

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



6975

Экз. чит. зала

13 - 6975

Б.Ю.Семенов, К-Г.Херманн

СЕМЕЙСТВО  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ  
НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 6975

Б.Ю.Семенов, К.Г.Херманн

СЕМЕЙСТВО  
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ  
НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Использование интегральных микросхем создает предпосылки для разработки простых, надежных, технологичных и с хорошими параметрами спектрметрических усилителей.

При разработке описываемого семейства усилителей ставилась цель обеспечить наиболее простыми средствами (схемами) достаточно широкий круг задач физического эксперимента.

#### Проектирование усилителей

Каскад спектрметрического усилителя с использованием интегральной схемы К1УТ401 может быть построен по схеме, подобной изображенной на рис. 1, где  $K_3 = K_{v_{вх} \rightarrow v_{вых}}$  - коэффициент усиления каскада при замкнутой петле обратной связи,  $K_0 = K_{v \rightarrow v_{вых}}$  - коэффициент усиления микросхемы К1УТ401,  $K_{\phi} = K_{v(вх) \rightarrow v_{вых}}$  - коэффициент усиления каскада при разомкнутой петле обратной связи (фактор обратной связи).

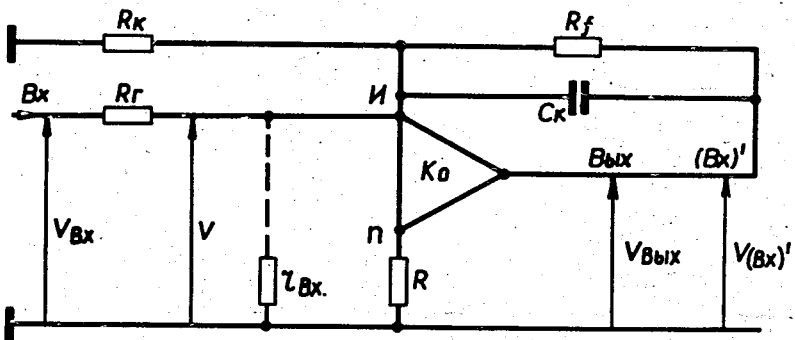


Рис. 1. Усилительный каскад на базе микросхемы K1UT401. Примечание: "И" и "П" - инверсный и прямой входы модуля, "вх" и "вых" - вход и выход усилительного каскада, (вх)' - вход каскада, образующийся при размыкании петли обратной связи,  $r_{вх}$  - входное сопротивление микросхемы,  $R_k$  и  $C_k$  - элементы частотной коррекции каскада.

В области малых и средних частот  $K_3 = R_f / R_r$ , а  $K_ф = K_0 \{ (R_r \parallel r_{вх} \parallel R_k) / [(R_r \parallel r_{вх} \parallel R_k) + R_f] \}$ .

Если  $R_r \ll R_k$  и  $R_r \ll r_{вх}$ , то

$$K_ф = K_0 / K_3. \quad (1)$$

Величину  $K_0 / K_3$  можно рассматривать как максимально достижимое значение фактора обратной связи каскада ( $K_ф$ ) при заданных значениях коэффициента усиления микросхемы и каскада -  $K_0$  и  $K_3$ .

Важнейшую информацию для проектирования каскада несет представленная на рис. 2 логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) интегральной схемы K1UT401A, которая получена усреднением результатов измерения двадцати штук микросхем. Эта ЛАЧХ полностью определяется усилением на малых частотах

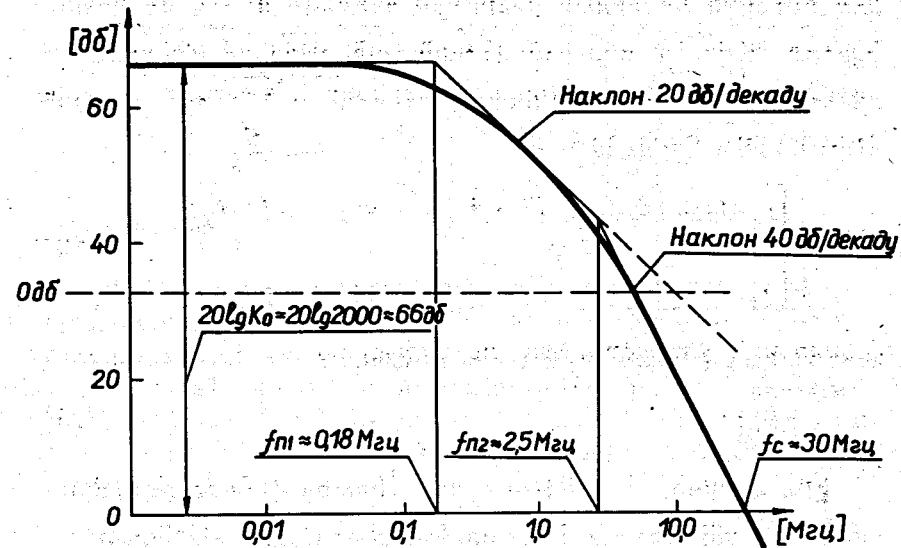


Рис. 2. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика интегральной микросхемы K1UT401A.

( $K_0$ ), частотой 1-го перегиба ( $f_{п1}$ ), частотой второго перегиба ( $f_{п2}$ ) и частотой среза ( $f_c$ ).

Коэффициент усиления каскада. Выражение (1), записанное в виде

$$K_3 < K_0 / K_ф, \quad (2)$$

может быть использовано при выборе коэффициента усиления каскада. Так, при  $K_0 = 2000$  и  $K_ф = 100$  (заданном) для  $K_3$ , получим  $K_3 < 20$ .

Ограничения по спектральному составу (временным характеристикам) сигналов. Частоту  $f_{п1}$  можно трактовать как верхнюю границу частоты, в преде-

лах которой линейный диапазон каскада почти не изменяется, поэтому для реализации максимально возможного диапазона при гармоническом сигнале с частотой  $f$ , или импульсном сигнале вида

$$v(t) = \begin{cases} v_a \sin 2\pi ft = v_a \sin(2\pi t/T) & \text{при } 0 < t < T/4 \\ v_a & \text{при } t > T/4 \end{cases} \quad (3)$$

необходимо удовлетворить соотношению

$$f < f_{п1} \quad (4)$$

Для сигнала с произвольной формой фронта при времени его нарастания  $t_{\phi}$  условие реализации максимально возможного диапазона может быть записано в виде

$$t_{\phi} > (T/4) = 1/4f_{п1} \quad (5)$$

или, с учетом численного значения частоты первого перегиба, для схемы К1УТ401А ( $f_{п1} \approx 0,18$  Мгц),

$$t_{\phi} > 1,4 \text{ мксек.} \quad (6)$$

При невыполнении условия (6) могут возникать искажения, подобные представленным на рис. 3.

**Устойчивость.** Высокие запасы устойчивости характерны для однополюсных систем, т.е. для систем с наклоном ЛАЧХ 20 дб/декаду. Обеспечение устойчивости рассматриваемого каскада сводится, практически, к выбору такой корректирующей цепи, которая при минимальном влиянии на величины  $K_0$  и  $f_{п1}$  позволит максимально

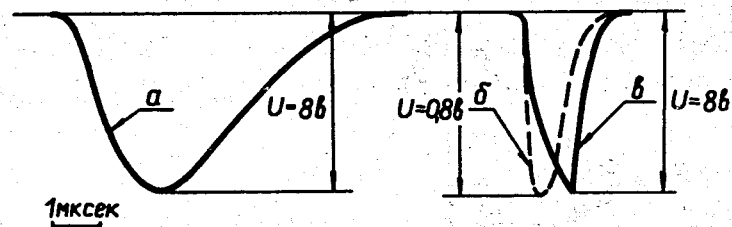


Рис. 3. Искажения сигнала при превышении линейного диапазона каскада из-за невыполнения требований по временным характеристикам входного сигнала. "а" и "б" - неискаженные сигналы, "а" - при времени фронта  $T_{\phi} = 0,75$  мксек,  $U = 8$  в, "б" - при  $T_{\phi} = 0,25$  мксек,  $U = 0,8$  в, "в" - искаженный сигнал при  $T_{\phi} = 0,25$  мксек,  $U = 8$  в.

приблизить ЛАЧХ каскада к ЛАЧХ однополюсной системы. Приемлемые результаты дает использование цепочки  $C_k$ ,  $R_k$  (рис. 1). При этом  $C_k$  устраняет полюс на частоте второго перегиба ( $f_{п2}$ ), а  $R_k$  смещает всю характеристику вниз, т.е. смещает вверх систему координат (пунктирные линии на рис. 2). При выборе параметров элементов коррекции следует отдавать предпочтение большим значениям фактора обратной связи ( $K_{\phi}$ ). Выбор параметров корректирующей цепи можно производить, используя ЛАЧХ усилителя с разомкнутой петлей обратной связи, однако это сопряжено с определенными трудностями и требует больших затрат времени. Менее точный, но более удобный способ - настройка по частотной характеристике каскада с замкнутой петлей обратной связи (рис. 4).

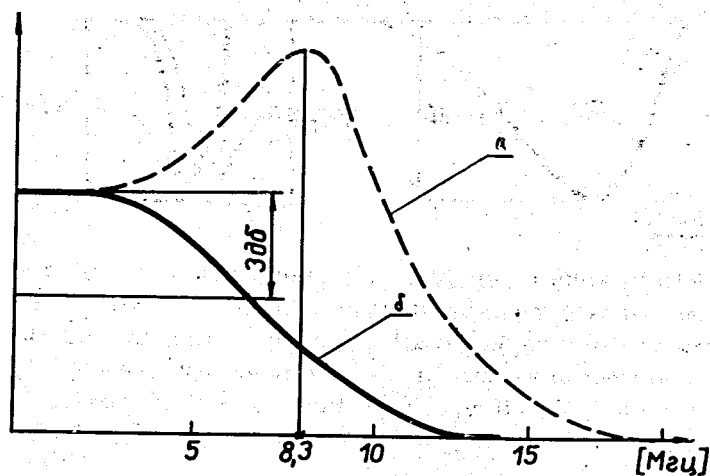


Рис. 4. Выбор элементов частотной коррекции по характеристике каскада при замкнутой петле обратной связи. "а" - исходная характеристика ( $C_k = 0, R_k = \infty$ , наличие пика свидетельствует о малых запасах устойчивости на этой частоте (8,3 Мгц). "б" -  $C_k$  и  $R_k$  подобраны таким образом, что в первом приближении характеристика каскада соответствует характеристикам однополюсной системы, запасы устойчивости максимальны.

Форма импульсов усилителя. Известно, что однополярная форма сигнала в амплитудной спектрометрии, как правило, предпочтительнее прочих, ибо при этом:

1. Можно обеспечить наибольшее из возможных отношение сигнал/шум при наименьшей длительности сигнала, т.е. обеспечить наиболее благоприятные условия для измерений при повышенных нагрузках;
2. Создаются условия для введения в тракт активных восстановителей начального уровня, применение которых способствует упрощению системы и улучшению ее характеристик;
3. Упрощается осу-

ществление (появляется возможность осуществления) широкодиапазонной дискриминации сигналов по амплитуде и инспекции их на наложение.

Линейный диапазон выходного каскада усилителя. Линейный диапазон интегральной схемы К1УТ401А равен  $-4,5$  в +  $+4,5$  в. Для того, чтобы иметь на выходе однополярный сигнал с амплитудой 8 в, т.е. для того, чтобы иметь линейный диапазон каскада в пределах  $0$  +  $+8$  в, режимное напряжение на выходе интегральной схемы должно устанавливаться вблизи границы линейного диапазона, что можно достичь введением в выходной эмиттерный повторитель каскада диодов (стабилизаторов) смещения уровня.

#### Параметры, принципиальные схемы, внешний вид усилителей

Параметры усилителей приведены в таблице, их принципиальные схемы и внешний вид - на рис. 5-10. Все усилители имеют одинаковую структуру: входной делитель - эмиттерные повторители с цепочкой интегрирования на входе - дифференцирующая цепь со схемой компенсации полюса нулем - усилительные каскады с Т-образной цепочкой интегрирования на входе - выходной эмиттерный повторитель - цепь стабилизации режимного напряжения выходного каскада усилителя.

Таблица. Параметры усилителей семейства.

Модель усилителя Параметры	C29	C54	C50	C52
Полярность входного сигнала	отрицательная		любая	
Входное сопротивление (ом)	500		500	
Коэффициент усиления	$(2;4;8;16;32) \times$ $\times (0,5+I,5) =$ $= I + 50$		$(4;8;16;32;64) \times$ $\times (0,5 + I,5) =$ $= 2 + 100$	
Допустимый уровень постоянной составляющей на входе (вольт)	$\mp 2$		$\mp 2$	
Формирование	Однократн. диффер. CR = 0,75 мксек Двукратн. интегр. RC = 0,75 мксек		Однократн. диффер. CR = 0,75 мксек Трехкратн. интегр. RC = 0,75 мксек	
Выходной сигнал: амплитуда (вольт),	8		8	
полярность,	отрицат. положит.		отрицат. положит.	
время фронта (мксек),	1,5		2,25	
длительность на уровне I/100 а (мксек).	7,5		9	
Интегральная нелинейность(%)	0,1		0,05	
Нестабильность коэффициента усиления (%/°C)	0,06		0,06	
Нестабильность выходного начального уровня (мв/°C)	0,2		0,2	
Среднее квадратичное значение выходного шума (мв)	1,2		1,7	
П и т а н и е	+24 в (60ма)		+ 24 в (80ма)	
	-24 в (60ма)		- 24 в (80ма)	
Г а б а р и т ы (мм <sup>3</sup> )	40X 160 X 300		40 X 160 X 300	
Ч и с л о с х е м КИУТ401А (шт)	3		5	
Ч и с л о т р а н з и с т о р о в (шт)	6		8	

Во всех схемах удовлетворено необходимое для формирования однополярного сигнала условие единственности некомпенсированного дифференцирования. В усилителях почти не используются каскады сравнения напряжений (только выходной каскад в усилители C54), при наличии которых возможно нарушение однополярности сигнала из-за "емкостного пролезания".

Ступенчатая регулировка усиления выполнена наиболее простым способом - использованием переключаемого входного делителя напряжения. Собственный выходной шум усилителя при этом не минимизируется, однако его величина и так приемлема даже для прецизионной спектрометрии.

В конфигурации и параметрах схем усилителей нашли отражение меры по предотвращению искажений из-за превышения линейного диапазона, в том числе и по причине несоответствия частотных (временных) характеристик обрабатываемых сигналов требуемым. К таким мерам можно отнести: установку цепочки интегрирования до первого усилительного каскада, введение стабилитрона смещения уровня в эмиттерный повторитель последнего каскада, наложение ограничений на минимальное значение постоянных времени фильтров и т.п.

Модели C29 и C54 - это наиболее простые версии спектрометрических усилителей. При отсутствии требования однополярности сигнала они могут быть еще упрощены, ибо в этом случае можно не устанавливать

цепь компенсации полюса нулем и систему стабилизации выходного начального уровня.

### Заключение

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ изготовлено около двух десятков усилителей описанного семейства. Часть из них используется в установке многомерного анализа (16 мер по 256 каналов каждая), а часть - в прецизионных спектрометрических трактах. Длительная эксплуатация подтвердила высокие качества усилителей, в том числе и при использовании их для прецизионных измерений в условиях повышенных нагрузок (рис. 11).

В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам Лаборатории В.И.Гилеву, В.И.Стегайлову, В.Т.Трифонову и В.Т.Шевченко - за участие в разработке, экспериментировании, изготовлении и наладке усилителей.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 марта 1973 года.

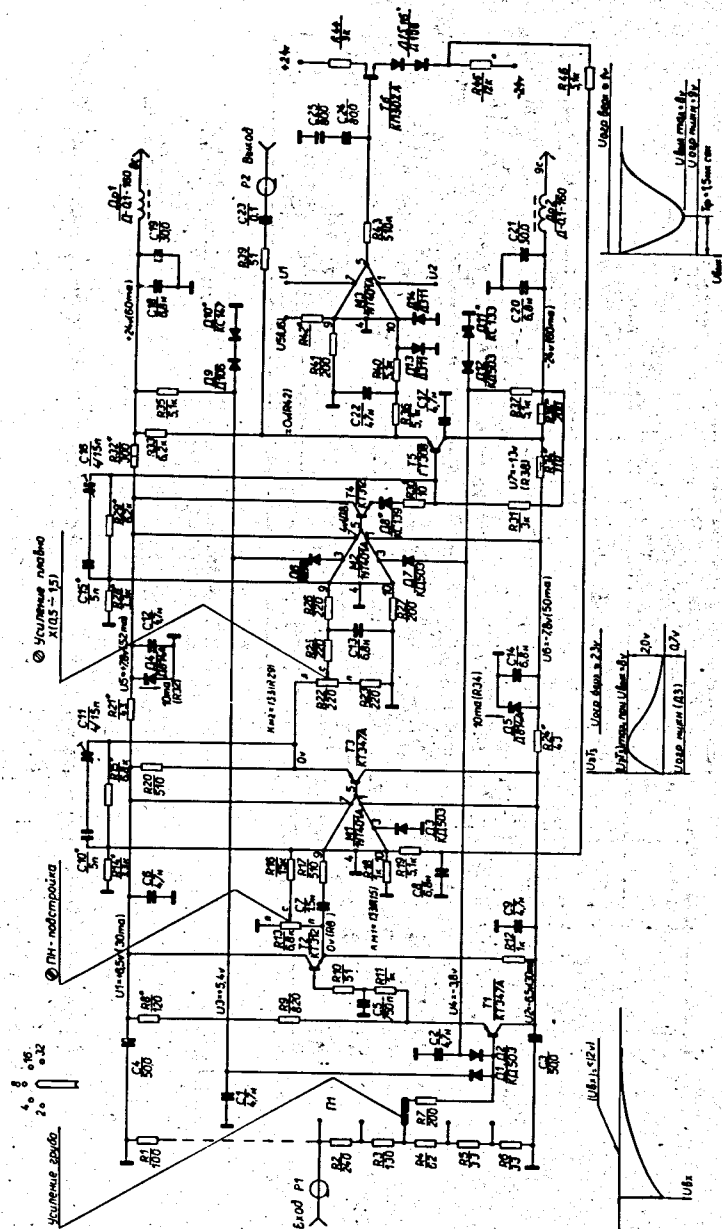


Рис. 5. Принципиальная схема спектрометрического усилителя С29.



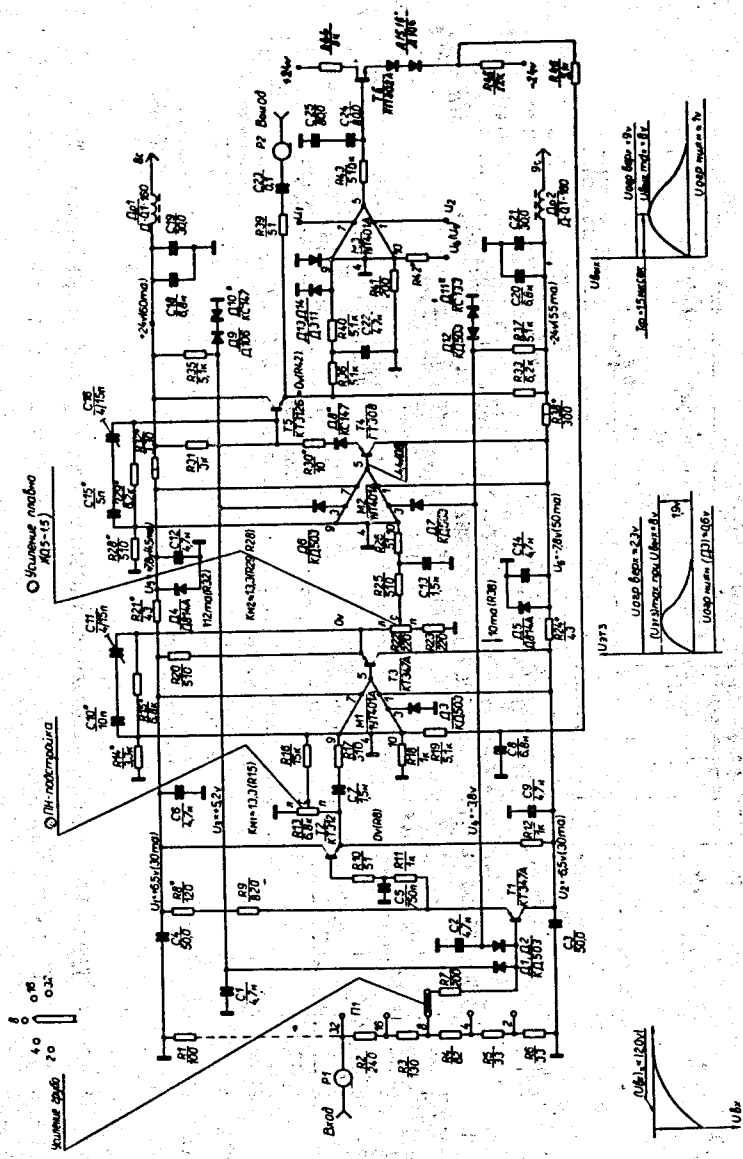


Рис. 6. Принципиальная схема спектрометрического усилителя С54.

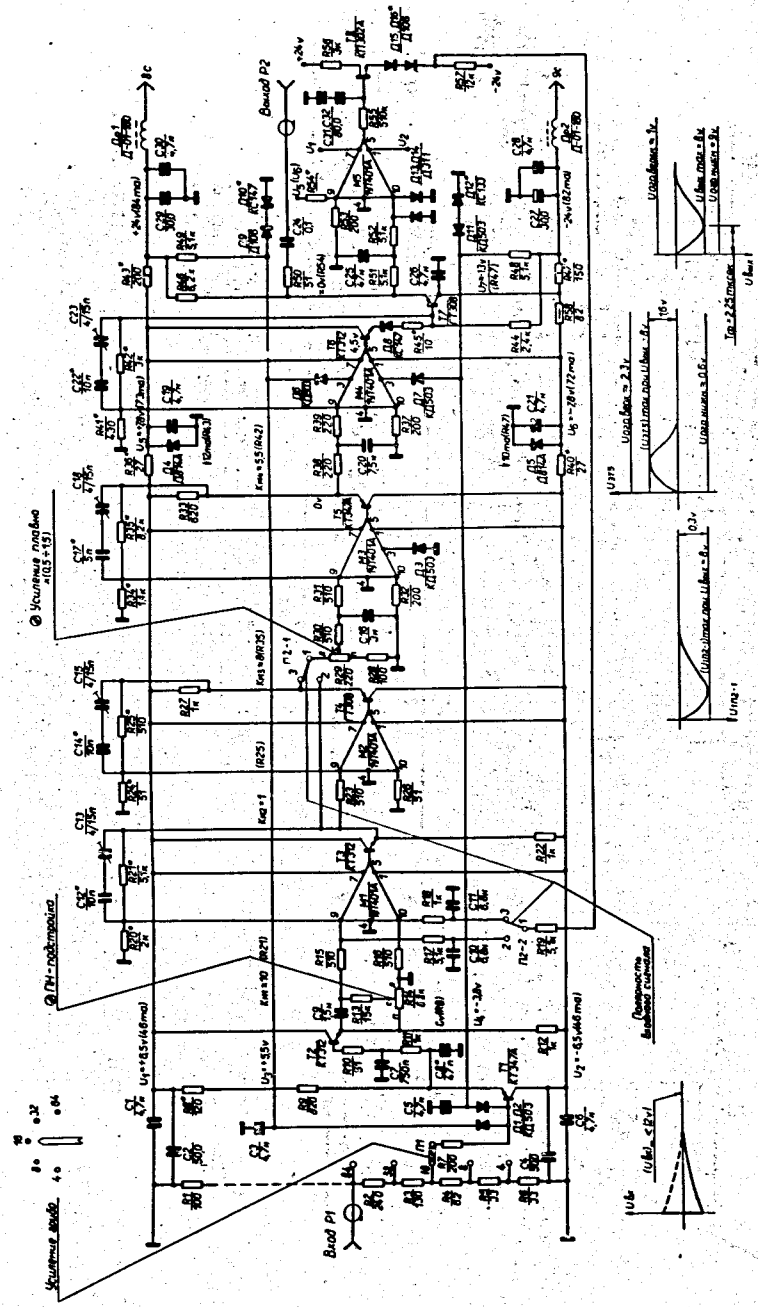


Рис. 7. Принципиальная схема спектрометрического усилителя С50.

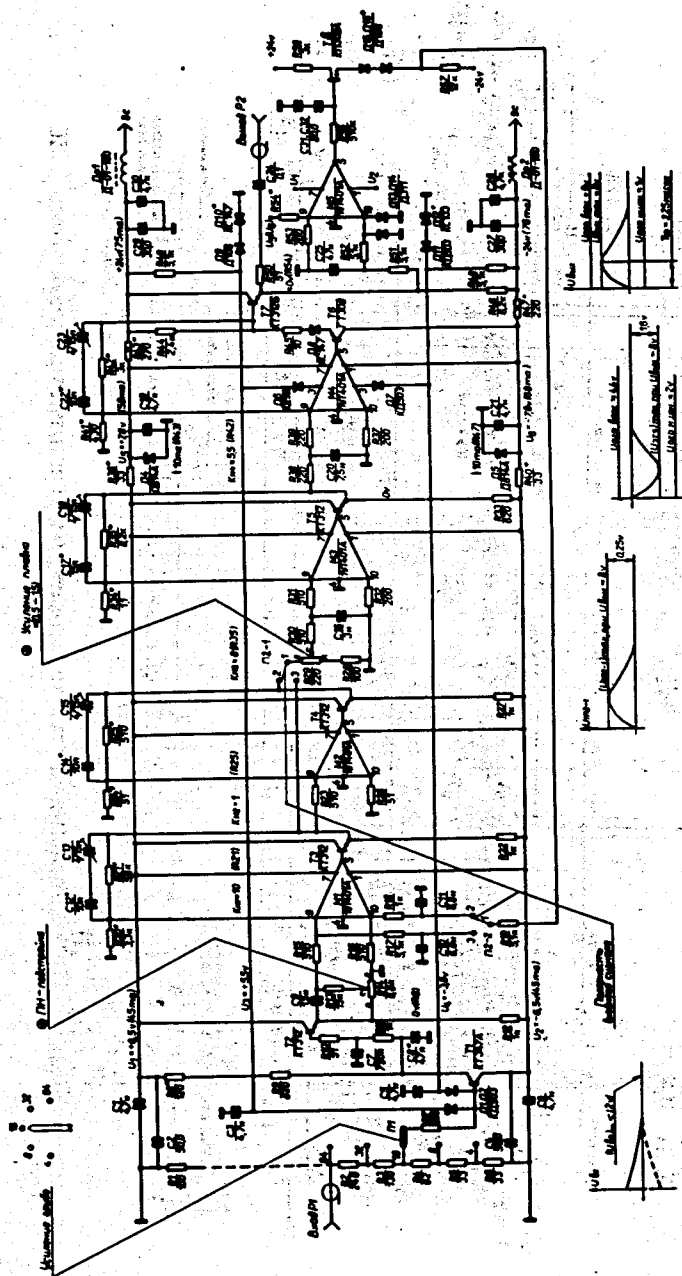


Рис. 8. Принципиальная схема спектрометрического усилителя С52.

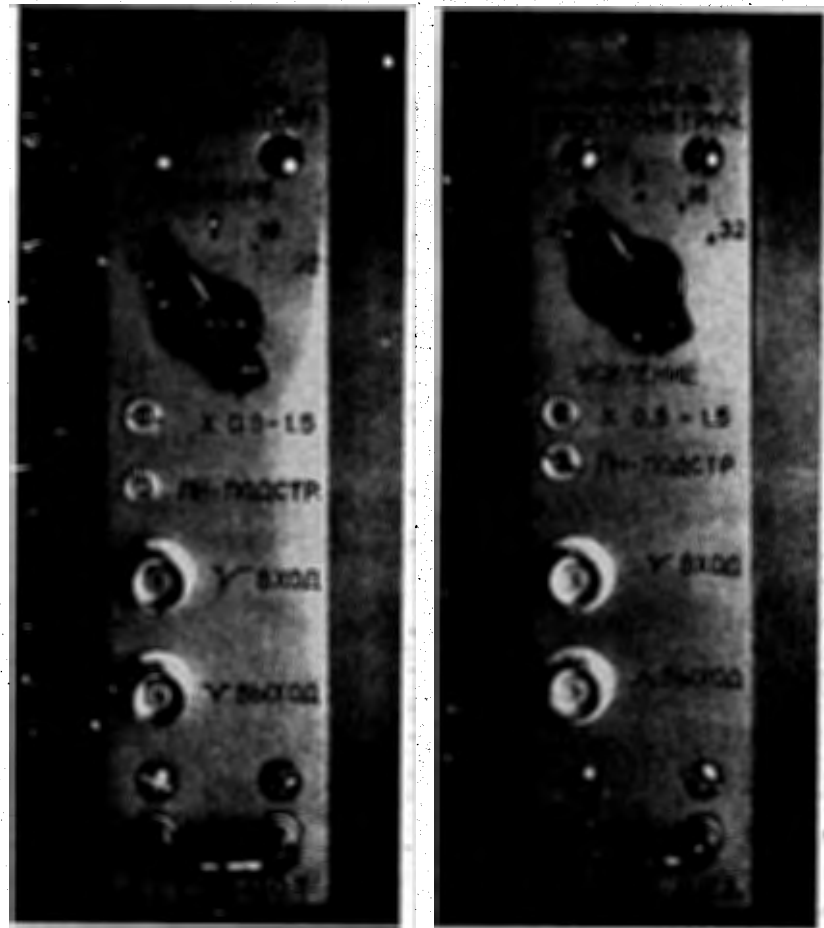


Рис. 9. Внешний вид спектрометрических усилителей С29 и С54.

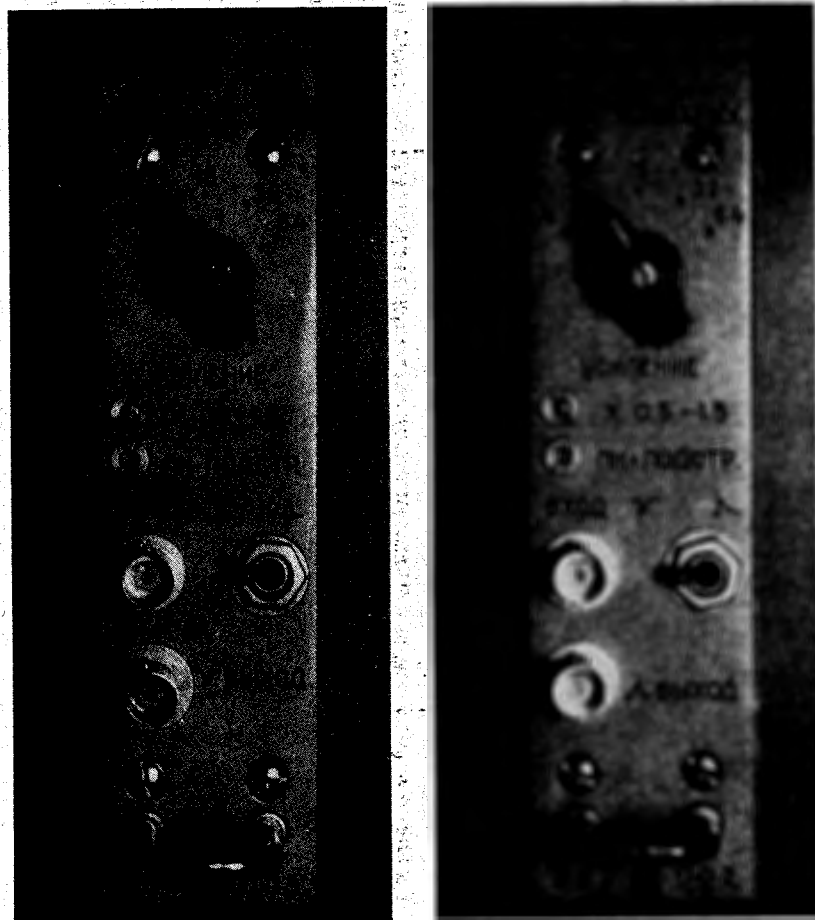


Рис. 10. Внешний вид спектрометрических усилителей C50 и C52.

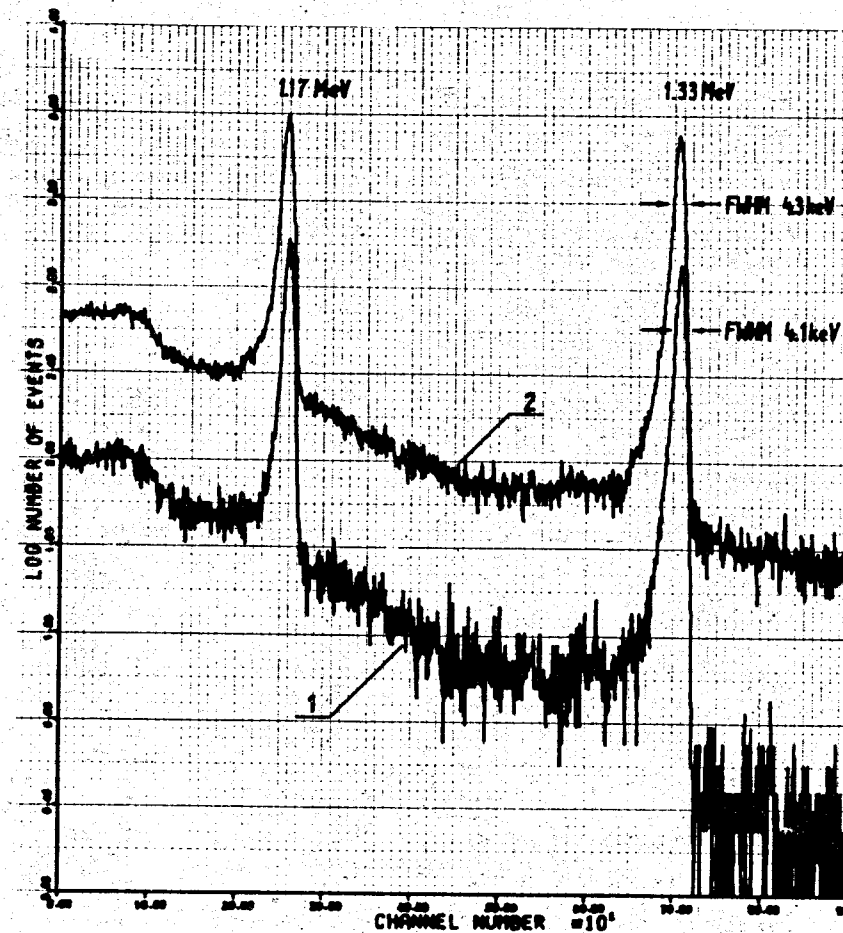


Рис. 11. Энергетический спектр  $^{60}\text{Co}$ , снятый с использованием усилителя C50. 1 - при интенсивности входных сигналов  $2 \cdot 10^3$  имп/сек, 2 - при  $20 \cdot 10^3$  имп/сек.