

С 344.3а
М-895

29/10/73 ✓

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2017



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Г. Музиоль

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЙ НЕПЕРЕГРУЖАЮЩИЙСЯ
ЛИНЕЙНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

1965

P-2017

304/2 чф.

Г. Музиоль

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЙ НЕПЕРЕГРУЖАЮЩИЙСЯ
ЛИНЕЙНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Направлено в ПТЭ

Научно-технический институт
серии исследований
БИБЛИОТЕКА

В последние годы опубликовано большое количество работ, посвященных разработке линейных неперегружающихся усилителей, предназначенных для усиления сигналов сцинтилляционных детекторов. Основные требования к такого рода усилителям сформулированы рядом исследователей, давших оригинальные решения проблем^{/1-15/}. Краткий обзор этих работ дается в работе Жукова, Забиякина и др.^{/15/}.

В последнее время в β - и γ -спектрометрии применяются полупроводниковые детекторы типа $p - i - n$ ^{/18/}. Специфику этих детекторов следует иметь в виду при разработке усилителей, предназначенных для применения в β - и γ -спектрометрии.

В то время как при использовании сцинтилляционных детекторов коэффициент усиления от выхода детектора до многоканального амплитудного анализатора должен составлять величину порядка $10^2 + 10^3$, при использовании полупроводниковых детекторов значение коэффициента усиления должно быть порядка 10^5 . Энергетическое разрешение полупроводниковых детекторов приблизительно в 10 раз лучше, нежели разрешение сцинтилляционных детекторов, то есть порядка 0,5%^{/18/}. Чтобы хорошее энергетическое разрешение, достигаемое в детекторе, не ухудшилось в радиоэлектронном тракте спектрометра, необходимо обратить внимание на то, чтобы усилитель обладал высокой степенью неперегружаемости и чтобы нестабильность коэффициента усиления и уровень шумов уменьшились до минимума.

Из опубликованных в литературе схем неперегружающихся линейных усилителей выделяется своей долговременной стабильностью усилитель с обратной связью как по постоянному току и напряжению, так и по переменному напряжению. Введенный Гатти^{/8/} принцип получил свое дальнейшее развитие в работе Вяземского и других^{/10/}, предложивших оригинальное техническое решение. Усилительная секция, по Вяземскому, обладает свойством высокой степени неперегружаемости и стабильности.

Разработанный нами усилитель предназначен для применения в спектрометрических экспериментах как со сцинтилляционными, так и с полупроводниковыми детекторами. Благодаря своим хорошим свойствам принцип усилительной секции Гатти-Вяземского был взят в основу данного усилителя. Кроме того, известно^{/5,6,7,8/}, что неперегружаемость и стабильность нулевой линии усилителя резко увеличиваются, когда поступающим на вход усилителя детекторным импульсам придается в ходе процесса усиления биполярная форма. Усилители такого типа очень сложны, но несмотря на это, их при-

менение представляется целесообразным как раз в спектрометрах с полупроводниковыми детекторами.

Метод формирования биполярных импульсов в процессе усиления выгоден и с точки зрения измерения совпадений между импульсами двух и более детекторов. По принципу, предлагаемому Груле^{/16/}, можно при переходе биполярных импульсов через нулевую линию обрабатывать стандартные импульсы для измерения быстрых совпадений. Момент перехода через нулевую линию не зависит от абсолютной величины детекторных импульсов, разумеется, в рамках статистики полуамплитуды этих импульсов. Поэтому можно, используя этот принцип, проводить измерение быстрых совпадений после прохода детекторных сигналов линейного усилителя с временем нарастания $\approx 0,1$ мксек и больше. Особенно успешно метод Груле применяется при работе с медленными сцинтилляторами типа NaJ(Tl) и со спектрометрическими ФЭУ, обладающими маленьким коэффициентом усиления. В связи с маленькой амплитудой выходных импульсов от полупроводниковых детекторов метод приобретает большое значение.

Эти соображения послужили причиной применения при разработке данного усилителя принципа формирования биполярных импульсов в усилителе.

Как уже указывалось выше, в условиях такого большого коэффициента усиления, который необходим при работе с полупроводниковыми детекторами, следует принять меры для уменьшения шумов. Это сводится обычно к включению маломушмящего предусилителя непосредственно на выходе детектора. Но и главный усилитель должен обеспечить достаточную величину отношения сигнала к шуму.

В этой связи интересной проблемой при разработке спектрометрического усилителя является сам принцип регулировки коэффициента усиления. При использовании усилителя в спектрометрах как со сцинтилляционными, так и с полупроводниковыми детекторами β - и γ -излучения необходим довольно широкий диапазон регулировки коэффициента усиления. Регулировка коэффициента усиления в большинстве работ^{/12,15/} осуществляется с помощью делителя на входе усилителя. Когда коэффициент усиления выше 1000, такой принцип не годен из-за недостаточной величины отношения сигнала к шуму. Другое решение задачи - размещение делителя после первых усилительных каскадов, коэффициент усиления которых постоянен^{/5,8/}. Этот принцип приводит к перегрузке усилителя в каскадах до делителя импульсами не очень большой амплитуды.

Фишман-Арбел и Бар-Давид^{/14/} предложили принцип регулировки коэффициента усиления с помощью изменения степени обратной связи усилительных секций, не изменяя при этом коэффициента усиления без обратной связи. Стабильность такого усилителя повышается с увеличением степени обратной связи. Диапазон регулировки коэффициента усиления при этом, однако, ограничен, потому что устойчивость усилителя

зависит от отношения коэффициента усиления без обратной связи к коэффициенту усиления с обратной связью.

С целью расширения диапазона регулировки коэффициента усиления с помощью обратной связи в настоящей работе одновременно с величиной обратной связи меняется и коэффициент усиления без обратной связи. Закон изменения этих двух величин выбран так, чтобы произведение $K\beta$, то есть коэффициент обратной связи и коэффициент усиления без обратной связи, для частот в середине полосы пропускания являлось постоянным.

На рис. 1 изображен принцип действия основной усилительной секции с новым принципом регулировки коэффициента усиления. Лампы L_1 и L_2 образуют дифференциальный усилитель, на выходе которого снимается усиленная разность между входным сигналом и сигналом обратной связи. При поступлении на вход импульсов, превышающих линейный диапазон усилителя, лампа L_2 запирается, а лампа L_1 превращается в катодный повторитель, который способен выдержать значительные входные напряжения без появления сеточного тока. Отсутствие переходных конденсаторов между каскадами исключает возможность блокировки усилителя из-за заряда этих конденсаторов при перегрузке ламп L_3 и L_4 их сеточным током. Обратная связь по постоянному току (катодные сопротивления) и постоянному напряжению (делитель R_8, R_9) всех ламп, помимо обратной связи по переменному напряжению, обеспечит высокую долговременную стабильность усилителя.

Для регулировки коэффициента усиления переключаются одновременно величина обратной связи по переменному напряжению сопротивлением R_4 и емкостью C_4 и коэффициент усиления без обратной связи сопротивлением R_6 . Увеличение значения обратной связи по переменному напряжению связано, таким образом, с одновременным уменьшением значения обратной связи по постоянному току лампы L_3 и наоборот.

Анализ передаточной функции схемы показывает, что устойчивость схемы в очень широких пределах коэффициента усиления не зависит от выбранной степени обратной связи, если схема устойчива при максимально заданном коэффициенте усиления. Кроме того, можно показать, что собственное время нарастания усилителя пренебрежимо мало зависит от перехода с одного на другой коэффициент усиления в предусмотренном диапазоне. Это существенно при использовании усилителя перед схемой совпадения по принципу Груле^{/16/}, потому что измененное время нарастания может повлиять на момент пересечения нулевой линии биполярными импульсами.

Принципиальная схема усилителя, построенного на основе описанного выше принципа, изображена на рис. 2. Усилитель состоит из трех основных частей: предусилитель, формирователь-инвертор и оконечный усилитель. Коэффициент усиления предусилителя

можно регулировать с помощью обратной связи в диапазоне от 2 до 128. При этом произведение коэффициента усиления без обратной связи и коэффициента обратной связи по переменному напряжению составляет $K\beta = 42 = \text{const}$. Оконечный усилитель позволяет изменять коэффициент усиления всего усилителя мелкими шагами. Поэтому коэффициент усиления без обратной связи остается во всех положениях постоянным. Обращает на себя внимание большое значение $K\beta \approx 100$ и ≈ 50 при коэффициенте усиления оконечного усилителя 85 и 50, соответственно.

Как предусилитель, так и оконечный усилитель являются усилителями постоянного тока. При наладке усилителя поэтому необходимо тщательно отлаживать рабочий режим ламп. Для этой цели служат размещенные в усилительных секциях тумблера P_1 и P_5 в их нижнем положении и делителе 200 ком - 10 ком, переменное сопротивление 15 ком (27 ком) в делителе обратной связи по постоянному напряжению и переменное сопротивление 10 ком в анодной цепи лампы L_1 (L_5). После установления необходимого режима переключение тумблеров P_1 и P_5 не должно вызывать изменение установленных режимов.

Формирование биполярных импульсов осуществляется обычно двумя короткозамкнутыми линиями задержки^{/8/}. В этой работе используется лишь одна линия задержки с разомкнутым концом в сочетании с дифференциальным усилителем^{/7/}. Такой метод уменьшает трудности, связанные с согласованием двух линий задержки, и отличается меньшей величиной образующегося пьедестала из-за отсутствия омического падения напряжения вдоль линии.

В настоящей работе та же самая линия применяется одновременно и для перемещения точки пересечения нулевой линии биполярными импульсами по оси времени. Такое перемещение необходимо для коррекции разности временной задержки в каналах спектрометра и представляет собой большое удобство при работе со схемами совпадения с отбором стандартных импульсов по методу Груле^{/16/}. Используемая линия задержки позволяет перемещать точку пересечения шагами в 2 нсек максимально до 2 мксек. Согласование линии со стороны источника импульсов на волновое сопротивление, равное 1,5 ком, достигается П-образным звеном. Это обеспечит лишь незаметное изменение согласования при амплитудной перегрузке предусилителя.

Дифференциальный усилитель, образующий вместе с линией задержки формирователь равновесных биполярных импульсов^{/7,8/}, служит одновременно фазоинвертором (тумблер P_4). Обе его лампы охвачены собственной обратной связью по постоянному току, что обеспечит при простой схеме высокую долговременную стабильность.

Описанный усилитель был применен в целом ряде физических экспериментов, например в^{/17/}. Он обеспечивает очень стабильную работу.

Технические характеристики усилителя

Полярность входных импульсов	±
Коэффициент усиления	50 ± 12200
Максимальное выходное напряжение при нелинейности амплитудной характеристики < 0,4%	125 в
Собственное время нарастания ($U_{\text{вых}} < 130$ в; нагрузка 10 ком; 50 пф)	$1,5 \cdot 10^{-7}$ сек
Максимальное изменение коэффициента усиления при изменении напряжения накала ± 10%	< 0,5 %
Временная нестабильность за 24 часа	< 1 %
Коэффициент перегрузки, при котором выходной биполярный импульс превращается в однополярный импульс ($K = 12200$)	> 500
Выходное напряжение шумов при $K = 12200$ и короткозамкнутом входе	= 0,1 в эфф.

Автор благодарит К.Я.Громова, Хань Шу-жунь, В.В.Кузнецова, Ма Хо Ик и А.Н.Свинаева за интерес к работе и за полезные обсуждения, Ж.Т.Кондрата и В.А.Быстрова за помощь в монтаже усилителя и Б.Причка за помощь при наладке.

Л и т е р а т у р а

1. W.Jordan, P.Bell. Rev. Sci. Instr., 18, 703 (1947).
2. F.Magee, P.Bell, W.Jordan. Rev. Sci. Instr., 23, 30 (1952).
3. R.Chase, W.HigInbotham. Rev. Sci. Instr., 23, 34 (1952).
4. E.Fairstein. Rev. Sci. Instr., 25 1154 (1954).
5. I.Francis, P.Bell, G.Kelley. Nucleonics, 12, No.3, (1954).
6. E.Fairstein. Rev. Sci. Instr., 27, 475 (1956).
7. P.Maeder. "Multi-Channel Pulse Height Analysers", Proc. of an Informal Conference. Gatlinburg, Tenn. (1956). Publ. Washington (1957).
8. P.Maeder. IRE Transations on Nuclear Science, 5, 214 (1958).
9. Gatti E. L'electronique Nucleaire, Colloque Intern., Paris.(1958).

10. В.О.Вяземский, Л.В.Дранчинский, А.Н.Писаревский, В.В.Трифонов, Е.И.Фирсов. ПТЭ, № 5, 40, (1958).
11. А.С.Мелиоранский, Ю.М.Останевич. ПТЭ, № 1, 73 (1959).
12. А.Н.Писаревский, Ю.Е.Семяников. ПТЭ, № 1, 63 (1960).
13. А.А.Санин. ПТЭ, № 42, 76 (1960).
14. A.F.Fischmann-Arbel. Nucl. Instr. and Meth., 7, 153 (1960).
Bar-David J.
15. Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, Ким Ю Сен, В.И.Чивкин. Препринт ОИЯИ 602, Дубна (1960)
16. W.Gruhle. Nucl. Instr. and Meth., 4, 112 (1959).
17. К.Я.Громов, Д.Енчев, Ж.Д.Желев, И.Звольский, В.Г.Калинников, В.В.Кузнецов, Ма Хо Ик, Г.Муэиоль, Хань Шу-жунь. Препринт ОИЯИ Р-1846, Дубна (1964).
18. A.J.Tavendale, G.T.Ewan. Nucl. Instr. and Meth., 25, 185 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел
22 февраля 1965 г.

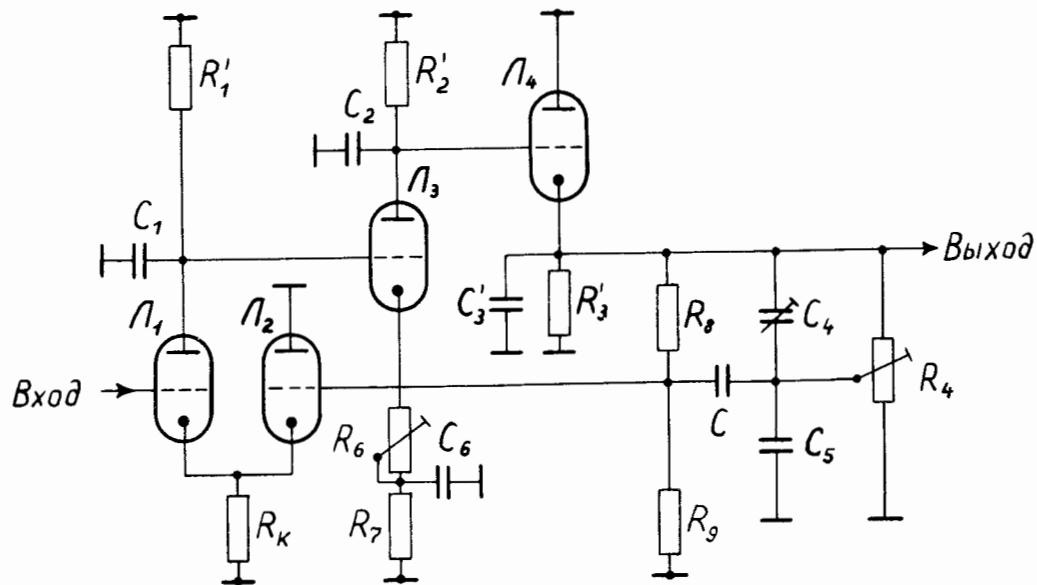


Рис. 1. Принцип действия усилительной секции с регулировкой коэффициента усиления одновременным изменением степени обратной связи и коэффициента усиления без обратной связи при постоянном произведении.

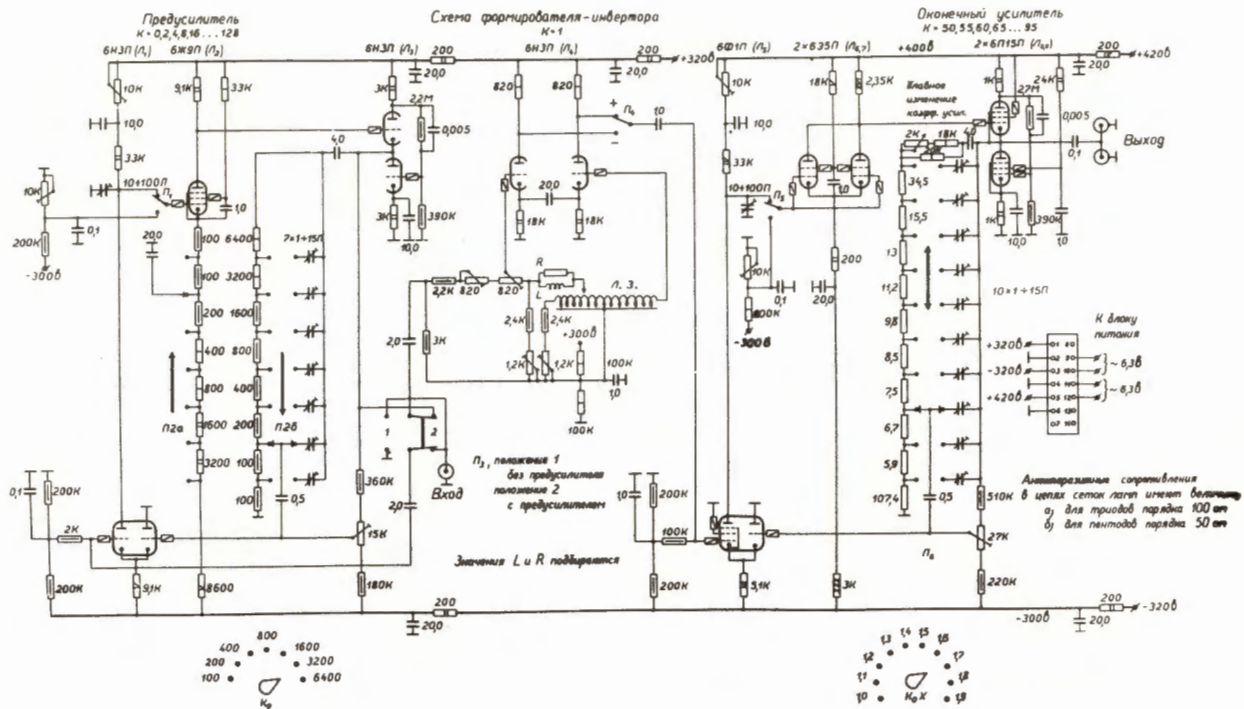


Рис. 2. Принципиальная схема усилителя.