

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ44.3а
Г-47

З/41-7
13 - 9135

В.И.Гилев, С.И.Орманджиев

4276/2-75

ЛИНЕЙНЫЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ
НА ТРАНЗИСТОРАХ
И ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ 1УТ401Б

1975

13 - 9135

В.И.Гилев, С.И.Орманджиев

**ЛИНЕЙНЫЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ
НА ТРАНЗИСТОРАХ
И ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ 1УТ401Б**

**Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА**

В данной работе описаны спектрометрические усилители, разработанные для спектрометрических измерений в отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем в период 1972-1975 гг. Для дифференцирования и интегрирования входных импульсов применены как пассивные формирующие цепи на RC- и RLC-элементах, так и цепи на основе операционных усилителей.

На рис. 1 показана блок-схема 5-каскадного транзисторного усилителя. Входные импульсы через аттенюатор поступают на усилитель-инвертор $У_1$, к выходу которого подключена цепь дифференцирования и компенсации полюса нулем. После второго аттенюатора и усиления в $У_2$ импульсы, интегрированные RC-цепочкой, подаются через эмиттерный повторитель на RLC дифференцирующий каскад ^{1/1}. Усиленные каскадом $У_3$ импульсы поступают на RLC формирующую цепочку, которая переключается либо как двукратно интегрирующая, либо как дифференцирующая и однократно интегрирующая ^{1,2/}. Выход окончного каскада $У_4$ подключен к входу усилителя стабилизации нулевого уровня $У_5$.

Принципиальная схема усилителя показана на рис. 2. Отдельные каскады составлены на транзисторах $T_1 + T_4$, $T_5 - T_9$, $T_9 - T_{11}$, $T_{12} - T_{16}$ и $T_{20} - T_{28}$. На входе последнего каскада использованы полевые транзисторы для увеличения входного сопротивления. Усилитель в цепи обратной связи, для стабилизации нулевого уровня, выполнен на транзисторах $T_{29} - T_{31}$.

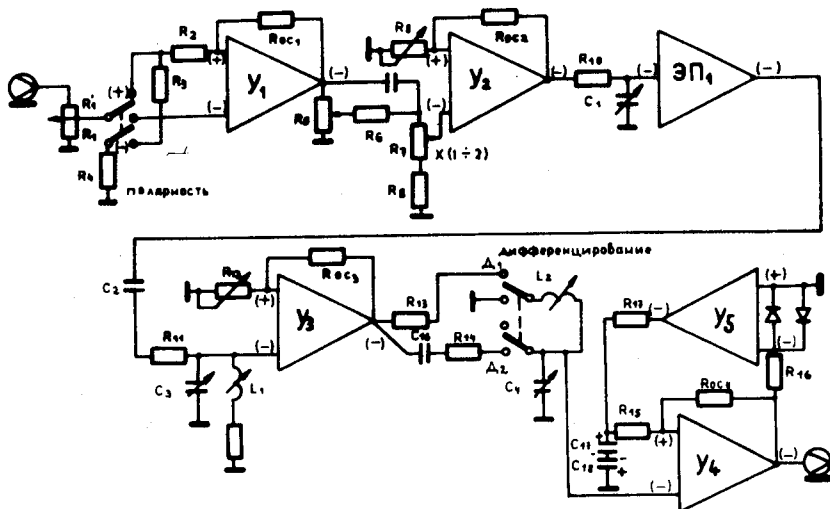


Табл 1

Кл	R ₁	R ₉	R ₁₃
1	150		
2	320		
4	680		
8	1,43		
16	2,25	4,7	1,6
32		1,8	
64		750	
128			2,4
256			910
512		330	390

Табл 2

Форм	C ₁ = C ₃ = C ₄	L ₁ = L ₂
[мксек]	[н]	[емкн]
0,5	0,62	400
1,0	1,2	800
1,5	1,8	1200
2,0	2,4	1600
2,5	3,0	1800

Рис. 1. Блок-схема усилителя на транзисторах.

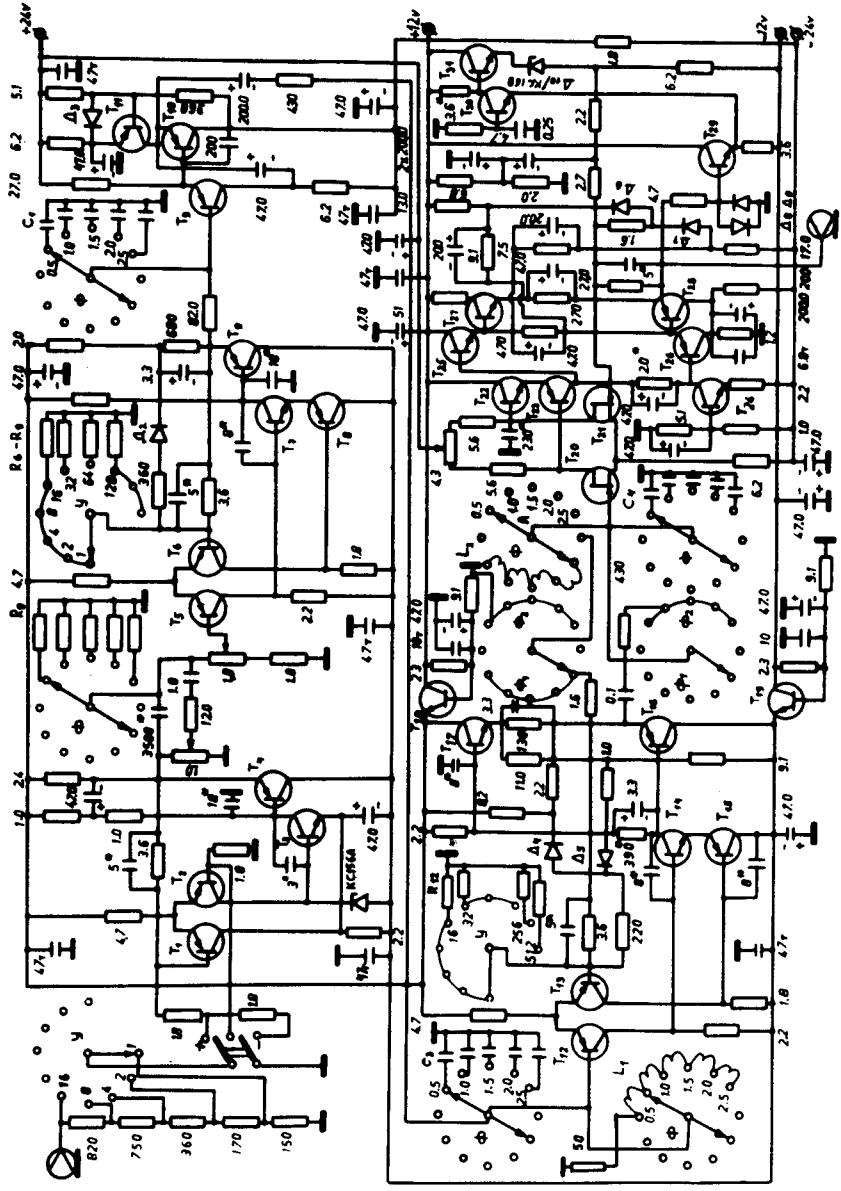


Рис. 2. Принципиальная схема усилителя на транзисторах.

Усилитель имеет следующие основные характеристики:

полярность входного сигнала + или -;
 максимальная амплитуда входного сигнала ≤ 3 В;
 полярность выходного сигнала + или -;
 максимальная амплитуда выходного сигнала + 5 В; -10 В;
 постоянная времени формирования 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 мкс;

постоянная времени цепи восстановления постоянной составляющей 100 мс;
 коэффициент усиления $1 + 1000$
 нелинейность усиления $\leq 10^{-4}$
 температурная нестабильность усиления $5 \cdot 10^{-5} / 1^\circ\text{C}$;
 шум, приведенный ко входу при максимальном усилении 7 мкВ.эфф.

На рис. 3 показана блок-схема второй модификации усилителя. Первая цепь дифференцирования и компенсации полюса нулем подключена ко входу усилителя. Инверсный каскад содержит усилитель U_1 и эмиттерный повторитель ЭП1. Далее следует интегрирующий каскад и эмиттерный повторитель, после которых блок-схема аналогична изображенной на рис. 1. На таблицах и рис. 3 показаны величины сопротивлений резисторов, емкостей конденсаторов и индуктивностей, соответствующие усилению K_n и постоянной времени формирования $\tau_{\text{форм}}$. Принципиальная схема усилителя показана на рис. 4. Используются аналогичные каскады усиления, за исключением каскада стабилизации нулевого уровня.

Усилитель имеет следующие основные характеристики:

полярность входного сигнала + или -;
 максимальная амплитуда входного сигнала ≤ 3 В;
 полярность выходного сигнала + или -;
 максимальная амплитуда выходного сигнала + 5; -10 В;

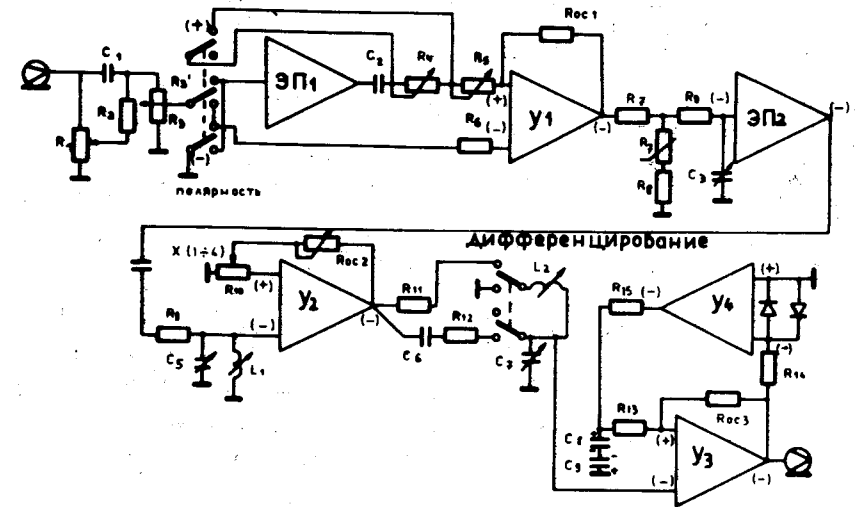


Табл 2

K_n	R_2	R_9	R_{oc2}
1	300		
4	148		
18	596	275	
84		750	1,8
258		300	4,9

Табл 3

$\tau_{\text{форм}}$ мкс	$C_3=C_6=C_7$ пФ	L_1, L_2 мкГн
0,2	0,2	200
0,5	0,5	500
1,0	1,02	1000
1,5	1,5	1500
2,0	2,0	2000
4,8	4,1	4000

Рис. 3. Блок-схема модификации усилителя на транзисторах.

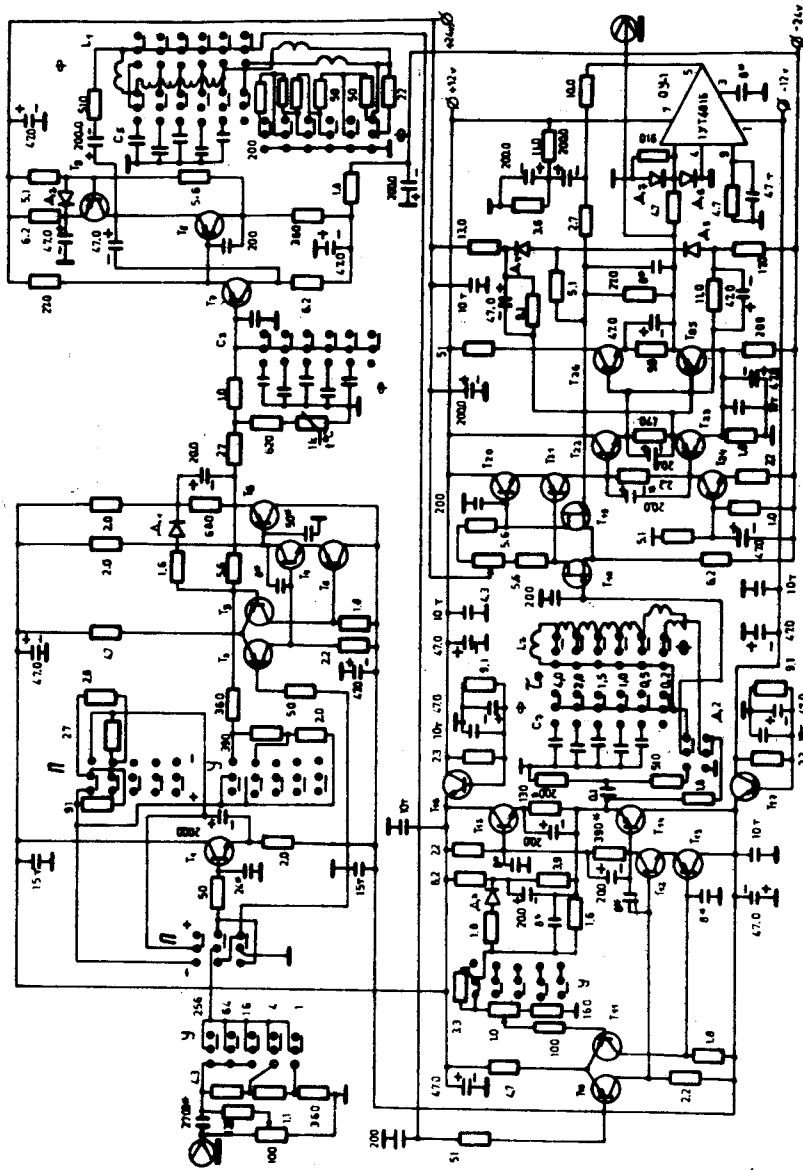


Рис. 4. Принципиальная схема модификации усилителя на транзисторах.

постоянная времени формирования	0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 4 мкс;
постоянная времени цепи восстановления постоянной составляющей	100 мс;
нелинейность усиления	10 ⁻⁴ ;
температурная нестабильность усиления	5.10 ⁻⁵ /°C;
шум, приведенный ко входу при максимальном усилении	7 мкВ.эфф.

На рис. 5 показана блок-схема усилителя, выполненного на операционных усилителях 1УТ401Б. Входные импульсы поступают на аттенуатор и RC-интегратор и затем на усилительный каскад O₁. Необходимость интегрирования до усиления вызвана ограниченной частотной характеристикой операционного усилителя 1УТ401Б (рис. 6).

Во втором каскаде применяется однократное интегрирование и однократное дифференцирование с компенсацией полюса нулем. Передаточная функция каскада, в случае равенства постоянных дифференцирования и интегрирования, имеет вид

$$K(p) = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \frac{1 + pC_1R_3}{(1 + pC_1 \frac{R_1R_3}{R_1 + R_3})(1 + pC_2R_2)}$$

Аналогичная схема, в которой выполняется только дифференцирование с компенсацией полюса нулем, имеет худшую компенсацию из-за большого сигнала рассогласования на входе операционного усилителя.

Третий каскад (O₃) имеет переключаемый коэффициент усиления для сохранения усиления сигнала при двукратном дифференцировании.

Последний формирующий каскад (O₄) имеет передаточную функцию, не имеющую нулей:

$$K(p) = \frac{R_1}{R_3} \frac{1}{1 + p^2C_1C_2R_1R_2 + pC_2[(R_2 + R_1) + R_1 \frac{R_2}{R_3}]}$$

Условие критического режима, соответствующего двукратному интегрированию, имеет вид

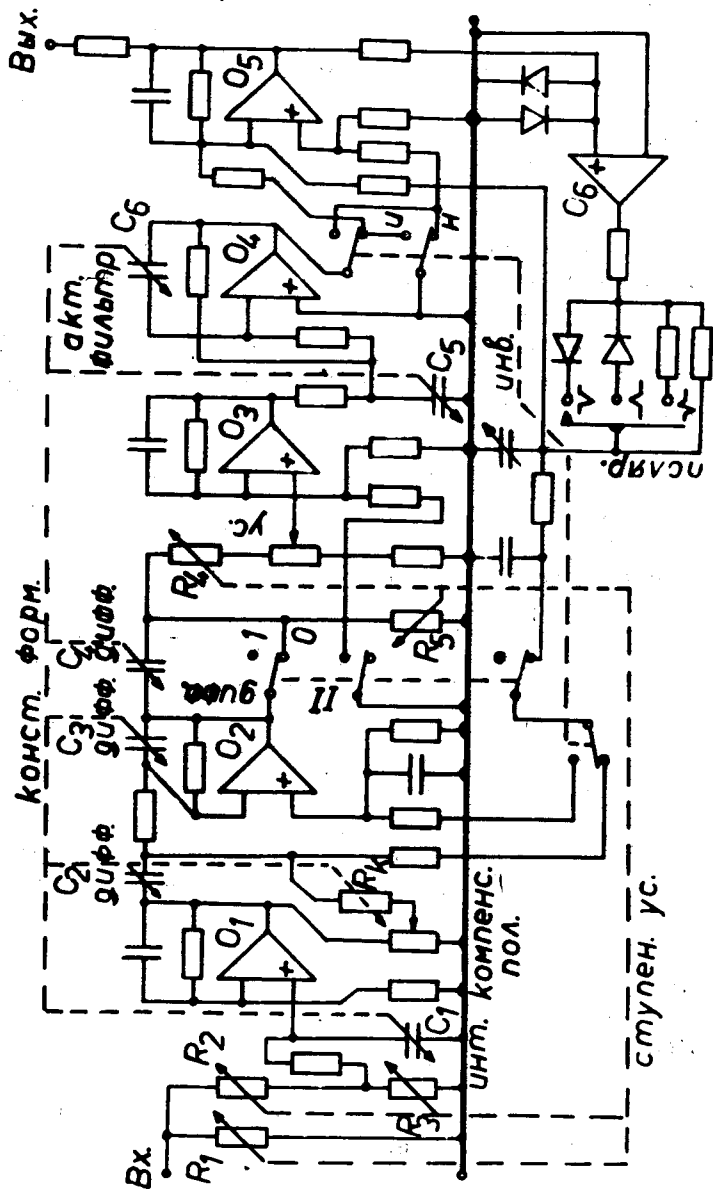


Рис. 5. Блок-схема усилителя на операционных усилителях 1УТ401Б.

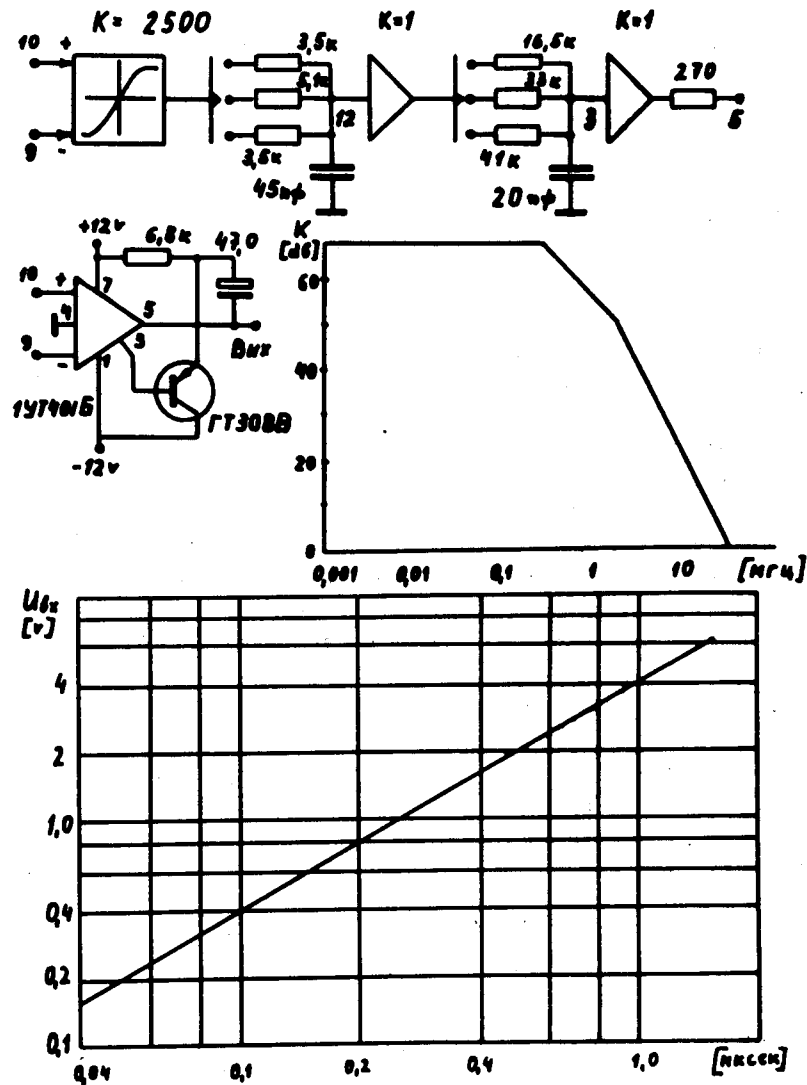


Рис. 6. Модель операционного усилителя с учетом изменения постоянных интегрирования при насыщении. На нижнем рисунке - зависимость амплитуды неискаженного импульса от длительности фронта импульса.

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{(R_1 + R_2 + R_1 \frac{R_2}{R_3})^2}{4R_1 R_2}$$

Нулевой уровень на выходе усилителя стабилизируется цепью отрицательной обратной связи, состоящей из операционного усилителя O_6 , переключателя полярности и интегрирующих цепей, связанных с входами усилителей O_2 и O_5 . Существует два режима: стабилизация постоянной составляющей и фиксация нулевого уровня однополярных импульсов. На рис. 7 и 8 показаны схемы отдельных усилительных каскадов. Обозначения операционных усилителей соответствуют обозначениям в блок-схеме рис. 5.

В окончательном каскаде (рис. 9), кроме операционного усилителя, добавлен мощный эмиттерный повторитель. При необходимости увеличения амплитуды выходного импульса до 10 В режим операционного усилителя смещается с помощью зенеровского диода /3/.

Усилитель имеет следующие основные характеристики:

полярность входного сигнала	+ или -;
максимальная амплитуда входного сигнала	≤ 3 В;
полярность выходного сигнала	+ или -;
максимальная амплитуда выходного сигнала	5 В (10 В для однополярных сигналов);
постоянная времени формирования	0,5; 1; 1,5; 2 мкс;
(при максимальной входной амплитуде 10 В)	1; 1,5; 2 мкс;
постоянная времени цепи восстановления постоянной составляющей	2, 10, 50 мс;
нелинейность усиления	$\leq 10^{-4}$;
температурная нестабильность усиления	$5 \cdot 10^{-5} / 1^\circ\text{C}$;
усиление	2 ± 512 ;

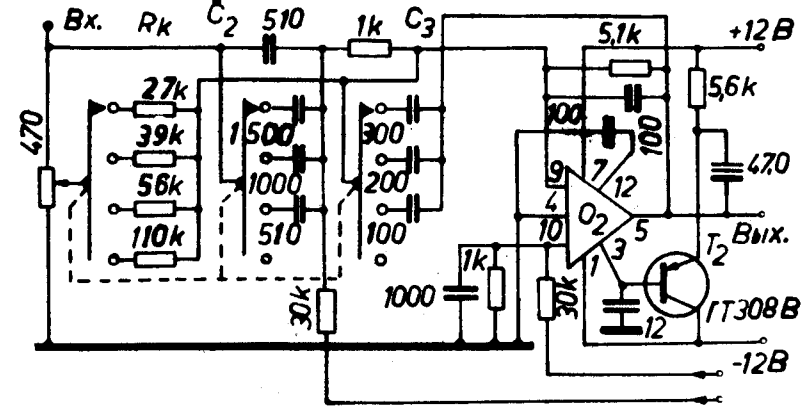


Рис. 7а. Усилительный каскад с однократным интегрированием, однократным дифференцированием и компенсацией полюса нулем. O_2 - 1УТ401Б.

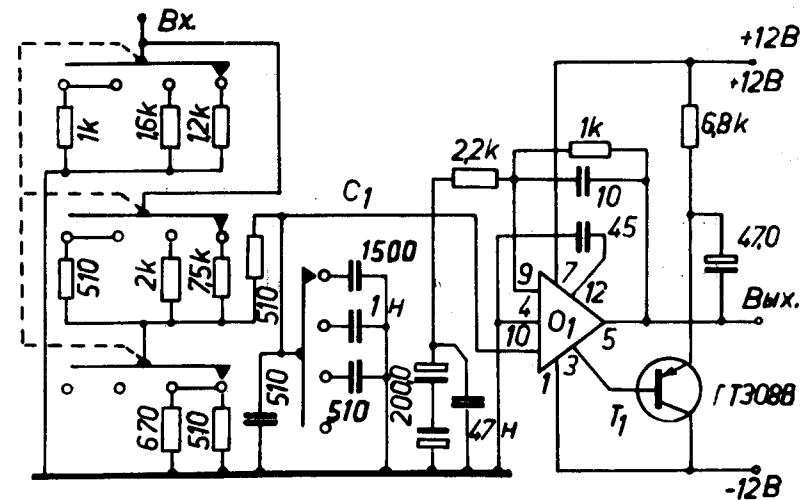


Рис. 7б. Усилительный каскад с регулировкой усиления и однократным интегрированием RC-цепью, O_1 - 1УТ401Б.

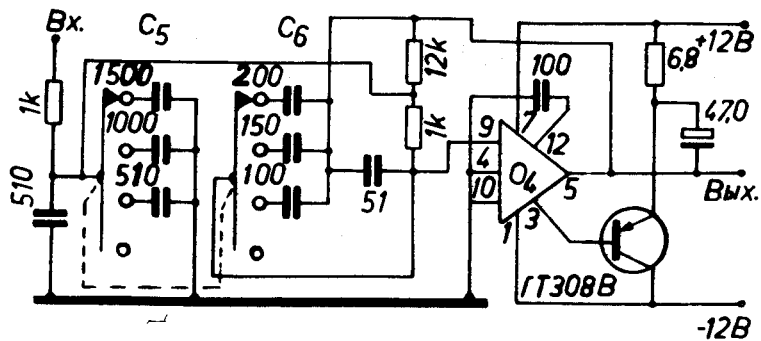


Рис. 8а. Усилительный каскад с двукратным интегрированием. 04 - 1УТ401Б.

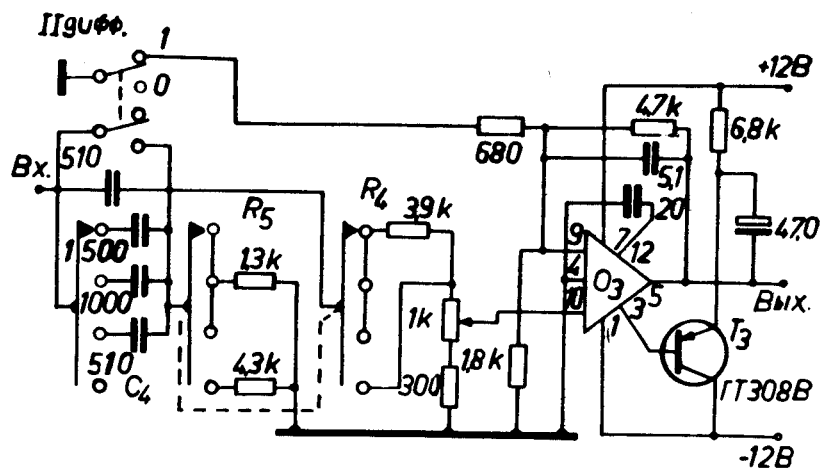


Рис. 8б. Усилительный каскад с регулировкой усиления и вторым дифференцированием. 03 - 1УТ401Б.

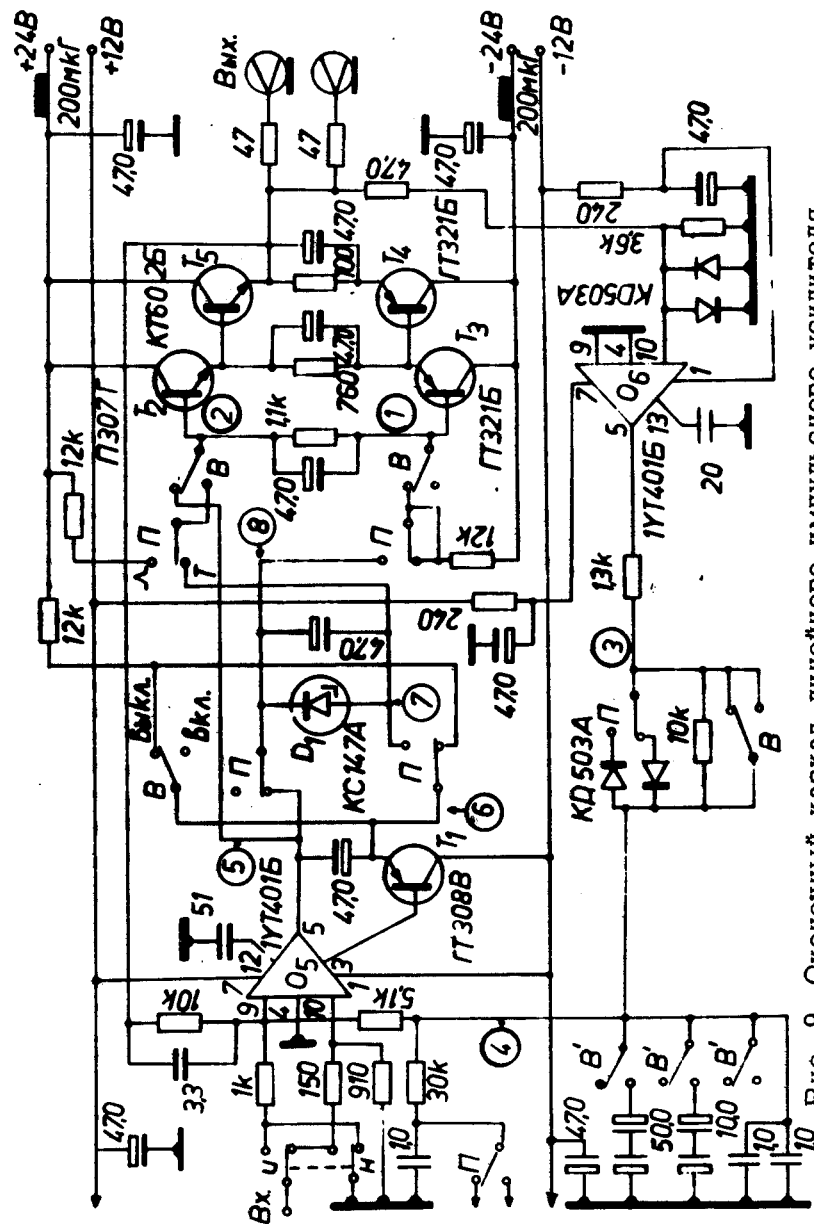


Рис. 9. Оконечный каскад линейного импульсного усилителя.

шум, приведенный ко входу,
при максимальном усилении 20 мкВ.эфф.

Литература

1. С.И.Орманджиев. ОИЯИ, 13-6812, Дубна, 1972.
2. С.И.Орманджиев. ОИЯИ, Р6-6052, Дубна, 1971.
3. Б.Ю.Семенов. ОИЯИ, 13-6975, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 августа 1975 года.