(19) **RU** (11) **2 209 504** (13) **C2**

(51) МПК[7] **H 03 G 3/30**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: **99118581/09, 19.12.1997**

(24) Дата начала действия патента: **19.12.1997**

(30) Приоритет: **27.01.1997 US 789,108**

(46) Дата публикации: **27.07.2003**

(56) Ссылки: **US 5099204 A, 24.03.1992. RU 2012394 C1, 15.05.1994. US 3641450, 08.02.1972. US 5469115 A, 28.04.1994. US 5451901 A, 19.09.1995. US 5418494 A, 23.05.1995. US 5477191 A, 19.12.1995.**

(85) Дата перевода заявки PCT на национальную фазу: **27.08.1999**

(86) Заявка PCT:
US 97/23657 (19.12.1997)

(87) Публикация PCT:
WO 98/33272 (30.07.1998)

(98) Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(71) Заявитель:
КВЭЛКОММ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)

(72) Изобретатель: **ГУРКАНВАЛ Сахота С. (US)**

(73) Патентообладатель:
КВЭЛКОММ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)

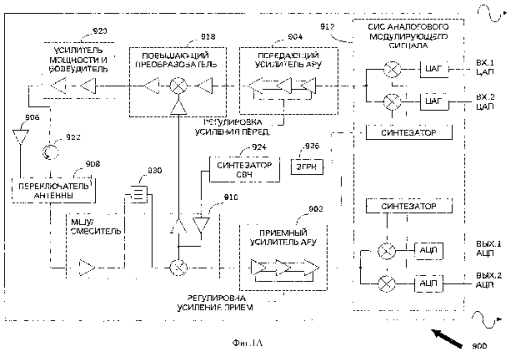
(74) Патентный поверенный:
Кузнецов Юрий Дмитриевич

RU 2209504 C2

(54) УСИЛИТЕЛЬ С ПЕРЕМЕННЫМ УСИЛЕНИЕМ И ВЫСОКИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ

(57)

Маломощный, многокаскадный усилитель с переменным усилением (УПУ) (100), используемый, в частности, в устройствах связи, обладающий высоким динамическим диапазоном, включает в себя входной каскад (К) (120), после которого последовательно подключают один или несколько К усилителей тока (УТ) (160А, 160Б), в соответствии с чем коэффициент усиления (КУ) каждого К (120) может регулироваться независимо. Входной К (120) может быть образован усилителем с переменной крутизной, использующим регулируемую эмиттерную отрицательную обратную связь. УТ (160А, 160Б) может быть образован дифференциальным усилителем Дарлингтона, присоединенным к дифференциальному каскадному усилителю. УПУ обеспечивает экспоненциальный рост КУ по напряжению как функцию линейных приращений подаваемого регулирующего напряжения (РН), обеспечивая приблизительно линейных рост КУ по мощности в децибелах, прямо пропорциональный линейным приращениям подаваемого РН. УПУ (100) предназначен для эффективной работы на малой мощности в большом динамическом диапазоне. 5 с. и 13 з.п.ф-лы, 8 ил.



Фиг.1А

RU 2209504 C2

(19) **RU** (11) **2 209 504** (13) **C2**

(51) Int. Cl.[7] **H 03 G 3/30**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **99118581/09, 19.12.1997**

(24) Effective date for property rights: **19.12.1997**

(30) Priority: **27.01.1997 US 789,108**

(46) Date of publication: **27.07.2003**

(85) Commencement of national phase: **27.08.1999**

(86) PCT application:
US 97/23657 (19.12.1997)

(87) PCT publication:
WO 98/33272 (30.07.1998)

(98) Mail address:
129010, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery", Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595

(71) Applicant:
KVEhLKOMM INKORPOREJTED (US)

(72) Inventor: **GURKANVAL Sakhota S. (US)**

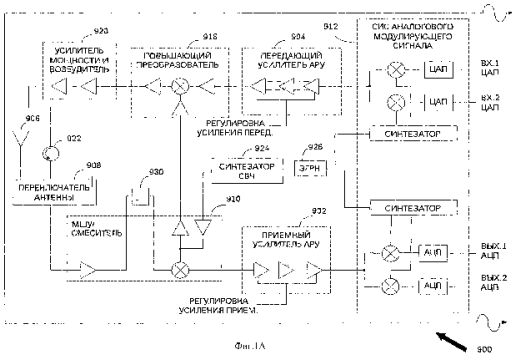
(73) Proprietor:
KVEhLKOMM INKORPOREJTED (US)

(74) Representative:
Kuznetsov Jurij Dmitrievich

(54) HIGH-DYNAMIC-RANGE VARIABLE-GAIN AMPLIFIER

(57) Abstract:

FIELD: low-power and multistage amplifiers for communication and other devices. SUBSTANCE: variable- gain amplifier 100 has input stage 120 and one or more current amplifier stages 160A and 160B series-connected past stage 120 so that gain of each stage 120 can be independently varied. Input stage 120 can be formed by variable-transconductance amplifier using adjustable negative emitter feedback. Current amplifier (stages 160A, 160B) can be formed by Darlington differential amplifier connected to differential stage amplifier. Variable-gain amplifier affords exponential growth of voltage gain as function of linear increments of regulating voltage being applied thereby ensuring approximately linear growth of power in decibels proportional to linear increments of regulating voltage applied. EFFECT: enhanced dynamic range and operating efficiency of variable-gain amplifier. 18 cl, 9 dwg



RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

Изобретение относится к усилителям с переменным усилением (УПУ) и, в частности, к УПУ, используемым в устройствах связи.

При беспроводной связи приемник может принимать сигнал, который испытывает скоротечные изменения мощности в широких пределах. В приемниках, например, используемых в мобильной станции широкополосной цифровой системы множественного доступа с кодовым разделением (МДКР), необходимо регулировать мощность демодулированного сигнала для надлежащей обработки сигнала. Кроме того, в передатчиках, например, используемых в мобильной станции МДКР, необходимо регулировать передаваемую мощность во избежание создания избыточной помехи для других мобильных станций. Те же соображения, касающиеся регулировки мощности, применимы к приемникам и передатчикам узкополосной аналоговой системы беспроводной связи с частотной модуляцией (ЧМ).

Существуют устройства двухрежимной системы связи МДКР/ЧМ, которым требуется обеспечение регулировки мощности передаваемых и принимаемых сигналов, модулированных как в цифровом режиме МДКР, так и в аналоговом режиме ЧМ. В этих двухрежимных мобильных станциях процесс регулировки осложняется различием динамических диапазонов и промышленных регулирующих стандартов, касающихся сигналов МДКР и ЧМ. Иными словами, амплитуда принимаемых сигналов МДКР может изменяться в диапазоне приблизительно 80 дБ, тогда как амплитуда принимаемых сигналов ЧМ может изменяться в диапазоне до 100 дБ. Обеспечение раздельной схемотехники автоматической регулировки усиления (АРУ) как для сигналов МДКР, так и для сигналов ЧМ увеличивает сложность и дороговизну таких двухрежимных мобильных станций. Соответственно желательно предоставить схемотехнику АРУ, способную работать с сигналами как МДКР, так и ЧМ.

Фиг.1А и 1Б иллюстрируют работу УПУ, осуществляющего функции АРУ. Фиг.1А и 1Б являются блок-схемами сотового телефона 900, работающего в двух режимах МДКР/ЧМ, разработанного, например, в соответствии со стандартом промышленности средств связи "Стандарт совместимости мобильной станции и базовой станции для двухрежимной широкополосной сотовой системы с расширенным спектром" АПС/АЭП/ВС-95 (ассоциация промышленности средств связи/ассоциация электронной промышленности/внутренний стандарт - 95), в дальнейшем именуемым просто ВС-95. УПУ используется в качестве усилителя АРУ, соответственно приемного и передающего трактов сотового телефона 900. Высокочастотный тракт приемного узла сотового телефона 900 заключает в себе антенну 906, антенный переключатель 908, схему 910 малошумящего усилителя МШУ и смесителя и фильтр 930. По мере того, как сотовый телефон 900 перемещается по зоне покрытия системы МДКР, уровень сигнала на антенне 906 изменяется, примерно, от -110 до -30 дБ. Заметим, что каждый из этих элементов высокочастотного тракта, в общем случае, обеспечивает один и тот же коэффициент усиления, вне зависимости от того, какой уровень сигнала подается на него, в пределах рабочего диапазона, так что динамический диапазон сигнала, подаваемого на приемный усилитель АРУ 902, является таким же, как динамический диапазон сигнала на антенне 906, приблизительно 80 дБ. Аналогично, когда сотовый телефон 900 перемещается по зоне покрытия системы ЧМ, уровень сигнала на антенне изменяется приблизительно на 100 дБ.

Выходной сигнал приемного усилителя АРУ 902 подается на специализированную интегральную схему аналогового модулирующего сигнала (СИСАМС) 912, которая преобразует аналоговый сигнал в цифровой сигнал. Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой происходит наилучшим образом, если уровень сигнала, который подается на аналого-цифровой преобразователь, остается постоянным. Приемный усилитель АРУ 902 осуществляет функцию компенсации колебаний мощности входного сигнала, так что мощность выходного [сигнала] приемного усилителя АРУ 902, а стало быть и входного сигнала аналого-цифрового преобразователя остается постоянной.

СИС 914 модема мобильной стации обеспечивает демодуляцию как сигнала МДКР, так и сигнала ЧМ равно, как и различные функции цифровой и мощностной регулировки, связанные с действием МДКР. Такие функции широко известны в технике и не являются решающими для настоящего изобретения, поэтому они не подлежат дальнейшему описанию. Пользовательские интерфейсы 916 обеспечивают взаимодействие с оператором-человеком. Такие пользовательские интерфейсы 916 также широко известны в технике и не являются решающими для настоящего изобретения, поэтому они не подлежат дальнейшему описанию.

СИС 914 модема мобильной стации также выдает цифровое представление волнового сигнала МДКР, модулированного модулирующим сигналом, или модулированное аналоговое представление волнового сигнала ЧМ на СИСАМС 912. СИСАМС 912 преобразует представление модулирующих сигналов к виду аналогового сигнала промежуточной частоты (ПЧ) при постоянном уровне сигнала и подает его на передающий усилитель АРУ 904. Усилитель АРУ 904 передатчика обеспечивает регулировку мощности сигнала и подает его на повышающий преобразователь 918, схемотехнику 920 усилителя мощности и возбудителя, вентиль 922, антенный переключатель 908 и антенну 906. По мере того, как сотовый телефон 900 перемещается по зоне покрытия сотовой системы, уровень передаваемого сигнала на антенне 906 изменяется обратно принимаемой мощности, т.е. когда принимаемая мощность доходит до минимума, уровень передачи приближается к максимуму. Это изменение уровня передаваемой мощности осуществляется за счет усилителя АРУ 904. Заметим, что мощность входного сигнала усилителя АРУ 904 обычно является фиксированной и коэффициент усиления усилителя мощности 920 также может быть фиксированным.

Более подробную информацию о контуре

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

автоматической регулировки усиления в беспроводной системе связи и о регулировке мощности в целом можно найти в патенте США 5, 283, 536, озаглавленном "Схема с высоким динамическим диапазоном и автоматической регулировкой усиления посредством замкнутого контура" (HIGH DINAMIC RANGE CLOSED LOOP AUTOMATIC GAIN CONTROL CIRCUIT), выданном 1 февраля 1994 г., в патенте США 5, 107. 225, озаглавленном "Схема с высоким динамическим диапазоном и автоматической регулировкой усиления посредством замкнутого контура" (HIGH DINAMIC RANGE CLOSED LOOP AUTOMATIC GAIN CONTROL CIRCUIT), выданном 21 апреля 1992 г., в патенте США 5, 267, 262, озаглавленном "Система регулировки мощности передатчика" (TRANSMITTER POWER CONTROL SYSTEM), выданном 30 ноября 1993 г., в патенте США 5, 469, 115, озаглавленном "Способ и аппаратура для автоматической регулировки усиления в цифровом приемнике" (METHOD AND APPARATUS FOR AUTOMATIC GAIN CONTROL IN A DIGITAL RECEIVER, выданном 12 ноября 1995 г., и в патенте США 5, 283, 536, озаглавленном "Схема с высоким динамическим диапазоном и автоматической регулировкой усиления посредством замкнутого контура" (HIGN DINAMIC RANGE CLOSED LOOP AUTOMATIC GAIN CONTROL CIRCUIT), выданном 26 октября 1993 г., каждый из которых передается передаваемому сим, и включается сюда посредством ссылки.

Приемники и передатчики [системы] мобильной связи, подобные вышеописанным, разрабатываются с целью достижения высокого показателя сжатия, низкой подачей шумового сигнала и низким потреблением мощности. Приемники с высоким показателем сжатия и низкой подачей шумового сигнала имеют высокий динамический диапазон, т.е. могут детектировать сигналы в широком диапазоне уровней мощности. Передатчики с высоким показателем сжатия и низкой подачей шумового сигнала имеют высокий динамический диапазон, т.е. могут передаваться сигналы в широком диапазоне уровней мощности. Приемники и передатчики с низким потреблением мощности увеличивают срок службы батареи. Поэтому эти характеристики важны при разработке усилителя с переменным усилением для системы связи, в которой сигналы передаются и принимаются в широком диапазоне уровней мощности.

Приемник должен быть способен детектировать информацию, переносимую как сильным сигналом, поступающим от близкого и мощного передатчика, так и слабым сигналом, поступающим от отдаленного и маломощного передатчика. Пределы, в которых приемник способен детектировать сигналы от слабого к сильному, называется его динамическим диапазоном. Аналогично передатчик должен быть способен передавать маломощные сигналы на близкий приемник и высокомощные сигналы на отдаленный приемник.

Динамический диапазон приемника задается его минимальным детектируемым и максимальным детектируемым уровнями сигнала. Минимальный детектируемый уровень сигнала приемника определяется коэффициентом шума приемника. Аналогично минимальная передаваемая мощность устанавливается коэффициентом шума передатчика, если уровень сигнала падает до шумового порога или ниже. Коэффициент шума УПУ является отчасти функцией характеристик подачи шумового сигнала и коэффициента усиления УПУ. В общем случае, чем выше коэффициент усиления приемника, тем меньше его коэффициент шума, т.е. его способность детектировать очень слабый сигнал при наличии шума увеличивается.

Максимальный детектируемый уровень сигнала для приемника может задаваться характеристикой интермодуляционных искажений (ИМИ) приемника. Когда через какое-либо устройство множественные сигналы проходят, то в силу нелинейности устройства между сигналами имеет место явление смешивания. Например, в том месте, где одновременно действуют системы МДКР и аналоговой ЧМ, результаты ИМ третьего порядка от аналоговой системы ЧМ обычно попадают в полосу пропускания МДКР. Эти результаты ИМ действуют как "глушители", которые вносят ИМИ, которые могут создавать помехи детектированию и демодуляции полезного сигнала на приемнике. Характеристика ИМИ УПУ является отчасти функцией его линейности и его коэффициента усиления. В общем случае, чем ниже коэффициент усиления приемника, тем лучше его характеристика ИМИ. Это противоречит описанным выше требованиям к улучшению коэффициента шума, таким образом разработка УПУ для приемника с высоким динамическим диапазоном включает в себя трудный компромисс между характеристикой ИМИ и коэффициентом шума.

Аналогичные соображения имеют место в отношении УПУ передатчика тем отличием, что в основном УПУ приемника предназначены для выдачи относительно постоянного уровня мощности выходного сигнала при изменяющемся диапазоне уровней мощности входного сигнала, тогда как УПУ передатчика предназначены для приема входных сигналов с относительно постоянными уровнями мощности и выдачи изменяющегося диапазона уровней мощности выходных сигналов.

Кроме того, мобильные приемники разрабатываются исходя из требований компактности, легкости и долговечности. Мобильные приемники получают питание от минимального количества элементов батареи с целью снижения их габаритов и веса, т.е. для повышения их портативности. Поскольку напряжение батареи пропорционально количеству элементов батареи, схемотехника АРУ, включающая в себя усилитель с переменным усилением (УПУ), должна работать при низких напряжениях питания. Желательно также увеличить срок службы батареи, дабы увеличить период между заменами или подзарядками батареи. Поэтому схемотехника АРУ, включая ее УПУ, должна потреблять малые постоянный ток и мощность.

Это требование низкого потребления мощности постоянного тока также предполагает компромисс разработки,

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

аналогичный оговоренному выше. Усилителю с высоким коэффициентом усиления, который дает хороший коэффициент шума, требуется большая мощность постоянного тока. Однако усилителю с низким коэффициентом усиления, имеющему хорошую характеристику ИМИ, требуется меньшая мощность постоянного тока. Существующие разработки УПУ неэффективны, т.е. не способны в достаточной степени экономить мощность постоянного тока при низких уровнях усиления.

Итак, задачей изобретения является разработка УПУ с высоким динамическим диапазоном, хорошими коэффициентом шума и характеристикой ИМИ, а также с низким потреблением мощности постоянного тока.

В соответствии с настоящим изобретением предоставляется УПУ, имеющий высокий динамический диапазон, хорошие коэффициент шума и характеристику ИМИ, а также минимальное потребление мощности постоянного тока. УПУ могут использоваться в усилителях автоматической регулировки усиления (АРУ) для приемного и передающего трактов сотового телефона. УПУ дает усиление мощности путем преобразования входного сигнала напряжения в сигнал тока и усиления сигнала тока. Усиленный сигнал тока может преобразовываться в сигнал напряжения путем подключения на выходе УПУ соответствующего импеданса.

УПУ включает в себя, по крайней мере, два последовательно включенных каскада: входной каскад и усилитель тока. Входной каскад может дополнительно делиться на входной каскад МДКР и входной каскад ЧМ, притом, что выходы обоих входных каскадов подключаются ко входу усилителя тока по выбору в соответствии с сигналом переключения режима МДКР/ЧМ. Согласно одному варианту реализации, выходной каскад ЧМ является несимметричным усилителем, тогда как вход МДКР симметричен. Коэффициент усиления УПУ можно увеличивать путем последовательного добавления двух или более каскадов усилителя тока. Крутизна вольтамперной характеристики входных каскадов может регулироваться регулирующим сигналом.

Маломощный УПУ с высоким динамическим диапазоном создается с использованием комбинации методик. Согласно первому варианту реализации, подходящему для двухрежимного приемного усилителя АРУ, например, усилителя 902, изображенного на фиг. 1, входной каскад МДКР образуется усилителем с переменной крутизной, на выходе которого включен аттенюатор с элементом Гильберта. Усилитель с переменной крутизной преобразует изменяющийся сигнал напряжения в выходной сигнал тока, притом, что крутизна регулируется полевым транзистором (ПТ), действующим как переменный резистор эмиттерной отрицательной обратной связи. Эмиттерная отрицательная обратная связь обеспечивает местную последовательную обратную связь переменной глубины, которая позволяет входному каскаду МДКР работать в широком динамическом диапазоне входных сигналов, в то же время обеспечивая хорошие коэффициент шума и характеристику ИМИ. При наличии входного сигнала и низкого уровня сопротивления канал полевого транзистора может изменяться с целью увеличения коэффициента усиления входного каскада, что улучшает коэффициент шума приемника и его способность детектировать слабые сигналы. С другой стороны, при наличии входного сигнала высокого уровня сопротивление канала полевого транзистора может изменяться с целью уменьшения коэффициента усиления входного каскада, что улучшает характеристику ИМИ приемника. Аттенюатор с элементом Гильберта обеспечивает дополнительное ослабление тока, чтобы любые последующие каскады усиления тока не перегружались до нелинейного диапазона при подаче большого входного сигнала.

Согласно этому первому варианту реализации, входной каскад ЧМ является биполярным дифференциальным усилителем с отрицательной эмиттерной обратной связью, за которым следует аттенюатор с элементом Гильберта. Дифференциальная пара преобразует входное напряжение в ток и выдает его на аттенюатор с элементом Гильберта, который дополнительно ослабляет ток, поступающий на следующий каскад усилителя тока. В отличие от входного каскада МДКР в входном каскаде ЧМ используется каскад с фиксированной крутизной, а не с отрицательной обратной связью переменной глубины, поскольку отвечающие промышленному стандарту ВС-95 требования к линейности для сигналов ЧМ значительно мягче, чем для сигналов МДКР, что позволяет усилителю значительно быстрее входить в нелинейную область насыщения.

Согласно второму варианту реализации, подходящему для передающего усилителя АРУ, например усилителя 904, изображенного на фиг.1, оба сигнала МДКР и ЧМ обрабатываются на входном каскаде с крутизной и фиксированным коэффициентом усиления, заключающим в себе дифференциальную пару с параллельно-последовательной обратной связью на входе, за которым следует повторитель и аттенюатор с элементом Гильберта. Последовательно-параллельная обратная связь на входе обеспечивает точный и линейный входной импеданс без использования сглаживающего согласователя. Выходной сигнал дифференциальной пары может представлять собой сигнал переменной полярности, подаваемый на повторитель через пару конденсаторов. Повторитель преобразует выходной сигнал напряжения дифференциальной пары в сигнал тока с использованием дифференциального усилителя с отрицательной эмиттерной обратной связью. Затем ток поступает на аттенюатор с элементом Гильберта, который дополнительно ослабляет ток, поступающий на следующий каскад усилителя тока. Входной каскад с переменным усилением не требуется, поскольку уровень входного сигнала, поступающего на передающий усилитель АРУ 904 в общем постоянен.

Согласно первому варианту реализации, подходящему для использования в качестве приемного усилителя АРУ 902, каждый из усилителей тока образуется двумя секциями:

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

дифференциальным усилителем Дарлингтона и дифференциальным каскадным усилителем. Эти усилители тока являются транслинейными схемами, которые позволяют регулировать коэффициент усиления по току путем изменения отношения "концевых токов", которые создают смещение в транслинейном контуре. Коэффициент усиления по току каждого каскада усилителя тока может независимо регулироваться одним или более регулирующих сигналов.

Согласно второму варианту реализации, подходящему для использования в качестве передающего усилителя АРУ 904, каждый из усилителей тока образуется двумя секциями: дифференциальным усилителем Дарлингтона и простой дифференциальной парой. Этот усилитель тока является гибридом усилителя тока с обратной связью и транслинейного контура.

Согласно каждому из вышеозначенных вариантов реализации, коэффициент усиления каскадов с переменным усилением регулируется посредством схемы регулировки усиления, которая изменяет коэффициент усиления усилителей тока в соответствии с подаваемым регулирующим напряжением АРУ (либо РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ ПЕРЕД., либо РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ ПРИЕМ., как изображено на фиг.1). Схема регулировки усиления включает в себя генератор экспоненциальной функции, который обеспечивает линейность (в дБ) УПУ в широком динамическом диапазоне.

Соответственно польза настоящего изобретения состоит в предоставлении УПУ, который имеет высокий динамический диапазон по отношению к обоим сигналам: МДКР и ЧМ. Мобильный приемник, где применяется такой УПУ, может детектировать сигналы в широких диапазонах мощности входного сигнала. Дополнительная польза состоит в том, что УПУ расходует минимальную мощность постоянного тока. Поэтому УПУ может использоваться в мобильном устройстве связи и выгодно экономить рабочий срок службы батарей. Еще одна дополнительная польза состоит в том, что коэффициент усиления УПУ может изменяться приблизительно линейно в дБ путем линейной корректировки регулирующих напряжений постоянной полярности.

Признаки и преимущества настоящего изобретения станут более очевидными из подробного описания, приведенного в сочетании с фигурами, имеющими сквозную систему обозначений, в которых:

фиг.1А и 1Б изображают блок-схему устройства двухрежимной связи МДКР/ЧМ, которое может использоваться в настоящем изобретении;

фиг.2 изображают блок-схему трехкаскадного усилителя с переменным усилением, отвечающего настоящему изобретению;

фиг.3 изображает схему входного каскада МДКР, обозначенного на фиг.2;

фиг. 4 изображает схему регулировки смещения усилителя с крутизной, обозначенную на фиг.2;

фиг. 5 изображает схему генератора экспоненциальной функции, обозначенного на фиг.4;

фиг. 6 является частичной комбинацией элементов фиг.2 и 3, собранной для иллюстрации полезных свойств настоящего изобретения;

фиг.7 изображает схему усилителей тока, обозначенных на фиг.2;

фиг. 8 изображает схему генератора концевого тока, обозначенного на фиг. 7.

Настоящее изобретение имеет своей задачей создание усилителя с переменным усилением (УПУ), выполненного в виде монолитной интегральной схемы. УПУ обеспечивает коэффициент усиления, пропорциональный регулирующему напряжению. УПУ обеспечивает экспоненциальный рост коэффициента усиления по напряжению как функцию линейных приращений подаваемого регулирующего напряжения, тем самым обеспечивая приблизительно линейный рост коэффициента усиления по мощности в децибелах (дБ), прямо пропорциональный линейным приращениям подаваемого регулирующего напряжения. УПУ может обеспечивать линейный коэффициент усиления по мощности в большом динамическом диапазоне, превышающем 80 дБ (или множитель от 1 до 100000000). УПУ обеспечивает линейное усиление мощности, допускающее процессные вариации, которые имеют место в ходе изготовления УПУ.

УПУ может применяться во многих приложениях, включая приемники и передатчики. Если УПУ действует как усилитель приемника, его входной сигнал обычно изменяется в широком динамическом диапазоне, тогда как выходной сигнал УПУ является относительно постоянным. При низком уровне входного сигнала УПУ, функционирующего как усилитель приемника, коэффициент усиления УПУ должен быть сравнительно большим. При высоком уровне входного сигнала УПУ, функционирующего как усилитель приемника, коэффициент усиления УПУ должен быть сравнительно малым. Таким образом, УПУ, функционирующий как усилитель приемника, должен иметь хорошую шумовую характеристику, когда он обеспечивает сравнительно высокий коэффициент усиления, и хорошую интермодуляционную характеристику при обеспечении сравнительного низкого коэффициента усиления.

Если УПУ функционирует как усилитель передатчика, то его входной сигнал обычно постоянный, тогда как выходной сигнал УПУ изменяется в широком динамическом диапазоне. Когда требуется высокий уровень выходного сигнала УПУ, коэффициент усиления УПУ должен быть сравнительно большим, и интермодуляционная характеристика должна поддерживать результирующие высокие уровни сигнала. Когда требуется малый уровень выходного сигнала УПУ, функционирующего как усилитель передатчика, коэффициент усиления УПУ должен быть сравнительно малым, и шумовая характеристика УПУ может иметь большое значение.

Фиг.2 является блок-схемой одного варианта реализации усилителя с переменным усилением (УПУ) 100, который корректирует уровень мощности входного сигнала в широком динамическом диапазоне. Вариант реализации, представленный на фиг.2, пригоден для использования в качестве приемного усилителя АРУ 902, изображенного

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

на фиг.1. УПУ 100 заключает в себе три каскада: входной каскад 120 и два последовательно включенных после него каскада усилителей тока 160А и 160Б. Для увеличения динамического диапазона УПУ 100 после входного каскада 120 последовательно добавляется более одного каскада 160 усилителя тока. Согласно первому варианту реализации, входной каскад 120 заключает в себе раздельные входной каскад ЧМ 121 и входной каскад МДКР 122 с соответствующими входными портами 171 и 170. Входной каскад ЧМ 121 и входной каскад МДКР 122 попеременно подключаются к усилителю тока 160А через ключи 123, которыми управляет сигнал выбора режима МДКР/ЧМ. Когда устройство связи находится в режиме МДКР, ключи 123 подключают к усилителю тока 160А входной каскад МДКР 122 и отключают входной каскад ЧМ 121. Наоборот, когда устройство связи находится в режиме ЧМ, ключи 123 подключают к усилителю тока 160А входной каскад ЧМ 121 и отключают входной каскад МДКР 122.

На фиг.2 также изображены порты смещения 110, 130, 150А и 150Б для регулирующих напряжений, подлежащих подаче на УПУ 100. Коэффициент усиления каждого каскада регулируется регулирующими напряжениями, которые, например, могут генерироваться детектирующей схемотехникой приемника, которая определяет интенсивность сигнала. Каждый каскад образуется разнообразными компонентами, в том числе активными устройствами, например транзисторами.

Входной сигнал УПУ, подаваемый на входные порты 170 входного каскада МДКР 122, является симметричным, т.е. разделенным по двумя трактам сигнала, каждый из которых несет сигнал, сдвинутый по фазе относительно другого на сто восемьдесят градусов. Входной сигнал УПУ поступает через входной порт 170 УПУ. Однако входной сигнал УПУ, подаваемый на входные порты 171 входного каскада ЧМ 121, является несимметричным. Выход входного каскада 120 и вход усилителя тока 160А соединяются через порт 190.

Поскольку он работает при низком напряжении питания, например 3,6 В, входной каскад 120 преобразует входной сигнал напряжения в сигнал тока, чтобы не позволять активным устройствам УПУ работать в их нелинейной области, вызывая искажение входного сигнала. Низкое напряжение питания УПУ 100 также снижает потребление мощности УПУ 100.

Фиг. 3 иллюстрирует один вариант реализации входного каскада МДКР 122. Симметричный сигнал подается на входной порт 170 УПУ. Входной каскад МДКР 122 заключает в себе усилитель с переменной крутизной 227, присоединенный к аттенюатору 226 с элементом Гильберта, и выполняет четыре функции. Во-первых, усилитель с переменной крутизной 227 преобразует входной сигнал напряжения в сигнал тока. Во-вторых, комбинация усилителя с переменной крутизной 227 и аттенюатора 226 с элементом Гильберта допускает переменное усиление сигнала, которое может изменяться экспоненциально (линейно в дБ) путем линейной корректировки регулирующих напряжений на порту смещения 110. В-третьих, увеличение глубины отрицательной эмиттерной обратной связи в усилителе с переменной крутизной 227 снижает ИМИ УПУ 100 при большой амплитуде напряжения входного сигнала, когда ИМИ наиболее заметны. По мере увеличения глубины отрицательной эмиттерной обратной связи в усилителе с переменной крутизной 227 крутизна, а значит, и ИМИ входного каскада 120 уменьшается. Наконец уменьшение глубины отрицательной эмиттерной обратной связи в усилителе с переменной крутизной 227 улучшает коэффициент шума УПУ 100 при малой амплитуде напряжения входного сигнала, когда шумовая характеристика наиболее значима. По мере уменьшения глубины отрицательной эмиттерной обратной связи в усилителе с переменной крутизной 227, крутизна входного каскада 120 увеличивается, что улучшает коэффициент шума приемника.

Усилитель с переменной крутизной 227 образован двумя биполярными транзисторами (БПТ) 235 и 236, двумя источниками тока 238, 239 и полевым транзистором (ПТ) 237. Источники тока 238, 239 последовательно подключены к эмиттерам БПТ 235 И 236. Вывод истока 228 и вывод стока 229 ПТ 237 соответственно подключаются к эмиттерам БПТ 235 и 236. Симметричный сигнал на входном порту 170 УПУ подается на базы БПТ 235 и 236. Симметричный выход тока усилителя с переменной крутизной 227 вытекает из коллекторов БПТ 235 и 236.

Крутизна усилителя с переменной крутизной 237 может корректироваться путем изменения глубины отрицательной эмиттерной обратной связи БПТ 235 и 236. В результате может изменяться коэффициент усиления УПУ 100. Эмиттерная отрицательная обратная связь БПТ 235 и 236 создается изменением сопротивления канала ПТ 237. ПТ 237 задействуется как переменный резистор в своей омической области и обеспечивает отрицательную обратную связь переменной глубины для обоих БПТ 235 и 236. Напряжение смещения между истоком и стоком ПТ 237 должно поэтому быть меньше, чем напряжение излома ПТ 237. Сопротивление канала может изменяться путем корректировки смещения на переходе затвор - исток ПТ 237 посредством изменения напряжения, подаваемого на порт смещения 290. Крутизну усилителя с переменной крутизной 227 можно увеличивать, уменьшая сопротивление канала ПТ 237. Таким образом, настоящее изобретение, обеспечивая переменное сопротивление канала ПТ 237, позволяет удовлетворять обоим противоречащим друг другу соображениям разработки, касающимся коэффициента шума и характеристики ИМИ. Кроме того, улучшается экономичность потребления постоянного тока УПУ 100, поскольку входной каскад МДКР 122 потребляет лишь такой постоянный ток, который необходим для усиления низкоуровневых входных сигналов, одновременно снижая потребление постоянного тока последующих каскадов усиления тока за счет снижения своей крутизны при высоком уровне входных

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

сигналов.

Дифференциальные выходные сигналы тока усилителя с переменной крутизной 227 поступают на аттенюатор 226 с элементом Гильберта. Аттенюатор 226 с элементом Гильберта изменяет амплитуду тока сигнала, подаваемого на его входы. Аттенюатор 226 с элементом Гильберта заключает в себе первую пару БПТ 231 и 234 и вторую пару БПТ 232 и 233. Уровень ослабления аттенюатора 226 с элементом Гильберта задается регулирующим напряжением, подаваемым на порт смещения 110. Аттенюатор 226 с элементом Гильберта ослабляет выходной ток усилителя с переменной крутизной 227, когда регулирующее напряжение, подаваемое на порт смещения 110, создает смещение на первой паре БПТ 231 и 234, так что большая часть выходного тока усилителя с переменной крутизной течет через первую пару БПТ 231 и 234, а не через вторую пару БПТ 232 и 233. В результате, симметричные токи на порту 190 аттенюатора 226 с элементом Гильберта уменьшаются. Как усилитель с переменной крутизной 227, так и аттенюатор 226 с элементом Гильберта получают смещение от общего ввода питания 230.

Преимущественный вариант реализации входного каскада ЧМ 121 аналогичен преимущественному варианту реализации входного каскада МДКР 122, за исключением того, что ПТ 237 заменяется фиксированным сопротивлением, согласно отмеченному ранее, фиксированное сопротивление входного каскада ЧМ 121 обеспечивает фиксированную крутизну, поскольку промышленные стандарты, например ВС-95, допускают сжатие входного сигнала (т.е. допускается переход УПУ в нелинейную область) при гораздо более низком уровне по сравнению с уровнем входного сигнала МДКР. Альтернативно входной каскад 120 может заключать в себе только один каскад с фиксированной крутизной, аналогичный тому, что имеет место во входном каскаде ЧМ 121. Этот видоизмененный вариант реализации особенно пригоден для использования в качестве передающего усилителя АРУ 904, изображенного на фиг.1.

Как было отмечено выше, один аспект разработки состоит в том, что крутизна усилителя с переменной крутизной 227 изменяется экспоненциально по мере того, как регулирующее напряжение, подаваемое на порт смещения 130 схемотехники 140 регулировки смещения усилителя с крутизной, корректируется линейно. Фиг 4 иллюстрирует один вариант реализации схемотехники 140 регулировки смещения усилителя с крутизной, которая обеспечивает этот результат. Схемотехника 140 регулировки смещения усилителя с крутизной включает в себя генератор экспоненциальной функции 360, первую и вторую схемы 353 и 354 операционного усилителя, фильтр низких частот 352 и источник тока 341.

Генератор экспоненциальной функции 360 преобразует регулирующее напряжение, подаваемое на порт смещения 130, в два выходных тока, текущих от выхода 358 генератора экспоненциальной функции 360 к первой схеме 353 оперативного усилителя. Отношение амплитуд этих токов экспоненциально пропорционально регулирующему напряжению. Регулирующее напряжение согласно иллюстративному варианту реализации, представленному на фиг.1, является либо РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ ПРИЕМ., либо РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ ПЕРЕД., либо их масштабированной и температурно-компенсированной разновидностью. Генерирование этого регулирующего напряжения выходит за пределы объема настоящего изобретения и описано в другом месте, к примеру в патенте США 5, 469, 115, включенному сюда выше посредством ссылки.

Фиг. 5 иллюстрирует один вариант реализации генератора экспоненциальной функции 360. Генератор экспоненциальной функции 360 заключает в себе дифференциальный усилитель 465, имеющий выходы, которые возбуждают пару токовых зеркал 474 на ПТ. Дифференциальный усилитель 465 заключает в себе параллельную пару БТП 461 и 462, подключенную к источнику тока 472. Пара токовых зеркал 474 на ПТ заключает в себе четыре ПТ: 464, 466, 468 и 470. В силу экспоненциального вида вольтамперной характеристики БПТ 461 и 462 отношение их коллекторных токов пропорционально дифференциальному напряжению между базами БПТ 461 и 462, которое определяется регулирующим сигналом напряжения. Таким образом, линейное изменение дифференциального напряжения на порту смещения 130 переводится в экспоненциально-зависимый (линейный в дБ) ток на выходе 358. Токовые зеркала 474 просто берут экспоненциально-зависимый ток, генерируемый биполярной дифференциальной парой 461 и 462, и подают его для использования по всему усилителю. Генератор экспоненциальной функции 360 получает смещение от ввода питания 400.

Согласно фиг.4, первая и вторая схемы 353 и 354 операционного усилителя действуют во взаимодействии с генератором экспоненциальной функции 360, чтобы регулировать сопротивление канала ПТ 237, изображенного на фиг.3. Первая схема 353 операционного усилителя заключает в себе главный ПТ 344, который предпочтительно идентичен ПТ 237, опорный резистор 346 и дифференциальный операционный усилитель 348. Выходные токи от генератора экспоненциальной функции 360 поступают на главный ПТ 244 и опорный резистор 346. Дифференциальный операционный усилитель 348 уравнивает напряжение между выводами истока и стока главного ПТ 244 и напряжение между выводами опорного резистора 346 путем изменения напряжения смещения, подаваемого на затвор главного ПТ 344. Напряжения смещения, подаваемые на затворы ПТ 237 и главного ПТ 344, практически равны. Однако напряжение смещения, подаваемое на затвор ПТ 237 через порт смещения 122, подвергается фильтрации низких частот, чтобы препятствовать подаче на ПТ 237 теплового шума от схемотехники 140 регулировки смещения усилителя с крутизной. Фильтрация низких частот осуществляется фильтром низких частот 352, образованным последовательно включенным резистором

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

350 и параллельно включенным конденсатором 351.

Вторая схема 354 операционного усилителя уравнивает напряжения на истоках главного ПТ 344 и ПТ 237. Второй операционный усилитель заключает в себе неинвертирующий операционный усилитель 349 с единичным коэффициентом усиления и резисторы 345 и 347, которые воспринимают напряжение между стоком и истоком ПТ 237 через вывод истока 228 и вывод стока 229.

Генератор экспоненциальной функции 360 и источник тока 341, подключенные по разные стороны главного ПТ 344 и опорного резистора 346, разработаны так, чтобы падение напряжения на опорном резисторе 346 и, следовательно, между истоком и стоком главного ПТ 344 было меньше напряжения излома ПТ. В результате работа схем 353 и 354 операционного усилителя вынуждает ПТ 237 и главный ПТ 344 работать на аналогичных рабочих точках их омических областей. Поэтому сопротивления канала как ПТ 237, так главного ПТ 344 практически идентичны и изменяются экспоненциально при линейной корректировке регулирующего напряжения, подаваемого на порт смещения 130.

Фиг. 6 является частичной комбинацией элементов фиг.2 и 3, собранной для иллюстрации полезных свойств настоящего изобретения. Одна из проблем, решаемая схемой, изображенной на фиг. 6, заключается в процессной вариации $\mu cCox$, а следовательно, и сопротивления канала ПТ 237 как функции напряжения, подаваемого на его затвор. Как было отмечено ранее со ссылкой на фиг.3, ПТ 237 регулирует крутизну усилителя с переменной крутизной 227. Отрицательная эмиттерная обратная связь переменной глубины, обеспечиваемая ПТ 237, позволяет входному каскаду 120 работать в широком диапазоне сигналов.

Поскольку ослабление, обусловленное входным каскадом 120, столь существенно для работы схемы, и характеристики каскада устанавливаются ПТ 237, точная установка значения сопротивления ПТ 237 очень важна. Поскольку сопротивление канала как функцию подаваемого на затвор напряжения в процессе изготовления трудно регулировать от детали к детали, для достижения постоянства используется контур внешней регулировки. Фиг.6 изображает контур регулировки, используемый для иммунизации работы входного каскада МДКР к процессным вариациям ПТ 237.

Резистор 346 является резистором на кристалле. Этот резистор делается большим, чтобы минимизировать процессные вариации. Резистор 346 используется в качестве опорного сопротивления для контура регулировки.

Заметим, что полный ток от выхода 358 генератора экспоненциальной функции 360 устанавливается источником тока 341. Таким образом, если ток через один из симметричных выходов выхода 358 увеличивается, то ток через другой симметричный выход выхода 358 уменьшается. Заметим также, что падение напряжения на резисторе 346 такое же, как падение напряжения на главном ПТ 344. Падения напряжения одинаковы, потому что каждое напряжение является одним из входных напряжений операционного усилителя 348. Выходной сигнал операционного усилителя 348 регулирует сопротивление главного ПТ 344 так, чтобы падение напряжения на нем было равно произведению тока через резистор 346 и значения сопротивления резистора 346. Таким образом, по мере того, как ток через резистор 346 возрастает, а ток через главный ПТ 344 убывает, падение напряжения на резисторе 346 возрастает. В ответ сопротивление канала главного ПТ 344 также должно возрасти, чтобы падение напряжения оставалось таким же, как на резисторе 346. То же выходное напряжение операционного усилителя 348, которое подается на затвор главного ПТ 344, также подается на затвор ПТ 237. Резистор 350 и конденсатор 351 обеспечивают фильтр низких частот между выходом операционного усилителя 348 и затвором ПТ 237, но напряжение постоянной полярности, подаваемое на затвор главного ПТ 344 и затвор ПТ 237, одно и то же.

Согласно преимущественному варианту реализации, главный ПТ 344 и ПТ 237 располагаются на общей подложке в непосредственной близости друг к другу. Таким образом, хотя процессные вариации от одной детали УПУ к другой детали УПУ являются значительными, внутри единой детали УПУ характеристики главного ПТ 344 и ПТ 237 зависимости сопротивления канала от напряжения затвора ведут себя практически одинаково. Таким образом, сопротивление ПТ 237 устанавливается равным сопротивлению главного ПТ 344. По мере снижения сопротивления канала ПТ 237 ток, текущий через транзисторы 235 и 236, нарастает. Таким образом, настоящее изобретение обеспечивает способ точного выполнения отрицательной эмиттерной обратной связи переменной глубины во входном каскаде МДКР 122.

Фиг. 7 иллюстрирует один вариант реализации усилителей тока 160А, 160Б, изображенных на фиг.2, вход усилителя тока 160, как показано на фиг.7, может присоединяться к выходу входного каскада 120 или к выходу другого усилителя тока 160. Усилитель тока 160 заключает в себе дифференциальный усилитель Дарлингтона 510, каскадный дифференциальный усилитель 520 и генератор 570 концевого тока. Смещение на усилитель тока 160 подается посредством вводов питания 508 и 509 и источников тока 596 и 598. Дифференциальный усилитель Дарлингтона 510 заключает в себе БПТ 580, 586, 588 и 594 и резисторы 582, 584, 590, 592 в топологии, изображенной на фиг.7, так что дифференциальный усилитель Дарлингтона 510 имеет резистивную параллельно-последовательную обратную связь для обеспечения повышенного коэффициента усиления и нечувствительности к процессным вариациям.

Следует заметить, что резистивная параллельно-последовательная обратная связь, обеспечиваемая резисторами 582, 584, 590, 592, отвечающая настоящему изобретению, стремится уравнивать ток обратной связи через резисторы со входным током через входной порт 190. Таким образом, поскольку они также обеспечивают делитель тока, они увеличивают

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

коэффициент усиления по току дифференциального усилителя Дарлингтона 510 пропорционально отношению [сопротивлений] резисторов обратной связи.

Каскадный дифференциальный усилитель 520 обеспечивает транслинейный контур, который обеспечивает переменное усиление тока в соответствии с отношением концевых токов 512, генерируемых генератором 570 концевого тока. Каскадный дифференциальный усилитель заключает в себе БПТ 500, 502, 504 и 506 в топологии дифференциального токового зеркала транслинейного контура, которое позволяет изменять коэффициент усиления усилителя тока путем изменения концевых токов 512.

Коэффициент усиления усилителя 160 регулируется генератором 570 концевого тока. Генератор 570 концевого тока через дифференциальный порт 512 подключается как к дифференциальному усилителю Дарлингтона 510, так и к каскадному дифференциальному усилителю 520. Усиление тока каждого из усилителей тока 160 может изменяться экспоненциально путем использования регулирующего тока, генерируемого генератором экспоненциальной функции 360, изображенным на фиг.4 и 5, подаваемого на порты регулировки 150. Генератор 570 концевого тока получает смещение через ввод питания 509.

Фиг. 8 иллюстрирует один вариант реализации генератора 570 концевого тока. Генератор 570 концевого тока включает генератор экспоненциальной функции 861, который может быть элементом, аналогичным или идентичным генератору экспоненциальной функции 360 (фиг.4 и 5), который вырабатывает выходной сигнал 859, который является аналогичным или идентичным выходному сигналу 358 генератора экспоненциальной функции 360. Генератор экспоненциальной функции 861 присоединяется к паре токовых зеркал 860 на биполярных транзисторах. Согласно фиг.8, обе схемы присоединяются к вводу питания 509, однако они могут подключаться к разным вводам питания. Пара токовых зеркал 860 на биполярных транзисторах образована первой группой БПТ 822, 824 и 830 и второй группой БПТ 832, 834 и 840, а также первой группой резисторов 826, 828 и 844 и второй группой резисторов 836, 838 и 842. Пара токовых зеркал на биполярных транзисторах имеет своей целью брать регулирующий ток, выдаваемый генератором экспоненциальной функции 861, и трансформировать его в концевые токи 512.

Согласно одному варианту реализации настоящего изобретения, генераторы экспоненциальной функции 360 и 861 представляют собой один и тот же элемент, что выгодно обеспечивает единый регулирующий ток, который может отражаться на входной каскад МДКР 122, а также на усилители тока 160А и 160Б. Этот вариант реализации обеспечивает еще большую экономию постоянного тока за счет снижения коэффициента усиления по току (и тем самым потребления постоянного тока на батареях) усилителей тока 160А и 160Б в одно и то же время и в одной и той же пропорции, как происходит снижение крутизны входного каскада МДКР 122. Кроме того, такая организация гарантирует экспоненциальную (линейную в дБ) зависимость полного усиления тока на всех каскадах от регулирующего напряжения усилителя АРУ.

Таким образом, настоящее изобретение обеспечивает УПУ, обладающий высоким динамическим диапазоном по обоим сигналам, МДКР и ЧМ, с максимальным совместным использованием элементов в обоих режимах, МДКР и ЧМ. Мобильный приемник, где применяется такой УПУ, может детектировать сигналы в более широких диапазонах входной мощности. УПУ также минимально потребляет мощность постоянного тока. Таким образом, УПУ может использоваться в устройстве мобильной связи и выгодно продлевать срок службы батарей. Наконец коэффициент усиления УПУ может изменяться линейно в дБ за счет линейной корректировки регулирующих напряжений постоянной полярности.

Предшествующее описание преимущественных вариантов реализации позволяет специалистам осуществить или использовать настоящее изобретение. Различные модификации этих вариантов реализации будут совершенно очевидны специалистам, и основополагающие принципы, изложенные здесь, могут применяться к другим вариантам реализации без использования изобретательства. Таким образом, настоящее изобретение не предполагает ограничений со стороны представленных здесь вариантов реализации, подлежит предоставлению самого широкого объема, согласующегося с раскрытыми здесь принципами и признаками новизны.

Формула изобретения:

1. Усилитель с переменным коэффициентом усиления, содержащий входной каскад, включающий в себя по меньшей мере один транзистор, имеющий регулируемую эмиттерную отрицательную обратную связь, при этом упомянутый входной каскад имеет пару дифференциальных входов по напряжению для приема сигнала, подлежащего усилению, и пару дифференциальных выходов по току, по меньшей мере один усилитель тока, присоединенный к упомянутым дифференциальным выходам по току, для усиления сигнала, подлежащего усилению, и схему регулирования, присоединенную к входному каскаду и по меньшей мере одному усилителю тока, для подачи регулирующего сигнала на входной каскад и по меньшей мере один усилитель тока, причем регулирующий сигнал предназначен для экспоненциального изменения коэффициента усиления входного каскада и по меньшей мере одного усилителя тока в ответ на линейное изменение регулирующего напряжения, причем входной каскад включает в себя входной каскад, имеющий фиксированную крутизну, входной каскад, имеющий переменную крутизну, причем переменная крутизна изменяется посредством упомянутого регулирующего сигнала, и переключатель выбора режима, подключенный к входному каскаду, имеющему фиксированную крутизну, и входному каскаду, имеющему переменную крутизну, для попеременного присоединения входного каскада, имеющего фиксированную крутизну, и входного каскада, имеющего переменную крутизну, к упомянутому по меньшей мере

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

одному усилителю тока в ответ на сигнал выбора режима.

2. Усилитель по п.1, отличающийся тем, что входной каскад содержит первый биполярный плоскостной транзистор, база которого присоединена к первому из упомянутых дифференциальных входов по напряжению, второй биполярный плоскостной транзистор, база которого присоединена ко второму из упомянутых дифференциальных входов по напряжению, и вспомогательный полевой транзистор, исток которого присоединен к эмиттеру упомянутого первого биполярного плоскостного транзистора, сток присоединен к эмиттеру упомянутого второго биполярного плоскостного транзистора, а затвор присоединен к упомянутой схеме регулирования для приема упомянутого регулирующего сигнала, который изменяет сопротивление канала вспомогательного полевого транзистора, тем самым изменяя глубину упомянутой эмиттерной отрицательной обратной связи.

3. Усилитель по п.2, отличающийся тем, что упомянутый входной каскад содержит аттенюатор для ограничения тока на упомянутом дифференциальном выходе по току.

4. Усилитель по п.2, отличающийся тем, что упомянутая схема регулирования включает в себя генератор экспоненциальной функции для преобразования линейного изменения регулирующего напряжения в экспоненциальное изменение регулирующего тока, первую схему операционного усилителя, присоединенную к генератору экспоненциальной функции и принимающую упомянутый регулирующий ток, причем первая схема операционного усилителя предназначена для регулирования сопротивления канала вспомогательного полевого транзистора, и вторую схему операционного усилителя для регулирования напряжения между истоком и стоком вспомогательного полевого транзистора.

5. Усилитель по п.4, отличающийся тем, что первая схема операционного усилителя включает в себя главный полевой транзистор, соединенный параллельно с опорным резистором, и операционный усилитель для уравнивания сопротивления канала вспомогательного полевого транзистора и сопротивления канала главного полевого транзистора.

6. Усилитель с переменным коэффициентом усиления, содержащий входной каскад, включающий в себя по меньшей мере один транзистор, имеющий регулируемую эмиттерную отрицательную обратную связь, при этом входной каскад имеет пару дифференциальных входов по напряжению для приема сигнала, подлежащего усилению, и пару дифференциальных выходов по току, по меньшей мере один усилитель тока, присоединенный к упомянутым дифференциальным выходам по току, для усиления сигнала, подлежащего усилению, и схему регулирования, присоединенную к входному каскаду и по меньшей мере одному усилителю тока для подачи регулирующего сигнала на входной каскад и по меньшей мере один усилитель тока, причем регулирующий сигнал предназначен для экспоненциального изменения коэффициента усиления входного каскада и по меньшей мере одного усилителя тока в ответ на линейное изменение регулирующего напряжения, причем по меньшей мере один усилитель тока включает в себя дифференциальный усилитель Дарлингтона, имеющий резистивную параллельно-последовательную обратную связь, дифференциальный каскодный усилитель, присоединенный к дифференциальному усилителю Дарлингтона в качестве транслинейного контура, и генератор тока, присоединенный к схеме регулирования, дифференциальному усилителю Дарлингтона и дифференциальному каскодному усилителю, причем генератор тока предназначен для генерирования дифференциальной пары токов, а коэффициент усиления упомянутого усилителя тока пропорционален отношению упомянутой дифференциальной пары токов.

7. Усилитель по п.6, отличающийся тем, что дифференциальный усилитель Дарлингтона включает в себя первый биполярный плоскостной транзистор, база которого присоединена к одному из дифференциальных выходов по току входного каскада, второй биполярный плоскостной транзистор, база которого присоединена к другому из дифференциальных выходов по току входного каскада, первый делитель тока, первый конец которого присоединен к коллектору первого биполярного плоскостного транзистора, а второй конец которого присоединен к базе первого биполярного плоскостного транзистора, и второй делитель тока, первый конец которого присоединен к коллектору второго биполярного плоскостного транзистора, а второй конец которого присоединен к базе второго биполярного плоскостного транзистора, при этом коэффициент усиления по току дифференциального усилителя Дарлингтона увеличивается пропорционально отношению сопротивлений в первом и втором делителях тока.

8. Усилитель для обработки входного сигнала, содержащий входной каскад, включающий в себя усилитель, имеющий переменную крутизну, аттенюатор с элементом Гильберта, присоединенный к упомянутому усилителю, усилитель тока, присоединенный к входному каскаду, и средство подачи линейно корректируемого регулирующего напряжения на усилитель тока для экспоненциального изменения коэффициента усиления упомянутого усилителя как функции подаваемого регулирующего напряжения.

9. Усилитель по п.8, отличающийся тем, что входной сигнал включает в себя два симметричных сигнала, а упомянутый усилитель дополнительно включает в себя первые активные устройства, причем каждый симметричный сигнал подается на соответствующий вход первых активных устройств, источники тока, соответственно присоединенные к первым активным устройствам, и переменный резистор, присоединенный к первым активным устройствам и источникам тока.

10. Усилитель по п.9, отличающийся тем, что упомянутый аттенюатор дополнительно включает в себя вторые активные устройства и третьи активные устройства, причем вторые

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2

активные устройства и третьи активные устройства присоединены к первым активным устройствам.

11. Усилитель для обработки входного сигнала, содержащий входной каскад, включающий в себя усилитель, имеющий переменную крутизну, схему регулирования смещения усилителя, присоединенную к усилителю, усилитель тока, присоединенный к входному каскаду, и средство подачи линейно корректируемого регулирующего напряжения на усилитель тока для экспоненциального изменения коэффициента усиления усилителя как функции подаваемого регулирующего напряжения, причем схема регулирования смещения усилителя дополнительно включает в себя генератор экспоненциальной функции, первую схему операционного усилителя, присоединенную к генератору экспоненциальной функции, вторую схему операционного усилителя, присоединенную к первой схеме операционного усилителя, и источник тока, присоединенный к первой схеме операционного усилителя.

12. Усилитель по п.11, отличающийся тем, что схема регулирования смещения усилителя дополнительно включает в себя фильтр нижних частот, присоединенный к первой схеме операционного усилителя.

13. Усилитель по п.11, отличающийся тем, что генератор экспоненциальной функции включает в себя пару активных устройств, источник тока, присоединенный к активным устройствам, и пару токовых зеркал, соответственно присоединенных к активным устройствам.

14. Усилитель по п.11, отличающийся тем, что первая схема операционного усилителя включает в себя главное активное устройство, опорный резистор, присоединенный к главному активному устройству, и дифференциальный усилитель, имеющий первый и второй входы и выход, причем главное активное устройство присоединено к первому входу и выходу дифференциального усилителя, а опорный резистор присоединен к второму входу дифференциального усилителя.

15. Усилитель по п.11, отличающийся тем, что вторая схема операционного усилителя дополнительно включает в себя неинвертирующий усилитель с единичным коэффициентом усиления, имеющий первый и второй входы, первый входной резистор, присоединенный к первому входу неинвертирующего усилителя с единичным коэффициентом усиления, и второй входной резистор, присоединенный к второму входу неинвертирующего усилителя с единичным коэффициентом усиления.

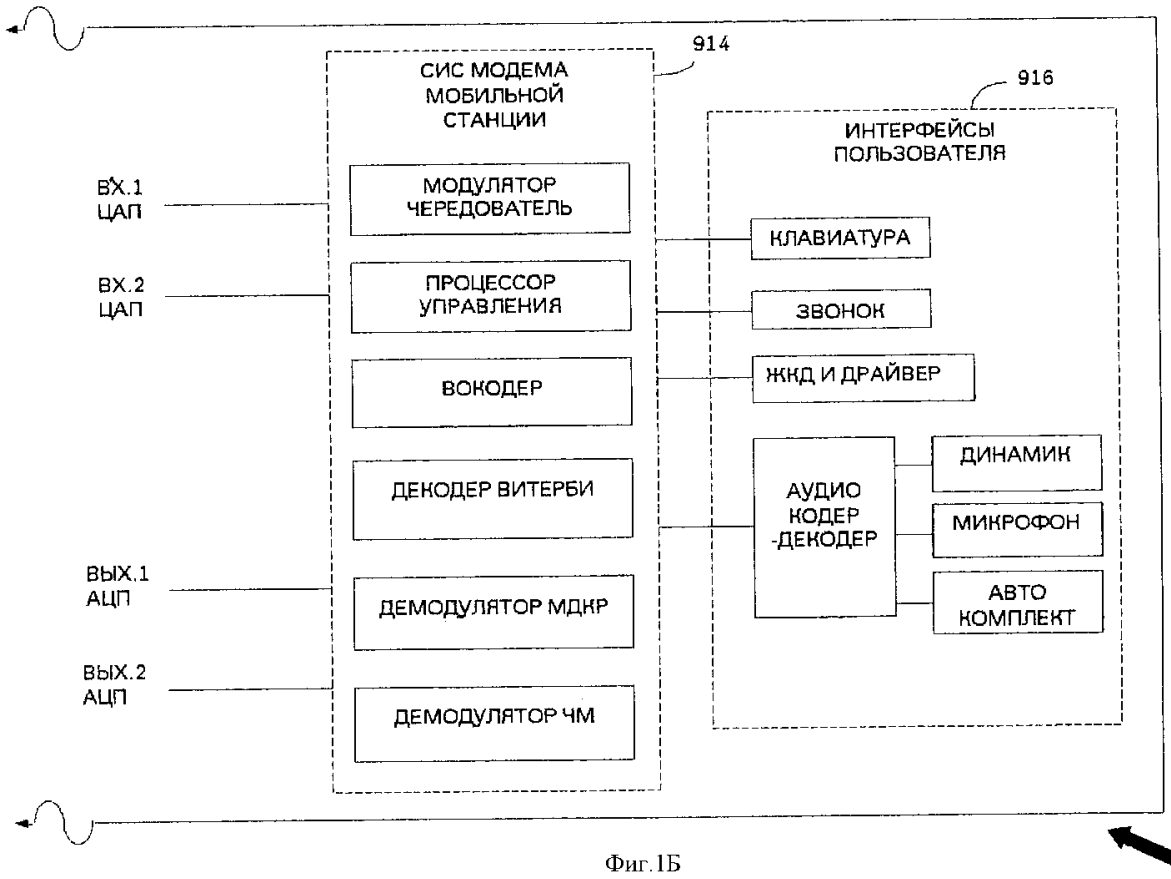
16. Способ усиления входного сигнала в усилителе, имеющем входной каскад с фиксированной крутизной и входной каскад с переменной крутизной, причем входной каскад с переменной крутизной присоединен к усилителю тока через переключатель выбора режима, заключающийся в том, что подают входной сигнал во входной каскад с фиксированной крутизной и во входной каскад с переменной крутизной, селективно подают выходной сигнал входного каскада с фиксированной крутизной или входного каскада с переменной крутизной в усилитель тока в ответ на сигнал выбора режима.

17. Способ по п.16, отличающийся тем, что дополнительно подают линейно изменяемое регулирующее напряжение в усилитель, чтобы производить соответствующие экспоненциальные изменения амплитуды тока входного сигнала.

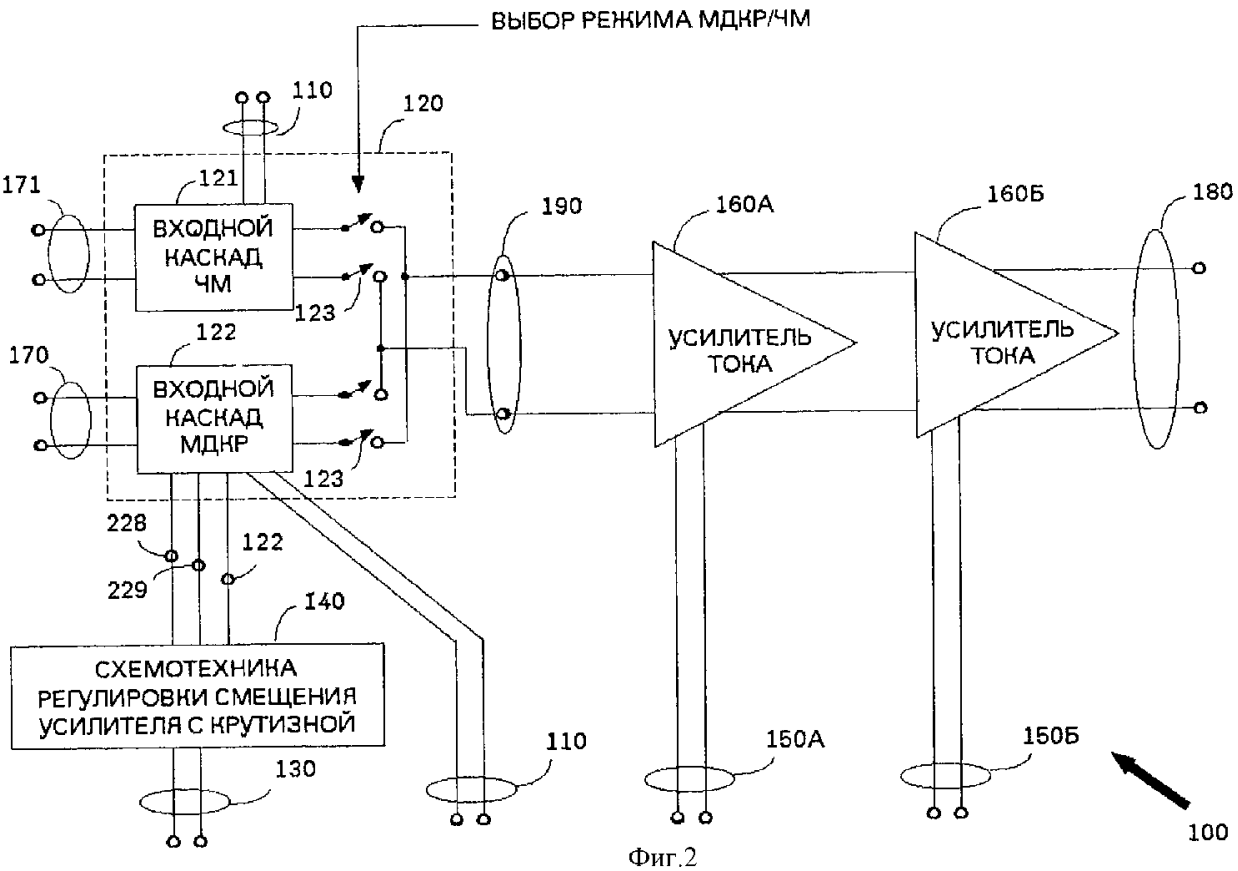
18. Способ по п.16, отличающийся тем, что дополнительно генерируют пару токов, отношение амплитуд которых экспоненциально изменяют в зависимости от регулирующего напряжения, чтобы изменять амплитуду тока входного сигнала.

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2



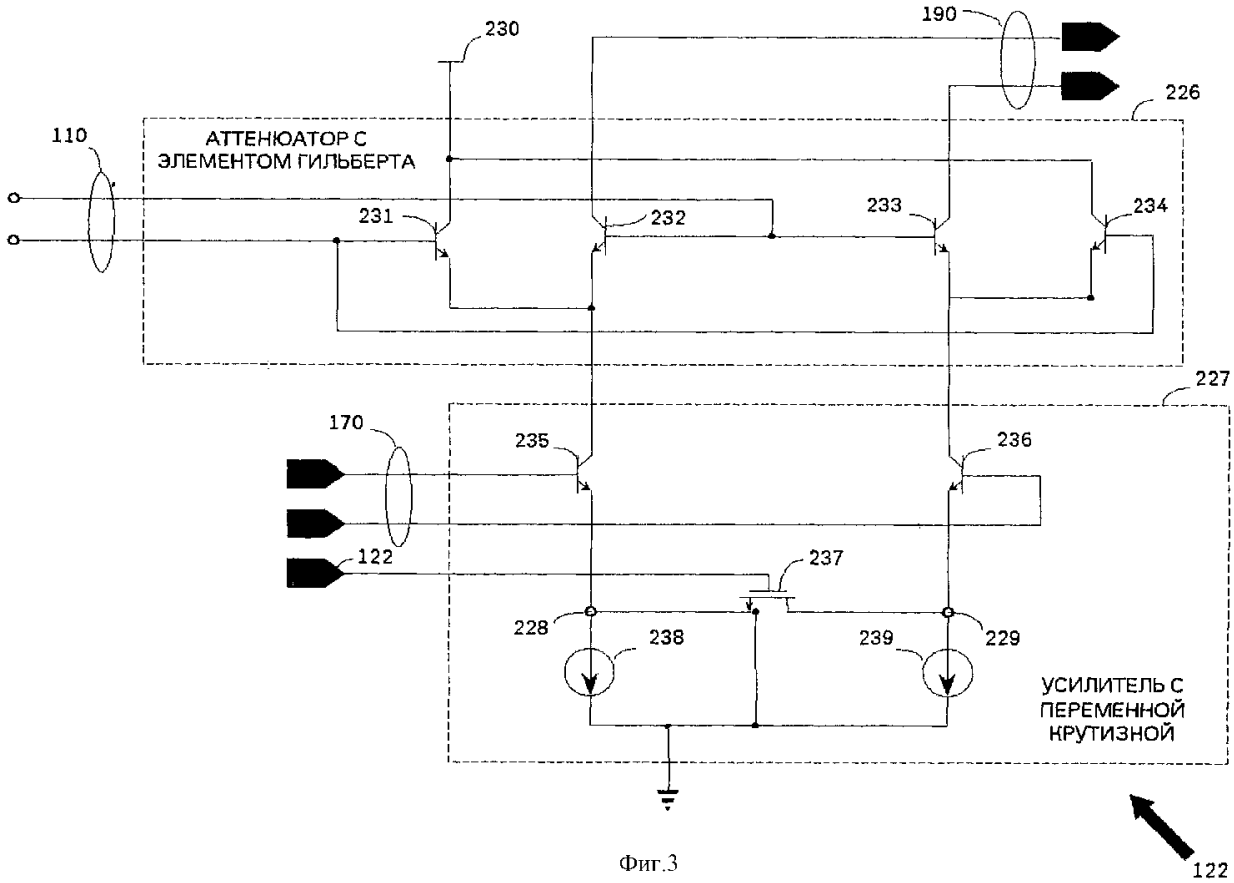
Фиг.1Б



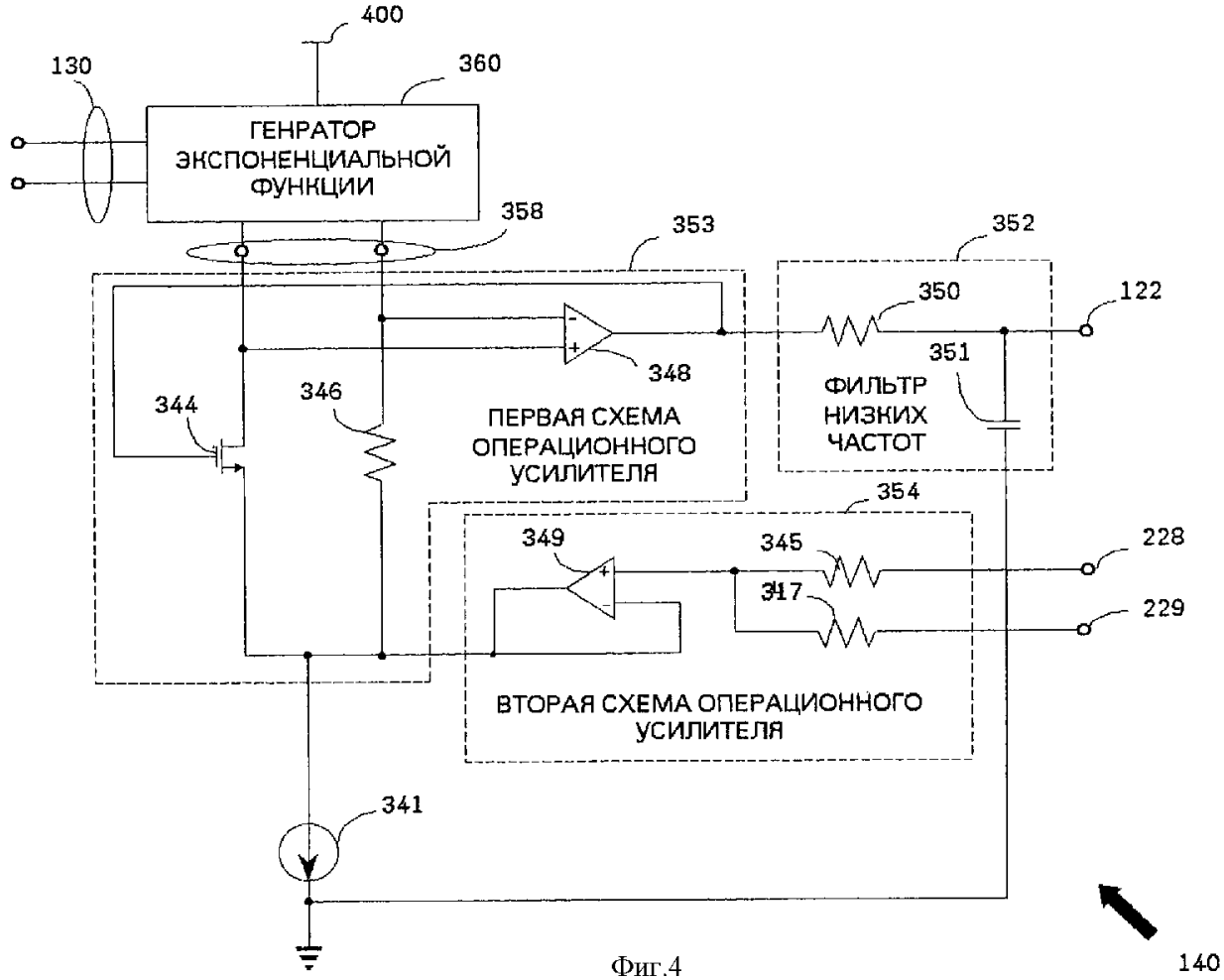
Фиг.2

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2



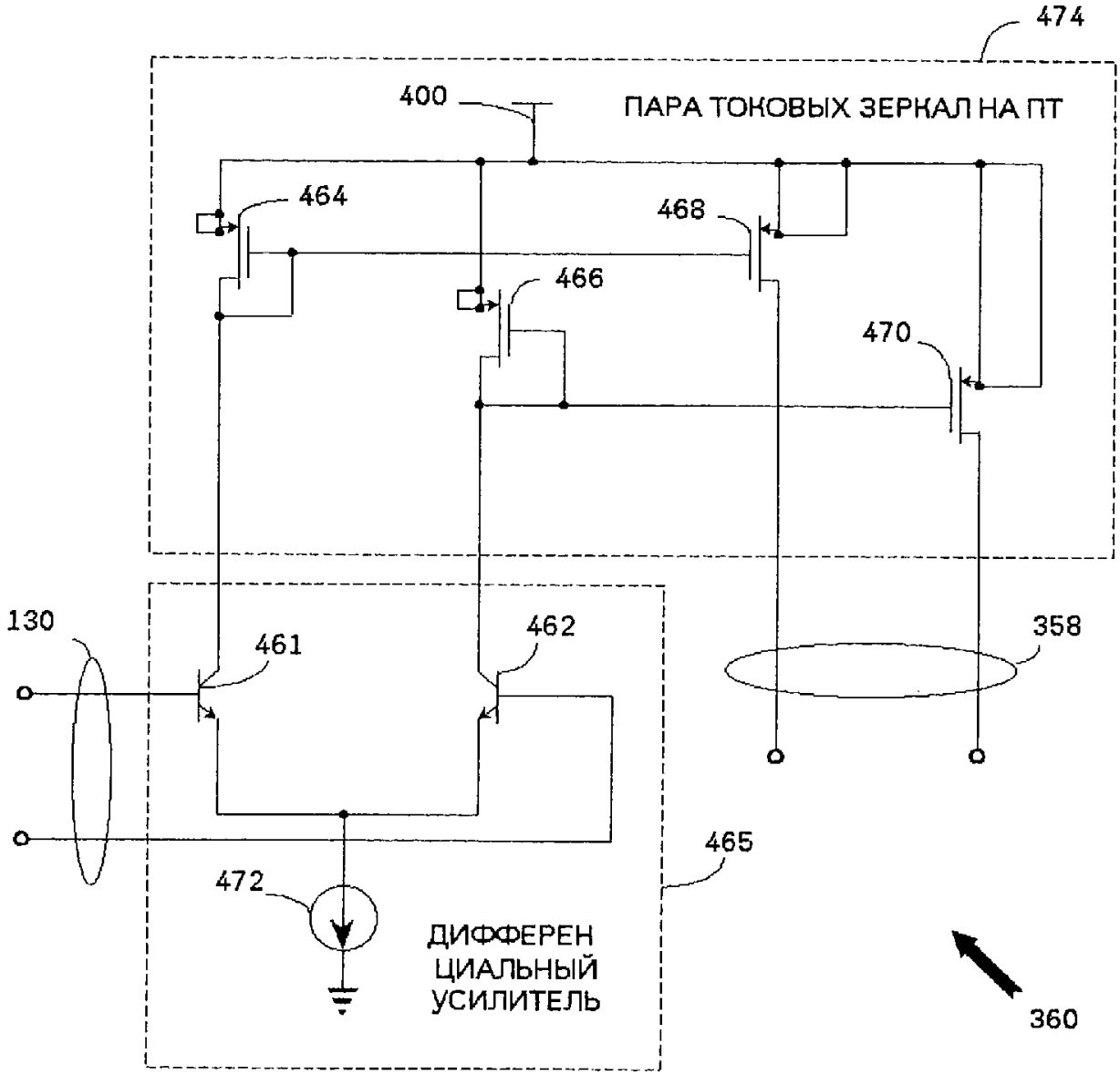
Фиг.3



Фиг.4

RU 2209504 C2

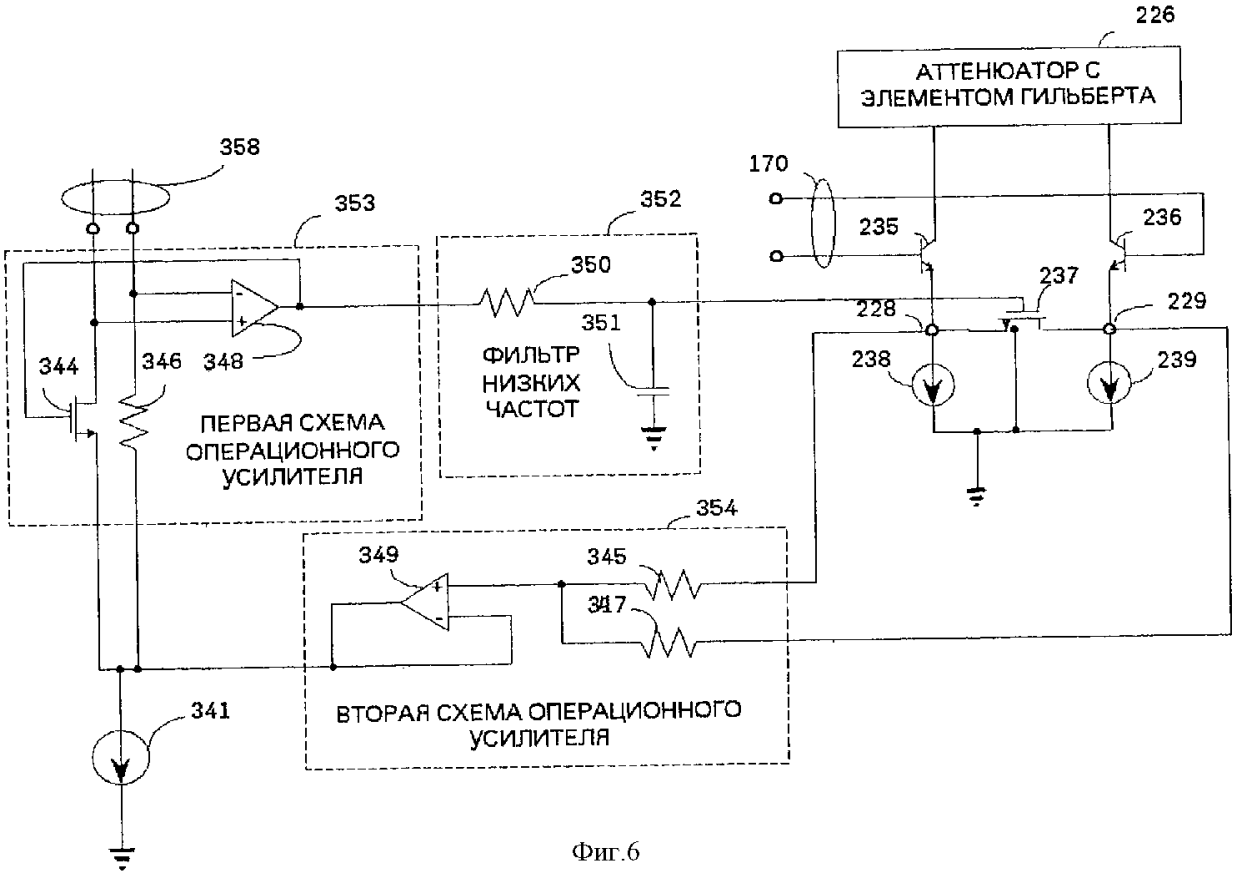
RU 2209504 C2



Фиг.5

RU 2209504 C2

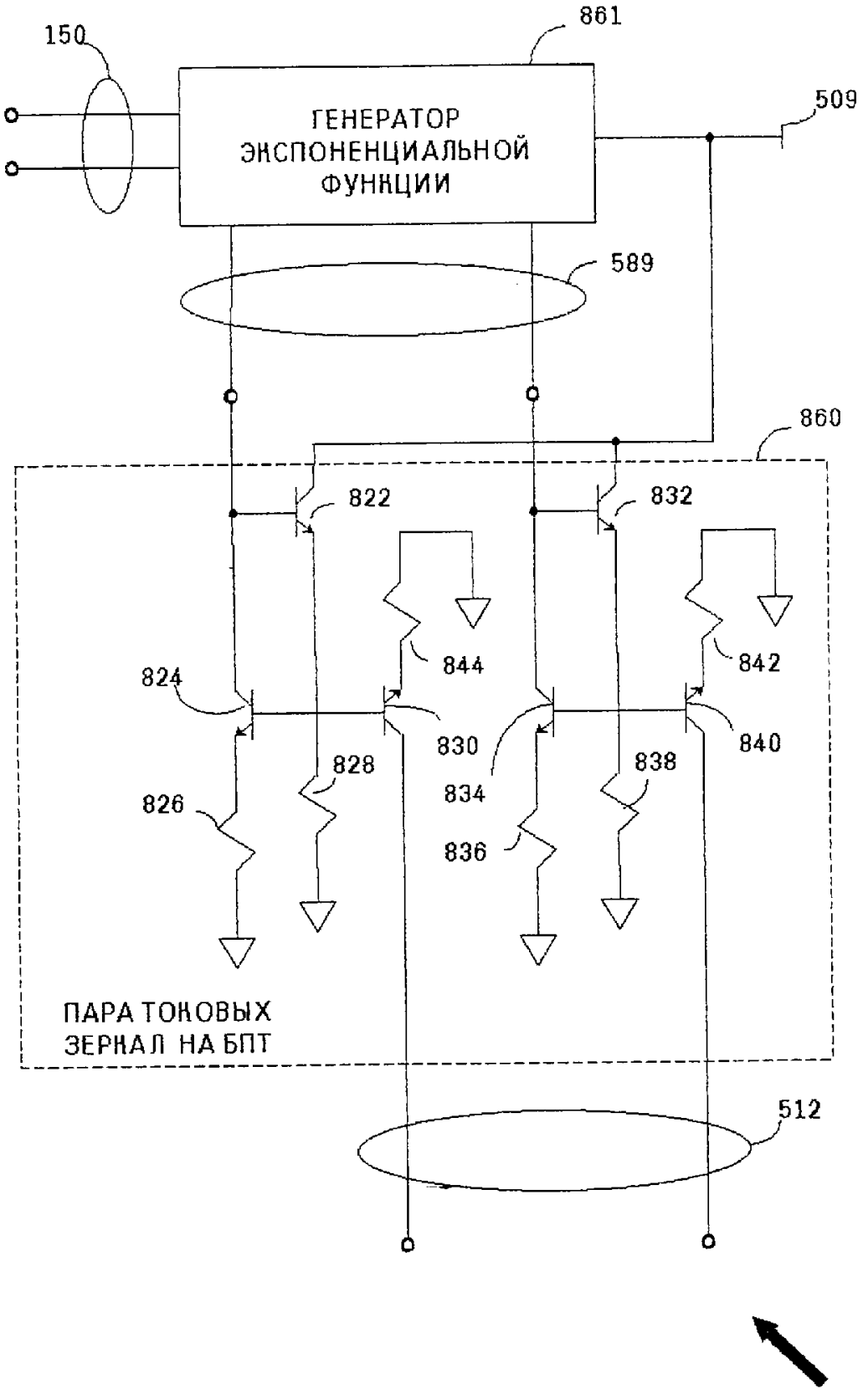
RU 2209504 C2



Фиг.6

RU 2209504 C2

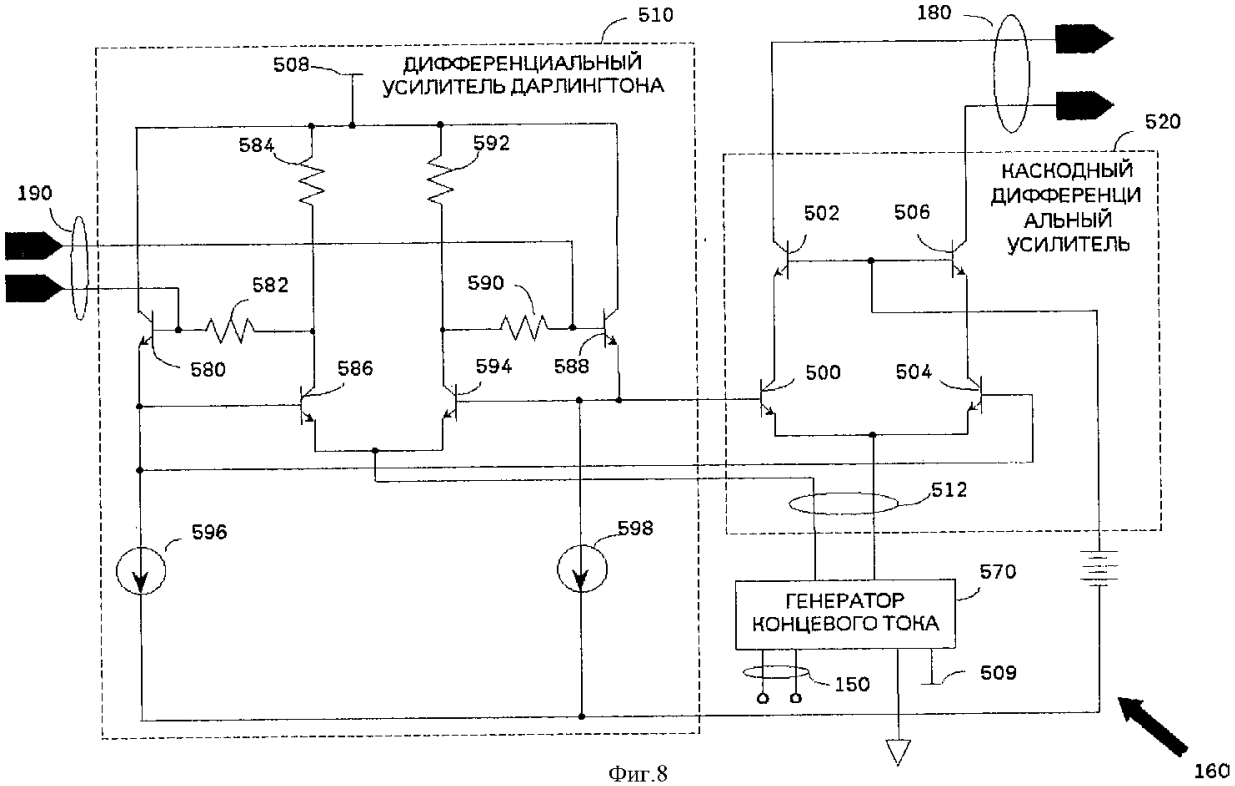
RU 2209504 C2



Фиг.7

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2



Фиг.8

RU 2209504 C2

RU 2209504 C2