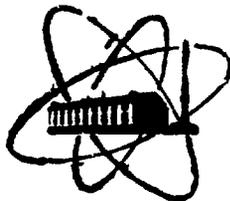


8U8006196



ФЭИ-945



ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. Н. МИРОНОВ, В. С. НЕСТЕРЕНКО

**Устройства для многодетекторного
и многомерного временного анализа ФИЦ ФЭИ**

Обнинск — 1979

ФЭИ - 945

ФЭИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А.Н.Мировов, В.С.Нестеренко

УСТРОЙСТВА ДЛЯ МНОГОДЕТЕКТОРНОГО И МНОГОМЕРНОГО
ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ФАЦ ФЭИ

Обнинск-1979

УДК 681.335

М-17

АННОТАЦИЯ

Сформулированы общие принципы построения системы для много-детекторного и многомерного временного анализа. Приведено описание ряда конкретных устройств.

ВВЕДЕНИЕ

Основное назначение многодетекторного анализа заключается в уменьшении времени накопления экспериментальной информации за счет более эффективного использования измерительной системы. Основная цель многомерного анализа состоит в изменении качественного содержания данных за счет возможности установления стохастических связей между измеряемыми величинами. Несмотря на существенные различия между этими видами анализа, аппаратное обеспечение имеет много общих свойств. Целью этой работы является выявление принципов построения многодетекторных и многомерных систем для временного анализа наносекундного диапазона, а также описание созданных для СМЦ ФЭИ устройств обеспечения многодетекторных и многомерных измерений.

I. МНОГОДЕТЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗ (МДА)

Сущность МДА состоит в использовании одного АЦП для измерения событий от нескольких детекторов. Выигрыш при использовании МДА существенно зависит от соотношения скоростей поступления событий и времени τ обработки принятого события в АЦП и системе накопления ("мертвого" времени). Показателем эффективности МДА, включающей m входов со скоростями поступления событий n_i ($i=1,2,\dots,m$) и АЦП с "мертвым" временем τ , может служить время измерения $T_{\text{изм}}$ m спектров, определяемое временем накопления N событий по входу с минимальной скоростью счета n_{min} :

$$T_{\text{изм}} = \frac{N(1 + \tau \sum_{i=1}^m n_i)}{n_{\text{min}}} \quad (1)$$

Это выражение показывает, что время измерения существенно не изменяется с числом детекторов m , если

$$\tau \sum_{i=1}^m n_i \ll 1$$

и увеличивается пропорционально числу детекторов, если

$$\tau \sum_{i=1}^m n_i \gg 1$$

Это демонстрирует важность проблемы уменьшения "мертвого" времени АЦП и системы накопления.

Важным для применения многодетекторной системы является

определение зависимости скорости регистрации n_j^* по входу j от скорости поступления событий n_i по каждому входу i . Эта зависимость получается из соотношения:

$$\sum_{i=1}^m n_i^* \tau n_j + n_j^* = n_j,$$

которое дает

$$n_j^* = \frac{n_j}{1 + \tau \sum_{i=1}^m n_i} \quad (2)$$

Выражение (2) показывает, что для определения соотношения скорости регистрации n_j^* и скорости поступления событий n_j по j -му входу необходимо знать только суммарную загрузку $\sum_{i=1}^m n_i$ и "мертвое" время АЦП.

С технической точки зрения МДА реализует следующие возможности:

- использование одного АЦП для обслуживания нескольких независимых экспериментов; в этом случае АЦП становится устройством коллективного использования, а поскольку создание универсального АЦП, удовлетворяющего равнообразным и возрастающим требованиям физического эксперимента, связано с его значительным усложнением, его коллективное использование становится экономически целесообразным;
- использование одного АЦП для измерения распределений событий, генетически связанных друг с другом; такие измерения обычно проводятся в рамках одной физической установки и направлены на сокращение времени накопления экспериментальной информации и обеспечение идентичности измерительных характеристик входов;
- использование дополнительных входов в систему для получения вспомогательной информации, используемой для управления экспериментом и контроля за измерительными характеристиками.

Построение системы МДА для конкретного ряда экспериментов является сложной задачей, обусловленной спецификой последних. Как правило, необходимы специально разработанные устройства обеспечения таких измерений, причем их количество может быть большим. Однако, можно сформулировать ряд общих принципов построения многодетекторных систем и отдельных узлов, которые могут лечь в основу создания устройств общего применения. К таким принципам относятся определение структуры любой системы МДА в виде отдельных функциональных узлов и связей между ними.

В любой системе МДА помимо АЦП можно выделить следующие

Функциональные узлы:

- кодировщик номера детектора (КНД), в общем случае предназначенный для формирования измеряемого интервала и кода номера детектора, которому данный интервал принадлежит;
- устройства предварительной обработки (УПО) принятого события, в которых проверяется выполнение условий регистрации данного события;
- устройство преобразования кода АЦП и кода номера детектора (УПК).

Функциональные связи между узлами представлены на рис. 1.

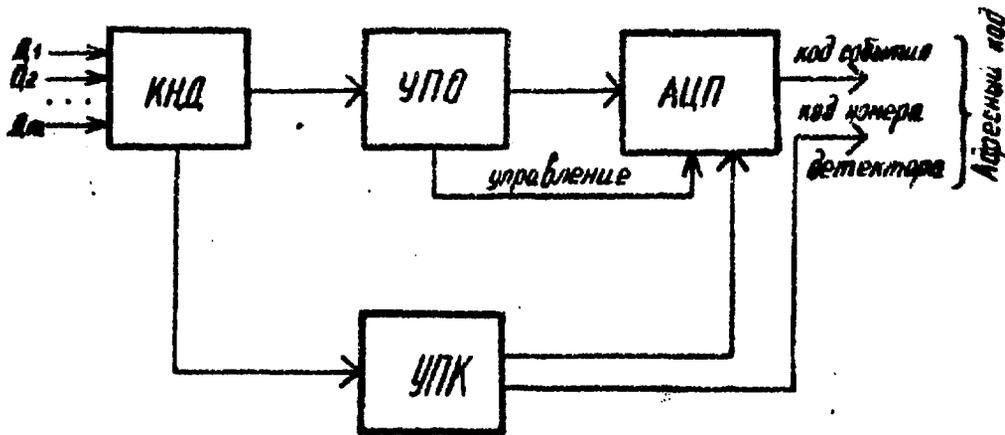


Рис. 1. Функциональная схема многодетекторной системы

При такой структуре системы специфика эксперимента отражается главным образом на выборе УПО, тогда как КНД и УПК мало зависят от характера эксперимента и, следовательно, могут строиться на достаточно общих принципах.

Структура КНД зависит от числа входов в систему и принципа уменьшения перекрестных искажений регистрируемых спектров. Перекрестные искажения - влияние на форму спектра по данному каналу регистрации других входов в систему - возникают при ошибке в кодировании принятого события. Такое явление возникает при поме-

дения на входах КИД близко расположенных во времени событий, приходящих к разным детекторам. В отличие от амплитудных измерений, при которых такие события должны режектироваться из-за неверного определения кода события (вследствие наложений), во временной области код события может быть определен правильно и ошибка в кодировании номера детектора является единственным источником искажений. Характеристика КИД — разрешение, определенное как минимальный интервал между двумя событиями, поступающими на два разных входа, при котором ошибка в кодировании отсутствует, является важнейшей для количественного описания перекрестных искажений. Т.о., принцип построения КИД зависит от выбора одного из двух методов уменьшения перекрестных искажений, а именно: минимизация разрешения КИД или режекция событий, разделенных интервалом, не превосходящим разрешения. Если учесть, что режекция событий не исключает перекрестных искажений, а лишь меняет их специфику, и при больших временах режекции снижается эффективность КИД с увеличением нагрузок, то становится понятно, что метод минимизации разрешения имеет определенные преимущества. Наличие технических средств реализации высокого разрешения КИД при выполнении его на основе приоритетных дискриминаторов /1/ обеспечивается этому методу ведущую роль.

В общем случае приращение ИДМ разрешение (ширина канала) Δ_i и длительность измеряемых временных интервалов T_i по каждому входу определяется экспериментатором. Поэтому возникает необходимость в управлении шириной канала ИДМ в соответствии с кодом номера детектора. Число каналов, требующееся для регистрации спектра по заданному детектору $n_i = T_i / \Delta_i$, определяет размер участка памяти n_i , выделяемого для него ($n_i \geq n_i$). Если код события и код номера детектора непосредственно используются как адресной код, то размеры участков памяти должны быть одинаковыми и равными наибольшему из n_i . Объем памяти в этом случае $m \cdot \text{Max}(n_i)$ (n_i — число детекторов) может существенно превышать требуемый $\sum n_i$, что приводит к нерациональному использованию памяти. В связи с этим наряду с преобразованием кода события возникает потребность в преобразовании кода номера детектора.

Операция преобразования кодов (ОПК) можно выполнить программными средствами. Однако, это приводит к увеличению "мертвого" времени t_m и, как следствие, к ухудшению эффективности системы ИДМ. Выполнение ОПК аппаратными средствами приводит к уменьшению времени обслуживания и четкой структуре этих средств

в зависимости от типа используемого АЦП. Разумное сочетание программных и аппаратных средств, соотношение которых зависит от типа используемого АЦП, а именно, возможностей управления его шириной канала, является оптимальным подходом к решению этой проблемы. Узел УПК в системе МДА представляет аппаратную часть средств выполнения ОКК. В нем выполняется преобразование кода события способом, совместимым с возможностями АЦП, причем параметры преобразования можно задавать программным путем. Т.к. преобразование кода события есть по существу деление кода на число k ($k > 1$), то при выполнении его аппаратными средствами k может быть только целым числом. При преобразовании кода номера детектора необходимо, чтобы не перекрывались старшие разряды кода события и младшие разряды преобразованного кода номера детектора. Это достигается выбором размера каждого последующего участка, не превосходящего предыдущий ($n_{k,j} \geq n_{k,k}$, $k > j$), причем размер каждого участка должен быть 2^{l_i} ($l_i \geq l_{i-1}$). Преобразовать код номера детектора целесообразно аппаратными средствами, а параметр преобразования (l_i) можно задавать программным путем. В дальнейшем приводится описание конкретных устройств обеспечения многодетекторного временного анализа, созданных для использования в системе ОИЦ ФЭИ.

Примером устройства, совмещающего в себе функции КИД и ряд функций УПО, является логическое устройство для многодетекторного временного анализа (ЛУВР) /2/, позволяющее одновременно проводить измерения 5 спектров с помощью одного АЦП. Предусмотрена возможность работы с общим сигналом "стоп" по всем входам, с индивидуальными сигналами "стоп" по каждому входу и промежуточные варианты. Выходными сигналами являются сигналы "старт", "стоп" и "код номера детектора". Помимо основного применения данное устройство использовалось в системе многодетекторного амплитудного анализа для выработки кода номера детектора и сигнала управления АЦП.

Двухканальное устройство для спектрометрии медленных нейтронов /3/. Устройство обеспечивает регистрацию двух временных спектров сигналов, лежащих в определенных амплитудных окнах. Устройством вырабатывается код номера детектора, сигнал временной отметки и сигнал управления АЦП. Обеспечено практически полное устранение искажений спектров за счет просчетов благодаря применению режима равной экспозиции.

Задатчик временных окон. Устройство используется для измерения амплитудных спектров нейтронов, регистрируемых сцинтилляционным детектором, в энергетических окнах, определяемых по времени пролета. Каждое временное окно задает свой канал регистрации и соответствующим образом кодируется. Код события определяется амплитудным АЦП, обслуживающим все каналы регистрации. Таким образом, несмотря на специфику применения данное устройство может быть отнесено к КНД для многодетекторного анализа. Функциональная схема устройства изображена на рис. 2.

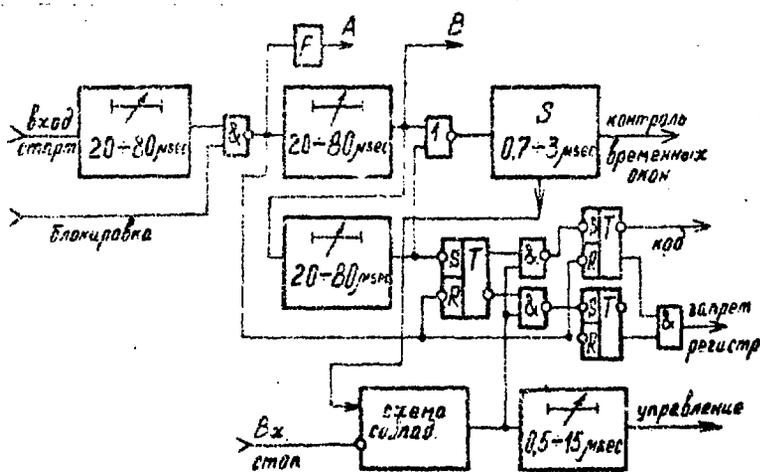


Рис. 2. Задатчик временных окон.

Схема запускается сигналом внешнего запуска и блокируется на время обработки события в системе. Предусмотрена регулировка задержки сигнала запуска А для выбора требуемого участка временной шкалы. Изменением соответствующих задержек обеспечивается выбор положения временных окон относительно задержанного сигнала А. Устройство позволяет устанавливать два временных окна, имеющих строго одинаковую длительность, которая обеспечивается за счет использования одного и того же однобibratorа для их формирования.

На вход "стоп" подается детекторный сигнал, служащий отметкой момента регистрации нейтрона. Схема совпадений, построенная

на основе приоритетного дискриминатора, отмечает факт совпадения сигнала "стоп" с одним из окон. Сигнал "управление" разрешает запуск амплитудного анализа в случае попадания сигнала "стоп" в одно из временных окон. В случае попадания сигналов "стоп" в оба окна необходимо запретить анализ, что обеспечивается входным сигналом "запрет регистрации". Уровень на выходе "код" указывает на то, в какое из окон попал сигнал "стоп". Составные выходы - контрольные.

К устройствам, осуществляющим ОПК алфавитными средствами, относится селектор ширины канала. Устройство обеспечивает селекцию ширины канала в системе многодетекторного анализа, построенной на основе АЦП с линейным преобразованием измеряемого интервала и с последовательным выходным кодом. В качестве КИД может быть использовано устройство типа ЭУР или ЭКСТАС /4/.

Преобразование кода сообщения осуществляется за счет изменения частоты адресной серии; при этом изменение кода номера детектора не происходит (рис. 3). Коэффициент деления частоты серии $K=3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$, т.е. при частоте входной серии 10 Мгц, частота выходной серии 3,33; 2,5; 2,0; 1,67; 1,43; 1,25; 1,11; 1,0 Мгц.

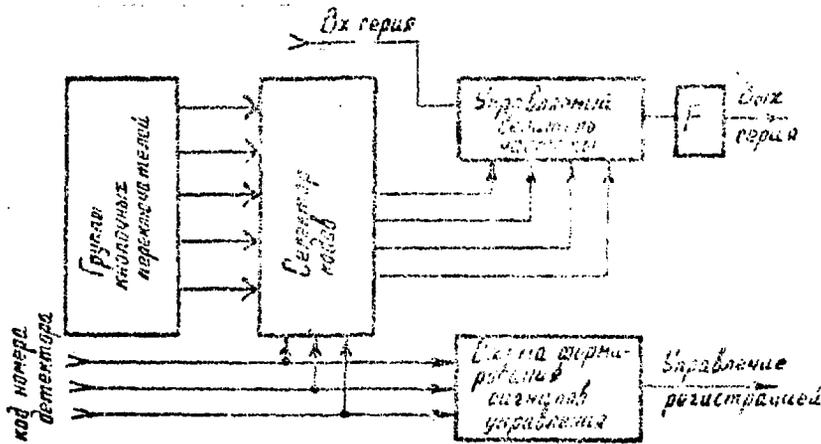


Рис. 3. Селектор ширины канала.

Система может иметь до 5 детекторных входов. Группами инопочных переключателей задается коэффициент пересчета K соответственно в 1 - 5 каналах. Селектор кода осуществляет выбор коэффициента деления, соответствующего каналу, код номера которого подан на вход.

Делитель частоты представляет собой синхронный счетчик на $J - K$ триггерах с коэффициентом пересчета, задаваемым входным кодом селектора кодов.

2. УСТРОЙСТВА ДЛЯ МНОГОМЕРНОГО ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА

При классическом многомерном анализе (ММА) события с каждого детектора измеряются отдельным АЦП и регистрируются при выполнении условий принадлежности их системе случайных величин, распределение которых необходимо определить. В отличие от классического ММА в данной работе рассматривается случай измерения двумерных распределений с детекторов, число которых > 2 .

Функциональная схема ММА для этого случая приведена на рис. 4.

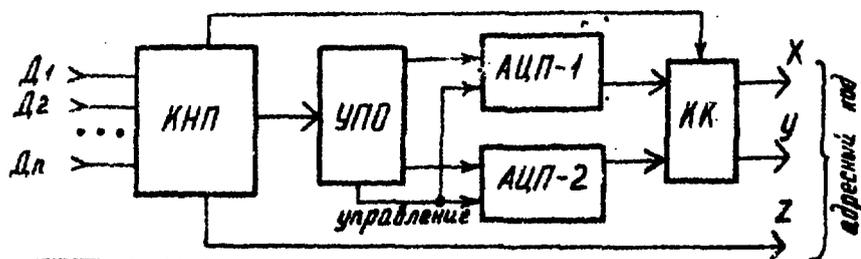


Рис. 4. Функциональная схема многомерного анализа.

Если число детекторов n , то C_n^2 - число двумерных спектров, которое может регистрировать система, когда каждой паре детекторов сопоставлен двоичный код. В этом случае код пары детекторов и двумерный код события образуют адресный код, и в этом система аналогична многодетекторной системе с числом детекторов C_n^2 .

Однако принципы построения узла кодирования номера пары детекторов (КНД) значительно отличаются от принципов построения КНД для МДА.

Основными являются принципы выделения выходной пары сигналов, поступающих на 2 АЦП, и определения условий их регистрации.

Поскольку информация с заданного детектора может регистрироваться по любой из двух временных координат X или Y в зависимости от того, какой паре принадлежит этот детектор, решение о соответствии данного детектора какой-либо координате может быть принято только после прихода второго сигнала, а решение о выполнении логических условий регистрации - только по окончании измеряемых интервалов. Это приводит к необходимости запоминания временной информации до момента выработки сигнала разрешения регистрации. С учетом требований стабильности, помехозащищенности и быстродействия такое запоминание может быть выполнено с помощью прецизионных устройств задержки, причем их число должно быть равно числу детекторов, а время задержки не менее измеряемого диапазона. Вместе со специальными схемами коммутации эти устройства образуют сложную систему не только в техническом отношении, но и с точки зрения её эксплуатации.

Авторами предлагается довольно простой принцип организации взаимодействия КНД и АЦП, позволяющий осуществить запоминание временной информации в АЦП и избавиться от громоздких систем задержки и коммутации. Он основан на том, что на один АЦП подается всегда первый, а на другой АЦП - второй из любой пары пришедших сигналов, а коды событий с АЦП коммутируются в зависимости от кода номера пары.

При такой структуре взаимодействия КНД и АЦП возможны искажения спектров, которые обусловлены тем, что одна и та же координата (X или Y) обслуживается разными АЦП, которые могут иметь различные ширины каналов и пороги. Пусть АЦП, принимающий первый из пары сигналов, имеет ширину канала Δ_1 и порог δ_1 , а второй - Δ_2 и δ_2 соответственно. Если первый детектор должен быть связан с координатой X и измеряемый интервал для него t_1 , то значение координаты X для него будет

$$x_1 = \frac{t_1}{\Delta_1} + \delta_1 \quad \text{при } t_1 \leq t_2$$

$$x_2 = \frac{t_2}{\Delta_2} + \delta_2 \quad \text{при } t_1 \geq t_2$$

Для второго детектора, связанного с координатой Y , и измеряемо-

го интервала t_2 имеем

$$y_1 = \frac{t_2}{\Delta_2} + b_2 \quad \text{при } t_1 \leq t_2$$
$$y_2 = \frac{t_2}{\Delta_1} + b_1 \quad \text{при } t_1 \geq t_2$$

В области $t_1 < t_2$ имеем множество пар адресов $X_1 Y_1$, а в области $t_1 > t_2$ - $X_2 Y_2$. Если эти два множества пересекаются, то неизбежны искажения спектров из-за суживания информации для различных пар t_1, t_2 в одних и тех же каналах регистрирующего устройства.

Найдем условия, при которых множества не пересекаются. Очевидно, что они расположены симметрично относительно прямой $Y=X$, поэтому достаточно потребовать, чтобы одно из множеств лежало выше этой прямой, а другое - ниже. Отсюда получаем, что в интервале $0 \leq (t_1; t_2) \leq T$ пересечения не будет, если выполнены условия:

$$\frac{b_1 - b_2}{T} < \frac{1}{\Delta_2} - \frac{1}{\Delta_1} \quad (3)$$

Когда условия (3) выполнены для всех значений X, Y , заключенных между линиями

$$y = (x - b_1) \frac{\Delta_1}{\Delta_2} + b_2 \quad \text{и} \quad y = (x - b_2) \frac{\Delta_2}{\Delta_1} + b_1$$

будет отсутствовать накопление данных. Однако спектр будет полностью сохранять свое информационное содержание, а возникший дефигит в спектре легко может быть учтен при последующей обработке.

Примером устройства, совмещающего в себе функции КИП и УПО для ММА, является блок быстрой логики (ЭКСТАС /4/), предназначенный для измерения спектров вторичных нейтронов реакции $(n, 2n)$ и определения угла вылета их с образца. Прибор имеет 6 детекторных входов, что позволяет получить $C_6^2 = 15$ значений пространственной координаты Z , задаваемой 4-разрядным кодом номера пары. Устройство формирует стартовые сигналы для двух АЦП, определяет порядок поступления сигналов в паре и в соответствии с этим выработывает сигнал, управляющий коммутатором серий АЦП. Измерение интервалов в АЦП и регистрация разрешаются только в случае прихода ровно двух детекторных сигналов в течение интервала измерения; в противном случае происходит быстрый разряд АЦП и возврат системы в исходное состояние.

Двухканальная схема преобразования ДСП (см. рис.5) создана для одновременных двумерных измерений спектров нейтронов со случайным

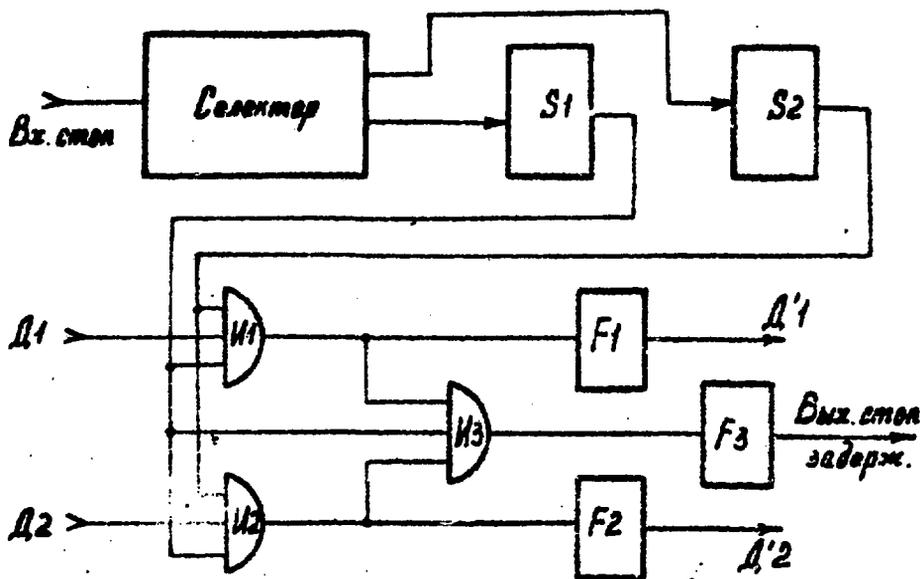


Рис. 5. Двухканальная схема пропускания.

Входной сигнал "стоп", служащий временной отметкой момента рождения первичного нейтрона, пройдя селектор, запускает одновибратор S_1 , который управляет схемами пропускания I_1 и I_2 детекторных сигналов. Схемы пропускания выполнены на основе приоритетных дискриминаторов /И/, что исключает появление краевых эффектов. Схема пропускания вырабатывает сигнал, соответствующий концу S_1 , при наличии выходов I_1 и I_2 . Этим обеспечивается точное соответствие диапазона селекции и времени задержки выходного сигнала "стоп задержанный" с одной стороны и значительное уменьшение скоростей счета по выходам D_1 и D_2 , что разгружает АЦП от бесполезных событий. То обстоятельство, что факт совпадения D_1 и D_2 отмечается появлением выходного сигнала "стоп задержанный", позволяет использовать АЦП в режиме без внешнего управления и уменьшить его мертвое время за счет времени ожидания сигнала управления.

В случае, если в течение задержки S_1 появляется еще один сигнал по входу "стоп", селектор отбирает этот сигнал и запус-

нает им S_2 , имеющий одинаковую длительность с S_1 и единую об-
регулировку. S_2 блокирует схемы пропускания И1 и И2, запрещая
появление выходного сигнала "стоп задержанный" для случаев сом-
нительного определения генетической принадлежности сигналов Д1
и Д2 одному из сигналов "стоп".

ЛИТЕРАТУРА

1. Деменков В.Г., Нестеренко В.С. Быстрая схема совпадений.
- "Приборы и техника эксперимента", 1976, №2, стр. 70-72.

2. Демьяков В.Г., Миронов А.Н., Нестеренко В.С. Логическое
устройство для многодетекторного временного анализа. Сб. "Во-
просы атомной науки и техники", серия "Реакторостроение", Об-
нинск, ФЭИ, 1977, вып. 5(19).

3. Миронов А.Н., Нестеренко В.С., Полетаев Е.Д. Двухканальное
устройство для спектрометрии медленных нейтронов. В сб. докладов
II Всесоюзного совещания по автоматизации научных исследований в
ядерной физике, Алма-Ата, 11-13 октября 1978 г.

4. Лыткина В.М., Лыцагия А.А., Миронов А.Н., Нестеренко В.С.
Логическое устройство трехмерного анализа ядерной реакции ($n, 2n$),
Препринт ФЭИ-542, Обнинск, 1974.

Подписано в печать 3/УИ-1979 г. Т-11945 Формат 60x90 1/16

Офсетная печать Усл.п.л. 0,9 Уч.-изд.л. 0,6 Тираж 86 экз.

Заказ № 130 Цена 6 коп. Индекс 3624 ФЭИ-945

Отпечатано на ротатрипе ФЭИ, г. Обнинск



6 коп.

Индекс 3624