

СЗУ.10

И-50

ИЗ, 1966, №5, с. 19-20

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2355



Э.Г.Имаев, Б.В.Фефилов, Л.П.Челноков

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ
НА ВНУТРЕННЕМ ПУЧКЕ 310см ЦИКЛОТРОНА
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

АБСОЛЮТНО ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

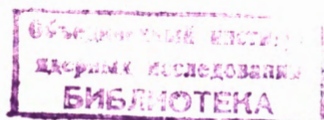
1965

2355

Э.Г.Имаев, Б.В.Фефилов, Л.П.Челноков

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ
НА ВНУТРЕННЕМ ПУЧКЕ 310см ЦИКЛОТРОНА
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Направлено в ПТЭ



3726/2 чф.

В в е д е н и е

Известно, что основная трудность, которая встречается при синтезе трансураниевых элементов с помощью ускоренных тяжелых ионов, связана с малой величиной сечений ядерных реакций. Отсюда непосредственно вытекает задача создания высокочувствительной методики с регистрацией изучаемых продуктов реакции без потери информации. Так, при изучении свойств распада изотопов трансураниевых элементов спонтанным делением необходимо, по крайней мере, регистрировать относительное время появления осколков деления для определения периода полураспада и их энергетический спектр.

В настоящей работе описывается электронная аппаратура, примененная в опытах по изучению спонтанного деления изотопа 102-го элемента с массовым числом 256, образующегося в реакции $U^{238} (Ne^{22}, 4n) 102^{256}$ на внутреннем пучке 310 см циклотрона ОИЯИ^{/1/}, а также в опытах по обваружению изомеров с аномально коротким периодом полураспада^{/2/}.

1. Принцип работы аппаратуры

В вышеуказанных опытах ранее применявшиеся детекторы для измерения констант спонтанного деления (ионизационная камера, пропорциональный или сцинтилляционный счетчик) оказались неприемлемыми вследствие сравнительно большой удельной α -активности мишени и необходимости работы в сильном магнитном поле (~ 18 кэ). Поэтому в качестве детекторов осколков деления были выбраны поверхностно-барьерные кремниевые детекторы с удельным сопротивлением 300 ом·см и с общей чувствительной площадью около 12 см², имеющие малое время нарастания сигнала и нечувствительные в магнитному полю. Эксперименты проводились на пробнике, имеющем наклонную мишень из U^{238} с эффективной толщиной 2-5 мг·см⁻², периодически облучаемую пучком тяжелых ионов с интенсивностью 20-25 мка^{/1/}. Детекторы устанавливались на подвижную каретку с приводом через капроновый трос от реверсивного мотора с редуктором. Аппаратура и ускоритель управлялись блоком автоматики, который опреде-

для два режима работы: "Облучение" и "Измерение". В режиме "Облучение" детекторы удалялись от мишени в положение П2 (рис. 1), измерительный тракт блокировался и мишень облучалась. В режиме "Измерение" высокочастотный генератор ускорителя запирался (пучок отсутствовал), детекторы перемещались в положение П1 (рис. 1), а измерительный тракт разблокировался. Временные диаграммы работы ускорителя и аппаратуры изображены на рис. 2. Основные временные параметры следующие:

1. Ускоритель работает в импульсном режиме с частотой повторения 200-250 гц; длительность импульса в/ч генератора $T_{вч} = 1-2$ мсек; передний фронт импульса источника задержан относительно переднего фронта импульса в/ч генератора на 100-300 мсек, а задний фронт синхронизирован с задним фронтом импульса в/ч генератора.

2. Режим облучения $T_0 = 1$ сек - 150 сек.

3. Режим измерения $T_u = 1$ сек - 150 сек.

4. Время движения каретки с детекторами:

а) от мишени $T_{м1} = 3,5 - 4$ сек,

б) к мишени $T_{м2} = 2 - 2,2$ сек.

5. Момент выключения пучка ускорителя (режим облучения) соответствует моменту конца движения каретки от мишени, а момент выключения пучка (режим измерения) задержан относительно начала движения каретки к мишени на 1,5 сек.

6. Импульс блокировки измерительного тракта опережает момент включения мотора движения каретки от мишени и отстает от момента выключения мотора при движении каретки к мишени на 0,2 сек.

Блок-схема аппаратуры, полностью выполненной на транзисторах, приведена на рис. 1. В головке пробника монтировались два зарядовых предусилителя (ЗПУ), подключаемых в режиме измерения каждый к своему детектору, а также концевики, управляющие включением и выключением мотора движения каретки.

В хвостовой части пробника располагались усилители (У), дискриминаторы-формирователи (ДФ), схема антисовпадений (АС) и суммирующий усилитель (Σ). Таким образом, усиление и формирование сигналов происходило по двум каналам с применением схемы антисовпадений для повышения помехозащищенности системы.

Сигналы со схемы антисовпадений (АС) и с выхода суммирующего усилителя (Σ) передавались по в/ч кабелям длиной 120 м на блоки автоматики и регистрации. Клапан $K_в$ мог блокировать регистрируемые сигналы от специального усилителя помех (УП) со своим дискриминатором-формирователем (ДФ). Блок регистрации состоял из таймерного устройства, блока запуска электромеханического счетчика

МЭС для интегрального счета регистрируемых импульсов, блока кодирования амплитуды (А → N) и блока управления телетайпом СТА-2М. На телеграфной ленте (или перфоленте) регистрировался момент появления сигнала относительно момента конца облучения (блокировки) с точностью до 0,1 сек, амплитуда сигнала десятью каналами с шириной канала 10 Мэв, а также номер детектора, с которого пришел регистрируемый сигнал. В блоке регистрации предусмотрен дополнительный выход для регистрации сигналов на самописце ЭПП-0В. Командным импульсом регистрации является импульс со схемы антисовпадений (АС).

Блок автоматики состоял из времязадающего мультивибратора (МВ) и ряда одновибраторов (ОВ) для осуществления всех необходимых временных соотношений, описанных выше.

2. Защита от помех

Основное внимание при разработке измерительного тракта аппаратуры уделялось защите от электромагнитных наводок и помех. Для этой цели предусмотрены следующие меры:

1. Входное окно пробника механически закрывалось на время измерений, так что пространство, где смонтированы детекторы и предусилители, оказывалось изолированным от объема ускорителя. Тем самым уменьшалась вероятность электрических наводок от разрядов и светового воздействия на детекторы от дуги ионного источника. Кроме того, сами детекторы и предусилители были хорошо экранированы медными экранами.

2. Осуществлялась двойная экранировка сигнальных и питающих кабелей измерительного тракта, точка заземления тщательно подбиралась.

3. Спектрометрический тракт искусственно разделен на два идентичных канала в сочетании со схемой антисовпадений ($\tau_p = 2$ мксек). Благодаря такой комбинации сигналы, возникающие в обоих усилительных трактах с временным сдвигом менее 2 мксек и превышающие пороги дискриминации, считались фоновыми и аппаратурой не регистрировались. Как будет показано ниже, схема антисовпадений выполнена с потенциальной связью между дискриминирующими элементами и клапанами блокировки, что обеспечивает надежную защиту от наводок, имеющих характер "вспышки".

4. В схеме предусмотрен специальный тракт усилителя помех с короткой антенной на входе с выходом на блокировку измерительного тракта. Однако практически схема отлично самоблокировалась от помех без помощи этой меры.

5. Как видно из временных диаграмм (рис. 2), импульс блокировки измеритель-

ного тракта на время облучения перехватывал моменты включения и выключения мотора, управляющего движением каретки с детекторами. Тем самым исключались возможные наводки со стороны контактов мотора.

6. В блоке автоматики предусмотрена дополнительная блокировка на время импульсного разряда источника в режиме измерения.

7. Для развязки от сети переменного тока питание предусилителей и тракта усиления - формирования осуществлялось от автономных аккумуляторов.

3. Измерительный тракт

Зарядовые предусилители (рис. 3) выполнены на транзисторах П403. Входные каскады работают по схеме с общей базой, а выходные - с общим коллектором. Смещение на детекторы подавалось от шин питания предусилителей +12в, при этом отношение сигнала к шуму было не менее 10 для α -частиц U²³⁸ (4,5 Мэв) в магнитном поле 18 кэ в постоянной времени формирования 2 мксек. Чувствительность предусилителей к вышеописанным детекторам была 0,4 мв·Мэв⁻¹. Каждый канал имел одноканальные усилители, состоящие из двух секций - двоек с глубокой отрицательной обратной связью (рис. 4). Общий коэффициент усиления 200, время нарастания сигнала 0,2 мксек. Оптимальная, с точки зрения отношения сигнал-шум, дифференцирующая цепочка с $\tau_{д} = 2$ мксек была расположена на входе первой секции усилителя.

Сигналы на суммирующий усилитель, выполненный по аналогичной схеме, снимались с выходов первых секций усилителей. Усилительный тракт имел линейность не хуже 1% по выходным сигналам амплитудой 5 в, что соответствовало регистрируемой энергии - 120 Мэв.

Принципиальная схема дискриминаторов, формирователей и схема антисовпадения приведена на рис. 5. В качестве дискриминирующих элементов применялись туннельные диоды с вихревым током 5 ма, работающие в режиме триггера Шмитта. Сигналы отрицательной полярности с туннельных диодов нескрывают транзисторы Т₁ и Т₂ в режим насыщения, благодаря чему на выходе формируются импульсы положительной полярности амплитудой 8 в и длительностью 3-4 мксек, зависящей от формы входного импульса, формируемого дифференцирующей цепочкой на входе усилителей. Порог дискриминации регулируется в пределах от 8 до 30 Мэв. Схема антисовпадений выполнена несколько необычно с перекрестной блокировкой каналов. Сформированный импульс с каждого канала "затягивается" на запоминающей емкости через диод. Постоянная времени задержки подбиралась экспериментально и соответствовала примерно 100 мксек. В результате на выходе транзисторов Т₃ и Т₄ формировались импульсы с крутым передним

фронтом, длительностью 100 мксек и амплитудой 8в. Эти импульсы использовались в качестве управляющих нормально открытых клапанов, выполненных на транзисторах T_5 и T_6 . Выходные импульсы формируются дифференцирующими RC цепочками, задерживаются линиями задержки на 2 мксек, ограничиваются по амплитуде и суммируются на каскаде с общей коллекторной нагрузкой (T_7 и T_8). В результате на выходе схемы антисовпадений получаются положительные импульсы с амплитудой порядка 8в с плоской вершиной длительностью несколько десятков мксек.

Блок автоматики

Блок автоматики выполняет три основные функции: задает период и скважность облучения мишени, управляет мотором перемещения детекторов, обеспечивает блокировку, перекрывающую по времени облучение и движение детекторов.

Датчиком временных интервалов "измерение" - "облучение" был выбран мульти-вibrator (МВ рис. 1). С двух плеч мультивибратора МВ снимаются 2 импульса T_1 и T_2 (рис. 2). Импульс T_1 через схему ИЛИ₁ идет на блокировку. Импульс T_2 поступает на одновибратор "тени" OB_1 , который удлиняет его на несколько миллисекунд (T_3) и управляет реле Р включения вращения мотора в одну или другую сторону.

Во время импульса T_3 реле Р подает напряжение T_4 через ключ K_1 на обмотку мотора, обеспечивающую передвижение детекторов к мишени. Детекторы доходят до мишени (положение Π_1) и отключают концевиком K_1 напряжение, поступающее на обмотку мотора (T_8).

Во время отсутствия импульса T_3 реле Р подает напряжение T_5 через ключ K_2 на обмотку мотора, обеспечивающую движение детекторов от мишени. Детекторы доходят до второго крайнего положения (Π_2) и снимают питание с обмотки мотора (T_7), размыкая концевик K_2 ; одновременно другие контакты этого же концевики замыкают ключ K_3 и включают напряжение T_{10} , удлиненное одновибратором OB_2 до времени T_{11} (облучение мишени).

Таким образом, команда на облучение подается принудительно кареткой с детекторами из положения Π_1 , что полностью исключает возможность включения пучка во время нахождения детекторов у мишени. Удлинение импульса T_{10} до времени T_{11} дает возможность приблизить момент начала измерения к концу облучения.

Для обеспечения непрерывности блокировки импульс T_{11} замешивается на схеме ИЛИ₁ с импульсами T_7 и T_9 .

Во время работы мотора на выходе усилителя $У_3$ имеется сигнальный потенциал движения мотора T_8 , который удлиняется одновибратором $ОВ_3$ до времени T_9 и замешивается на схеме ИЛИ₁ для обеспечения блокировки на время работы мотора.

Суммарный импульс блокировки T_{12} с выхода схемы ИЛИ₁ поступает в блок регистрации. На блоке автоматики имеется сигнализация времени облучения T_{11} , время измерения T_{13} и времени работы мотора T_8 .

3 Блок регистрации

Блок регистрации предназначен для анализа и долговременного запоминания результатов эксперимента.

Блоком регистрируется момент появления импульса относительно конца блокировки, измеряется амплитуда регистрируемого импульса, а также фиксируется номер детектора, от которого пришел импульс.

Командные импульсы регистрации T_{14} поступают с выхода схемы антисовпадений (АС, рис. 1) на вход ключа K_8 . Импульс регистрации T_{16} появится на выходе ключа K_8 , если отсутствовал импульс T_{15} — импульс электромагнитной наводки на антенну, расположенную вблизи детекторов D_1 , D_2 и предусилителей ЗПУ₁, ЗПУ₂. Импульс T_{16} поступает на вход ключа блокировки K_7 . Ключ K_7 управляется суммарным импульсом блокировки T_{12} из блока автоматики, а также импульсами поджига источника T_{32} , удлиняемыми одновибратором $ОВ_5$ до длительности T_{33} , которые смешиваются на схеме ИЛИ₂. Если ключ K_7 открыт, т.е. отсутствует импульс T_{34} , то импульс T_{17} удлиняется одновибратором $ОВ_6$ до длительности T_{18} , необходимой для срабатывания электромеханического счетчика импульсов МЭС-54. Одновременно импульс T_{18} удлиняется одновибратором $ОВ_7$ до длительности T_{19} и подается на самописец ЭПП-09. Далее импульс T_{19} поступает на ключ K_8 и, если отсутствует импульс T_{21} , дается старт T_{20} работы блока печати параметров события. Блок печати представляет собою цифropечатающее и перфорирующее устройство на базе телеграфного аппарата СТА-2М, списывающее состояние триггеров счетчика времени $СЧ_1$, счетчика амплитуды $СЧ_2$ и триггера номера детектора $СЧ_3$.

Таким образом, регистрация события осуществляется тремя запоминающими элементами: механическим счетчиком МЭС-54, считающим интегральное количество импульсов от двух детекторов, с мертвым временем 20–25 мсек; самописцем ЭПП-09, фиксирующим количество импульсов и момент появления импульса относительно конца

блокировки T_{12} , с мертвым временем 150–250 мсек; и телеграфным аппаратом СТА-2М, цифронпечатающим и перфорирующим амплитуду пришедшего импульса, момент относительно конца блокировки, с точностью 0,1 сек и номер детектора (с мертвым временем – 1 сек).

Суммарный импульс блокировки T_{12} смешивается с импульсом блокировки на время печати T_{21} на схеме ИЛИ₂, и импульс блокировки таймера T_{22} поступает на закрывание ключа K_4 . Ключ K_4 управляет прохождением импульсов T_{24} , следующих с частотой сети 50 гц, на счетчик СЧ-1. Таким образом, моменту прихода импульса регистрации (8) T_{17} на счетчике СЧ-1 накапливается число, пропорциональное времени от конца импульса сброса таймера в "0" T_{23} до прихода импульса T_{17} . Время печати T_{21} равно точно 1 сек, поэтому, после спечатьивания со счетчика СЧ-1 времени прихода импульса T_{17} , вводится коррекция в состоянии СЧ-1 (добавляется 1 секунда T_{25}). Момент прихода следующего импульса (8) T_{14} печатается без искажения. Импульс блокировки таймера (T_{22}) смешивается с T_{26} (импульсом времени обработки амплитуды входным блоком А – N), и блокирует прохождение входных сигналов T_{30} с помощью ворот В. Этот же импульс блокировки входа T_{27} подается на ключ K_5 , пропускающий импульсы T_{28} на счетчик индикации номера детектора СЧ-3. Амплитуда импульса T_{31} преобразуется входным блоком А – N в число, пересчитываемое счетчиком СЧ-2. Импульс индикации номера детектора T_{29} задерживается перед счетчиком СЧ-3 линией задержки ЛЗ для подготовки СЧ-3 импульсом установки в "0" с входного блока ($УО_2$).

На заднем фронте импульса T_{12} на ленте самописца ЭПП-09 делается нулевая отметка времени.

Весь блок регистрации по своим функциям является многомерным анализатором редких событий (МАРС), выполненным полностью на транзисторных стандартных ячейках.

Многомерный анализатор редких событий является дальнейшей модификацией печатающего анализатора, описанного в [3].

Блок печати на базе телеграфного аппарата СТА-2М отдельно описан в [4].

6. Экспериментальные результаты

При проведении экспериментов аппаратура периодически проверялась на фон от наводок и помех, производилась калибровка усиления измерительного тракта и порогов дискриминации, а также стабильности основных параметров блоков автоматики и системы регистрации. Кроме того, проводились исследования поведения детекторов и транзисторных предусилителей в условиях длительного облучения нейтронами и сильного

магнитного поля. Проверка аппаратуры на фон от взаимодействия наводок и помех производилась следующим образом. Пробник устанавливался в камеру ускорителя на рабочий радиус, включалась аппаратура на рабочий режим. Пучок в ускорителе отсутствовал, но источник был зажжен. Мишень закрывалась фольгой. Длительные испытания аппаратуры в течение двух лет показали, что фон в этом режиме не превышал 1 импульса за 2 часа. Работоспособность измерительного тракта контролировалась также при помощи Рентгеновского источника ($\sim 10^6$ н-сек $^{-1}$), расположенного в непосредственной близости от мишени со слоем ^{235}U . Результаты одного из измерений приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Порог дискриминации (относит. ед.)		1	3	5	7	9
Число отсчетов за 5 мин.	Канал 1	16	17	21	9	8
	Канал 2	19	16	12	6	10
	Суммарный отсчет	33	34	31	22	17

Пороги дискриминации устанавливались следующим образом. По известным α -частицам ^{238}U ($\sim 4,5$ Мэв) калибровался сигнал генератора импульсов ГИ-2А, поступающий через 3 пф на вход предусилителей с включенными детекторами. Далее импульсы с генератора увеличивались до значения, соответствующего двойной амплитуде α -частиц (9 Мэв), и выставлялись нулевые значения порогов дискриминаторов. Максимальные значения порогов соответствовали энергии ~ 30 Мэв. Суммарная нестабильность порогов и коэффициентов усиления измерительного тракта за 15 часов непрерывной работы видна из таблицы 2 и не превышает 5%.

Т а б л и ц а 2

Порог дискриминации (относит. ед.)	Амплитуда генератора, соответствующая порогу (мв)			
	Начало работы		Через 15 часов	
	Канал 1	Канал 2	Канал 1	Канал 2
0	130	130	135	124
3	170	180	178	157
6	225	215	212	211
10	285	280	293	270

Стабильность временных параметров блока автоматизации укладывалась в пределах 10% рабочего диапазона, а стабильность амплитудных порогов системы регистрации была не хуже 2%.

Наблюдалось "утомление" детекторов при длительной работе с камере ускорителя как за счет облучения потоком нейтронов, так и за счет большой навесной активности мишени. Так, например, при работе в режиме $T_{01} T_{02} = 40$ сек/30 сек с пучком ускоренных ионов Ne^{20} с $E = 115$ Мэв (интеграл тока 25,7 мка-час при потоке нейтронов через детекторы $5 \cdot 10^5 - 10^6$) наблюдалось уменьшение амплитуды сигналов на 20-30%, а отношение сигнал-шум для α -частиц ^{223}Fr падало с 10 до 1. Однако после суточного "отдыха", как правило, свойства детекторов восстанавливались. Минимальное поле на отношение сигнал-шум практически не влияло. Смена детекторов и предусилителей производилась лишь один раз за два года при средней работе аппаратуры 30-40 часов в неделю.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить члена-корреспондента АН СССР Г.Н. Флерова за постановку работы, а также В.А. Друина и Н.К. Скобелева за обсуждение результатов и помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Б.В. Фефилов, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ Р-1686 Дубна 1964.
2. В.А. Друин, Н.К. Скобелев, Б.В. Фефилов, В.И. Кузнецов, Ю.В. Лисаков, Ю.Л. Станевский. Препринт ОИЯИ Р-1651, Дубна 1964.
3. М.С. Бирулев и др. ПТЭ, № 5, 90, 1963.
4. Э.Т. Имаев, Л.Н. Челноков. Труды VI конференции по ядерной электронике. Атомиздат, 1965 г.

Рукопись поступила в редакционный отдел
8 сентября 1965 г.

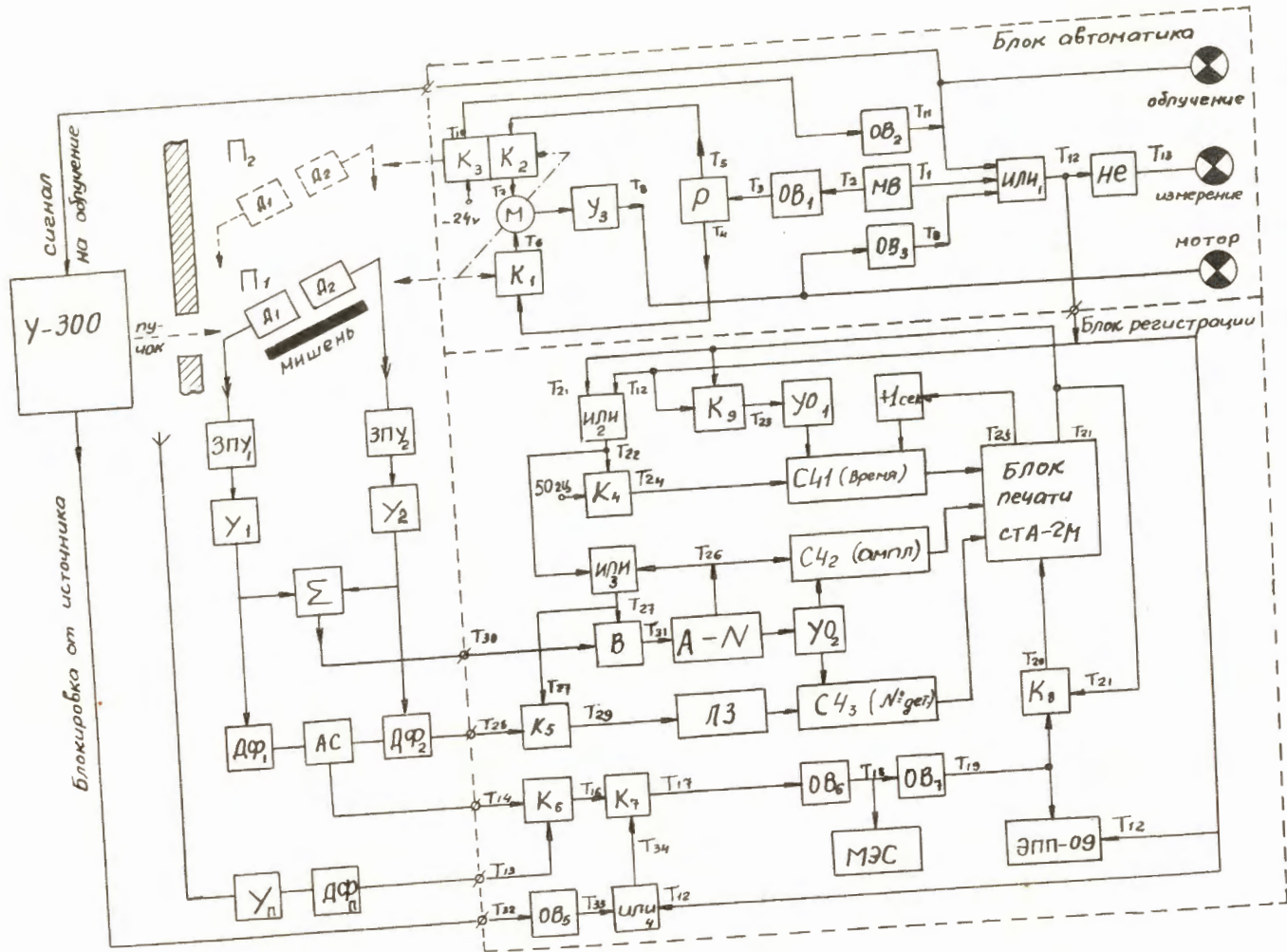


Рис. 1. Блок-схема аппаратуры.

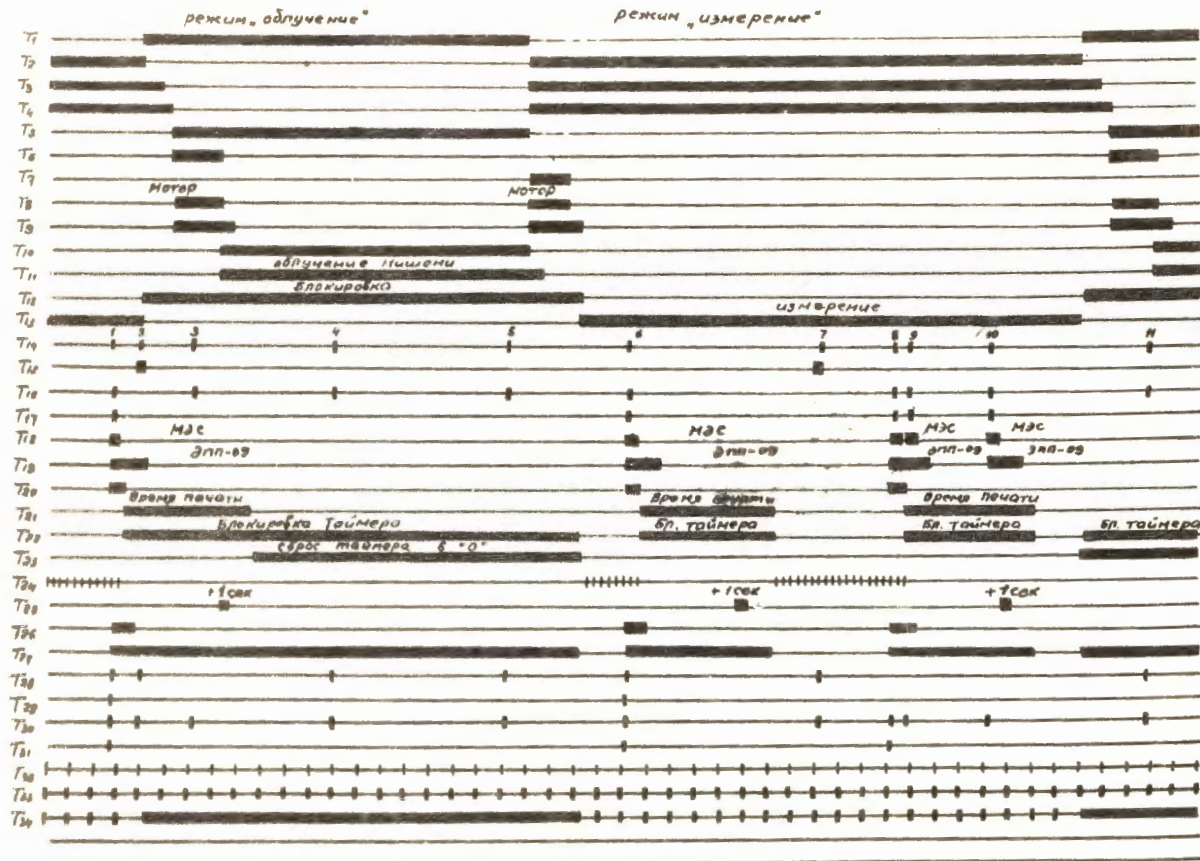


Рис. 2. Временные диаграммы работы аппаратуры.

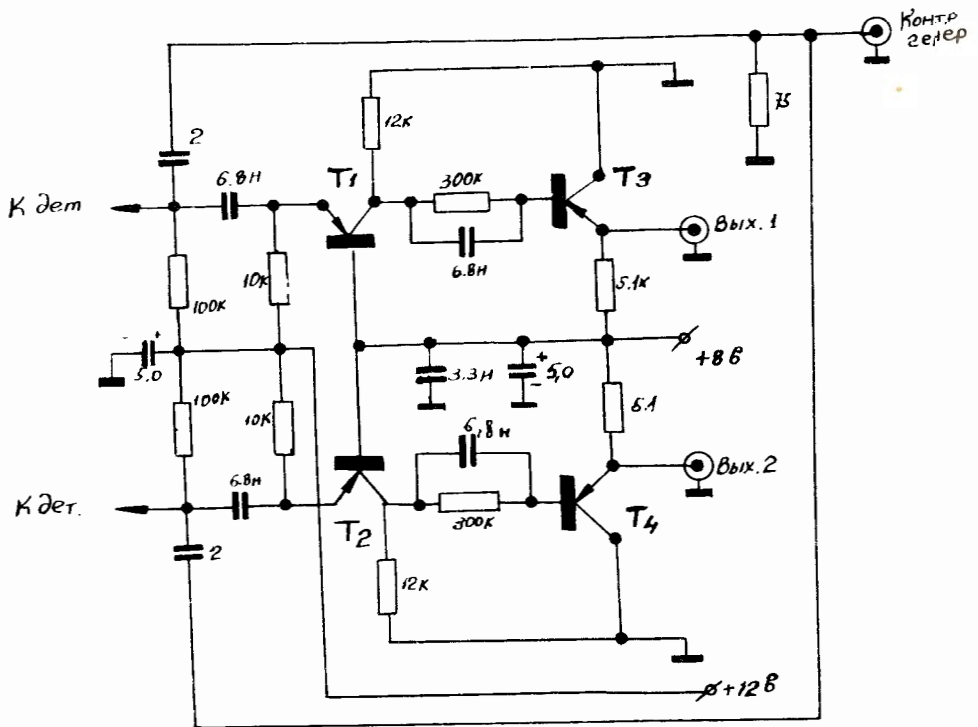


Рис. 3. Схема предусилителя.

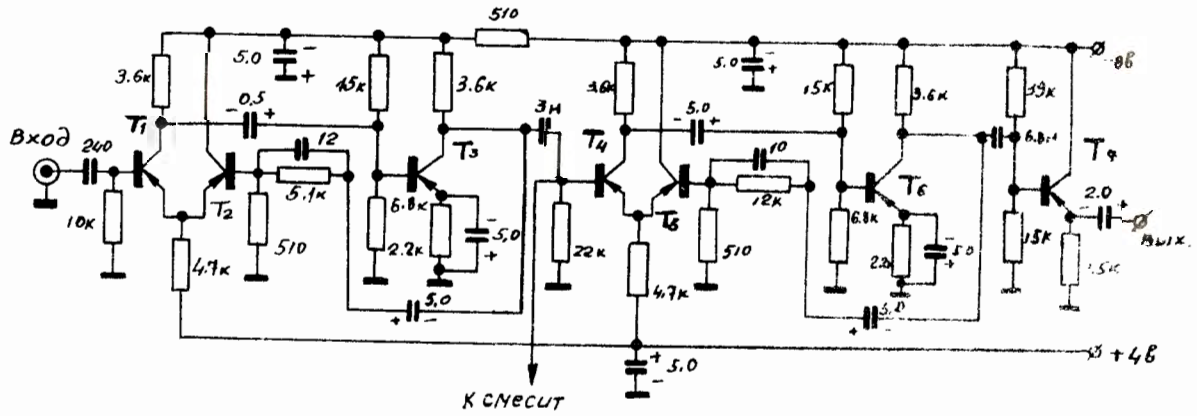


Рис. 4. Схема усилителя.

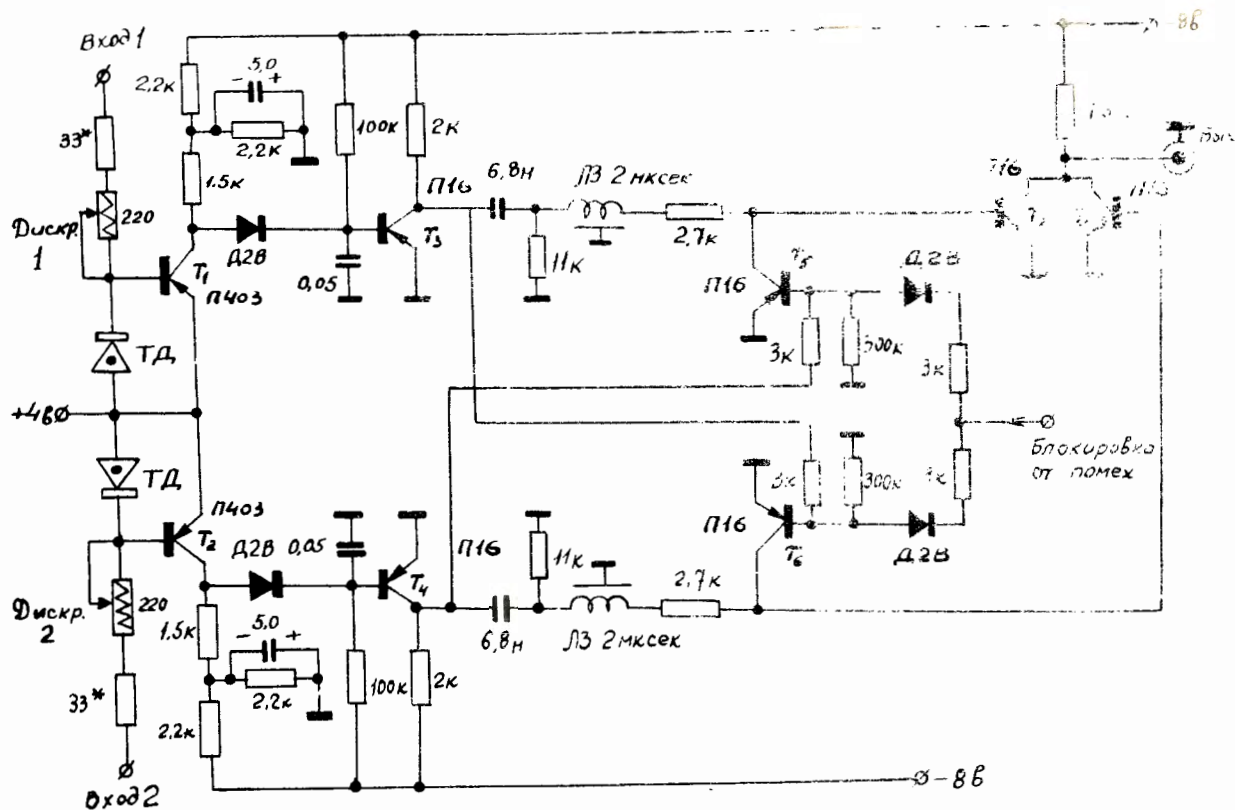


Рис. 5. Схема дискриминации и антисовпадений.