

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P13-87-188**

**А. Н. Кузнецов**

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛИ  
МНОГОДЕТЕКТОРНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ  
ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ**

**1987**

## ВВЕДЕНИЕ

Детальное изучение ядерных реакций на пучках ионов приводит к созданию многодетекторных экспериментальных установок. При этом, если сигналы детекторов генетически не связаны, экспериментальную установку и систему регистрации называют многоканальными. Если же сигналы детекторов являются следствием одного физического явления, говорят о многопараметровой системе регистрации. Принадлежность данному явлению определяют по характерной связи между моментами появления, амплитудой и формой импульсов детекторов; указанные признаки называют параметрами события.

Прямое применение техники обработки сигналов одного детектора в многодетекторной экспериментальной установке может оказаться неприемлемым по объему и стоимости аппаратуры, сложности организации измерений и мощности вычислительных средств, имеющихся в распоряжении экспериментатора. Решение этих задач связано с совершенствованием структуры измерительной системы и приводит к разработке специализированных электронных модулей для многодетекторных экспериментальных установок. В данной работе предпринята попытка подробно осветить основные вопросы проектирования и применения двух типов таких модулей - аналоговых мультиплексоров и блоков организации многопараметровых спектрометрических измерений, разработанных в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ и используемых в многодетекторных спектрометрах.

### 1. МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

К многоканальной системе регистрации приводит, в частности, стремление получить высокую геометрическую эффективность опытов с применением полупроводниковых детекторов /ППД/, для чего нужны ППД большой площади. Однако существуют ограничения на чувствительную площадь ППД, главные из которых связаны с возможностями технологии выращивания монокристаллов и с ухудшением энергетического разрешения. Противоречие преодолевается

объединением большого числа ППД в подходящую геометрическую конфигурацию, например, "мозаику", широкоугольную систему "телескопов", группу пар ППД с "4π-геометрией" и т.д.

Суммарная интенсивность сигналов в детекторах многоканального спектрометра часто оказывается невелика по сравнению с быстрым действием регистратора, например, аналого-цифрового преобразователя /АЦП/. Поэтому целесообразно использовать один АЦП для группы каналов, применяя перед ним специализированный модуль - аналоговый мультиплексор /АМ/. Последний коммутирует импульсы спектрометрических усилителей нескольких каналов на один АЦП и регистрирует номер выбранного канала. К АМ предъявляют следующие требования:

1. Линейная часть и логика отбора сигналов должны иметь достаточную точность и быстродействие для неискаженной регистрации амплитуды импульсов в АЦП.

2. Взаимное влияние сигналов разных каналов должно быть исключено.

3. Сигналы разных каналов, одновременно удовлетворяющие критериям отбора, должны надежно режектироваться, или, в более общем случае, должен быть однозначно определен приоритет включения каналов.

Простой АМ реализуется на основе последовательно включенных сумматора, задержки, линейных ворот /ЛВ/, с параллельным трактом отбора сигналов дискриминаторами нижнего уровня /1/ ДНУ. Логическая схема /рис.1/ открывает ЛВ только тогда, когда лишь на одном из входов есть сигнал, а также регистрирует номер выбранного канала.

Более предпочтительны АМ с ЛВ в каждом канале /рис.2/. Они имеют следующие преимущества /2/:

1. Энергетическое разрешение не ухудшается, так как шумы не складываются.

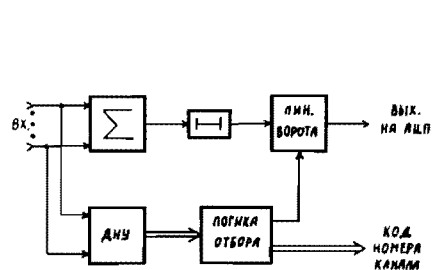


Рис.1. Блок-схема аналогового мультиплексора с суммированием.

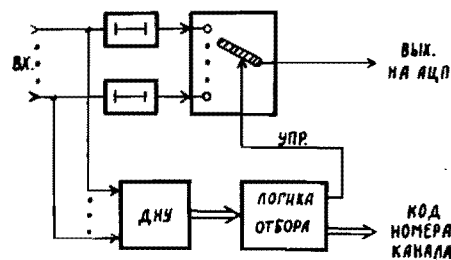


Рис.2. Блок-схема аналогового мультиплексора с линейными воротами в каждом канале.

2. Полностью исключены наложения сигналов разных каналов, тогда как в предыдущем АМ такие наложения происходят всегда, когда сигналы на невыбранных входах не достигают порога ДНУ.

3. Мертвое время вследствие режекции кратных событий существенно уменьшается, так как "одновременными" считаются события, попадающие в узкий временной интервал, определяемый быстродействием логических схем.

Рассмотрим последнее обстоятельство подробнее. Так как моменты появления сигналов в каждом детекторе случайны, а временные корреляции между импульсами разных каналов отсутствуют, суммарный входной поток АМ является процессом пуассоновского типа. Пусть  $T_{и}$  - длительность спектрометрического импульса по уровню дискриминации. В АМ с суммированием перекрывающиеся сигналы суммарного входного потока должны быть исключены из анализа /рис.3а/. Эффективность регистрации будет тогда определяться вероятностью того, что для произвольного момента времени /появления сигнала/ интервал длиной  $T_{и}$  до и после этого момента свободен от импульсов суммарного входного потока интенсивностью  $N_{вх}$ :

$$P\{0,2T_{и}\} = \exp(-N_{вх} \cdot 2T_{и}) \quad /1/$$

Отметим, что здесь и далее с целью сравнения эффективности регистрации различных типов АМ мы предполагаем, что собственно регистратор /АЦП+ЭВМ/ имеет очень высокое быстродействие.

Отметим также, что эффективность  $\eta_{вых}/\eta_{вх}$  для каждого отдельного канала будет такой же, как  $N_{вых}/N_{вх}$  для АМ в целом.

Пусть время отбора логикой кратных событий в АМ с ЛВ в каждом канале будет  $\Delta t$  /рис.3б/. Тогда для выходной интенсивности сигналов АМ можно применить известную формулу /3/ скорости регистрации анализатора с постоянным мертвым временем  $T_{и}$ :

$$N_{вых} = \frac{N_{вх} \cdot \exp(-2\Delta t \cdot N_{вх})}{1 + T_{и} \cdot N_{вх} \cdot \exp(-2\Delta t \cdot N_{вх})}, \quad /2/$$

где множитель  $\exp(-2\Delta t \cdot N_{вх})$  отражает режекцию входных сигналов

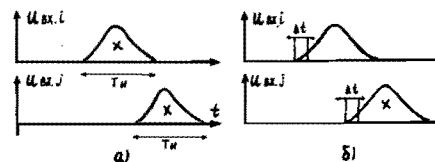


Рис.3. Режектирование "одновременных" импульсов разных каналов. а - в АМ с суммированием оба импульса исключаются; б - в АМ с ЛВ в каждом канале в той же ситуации первый импульс проходит на выход.

нашего "анализатора" быстрой схемой отбора и пренебрежимо мал для всех реальных значений  $N_{вх}$ ,  $\Delta t$ ,  $T_{и}$ .

Графики эффективности регистрации как функции параметра  $N_{вх}$ , приведены на рис.4; они могут быть полезны для приближенных оценок.

Наконец, дальнейшее повышение эффективности регистрации возможно при третьем способе построения АМ, связанном с применением схем аналоговой памяти в каждом канале /рис.5/. Здесь из анализа не обязательно исключаются как одновременные по нескольким каналам сигналы, так и сигналы, появляющиеся в моменты, когда АЦП занят. Однако возникают дополнительные технические и логические трудности. Первые связаны с реализацией самих элементов памяти и дополнительных узлов управления, вторые - с организацией измерений, в частности с установлением приоритетов опроса элементов памяти модулем АЦП. Поэтому

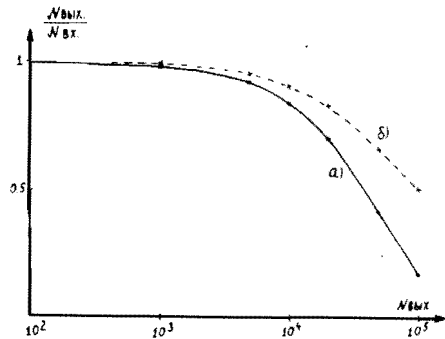


Рис.4. Эффективность регистрации АМ как функция входной интенсивности при длительности импульса  $T_{и} = 10$  мкс а - для АМ с суммированием. б - для АМ с ЛВ в каждом канале.

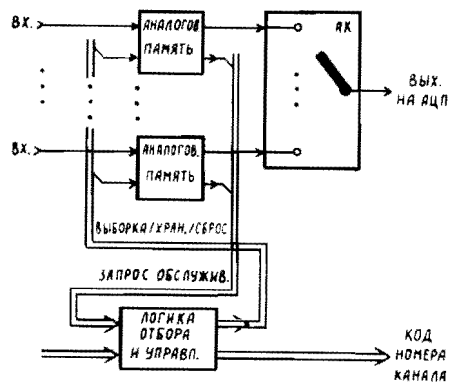


Рис.5. Блок-схема АМ с запоминанием аналоговой информации.

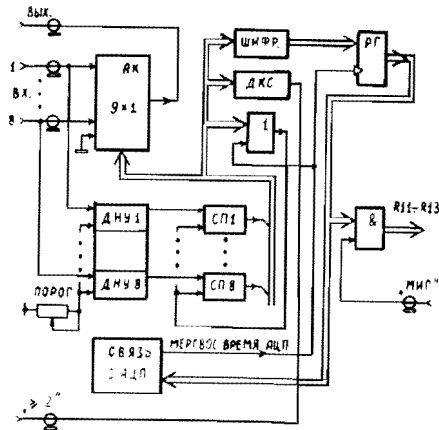


Рис.6. Функциональная схема мультиплексора АМ-24К.

в наших разработках за основу был выбран АМ второго типа - с ЛВ в каждом канале, имеющий высокую эффективность регистрации, допускающий простую реализацию и удовлетворяющий сформулированным выше требованиям.

Функциональная схема мультиплексора АМ-24К приведена на рис.6. На восемь входов аналогового коммутатора АК структуры  $9 \times 1$  поступают сигналы спектрометрических усилителей. Девятый канал АК обеспечивает "0" на выходе в исходном состоянии. ДНУ в параллельном тракте отбора сигналов имеют общую регулировку порогов. В случае, если АМ и АЦП свободны, сигнал ДНУ через схему пропускания СП проходит на управление данным каналом, а также на шифратор, дешифратор кратных событий ДКС, схему ИЛИ. Номер канала из шифратора поступает на регистр-защелку, информация в котором запоминается по переднему фронту сигнала "Мертвое время" АЦП, что соответствует /в отсутствие других блокировок АЦП/ вершине спектрометрического импульса <sup>4/</sup>. Код номера канала в АЦП выводится на разъем связи с внешним устройством в виде старших разрядов кода амплитуды. Если же АЦП работает в режиме связи с контроллером КАМАК, то во время появления кода амплитуды на магистрали крейта он генерирует сигнал "МИГ". По этому сигналу в АМ открываются ключи "И", код номера канала аналогичным образом добавляется к коду амплитуды.

Схема пропускания СП выполнена на одном корпусе ИС 555ЛАЗ /рис.7/. Сигнал ДНУ проходит на выход СП, если в момент его прихода нет общей блокировки СП, и определяет длительность выходного сигнала, включающего соответствующий канал. Если же сигнал ДНУ приходит во время общей блокировки, выходной сигнал СП не появляется, а СП данного канала блокируется до окончания ДНУ, даже если общая блокировка окончится раньше. Упомянутое выше время  $\Delta t$ , определяющее вероятность включения нескольких каналов, здесь равно задержке распространения сигнала с выхода ДНУ до выхода схемы ИЛИ, и составляет менее 50 нс /три инвертора серии 555/.

Аналоговый коммутатор АК основан на принципе переключения тока в соответствующую пару транзисторов на входе дифференциального усилителя <sup>5/</sup>.

В приведенной на рис.8а схеме синфазные помехи при переключении каналов подавляются, однако

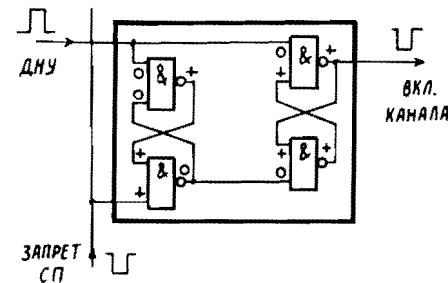


Рис.7. Схема пропускания сигналов ДНУ на переключение канала и в логику АМ-24К.

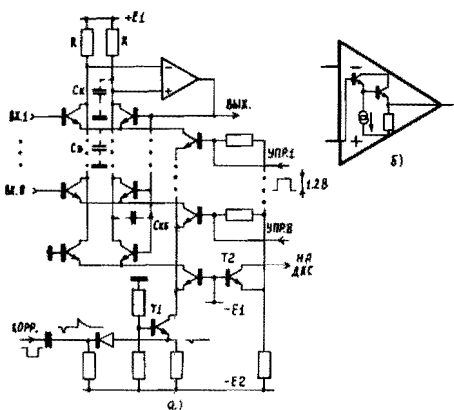


Рис.8. Аналоговый коммутатор в АМ-24К. а - упрощенная принципиальная схема; б - выходной буферный каскад.

применение стандартных операционных усилителей не обеспечивает достаточно быстрого апериодического установления выходного сигнала. Мы используем на выходе пару повторителей, как показано на рис.8б. В такой схеме емкость  $C_{кб}$  нейтрализуется и не влияет на вре-

мя нарастания, определяемое резистором  $R$  и суммарной емкостью  $C_{к}$ . При включении информационного канала вследствие разряда  $C_{з}$  на короткое время все транзисторы дифференциальных пар на входе оказываются закрытыми, и на выходе схемы появляется положительный выброс. С целью его нейтрализации мы подаем корректирующий сигнал из логики блока в эмиттер транзистора  $T1$ , служащего источником тока, через диодно-емкостную укорачивающую цепь /рис. 8а/. Дешифратор кратных событий ДКС - аналогового типа. Токи управления каналами суммируются в эмиттере транзистора  $T2$ . Коллекторный ток  $T2$  поступает на компаратор, генерирующий сигнал " $\geq 2$ ".

Отметим особенности применения конкретной системы АМ-24К/АЦП в свете сформированных ранее требований к мультиплексорам.

1. Измеренное время от срабатывания ДНУ до момента достижения выходным сигналом АМ амплитуды 5В составляет около 0,2 мкс, а задержка срабатывания ДНУ - около 0,1 мкс. Поэтому для узких сигналов, едва превышающих порог ДНУ в АМ, будет наблюдаться дефект амплитуды, как показано на рис.9.

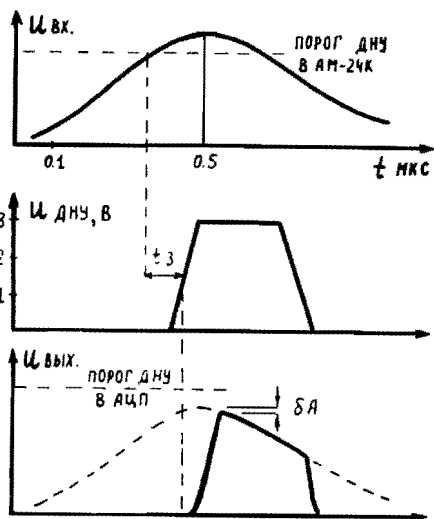


Рис.9. Дефект амплитуды  $\Delta A$  выходного сигнала мультиплексора. Постоянная формирования входного сигнала АМ-24К - 0,25 мкс;  $t_з$  - время задержки срабатывания ДНУ в АМ-24К.

В "классической" схеме /рис.2/ такая ситуация устраняется введением задержек перед АК. Однако элементы задержки громоздки, требуют согласования импедансов, вносят дополнительную температурную нестабильность в коэффициент передачи. Мы решили, что в абсолютном большинстве случаев более приемлемо некоторое уменьшение динамического диапазона регистрируемых сигналов. Практически для этого нужно порог ДНУ в АМ установить несколько ниже порога ДНУ в АЦП /рис.9/.

2. Подавление кратных событий обеспечивается соединением выхода " $\geq 2$ " АМ с входом "Блок" АЦП. Режекцию можно осуществить и внутри АМ, вводя задержку переключения каналов до выяснения кратности сигналов управления каналами. Однако такая задержка нежелательна по приведенным выше соображениям. В методическом же плане мы бы лишились возможности обнаружить простыми средствами ситуации, когда кратных событий появляется слишком много, чтобы можно было отнести их к случайным.

Для различных методик регистрации продуктов ядерных реакций с помощью ППД оказалась весьма характерной "парная" структура спектрометрической информации. Событие в каждом элементе многоканальной системы детекторов при этом характеризуется двумя параметрами, например, энергиями  $\Delta E$ ,  $E$  полупроводникового "телескопа", энергией  $E$  и временем  $T$  во времяпролетном спектрометре и т.д. Поэтому целесообразным оказалось применение сдвоенных АМ с переключением каналов по внешним сигналам управления /например, от схем совпадений импульсов  $\Delta E$ ,  $E$  детекторов/. Функциональная схема сдвоенного 4-канального аналогового мультиплексора АМ-25К приведена на рис.10. Сигналом на

управляющем входе соответствующий D-триггер становится в "1". Через схемы ЧИЛИ и инвертор блокируются входные клапаны 2И, а информационные входы триггеров становятся в "0". Одновременно включаются одноименные каналы в коммутаторах АК I, АК II. Через регулируемое от 1 до 10 мкс время схема 2И принудительно включает "нулевые" каналы в АК I, АК II. По окончании

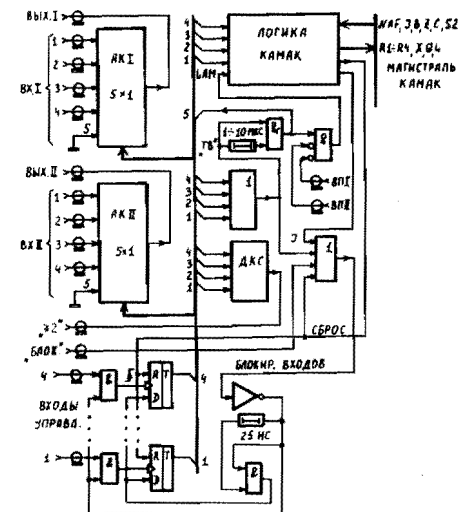


Рис.10. Функциональная схема сдвоенного 4-канального мультиплексора АМ-25К.

времен преобразования АЦП ВПІ и ВПІІ в логику КАМАК поступает сигнал LAM запроса обслуживания. Переход схемы в исходное состояние осуществляется только после сброса по командам КАМАК. Ниже приводятся основные технические данные мультиплексоров.

#### Аналоговые входы

Входное сопротивление - 5 кОм.

Полярность входных сигналов положительная.

Динамический диапазон - от 50 мВ до 5 В.

Максимально допустимые уровни напряжения на входах

- от -5 В до +10 В.

#### Аналоговый выход

Выходное сопротивление - 50 Ом.

Коэффициент передачи = 1.

Разброс напряжений "пьедестала" при переключении каналов

- не более  $\pm 5$  мВ.

Максимальная скорость нарастания сигналов

- не менее 50 В/мкс.

#### Температурная нестабильность:

коэффициента передачи - не более 0,005%/°С;

напряжения "пьедестала" - не более 20 мкВ/°С.

Порог ДНУ /в АМ-24К/ - от 30 мВ до 1 В.

#### Общие данные

Ширина блока КАМАК

АМ-24К - 1 М;

АМ-25К - 2 М.

число ИС в блоке

АМ-24К - 32 шт. /18 аналоговых/;

АМ-25К - 29 шт. /11 аналоговых/;

Суммарная потребляемая мощность от источников питания

+6 В, +24 В

АМ-24К - не более 4,4 Вт;

АМ-25К - не более 3 Вт.

## 2. ОРГАНИЗАЦИЯ МНОГОПАРАМЕТРОВЫХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В КРЕЙТЕ КАМАК

Особенностью современных многопараметровых экспериментов на интенсивных ионных пучках является то, что количество исходной информации от детекторов обычно превышает возможности электронной регистрирующей аппаратуры. При этом доля важных для экспериментатора событий, как правило, невелика по сравнению с фоновыми и второстепенными. Поэтому подход к проектиро-

ванию измерительной системы может в основном определяться задачами предварительного /т.е. до регистрации в ЭВМ/ отбора событий.

Различные способы организации измерений в крейте КАМАК, связанном с ЭВМ, естественно оценивать эффективностью регистрации, то есть отношением числа зарегистрированных полезных событий к общему их числу в исходном потоке информации от детекторов. Сравнивая их между собой, мы не будем учитывать пропускную способность канала передачи данных в ЭВМ, несмотря на то, что именно она может определять эффективность как самое медленное звено в общей системе регистрации.

В состав регистраторов крейта КАМАК входят преобразователи информации о событии в код. В спектрометрических измерениях типичным модулем этого крейта является АЦП. Решение о регистрации данного события здесь может быть принято, очевидно, перед запоминанием амплитуды импульса /параметра события/ в АЦП, в процессе преобразования или после его завершения. Соответственно различным будет и мертвое время на обработку фонового события  $T_{mf}$ , которое можно определить как интервал от начала обработки до возвращения регистраторов в исходное состояние готовности. В связи с упомянутой особенностью многопараметровых экспериментов на пучках ионов, а именно - большой интенсивностью второстепенных и фоновых событий, эффективность регистрации может в основном определяться величиной  $T_{mf}$ .

Один из подходов к организации измерений описан в работе<sup>18/</sup>. Рассмотрим его основные моменты.

1. АЦП работают с нормально открытыми линейными воротами /ЛВ/ на входе.

2. Факт многопараметрового события устанавливается отдельной схемой совпадений передних фронтов сигналов ВП - времени преобразования АЦП.

3. АЦП возвращаются в исходное состояние либо по окончании регистрации полезного события в ЭВМ, либо, в случае фоновых событий, по окончании суммарного ВП.

Достоинствами данного способа организации являются простота реализации и возможность работы с медленными ЛВ на входе АЦП. Основной недостаток в том, что  $T_{mf}$  здесь не меньше ВП.

Этот же подход развит в многопараметровых измерениях, проводимых в ЛЯП ОИЯИ<sup>19/</sup>. Как и прежде, имеются АЦП с нормально открытыми ЛВ на входе и внешняя схема совпадений для ВП. Отличия следующие.

1. В каждом АЦП есть узел "Медленные совпадения", принимающий решение относительно продолжения процесса преобразования в зависимости от наличия или отсутствия разрешающего сигнала от внешней схемы совпадений.

2. Благодаря развитой логике запуска и остановки преобразования /АЦП имеет входы "Строб", "Совпадения", "Ворота", "Сброс"/ обеспечивается совместная работа АЦП с системами быстрого предварительного отбора событий.

$T_{mf}$  здесь включает разрешающее время внешней схемы совпадений, время ожидания узлом "Медленные совпадения" в АЦП разрешающего сигнала и время сброса АЦП в исходное состояние. Выигрыш по сравнению с первым способом достигается уменьшением  $T_{mf}$  по сравнению с ВП. Тем не менее, по следующим причинам  $T_{mf}$  здесь не может быть очень мало.

1. Флуктуации начала сигналов ВП в зависимости от амплитуды спектрометрического импульса квазигауссовской формы требуют достаточно большого разрешающего времени внешней схемы совпадений, и, как следствие, не меньшего времени ожидания подтверждающего сигнала узлом "Медленные совпадения" в АЦП.

2. Для разряда довольно большой емкости памяти в АЦП требуются сотни наносекунд, и только после разряда емкости АЦП может быть переведен в исходное состояние готовности. Наконец, второй способ проигрывает в простоте реализации, так как требует введения в АЦП дополнительных схем сброса в исходное состояние и узла "Медленные совпадения".

В последние годы при организации многопараметровых спектрометрических измерений в ЛЯР ОИЯИ реализуется подход, основанный на нормально закрытых ЛВ в АЦП, стробируемых для регистрации амплитуды спектрометрических импульсов. В основе этого подхода - стремление сократить  $T_{mf}$  /повысить эффективность регистрации полезных событий/ переносом функций отбора по совпадениям на быстрые схемы, а также попытка упростить организацию измерений. Работа АЦП с нормально закрытыми воротами имеет свои особенности.

1. ЛВ должны стробироваться до вершины спектрометрического импульса и в совокупности с зарядным устройством АЦП иметь достаточное быстродействие для запоминания в АЦП неискаженной амплитуды импульса.

2. В системе регистрации должны быть предусмотрены средства режекции "резаных" импульсов, т.е. таких, которые не соответствуют заданной временной корреляции параметров события, однако передним или задним фронтом попадают в интервал стробирования.

С учетом отмеченных особенностей в ЛЯР ОИЯИ был разработан универсальный АЦП<sup>14</sup>. Суммарное время открывания ЛВ и запоминания амплитуды импульса с точностью 0,1% в нем составляет 0,2 мкс для импульсов амплитудой 5 В. Регистрация "резаных" по переднему фронту импульсов запрещается в нем ввиду того, что внутри строга ЛВ нет отметки детектора вершины. Режекция

"резаных" по заднему фронту сигналов осуществляется при помощи "интервалов недоверия" /около 0,3 мкс/ после включения ЛВ: появление отметки о вершине внутри этого интервала запрещает преобразование. Заметим, что для спектрометрических импульсов с малой амплитудой и пологим задним фронтом такой "интервал недоверия" может оказаться недостаточно длинным из-за ограниченной чувствительности устройства детектирования вершины. Специально для этого случая детектор вершины нужно было бы выполнить в виде отдельной схемы, присоединенной ко входу АЦП. Однако при этом схема АЦП усложнялась. В большинстве предполагаемых применений такое усложнение было бы неоправдано. Поэтому мы приняли компромиссное /только для данного специального случая/ решение о совмещении зарядно-разрядного устройства в АЦП с детектором вершины импульса.

Рассмотрим работу и возможности блока организации многопараметровых спектрометрических измерений КЛ-23К, функциональная схема которого приведена на рис.11.

1. По фронту внешнего сигнала "Пуск", если КЛ-23К свободен, запускается одновибратор ОБ1 строга ЛВ АЦП с регулируемой длительностью импульса "ТВ". Строб выводится на разъем и на резервную шину У2 магистрали крейта /при включенном тумблере П1/. Таким образом, управление ЛВ в АЦП возможно как по паре замкнутых между собой разъемов "Блок" в АЦП, так и по шине У2.

2. Пуск ОБ1 блокируется до окончания обработки системой регистрации предыдущего события, а также сигналами внешней блокировки и I.

3. ВП всех АЦП объединяются и поступают на КЛ-23К по резервной шине У1. Дальнейшая работа КЛ-23К после запуска задерживается до окончания всех ВП. Часто проще задать постоянное ВП /тумблер П2/ 25 или 85 мкс в зависимости от 10- или 12-разрядного варианта используемых АЦП.

4. По окончании ВП КЛ-23К генерирует запрос на обслуживание L. Однако, если в течение ВП на входе "Сброс" был сигнал, вместо L генерируются сигналы В, I, Z, S2 магистрали, сбрасывающие АЦП, КЛ-23К и дру-

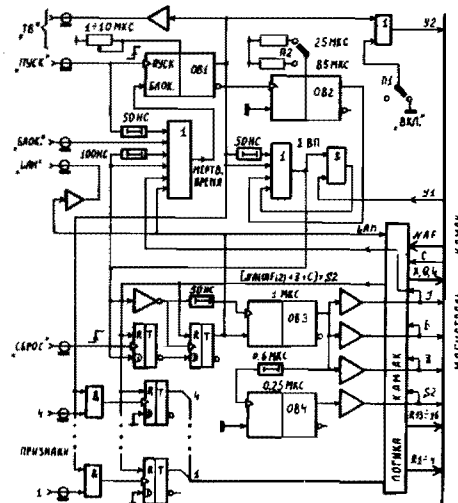


Рис.11. Функциональная схема блока организации многопараметровых спектрометрических измерений КЛ-23К.

гие регистраторы крейта в исходное состояние. Это позволяет параллельно с преобразованием осуществлять сравнительно медленный, но и более тщательный отбор событий, например, дифференциальными дискриминаторами, схемами идентификации частиц или другими устройствами отбора.

5. КЛ-23К имеет 4 входа "признаков". Наличие сигналов на них во время строба АЦП /или, если нужно, в течение ВП/ регистрируется и передается в составе слова данных КЛ-23К. Четыре старших бита R13 + R16 всегда присутствуют в слове КЛ-23К /в действующих системах регистрации/ и служат меткой конца массива данных при работе с контроллером типа КК001, когда блок КЛ-23К устанавливается на 23-й станции крейта.

Все одновибраторы и D-триггеры на схеме рис.11 синхронизируются положительным фронтом сигнала. Небольшие задержки 50-100 нс обеспечивают соответствующее перекрытие импульсов с учетом задержки распространения сигналов по логическим схемам ТТЛ серий 155,555. Все входы, выходы, регулировка "ТВ", расположенные на рис.11 слева, выведены на лицевую панель блока КД-23К. Имеется по два входа "Пуск", "Блок", "Сброс" для возможности управления одновременно сигналами NIM и ТТЛ-уровней. Входные сигналы реального блока - отрицательной полярности. Выход "ТВ" и стробирующий сигнал на шине У2 - положительной полярности, генерируются мощными вентилями ТТЛ. На лицевой панели блока расположен также выход "Мертвое время", не показанный на функциональной схеме. Сигнал "Мертвое время" отрицательной полярности, возникающий всегда, когда КЛ-23К занят, индицируется светодиодом на лицевой панели. На задней панели расположены тумблеры П1 и П2. Блок выполнен в модуле КАМАК шириной 1 М. Задержка распространения сигнала от входа "Пуск" до выхода "ТВ" составляет около 50 нс, минимальная длительность сигналов "Пуск", "Сброс" - 50 нс. Потребляемый ток от источников питания +6 В - не более 560 мА, -6 В - не более 70 мА. Регулировка времени открывания ЛВ в АЦП "ТВ" - от 1 до 10 мкс.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные специализированные модули входят в комплекс спектрометрической аппаратуры, разработанной в ЛЯР ОИЯИ, и эффективно применяются в спектрометрах с числом детекторов порядка десяти<sup>/8/</sup>. Вместе с тем, в новых экспериментальных установках возможности этой аппаратуры могут оказаться недостаточными.

Например, в проектируемых многоканальных  $\alpha$ -спектрометрах необходима возможность измерения коротких периодов полураспада. При малой средней интенсивности следования сигналов интересующее нас событие состоит из "пачки" импульсов, для после-

довательной обработки которых быстрое действие имеющегося АЦП не подходит. Прямой способ решения проблемы предполагает увеличить на порядок скорость регистрации системы АЦП + ЭВМ. Возможно и другое решение, связанное с применением перед АЦП специализированного модуля аналоговой памяти типа FIFO для разравнивания "пачек" импульсов во времени<sup>/9/</sup>.

С другой стороны, при увеличении числа детекторов до сотни<sup>/10/</sup> или больше в многопараметровой измерительной системе организация измерений с применением соответствующего числа АЦП представляется нерациональной. Здесь возможно использование схем аналоговой памяти с мультиплексированием запомненных уровней напряжения перед АЦП, как показано на рис.5. При этом АЦП также должен быть быстрым.

Таким образом, дальнейшее повышение эффективности регистрации информации в многодетекторных спектрометрах продуктов ядерных реакций связано с разработкой специализированных электронных блоков. Среди них прежде всего нужно назвать быстроедействующий АЦП с буферной памятью, а также аналоговые мультиплексоры и быстроедействующие устройства для запоминания спектрометрической информации. К сожалению, эта работа сдерживается ввиду отсутствия доступных интегральных схем нужного качества.

Автор благодарен В.Г.Субботину за поддержку работы и плодотворные обсуждения на всех этапах проектирования и применения аппаратуры, а также В.В.Каманину и А.М.Сухову за полезные замечания при подготовке публикации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bayer R., Borsuk S. Nucl.Instr. and Meth., 1976, 133, p.185.
2. Gere E.A., Lie H.P. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1969, v.NS-16, No.1, p.436.
3. Маталин Л.А., Чубаров С.И., Иванов А.А. Многоканальные анализаторы ядерной физики. М., "Атомиздат", 1967, с.48.
4. Кузнецов А.Н., Субботин В.Г. ОИЯИ, 13-83-67, Дубна, 1983.
5. Battista A. Nucl.Instr. and Meth., 1970, 80, p. 172.
6. Сухов А.М., Гриднев Г.Ф. ОИЯИ 13-80-11, Дубна, 1980.
7. Мерзляков С.И. ОИЯИ 13-85-684, Дубна, 1985.
8. Кузнецов А.Н. ОИЯИ П13,15-86-413, Дубна, 1986.
9. Robinson L.V., Gin F. Nucl.Instr. and Meth., 1969, 75, p.125.
10. Каманин В.В., Куглер А., Кузнецов А.Н., Соболев Ю.Г., ОИЯИ П13,15-86-413, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 марта 1987 года.