

C - 302
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 7584

СЕМЕНОВ
Борис Юрьевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АМПЛИТУДНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ
ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТРЕБОВАНИЯХ
К РАЗРЕШЕНИЮ И ЗАГРУЗКЕ

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1973

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель: кандидат технических наук

А. Н. Синаев

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

кандидат технических наук

А. П. Цитович,

И. С. Крашенинников.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт ядерных исследований, г. Москва.

Автореферат разослан " " "

197 года. Защита

состоится " " "

197 года в

часов на засе-

дении Ученого совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

Ю. А. Батусов

13 - 7584

СЕМЕНОВ

Борис Юрьевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АМПЛИТУДНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ
ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТРЕБОВАНИЯХ
К РАЗРЕШЕНИЮ И ЗАГРУЗКЕ

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В настоящее время в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований широким фронтом ведутся работы по изучению короткоживущих нейтронодефицитных изотопов с использованием аппаратуры для прецизионных спектрометрических измерений, а также исследования по физике элементарных частиц с использованием аппаратуры для многомерной спектрометрии.

Для обеспечения этих исследований разработан, изготовлен и внедрен в практику эксперимента комплекс блоков спектрометрической аппаратуры. В состав этого комплекса вошли прецизионные преобразователи амплитуда-код со стабилизацией положения измерительной характеристики, генераторы импульсов высокостабильной амплитуды, спектрометрические усилители, инспекторы положений импульсов, устройства предварительного анализа спектрометрических сигналов, преобразователи амплитуда-серия широкого применения и другие приборы.

Создание высококачественного, но вместе с тем достаточно простого спектрометра, т.е. спектрометра со схемными решениями и параметрами блоков, близкими к оптимальным, невозможно без серьезного математического исследования как всего тракта, так и отдельных его узлов. Поэтому одновременно с задачей разработки комплекса аппаратуры решались и задачи теоретического плана по развитию и систематизации необходимого для исследования спектрометра математического аппарата, по расчету и анализу узлов тракта, исследованию различного рода погрешностей спектрометра и т.д.

Представленная диссертация отражает деятельность автора в указанных выше направлениях. В ней четыре главы, три из них посвящены теоретическим вопросам, а в последней, четвертой, описаны некоторые из разработанных автором блоков для прецизионной и многомерной амплитудной спектрометрии.

Глава I. Аппарат аналитического исследования амплитудного спектрометрического тракта /1, 3/

В первой главе обсуждается типичная схема амплитудного спектрометра, способы аппроксимации сигналов детектора и генератора импульсов высокостабильной амплитуды, передаточные функции и частотные характеристики фильтрующих элементов тракта, функция памяти системы и ее связь с импульсной характеристикой. В конце главы приводятся в систематизированном, удобном для применения виде характеристики шума, сигналов и систем.









Важную информацию в этой главе несет таблица I.1, где при различных способах аппроксимации входного сигнала для двух систем фильтрации приводятся передаточные функции тракта, а также изображения, временные функции и выражения для времени максимума сигнала на выходе усилительной части спектрометра.

Материал главы применялся при решении многих вопросов проектирования, например, при анализе, синтезе или расчете узлов спектрометра, при исследовании различного рода погрешностей, при сравнении вариантов построения тракта и т.д.

Глава II. Фильтрация сигналов в системах амплитудной спектрометрии, анализ некоторых видов погрешностей спектрометров /2-4/

В начале главы рассматриваются условия минимизации отношения шум/сигнал в системах общего вида и спектрометрических, приводятся и обсуждается схема расчета фильтров, приводятся расширенные и уточненные сведения по ряду конкретных, типичных для амплитудной спектрометрии фильтров, решается вопрос об оптимизации выбора

Таблица 1.1.
Передаточные функции изображения и временные функции выходного сигнала усилителя при различных воздействиях на входе.

N	η		I. Система с простыми RC-цепочками (CR) ₀ =(RC) ₀ =RC=1/g	II. Система, использующая дифференцирующую цепочку с коррекцией (RCR) ₀ =(RC) ₀ =1/g, R ₀ C=C ₀ g=1/a	
1			$W_a = \frac{Y(p)}{a(p)}$	$-\frac{g}{C_0} \frac{p^2}{(p+a)(p+g)^2}$	$-\frac{g}{C_0} \frac{p}{(p+g)^2}$
2			$W_v = \frac{Y(p)}{V(p)}$	$-C_0 \frac{g}{(p+a)(p+g)^2}$	$-C_0 \frac{g}{(p+g)^2}$
3			$W_{\tau} = \frac{Y(p)}{\tau(p)}$	$-\frac{g}{C_0} \frac{p}{(p+a)(p+g)^2}$	$-\frac{g}{C_0} \frac{1}{(p+g)^2}$
4		Изображение выходного сигнала U(p)	$-\frac{ag}{C_0} \frac{p}{(p+a)(p+g)^2}$	$-\frac{ag}{C_0} \frac{1}{(p+g)^2}$	
5		Временная функция выходного сигнала U(t)	$-\frac{ag}{C_0} \left[\frac{g^2}{g-a} t e^{-gt} + \frac{ag}{(g-a)^2} e^{-gt} - \frac{ag}{(g-a)^2} e^{-at} \right]$	$-\frac{ag}{C_0} t e^{-gt}$	
6		Время первого максимума t _m		$\frac{1}{g}$	
7		Первый максимум U _m		$-\frac{a}{C_0 e}$	
8		Изображение выходного сигнала Y(p)	$-\frac{ag}{C_0^2} \frac{1}{(p+a)(p+g)^2} [1 - e^{-ap}]$	$-\frac{ag}{C_0^2} \frac{1}{(p+g)^2} \left[\frac{1}{p} - \frac{e^{-ap}}{p} \right]$	
9		Временная функция выходного сигнала U(t) (решетка)		$-\frac{a}{C_0^2} e^{-gt} \left[t \frac{e^{gt}-1}{g} + \frac{e^{gt}(t-g)}{g^2} \right]$	
10		Время первого максимума t _m		$\tau \frac{1}{1 - e^{-a\tau}}$	
11		Первый максимум U _m		$-\frac{a}{C_0^2} \exp \left[-\frac{a}{1 - e^{-a\tau}} \right] (e^{a\tau} - 1)$	
12		Изображение выходного сигнала U(p)	$\frac{ag}{2C_0^2} \frac{p^2}{(p+a)(p+g)^2} \left[\frac{2\tau}{p^2} - \frac{1 - e^{-a\tau}}{p^3} \right]$	$-\frac{ag}{2C_0^2} \frac{p}{(p+g)^2} \left[\frac{2\tau}{p^2} - \frac{1 - e^{-a\tau}}{p^3} \right]$	
13		Временная функция выходного сигнала U(t) (решетка)		$\frac{a}{C_0^2} e^{-gt} \left[t \frac{e^{2g\tau} - 2g\tau - 1}{2g^2} - \frac{(g\tau + 1) + (g\tau - 1)e^{2g\tau}}{g^2 \tau} \right]$	
14		Время первого максимума t _m		$\frac{1}{g} \frac{1 + (a/g)\tau}{1 + (a/g)\tau^2}$, где $\tau = g\tau$	
15		Первый максимум U _m		$-\frac{a}{C_0} \exp \left[\frac{1 + (a/g)\tau}{1 + (a/g)\tau^2} \right] (1 + (a/g)\tau)$	
16		Изображение выходного сигнала U(p)	$-\frac{ag}{C_0} \frac{p}{(p+a)(p+g)^2} \left[1 - \frac{p}{p+m} \right]$	$-\frac{ag}{C_0} \frac{1}{(p+g)^2} \left[1 - \frac{p}{p+m} \right]$	
17		Временная функция выходного сигнала U(t)	$\frac{a}{C_0} \frac{m g^2}{(m-g)(g-a)} t e^{-gt} - \frac{m^2 g}{(m-a)(m-g)^2} e^{-mt} - \frac{(g^2 - m^2) m g}{(g-a)^2 (m-a)} e^{-at}$	$-\frac{a}{C_0} \left[\frac{m}{m-g} g t e^{-gt} + \frac{m g}{(m-g)^2} e^{-mt} - \frac{m g}{(m-g)^2} e^{-at} \right]$	
18		Время первого максимума t _m		$\frac{1}{g} \frac{2}{2-1} \tau$, где $\tau = \frac{1}{g\tau}$	
19		Первый максимум U _m		$-\frac{a}{C_0} \frac{2}{2-1} e^{-2/(2\tau)}$	
20		Изображение выходного сигнала U(p) в виде b-функции с параметром T	$-\frac{ag}{C_0} \frac{p}{(p+a)(p+g)^2} \frac{1}{1 - e^{-pT}}$	$-\frac{ag}{C_0} \frac{1}{(p+g)^2} \frac{1}{1 - e^{-pT}}$	

параметров RC-цепи связи между усилителем и преобразователем амплитуда-код. При выяснении условий минимизации отношения шум/сигнал используется разобранный в предыдущей главе понятие функции памяти системы, благодаря чему обеспечивается простота выкладки, их компактность и наглядность.

Непрерывное повышение требований к точности спектрметрических измерений потребовало изучения погрешности, связанной с флуктуацией фронта входного сигнала. В диссертации указанная погрешность определена как $E = (V_m(\tau=0) - V_m(\tau=\tau_i)) / V_m(\tau=0) \cdot 100\%$, где $V_m(\tau=0)$ и $V_m(\tau=\tau_i)$ - амплитуды выходного сигнала соответственно при нулевом времени нарастания входного сигнала и при времени нарастания, равном τ_i . Для этой погрешности получены простые и с достаточно хорошим приближением аналитические и графические зависимости от относительной величины флуктуаций фронта входного сигнала. Информация об обсуждаемой погрешности необходима при решении многих вопросов проектирования, например, при определении максимально допустимого времени нарастания импульса высокостабильной амплитуды, если этот импульс используется в качестве реперного сигнала системы стабилизации спектрометра.

Необходимость или возможность проведения измерений при больших интенсивностях сигналов требует пристального внимания к погрешности спектрометра, связанной с наложениями импульсов друг на друга. Вопросам минимизации этой погрешности и посвящен последний параграф второй главы. В нем с точки зрения минимизации погрешности от наложений произведено сравнение вариантов построения тракта, показана необходимость логарифмической зависимости времени защиты инспектора от амплитуды обрабатываемого сигнала.

Глава III. Расчет и анализ некоторых узлов спектрометрического тракта^{15-8/}

Известно, что определяющее влияние на работу преобразователя амплитуда-код, построенного по принципу Вилкинсона, оказывает качество работы зарядного устройства. Современные зарядные устройства (ЗУ) имеют, как правило, общую обратную связь, позволяющую получить прибор с высокими характеристиками. Подобные ЗУ требуют корректного выбора конфигурации и параметров элементов схемы, производимого на основе тщательного теоретического рассмотрения, так как в противном случае возможно самовозбуждение или перерегулирование в схеме, и, как следствие этого, образование грубой погрешности преобразования.

В первом параграфе главы рассмотрена динамика работы зарядного устройства с обратной связью. Получено достаточно простое и с хорошим приближением выражение для передаточной функции ЗУ при разомкнутой петле обратной связи. Анализ этого выражения позволил выявить условия, при выполнении которых передаточная функция ЗУ приближается к передаточной функции простого аperiodического звена, т.е. условия, при выполнении которых надежно обеспечивается петлевая устойчивость устройства и монотонность его переходной характеристики. Рассмотрение полученных в этом параграфе формул позволило сделать важный для практики вывод о независимости, в первом приближении, времени заряда и запасов устойчивости от величин запоминающей емкости и петлевого усиления, т.е. вывод о возможности увеличения этих величин без заметного снижения запасов устойчивости и быстродействия устройства.

Во втором параграфе главы рассмотрено влияние временных характеристик сигналов на величину линейного диапазона усилительно-

го каскада. Показана связь между частотной характеристикой каскада и кривой зависимости его линейного диапазона от времени нарастания обрабатываемого сигнала. Материал этого параграфа может принести большую пользу при разработке каскадов усиления, при определении ограничений на временные и амплитудные характеристики входных сигналов и т.д.

Глава IV. Блоки амплитудных спектрометров /9-15/

В последней главе диссертации описан комплекс блоков спектрометрической аппаратуры, разработка которого велась с широким использованием материала трех предыдущих глав.

Рассматриваемый в этой главе генератор импульсов высокостабильной амплитуды - дальнейшее развитие подобного рода приборов. Формирователи импульсов высокостабильной амплитуды этого генератора выполнены по наиболее простой схеме на одном формирующем транзисторе. Все они допускают плавное регулирование амплитуды выходного импульса. В двух из них реализована важная для практического применения возможность формирования импульса трапецеидальной формы. Прибор нашел широкое применение как для контроля и наладки электронной аппаратуры, так и для непосредственного использования в эксперименте, например, в качестве генератора эталонного реперного импульса в системе стабилизации положения измерительной характеристики спектрометра.

Во второй главе диссертации было показано, что для инспектора наложений на спад, устанавливаемого в спектрометр с RC-фильтрами, следует иметь логарифмическую зависимость времени задержки от амплитуды обрабатываемого сигнала. Вариант исполнения такого инспектора и обсуждается во втором параграфе главы IV.

Схема инспектора построена на основе устройства для дискриминирования импульсов напряжения^{/12/}. Она характеризуется хорошим совпадением полученной зависимости времени задержки с расчетной, практическим отсутствием собственного мертвого времени, способностью работы в условиях высоких входных нагрузок. Инспектор с высокой эффективностью использовался в прецизионном спектрометрическом тракте Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ (рис. 1).

Описанный в диссертации блок предварительного анализа спектрометрического сигнала выполняет функции как инспектора наложений, так и дискриминатора импульсов. Дискриминация осуществляется в этом блоке за время, существенно меньшее, чем время фронта входного сигнала, поэтому при его использовании отпадает необходимость в применении режима нормально открытых линейных ворот или введении линии задержки в основную измерительную цепь тракта. Другая важная особенность блока - сохранение во всех точках его измерительной цепи соотношений типа больше-меньше между амплитудами шумовых и полезных импульсов, благодаря чему не вносятся ограничений на минимальную амплитуду принимаемого для измерения сигнала и не повышается вероятность запуска спектрометра шумами.

Использование интегральных схем создает предпосылки для разработки простых, надежных, технологичных и с хорошими параметрами спектрометрических усилителей. При разработке описываемого в диссертации семейства спектрометрических усилителей на базе интегральных схем К1УТ401 преследовалась цель удовлетворить наиболее простыми средствами достаточно широкому кругу задач физического эксперимента.

Все усилители семейства имеют структуру, подобную показанной на рис.2: входной делитель - эмиттерные повторители с цепочкой интегри-

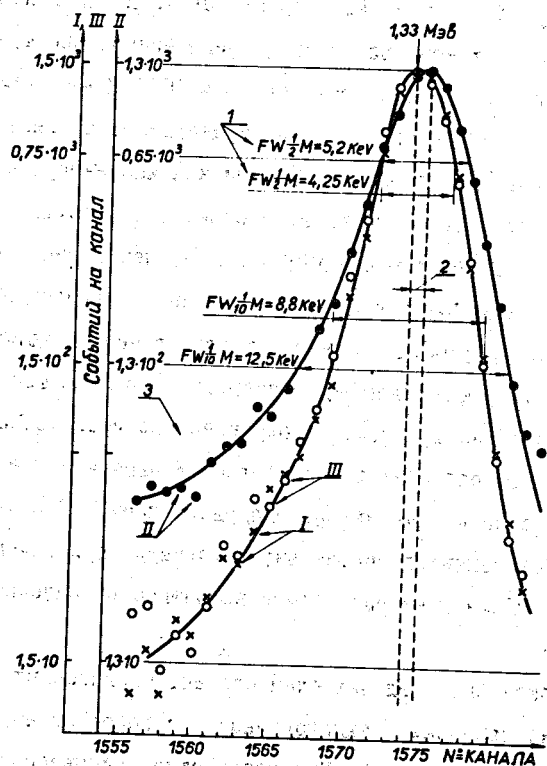


Рис. 1. Спектр линии I,33 МэВ ^{60}Co : I - без инспектора при интенсивности входных сигналов 10^3 имп/сек; II - без инспектора при интенсивности $20 \cdot 10^3$ имп/сек; III - с инспектором при интенсивности $20 \cdot 10^3$ имп/сек. 1 - ухудшение разрешения; 2 - смещение положения максимума спектра; 3 - образование низкоэнергетического "плеча".

рования сигнала на входе - дифференцирующая цепь со схемой компенсации поляса нулем - усилительные каскады с T-образной цепочкой интегрирования на входе - выходной эмиттерный повторитель - цепь стабилизации режимного напряжения выходного каскада усилителя. Во всех схемах удовлетворено необходимое для формирования однополярного сигнала условие единственности некомпенсированного дифференцирования. В усилителях почти не используются каскады сравнения напряжений, при наличии которых возможно нарушение однополярности сигнала из-за емкостного "пролезания".

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ изготовлено несколько десятков усилителей семейства. Они использовались в установках двух-, восьми- и шестнадцатимерного анализа, а также в прецизионном спектрометрическом тракте. Длительная эксплуатация подтвердила высокие качества усилителей, в том числе и при использовании их для прецизионных измерений в условиях повышенных входных загрузок.

При разработке описанного в диссертации преобразователя амплитуда-серия широкого применения преследовалась цель удовлетворить в какой-то мере потребность физического эксперимента в достаточно универсальном и точном, но вместе с тем простым и надежном приборе.

Преобразователь выполнен в виде 256-канального прибора с частотой серии 25 Мгц. На его входе установлено линейная схема пропускания. Зарядное устройство в рассматриваемом преобразователе выполнено в виде дифференциального каскада на полевых транзисторах с токовым повторителем на выходе. Дифференциальное исполнение входного каскада ЗУ обеспечивает малость температурного дрейфа начального напряжения на запоминающей емкости, применение в нем полевых транзисторов - малость токов утечки этой емкости, наличие на выходе устройства токового повторителя - возможность

реализации однополюсности устройства, т.е. возможность надежно-го обеспечения монотонности переходной характеристики и высоких запасов петлевой устойчивости в нем. Длительная эксплуатация нескольких десятков преобразователей в экспериментах на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ подтвердила его высокие эксплуатационные качества.

На основе разработанных узлов и блоков спектрометрической аппаратуры собирались и использовались в экспериментах на синхротроне Лаборатории ядерных проблем и на ускорителе в Серпухове различные измерительные комплексы. В том числе описанные в диссертации восьмимерный преобразователь аналог-цифра с предварительным запоминанием амплитуд измеряемых импульсов на конденсаторе и прецизионный преобразователь амплитуда-код со стабилизацией положения измерительной характеристики по эталонному реперному импульсу (рис. 3). С использованием этого преобразователя в Лаборатории ядерных проблем проводятся работы по программе ЯСНАПП, целью которой является исследование удаленных от полосы бета-стабильности изотопов. В процессе выполнения этой программы с участием описанной в диссертации аппаратуры было открыто более 20 новых изотопов и более чем у 150 подробно изучены гамма-спектры и прочие характеристики.

В а к л ю ч е н и е

Основные итоги диссертации сводятся к следующему:

1. Систематизирован и развит аппарат аналитического исследования амплитудного спектрометра с RC-фильтрами.
2. Получено новое, компактное и наглядное решение задачи минимизации отношения шум/сигнал в системах общего вида.

3. Решена задача оптимизации выбора параметров некоторых, практически важных типов фильтров, а также задача оптимизации выбора постоянной времени RC-цепи связи между усилителем и преобразователем амплитуда-код.

4. Для погрешности спектрометра, связанной с флюктуацией фронта входного сигнала, введен новый, более информативный, чем применявшийся ранее, параметр. Получены простые и достаточно точные зависимости этого параметра от относительной величины изменения фронта входного сигнала.

5. Произведена оценка вариантов построения спектрометрического тракта с точки зрения минимизации погрешности от наложенных импульсов друг на друга.

6. Обоснована необходимость логарифмической зависимости времени защиты инспектора наложений от амплитуды входных сигналов. Предложен, разработан и изготовлен вариант такого инспектора.

7. Исследована динамика работы зарядного устройства с обратной связью преобразователя амплитуда-время. Предложен такой метод выбора параметров элементов этого устройства, при котором в нем надежно обеспечиваются высокие запасы петлевой устойчивости и монотонность переходной характеристики.

8. Рассмотрено влияние временных характеристик сигналов на линейный диапазон усилительного каскада. Показана связь между частотной характеристикой каскада и кривой зависимости границы его линейного диапазона от времени нарастания входного сигнала.

9. Разработана методика проектирования формирователей импульсов высокостабильной амплитуды. Даны рекомендации по выбору типа транзистора-формирователя импульсов высокостабильной амплитуды и его режима.

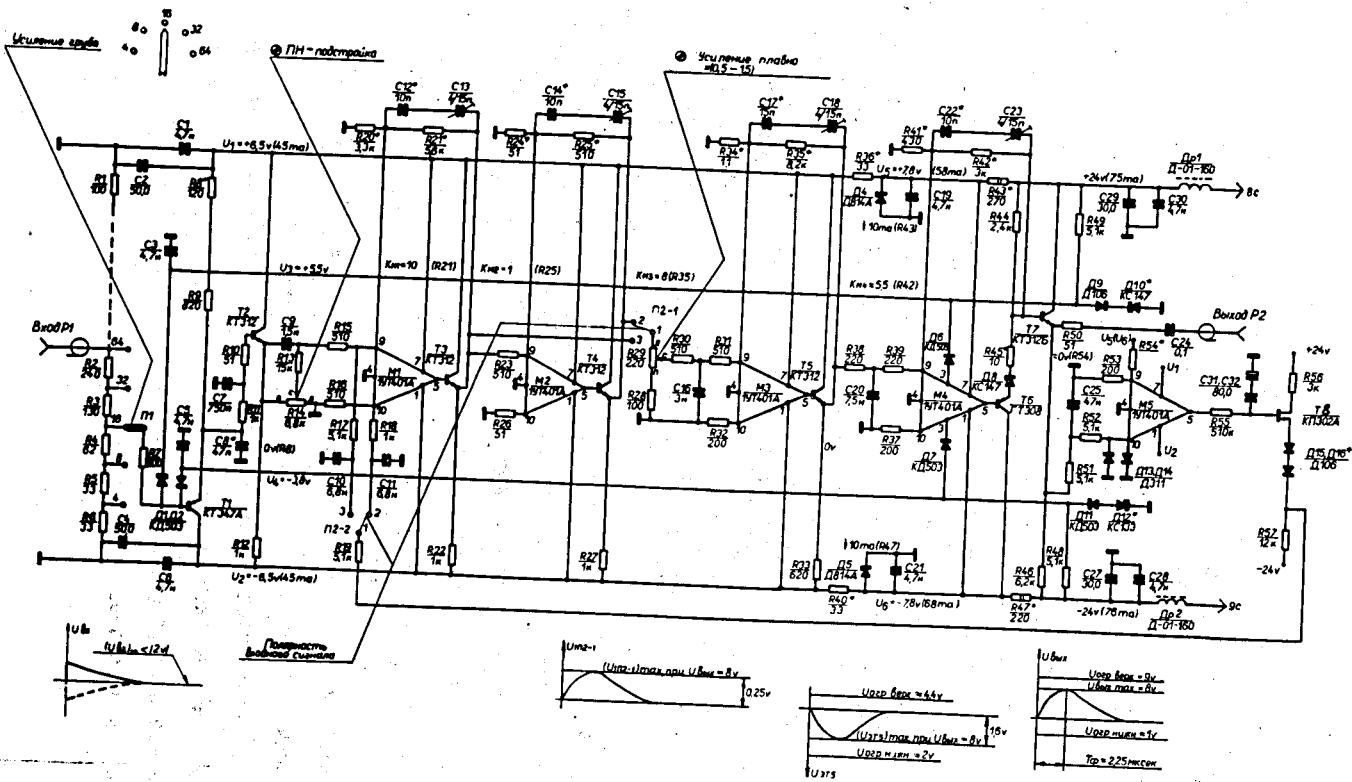


Рис. 2. Принципиальная схема спектрометрического усилителя G52.

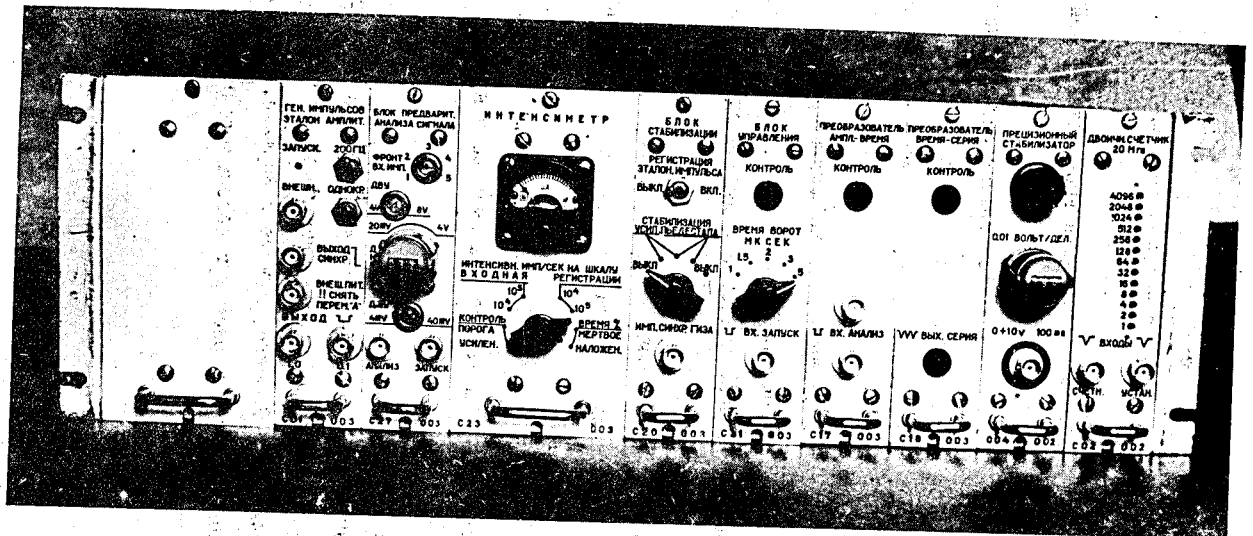


Рис. 3. Внешний вид прецизионного преобразователя амплитуд-код на 4096 каналов со стабилизацией положения измерительной характеристики по эталонному реперному импульсу.

Ю. На основе проведенных исследований разработан, изготовлен и внедрен в практику физического эксперимента комплекс блоков спектрометрической аппаратуры, а именно:

А. Несколько типов генераторов импульсов высокостабильной амплитуды.

Б. Инспектор наложений импульсов с логарифмической зависимостью времени защиты от амплитуды инспектируемого сигнала.

В. Блок предварительного анализа спектрометрического сигнала.

Г. Несколько типов спектрометрических усилителей, выполненных на базе интегральных схем К1УТ401А.

Д. Несколько типов преобразователей амплитуда-код широкого применения.

Е. Несколько типов прецизионных преобразователей амплитуда-код со стабилизацией положения измерительной характеристики по эталонному реперному импульсу.

Ж. Восьмимерный аналого-цифровой преобразователь с предварительным запоминанием амплитуд измеряемых импульсов на конденсаторе.

Работы, положенные в основу диссертации /I-15/, докладывались на УП Всесоюзной конференции по ядерной электронике в Москве, на международных симпозиумах в Версале, Алуште и Варшаве. Они публиковались в трудах конференций, журналах и сообщениях ОИЯИ.

Л и т е р а т у р а

1. Б.Ю.Семенов, В.А.Антихов. Расчет погрешности спектрометра, связанной с флюктуацией фронта входного сигнала. В кн. Int. Symp. Nucl. Electr. Versailles, Sept., 1968, vol. 1, Paris, 1968, p. 77-1+ 77-16.
2. Б.Ю.Семенов, В.А.Антихов. Некоторые вопросы построения спектрометра при повышенных требованиях к разрешению и нагрузке. В кн. Int. Symp. Nucl. Electr. Versailles, Sept., 1968, vol. 1, Paris, 1968, p. 76-1+ 76-12.
3. В.М.Вахтель, Б.Ю.Семенов. Фильтрация сигналов в системах амплитудной спектрометрии. Сообщение ОИЯИ, Р13-6428, Дубна, 1972.
4. Б.Ю.Семенов. Погрешность от наложений импульсов при измерении амплитудных спектров и ее уменьшение с помощью инспекторов наложений. Сообщение ОИЯИ, Р13-4899, Дубна, 1970.
5. Б.Ю.Семенов. Анализ зарядного устройства амплитудного кодировщика повышенной точности. Препринт ОИЯИ, Р13-3275, Дубна, 1967.
6. Б.Ю.Семенов, В.Г.Гришин. Некоторые вопросы проектирования зарядного устройства амплитудного кодировщика повышенной точности. (Согласователь импедансов). Препринт ОИЯИ, Р13-3277, Дубна, 1967.
7. Б.Ю.Семенов. Зависимость линейного диапазона усилительного каскада от временных характеристик обрабатываемого сигнала. Сообщения ОИЯИ, Р13-6974, Дубна, 1973.
8. Б.Ю.Семенов, О.В.Ломакин. Некоторые вопросы проектирования формирователей импульсов высокостабильной амплитуды. Сообщения ОИЯИ, Р13-6924, Дубна, 1973.

9. Б.Ю.Семенов, О.В.Ломекин. Генератор импульсов высокоста-
бильной амплитуды . Сообщения ОИЯИ, Р13-6925, Дубна, 1973.
10. В.А.Антюхов, Б.Ю.Семенов. Инспектор наложений импульсов
для прецизионного амплитудного спектрометра с RC-фильтра-
ми . ПТЗ, 1970, № 5, стр. 46-50.
11. Б.Ю.Семенов. Блок предварительного анализа спектрометриче-
ского сигнала . Материалы шестого международного симпозиу-
ма по ядерной радиоэлектронике. Варшава, 1971, ОИЯИ, Д-13-6210,
Дубна, 1972, стр. 126-129.
12. Б.Ю.Семенов. Авторское свидетельство № 336789, Бюллетень ОИПОТЗ,
1972, № 14, 193.
13. Б.Ю.Семенов, К.Г.Хермани. Семейство спектрометрических
усилителей на интегральных микросхемах . Сообщения ОИЯИ,
16-6975, Дубна, 1973.
14. В.А.Антюхов, Б.Ю.Семенов. Преобразователь амплитуда-
серия широкого применения . Сообщения ОИЯИ, 13-7085, Дуб-
на, 1973.
15. Р.Арльт, С.Кадыкова, А.Калинин, В.Моисеева, Г.Музиоль,
М.Омельяненко, Ю.Прокофьев, Б.Семенов и др. Установка
для получения короткоживущих изотопов на пучке протонов
синхроциклотрона ОИЯИ и их спектрометрического исследова-
ния . Препринт ОИЯИ, Р6-3773, Дубна, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 декабря 1973 года.