

индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ԶՐԶՐԿՑՎՐ ԲՆՍՏՐՏՈՒՑ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-351(9)-79

В.П.ВУКОЛОВ, Л.С.ХУРШУДЯН, И.Н.ЧИГАРКОВ

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ
С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ



ФФИ-351(9)-79

В.П.ВУКОЛОВ, Л.С.ХУРШУДЯН, И.Н.ЧИГАРКОВ

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С
ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Ереван 1979

Описываемый операционный усилитель на дискретных элементах предназначен для построения маломощных широкополосных спектрометрических усилителей и активных фильтров с большим динамическим диапазоном выходных амплитуд. При его реализации помимо удовлетворения характерных [1-5] требований к подобным ОУ, имелось также в виду обеспечение высокой его помехоустойчивости [6] и возможности электронного управления усилением УИТ, в частности, для применения в системах [7,8] мониторинга профиля пучка ускорителя.

1. Особенность усилителя по отношению к своим дискретным аналогам [1-3] - использование динамической нагрузки второго каскада, образуемой каскадно включенным транзистором T_6 , в режиме "токового зеркала" [9] для организации дополнительного тракта усиления, симметричного основному. Последнее обеспечивается с одной стороны - заданием одинакового тока через T_4 и T_5 , а с другой стороны - равенством нормирующих резисторов $R_{14} = R_{17}$. Таким образом, благодаря выполнению симметрирующими резисторами одновременно функций местных отрицательных обратных связей и применению низкоомных коллекторных нагрузок во входном дифференциальном каскаде обеспечивается необходимая полоса пропус-

кания усилителя.

В то же время увеличение импульсной добротности усилителя (рис.2 и 3) без ухудшения его точностных характеристик достигается путем задания оптимального режимного тока ($I_3 \approx 1.5\text{mA}$) входной дифференциальной пары КИИТ591 в соответствии с представленной на рис.4 зависимостью* среднеквадратичного шумового напряжения УПТ, приведенного к его входу, от величины режимного тока T_1-T_2 .

Убывающий характер этой зависимости может быть объяснен тем, что при малом усилении входного дифференциального каскада и использовании в этом случае низкоомных нагрузочных резисторов в его коллекторных цепях предел точности усилителя определяется также шумовыми составляющими нагружающего каскада. Поэтому, несмотря на то, что при увеличении режимного тока согласованной пары КИИТ591 коэффициент её собственных шумов возрастает [4], в целом уровень среднеквадратичного шумового напряжения, приведенного ко входу усилителя, убывает, поскольку уровень эквивалентных шумовых составляющих нагружающего каскада в этом случае убывает в значительно большей степени - обратно пропорционально росту (β^2) квадрата величины коэффициента усиления по току T_1-T_2 .

Таким образом, оптимальный режим работы подобных операционных усилителей, при котором обеспечивается максимальное отношение сигнал/шум, в значительной степени** может отличаться от режима [10,8], при котором коэффициент шума F тран-

* Измерения проводились с помощью микровольтметра типа ВВ-40

** Преимущественно в случае использования кремниевых транзисторов

зисторов входного каскада ОУ минимален. Вследствие этого существенно оказывается также оптимизация шумовых параметров нагружающего каскада. Так, например, при увеличении режимного тока T_4-T_5 с $I_3 \approx 3.5\text{mA}$ до значения $I_3 \approx 4.3\text{mA}$, при котором, в частности, рабочая точка стабилитрона D_2 была выбрана вне "шумовой зоны" [11] на его ВАХ, уровень шумов усилителя понизился на $\sim 20\%$.

Описанный (рис.1) усилитель имеет следующие технические данные:

Разомкнутый коэффициент усиления при $R_n \geq 560 \text{ Ом}$	не менее 5000
Интегральная нелинейность в диапазоне выходных амплитуд $0 - \pm 10\text{В}$	0.01%
Изменение коэффициента усиления при изменении напряжения питания на 5%	менее 10^{-4}
Среднеквадратичное шумовое напряжение, приведенное ко входу,	18 мкВ
Полоса пропускания (при $R_n^{\text{экв}} = 560 \text{ Ом}$ и $C_n = 30\text{пф}$) для выходных амплитуд:	
$K_n = 10$ (рис.5) $\begin{matrix} 3\text{В} \\ 6\text{В} \\ 10\text{В} \end{matrix}$	$\begin{matrix} 35 \text{ мГц} \\ 18 \text{ мГц} \\ \text{не менее } 9 \text{ мГц} \end{matrix}$
Максимальная амплитуда выходного сигнала	11.5 В
Температурная нестабильность коэффициента усиления	$5 \cdot 10^{-5} / 1^\circ\text{C}$
Температурный дрейф выходного потенциала	не более $20 \text{ мкВ} / 1^\circ\text{C}$

Представленная на рис.5 зависимость длительности фронта выходного сигнала УПТ для положительных и отрицательных выходных импульсов различной амплитуды соответствует монотонной переходной характеристике усилителя. Наличие у этой зависимости (начиная с $U_{ex} \geq 0.3В$) практически линейного участка указывает, что при ориентировании усилителя на меньший ($\pm 5 В$) динамический размах выходных амплитуд [1,8] его полоса пропускания может быть значительно расширена, в частности, за счет увеличения режимного тока согласованной пары КИПТ591 до $I_s \sim 2.5mA$ (см.рис.4).

Разность между приведенными на рис.1 величинами резисторов R_{23} и R_{24} , с помощью которых добиваются нулевого выходного напряжения УПТ в отсутствии сигнала, ориентировочно соответствует своему крайнему значению.

2. При использовании в цепи обратной связи (вместо R_4) полевого транзистора в режиме управляемого напряжением резисторе динамический диапазон выходных амплитуд усилителя становится недостаточным, в частности, при необходимости симметричной передачи двуполярных сигналов.

Для уменьшения нелинейных искажений передаваемых сигналов в описываемом усилителе (рис.1) использовано последовательное соединение 2-х однотипных полевых транзисторов с P-n переходом T_{IO} и T_{II} . Соответствующая этому случаю экспериментальная зависимость относительного изменения коэффициента усиления УПТ от уровня входного сигнала приведена на рис.6. Различный характер этой зависимости для положительных и отрицательных входных сигналов обусловлен отсутствием полной симметрии выходных характеристик полевых транзисторов относительно $I_{зи} = 0 В$.

Согласование характеристик обоих полевых транзисторов в рабочей области осуществляется путем соблюдения соотношения:

$$\frac{U_{зи}(T_{10})}{U_{зи}(T_{II})} = \frac{U_{зи}^{отс}(T_{10})}{U_{зи}^{отс}(T_{II})}$$

выполнение которого обеспечивается с помощью потенциометрического (R_{25}, R_{26}) делителя управляющего напряжения - U_p . Приведенная для этого случая на рис.7 регулировочная характеристика усилителя соответствует диапазону изменения $U_{зи} < 0.55 U_{зи}^{отс}$, когда отклонение характеристик передачи полевого транзистора от квадратичной зависимости достаточно мало (рис.8)

Ослабление температурной зависимости [12] канального сопротивления ($\frac{1}{\eta_{сн}} \cdot \frac{d\eta_{сн}}{dT} \sim 0.4\% / T^{\circ}C$) используемых полевых транзисторов с напряжением отсечки $U_{зи}^{отс} \geq 5В$ осуществляется подключением термосопротивления (типа ММТ-4Е) параллельно линейному резистору R_{28} .

Авторы благодарят Г.А.Вартапетяна за внимание к работе и поддержку.

$T_1 - T_2 - K1HT5916$
 $T_3; T_6 - T_8 - KT315 B$
 $T_4 - T_5; T_9 - KT361A$
 $T_{10}; T_{11} - K17302 B$
 $T_{12} - KT361A$

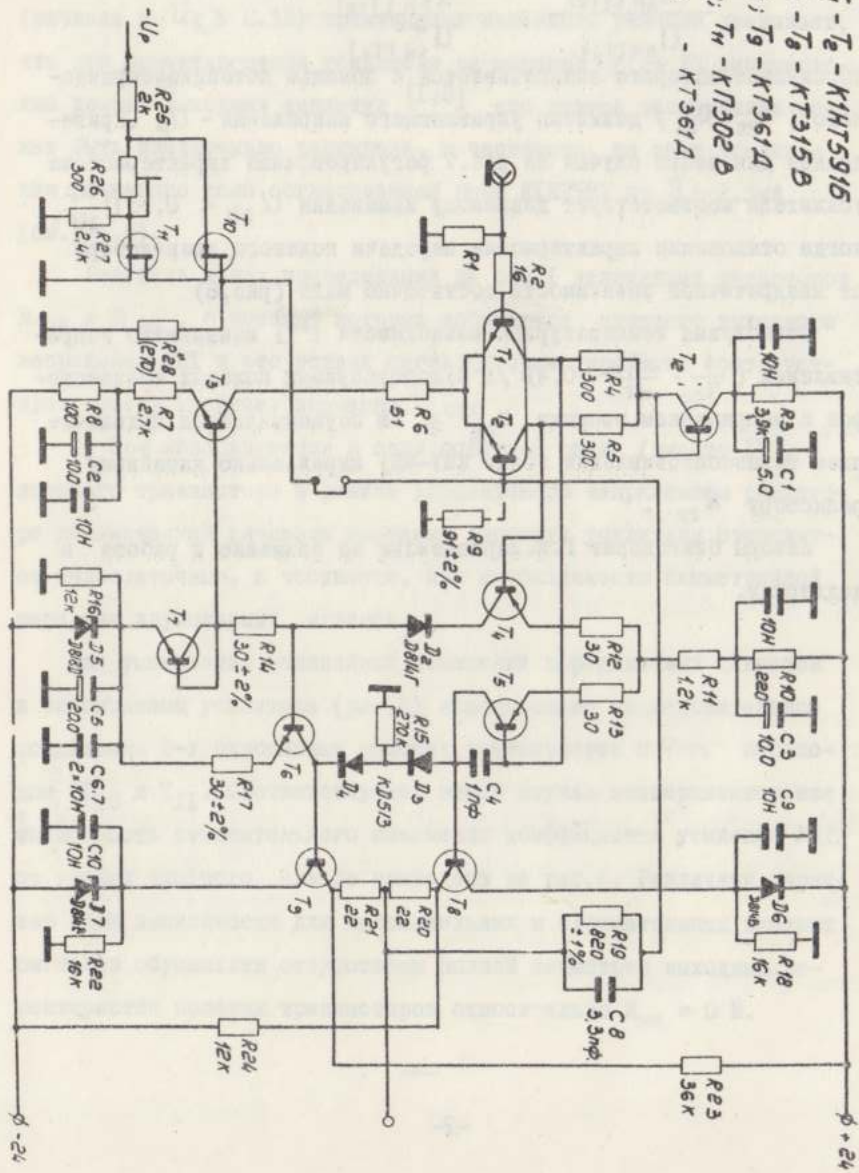


Рис. 1

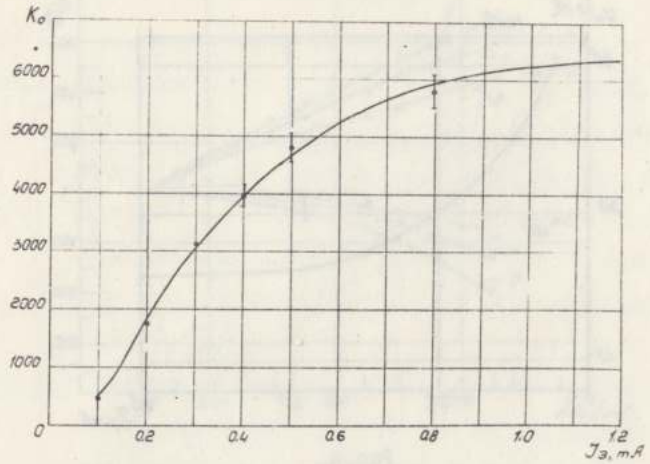


Рис. 2

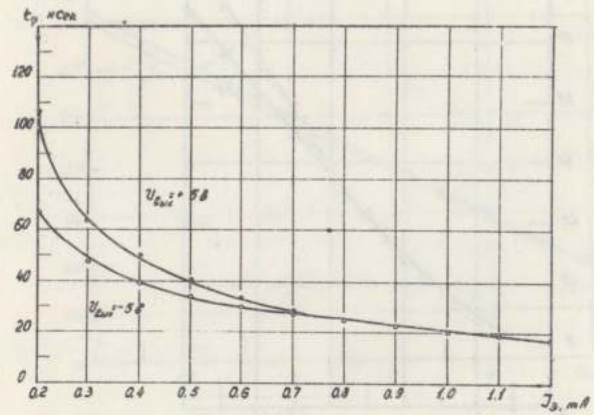


Рис. 3

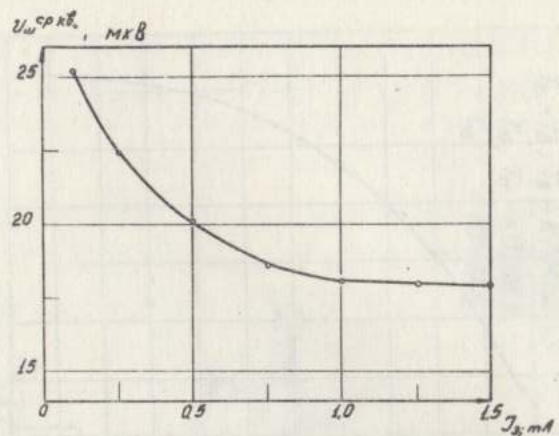


Рис. 4

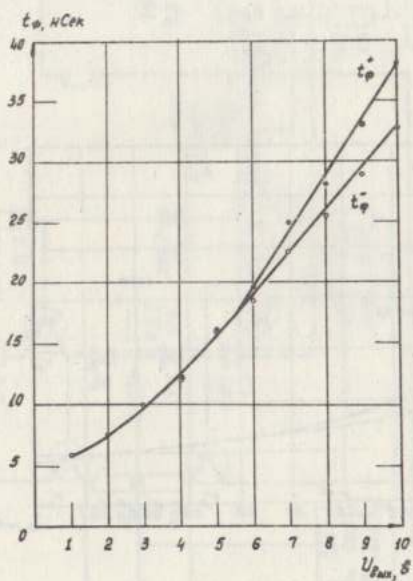


Рис. 5

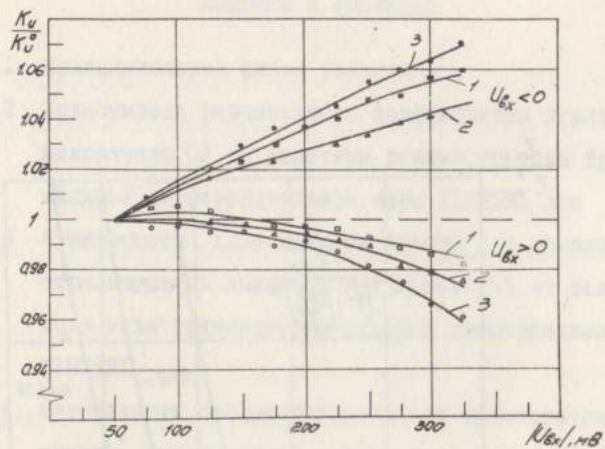


Рис. 6

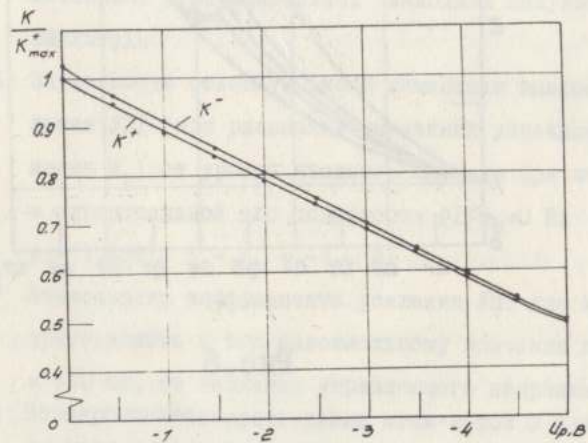


Рис. 7

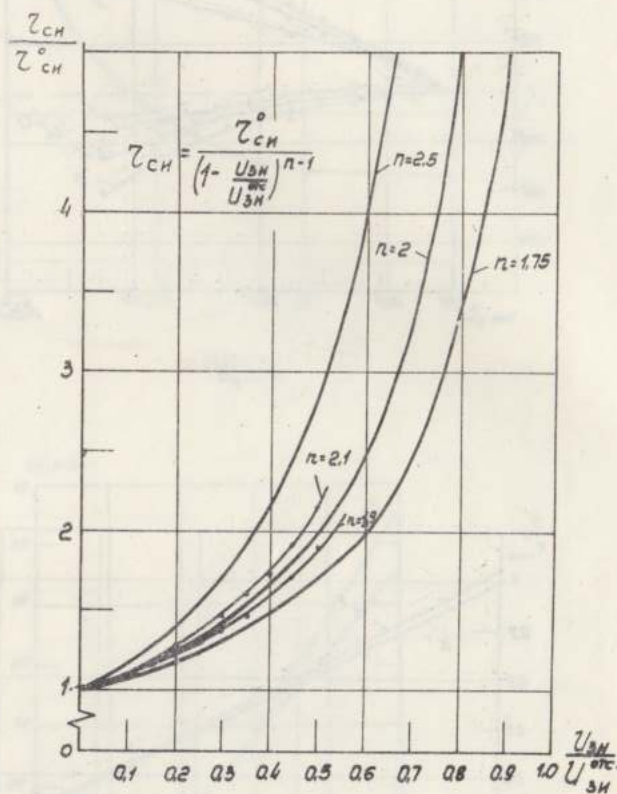


Рис.8

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 Принципиальная схема усилителя .
- Рис.2 Зависимость разомкнутого коэффициента усиления по напряжению OU от величины режимного тока транзистора входной дифференциальной пары КИИТ591 при $R_H = 910 \text{ Ом}$.
- Рис.3 Зависимость длительности фронта для положительных и отрицательных выходных импульсов УПТ от величины режимного тока транзисторов входной дифференциальной пары КИИТ591.
- Рис.4 Зависимость среднеквадратичного шумового напряжения усилителя, приведенного к его входу, от величины режимного тока транзисторов входной дифференциальной пары КИИТ591 (при фиксированном $I_K \sim IIB$).
- Рис.5 Зависимость длительности фронта сигналов УПТ для положительных и отрицательных выходных импульсов различной амплитуды.
- Рис.6 Зависимость относительного изменения коэффициента усиления УПТ (при различных значениях управляющего напряжения I_p) от уровня входного сигнала при положительной и отрицательной его полярности (1 - $I_p = 0 \text{ В}$; 2 - $I_p = -1.65 \text{ В}$; 3 - $I_p = -4.0 \text{ В}$).
- Рис.7 Зависимость коэффициента усиления УПТ для $I_{вх} = \pm 50 \text{ мВ}$, приведенного к его максимальному значению при $I_{вх} = +50 \text{ мВ}$, от величины управляющего напряжения - I_p .
- Рис.8 Нормированное сопротивление сток-исток в функции нормированного потенциала затвора при различной степенной зависимости характеристики передачи полевого транзистора.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.F. Manfredi and P. Maranesi, Operational Amplifiers for Fast Nuclear Electronics Applications. Nucl. Instr. & Meth., 129 (1975) N.1, p. 283-294.
2. К. Андерт, Ф. Габриэль, А. И. Калинин. Сообщение ОИИИ, 13-7125, Дубна, 1973.
3. Spectroscopy Amplifiers ORTEC, Model 450, Operating Manual.
4. В. Л. Шило. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. м., "Советское радио", 1974.
5. Под редакцией Дж. Грэма и др. Проектирование и применение операционных усилителей. М., "Мир", 1974.
6. В. Р. Аствацатурьян, О. Г. Сморяго, В. Н. Стенин. Интегральные операционные усилители как элементы помехоустойчивой аппаратуры. В сборнике статья. Ядерная электроника. Под редакцией проф. Т. М. Агаханяна, 4, М., Атомиздат, 1975.
7. P. Rogers, D. Potter and V. Radeka, Automatic Gain-Controlled Amplifiers for Beam Profile Monitors. Nucl. Instr. & Meth. 96, (1971), N.1, p.3.
8. С. Г. Басиладзе, Ли Ван Сун. ПТЭ, 5, 130, 1976.
9. Джилберт. Зарубежная радиоэлектроника, II, 89. 1969.
10. К. Г. Шор. Малощумящие транзисторные усилители. "Энергия", 62, 1971.
11. Н. А. Федотов. Основы физики полупроводниковых приборов. м., "Советское радио", 1969.
12. Р. Коббодд. Теория и применение полевых транзисторов, "Энергия", 1975.

Рукопись поступила 15-го февраля 1979г.

Редактор Л. П. Мукаян
Тех. редактор А. С. Абрамян

Заказ 106

ВФ-06371

Тираж 299

Препринт БФМ

Формат издания 60 x 84/16

Подписано к печати 12/IV-79г. I.0 уч. изд. л. Ц. 7 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер. Маркарянна 2