



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015153702, 14.12.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
14.12.2015

Дата регистрации:  
22.06.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.12.2015

(45) Опубликовано: 22.06.2017 Бюл. № 18

Адрес для переписки:

346500, Ростовская обл., г. Шахты, ул. Шевченко,  
147, ИСО и П (филиал) ДГТУ, Научно-  
инновационный отдел

(72) Автор(ы):

Прокопенко Николай Николаевич (RU),  
Сапогин Владимир Георгиевич (RU),  
Иванов Юрий Иванович (RU),  
Бугакова Анна Витальевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

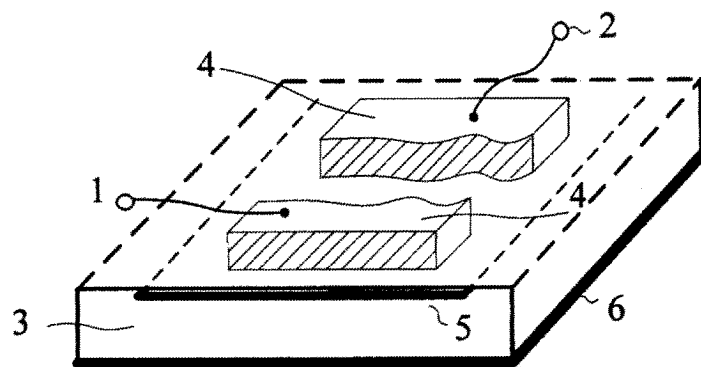
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 6936764 B2, 30.08.2005. US  
6833603 B1, 21.12.2004. US 6593838 B2,  
15.07.2003. RU 116269 U1, 20.05.2012. RU  
2566954 C1, 27.10.2015. US 8085185 B2,  
27.12.2011.

(54) ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиотехники и связи и может быть использовано в СВЧ-устройствах усиления и преобразования аналоговых сигналов, в структуре аналоговых микросхем различного функционального назначения (например, избирательных усилителях, смесителях, генераторах и др., реализуемых по новым и перспективным технологиям). Технический результат - расширение диапазона рабочих частот планарной индуктивности. Достигается тем, что планарная индуктивность с расширенным частотным диапазоном содержит первый (1) сигнальный и второй (2) общий выводы индуктивности,

которые соединены по поверхности подложки (3) металлической пленкой (4), образующей витки планарной индуктивности, проводящий экранирующий элемент (5), расположенный под металлической пленкой (4), общий металлический слой (6), на котором размещена подложка (3). В схему дополнительно введен неинвертирующий усилитель тока (7) с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, вход которого связан с проводящим экранирующим элементом (5), а выход соединен с первым (1) сигнальным выводом планарной индуктивности. 2 з.п. ф-лы, 15 ил.



Фиг. 16



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2015153702, 14.12.2015

(24) Effective date for property rights:  
14.12.2015Registration date:  
22.06.2017

Priority:

(22) Date of filing: 14.12.2015

(45) Date of publication: 22.06.2017 Bull. № 18

Mail address:

346500, Rostovskaya obl., g. Shakhty, ul.  
Shevchenko, 147, ISO i P (filial) DGTU, Nauchno-  
innovatsionnyj otдел

(72) Inventor(s):

Prokopenko Nikolaj Nikolaevich (RU),  
Sapogin Vladimir Georgievich (RU),  
Ivanov Yuriy Ivanovich (RU),  
Bugakova Anna Vitalevna (RU)

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
professionalnogo obrazovaniya "Donskoj  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet"  
(DGTU) (RU)

## (54) PLANAR INDUCTANCE WITH EXTENDED FREQUENCY RANGE

(57) Abstract:

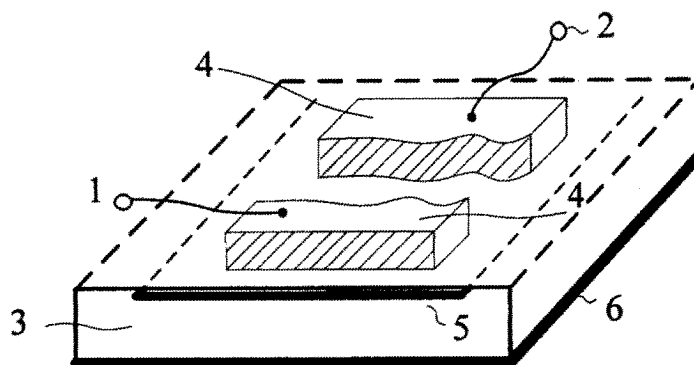
FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: planar inductance with extended frequency range contains the first (1) signal and the second (2) common inductance terminals that are connected along the surface of the substrate (3) by a metal film (4) forming coils of planar inductance, conducting a shielding element (5) located under the metal film (4), a common metal layer (6), on which the substrate (3) is located. A non-inverting current

amplifier (7) with a low input and high output resistance, the input of which is connected to the conductive shielding element (5), is additionally introduced into the circuit, and the output is connected to the first (1) signal terminal of the planar inductance.

EFFECT: expanding the working frequency range of the planar inductance.

3 cl, 15 dwg



Фиг. 16

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 СВЧ-устройств. Их качественные показатели (например, диапазон рабочих частот, частота собственного резонанса) определяют параметры широкого класса систем преобразования сигналов (квадратурных модуляторов и демодуляторов, малошумящих усилителей, управляемых генераторов, смесителей, фазорасщепителей и т.д.). В этой связи проектированию микроиндуктивностей различного назначения с улучшенными параметрами уделяется большое внимание в патентах ведущих микроэлектронных фирм мира [1-22].

Наиболее близкой по технической сущности к заявляемому устройству является планарная индуктивность, представленная в патенте US 6936764 (H05K 9/00). 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, проводящий экранирующий элемент 5, расположенный под металлической пленкой 4, общий металлический слой 6 (например, корпус), на котором размещена подложка 3.

Существенный недостаток известной планарной индуктивности фиг. 1 состоит в том, что она имеет сравнительно невысокие значения частоты собственного резонанса ( $\omega_0$ ), что ограничивает диапазон ее рабочих частот.

Основная задача предлагаемого изобретения состоит в расширении диапазона рабочих частот планарной индуктивности.

Поставленная задача решается тем, что в планарной индуктивности фиг. 1, содержащей первый 1 сигнальный и второй 2 общий выводы индуктивности, которые соединены по поверхности подложки 3 металлической пленкой 4, образующей витки планарной индуктивности, проводящий экранирующий элемент 5, расположенный под металлической пленкой 4, общий металлический слой 6, на котором размещена подложка 3, предусмотрены новые элементы и связи - в схему введен неинвертирующий усилитель тока 7 с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, вход которого связан с проводящим экранирующим элементом 5, а выход соединен с первым 1 сигнальным выводом планарной индуктивности.

Устройство планарной индуктивности - прототипа (патент US 6.936.764) показано на фиг. 1. На фиг. 2 представлена схема заявляемого устройства в соответствии с п.1 и п.2 формулы изобретения.

На фиг. 3 представлена схема заявляемой планарной индуктивности в соответствии с п. 3 формулы изобретения.

На фиг. 4 приведен пример конкретного выполнения избирательного усилителя на основе заявляемой планарной индуктивности фиг. 3.

На фиг. 5 показана схема (фиг. 5а) для компьютерного моделирования конкретной схемы включения планарной индуктивности-прототипа фиг. 1, а также результаты моделирования (фиг. 5б) коэффициента усиления данной схемы, в которой использовался входной преобразователь «напряжение-ток» G1, а индуктивность имеет распределенные секции  $L1=L2=L3=L4=10$  нГн и их паразитные емкости  $C1=C2=C3=C4=1$  пФ.

На фиг. 6а приведена схема заявляемой индуктивности фиг. 4 при ее включении в качестве нагрузки резонансного усилителя с входным преобразователем напряжение-

ток G1 и неинвертирующим усилителем тока 7 ( $K_i$ ) при распределенных значениях составляющих индуктивности ( $L1=L2=L3=L4=10$  нГн).

На фиг. 6б представлены результаты моделирования схемы фиг. 6а при двух значениях коэффициента передачи по току  $K_i$  неинвертирующего усилителя тока 7:  $K_i=0$  и  $K_i=0,5$ .

5 На фиг. 7 показана схема (фиг. 7а) для компьютерного моделирования свойств планарной индуктивности-прототипа фиг. 1 в более высоком (в сравнении с фиг. 6) частотном диапазоне, а также представлены результаты моделирования коэффициента передачи данной конкретной схемы ее включения (фиг. 7б), в которой использовался входной преобразователь напряжение-ток G1. При этом секции распределенной  
10 индуктивности имели значение  $L1=L2=L3=L4=1$  нГн, а паразитные емкости  $C1=C2=C3=C4=0,1$  пФ.

На фиг. 8а приведена схема заявляемого устройства фиг. 4 при его включении в качестве нагрузки резонансного усилителя с входным преобразователем напряжение-ток G1 и неинвертирующим усилителем тока 7 ( $K_i$ ), а также при крайне малых значениях  
15 распределенных индуктивностей отдельных секций  $L1=L2=L3=L4=1$  нГн.

На фиг. 8б представлены результаты моделирования схемы фиг. 8а при коэффициентах передачи по току неинвертирующего усилителя тока 7:  $K_i=0$  и  $K_i=0,5$ .

На фиг. 9а приведена схема заявляемого устройства фиг. 4 при его включении в качестве нагрузки резонансного усилителя с входным преобразователем напряжение-ток G1 и неинвертирующим усилителем тока 7 ( $K_i$ ) при  $K_i=0$  и  $K_i=0,5$ , а также при крайне  
20 малых значениях распределенных составляющих индуктивности отдельных секций  $L1=L2=L3=L4=1$  нГн. При этом, в отличие от фиг. 8, в данной схеме учитывалась выходная паразитная емкость  $C5=0,1$  пФ входного преобразователя «напряжение-ток» G1.

На фиг. 9б представлены результаты моделирования схемы фиг. 9а при двух значениях  
25 коэффициента передачи по току неинвертирующего усилителя тока 7:  $K_i=0$  и  $K_i=0,5$ .

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, проводящий экранирующий элемент 5, расположенный под  
30 металлической пленкой 4, общий металлический слой 6 (например, корпус микросхемы), на котором размещена подложка 3. В схему введен неинвертирующий усилитель тока 7 с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, вход которого связан с проводящим экранирующим элементом 5, а выход соединен с первым 1 сигнальным выводом планарной индуктивности. Элемент 8 на фиг. 2 моделирует паразитную емкость  
35  $C_{p5,1}$ , которая образуется между металлической пленкой 4 и проводящим экранирующим элементом 5 в точке его подключения 5.1 ко входу неинвертирующего усилителя тока 7.

На фиг. 2, в соответствии с п.2 формулы изобретения, коэффициент передачи по току неинвертирующего усилителя тока 7 принимает значения  $K_i=0,1 \div 0,99$ .

40 На фиг. 3, в соответствии с п.3 формулы изобретения, вход неинвертирующего усилителя тока 7 соединен с проводящим экранирующим элементом 5 в нескольких его точках (5.1, 5.2, 5.N), распределенных по длине проводящего экранирующего элемента 5. Паразитные конденсаторы 9 ( $C_{p5,2}$ ) и 10 ( $C_{p5,N}$ ) моделируют паразитные емкости, которые образуются между металлической пленкой 4 и проводящим  
45 экранирующим элементом 5 в точках его подключения 5.2 и 5.N ко входу неинвертирующего усилителя тока 7.

На фиг. 4 инвертирующий усилитель тока 7 реализован на транзисторе 11, режим

по постоянному току которого устанавливается источником напряжения  $E_c$  (12).

Входной преобразователь «напряжение-ток» 13 в данной схеме может быть реализован по схеме с общим эмиттером или схеме с общей базой. Входное напряжение 14 ( $u_{вх}$ )

подается на вход преобразователя 13. Выходное напряжение  $u_{вых}=u_L$  избирательного усилителя фиг. 4 снимается в узле 15.

Рассмотрим работу планарной индуктивности фиг. 2 - определим частоту ее собственного резонанса  $\omega_0$ , которая зависит от эффективной паразитной емкости в цепи первого 1 сигнального вывода и численных значений  $L$ .

При нулевом коэффициенте передачи тока ( $K_i=0$ ) неинвертирующего усилителя тока 7 эквивалентная емкость в цепи первого 1 сигнального вывода индуктивности определяется паразитной емкостью  $C_{p5.1}$  (элемент 8).

Если  $K_i=0,1 \div 0,99$ , то комплекс тока через паразитную емкость 8 равен

$\dot{I}_{p1} = \dot{U}_L j\omega C_{p5.1}$ , а для входного тока  $\dot{I}_1$  сигнального вывода 1 можно записать следующее уравнение

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_L - \dot{I}_{out} = \dot{I}_L^* + \dot{I}_{p1} - \dot{U}_L j\omega C_{p5.1} K_i, \quad (1)$$

где  $\dot{I}_L$  - комплекс тока в индуктивности, зависящий от численных значений  $L$  и паразитной емкости  $C_{p5.1}$ ;

$\dot{I}_{out}$  - комплекс выходного тока неинвертирующего усилителя тока 7;

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

$\dot{I}_{p1}$  - ток через паразитную емкость  $C_{p5.1}$  (элемент 8);

$\dot{I}_L^* = \frac{\dot{U}_L}{j\omega L}$  - комплекс индуктивной составляющей тока  $\dot{I}_1$ , зависящий только

от величины индуктивности  $L$ .

Таким образом, эквивалентная комплексная проводимость в цепи первого 1 сигнального вывода

$$\dot{Y}_n = j \left[ \omega C_{p5.1} (1 - K_i) - \frac{1}{\omega L} \right]. \quad (2)$$

При этом частота собственного резонанса  $\omega_0$  заявляемой планарной индуктивности, при которой  $|\dot{Y}_n| \approx 0$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C_{p5.1} (1 - K_i) L}} = \omega_0^* \sqrt{\frac{1}{1 - K_i}}, \quad (3)$$

где  $\omega_0^* = \sqrt{\frac{1}{C_{p5.1}L}}$  - частота собственного резонанса индуктивности - прототипа.

Из формулы (3) следует, что за счет выбора величины  $K_i$  в диапазоне  $K_i=0,1 \div 0,99$  можно обеспечить увеличение  $\omega_0$  заявляемой интегральной индуктивности в несколько раз.

Данный вывод подтверждается результатами компьютерного моделирования (фиг. 6, фиг. 8, фиг. 9).

В случае, если заявляемая индуктивность многовитковая и характеризуется распределенными параметрами ( $L1=L2=L3=L4 \dots =L_n$ ), то в соответствии с п. 3 формулы изобретения предусматривается подключение входа неинвертирующего усилителя тока 7 в нескольких точках (5.1, 5.2, ..., 5.N) по длине проводящего экранирующего элемента 5.

Следует отметить, что во многих применениях заявляемой индуктивности в электронных схемах не требуется введения (как отдельного функционального узла) неинвертирующего усилителя тока 7. Это связано с тем, что необходимые усилители тока 7 достаточно часто уже присутствуют в схемах конкретных СВЧ-преобразователей сигналов (их нужно только найти). Таким примером служит избирательный усилитель фиг. 4, в котором функции неинвертирующего усилителя тока 7 выполняет выходной каскад с общей базой в каскодном усилителе на транзисторе 11.

Таким образом, заявляемая планарная индуктивность и ее практическая схема включения отличаются простотой применения и часто не требует дополнительных элементных затрат.

В заключение следует отметить, что сегодня в интегральных индуктивностях для компенсации их паразитных емкостей применяются специальные цепи компенсации на основе неинвертирующих повторителей напряжения (эмиттерных повторителей, операционных усилителей со 100% отрицательной обратной связью и т.п.). Однако эти решения имеют другие схемы включения и структуру элементов, а положительный эффект в них зависит от верхней граничной частоты коэффициента передачи по напряжению активных элементов цепей компенсации ( $f_B$ ). В предлагаемой конструкции, в отличие от известных, применяются неинвертирующие усилители тока (например, каскады с общей базой), которые (при идентичных технологиях исполнения) имеют более широкий частотный диапазон коэффициента передачи по току, близкий к  $f_\alpha$  транзисторов (например, для SiGe техпроцесса  $f_\alpha=200-300$  ГГц). Таким образом, в предлагаемом устройстве  $f_\alpha \gg f_B$ .

Кроме этого, в широко распространенных каскадных структурах (смесители, генераторы и т.д.) такие неинвертирующие усилители тока 7 являются неотъемлемой частью исходной схемы, в которую включается заявляемая индуктивность. В конечном итоге, это упрощает практическое применение предлагаемой планарной индуктивности во многих схемах современной СВЧ-электроники (резонансных усилителях, смесителях и перемножителях сигналов, генераторах и т.п.).

Таким образом, заявляемая планарная индуктивность имеет существенные преимущества в сравнении с известным индуктивным элементом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.
- 2.

Патент US 5.151.775, fig. 1  
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
5	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
10	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
15	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

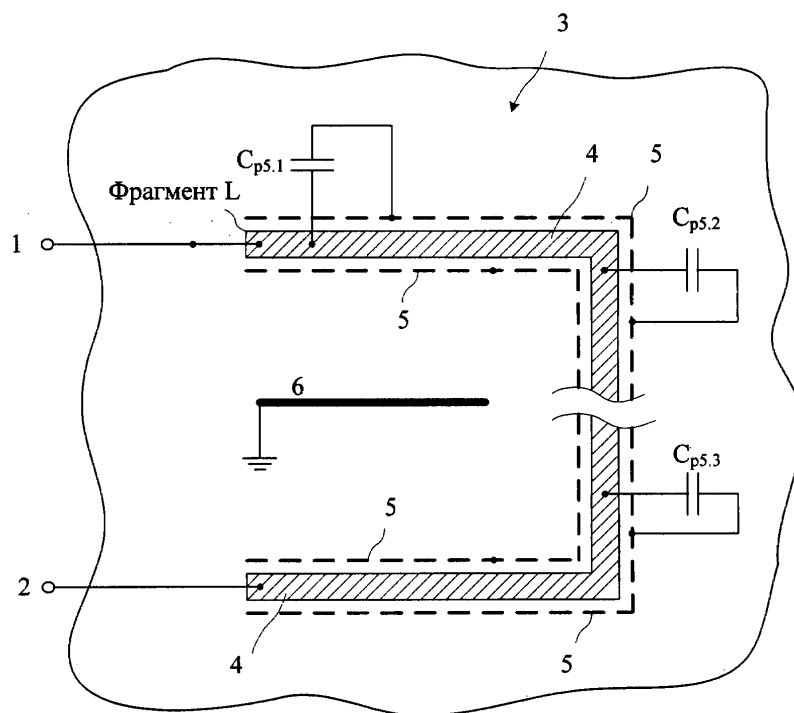
1. Планарная индуктивность с расширенным частотным диапазоном, содержащая первый (1) сигнальный и второй (2) общий выводы индуктивности, которые соединены по поверхности подложки (3) металлической пленкой (4), образующей витки планарной индуктивности, проводящий экранирующий элемент (5), расположенный под металлической пленкой (4), общий металлический слой (6), на котором размещена подложка (3), отличающаяся тем, что в схему введен неинвертирующий усилитель тока (7) с низким входным и высоким выходным сопротивлениями, вход которого связан с проводящим экранирующим элементом (5), а выход соединен с первым (1) сигнальным выводом планарной индуктивности.

2. Планарная индуктивность с расширенным частотным диапазоном по п. 1, отличающаяся тем, что коэффициент передачи по току неинвертирующего усилителя тока (7) принимает значения  $K_i=0,1 \div 0,99$ .

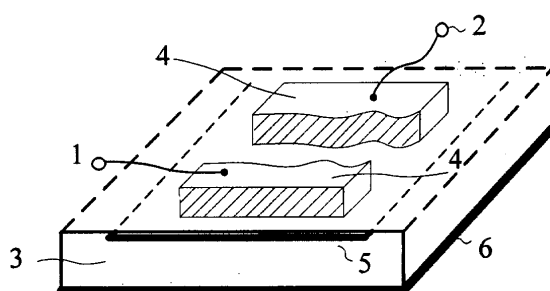
3. Планарная индуктивность с расширенным частотным диапазоном по п. 1, отличающаяся тем, что вход неинвертирующего усилителя тока (7) соединен с проводящим экранирующим элементом (5) в нескольких его точках (5.1, 5.2, 5.N), распределенных по длине проводящего экранирующего элемента (5).



# ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



а)



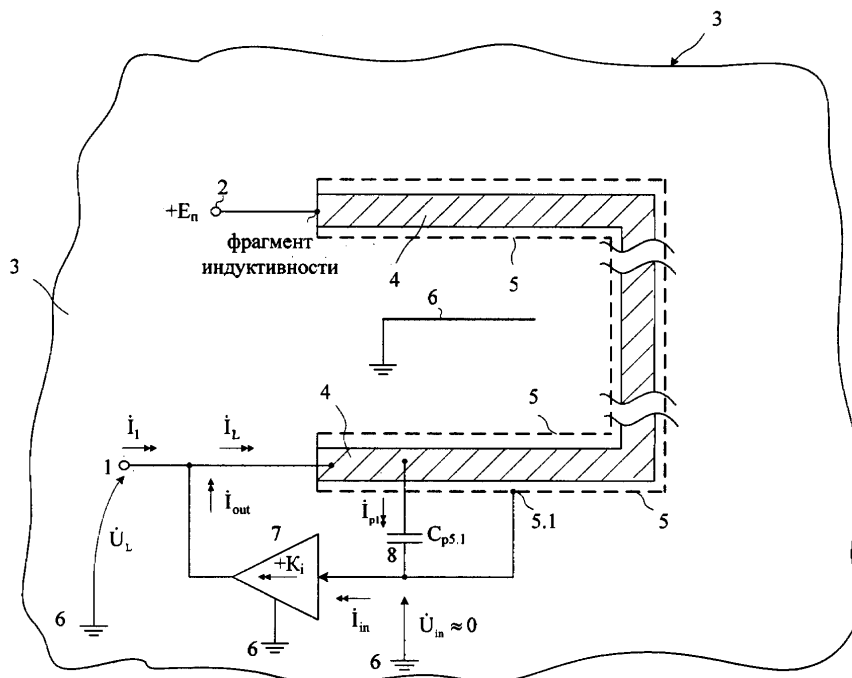
б)

Фиг. 1

Авторы:

Прокопенко Н.Н.  
Сапогин В.Г.  
Иванов Ю.И.  
Бугакова А.В.

# ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ

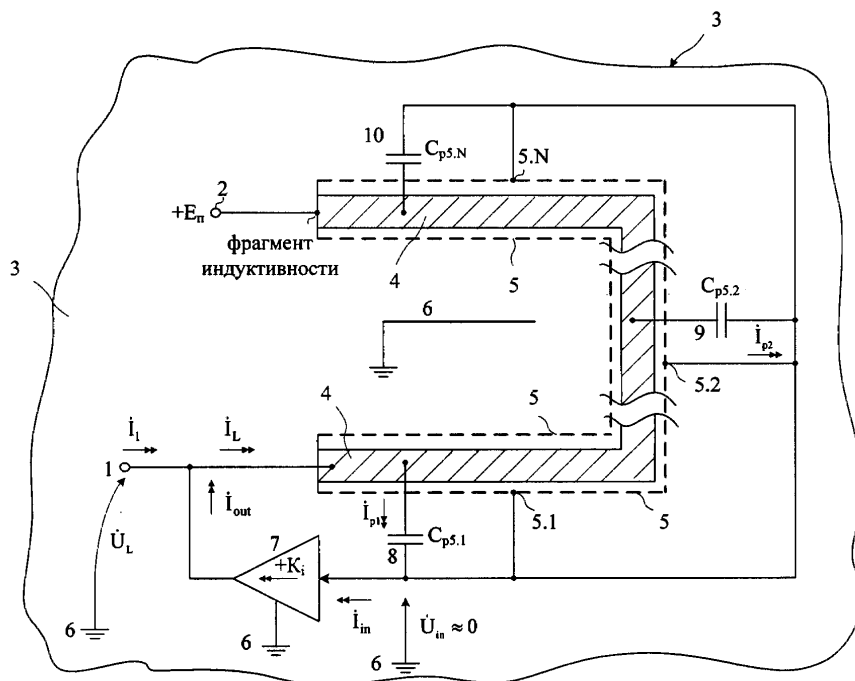


Фиг. 2

Авторы:

Прокопенко Н.Н.  
Сапогин В.Г.  
Иванов Ю.И.  
Бугакова А.В.

# ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ

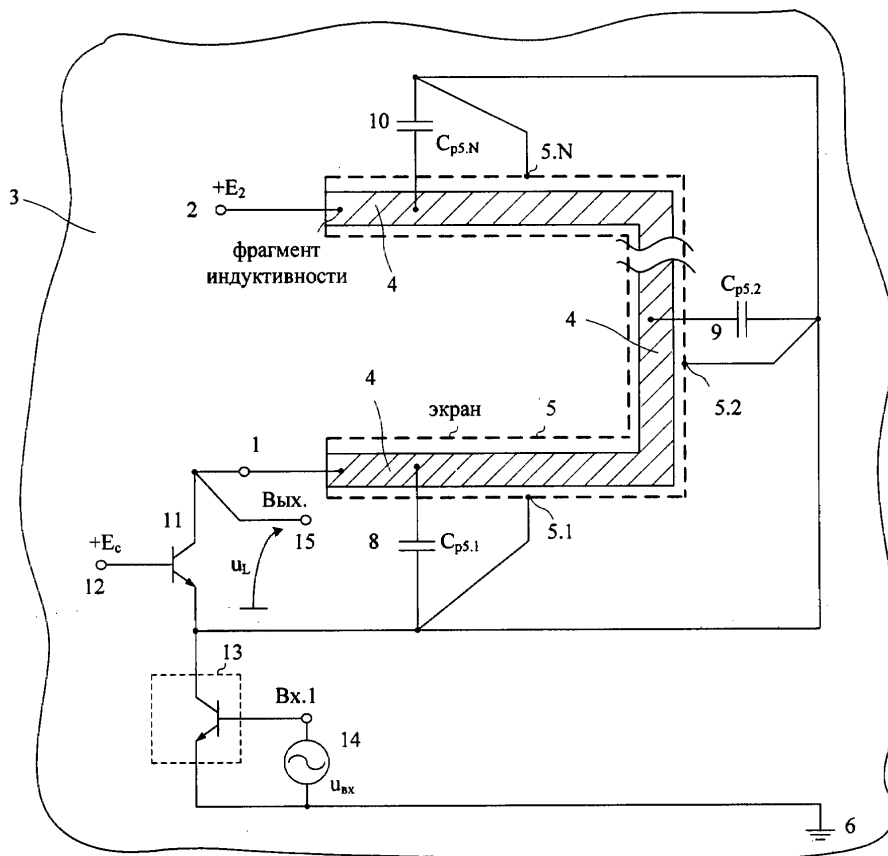


Фиг. 3

Авторы:

Прокопенко Н.Н.  
Сапогин В.Г.  
Иванов Ю.И.  
Бугакова А.В.

# ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ

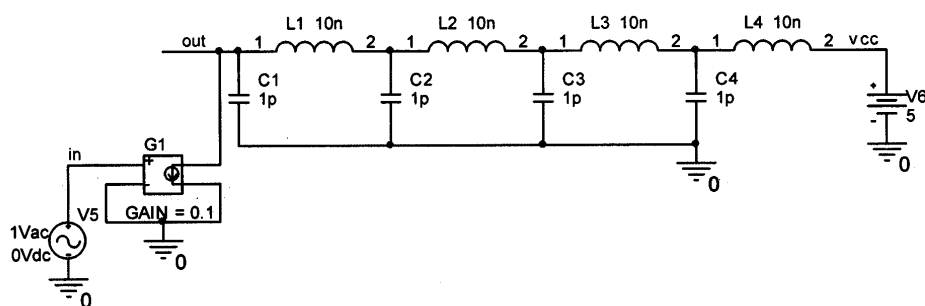


Фиг. 4

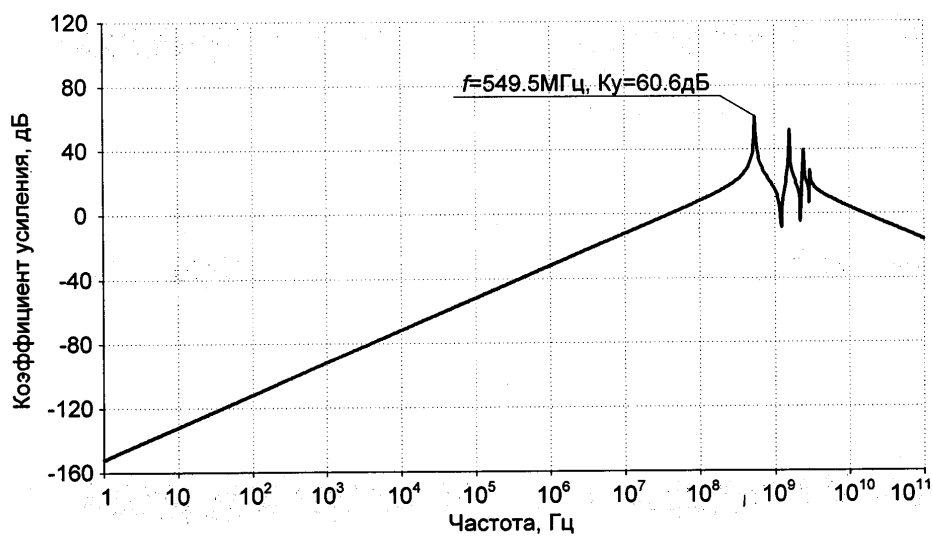
**Авторы:**

Прокопенко Н.Н.  
Сапогин В.Г.  
Иванов Ю.И.  
Бугакова А.В.

# ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



(a)



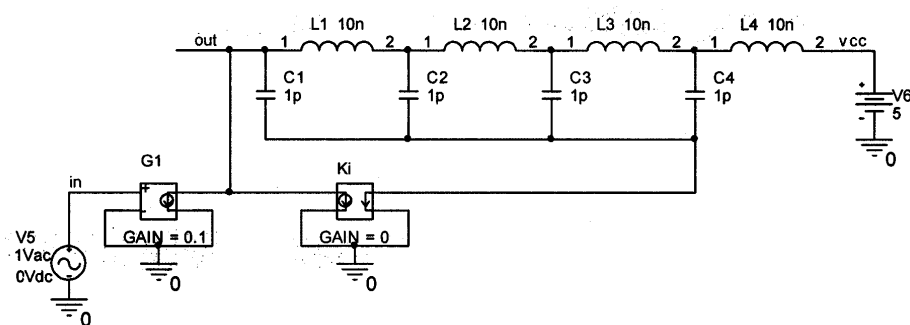
(б)

Фиг. 5

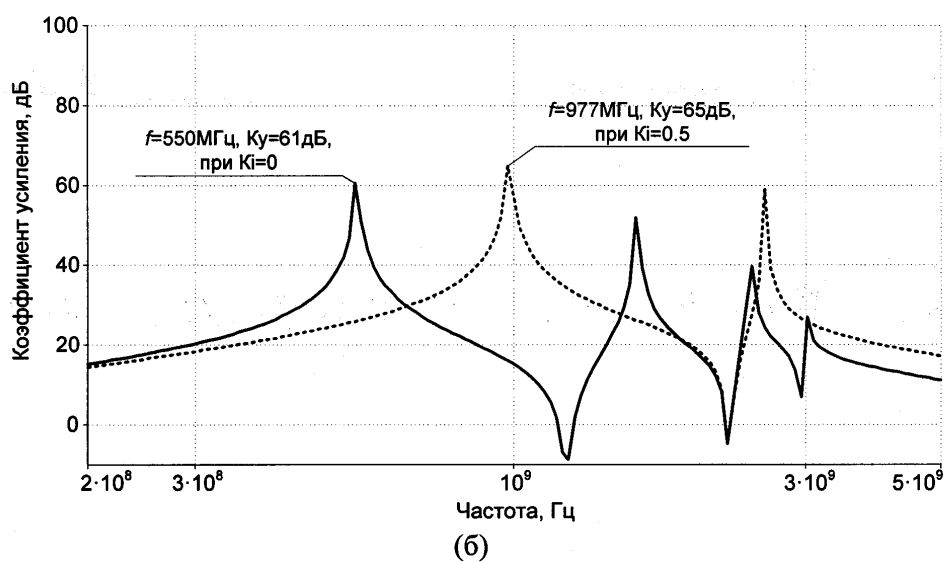
Авторы:

Прокопенко Н.Н.  
Сапогин В.Г.  
Иванов Ю.И.  
Бугакова А.В.

# ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



(a)

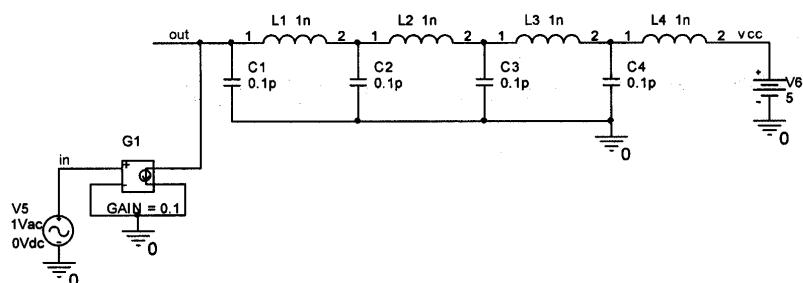


Фиг. 6

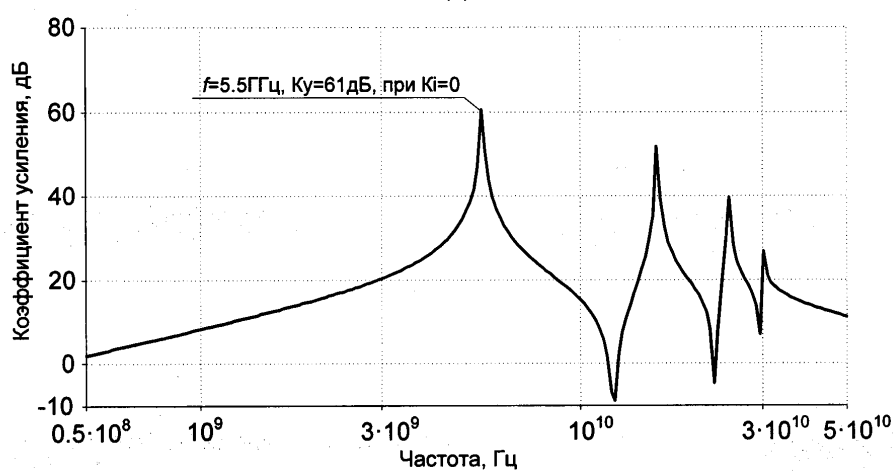
Авторы:

Прокопенко Н.Н.  
Сапогин В.Г.  
Иванов Ю.И.  
Бугакова А.В.

# ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



(a)



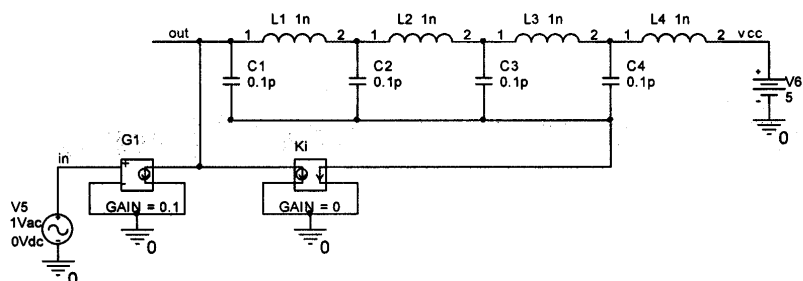
(б)

Фиг. 7

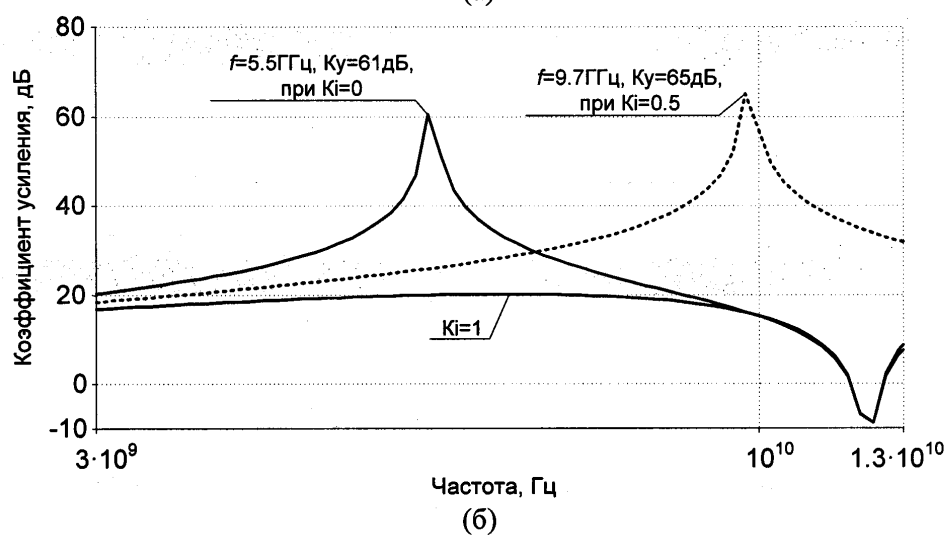
Авторы:

Прокопенко Н.Н.  
Сапогин В.Г.  
Иванов Ю.И.  
Бугакова А.В.

# ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



(a)



(б)

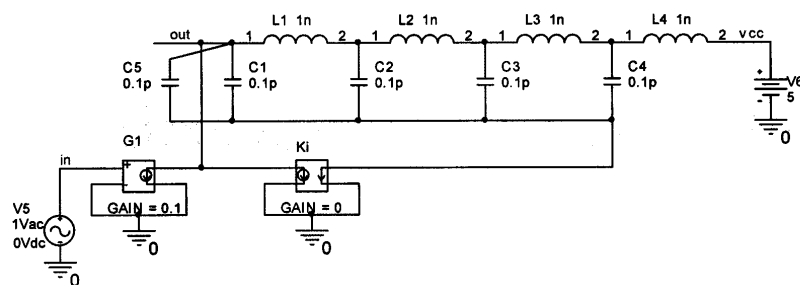
Фиг. 8

Авторы:

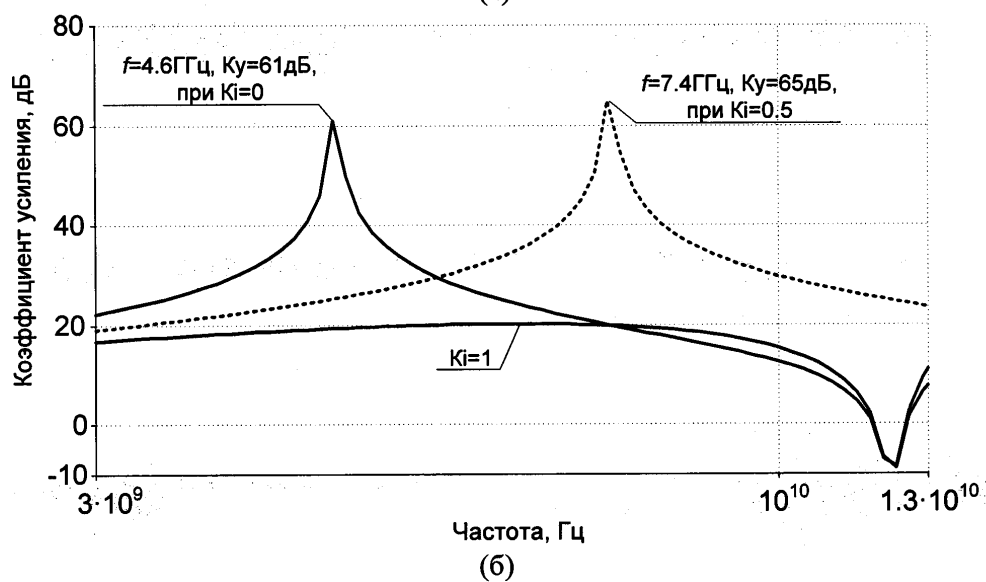
Прокопенко Н.Н.  
Сапогин В.Г.  
Иванов Ю.И.  
Бугакова А.В.



# ПЛАНАРНАЯ ИНДУКТИВНОСТЬ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ



(a)



Фиг. 9

Авторы:

Прокопенко Н.Н.  
Сапогин В.Г.  
Иванов Ю.И.  
Бугакова А.В.