



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015153374, 11.12.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.12.2015

Дата регистрации:
21.06.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.12.2015

(43) Дата публикации заявки: 16.06.2017 Бюл. № 17

(45) Опубликовано: 21.06.2017 Бюл. № 18

Адрес для переписки:

346500, Ростовская обл., г. Шахты, ул. Шевченко,
147, Научно-инновационный отдел ИСОиП

(72) Автор(ы):

Прокопенко Николай Николаевич (RU),
Сапогин Владимир Георгиевич (RU),
Бугакова Анна Витальевна (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: US 6833603 B1, 21.12.2004. RU
116269 U1, 20.05.2012. RU 2566954 C1,
27.10.2015. RU 2357356 C1, 27.05.2009. US
6936764 B2, 30.08.2005.

(54) ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ

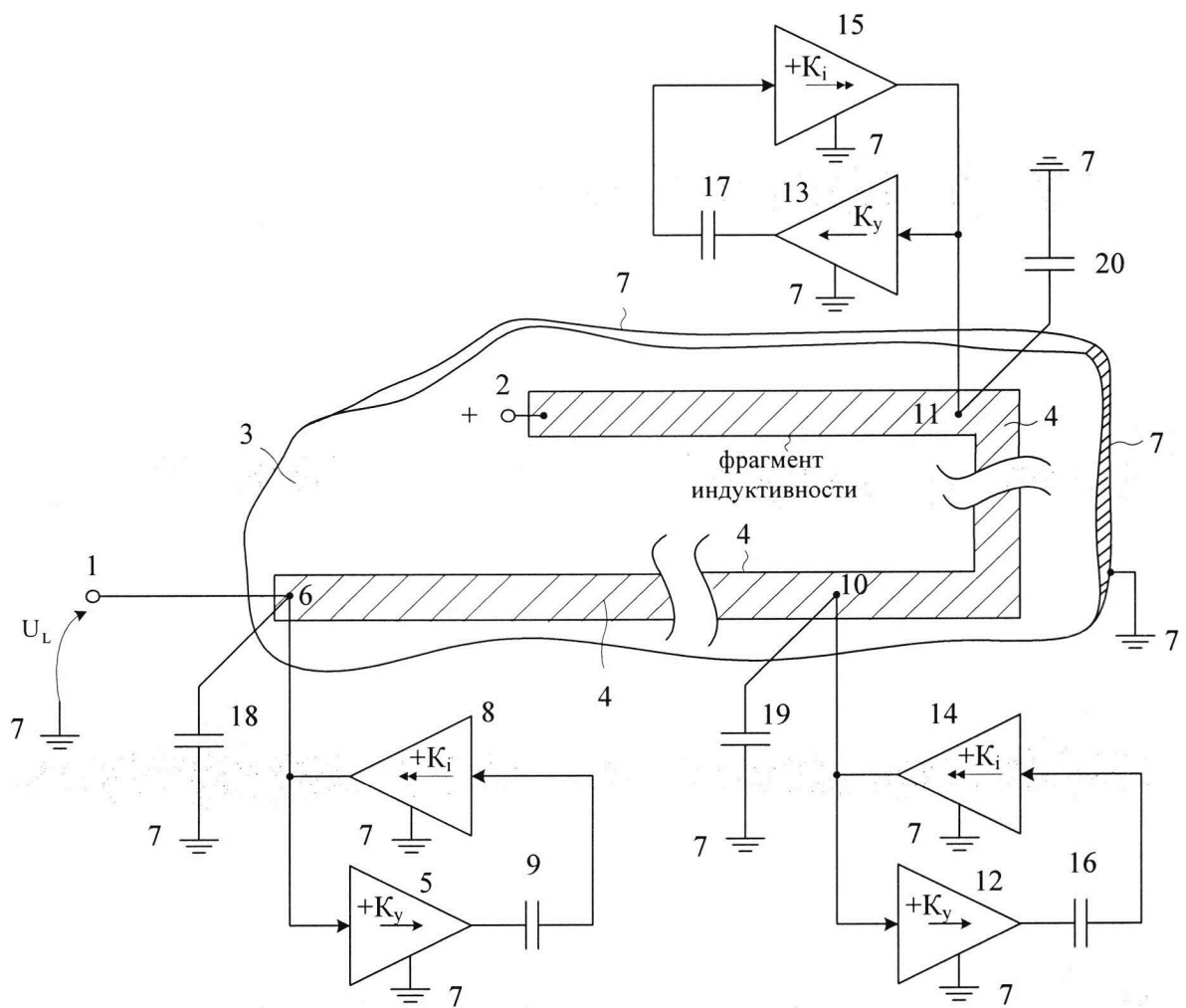
(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано в СВЧ устройствах усиления и преобразования аналоговых сигналов, в структуре интегральных микросхем различного функционального назначения. Технический результат - расширение диапазона рабочих частот планарной индуктивности без применения в ее конструкции проводящего лепесткового экрана, что существенно упрощает конструкцию планарной индуктивности, т.к. при этом уменьшается число напыляемых проводящих слоев. Достигается тем, что планарная индуктивность содержит первый (1) сигнальный и второй (2) общий выводы, которые соединены по поверхности подложки (3) металлической пленкой (4), образующей витки

планарной индуктивности. Дополнительно содержит первый (5) неинвертирующий повторитель напряжения, вход которого соединен с первым (6) участком металлической пленки (4), связанным с первым (1) сигнальным выводом, общий металлический слой (7), на котором размещена подложка (3). В схему введен первый (8) неинвертирующий повторитель тока с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, выход которого соединен с первым (6) участком металлической пленки (4), связанным с первым (1) сигнальным выводом, а вход через первый (9) корректирующий конденсатор подключен к выходу первого (5) неинвертирующего повторителя напряжения. 2 з.п. ф-лы, 9 ил.

RU 2 622 894 C2

RU 2 622 894 C2



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

H01L 29/96 (2006.01)*H01F 10/00* (2006.01)*H05K 1/16* (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2015153374**, 11.12.2015(24) Effective date for property rights:
11.12.2015Registration date:
21.06.2017

Priority:

(22) Date of filing: **11.12.2015**(43) Application published: **16.06.2017** Bull. № 17(45) Date of publication: **21.06.2017** Bull. № 18

Mail address:

**346500, Rostovskaya obl., g. Shakhty, ul.
Shevchenko, 147, Nauchno-innovatsionnyj otdel
ISOiP**

(72) Inventor(s):

**Prokopenko Nikolaj Nikolaevich (RU),
Sapogin Vladimir Georgievich (RU),
Bugakova Anna Vitalevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Donskoj gosudarstvennyj
tehnicheskij universitet" (DGTU) (RU)**(54) **PLANAR INDUCTANCE WITH EXTENDED FREQUENCY RANGE**

(57) Abstract:

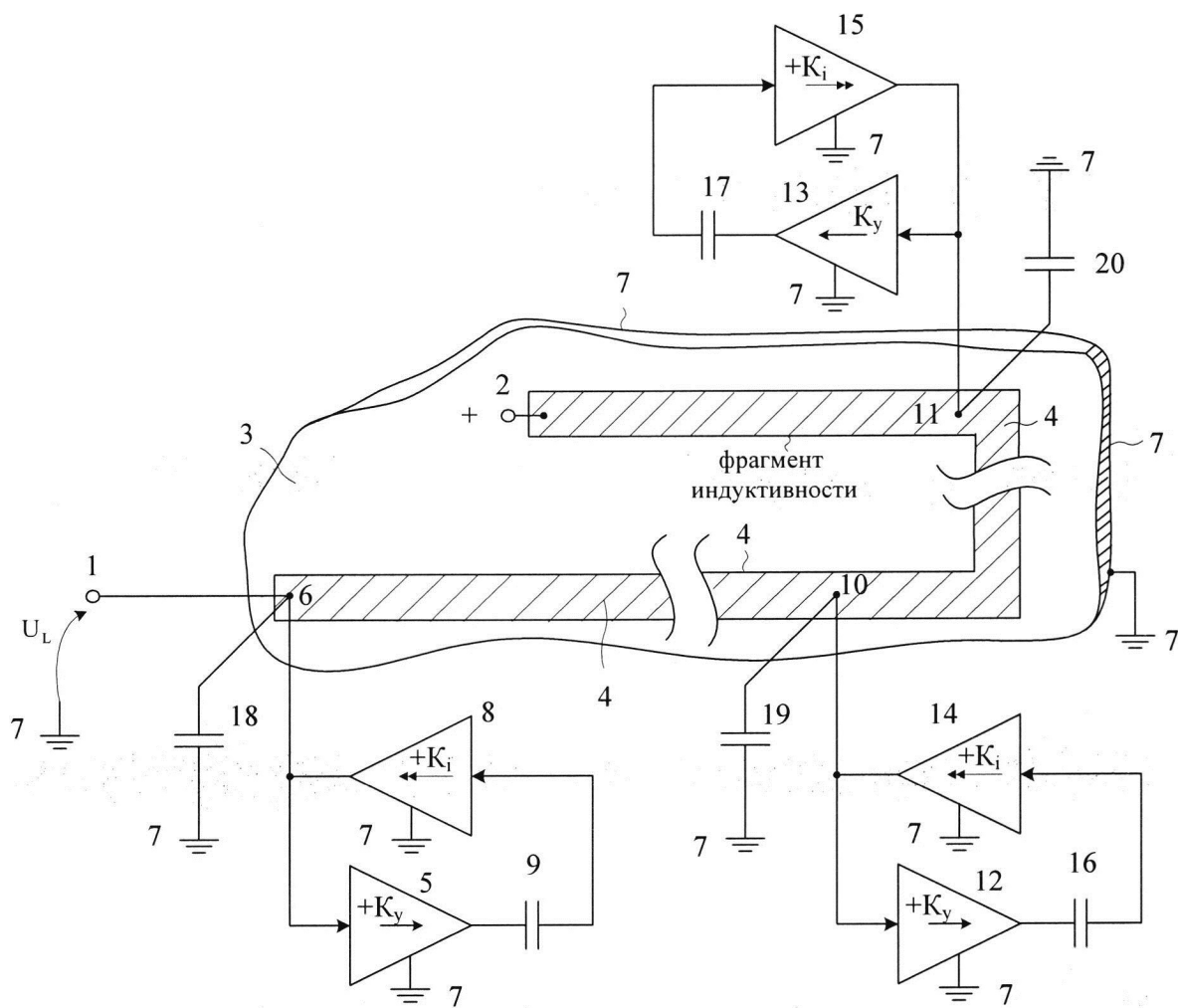
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: planar inductance contains the first (1) signal and the second (2) common terminals that are connected along the surface of the substrate (3) by a metal film (4) forming coils of planar inductance. Additionally, there is the first (5) non-inverting voltage follower, the input of which is connected to the first (6) portion of the metal film (4) connected to the first (1) signal terminal, the common metal layer (7), on which the substrate (3) is located. The first (8) non-inverting current follower with a low input and a high output resistance is introduced into the circuit, the output of

which is connected to the first (6) section of the metal film (4) connected to the first (1) signal terminal, and the input through the first (9) correcting capacitor is connected to the output of the first (5) non-inverting voltage follower.

EFFECT: expanding the working frequency range of the planar inductance without using a conductive tab screen in its design, which greatly simplifies the design of the planar inductance, the number of deposited conductive layers decreases.

3 cl, 9 dwg



Фиг. 2

Изобретение относится к области радиотехники и связи и может быть использовано в СВЧ устройствах усиления и преобразования аналоговых сигналов, в структуре интегральных микросхем различного функционального назначения (например, избирательных усилителях, смесителях, генераторах и т.п.), реализуемых по новым и перспективным технологиям.

В современной микроэлектронике, в системах на кристалле, находят широкое применение планарные индуктивности, являющиеся базовым элементом микроэлектронных СВЧ устройств. Их качественные показатели (например, диапазон рабочих частот, частота собственного резонанса) определяют параметры широкого класса систем преобразования сигналов (квадратурных модуляторов и демодуляторов, маломощных усилителей, управляемых генераторов, смесителей, фазорасщепителей и т.д.). В этой связи проектированию микроиндуктивностей различного назначения для систем на кристалле с улучшенными параметрами уделяется большое внимание в патентах ведущих микроэлектронных фирм мира [1-22].

Следует отметить, что сегодня в интегральных индуктивностях для уменьшения их эффективных паразитных емкостей применяются специальные цепи компенсации на основе неинвертирующих повторителей напряжения (эмиттерных повторителей, операционных усилителей со 100% отрицательной обратной связью и т.п.) (патенты US 6.936.764, US 6.833.603 и др.). Однако данные архитектурные решения требуют применения в конструкции индуктивности специального проводящего экрана, расположенного под витками из металлической пленки, что существенно усложняет технологию ее изготовления.

Наиболее близкой по технической сущности к заявляемому устройству является планарная индуктивность, представленная в патенте US 6.833.603 (H01L 29/00). Она содержит (фиг. 1) первый 1 сигнальный и второй 2 общий выводы индуктивности, которые соединены по поверхности подложки 3 металлической пленкой 4, образующей витки планарной индуктивности, первый 5 неинвертирующий повторитель напряжения, вход которого соединен с первым 6 участком металлической пленки 4, связанным с первым 1 сигнальным выводом индуктивности, общий металлический слой 7, на котором размещена подложка 3. Особенность данной конструкции - наличие лепесткового экрана из металлической пленки, на который через первый 5 неинвертирующий повторитель напряжения подается напряжение U_L на первом 1 сигнальном выводе индуктивности.

Существенный недостаток известной планарной индуктивности фиг. 1 состоит в том, что она должна обязательно содержать специальный проводящий экран, размещаемый под витками металлической пленки 4. Без экрана в данном техническом решении частота собственного резонанса (ω_0) принимает небольшие значения, зависящие от паразитной емкости, которая в этом случае не компенсируется.

Основная задача предлагаемого изобретения состоит в расширении диапазона рабочих частот планарной индуктивности без применения в ее конструкции проводящего лепесткового экрана. В конечном итоге, это существенно упрощает конструкцию планарной индуктивности, т.к. при этом уменьшается число напыляемых проводящих слоев.

Поставленная задача решается тем, что в планарной индуктивности фиг. 2, содержащей первый 1 сигнальный и второй 2 общий выводы индуктивности, которые соединены по поверхности подложки 3 металлической пленкой 4, образующей витки планарной индуктивности, первый 5 неинвертирующий повторитель напряжения, вход которого соединен с первым 6 участком металлической пленки 4, связанным с первым

1 сигнальным выводом индуктивности, общий металлический слой 7, на котором размещена подложка 3, предусмотрены новые элементы и связи - в схему введен первый 8 неинвертирующий повторитель тока с низким входным и высоким выходным сопротивлением, выход которого соединен с первым 6 участком металлической пленки 4, связанным с первым 1 сигнальным выводом индуктивности, а вход через первый 9 корректирующий конденсатор подключен к выходу первого 5 неинвертирующего повторителя напряжения. Новые элементы и связи позволяют повысить собственную резонансную частоту индуктивности без введения экранирующего слоя.

Устройство планарной индуктивности - прототипа (патент US 6.833.603) показано на фиг. 1. На фиг. 2 представлена схема заявляемого устройства в соответствии с п. 1, п. 2 и п. 3 формулы изобретения.

На фиг. 3 представлен частный случай схемы фиг. 2, в которой планарная индуктивность имеет сравнительно большую, приведенную к первому 1 сигнальному выводу, сосредоточенную емкость C_{18} (элемент 18).

На фиг. 4 представлена схема включения заявляемой планарной индуктивности фиг. 3 в избирательном усилителе с конкретным выполнением входного преобразователя «напряжение-ток» 21 на биполярном транзисторе VT1.

На фиг. 5 показаны амплитудно-частотные характеристики схемы фиг. 4 при разных значениях корректирующего конденсатора 9 (C_9) $C_9 = C_{var} = 0 \div 2$ пФ и индуктивности $L_3 = 20$ нГн, $C_4 = 2$ пФ.

На фиг. 6 показаны амплитудно-частотные характеристики схемы фиг. 4 при разных значениях емкости корректирующего конденсатора 9 (C_9) $C_9 = C_{var} = 0 \div 5$ пФ, при индуктивности $L_3 = 20$ нГн и паразитном конденсаторе $C_4 = 5$ пФ.

На фиг. 7 представлена схема фиг. 2 при наличии только первого 6 и второго 10 участков металлической пленки 4, к которым подключены элементы 8, 5, 9 и 12, 14, 16 в соответствии с фиг. 2.

На фиг. 8 представлены результаты компьютерного моделирования амплитудно-частотных характеристик схемы фиг. 7 при $L_1 = L_3 = 100$ нГн, $C_1 = C_4 = 2$ пФ, а также изменениях емкостей корректирующих конденсаторов в диапазоне $C_8 = C_9 = C_{var} = 0 \div 2$ пФ.

На фиг. 9 представлены результаты компьютерного моделирования амплитудно-частотных характеристик схемы фиг. 7 при $L_1 = L_3 = 100$ нГн, $C_1 = C_4 = 5$ пФ и изменениях емкостей корректирующих конденсаторов в диапазоне $C_8 = C_9 = C_{var} = 0 \div 6$ пФ.

Следует заметить, что схемы, представленные на фиг. 4 и фиг. 7, используются в настоящей заявке на патент как измерители параметров заявляемой индуктивности - ее частоты собственного резонанса ω_0 .

Планарная индуктивность с расширенным частотным диапазоном фиг. 2 содержит первый 1 сигнальный и второй 2 общий выводы индуктивности, которые соединены по поверхности подложки 3 металлической пленкой 4, образующей витки планарной индуктивности, первый 5 неинвертирующий повторитель напряжения, вход которого соединен с первым 6 участком металлической пленки 4, связанным с первым 1 сигнальным выводом индуктивности, общий металлический слой 7, на котором размещена подложка 3. В схему введен первый 8 неинвертирующий повторитель тока с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, выход которого соединен с первым 6 участком металлической пленки 4, связанным с первым 1 сигнальным выводом индуктивности, а вход через первый 9 корректирующий конденсатор подключен к выходу первого 5 неинвертирующего повторителя напряжения.

Кроме этого, на фиг. 2, в соответствии с п. 2 формулы изобретения, коэффициент

передачи по току K_i первого 7 неинвертирующего повторителя тока и коэффициент передачи по напряжению K_y первого 5 неинвертирующего повторителя напряжения близки к единице ($K_i \approx 1$, $K_y \approx 1$).

На чертеже фиг. 2, в соответствии с п. 3 формулы изобретения, металлическая пленка 4, образующая витки заявляемой планарной индуктивности, содержит (кроме упомянутого ранее первого 6 участка металлической пленки 4) последовательно соединенные по длине второй 10 и N-й 11 ($N=3, 4, \dots$) дополнительные участки металлической пленки 4, к электрическим выводам от которых подключены входы соответственно второго 12 и N-го 13 ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей напряжения, а также выходы второго 14 и N-го 15 ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей тока с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, причем между выходами второго 12 и N-го 13 ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей напряжения и входами второго 14 и N-го 15 ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей тока включены соответствующие второй 16 и N-й 17 ($N=3, 4, \dots$) корректирующие конденсаторы.

Рассмотрим работу планарной индуктивности фиг. 3 - определим частоту ее собственного резонанса ω_0 , которая зависит от эффективной паразитной емкости в цепи первого 1 сигнального вывода и численных значений L , зависящей от числа витков металлической пленки 4.

При нулевом коэффициенте передачи тока ($K_i=0$) неинвертирующего повторителя тока 8 эквивалентная емкость в цепи первого 1 сигнального вывода индуктивности определяется приведенной паразитной емкостью C_{18} (18).

Если $K_i=1$, $K_y=1$, то для входного тока \dot{I}_1 сигнального вывода 1 можно записать следующее уравнение

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_L - \dot{I}_{out} = \dot{I}_L^* + \dot{I}_{18} - \dot{I}_{out}, \quad (1)$$

где \dot{I}_L - комплекс тока в индуктивности, зависящий от численных значений L и паразитной емкости C_{18} ;

\dot{I}_{out} - комплекс выходного тока неинвертирующего усилителя тока 8, причем

$$\dot{I}_{out} = \dot{U}_L K_y K_i j\omega C_9;$$

\dot{U}_L - комплекс напряжения на первом 1 сигнальном выводе индуктивности;

\dot{I}_{18} - комплекс тока через паразитную емкость 18, причем $\dot{I}_{18} = \dot{U}_L j\omega C_8$;

$$\dot{I}_L^* = \frac{\dot{U}_L}{j\omega L} - \text{комплекс индуктивной составляющей тока } \dot{I}_L, \text{ зависящий только}$$

от величины индуктивности L .

После преобразований формулы (1) можно найти, что эквивалентная комплексная проводимость в цепи первого 1 сигнального вывода

$$\dot{Y}_H = j \left[\omega C_{18} \left(1 - K_i K_y \frac{C_9}{C_{18}} \right) - \frac{1}{\omega L} \right]. \quad (2)$$

При этом частота собственного резонанса ω_0 заявляемой планарной индуктивности, при которой $|\dot{Y}_H| \approx 0$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C_{18} \left(1 - K_i K_y \frac{C_9}{C_{18}} \right) L}} = \omega_0^* \sqrt{\frac{1}{1 - K_i K_y \frac{C_9}{C_{18}}}}, \quad (3)$$

где $\omega_0^* = \sqrt{\frac{1}{C_{18} L}}$ - частота собственного резонанса индуктивности-прототипа.

Из формулы (3) следует, что при $K_i=1$, $K_y=1$ за счет выбора отношения емкостей корректирующих конденсаторов 18 (C_{18}) и 9 (C_9) (например, $C_9 \approx C_{18}$) можно обеспечить увеличение ω_0 заявляемой интегральной индуктивности в несколько раз.

Данный вывод подтверждается результатами компьютерного моделирования (фиг. 5).

В случае, если заявляемая индуктивность многовитковая и характеризуется распределенными параметрами ($L_1=L_2=L_3=L_4, \dots =L_n$, C_{18} , C_{19} , C_{20}, \dots , C_n), то в соответствии с п. 3 формулы изобретения предусматривается выделение последовательно соединенных по длине второго 10 и N-го 11 ($N=3, 4, \dots$) дополнительных участков металлической пленки 4. При этом к электрическим выводам от данных участков (фиг. 2) подключаются входы соответственно второго 12 и N-го 13 ($N=3, 4, \dots$)

неинвертирующих повторителей напряжения, а также выходы второго 14 и N-го 15 ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей тока с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, причем между выходами второго 12 и N-го 13 ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей напряжения и входами второго 14 и N-го 15 ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей тока включаются соответствующие второй 16 и N-й 17 ($N=3, 4, \dots$) корректирующие конденсаторы.

Графики на фиг. 5, фиг. 6, фиг. 8, фиг. 9 показывают, что частота собственного резонанса ω_0 заявляемой планарной индуктивности увеличивается (в зависимости от численных значений паразитных емкостей индуктивности) в 2-4 раза.

Таким образом, заявляемая планарная индуктивность не требует применения лепесткового проводящего экрана, который усложняет процесс ее изготовления. При этом в сравнении с индуктивностью без проводящего лепесткового экрана предлагаемая конструкция планарной индуктивности имеет более широкий частотный диапазон.

В предлагаемой конструкции индуктивности применяются неинвертирующие усилители тока (например, каскады с общей базой) и неинвертирующие повторители напряжения (эмиттерные повторители и т.п.), которые могут иметь достаточно широкий частотный диапазон коэффициентов передачи по ТОКУ (f_{bi}) и напряжению (f_{bu}). Так, например, при использовании транзисторов SiGe техпроцесса (ИНР, Германия) с $f_{\alpha}=200$ -

300 ГГц, неинвертирующий усилитель тока 8 и неинвертирующий повторитель напряжения 5 могут работать в крайне высоком диапазоне частот (50÷80 ГГц), обеспечивая эффективную компенсацию паразитных емкостей.

Таким образом, заявляемая планарная индуктивность имеет существенные преимущества в сравнении с известными индуктивными элементами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент US 5.151.775, fig. 1.
2. Патент US 6.593.838, fig.1 - fig.6.
3. Патент US 6.833.603, fig.1, fig.4.
4. Патент US 6.936.764, fig.1, fig.3, fig.4.
5. Заявка на патент US 2009/0091414.
6. Патент US 7.876.188.
7. Патент US 6.593.201.
8. Патент US 5.095.357.
9. Патент WO 97/45873.
10. Патент WO 01/04953.
11. Заявка на патент US 2015/0028979.
12. Патент US 8.786.393, fig. 3.
13. Патент US 8.110.894.
14. Патент US 6.377.156.
15. Патент US 6.169.008.
16. Патент US 5.446.311.
17. Патент US 6.452.249.
18. Патент US 6.762.088.
19. Патент US 6.057.202.
20. Патент US 6.720.639.
21. Патент US 6.794.978.
22. Заявка на патент US 2012/0249281.

(57) Формула изобретения

1. Планарная индуктивность с расширенным частотным диапазоном, содержащая первый (1) сигнальный и второй (2) общий выводы индуктивности, которые соединены по поверхности подложки (3) металлической пленкой (4), образующей витки планарной индуктивности, первый (5) неинвертирующий повторитель напряжения, вход которого соединен с первым (6) участком металлической пленки (4), связанным с первым (1) сигнальным выводом индуктивности, общий металлический слой (7), на котором размещена подложка (3), отличающаяся тем, что в схему введен первый (8) неинвертирующий повторитель тока с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, выход которого соединен с первым (6) участком металлической пленки (4), связанным с первым (1) сигнальным выводом индуктивности, а вход через первый (9) корректирующий конденсатор подключен к выходу первого (5) неинвертирующего повторителя напряжения.

2. Планарная индуктивность с расширенным частотным диапазоном по п. 1, отличающаяся тем, что коэффициент передачи по току первого (7) неинвертирующего повторителя тока и коэффициент передачи по напряжению первого (5) неинвертирующего повторителя напряжения близки к единице.

3. Планарная индуктивность с расширенным частотным диапазоном по п. 1, отличающаяся тем, что металлическая пленка (4), образующая витки планарной

индуктивности, содержит, кроме упомянутого в п. 1 первого (6) участка металлической пленки (4), последовательно соединенные по длине второй (10) и N-й (11) ($N=3, 4, \dots$) дополнительные участки металлической пленки (4), к электрическим выводам от которых подключены входы соответственно второго (12) и N-го (13) ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей напряжения, а также выходы второго (14) и N-го (15) ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей тока с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, причем между выходами второго (12) и N-го (13) ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей напряжения и входами второго (14) и N-го (15) ($N=3, 4, \dots$) неинвертирующих повторителей тока включены соответствующие второй (16) и N-й (17) ($N=3, 4, \dots$) корректирующие конденсаторы.

15

20

25

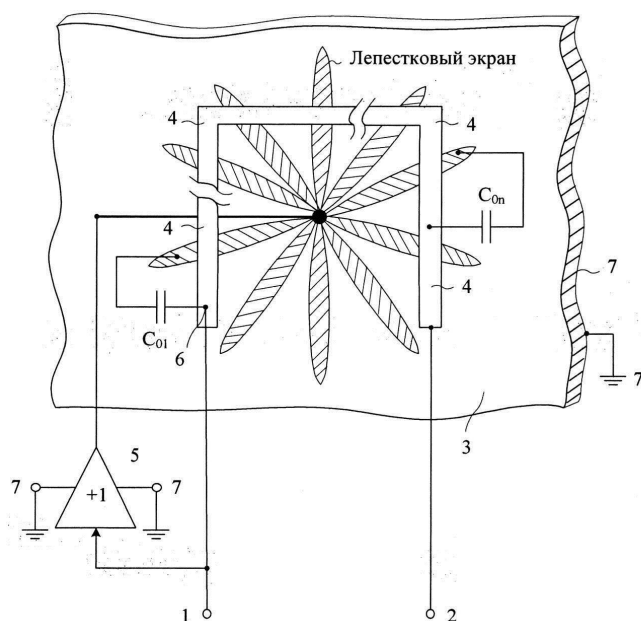
30

35

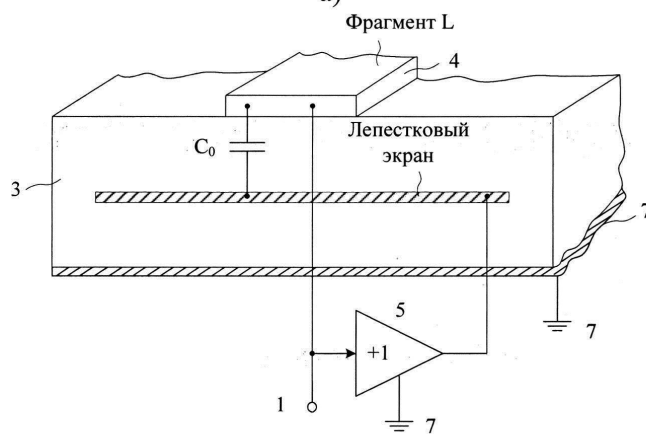
40

45

ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



а)



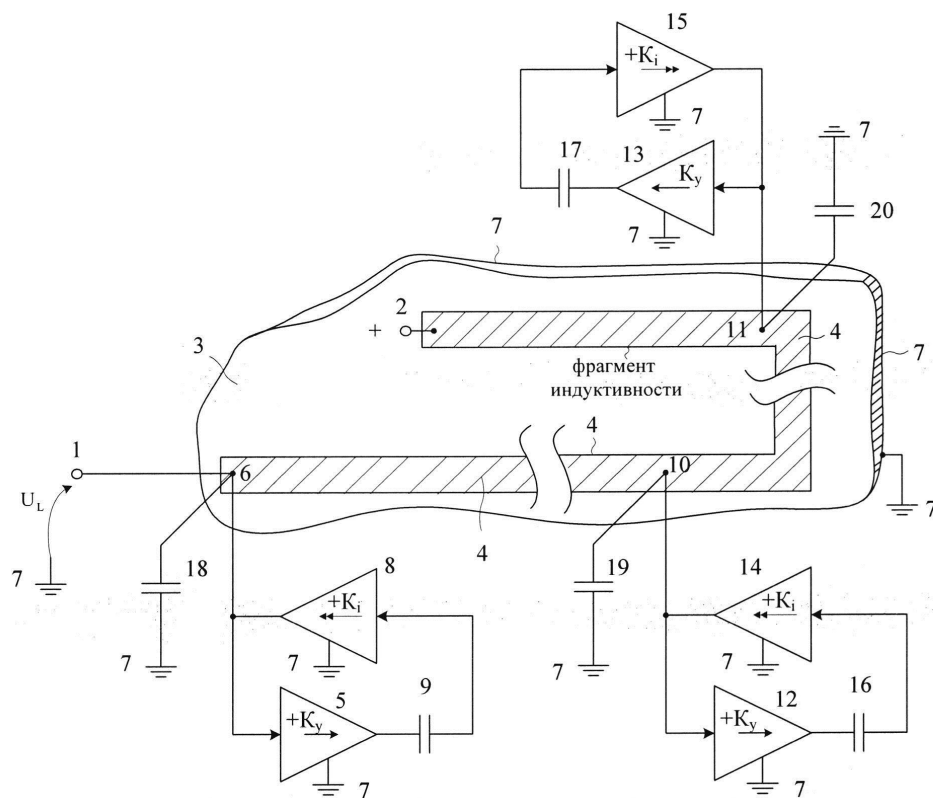
б)

Фиг. 1

Авторы:

Прокопенко Н.Н.
Сапогин В.Г.
Бугакова А.В.

ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ

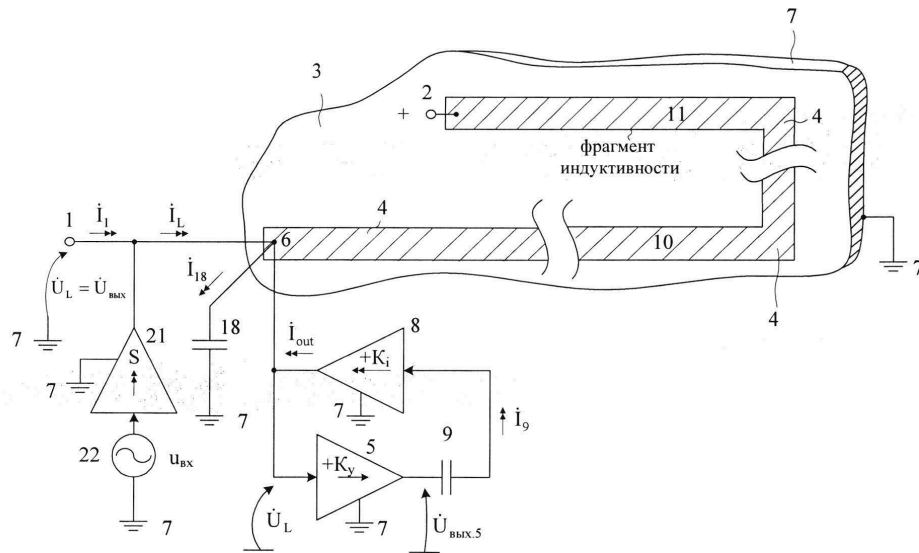


Фиг. 2

Авторы:

Прокопенко Н.Н.
Сапогин В.Г.
Бугакова А.В.

ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ

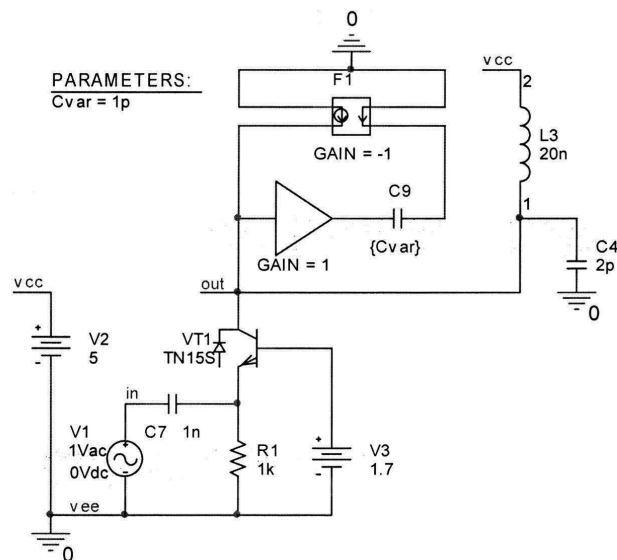


Фиг. 3

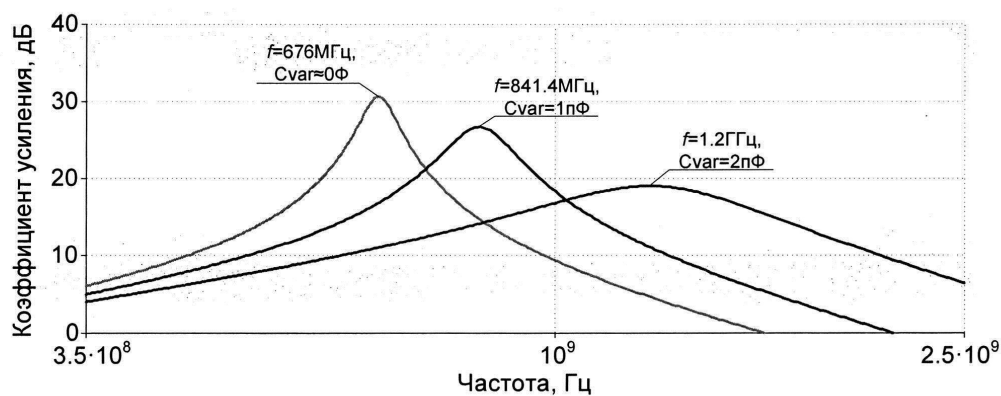
Авторы:

Прокопенко Н.Н.
Сапогин В.Г.
Бугакова А.В.

ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



Фиг. 4

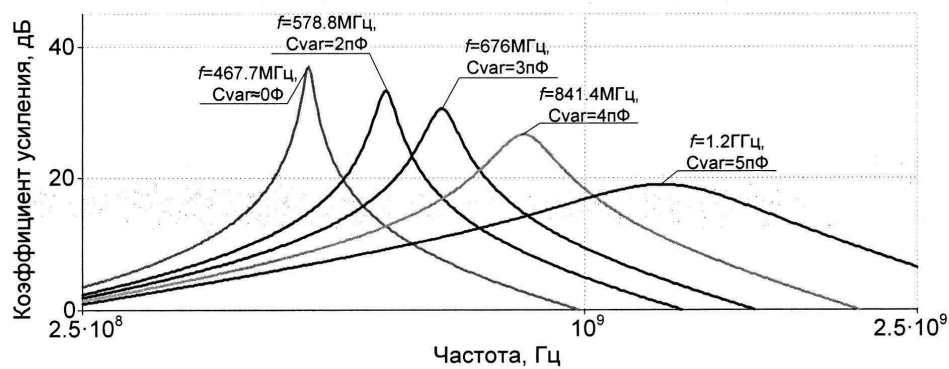


Фиг. 5

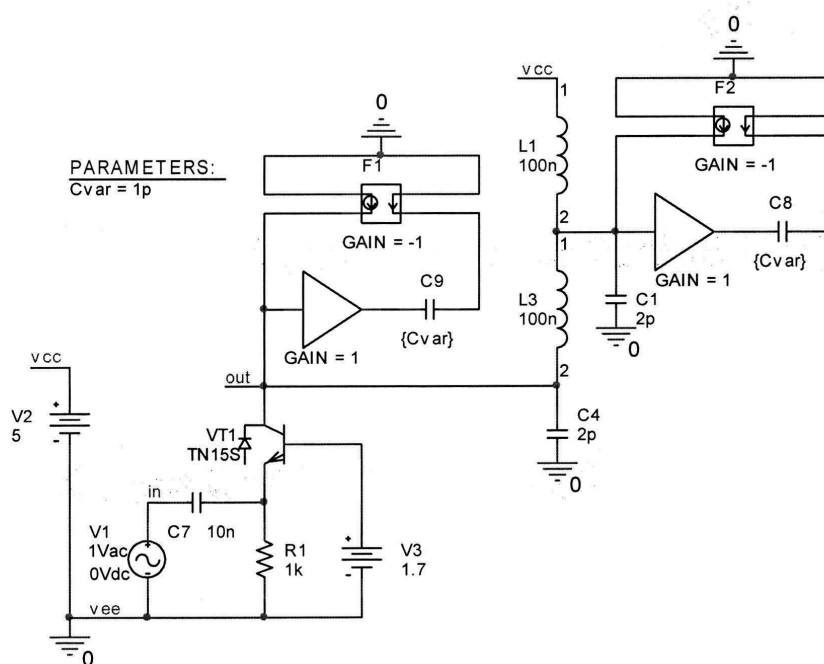
Авторы:

Прокопенко Н.Н.
Сапогин В.Г.
Бугакова А.В.

ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



Фиг. 6

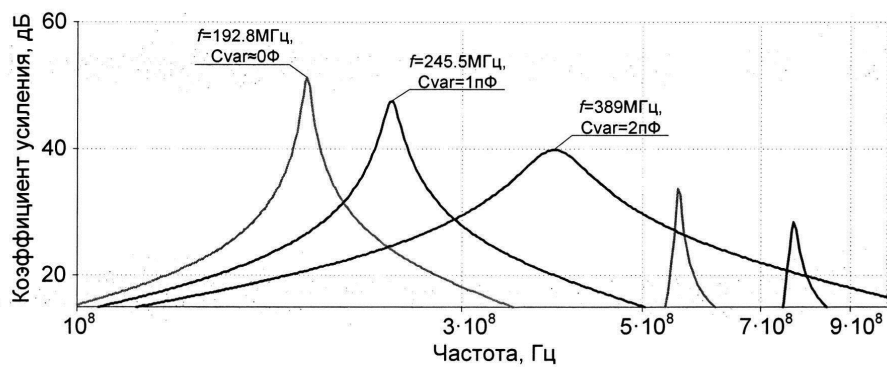


Фиг. 7

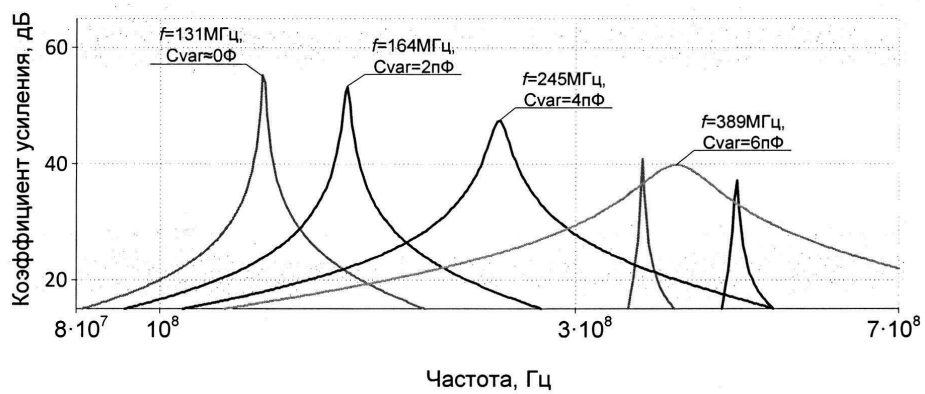
Авторы:

Прокопенко Н.Н.
Сапогин В.Г.
Бугакова А.В.

ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ
С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



Фиг. 8



Фиг. 9

Авторы:

Прокопенко Н.Н.
Сапогин В.Г.
Бугакова А.В.