



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006135703/09, 09.10.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.10.2006

(45) Опубликовано: 27.03.2008 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 4573022, 25.02.1986. SU 1401566 A1,
07.06.1988. SU 785952, 07.12.1980. SU 1298853
A1, 23.03.1987. US 4419631, 06.12.1983. JP 60-
85615 A, 15.05.1985.

Адрес для переписки:

346500, Ростовская обл., г. Шахты, ул.
Шевченко, 147, ЮРГУЭС, Патентная служба

(72) Автор(ы):

Прокопенко Николай Николаевич (RU),
Хорунжий Андрей Васильевич (RU),
Будяков Алексей Сергеевич (RU),
Крюков Сергей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

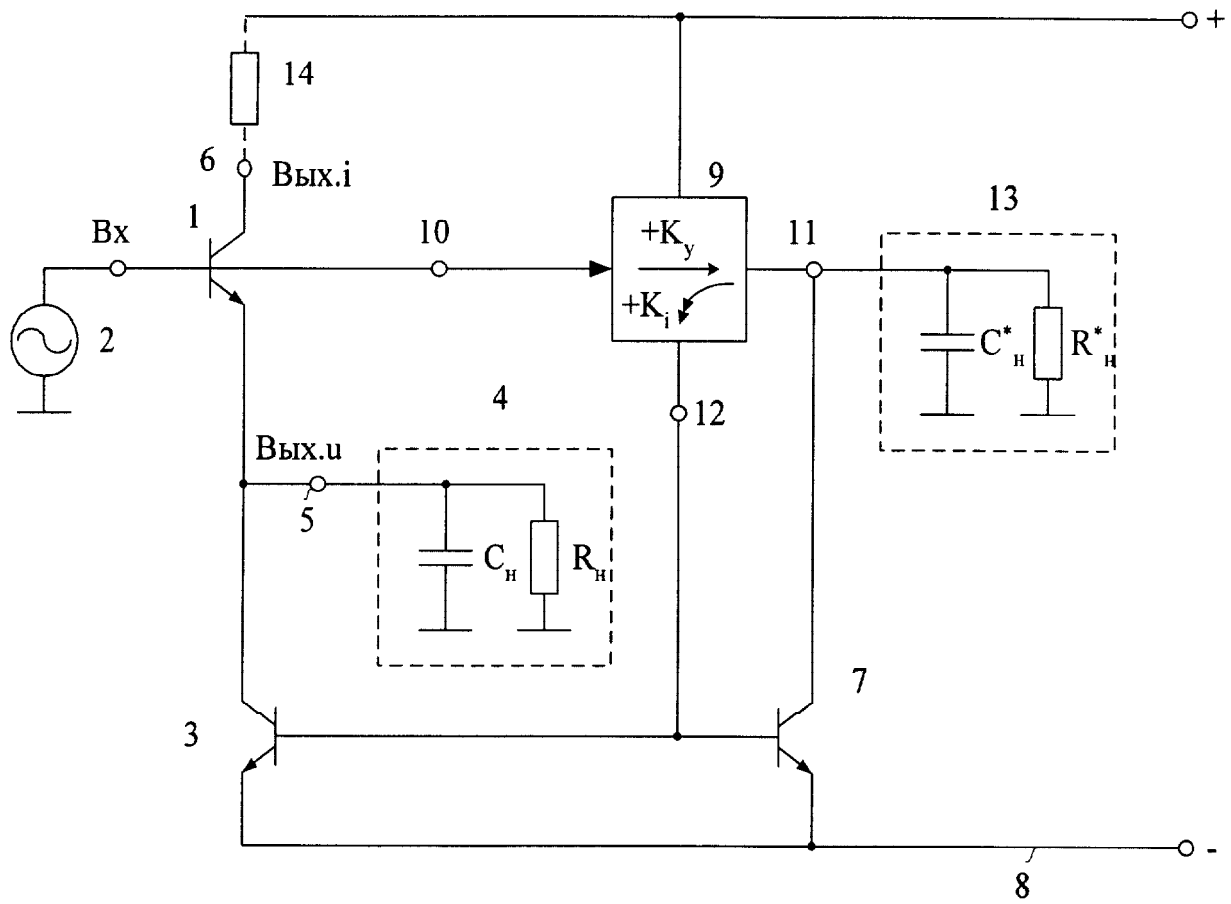
ГОУ ВПО "Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса" (ЮРГУЭС)
(RU)

(54) ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиотехники и связи и может быть использовано в качестве входных, выходных и промежуточных каскадов аналоговых микросхем различного функционального назначения (высокочастотных и сверхвысокочастотных усилителей, широкополосных операционных усилителей, быстродействующих непрерывных стабилизаторов напряжения, перемножителей сигналов и т.д.). Технический результат заключается в повышении верхней граничной частоты и максимальной скорости нарастания выходного напряжения при наличии емкостной нагрузки. Широкополосный усилитель (ШУ) содержит входной транзистор (Т) (1), база которого связана с источником сигнала, эмиттер подключен к коллектору первого

вспомогательного Т (3), основному двухполюснику отрицательной обратной связи (ООС) (4) и потенциальному выходу широкополосного усилителя, а коллектор подключен к токовому выходу ШУ, причем база Т (3) соединена с базой второго вспомогательного Т (7), а эмиттеры Т (3, 7) связаны друг с другом и подключены к шине (8) источника питания. Введен согласующий повторитель напряжения (ПН) (9), имеющий вход (10), потенциальный (11) и токовый (12) выходы, причем потенциальный выход (11) ПН соединен с коллектором второго Т (7) и введенным дополнительным двухполюсником ООС (13), токовый выход (12) ПН подключен к объединенным базам Т (3, 7), а вход (10) ПН связан с источником сигнала. 4 з.п. ф-лы, 14 ил.



Фиг. 2

RU 2321156 C1

RU 2321156 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
H03F 1/42 (2006.01)
H03F 3/50 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006135703/09, 09.10.2006**

(24) Effective date for property rights: **09.10.2006**

(45) Date of publication: **27.03.2008 Bull. 9**

Mail address:

**346500, Rostovskaja obl., g. Shakhty, ul.
Shevchenko, 147, JuRGUEhS, Patentnaja sluzhba**

(72) Inventor(s):

**Prokopenko Nikolaj Nikolaevich (RU),
Khorunzhij Andrej Vasil'evich (RU),
Budjakov Aleksej Sergeevich (RU),
Krjukov Sergej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**GOU VPO "Juzhno-Rossijskij gosudarstvennyj
universitet ehkonomiki i servisa" (JuRGUEhS) (RU)**

(54) **BROADBAND AMPLIFIER**

(57) Abstract:

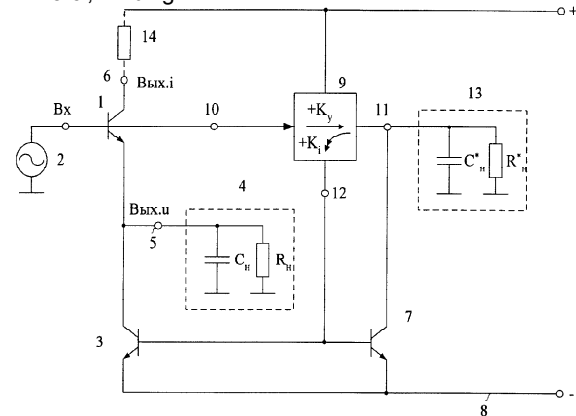
FIELD: radio engineering and communications, possible use as input, output and intermediate cascades in analog microchips of varying functional purposes (high frequency and ultra high frequency amplifiers, broadband operational amplifiers, fast action continuous voltage stabilizers, signal multipliers, etc).

SUBSTANCE: broadband amplifier contains input transistor (1), base of which is connected to signal source, emitter is connected to collector of first auxiliary transistor (3), to main dipole of negative check connection (4) and to potential output broadband amplifier, and collector is connected to current output of broadband amplifier, where the base of transistor (3) is connected to base of second auxiliary transistor (7), and emitters of transistors (3,7) are connected to each other and connected to bus (8) of power supply. Matching voltage repeater (9) is added, which has input (10), potential (11) and current (12) outputs, where potential output (11) of voltage repeater is connected to collector of

second transistor (7) and to added additional dipole of negative check connection (13), current output (12) of voltage repeater is connected to combined bases of transistors (3,7), and input (10) of voltage repeater is connected to signal source.

EFFECT: increased upper limit frequency and maximal speed of growth of output voltage in presence of capacity load.

5 cl, 14 dwg



Фиг. 2

RU 2 321 156 C1

RU 2 321 156 C1

Изобретение относится к области радиотехники и связи и может быть использовано в качестве входных, выходных и промежуточных каскадов аналоговых микросхем различного функционального назначения (высокочастотных и сверхвысокочастотных усилителей, широкополосных операционных усилителей, быстродействующих непрерывных стабилизаторов напряжения, перемножителей сигналов и т.д.).

Известны широкополосные усилители (ШУ) (фиг.1) на основе каскадов с включением транзистора по схеме «общий эмиттер» [1, 2], которые стали основой построения современных аналоговых микросхем [3-16]. Такие ШУ применяются, во-первых, в качестве эмиттерных повторителей сигнала, работающих на нагрузку (двухполюсник местной отрицательной обратной связи), которая включает емкостную составляющую C_n , соединенную с потенциальным выходом ШУ (Вых.у). В частных случаях C_n может быть емкостью на подложку C_n транзистора 3, устанавливающего статический режим ШУ, емкостью соединительных кабелей или емкостью, обусловленной физическими процессами в нагрузке (например, в пьезокерамических излучателях).

Во-вторых, ШУ фиг.1 часто применяется в качестве преобразователя «напряжение-ток», когда его выходной сигнал снимается в коллекторной цепи (Вых.и), а его величина на низких частотах определяется активным сопротивлением двухполюсника отрицательной обратной связи 4:

$$i_6 = \frac{u_{вх}}{R_n} \quad (1)$$

$$u_{вых.и} = u_{вх} \frac{R_{нi}}{R_n} \quad (2)$$

Такое применение ШУ фиг.1 характерно для аналоговых перемножителей сигнала. Однако частотный диапазон ШУ в этом случае будет существенно зависеть от величины емкости на подложку C_n транзистора 3, устанавливающего статический режим ШУ.

Действительно, одной из проблем построения широкополосных (высокочастотных) усилителей и преобразователей «напряжение-ток» является минимизация влияния на амплитудно-частотные характеристики паразитных емкостей C_n источников опорного тока, устанавливающих статический режим входного транзистора ШУ. Данная задача решается в патентах фирмы «Gennum Corporation» (US 5.420.524) и «Analog Devices» (US 5.434.446) - путем введения следящего питания и специальной конструкции транзисторов ШУ, а также в патентах US 6.765.441, US 6.922.108, US 5.603.508, в которых для уменьшения влияния C_n вводится индуктивная коррекция в эмиттерную цепь входных транзисторов. Для уменьшения влияния емкости на подложку транзисторов источников опорного тока применяются также специальные резистивные делители сигнала (патент US 5.602.508), «изолирующие» паразитную емкость C_n источников опорного тока от узла подключения источника сигнала.

Задача компенсации нелинейностей емкостей на подложку транзисторов решается также в патентах фирмы RCA Corporation US №4.240.042.

Таким образом, проблема расширения частотного диапазона ШУ фиг.1 (верхней граничной частоты f_v , зависящей от паразитной емкости в эмиттерной цепи ШУ) относится к числу одной из актуальных проблем современной аналоговой микросхемотехники.

Ближайшим прототипом (фиг.1) заявляемого устройства является классический широкополосный усилитель (ШУ), описанный в [16] (а также в патентах US 6.396.346, 4.573,022 и др.), содержащий входной транзистор 1, база которого связана с источником сигнала 2, эмиттер подключен к коллектору первого вспомогательного транзистора 3, основному двухполюснику отрицательной обратной связи 4, который иногда выполняет роль нагрузки ШУ, и потенциальному выходу широкополосного усилителя 5, а коллектор - подключен к токовому выходу 6 широкополосного усилителя, причем база первого вспомогательного транзистора 3 соединена с базой второго вспомогательного транзистора 7, а эмиттер первого 3 и второго 7 вспомогательных транзисторов связаны друг с другом и подключены к шине источника питания 8.

Известный ШУ имеет три следующих взаимосвязанных недостатка, которые

проявляются в зависимости от точки съема сигнала - использовании потенциального или токового выходов, а также вида входного сигнала и свойств нагрузки.

1. Первый недостаток проявляется в том случае, когда ШУ использует потенциальный выход 5, т.е. сигнал снимается с эмиттера транзистора 1, а нагрузка (являющаяся

5 основным двухполюсником отрицательной обратной связи) имеет емкостной характер. Этот недостаток состоит в уменьшении верхней граничной частоты коэффициента усиления по напряжению $\omega_B = 2\pi f_B$ и наиболее заметен при наличии емкостной составляющей C_H . Так, верхняя граничная частота ШУ фиг.1 $\omega_B \approx (C_H r_3)^{-1}$, где r_3 - сопротивление эмиттерного

10 перехода транзистора. Если $C_H = 100$ пФ, $r_3 = 25$ Ом, получается, что $f_B = \frac{\omega_B}{2\pi} \approx 60$ МГц.

Если $r_3 = 250$ Ом, то $f_B = 6$ МГц, что недостаточно для большинства применений ШУ.

2. Второй недостаток проявляется в режиме большого сигнала ШУ, когда входной импульсный сигнал измеряется единицами вольт, а у ШУ используется потенциальный выход 5 с емкостной нагрузкой C_H , т.е. сигнал снимается с эмиттера транзистора 1. (Это наиболее часто встречающийся вариант использования усилителей данного класса, когда нагрузка, например, пьезокерамический преобразователь, имеет емкостную составляющую). Этот недостаток состоит в низком быстродействии ШУ (малых значениях максимальной скорости нарастания выходного напряжения $\vartheta_{\text{Вых}}$) при отработке

20 импульсного сигнала, который запирает транзистор 1. Действительно, максимальная скорость нарастания выходного напряжения ШУ для отрицательного фронта входного напряжения

$$\vartheta_{\text{Вых}} = \frac{du_{\text{Вых}}}{dt} \approx \frac{I_3}{C_H}, \quad (3)$$

25 где I_3 - статический ток эмиттера транзистора 3;

C_H - емкость нагрузки, которая используется в качестве основного двухполюсника отрицательной обратной связи.

Так при $I_3 = 1$ мА, $C_H = 100$ пФ крутизна отрицательного фронта $u_{\text{Вых}}$

$$\frac{du_{\text{Вых}}}{dt} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-12}} = \frac{10^{-3}}{10^{-10}} = 10^7 \text{ В / сек} \approx 10 \text{ В / мсек.}$$

30 этого недостаточно.

3. Третий недостаток проявляется в том случае, когда используется токовый выход 6, т.е. сигнал снимается с коллектора транзистора 1. В данном режиме ШУ характеризуется сравнительно высокой неравномерностью амплитудно-частотной характеристики крутизны преобразования входного напряжения ($u_{\text{Вх}}$) в выходной ток (i_6) $S = i_6 / u_{\text{Вх}}$, и как следствие, невысокими значениями верхней граничной частоты крутизны $\omega_S = 2\pi f_S$. Данный недостаток наблюдается, например, при использовании заявляемого устройства в качестве преобразователя «напряжение-ток» широкодиапазонных аналоговых перемножителей сигналов, в схемах автоматической регулировки усиления [10, 11, 12, 13, 14, 15],

40 когда величина сопротивления основного двухполюсника отрицательной обратной связи измеряется единицами килоом.

Основная цель (устранение первого и второго недостатков) состоит в повышении верхней граничной частоты широкополосного усилителя f_B и максимальной скорости нарастания выходного напряжения $\vartheta_{\text{Вых}}$ для потенциального выхода 5 при наличии

45 емкостной нагрузки C_H .

Дополнительная цель предлагаемого изобретения (устранение третьего недостатка) состоит в повышении верхней граничной частоты усилителя f_S за счет одновременной минимизации влияния на f_S паразитных параметрах - емкости на подложку (C_n) транзистора 3, которая для микросхем с изоляцией р-п-переходом лежит в пределах 2-5

50 пФ, и емкости коллекторного перехода транзистора 3 ($C_{K1} = 0,5 \div 2$ пФ).

Поставленная цель достигается тем, что в широкополосном усилителе (фиг.1), содержащем входной транзистор 1, база которого связана с источником сигнала 2, эмиттер подключен к коллектору первого вспомогательного транзистора 3, основному

двухполюснику отрицательной обратной связи 4 и потенциальному выходу широкополосного усилителя 5, а коллектор подключен к токовому выходу 6 широкополосного усилителя, причем база первого вспомогательного транзистора 3 соединена с базой второго вспомогательного транзистора 7, а эмиттер первого 3 и второго 7 вспомогательных транзисторов связаны друг с другом и подключены к шине источника питания 8, предусмотрены новые элементы и связи - в схему введен согласующий повторитель напряжения 9, имеющий первый вход 10, потенциальный 11 и токовый 12 выходы, а также дополнительный двухполюсник отрицательной обратной связи 13, причем потенциальный 11 выход согласующего повторителя напряжения 9 соединен с коллектором второго вспомогательного транзистора 7 и дополнительным двухполюсником отрицательной обратной связи 13, токовый выход 12 согласующего повторителя напряжения 9 подключен к объединенным базам первого 3 и второго 7 вспомогательных транзисторов, а первый вход 10 согласующего повторителя напряжения 9 связан с источником сигнала 2.

На фиг.2 показана схема заявляемого устройства в соответствии с п.1 и п.2 формулы изобретения, причем структура и параметры элементов дополнительного двухполюсника отрицательной обратной связи 7 подобны (или идентичны) структуре и параметрам элементов основного двухполюсника отрицательной обратной связи.

На фиг.3, 4 изображены частные случаи выполнения согласующего повторителя напряжения 9.

На фиг.5 показаны переменные токи и напряжения в схеме заявляемого широкополосного усилителя фиг.2 при выполнении согласующего повторителя напряжения 9 в соответствии со схемой фиг.3, а также при подключении основной нагрузки к потенциальному выходу 5 (п.3 формулы изобретения).

На фиг.6 показаны токи и напряжения в схеме заявляемого ШУ, соответствующей п.4 формулы изобретения, когда нагрузка 14 широкополосного усилителя подключена к токовому выходу 6, а также при выполнении согласующего повторителя напряжения 9 в соответствии с фиг.3.

На фиг.7 изображена схема широкополосного преобразователя «напряжение-ток», реализованного на основе двух заявляемых широкополосных усилителей фиг.2 при построении их согласующих повторителей напряжения 9 в соответствии с фиг.3 и использовании токовых выходов 6.

На фиг.8 изображены схемы заявляемого (фиг.8а) и известного (фиг.8б) устройств в среде PSpice, а на фиг.9 - частотная зависимость их коэффициентов усиления по напряжению $K_{\nu} \approx 1$ при разных значениях емкости $C_{\text{н}}^*$, входящей в структуру дополнительного двухполюсника отрицательной обратной связи 13. Данная зависимость показывает, что в заявляемом устройстве частотный диапазон (по уровню - 3 дБ) расширяется в 3-4 раза.

Временная зависимость выходного напряжения предлагаемой схемы и схемы ШУ-прототипа (фиг.8) при обработке импульсного сигнала большой амплитуды, запирающей транзистор 1 ($U_{\text{вх}} = \pm 7\text{В}$), показана на фиг.10. Из этого графика следует, что заявляемый ШУ в этом режиме имеет более чем на порядок лучшие значения максимальной скорости нарастания выходного напряжения.

На фиг.11 и фиг.12 показаны схемы известного (фиг.11) и заявляемого (фиг.12) широкополосных усилителей в среде PSpice для оценки влияния емкостей на подложку транзисторов 3 (Q_6) на паразитную передачу входного напряжения к токовому выходу 6.

На фиг.13 приведены результаты компьютерного моделирования частотной зависимости предельной крутизны S схем фиг.8 и фиг.12. Эти графики показывают, что верхняя граничная частота по крутизне S , измеряемая по уровню +3 дБ, увеличивается в схеме фиг.12 более чем на порядок. При этом выигрыш по величине низкочастотной паразитной передачи сигнала превышает 27 дБ.

Для иллюстрации возможностей ШУ предлагаемого класса на фиг.14 показана схема усилителя мощности, который соответствует фиг.2. Его особенность, которая реализуется

благодаря новым признакам - двухтактная структура класса АВ, которая реализована на одноступенчатых транзисторах. Здесь резистор R_H^* моделирует характеристики нагрузки R_H и подобен по свойствам R_H .

5 В соответствии с п.5 формулы изобретения здесь площадь эмиттерного перехода первого вспомогательного транзистора 3 в $N_s \geq 1$ -раз больше, чем площадь эмиттерного перехода транзистора 7, что увеличивает кпд ШУ.

Предлагаемый широкополосный усилитель (фиг.2) содержит входной транзистор 1, база которого связана с источником сигнала 2, эмиттер подключен к коллектору первого вспомогательного транзистора 3, основному двухполюснику отрицательной обратной связи 4 и потенциальному выходу широкополосного усилителя 5, а коллектор подключен к токовому выходу 6 широкополосного усилителя, причем база первого вспомогательного транзистора 3 соединена с базой второго вспомогательного транзистора 7, а эмиттер первого 3 и второго 7 вспомогательных транзисторов связаны друг с другом и подключены к шине источника питания 8. В схему введен согласующий повторитель напряжения 9, имеющий первый вход 10, потенциальный 11 и токовый 12 выходы, а также дополнительный двухполюсник отрицательной обратной связи 13, причем потенциальный 11 выход согласующего повторителя напряжения 9 соединен с коллектором второго вспомогательного транзистора 7 и дополнительным двухполюсником отрицательной обратной связи 13, токовый выход 12 согласующего повторителя напряжения 9 подключен к объединенным базам первого 3 и второго 7 вспомогательных транзисторов, а первый вход 10 согласующего повторителя напряжения 9 связан с источником сигнала 2.

Согласующий повторитель напряжения фиг.3 содержит первый дополнительный транзистор 15, коллектор которого соединен с первым 16 дополнительным источником опорного тока и через цепь смещения потенциала 17, показанную в виде источника эдс, связан с токовым выходом 12.

В согласующем повторителе напряжения фиг.4 коллектор первого дополнительного транзистора 15 связан с токовым выходом 12 через усилительный каскад на транзисторе 18, включенном по схеме с общей базой. Статический потенциал транзистора 18 устанавливается источником смещения E_{c1} (19).

30 Рассмотрим работу заявляемого устройства на примере анализа схемы фиг.5.

Предположим, что в ШУ фиг.5 используется потенциальный выход 5, т.е. ШУ применяется в качестве эмиттерного повторителя, работающего на емкостную нагрузку C_H , устранить которую невозможно. Покажем, что за счет введения новых связей путем рационального выбора емкости C_H^* , входящей в двухполюсник 13, можно увеличить 35 верхнюю граничную частоту коэффициента передачи по напряжению f_v . Анализ проведем для случая, когда активная составляющая R_H двухполюсников 4 и 13 достаточно велика ($R_H = \infty, R_H^* = \infty$).

Наличие отрицательной обратной связи, охватывающей транзисторы 5 и 7 через цепь смещения 17, приводит к тому, что в широком диапазоне частот и амплитуд входного сигнала коллекторный ток транзистора 15 и его напряжение эмиттер-база не изменяются ($i_{3,15}^{(+)} \approx 0, u_{эб,15} \approx 0$). При этом все приращения тока в емкости C_H^* обеспечиваются 40 транзистором 7:

$$45 \quad I_{K7} = I_{11}^{(+)} \approx \frac{U_{ВХ}}{X_{CH}^*} = j\omega C_H^* U_{ВХ}, \quad (4)$$

где $X_{CH}^* = 1 / j\omega C_H^*$ - комплексное сопротивление C_H^* .

50 Так как эмиттерно-базовые переходы транзисторов 7 и 3 включены параллельно, то изменения тока коллектора транзистора 3 повторяют изменения тока коллектора транзистора 7:

$$I_{K3}^{(+)} = I_{K7}^{(+)} = j\omega C_H^* U_{ВХ}. \quad (5)$$

Напряжение на потенциальном выходе 5 можно найти методом наложения как сумму

двух составляющих $\dot{U}_{H.1}$ и $\dot{U}_{H.2}$ обусловленных влиянием источника эдс. $U_{ВХ}$ и источника тока $I_{КЗ}^{(+)}$:

$$\dot{U}_H = \dot{U}_{H.1} + \dot{U}_{H.2} \quad (6)$$

где $\dot{U}_{H.1} = U_{ВХ} \frac{X_{СН}}{r_{э} + X_{СН}}; \quad (7)$

$$\dot{U}_{H.2} = I_{КЗ}^{(+)} \frac{r_{э1} X_{СН}}{r_{э1} + X_{СН}}, \quad (8)$$

где $X_{СН} = 1 / j\omega C_H$

$r_{э1}$ - сопротивление эмиттерного перехода транзистора 1.

После преобразований (6) с учетом (7), (8) и (5) можно получить, что

$$\dot{U}_H = U_{ВХ} K_Y, \quad (9)$$

где $K_Y = \frac{\dot{U}_H}{U_{ВХ}} \approx \frac{1+r_{э1}j\omega C_H^*}{1+r_{э1}j\omega C_H}$ - комплексный коэффициент (10)

передачи по напряжению ШУ.

Следовательно, уравнение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) коэффициента передачи по напряжению ШУ фиг.5:

$$|K_Y| = \frac{\sqrt{1+(r_{э1}\omega C_H^*)^2}}{\sqrt{1+(r_{э1}\omega C_H)^2}}. \quad (11)$$

Из (11) следует, что при идентичных значениях емкостей $C_H = C_H^*$ в схеме фиг.5 наблюдается увеличение полосы пропускания. Так для широкого диапазона частот

$$|K_Y| \approx 1. \quad (12)$$

Если $C_H^* > C_H$, то АЧХ имеет подъем.

Уравнение (11) справедливо в диапазоне частот, для которого влиянием других инерционностей транзисторов можно пренебречь.

На очень низких частотах в предлагаемой схеме уменьшается влияние выходной проводимости транзистора 3, обусловленной эффектом Эрли.

В режиме большого положительного импульсного сигнала на входе ШУ фиг.5 емкость C_H достаточно быстро заряжается через сопротивление $r_{э1}$ транзистора 1. При этом транзисторы 7 и 3 запираются и не влияют на работу схемы.

Если на вход ШУ подается отрицательное напряжение большой амплитуды, то это приводит к увеличению тока коллектора транзистора 7 и, следовательно, тока коллектора транзистора 3, что создает достаточно большой ток разряда емкости C_H . В целом это существенно увеличивает быстродействие ШУ. Более подробно этот режим работы показан в схеме двухтактного усилителя мощности (класс АВ) на фиг.14.

Таким образом в заявляемом ШУ;

- расширяется диапазон рабочих частот как для потенциального (фиг.9), так и для токового (фиг.13) выходов;

- повышается быстродействие для запирающей (входной транзистор) полярности импульсного сигнала большой амплитуды.

Кроме этого, на основе предлагаемой схемы реализуются двухтактные эмиттерные повторители класса АВ (фиг.14), что позволяет использовать данное техническое решение при построении усилителей мощности на однотипных n-p-n транзисторах, например, по новейшей технологии немецкой фирмы IHP (техпроцесс SGB 25V - «германий на кремнии»).

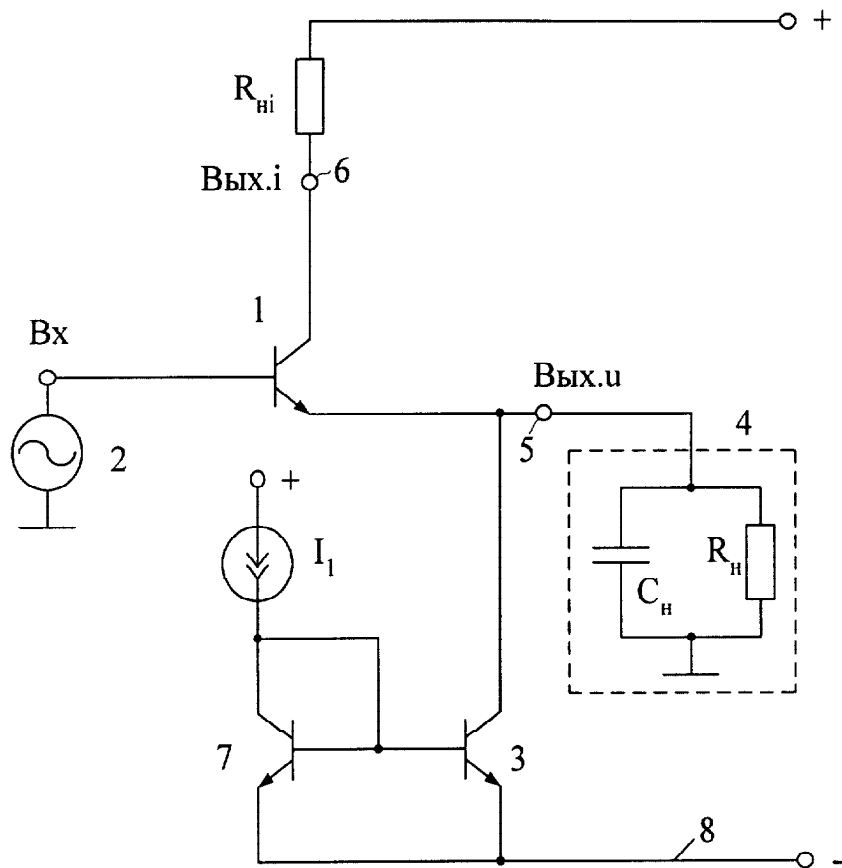
Компьютерное моделирование всех частных вариантов заявляемого устройства, выполненное в среде PSpice с использованием моделей транзисторов ФГУП НПП

«Пульсар», подтверждает эффективность рассмотренных схемотехнических решений.
Источники информации

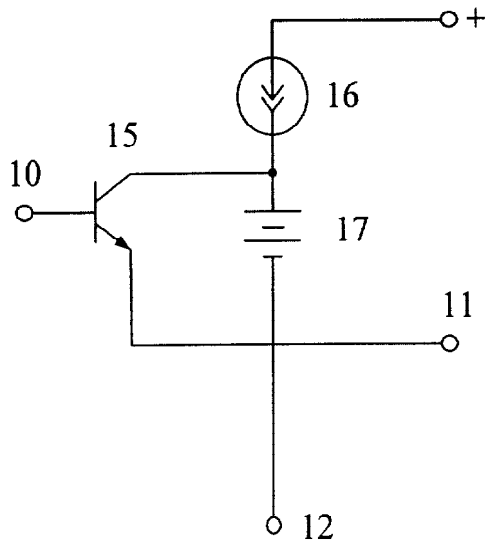
1. Алексеенко А.Г. Основы микросхемотехники. Элементы морфологии микроэлектронной аппаратуры / А.Г.Алексеенко. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М., Сов. радио, 1977. - 408 с.
2. Проектирование и применение операционных усилителей / Под ред. Дж.Грэма, Дж.Тоби, Л.Хьюлсмана // Пер. с англ. В.И.Левина и И.М.Хейфеца под. ред. к.т.н. И.Н.Теплюка. - М.: Мир, 1974.
3. Патент США №3401351, кл. 330/69.
4. Патент США №3401351, кл. H 03 f.
5. Патент Англии 1271517.
6. Патент ФРГ №1487485.
7. Патент США №3323070.
8. Патент США №3693108.
9. Патент Японии №47-34775.
10. Патент Англии №1446214.
11. Патент Англии №1436627.
12. Патент Англии №1445363.
13. Патент Англии №1461483.
14. Патент Англии №1453564.
15. Авт. свид. СССР №853776.
16. М.Херпи. Аналоговые интегральные схемы. - М., Радио и связь, 1983. - С.108. - Рис.4.46б.

Формула изобретения

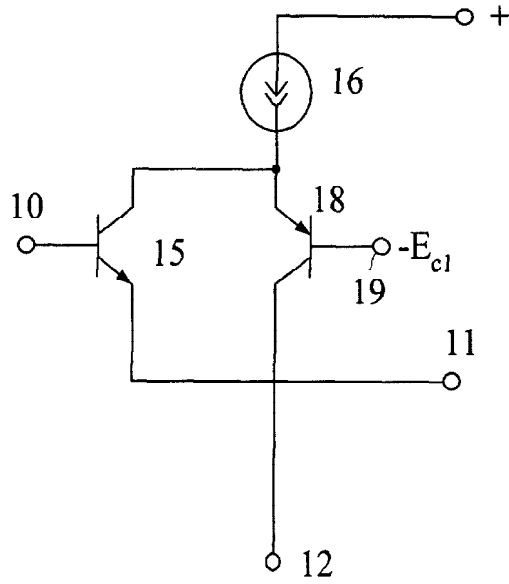
1. Широкополосный усилитель, содержащий входной транзистор, база которого связана с источником сигнала, эмиттер подключен к коллектору первого вспомогательного транзистора, основному двухполюснику отрицательной обратной связи и потенциальному выходу широкополосного усилителя, а коллектор подключен к токовому выходу широкополосного усилителя, причем база первого вспомогательного транзистора соединена с базой второго вспомогательного транзистора, а эмиттеры первого и второго вспомогательных транзисторов связаны друг с другом и подключены к шине источника питания, отличающийся тем, что в схему введен согласующий повторитель напряжения, имеющий первый вход, потенциальный и токовый выходы, а также дополнительный двухполюсник отрицательной обратной связи, причем потенциальный выход согласующего повторителя напряжения соединен с коллектором второго вспомогательного транзистора и дополнительным двухполюсником отрицательной обратной связи, токовый выход согласующего повторителя напряжения подключен к объединенным базам первого и второго вспомогательных транзисторов, а первый вход согласующего повторителя напряжения связан с источником сигнала.
2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что структура и параметры элементов дополнительного двухполюсника отрицательной обратной связи подобны структуре и параметрам элементов основного двухполюсника отрицательной обратной связи.
3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что основная нагрузка широкополосного усилителя связана с его токовым выходом.
4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что основная нагрузка широкополосного усилителя связана с его потенциальным выходом.
5. Устройство по п.1, отличающееся тем, что площадь эмиттерного перехода первого вспомогательного транзистора в $N_s \geq 1$ раз больше площади эмиттерного перехода второго вспомогательного транзистора.



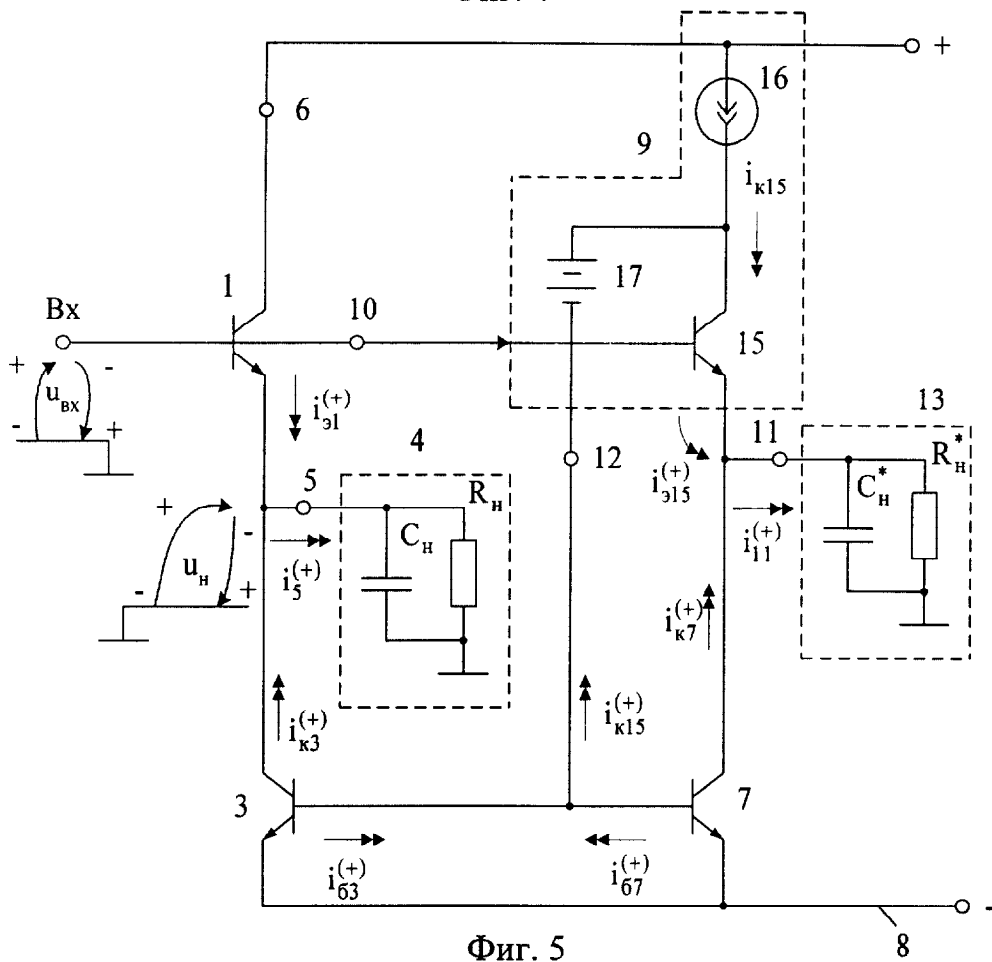
Фиг. 1



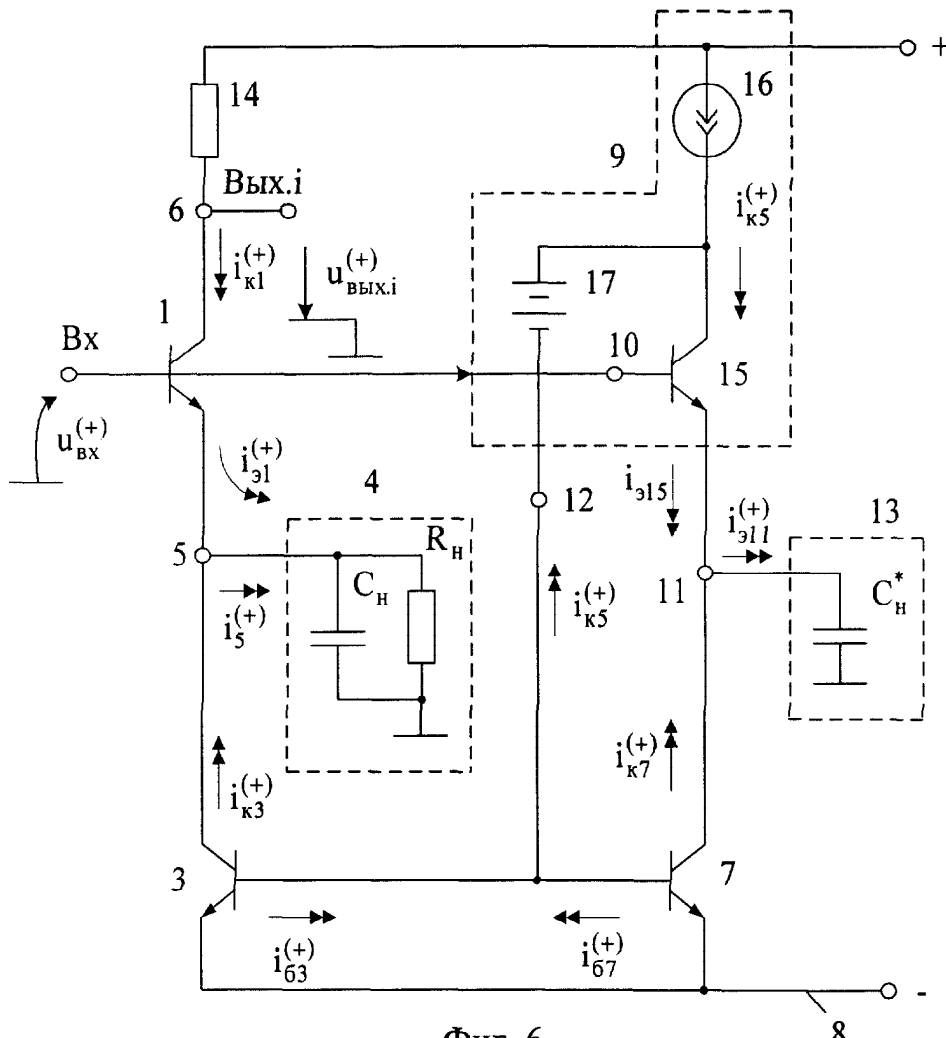
Фиг. 3



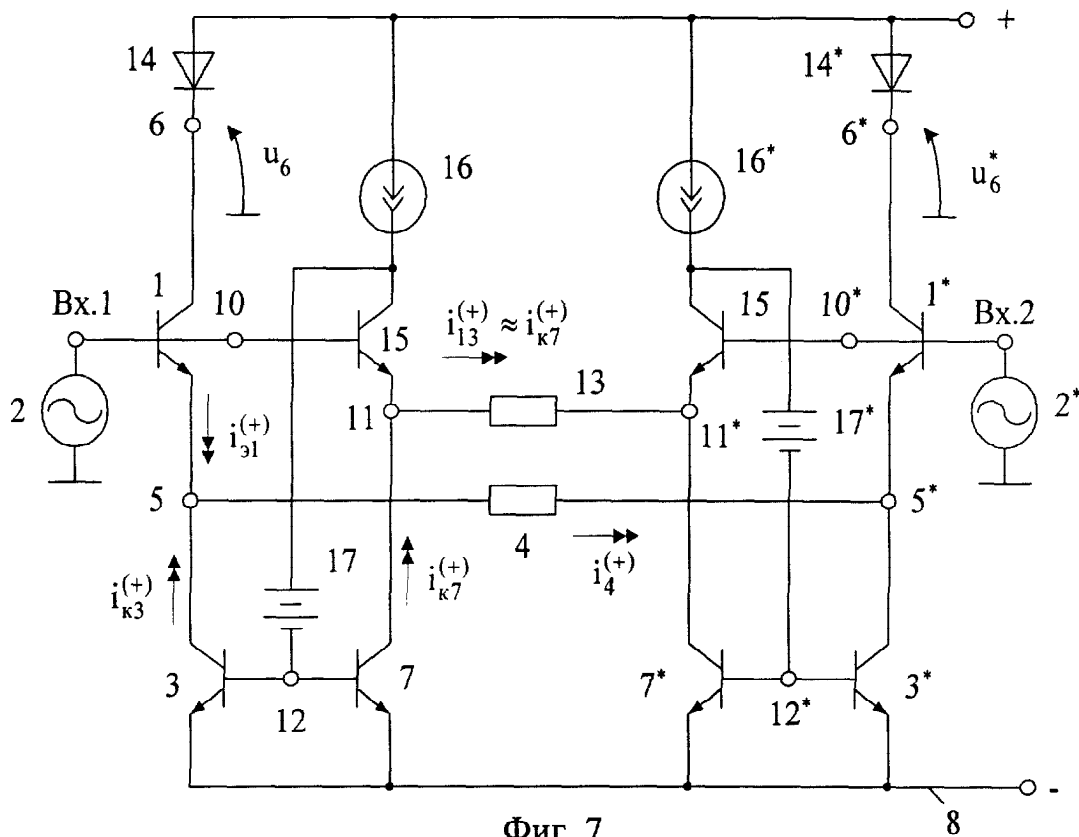
Фиг. 4



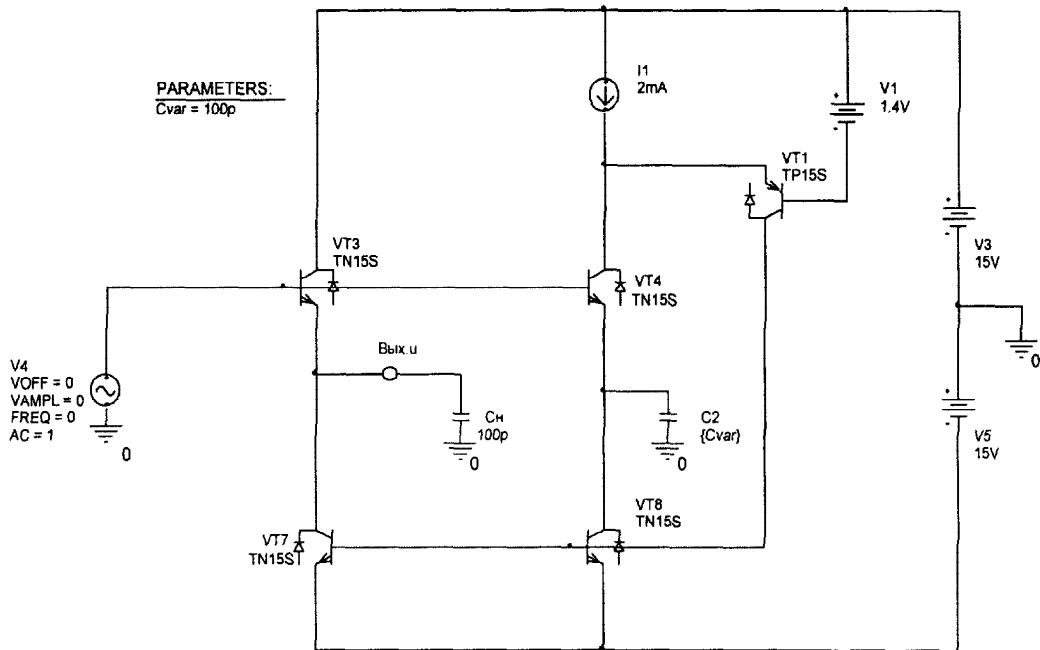
Фиг. 5



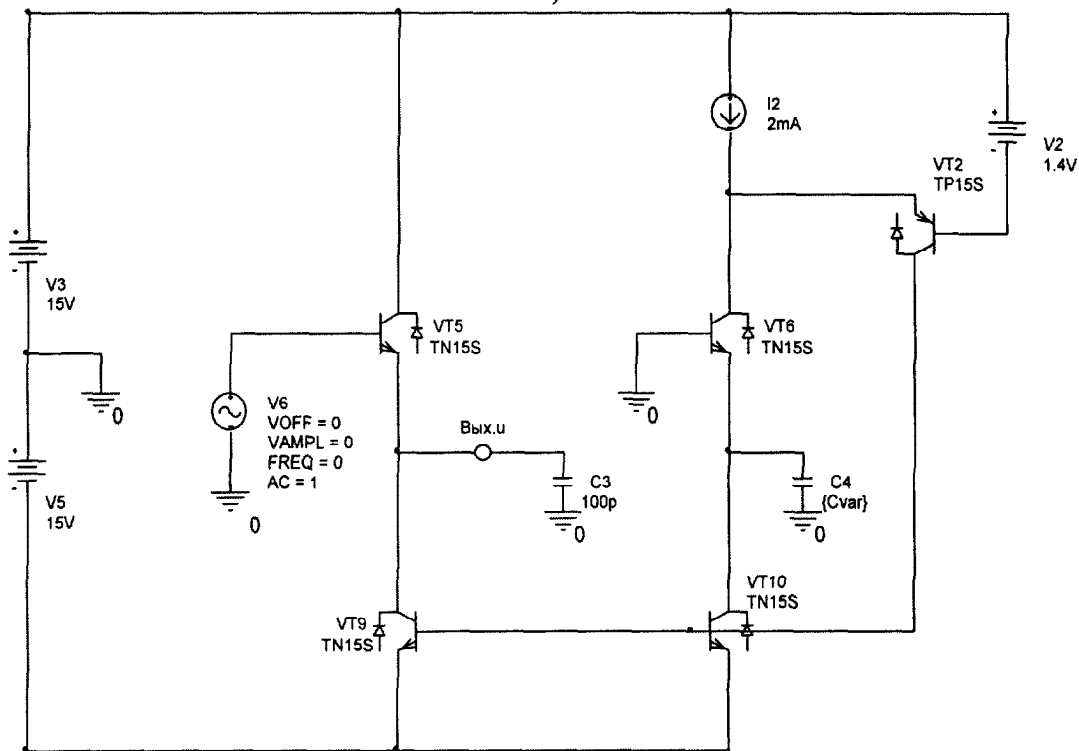
Фиг. 6



Фиг. 7

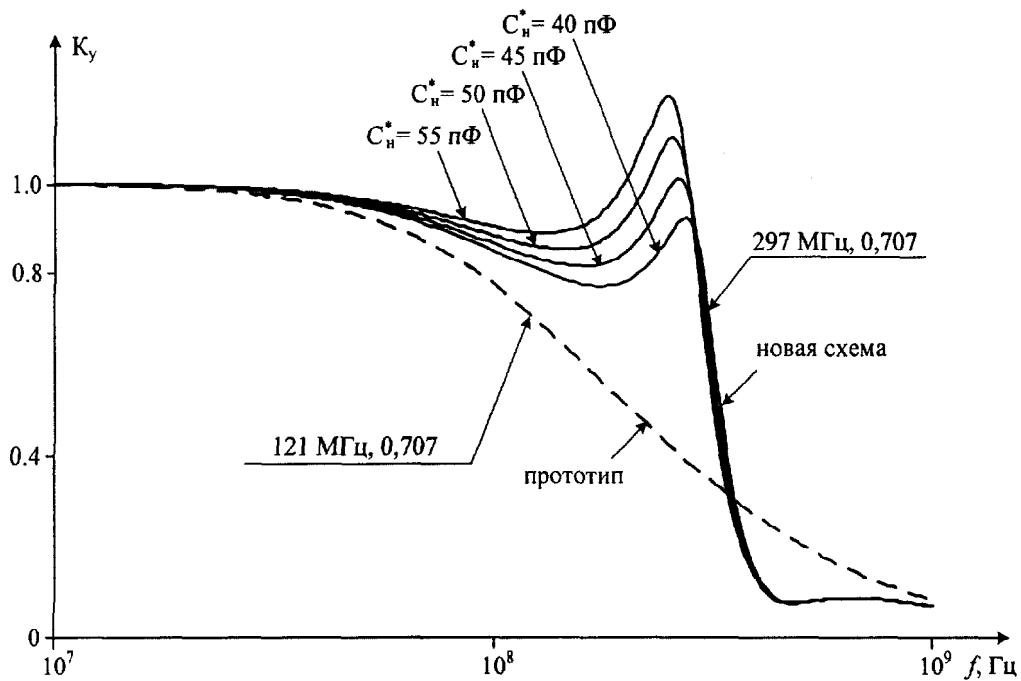


а)

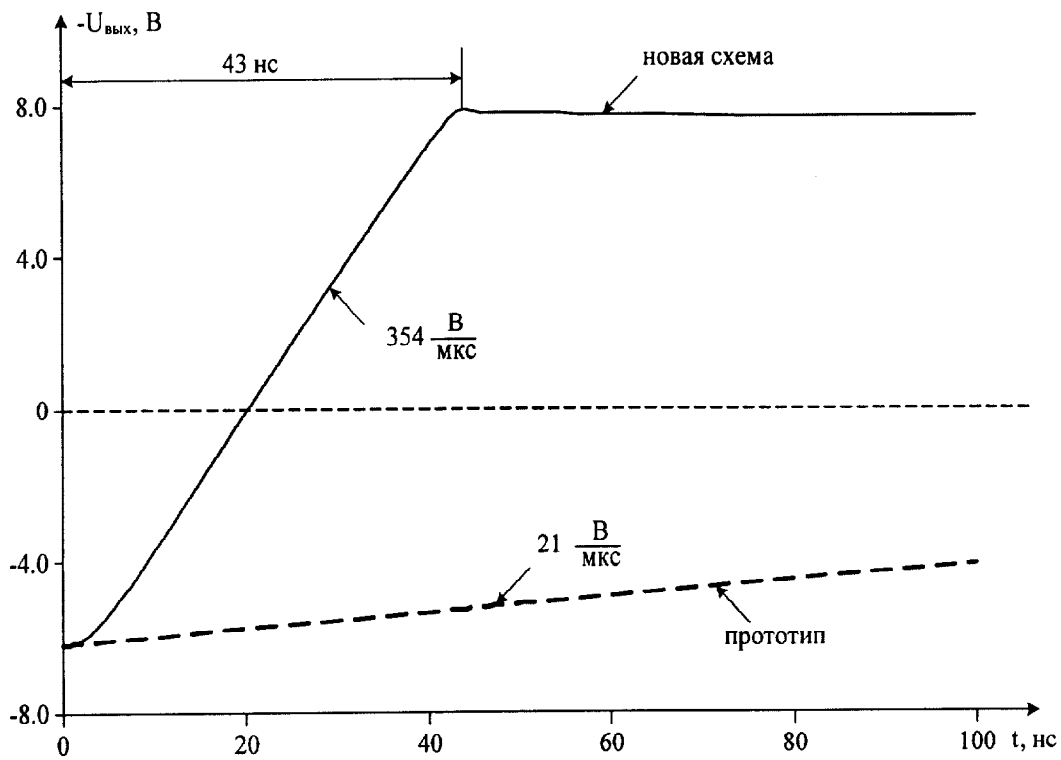


б)

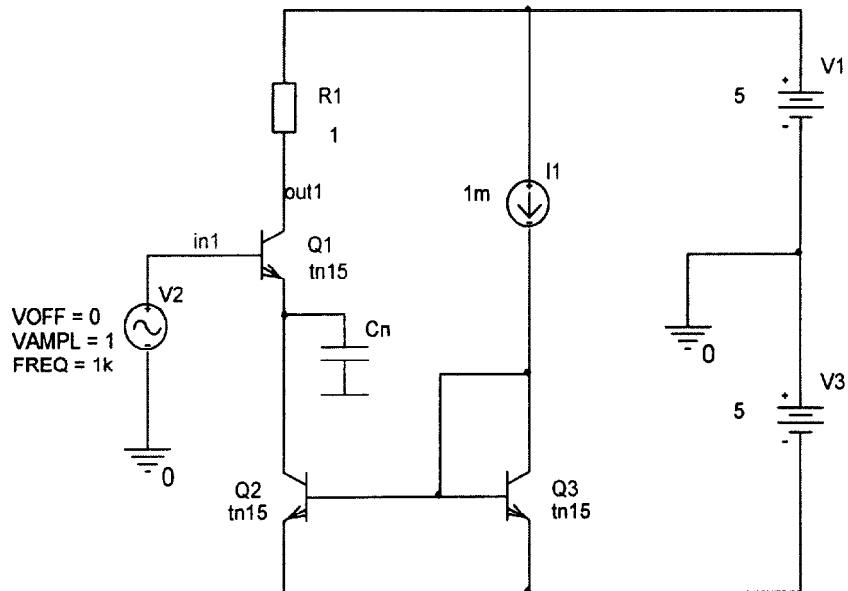
Фиг. 8



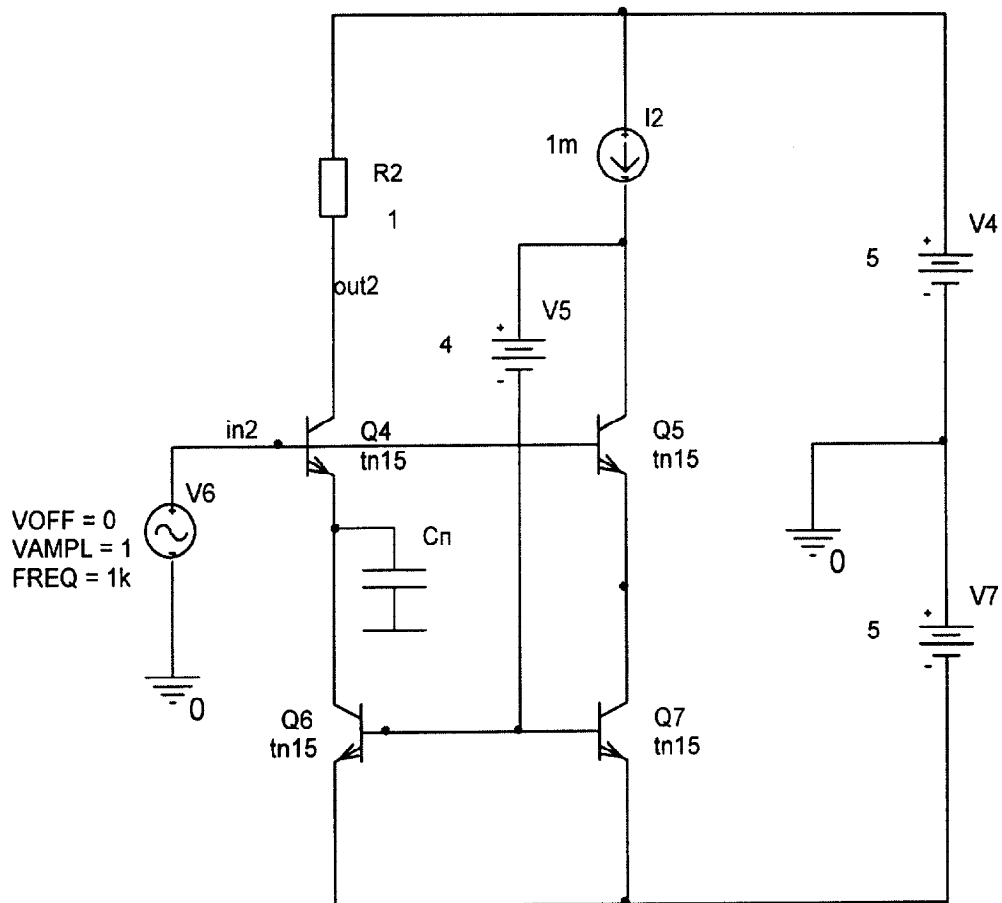
Фиг. 9



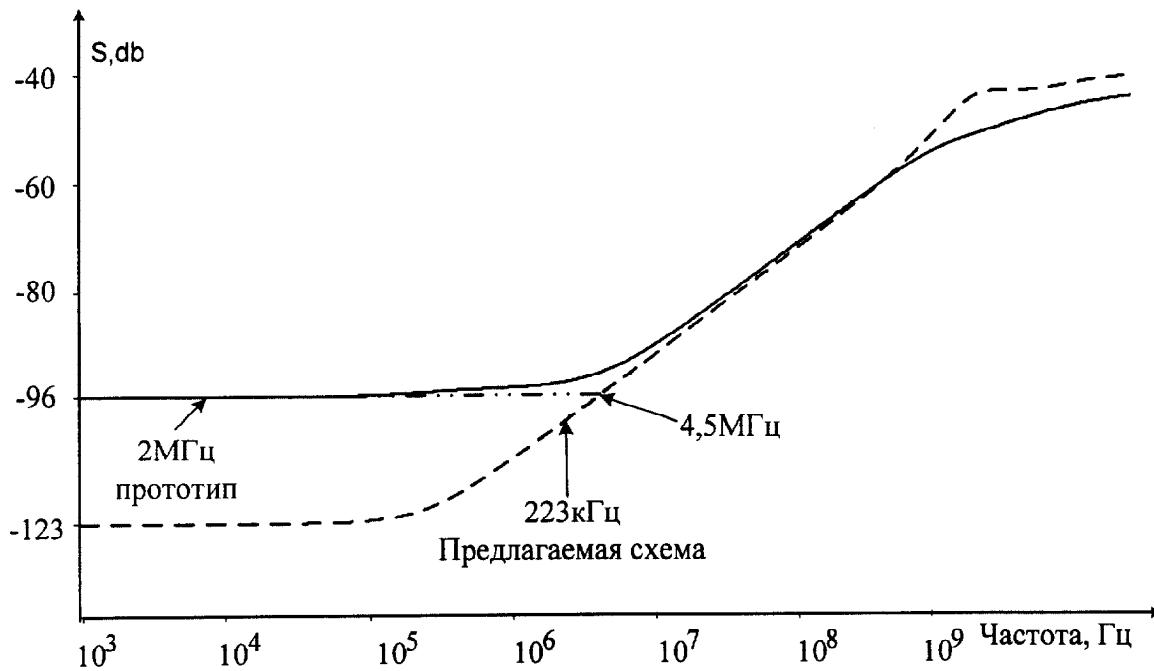
Фиг. 10



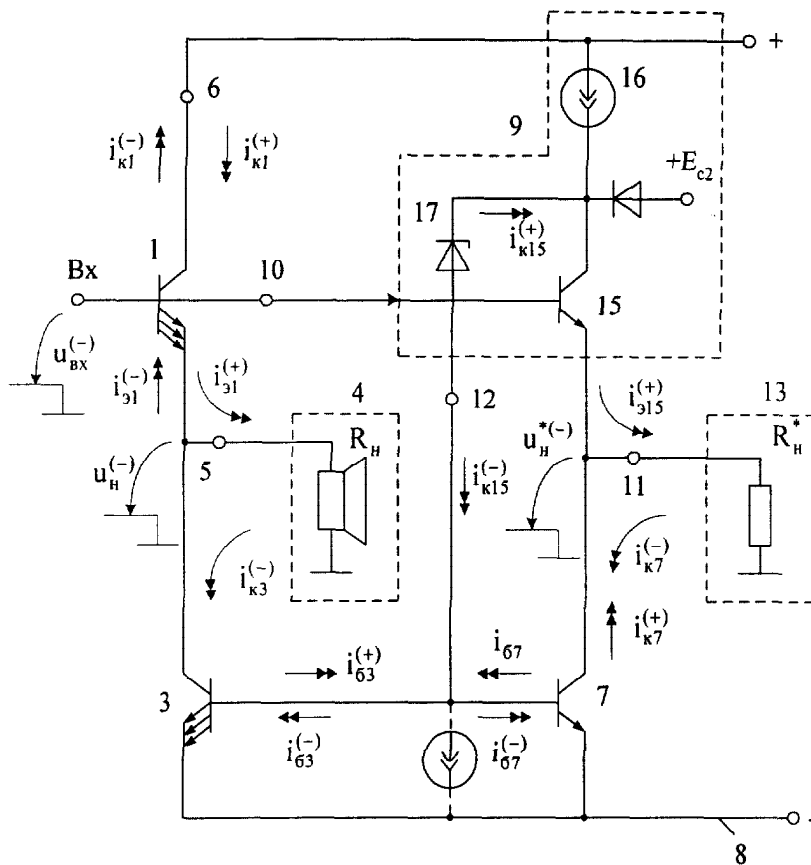
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14