



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H03H 11/1213 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2019105119, 25.02.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.02.2019

Дата регистрации:
21.08.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.02.2019

(45) Опубликовано: 21.08.2019 Бюл. № 24

Адрес для переписки:

344000, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, пл.
Гагарина, 1, ДГТУ, отдел интеллектуальной
собственности

(72) Автор(ы):

Денисенко Дарья Юрьевна (RU),
Бугакова Анна Витальевна (RU),
Свизев Григорий Альбертович (RU),
Прокопенко Николай Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Донской государственный
технический университет" (ДГТУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2419193 C1, 20.05.2011. RU
2413355 C1, 27.02.2011. US 2017/0141760 A1,
18.05.2017. US 2015/002221 A1, 01.01.2015. US
2007/296496 A1, 27.12.2007.

(54) АКТИВНЫЙ RC-ФИЛЬТР НИЖНИХ ЧАСТОТ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА НА БАЗЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ПАРАФАЗНЫМ ВЫХОДОМ

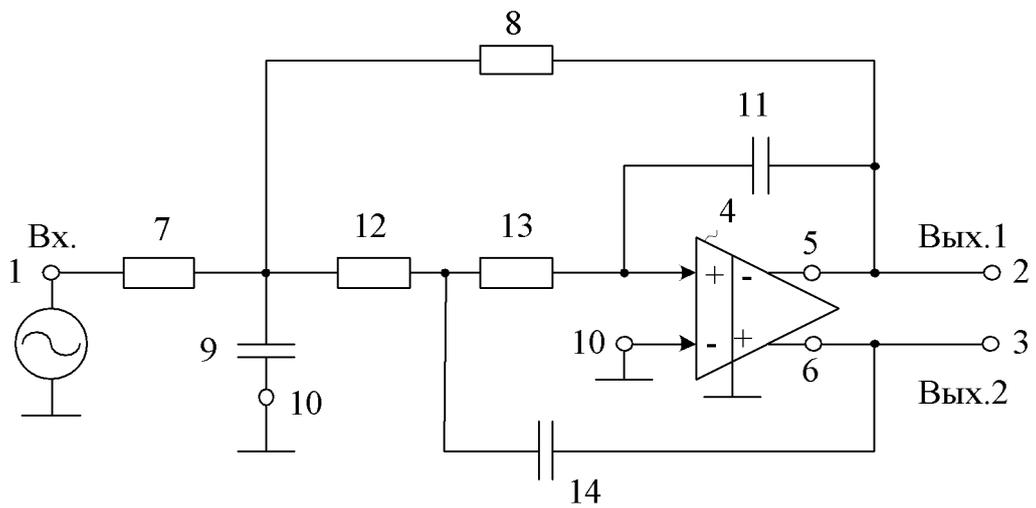
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано, например, в качестве ограничителей спектра, включаемых на входе аналого-цифровых преобразователей различного назначения. Технический результат заключается в увеличении гарантированного затухания амплитудно-частотной характеристики ФНЧ вне диапазона рабочих частот и уменьшении выходного сопротивления устройства. Активный RC-фильтр нижних частот третьего порядка на базе операционного усилителя с парафазным выходом содержит дифференциальный операционный усилитель (4) с инвертирующим (5) и неинвертирующим (6) противофазными выходами, резисторы, конденсаторы. Между общим узлом первого (7)

и второго (8) резисторов и неинвертирующим входом дифференциального операционного усилителя (4) включены последовательно соединенные третий (12) и четвертый (13) резисторы, общий узел которых связан с неинвертирующим выходом (6) дифференциального операционного усилителя (4) через третий (14) конденсатор, причем инвертирующий вход дифференциального операционного усилителя (4) связан с общей шиной источников питания (10), его инвертирующий выход (5) соединен с первым (2) выходом устройства, а его неинвертирующий выход (6) соединен со вторым (3) выходом устройства. 3 з.п. ф-лы, 6 ил.

RU 2 697 945 C1

RU 2 697 945 C1



Фиг. 2

RU 2697945 C1

RU 2697945 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H03H 11/1213 (2019.05)

(21)(22) Application: **2019105119, 25.02.2019**

(24) Effective date for property rights:
25.02.2019

Registration date:
21.08.2019

Priority:

(22) Date of filing: **25.02.2019**

(45) Date of publication: **21.08.2019** Bull. № 24

Mail address:

**344000, Rostovskaya obl., g. Rostov-na-Donu, pl.
Gagarina, 1, DGTU, otdel intellektualnoj
sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Denisenko Darya Yurevna (RU),
Bugakova Anna Vitalevna (RU),
Svizev Grigorij Albertovich (RU),
Prokopenko Nikolaj Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya Donskoj gosudarstvennyj
tehnicheskij universitet (DGTU) (RU)**

(54) **ACTIVE THIRD-ORDER ACTIVE LOW-PASS RC-FILTER BASED ON AN OPERATIONAL AMPLIFIER WITH A PARAPHRASE OUTPUT**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment and can be used, for example, as spectrum limiters connected at the input of analogue-to-digital converters for various purposes. Active third-order active low-pass RC filter based on an operational amplifier with a paraphrase output comprises a differential operational amplifier (4) with inverting (5) and non-inverting (6) antiphased outputs, resistors, capacitors. Between common node of first (7) and second (8) resistors and non-inverting input of differential operational amplifier (4) there connected in series are third (12) and fourth (13) resistors, common

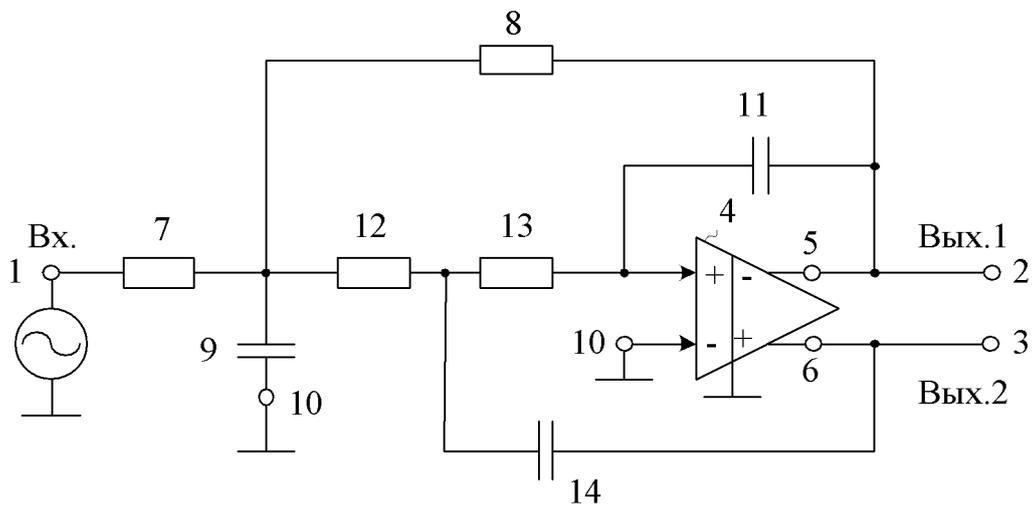
node of which is connected to non-inverting output (6) of differential operational amplifier (4) through third (14) capacitor, wherein inverting input of differential operational amplifier (4) is connected to common bus of power sources (10), its inverting output (5) is connected to first (2) output of device, and its non-inverting output (6) is connected to second (3) output of device.

EFFECT: technical result consists in increase in the guaranteed frequency-domain characteristic attenuation of LPF outside the operating frequencies range and reduction of output resistance of the device.

4 cl, 6 dwg

RU 2 697 945 C1

RU 2 697 945 C1



Фиг. 2

RU 2697945 C1

RU 2697945 C1

Изобретение относится к области радиотехники, а также измерительной техники, и может использоваться, например, в качестве ограничителей спектра, включаемых на входе аналого-цифровых преобразователей различного назначения.

Активные RC-фильтры нижних частот (ФНЧ) широко используются в современной электронике [1-24] и оказывают существенное влияние на качественные показатели многих аналого-цифровых систем связи и автоматического управления [4-7]. При этом для АЦП с дифференциальным входом необходимы антиэлайзинговые RC-фильтры с дифференциальным выходом [25-39].

Ближайшим прототипом заявляемого устройства является схема ФНЧ, опубликованная в [Analog Devices: AD8132. Low Cost, High Speed Differential Amplifier. p. 27, fig. 77. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8132.pdf>]. Она содержит вход 1 устройства, первый 2 и второй 3 противофазные выходы устройства, дифференциальный операционный усилитель 4 с инвертирующим 5 и неинвертирующим 6 противофазными выходами, первый 7 и второй 8 резисторы, включенные последовательно друг с другом между входом 1 устройства и инвертирующим выходом 5 дифференциального операционного усилителя 4, первый 9 конденсатор, включенный между общим узлом первого 7 и второго 8 последовательно включенных резисторов и общей шиной источников питания 10, второй 11 конденсатор, включенный между инвертирующим выходом 5 дифференциального операционного усилителя 4 и его неинвертирующим входом, третий 12 и четвертый 13 резисторы, а также третий 14 конденсатор.

Существенный недостаток известного устройства фиг. 1 состоит в том, что при его применении, например, как ограничителя спектра на входе АЦП, не обеспечивается высокое ослабление паразитных сигналов за пределами рабочего диапазона частот.

Основная задача предполагаемого изобретения состоит в увеличении гарантированного затухания амплитудно-частотной характеристики ФНЧ вне диапазона рабочих частот.

Первая дополнительная задача – уменьшение выходного сопротивления устройства, что облегчает согласование ФНЧ при подключении к нему следующих каскадов фильтрации и обработки сигналов, например, входов АЦП.

Вторая дополнительная задача – создание условий для установления заданных значений выходных статических напряжений устройства.

Поставленные задачи достигаются тем, что в активном RC-фильтре фиг. 1, содержащем вход 1 устройства, первый 2 и второй 3 противофазные выходы устройства, дифференциальный операционный усилитель 4 с инвертирующим 5 и неинвертирующим 6 противофазными выходами, первый 7 и второй 8 резисторы, включенные последовательно друг с другом между входом 1 устройства и инвертирующим выходом 5 дифференциального операционного усилителя 4, первый 9 конденсатор, включенный между общим узлом первого 7 и второго 8 последовательно включенных резисторов и общей шиной источников питания 10, второй 11 конденсатор, включенный между инвертирующим выходом 5 дифференциального операционного усилителя 4 и его неинвертирующим входом, третий 12 и четвертый 13 резисторы, а также третий 14 конденсатор, предусмотрены новые элементы и связи – между общим узлом первого 7 и второго 8 резисторов и неинвертирующим входом дифференциального операционного усилителя 4 включены последовательно соединенные третий 12 и четвертый 13 резисторы, общий узел которых связан с неинвертирующим выходом 6 дифференциального операционного усилителя 4 через третий 14 конденсатор, причем инвертирующий вход дифференциального операционного усилителя 4 связан с общей

шиной источников питания 10, его инвертирующий выход 5 соединен с первым 2 выходом устройства, а его неинвертирующий выход 6 соединен со вторым 3 выходом устройства.

На чертеже фиг. 1 показана схема фильтра-прототипа, а на чертеже фиг. 2 – схема заявляемого активного RC-фильтра нижних частот третьего порядка в соответствии с п. 1 формулы изобретения.

На чертеже фиг. 3 приведена схема заявляемого активного RC-фильтра по п. 2 формулы изобретения, а на чертеже фиг. 4 - в соответствии с п. 3 формулы изобретения.

На чертеже фиг. 5 представлена схема заявляемого фильтра в соответствии с п. 4 формулы изобретения.

На чертеже фиг. 6 показаны амплитудно-частотные характеристики заявляемой схемы ФНЧ фиг. 2, полученные в результате схемотехнического моделирования схемы фиг. 2 с реальным операционным усилителем AD8132 (график «1») и в результате расчетов по формуле (1) – график «2».

Активный RC-фильтр нижних частот третьего порядка на базе операционного усилителя с парафазным выходом фиг. 2 содержит вход 1 устройства, первый 2 и второй 3 противофазные выходы устройства, дифференциальный операционный усилитель 4 с инвертирующим 5 и неинвертирующим 6 противофазными выходами, первый 7 и второй 8 резисторы, включенные последовательно друг с другом между входом 1 устройства и инвертирующим выходом 5 дифференциального операционного усилителя 4, первый 9 конденсатор, включенный между общим узлом первого 7 и второго 8 последовательно включенных резисторов и общей шиной источников питания 10, второй 11 конденсатор, включенный между инвертирующим выходом 5 дифференциального операционного усилителя 4 и его неинвертирующим входом, третий 12 и четвертый 13 резисторы, а также третий 14 конденсатор. Между общим узлом первого 7 и второго 8 резисторов и неинвертирующим входом дифференциального операционного усилителя 4 включены последовательно соединенные третий 12 и четвертый 13 резисторы, общий узел которых связан с неинвертирующим выходом 6 дифференциального операционного усилителя 4 через третий 14 конденсатор, причем инвертирующий вход дифференциального операционного усилителя 4 связан с общей шиной источников питания 10, его инвертирующий выход 5 соединен с первым 2 выходом устройства, а его неинвертирующий выход 6 соединен со вторым 3 выходом устройства.

На чертеже фиг. 3, в соответствии с п. 2 формулы изобретения, в качестве дифференциального операционного усилителя 4 используется мультидифференциальный операционный усилитель 16, содержащий первый и второй входные дифференциальные порты, причем неинвертирующий 17 и инвертирующий 18 входы первого порта соответствуют неинвертирующему и инвертирующему входам дифференциального операционного усилителя 4, а неинвертирующий 19 и инвертирующий 20 входы второго порта связаны с дополнительной цепью установления заданного статического режима устройства 21.

На чертеже фиг. 4, в соответствии с п. 3 формулы изобретения, дополнительная цепь установления заданного статического режима устройства 21 выполнена на основе первого 22 и второго 23 вспомогательных резисторов, причем первый 22 вспомогательный резистор включен между неинвертирующим входом 19 второго порта мультидифференциального операционного усилителя 16 и общей шиной источников питания 10, а второй 23 вспомогательный резистор включен между инвертирующим входом 20 второго порта мультидифференциального операционного усилителя 16 и

общей шиной источников питания 10.

На чертеже фиг. 5, в соответствии с п. 4 формулы изобретения, дополнительная цепь установления заданного статического режима устройства 21 содержит третий 24 и четвертый 25 вспомогательные резисторы, включенные последовательно друг с другом между неинвертирующим 19 и инвертирующим 20 входами второго порта мультидифференциального операционного усилителя 16, причем общий узел третьего 24 и четвертого 25 вспомогательных резисторов связан дополнительным источником напряжения 26.

Рассмотрим работу заявляемого устройства фиг. 2.

Передаточная функция схемы ФНЧ 3-го порядка в общем виде описывается выражением

$$F(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = M \frac{a_0}{p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}, \quad (1)$$

где M – коэффициент передачи фильтра на нулевой частоте, $a_2 \dots a_0$ – коэффициенты передаточной функции, зависящие от топологии схемы и параметров её элементов.

Коэффициенты передаточной функции (1) заявляемой схемы ФНЧ фиг. 2 определяются выражениями

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{R_8}{R_7}, \\ a_2 &= \frac{1}{R_8 C_9} + \frac{1}{R_{12} C_{14}} + \frac{1}{R_7 C_9} + \frac{1}{R_{13} C_{14}} + \frac{1}{R_{12} C_9} - \frac{1}{R_{13} C_{11}}, \\ a_1 &= \frac{1}{R_{12} R_8 C_9 C_{12}} + \frac{1}{R_8 R_{13} C_9 C_{14}} + \frac{1}{R_7 R_{12} C_9 C_{14}} + \frac{1}{R_7 R_{13} C_9 C_{14}} + \\ &+ \frac{1}{R_{12} R_{13} C_9 C_{14}} - \frac{1}{R_7 R_{13} C_9 C_{11}} - \frac{1}{R_{13} R_8 C_9 C_{11}} - \frac{1}{R_{12} R_{13} C_9 C_{11}}, \\ a_0 &= \frac{1}{R_{12} R_{13} R_8 C_9 C_{14} C_{11}}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где R_7, R_8, R_{12}, R_{13} – сопротивления первого 7, второго 8, третьего 12 и четвертого 13 резисторов соответственно, C_9, C_{11}, C_{14} – емкости первого 9, второго 11 и третьего 14 конденсаторов соответственно.

Для сравнения на чертеже фиг. 6 представлены две АЧХ, одна из которых (обозначена “1”) получена в результате схемотехнического моделирования предлагаемой схемы ФНЧ фиг. 2, а вторая (теоретическая), рассчитанная по формуле (1) – (обозначена “2”).

Расхождение в области высоких частот АЧХ, полученной в результате моделирования ФНЧ фиг. 2 (график 1) от АЧХ, полученной расчетным путем (график 2), связано с влиянием частотных свойств ОУ, которое не учитывалось при определении коэффициентов (2), входящих в передаточную функцию (1).

Применение в схеме фиг. 3 мультидифференциального операционного усилителя 16, в соответствии с п. 2 формулы изобретения, позволяет обеспечить регулировку (например, с помощью микросхем цифровых потенциометров) постоянных составляющих на выходах 2 и 3, обусловленных неидеальностью ОУ, наличием у него напряжения смещения нуля и конечных значений входных токов. В итоге это позволяет получить более широкий динамический диапазон изменения выходных сигналов

заявляемого устройства. Частные варианты построения дополнительной цепи установления заданного статического режима 21 показаны на чертежах фиг. 4 и фиг. 5.

В предлагаемой схеме ФНЧ фиг. 2 обеспечивается уменьшение выходного сопротивления. По сравнению с прототипом данный эффект достигается за счет того, что выходом ФНЧ являются низкоомные выходы ОУ. Это облегчает согласование ФНЧ при подключении к нему следующих каскадов фильтрации и обработки сигналов, например, входов АЦП.

Таким образом, заявляемое устройство характеризуется более высокими значениями обобщенных показателей качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент US 6.583.662 fig. 8с, 2003г.
2. THS413x High-Speed, Low-Noise, Fully-Differential I/O Amplifiers. SLOS318I –MAY 2000–REVISED AUGUST 2015. p. 20, fig. 41. URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/th4130.pdf>
3. Analog Devces: AD8132. Low Cost, High Speed Differential Amplifier. p. 27, fig. 77. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8132.pdf>
4. Выбор параметров аналоговых ограничителей спектра для цифровых систем обработки сигналов с учетом допусков и температурной нестабильности пассивных компонентов / Денисенко Д.Ю., Иванов Ю.И., Прокопенко Н.Н. // Радиотехника. – 2017. - № 1. – С.148-153
5. Estimation to Efficiency of the Using of Anti-Alias Filter in the A/D Interface of Instrumentation and Control Systems / L.K. Samoylov, N.N. Prokopenko, A.V. Bugakova // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14 - 17, 2018, pp. 422-425
6. Selection of the Band-Pass Range of the Normalizing Signal Transducer of the Sensing Element in the Instrumentation and Control Systems / L.K. Samoylov, N.N. Prokopenko, A.V. Bugakova // 2018 14th IEEE International Conference on Solid-State and Intergated Circuit Technology (ICSICT'2018). Proceedings. Oct.31-Nov.3, 2018, Qingdao, China
7. The Function Approximation of the Signal Delay Time in the Anti-Alias Filter of the A/D Interface of the Instrumentation and Control System / L.K. Samoylov, D.Yu.Denisenko, N.N. Prokopenko // 2018 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EEExPolytech-2018), October 22-23, 2018, Saint Petersburg, Russia
8. Справочник по расчету и проектированию ARC-схем / Букашкин С.А., Власов В.П., Змий Б.Ф. и др.; Под. ред. А.А. Ланнэ. – М.: радио и связь, 1984. – 368 с.
9. Патент US 5.371.472, 1994 г.
10. Патент US 3.787.776, 1974 г.
11. Патентная заявка US 2007/0296496, 2007 г.
12. Патент RU 2370881, 2009 г.
13. Патент RU 2370882, 2009 г.
14. Патент RU 2370880, 2009 г.
15. Патент US 3.736.517, 1973 г.
16. Патент US 6.407.627, 2002 г.
17. Патент SU 1187241, 1985 г.
18. Патент US 6.344.773, 2002 г.
19. Патент US 6.710.644, 2004 г.
20. Патент SU 1777233, 1990 г.
21. Патент RU 2019023, 1994 г.
22. Патент SU 1202032, 1985 г.

23. Патент SU 1758823, 1990 г.
 24. Патент RU 2249910, 2005 г.
 25. Патент US 6.583.662, fig. 8с, 2003 г.
 26. Патент US 6.369.647, fig. 9, 2002 г.
 5 27. Патент US 6.344.773, fig. 5, 2002 г.
 28. Патентная заявка US 2011/0170628, fig. 9, 2011 г.
 29. Патентная заявка US 2009/0134954, 2009 г.
 30. Патент US 5.418.492, fig. 1, 1995 г.
 31. Патентная заявка US 2011/0170628, fig. 18, 2011 г.
 10 32. Патентная заявка US 2012/0212288, fig. 11, 2012 г.
 33. Патентная заявка US 2006/0255997, fig. 9b, 2006 г.
 34. Патент US 9.294.048, fig.2, 2016 г.
 35. Патент US 9.647.639, fig. 7, 2017 г.
 36. Патент US 6.246.268, fig. 1, 2001 г.
 15 37. Патент US 5.699.016, fig. 2, 1997 г.
 38. Патент RU 376701, 1973 г.
 39. Патент US 5.699.016, 1997 г.

(57) Формула изобретения

20 1. Активный RC-фильтр нижних частот третьего порядка на базе операционного усилителя с парафазным выходом, содержащий вход (1) устройства, первый (2) и второй (3) противофазные выходы устройства, дифференциальный операционный усилитель (4) с инвертирующим (5) и неинвертирующим (6) противофазными выходами, первый (7) и второй (8) резисторы, включенные последовательно друг с другом между входом (1) устройства и инвертирующим выходом (5) дифференциального операционного усилителя (4), первый (9) конденсатор, включенный между общим узлом первого (7) и второго (8) последовательно включенных резисторов и общей шиной источников питания (10), второй (11) конденсатор, включенный между инвертирующим выходом (5) дифференциального операционного усилителя (4) и его неинвертирующим входом, 25 третий (12) и четвертый (13) резисторы, а также третий (14) конденсатор, отличающийся тем, что между общим узлом первого (7) и второго (8) резисторов и неинвертирующим входом дифференциального операционного усилителя (4) включены последовательно соединенные третий (12) и четвертый (13) резисторы, общий узел которых связан с неинвертирующим выходом (6) дифференциального операционного усилителя (4) через 30 третий (14) конденсатор, причем инвертирующий вход дифференциального операционного усилителя (4) связан с общей шиной источников питания (10), его инвертирующий выход (5) соединен с первым (2) выходом устройства, а его неинвертирующий выход (6) соединен со вторым (3) выходом устройства.

40 2. Активный RC-фильтр нижних частот третьего порядка на базе операционного усилителя с парафазным выходом по п.1, отличающийся тем, что в качестве дифференциального операционного усилителя (4) используется мультидифференциальный операционный усилитель (16), содержащий первый и второй входные дифференциальные порты, причем неинвертирующий (17) и инвертирующий (18) входы первого порта соответствуют неинвертирующему и инвертирующему входам 45 дифференциального операционного усилителя (4), а неинвертирующий (19) и инвертирующий (20) входы второго порта связаны с дополнительной цепью установления заданного статического режима устройства (21).

3. Активный RC-фильтр нижних частот третьего порядка на базе операционного

усилителя с парафазным выходом по п.2, отличающийся тем, что дополнительная цепь
установления заданного статического режима устройства (21) выполнена на основе
первого (22) и второго (23) вспомогательных резисторов, причем первый (22)
вспомогательный резистор включен между неинвертирующим входом (19) второго
5 порта мультидифференциального операционного усилителя (16) и общей шиной
источников питания (10), а второй (23) вспомогательный резистор включен между
инвертирующим входом (20) второго порта мультидифференциального операционного
усилителя (16) и общей шиной источников питания (10).

4. Активный RC-фильтр нижних частот третьего порядка на базе операционного
10 усилителя с парафазным выходом по п.3, отличающийся тем, что дополнительная цепь
установления заданного статического режима устройства (21) содержит третий (24) и
четвертый (25) вспомогательные резисторы, включенные последовательно друг с другом
между неинвертирующим (19) и инвертирующим (20) входами второго порта
мультидифференциального операционного усилителя (16), причем общий узел третьего
15 (24) и четвертого (25) вспомогательных резисторов связан дополнительным источником
напряжения (26).

20

25

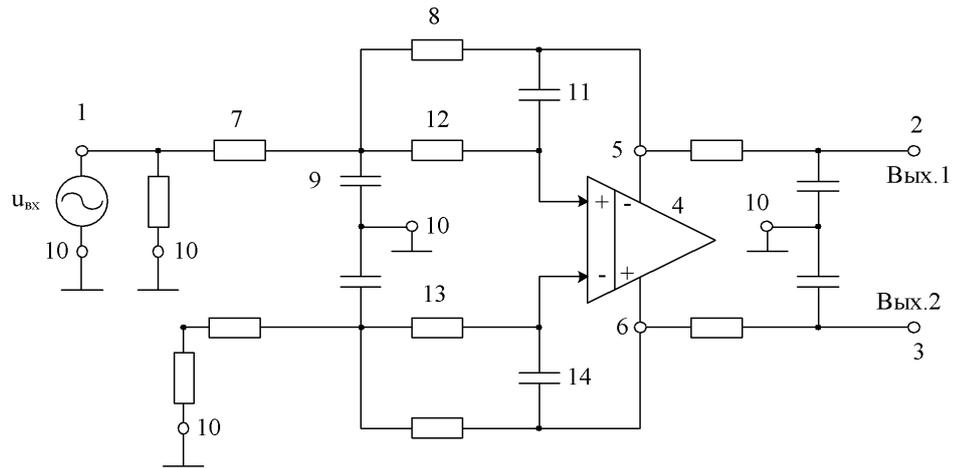
30

35

40

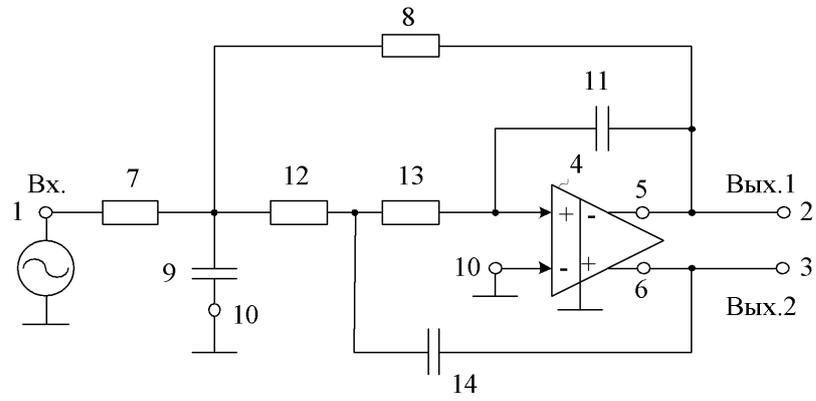
45

1

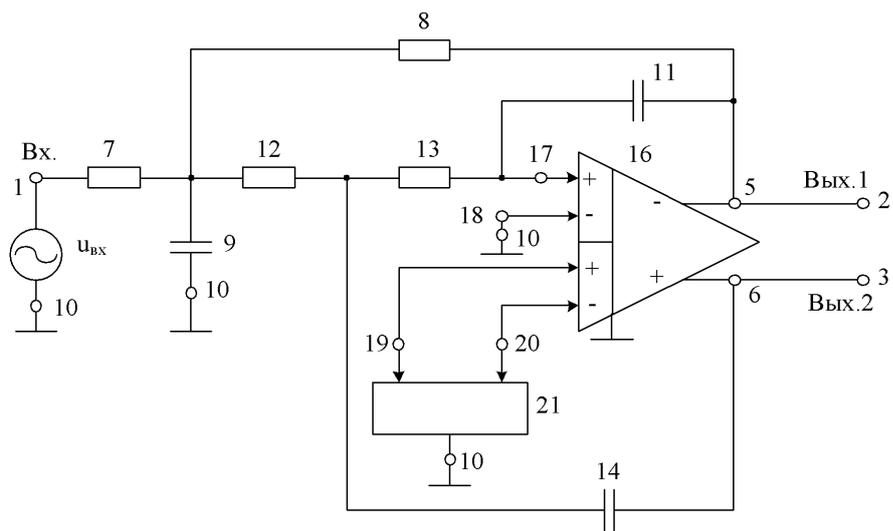


Фиг. 1

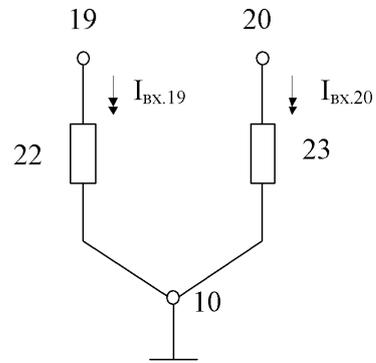
2



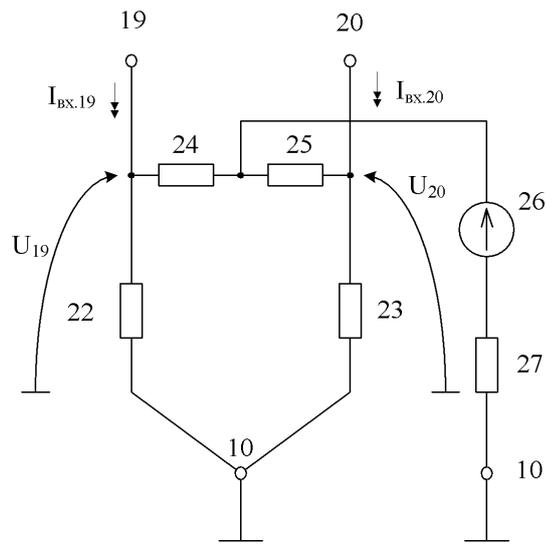
Фиг. 2



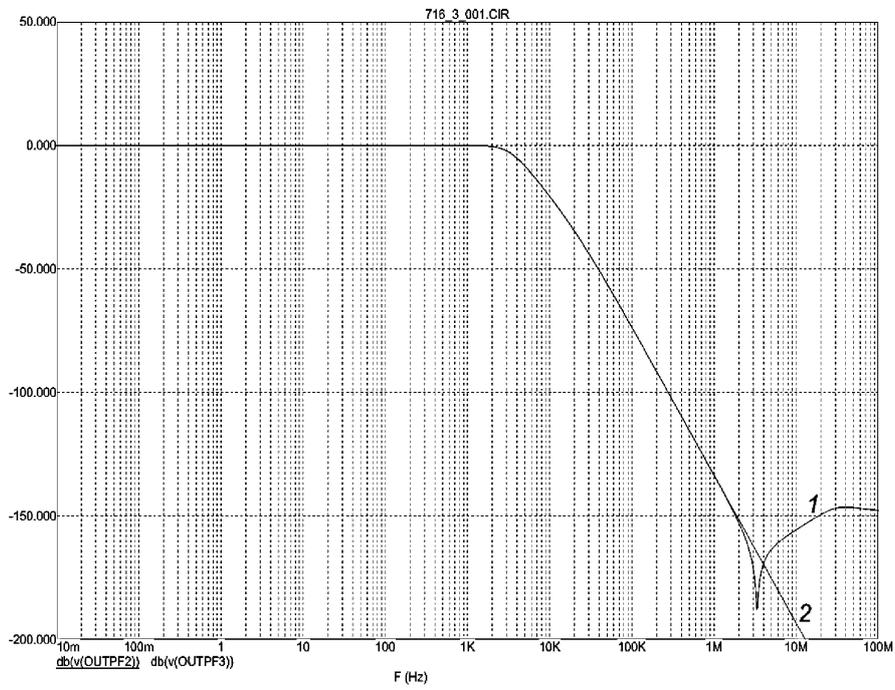
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6