

Д-713

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

13-91-354

ДО ХОАНГ КЫОНГ

УДК 539.1.075

**ЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ И УСТРОЙСТВА
ДЛЯ АМПЛИТУДНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Специальность: 01.04.01 - техника физического
эксперимента, физика приборов,
автоматизация физических
исследований

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1991

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный консультант
доктор физико-математических наук,
профессор

Акимов Ю.К.

Научный руководитель
кандидат технических наук
старший научный сотрудник

Мерзляков С.И.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук,
профессор

Шитович А.П.

кандидат технических наук
старший научный сотрудник

Тишин В.Г.

Ведущая организация: Институт физики высоких энергий
(Серпухов).

Защита состоится "—" "—" 1991 г., в " " часов на
заседании специализированного совета Д 047.01.05 при Лаборатории
нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "—" "—" 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Таран Ю.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для современной экспериментальной ядерной физики решение широкого круга задач связано с созданием комплексных физических установок, оснащенных системами многомерного амплитудного и временного анализа. При этом возможности используемых детекторов реализуются в зависимости от характеристик применяемых электронных модулей и устройств. Типичными, не утрачивающими свою актуальность задачами являются повышение точности, быстродействия, и многоканальности электронной аппаратуры. Эта проблематика рассматривается и в настоящей диссертации.

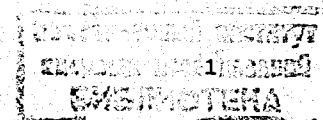
Цель работ состояла в повышении быстродействия, точности и многоканальности различных спектрометрических устройств для амплитудных и временных измерений с полупроводниковыми (ППД), сцинтилляционными и газовыми детекторами.

Научная новизна и основные положения, защищаемые в диссертации, заключаются в следующем:

1. предложен ряд схемных решений, на основе которых разработана линейка модулей для построения полупроводникового γ -спектрометра, рассчитанного на повышенные загрузки (предусилитель, спектрометрический усилитель, селектор временных интервалов, синхронизатор записи в буферную память, дифференциальный дискриминатор, формирователь со следящим порогом).
2. разработана аппаратура для прецизионной калибровки широкодиапазонных наносекундных временных спектрометров.
3. разработан с применением ряда новых схемных решений набор модулей и устройств для построения многодатчиковых и многомерных систем: четырехканальный быстрый усилитель и линейный усилитель-инвертор, компактный предусилитель, кольцевая буферная память, а также электроника двухкоординатных проволочных камер, работающих в гейгеровском режиме.
4. разработаны новые варианты электронной аппаратуры для диагностики "растяжки" и интенсивности пучков ускорителя.

Практическая ценность работ, составивших диссертацию, состоит в том, что:

1. модули, разработанные для спектрометрии с ППД, нашли применение в физических экспериментах, в частности, в исследовании на



фазотроне ЛЯП ОИЯИ монопольного возбуждения ядра при распаде связанного мюона.

2. аппаратура, разработанная для количественного анализа характеристик пучков ускорителей, используется на фазотроне для исследования взаимодействий протонов промежуточных энергий с ядрами и поиска аномалий в процессах рождения пионов.

3. Большинство из представленных в диссертации электронных модулей обеспечено необходимой документацией и выпускается Опытным производством ОИЯИ.

Основные работы диссертации докладывались и обсуждались на XIV Международном симпозиуме по ядерной электронике (Варшава, сентябрь 1990 г.) и семинарах ЛЯП ОИЯИ и опубликованы в работах [1-10]. Эти результаты получены автором в период с 1985 по 1990 гг.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Она содержит 97 страниц машинописного текста, 4 таблицы и 33 рисунка. Список литературы насчитывает 190 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы, отмечены новизна и значение полученных результатов, изложены основные положения, которые выносятся на защиту, и приводится краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе описывается ряд электронных блоков, составляющих основную часть спектрометра для прецизионных амплитудных и временных измерений с ППД. К ним относятся быстрый предусилитель П 223 [1], спектрометрический усилитель КА 234А [1], селектор временных интервалов КЛ 230 [1], дифференциальный дискриминатор КА 255 [2], формирователь со следящим порогом КА 240 [2] и синхронизатор записи в буферную память КЛ 228 [1]. Созданная электроника позволяет проводить измерения при повышенных нагрузках - до 10^5 имп./с.

При разработке модулей для амплитудных измерений с ППД ставилась задача обеспечения достаточно хорошего разрешения по энергии при больших нагрузках. Эта задача решалась следующими способами:

1) применением на входе предусилителя нового полевого тран-

зистора КП 341А (крутизна ≈ 27 мА/В, ток затвора ≈ 1 нА, входная емкость ≈ 4 пФ и ток стока ≈ 15 мА);

2) использованием на выходе зарядочувствительной секции предусилителя транзисторов с высоким максимально допустимым напряжением, что позволило достигнуть динамического диапазона ± 15 В;

3) применением управляемого операционного усилителя "напряжение-ток" для построения время-вариантного восстановителя нулевой линии выходной секции спектрометрического усилителя.

4) применением метода режекции наложенных импульсов.

Зарядочувствительный предусилитель П 223 позволяет получать одновременно амплитудную (Е) и временную (Т) информацию. Временной канал не вносит дополнительных шумов в амплитудный канал. Собственное разрешение предусилителя не хуже 0,85 КэВ с наклоном 20 эВ/пФ при постоянной формировании спектрометрического усилителя КА 234А - 2 мкс. Время нарастания сигнала на выходе Е предусилителя не более 20 нс с наклоном 0,5 нс/пФ. Коэффициент усиления зарядочувствительной секции с разомкнутой обратной связью не менее $2 \cdot 10^4$. Коэффициент усиления временного канала Т предусилителя - 10, время нарастания - 3 нс.

В качестве основного усилителя (разработан под руководством А.И. Калинина) предложен усовершенствованный вариант спектрометрического усилителя КА 234. Основное отличие КА 234А от прототипа состоит в том, что во время-вариантном восстановителе нулевой линии выходного каскада применен не операционный усилитель напряжения, а управляемый операционный усилитель "напряжение-ток". Упрощенная принципиальная схема этого узла приведена на рис.1. С помощью операционного усилителя "напряжение-ток" осуществляется отрицательная обратная связь с выхода последнего каскада усилителя на его неинвертирующий вход. При появлении сигнала усилитель "напряжение-ток" закрывается логическим сигналом "мертвое время" и нулевая линия поддерживается в течение всего импульса конденсатором С3. Таким образом стабилизируется выходной потенциал усилителя в интервалах между рабочими импульсами. В результате модернизации нагрузочная способность усилителя возросла до 10^5 имп./с без существенного ухудшения разрешения. С Ge(Li) детектором объемом 55 см³ полная ширина на полувысоте пика от ⁶⁰Со составила 2,9 КэВ. Стандарт исполнения блока КА 234А - КАМАК шириной 2М.

Дополнительное улучшение разрешающей способности χ -спектрометра при больших нагрузках достигается с помощью селектора временных интервалов КЛ 230, применяемого для исключения случаев с наложенными сигналами. Кроме того, КЛ 230 может быть использован в системах многомерного анализа для отбора одиночных событий внутри заданного временного интервала, например, при проведении измерений мезорентгеновских спектров. В модуле размещены два независимых селектора. Стандарт исполнения - КАМАК шириной 2М.

Синхронизатор записи в буферную память КЛ 228 предназначен для организации записи информации в буферные памяти (БП) коррелированных цифровых слов с амплитудно- и время-цифровых преобразователей (АЦП и ВЦП) в системах многомерного анализа. Модуль осуществляет проверку на совпадение поступающих от АЦП и ВЦП сигналов

"Вызов" в течение заданного временного интервала "Т". Если имеются совпадения, то формируются сигналы "Запись" для БП. Сигналы "Код принят" для преобразователей появляются или при отсутствии совпадений сигналов "Вызов", или при одновременном наличии сигналов "Ответ", поступивших с БП. Сигнал L формируется модулем или при отсутствии совпадений сигналов "Ответ", или через 256 несовпадений сигналов "Вызов". К прибору можно подключить параллельно до восьми преобразователей и восьми БП. Выбор номеров входов и выходов осуществляется клавишными переключателями. Стандарт исполнения - КАМАК шириной 2М.

Далее в этой главе описываются дифференциальный дискриминатор для микросекундных и наносекундных сигналов КА 255 и формирователь со следящим порогом для полупроводниковых детекторов КА 240. Они выполнены в стандарте КАМАК шириной 2М. Дискриминатор обладает температурной нестабильностью порога $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, диапазон изменения уровней порогов - от 10 мВ до 5 В, полярность входных сигналов - любая.

Формирователь КА 240 предназначен для работы во временном канале χ -спектрометров на базе ППД. Прибор выполнен на основе подхода "fast-fast coincidence", то есть имеет в своем составе кроме формирователя со следящим порогом амплитудный дифференциальный дискриминатор и режектор сигналов с затянутым фронтом. Последние обусловлены наличием краевых эффектов в коаксиальных германиевых детекторах и существенно ухудшают амплитудное и временное разрешение спектрометров. Прибор имеет три моды работы, а именно: временная привязка к моменту пересечения входным сигналом постоянного порога (LE - Leading Edge); привязка к постоянной части амплитуды (CF - Constant Fraction); мода CF, дополненная режекцией сигналов с затянутым фронтом (SRT - Slow Rise Time Reject). В диапазоне амплитуд от 40 мВ до 4 В погрешность временной привязки к входным импульсам с фронтами 2 нс, 6 нс и 100 нс составляет соответственно $\pm 0,1$ нс, $\pm 0,4$ нс и ± 2 нс. Остальные параметры формирователя аналогичны соответствующим параметрам описанного выше блока КА 255.

Система для прецизионной двухмерной χ -спектрометрии состоит из двух одинаковых каналов, каждый из которых включает в себя предусилитель П 223, быстрый усилитель КА 213, формирователь для

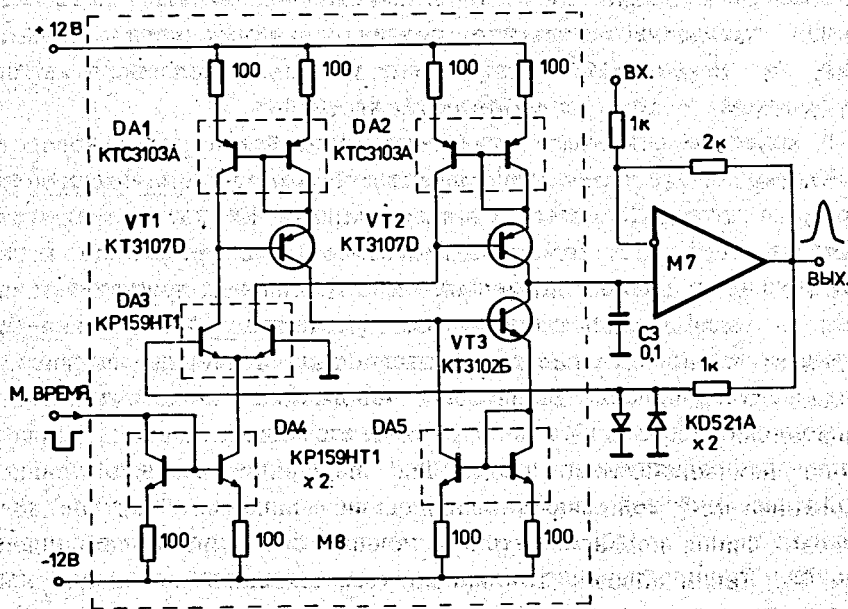


Рис. 1. Схема восстановителя нулевой линии на основе операционного усилителя "напряжение-ток".

временной привязки Ф 214, спектрометрический усилитель КА 234А, селектор временных интервалов (СВИ) КЛ 230, амплитудно-цифровой преобразователь КА 206 (АЩП), буферную память КЛ 207. Для организации работы каналов в режиме совпадений введены перекрестные связи между СВИ и АЩП обоих каналов, а также установлен синхронизатор записи в буферные памяти КЛ 228.

Вторая глава посвящена описанию электроники для диагностики монохроматического протонного пучка фазотрона, применяющейся на установке ПИОН. В состав электроники входят: генератор точных временных интервалов КЛ 244 [3], обеспечивающий калибровку время-пролетной системы (ВПС) с точностью до нескольких пикосекунд в широком временном диапазоне; преобразователь "ток-частота" интенсивности пучка ускорителя; временной селектор КЛ 226 [4], используемый для контроля стабильности и качества "растяжки" пучка; двоянный широкодиапазонный одновибратор КЛ 227 [5].

Генератор точных временных интервалов КЛ 244 предназначен для калибровки и контроля стабильности время-амплитудных и время-цифровых преобразователей, а также выполненных на их основе систем временной спектрометрии пикосекундного диапазона. Модуль формирует последовательность сигналов "Старт" и "Стоп", шаг изменения временного интервала между которыми устанавливается с точностью 2 пс. Число шагов - 127. Нестабильность задающего генератора 10^{-5} ед./ $^{\circ}\text{C}$. Параметры прибора устанавливаются через магистраль крейта. Стандарт исполнения - КАМАК шириной 1М.

Прибор используется в составе ВПС с базой 15 м. Собственное разрешение ВПС составляет 180 пс для протонов с энергией 100 МэВ. Сигналы от генератора запускают светодиоды, расположенные на обоих счетчиках. Тем самым обеспечивается проверка стабильности временной шкалы всего спектрометрического тракта. Шаг изменения временного интервала между сигналами "Старт" и "Стоп" от генератора с высокой точностью определяется с помощью частотомера Чз-34. Применение в составе ВПС генератора точных временных интервалов значительно сократило время, необходимое для проведения трудоемких калибровочных измерений.

Интенсиметр пучка построен на основе кремниевого охлаждаемого поверхностно-барьерного детектора. Индуцированный пучком заряженных частиц ток детектора поступает на преобразователь ток-частота,

выход которого подключается к частотомеру, входящему в состав системы съема информации установки. Применение данного прибора позволило уменьшить погрешность измерения интенсивности с 10% до 1% в диапазоне от 10^6 до 10^8 част./с.

Временной селектор КЛ 226 предназначен для исследований временного распределения событий, инициируемых некоторым первоначальным событием. Он выполнен на основе метода временной селекции, то есть регистрации статистически распределенных событий в течение заданных временных интервалов. Принцип работы модуля (см. рис. 2)

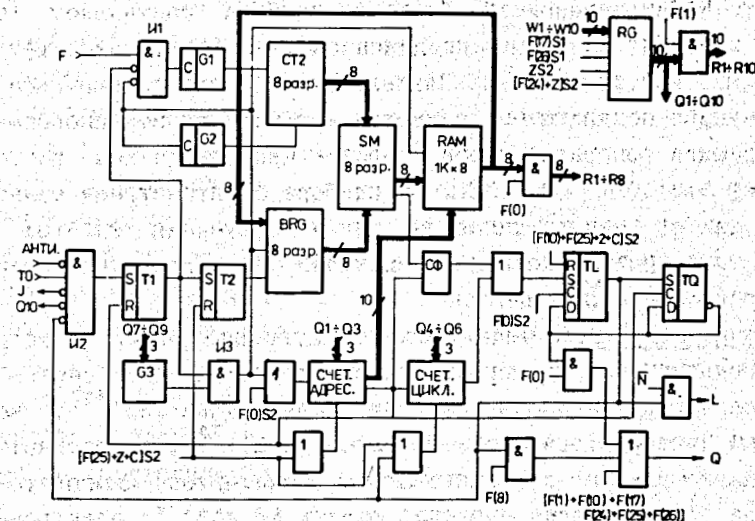


Рис. 2. Блок-схема временного селектора КЛ 226.

состоит в счете числа импульсов на его входе "F" за временной интервал, задаваемый генератором, с последующим суммированием содержаемых счетчика и буферного регистра. Прибор выполнен в стандарте КАМАК шириной 1М и управляется через магистраль крейта. При этом число каналов изменяется в пределах от 8 до 1024, ширина

канала - от 1 до 128 (мкс) и число циклов измерения - от 1 до 128. Считывание информации из модуля в магистраль осуществляется в режиме ULS. Задающий генератор стабилизирован кварцем, что позволило удовлетворить требованиям температурной и долговременной стабильности ширины канала.

Временной селектор КЛ 226 был использован для контроля стабильности и качества "растяжки" пучка ускорителя. Необходимость в таком контроле появилась при проведении эксперимента по рассеянию пионов низких энергий нуклонами. В качестве сигнала запуска "T₀" использовался синхроимпульс от ускорителя, а на вход "F" прибора подавались сигналы от пучкового скинтилляционного телескопа.

Сдвоенный широкодиапазонный одновибратор КЛ 227 выполнен в стандарте КАМАК шириной 1М. Диапазон прибора составляет $100 \text{ нс} \pm 25,6 \text{ мс}$ и разбит на четыре поддиапазона: $0,1 \pm 25,6 \text{ мкс}$, $1 \pm 256 \text{ мкс}$, $10 \pm 2560 \text{ мкс}$ и $0,1 \pm 25,6 \text{ мс}$. Длительность выходного импульса в пределах каждого поддиапазона задается восьмиразрядным цифровым словом. Задающий генератор стабилизирован кварцем. (Уход частоты не превышает $5,0 \cdot 10^{-6}$ ед./⁰С). В приборе предусмотрена возможность запуска как от внешних сигналов, так и по функции F(25)S1 КАМАК. Наличие триггеров прохождения сигналов позволяет контролировать работоспособность прибора.

В третьей главе описываются электронные блоки и устройства для многодатчиковых и многомерных спектрометрических систем. К ним относятся четырехканальный быстрый усилитель КА 233 [2]; четырехканальный линейный усилитель-инвертор КА 264 [2]; предусилитель для скинтилляционных и пропорциональных счетчиков многодетекторных установок [6]; кольцевая буферная память КЛ 243 [7]; электроника [8] двухкоординатных проволочных камер, работающих в гейгеровском режиме [9,10].

Четырехканальный быстрый усилитель КА 233, выполненный на основе подхода "составной усилитель", включает в себя транзисторный усилитель в высокочастотном канале и операционный усилитель КР 544УД2А в низкочастотном канале. Структурная схема с отдельными цепями отрицательной обратной связи для быстрого и медленного канала не требует совмещения граничных частот. Параметры КА 233: число каналов - 4; коэффициент усиления - 10; время нарастания сигнала - 3 нс; входная и выходная полярность - отрицательная;

входное сопротивление - 50 Ом; максимальная амплитуда выходного сигнала при нагрузке 50 Ом - 5 В; интегральная нелинейность при максимальной выходной амплитуде - меньше 10^{-2} ; температурная нестабильность в диапазоне температур от 10 ⁰С до 50 ⁰С - меньше $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$. Стандарт исполнения - КАМАК шириной 1М.

Четырехканальный линейный усилитель-инвертор КА 264 выполнен применительно к требованиям, возникающим при проведении спектрометрических измерений со скинтилляционными счетчиками с неорганическими кристаллами (NaI). В модуле КАМАК шириной 1М размещены четыре независимых линейных усилителя-инвертора. Каждый канал выполнен на основе операционного усилителя КР 544УД2А с выходным каскадом на составном повторителе, предназначенном для передачи выходного сигнала на относительно низкоомную заземленную нагрузку. Параметры КА 264: число каналов - 4; коэффициент усиления - 10; время нарастания сигнала - 100 нс; входная полярность - отрицательная; входное сопротивление - 1 кОм; выходная полярность - положительная; максимальная амплитуда выходного сигнала при нагрузке 50 Ом - 5 В и 500 Ом - 8 В; интегральная нелинейность при максимальной выходной амплитуде - меньше 10^{-3} ; температурная нестабильность в диапазоне от 10 ⁰С до 50 ⁰С - меньше $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$.

Предусилитель включает в себя зарядочувствительную секцию и фильтр, предназначенный для формирования импульсов. Применение относительно быстрого операционного усилителя КР 544УД2А с нормированным коэффициентом шума позволило построить недорогое компактное устройство, удовлетворяющее требованиям работы со скинтилляционными и пропорциональными счетчиками в многодетекторной установке.

Кольцевая буферная память КЛ 243 может быть использована для "разравнивания" входного статистического потока данных в системах съема информации, выполненных на основе контроллера КК 001. Для обеспечения управляемости таких систем предназначены также некоторые дополнительные функции прибора. Принцип работы прибора близок к стековой LIFO (Last in first out). Емкость накопления 1024 16-разрядных слов, цикл обращения к памяти 500 нс. Данные записываются через разъем РП15-32, установленный на передней панели, и считываются через магистраль крейта. Стандарт исполнения - КАМАК 1М.

Электроника для считывания информации с двухкоординатной гейгеровской камеры разработана исходя из специфики работы этого нестандартного детектора [9,10]. После прохождения частицы на соответствующей анодной проволоке начинает развиваться разряд, который распространяется вдоль проволоки в обе стороны с постоянной скоростью. Перпендикулярно анодным проволокам введены дополнительные формирующие проволочные электроды, поддерживающие разряд и дающие соответствующие временные отметки. Разработанная электроника позволяет определить номер сработавшей проволоки и время появления сигнала на формирующих электродах, что позволяет определить вторую координату. Для определения номера сработавшей проволоки используются шифраторы. Отличительной особенностью при этом является установка шифратора в системе считывания непосредственно на анодные проволоки, что позволяет на порядок сократить количество требуемых для системы усилителей-формирователей.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. Разработан набор модулей для прецизионных амплитудных и временных измерений с Ge(Li)-детектором при повышенных нагрузках (до 10^5 имп./с), включающий в себя: предусилитель П223, спектрметрический усилитель КА 234А, селектор временных интервалов КЛ 230, синхронизатор записи в буферную память КЛ 228, дифференциальный дискриминатор КА 255 и формирователь со следящим порогом КА 240. Часть этих блоков является составными узлами установки для исследования монопольного возбуждения ядра при остановке мюона в мишени ^{152}Sm на мезонном пучке Фазотрона ЛЯП ОИЯИ.

2. Разработан набор управляемых от ЭВМ модулей, предназначенных для количественного анализа характеристик пучков ускорителей, включающий в себя: генератор точных временных интервалов КЛ 244, обеспечивающий калибровку и контроль стабильности ВПС с точностью до нескольких пикосекунд; преобразователь "ток-частота" интенсивметра пучка ускорителя; временной селектор КЛ 226, используемый для контроля стабильности и качества "растяжки" протонного пучка, и сдвоенный широкодиапазонный одновибратор КЛ 227.

3. Разработаны с применением ряда новых схемных решений модули для построения многодатчиковых и многомерных спектрметрических систем. К ним относятся четырехканальный быстрый усилитель КА 233, четырехканальный линейный усилитель-инвертор КА 264, предусилитель для сцинтилляционных и пропорциональных счетчиков многодетекторных установок, кольцевая буферная память КЛ 243, а также электроника двухкоординатных проволочных камер, работающих в гейгеровском режиме.

4. Большинство из представленных в диссертации электронных модулей обеспечено необходимой документацией и выпускается Опытным производством ОИЯИ.

Основное содержание диссертации построено на материале следующих работ:

1. Акимов Ю.К., Банифатов Е.А., Глайсберг Ф., До Хоанг Кьонг, Калинин А.И., Мерзляков С.И., Тюпиков В.К. Электронные блоки для спектрметрических измерений с полупроводниковыми детекторами: Сооб. ОИЯИ 13-89-279. Дубна, 1989.
2. Акимов Ю.К., Глайсберг Ф., До Хоанг Кьонг, Мерзляков С.И., Тюпиков В.К. Аналоговые модули для полупроводниковых и сцинтилляционных спектрометров// XIV Международный симпозиум по ядерной электронике и международный семинар КАМАК-90, 25-28.09.90, Варшава./ В кн: ОИЯИ, П13-90-600. Дубна, 1990. С. 179-185.
3. До Хоанг Кьонг, Мерзляков С.И. Генератор точных временных интервалов// ПТЭ. - 1990. - № 2. - С. 107-109.
4. До Хоанг Кьонг, Мерзляков С.И., Пасюк А.Е. Временной селектор: Сооб. ОИЯИ 13-87-250. Дубна, 1987.
5. До Хоанг Кьонг, Мерзляков С.И. Сдвоенный широкодиапазонный одновибратор КЛ 227: Сооб. ОИЯИ Р10-86-759. Дубна, 1986.
6. До Хоанг Кьонг, Мерзляков С.И. Предусилитель для сцинтилляционных и пропорциональных счетчиков многодетекторных установок: Сооб. ОИЯИ Р13-91-70. Дубна, 1991.
7. До Хоанг Кьонг, Мерзляков С.И. Кольцевая буферная память: Сооб. ОИЯИ Р10-89-589. Дубна, 1989.
8. До Хоанг Кьонг, Мерзляков С.И. Электроника двухкоординат-

ных проволочных камер, работающих в гейгеровском режиме:
Деп. ОИЯИ Б1-91-71. Дубна, 1991.

9. Akimov Yu.K., Govorov A.M., Do Hoang Cuong, Lytkin L.K., Merzlyakov S.I., Khazins D.M., Shvetsov V.N. Two-coordinate geiger chamber with special pulse-shaping electrodes filled with a helium mixture// NIM. - 1988. - A264. - P. 202-204. Акимов Ю.К., Говоров А.М., До Хоанг Кьонг, и др: Припринт ОИЯИ P13-87-205. Дубна, 1987.
10. Акимов Ю.К., Говоров А.М., До Хоанг Кьонг, Жуков Г.П., Лушиков В.И., Лыткин Л.К., Мерзляков С.И., Паржицкий С.С., Швецов В.Н. Сцинтилляционно-камерная методика для поиска 2β -распада: Сооб. ОИЯИ 13-87-248. Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 июля 1991 года.