

**И Н С Т И Т У Т  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р**

**ПРЕПРИНТ И Я Ф 74 - 69**

**В.М.Аульченко, Ю.В.Коршунов, Ю.В.Усов**

**АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ  
И ИНТЕГРИРУЮЩИЕ УСИЛИТЕЛИ  
ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЁТЧИКОВ**

**Новосибирск**

**1974**



АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ИНТЕГРИРУЮЩИЕ  
УСИЛИТЕЛИ ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ

В.М.Аульченко, Ю.В.Коршунов, Ю.В.Усов

А Н Н О Т А Ц И Я

Описываются два аналого-цифровых преобразователя на 512 и 1024 рабочих канала и схемы интегрирующих усилителей. Приводятся их принципиальные схемы и основные параметры.



В современных экспериментах по физике высоких энергий все большее внимание уделяется амплитудному анализу импульсов от детекторов элементарных частиц, в частности от сцинтилляционных счетчиков.

Широкое применение ЭВМ для сбора и обработки данных требует представления всей информации, в том числе и информации об амплитудах импульсов, в цифровом виде. Поэтому широкое распространение получили т.н. аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

Ниже описываются АЦП, используемые в системе регистрации на установке со встречными электрон-позитронными пучками ВЭП-2М.

Схема АЦП состоит из интегрирующего усилителя и собственно преобразователя (рис.1). Амплитуда импульсов на выходе усилителя пропорциональна заряду входных сигналов в некотором интервале их длительностей, а для импульсов неизменной длительности - их амплитуде. Коэффициент преобразования усилителя  $K_{\text{п}} = 6 \cdot 10^9$  в/к, длительность переднего фронта импульса на выходе усилителя 1,5 мксек. Линия задержки ЛЗ1, включенная между третьим каскадом усиления (Т3) и выходным эмиттерным повторителем (Т4) задерживает сигнал на 1,5 мксек; за это время формируются сигналы управления.

Зарядное устройство АЦП представляет собой усилитель-смеситель с отрицательной обратной связью, собранный на ИС1, Т7, и Т8. Полный коэффициент усиления  $K_{\text{ус}} = 27$ . Емкость памяти С20 через диод Д2 заряжается до амплитудного значения импульса. Для исключения начального участка ВАХ диода одновременно с сигналом на инвертирующий вход усилителя-смесителя подается импульс "пьедестала" с токового ключа Т10-Т11. Этот импульс формируется одновибратором на ИС3, ИС4, который запускается сигналом управления. Задним (положительным) фронтом "пьедестала" взводится триггер преобразования (ИС7), управляющий ключом разрядного тока (Т13-Т14). С этого момента емкость памяти начинает линейно разряжаться через Д3, Т13 и Т15. Одновременно с началом преобразования открывается вентиль ИС9 и импульсы с тактового генератора частоты 3,3 МГц (ИС6) через преобразователь



уровней Т17, Т18, Д14, Д15 подаются на пересчетную схему (ПС).

Детектор нуля представляет собой усилитель-ограничитель (ИС2) с нелинейной обратной связью (Д16, Д17, Д18). В тот момент времени, когда емкость памяти разрядится до нуля, на выходе эмиттерного повторителя (Т9) появляется положительный импульс, сбрасывающий триггер преобразования (ИС7). Вся схема возвращается в исходное состояние.

Основные характеристики АЦП совместно с усилителем.

1. Чувствительность 0,24 пкул/канал
2. Число рабочих каналов 512.

Полное число каналов (емкость ПС) 1024

3. Ограничение усилителя на уровне 700÷800 каналов
4. Частота тактового генератора 3,3 МГц.
5. Пьедестал  $N_n = 20$  каналов
6. Зависимость номера канала от амплитуды входных сигналов выражается прямой вида  $N_k = \alpha Q_{вх} + \beta$ ,  $\alpha = 4,2$  кан/пкул,  $\beta = N_n$ , с погрешностью не более  $\pm 2\%$ .
7. Стабильность коэффициента преобразования 0,13%/°С.

В вышеупомянутой системе регистрации длительное время работают 48 описанных АЦП. Эксплуатация показала их высокую надежность. Однако, для некоторых задач линейности и количества каналов этих АЦП оказывается недостаточным.

Более совершенной является схема АЦП, представленная на рис.2. Основным элементом этого АЦП является дифференциальный усилитель на полевых транзисторах Т3 и Т4. За счет цепи отрицательной обратной связи (Т12, Т15, Д3) потенциал на емкости памяти С4 стремится быть равным потенциалу на затворе Т3. В исходном состоянии, когда затвор Т3 заземлен через открытый транзистор Т2, а Т1 закрыт, потенциал на емкости памяти близок к нулю и соответствует равновесному состоянию дифференциального усилителя. При этом разрядный ток  $I_p = 0,1$  мА протекает через Т12, Т15, Д3, Т16 и Т18, а потенциал базы транзистора Т13 примерно на 0,6 В выше потенциала базы Т14. Поэтому Т13 закрыт, а Т14 открыт.

Анализируемый сигнал положительной полярности подается на затвор Т3 через нормально закрытые линейные ворота (ЛВ), представляющие собой последовательно-параллельный ключ на полевых транзисторах Т1 и Т2. Цепь обратной связи через Т5 позволяет расширить верхнюю границу пропускаемых воротами сигналов до II в. Коэффициент ослабления ворот в закрытом состоянии не менее 60 дБ.

Сигнал управления, совпадающий по времени с моментом прихода на вход ЛВ анализируемого сигнала, запускает одновибратор ворот (ИС1, ИС2) и одновибратор задержки (ИС3, ИС4). Сигналы с этих одновибраторов через ИС5, ИС8 и ИС9 открывают ЛВ, закрывают Т16 и открывают Т17. Емкость памяти С4 начинает заряжаться через Т12, Т15 и Д3. Время заряда С4 до максимального значения амплитуды  $I_0$  равно 0,3 мксек, поэтому длительность импульса управления воротами должна быть не менее этого времени. После окончания импульса управления затвор Т3 вновь оказывается заземленным, Т4 открыт потенциалом на емкости С4, а Т3 и Т12 закрыты. Смещением на диоде Д2 транзистор Т13 открывается, а Т14 — закрывается. Разрядный ток протекает через Т17 и Д4 на землю, диод Д3 заперт.

Преобразование начинается через некоторое время после окончания импульса ворот, необходимое для окончания переходных процессов. С помощью ИС7 начало преобразования синхронизовано с определенной фазой колебаний тактового генератора частоты 10 МГц (ИС16). Положительный импульс с выхода ИС7 взводит триггер преобразования (ИС10), Т16 открывается, Т17 закрывается и начинается линейный разряд емкости С4 постоянным током. Одновременно на выходе ИС11 появляется отрицательный импульс, клапан ИС12 открывается и сигнал с тактового генератора поступает на ПС.

Генератор разрядного тока (Т16) имеет выходное сопротивление около 10 мом, при максимальном времени преобразования 100 мксек ( $U_{вх} = 10$  в) погрешность за счет экспоненциального разряда составит 1%. Введение отрицательной обратной связи через  $R_в = 10$  мом полностью исключило эту нелинейность.

В момент времени, когда потенциал на С4 снизится до равновесного значения, Т12 и Т15 откроются, разряд прекратится.



Ключ Т13, Т14 вернется в исходное состояние и триггер преобразования окажется сброшенным. Схема вернулась в исходное состояние.

#### Основные характеристики АЦП

1. Чувствительность 0,01 в/кан
2. Число рабочих каналов 1024  
Полное число каналов (емкость ПС) 2048
3. Ограничение на уровне 1200±1300 каналов
4. Частота преобразования 10 МГц
5. Зависимость номера канала от амплитуды входных сигналов выражается прямой вида  $N_k = a U_{вх} + b$ ,  
 $a = 100$  кан/в,  $b = 2$ , с отклонением не более ±0,5%.
6. Стабильность коэффициента преобразования не хуже 0,017%/°С.

#### Усилитель

Для того, чтобы повысить чувствительность преобразователя и иметь возможность работать с короткими входными сигналами, перед АЦП-2 стоит интегрирующий усилитель (рис.3).

Усилитель состоит из двух интегрирующих каскадов Т1, Т2 и Т3, Т4 и выходного каскада усиления Т5, Т6. Двойное интегрирование необходимо для формирования переднего фронта и длительности выходного сигнала. Выходной сигнал имеет передний фронт 250 нсек и длительность на полувысоте 500 нсек. Коэффициент преобразования усилителя  $K_p = 10^{11}$  в/кул. В последнем каскаде усилителя для стабилизации коэффициента усиления усилителя применена термозависимая обратная связь. Дифференцирующая емкость С15 служит для сокращения времени восстановления постоянного уровня сигнала.

Основные параметры усилителя при  $R_n = 10$  к.

1. Коэффициент преобразования  $K_p = 10^{11}$  в/кул
2. Максимальный выходной сигнал 10 в.
3. Загрузка по входу сигналами с максимальным зарядом при условии смещения постоянного уровня не более чем на 1% от максимального выходного напряжения - 200 КГц.

4. Восстановление выходного уровня до 1% от  $U_{вх}$  при 10-кратной перегрузке - 6 мксек.

#### Основные характеристики АЦП с усилителем

1. Чувствительность 0,1 пкул/канал
2. Число рабочих каналов 1024  
Полное число каналов (емкость ПС) 2048
3. Ограничение на уровне 1200±1300 кан.
4. Частота преобразования 10 МГц
5. Зависимость номера канала от амплитуды входных сигналов при неизменной их длительности выражается прямой вида  $N_k = a Q_{вх} + b$ ,  $a = 10$  кан/пкул,  $b = 1 \div 2$ , с отклонением не более ±0,5%.
6. Стабильность коэффициента преобразования не хуже 0,02%/°С.

#### Интегрирующий усилитель с линейными воротами

Более совершенная схема интегрирующего усилителя приведена на рис.4. Главное отличие ее от предыдущей заключается в том, что перед интегрирующими каскадами стоят линейные ворота, что позволяет работать с большими нагрузками без опасности наложения импульсов в усилителе.

Входной каскад (Т1, Т2) представляет собой преобразователь напряжения в ток. Нагрузкой этого каскада является линия задержки ЛЗТ-0,5-600, минимальная длительность сигнала на выходе ЛЗТ - на полувысоте 100 нсек, по основанию - 200 нсек. С эмиттерного повторителя Т3 импульсы поступают на нормально закрытые ворота (ЛВ), представляющие собой последовательно-параллельный ключ на полевых транзисторах Т4, Т5. Для фиксации постоянного уровня на входе ЛВ применен усилитель с отрицательной обратной связью (ИС1, Т10). Исходное значение потенциала на входе ЛВ регулируется с помощью потенциометра R16. Для положительных (рабочих) сигналов входное сопротивление схемы фиксации приблизительно равно 100 к, т.к. при этом закрыт транзистор Т10, а для отрицательных сигналов, возникающих вследствие заряда переходной емкости, входное сопротивление схемы фиксации близко к нулю.



Поэтому восстановление постоянного уровня происходит очень быстро. При подаче на вход усилителя импульсов с частотой 2,5 МГц и скважностью 2 смещение постоянного уровня на входе ЛВ не превышает 0,5% от амплитуды сигнала.

Линейные ворота открываются на время прохождения сигнала с помощью токовых ключей Т6, Т7 и Т8, Т9. Время открывания и закрывания ворот не более 20 нсек. Сигнал с ЛВ поступает на интегрирующий каскад (Т11, Т12) и далее, через интегрирующую цепь R24C9, на усилительный каскад (Т13, Т14) с термозависимой отрицательной обратной связью. Через разделительную емкость С10 положительные сигналы поступают на вход АЦП.

Основные характеристики АЦП с этим усилителем такие же, что и с усилителем, описанным выше.

Стабильность пьедестала  $\pm 1$  канал в диапазоне температур  $+5 \div +50^\circ\text{C}$  при длительности сигнала управления ворот 200 нсек. Максимальная нагрузка по входу до 2,5 МГц. При больших нагрузках возможны ошибки из-за наложения импульсов на входе линейных ворот.

### Литература

Г. А. С. Трофимов, Л. П. Челноков. ОИЯИ, IO-7270, 1973 г.

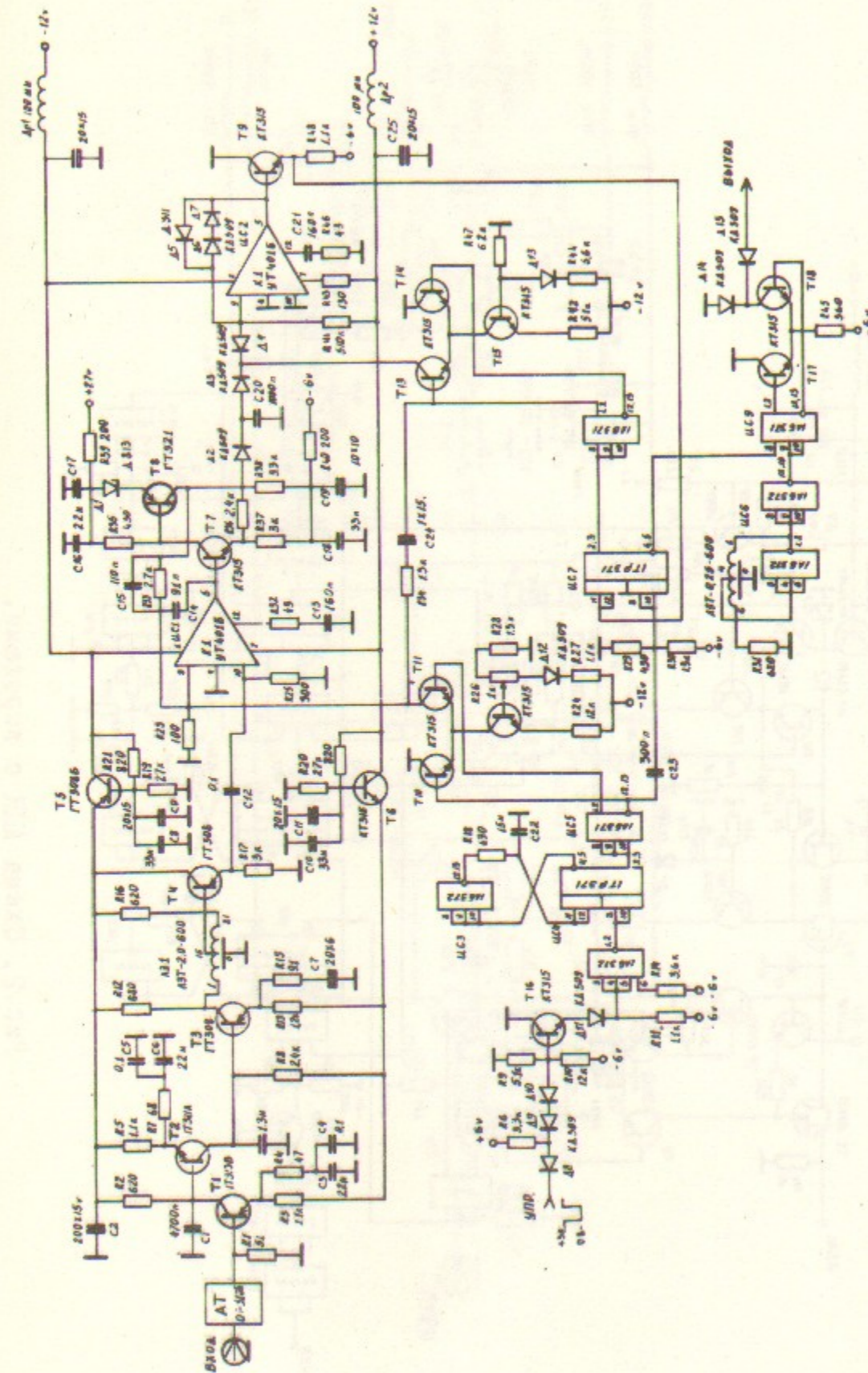


Рис. 1 Схема АЦП с интегрирующим усилителем.



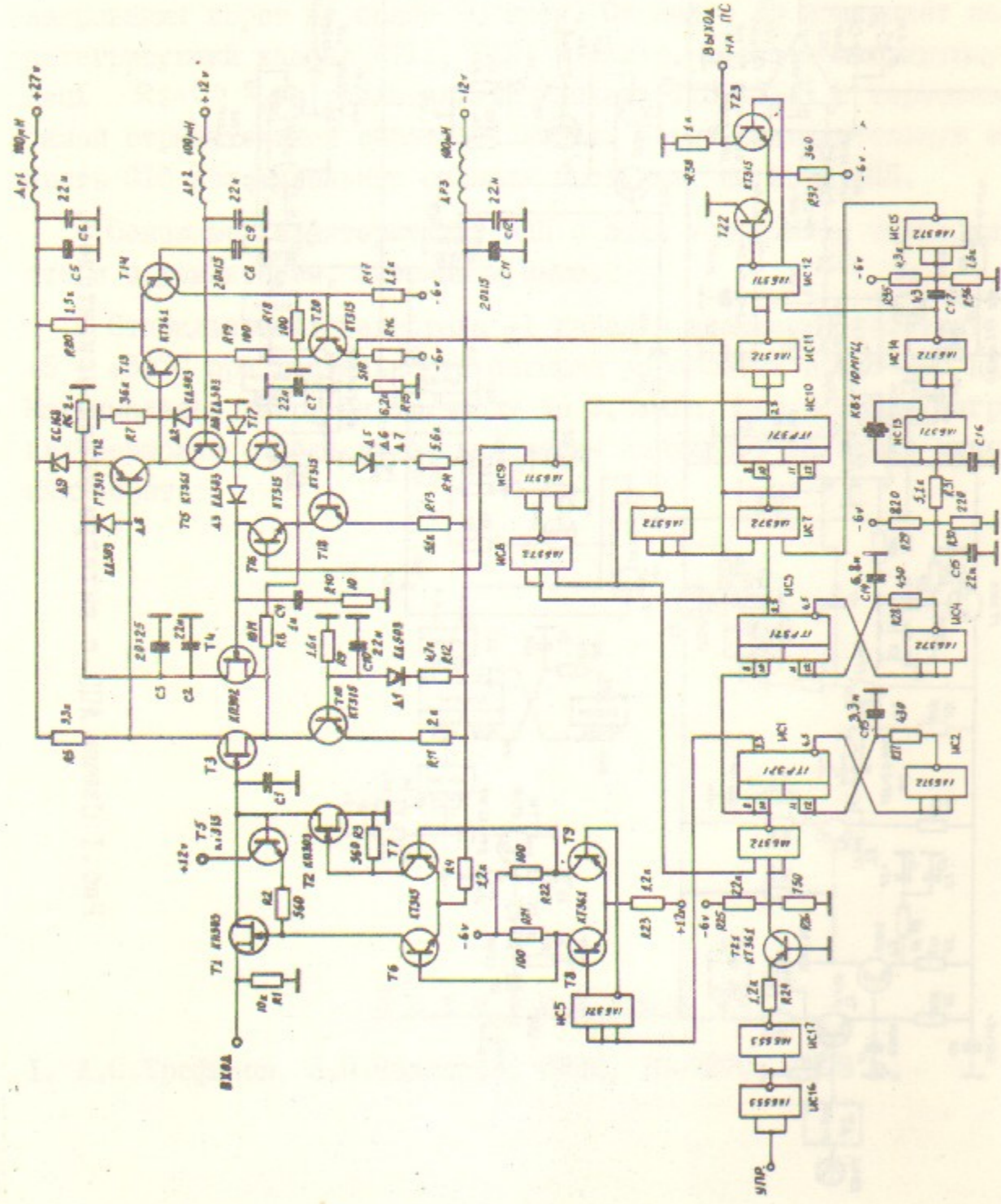


Рис. 2. СХЕМА АФД С ВОРОТАМИ.

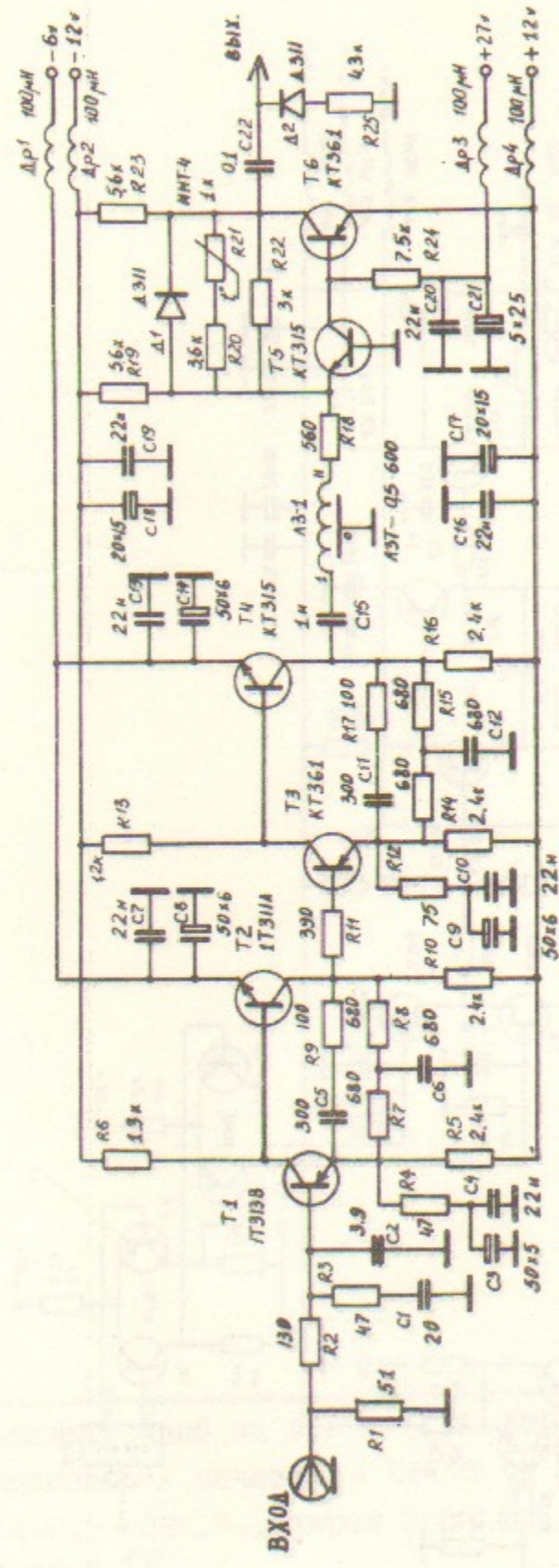


Рис. 3. Интегрирующий усилитель для АФД.



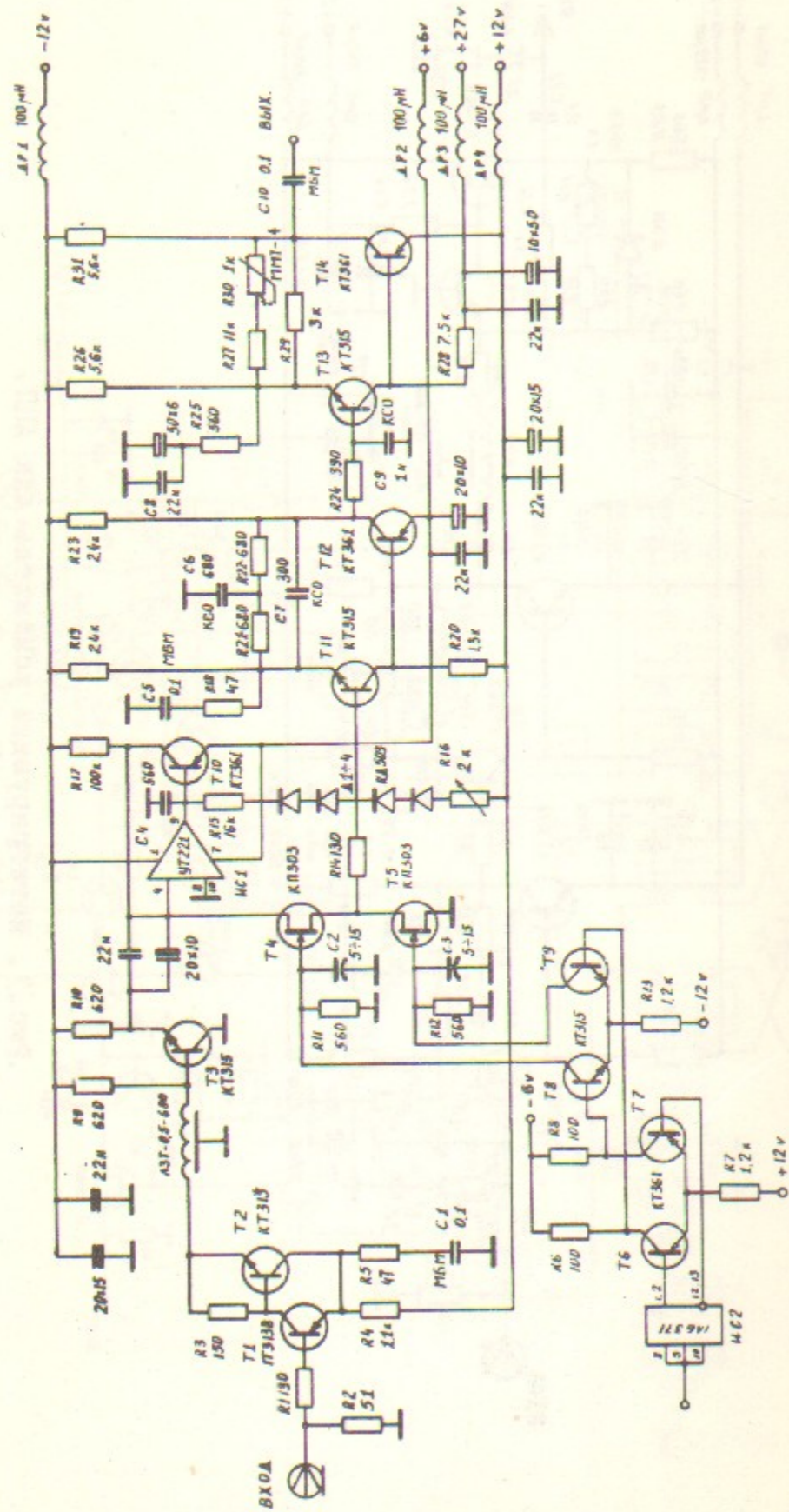


Рис.4. Интегрирующий усилитель с линейными воротами.

Ответственный за выпуск Г.А.СПИРИДОНОВ  
 Подписано к печати № 08459 от 18.IX-74г.  
 Усл.0,5 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно  
 Заказ № 69

Отпечатано на ротапринтере в ИНФ СО АН СССР, вт