

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-84-584

А.Б.Иванов, Чан Хыу Дао

**МАЛОШУМЯЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ
ДЛЯ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР
С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ЛИНИЯМИ ЗАДЕРЖКИ**

1984

При считывании информации с пропорциональных камер с электромагнитными линиями задержки особые требования предъявляются как к усилителям сигналов, так и к формирователям временных интервалов. Токовый сигнал, инжектируемый в линии задержки с катодных проволочек, формируется наведенным зарядом, существенно меньшим, чем заряд лавины, образующейся в области анодной проволочки от первых электронов ионизации /в $4 \div 10$ раз/. Величина сигнала, снимаемого с линии задержки, составляет десятые доли милливольт, и собственные шумы усилителя и резистивных входных цепей становятся соизмеримыми с полезным сигналом. В связи с этим предъявляются жесткие требования к величине шумов усилителя и стабильности задержки в рабочем диапазоне изменения сигналов, а также к параметрам усилителя, определяющим прохождение сигнала и шума в элементах усилительного тракта.

Шум представляет собой случайный процесс и его можно рассматривать как сигнал, который при суммировании с полезным сигналом уменьшает количество переносимой им информации. Шум нельзя описать детерминированной функцией времени, поэтому его характеризуют средними значениями. Наиболее часто используется среднеквадратичное значение, которое для реализации шума $n(t)$ имеет вид ^{/1/}

$$\overline{n(t)} = \sqrt{\overline{n^2(t)}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T n^2(t) dt} \quad /1/$$

Случайный шумовой процесс можно представить в частотной области. Здесь наиболее важной характеристикой служит функция спектральной плотности /ФСП/, которая определяется как преобразование Фурье от временной автокорреляционной функции. Физические ФСП характеризуют зависимость средней по времени мощности шума в полосе 1 Гц от частоты. Если эта функция в пределах интересующего диапазона частот сохраняет постоянное значение, то соответствующий ей шум называется "белым".

При анализе характеристик тракта считывания значительный интерес представляет параметр, характеризующий отношение сигнал/шум.

В ^{/2/} показано, что ширина на полувысоте получаемого временно-го распределения определяется отношением сигнал/шум и временем нарастания входного сигнала:



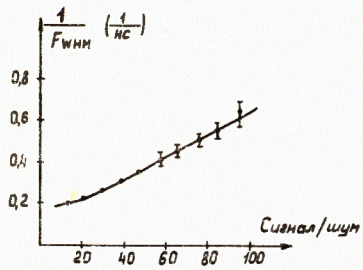


Рис.1. Зависимость ширины временного распределения от отношения сигнал/шум.

$$\frac{1}{F_{WHM}} = \frac{A}{NT_F} \cdot K = \frac{Q}{T_F} \cdot K, \quad /2/$$

где A - амплитуда импульса, N - уровень шума /среднеквадратичное значение/, K - коэффициент, определяющий влияние дискриминатора нуля

$$K = 1 + \phi(T_H). \quad /3/$$

Очевидно, что в идеальном случае /ошибка, вносимая дискриминатором, равна нулю/ $K=1$, ширина распределения на полувысоте определяется отношением сигнал/шум и параметрами входного импульса. На рис.1 приведена зависимость пространственного разрешения от отношения сигнал/шум ^{/2/}.

Для получения максимального значения сигнал/шум могут быть использованы различные методы. В ^{/3/} при создании маломощного усилителя применен метод оптимальной фильтрации сигнала на основе получения весовой функции определенной формы. Поскольку входные сигналы имеют существенные отличия по длительности, форме, амплитуде и динамическому диапазону в зависимости от условий их получения, то для оценки степени подавления шума в тракте считывания полезно определить функциональную зависимость значения сигнал/шум на входе усилителя от длительности импульса сигнала, рассматривая усилитель как полосовой фильтр, на основе общих методов теории связи и автоматического регулирования ^{/4/}.

Представляют интерес маломощные усилители с "электронным охлаждением", предложенные в ^{/3/}, в которых входное сопротивление $Z_{вх} = Z_0$ обеспечивается использованием нешумящих реактивных элементов во входных цепях и цепях обратной связи. Основная схема для охлаждения с емкостью в цепи обратной связи показана на рис.2. Это комплементарный каскад, используемый в зарядовых усилителях. Для разомкнутой обратной связи

$$G = g_m \frac{1}{j\omega c_0}, \quad /4/$$

и входное сопротивление будет равно

$$R_{вх} = \frac{1}{g_m} \frac{c_0}{c_f}. \quad /5/$$

Рассмотрим полное выражение для всех частот. Предполагаем незначительную нагрузку выходного усилителя цепью обратной связи при разомкнутой обратной связи

$$G(j\omega) = -g_m \frac{1}{j\omega c_0 + 1/R_0}. \quad /6/$$

$1/R_0$ есть выходная проводимость источника тока и входная проводимость усилителя с единичным усилением /рис.2/. Входное сопротивление для емкостной обратной связи $R_f \rightarrow \infty$; $R_{fb} = 0$, тогда

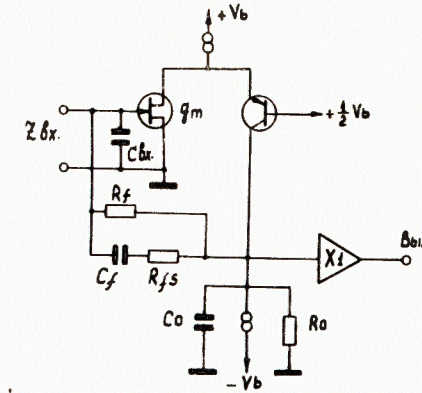


Рис.2. Схема охлаждения с емкостью в цепи обратной связи.

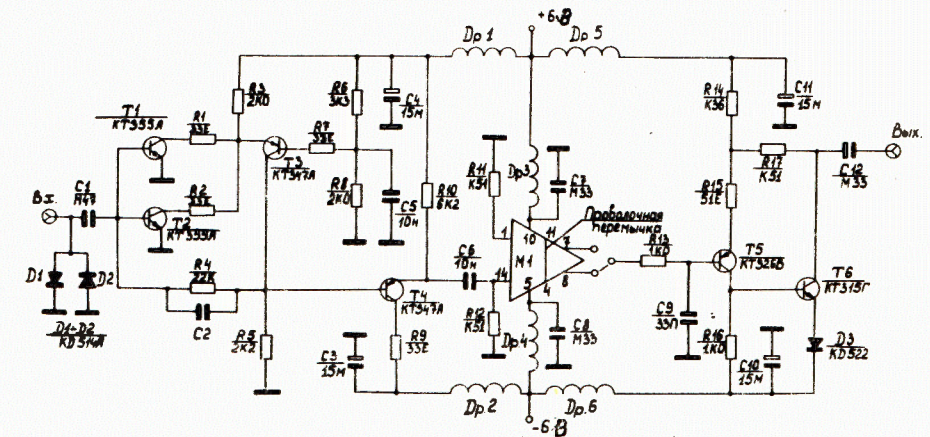


Рис.3. Принципиальная схема усилителя.

$$Z_{ВХ} \approx \frac{1}{g_m} \frac{c_0}{c_f} [(1 + 1/j\omega c_0 R_0)^{-1} + j\omega/\omega_h]^{-1}, \quad /7/$$

где ω_h - угловая частота, для которой усиление равно единице. Для частот $\omega c_0 R_0 \gg 1$,

$$Z_{ВХ} \approx \frac{1}{g_m} \frac{c_0}{c_f} (1 + j\omega/\omega_h)^{-1}. \quad /8/$$

Или $Z_{ВХ} \approx \frac{1}{R_{ВХ}} + j\omega c_f$, где $R_{ВХ} = \frac{1}{g_m} \frac{c_0}{c_f}$; $\omega_h = \frac{g_m}{c_0}$.

Если R_{fs} последовательно соединено с c_f в цепи обратной связи, то

$$Z_{ВХ} = \frac{1}{c_f \omega_h} + j\omega \frac{R_{fs}}{\omega_h}. \quad /9/$$

Второй член означает индуктивность, соединенную последовательно с входным сопротивлением $R_{ВХ}$ и может быть использован для высокочастотной коррекции нагрузки передающей линии.

В данной работе приводятся результаты исследования маломощного усилителя, схема которого показана на рис.3. Этот вариант усилителя разработан на основе схем, предложенных в /8,6/ со следующими отличиями: простота и надежность схемы; возможность получения большого коэффициента усиления; работа с сигналами различной полярности. В предварительном каскаде усилителя стоят функциональные элементы, обеспечивающие защиту от высоковольтного пробоя (D1, D2) и транзисторы T1 ÷ T4. В окончательном каскаде стоят дифференциальный усилитель для усиления напряжения и транзисторы T5, T6 для усиления по мощности.

В табл.1 приведены результаты измерения зависимости коэффициентов усиления и шума от длительности входного сигнала.

Таблица 1

дл.вх.сиг./нс/	50	100	200	300
$U_{ВХ}$ /мВ/	5	5	5	5
$U_{ш}$ /мВ/	10	10	10	10
$U_{ВЫХ}$ /мВ/	1300	2100	2300	2300
K_y	260	420	460	460
$K_{ш}$	$3,84 \cdot 10^{-5}$	$2,38 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$

Эти зависимости показаны на рис.4. Результаты измерения линейности амплитудной характеристики усилителя приведены в табл.2. Амплитудная характеристика показана на рис.5.

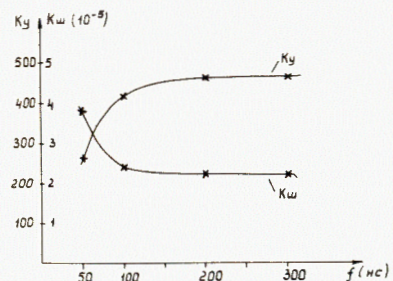


Рис.4. Зависимости коэффициента усиления и коэффициента шума от длительности входного сигнала.

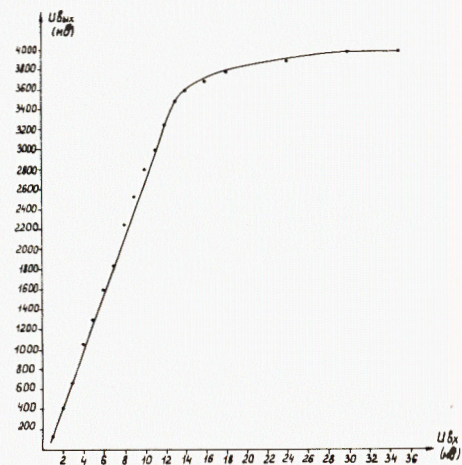


Рис.5. Амплитудная характеристика усилителя.

Таблица 2

$U_{ВХ}$ (мВ) / $U_{ВЫХ}$ (мВ)	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	130	420	720	1060	1300	1600	1840	2260	2540	2800
$U_{ВХ}$ (мВ) / $U_{ВЫХ}$ (мВ)	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20
	3000	3260	3500	3600	3700	3800	3900	4000	4000	

Усилитель имеет следующие основные данные:

Полярность входного сигнала	- любая.
Шумы, приведенные ко входу	- 10 мкВ.
Сопротивление нагрузки	- 50 Ом.
Полярность выходного сигнала	- отрицательная.
Диапазон выходных амплитуд	- 0 ÷ 4 В.

В заключение авторы выражают благодарность Ю.В.Заневскому за постоянный интерес к работе, а также С.П.Черненко, Ю.С.Анисимову, С.А. Мовчану, Р.М.Базловой, М.Н.Михайловой, Н.Н.Тиханчеву, А.Е.Московскому, В.А. Белякову за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нетцер И. ТИИЭР, 1981, т. 69, №6, с. 58.
2. Perez-Mendez V., Greenstain M., Ortendahe D. Trans.Nucl.Sci., 1977, NS-24, No 1, p. 211.
3. Radeka V. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1979, NS-21, No 1, p. 51.
4. Фельдбаум А.А. и др. Теоретические основы связи и управления. Государственное издательство физико-математической литературы. М., 1963.
5. Binnall K., Kirsten F., Lee K. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1973, NS-20, No 1, p. 367.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 августа 1984 года.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют статус официальных публикаций ОИЯИ.

Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the *JINR Communications* and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.
Theoretical physics.
Experimental techniques and methods.
Accelerators.
Cryogenics.
Computing mathematics and methods.
Solid state physics. Liquids.
Theory of condensed matter.
Applied researches.

Being a part of the *JINR Communications*, the articles of this new collection have the status of official publications of the JINR.

JINR Rapid Communications will be issued regularly.



Иванов А.Б., Чан Хью Дао

13-84-584

Малозумящий усилитель для пропорциональных камер с электромагнитными линиями задержки

Описан малозумящий усилитель для пропорциональных камер с электромагнитными линиями задержки. Усилитель обладает простотой и надежностью схемы, возможностью получения большого коэффициента усиления, может работать с сигналами различной полярности. Приведены результаты измерения зависимости коэффициентов усиления и шума от длительности входного сигнала, а также результаты измерения линейности амплитудной характеристики усилителя. Усилитель имеет следующие основные данные: полярность входного сигнала - любая; шумы, приведенные к входу - 10 мкВ; сопротивление нагрузки - 50 Ом; полярность выходного сигнала - отрицательная; диапазон выходных амплитуд - $0 \div 4$ В.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод Л.Н.Барабаш

Ivanov A.B., Chan Huu Dao

13-84-584

Low - Noise Amplifier for Multiwire Proportional Chambers with Electromagnetic Delay Line Readout

A low-noise amplifier for multiwire proportional chambers with electromagnetic delay line readout is described. The amplifier has the following features: simplicity and reliability, the possibility to obtain a high amplification coefficient, positive and negative input signals. The dependences of the amplification and noise coefficients on the duration of an input signal and results of measuring the linearity of amplitude characteristics are presented. The amplifier has the following technical parameters: positive and negative input pulses, noise transposed to the input - 10 μ V, load resistance - 50 Ω , output signal polarity - negative, range of output pulses - $0 \div 4$ V.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984