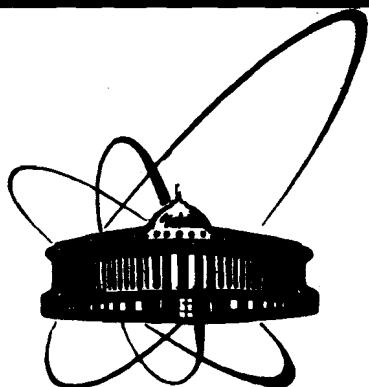


89-249



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

A 391

13-89-279

Ю.К.Акимов, А.Е.Банифатов, Ф.Глайсберг,
До Хоанг Кыонг, А.И.Калинин,
С.И.Мерзляков, В.К.Тюпиков

**ЭЛЕКТРОННЫЕ БЛОКИ
ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ**

1989

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе описывается ряд электронных блоков, предназначенных для работы с полупроводниковыми детекторами /ППД/: источник высоковольтного питания ППД, предусилитель, основной усилитель, селектор временных интервалов, быстрый усилитель и синхронизатор записи информации в буферную память.

При разработке источника высоковольтного питания ППД ставилась задача получения высокого КПД, низкого уровня пульсаций, высокой стабильности и хорошей воспроизводимости устанавливаемого напряжения.

Основные требования к предусилителю и основному усилителю состояли в обеспечении достаточно хорошего разрешения по энергии при больших нагрузках и малой величине температурной нестабильности коэффициента усиления. Дополнительное улучшение разрешения при больших нагрузках было получено с помощью селектора временных интервалов.

Быстрый усилитель требуется для усиления сигналов с временного канала предусилителя, а синхронизатор записи информации в буферную память - для устранения фатальных ошибок в системах многомерного анализа, в которых применяется запись информации в буферную память. В данной работе рассмотрен один из возможных вариантов таких систем, выполненный с использованием описываемых модулей.

ИСТОЧНИК ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПИТАНИЯ ППД КП-201

Функциональная схема прибора приведена на рис. 1. На вход подаются напряжения $U_{ВХ} = \pm 24$ В, имеющиеся на шинах питания магистрали крейта КАМАК. Транзисторный ключ / К / управляется сигналами с широтно-импульсного модулятора /ШИМ/, на один из входов которого поступает потенциал $U_1 = 10^{-3} \cdot U_{ВЫХ}$, а на другой - опорный потенциал U_0 , регулируемый в пределах $0 \div 5$ В. Состояние равновесия имеет место при $U_1 = U_0$, то есть $U_{ВЫХ} = 10^3 \cdot U_0$.

Изменения $U_{ВЫХ}$ достигаются следующим образом. Сигналы с модулятора имеют прямоугольную форму и следуют с периодом

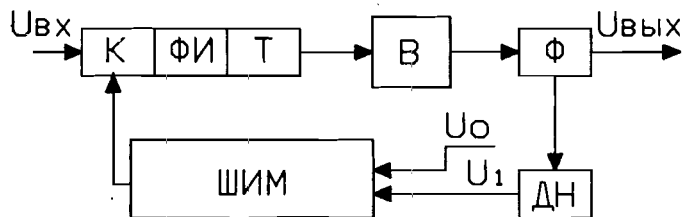


Рис. 1. Функциональная схема источника высоковольтного питания ППД КП-201.

50 мкс. Длительность их определяется величинами U_0 и тока, потребляемого нагрузкой. Подключенный к коммутатору формирователь импульсов / ФИ/ и сочлененный с ним трансформатор /Т/ преобразуют прямоугольные сигналы в синусоидальное /20 кГц/ высокое напряжение, практически не сопровождающееся более высокими гармониками^{/1,2/}. Далее следует выпрямитель /В/ с множителем напряжения /УН/ и фильтр /Ф/. Отсутствие высших гармоник обеспечивает более низкий уровень пульсаций, чем в других приборах, описанных, например, в^{/3,4/}. Характерно также то, что в рассматриваемой схеме отсутствует традиционно используемый линейный стабилизатор напряжения, в котором может теряться до половины всей потребляемой мощности.

Управление прибором осуществляется с лицевой панели, на которой расположены: гелипот для задания величины выходного напряжения, восьмипозиционный переключатель для установки скоростей нарастания и спада заданного напряжения /8 шагов - от 1000 до 5 В/с/, кнопочные переключатели управления состоянием модуля, десятипозиционный переключатель для задания величины предельного тока /0,1 ÷ 1 мА с шагом 0,1 мА/, а также разъемы "U_{вых}", "U_{вых}/100" и "I_{вых}".

Технические параметры КП-201

Выходное напряжение, кВ	0...+5
Выходной ток, мА	0...1
Уровень пульсаций, мВ	<5
Нестабильность, 1/°C	<10 ⁻⁴
Диапазон внешнего управляющего напряжения, В	0...+5
	($U_{\text{ввых}} = 1000 \cdot U_{\text{упр}}$)
Стандарт исполнения	КАМАК /2М/

Используемые команды и функции КАМАК

- NA(0)F(26)S1 - включение выходного напряжения
- NA(0)F(24)S1 - выключение выходного напряжения

NA(0)F(1)

- R1=1 - чтение регистра состояния;
- R2=1 - полярность выходного напряжения положительная
- R3=1 - полярность выходного напряжения отрицательная
- R4=1 - U_{ввых} соответствует заданному
- R5=1 - U_{ввых} = 0
- R6=1 - U_{ввых} включено
- R7=1 - сигнал ошибки /короткое замыкание или пробой/
- R8=1 - сигнал превышения I_{ввых} предельной величины
- включено внутреннее управление

ПРЕДУСИЛИТЕЛЬ П-223

Принципиальная схема предусилителя приведена на рис. 2. Прибор состоит из трех основных частей, а именно: зарядочувствительная секция с выходом в точке А, усилитель напряжения с компенсацией полюса нулем на входе - канал для амплитудных измерений "Вых. Е" и усилитель тока - канал для временных измерений "Вых. Т".

Зарядочувствительная секция по структурной схеме аналогична соответствующим узлам предусилителей "Ortec-120" и Rossendorf LVV5022-30 с некоторыми изменениями. На входе предусилителя использован полевой транзистор КП 341А /крутизна ~27 мА/В, ток затвора ~1 пА, входная емкость ~4 пФ и ток стока ~15 мА/. Особенностью описываемой схемы является применение на выходе транзисторов с высоким, максимально допустимым напряжением, что позволило достигнуть динамического диапазона этой секции ±15 В.

Было обнаружено, что индуктивность проволочного переменного резистора в цепи компенсации полюса нулем приводит к появлению небольшого выброса на переходной характеристике, что негативно влияет на энергетическое разрешение спектрометрического канала при повышенных нагрузках. Этот выброс удалось компенсировать подключением к указанной цепи дополнительного проволочного резистора /на рис. 2 - τ экспоненты/.

Временной канал выполнен так же, как и в предусилителе П-213^{/5/}, однако импульсы подаются на него с выхода зарядочувствительной секции. Такая схема подключения временного канала практически не вносит дополнительных шумов в канал измерения энергии.

Технические параметры предусилителя П-223

Коэффициент усиления зарядочувствительной секции с разомкнутой петлей обратной связи	20000
Температурная нестабильность коэффициента передачи в диапазоне температур 20 ÷ 50 °C, %/°C	<0,005

рометрического усилителя КА234А /см. ниже/ 2 мкс приведена на рис. 3 и описывается как

$$\frac{1}{2} \Delta(\text{Ge}), \text{кэВ} = 0,85 (\text{кэВ}) + 0,02 (\text{кэВ/пФ}) \cdot C (\text{пФ}) .$$

Используемые источники питания и потребляемые токи: -24 В - 30 мА; +24 В - 80 мА. Размеры корпуса - 140·80·40 мм.

На рис. 4 приведена зависимость разрешения от загрузки, измеренная от источника ^{60}Co на Ge(Li)-детекторе объемом 40 см³ с использованием в качестве формирующего усилителя "Ortec-572" /постоянная формирования 2 мкс/. Верхняя кривая относится к предусилителю П-223, а нижняя - к "Ortec-120-3F". Изменение разрешения с ростом загрузки почти одинаковое и обусловлено, в первую очередь, основным усилителем.

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ КА-234А

В качестве основного усилителя спектрометрического тракта предлагается усовершенствованный вариант спектрометрического усилителя КА-234/6/, блок-схема которого приведена на рис. 5.

Основные особенности усилителя следующие:

1. Входной каскад выполнен на микросхеме КР159НТ1, а остальные усилительные каскады построены на основе микросхем КР544УД2.

2. Первые три каскада /быстрая часть усилителя/ охвачены цепью обратной связи, выполняющей функции восстановления нулевой линии.

3. Квазигауссовский фильтр выполнен на двух активных RC-фильтрах второго порядка.

4. Выходной каскад имеет время-вариантный восстановитель нулевой линии, управляемый логическим сигналом "Мертвое время", длительность которого соответствует длительности выходного импульса. Такой сигнал вырабатывается логикой после каждого импульса, превышающего определенный порог на выходе быстрой части схемы. Таким образом достигается независимость нулевого уровня выходного каскада от загрузки усилителя.

5. Логической частью вырабатываются также вспомогательные сигналы: "Число импульсов", "Наложения" и "Мертвое время", которые можно использовать для оценки загрузки, исключения наложенных импульсов и др.

Сущность модернизации усилителя КА-324 связана с изменением время-вариантного восстановителя нулевой линии, который в новом варианте построен на основе операционного усилителя "напряжение - ток", аналогичного СА-3080. Упрощенная схема восстановителя вместе с выходным каскадом приведена на рис. 6.

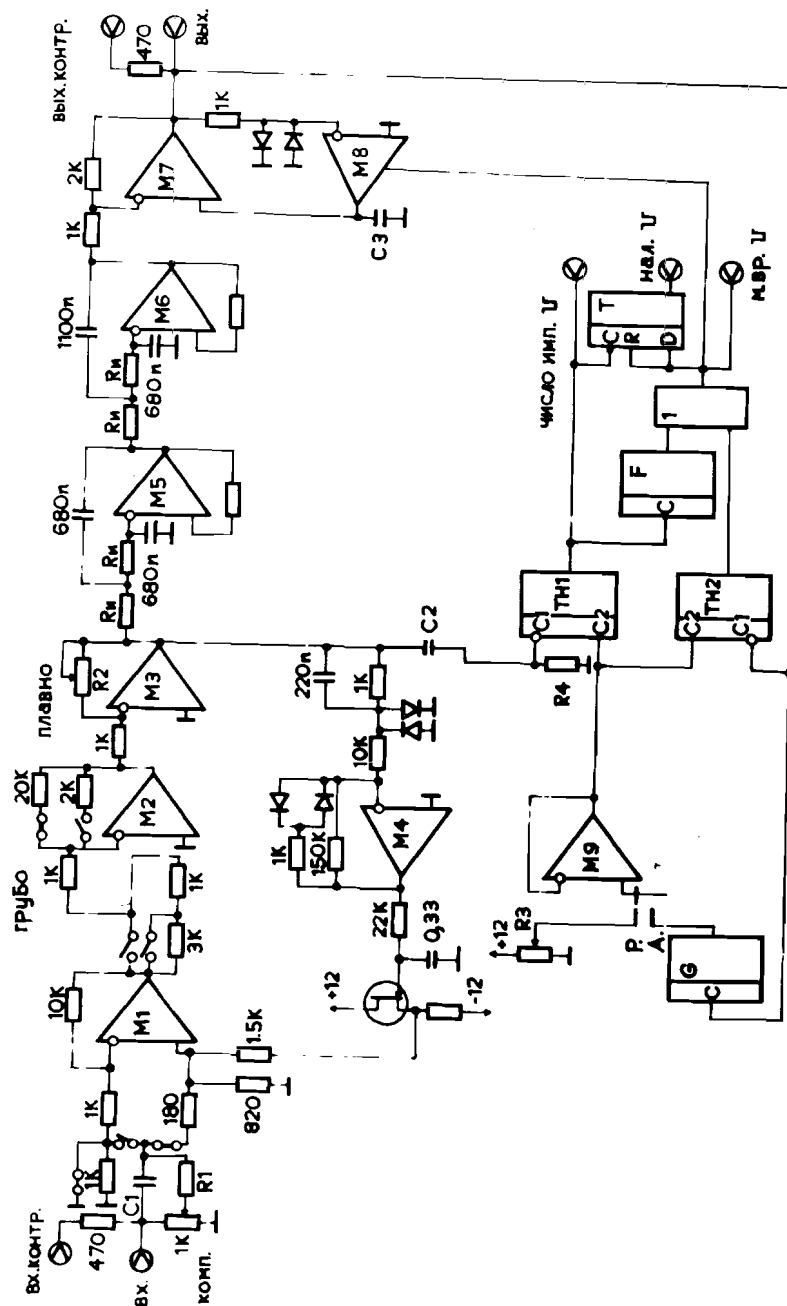


Рис. 5. Блок-схема спектрометрического усилителя КА-234А.

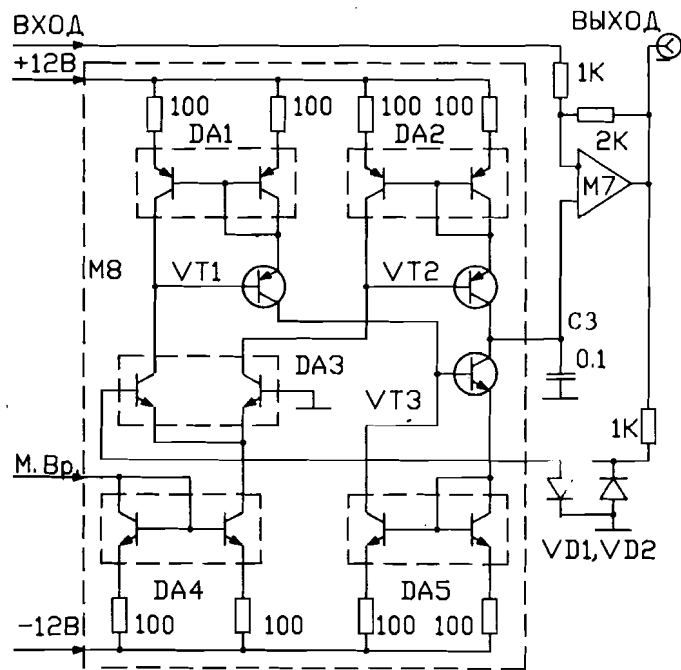


Рис. 6. Схема восстановителя нулевой линии на основе операционного усилителя "напряжение - ток" (DA1, DA2 - КТС 3103А; DA3, DA4, DA5 - КР159НТ1; VT1, VT2 - КТ3107Д; VT3-КТ3102Б).

Основу схемы составляет управляемая током дифференциальная пара DA3. Каждое плечо этой пары нагружено на "токовые зеркала" (DA1, VT1 и DA2, VT2), которые связаны между собой с помощью третьего "токового зеркала" (DA5, VT3). Такая схема усиливает и инвертирует входной сигнал, но в отличие от обычного операционного усилителя /"напряжение - напряжение"/ имеет высокоомный, токовый выход, который легко согласуется с большой емкостной нагрузкой C3.

С помощью описанного операционного усилителя осуществляется обратная связь с выхода последнего каскада усилителя на его неинвертирующий вход. Таким образом стабилизируется выходной потенциал усилителя в интервалах между рабочими импульсами. При появлении сигнала операционный усилитель "напряжение - ток" закрывается токовым логическим сигналом "Мертвое время" и нулевая линия поддерживается в течение всего импульса конденсатором C3.

Емкость конденсатора памяти C3 должна быть достаточно большой, чтобы она не успела разрядиться на заметную величину даже в течение двух - трех импульсов /в случае наложений/. С другой стороны, этот конденсатор не должен сильно ограничивать быстродействие операционного усилителя. Оптимальная величина емкости конденсатора памяти C3 - около 0,1 мкФ. В результате модернизации улучшилось быстродействие схемы и значительно возросла загрузочная способность усилителя.

Основные технические параметры усилителя следующие: входное сопротивление - $>500 \text{ Ом}$; полярность входных сигналов - любая; постоянные времени формирования - 0,5, 1,0, 2,0 мкс; среднеквадратичное шумовое напряжение, приведенное ко входу при $\tau = 2 \text{ мкс}$ - $<10 \text{ мкВ}$, $\tau = 0,5 \text{ мкс}$ - $<20 \text{ мкВ}$; выходное сопротивление - 50 Ом; полярность выходных импульсов - положительная; максимальная амплитуда выходных импульсов +8 В при нагрузке 500 Ом, +5 В при 50 Ом; интегральная нелинейность при максимальной выходной амплитуде не хуже 0,1%; диапазон изменения коэффициента усиления - $/10 \div 1500/$; температурная нестабильность коэффициента усиления в диапазоне температур $10 \div 50 \text{ }^\circ\text{C}$ - не хуже $10^{-2} \text{ } \%/^\circ\text{C}$; используемые источники питания и потребляемые токи: +24 В - 220 мА, -24 В - 200 мА, +6 В - 170 мА, -6 В - 80 мА; стандарт исполнения - КАМАК 2М.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Испытания усилителя КА-234А проводились при его включении в состав спектрометрического тракта на основе $\text{Ce}(\text{Li})$ -детектора объемом 80 см^3 /емкость $C = 75 \text{ пФ}$ / с предусилителем П-223

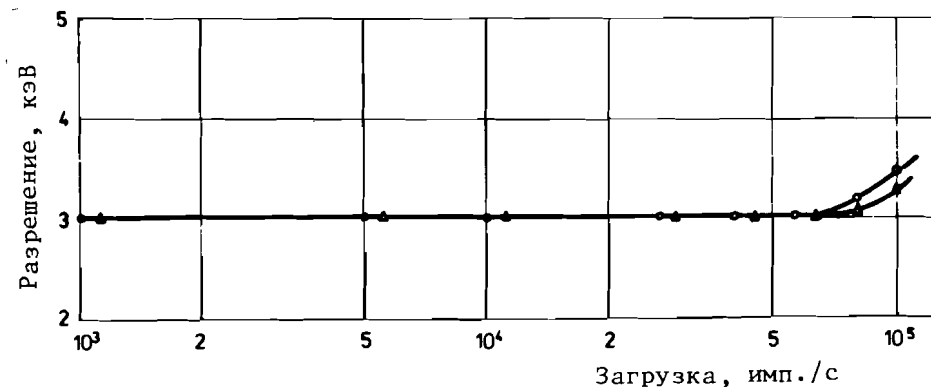


Рис. 7. Зависимость разрешения от загрузки для спектрометрического усилителя КА-234А.

при постоянной формировании, равной 2 мкс. Зависимость разрешения от загрузки /источник ^{60}Co / приведена на рис. 7. Нижняя кривая на рисунке была получена с селектором временных интервалов /см. ниже/. Из приведенного рисунка следует, что спектрометрический канал может работать без значительного ухудшения разрешения вплоть до загрузок 10^5 имп./с.

БЫСТРЫЙ УСИЛИТЕЛЬ КА-213

Прибор предназначен для усиления импульсов во временном канале спектрометров на основе полупроводниковых детекторов и других детекторов ядерных излучений. Блок-схема, приведенная на рис. 8, и основные параметры прибора в целом повторяют параметры широко распространенного быстрого усилителя У-203, выпускаемого Опытным производством ОИЯИ. Прибор включает в себя: входной ограничитель уровня сигналов; буферный каскад с переключателем полярности на входе; две секции основного усилителя, включение и выключение которых осуществляется кнопочными переключателями, расположенными на передней панели;

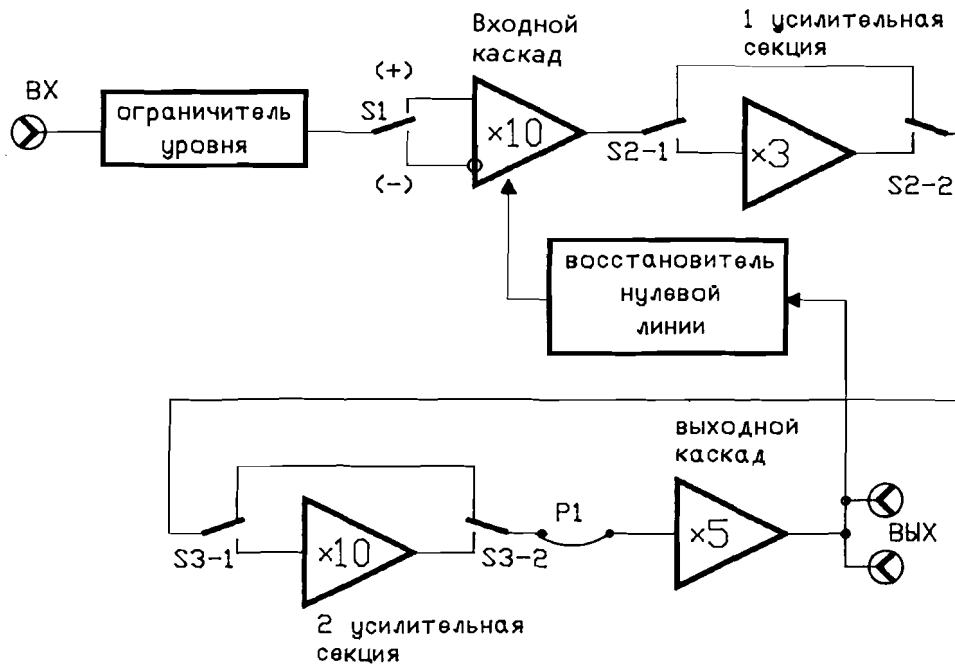


Рис. 8. Блок-схема быстрого усилителя КА-213.

выходной каскад типа "открытый коллектор", подключенный к двум выходам, и восстановитель нулевой линии.

Исходя из опыта работы, а также учитывая пожелания пользователей, в модуль по сравнению с прототипом внесли следующие изменения. Во-первых, прибор выполнен в виде модуля КАМАК единичной ширины. Во-вторых, исключен из схемы переключатель времени интегрирования /как показал опыт работы, этот узел обладал наименьшей надежностью/. В-третьих, для улучшения термостабильности германиевые транзисторы в приборе заменены на кремниевые.

Основные параметры прибора следующие. При нагрузке 25 Ом $K_{уc} = 50, 150, 500, 1500$; время нарастания - 3 нс при $K_{уc} = 50$ и 5 нс при $K_{уc} = 1500$; интегральная нелинейность - $< \pm 1\%$; температурная нестабильность $K_{уc}$ в диапазоне температур $0 \div 50^\circ\text{C}$ - $< 0,1\%/^\circ\text{C}$; максимальное время восстановления при 100-кратной перегрузке - 10 нс; максимальная амплитуда входных сигналов - ± 10 В; максимальная амплитуда выходных сигналов - 2,5 В при нагрузке 25 Ом; полярность входных сигналов - любая; входное сопротивление - 50 Ом; полярность выходных сигналов - отрицательная; среднеквадратичное напряжение шумов, приведенное ко входу, - 100 мкВ; используемые напряжения и потребляющие токи: +24 В - 130 мА, -24 В - 180 мА; стандарт исполнения - КАМАК 1М.

СЕЛЕКТОР ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ КЛ-230

Прибор предназначен для режекции наложенных импульсов в системах многомерного спектрометрического анализа. Блок-схема модуля приведена на рис. 9. На вход его поступают логические сигналы "Лог." с временного канала, сигналы внешнего сброса "Сброс" с селектора временных интервалов другого канала системы многомерного анализа и сигналы мертвого времени "М. время", например, с амплитудно-цифрового преобразователя /см. следующий раздел/. Схема имеет следующие выходы: ворота "Ворота", запрет "Запр.", вызов "Выз.", внутренний сброс "С1", формируемый модулем на основе временной последовательности сигналов "Лог.", и суммарный сброс "С2", равный "С1" + "Сброс".

Назначение отдельных элементов блок-схемы следующее. Одновибратор S1 служит для формирования по длительности входных сигналов, поступающих затем на одновибраторы "с продлением" S2 и S3 и триггеры T1 и T2. В исходном состоянии ворота И1 открыты выходным потенциалом T1, и импульс с S1, имеющий длительность "Т", проходит на выход "Ворота". Сигнал внутреннего сброса "С1" формируется при появлении в течение времени сигнала "Т" повторного импульса на входе "Лог.". При этом сигнал

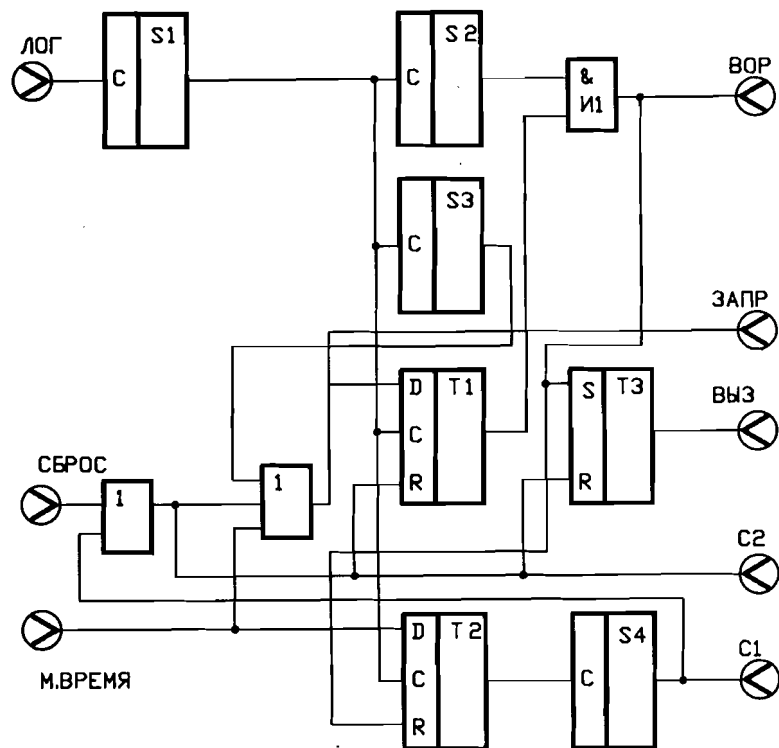


Рис. 9. Блок-схема селектора временных интервалов КЛ-230.

"Ворота" снимается. Условия формирования сигнала "Ворота" можно описать выражением

$$\text{"Ворота"} = \text{"Т"} \cdot (\text{"С2"} + \text{"М. время"} + \text{"Т"}') \cdot \text{"Лог."},$$

где сигнал "Т'" - это импульс одновибратора S3. Таким образом, сигнал "Ворота" отсутствует, если в момент прихода на вход "Лог" сигнала не закончился хотя бы один из сигналов "С2", "М. время" или "Сброс". При наличии любого из этих сигналов возникает сигнал на выходе "Запрет". Сигнал вызова появляется вместе в сигналом "Ворота" и сбрасывается сигналом "С2".

Основные технические характеристики прибора следующие: стандарт исполнения - КАМАК 2М; число каналов - 2; длительность импульсов с одновибраторов S1 и S2 изменяется в двух диапазонах: $0,1 \div 1$ мкс и $1 \div 10$ мкс, причем каждый диапазон

разбит на 10 поддиапазонов с плавной регулировкой посредством потенциометров. Используемые напряжения и потребляемые токи: -6 В - 1,5 А; -24 В - 5 мА.

Выше, на рис. 7, уже демонстрировалось улучшение энергетического разрешения при больших нагрузках для спектрометра, в котором применялся селектор временных интервалов. При этом АЦП /КА-209/7/7/ работал в режиме внешнего запуска с сигналом "Ворота". На вход "Лог" селектора подавались предварительно усиленные и сформированные сигналы с выхода "Т" предусилителя П-223, на вход "Сброс" - сигналы с выхода "наложения" усилителя КА-234А, а на вход "М. время" - соответствующие сигналы с АЦП. Длительность времен Т и τ были выбраны равными 4 и 10 мкс соответственно, из того расчета, чтобы эти сигналы превышали время нарастания и спада импульсов со спектрометрического усилителя. Сигнал "С1" подавался на вход "Сброс" АЦП, а "С2" - на "Общий сброс" контроллера КК-001.

Ниже будет описан другой вариант возможного применения селектора временных интервалов - в двухплечевом спектрометре. В этом варианте показано также использование синхронизатора записи в буферную память КЛ-228.

СИНХРОНИЗАТОР ЗАПИСИ В БУФЕРНУЮ ПАМЯТЬ КЛ-228

Прибор 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.

Блок /КАМАК-2М/ включает в себя /см. рис. 10/ схемы выбора совпадений для сигналов "Вызов" и для сигналов "Ответ", а также цепи управления и контроля. Модуль осуществляет проверку на совпадения поступающих от АЦП и ВЦП сигналов "Вызов" в течение заданного временного интервала "Т". Если имеются совпадения, то формируются сигналы "Запись" для БП. С лицевой панели переменным резистором задается временной диапазон совпадений $T = 25 \div 90$ мкс. 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 "Выбор входов", установленными на передней панели. Остальные клавишные переключатели

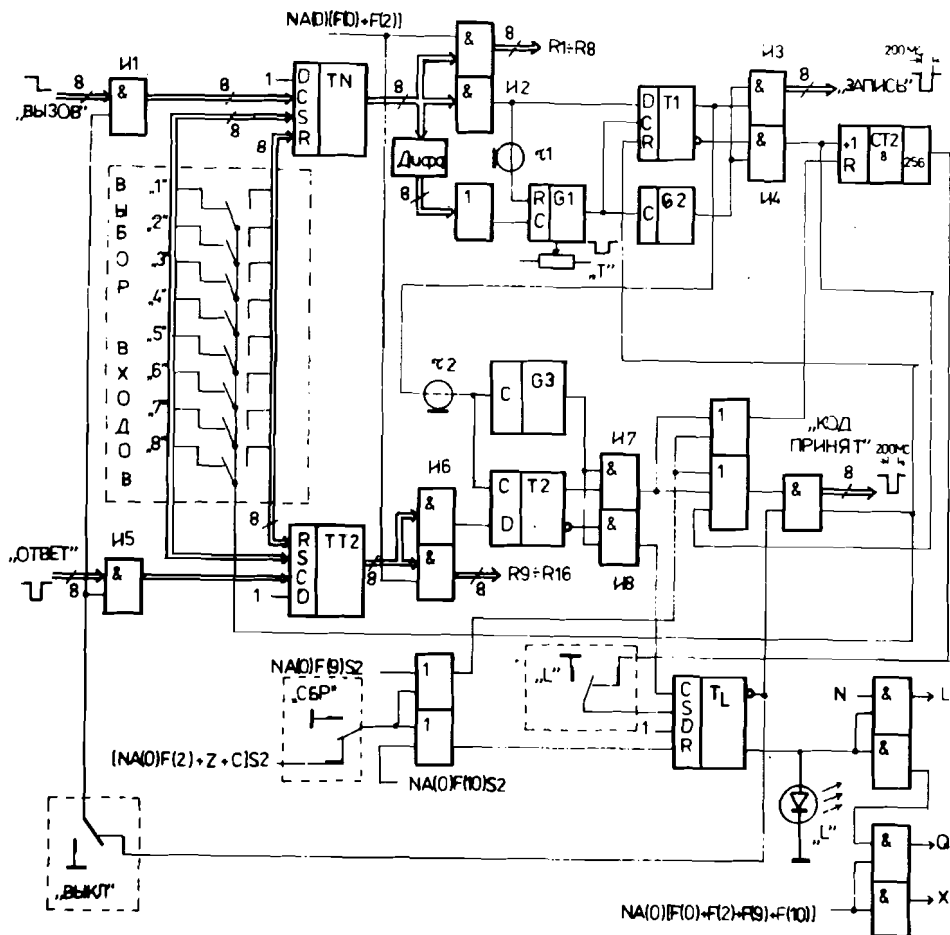


Рис. 10. Блок-схема синхронизатора записи в буферную память КЛ-228.

"L", "Вык" и "Сбр" предназначены для контроля работоспособности прибора: установки сигнала "L" на магистрали, выключение всех входов и сброса всех регистров модуля в исходное состояние соответственно.

Входные и выходные сигналы модуля соответствуют уровням ТТЛ, причем логика - отрицательная. Длительность входных сигналов - более 50 нс, а выходных - 200 нс. Связь с преобразователями и БП осуществляется через два разъема МРН-32-1, причем все нечетные контакты заземлены. Разъем "Преобр" предназначен для связи с АЦП и ВЦП со следующим распределением четных контактов: со 2 по 16 - входы "Вызов", с 18 по 32 - выходы "Код

принят" для 1-8 преобразователей соответственно. На разъеме "БП" контакты со 2 по 16 являются входами "Ответ" от БП, а с 18 по 32 - выходами "Запись".

Используемые команды и функции КАМАК

- NA(0){[F(2)+F(9)]+Z+C}S2 - установка прибора в исходное состояние, Q = 1
- NA(0)F(8) - тест L, Q = 1, если L = 1
- NF(0)F(10) - сброс L, Q = 1
- NA(0)F(0) - чтение состояния статусных регистров TT1 и TT2, причем по шинам R1-R8 считываются регистры, подключенные ко входам "Вызов", а по R9-R16 - ко входам "Ответ"
- NA(0)F(2) - чтение со сбросом регистров TT1 и TT2

Используемые источники питания и потребляемые токи +6 В - 0,6 А, -6 В - 10 мА; стандарт исполнения - КАМАК 2М.

ВАРИАНТ ДВУХПЛЕЧЕВОГО СПЕКТРОМЕТРА

Блок-схема системы считывания двухплечевого спектрометра на основе ППД, приведенная на рис. 11, состоит из двух спектрометрических каналов, каждый из которых включает в себя: предусилитель /ПУ/ П-223, быстрый усилитель /БУ/ КА-213, формирователь для временной привязки /ФВП/ Ф-214/8/, спектрометрический усилитель /СУ/ КА-234А, селектор временных интервалов /СВИ/ КЛ-230, амплитудно-цифровой преобразователь /АЦП/ КА-206/9/ и буферную память /БП/ КЛ-207/10/. Для организации работы каналов в режиме совпадений введены связи между СВИ и АЦП обоих каналов, а также установлен специальный блок - синхронизатор записи в буферные памяти /СЗ/ КЛ-228.

СВИ каждого канала в данной блок-схеме выполняют две основные функции. Во-первых, это формирование сигнала "Ворота" для АЦП при условии, что передний фронт анализируемого сигнала не наложился на спад предыдущего /длительность времени одновибратора T СВИ устанавливается равной $6t$, где t - постоянная формирования СУ/. Второй функцией СВИ является формирование сигнала "Сброс" для АЦП или в случае наложения второго сигнала на фронт анализируемого /длительность одновибратора t СВИ устанавливается равной $3t$ /, или при поступлении на его вход "Сброс" сигнала с СВИ другого канала, что обеспечивает синхронный сброс обоих АЦП.

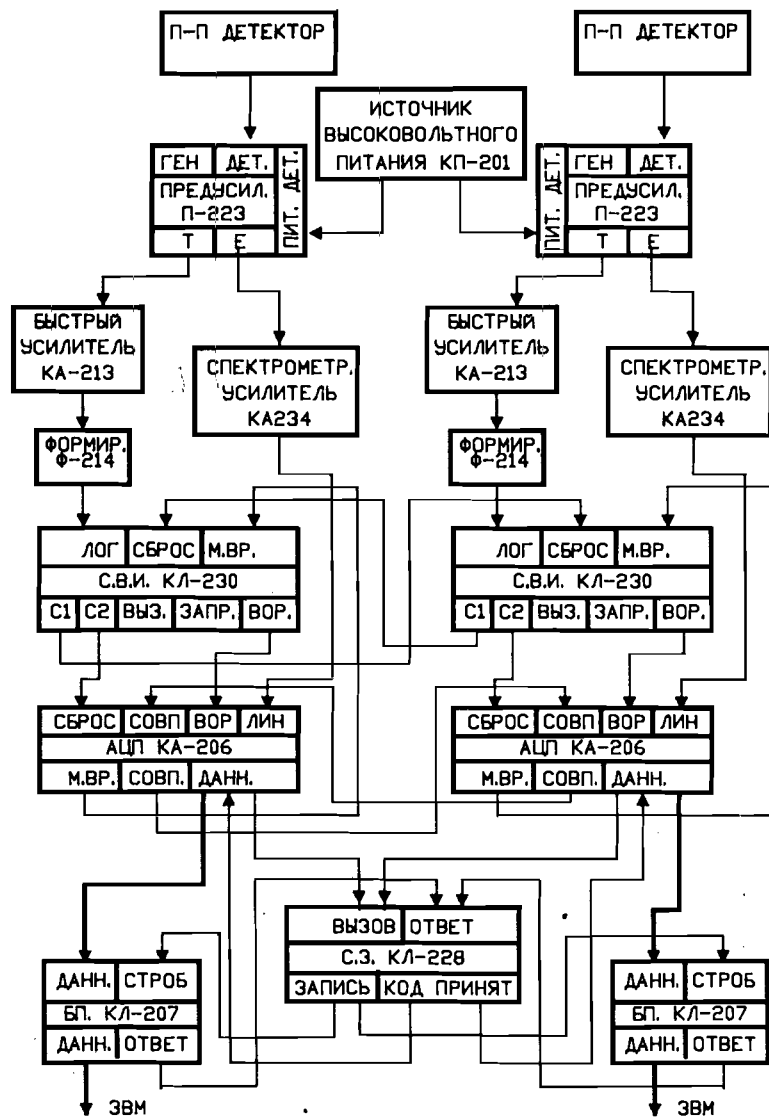


Рис. 11. Блок-схема варианта двухплечевого спектрометра.

Режим совпадений в системе на этапе преобразования аналоговых сигналов в цифровой код обеспечен перекрестными связями входов и выходов "совпадения" АЦП обоих каналов /наличие таких входов и выходов является особенностью АЦП КА-206/.

Как показал опыт работы, несмотря на принятые меры с вероятностью примерно 10^{-4} появляются события, соответствующие срабатыванию лишь одного канала установки. Для исключения таких событий, поскольку они сбивают адресную синхронизацию записи информация о событии в БП, в системе применен СЗ, обеспечивающий проведение перезаписи из АЦП в БП лишь при условии окончания циклов преобразования в обоих АЦП. В противном случае в СЗ вырабатывается сигнал "Ответ" для АЦП, возвращающий их в исходное состояние, без формирования сигнала "Запись" для БП. Этот же модуль контролирует работоспособность БП по наличию поступления из нее сигнала "Ответ".

В заключение авторы хотели бы выразить свою благодарность Х.-Г. Ортлеппу за полезные консультации при разработке предусилителя, а также В.Б.Бруданину и Б.М.Сабирову за помощь при проведении испытаний аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gleisberg F. - Авторское свидетельство ГДР: DD PS 217968 H02M, 3/335, 1982.
2. Gleisberg F., Fatterschneiber H. - Авторское свидетельство ГДР: DD WP H02M 278211-0, 1985.
3. Голутвин И.А. и др. - ОИЯИ, 13-82-95, Дубна, 1982.
4. Стремень П., Фещенко А.А. - ОИЯИ, 13-82-728, Дубна, 1982.
5. Akimov Yu.K. et al. - NIM, 1972, v.104, p.581.
6. Акимов Ю.К., Динь Ши Хьен, Калинин А.И. - ПТЭ, 1985, №3, с.131.
7. Мерзляков С.И., Нгуен Нгок Лам.- ОИЯИ, 13-11818, Дубна, 1978.
8. Акимов Ю.К. и др. - ОИЯИ, 13-89-93, Дубна, 1989.
9. Габриэль Ф. и др. - ОИЯИ, P13-11201, Дубна, 1978.
10. Мерзляков С.И., Экштейн П. - ОИЯИ, B1,13-12050, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 апреля 1989 года.