

0-67

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 8976

ОРМАНДЖИЕВ
Славко Иванов

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ
АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ДЕТЕКТОРОВ ИЗЛУЧЕНИЙ

Специальность: 05.11.10 - приборы для измерения
ионизирующих излучений и рентгеновские приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук

В.Г. ЗИНОВ

Официальные оппоненты
доктор технических наук

Л.А. МАТАЛИН

Ведущее научно-исследовательское учреждение -
НИИЯФ МГУ Москва.

Автореферат разослан " " _____ 1975 года.

Защита диссертации состоится " " _____ 1975 года.
в _____ часов на заседании Ученого совета Лаборатории
ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований,
г.Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

В.А. БАТУСОВ

13 - 8976

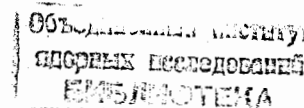
ОРМАНДЖИЕВ
Славко Иванов

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ
АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ДЕТЕКТОРОВ ИЗЛУЧЕНИЙ

Специальность: 05.11.10 - приборы для измерения
ионизирующих излучений и рентгеновские приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Внедрение полупроводниковых детекторов в технике физического эксперимента позволило существенно повысить точность измерения энергии гамма-квантов и заряженных частиц. Быстрое освоение новой методики стало возможным благодаря использованию новых электронных элементов, схемных решений и теоретических расчетов по оптимальной фильтрации сигналов. Это позволило получить хорошие соотношения шум/сигнал и нагрузочные характеристики. Аналогичные вопросы возникают в случае усиления токовых импульсов с многократных пропорциональных камер.

В процессе конструирования линейного спектрометрического усилителя решается задача выбора схем отдельных формирующих каскадов. Отсутствие в настоящее время полной информации о схемах формирователей затрудняет решение этой задачи. Увеличение разновидностей применяемых формирователей расширяет возможность конструкторов при создании приборов с лучшими параметрами.

Немаловажным является и вопрос о режекции наложенных импульсов. Качество режекции в большой мере определяется линейным пропускающим устройством: его нелинейностью, дрейфом нулевого уровня и пьедесталом. Существенное влияние на точность измерений оказывает устройство, управляющее пропусканием.

Данная диссертация посвящена этим и некоторым другим вопросам оптимизации работы аналоговых устройств обработки сигналов детекторов излучений. Диссертация состоит из введения и четырех глав.

В первой главе проанализирована работа зарядочувствитель-

ных усилителей. Выбрана модель и составлены уравнения, описывающие их действие. Подробно рассмотрены случаи использования зарядочувствительного усилителя как с высокоомными, так и с низкоомными детекторами.

Проведено исследование влияния шумовых свойств отдельных каскадов на выходной шум. Показано, что при низкоомном детекторе $/IO/$ распределение спектральной плотности шумов зарядочувствительного усилителя имеет вид:

$$S_{\Sigma}'(\omega) = A \frac{\omega^2}{\psi^2 + \omega^2} + B \frac{1}{\psi^2 + \omega^2} \left(1 + \frac{A}{B \cdot \tau_B^2} \right),$$

где $\psi^2 = 1/RB_1 C_0 \cdot K_0$,

$$\tau_B = RB_1 (C_0 + C_{B1}),$$

RB_1 - сопротивление детектора,

C_0 - ёмкость цепи обратной связи,

C_{B1} - входная ёмкость первого каскада,

K_0 - коэффициент усиления усилителя.

В случае, когда к входу зарядочувствительного усилителя подключен каскад с общим затвором, выражение для спектральной плотности шума имеет вид:

$$S_{\Sigma}'(\omega) = A \left[1 - \frac{2 \cdot C_0 \cdot C_{B1}}{(C_0 + C_{B1})^2} \right] + \frac{B}{\omega^2} \left[1 + \frac{A}{B \tau_B^2} + M(S') \right],$$

где $M(S')$ - коэффициент, зависящий от спектральных плотностей шумов отдельных источников.

Влияние шумов последующих каскадов уменьшается с увеличением крутизны характеристики входного полевого транзистора. Параллельное включение нескольких входных транзисторов улучшает только фронт выходного импульса. Включение каскада с общим затвором приводит к повышению параллельного шума как в случае высокоомного детектора, так и при низкоомном детекторе, но не приводит к изменению длительности спада выходного импульса.

Глава вторая посвящена анализу фильтрации шумов с выхода зарядочувствительного усилителя RC ячейками. Определены оптимальные величины постоянной времени дифференцирования и отношения постоянных времен дифференцирования и интегрирования при разных количествах дифференцирующих и интегрирующих звеньев.

Для оптимальных параметров вычислены величина амплитуды выходного импульса и отношения шум/сигнал. Показано, что соотношение f между постоянными дифференцирования τ_d и интегрирования τ_i в районе единицы оптимально только при однократном дифференцировании, а при дву- и трехкратном - соответствует самому худшему соотношению шум/сигнал (рис. 1, 2, 3)

В качестве критерия оценки нагрузочной способности усилителей^{/3/} предложено использовать величину минимального интервала времени между двумя следующими друг за другом импульсами одинаковой амплитуды $t_p(\psi)$, при котором второй импульс будет измерен с ошибкой ψ . Получены числовые значения

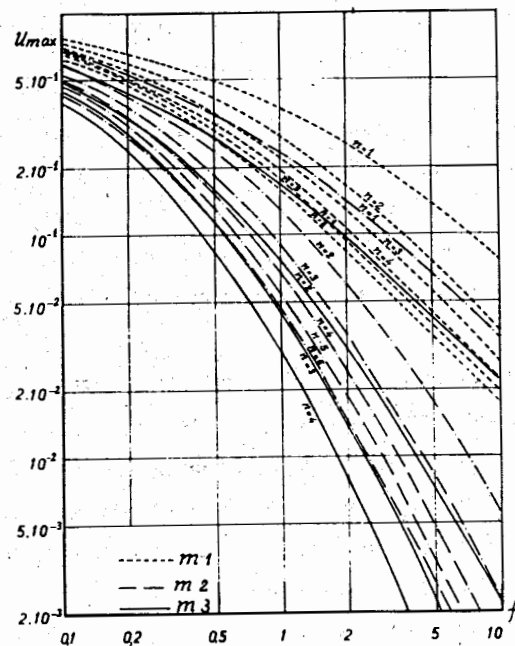


Рис. 1. Зависимость амплитуды импульса от соотношения постоянных дифференцирования ($m = 1 \div 3$) и интегрирования ($n = 1 \div 6$).

Рис. 2. Зависимость оптимальной постоянной времени формирователя от соотношения постоянных дифференцирования ($m = 1 \div 3$) и интегрирования ($n = 1 \div 6$).

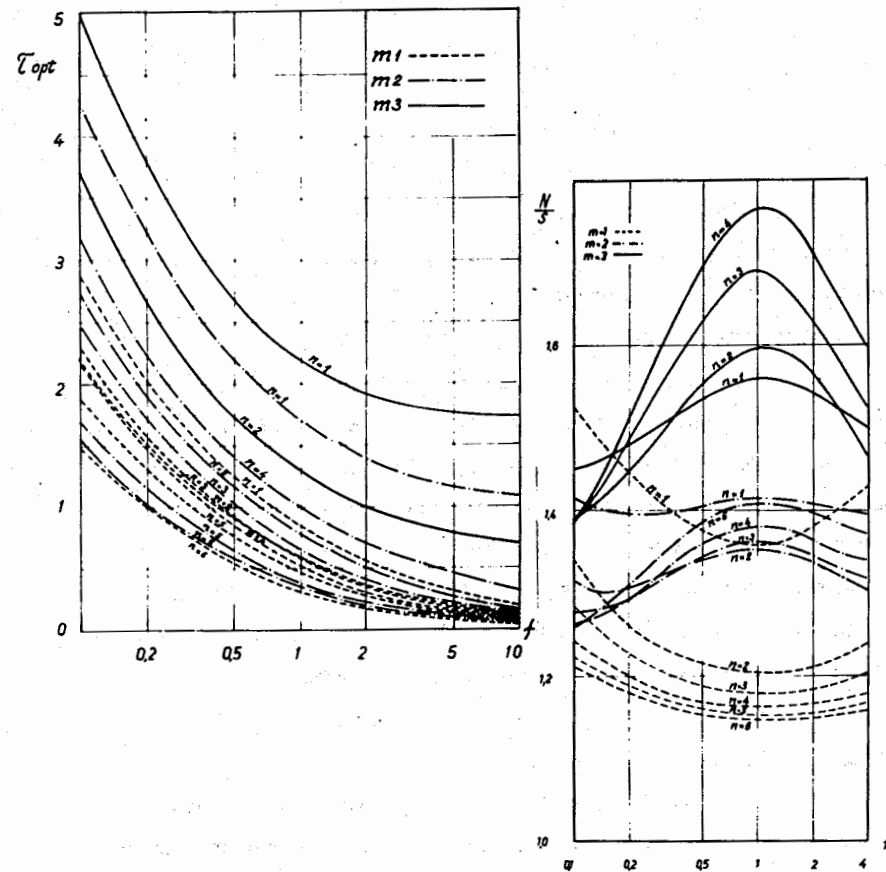


Рис. 3. Зависимость соотношения шум/сигнал от соотношения постоянных дифференцирования ($m = 1 \div 3$) и интегрирования ($n = 1 \div 6$).

для кратности дифференцирования ($I \div 3$) и для кратности интегрирования $I \div 6$ при $\tau_g = \tau_u / f$ и $\psi = 10^{-3}$. На рисунке 4 показаны результаты вычислений. Параметр $t_p(\psi)$ назван расчетным разрешающим временем. Он дает лучшую количественную оценку качества работы формирователя по отношению к существующим методам. Видно, что при равенстве постоянных дифференцирования и интегрирования имеем лучшие загрузочные характеристики.

Предложено определение времени восстановления $t_B(\psi)$ после амплитудной перегрузки^{/3/} как минимальный интервал между двумя импульсами, первый из которых в 100 раз больше второго, при котором второй импульс будет измерен с ошибкой $\psi = 10^{-2}$. Этот критерий подходит для экспериментальной оценки перегрузочной способности спектрометрических усилителей. На рис. 5 показаны результаты вычислений.

Проанализировано влияние нестабильности фронта входного импульса на нестабильность амплитуды выходного импульса^{/2/}. Показано, что количество интегрирующих цепей не влияет существенно на величину нестабильности амплитуды выходного импульса. Получено выражение для оптимальных постоянных времени формирования при работе с низкоомным детектором. В случае подключения к входу зарядочувствительного усилителя каскада с общим затвором при изменении сопротивления детектора изменяются только величины параллельного и последовательного шума.

В следующих главах описаны разработанные автором на основе расчетов ряд устройств.

В третьей главе описаны схемы зарядочувствительного и линейных импульсных усилителей. Экспериментально подт-

Рис. 4. Зависимость интервала между двумя одинаковыми по амплитудам импульсам, при котором амплитуда второго импульса изменяется на $\psi = 10^{-3}$ исходной величины (расчетное разрешающее время $t_p(\psi)$), от соотношения постоянных дифференцирования и интегрирования $\tau_g = \tau_u / f$.

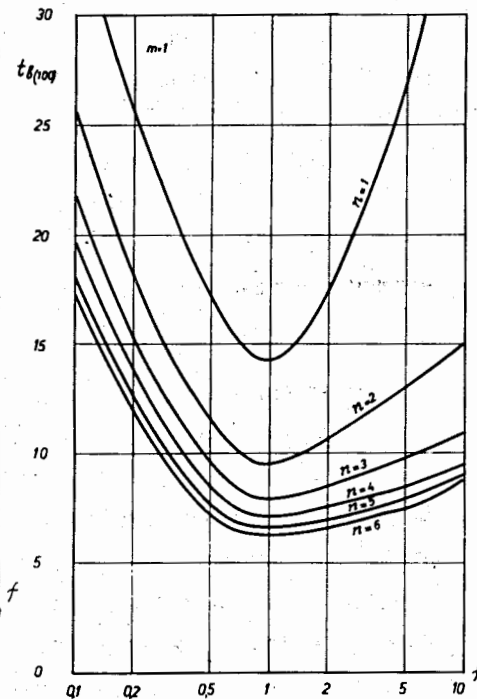
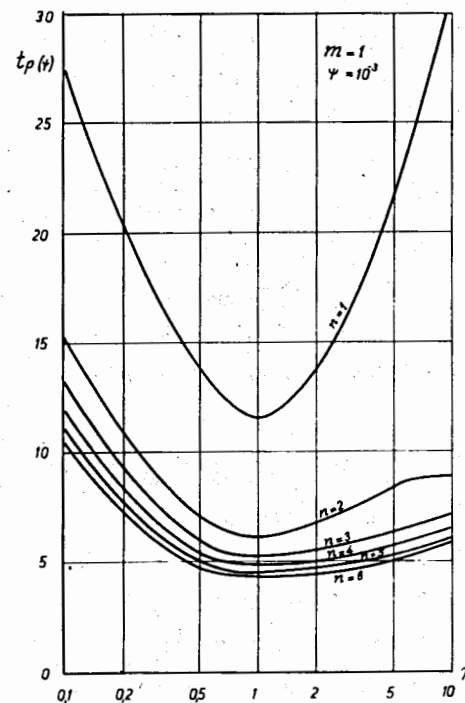


Рис. 5. Зависимость времени восстановления после амплитудной перегрузки $t_B(100)$, определенная как интервал между импульсами, первый из которых в 100 раз больше второго, при котором амплитуда второго импульса изменяется на $\psi = 10^{-2}$ исходной величины, от отношения постоянных дифференцирования и интегрирования ($m=1; n=1 \div 6$).

верждено преимущество зарядочувствительного усилителя, к входу которого подключен каскад с общим затвором, при низкоомном сопротивлении детектора. Показано^{/6/}, что однократное дифференцирование и однократное интегрирование RLC -контуром с компенсацией полюса нулем имеет в два раза больший коэффициент передачи, чем эквивалентная цепь на RC -элементов. Предложены две схемы интеграторов на операционных усилителях с одновременным дифференцированием и компенсацией полюса нулем. Описаны четыре схемы линейных спектрометрических усилителей. Первые три усилителя выполнены на транзисторах. Они включают RC - и RLC -цепочки формирования^{/4/}. Четвертый разработан в основном на интегральных схемах. В нем применены интеграторы на операционных усилителях. Описанные зарядочувствительные усилители и линейные импульсные усилители нашли применение в физических измерениях, проводимых в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и в НИИЯФ МГУ.

В четвертой главе диссертации описано устройство режески наложений^{/11/}. Оно состоит из блока предварительного отбора неискаженных импульсов и линейного пропускающего устройства. Блок предварительного отбора предназначен для исключения как импульсов, наложенных на спад предыдущего, так и на фронт анализируемого. Он выполнен на интегральных схемах, поэтому имеет высокую температурную стабильность.

Отличительной особенностью линейного пропускающего устройства^{/12/} является то, что оно охвачено полностью цепью отрицательной обратной связи, поэтому его нелинейность достаточно мала. Темпе-

ратурный дрейф незначителен как из-за глубокой отрицательной обратной связи, так и вследствие применения операционных усилителей с малым температурным дрейфом.

Устройства используются в работах^{/7,8,9,10/} и в измерительных комплексах ЛЯП ОИЯИ и НИИЯФ МГУ.

В основе диссертации положены работы, опубликованные в $/I-6, II, 12/$ и доложенные на Международном симпозиуме по ядерной электронике (Варшава, 1971)^{/5/}.

Основные выводы диссертации можно сформулировать следующим образом:

1. Разныты теоретические представления о шумовых свойствах зарядочувствительных усилителей. В частности:

а) Рассчитаны шумовые свойства зарядочувствительных усилителей при работе с низкоомным детектором. Получены выражения для частотного распределения спектральной плотности мощности шума в данном случае.

б) Рассчитаны шумовые свойства зарядочувствительного усилителя, к входу которого подключен каскад с общим затвором, при работе с низкоомным детектором. Показано, что при этом изменяется отношение величин параллельного и последовательного шума.

в) Показано, что в случае низкоомных детекторов схема с общим затвором обладает лучшими шумовыми характеристиками.

2. Систематизирован и развит анализ формирователей с RC цепями. В частности:

а) Получены выражения зависимости амплитуды импульса, времени достижения максимума, оптимальной постоянной времени формирования, минимальной величины среднеквадратического напряжения шума и оптимального соотношения шум/сигнал от количества дифференцирующих и интегрирующих звеньев, от соотношения постоянных дифференцирования к постоянным интегрирования и от влияния дополнительной дифференцирующей цепи на это соотношение.

Показано, что случай одинаковых констант формирования оптимален с точки зрения соотношения шум/сигнал только при однократном дифференцировании. При двукратном и трехкратном дифференцировании это соответствует самому худшему соотношению шум/сигнал.

б) Получены выражения для зависимости относительного изменения амплитуды выходного импульса от изменения фронта входного. Показано, что относительное изменение выходного импульса слабо зависит от количества интегрирующих звеньев, и возрастает с увеличением дифференцирующих звеньев.

в) В качестве критерия загрузочной способности введен минимальный интервал между двумя одинаковыми по амплитуде импульсами, при котором второй импульс измеряется с ошибкой ψ . Этот критерий дает лучшее количественное представление о работе формирователя, чем ранее предложенные.

г) В качестве критерия амплитудной перегрузочной способности введен минимальный интервал между двумя последовательными импульсами, первый из которых в 100 раз больше второго,

при котором второй импульс будет измерен с ошибкой 10^{-2} . Этот критерий дает возможность для точного измерения перегрузочных свойств линейных спектрометрических усилителей.

3) Разработаны линейные импульсные усилители, в частности:

а) Схема компенсации полюса нулем на RL -элементах, равносильная RC -схеме с компенсацией полюса нулем.

б) Схема компенсации полюса нулем на RLC -элементах. Схема дает возможность в два раза уменьшить приведенный к входу шум линейного спектрометрического усилителя.

в) Интегратор на RLC -элементах в критическом и колебательном режимах. Он позволяет уменьшить количество буферных каскадов и длительность сформированного импульса по сравнению со схемой на RC -элементах.

г) Интеграторы на операционных усилителях с цепями компенсации полюса нулем. Они позволяют получить однократное дифференцирование и однократное или двукратное интегрирование входных импульсов и компенсацию полюса зарядочувствительного усилителя нулем.

4. Разработан комплекс спектрометрических устройств для работы с полупроводниковыми детекторами и многонитяными пропорциональными камерами. Он включает:

а) Зарядочувствительные усилители для спектрометрии с полупроводниковыми детекторами и многонитяными пропорциональными камерами.

б) Линейные спектрометрические усилители на транзисторах и на интегральных схемах с коэффициентом усиления $K_M = 600$,

приведенным к входу шумом $7 \div 20$ мкВ и температурной нестабильностью $< 10^{-4}/1^\circ\text{C}$.

в) Устройство предварительного отбора спектрометрических импульсов, управляющее их поступлением на преобразователь амплитуда-код. Все пороговые элементы выполнены на интегральных схемах, что обеспечило высокую стабильность работы устройства.

г) Линейная схема пропускания, у которой цепь обратной связи охвачены все каскады. Глубокая отрицательная обратная связь резко уменьшает нелинейность. Температурный дрейф определяется в основном использованными операционными усилителями и имеет величину $< 10^{-4}\text{В}/1^\circ$.

Литература:

1. С.И. Орманджиев, ОИЯИ, Р6-6052, Дубна, 1971.
2. С.И. Орманджиев, ОИЯИ, Р13-6219, Дубна, 1972.
3. С.Р. Аврамов, С.И. Орманджиев, ОИЯИ, Р13-6223, Дубна, 1972.
4. С.И. Орманджиев, Труды VI симпозиума по ядерной электронике, Д13-6210, с. 105, Дубна, 1972.
5. С.Р. Аврамов, С.И. Орманджиев, ОИЯИ, 6-6603, Дубна, 1972.
6. С.И. Орманджиев, ОИЯИ, 13-6812, Дубна, 1972.
7. В.С. Александров, Ц. Вылов, Т.М. Муминов, Б.П. Осипенко, С.И. Орманджиев, ОИЯИ, 13-7306, Дубна, 1973.
8. В.А. Биржков, В.М. Вахтель, Н.А. Головкин, В.Г. Зинов, А.Д. Конин, С.И. Орманджиев, ОИЯИ, Р13-7775, Дубна, 1974.
9. Ц. Вылов, И.Н. Егшин, С.И. Орманджиев, Б.П. Осипенко, Д. Срна, Я. Брковский, ПТЭ № 3, 45, 1973.
10. В.М. Вахтель, В.Г. Зинов, С.И. Орманджиев, ОИЯИ, 13-8704, Дубна, 1975.
11. Б.А. Аликов, С.И. Орманджиев, ОИЯИ, 13-8606.
12. С.И. Орманджиев, Доклады БАН, том. 16, № 3, р 229, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 июня 1975 года.