

С 344.30

Г-836

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 5153



Г.Ф. Гриднев, А.М. Сухов

СДВОЕННЫЙ АМПЛИТУДНЫЙ КОДИРОВЩИК
СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК
ДЛЯ МЕТОДИКИ $\frac{dE}{dX} E$

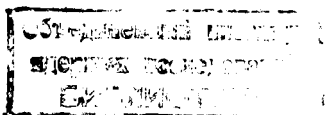
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1970

13 - 5153

Г.Ф. Гриднев, А.М. Сухов

СДВОЕННЫЙ АМПЛИТУДНЫЙ КОДИРОВЩИК
СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК
ДЛЯ МЕТОДИКИ $\frac{dE}{dX} E$



1. В в е д е н и е

Методика $\frac{dE}{dx} \times E$ с двумя полупроводниковыми детекторами применяется для изучения продуктов ядерных реакций в экспериментах на пучке ускорителя многозарядных ионов. Объединение этой методики с дополнительным магнитным анализом /1/ расширило возможности обоих методов: позволило надежно разделять изотопы элементов вплоть до Na, Mg и проводить эксперименты по получению и изучению свойств нейтроноизбыточных изотопов легких элементов.

Электронная аппаратура, применяемая в таких экспериментах, должна быть достаточно универсальной, т.к. сама методика позволяет решать широкий круг задач. Обычно как минимум два спектрометрических тракта работают в режиме совпадений. К разрешающему времени схемы совпадений жестких требований не предъявляется (разрешающее время $\approx (1+4) \times 10^{-7}$ сек). Энергия регистрируемых частиц меняется в широких пределах и в одном эксперименте возможна регистрация продуктов с энергиями от 4-5 до 150-170 Мэв. Мертвое время аппаратуры должно быть, по возможности, минимальным, так как работа ведется с высокими скоростями счета (до $(3+5) \times 10^3$ имп/сек) и для уменьшения относительной погрешности эксперимента его необходимо точно учитывать. Для обеспечения четкого разделения изотопов при работе с одной методикой $\frac{dE}{dx} \times E$ (без магнитного анализа) необходима точность преобразования амплитуды импульса в цифровой код $\approx 0,1\%$ /2/. Изучение нейтронообогащенных изотопов легких элементов налагает свои, специфические требования на аппаратуру. Малое сечение реакций, дающих такие продук-

ты, требует длительных экспозиций для накопления достаточного количества информации о получаемом изотопе и, следовательно, высокой надежности и стабильности спектрометрических трактов. Чтобы исключить попадание ложных импульсов в интересующий нас участок двухмерного спектра, необходимо уменьшить вероятность неправильного преобразования амплитуда - код и неправильной записи полученного кода в регистрирующей аппаратуре, поскольку скорость поступления "полезной" информации порядка 1 за час при общей загрузке входа в несколько десятков импульсов в секунду. Как показала практика использования в методике

$\frac{dE}{dx} \times E$ стандартных аналого-цифровых преобразователей БАП-5 (БАП-1024), простое объединение двух спектрометрических трактов для работы в двухмерном анализе не дает удовлетворительных результатов. Большинство ошибок происходит вследствие нечеткой взаимной синхронизации устройств управления обоих трактов. Поэтому была предпринята попытка создания двоянного кодировщика с общей схемой управления. В предлагаемой работе описывается такой кодировщик, который сконструирован в основном из разработанных ранее схем ^{3,4,5,6} с учетом вышеизложенных требований.

II . Блок-схема кодировщика

Блок-схема двоянного амплитудного кодировщика со стабилизацией трактов по двум точкам показана на рис. 1. Кодировщик состоит из двух спектрометрических трактов, общей схемы управления и контроля и тракта монитора. Каждый спектрометрический тракт включает в себя усилитель (У), нормально закрытый линейный пропускатель (ЛП), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), буферный адресный счетчик - регистр регистрации (РРег), дополнительный адресный счетчик - регистр стабилизации (РСт), схемы сравнения кодов (ССК), тумблерные регистры (ТБР) и блоки стабилизации "порога" (БСТП) и "усиления" (БСТУ). Логический тракт содержит схему совпадений (СС), блок команд (БК), блоки формирователей установки в "0" и "1" триггеров счетных регистров и генератор эталонных импульсов (ГЭИ). Связь с внешним регистратором

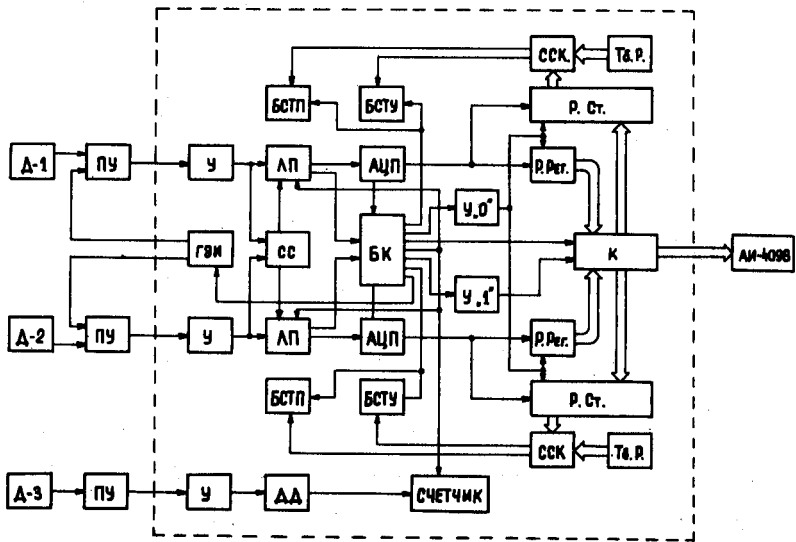


Рис. 1. Блок-схема сдвоенного амплитудного кодировщика со стабилизирующей характеристикой по двум точкам. Д-1 - детектор удельной ионизации, Д-2 - детектор полной энергии, Д-3 - мониторный детектор, ПУ - предусилитель, У - усилитель, ЛП - нормально закрытый линейный пропускатель, АЦП - аналого-цифровой преобразователь, Р Рег - регистр регистрации, Р Ст - регистр стабилизации, ССК - схемы сравнения кодов, Тб Р - тумблерный регистр, БСТП - блок стабилизации "порога", БСТУ - сблок стабилизации усиления, ГЭИ - генератор эталонных импульсов, СС - схема совпадений, БК - блок команд, У "0" - формирователи установки в "0", У "1" - формирователи установки в "1", К - коммутатор, ДД - дифференциальный дискриминатор.

осуществляется через коммутатор (К). Тракт монитора включает в себя усилитель, дифференциальный дискриминатор и счётчик импульсов.

Электрические импульсы от детекторов после предварительного усиления по кабелям поступают на кодировщик. Здесь, в спектрометрических трактах импульс после усиления поступает на линейный пропускатель, управляемый логическим импульсом со схемы совпадений, а затем - на аналого-цифровой преобразователь на 1024 канала. Опыт эксплуатации входных устройств показал, что рационально ввести в состав АЦП буферный адресный счётчик, в котором запоминается число (адрес-номер канала), пропорциональное анализируемой амплитуде. Это число передается параллельным кодом в адресный регистр запоминающего устройства. Такая организация связи входного устройства с запоминающим позволяет производить различные операции с цифровой информацией, такие как сжатие, образование комбинированных кодов от нескольких АЦП, перекодирование при использовании "цифровых окон", передача в несколько запоминающих устройств. Описываемый кодировщик имеет для каждого АЦП индивидуальный буферный адресный счётчик-регистр регистрации. Выходные шины регистров регистрации обоих АЦП подсоединены на вход коммутатора матричного типа, с помощью которого формируется входной код адреса анализируемого события. Кроме того каждый преобразователь снабжен дополнительным адресным счётчиком, с которым связаны цифровые схемы сравнения кодов системы стабилизации. Такое разделение регистров необходимо для независимой обработки кодов импульсов стабилизации и импульсов анализируемого спектра. Стабилизация характеристик спектрометрического тракта производится блоками стабилизации (БСТ) после сравнения в ССК кодов реперных импульсов из РСт с их ожидаемыми кодами, записанными в тумблерных регистрах ТБР.

При многомерном анализе поступающих на вход событий особенно остро встает вопрос фазировки и синхронизации работы отдельных устройств, их взаимной блокировки. В описываемом вдвоенном кодировщике предпринята попытка возможно более полного объединения функции управления обоими трактами в общем командном блоке.

Программа кодирования и регистрации исследуемого события запускается в момент открывания любого из нормально закрытых линейных

пропускателей и состоит из серии командных импульсов, вырабатываемых в самом блоке команд и синхронизирующих работу отдельных узлов сдвоенного кодировщика. Первым командным импульсом запускается начало отсчёта "мертвого" времени, которое сразу же подается на блокировку ЛП; начало отсчёта времени преобразования АЦП; дается команда "установка в "0" всех триггеров Р Рег и Р Ст в формирователь "установки в "0". Через 2 мксек на формирователи "установки в "1" следует команда "установка в "1". Последствия выполнения этой команды будут рассмотрены ниже. В результате сравнения по схеме "ИЛИ" времен преобразования обоих АЦП выбирается наиболее длинное время преобразования и вырабатывается команда "конец серии". В коммутаторе она преобразуется в команду "разрешение регистрации", а в БСТ - в команду "разрешение стабилизации". После окончания регистрации кода во внешнем устройстве и окончания стабилизации блоками стабилизации снимается блокировка "мертвое время", и кодировщик готов к анализу очередного события. Адресные счётчики АЦП помнят предыдущий код до начала обработки последующего импульса. Визуальное наблюдение этого кода по лампочкам индикации облегчает контроль за правильностью работы кодировщика, облегчает проведение калибровок и самого физического эксперимента.

Для уменьшения относительной погрешности измерений в стойке сдвоенного кодировщика смонтирован тракт монитора. Мониторный импульс с усилителя поступает на дифференциальный дискриминатор, что дает возможность мониторинга по части амплитудного спектра и далее - на счётчик импульсов. Персчёт импульсов блокируется на "мертвое" время системы, которое может быть значительным при большой частоте поступления сигналов.

III. Стабилизация характеристик спектрометрических трактов

Характеристика спектрометра $N = f(E)$ "дрейфует" вследствие температурных и временных изменений параметров устройств, входящих в спектрометрический тракт: детекторов, предусилителей и усилителей, линейных

пропускателей и АЦП. Если аппроксимировать характеристику спектрометра в рабочем диапазоне отрезком прямой, то любые изменения положения характеристики в координатах энергия-номер канала можно представить в виде суммы двух перемещений:

- а) смещение прямой параллельно самой себе, эквивалентное изменению "порога";
- б) поворот прямой вокруг некоторой точки, принадлежащей этой прямой, эквивалентный изменению "наклона".

В системах стабилизации для компенсации изменений стабилизируемых параметров характеристики ("порога" и "наклона") используется отрицательная обратная связь. Положение характеристики определяется по двум реперным пикам, причем в качестве репера обычно используются электрические импульсы от генератора эталонных импульсов. Они подаются на вход предусилителя через дозирующую емкость параллельно с импульсами от детектора. Информация об изменениях в положении рабочей характеристики получается путем сравнения кодов анализируемых эталонных сигналов с ожидаемыми кодами этих сигналов, полученными во время предварительной калибровки. Однако при таком способе стабилизации детектор остается не охваченным обратной связью. Некоторые упрощения схемы стабилизации/7/, связанные с применением генераторов эталонных импульсов, оправданы в γ -спектрометрах с германиевыми детекторами, работающими в условиях глубокого охлаждения и сравнительно небольшой радиации. Однако при спектрометрии с кремниевыми поверхностно-барьерными детекторами ядерного излучения непосредственно на пучке ускорителя МЗИ амплитуда выходного сигнала детектора может значительно изменяться при постоянной энергии регистрируемой частицы. Чтобы охватить обратной связью весь тракт полностью, в описываемом кодировщике предусмотрена возможность стабилизации характеристики тракта с использованием в качестве реперов характерных пиков или особенностей изучаемого физического спектра.

Функциональная схема блока стабилизации одной точки характеристики спектрометра приведена на рис. 2. Схема сравнения кодов, являясь пороговым элементом, дает на выходе потенциал - 12 вольт, когда код в РСт больше кода, набранного на соответствующем тумблерном регистре.

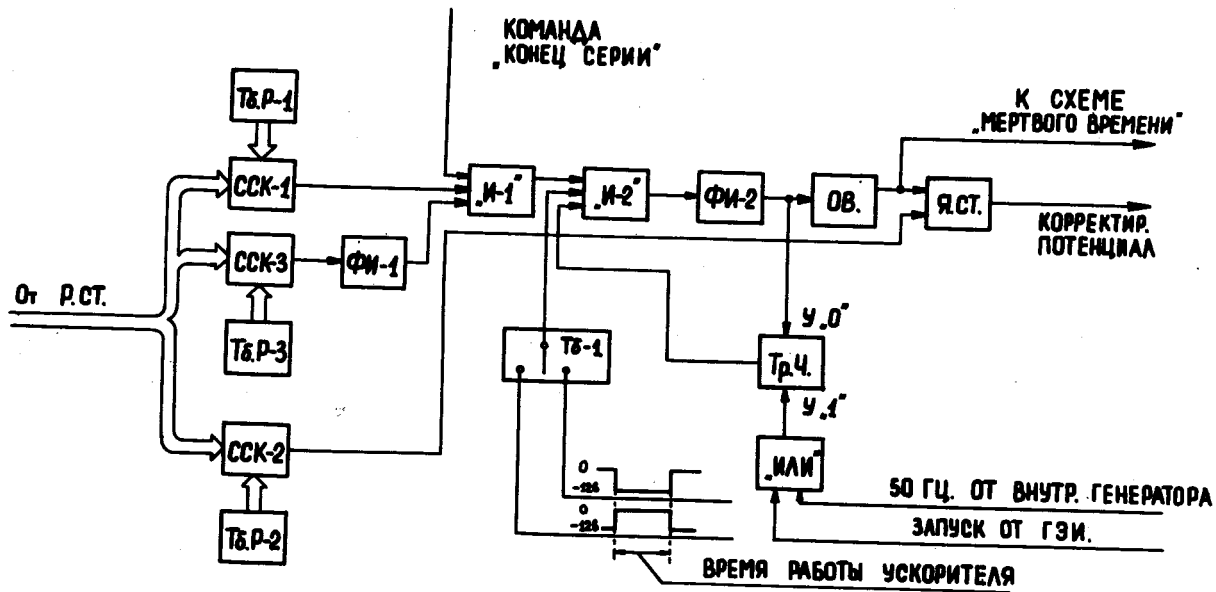


Рис. 2. Блок-схема стабилизации одной точки характеристики спектрометра.

В противном случае на выходе ССК присутствует нулевой потенциал. Выходной потенциал со схемы сравнения кодов (ССК-2) поступает непосредственно в ячейку стабилизации и определяет там знак приращения корректирующего напряжения. В случае стабилизации характеристики от импульсов ГЭИ можно ограничиться одной схемой сравнения кодов, т.к. эталонный импульс легко отделить от всех остальных синхронизацией работы ГЭИ и системы стабилизации. При стабилизации характеристики от импульсов реального физического спектра необходимо из всего спектра выделить какой-либо пик или участок ("область стабилизации"), распределение импульсов в котором определяется лишь статистическим разбросом и не должно меняться в течение эксперимента. Для выделения "области стабилизации" команда "конец серии" поступает на один из входов схемы "И-1". К двум другим входам "И-1" подключены выход ССК-1 и через фазоинвертор ФИ-1 - выход ССК-3. Импульс на выходе "И-1" появится только в том случае, если код анализируемого импульса больше кода, набранного на тумблерном регистре Тб.Р-1 и меньше кода на Тб.Р-3. Так образуется "цифровое окно", эквивалентное выбранному участку физического спектра. Схема "И-2" осуществляет отбор по времени и частоте стабилизации. В зависимости от положения тумблера Тб-1 стабилизация разрешается во время подачи ВЧ на дуанты циклотрона или во время отсутствия ВЧ сигнала, либо ограничение на время стабилизации не налагается. Триггер частоты "разрешает" прохождение сигнала через "И-2" состоянием "1" в которое он взводится по схеме "ИЛИ" с частотой 50 гц от внутреннего генератора или от синхронизирующего импульса ГЭИ. Импульс с выхода "И-2", пройдя двойной фазоинвертор ФИ-2, возвращает триггер частоты в состояние "0" и запускает одновибратор ОВ. 100-микросекундный импульс ОВ поступает на схему "мертвого" времени и служит командой "разрешение стабилизации". Работа ячейки стабилизации более подробно будет рассмотрена ниже. Для стабилизации характеристики спектрометрического тракта по двум точкам используются два идентичных блока стабилизации.

IV. Конкретные блоки и схемы, используемые в двояном кодировщике

а) Усилители

Используются линейные усилители с коэффициентом усиления до 100, схема которых предложена в работе/3/.

б) Схема совпадений

За основу была принята схема, описанная в/7/. Добавлением 1-го каскада дифференциального усилителя чувствительность схемы была доведена до 0,2 вольта. Разрешающее время схемы определяется запаздывающими линиями задержки ЛЗТ-0,1-600 и в нашем случае равно 0,4 мксек.

в) Линейный пропускатель

В работе/4/ в разделе "Входное устройство анализатора на 1024 канала" описана схема линейного пропускателя, впоследствии неоднократно использованного в ряде анализаторов редких событий - МАРС. Это послужило основанием для выбора указанной схемы для двояного кодировщика. Функциональная схема линейного пропускателя приведена на рис. 3. Нормально закрытый линейный пропускатель открывается импульсами одновибратора ОВ-1 в том случае, если входной импульс удовлетворяет условиям отбора (ДНУ, ДВУ) и закончен анализ предшествующего импульса. Собственно линейный пропускатель состоит из двух последовательно включенных ключей К-1 и К-2. Такое включение позволяет существенно снизить амплитуду помехи при закрытом пропускателе. На выходе ЛП осуществляется импульсное вычитание "пьедестала" (цепь R_1, R_2). Более детальное исследование работы такого линейного пропускателя показало, что его схема обладает рядом существенных недостатков.

1. Из-за емкости связи в базовой цепи линейных ключей К-1 и К-2 возникает зависимость базового потенциала от частоты следования импульсов. Это приводит к тому, что линейные ключи начинают шунтировать спектрометрический тракт и вносить значительные искажения в изучаемый спектр.

2. По аналогичной же причине величина вычитаемого "пьедестала" также зависит от частоты следования входных импульсов и тоже искажает изучаемый спектр.

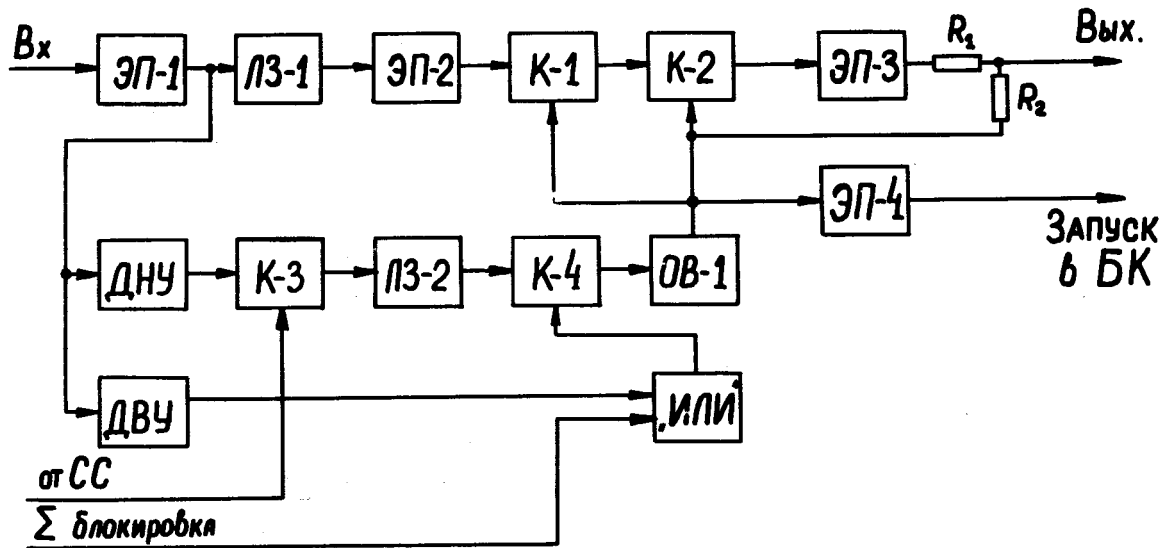


Рис. 3. Блок-схема линейного пропускателя ЭП - эмиттерный повторитель, ЛЗ - линия задержки, К - ключ, ДНУ - дискриминатор нижнего уровня, ДВУ - дискриминатор верхнего уровня, ОВ - одновибратор.

3. Дискриминатор нижнего уровня на малых амплитудах входного импульса работает как усилитель, без резкой отсечки. В результате изменяется задержка срабатывания ОВ-1, что затрудняет стыковку схемы совпадений со схемой линейного пропускателя.

Чтобы устранить эти недостатки, ряд узлов схемы пришлось переработать. Так, управляющая цепь линейных ключей была сделана гальванической, в схему дискриминатора нижнего уровня был введен пороговый элемент на туннельном диоде. Вычитание "пьедестала" в аналоговой форме было заменено цифровой дискриминацией (более подробно это рассмотрено при описании коммутатора). Значительно надежнее работает схема без дискриминатора верхнего уровня. Его роль также выполняет цифровое ограничение верхней границы регистрации. Для более жесткой синхронизации работы двух линейных пропускателей приняты дополнительные меры. На логический ключ К-3 со схемы совпадений подается постоянный запирающий потенциал и теперь К-3 пропускает не импульс ДНУ, а импульс с общей для трактов схемы совпадений при наличии импульса с ДНУ.

Измененная принципиальная схема линейного пропускателя показана на рис. 4.

Схема работает надежно до частот 10^5 имп/сек. Остальные характеристики, в основном, совпадают с характеристиками схемы, описанной в/4/.

г) Амплитудно-цифровой преобразователь

В качестве АЦП используются кодировщики на 1024 канала, схема которых описана в/4/. Частота импульсов цуга кодировщиков ≈ 10 МГц.

д) Регистры регистрации и стабилизации

Счётчиками импульсов в РРег и РСт являются пересчётные декады, изготавливаемые ЦЭМ ОИЯИ/5/.

Так как анализатор АИ-4096 принимает только двоичный код, то декады были переделаны на двоичный пересчёт импульсов. Использовалась импульсная установка в "0" и "1" триггеров этих декад.

е) Коммутатор

В качестве коммутатора можно использовать набор тумблеров или кнопочных переключателей. В описываемом кодировщике используются наборные платы измерителя ламповых характеристик (Л1-2, Л1-3).

Каждая такая плата имеет 72 (12x6) пары изолированных контактов. Так как обычно приходится иметь дело с запоминающим устройством на 4096 каналов, то выходной код было решено ограничить 12 разрядами. Коммутатор при этом имеет 20 входных и 12 выходных шин и позволяет в этих пределах производить с полученным "адресом" любые преобразования. Одновременно в коммутаторе предусмотрена возможность выбора области спектра, в пределах которой будет разрешаться регистрация. При этом задаются нижние границы и ширины области регистрации в каждом из трактов. Такое выделение области регистрации необходимо, например, при желании "рассмотреть" часть спектра более подробно. Дополнительный код числа, набранного на коммутаторе и равного "нижней границе", по команде "установка в "1" заносится в R Рег и затем суммируется там с кодом пришедшего импульса. В случае переполнения адресного счётчика (11-й триггер R Рег в состоянии "1") команда "конец серии" преобразуется в команду "разрешение регистрации". Следует отметить, что регистрироваться будет разностный код

$$N = n - a ,$$

где n - код пришедшего события, a - код нижней границы области регистрации, подобно тому, как это происходит при аналоговой дискриминации нижнего уровня. Дополнительный код границы заносится в 5-10 разряды R Рег, а нижняя граница регистрации меняется при этом скачками через 16 каналов - от 16-го до 1008-го канала. То, что дополнительный код не заносится в первые четыре разряда R Рег позволяет:

- а) объединить их с первыми четырьмя разрядами R Ст;
- б) производить установку дополнительного кода сразу после общей команды "установка в "0", пока цуг преобразователя пересчитывается четырьмя первыми разрядами, не занимая дополнительного времени.

В результате объединения выходных шин R Рег с помощью коммутатора по схеме "ИЛИ" выбирается "окно" регистрации. Ширина "окна" регистрации может быть выбрана равной $2m$, где m меняется от 4 до 10. Если адрес N превышает $2m$, т.е. пришедший код превышает установленную верхнюю границу регистрации, то запрещается прохождение команды "регистрация" и, соответственно, передача кода из R Рег в АИ-4096.

ж) Схема сравнения кодов

Потенциальная схема сравнения кодов, предложенная в работе [7], напоминает схему контроля чётности последовательного типа, часто используемую в вычислительной технике. Схема содержит n ячеек по числу разрядов сравниваемых кодов. Функциональная и электрическая схемы одной ячейки приведены на рис. 5а. Здесь диоды Д-1 и Д-2 образуют схему "И-1", а диоды Д-3 и Д-4 схемы "ИЛИ-1". Тумблер Тб управляет прохождением сигнала через "И-2" или через "И-3", а также выполняет роль смесителя (схема "ИЛИ-2"). Логическая функция, осуществляемая ячейкой сравнения, имеет вид:

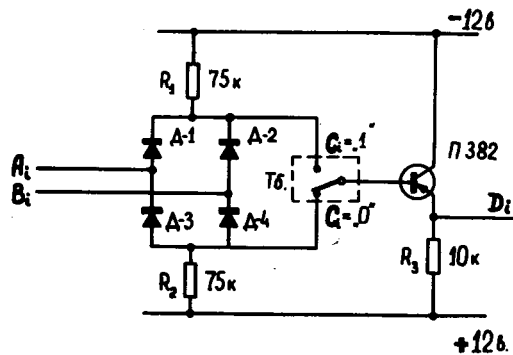
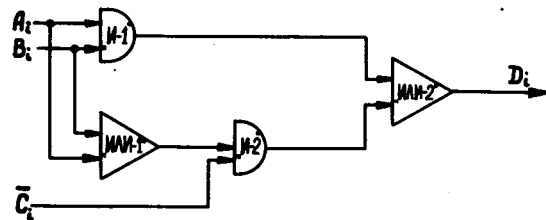
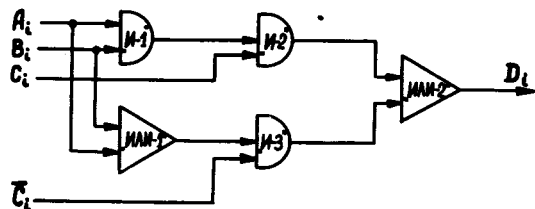
$$D_i = C_i \times (A_i \times B_i) + \bar{C}_i \times (A_i + B_i),$$

здесь $B_i = D_{i-1}$, A_i - информационный i -ый разряд пришедшего кода, C_i - информационный i -ый разряд двоичного кода, набранного на тумблерном регистре.

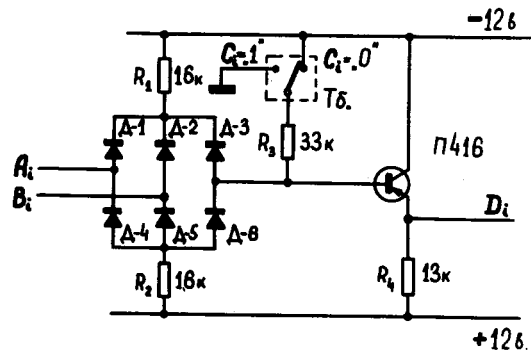
Для описываемого кодировщика была разработана печатная плата схемы сравнения кодов на 12 разрядов. Для уменьшения числа соединительных проводов от ССК к тумблерному регистру схема ячейки сравнения была видоизменена. На рис. 5б приведены функциональная и электрическая схемы принятого варианта ячейки сравнения. Здесь в качестве C_i вместо состояний тумблера используется электрический потенциал, принимающий значение 0 вольт (соответствует "1" в данном разряде тумблерного регистра), или -12 вольт (соответствует выбору "0"). При этом к каждому тумблеру подходит лишь 1 провод, вместо трех по старой схеме. Диоды Д-1 и Д-2 выполняют роль "И-1", диоды Д-4 и Д-5 - роль "ИЛИ-1". Диод Д-6 и сопротивление R образуют схему "И-2", а диод Д-3 входит в "ИЛИ-2". Логическая функция, осуществляемая ячейкой, теперь имеет вид

$$D_i = A_i \times B_i + \bar{C}_i \times (A_i + B_i).$$

На этой же плате размещен и двойной фазоинвертор, что позволяет стандартизовать выходной потенциал (0 или -12 вольт) и использовать, при необходимости, нужный потенциал (см. ССК-1 и ССК-3 на рис. 2). Выходной потенциал схемы сравнения кодов появляется через 0,2-0,5 мксек после установления кода на входах схемы.



a



б

Рис. 5. Функциональные и электрические схемы ячейки сравнения кодов; а) из работы/8/, б) используемая в двоянном кодировщике.

з) Ячейка стабилизации

Функциональная схема ячейки стабилизации приведена на рис. 6, а электрическая схема - на рис. 7.

Управляющий потенциал, поступающий со схемы сравнения кодов, обуславливает прохождение команды "разрешение стабилизации" через клапан "И-1" или клапан "И-2". В результате будет открыт верхний (СТ-1) или нижний (СТ-2) стабилизаторы тока и будет происходить либо заряд, либо разряд интегрирующего конденсатора. Легко видеть, что схема работает как разностный интенсиметр. Из теории разностных интенсиметров известно, что напряжение на интегрирующем конденсаторе связано с частотами n_1 и n_2 поступающих на его входы сигналов уравнением:

$$U(t) = t R_{\ell} \left(n_1 \frac{U_0 a_1}{r_1} - n_2 \frac{U_0 a_2}{r_2} \right) \left(1 - e^{-\frac{t}{R_{\ell} C}} \right),$$

где R_{ℓ} - эквивалентное сопротивление, шунтирующее интегрирующий конденсатор, a_1 и a_2 - коэффициенты передачи по току транзисторов верхнего (СТ-1) и нижнего (СТ-2) стабилизаторов тока, r_1 и r_2 - сопротивления, определяющие амплитуду тока заряда-разряда при импульсном напряжении U_0 на входе, T - длительность цикла заряда-разряда, C - емкость конденсатора.

Если

$$\frac{a_1}{r_1} = \frac{a_2}{r_2} = \frac{a}{r},$$

то

$$U(t) = T R_{\ell} U_0 \frac{a}{r} (n_1 - n_2) \left(1 - e^{-\frac{t}{R_{\ell} C}} \right):$$

Таким образом, напряжение на интегрирующем конденсаторе будет изменяться пропорционально разности скоростей счёта реперных импульсов "слева" и "справа" от границы, установленной на схеме сравнения кодов. Однако эта зависимость нелинейная. Нелинейность обусловлена шунтирующим действием сопротивления R_{ℓ} , в результате которого появляется зависимость и от суммарной частоты следования реперных импульсов. Поэтому обычно схему строят так, чтобы обеспечить максимально возможное R_{ℓ} .

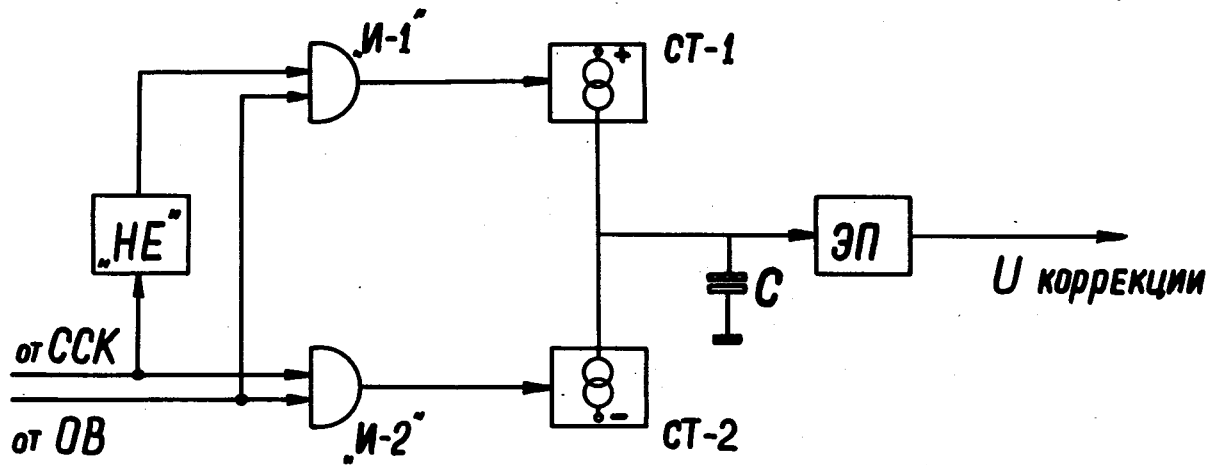


Рис. 6. Функциональная схема ячейки стабилизации.

В описываемой схеме в качестве стабилизаторов тока используются кремниевые транзисторы 2Т301 (Т9) и П106 (Т10). Желательно, чтобы $I_{ко}$ этих транзисторов были равны. Интегрирующий конденсатор ЭТО-2 (300 мкф 25 в) отбирался из большой партии и имеет ток утечки $\approx 10^{-7}$ а. Транзисторы Т12 - Т16 (все 2Т301) образуют буферный каскад, представляющий собой составной эмиттерный повторитель с динамическим входным сопротивлением ≈ 50 мом. Входное сопротивление ЭП по постоянному току еще выше и определяется точностью балансировки входа сопротивлением R^* . С помощью транзисторов Т8 (П416) и Т11 (2Т301) поддерживается постоянное напряжение питания стабилизаторов тока, вне зависимости от напряжения на интегрирующем конденсаторе. Указанные меры позволили уменьшить зависимость корректирующего напряжения от частоты поступления эталонных импульсов. Максимальное "сползание" реперного пика за счёт разряда интегрирующего конденсатора при выключении команды "разрешение стабилизации" составляет 1 канал за 3 мин. Диапазон изменения корректирующего напряжения на выходе ячейки стабилизации 0 + + 10 в. Скорость изменения корректирующего напряжения, определяемая импульсным током стабилизаторов тока и длительностью синхронизирующего импульса, рассчитывалась таким образом, чтобы при полном согласовании ячейки с управляющими входами АЦП и ЛП сигнал "коррекции" был равен 0,1 канала на каждый импульс стабилизации. При этом уширение пиков за счёт системы стабилизации будет меньше $1\%/6$, а скорость отработки "рассогласования" при частоте поступления импульсов ГЭИ - 50 гц будет намного превышать ожидаемую скорость временного дрейфа характеристики.

и) Измерение мертвого времени кодировщика стрелочным прибором

Так как кодировщик обычно работает при измерениях непосредственно на пучке ускорителя МЗИ, то импульсы анализируются только во время "работы" самого ускорителя и "мертвое" время как бы модулировано циклотроном. Но при настройке ускорителя на определенную интенсивность выведенного пучка меняется частота посылок модулятора и их скважность, поэтому оказывается невозможным использовать в измерителе интегратор обычного типа. Для измерения "мертвого" времени была изготовлена

схема, представленная на рис. 8. Импульсы "мертвого" времени, поступающие на вход схемы, формируются по амплитуде фазоинверторами Т1, Т2, Т3 и интегрируются на емкости С. Напряжение, до которого заряжается конденсатор С, через составной эмиттерный повторитель (Т4-Т7) с большим входным сопротивлением измеряется непосредственно стрелочным прибором. Особенностью схемы является то, что во время выключения ВЧ сигнала циклотрона запрещаются и заряд, и разряд накопительной емкости С и это переменное, в принципе, время как бы исключается из измерения. Сопротивление R^* выполняет ту же роль, что и сопротивление R^* в схеме ячейки стабилизации (см. рис. 7).

V. Настройка и проверка работы сдвоенного кодировщика

Использование кодировщика для решения задач, требующих обнаружения единичных импульсов в интересующей нас области на двухмерном поле регистрации при большом числе вообще зарегистрированных импульсов, потребовало нового подхода к проверке надежности и безошибочности работы кодировщика. Использовать здесь обычные методы проверки, когда статистически распределенные во времени импульсы имитируют рабочие условия для каждого тракта, оказалось явно недостаточным. Чрезвычайно трудно выделить малое число ошибочно обработанных импульсов на фоне общего числа зарегистрированных импульсов, т.к. для этого число ошибок должно, по крайней мере, превышать статистическую ошибку от правильно зарегистрированных в данной области импульсов. Так, можно обнаружить ошибку, повторяющуюся не реже, чем несколько раз за секунду. Когда же речь идет о необходимости избежать попадания в интересующую нас область спектра единичных ошибочных импульсов за несколько часов работы системы, то такие методы проверки являются явно неудовлетворительными.

Ошибки чаще всего возникают не в аналоговых цепях, а при операциях с цифровой информацией. Была предложена и опробована методика двухмерного анализа событий, позволившая быстро отладить кодировщик

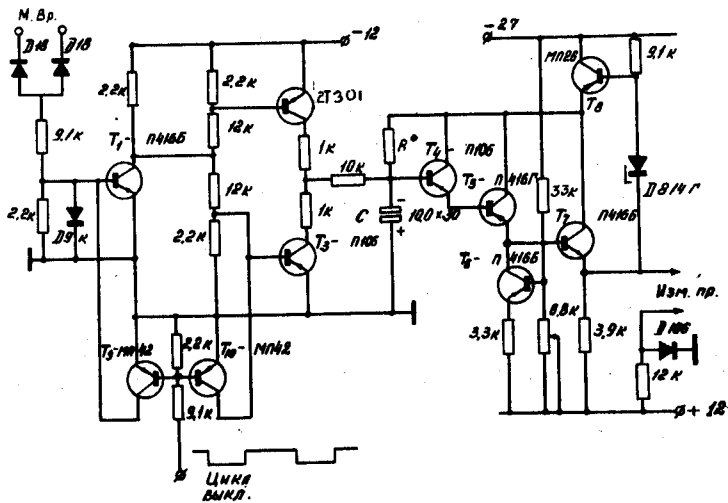


Рис. 8. Схема измерения "мертвого" времени стрелочным прибором.

и проверить его работу в условиях длительного эксперимента. В основе метода двумерного анализа лежит разделение мест регистрации правильно обработанных событий и событий, обработанных с ошибкой, причем по адресу регистрации неправильно обработанного события можно однозначно судить о месте возникновения ошибки, а по числу накопленных "ошибочных" импульсов - о частоте повторения сбоев. Проверка работы узлов спектрометрических трактов кодировщика происходила в несколько этапов. Прежде всего проверялась правильность регистрации кодов адресов в памяти анализатора АИ-4096. Для этого с помощью эталонного источника радиоактивного излучения имитировались рабочие условия одного из спектрометрических трактов кодировщика. Каждый разряд первоначального адреса на коммутаторе "раздваивался" и передавался для регистрации в память анализатора одновременно как два разряда (младший - i и старший - j) по своим каналам связи. Если выбрать

$$j = i + \frac{K}{2},$$

где $i = 1, 2, 3 \dots \frac{K}{2}$, K - разрядность памяти ($K = 12$ для АИ-4096), то любая правильно зарегистрированная информация будет записана на "диагонали" двумерного поля регистрации, т.е. в ячейках с номерами

$$N = 65 \times \ell + 1,$$

где $\ell = 0, 1, 2, \dots, 63$.

Любое появление зарегистрированных импульсов вне "диагонали" свидетельствует о сбое при регистрации. По адресу неправильно зарегистрированного импульса легко найти место сбоя в анализаторе, причем именно в анализаторе, т.к. любые возможные сбои в работе узлов самого спектрометрического тракта не могут переместить импульс из "диагонали". Далее проверялась работа триггеров регистров регистрации. Работа регистра регистрации как счётчика импульсов цуга складывается из нескольких операций:

- 1) установка в состояние "0" всех триггеров регистра;
- 2) установка в состояние "1" выбранных триггеров и
- 3) последовательный двоичный пересчёт импульсов цуга.

Методом двухмерного анализа оказалось возможным проверить долговременную правильность работы триггеров регистров регистрации на всех стадиях. Проверка правильности пересчёта. Запрещалась подача команд "установка в "0" и "установка в "1" на формирователи установок в "0" и "1". Импульсы цуга одного из АЦП подавались одновременно на два Р Рег. Первые или любые другие одинаковые 8 разрядов каждого из выходных кодов образовывали код двухмерного адреса регистрации. Так как перед началом регистрации все триггеры Р Рег устанавливались в "0", то при правильном пересчёте импульсов цуга триггерами регистрация всех событий велась опять-таки в "диагональ". Если же в таком режиме работы произойдет хотя бы один сбой, то вся дальнейшая регистрация будет идти в "линию", параллельную "диагонали". По расстоянию от этой "линии" до "диагонали" можно определить место (разряд), где этот сбой произошел.

Для проверки правильности установки в "0" триггеров регистра регистрации разрешалось прохождение команды "установка в "0" и повторялась предыдущая процедура. "Вымывание" импульсов из "диагонали" свидетельствует о некорректной установке в "0", причем неправильно работающий триггер опять легко найти по адресам таких импульсов. После этого оставалось аналогичным образом проверить установку в "1". Затем проверялась работа всего кодировщика полностью. Импульсы с детектора излучения подавались на оба усилителя спектрометрических трактов и весь двоянный кодировщик работал по полной программе. Регистрация правильно обработанных импульсов происходит в области, близкой к "диагонали". При такой проверке двоянный амплитудный кодировщик давал 10-15 случаев регистрации по ошибочным адресам на $5 \cdot 10^5$ зарегистрированных событий, при средней загрузке по входу 400-500 имп/сек. Месторасположение этих ошибок на двухмерном поле регистрации довольно постоянно. Наиболее вероятная причина возникновения ошибок - неодновременность окончания импульсов одновибраторов в схемах ЛП, за счёт чего налагающиеся друг на друга входные импульсы регистрируются как ошибочно закодированные.

Сдвоенный амплитудный кодировщик хорошо зарекомендовал себя при проведении физических экспериментов. На рис. 9 в качестве примера приведен один из полученных в работе/1/ двухмерных спектров.

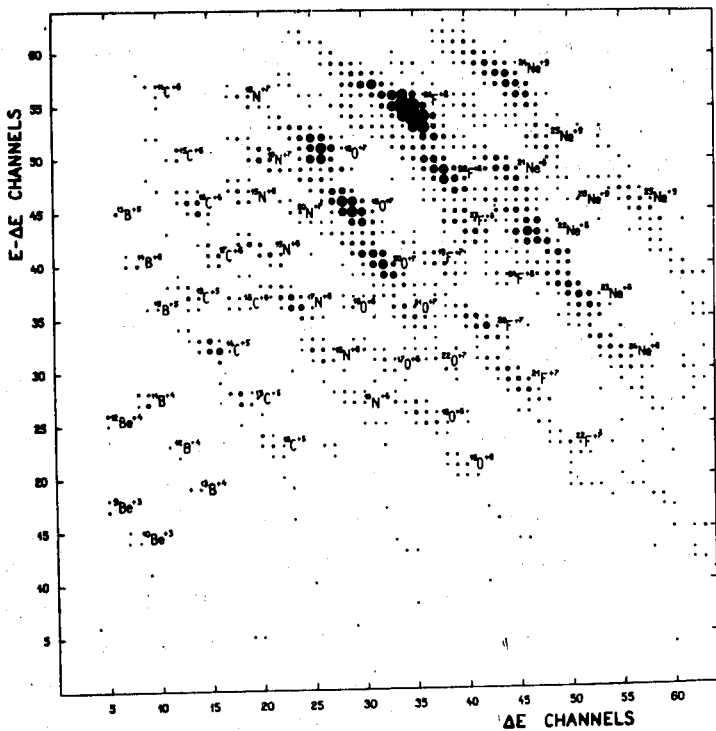


Рис. 9. Двухмерный спектр, полученный в эксперименте при облучении мишени из ^{232}Th ионами ^{22}Ne /1/. Площадь каждого зачерненного круга пропорциональна корню квадратному из числа отсчетов в канале.

В заключение авторы выражают благодарность Л.П. Челнокову за полезные обсуждения и помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. A.G. Artukh, V.V. Avdeichikov, J. Erö, G.F. Gridnev, V.L. Mikheev, V.V. Volkov, JINR Preprint, E7-4857, Dubna, 1969.
2. И. Ланг, В.И. Вакатов, Я. Эре. Препринт ОИЯИ P10-4587, Дубна, 1969.
3. М.Н. Дражев. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. ОИЯИ, Дубна, 1968.
4. Э.Г. Имаев и др. Препринт ОИЯИ P10-3332, Дубна, 1967.
5. А.Г. Грачёв, С.С. Кириллов. Препринт ОИЯИ, 1922, Дубна, 1965.
6. В.И. Приходько, В.Г. Тишин. Препринт ОИЯИ, 2707, Дубна, 1966.
7. С.Г. Басиладзе. ПТЭ, 1966, №5, 123.
8. Л.П. Челноков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. ОИЯИ, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел

3 июня 1970 года.