

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

2325/82

14/v-82

13-82-56

А.А.Омельяненко, М.Н.Омельяненко*

УСИЛИТЕЛЬ С ПОВЫШЕННОЙ ДОБРОТНОСТЬЮ
ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ ЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ

*Московский институт радиотехники,
электроники и автоматики.

Современные эксперименты в физике высоких энергий содержат большое количество различных детекторов ядерных частиц, при этом число каналов регистрации может достигать десятков тысяч.

Повышение импульсной добротности каналов усиления позволяет уменьшить количество элементов в канале, сократить потребление энергии, повысить надежность аппаратуры и увеличить степень интеграции при гибридизации схем. В настоящей работе описываются предусилители для дрейфовой камеры, разработанные на основе усилителя с повышенной импульсной добротностью. Эти предусилители могут быть использованы и для других детекторов ядерных частиц.

На рис.1 представлена принципиальная схема быстрого импульсного усилителя с токовым входом. Работа усилителя сводится к следующему. Входной ток поступает в эмиттер транзистора Т1 и затем в виде его коллекторного тока втекает в усилительный контур транзистора Т2, который образован конденсатором С2 и сопротивлением R6, подключенными к эмиттеру и коллектору Т2. Коэффициент усиления этого контура определяется отношением входного сопротивления каскада на транзисторе Т2 к сопротивлению R6. Базовый ток транзистора Т2 втекает в эмиттер транзистора Т1, образуя усилительный контур транзистора Т1. При оптимальном выборе параметров усилительных контуров транзисторов Т1 и Т2 ток, поступающий в базу транзистора Т3, практически равен входному току, т.е. передается без потерь при максимальном быстродействии.

Пользуясь формулой для собственного времени нарастания усилителя /вывод формулы опускается/

$$t_H = \sqrt{\left(r_{a2} \cdot \frac{\beta_3 \cdot R_H}{R_6} \right)^2 + (2,2 R_6 C_{K2})^2},$$

где r_{a2} - собственное время нарастания импульса на выходе транзистора Т2, включенного по схеме ОБ; β_3 - коэффициент усиления по току транзистора Т3, включенного по схеме ОЭ; C_{K2} - величина емкости коллекторного перехода транзистора Т2; можно получить максимальное быстродействие путем выбора оптимального значения R6.

В результате повышается импульсная добротность по току $D_i = K_i / t_H$, где K_i - коэффициент усиления по току. K_i усилителя с разомкнутой цепью отрицательной обратной связи практи-

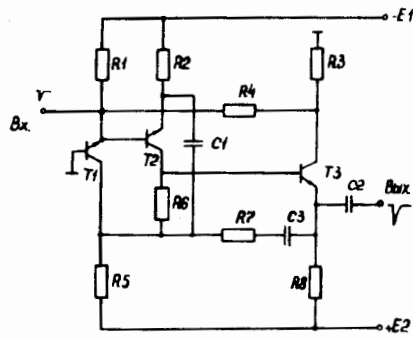


Рис.1. Принципиальная схема быстрого импульсного усилителя с токовым входом. $E_1 = -12$ В; $E_2 = +12$ В; $R_1 = R_2 = 3,0$ кОм; $R_3 = R_7 = 56$ Ом; $R_4 = 1,8$ кОм; $R_5 = 470$ Ом; транзисторы T1, T2 - КТ 316Д; T3 - КТ 363.

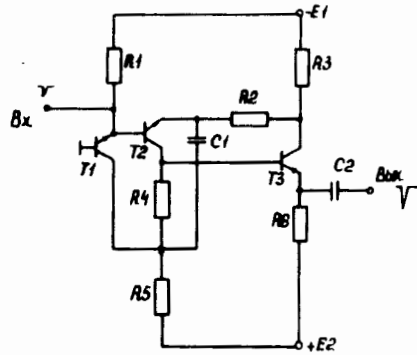


Рис.2. Принципиальная схема малошумящего усилителя с токовым входом для работы с дрейфовой камерой. $E_1 = -6$ В; $E_2 = +6$ В; $R_1 = 13$ кОм; $R_2 = 2,7$ кОм; $R_3 = 24$ Ом; $R_5 = 1,8$ кОм; $R_6 = 1,2$ кОм; $R_H = 50$ Ом; T1, T2 - КТ 316Д, T3 - КТ 363.

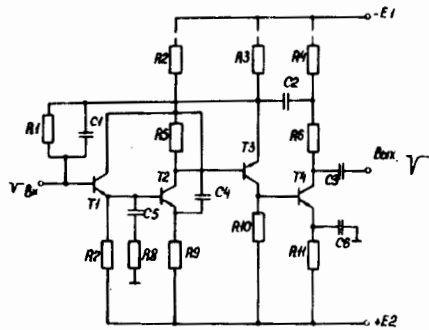


Рис.3. Принципиальная схема малошумящего зарядочувствительного усилителя для работы с дрейфовой камерой. $E_1 = -6$ В; $E_2 = +6$ В; $R_2 = 1,8$ кОм; $R_3 = 2,7$ кОм; $R_4 = R_8 = R_H = 50$ Ом; $R_7 = 13$ кОм; $R_9 = 2,7$ кОм; $C_4 = 680$ пФ; $C_5 = C_2 = 10$ нФ.

чески равен β_3 . Включение отрицательной обратной связи ($R_3 - R_4$) стабилизирует величину K_i , а цепочка $R_7 - C_3$ корректирует величину t_H . Усилитель имеет следующие характеристики, измеренные с помощью генератора прямоугольных импульсов: $K_i \sim 35$; $K_H \sim 180$; $t_H \sim 4$ нс; $R_{ВХ} \sim 10$ Ом, собственный шум усилителя, приведенный ко входу (peak-to-peak), $I_{ш} \sim 5$ мкА; потребляемая мощность P усилителя ~ 100 мВт. Собственный шум усилителей измерен во всех случаях для открытых входов.

На рис.2 приведен вариант усилителя с токовым входом с пониженным уровнем шума для работы с дрейфовой камерой размером $3 \times 1,5$ м² в качестве предусилителя. Основные характеристики усилителя: $K_i \sim 30$; $t_H \leq 10$ нс; $R_{ВХ} \sim 60$ Ом; $I_{ш} \leq 0,3$ мкА; $P \sim 25$ мВт. Результаты близки к полученным в работе /1/ для предусилителя с токовым входом, предназначенным для работы с дрейфовой камерой /исполнение в гибридной технологии, приняты специальные технологические меры для повышения быстродействия/: $t_H \sim 13$ нс; $R_{ВХ} \sim 90$ Ом; $U_{ш} \sim 12,5$ мкВ.

На рис.3 приведена принципиальная схема малошумящего зарядочувствительного усилителя с повышенной добротностью для работы с дрейфовой камерой. В отличие от схем рис.1 и 2, входной сигнал подается на базу транзистора T1, а отрицательная обратная связь ($R_1 - C_1$) включена между эмиттером транзистора T3 и базой транзистора T1. Величина емкости конденсатора C1 определяет зарядочувствительность усилителя, а постоянная времени $\tau = R_1 \cdot C_1$, наряду с другими RC-цепями, - время формирования усиленного сигнала. Дополнительный транзистор T4, объединенный цепью отрицательной обратной связи $R_6 - R_4 - C_2$ с транзистором T3 в "двойку", позволяет существенно увеличить чувствительность усилителя по входу. Поскольку в малошумящих предусилителях необходимо оптимальное формирование полосы частот /интегрирование и дифференцирование/ для получения максимального отношения сигнал/шум, то существенным отличием этого усилителя является включение дифференцирующих цепей $C_5 - R_9$ и $C_2 - R_4$ и конденсатора C4 в усилительном контуре транзистора T2.

Характеристики зарядочувствительного усилителя измерялись с помощью генератора прямоугольных импульсов с временем нарастания, равным 2,5 нс. При измерении крутизны преобразования S на вход усилителя подавался импульс длительностью $t_{ВХ} = 2$ мкс через разделительный конденсатор емкости $C = 10$ пФ.

Зарядочувствительный усилитель на трех транзисторах T1-T3 /без транзистора T4/ имеет следующие характеристики: крутизна преобразования $S = 0,35$ В/пК, $t_H \sim 13$ нс; $\tau \sim 50$ нс; собственный шум, измеренный для усилителя с открытым входом (peak-to-peak), $Q_{ш} \leq 2 \cdot 10^{-15}$ К для $R_H = 50$ Ом. Характеристики лучше, чем у зарядочувствительного предусилителя на трех транзисторах /исполнение в гибридной технологии/ /2/, также предназначенного для работы с дрейфовой камерой: $S = 0,25$ В/пК; $t_H < 10$ нс; $\tau \sim 300$ нс; $Q_{ш} \sim 4 \cdot 10^{-15}$ К.

Усилитель на четырех транзисторах /рис.3/ имеет $S = 4 \div 6$ В/пК; $t_H \sim 15 \div 17$ нс; $\tau \sim 50$ нс; $Q_{ш} \sim 1,5 \div 2 \cdot 10^{-15}$ К; динамический диапазон ~ 4 В; $P \sim 50$ мВт. Результаты близки к результатам одного из лучших зарядочувствительных усилителей для дрейфовой камеры, размером 10×10 см² /3/ /выполненного по гибридной техноло-

гии на четырех транзисторах с использованием транзисторов BF519, BF550, дающих минимальные шумы в заданной полосе частот: $S = 2,2 \text{ В/пК}$, $t_n \sim 8 \text{ нс}$; $\tau \sim 80 \text{ нс}$; $Q_{ш} \sim 2 \cdot 10^{-15} \text{ К}$.

Таким образом, использование импульсного усилителя с повышенной добротностью в качестве предусилителя с токовым входом и в качестве зарядочувствительного предусилителя с оптимальным формированием дает возможность получать достаточно высокие характеристики на дискретных элементах обычного применения. Кроме того, двойное формирование увеличивает динамический диапазон перегружающих входных сигналов.

Усилитель с токовым входом и зарядочувствительный усилитель легко трансформируются в усилитель для положительного входного тока и заряда заменой транзисторов на транзисторы противоположного типа электропроводности и изменением полярностей напряжений питания на противоположные. Возможно каскадирование усилителей.

Авторы благодарят Л.С.Барабаша, А.М.Харина, В.В.Чалышева, И.Е.Чирикова-Зорина за помощь в работе, испытание предусилителей с дрейфовой камерой размером $3 \times 1,5 \text{ м}^2$ и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Engster C., van Koningsveld L.G. pp Preamplifier Type 4253. General Description. CERN, Geneva, 1980.
2. Santiard J.C. Charge Amplifier in Semi-Hybridation. CERN, Geneva, 1976.
3. Santiard J.C. Low Threshold Amplifier-Discriminator. CERN, EP Int.Rep., 80-04, Geneva, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 января 1982 года.

Омельяненко А.А., Омельяненко М.Н.

13-82-56

Усилитель с повышенной добротностью для детекторов ядерных частиц

Описываются предусилители для дрейфовой камеры, разработанные на основе усилителя с повышенной импульсной добротностью. Приводятся схемы и характеристики: быстрого усилителя с токовым входом ($t_n \sim 4 \text{ нс}$, $I_{шр-р} \sim 5 \text{ мкА}$); усилителя с токовым входом и пониженным уровнем шума ($I_{ш} \leq 0,3 \text{ мкА}$); зарядочувствительного усилителя ($S \sim 3,5 \text{ В/пК}$, $Q_{шр-р} \leq 2 \cdot 10^{-15} \text{ К}$). Использование усилителя с токовым входом или зарядочувствительного усилителя с оптимальным формированием позволяет получить высокие характеристики предусилителя на дискретных элементах.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ и Московском институте радиотехники, электроники и автоматики.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Omelyanenko A.A., Omelyanenko M.N.

13-82-56

Amplifier with Improved Quality for Nuclear Particle Detectors

Preamplifiers for a drift chambers developed on the basis of amplifier with improved pulse quality are described. Their circuits and parameters are given: for a high amplifier with a current input ($t_n \sim 4 \text{ ns}$, $I_{шр-р} \sim 5 \text{ мкА}$); amplifier with a current input and low noise ($I_{шр-р} \leq 0,3 \text{ мкА}$) charge input amplifier ($S \sim 3.5 \text{ В/пК}$, $Q_{шр-р} \leq 2 \cdot 10^{-15} \text{ К}$). The application of an amplifier with current input or of charge input amplifier with optimum shaping allows one to obtain good characteristics of transistor preamplifier.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR and Moscow Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.