

731



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, В.Д. Шibaев, И.В. Штраих

731

МНОГОМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ
НА МАГНИТНОЙ ЛЕНТЕ
С РАЗРАВНИВАНИЕМ СТАТИСТИКИ

Дубна 1981 год

Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, В.Д. Шibaев, И.В. Штранх

731

МНОГОМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ
НА МАГНИТНОЙ ЛЕНТЕ
С РАЗРАВНИВАНИЕМ СТАТИСТИКИ

|||

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1114/1 чр.

А н н о т а ц и я

Одним из перспективных направлений увеличения числа каналов многомерных регистрирующих систем является метод многодорожечной записи информации, представленной в двоичной форме, на магнитную ленту. Кратко описывается 25-ти дорожечная регистрирующая система, рассматриваются основные технические характеристики и возможности таких систем. Особенностью описываемой регистрирующей системы является применение блока "разравнивания", который позволяет статистически распределенные во времени входные импульсы равномерно записывать на магнитную ленту. Приводится принципиальная схема "разравнивающего" устройства. Дается оценка необходимой емкости разравнивающего устройства для различной формы спектра. Рассматривается вопрос о выводе данных из многомерных систем.

В в е д е н и е

Широкое распространение в экспериментальной ядерной физике получили счетные методы регистрации, которые в общем случае сводятся к накоплению информации, поступающей в виде электрических импульсов от одного или нескольких физических датчиков. Амплитуда, время поступления и другие параметры импульсов дают в этом случае желаемую информацию об изучаемом событии.

Получаемое в результате эксперимента распределение числа зарегистрированных импульсов по определенным признакам, иначе говоря по каналам регистрирующей системы, описывает некую кривую на плоскости, или так называемый плоский спектр ^{/1/}.

Стремление охватить в ходе эксперимента широкий диапазон изменения исследуемых параметров элементарных частиц (масса, энергия и т.д.) определило создание целого цикла регистрирующих приборов с большим числом каналов — многоканальных анализаторов.

С развитием методов физического эксперимента все чаще встречаются задачи, связанные с изучением распределения информации не по одному, а по нескольким признакам одновременно. Такие задачи сводятся к снятию спектров, описываемых не кривой на плоскости, а поверхностью в трехмерном или, вообще говоря, многомерном пространстве. К задачам многомерной спектрометрии относятся, например, задачи исследования гамма-спектров радиационного захвата нейтронов различной энергии, исследование угловых корреляций ядерных реакций и т.д.

В настоящее время наметились два направления в развитии многоканальных регистрирующих систем. Одно из них заключается в использовании обычных многоканальных анализаторов в задачах многомерного анализа путем разбиения "памяти" таких систем на отдельные группы ^{/1,2,3,4/}. Отсюда вытекает стремление к увеличению емкости "памяти" систем, что ведет к естественному усложнению аппаратуры. Особенностью таких систем является то, что рассортировка информации по каналам запоминающего устройства осуществляется, как правило, с большой скоростью и поэтому ведется непосредственно во время эксперимента. При этом вход регистрирующей системы блокируется на время, необходимое для выбора адреса и проведения арифметических операций. Главным преимуществом таких систем является возможность осуществления сравнительно несложным путем визуального контроля за

накапливаемой информацией в ходе самого эксперимента, а также то, что получение первичных результатов измерений в виде плоского или многомерного спектра может быть проведено непосредственно после завершения измерений. Однако создание регистрирующих систем с памятью на магнитных сердечниках^{/4/} или потенциалоскопах^{/1/} с числом каналов несколько тысяч и более связано с целым рядом технических трудностей, приводящих к чрезвычайной сложности аппаратуры. Регистрирующая система на десять - двадцать тысяч каналов приближается в вопросах эксплуатации и стоимости к среднему классу электронных вычислительных машин, что, естественно, накладывает определенные ограничения на использование данной аппаратуры в физических экспериментах широкого фронта.

Другое направление в развитии многоканальных систем, позволяющее значительно увеличить число каналов и, следовательно, эффективность регистрирующей системы, заключается в использовании предварительной памяти большой емкости. Импульсы, несущие информацию, запоминаются в этом случае непосредственно по мере их поступления в предварительной памяти либо в своем первоначальном виде, либо преобразованными в числовой код^{/5,6,7/}. В качестве такой предварительной памяти могут быть использованы магнитная лента, магнитный барабан, кинолента и т.д. По окончании эксперимента накопленная информация обрабатывается, т.е. рассортировывается по каналам многомерного пространства. В качестве устройства обработки может быть использован обычный многоканальный анализатор со сравнительно небольшой емкостью "памяти". Рассортировка всей информации производится по частям.

Второй особенностью такой системы является то, что обработка результатов измерений происходит независимо от работы уникальных установок (реактор, ускоритель и т.д.), лимитирующих, как правило, время непосредственного эксперимента. Это позволяет проводить обработку экспериментальных данных различными способами, по частям, повторяя отдельные этапы, не теряя при этом первоначального экспериментального материала.

1. Системы регистрации на магнитной ленте с разравниванием статистики

В качестве предварительной памяти большой емкости многомерной регистрирующей системы в нашем случае использовалась 35 мм магнитная лента, запись на которую могла производиться в виде двоичного числа одновременно по 25 дорожкам.

Блок-схема регистрирующей системы представлена на рис. 1. Блоки преобразования 1,2,3 преобразуют поступающую по входам 1 - 3 информацию в двоичное число (двоичный код). Число разрядов каждого из блоков преобразования можно изменять так, чтобы общее число разрядов не превышало 24.

Поскольку информация, поступающая на вход системы, статистически распределена во времени, то после представления ее в двоичной коде к ней может быть применен метод "разравнивания" ^{/8,9,10,11/}. Блок "разравнивания" (рис. 1) позволяет в данном случае проводить запись статистической информации на магнитную ленту в форме, близкой к равномерно-распределенной во времени, что, в свою очередь, обеспечивает запись на ленту с предельной плотностью и, следовательно, позволяет сократить время на обработку и количество используемой ленты.

Запись в нашем случае производилась продольным перемагничиванием предварительно намагниченной ленты по двум уровням с промежутками между знаками, что позволило значительно упростить блок считывания с магнитной ленты (рис.1). Одновременно с записью информации производилась запись по отдельной дорожке служебного стробирующего импульса.

2. Блок разравнивания

Блок разравнивания в описываемой системе выполнен на реверсивных сдвигающих регистрах. В основе реверсивного сдвигающего регистра лежит схема одноканального сдвигающего регистра с управляемым разрядом емкостей ^{/12/}. Реверсивные сдвигающие регистры блока разравнивания выполнены в виде отдельных линеек (рис. 2), число которых соответствует числу двоичных разрядов всех трех блоков преобразования. Перенос информации из адресных устройств блоков преобразования в блок разравнивания осуществляется импульсом записи, сфазированным с частотой 100 кГц. Эта частота является тактирующей частотой блока разравнивания.

Импульсы, соответствующие "1" каждого разряда блока преобразования, поступают на первые сердечники сдвигающих регистров Φ_1 (рис.2), переводя их в состояние "1". Тактовый импульс записи, задержанный на 5 мксек относительно импульсов фазировки, переносит "1" на вторичные сердечники и освобождает первые сердечники. Таким образом, после окончания переноса информация оказывается размещенной на вторых сердечниках реверсивных сдвигающих регистров Φ_2 .

Последующая запись информации в блок разравнивания происходит подобным же образом, с передвижением записанной информации на третьи сердечники Φ_3 (рис.2) и т.д. Реверсивные сдвигающие регистры способны принимать информацию через 10 мксек.

Во время считывания с реверсивного сдвигающего регистра информация, записанная на сердечниках $\Phi_2 \div \Phi_6$ (рис.2), передвигается в обратном направлении справа налево. Выходные обмотки, с которых импульсы поступают в блок записи, размещены на вторых сердечниках Φ_2 (рис. 2). Тактовые импульсы считывания поступают с периодом $T_{\text{счит.}}$, который равен минимальному периоду записи на магнитную ленту. При различных скоростях ленты в режиме накопления информации этот период может регулироваться так, чтобы обеспечить запись с максимальной плотностью. В нашем случае плотность записи составляла 10 импульсов на мм. Импульсы считывания, как и импульсы записи, фазирются частотой 100 кГц. Считывание информации с регистров может производиться лишь в том случае, если на данный фазирующий импульс не приходится запись. В противном случае считывание задерживается до следующего фазирующего импульса.

Реверсивное считывание позволяет уменьшать общее время вывода всей информации из блока разравнивания.

Направление сдвига информации в регистрах определяется состоянием триодов $ПТ_1$ и $ПТ_2$ (рис. 2). В режиме записи $ПТ_1$ открыт постоянно, $ПТ_2$ запирается импульсом сдвига на время заряда емкостей $C_1 - C_5$; в режиме считывания, наоборот: $ПТ_2$ постоянно открыт, $ПТ_1$ запирается на время заряда емкостей. Например, если в сердечнике Φ_3 записана "1", то после тактового импульса запись информации переносится на емкость C_3 , а затем записывается в сердечнике Φ_4 . В режиме считывания информация с Φ_3 переносится на емкость C_2 с последующим занесением "1" в сердечник Φ_2 .

3. Емкость блока разравнивания

Непосредственное применение магнитной записи для регистрации статистических импульсов не может являться рациональным ввиду низкой средней плотности импульсов на магнитном носителе. Разравнивание, включенное перед записывающим устройством, исключает этот недостаток.

Для случая равномерного статистического поступления импульсов, под которым мы понимаем разновременное появление в среднем одного и того же количества импульсов N_0 в любые равные отрезки времени, как известно ^{/8,13/}, необходимо 4-5 запоминающих элементов в разравнивающем устройстве. Это количество элементов обеспечит при $N_0 T \leq 0,5$ потерю счета менее 1% или, иначе говоря, это позволит увеличить плотность записи импульсов на магнитную ленту в 50-60 раз (через T обозначено время цикла основной памяти прибора). Таким образом, даже при таком относительно большом мертвом времени системы магнитной регистрации, как $5 \cdot 10^{-3}$ сек (что соответствует записи до 10 импульсов на мм при скорости ленты 2 см в сек), можно записать до 100-150 статистических импульсов в секунду. С точки зрения просчетов системы регистрации это эквивалентно устройству с мертвым временем 80-100 мсек. Разравнивание как бы уменьшает мертвое время устройства в 50-60 раз.

При иных неравномерных поступлениях импульсов требование $N_0 T \leq 0,5$ будет недостаточным. В этом случае необходимая емкость разравнивающего устройства должна определяться не только разбросом среднего числа N_0 , но и возможностью запоминания отдельных временных отклонений чисел импульсов от N_0 .

Рассмотрим какие требования следует предъявить к емкости разравнивающего устройства для двух наиболее часто встречаемых спектров: экспонента и прямоугольник.

Экспоненциальная форма спектра при циклическом повторении с периодом T (рис. 3) может характеризоваться следующими соотношениями:

$$N_0 T = k N_0 \int_0^T e^{-\frac{t}{\omega}} dt ; \quad (1)$$

$$\omega = - \frac{T}{\ln m} ; \quad k = \frac{\ln m}{m-1} ;$$

где m - коэффициент остаточной интенсивности к началу следующего цикла.

Учитывая, что число поступающих импульсов может флуктуировать в 95% случаев (для нормального закона временного распределения импульсов) до двух квадратных ошибок, можно оценить емкость разравнивающей системы (P) для той области спектра, где $k N_0 T > 1$, как

$$P = \frac{T}{1+m} N_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) + 2\sqrt{N_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)} - \frac{t}{\tau}. \quad (2)$$

На рис. 3 показана величина P как функция времени для двух случаев $m = 10^{-2}$ и $m = 3 \cdot 10^{-2}$. (При этом для конкретности принято $T = 10^{-1}$ сек, $\tau = 2,5 \cdot 10^{-3}$ сек).

Из приведенных соображений следует, что для экспоненциального спектра помимо требования $N_0 \tau \leq 0,5$ за цикл необходимо, чтобы емкость разравнивающей системы была не меньше, чем максимальное значение P_{\max} . (рис.3).

В реальных условиях временное распределение импульсов, как правило, промодулировано резонансными пиками. Можно условно принять, что подобные пики представляют собой равные прямоугольники с интенсивностью N_{oi} и занимают каждый по шкале времени отрезок t_1 . В этом случае при сохранении средней интенсивности N_0 и равномерном числе пиков вдоль шкалы времени их приведенная интенсивность может быть выражена:

$$N_{oi} = \frac{t_2 + t_1}{t_1} N_0,$$

где t_2 - интервалы между пиками. Отсюда емкость разравнивающей системы

$$P = N_0 t_2 + \Delta N.$$

Как отмечено выше, достаточно учитывать отклонение в две статистических ошибки, т.е. в общем виде

$$P = N_0 t_2 + 2\sqrt{N_0 t_2} - \frac{t_1}{\tau}. \quad (3)$$

Таким образом, учет формы реального спектра вызывает необходимость увеличивать емкость разравнивающей системы выше, чем это имеет место для равномерного статистического поступления импульсов. Для большинства применений можно считать оправданным $P = 10-35$. При этом остается в силе требование $N_0 \tau \leq 0,5$.

Такое количество элементов разравнивающей системы позволит регистрировать с просчетами менее 1-2% пики с интенсивностью, большей чем средняя интенсивность N_0 , от двух до двадцати раз с интервалами между ними от $5T$ до $30T$. При меньших интенсивностях интервалы могут быть соответственно уменьшены.

В предельном случае "узкого" спектра при циклической работе с периодом T , когда за время t поступает все количество подлежащих регистрации импульсов, средняя интенсивность которых N_0 , емкость разравнивающей системы должна быть

$$P = N_0 T + 2 \sqrt{N_0 T} - \frac{t}{T} \quad (4)$$

Просчеты блоков входной части регистрирующей системы на магнитной ленте с разравниванием статистики могут быть оценены обычными статистическими методами^{/14/}; к системе регистрации с разравниванием, включенным после входной части, могут быть применимы статистические законы, рассмотренные в^{/9,13/}, поскольку мертвое время собственно магнитной записи много больше мертвого времени предыдущих блоков.

В нашем случае число элементов памяти в блоке разравнивания было выбрано из условий регистрации относительно равномерного спектра. Однако схема разравнивания по тилу сдвигающего регистра допускает без введения дополнительных цепей регенерации увеличение числа ячеек памяти до 10-12 путем простого добавления сердечников (Φ_7, Φ_8, Φ_9 и т.д. рис. 2).

4. Распределение информации по каналам

Применение многодорожечной записи позволяет практически неограниченно увеличить число каналов регистрирующей системы. Так, при 25-дорожечной записи можно иметь $(2^{25}-1)$ каналов, что составляет примерно 32 миллиона каналов.

Практическая реализация такого количества каналов многомерной системы связана, в первую очередь, со временем обработки и выводом получаемых результатов. Если обозначить общее число каналов регистрирующей системы через M , число каналов сортирующего устройства (рис.1) через $M_{\text{сорт}}$, то оценку числа

каналов многомерной системы можно провести из следующих соображений. Во-первых, скорость движения магнитной ленты при обработке информации может быть в сотни раз больше, нежели при регистрации. Во-вторых, время на обработку информации не связано с работой реактора, ускорителя и т.д. и поэтому может превышать время измерения. В этом случае справедливо соотношение

$$M = k_1 \cdot k_2 \cdot M_{\text{сорт.}} \quad (5)$$

Здесь K_1 - отношение скорости ленты при обработке к скорости ленты при регистрации; K_2 - отношение времени, отводимого на обработку всей регистрируемой информации, к времени измерений.

Величина коэффициента K_1 без особого труда может быть 100 и более, так что при времени обработки, равном времени измерения, увеличение числа каналов многомерной системы может на два порядка и более превышать число каналов сортирующего устройства.

5. Вывод данных

Существующие методы вывода результатов экспериментов с многоканальными анализаторами такие как печать на бумагу в числовой форме, автоматическое вычерчивание графиков и т.д. становятся малоэффективными в случае, когда число каналов регистрирующих систем превышает несколько тысяч.

Автоматическое перфорирование на кинолентку или на карты в значительной степени упрощает обработку экспериментальных данных при условии использования вычислительных машин. Однако и этот метод становится малоэффективным при многомерных измерениях с числом каналов десятки и сотни тысяч, поскольку требует обращения с чрезмерно большим количеством ленты (или карт) и ощутимо большим временем вывода информации из сортирующего устройства и ввода ее в вычислительную машину.

В нашей системе (рис.1) предусмотрены два способа вывода информации, повышающие эффективность обработки результатов измерения. Первый из них предназначен для визуальной оценки и ручной обработки.

Предварительно выводятся данные, соответствующие интегральному распределению информации в отдельных участках спектра. Например, при амплитудно-

временных измерениях выводится временной спектр, просуммированный по всем или группе амплитудных каналов. Аналогичным образом можно вывести амплитудный спектр, просуммированный по всем или по группе временных каналов. По этим интегральным спектрам производится визуальная оценка и выбираются группы каналов, по которым выводится полная информация. Такой вывод позволяет значительно сократить время на обработку за счет уменьшения выводимых данных (что эквивалентно увеличению K_2 в соотношении 5).

Второй способ вывода данных заключается в непосредственной связи сортирующего устройства с вычислительной машиной. Информация из сортирующего устройства передается в этом случае по кабелю во внешнюю память вычислительной машины, которой поручается вся дальнейшая обработка экспериментальных данных. В этом случае контроль со стороны экспериментатора за результатами измерений осуществляется по интегральным или отдельным частным спектрам. Вывод же всей информации в явном виде не производится.

6. Метод предварительного отбора

В ходе выполнения описанной выше многомерной системы (рис.1) проводились обсуждения других блок-схем многодорожечной записи информации на магнитную ленту.

Одним из неудобств системы (рис.1) является то, что в процессе сортировки информации, записанной на ленте, приходится несколько раз повторно перематывать ленту с тем, чтобы по частям рассортировать все данные. Можно перенести процесс группового распределения из цикла считывания в цикл регистрации, что значительно сократит длину опрашиваемой ленты для каждой группы. Блок-схема для этого случая представлена на рис.4.

При таком роде работы рационально вести запись каждой группы каналов на свою ленту. Так как информация каждой группы несет часть данных всей информации по входу прибора, то в этом случае можно либо понижать скорость магнитной ленты каждой группы, либо увеличить среднее число импульсов на входе прибора. Однако система групповой записи при параллельной регистрации всех разрядов одновременно требует сильного усложнения записывающей системы.

Ввиду этого рационально вести групповую запись последовательным кодом, отводя

для каждой группы каналов свою двухдорожечную систему записи. Для этого случая скорость ленты при записи для сохранения прежнего мертвого времени должна быть увеличена на число разрядов. Практически нужно пяти-семикратное увеличение скорости ленты каждой группы, ввиду записи до пяти-семи разрядов последовательно на каждой дорожке.

Применяя многодорожечную запись, для которой осуществлена предварительная сортировка по группам каналов, можно поднять среднюю частоту импульсов на входе прибора. Для равномерно распределенной статистики счета по каналам увеличение частоты импульсов на входе может быть пропорциональным числу групп каналов.

7. Конструктивные особенности

В Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований был выполнен макет многомерной регистрирующей системы на магнитной ленте по схеме рис. 1. В качестве сортирующего устройства использовался 1024-х канальный анализатор с памятью на ферритовых сердечниках^{/10/}. На макете были экспериментально проверены основные параметры такой системы.

В настоящее время завершается подготовка экспериментальных работ по изучению спектров гамма-лучей, возникающих при захвате нейтронов различной энергии. В этом случае будут использованы 1024 временных канала и 128 амплитудных, т.е. вся система будет иметь 128000 каналов.

Первый блок преобразования (рис.1) выполнен по блок-схеме аналогичных блоков временных многоканальных анализаторов. Второй блок преобразования предназначен для преобразования амплитуды импульса в двоичный код по известному принципу Вилкисона. Третий блок преобразования предназначен для записи признака проводимого эксперимента.

Скорость магнитной ленты при регистрации выбрана 2 см в секунду, что обеспечивает при применении блока разравнивания с 5-ю элементами разрешающее время по входу 100 мксек. Несколько меньшее время требуется на преобразование амплитуды в код во втором блоке преобразования.

Программа обработки экспериментальных данных с магнитной ленты построена таким образом, что позволяет отбирать предварительные результаты путем вывода

восьми 128-ми канальных амплитудных спектра за один прогон ленты. Каждый из таких амплитудных спектров соответствует временному интервалу, выраженному 128-ю временными каналами. Предполагается, что после визуальной оценки этих групп результаты предварительной обработки с 1024-х канального анализатора будут выводиться непосредственно в машину "Киев" по кабелю.

З а к л ю ч е н и е

Применение магнитной ленты в многомерных регистрирующих системах позволяет значительно увеличить число каналов таких систем. Использование принципа "разравнивания" статистики, с другой стороны, позволяет снизить мертвое время по входу системы, приблизив его, практически, к мертвому времени современных многоканальных амплитудных анализаторов. Значительное число каналов, относительно малое мертвое время при сравнительно несложном оборудовании выдвигают регистрирующие системы на магнитной ленте в число перспективных приборов современной экспериментальной ядерной физики.

Работа была начата в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований по предложению Ф.Л.Шапиро, которому авторы выражают свою признательность.

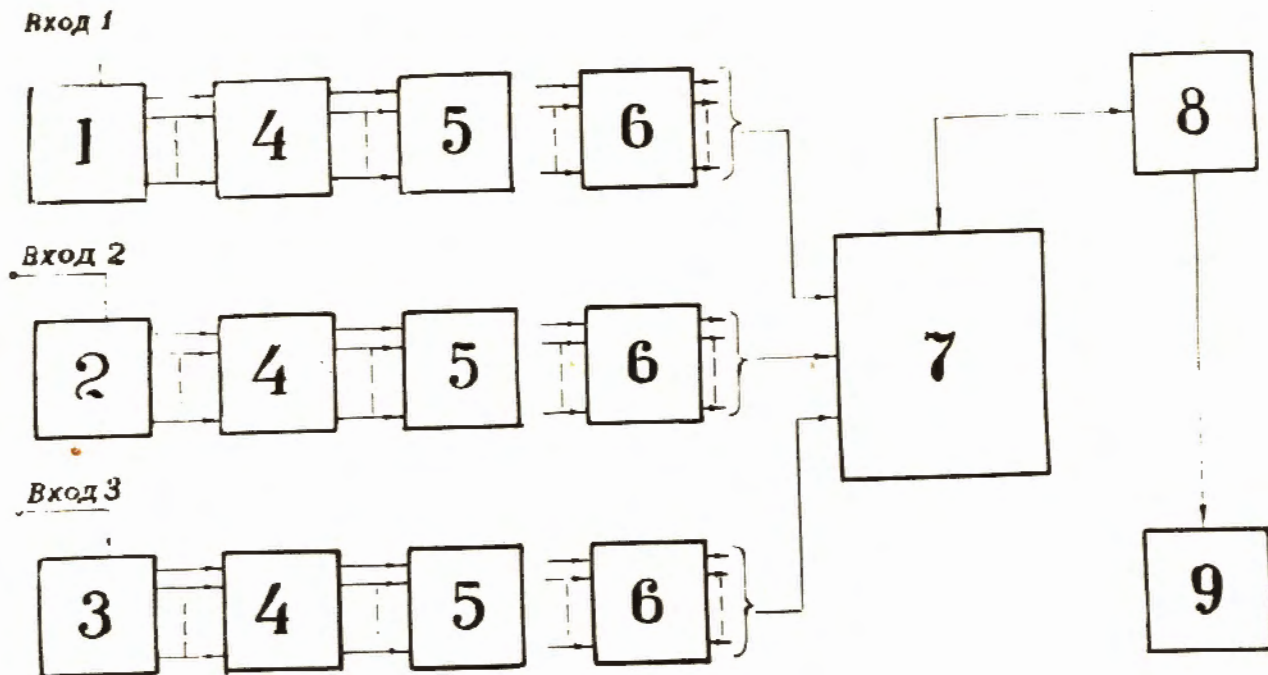


Рис. 1

Блок-схема регистрирующей системы на магнитной ленте с разравниванием статистики. 1,2,3 - блоки преобразования, 4 - разравнивающее устройство, 5 - блок магнитной записи, 6 - блок считывания с магнитной ленты, 7 - распределительное устройство, 8 - сортирующее устройство (1024-х канальный анализатор), 9 - блок вывода данных.

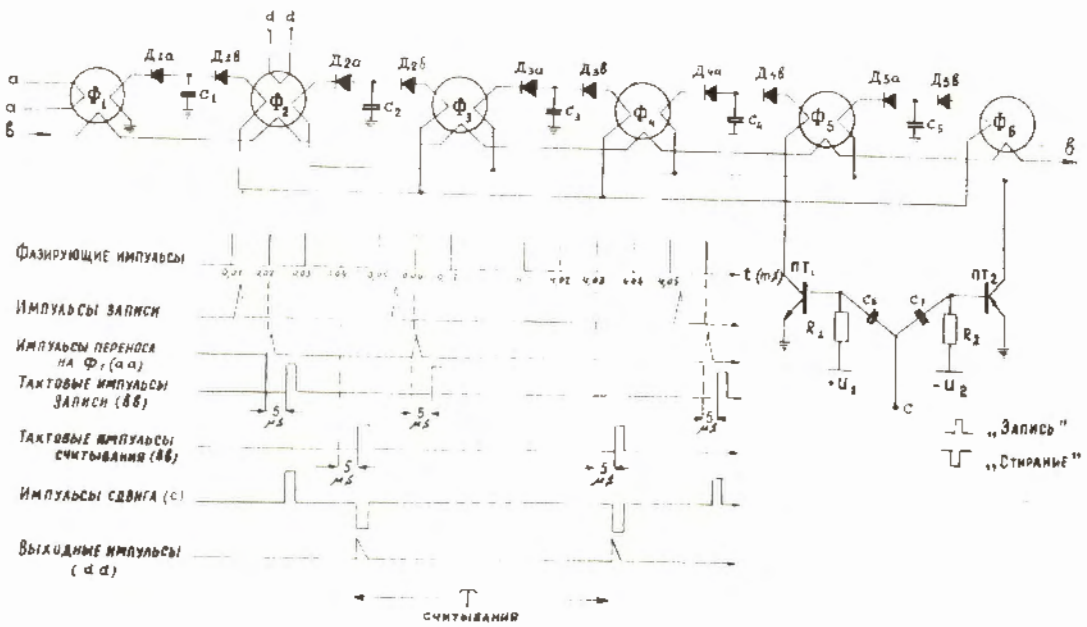


Рис. 2

Разравнивающий регистр.

1 - схема реверсивного регистра, 2 - временные диаграммы работ.

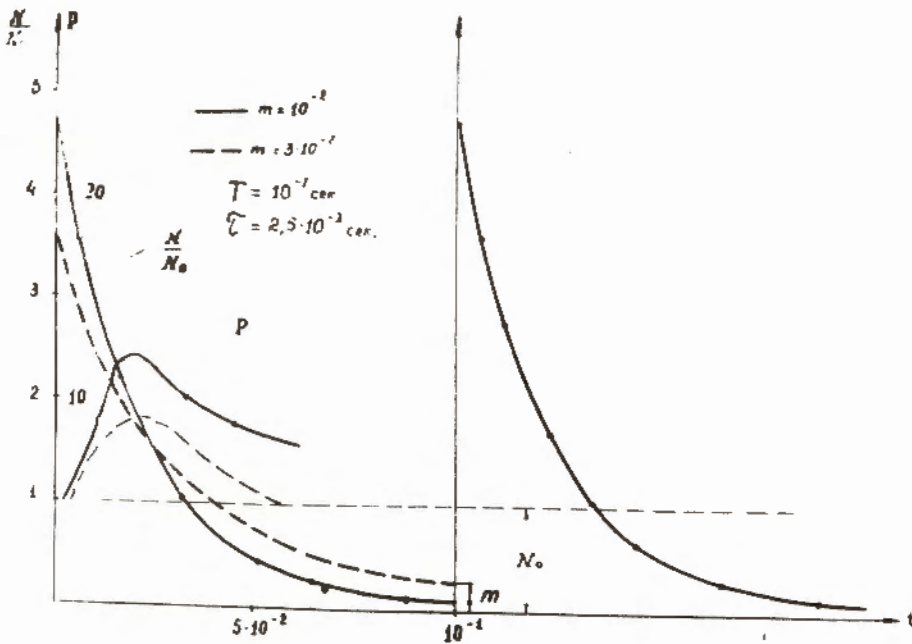


Рис. 3

Форма спектра и емкость разравнивающей системы.

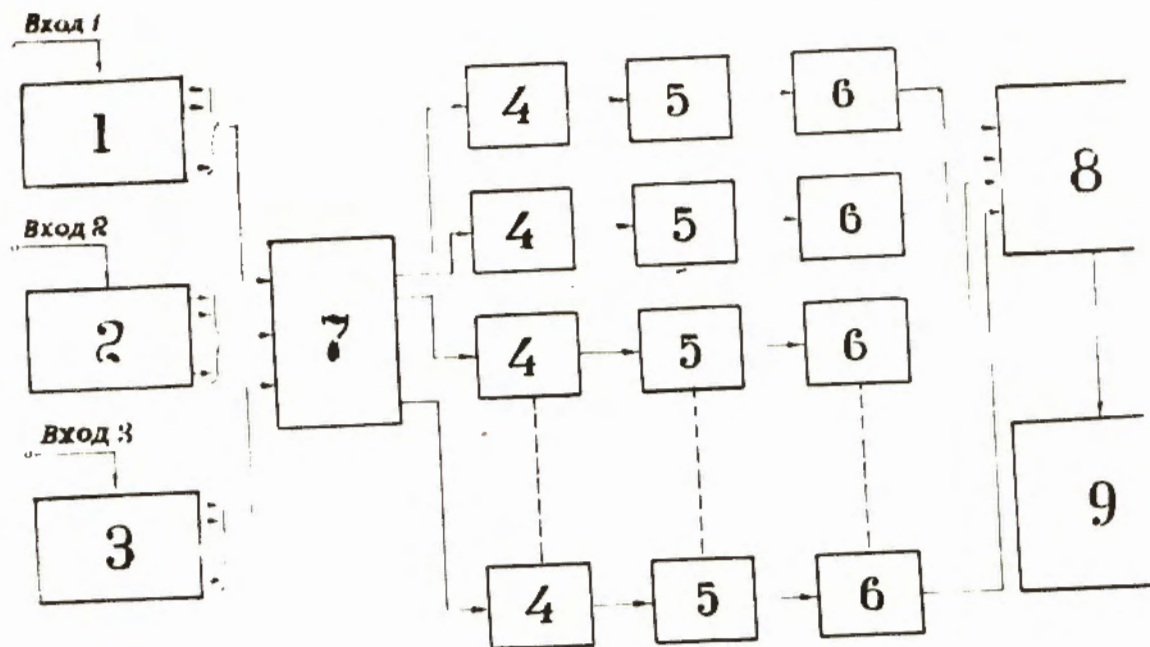


Рис. 4

Блок-схема регистрирующей системы с предварительным отбором.
 1, 2, 3 - блоки преобразования, 4 - разравнивающее устройство,
 5 - блок магнитной ленты, 6 - блок считывания с магнитной ленты,
 7 - распределительное устройство, 8 - сортирующее устройство
 (1024-х каналный анализатор), 9 - блок вывода данных.

Л и т е р а т у р а

1. Г.Л.Мельников "Измерение многомерных спектров", 4-я Научно-техническая конференция по ядерной электронике, Москва (1959).
2. E. Gatti. Counting and Storage systems. Nucl. Inst. 2, 96, (1958).
3. Litherland A.E., Bromby D.A. A Two-Dimensional Pulse - Height Analyser. Nucl. Instr. Method 6, 176 (1960).
4. А.А.Иванов, Л.А.Маталин, В.Ф.Семенов, С.И.Чубаров, А.М.Шиманский "16000-канальный амплитудно-временной анализатор импульсов", 4-я Научно-техническая конференция по ядерной электронике, Москва (1959).
5. F.H. Wells. Use of Magnetic Tape and Cores for Nuclear Data Storage and Computation. Nucl.Instr. 2, 165 (1958).
6. СР.Е. Covangh, D.A. Boyce. Magnetic Recorder for Nuclear Pulses. Rev.Sci.Inst. 27, 1028, (1956).
7. J.R. Birol, J.R. Waters, F.H. Wells. A Three Dimensional Analyzer Using Digital Reording on Magnetic Tape. J.R.E. Trans. Nuclear Stence N 7, 87 (1960).
8. А.Е.Воронков, Л.Н.Кораблев, И.Д.Мурин, И.В.Штраших "Быстродействующий многоканальный амплитудный анализатор". ВИНТИ, П-57-16/1 (1957).
9. R.E. Bell. The Resolver a Circuit for Reducing the Counting Losses of a Scaler. Can. Journ.Phys. 34, N 6, (1956).
10. Л.А.Маталин, А.М.Шиманский, С.И.Чубаров, И.В.Штраших "1024-х канальный временной анализатор", ПТЭ 3, 54 (1960).
11. Б.Е.Журавлев, Г.И.Забиякин, И.В.Штраших "Амплитудный конвертор для снятия многомерных спектров", ОИЯИ, Р-487, Дубна (1959).
12. Э.Д.Демян, Л.А.Чиченков. "Импульсные устройства на ферритах и полупроводниках в радиоэлектронике". Новосибирск (1959).
13. В.О.Вяземский. "Анализ "разравнивающего устройства" для многомерного амплитудного анализа с неперидической памятью". 4-я Научно-техническая конференция по ядерной электронике". Москва (1959).
14. Elmore W.C. (1950). Nucleonics 6, N 1, 26.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 апреля 1961 года.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА