

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 729 172** (13) **C1**

(51) МПК
H03F 3/34 (2006.01)
 (52) СПК
H03F 3/34 (2020.02)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 04.08.2020)

(21)(22) Заявка: [2019132774](#), 15.10.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.10.2019

Дата регистрации:
04.08.2020

Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: **15.10.2019**

(45) Опубликовано: [04.08.2020](#) Бюл. № [22](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: US 3538449 A1, 03.11.1970. RU
2319295 C1, 10.03.2008. SU 1608784 A2,
23.11.1990. US 5153529 A1, 06.10.1992. US
4524330 A1, 18.06.1985.

Адрес для переписки:
603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина,
27/4, кв. 2, Букварев Е.А.

(72) Автор(ы):

Букварев Евгений Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

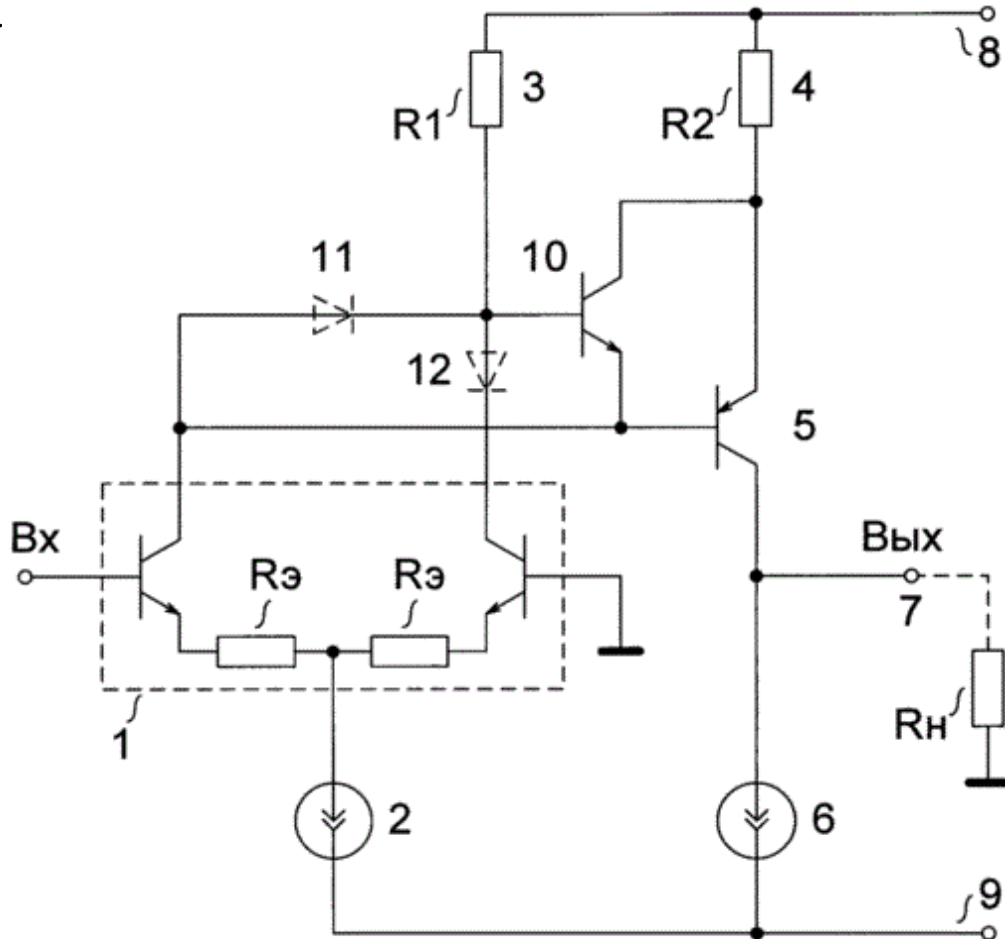
Букварев Евгений Александрович (RU)

(54) Усилитель напряжения с повышенной линейностью

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники и аналоговой микроэлектроники и может быть использовано в качестве устройства усиления аналоговых сигналов, в составе микросхем различного функционального назначения. Технический результат заключается в повышении линейности без увеличения потребляемого тока. Усилитель напряжения (фиг. 1) содержит входной дифференциальный каскад (ДК) (1), резистор (3), соединенный со вторым выходом ДК (1), транзистор второго каскада (5), эмиттер которого соединен с резистором (4), база соединена с первым выходом ДК (1), а коллектор соединен с выходом (7). Резисторы (3, 4) соединены с шиной питания положительной полярности (8). В схему введен дополнительный транзистор (10), база которого соединена с резистором (3), эмиттер соединен с базой транзистора второго

каскада (5), коллектор соединен с эмиттером транзистора второго каскада (5). 3 з.п. ф-лы. 2 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к области электротехники и аналоговой микроэлектроники и может быть использовано в качестве устройства усиления аналоговых сигналов, в составе микросхем различного функционального назначения.

Известен аналог, описанный в патенте США №3538449 (от 1970.11.03), представляющий собой монолитный дифференциальный усилитель, содержащий в своем составе дифференциальный каскад (ДК), второй каскад усиления напряжения, выходной каскад.

Недостатками аналога являются необходимость в двух дополнительных источниках опорного тока (ИОТ) для питания дополнительных транзисторов в ДК, а также использование в составе второго каскада дополнительного транзистора, включенного по схеме эмиттерного повторителя, что ухудшает подавление пульсаций напряжения питания, проникающих на выход схемы (КОИП, PSRR) и увеличивает энергопотребление.

Наиболее близким аналогом (прототипом) можно считать схему усилителя напряжения из состава операционного усилителя LH0024, приведенной в документе «Application Note 253 LH0024 and LH0032 High Speed Op Amp Applications» (интернет ссылка на сайте фирмы - изготовителя: <http://www.ti.com/lit/an/snoa643/snoa643.pdf>). Схема прототипа содержит входной ДК с ИОТ, диод, катод которого соединен с первым выходом ДК, а анод - с первым резистором, транзистор второго каскада, эмиттер которого соединен со вторым резистором и вторым выходом ДК, база соединена с первым выходом ДК, а коллектор соединен с ИОТ и выходом второго каскада (входом третьего каскада). Первый и второй резисторы соединены с шиной питания положительной полярности, а ИОТ соединены с шиной питания отрицательной полярности. Недостатком аналога являются недостаточная линейность второго каскада, работающего с большим уровнем сигнала, вследствие влияния эффектов Эрли и Миллера.

Задача изобретения состоит в повышении линейности усилителя напряжения в целом, за счет повышения линейности второго каскада усилителя напряжения.

Технический результат изобретения выражается в повышении линейности усилителя напряжения при сохранении потребляемого тока и значения КОИП.

Технический результат изобретения достигается тем, что в усилителе напряжения устанавливается дополнительный транзистор, питаемый от тока предыдущего каскада таким образом, что этот транзистор одновременно выполняет функции повторителя напряжения для задания напряжения на базе другого транзистора, работающего с большим размахом напряжения, и повторителя тока ошибки, возвращаемого в эмиттер этого другого транзистора, для быстрого восстановления усилителя после перегрузок обеспечена возможность установки первого дополнительного диода, а для выравнивания потенциалов выходов дифференциального каскада - второго дополнительного диода, для дополнительного повышения усиления и линейности обеспечена возможность использования двух групп каскадов, выполненных на транзисторах разного типа проводимости и включенных по комплементарной двухтактной схеме.

Схема предложенного изобретения приведена на фиг. 1, фиг. 2.

- 1 - входной ДК;
- 2 - ИОТ;
- 3, 4- резисторы;
- 5 - транзистор второго каскада;
- 6 - ИОТ;
- 7 - выход усилителя напряжения;
- 8 - шина питания положительной полярности;
- 9 - шина питания отрицательной полярности;
- 10 - дополнительный транзистор;
- 11, 12 - дополнительные диоды;
- 13 - входной ДК нижнего плеча;
- 14 - транзистор второго каскада нижнего плеча;
- 15, 16 - резисторы нижнего плеча;
- 17 - дополнительный транзистор нижнего плеча;
- 18, 19 - дополнительные диоды нижнего плеча.

Усилитель напряжения с повышенной линейностью показан на фиг. 1 и содержит входной ДК (1) с ИОТ (2), резистор (3), соединенный со вторым выходом ДК(1), транзистор второго каскада (5), эмиттер которого соединен с резистором (4), база соединена с первым выходом ДК (1), а коллектор соединен с ИОТ (6) и выходом (7). Резисторы (3, 4) соединены с шиной питания положительной полярности (8), а ИОТ (2, 6) соединены с шиной питания отрицательной полярности (9). В схему вновь введен дополнительный транзистор (10), база которого соединена с резистором (3), эмиттер соединен с базой транзистора второго каскада (5), коллектор соединен с эмиттером транзистора второго каскада (5). При таком включении, дополнительный транзистор (10) выполняет сразу три функции одновременно: во-первых, он обеспечивает низкоимпедансную точку для базы транзистора второго каскада (5), снижая тем самым влияние эффектов Миллера и Эрли на усиление, во-вторых, транслирует выходной ток с первого выхода ДК на эмиттер транзистора второго каскада (5), одновременно питаясь этим током, и в-третьих, возвращает в эмиттер транзистора второго каскада (5) нелинейный (вследствие нелинейности коллекторно-базовой емкости) динамический ток его базы, осуществляя его компенсацию (с относительной погрешностью примерно $1/|h_{21Э}(10)| + 1/|h_{21Э}(5)|$, где $|h_{21Э}(10)|$ - модуль коэффициента передачи тока базы дополнительного транзистора (10), а $|h_{21Э}(5)|$ - модуль коэффициента передачи тока базы транзистора второго каскада (5)). Предложенное схемотехническое решение позволяет снизить уровень нелинейных искажений на выходе и одновременно с этим сохранить потребляемый усилителем напряжения ток, и высокое значение КОИП.

Для быстрого восстановления усилителя после перегрузок обеспечена возможность установки первого дополнительного диода (11), который открывается в случае выхода ДК (1) из линейного режима работы. Для выравнивания потенциалов выходов ДК (1) в схеме обеспечена возможность установки второго дополнительного диода (12), что повышает коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС) ДК, КОИП и линейность усилителя напряжения.

На фиг. 2 приведен усилитель напряжения с двумя группами каскадов, включенными по двухтактной схеме. Он содержит два входных ДК (1, 13) с общим ИОТ (2), резистор (3), соединенный со вторым выходом ДК (1), транзистор второго каскада (5), эмиттер которого соединен с резистором (4), база соединена с первым выходом ДК (1), а коллектор соединен с выходом (7); резистор (15), соединенный со вторым выходом ДК нижнего плеча (13), транзистор второго каскада нижнего плеча (14), эмиттер которого соединен с резистором (16), база соединена с первым выходом ДК нижнего плеча (13), а коллектор соединен с выходом (7). Резисторы (3, 4) соединены с шиной питания положительной полярности (8), а резисторы (15, 16) соединены с шиной питания отрицательной полярности (9). В схему введены дополнительные транзисторы (10, 17), базы которых соединены с резисторами (3) и (15) соответственно, эмиттеры соединены с базами транзисторов (5) и (14) соответственно, коллекторы соединены с эмиттерами транзисторов (5) и (14) соответственно. Вновь введенные в схему транзисторы (10, 17) выполняют одновременно три функции: эмиттерных повторителей, трансляторов тока от первых выходов ДК (1, 13) и функцию возврата динамических нелинейных токов через переходы «коллектор-база» транзисторов (5, 14) в цепь их эмиттеров. Для быстрого восстановления усилителя после перегрузок обеспечена возможность установки дополнительных диодов (11, 18), которые обеспечивают работу схемы в случае выхода ДК (1, 13) из линейного режима работы. Для выравнивания потенциалов выходов ДК (1, 13) обеспечена возможность установки дополнительных диодов (12, 19), что повышает КОСС, КОИП и линейность усилителя напряжения. Усилитель напряжения (фиг. 2) обеспечивает по сравнению с усилителем напряжения (фиг. 1) в два раза больший коэффициент передачи по напряжению и сниженный уровень гармонических искажений четного порядка.

На схемах фиг. 1 и фиг. 2 не показаны цепи частотной коррекции. Типовой вариант частотной коррекции состоит в подключении RC - цепей параллельно резисторам (3) и (15). Приближенный расчет коэффициента передачи схемы усилителя напряжения, показанного на фиг. 1 выполняется по формуле $K = R_n / 2R_э * (R_1 / R_2 + 1)$, а усилителя напряжения, показанного на фиг. 2 - по формуле $K = R_n / 2R_э * (R_1 / R_2 + R_3 / R_4 + 2)$. Для получения максимальной линейности схемы (фиг. 2) желательно выбрать равными резисторы $R_1 = R_3$ и $R_2 = R_4$. По результатам моделирования и экспериментальных проверок, количественно повышение линейности выражается в снижении уровня гармонических искажений на величину $6 \div 15$ дБ, в зависимости от номера гармоники.

Что касается типов активных приборов, то на приведенных схемах фиг. 1 и фиг. 2 использованы биполярные транзисторы, однако описанный способ линеаризации может быть реализован и при использовании полевых транзисторов (ПТ), а также сочетания транзисторов разных типов (например, с реализацией ДК на ПТ с управляющим переходом, и применением МОП транзисторов во втором каскаде вместо биполярных).

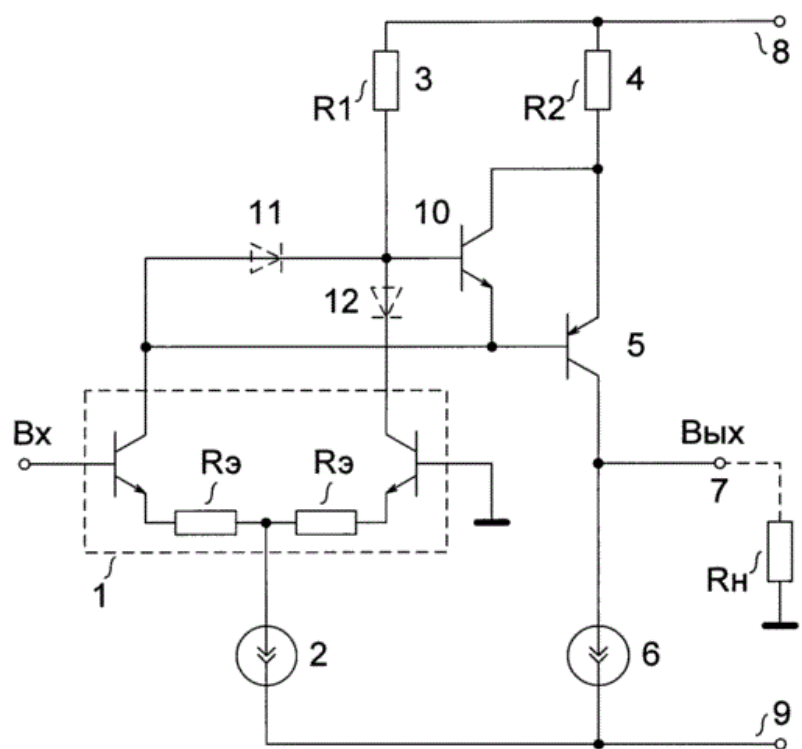
Формула изобретения

1. Усилитель напряжения с повышенной линейностью, содержащий входной дифференциальный каскад, первый резистор, соединенный со вторым выходом дифференциального каскада, транзистор второго каскада, эмиттер которого соединен со вторым резистором, база соединена с первым выходом дифференциального каскада, а коллектор соединен с выходом, резисторы соединены с шиной питания положительной полярности, отличающийся тем, что введен дополнительный транзистор, база которого соединена с первым резистором, эмиттер соединен с базой транзистора второго каскада, коллектор соединен с эмиттером транзистора второго каскада.

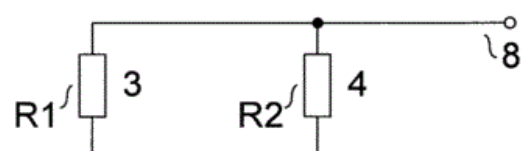
2. Усилитель напряжения с повышенной линейностью по п.1, отличающийся тем, что содержит первый дополнительный диод, подключенный к базе и эмиттеру дополнительного транзистора, и второй дополнительный диод, который включен в цепь между базой дополнительного транзистора и вторым выходом дифференциального каскада.

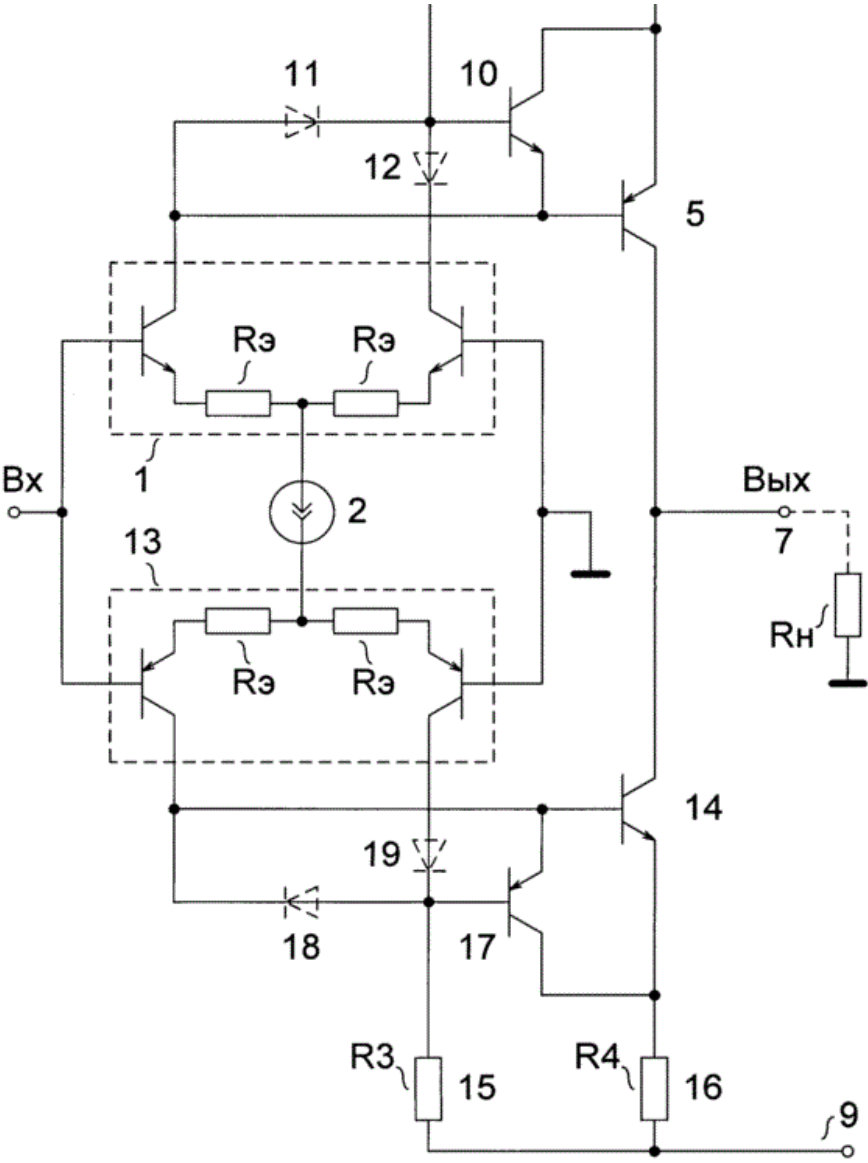
3. Усилитель напряжения с повышенной линейностью по п.1, отличающийся тем, что выполнен с двумя группами каскадов, включенными по двухтактной схеме.

4. Усилитель напряжения с повышенной линейностью по п.1, отличающийся тем, что выполнен с двумя группами каскадов, включенными по двухтактной схеме, в каждой группе каскадов содержит первый дополнительный диод, подключенный к базе и эмиттеру дополнительного транзистора, и второй дополнительный диод, который включен в цепь между базой дополнительного транзистора и вторым выходом дифференциального каскада.



Фиг. 1





Фиг. 2