

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



B-226

9/VI-45
13 - 8704

2074/2-72

В.М.Вахтель, В.Г.Зинов, С.И.Орманджиев

ЭЛЕКТРОНИКА МНОГОИТЯНОЙ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЫ
АЛЬФА-СПЕКТРОГРАФА

1975

13 - 8704

В.М.Вахтель, В.Г.Зинов, С.И.Орманджиев

ЭЛЕКТРОНИКА МНОГОНИТЯНОЙ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЫ
АЛЬФА-СПЕКТРОГРАФА

Направлено в ПТЭ

Замена метода фоторегистрации на метод, основанный на применении многонитяных проволочных камер /МПК/ при измерении энергетических спектров альфа-частиц в магнитных спектрографах дает возможность автоматизировать и существенно ускорить процесс набора информации.

С учетом особенностей альфа-спектрографа ОИЯИ ^{/1/} для этой цели можно использовать МПК с аналоговым съемом информации ^{/2/}. Координаты места попадания альфа-частиц в МПК, расположенную на фокальной поверхности спектрографа в ^{/2/}, определялись с помощью двухмерного анализатора, однако ту же информацию можно получить из отношения амплитуд сигналов, снимаемых с двух ее выходов.

Для определения отношения двух сигналов можно использовать разные методы: два преобразования амплитуда-код и деление на ЭВМ ^{/3/}, аналоговое деление на разностных усилителях ^{/4/}, преобразование амплитуда-время с управляемым током разряда ^{/5/}. В первом методе трудно получить хорошую линейность в широком диапазоне входных амплитуд. Во втором методе требуются специализированные интегральные схемы. В последнем случае необходимо создание узко специализированного преобразователя отношения амплитуд импульсов в код, что не всегда удобно.

В действительности дело не ограничивается одним преобразователем отношений двух амплитуд. Разумно конструировать единый тракт до амплитудного анализатора.

В настоящей работе сделана такая попытка. Разработаны блоки токового предусилителя, восстановителя постоянной составляющей, управляемого удлиителя импульсов, линейных ворот, аналогового деления.

Принцип работы устройства следующий. Сигналы с обоих выходов камеры усиливаются, запоминаются и делятся аналоговым устройством. На выходе электронной аппаратуры выдаются импульсы, амплитуды которых пропорциональны отношению двух входных импульсов. Процесс деления проводится в два этапа: сначала нормируется амплитуда импульса в канале делителя пропусканнем через усилитель, коэффициент усиления которого уменьшается с помощью цепи обратной связи до такой величины, чтобы на выходе канала получился импульс заданной величины. Далее импульсы в канале делимого усиливаются тем же усилителем, при сохранении уменьшенного коэффициента усиления. При этом условии амплитуда второго импульса на выходе усилителя пропорциональна отношению обоих импульсов.

Отношению импульсов, равному единице, соответствует выходной импульс с амплитудой, равной нормированной амплитуде.

Полная блок-схема всего комплекса приведена на рис. 1. Импульсы с камеры усиливаются токовыми предусилителями 2,7 с последующим интегрированием и линейным усилением спектрометрическими усилителями 3,8^{1/6}. Далее импульсы поступают через восстановители постоянной составляющей 4,9 на запоминающие устройства 5,10, где запоминаются уровни их амплитуд.

С выхода усилителя 8 через дифференцирующую цепь импульс канала делителя подается на дискриминатор 19, выходные импульсы которого управляют началом работы устройства деления.

Блоки 5, 10, 19, 20, 21, 22, 28 и 29 выполняют функции управления процессом отбора, а блоки 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 27, 28 и 29 - деления сигналов.

С поступлением очередной пары импульсов на входы предусилителей 2 и 7 через схему И-20 происходит запуск одновибратора 21, если процесс деления предыдущего импульса был закончен. Передний фронт импульса опрокинет триггер 28, и дальнейшее поступление импульсов на вход блока 21 прекратится. Одновременно прекратится и доступ следующих импульсов для запоминания в блоках

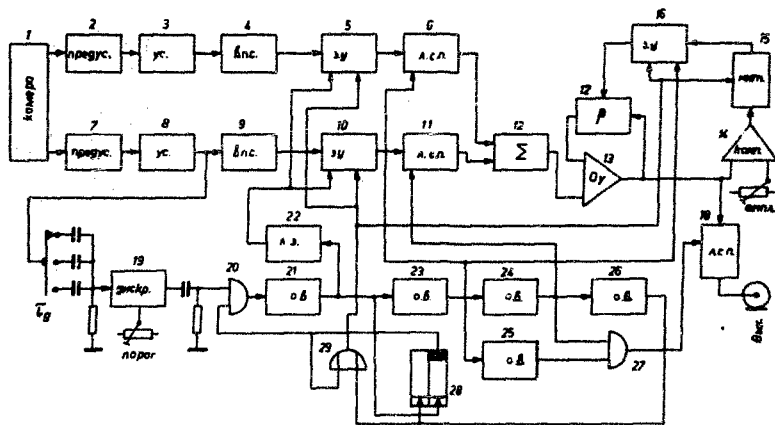


Рис. 1. Блок-схема устройства съема и предварительной обработки информации с камеры. Обозначения: В.П.С. - восстановитель постоянной составляющей; 3У - запоминающее устройство со схемой управления пропускания; Л.С.П. - линейная схема пропускания; Σ - линейный сумматор; Оу - операционный усилитель; КОМ - компаратор; ИНТ - интегратор; В - блок управления глубиной обратной связи; Л.З. - линия задержки; О.В - одновибратор; 28 - триггер.

5 и 10. Через схему ИЛИ-29 снимется потенциал сброса запоминающих устройств. Через некоторое время откроются входы запоминающих устройств. Задний фронт одновибратора 21 запустит одновибратор 23. Его импульс откроет линейное пропускающее устройство 6 и линейный вход запоминающего устройства 16.

Импульсы с выхода линейной схемы пропускания 6 делителя поступят на сумматор 12, далее на неинвертирующий вход операционного усилителя 13. В это время потенциал на втором входе 12 - нулевой. Импульс с выхода усилителя 13 подается на компаратор 14. Через интегратор 15 и запоминающее устройство 16 на вход управления глубины обратной связи блока 17 подается нарастающий потенциал, уменьшающий коэффициент усиления каскада 13. Когда усиление каскада 13 уменьшится настолько, что импульс на выходе компаратора прекратится, коэффициент усиления станет постоянным. Длительность импульса одновибратора выбирается немного больше времени переходного процесса нормирования амплитуды делящего импульса. С прекращением импульса одновибратора 23 вход запоминающего устройства 16 закрывается, одновременно с закрытием линейного пропускающего устройства 6. Дальнейшее управление коэффициентом усиления 13 прекратится.

Задний фронт одновибратора 23 запустит одновибратор 24. Он открывает линейное пропускающее устройство 11 и пропускает подлежащий делению импульс через сумматор и усилитель на вход линейной схемы пропускания 18. Пропускание импульса на выходе линейной схемы пропускания блокируется на короткое время одновибратором 25. Это необходимо, чтобы не пропустить сигнала во время переходного процесса после переключения блоков 6 и 11.

После прекращения импульса одновибратора 24 произойдет запуск одновибратора 26. Через схемы ИЛИ-29 начальные состояния запоминающих устройств восстановятся. Задний фронт одновибратора 26 возвратит в начальное состояние триггер 28. При этом восстановится разрешающий потенциал на потенциальный вход схемы И-20 и устройство будет в состоянии принять следующий входной импульс.

Принципиальная схема предусилителя показана на *рис. 2*. Импульсы с камеры поступают через высоковольтный конденсатор /не указан на рисунке/ на входной ограничитель, предотвращающий повреждение полевого транзистера. Через второй конденсатор они подаются на вход повторителя тока T_1 , выход которого связан с входом зарядочувствительного каскада.

Если сопротивление нити камеры ниже 5 кОм , включение повторителя тока дает улучшение соотношения сигнал/шум /см. Приложение 1/. При сопротивлении камеры выше указанной величины конденсатор $0,5 \text{ мкф}$ подключается прямо на базу транзистора T_2 . При использовании транзистора T_1 необходимо принять особые меры для фильтрации напряжения питания предусилителя. Гальванический выход служит для контроля режима полевого транзистора.

Запоминающее устройство выполнено по схеме *рис. 3*. Через сопротивление $6,2 \text{ кОм}$ входные импульсы поступают на инверсный вход операционного усилителя. С выхода 5 через последовательно связанные диоды заряжается конденсатор $3,3 \text{ нф}$, с которым последовательно связано сопротивление 30 Ом . Через эмиттерный повторитель T_1, T_2 запомненное напряжение подается на выход схемы, а через второе сопротивление $6,2 \text{ кОм}$ замыкается цепь отрицательной обратной связи. Конденсаторы в цепях обратных связей улучшают переходную характеристику схемы.

Вход "Вх_y" управляет коэффициентом усиления операционного усилителя и исполняет функцию управления линейного пропускающего устройства. Вход "Вх_B" служит для восстановления нулевого потенциала запоминающего конденсатора.

На *рис. 4* показана схема блока управления. Входные импульсы через дифференцирующую RC-цепь подаются на вход дискриминатора 0_1 , откуда поступают на вход первого одновибратора. Все одновибраторы, за исключением второго, выполнены по одной и той же схеме. Напряжение для питания TTL-схем получено с эмиттерного повторителя T_2 .

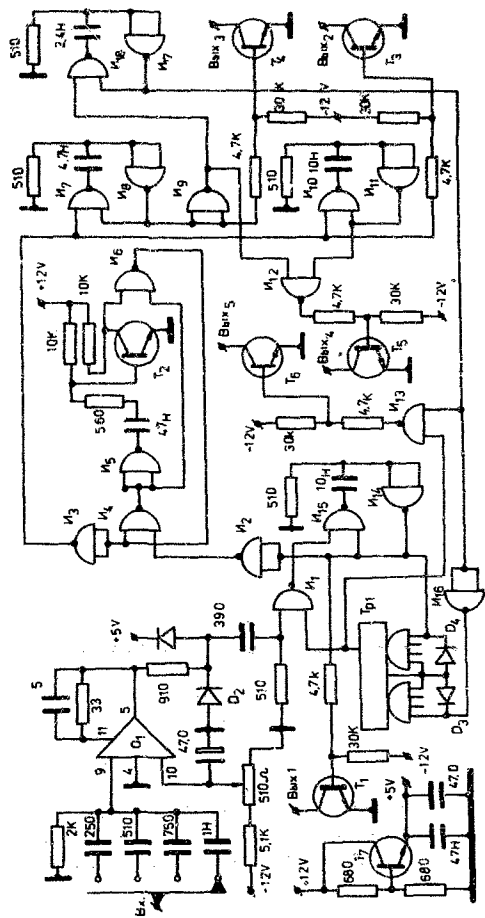


Рис. 4. Блок управления делением. Обозначения: $T_1 - T_6$ КТ312В; T_7 - КТ602Б; $D_1 - D_4$ - Д18; И1 - И15 - Тоста 7400; Тр1 - Тр 57472; О1 - 1УТ402.

На рис. 5 показана схема блоков операционного усилителя, компаратора, интегратора и управляемой цепи отрицательной обратной связи. Сумматор составлен из двух резисторов 2,4 кОм и потенциометра выравнивания плечей. Входной сигнал подается через потенциометр на вход операционного усилителя O_1 . Через эмиттерный повторитель T_2, T_3 импульсы поступают на компаратор O_2 , второй вход которого подключен к потенциометру, задающего величину нормированного импульса делителя. Выход компаратора связан с интегрирующей цепочкой, разряжаемой транзистором T_5 . Глубина обратной связи регулируется полевым транзистором, вход которого связан с инвертором T_4 .

Основные параметры устройства:

Ошибка деления в динамической диапозоне: $1:10 \leq 1\%$.
Температурная нестабильность блока деления $0,1\%/1^\circ\text{C}$.
Мертвое время устройства ≈ 250 мкс.

Работа рассмотренного выше устройства была проведена на магнитном альфа-спектрографе ОИЯИ с МПК. На рис. 6 показаны полученный спектр альфа-частиц ^{244}Cm и спектр самоделения dE/dE , где dE соответствует сигналам, поступающим с катода МПК, пропорциональным энергии оставленной альфа-частицами ^{244}Cm в рабочем объеме камеры. Разная полуширина линий в альфа-спектре вызвана зависимостью формы линий от координаты. Этот эффект обусловлен механизмом работы МПК.

В заключение авторы благодарят А.Н.Синаева и В.Г.Чумина за постоянный интерес к работе и поддержку, Г.М.Воробьева, Ю.Н.Ефимова и М.М.Петровского за изготовление делительного устройства и М.Влахову и Е.В.Лебедеву за помощь при подготовке работы к печати.

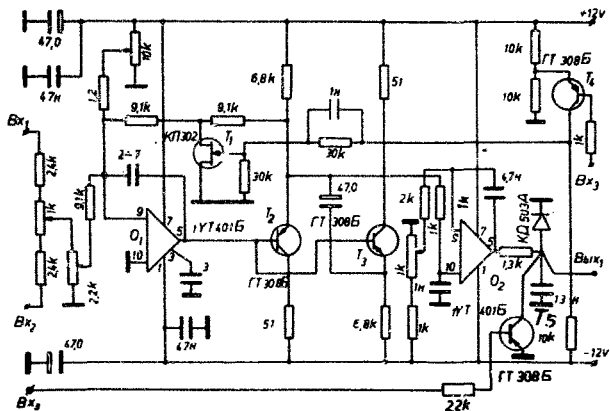


Рис. 5. Блок усилителя с управляемой обратной связью и компаратор.

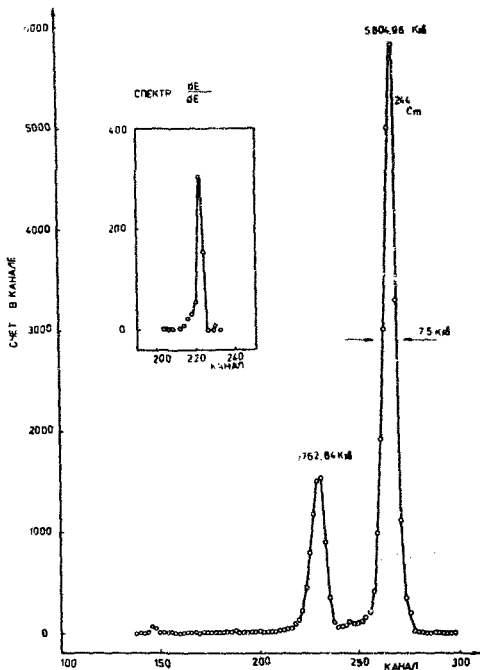


Рис. 6. Спектр α -частиц ^{244}Cm , полученный с помощью разработанного делительного устройства и МПК на магнитном альфа-спектрографе и спектр самоделения.

Приложение 1

Для определения зависимости шумовых характеристик от сопротивления камеры воспользуемся схемой рис. 7. Напишем уравнение для источника тока

$$\Delta U = I_{\text{ВХ}} \cdot \frac{Z_a \cdot Z_b}{Z_a + Z_b} + U_{\text{ВЫХ}} \frac{Z_b}{Z_a + Z_b}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\Delta U \cdot K_0 \cdot H(p) .$$

Совместное решение даст:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -I_{\text{ВХ}} \cdot \frac{Z_a \cdot Z_b \cdot K_0 \cdot H(p)}{Z_a + Z_b [1 + K_0 \cdot H(p)]} .$$

При

$$Z_a = \frac{1}{p \cdot C_a}; Z_b = \frac{1}{p \cdot C_b}; H(p) = 1; K_0 \gg 1; R_b = \infty$$

получим известную формулу:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -I_{\text{ВХ}} \cdot \frac{1}{p \cdot C_a} . \quad //1/$$

Если

$$Z_a = \frac{1}{p \cdot C_a}; Z_b = \frac{R_b}{1 + p \cdot R_b \cdot C_b};$$

$$H(p) = 1; K_0 \gg 1; R_b < 10^6 \text{ Ом},$$

то

$$U_{\text{ВЫХ}} = -I_{\text{ВХ}} \cdot \frac{R_b \cdot K_0}{1 + p \cdot R_b \cdot C_a \cdot K_0} .$$

Для источника напряжения $U_{ш}$ напомним:

$$\Delta U = U_{ш} + U_{вых} \cdot \frac{Z_b}{Z_a + Z_b}$$

$$U_{вых} = -\Delta U \cdot K_0 \cdot H(p)$$

Совместное решение даст:

$$U_{вых} = -U_{ш} \cdot \frac{(Z_a + Z_b) \cdot K_0 \cdot H(p)}{Z_a + Z_b [1 + K_0 \cdot H(p)]}$$

Если $R_b \rightarrow \infty$, то

$$Z_a = \frac{1}{p \cdot C_a}; Z_b = \frac{1}{p \cdot C_b}; H(p) = 1; K_0 \gg 1$$

и получаем формулу:

$$U_{вых} = -U_{вх} \cdot \frac{C_a + C_b}{C_a} \quad /3/$$

При $p R_b < 10^6$ Ом

$$Z_b = \frac{R_b}{1 + p \cdot R_b \cdot C_b}; H(p) = 1; K_0 \gg 1$$

и получим:

$$U_{вых} = -U_{ш} \cdot \frac{[1 + p \cdot R_b (C_a + C_b)] \cdot K_0}{1 + p \cdot R_b \cdot C_a \cdot K_0} \quad /4/$$

На рис. 8 показана схема каскада с общим затвором, вместе с источником тока и напряжения. Если входное сопротивление каскада $R_{вх} \ll Z_b$, будем иметь:

$$I_{кш} = I_{ш} \quad /5/$$

$$I_{кш} = U_{ш} \frac{1 + p R_b C_b}{R_b} \quad /6/$$

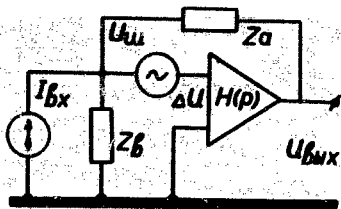


Рис. 7. Эквивалентная схема зарядочувствительного каскада.

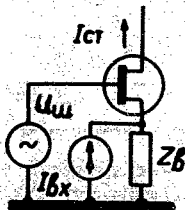


Рис. 8. Схема повторителя тока с общим затвором.

Результирующий шум при $R_b = \infty$ с учетом некоррелированности шумов обоих каскадов равен

$$U_{\text{вых пар}} = -I_{\text{ш}} \sqrt{2} \frac{1}{R C_a}$$

$$U_{\text{вых посл}} = -U_{\text{ш}} \sqrt{C_a^2 + C_b^2} / C_a,$$

т.е. параллельный шум увеличился в 1,41 раза, а последовательный шум, если $C_a = C_b$, уменьшился в 1,41 раза. Очевидно, что применение дополнительного транзистора не оправдано.

При конечной величине R_b ухудшение соотношения сигнал-шум зависит от параметров схемы. В табл. 1 показана зависимость отношения шумовых напряжений $U_{\text{ш}_3} / U_{\text{ш}_T}$ для схемы рис. 2 без применения транзистора T_1 и с транзистором T_1 . Линейный импульсный усилитель имел константы формирования $\tau_{\phi} = 2$ мкс.

Таблица 1

R_b [кОм]	130	51	24	12	7,5	5,1	3,9	2
$U_{\text{ш}_3} / U_{\text{ш}_T}$	1,5	1,4	1,25	1,2	1,12	1,0	0,95	0,8

Здесь $U_{\text{ш}_3}$ - шумовое напряжение без транзистора T_1 , $U_{\text{ш}_T}$ - шумовое напряжение с транзистором T_1 .

Из таблицы видно, что при уменьшении сопротивления камеры ниже 5 кОм преимущество имеет схема с токовым входом.

Литература

1. Н.А. Головков, К.Я. Громов и др. ОИЯИ, P13-3340, Дубна, 1967.
2. В.А. Бирюков, В.М. Вахвель и др. ОИЯИ, P13-7755, Дубна, 1974.
3. W. Wilcke, Th. W. Elze. GSI 73-14, Darmstadt, 1973.

4. И. С. Крашининников и др. Современная ядерная электроника, стр. 295, М., Атомиздат, 1974.
5. G.L. Miller, A. Senator. Proc. Ispra Symp. Nuclear Electronics, Italy, 1969.
6. С. И. Орманджиев. Симпозиум по ядерной электронике. стр. 105, Д13-6210, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 марта 1975 года.