

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



10277

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

13 - 10277

А.М.Зубарева, В.Г.Субботин

УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ
И ОТБОРА СИГНАЛОВ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1976

13 - 10277

А.М.Зубарева, В.Г.Субботин

УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ
И ОТБОРА СИГНАЛОВ ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРА
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ОИИ
БИБЛИОТЕКА

Зубарева А.М., Субботин В.Г.

13 - 10277

Устройство формирования и отбора сигналов для спектрометра
рентгеновского излучения

Подробно изложены особенности схемных решений формирователя и
блока исключения наложений. Демонстрируется качество работы устрой-
ства при высокой интенсивности следования сигналов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

В спектрометрах рентгеновского излучения, исполь-
зующих полупроводниковые детекторы и имеющих высокое
энергетическое разрешение, практически исключены
источники шума параллельного типа. Последовательный
шум, основным источником которого является тепловой
шум канала полевого транзистора, уменьшают путем
увеличения постоянных времени формирования в усили-
теле. Оптимум разрешения соответствует длительности
сформированного импульса в десятки и сотни микро-
секунд. Передний фронт спектрометрического импульса
также составляет десятки и сотни $\mu\text{кс}$ /1-3/.

Большая длительность усиливаемых импульсов не-
избежно приводит к состоянию высокой интенсивности
следования импульсов, начиная со средних частот в не-
сколько килогерц, и часто исключает прямое использо-
вание преобразователей амплитуда - код, так как боль-
шинство из них измеряют импульсы с передними фронта-
ми, не превышающими нескольких микросекунд.

Чтобы реализовать разрешение спектрометра, необ-
ходимо: принять меры, исключаяющие уширение и сдвиг
пиков амплитудного распределения при большой интен-
сивности; сформировать импульс на выходе спектромет-
ра, измеряемый анализаторами; исключить импульсы
самоналожений, возникающие из-за высокой интен-
сивности статистически распределенных по времени воз-
никновения импульсов.

ФОРМИРОВАТЕЛЬ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

Блок-схема формирователя изображена на рис. 1. Усиленный и сформированный основным усилителем однополярный импульс поступает на линейный усилитель формирователя. Выходной уровень усилителя стабилизирован по постоянному току и слабо изменяется с увеличением частоты следования однополярных импульсов. Коэффициент усиления равен 5. Усилитель имеет инверсный и неинверсный режимы работы. Линейный усилитель гальванически связан с пороговым усилителем. Пороговый усилитель выполнен согласно схеме, приведенной в работе /4/, и имеет хорошую стабильность порога, коэффициента усиления и малую нелинейность в широком диапазоне выходных амплитуд. Уровень дискриминации порогового усилителя устанавливается превышающим уровень шумов. Положительный импульс с выхода порогового усилителя непосредственно поступает на повторитель, задающий следящий уровень разряда разрядному устройству, и ослабленный делитель R_1-10R_1 /рис. 1/ на зарядное устройство /5/. Разряд запоминающей емкости запрещен на время переднего фронта входного импульса и на некоторое время после достижения импульсом вершины /время памяти/.

С зарядного устройства снимается логический импульс стандартной амплитуды, возникающий в момент достижения спектрометрическим импульсом вершины /логический импульс спада/. Этот логический импульс поступает в ветвь одновибратора памяти и с задержкой - в ветвь управления разрядным устройством. В первой ветви логический импульс дифференцируется, и сигнал, соответствующий его переднему фронту, через нормально открытый клапан НОК₁ запускает одновибратор памяти. Одновибратор открывает на время памяти линейные ворота и на это же время запрещает разряд запоминающей емкости, блокируя НОК₂. Спектрометрический сигнал с плоской вершиной последовательно поступает на усилитель-повторитель, линейные ворота и выходной

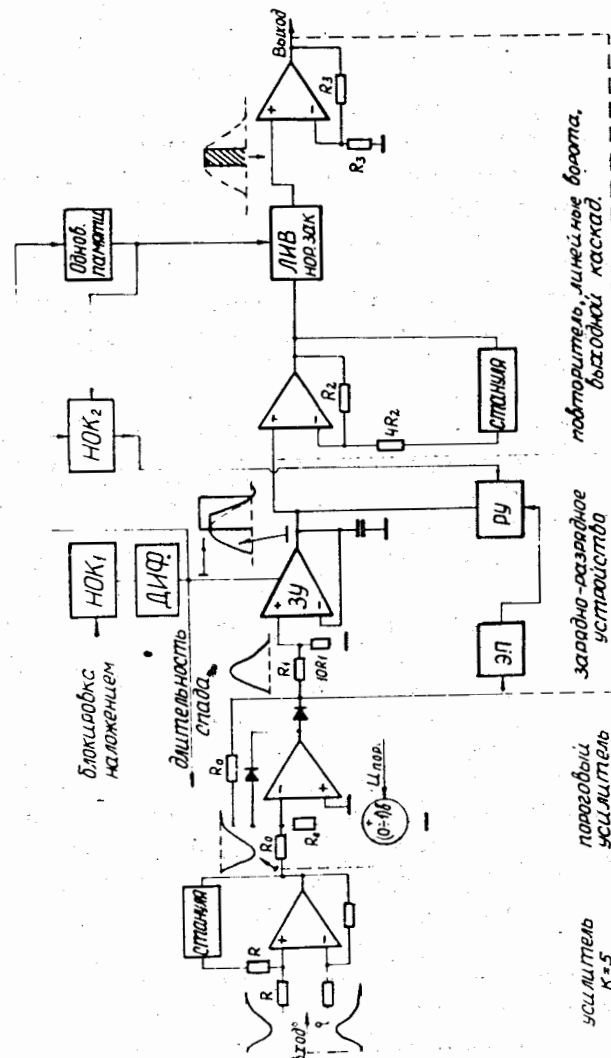


Рис. 1. Блок-схема формирователя спектрометрических импульсов.

усилительный каскад. Связи между названными блоками гальванические. Выходной уровень повторителя стабилизирован по постоянному току и мало изменяется с увеличением частоты следования однополярных импульсов. Стабильность этого уровня обеспечивает независимость амплитуды импульсов на выходе линейных ворот от температуры и частоты следования. Длительность импульса на выходе формирователя составляет 1,5 мкс. Начинается он в момент достижения спектрометрическим импульсом максимума, а амплитуда его линейно связана с максимальным значением амплитуды спектрометрического импульса.

Разрядное устройство открывается по истечении времени памяти. Мгновенное напряжение на запоминающей емкости следит за спадом спектрометрического импульса, превышая напряжение на входе зарядного устройства. Исходный уровень напряжения на выходе эмиттерного повторителя в ветви разрядного устройства составляет минус $20 \div 30$ мВ. Когда на входе зарядного устройства амплитуда напряжения спектрометрического импульса во время спада приближается к нулевому уровню, напряжение на емкости становится более отрицательным, чем на входе устройства. Зарядное устройство возвращается в исходное состояние. Логический импульс на его выходе обрывается, разрядное устройство возвращается в исходное закрытое состояние и прекращает разряд. Длительность логического импульса с зарядного устройства повторяет длительность спада спектрометрических импульсов большой амплитуды и равна времени памяти для импульсов малой амплитуды. Начало сформированного импульса задержано по отношению к началу спектрометрического импульса на время переднего фронта последнего.

При наличии быстрого усилительного тракта, отмечающего момент возникновения каждого спектрометрического импульса, можно использовать время от начала спектрометрического импульса до его максимального значения для анализа наложений и запретить появление на выходе формирователя наложенных импульсов. Длительность логического импульса с зарядного устройства

можно использовать как индикатор времени спада спектрометрического импульса в устройстве исключения наложений.

Исходный уровень напряжения на входе порогового усилителя и на входе линейных ворот поддерживает неизменной схема стабилизации нуля "СТАНУЛЯ" /рис.2/.

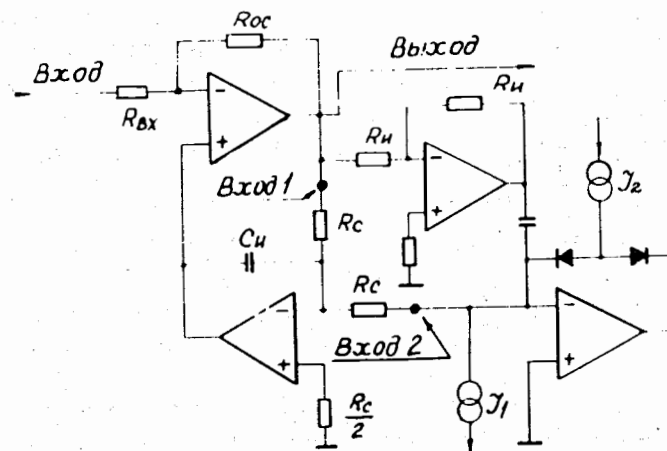


Рис. 2. Блок-схема стабилизатора исходного уровня.

Обычно для стабилизации выходного уровня импульсных усилителей с гальваническими связями используют цепь отрицательной обратной связи, которая содержит усилитель с дифференциальными входами и интегрирующую цепь /6,7,8/. Один вход усилителя обратной связи подсоединяют к выходу импульсного усилителя, а другой - к земле, если стабилизируют нулевой уровень на выходе импульсного усилителя. Большая постоянная времени интегрирующей цепи в ветви обратной связи обеспечивает слабое изменение формы одиночного импульса, оставляя стабилизацию выходного уровня на низких частотах. Однако последовательность однополярных импульсов вызывает сигнал разбаланса по постоянному

току в цепи обратной связи и изменяет исходный уровень на выходе стабилизируемого усилителя.

Схема стабилизации уровня, применяемая в формирователе, имеет интегрирующий усилитель обратной связи, который одновременно является суммирующим усилителем. На один из его суммирующих входов /вход 1/ подается напряжение с импульсного усилителя, а на другой - /вход 2/ - инвертированные импульсы, которые опираются на уровень, заданный восстановителем постоянной составляющей /рис. 2/. Уровень восстановителя стабилен по температуре и мало изменяется с увеличением частоты следования импульсов. Последовательность импульсов на выходе импульсного усилителя не вызывает разбаланса напряжений по постоянному току на входе усилителя обратной связи, так как происходит нейтрализация каждого импульса, возникающего на входе 1, таким же по форме, но противоположным по знаку, импульсом на входе 2 суммирующего усилителя обратной связи. Низкочастотные изменения напряжения на выходе импульсного усилителя не изменяют напряжения на входе 2 усилителя обратной связи и эффективно подавляются, как и при обычных способах стабилизации /10/.

ИНСПЕКТОР НАЛОЖЕНИЙ

Блок-схема инспектора наложений показана на рис. 3. Импульс с предусилителя, поступающий на вход схемы, дважды дифференцируется, образуя биполярный импульс, после чего усиливается двухкаскадным быстрым усилителем. Выходной уровень усилителя стабилизируется цепью отрицательной обратной связи, содержащей усилитель разбаланса /операционный усилитель с дифференциальными входами/ и интегрирующую цепь с большой постоянной времени.

Так как площади положительной и отрицательной полуволн биполярного импульса равны, то полный интеграл по времени от одиночного биполярного импульса равен нулю. Последовательность биполярных импульсов

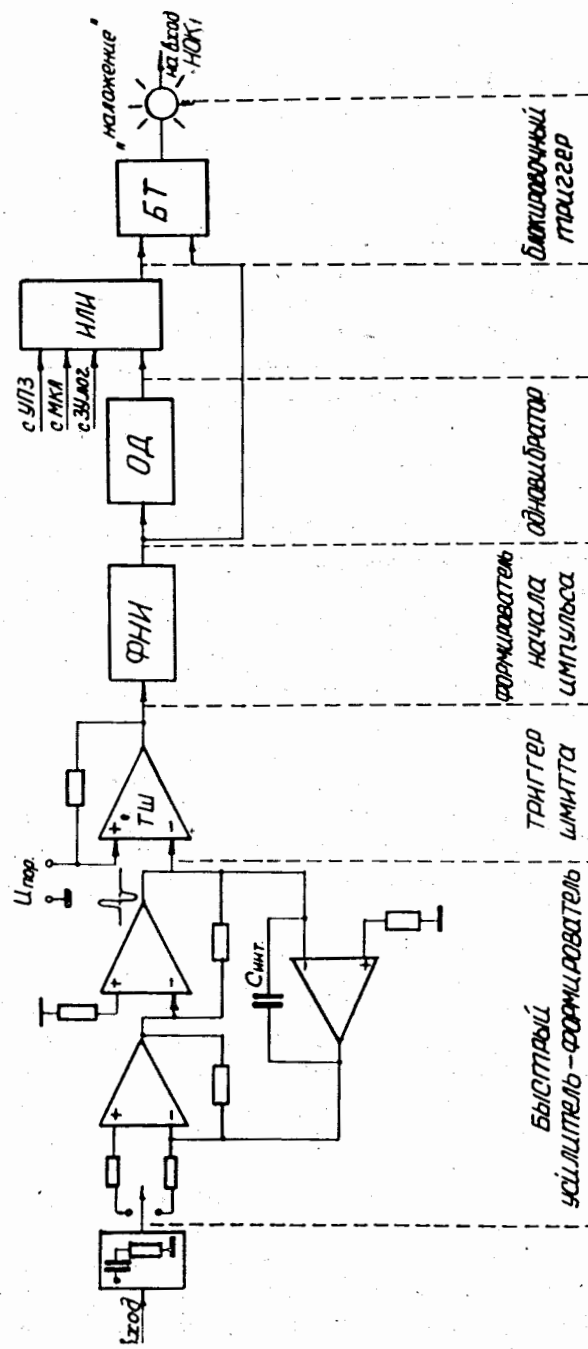


Рис. 3. Блок-схема инспектора наложений.

не вызывает разбаланса в цепи обратной связи и не изменяет исходного уровня на выходе усилителя.

Длительность импульса, сформированного быстрым усилителем, составляет 0,5 мкс и определяет разрешающее время пары импульсов инспектора наложений. Передним фронтом этого импульса запускается триггер Шмитта, выполняющий функцию временной привязки к началу импульса. Длительность выходного импульса триггера Шмитта равна времени, в течение которого входная амплитуда превышает уровень "порога". Она зависит от амплитуды и от установленного уровня порога. Передний фронт этого импульса запускает формирователь, фиксирующий начало каждого спектрометрического импульса. Длительность выходного импульса формирователя равна 0,3 мкс.

Задний фронт импульса "формирователя начала" приводит в действие одновибратор продлевающегося типа. Если, например, с "формирователя начала" пришел второй импульс в момент времени $t < T_{одн}$, т.е. до окончания длительности импульса одновибратора $T_{одн}$, то в этом случае длительность выходного импульса увеличивается до $(t + T_{одн})$.

Длительность импульса одновибратора $T_{одн}$ задается больше времени нарастания спектрометрического импульса. С изменением длительности спектрометрического импульса устанавливается заданная длительность импульса одновибратора переключателем, выведенным на лицевую панель.

Импульс одновибратора подается на вход схемы ИЛИ. С выхода формирователя спектрометрических сигналов на другой вход схемы ИЛИ поступает импульс, длительность которого равна времени спада спектрометрического импульса. На выходе схемы ИЛИ формируется логический импульс, длительность которого приблизительно равна полной длительности спектрометрического импульса.

Если во время длительности спектрометрического импульса пришел второй и т.д. импульс, как показано на рис. 4, то "формирователь начала" дает импульсы, соответствующие началу первого, второго и т.д. импульсов /рис. 4/, и каждый последующий импульс ФНИ,

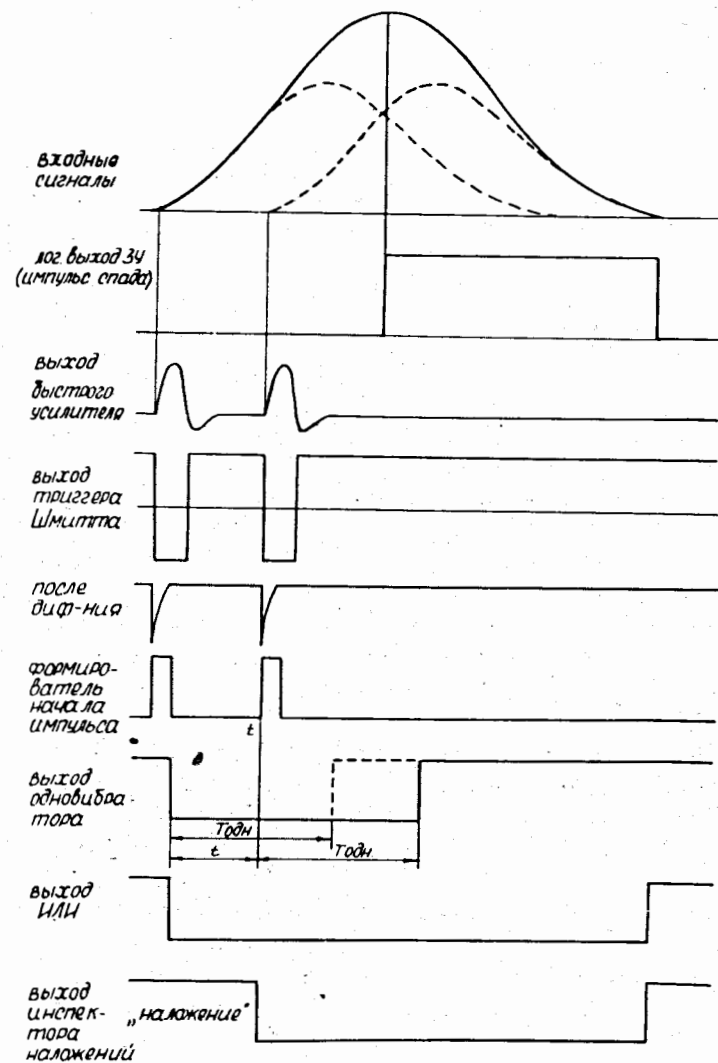


Рис. 4. Временные диаграммы работы формирователя спектрометрических импульсов во взаимодействии с инспектором наложений.

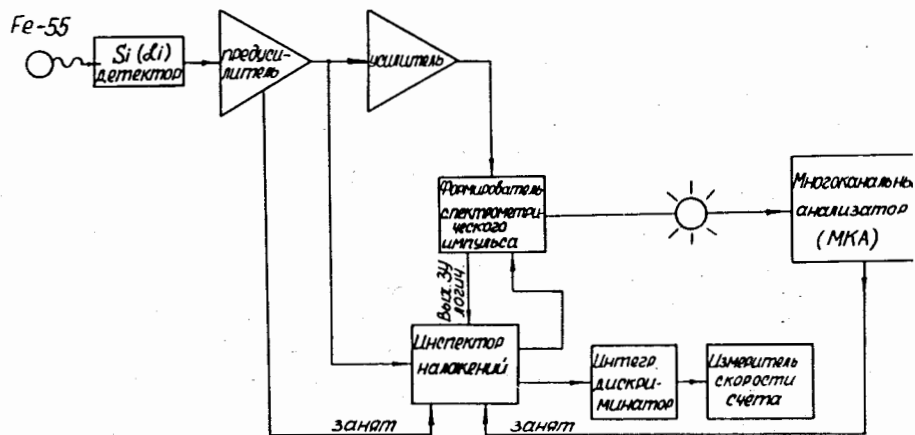


Рис. 5. Схема измерения спектров X-лучей при высоких скоростях счета.

начиная со второго, перебрасывает блокировочный триггер в состояние "Наложение" на время существования выходного импульса спектрометрического усилителя /рис. 4/.

Таким образом, в момент времени, когда последующий импульс наложился на фронт или спад предыдущего, срабатывает инспектор наложений. На время существования импульса "Наложение" загорается сигнальная лампочка.

Общая схема системы измерения X-лучей при высоких скоростях счета приведена на рис. 5. Сигналы с полупроводникового Si(Li) - детектора поступают в мал шумящий предусилитель с резистивной обратной связью.

В предусилителе и в усилителе осуществлена компенсация полюса нулем с помощью компенсационного сопротивления, параллельного конденсатору, соответствующему определенной постоянной времени дифференцирования.

Усиленный и сформированный основным усилителем однополярный импульс подается на вход "формирователя

спектрометрических импульсов". Логический выход зарядного устройства "формирователя" связан со схемой инспектора наложений. Линейный выход предусилителя соединен со схемой инспектора наложений.

Если наложение произошло, то импульс "Наложение" с выхода инспектора наложений блокирует нормально открытый клапан НОК₁ "формирователя спектрометрических импульсов".

Импульс "Наложение" возникает в начале спектрометрического импульса, искаженного наложением на предыдущий импульс. В тот момент, когда суммарный импульс достигает вершины и зарядное устройство формирует начало логического импульса спада /момент прохождения вершины импульса/, НОК₁ уже заблокирован импульсом "Наложение". "Одновибратор памяти" не срабатывает, разряд запоминающей емкости начинается сразу после прохождения вершины суммарного спектрометрического импульса, линейные ворота остаются закрытыми. Таким образом, исключается возникновение наложенных импульсов на выходе схемы формирователя спектрометрических сигналов /рис. 4/.

При необходимости продлить длительность импульса "Наложение" предусмотрена возможность сложения этого импульса с логическим импульсом "Занят". Например, можно подавать импульс "Занят" с логического выхода предусилителя или с многоканального анализатора, если он не готов к анализу /рис. 5/.

Порог триггера Шмитта устанавливается для каждого типа детектора таким образом, чтобы триггер иногда срабатывал от шумовых импульсов. Настройка осуществляется по индикаторной лампочке. Сигнал "Наложение" должен появляться приблизительно один раз в секунду.

Уровень порога в спектрометрическом тракте устанавливается таким, чтобы шум не достигал зарядного устройства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Рисунки 6-9 демонстрируют качество работы формирователя спектрометрических импульсов и схемы исклю-

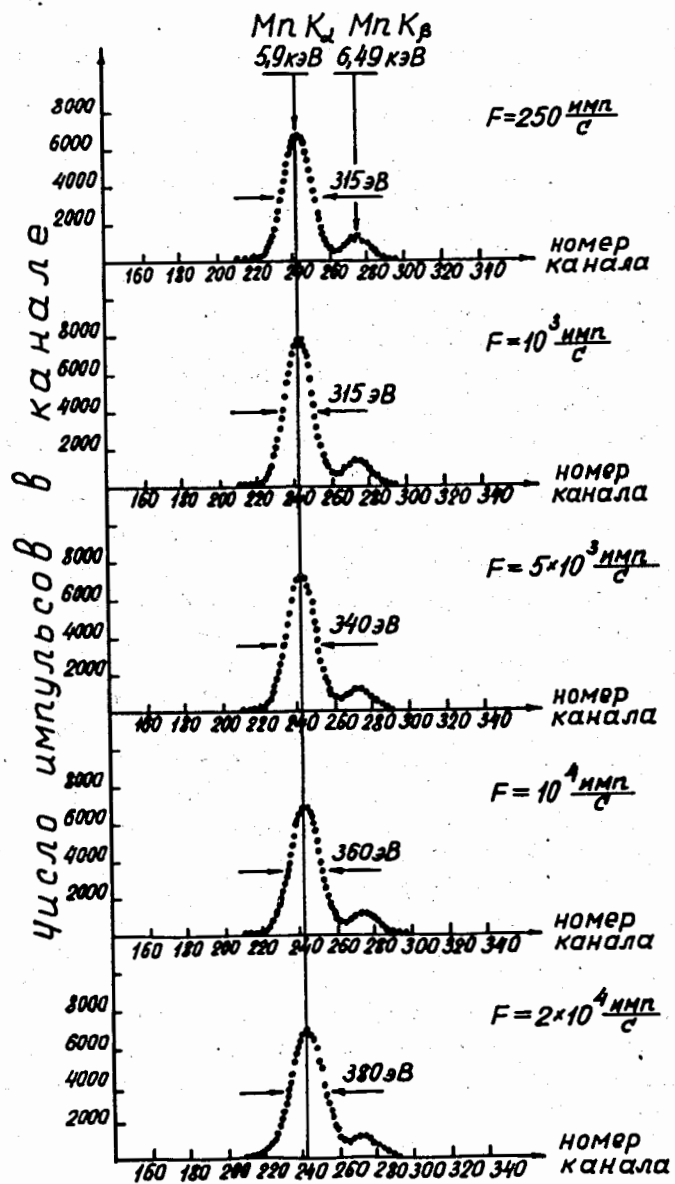


Рис. 6. Спектры X-лучей K-серии Mn /от источника ^{55}Fe / для разных значений интенсивности.

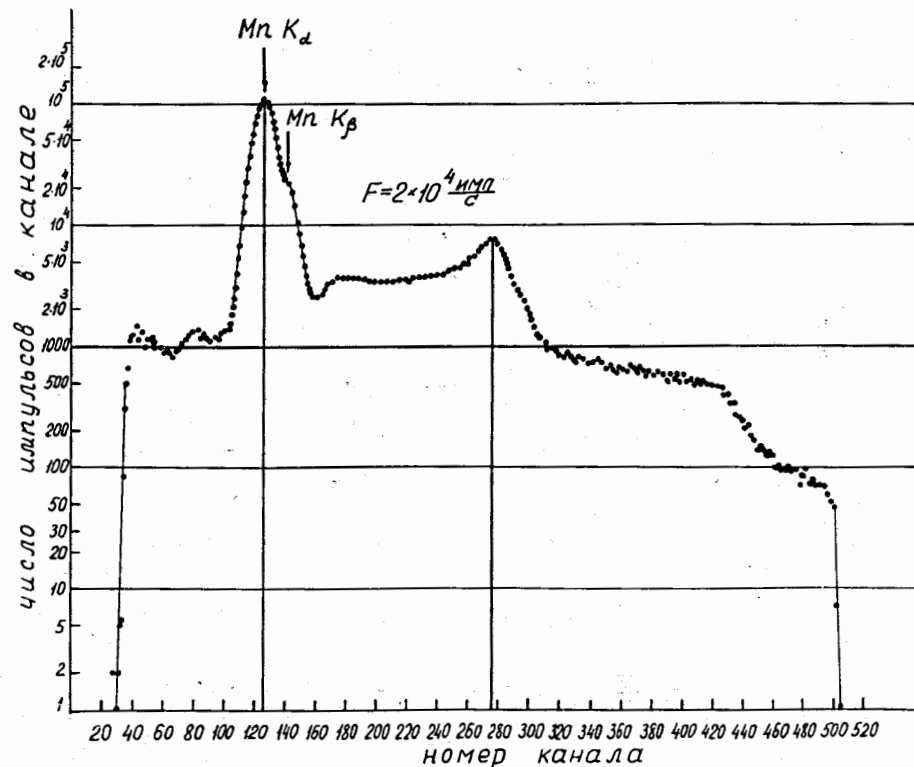


Рис. 7. Спектр X-лучей Mn для интенсивности $2 \cdot 10^4$ имп/с без использования инспектора наложений.

чения наложений. Измерения проводились с предусилителем, имеющим резистивную обратную связь. Между зарядочувствительной и второй секцией предусилителя вводилось дифференцирование с постоянной времени 50 мкс и с компенсацией полюса нулем.

Усилитель собирался из блоков усилителя УСТ-3. Связи между каскадами усилителя гальванические. Для стабилизации выходного уровня усилителя по постоянному току использовалась схема стабилизации выходного уровня, принцип действия которой изложен выше. Основное дифференцирование с компенсацией полюса нулем осуществлено на входе усилителя. Спектрометрический сигнал четырехкратно интегрировался активными интегрирующими каскадами ^{19/} и однократно - пассивной ин-

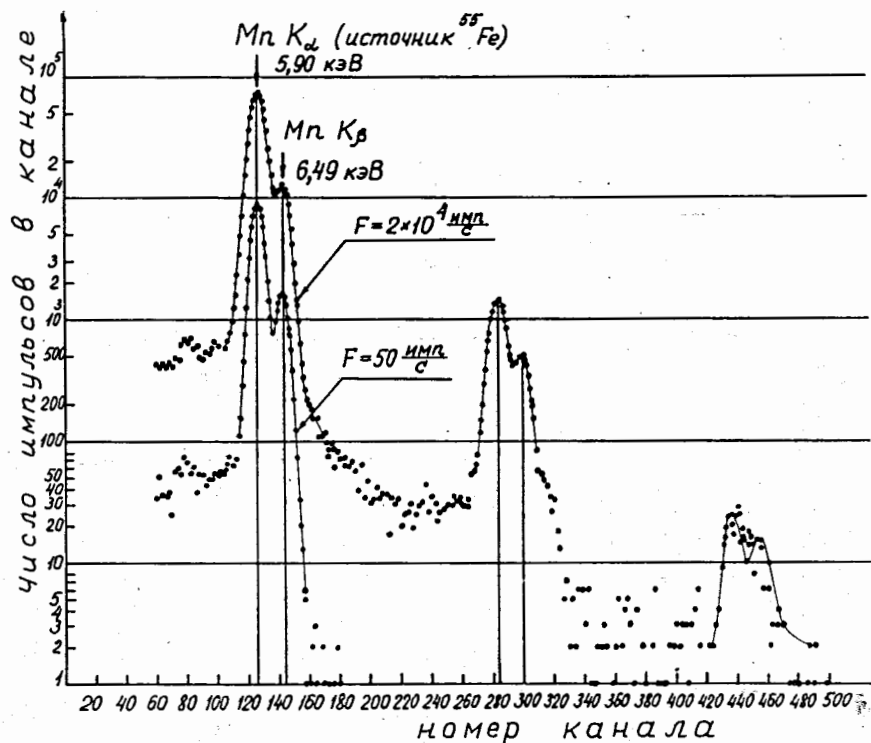


Рис. 8. Спектр X-лучей Mn для интенсивности $2 \cdot 10^4$ имп/с с использованием инспектора наложений.

тегрирующей цепью. Длительность переднего фронта спектрометрического импульса составляла 13 мкс, длительность спада - 15 мкс.

На рис. 6 приведены спектры X-лучей K-серии Mn /источник ^{55}Fe / для разных интенсивностей. Ухудшение разрешения составляет 20% при изменении интенсивности от 50 имп/с до $2 \cdot 10^4$ имп/с. Смещения максимумов амплитудного распределения практически не происходит. На рис. 7 приведен спектр рентгеновского излучения Mn для интенсивности $2 \cdot 10^4$ имп/с с применением только формирователя спектрометрических импульсов без схемы инспектора наложений. На рис. 8 представлен спектр, снятый в тех же условиях, но с применением схемы инспектора наложений, и спектр

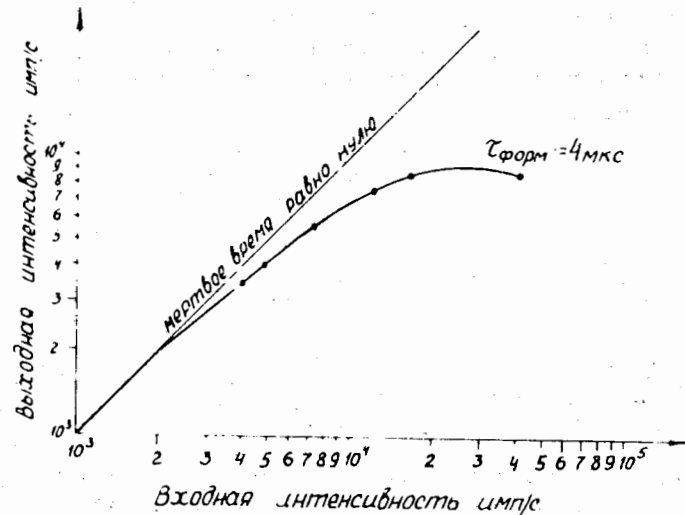


Рис. 9. Зависимость интенсивности на выходе формирователя от входной интенсивности. Схема измерения соответствует рис. 5.

для тех же условий, но при интенсивности 50 имп/с. На спектре рис. 8 для интенсивности $2 \cdot 10^4$ имп/с отчетливо наблюдаются пики истинно двойных и тройных наложений. Уровень фона между неналоженными пиками и пиками двойных наложений, а также между пиками наложений уменьшается на два порядка.

На рис. 9 приводится зависимость интенсивности на выходе формирователя спектрометрических импульсов от входной интенсивности с применением инспектора наложений.

Результаты измерений характеристик устройства показывают, что оно позволяет реализовать разрешение спектрометра на интенсивностях до $2 \cdot 10^4$ Гц. Устройство отвечает требованиям, поставленным в начале работы.

Ухудшение разрешения объясняется невозможностью точной компенсации спада импульса на выходе первой секции предусилителя из-за использования в ней резистивной обратной связи.

Устройство предназначено для спектрометра с импульсной световой обратной связью, в котором трудности, связанные с компенсацией спада импульса первой секции предусилителя, практически отсутствуют, и ухудшение разрешения из-за изменения интенсивности должно быть заметно меньшим, чем ухудшение, наблюдаемое на рис. 6.

Литература

1. D.A.Landis, F.S.Goulding, R.H.Pehl and I.T.Walton. *Pulsed Feedback Techniques for Semiconductor Detector Radiation Spectrometers. IEEE Trans., NS-18, No. 1, 1971, p. 115-124.*
2. I.Llacer. *Accurate Measurement of Noise Parameters in Ultra-Low Noise Opto-feedback Spectrometer Systems. Proceedings 2-nd ISPRA Nuclear Electronics Symposium. Stresa. Italy, May 20-23, 1975.*
3. K.Kandiah, A.I.Smith and White. *A Pulse Processor for X-Ray Spectrometry with Si(Li) - Detectors. Proceedings 2-nd ISPRA Nuclears Electronics Symposium. Stresa, Italy, May 20-23, 1975.*
4. Е.Ковальский. *Ядерная электроника, Москва, Атомиздат, стр. 136, 1972.*
5. P.Casoli, P.E.Manfredi. *Accuracy and Charging Speed in Pulse Stretchers. Part 1. Energia Nuclear, v. 16, No. 7, p. 446. Part 2. Energia Nuclear, v. 16, No. 8, p. 487.*
6. R.Patzelt. *Nucl.Instr. and Meth., 59, 283 /1966/.*
7. V.Larry. *East. Rev.Sci.Instr. 41, No. 8, 1245-1246, 1970.*
8. А.М.Зубарева, Г.Г.Субботина, В.Г.Субботин. *Препринт ОИЯИ, 13-4458, Дубна, 1969.*
9. В.Г.Субботин. *Авторское свидетельство №531248, ОИПОТЗ 1976 г. №37 ст. 148.*

Рукопись поступила в издательский отдел
7 декабря 1976 года.