



(19) RU (11) 2158056 (13) С1

(51) 7 Н 03 Н 9/64

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**
к патенту Российской Федерации

1

(21) 99121522/09 (22) 12.10.1999
(24) 12.10.1999
(46) 20.10.2000 Бюл. № 29
(72) Швец В.Б., Орлов В.С.
(71) (73) Швец Валерий Борисович, Орлов Виктор Семенович
(56) "Proc.1995 IEEE Ultrasonics Symposium", Seattle, USA, 1995, pp.17-22. RU 2117383 C1, 10.08.1998. WO 93/08641 A1, 29.04.1993. WO 95/14332 A1, 26.05.1995. EP 0840446 A2, 06.05.1998.
(98) 115569, Москва, Каширское ш., д.80, корп.1, кв.135, Орлову В.С.
(54) **ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ РЕВЕРСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С "ЕСТЕСТВЕННОЙ" НАПРАВЛЕННОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН**
(57) Изобретение относится к радиоэлектронике и может быть использовано в фильтрах промежуточных и несущих радиочастот для селекции сигналов в радиотелефонах, пейджерах, мобильных системах связи и т.д. Техническим результатом является уменьшение вносимых потерь устройства. При подаче электрического сигнала на однонаправленный преобразователь, содержащий элементарные секции из противофазных возбуждающих электродов и отражающего электрода, в пьезоэлектрической подложке возбуждаются поверхностные акустические волны (ПАВ), распространяющиеся в прямом и обратном направлении. Для обеспечения "естествен-

2

ной" направленности излучения подложка выполнена из монокристалла, в котором механические и электромагнитные компоненты распространяющейся ПАВ имеют относительно сдвига $0^\circ < \Delta\varphi < \pm 90^\circ$. В каждой элементарной секции ширины первого, второго и третьего возбуждающих электродов выбраны соответственно из соотношений $\lambda/7 < b_1 < 2/3$, $\lambda/7 < b_3 < 2/4$, $\lambda/7 < b_5 < 2/4$, где λ - длина ПАВ на средней частоте, а расстояния между первым и вторым, вторым и третьим возбуждающими электродами выбраны соответственно из соотношений $\lambda/7 < b_2 < 2/4$, $\lambda/7 < b_4 < 2/4$, ширина отражающего электрода выбрана в пределах $\lambda/7 < b_1 < 2/3$, $\lambda/7 < b_1 < 2/3$, а расстояние между третьим возбуждающим электродом и отражающим электродом выбрано в пределах $\lambda/7 < b_6 < 2/4$. При этом отражающий электрод соединен с потенциальной или "земляной" суммирующей шиной, а полярность соединения отражающего электрода с указанными шинами и выбрана противоположной полярности соединения третьего возбуждающего электрода с этими же шинами. При этом соседние элементарные секции размещены с периодом, равным $L = (2n+1) \cdot \lambda/2$, $n = 1, 2, 3 \dots$, а полярность соединения соседних элементарных секций с потенциальной и "земляной" суммирующими шинами выполнены чередующейся. 4 ил.

RU
2158056
С1

RU
2158056
С1

Изобретение относится к области радиоэлектроники и может быть использовано в фильтрах на поверхностных акустических волнах (ПАВ) для селекции сигналов на промежуточных 70-400 МГц и несущих частотах 800-2400 МГц систем мобильной связи: в радиотелефонах, радиоудлинителях, пейджерах и т.д.

Известно большое разнообразие однофазных однонаправленных преобразователей (ОНП) ПАВ, содержащих системы возбуждающих и отражающих электродов [1]. Эти ОНП с внутренними отражателями предназначены для уменьшения вносимых потерь и снижения искажающего влияния сигналов тройного прохождения в фильтрах на ПАВ.

Как показано в [1], в преобразователе, содержащем систему возбуждающих электродов и систему отражающих электродов, максимальное подавление ПАВ в обратном направлении (или максимальная направленность излучения ПАВ в прямом направлении) достигается в случае, когда фаза φ_k волны в центре отражения R_c отличается от фазы φ_0 волны в центре возбуждения T_c на угол $\pi/4$, т.е.

$$\varphi_k = \varphi_0 \pm \pi/4 \pm \pi k, \quad (1)$$

т.е. когда центр возбуждения T_c и центр отражения R_c смещены относительно друг друга на расстояние

$$\Delta l = \pm \lambda/8 \pm k\lambda/2. \quad (2)$$

При смещении центров возбуждения и отражения относительно друг друга на расстояние $\Delta l \neq \pm \lambda/8$ направленность излучения ухудшается.

Знак (+) или (-) в уравнениях (1) и (2) выбирается в зависимости от электрических условий, реализуемых в системе отражающих электродов и выбранного направления распространения ПАВ (вдоль оси X или вдоль оси -X).

В известных ОНП условия максимальной направленности (1) и (2) реализуются за счет выбора расстояний между возбуждающими и отражающими электродами.

Основными недостатками подавляющего большинства известных однофазных ОНП с внутренними отражателями является сложность их изготовления на высоких (более 800-1000 МГц) частотах из-за малых размеров используемых электродов. В большинстве известных ОНП минимальные ши-

рины электродов и расстояний между ними составляют от $\lambda/24$ до $\lambda/8$ или от 0,11 мкм до 0,4 мкм на частоте 1000 МГц.

Другими недостатками известных ОНП [1] является низкая эффективность возбуждения ПАВ из-за ограниченного количества источников ПАВ, образованных противофазными возбуждающими электродами. Это приводит к росту вносимых потерь фильтра, где подобные ОНП используются.

Наиболее изящным решением для высокочастотных фильтров на ПАВ является использование ОНП с "естественной" направленностью излучения (ОНП ЕН) ПАВ [2], фиг. 1.

ОНП ЕН имеет такую же структуру электродов, как и известный двунаправленный встречно-штыревой преобразователь (ВШП) [3], т.е. элементарная секция ОНП ЕН протяженностью λ содержит два противофазных возбуждающих электрода 2, 3 шириной $b_1 = b_3 = \lambda/4$ (фиг. 1). Но в качестве материала подложки 1 используются "несимметричные" срезы пьезоэлектрических монокристаллов, у которых относительный сдвиг фаз между электромагнитной и механической компонентами возбуждаемых или распространяющихся ПАВ составляет $0^\circ < \Delta\varphi < 90^\circ$. Максимальная "естественная" направленность излучения ПАВ у известного ОНП ЕН с электродами $\lambda/4$ [2] наблюдается при $\Delta\varphi = \pm 45^\circ$ или $\Delta\varphi = \pm 135^\circ$.

Сдвиг фаз $\Delta\varphi = \pm 45^\circ$ вызывает соответствующее смещение центра возбуждения ПАВ на расстояние $\Delta l = \pm \lambda/8$ относительно центра отражения ПАВ [2]. В результате обычный ВШП с электродами $\lambda/4$ [3], размещенный на подложке из монокристалла с такими "несимметричными" кристаллофизическими свойствами, приобретает "естественную" направленность излучения [2].

Если сдвиг фаз составляет $\Delta\varphi = +45^\circ$, то соответствующее смещение центра возбуждения T_c ПАВ относительно центра отражения R_c составляет $\Delta l = +\lambda/8$ и такой преобразователь становится прямым однонаправленным преобразователем, излучающим ПАВ преимущественно вдоль направления +X [3].

Если сдвиг фаз составляет $\Delta\varphi = -45^\circ$, то смещение центра возбуждения ПАВ T_c

относительно центра отражения ПАВ R_c равно $\Delta l = -\lambda/8$, и обычный двунаправленный ВШП [3] приобретает "естественную" направленность излучения в обратном направлении $-X$ (фиг. 1в).

При использовании других "несимметричных" кристаллографических ориентаций со сдвигом фаз $\Delta\varphi \neq \pm 45^\circ$ в интервале $0^\circ < \Delta\varphi < 90^\circ$ направленность излучения ОНП ЕН ухудшается.

Поскольку ширина электродов $b = \lambda/4$ в известном ОНП ЕН [2] в 3-6 раз шире, чем в ОНП с внутренними отражателями [1], то ОНП ЕН является одним из лучших решений для использования в высокочастотных фильтрах на ПАВ.

Как правило, в фильтрах на ПАВ используются два преобразователя, излучающих волны навстречу друг другу. Поэтому главной проблемой использования ОНП ЕН в фильтрах на ПАВ с малыми вносимыми потерями является создание реверсного преобразователя, обладающего обратной направленностью излучения по отношению к прямому ОНП ЕН с электродами $b = \lambda/4$. Было предложено несколько конструкций реверсных однонаправленных преобразователей с "естественной" направленностью излучения (ОНП ЕН) ПАВ: с различными материалами электродов, имеющими противоположные по знаку коэффициенты отражений ПАВ (например, при алюминиевых электродах в прямом ОНП ЕН в реверсном ОНП ЕН использовались золотые электроды на кварцевой подложке [4]); с электродами, утопленными в канавках на поверхности подложки [5]; с возбуждающими отражающими электродами разной толщины, формируемыми, например, путем дополнительного химического наращивания металла [6].

Все эти конструкции являются не технологичными, т.к. усложняют изготовление реверсных ОНП ЕН и фильтров на ПАВ на их основе.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому является реверсный однонаправленный преобразователь с "естественной" направленностью излучения ПАВ, изображенный на фиг. 2а [7]. Известный реверсный ОНП ЕН [7] содержит подложку 1 из пьезоэлектрического монокристалла, в котором механические и электромагнитные

компоненты распространяющейся ПАВ имеют относительный сдвиг около $\Delta\varphi \approx \pm 45^\circ$. На рабочей поверхности подложки размещены элементарные секции, каждая из которых содержит группу из трех противофазных первого 2, второго 3 и третьего 4 возбуждающих электродов, соединенных с потенциальной 7 и "земляной" 6 суммирующими шинами, и группу изолированных отражающих электродов 5. При этом протяженность элементарных секций выбрана равной $L = m \cdot \lambda$, где $m = 4, 8, 12$ и т.д., λ - длина ПАВ на средней частоте реверсного ОНП ЕН. Ширина b_1 , первого 2, b_3 второго 3, b_4 третьего 4 возбуждающих электродов выбраны равными $b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = \lambda/4$. Ширины b_5 изолированных отражающих электродов 5 также выбраны равными $b_0 = b_5 = \lambda/4$. При этом расстояние между центрами соседних возбуждающего 4 и отражающего 5 электродов выбрано $L_g = \lambda/2 + \lambda/4$ [7].

Таким образом, в известном реверсном ОНП ЕН электроды в 2-3 раза шире по сравнению с другими типами ОНП [1]. Поэтому известный реверсный ОНП ЕН [7] может быть отнесен к высокочастотным.

При использовании материала подложки с "несимметричной" кристаллографической ориентацией группа из трех возбуждающих электродов 2, 3, 4 будет функционировать так же, как и прямой ОНП ЕН с электродами $\lambda/4$, т.е. при $\Delta\varphi = -45^\circ$ эта группа электродов будет излучать совокупность возбужденных и отраженных ПАВ преимущественно вдоль оси $-X$. Для поворота излучения в прямом направлении $+X$ необходимо компенсировать ПАВ, отраженные возбуждающими электродами 2, 3, 4 в обратном направлении $-X$, и создать условия для дополнительных отражений в прямом направлении $+X$. Поэтому элементарная секция известного реверсного ОНП ЕН содержит группу как минимум из четырех отражающих электродов шириной $b_0 = \lambda/4$. При этом три из них необходимы для компенсации ПАВ, отраженных от возбуждающих электродов 2, 3, 4, и только один служит для формирования направленности излучения в прямом направлении $+X$. В результате минимальная протяженность эле-

ментарной секции реверсного ОНП ЕН [7] $L_{\min} = 4\lambda$, т.е. $m_{\min} = 4$.

Недостатком известного высокочастотного реверсного ОНП ЕН является слабая направленность излучения, приводящая к увеличению вносимых потерь и росту сигнала тройного прохождения в фильтре на ПАВ. Данное явление обусловлено низкими удельными (на длину волны) эффективностями возбуждения и отражения ПАВ.

Действительно, элементарная секция известного реверсного ОНП ЕН содержит шесть источников ПАВ, размещенных на краях противофазных возбуждающих электродов 2, 3, 4 и имеющих в общем случае единичную амплитуду $|\vec{A}_1|$. Амплитуды крайних источников $|\vec{A}_1|$ и $|\vec{A}_6|$ на электродах 2 и 4 будут на 20-50% меньше амплитуд $|\vec{A}_2| \approx |\vec{A}_3| \approx |\vec{A}_4| \approx |\vec{A}_5| \approx A = 1.0$ других источников из-за перераспределения электрических зарядов между возбуждающими и изолированными отражающими электродами [8].

Эффективность возбуждения элементарной секции известного высокочастотного реверсного ОНП ЕН можно оценить, пересчитав комплексные амплитуды источников $\vec{A}_1 + \vec{A}_6$ к амплитуде \vec{E}_2 эквивалентного источника ПАВ, размещенного в условном центре возбуждения T_c (линия ОО на фиг. 2в):

$$\vec{E}_2 \approx (A_1 + A_3 + A_5) \cdot \cos 45^\circ + (A_2 + A_4 + A_6) \cdot \cos 45^\circ \approx 3.36 \cdot A \quad (3)$$

Суммарный коэффициент отражения элементарной секции известного реверсного ОНП ЕН, пересчитанный к центру изолированного отражающего электрода для случая $\Delta\varphi = -45^\circ$, будет

$$\vec{R}_2 = 2r_1 \quad (4)$$

где r_1 - коэффициент отражения ПАВ от кромки изолированного электрода.

При размещении известного реверсного ОНП ЕН [7] на подложке с "несимметричной" кристаллографической ориентацией ($\Delta\varphi = -45^\circ$) условный центр возбуждения T_c смещается вправо (вдоль оси +X) на расстояние $\Delta l = +\lambda/8$ (фиг. 2в). Поэтому в ОНП ЕН создаются условия для преимуще-

ственного излучения в направлении +X (слева направо). Таким образом, данный ОНП ЕН функционирует как реверсный ОНП ЕН по отношению к прямому ОНП ЕН с электродами $\lambda/4$, излучающему волны преимущественно в направлении -X при $\Delta\varphi = -45^\circ$ (фиг. 1в).

Соответственно, удельные (на длину волны) эффективность возбуждения ПАВ и отражательная способность ПАВ известного реверсного ОНП ЕН будут

$$E_2^R = \vec{E}_2^R / L = \vec{E}_1^R / 4\lambda \approx 0.84 \cdot A, \quad (3a)$$

$$R_2^R = \vec{R}_2^R / L = \vec{R}_1^R / 4\lambda \approx 0.5 \cdot r_1 \quad (4a)$$

Основным недостатком высокочастотного известного реверсного ОНП ЕН [7] являются высокие вносимые потери, обусловленные низкой эффективностью возбуждения ПАВ и низкой направленностью излучения из-за слабой отражающей способности элементарных секций. Вносимые потери известного высокочастотного реверсного ОНП ЕН увеличиваются при использовании материалов подложки с $\Delta\varphi \neq \pm 45^\circ$ в интервале $0^\circ < \Delta\varphi < \pm 90^\circ$.

Технической задачей изобретения является уменьшение вносимых потерь. Решение поставленной задачи достигается тем, что в высокочастотном реверсном преобразователе с "естественной" направленностью излучения (ОНП ЕН) поверхностных акустических волн (ПАВ), содержащем подложку из пьезоэлектрического монокристалла, в котором механические и электромагнитные компоненты распространяющейся ПАВ имеют относительный сдвиг фазы $0^\circ < \Delta\varphi < \pm 90^\circ$, на рабочей поверхности которой размещены периодические элементарные секции, каждая из которых содержит группу из противофазных первого, второго и третьего возбуждающих электродов, соединенных с потенциальной и "земляной" суммирующими шинами, и отражающий электрод, отличающийся тем, что ширины первого, второго и третьего возбуждающих электродов выбраны соответственно из соотношений $\lambda/7 < b_1 < \lambda/3, \lambda/7 < b_3 < \lambda/4, \lambda/7 < b_5 < \lambda/4$, где λ длина ПАВ на средней частоте, а расстояния между первым, вторым и третьим возбуждающими электродами выбраны соответственно из соотношений $\lambda/8 < b_2 < \lambda/4, \lambda/8 < b_4 < \lambda/4$, ширина отражающего электрода выбрана в

пределах $\lambda/7 < b_7 < \lambda/3$, а расстояние между третьим возбуждающим электродом и отражающим электродом выбрано в пределах $\lambda/8 < b_6 < \lambda/4$, при этом отражающий электрод соединен с потенциальной или "земляной" суммирующей шиной, а полярность соединения отражающего электрода с указанными шинами выбрана противоположной полярности соединения третьего возбуждающего электрода с этими же шинами, при этом соседние элементарные секции размещены с периодом, равным $L = (2n+1) \cdot \lambda/2$, $n = 1, 2, 3, \dots$, а полярность соединения соседних элементарных секций с потенциальной и "земляной" суммирующими шинами выполнена чередующейся.

Ширины всех электродов и зазоров между ними больше, чем у известных ОНП [1]. Поэтому предлагаемый ОНП также может быть отнесен к высокочастотным.

На фиг. 1 показан прямой ОНП ЕН с двумя электродами шириной $b = \lambda/4$ в элементарной секции и векторные диаграммы для анализа взаимодействия волн, возбужденных в прямом направлении X и волн, отраженных от краев электродов при падении их справа.

На фиг. 2 показана конструкция высокочастотного реверсного ОНП ЕН с группой изолированных отражающих электродов [7], выбранная в качестве прототипа, и векторные диаграммы для ее анализа.

На фиг. 3 показана конструкция предлагаемого реверсного ОНП ЕН с низкими вносимыми потерями и векторные диаграммы для анализа его работы при $\Delta\varphi = -45^\circ$ и оптимальных ширинах электродов, обеспечивающих минимальные потери.

На фиг. 1-3 направленность излучения ПАВ показана для случая использования монокристаллов с $\Delta\varphi = -45^\circ$. Для случая $\Delta\varphi = +45^\circ$ направленность излучения ПАВ поменяется на зеркальную.

На фиг. 4 показана частотная зависимость модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ фильтра на ПАВ, содержащего прямой ОНП ЕН с электродами $\lambda/4$ и предлагаемый высокочастотный реверсный ОНП ЕН. При этом оба ОНП ЕН выполнены веерными со ступенчатыми электродами [9].

Высокочастотный реверсный преобразователь с "естественной" направленностью излучения (ОНП ЕН) поверхностных акустических волн (ПАВ), содержит подложку 1 из пьезоэлектрического монокристалла, в котором механические и электромагнитные компоненты распространяющейся ПАВ имеют относительный сдвиг фазы $0^\circ < \Delta\varphi < \pm 90^\circ$, (оптимальное значение около $\Delta\varphi = \pm 45^\circ$). На рабочей поверхности подложки размещены периодические элементарные секции, каждая из которых содержит группу из противофазных первого 2, второго 3 и третьего 4 возбуждающих электродов, соединенных с потенциальной 6 и "земляной" 7 суммирующими шинами, и отражающий электрод 5. Ширины первого 2, второго 3 и третьего 4 возбуждающих электродов выбраны соответственно из соотношений:

$$\lambda/7 < b_1 < \lambda/3, \lambda/7 < b_3 < \lambda/4, \lambda/7 < b_5 < \lambda/4, \quad (5)$$

где λ длина ПАВ на средней частоте, а расстояния между первым 2 и вторым 3, вторым 3 и третьим 4 возбуждающими электродами выбраны соответственно из соотношений:

$$\lambda/8 < b_2 < \lambda/4; \lambda/8 < b_4 < \lambda/4, \quad (6)$$

ширина отражающего электрода выбрана в пределах $\lambda/7 < b_7 < \lambda/3$, а расстояние между третьим возбуждающим электродом 4 и отражающим электродом 5 выбрано в пределах:

$$\lambda/8 < b_6 < \lambda/4, \quad (7)$$

При этом отражающий электрод 5 соединен с потенциальной 6 или "земляной" 7 суммирующей шиной, а полярность соединения отражающего электрода 5 с указанными шинами 6 и 7 выбрана противоположной полярности соединения третьего возбуждающего электрода 4 с этими же шинами 6 и 7. При этом соседние элементарные секции размещены с периодом, равным:

$$L = (2n+1) \cdot \lambda/2, n = 1, 2, 3, \dots, \quad (8)$$

а полярность соединения соседних элементарных секций с потенциальной 6 и "земляной" 7 суммирующими шинами выполнена чередующейся.

Для материалов подложки "несимметричных" ориентаций с $\Delta\varphi = +45^\circ$ максимальная направленность излучения и, следовательно, минимальные

вносимые потери в предлагаемом реверсном ОНП ЕН достигаются при следующих оптимальных условиях:

$$b_1 = b_7 = 5\lambda/24, \quad (9)$$

$$b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = b_6 = \lambda/6. \quad (10)$$

Для материалов подложки с $\Delta\varphi = -45^\circ$ указанные соотношения сохраняются, но направленность излучения ПАВ меняется на зеркальную.

В общем случае при использовании в качестве материала подложки монокристалла с "несимметричной" ориентацией, для которой сдвиг фаз $\Delta\varphi$ между электрическими и механическими компонентами ПАВ не равен $\pm 45^\circ$, а находится в пределах $0^\circ < \Delta\varphi < 90^\circ$. (11) В общем случае предложенный ОНП ЕН работает как реверсный и обладает максимальной направленностью благодаря синфазному сложению возбужденных и отраженных волн, если выполнены следующие условия:

$$b_3 = b_5, \quad b_2 = b_4 = b_6, \quad (11)$$

$$b_2 + b_3 = \lambda/3, \quad (12)$$

$$b_1 - b_7 = 2\lambda(\Delta\varphi - 45^\circ)/360^\circ. \quad (13)$$

Таким образом, для любых сочетаний между ширинами b_i электродов и зазоров, выбранных из соотношений (5-7) можно найти одно единственное, которое для любой "несимметричной" ориентации кристалла с $0^\circ < \Delta\varphi < 90^\circ$ обеспечит максимальную направленность излучения ОНП ЕН и минимальные вносимые потери.

Критерием выбора b_i и $\Delta\varphi$ служат соотношения (11-13).

На фиг. 3 изображен частный случай предлагаемого ОНП ЕН, для которого $\Delta\varphi = -45^\circ$ и выполняются условия (9-10) для максимальной направленности излучения.

При оптимальных соотношениях (9) и (10) для ширин электродов и зазоров предлагаемый высокочастотный реверсный ОНП ЕН работает следующим образом. При подаче электрического сигнала от внешнего генератора (на чертеже фиг. 3 условно не показан) противофазными возбуждающими электродами 2, 3, 4 (или разнофазными

источниками с амплитудами $|\vec{A}_1| = A_1$, $|\vec{A}_2| = A_2$, $|\vec{A}_3| = A_3$, $|\vec{A}_4| = A_4$, $|\vec{A}_5| = A_5$, $|\vec{A}_6| = A_6$

генерируются ПАВ, которые распространяются в пьезоэлектрической подложке 1 в прямом X и обратном -X направлениях. При этом можно считать, что $A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = A = 1.0$, а амплитуды крайних источников уменьшены за счет перераспределения зарядов, т.е. $A_1 = A_6 = 0.8 \cdot A$. Для удобства анализа шесть

$\vec{A}_1 + \vec{A}_6$ можно объединить в один эквивалентный источник, размещенный в условном центре T_c возбуждения (линия ОО). Тогда волна, распространяющаяся в прямом направлении X, будет $\vec{E}_3^+ = \exp(i(\omega t - kx))$, а волна, распространяющаяся в обратном направлении -X, будет $\vec{E}_3^- = \exp(i(\omega t + kx))$, где k - волновое число, x - текущая координата вдоль оси X.

При условии максимальной направленности ($\Delta\varphi = -45^\circ$, $b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = \lambda/6$,

$b_1 = b_7 = 5\lambda/24$) эф- фективность излучения эквивалентного источника можно оценить как (фиг. 3в)

$$\vec{E}_3^+ = A_2 + A_5 + (A_3 - A_6) \cdot \cos(60^\circ) + (A_4 - A_1) \cdot \cos(60^\circ) \approx 2.1A, \quad (14)$$

Удельная эффективность возбуждения одной элементарной секции будет:

$$E_3^R = \vec{E}_3^+ / L = 2.1A / 1.5\lambda \approx 1.44A/\lambda, \quad (14a)$$

что в 1.6 раз выше, чем для прототипа [7] (см. 3а).

Таким образом, в предложенном реверсном ОНП ЕН достигается уменьшение вносимых потерь, связанных с эффективностью преобразования электрической энергии в акустическую и обратно.

При формировании отраженной ПАВ в случае максимальной направленности (9-10), волны, отраженные от краев g первого 2, f и e второго 3 возбуждающих электродов, компенсируются волнами, соответственно отраженными от краев d и c третьего возбуждающего электрода 4 и от края b отражающего электрода 5. Но волны, отраженные от края h первого возбуждающего электрода 2 и от края a отражающего электрода 5 складываются в фазе (фиг. 3г) в отличие от прототипа. Учитывая последнее обстоятельство и тот факт, что амплитуда коэффициента отражения r_5 ПАВ от края короткозамкнутого электрода выше, чем от края изолированного электрода r_1 [3], можно утверждать, что эффективный коэффициент отражения элементарной секции предложенного реверсного ОНП ЕН

$$\vec{R}_3 = 2r_5 / L_3 = 2r_5 / 1.5\lambda = 1.33r_5. \quad (15)$$

Тогда удельный (на длину волны) коэффициент отражения предложенного реверсного ОНП ЕН будет:

$$R_3^R = \vec{R}_3 / L_3 = 1.33r_5 / 1.5\lambda \approx 0.887r_5, \quad (15a)$$

что значительно превышает удельный коэффициент отражения элементарной секции прототипа (соотношение 4а).

При размещении предложенного реверсного ОНП ЕН на подложке из монокристалла "несимметричного" среза с $\Delta\varphi = -45^\circ$ условный центр возбуждения T_c смещается на $\lambda/8$ вправо (фиг. 3в) относительно своего исходного положения на подложке из кристалла "симметричного" среза (фиг. 3б). Поэтому в предложенном ОНП ЕН реализуется преимущественная направленность излучения в направлении +X (слева направо).

Направленность излучения элементарной секции предлагаемого реверсного ОНП ЕН:

$$|\vec{D}_3(x)| = \frac{|S_{32}|^2}{|S_{31}|^2} \approx \frac{|\vec{R}_3(x)|}{|\vec{S}_3(x)|} = \frac{1+R_3^R}{1-R_3^R}$$

$$\vec{D}_2(x) = \frac{1+R_2^R}{1-R_2^R}$$

что больше, чем у известного реверсного ОНП ЕН [7]. В результате в предложенном реверсном ОНП ЕН реализуются более высокие эффективность возбуждения, эффективность отражения и направленность излучения в прямом направлении по сравнению с известным реверсным ОНП ЕН.

Таким образом, в предложенном устройстве обеспечивается решение поставленной задачи - уменьшение вносимых потерь.

Пример. На фиг. 4 показана экспериментальная зависимость модуля $|S_{21}|$ (или АЧХ) фильтра на ПАВ со средней частотой 350 MHz для радиотелефонов стандарта W-CDMA. Фильтр содержит известный прямой ОНП ЕН [7] и предлагаемый реверсный ОНП ЕН и изготовлен на подложке из лангасита $\text{La}_2\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ среза $\text{ухл}/50^\circ/25^\circ$, $\Delta\varphi = -45^\circ$

Оба преобразователя (прямой и реверсный) выполнялись веерными со ступенчатыми электродами, которые имели ширину, изменяющуюся для каждой ступени вдоль апертуры [9].

Фильтр обладает высокой избирательностью (более 60 дБ), обусловленной использованием лангасита среза $\text{ухл}/50^\circ/25^\circ$ с низким уровнем возбуждения паразитных мод в качестве материала подложки, и малыми вносимыми потерями 12,2 дБ.

Последнее обусловлено использованием предлагаемого высокочастотного реверсного ОНП ЕН. Для сравнения следует указать, что вносимые потери аналогичного фильтра на подложке из кварца $\text{ухл}/42^\circ/45^\circ$ составляли 17,6 дБ, что почти на 6 дБ хуже.

Это позволяет утверждать о перспективности использования предлагаемого реверсного ОНП ЕН в фильтрах на ПАВ с малыми вносимыми потерями для радиотелефонов.

Литература

1. Hartmann C.S., Wright P.V. et al. An Analysis of SAW Interdigital Transducers with Internal Reflections and the Application to the Design of Single-Phase Unidirectional Transducers. "Proc. 1982 IEEE Ultrasonics Symposium", p.40-45.

2. Write P.V. Surface Acoustic Wave Transducer. European Patent N 0184508 A2, Int. Cl⁴ H 03 H 9/145, dated December 3, 1984.

3. Фильтры на поверхностных акустических волнах. Под ред. Г.Мэтьюза. М.: Радио и связь, 1981, с.111 и 316.

4. Write P.V. The Natural Single-Phase Unidirectional Transducer: A New Low-Loss SAW Transducer. "Proc. 1985 IEEE Ultrasonics Symposium", p.58-63.

5. Lam C.S., Gunes D. A Low-Loss SAW Filter Using Two-Finger per Wavelength Electrodes on the NSPUOT Orientation on Quartz. "Proc. 1993 IEEE Ultrasonics Symposium", Honolulu, Hawaii, p. 185-188.

6. Yamanouchi K., Takeuchi M., Odagawa H. and Tanaka H. Low-Loss SAW Filters Using Thickness Difference Type of IDT on the NSPUOT Orientation Substrate. "Proc. 1995 IEEE International Frequency Control Symposium", p.537-541, San-Francisco, USA.

7. Takeuchi M., Odagawa H. et al. SAW Transducer Configurations for Reversing the Directivity of NSPUOT Substrates. "Proc. 1995 IEEE Ultrasonics Symposium", p.17-22, Seattle, USA.

8. Морган Д. Устройства обработки сигналов на ПАВ. М.: Радио и связь, 1990, с.96.

9. Швец В.Б., Орлов В.С. Реверсный преобразователь с "естественной" направленностью излучения поверхностных акустических волн, заявка на изобретение N 99109614/09(009717) от 29.04.99.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Высокочастотный реверсный преобразователь с "естественной" направленностью излучения (ОНП ЕН) поверхностных

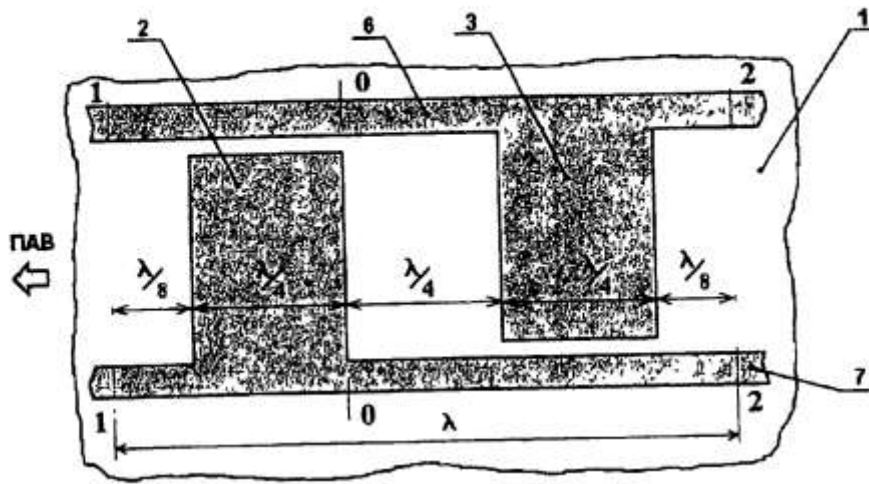
акустических волн (ПАВ), содержащий подложку из пьезоэлектрического монокристалла, в котором механические и электро-

магнитные компоненты распространяющейся ПАВ имеют относительный сдвиг фазы $0^\circ < \Delta\varphi < \pm 90^\circ$, на рабочей поверхности которой размещены периодические элементарные секции, каждая из которых содержит группу из противофазных первого, второго и третьего возбуждающих электродов, соединенных с потенциальной и "земляной" суммирующими шинами, и отражающий электрод, отличающийся тем, что ширины первого, второго и третьего возбуждающих электродов выбраны соответственно из соотношений $\lambda/7 < b_1 < \lambda/3$, $\lambda/7 < b_2 < \lambda/4$, $\lambda/7 < b_3 < \lambda/4$,

где λ -

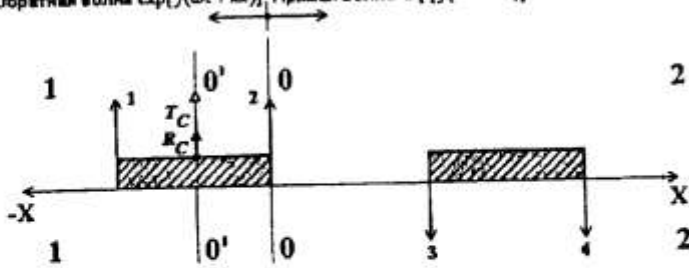
длина ПАВ на средней частоте, а расстояния между первым и вторым, вторым и третьим возбуждающими электродами выбраны соответственно из соотношений $\lambda/8 < b_2 < \lambda/4$,

$\lambda/8 < b_4 < \lambda/4$, ширина отражающего электрода выбрана в пределах $\lambda/7 < b_7 < \lambda/3$, а расстояние между третьим возбуждающим электродом и отражающим электродом выбрано в пределах $\lambda/8 < b_6 < \lambda/4$, при этом отражающий электрод соединен с потенциальной или "земляной" суммирующей шиной, а полярность соединения отражающего электрода с указанными шинами выбрана противоположной полярности соединения третьего возбуждающего электрода с этими же шинами, при этом соседние элементарные секции размещены с периодом, равным $L = (2n+1) \cdot \lambda/2$, $n = 1, 2, 3 \dots$, а полярность соединения соседних элементарных секций с потенциальной и "земляной" суммирующими шинами выполнена чередующейся.

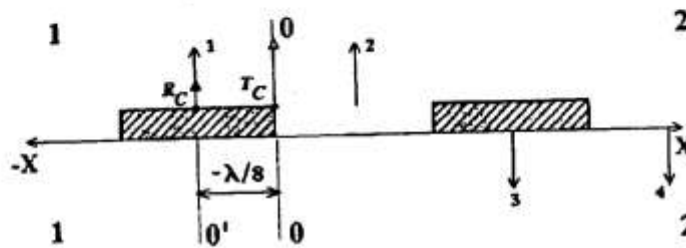


а Конструкция элементарной секции

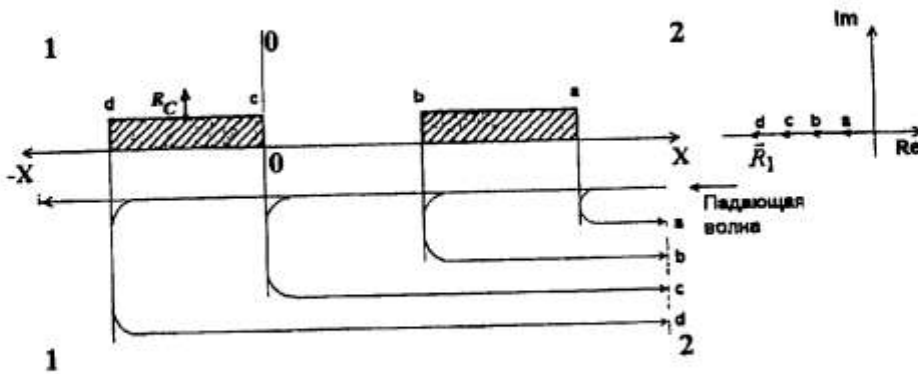
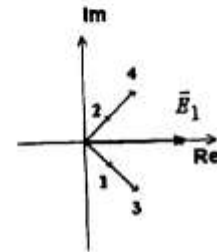
Обратная волна $\exp[j(\omega t + kx)]$, Прямая волна $\exp[j(\omega t - kx)]$



б. Возбуждение ПАВ в "симметричных" срезах, $\Delta\phi = 0^\circ$



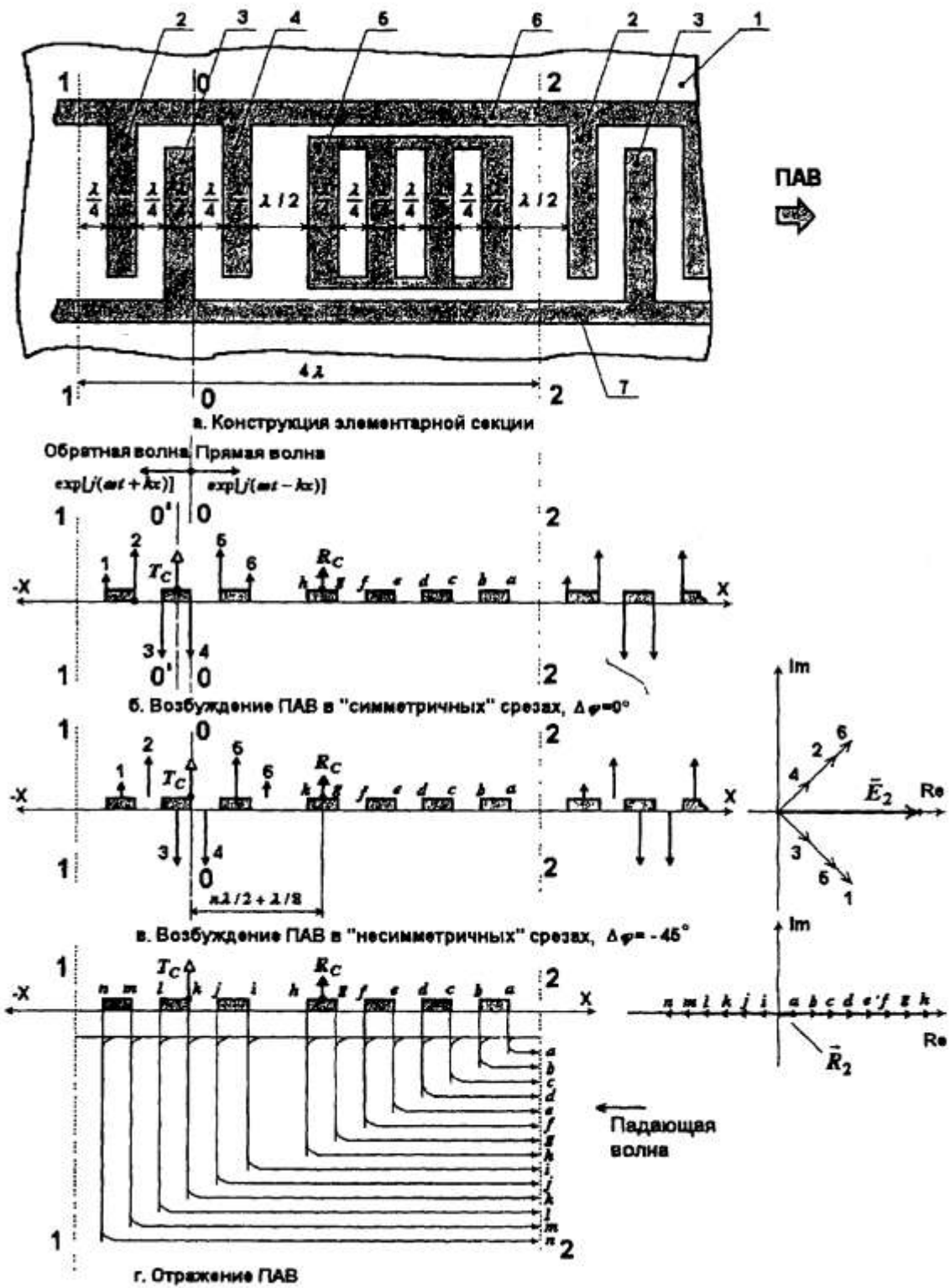
в Возбуждение ПАВ в "несимметричных" срезах, $\Delta\phi = -45^\circ$



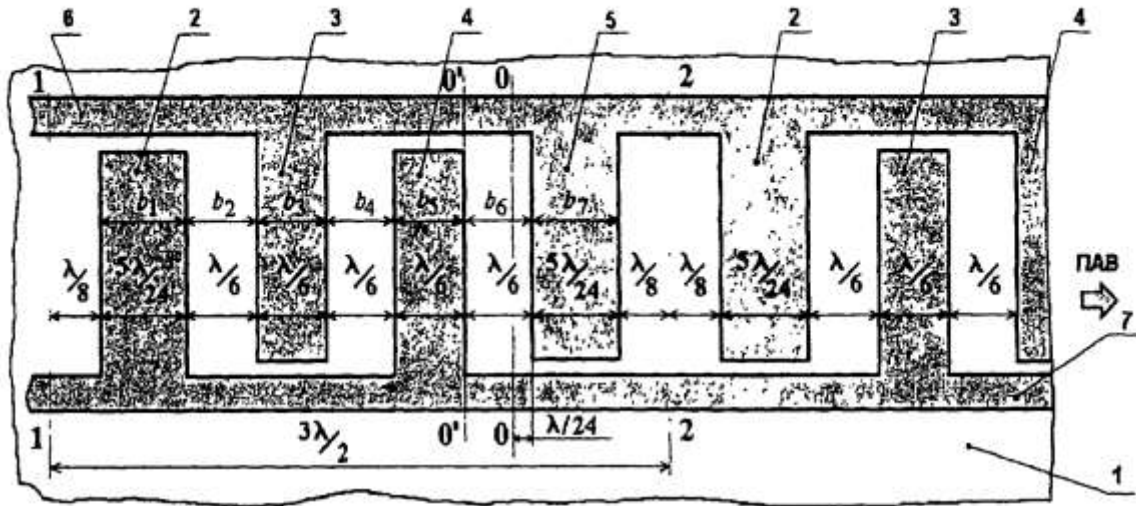
г Отражение ПАВ

А

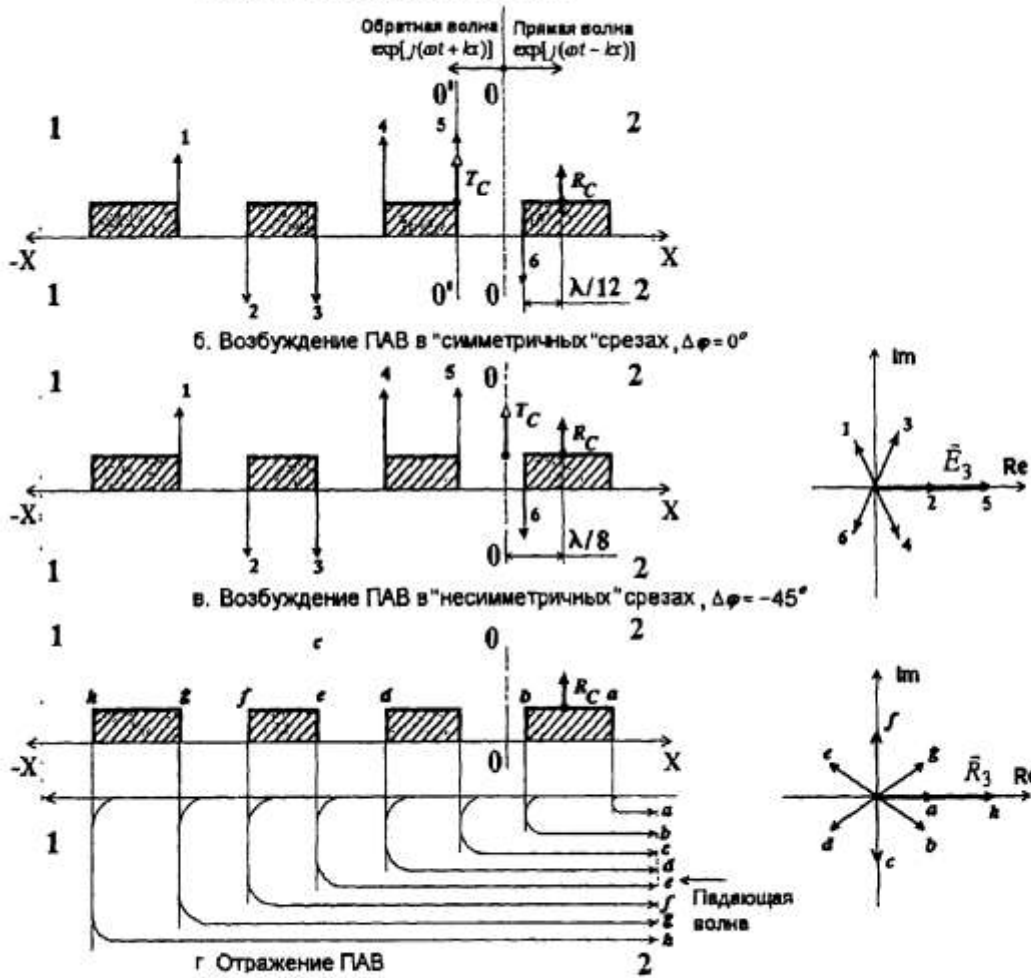
Фиг 1



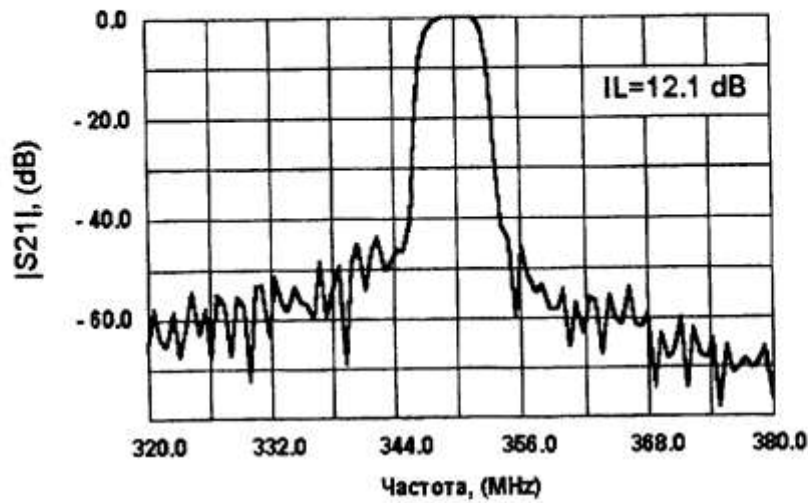
Фиг.2



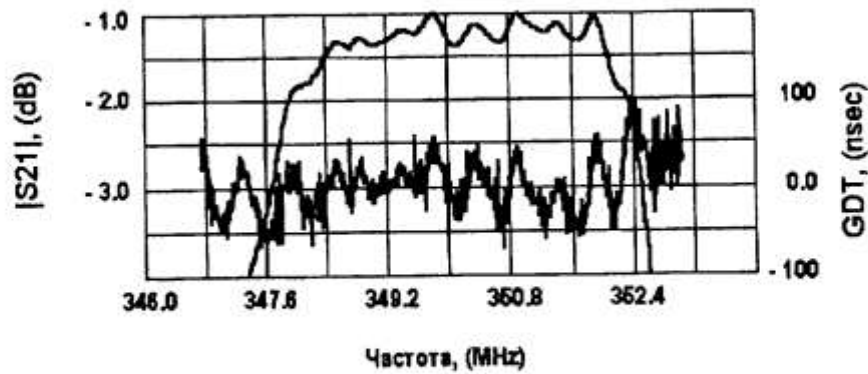
а Конструкция элементарной секции



Фиг 3



а



б

Фиг.4

Заказ *26* Подписное
 ФИПС, Рег. ЛР № 040921
 121858, Москва, Бережковская наб., д.30, корп.1,
 Научно-исследовательское отделение по
 подготовке официальных изданий

Отпечатано на полиграфической базе ФИПС
 121873, Москва, Бережковская наб., 24, стр.2
 Отделение выпуска официальных изданий