

## Лабораторная работа №1

### Изучение устройств амплитудной и временной селекции сигналов детекторов излучения.

#### 1. Цель работы:

- 1.1 ознакомиться с основными принципами построения систем предварительного отбора информации и освоить практику работы с магистрально-модульной системой КАМАК;
  - 1.2 получить практические навыки работы с устройствами предварительной обработки сигналов: амплитудным дискриминатором импульсов, блоком переменной задержки и схемой совпадений.
- #### 2. Физическое введение.

При проведении физических экспериментов одной из важнейших методических задач является повышение информативности потока регистрируемых сигналов и уменьшение влияния факторов, искажающих исходную информацию. Действительно, часть сигналов, снимаемых с детектора, не несет полезной (с точки зрения данного эксперимента) информации и может быть отброшена. Это могут быть сигналы, связанные с регистрацией фонового излучения, сигналы, которые возникают от излучения сопутствующего исследуемому, шумовые импульсы детектора, сигналы от частиц тождественных исследуемым, но выходящие за пределы установленного диапазона энергий. Задача выделения полезных сигналов и подавления ненужных решается с помощью разнообразных аналоговых и цифровых методов. Аналоговые методы отбора обладают большим быстродействием по сравнению с цифровыми, цифровые – точнее позволяют реализовать довольно сложные алгоритмы отбора.

Для отбора амплитудной информации широко используют интегральные и дифференциальные дискриминаторы.

Интегральным дискриминатором (ИД) называется устройство, вырабатывающее стандартный выходной сигнал на каждый входной импульс, амплитуда которого превышает некоторое пороговое значение  $U_n$  (Рис. 3). Значение порога задается экспериментатором, исходя из условий эксперимента. Принцип построения ИД и его конкретная реализация задают длительность выходного сигнала и его мертвое время — минимальный интервал времени между предыдущим и последующим импульсами на входе ИД, при котором происходит срабатывание дискриминатора на оба импульса. Мертвое время определяет число просчетов событий, если ИД используется в канале счета, или эффективность системы отбора, если ИД применяется выработки триггера установки. Мертвое время в большинстве практических случаев должно быть на 2—3 порядка меньше среднего интервала времени между сигналами, поступающими на вход ИД.

Порог дискриминации ИД характеризуется абсолютным значением  $U_n$ , выражаемым в единицах напряжения или тока, диапазоном регулирования от максимального значения  $U_{n \max}$  до минимального значения  $U_{n \min}$ , чувствительностью, равной  $U_{n \min}$ , температурной нестабильностью  $\rho$ . Величина  $U_{n \max}$  обычно не превышает значения 5—10 В — максимальной амплитуды сигналов в современной транзисторной электронике. При использовании интегрального дискриминатора для селекции сигналов в большом динамическом диапазоне значение  $U_{n \min}$  должно быть мало, т. е. дискриминатор должен иметь высокую чувствительность. Так, например, при работе в динамическом диапазоне сигналов  $10^3$  чувствительность дискриминатора должна быть не менее 5—10 мВ. Использование высокочувствительных дискриминаторов целесообразно и в тех

случаях, когда не требуется широкодиапазонных измерений, а стоит задача амплитудной дискриминации по многим каналам, так как позволяет селективировать сигналы, снимаемые непосредственно с детекторов, без промежуточного их усиления, давая значительную экономию электронного оборудования.

Температурная нестабильность порога дискриминатора  $\rho$ , измеряемая в мВ/К. Это - одна из важнейших характеристик порога дискриминации, поскольку смещение порога дискриминации в ходе эксперимента будет приводить к дополнительным погрешностям в счете событий, особенно в высокочувствительных дискриминаторах.

Высокочувствительные интегральные дискриминаторы по типу триггера Шмидта или одновибратора в последнее время реализуются в основном на компараторах в интегральном исполнении. Компараторы представляют собой дифференциальные усилители с очень большим коэффициентом усиления (от единиц до десятков тысяч) в очень узком диапазоне (десятки — сотни микровольт) разности сигналов, подаваемых на прямой и инвертирующий входы компаратора. Если разность сигналов превышает этот диапазон, компаратор находится в режиме ограничения в состоянии с логическим потенциалом 1 или 0 в зависимости от знака разности потенциалов на входах компаратора. Таким образом, компаратор при фиксированном потенциале на одном из его входов может выполнять функцию высокочувствительного порогового устройства (с порогом несколько сот микровольт), которое вырабатывает на своем выходе стандартный по амплитуде сигнал с длительностью, равной времени, в течение которого на его втором входе присутствует сигнал, превышающий порог. Основным недостатком таких устройств дискриминации являются относительно высокая температурная нестабильность порога дискриминации 10—50 мкВ/К и заметное влияние дрейфов напряжения источников питания на дрейф порога дискриминации.

Зависимость числа импульсов на выходе ИД от порога дискриминации  $U_n$  при фиксированном времени измерения представляет собой интегральный спектр — количество импульсов, амплитуда которых превышает порог. Из интегрального спектра после численного дифференцирования может быть получен дифференциальный спектр.

При временном отборе событий та или иная последовательность срабатываний детекторов во времени позволяет отобрать частицы нужного сорта либо движущиеся в нужном направлении или выделить определенный физический процесс. Временной отбор, или, как чаще говорят, временная селекция, широко применяется в электронных системах отбора полезных событий, позволяя во многих случаях повысить отношение эффекта к фону на несколько порядков. При этом либо используется естественная временная последовательность событий в изучаемом процессе, либо методические приемы, позволяющие такую последовательность создать искусственным путем.

Основу устройств временного отбора, работающих в реальном масштабе времени, составляют схемы совпадений. Схема совпадений вырабатывает выходной сигнал, если на все ее входы одновременно (или в пределах заданного интервала времени) пришли входные импульсы. Основным параметром схемы совпадений является разрешающее время, т.е. тот временной интервал, в течение которого сигналы регистрируются схемой как одновременные. Временные свойства схем совпадений характеризуются также максимальными частотами следования входных и выходных импульсов, минимальным временем перекрытия входных импульсов, задержкой распространения сигнала, а также собственным временным разрешением (в тех случаях, когда разрешающее время не определяется параметрами схемы). Вентиль  $I$  неограниченного быстрого действия, на вход которого поступают импульсы стандартной амплитуды и длительности с бесконечно крутым фронтом, представляет собой идеальную схему совпадений (рис.1.).

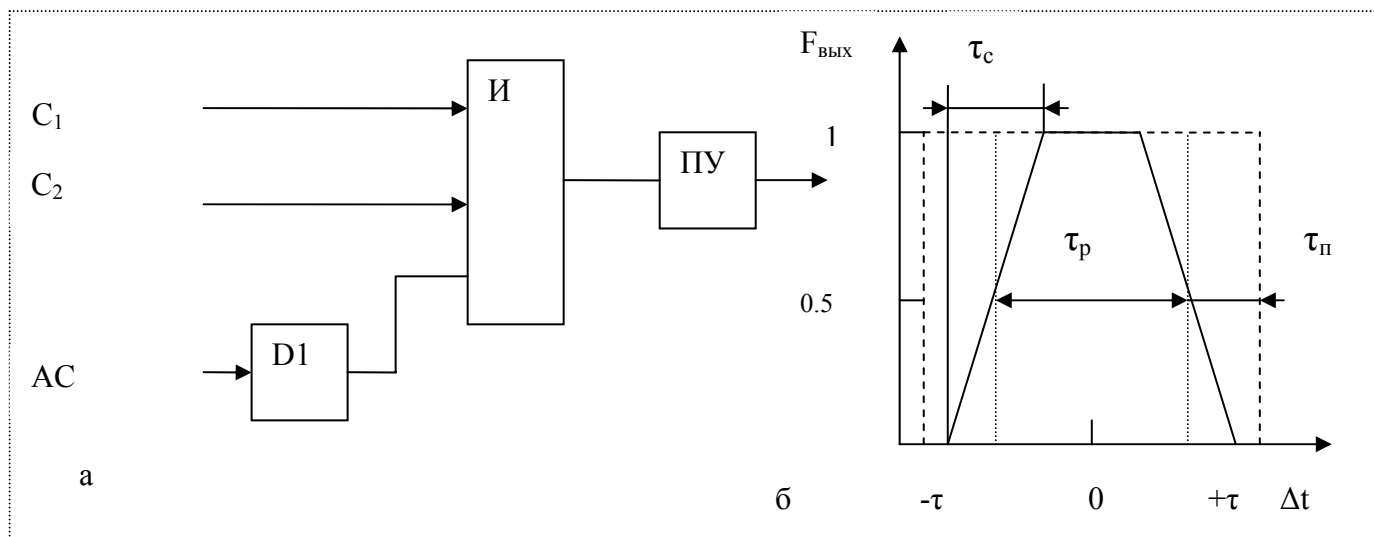


Рис. 1 Схема совпадений (а) и кривая задержанных совпадений (б).

Разрешающее время  $\tau_p$  такой схемы полностью определяется длительностью входных импульсов  $\tau$ :  $\tau_p = \tau_1 + \tau_2$ . В идеальном случае амплитуда выходных импульсов схемы *И* изменяется дискретно и не может принимать промежуточных значений между нулевым и единичным уровнями. В реальных условиях из-за ограниченного быстродействия вентиля *И* и конечной крутизны фронтов входных импульсов на выходе вентиля *И* присутствуют импульсы и нестандартной амплитуды. Поэтому выходные импульсы схемы *И* стандартизуют по амплитуде и длительности с помощью порогового устройства *ПУ* того или иного вида; характеристики схемы совпадений приводят с учетом наличия его в схеме, порог и инерционность *ПУ* наряду с инерционностью вентиля определяют в значительной степени минимальное время перекрытия  $\tau_{\text{п}}$  входных импульсов, при котором срабатывает схема.

На рис.1 б представлены зависимости частоты следования выходных импульсов схемы совпадений от значения временного интервала между стандартными импульсами на ее входах, полученные с помощью генератора. Пунктирная кривая соответствует идеальной быстродействующей схеме, штрихпунктирная - схеме с идеально работающим дискриминатором и сплошная — реальной схеме, в которой имеет место шумовое размытие порога дискриминации. Проекция склона реальной кривой задержанных совпадений на ось времени характеризует предельные возможности схемы по обнаружению совпадений и иногда называется собственным временным разрешением  $\tau_c$ . Обычно  $\tau_c$  составляет единицы пикосекунд, и в реальных условиях полное (физическое) временное разрешение устройства совпадений определяется чаще всего погрешностями устройств временной привязки и детекторов.

В практике физического эксперимента часто бывает необходимо подавлять сигнал совпадений при наличии некоторого запрещающего импульса. Такое запрещение осуществляется при введении в схему совпадений канала антисовпадений или при включении на ее выходе специальной схемы антисовпадений. Для реализации логики антисовпадений формирователь импульсов запрета необходимо подключить к схеме *И* через инвертор (вход *АС* на рис. 1.а). В этом случае сигналы совпадений и запрещающий импульс будут поданы на вентиль в противофазе и для импульсов запрета он будет работать как схема ИЛИ. Длительность - запрещающего сигнала должна несколько превышать длительность импульсов совпадений, чтобы надежно заблокировать схему в заданном временном интервале.

Для временного согласования сигналов в устройствах предварительного отбора применяют различные линии задержки. В устройствах переменной задержки используют

набор отрезков коаксиального кабеля разной длины. Обычно для уменьшения габаритов устройств и экономии кабеля отрезки включают последовательно, при этом длина отрезков изменяется по двоичному закону:  $l_n = 2^{n-1} l_1$ , где  $l_1$  — длина минимального отрезка, определяющего шаг изменения задержки.

В качестве коммутирующих элементов в аналоговых линиях задержки используют тумблеры, реле, диодные и транзисторные ключи, а в линиях задержки логических сигналов — еще и интегральные микросхемы.

Наибольшее распространение получили переменные линии задержки, в которых коммутация отрезков кабеля осуществляется логическими ИС. Такие линии не передают сведений об амплитуде задерживаемых импульсов, однако информация о длительности и взаимном расположении импульсов в них сохраняется достаточно хорошо. Для управления задержкой логических сигналов наиболее удобно использовать ЭСЛ ИС. Они обладают высоким быстродействием, могут непосредственно работать на волновое сопротивление коаксиального кабеля и обеспечивают термокомпенсацию изменений задержки в кабеле. Основным недостатком коммутаторов на ЭСЛ ИС — сравнительно большая собственная задержка, она примерно на порядок превышает собственную задержку электромеханических коммутаторов, поэтому при построении линий с пониженной начальной задержкой используют параллельную или параллельно-последовательную схемы включения коммутирующих вентилях. В последнем случае для переключения малых отрезков кабеля используют параллельное включение коммутирующих вентилях, а для переключения больших отрезков — последовательное. При этом по сравнению с чисто параллельной схемой достигается существенная экономия кабеля, а по сравнению с последовательной схемой — малая начальная задержка.

Конкретные сведения об используемых в работе интегральном дискриминаторе (БСА12), схеме совпадений (БСВ 4А) и линии задержки приведены в работе [3].

### 3. Описание экспериментальной установки.

Стенд для проведения лабораторных работ (рис 2) состоит из четырехканального блока детекторов (БД) со светодионом и радиоактивным источником, источника высокого напряжения ИВН для питания ФЭУ БД, генератора импульсов ГИ, осциллографа Осц. и крейта КАМАК [5] с исследуемыми модулями. Крейт КАМАК через контроллер крейта КК-009 связан с персональным компьютером ПК, который позволяет управлять модулями КАМАК и снимать с них информацию.

Стенд позволяет менять тематику лабораторных работ и их структурные схемы заменой блоков КАМАК и управляющих программ.

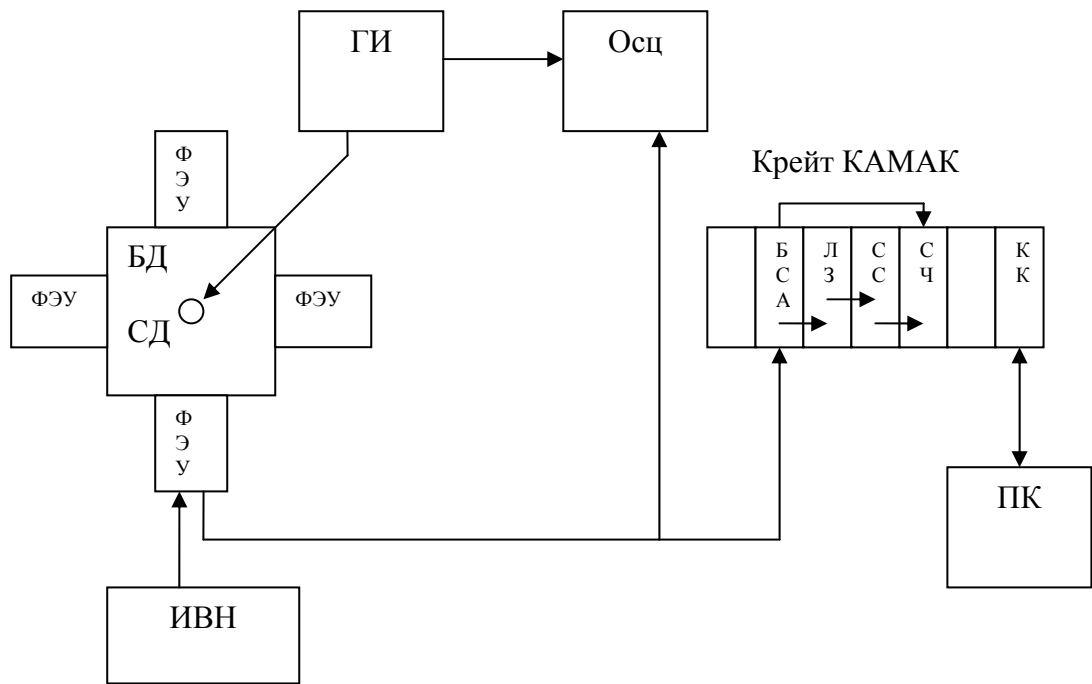
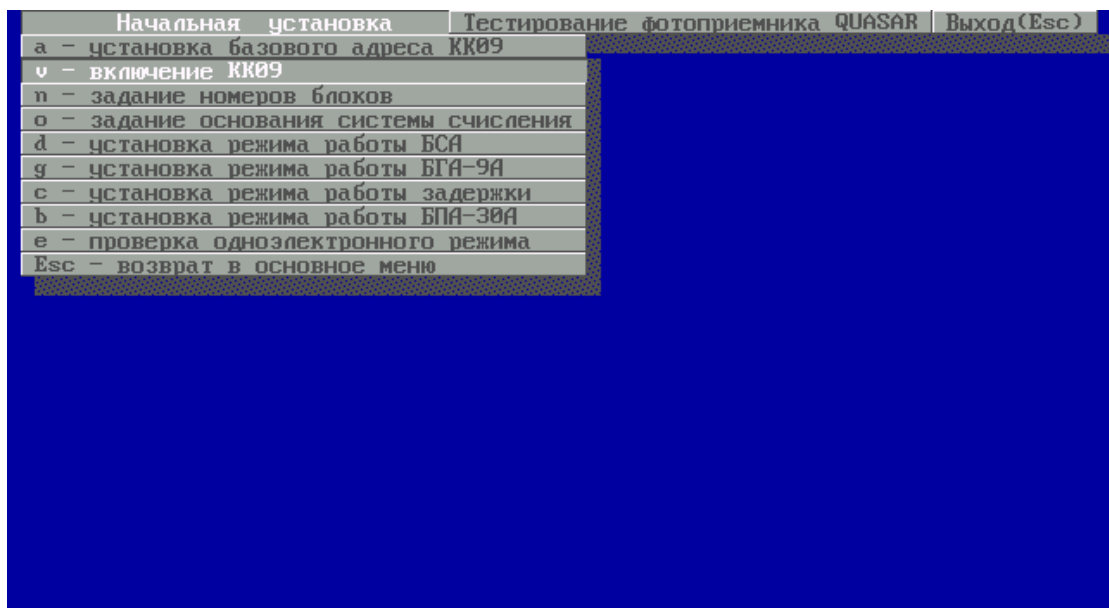


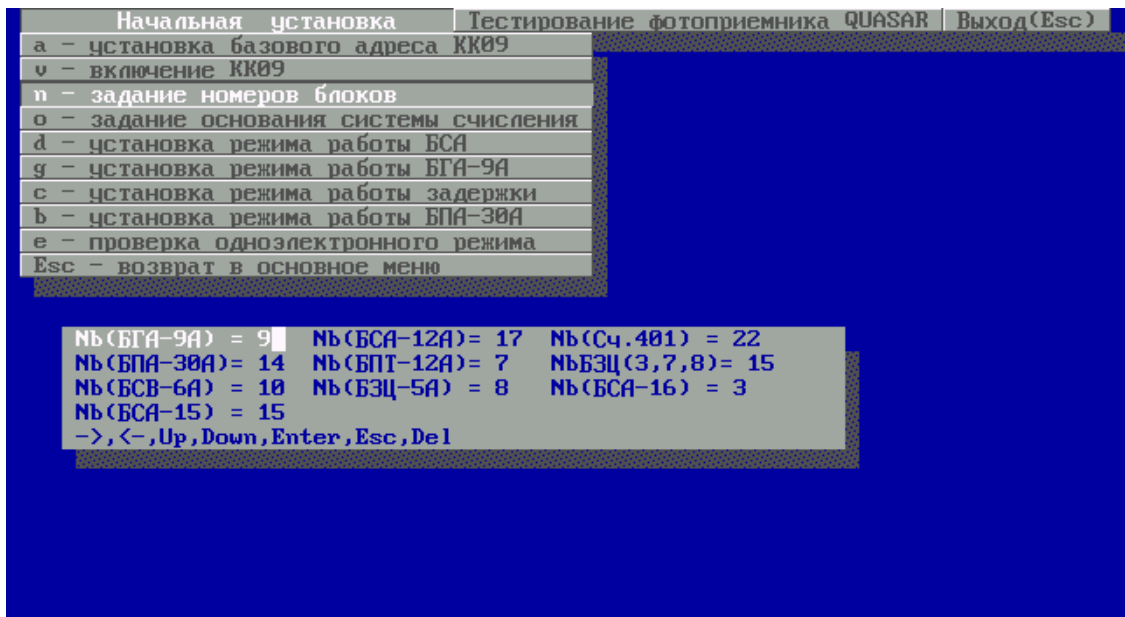
Рис. 2 Схема установки.

Задание.

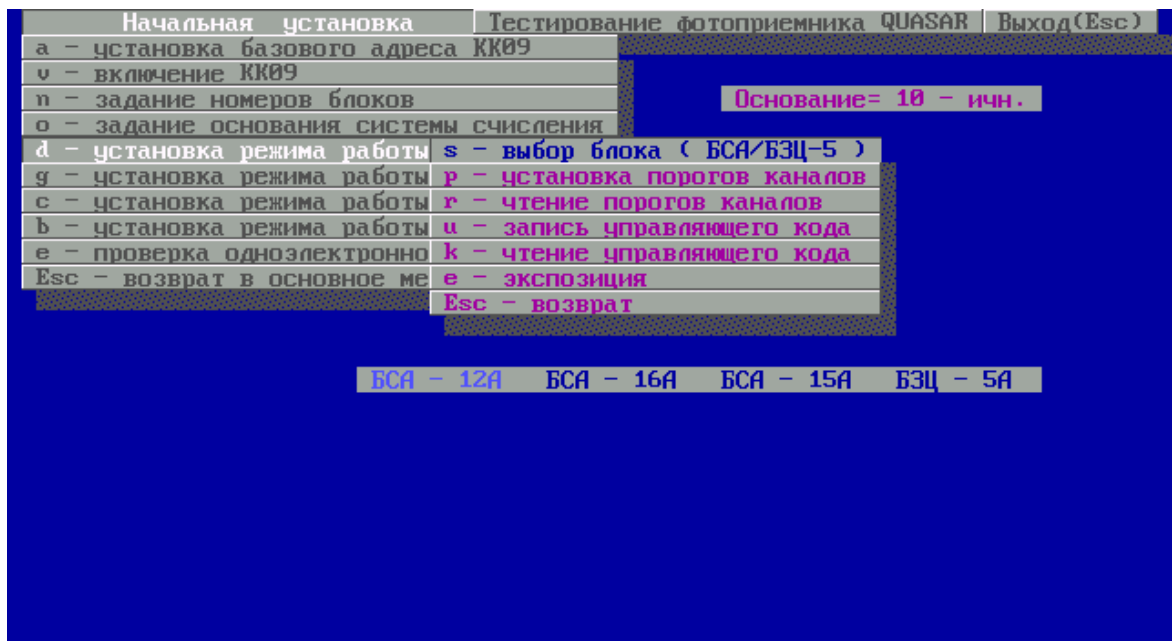
1. Включение блока детекторов. Подать высокое напряжение (1800В) на ФЭУ блока детекторов. Включить генератор импульсов ГИ и запитать светодиод СД импульсами с длительностью 10-100 нс и амплитудой не более 5 В. С помощью осциллографа убедиться в наличии на выходе ФЭУ импульсов от светодиода, синхронных с импульсами генератора. Оценить их амплитудный разброс.
2. Изучение интегрального дискриминатора. Импульсы с выхода ФЭУ подать на один из входов блока БСА-12. Изменяя порог БСА с помощью ПК снять интегральный спектр сигналов с ФЭУ. Численным дифференцированием получить дифференциальный спектр.



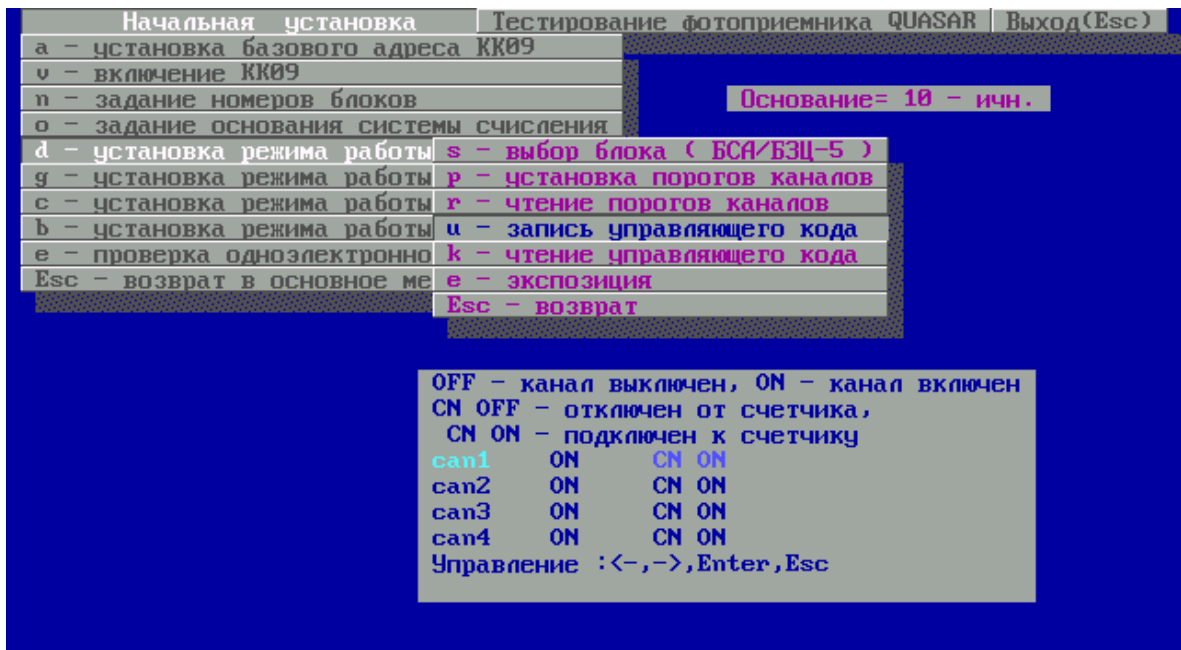
Включите контроллер крейта.



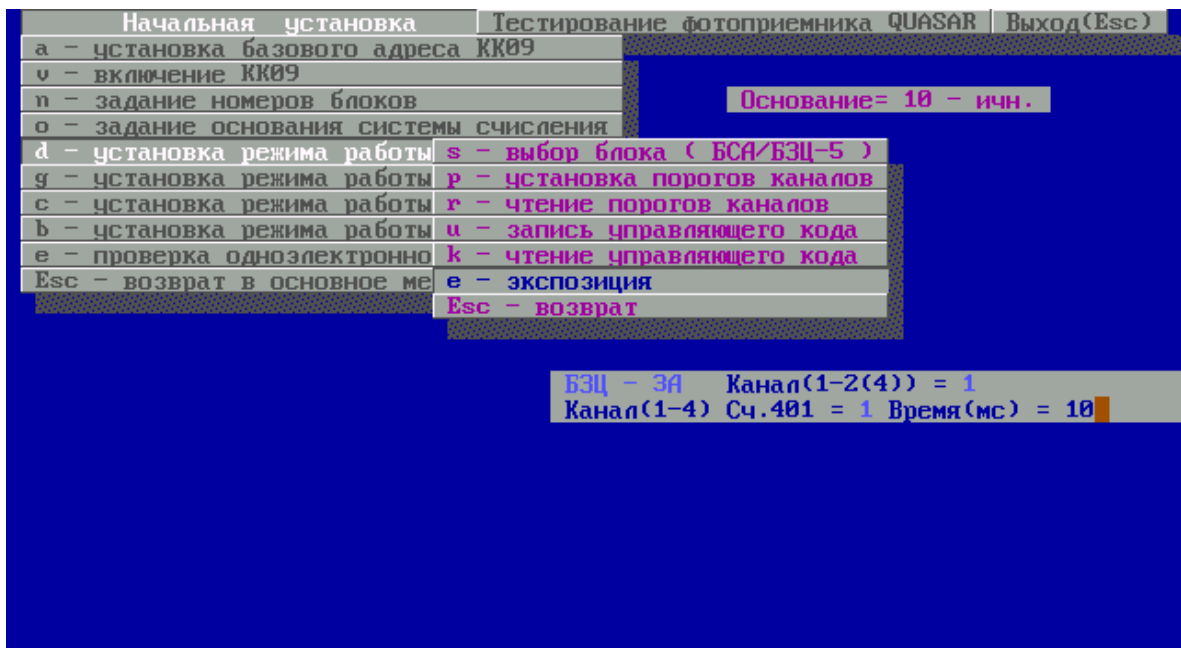
Задайте номера блоков в соответствии с их расположением в крейте.



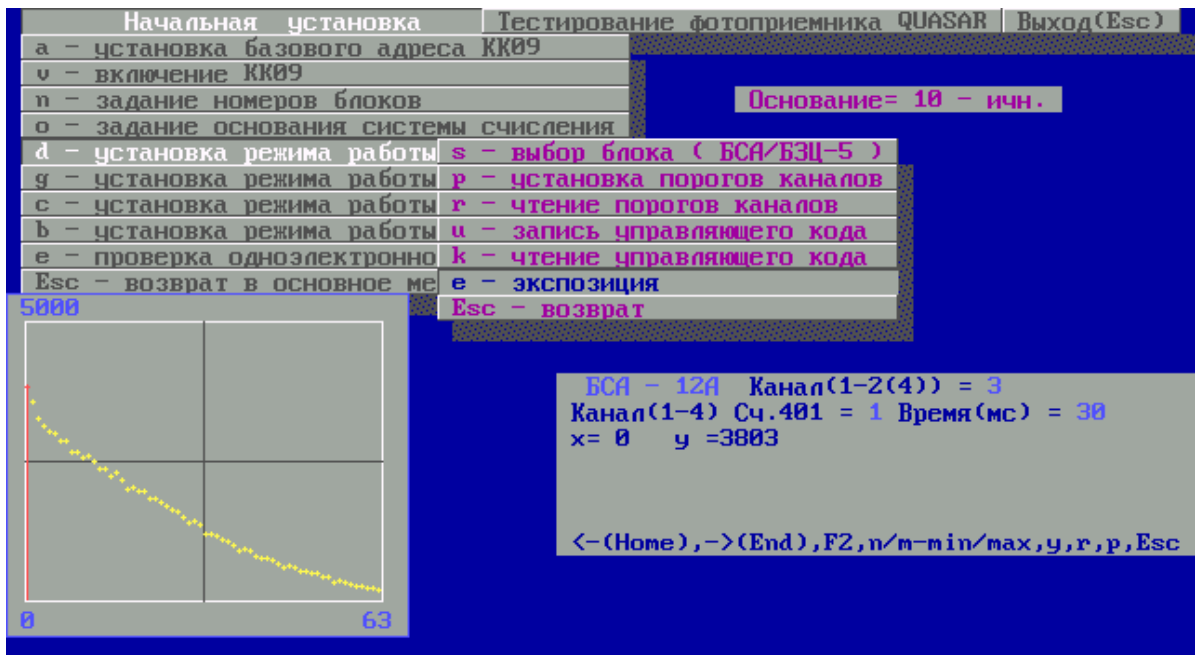
Укажите блок, с которым вы будете работать (БСА-12).



Включите каналы дискриминатора и счетчика.

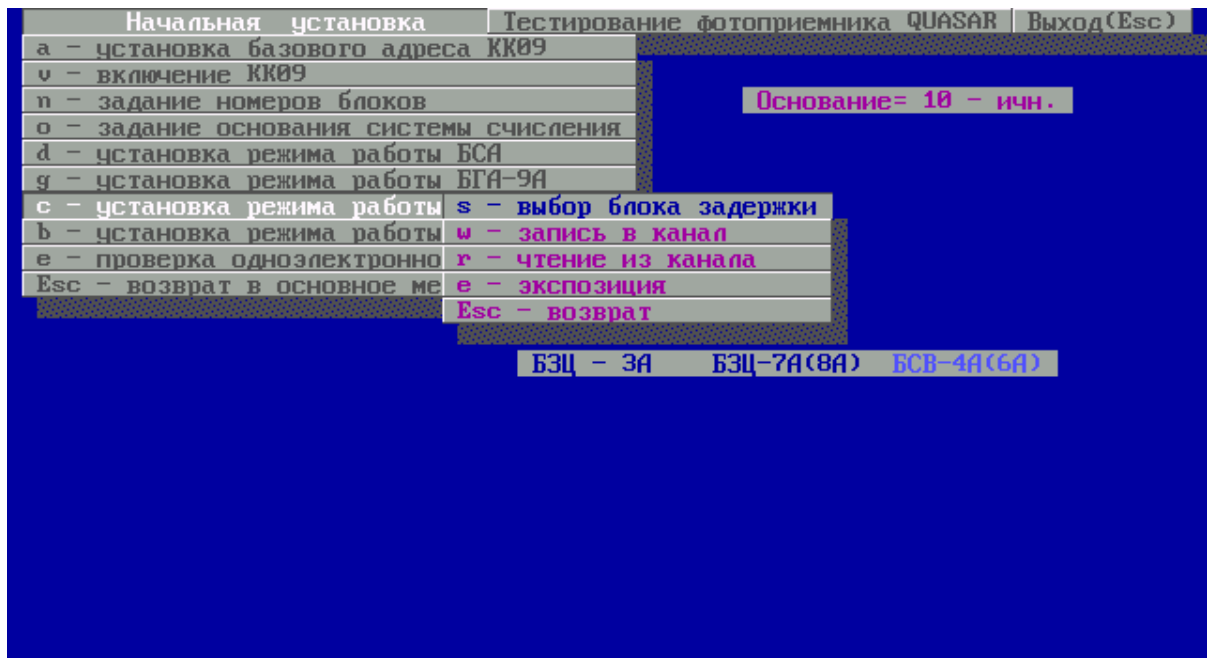


Укажите используемые каналы дискриминатора и счетчика, а так же время экспозиции.



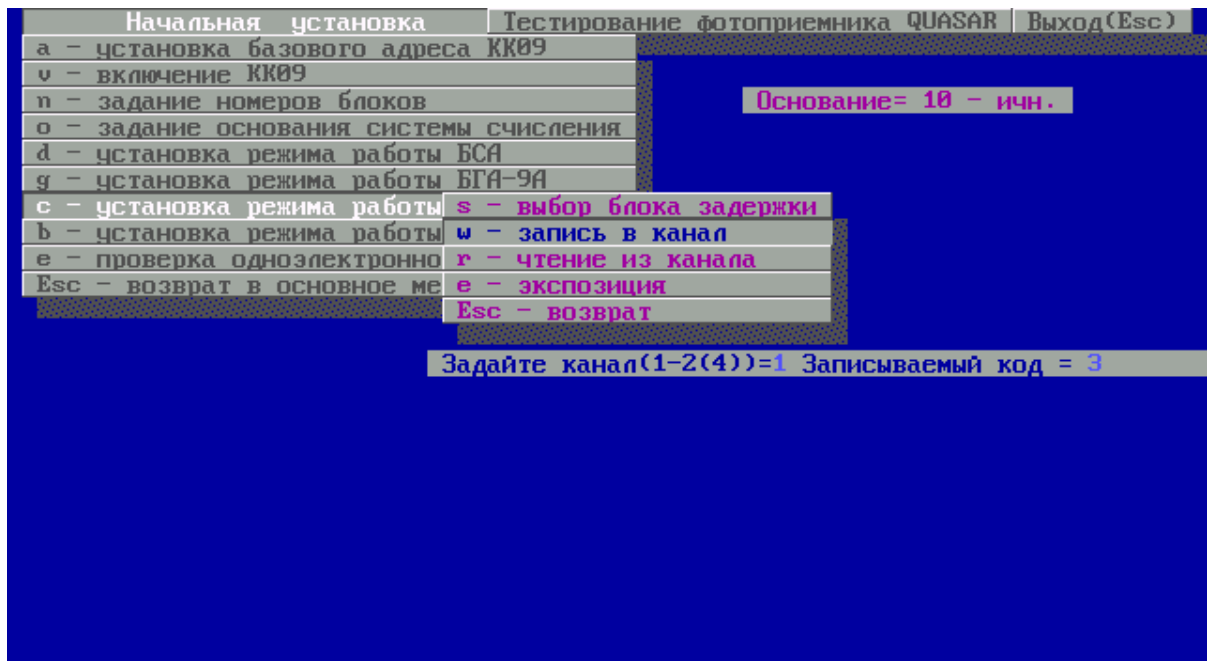
Постройте интегральный спектр.

- Изучение схемы совпадений и линии переменной задержки. Нормализованные импульсы с выходов двух каналов БСА 12 подать через линии задержки БЗЦ на входы схемы совпадений БСВ-4А. Изменяя одну из задержек снять кривую задержанных совпадений. Определить по ней разрешающее время схемы совпадений.

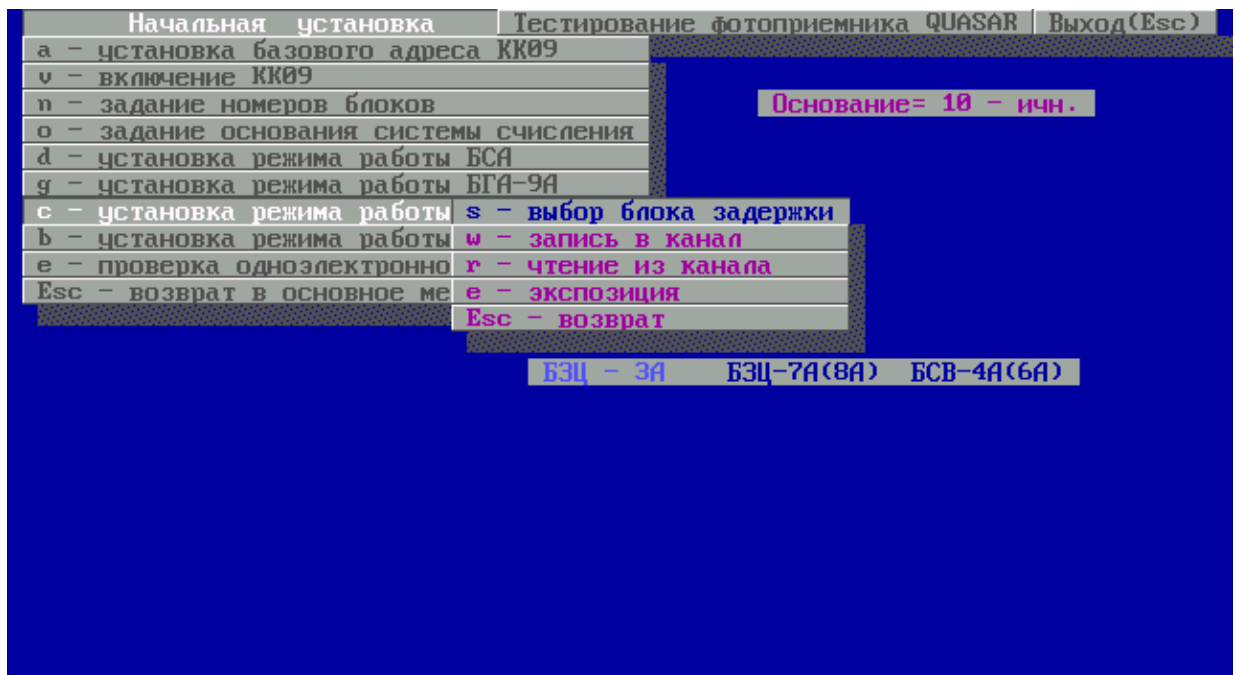


Войдите в режим работы со схемой совпадений (БСВ-4А)

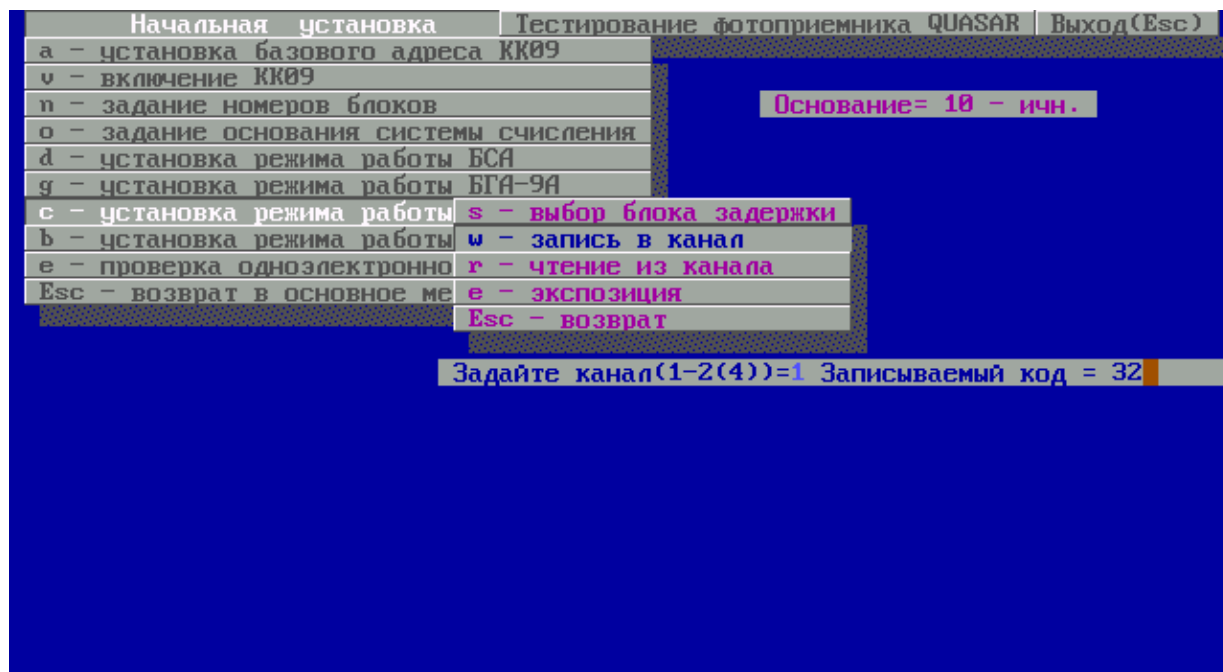




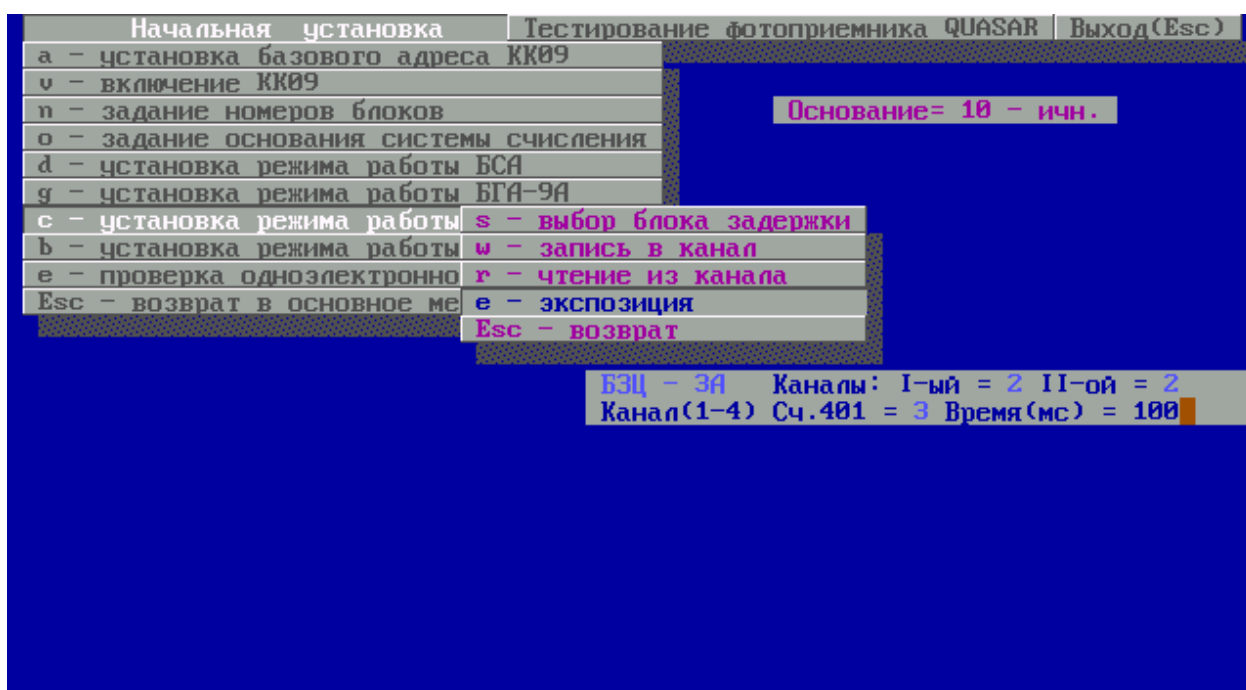
Запишите в первый и во второй канал код 3 (работа в режиме совпадений).



Войдите в режим работы с блоком задержек (БЗЦ-3А).



Задайте задержку в первом канале (рекомендуется середина диапазон - 32).



Задайте номера каналов БЗЦ и счетчика. Укажите время экспозиции.

Начальная установка		Тестирование фотоприемника QUASAR	Выход(Esc)
a	- установка базового адреса КК09		
v	- включение КК09		
n	- задание номеров блоков		
o	- задание основания системы счисления		
d	- установка режима работы БСА		
g	- установка режима работы БГА-9А		
s	- установка режима работы	s - выбор блока задержки	
b	- установка режима работы	w - запись в канал	
e	- проверка одноэлектронно	r - чтение из канала	
Esc	- возврат в основное ме	e - экспозиция	
		Esc - возврат	

Основание= 10 - ичн.

БЗЦ - 3А Каналы: I-ый = 2 II-ой = 2  
Канал(1-4) Сч.401 = 3 Время(мс) = 100  
x= 0 y =0

<-(Home),->(End),F2,n/m-min/max,y,r,p,Esc

30000

0 63

Постройте кривую задержанных совпадений.

## ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ - ДИСКРИМИНАТОР НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ БСА-12А

Формирователь-дискриминатор предназначен для отбора и нормализации по амплитуде и длительности сигналов сцинтилляционных детекторов. Формирователь работоспособен в широком диапазоне входных амплитуд и, обладая "нулевым" мертвым временем, обеспечивает высокую эффективность канала запрета при работе с устройствами логического отбора.

Структурная схема 4-канального блока формирователей-дискриминаторов представлена на рис.3. Входной сигнал поступает на пороговое устройство (ПУ), выполненное на основе быстродействующего компаратора напряжения 597СА1. На второй вход порогового устройства с цифроаналогового преобразователя (ЦАП) подается напряжение, соответствующее выбранному порогу срабатывания. По стробирующему входу компаратора соответствующий канал формирователя можно заблокировать, подавая команду по каналу каркаса КАМАК в управляющий регистр. Сигнал с порогового устройства поступает на формирователь длительности (ФД), выполненный на основе синхронного D-триггера К500ТМ131, а также элемента К500ЛМ101, и на транзисторные ключи (К), которые формируют на выходах (1 и 2) блока сигнал в стандарте NIM. С каждого из четырех формирователей выходные сигналы через схему ИЛИ и одновибратор (ОВ) поступают на общий счетный выход блока. Он может быть использован при снятии пороговых характеристик дискриминаторов. Параллельный ограничитель, включенный на вход формирователя, защищает схему от входных сигналов больших амплитуд, входное сопротивление 50 Ом обеспечивается в диапазоне амплитуд входных импульсов +0,7 - 4 В.

### Технические характеристики

Число каналов	4
Диапазон амплитуд входных сигналов	0,03 * 3 В
Входное сопротивление.	50 Ом
Минимальная длительность входного сигнала	2 нс
Диапазон регулировки порогов (нулевому коду соответствует порог - 30 мВ)	30мВ-1920мВ
Число градаций порога	64
Шаг	30 мВ
Температурная нестабильность порога	.60 мкВ/°С
Максимальная частота срабатывания	125 МГц
(при $T_u = 5$ нсек на выходах 1 и импульсах, сливающихся в сплошную линию на выходах 2)	
Длительность выходных импульсов:	
на выходе 1	5 нс
на выходе 2	15 нс
на выходе 3	100 нс

Передняя панель модуля содержит (см. рис. 3) 13 ВЧ-разъемов LEMO и один светодиод. Блок выполнен в виде модуля КАМАК единичной ширины. Имеется индикация наличия сигнала на счетном выходе.

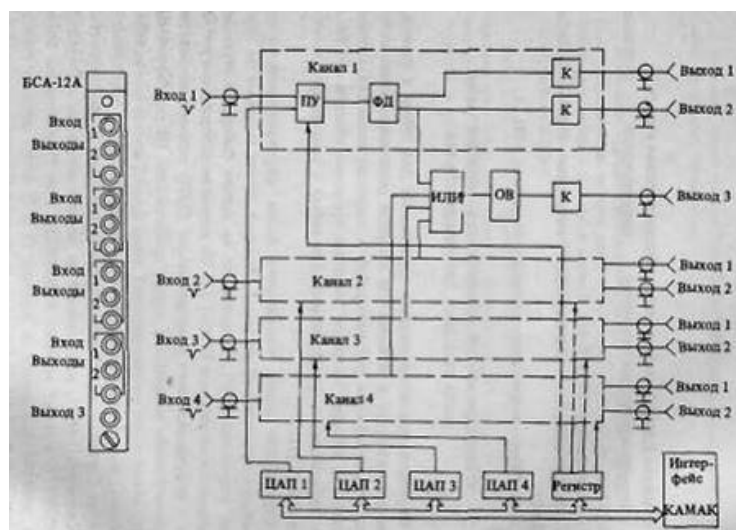


Рис. 3 Структурная схема блока формирователя-дискриминатора.

### БЛОК СОВПАДЕНИЙ С ПРОГРАММИРУЕМЫМ РАЗРЕШАЮЩИМ ВРЕМЕНЕМ БСВ-4А

Блок совпадений работает со сформированными по амплитуде и длительности импульсами и служит для отбора полезных событий по выбранным критериям. Отличительной особенностью блока является возможность задания определенной величины разрешающего времени ( $t$ ), независимой от длительности входных импульсов ( $T$ ) при условии, что  $t < t_H$ . Блок БСВ-4А имеет четыре входа, работающих на совпадения, кратность которых можно задать программным образом по каналу каркаса, и 2 входа запрета (рис. 4). Если входные импульсы с выбранных каналов совпадений попадают в интервал заданного разрешающего времени, то срабатывает элемент отбора Д1 (см. рис. 2). Выходной сигнал Д1, пройдя через формирователи длительности ФД1 и ФД2, поступает через К на выход блока. При наличии сигнала запрета (входы АС1; АС2) во время действия сигналов совпадений элемент отбора Д1 заблокирован, и на выходах 1,2,3 отсутствует выходной сигнал. Для повышения эффективности запрета в блоке используются два входа каналов антисовпадений. Блок БСВ4А может работать и как смеситель логических сигналов (выход СМ на рис. 4). Вспомогательный выход 3 используется при снятии счетных характеристик. Имеется также световая индикация наличия выходного сигнала. Блок выполнен в виде модуля КАМАК единичной ширины.

#### Технические характеристики

Число каналов совпадений	4
Число каналов запрета	2
Входное сопротивление	50 Ом
Диапазон установки разрешающего времени	1-16 нс
Число градаций	8
Шаг	2 нс
Минимальная длительность входного сигнала	$T_{вх} = t_p + 5 \text{ нс}$
Уровни входных сигналов в стандарте NIM, полярность - отрицательная	
Температурная нестабильность разрешающего времени	60 пс/°C
Собственная задержка блока	15 нс
Длительность выходных импульсов:	
на выхода 1,2	30 нс
на выходе 3	100 нс
на выходе СМ	равна длительности входного импульса

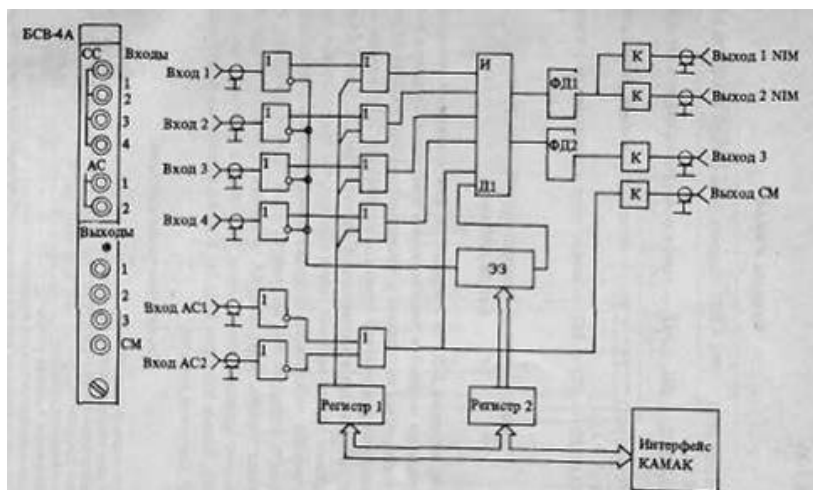


Рис.4 Структурная схема схемы совпадений БСВ-4А

**БЛОКИ ЗАДЕРЖКИ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ БЗЦ-7А, БЗЦ-8А**  
 (в лабораторной работе используется блок БЗЦ-3А, который отличается наличием ручного управления)

Блок, задержки БЗЦ-7А предназначен для временного согласования стандартных по амплитуде наносекундных импульсов. Задержка импульсов осуществляется на отрезках коаксиального кабеля FK50-06-21, общая длина которого изменяется с помощью ключей на ХЛ ИС в соответствии с кодом, записанным в управляющий регистр (рис. 5). Схема коммутации отрезков кабеля выбрана таким образом, что при различных вариантах включения собственная задержка блока остается постоянной, это существенно упрощает его настройку. Блок БЗЦ-7А содержит четыре идентичных канала, блок БЗЦ-8А выполнен с использованием менее дефицитного коаксиального кабеля РК75-1-11 и содержит два канала задержки. Блоки задержки БЗЦ-7А, БЗЦ-8А выполнены в виде модулей КАМАК единичной ширины.

#### Технические характеристики

Число каналов задержки	4 (2)
Входное сопротивление	50 Ом
Диапазон изменения задержки	64 нс
Число градаций.	64
Шаг изменения задержки	1 нс
Собственная задержка канала	25 нс
Минимальная длительность входного сигнала	5 нс
Уровни входных сигналов в стандарте NIM, полярность —	отрицательная
Температурная нестабильность максимальной задержки	<100 пс/ <sup>0</sup> С

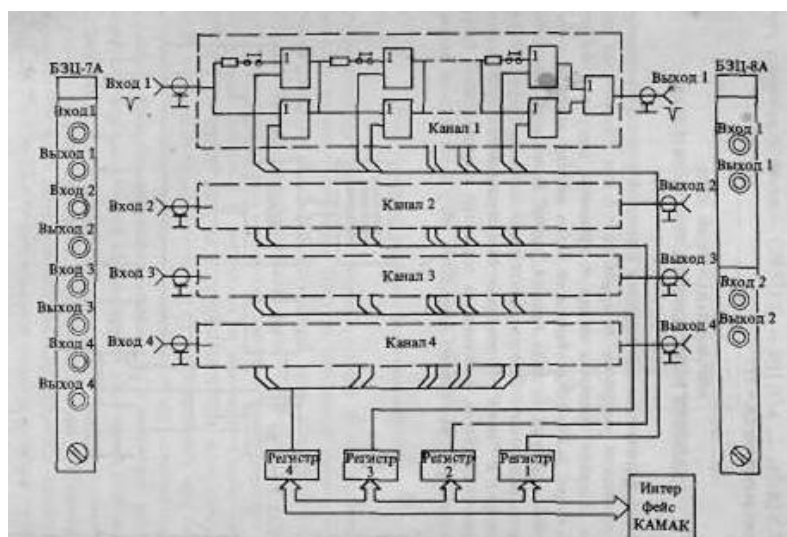


Рис. 5 Структурная схема блоков задержки БЗЦ-7А и БЗЦ-8А.

#### Литература.

1. Григорьев В. А. и др. «Экспериментальные методы ядерной физики»
2. Мелешко Е. А. «Наносекундная электроника в экспериментальной физике»
3. Климов А. И., Мелешко Е.А. и др. «Модули КАМАК наносекундного быстродействия» Препринт ИАЭ-4858/15
4. Эрглис К. Э. «Интерфейсы открытых систем». Учебный курс. С.23 М. 2000.
5. Единая система стандартов приборостроения. Система КАМАК. Крейт и сменные блоки. Требования к конструкции и интерфейсу. ГОСТ 26.201-80.