триггер Тг2. Третий импульс с делителя частоты формирует сигнал "Стоп" и запускает одновибратор блокирования выходных сигналов, реализованный на основе триггера Тг4.

Технические параметры прибора следующие. Стандарт исполнения — КАМАК, шириной 1М; нестабильность задающего генератора в диапазоне температур 15-30° С не более 10^{-5} 1/° С; частота задающего гене-

ратора 100 ± 5 МГц; шаг задания временного интервала — примерно 10 нс (определяется точностью настройки генератора); отклонение величины задания шага от среднего значения — не более 2 пс; число шагов — 127.

Использованы следующие функции и команды КАМАК:

- NA(O)F(1) — чтение содержимого регистра параметров, причем по R1-R7 считывается код заданного временного интервала, по R15 — состояние триггера управления входом "Запрет", а по R16 — состояние триггера управления выходом.
- NA(O)F(17) — запись регистра параметров (назначение шин W1-W16 соответствует вышеописанному назначению шин R1-R16).
- NA(O)F(24) — выключение модуля.
- NA(O)F(26) — включение модуля.
- (Z+C)S2 — сброс регистра параметров.
- I — запрет функционирования.

ВОСЬМИКАНАЛЬНЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ КА225

Прибор предназначен для работы в многодатчиковых системах думерного Е-Т анализа совместно со схемой совпадений КЛ354^{5/} и с преобразователями заряд — код типа КА010^{4/} и время — код типа КА371. Модуль состоит из восьми каналов, каждый из которых включает в себя (см. рис. 8): линейный усилитель (D1), дискриминатор (D2), одновибратор быстрых совпадений "t" (D3-2, D4-2, D4-4 и D5-2), одновибратор медленных совпадений "Т" (D3-1, D4-1 и D4-3) и выходные преобразователи уровней ЭСЛ-NIM и ЭСЛ-ТТЛ.

Входами прибора являются восемь аналоговых входов, вход "Запрет" и вход "Совпадения", все входы типа "V-port". Для подключения схем совпадений применен обычно используемый для передачи сигналов в уровнях ЭСЛ по скрученным парам разъем типа МРН-32-1 (разъем X1). К этому разъему подключены выходы одновибраторов "t" и "Т". Каждый формирователь имеет также выход "Т" в уровнях сигналов NIM, предназначенный для подключения время-цифрового преобразователя.

Установка уровня порога всех формирователей общая — либо потенциометром, выведенным под шлиц на лицевой панели, либо от внешнего источника через разъем LEMO, причем в первом случае величину задаваемого потенциометром порога можно контролировать цифровым вольтметром через тот же разъем. Длительность одновибраторов "t" и "Т" меняется независимо для каждого канала потенциометрами, размещенными на плате.

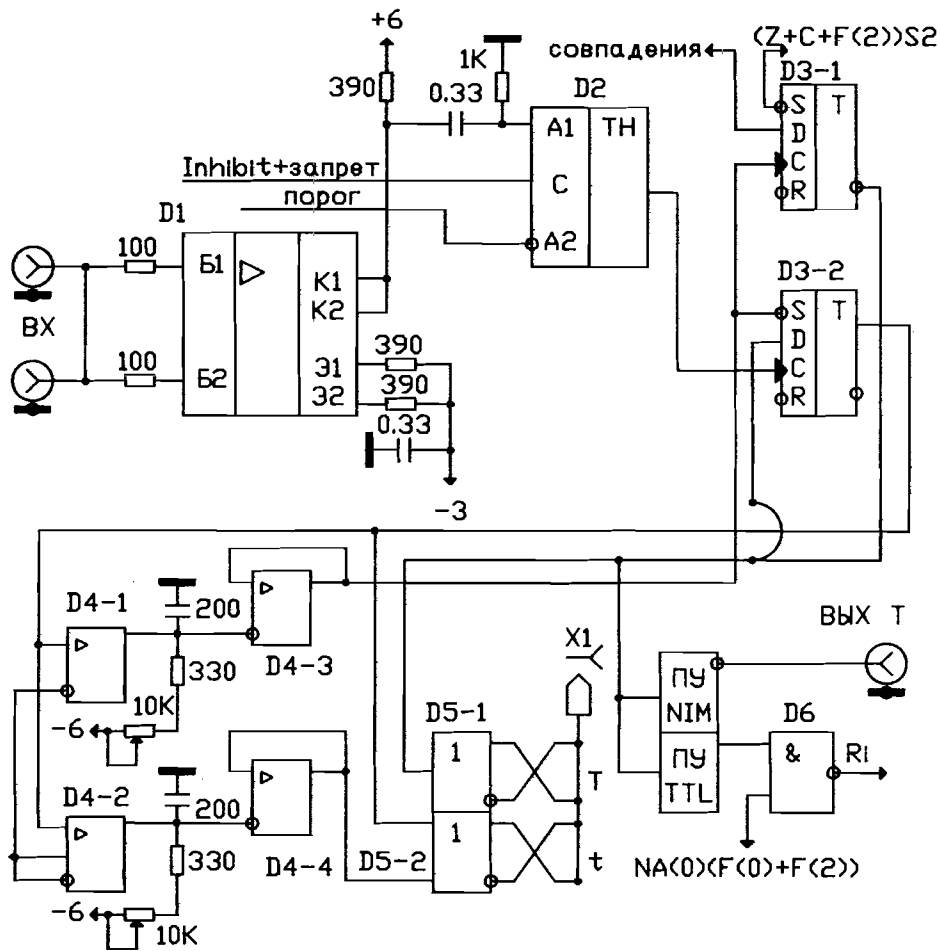


Рис. 8

Путем установки переключателей на выводах триггеров D3-1 и D3-2 можно менять логику работы прибора в зависимости от требований конкретного эксперимента. Существуют три основных варианта установки переключателей, а именно: формирователь с триггером прохождения сигналов (вариант, приведенный на рис. 8); формирователь с годоскопом на выходе (для реализации этого варианта необходимо подключить вход D второго триггера к инверсному выходу первого триггера, а на вход "Совпадения" подать стробирующий импульс); формирователь "С" пролонгацией", когда длительность выходного сигнала определяется

длительностью сигнала на входе "Совпадения" (дополнительно ко второму варианту объединяются входы D и R первого триггера).

Краткие технические характеристики модуля следующие. Стандарт исполнения — КАМАК шириной 2М; диапазон установки порога — $10 \div 100$ мВ; диапазон задания длительности одновибраторов "t" и "Т" — $20 \div 200$ нс; коэффициент усиления входных усилителей — 2; связь усилителей с дискриминаторами — емкостная.

В заключение выражаем признательность О.В.Савченко за содействие и помощь в освоении протонного канала медико-клинического комплекса фазотрона ОИЯИ и благодарим группу медицинского пучка за участие в измерениях на первоначальной стадии работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абазов В.М. и др. — ОИЯИ, Р9-86-648, Дубна, 1986; Медицинская радиология, 1988, №1, с.67.
2. Акимов Ю.К., Мерзляков С.И. — ПТЭ, 1980, №5, с.94.
3. Габриэль Ф. и др. — ОИЯИ, Р13-11201, Дубна, 1978.
4. Антюхов В.А. и др. — ОИЯИ, 10-83-900, Дубна, 1983.
5. Борейко В.Ф. и др. — ОИЯИ, 13-85-661, Дубна, 1985.
6. До Хоанг Кыонг, Мерзляков С.И., Пасюк Е.А. — ОИЯИ, 13-87-250, Дубна, 1987.
7. Braunshweig W. et al. — NIM, 1976, 134, p.261.
8. Michael O., Bedwell and Thomas J. Paulus — IEEE Trans. on Nucl. Sci., NS-26, 1979, No.1, p.442.
9. Акимов Д.Ю., Мерзляков С.И. — А.с. СССР №809522 от 28.02.81. Опубликовано в ОИ, 1982, №9, с.222.

Рукопись поступила в издательский отдел
15 февраля 1989 года.