

Л-248

1967, 1968, 23, 044-8

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 3342



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

В.Г. Лапшин, М.Н. Омеляненко, В.И. Рыкалин,  
А.Н. Синаев, В.П. Хромов, З. Цисек

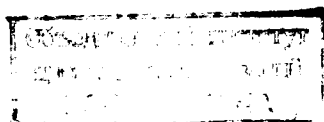
СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ  
ВРЕМЕННОГО СПЕКТРОМЕТРА  
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

1967.

**P13 - 3342**

В.Г. Лапшин, М.Н. Омеляненко, В.И. Рыкалин,  
А.Н. Синаев, В.П. Хромов, З. Цисек

**СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ  
ВРЕМЕННОГО СПЕКТРОМЕТРА  
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА**



3.11.9 / 2 79

## 1. Введение

В ряде экспериментов, проводимых на ускорителях частиц высоких энергий с использованием методики времени пролета, точность определения положений центров тяжести временных распределений, измеренных с помощью временных спектрометров, должна быть не хуже чем  $10^{-11}$  сек. Актуально получение такой точности и для измерения времени жизни возбужденных состояний ядер, времен жизни позитронов в различных веществах и т.д.

В наносекундном диапазоне, как правило, используются временные спектрометры, основу которых составляют время-амплитудные преобразователи и многоканальные амплитудные анализаторы. Рабочий диапазон спектрометра для указанных выше измерений обычно выбирается в пределах 10–50 нсек.

Во временных спектрометрах со сцинтилляционными счётчиками можно получить разрешение  $2\tau \leq 0,5$  нсек при выделении в счётчиках регистрируемыми частицами энергии около 1 Мэв<sup>1/2</sup>. Точность определения центра тяжести временных распределений, имеющих примерно гауссовскую форму, характеризуется выражением

$$\sigma = \frac{2\tau}{2,36 \sqrt{\sum_k N_k}},$$

- где  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение положения центра тяжести,  
 $2\tau$  — ширина на полувысоте измеренного временного распределения (пика),  
 $\sum_k N_k$  — суммарное число отсчётов в измеренном распределении, зарегистрированном в  $K$  каналах.

Из приведенной формулы следует, что если суммарное число отсчетов в измеренном распределении составляет несколько тысяч, то можно получить статистическую точность в определении положения центра тяжести лучше чем  $10^{-11}$  сек.

Однако практически получение такой точности в течение длительного времени ограничивается температурными и временными нестабильностями параметров отдельных блоков спектрометра. Можно указать следующие источники нестабильностей.

1. Зависимость времени пролета электронов в фотоумножителе от напряжения питания. Экспериментально установлено, что у используемых для точных временных измерений фотоумножителей типа XP-1020 изменение времени пролета составляет  $1,3 \cdot 10^{-11}$  сек/в. Следовательно, для исключения влияния этого фактора на точность определения положения центра тяжести стабильность напряжения питания на уровне 2,5 кв должна быть порядка 0,02%, что практически очень трудно получить. При использовании в измерениях двух сцинтилляционных счётчиков влияние изменения напряжения питания можно значительно ослабить, питая оба фотоумножителя от одного источника, однако в этом случае требуется идентичность характеристик фотоумножителей и большая мощность источника питания, из-за чего указанный метод не всегда приемлем.

2. Температурная и долговременная нестабильности время-амплитудных преобразователей. Для известных типов преобразователей они составляют соответственно  $^{1/2} (1,5 \pm 5) \cdot 10^{-12}$  сек/ $^{\circ}\text{C}$  и  $(1,5 \pm 10) \cdot 10^{-12}$  сек/час. При проведении длительных экспериментов температура может изменяться примерно на  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ , поэтому температурная нестабильность существенно ограничивает точность измерений.

3. Изменение во времени коэффициента усиления усилителя и параметров преобразователя амплитуда-код в анализаторе. Практика работы с промышленными многоканальными амплитудными анализаторами, имеющими 256 + 512 каналов, показывает, что уход положения пика, получаемого от генератора точной амплитуды, может составлять 2-3 канала за 10 часов работы. Следовательно, при рабочем диапазоне спектрометра 10 + 50 нсек нестабильность будет не менее  $4 \times 10^{-11}$  сек.

Во временном спектрометре характеристика преобразования измеряемого интервала времени  $t$  в код, соответствующий каналу анализатора с номером N,

выражается формулой

$$N = k(t - t_0),$$

где  $t_0$  - порог спектрометра, он характеризует минимальный интервал времени, который может регистрироваться;  $k$  - коэффициент преобразования спектрометра.

Перечисленные выше источники нестабильностей будут влиять как на  $t_0$ , так и на  $k$ . Порог  $t_0$  складывается из порогов отдельных частей спектрометра и зависит, например, от напряжения питания фотоумножителей. Коэффициент  $k$  содержит в качестве сомножителей коэффициенты преобразования время-амплитудного преобразователя, усилителя и преобразователя амплитуда-код.

Одним из способов устранения влияния различных нестабильностей на разрешающую способность спектрометра является компенсация в процессе работы изменений порога и коэффициента преобразования. Автоматическая стабилизация порога и коэффициента усиления широко применяется при амплитудном анализе <sup>3,4,5/</sup>. Очевидно, что подобные методы можно применить и при временном анализе. В последнем случае в качестве реперных сигналов системы стабилизации нужно использовать два стабильных интервала времени, один из которых находится в районе нижней, а другой - в районе верхней границ рабочего диапазона спектрометра. При помощи реперных интервалов контролируются значения порога и коэффициента преобразования, а устройства обратной связи должны удерживать их при номинальных значениях.

Таким образом, с помощью системы автоматической стабилизации можно фиксировать положения центров тяжести временных распределений, соответствующих реперным интервалам. При фиксировании двух точек в характеристике преобразования время-код будет стабилизирована и вся характеристика.

## 2. Блок-схема спектрометра с системой стабилизации

Блок-схема разработанного временного спектрометра с системой стабилизации представлена на рис. 1. Спектрометр измеряет время пролета частицами пучка синхроциклотрона расстояния между двумя базовыми сцинтилляционными счётчиками 1 и 2. Для улучшения отношения эффект/фон в спектрометре исполь-

зуется (не показанная на блок-схеме) система сцинтилляционных счётчиков, которые с помощью логических схем управляют пропусканием импульсов с базовых счётчиков на время-амплитудный преобразователь. Во время-амплитудном преобразователе<sup>/1/</sup> измеряемые интервалы времени преобразуются в импульсы напряжения, амплитуды которых после усиления регистрируются многоканальным амплитудным анализатором. Анализатор работает в режиме управления внешним сигналом, подаваемым от дифференциального дискриминатора, входящего в состав блока время-амплитудного преобразователя, что позволяет производить выделение импульсов с амплитудами, лежащими внутри рабочего диапазона.

Система стабилизации включается импульсом синхронизации, поступающим из системы управления синхроциклотрона за несколько миллисекунд до появления очередного импульса интенсивности. Таким образом, работа стабилизации согласована во времени с работой синхроциклотрона, она включается примерно 100 раз в секунду в те моменты, когда отсутствуют исследуемые события. Импульс синхронизации запускает двухканальный генератор электрических импульсов наносекундной длительности, основным элементом которого является ртутное реле. Длительность электрических импульсов на обоих выходах генератора составляет 2 нсек, причём на втором выходе импульс появляется на миллисекунду позднее, чем на первом. Импульсы от генератора подаются через коаксиальные кабели на импульсные источники света из фосфида галлия<sup>/6/</sup>, установленные вблизи катодов фотоумножителей базовых счётчиков 1 и 2. На источник света 2 электрические импульсы подаются через линии задержки ЛЗ<sub>1</sub> и ЛЗ<sub>2</sub>, выполненные также на коаксиальных кабелях. Разности электрических длин кабелей, через которые поступают импульсы на источники света 1 и 2, задают реперные интервалы времени между световыми импульсами. Эти интервалы используются для автоматического регулирования порога и коэффициента преобразования временного спектрометра.

Необходимо отметить, что в описываемой системе стабилизации не компенсируется температурная зависимость задержки кабелей. Температурный коэффициент изменения фазы, что эквивалентно изменению задержки сигнала, составляет  $\epsilon = 2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  для кабелей со сплошной полиэтиленовой изоляцией;  $\epsilon = 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  для кабелей с полувоздушной изоляцией и  $\lambda = 2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  для кабелей с воздушной изоляцией<sup>/7/</sup>. При рабочем ди-

апазоне временного спектрометра 30 мсек изменения реперных интервалов времени в указанных трех случаях будут составлять соответственно  $6 \cdot 10^{-12}$  сек/°C;  $1,5 \cdot 10^{-12}$  сек/°C и  $0,6 \cdot 10^{-12}$  сек/°C. Можно значительно ослабить температурную зависимость величины реперных интервалов времени, если использовать для запуска источников света кабели с различной величиной  $\xi$ . Действительно, при необходимой разности длин кабелей  $\Delta l$ , задающей реперный интервал, можно определить длины кабелей  $l_1$  и  $l_2$  из условий 1)  $l_1 - l_2 = \Delta l$ . 2)  $\xi_1 l_1 = \xi_2 l_2$ . В случае выполнения второго условия реперные интервалы времени не будут зависеть от температуры (при отсутствии температурных градиентов вдоль кабелей).

Разработанная система автоматической стабилизации относится к системам, реагирующим только на знак рассогласования (системы релейного типа). В этой системе для каждого реперного сигнала весь рабочий диапазон спектрометра делится на две зоны, границей между которыми служит граница между двумя какими-либо соседними каналами анализатора. На рис. 1 такая граница для реперных сигналов, используемых при регулировании порога, обозначена  $N_1$ , а для реперных сигналов, используемых при регулировании коэффициента преобразования, —  $N_2$ . Если реперный сигнал будет зарегистрирован справа от границы, то на устройства регулирования будет подан сигнал, требующий увеличения порога или уменьшения коэффициента преобразования. Если же реперный сигнал будет зарегистрирован слева от границы, то соответственно подается сигнал, требующий уменьшения порога или увеличения коэффициента преобразования.

Устройства регулирования порога и коэффициента преобразования воспринимают поступающие на них сигналы с анализатора только в том случае, когда на них подается синхронизирующий сигнал с соответствующего выхода генератора наносекундных импульсов, означающий, что происходит измерение определенного реперного интервала. Оба устройства регулирования имеют постоянную времени порядка 10 сек. Она выбирается исходя из требований к скорости отработки возмущающих воздействий и допустимого размытия исследуемого распределения, вносимого системой стабилизации. Устройствами регулирования вырабатываются потенциалы, при помощи которых удерживаются номинальные значения регулируемых величин. Потенциал с устройства регулирования порога подается на блок, осуществляющий преобразование амплитуда-код, который вхо-

дит в состав анализатора. В этом блоке подаваемый потенциал суммируется с напряжением, задающим порог. При помощи потенциала с устройства регулирования коэффициента преобразования изменяется коэффициент усиления в блоке с управляемым коэффициентом преобразования, который помещается перед усилителем, входящим в состав анализатора.

При неизменном значении порога или коэффициента преобразования в системе устанавливается динамическое равновесие, при котором потенциал на выходе устройств регулирования колеблется вокруг величин, соответствующих заданному порогу или коэффициенту преобразования.

В разработанной системе стабилизации в качестве границы зон для реперных сигналов, используемых при регулировании порога, выбрана нижняя граница первого канала анализатора, а для реперных сигналов, используемых при регулировании коэффициента преобразования, — верхняя граница последнего канала. В такой системе диапазон регулирования обеих величин получается достаточно большим. Влияние реперных сигналов каждого типа на регулирование другой величины будет минимальным. В анализаторе регистрируется только половина временного распределения, соответствующего каждому типу реперных сигналов (см. рис. 1). Поскольку эти распределения находятся на самых краях рабочего диапазона спектрометра, то они не будут перекрываться с измеряемыми временными распределениями.

В качестве амплитудных анализаторов в спектрометре применялись анализаторы типа АИ-256 и АИ-4096. В анализаторе АИ-4096 при регистрации спектров использовалось 512 каналов. Для соединения с системой стабилизации в нем были произведены минимальные переделки. Потенциал, регулирующий порог, был подключен к делителю, при помощи которого устанавливается порог в дискриминаторе нижнего уровня, находящемся в блоке преобразования амплитуда-код (БАП-5). Этот блок был отрегулирован так, что регистрация импульсов в анализаторе начиналась с первого канала (при помощи увеличения задержки начала работы генераторной адресной серии по отношению к началу разряда запоминающей емкости). Установкой дополнительной схемы пропускания было достигнуто, что импульс начала регистрации возникает только при наличии хотя бы одного импульса адресной серии. Теперь наличие импульса начала регистрации стало обозначать, что измеряемый сигнал лежит внутри



диапазона, регистрируемого анализатором, а отсутствие этого импульса - вне регистрируемого диапазона.

Импульс начала регистрации подается из анализатора как на устройство регулирования порога, так и на устройство регулирования коэффициента преобразования. Наличие этого импульса означает необходимость увеличения порога или коэффициента преобразования, а его отсутствие - необходимость уменьшения этих величин.

Примерно так же подключался и анализатор АИ-256. Таким образом, связь анализаторов с системой стабилизации осуществляется всего двумя кабелями: по одному из них на анализатор подается потенциал, регулирующей порог системы, а по другому из анализатора выводится импульс начала регистрации. Из сказанного выше следует, что такая система связи с анализатором имеет некоторые преимущества по сравнению с обычно применяемой системой связи с триггерами адресного счетчика анализатора.

### 3. Устройство системы стабилизации

Устройства регулирования порога и коэффициента преобразования одинаковы по принципу работы и выполнены идентично. Блок-схема, временная диаграмма работы и принципиальная схема такого устройства изображены на рис. 2 а,б и рис. 3. Одновибратор 2 (транзисторы  $T_9-T_{12}$ ) запускается импульсом синхронизации, поступающим от генератора наносекундных импульсов. Длительность импульса этого одновибратора должна быть не менее длительности максимальной адресной серии в анализаторе, т.е. порядка 250-300 мксек. Одновибратор 1 (транзисторы  $T_1-T_4$ ) запускается поступающим с анализатора импульсом начала регистрации. Длительность импульса одновибратора 1 составляет 20-30 мксек. При наличии импульса начала регистрации, т.е. при одновременном срабатывании обоих одновибраторов, на выходе схемы совпадений (диоды  $D_1-D_3$  и транзисторы  $T_{13}-T_{14}$ ) появляется импульс, означающий необходимость увеличения порога или коэффициента преобразования. Этот импульс устанавливает триггер (транзисторы  $T_{16}-T_{19}$ ) в состояние „1“. Импульс с выхода схемы совпадений через схему сброса (транзистор  $T_{15}$ ) поступает на одновибратор 2 и обрывает его импульс.

Схемой формирования (транзистор  $T_7$ ) формируется импульс, совпадающий во времени с концом импульса одновибратора 2. Этот импульс поступает на схему антисовпадений (транзисторы  $T_5, T_6, T_8$ ) и проходит через нее при отсутствии импульса одновибратора 1, т.е. в том случае, когда с анализатора не поступает импульс начала регистрации. Импульс на выходе схемы антисовпадений означает необходимость уменьшения порога или коэффициента преобразования; он устанавливает триггер в состояние "0". Напряжение с выхода триггера подается на интегратор (транзисторы  $T_{20}, T_{21}$ ). Потенциал, образующийся на выходе интегратора, используется для регулировки величины порога или коэффициента преобразования. Переключатель, находящийся в схеме интегратора, позволяет отключить систему автоматической стабилизации и при помощи потенциометра осуществлять ручное регулирование величины порога или коэффициента преобразования.

На временной диаграмме (рис. 26) сплошной линией показан случай, когда срабатывают оба одновибратора, а пунктирной — когда срабатывает только одновибратор 2.

На рис. 4 изображена принципиальная схема блока с управляемым коэффициентом преобразования, который помещается между время-амплитудным преобразователем и усилителем анализатора. Этот блок представляет собой два эмиттерных повторителя с включенным между ними сопротивлением  $R_{экв}$ , которое состоит из параллельно соединенных фотосопротивления  $R_{фр}$  и обычного сопротивления  $R_{ш}$ . Величина сопротивления  $R_{фр}$  зависит от светового потока, даваемого лампочкой накалывания, напряжение на которую поступает с выхода интегратора. От величины сопротивления  $R_{экв}$  зависит напряжение, поступающее на вход второго эмиттерного повторителя. Такой блок позволяет изменять коэффициент усиления в несколько раз. Необходимо отметить, что этот блок является интегрирующим и его постоянная времени входит в общую постоянную времени регулирования коэффициента преобразования.

#### 4. Характеристики спектрометра с системой стабилизации

Описываемый временный спектрометр используется для идентификации частиц по времени пролета в  $\pi$ -мезонном пучке синхротронного пучка с импульсом

175 Мэв/с, в состав которого входят  $\pi^-$ -мезоны,  $\mu$ -мезоны и электроны. На рис. 5 приведен спектр масс частиц, полученный в эксперименте по сравнению времени жизни  $\pi^+$  и  $\pi^-$ -мезонов.

Для проверки работы спектрометра были произведены сравнительные измерения с включенной и выключенной системой стабилизации при изменении напряжения питания фотоумножителя типа XP-1020 в одном из базовых счётчиков на 100 в, изменении задержки в пепе одного из базовых счётчиков на 1 нсек и изменения коэффициента усиления усилителя в анализаторе на 15%. При этом измерялось либо временное распределение, задаваемое с помощью второго генератора наносекундных импульсов и второй пары импульсных источников света, либо временное распределение частиц в пучке  $\pi^-$ -мезонов при расположении базовых счётчиков вплотную друг к другу. Результаты этих измерений временного распределения, задаваемого с помощью генератора, приведены на рис. 6. Из рисунка видно, что система стабилизации компенсирует все произведенные изменения параметров спектрометра. При работающей системе стабилизации изменение положений центров тяжести измеряемых временных распределений не превышает  $\pm 4 \cdot 10^{-12}$  сек.

Для проверки долговременной стабильности спектрометра в течение 8 часов производились измерения положения центра тяжести временных распределений с включенной и выключенной системой стабилизации. На рис. 7 приведены зависимости изменения во времени положения центра тяжести распределения, задаваемого генератором наносекундных импульсов. Из рисунка следует, что при работающей системе стабилизации изменение положения центра тяжести измеряемого временного распределения не превышает  $\pm 3 \cdot 10^{-12}$  сек в течение 8 часов. Без системы стабилизации положение центра тяжести изменяется на  $(2 + 3) \cdot 10^{-10}$  сек. При измерениях на пучке частиц синхротрона положение центра тяжести временного распределения оставалось в пределах  $\pm 8 \cdot 10^{-12}$  сек в течение многочасовых экспозиций.

В заключение авторы выражают благодарность В.И.Петрухану и Д.М.Хазинсу за участие в измерениях на пучке синхротрона и А.П.Кустову, В.В.Можсеевой и Н.А.Чистову за помощь в настройке и эксплуатации многоканальных анализаторов.

## Л и т е р а т у р а

1. В.Г.Лапшин, В.И.Рыкалин, З.Цисек. Препринт ОИЯИ, 13-2987, Дубна, 1966.
2. М.Н.Дражев. Препринт ОИЯИ, Р-1997, Дубна, 1965.
3. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, Р-2707, Дубна, 1966.
4. М.К.Ефимчик, А.Ф.Чернявский, С.С.Шушкевич. ПТЭ, 1966, № 6, 5.
5. М.Н.Омельяненко. Препринт ОИЯИ, Р13-3225, Дубна, 1967.
6. В.И.Рыкалин, Т.Г.Кмита, И.В.Рыжиков, И.Д.Новоселова. Препринт ОИЯИ, 2466, Дубна, 1965.
7. P.Bramhan. AR/Inst. PSEP 65 - 9, Geneva, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел

24 мая 1967 года.

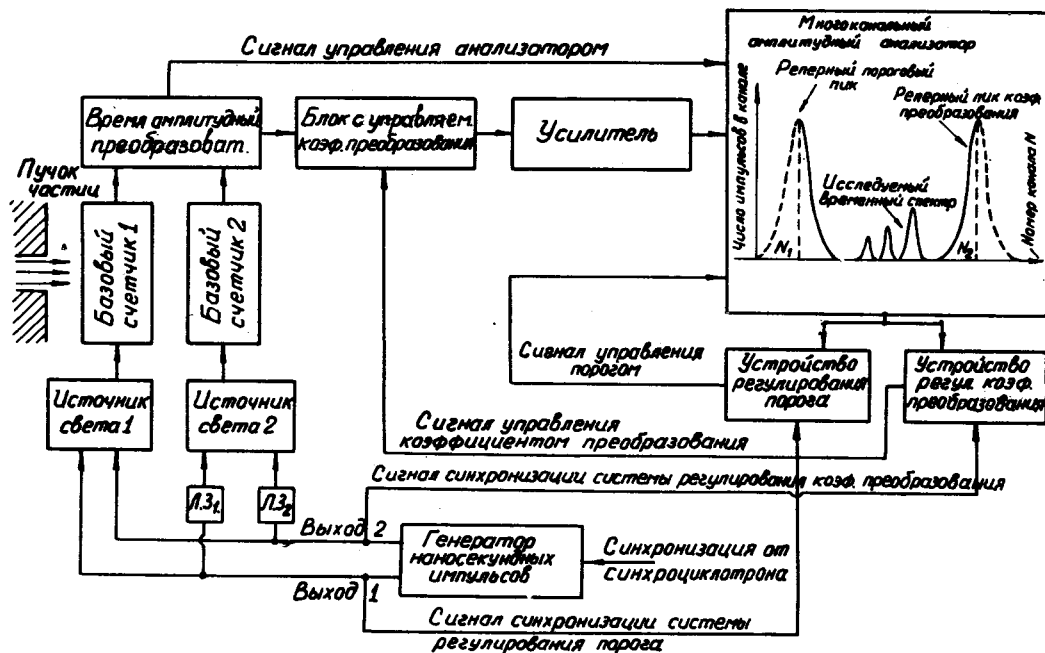


Рис. 1. Блок-схема временного спектрометра с системой стабилизации.

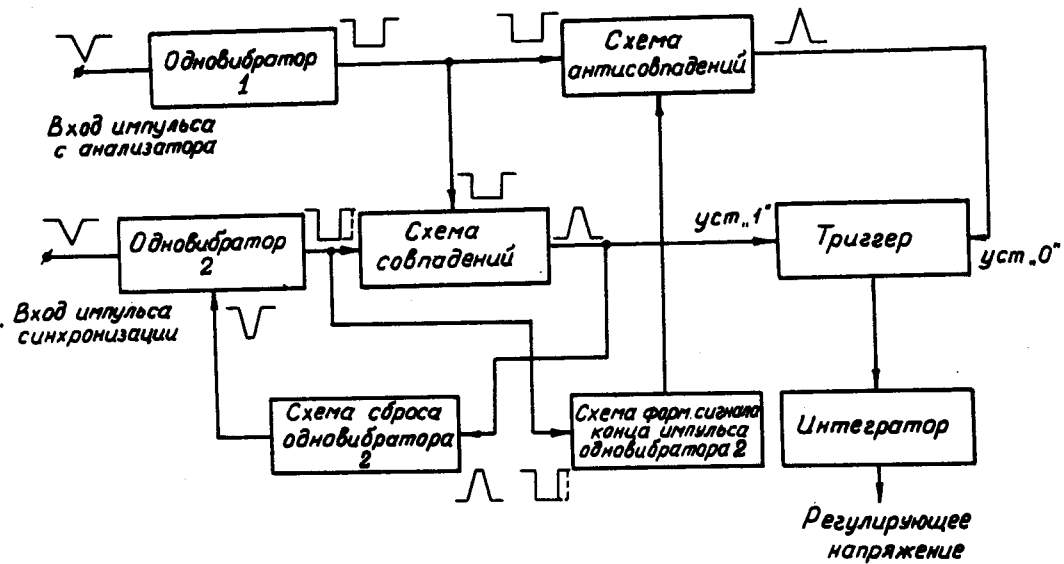


Рис. 2а. Блок-схема устройства регулирования.

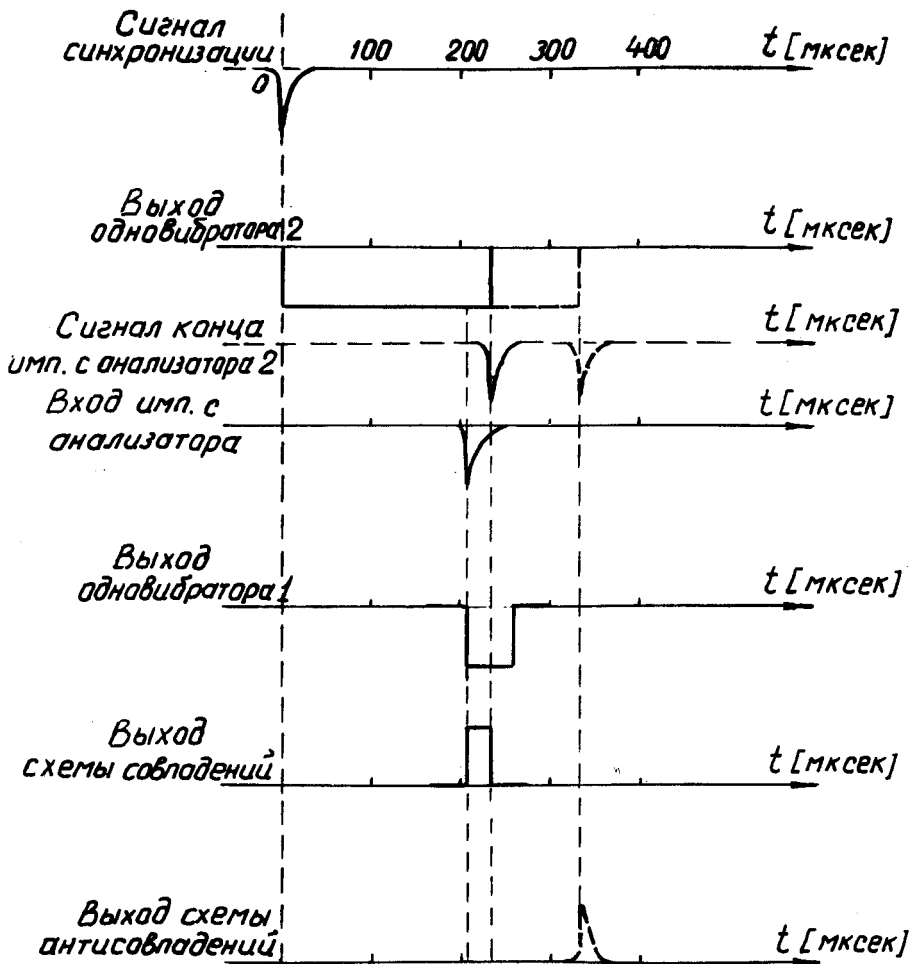


Рис. 26. Временная диаграмма устройства регулирования.

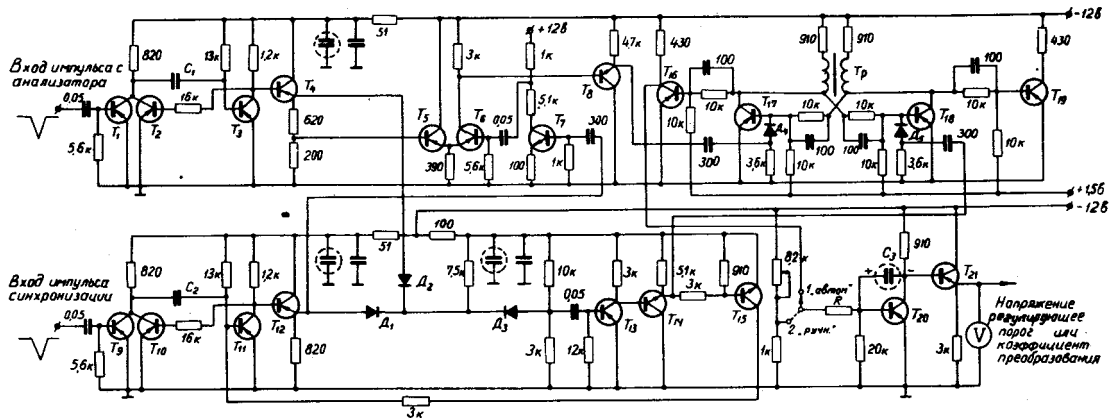


Рис. 3. Принципиальная схема устройства регулирования.

Транзисторы  $T_1$ - $T_7$ ,  $T_9$ - $T_{12}$ ,  $T_{20}$  - типа 1Т308А,  $T_8$ ,  $T_{14}$ ,  $T_{15}$  - типа 2Т301А,  $T_{16}$ - $T_{19}$  - типа П416,  $T_{21}$  - типа П25А; Диоды  $D_1$ - $D_3$  - типа Д10,  $D_4$ ,  $D_5$  - типа Д9К.



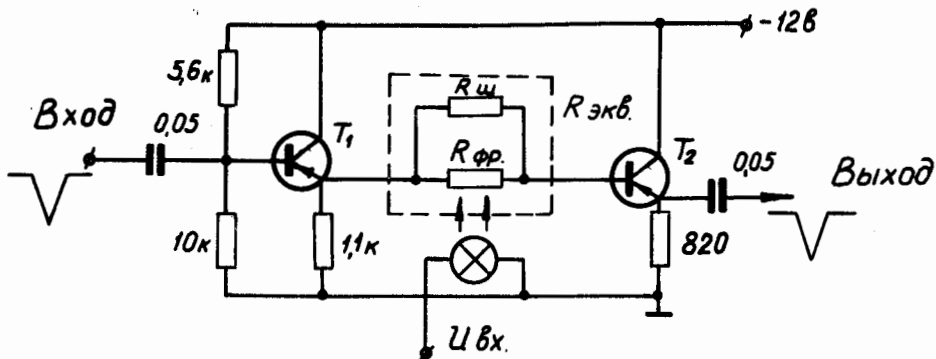


Рис. 4. Принципиальная схема блока с управляемым коэффициентом преобразования.

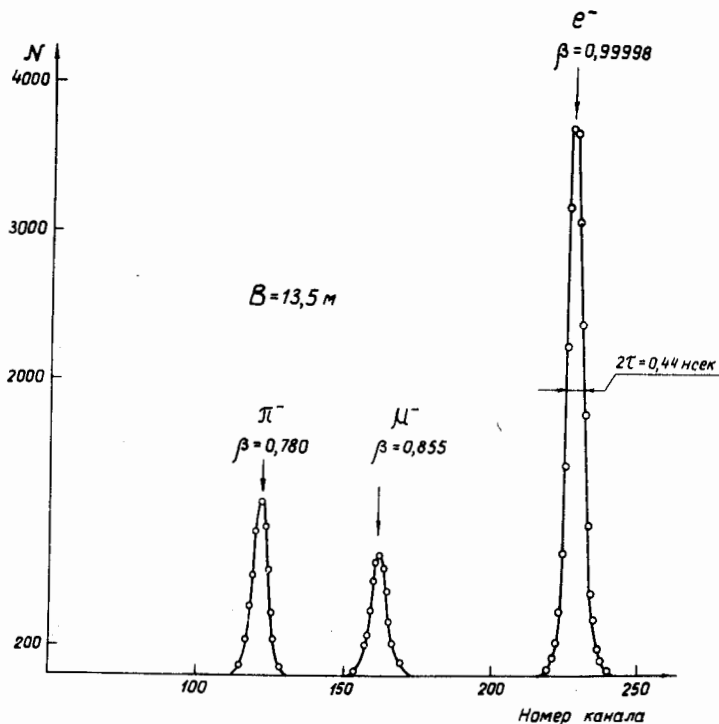


Рис. 5. Спектр масс частиц в  $\pi^-$ -мезонном пучке синхроциклотрона с импульсом 175 Мэв/с.

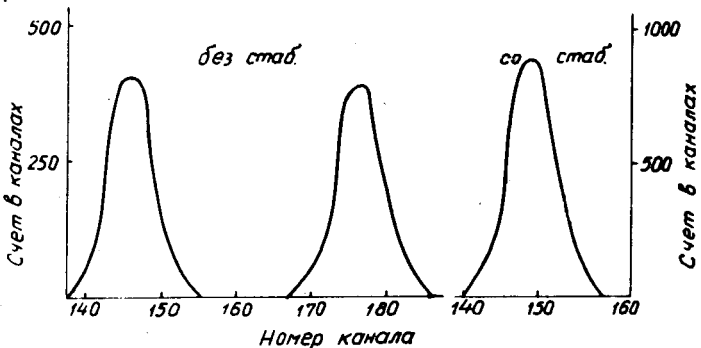
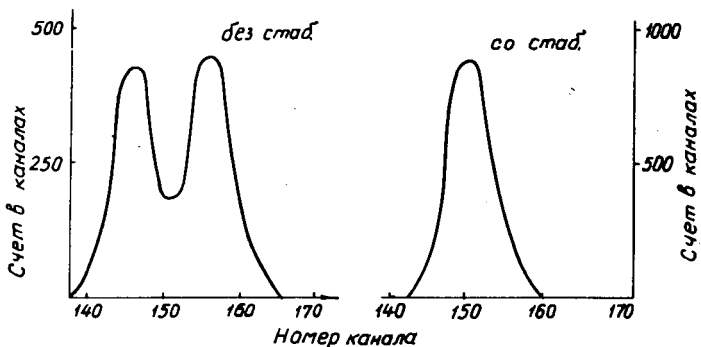
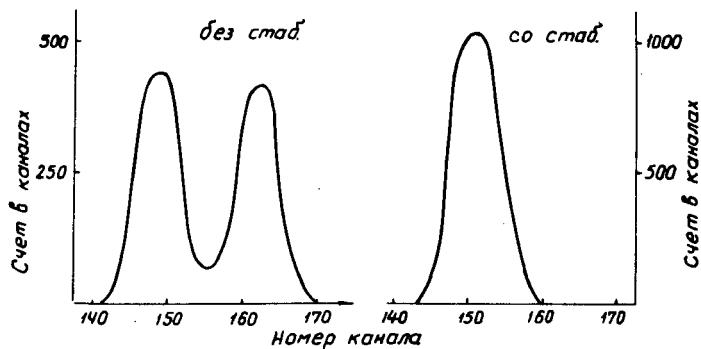


Рис. 6. Формы временных распределений, измеренных спектрометром с включенной и выключенной системой стабилизации

- при изменении напряжения питания одного из базовых счётчиков на 100 в;
- при изменении задержки в цепи одного из базовых счётчиков на 1 нсек;
- при изменении коэффициента усиления на 15%.

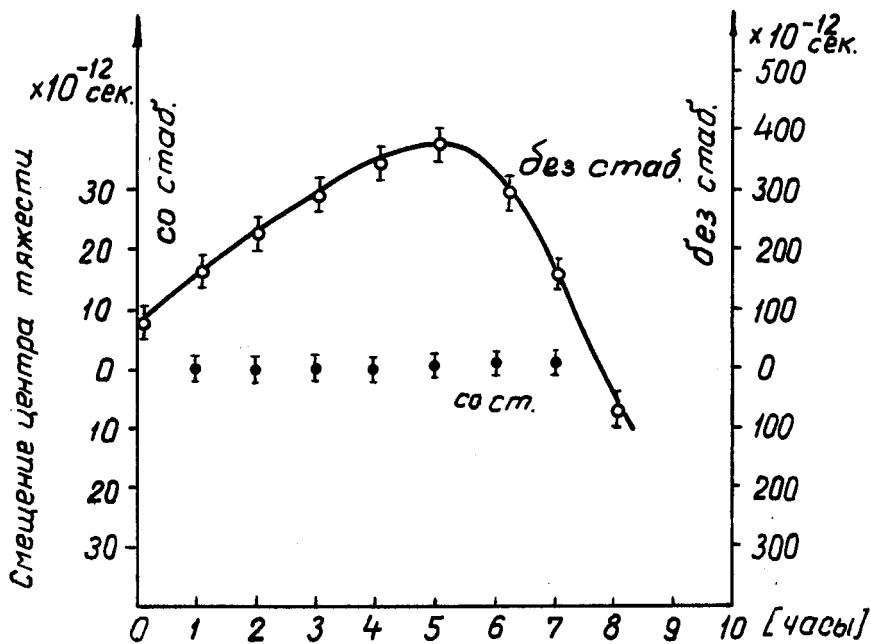


Рис. 7. Изменение во времени положения центра тяжести временного распределения, измеренного спектрометром с выключенной и включенной системой стабилизации.