

Г.С. ВАРДАНЯН

**БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ УСИЛИТЕЛИ С УЛЬТРАНИЗКИМ УРОВНЕМ
ШУМА ДЛЯ МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР
НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Дается описание быстродействующих усилителей для положительных и отрицательных наносекундных импульсов с низким уровнем искажений и ультранизким уровнем шумов, предназначенных для усиления сигналов с анодных и катодных плоскостей многопроволочных пропорциональных камер низкого давления. Усилители построены по двухкаскадной схеме на основе быстродействующих и малошумящих интегральных операционных усилителей. Разработанные усилители используют однополярное питание, имеют высокое усиление, стабильны в работе. Выходная нагрузка усилителей - 50 Ом , и для их изготовления применяются коммерчески доступные компоненты.

Ключевые слова: многопроволочные детекторы, малошумящие усилители, пропорциональные камеры низкого давления.

Многопроволочные пропорциональные камеры низкого давления (МПКНД) нашли широкое применение в экспериментальной физике. Способность многопроволочных пропорциональных камер, работающих при низком давлении газового наполнения, регистрировать сильно ионизирующие частицы с хорошим пространственным и временным разрешением значительно расширяет область применения этих детекторов [1,2].

Известно, что амплитуда импульса выходного напряжения в детекторах пропорциональна энергии, потерянной частицей вследствие взаимодействия с веществом детектора. В пропорциональных камерах низкого давления в результате уменьшения количества вещества, ионизируемого частицами, происходит ослабление величин регистрируемых сигналов, и амплитуды этих сигналов составляют от единиц до сотни микровольт.

Такая величина недостаточна для регистрирующих и анализирующих устройств. Поэтому использование полезной информации с таких детекторов в электронной логике эксперимента возможно только после определенного усиления, где усилитель представляет собой интерфейс между детектором и остальной частью системы обработки импульсов. В зависимости от параметров детектора и энергии излучателя сигналы усиливаются приблизительно в $10^2 \dots 10^4$ раз [3-5].

Основной функцией таких усилителей является извлечение и усиление сигнала от детектора без значительного ухудшения внутреннего отношения сигнал - шум. При разработке усилителя необходимо прийти к компромиссу: выбрать усилители с широкой полосой, ориентированные, главным образом, на получение крутых фронтов импульсов или на необходимую величину усиления, шума и стабильности. Чтобы минимизировать шум при необходимом усилении, требуется схема из двух каскадов, и очевидно, что первый каскад (предусилитель) в этом случае должен иметь ультранизкий уровень шума, так как, усиливая входной сигнал, он в наибольшей степени влияет на шумовые характеристики всего усилителя, поэтому в первом каскаде необходимо использовать операционный усилитель (ОУ) - ультрабыстрый и с ультранизкими шумами. А для обеспечения необходимого усиления сигнала второй каскад усилителя необходимо выбрать возможно с высокой скоростью нарастания импульса [6].

Так как фронт импульса от МПКНД соответствует $\tau \sim 5...7$ нс при длительности сигнала порядка 25 нс, то в первом каскаде обеспечение ультранизкого шума и широкого спектра стало возможно при использовании ОУ типа ОРА847 производства "Texas Instruments" с ультранизким уровнем шумов ($0,85$ нВ $\sqrt{Гц}$) и очень широкой полосой пропускания ($3,9$ ГГц). Фирма гарантирует стабильную работу ОУ ОРА847 при усилении $K \geq 12$ [7].

Чтобы получить необходимое усиление, для второго каскада удобно использовать, как сказано выше, высокоскоростной ОУ типа AD8009, скорость нарастания импульса которого достигает 5500 В/мкс с входным напряжением шума, равным 1,9 нВ $\sqrt{Гц}$ [8].

Обычно ОУ требуют двухполярного питания, поэтому первоначальная схема, собранная с двумя источниками питания для проверки полосы пропускания синусоидального сигнала, показана на рис. 1.

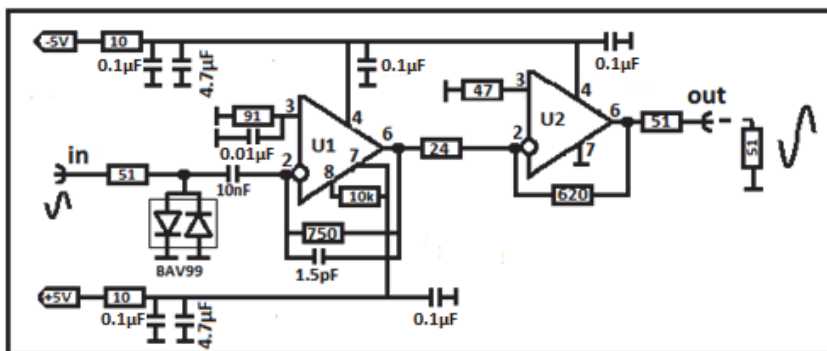


Рис.1. Усилитель синусоидальных сигналов с питанием $\pm 5V$

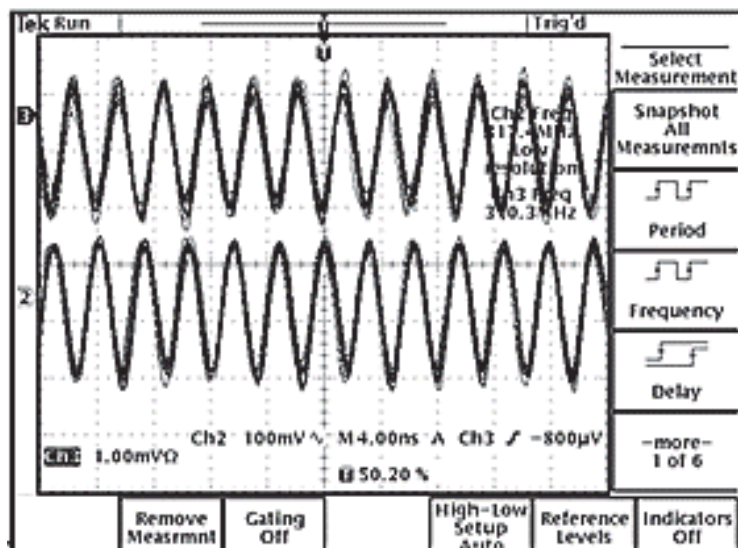


Рис.2. Осциллограмма усилителя $K=100$

Как видно из рис. 2, при усилении $K=100$ полоса пропускания усилителя достигает 310 МГц .

В пропорциональных камерах заряд, создаваемый вокруг анодного провода, вызывает отрицательный сигнал на этом проводе и индуцирует положительные сигналы на проводах катода. Поэтому необходимо было разработать два типа усилителя, работающие для обоих случаев (рис. 3,4).

Для эксперимента возникла необходимость разработать усилители с однополярным источником питания.

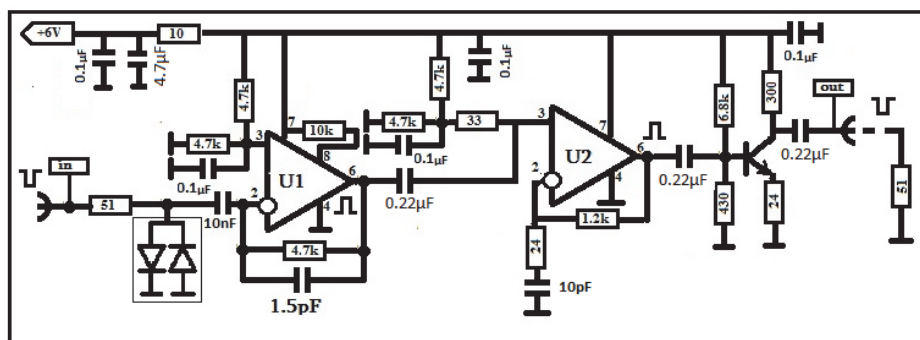


Рис.3. Схема усилителя для сигналов с анодной плоскости

Разработанные усилители (рис.3,4) имеют однополярное питание $+6\text{В}$ и мощность потребления 230 мВт . При применении однополярного питания [9,10] организуется схема смещения, которая создает уровень нулевого сигнала

на ОУ, обычно лежащий в середине диапазона питающего напряжения, с помощью резистивных делителей R3, R4 и R7, R8.

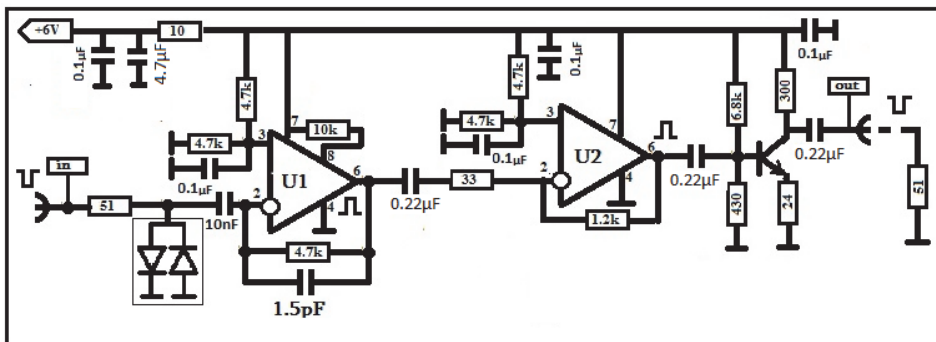


Рис.4. Схема усилителя для сигналов с катодной плоскости

Как можно заметить, первые каскады обоих усилителей для сигналов с катодной и анодной плоскостей выполнены одинаково в виде инвертирующих усилителей с коэффициентом усиления ~ 40 . Для сигналов с катодной плоскости второй каскад собран в виде инвертирующего каскада, а для сигналов с анодной плоскости - собран в виде неинвертирующего усилителя. Коэффициент усиления для вторых каскадов $\sim 30 \dots 50$.

VD1 представляет собой диодную сборку, которая защищает вход от отрицательных или положительных выбросов высокого напряжения (рис.3,4).

Выходные каскады обеих схем разработаны как усилители-инверторы на одном транзисторе, работающие в режиме отсечки.

Резисторы в цепи базы подобраны так, что отсекаются сигналы меньше 7 мВ на базе транзистора, которые представляют собой напряжение шумов усилителя на выходе второго каскада. Амплитуда значения выходного шума всего усилителя получается $\sim 80 \text{ мкВ}$ (рис.5).

Усиленные сигналы с плоскостей пропорциональных камер низкого давления от анодных и катодных проволочек при облучении их радиоактивным источником показаны на рис.6.

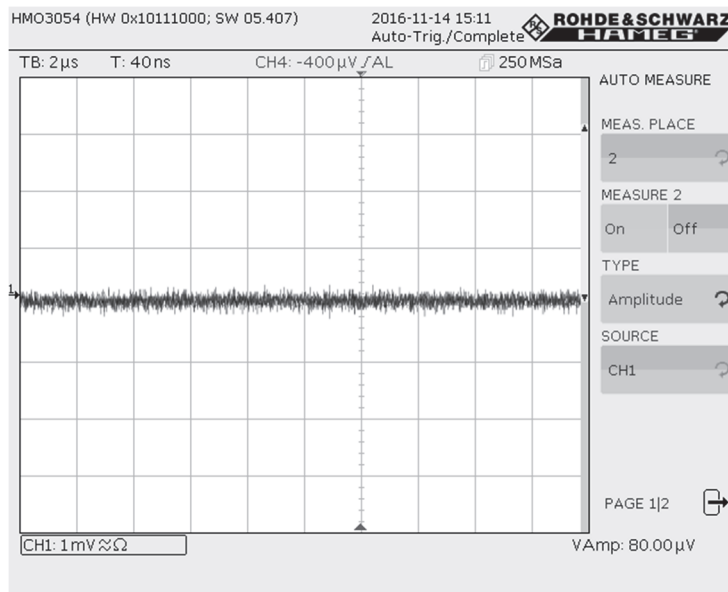


Рис.5. Сигнал шума на выходе усилителя без входного сигнала

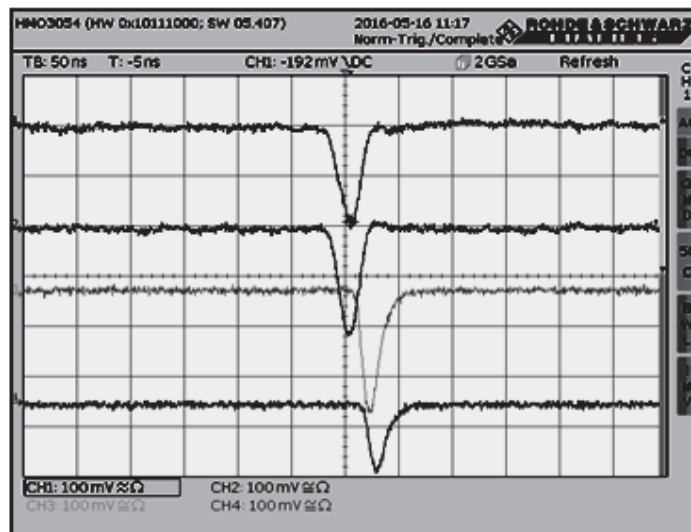


Рис.6. Осциллограммы импульсов с выходов усилителей

Схемы усилителей собраны поверхностным монтажом, что позволяет производить плотную компоновку. В этой конструкции ОУ имеют корпус SOIC -8, все резисторы и конденсаторы размера SMD 06×03 и размещены на одной стороне платы. Обратная сторона печатной платы полностью соединена с нулевым потенциалом питания (рис.7).

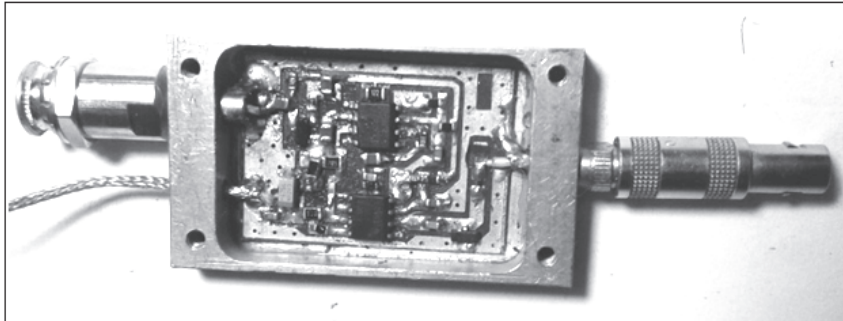


Рис. 7. Усилители собраны в алюминиевой коробке размерами $40 \times 24 \times 5$ мм³.
Входы и выходы усилителей осуществляются LEMO разъемами

С помощью облучения альфа источником пропорциональных камер были получены различные спектры (рис.8).

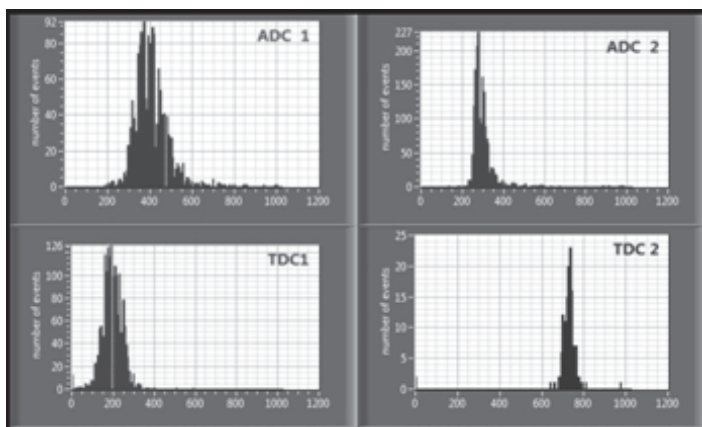


Рис.8. Временные и амплитудные спектры, полученные с плоскостей МПКНД с помощью TDC Lc2228 и ADC Lc2249A с использованием усилителей

СПЕЦИФИКАЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ

Питание: V	+6
Время нарастания: $нс$	2.5 ($G=100V/V$) 7($G=2000V/V$)
Среднеквадратичное значение . выходного шума: (RMS) $мкВ$	≤ 100 (85)
Усиление: $мВ/мкА$	100...200
Интегральная нелинейность: %	≤ 1.5
Входной импеданс: Ω	50
Нагрузка: Ω	50

Задержка сигнала :	$нс \leq 5$
Потребляемая мощность: <i>мВт</i>	~ 230
Размер металлической коробки	$22 \times 40 \times 5 \text{ мм}^3$

Описанные выше усилители могут быть использованы в любой системе, где требуется высокая скорость усиления сигналов низкого уровня с малым шумом.

Автор выражает благодарность А.Т. Маргаряну и Н.К. Григоряну за помощь в работе.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке ГКН РА в рамках научного тематического плана 10-27/14СУС-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Low pressure MWPC system for the detection of alpha - particles and fission fragment / **А.Т. Margaryan, J.-O. Adler, H.S. Vardanyan, S.V. Zhamkochyan, et al**// Armenian Journal of physics.- 2010.- V.3, issue 4.- P. 282-291.
2. Многопроволочная пропорциональная камера низкого давления с высоким коэффициентом газового усиления / **Д.А. Абдушукуров, Ю.В. Заневский, С.А. Мовчан и др.** Препринт ОИЯИ.- Дубна, 1982.- P. 13 82-812.
3. <http://www.ortec-online.com/download/Preamplifier-Introduction.pdf>
4. Однополярное питание операционных усилителей
www.platan.ru/shem/pdf/str10-14n.pdf
5. Усилители-формирователи сигналов для многопроволочных детекторов Протвино / **Ю.Б. Бушнин, А.К. Коноплянников.**- ИФВЭ, 1992. - 4 с.: ил.- (Препр). Ин-т физики высок. энергий ИФВЭОЭА 92-105.
6. **Eli. Flaxer** A low-cost, ultra-fast and low-noise preamplifier for micro channel plates
Meas. Sci. Technol. (2006) **17** p.37–40.
7. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa847.pdf>
8. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8009.pdf
9. Design and Development of a Charge-Sensitive Preamplifier for Nuclear Pulse / **M. Nazrul Islam, T. Fujiwara, et al** // Processing International Journal of scientific research and management (IJSRM).- 2013.- V.1, issue 6.- P. 303-307.
10. **Чарльз Китчин.** Особенности применения операционных усилителей при однополярном питании. Компания Analog Devices .
http://electroff.narod.ru/docs/files4/andev_229.pdf

Национальная научная лаборатория им. А.И. Алиханяна (ЕрФИ). Материал поступил в редакцию 15.03.2017.

Հ.Ս. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ԱՂՄՈՒԿԻ ԳԵՐՑԱԾԻ ՄԱԿԱՐԴԱԿՈՎ ԱՐԱԳԱԳՈՐԾ ՀԱՄԱՄԱՆ ՈՒԺԵՂԱԳՐԱՐՆԵՐ ՑԱԾԻ ՃՆՀՄԱՆ ԲԱԶՄԱԼԱՐ ԽՑԻՎՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Առաջարկվում են գերցածր աղմուկներով դրական և բացասական նանովայրկենային մուտքային ինպուլսներով արագագործ ուժեղացուցիչներ, որոնք օգտագործվում են բազմալար ցածր ճնշման համամասն խցիկների (ԲՅՃՀԽ) անոդային և կատոդային հարթություններից ազդանշաններն ուժեղացնելու համար: Ուժեղացուցիչները նախագծված և կառուցված են երկփուլ սխեմայի հիման վրա՝ կիրառելով արագագործ և գերցածր աղմուկներ ունեցող օպերացիոն ուժեղացուցիչներ: Սարքը սնուցման համար օգտագործում է միափուլ սնման աղբյուր, ունի բարձր ուժեղացում և կայուն է աշխատանքում: Ուժեղացուցիչի ելքային բեռնվածությունը – 50 Ohm է:

Առանցքային բառեր. բազմալար դետեկտորներ, ցածրաղմուկ ուժեղացուցիչներ, ցածր ճնշման համամասն խցիկ:

H.S. VARDANYAN

FAST, LOW-NOISE AMPLIFIERS FOR LOW-PRESSURE MULTI-WIRE PROPORTIONAL CHAMBERS

Fast, low distortion and ultra low- noise amplifiers for positive and negative nanosecond pulses that are employed to amplify signals from the anode and cathode planes of low- pressure multi-wire proportional chambers. Amplifiers are built on a two-stage scheme based on the ultrafast and low-noise integrated operational amplifiers. The developed amplifiers use single supply, have high gain and stability. The amplifiers have a 50Ω load. Commercially available components are used for their construction.

Keywords: Multiwire detectors, low-noise preamplifiers, proportional chambers of low pressure.