



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ
ЗНАКАМ
(РОСПАТЕНТ)

(19) RU (11) 2171010 (13) C2

(51) 7 H03H9/64

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Российской Федерации

(14) Дата публикации: 2001.07.20

(21) Регистрационный номер заявки:
99121523/09

(22) Дата подачи заявки: 1999.10.12

(24) Дата начала действия патента:
1999.10.12

(46) Дата публикации формулы
изобретения: 2001.07.20

(56) Аналоги изобретения: Proc. IEEE,
1998. Ultrasonics Symposium, Japan,
Sendai, 1998, p.27-37. SU 1730717 A1,
30.04.1992. SU 1170588 A, 30.07.1985.
SU 1022292 A, 07.06.1983. EP 0854571
A2, 22.07.1998. WO 93/08641 A1,
29.04.1993.

(71) Имя заявителя: Данилов Александр
Львович; Иванов Петр Григорьевич;
Макаров Владимир Михайлович; Орлов
Виктор Семенович; Швец Валерий
Борисович

(72) Имя изобретателя: Данилов А.Л.; Иванов
П.Г.; Макаров В.М.; Орлов В.С.; Швец В.Б.

(73) Имя патентообладателя: Данилов
Александр Львович; Иванов Петр
Григорьевич; Макаров Владимир
Михайлович; Орлов Виктор Семенович;
Швец Валерий Борисович

(98) Адрес для переписки: 115569, Москва,
Каширское ш., 80, корп.1, кв.135,
В.С.Орлову

(54) ФИЛЬТР НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ С КВАЗИВЕЕРНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

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 искажения заданных частотных характеристик и упрощение изготовления фильтров. При подаче электрического сигнала на входной преобразователь, содержащий электроды в пьезоэлектрической подложке, возбуждаются поверхностные акустические волны (ПАВ), которые распространяются в направлении выходного преобразователя, трансформируются на нем в электрический сигнал, выделяющийся в нагрузку. Периоды и ширины электродов изменяются вдоль апертур входного преобразователя. Входной и выходной преобразователи разделены вдоль их апертур на параллельные акустические каналы, число которых в каждом преобразователе выбрано из приведенных соотношений. При этом в каждом акустическом канале электроды размещены перпендикулярно направлению распространения ПАВ, периоды и ширины электродов выполнены постоянными, а апертуры акустических каналов также выбраны из приведенных соотношений. Одноименные электроды соседних акустических каналов электрически связаны между собой соединительными перемычками. Соединительные перемычки выполнены в виде трапеции, прямоугольника или в виде набора прямоугольников, частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов. Разделение входного и выходного преобразователей на ограниченное число акустических каналов в соответствии с изобретением позволяет уменьшить искажения частотных характеристик фильтра на ПАВ и упростить его изготовление. 3 з.п. ф-лы, 7 ил.

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Изобретение относится к области радиоэлектроники и может быть использовано в устройствах частотной селекции сигналов в мобильных системах связи, радиотелефонах, радиоудлинителях и т.д.

Известен фильтр на поверхностных акустических волнах (ПАВ), содержащий пьезоэлектрическую подложку, на рабочей поверхности которой размещены входной и выходной встречно-штыревые преобразователи (ВШП) [1, стр. 187]. При этом ВШП имеют регулярную решетку противофазных

электродов с постоянным периодом P . В регулярном ВШП период P равен длине волны λ ,

соответствующей частоте акустического синхронизма или средней частоте $f_0 = V/P = V/\lambda$, где V - скорость ПАВ. С целью повышения избирательности один из преобразователей может быть выполнен со взвешиванием перекрытия электродов [1, стр. 187], а второй - со взвешиванием путем селективного удаления электродов [1, стр.205].

Недостатком известного фильтра на ПАВ [1] являются большие искажения $\Delta\alpha$ и $\Delta\Phi$ амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик (АЧХ и ФЧХ) в полосе пропускания, обусловленные сигналом тройного прохождения (СТП). СТП в свою очередь вызван отражением ПАВ сначала от электродов выходного ВШП, а затем - от электродов входного ВШП [1, стр. 172-175].

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является фильтр на ПАВ, содержащий пьезоэлектрическую подложку 1, на рабочей поверхности которой размещены входной 2 и выходной 3 преобразователи, образованные перекрывающимися противофазными электродами 4. С целью подавления СТП в широкой полосе частот входной 2 и выходной 3 преобразователи выполнены веерными, то есть противофазные возбуждающие электроды 4

каждого из преобразователей размещены под углом α по направлению распространения ПАВ

(фиг. 1а). При этом в каждом преобразователе 2, 3 угол α наклона электродов изменяется влево и

вправо от центра преобразователя от $\alpha = 0^\circ$ до $\alpha = \pm\alpha_{\max}$, где $\alpha_{\max} < 10-15^\circ$, а период электродов P_i и ширины электродов b_i , изменяются вдоль апертур W_i и W_o входного и выходного преобразователя соответственно от P_{\min} до P_{\max} и от b_{\min} до b_{\max} [2, фиг. 1]. Для обеспечения однонаправленности излучения ПАВ в преобразователи 2, 3 могут быть введены отражающие электроды 5 (фиг. 1б). Характерной особенностью фильтров на ПАВ с использованием веерных преобразователей является нежелательный наклон АЧХ в полосе пропускания [3, фиг. 6], компенсировать который приходится за счет применения изогнутых электродов [2, фиг. 1а]. Основным недостатком известного фильтра является сложность его изготовления. Оборудование для изготовления фотошаблонов (оптические генераторы изображения, электронно-лучевые установки и т.д.) имеет дискретное перемещение исполнительных механизмов. Поэтому при изготовлении фотошаблонов наклонные электроды приходится разбивать на 500-1000 фрагментов, что пропорционально увеличивает число фото-экспозиций оборудования и увеличивает время изготовления фотошаблона до 8-12 часов.

Необходимость использования криволинейных электродов еще более усложняет изготовление фотошаблона.

Другим недостатком известного фильтра на ПАВ является низкая точность воспроизведения

заданных частотных характеристик: большие искажения $\Delta\alpha$ и $\Delta\Phi$ заданных АЧХ и ФЧХ в полосе пропускания и низкие избирательность и коэффициент прямоугольности АЧХ.

Эти недостатки обусловлены тем, что наклонные электроды излучают и, соответственно, принимают ПАВ под углом к продольной от оси фильтра [4, стр. 261-264]. Кроме того, частотные характеристики (избирательность и коэффициент прямоугольности АЧХ) фильтра ухудшаются из-за дифракционного расхождения пучка ПАВ и отклонения потока энергии от продольной оси фильтра [4, стр. 187-200].

Взаимосвязанными техническими задачами, решаемыми в изобретении, являются повышение точности воспроизведения заданных частотных характеристик фильтра на ПАВ и упрощение его изготовления.

Поставленные задачи решаются тем, что в фильтре на поверхностных акустических волнах (ПАВ), содержащем пьезоэлектрическую подложку, на рабочей поверхности которой размещены входной и выходной преобразователи, образованные перекрывающимися противофазными (возбуждающими или возбуждающими и отражающими) электродами, периоды и ширины которых изменяются вдоль апертур преобразователей. Входной и выходной преобразователи разделены

вдоль их апертур на параллельные акустические каналы, число которых выбрано из соотношений

$BW/(TBW+1) \cong M_i < 100$, $BW/(TBW+1) \cong M_o < 100$, где M_i и M_o - число акустических каналов во входном и выходном преобразователях соответственно, BW - ширина полосы пропускания фильтра, TBW - ширина переходной полосы фильтра. При этом в каждом акустическом канале электроды размещены перпендикулярно направлению распространения ПАВ, периоды и ширины электродов

выполнены постоянными, а апертуры акустических каналов выбраны из соотношений $\lambda/2 < A_i <$

$W_i/2$, $\lambda_m/2 < A_m < W_o/2$ где $i = 1, 2, 3, \dots, M_i$ и $m = 1, 2, 3, \dots, M_o$ текущие номера акустических каналов во входном и выходном преобразователях, A_i и A_m - апертуры i -го и m -го акустического каналов во

входном и выходном преобразователях, λ_i и λ_m - длины ПАВ, соответствующие периодам электродов i -го и m -го акустического каналов, W_i и W_o - апертуры соответственно входного и выходного преобразователей. Одноименные электроды соседних акустических каналов

электрически связаны между собой соединительными перемычками, протяженности δ_{A_i} и δ_{A_m}

которых вдоль апертур преобразователей выбраны из соотношений $A_i/50 < \delta_{A_i} < A_i/10$ и $A_m/50 < \delta_{A_m} < A_m/10$, при этом расстояние L_i между центрами соответствующих акустических каналов

выбрано из соотношения $L_i = L_{o_i} + (\frac{\Delta\Phi}{\lambda/2}) \cdot \pi \cdot \lambda_i$, где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$, целое число, L_{o_i} - расстояние между центрами акустических каналов во входном и выходном преобразователях, соответствующее

заданной фазочастотной характеристике фильтра, $\Delta\Phi_i$ - требуемая величина коррекции искажения фазочастотной характеристики i -го канала.

В первом варианте фильтра соединительные перемычки выполнены в виде трапеций, частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов.

Во втором варианте фильтра соединительные перемычки выполнены в виде одиночных прямоугольников, также частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов.

В третьем варианте соединительные перемычки выполнены в виде набора прямоугольников, сдвинутых относительно друг друга вдоль направления распространения ПАВ и также частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов. При этом число K прямоугольников в наборе выбрано из соотношения

$$1 \cong K \cong (V \cdot L_{i,o} \lambda_{i,o} / 2 \cdot \delta_{i1}) \cdot (\Delta f_i \cdot \lambda_i / f_i^2),$$

где $\Delta f_i = f_i - f_{i+1} \cong BW / (M_{i,o} + 1)$ - разница средних частот соседних акустических каналов, электроды которых соединяются перемычкой,

$f_i = V / \lambda_i$ и $f_{i+1} = V / \lambda_{i+1}$ - средние частоты соседних i -го и $(i+1)$ -го акустических каналов,

V - скорость ПАВ,

$L_{i,o} \lambda_{i,o}$ - протяженность входного или выходного преобразователя в длинах волн,

δ_{i1} - сдвиг между соседними прямоугольниками вдоль направления распространения ПАВ.

В результате входной и выходной преобразователи имеют ступенчатые электроды, периоды P_i и P_m и ширины b_i и b_m которых изменяются от ступени к ступени вдоль апертур W_i и W_o преобразователей. Такие преобразователи могут быть названы квазивеерными преобразователями со ступенчатыми электродами. При этом каждая ступень соответствует акустическому каналу.

В общем случае число M_i и M_o акустических каналов во входном и выходном преобразователях и их протяженности $L_{i,o} \lambda_{i,o}$ могут быть неодинаковыми.

Но в подавляющем же числе случаев $W_i = W_o = W$, $i = m$, $M_i = M_o$, $P_i = P_m$, $b_i = b_m$, $L_{i1} \lambda_{i1} = L_{o1} \lambda_{o1}$.

На фиг. 1 представлен известный фильтр на ПАВ с веерными преобразователями, содержащими только возбуждающие наклонные электроды (фиг. 1 а) или возбуждающие и отражающие наклонные электроды (фиг. 1б).

На фиг. 2 представлен предлагаемый фильтр с квазивеерными преобразователями, имеющими только возбуждающие ступенчатые электроды (фиг. 2а), или возбуждающие и отражающие ступенчатые электроды (фиг. 2б).

На фиг. 3 представлен предлагаемый фильтр для случая, когда число акустических каналов во входном и выходном преобразователях выбрано неодинаковым.

На фиг. 4 показаны варианты выполнения соединительных проводящих перемычек: фиг. 4а - в виде трапеции, фиг. 4б - в виде одиночного прямоугольника, фиг. 4в - в виде набора прямоугольников, сдвинутых вдоль направления распространения ПАВ.

На фиг. 5 показан механизм формирования частотной характеристики фильтра на ПАВ как суперпозиции частотных характеристик суб-фильтров, образованных соответствующими акустическими каналами во входном и выходном преобразователях.

На фиг. 6 представлена зависимость неравномерности амплитудно-частотной характеристики $|sz1|$ фильтра на ПАВ от числа акустических каналов (при относительной полосе пропускания фильтра $BW/F_0=20\%$).

На фиг. 7 показан пример экспериментальных АЧХ или $|sz1|$ фильтра-прототипа (кривая 1) и предлагаемого фильтра на ПАВ (кривая 2).

Предлагаемый фильтр на поверхностных акустических волнах (ПАВ) содержит пьезоэлектрическую подложку 1, на рабочей поверхности которой размещены входной 2 и выходной 3 преобразователи, образованные перекрывающимися противофазными (возбуждающими 4 или возбуждающими 4 и отражающими 5) электродами, периоды P_i и P_m и ширины b_i и b_m которых изменяются вдоль апертур W_i и W_o соответственно входного 2 и выходного 3 преобразователей. Входной 2 и выходной 3 преобразователи разделены вдоль их апертур на параллельные акустические каналы 6, 7, число которых в каждом преобразователе выбрано из соотношений

$$BW/(TBW+1) \cong M_i < 100; (1)$$

$$BW/(TBW+1) \cong M_o < 100,$$

где M_i и M_o - число акустических каналов 6 и 7 во входном 2 и выходном 3 преобразователях соответственно, BW - ширина полосы пропускания фильтра, TBW - ширина переходной полосы фильтра. При этом в каждом акустическом канале 6, 7 электроды 4, 5 размещены перпендикулярно направлению распространения ПАВ, периоды P_i , P_m и ширины b_i , b_m электродов выполнены постоянными, а апертуры акустических каналов выбраны из соотношений

$$\lambda_i/2 < A_i < W_i/2; (2)$$

$$\lambda_m/2 < A_m < W_o/2,$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, M_i$ и $m = 1, 2, 3, \dots, M_o$ - текущие номера акустических каналов 6, 7 во входном 2 и выходном 3 преобразователях, A_i и A_m - апертуры i -го и m -го акустического каналов во входном и

выходном преобразователях, λ_i и λ_m - длины ПАВ, соответствующие периодам P_i и P_m электродов i -го и m -го акустических каналов 6, 7, W_i и W_o - апертуры соответственно входного 2 и выходного 3 преобразователей. Одноименные электроды 4 соседних акустических каналов 6 и 7 электрически

связаны между собой соединительными перемычками 8, протяженности δA_i и δA_m которых вдоль апертур W_o и W_i преобразователей 2, 3 выбраны из соотношений

$$A_i/50 < \delta A_i < A_i/10 \text{ и } A_m/50 < \delta A_m < A_m/10, (3)$$

при этом расстояние L_i между центрами соответствующих акустических каналов выбрано из соотношения

$$L_i = L_{0i} + (\Delta\Phi / 2\pi) \cdot \lambda_i$$

где L_{0i} - расстояние между центрами акустических каналов в входном и выходном

преобразователях, соответствующее заданной фазочастотной характеристике фильтра, $\Delta\Phi_i$ -

требуемая величина коррекции искажения фазочастотной характеристики i -го канала. В соответствии с первым вариантом фильтра на ПАВ проводящие перемычки 8 выполнены в виде трапеций, частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов 6, 7.

В соответствии со вторым вариантом фильтра на ПАВ проводящие перемычки 8 выполнены в виде наклонных прямоугольников, частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов 6, 7.

В соответствии с третьим вариантом фильтра на ПАВ проводящие перемычки 8 выполнены в виде набора прямоугольников, сдвинутых относительно друг друга вдоль направления распространения ПАВ и частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов 6, 7.

При этом число K прямоугольников в наборе выбрано из соотношения

$$1 \cong K \cong (V \cdot L \cdot \lambda / 2 \cdot \delta_1) \cdot (\Delta f_i \cdot \lambda / f_i^2),$$

где $\Delta f_i = f_i - f_{i+1} \cong BW / (M_{i,0} - 1)$ - разница средних частот соседних акустических каналов, электроды которых соединяются перемычкой,

$f_i = V / \lambda_i$ и $f_{i+1} = V / \lambda_{i+1}$ - средние частоты соседних i -го и $(i+1)$ -го акустических каналов,

λ_i и λ_{i+1} - длины волн, соответствующие средним частотам f_i и f_{i+1} акустических каналов,

V - скорость ПАВ,

$L_{i,0}^{\lambda}$ - протяженность входного 2 или выходного 3 преобразователя в длинах волн,

δ_1 - сдвиг между соседними прямоугольниками вдоль направления распространения ПАВ.

В общем случае число акустических каналов 6 и 7 во входном 2 и выходном 3 преобразователях

может быть выбрано неодинаковым, то есть $M_i \neq M_o$. Кроме того, число электродов во входном и

выходном преобразователях также может быть неодинаковым, то есть $L_i^{\lambda} \neq L_o^{\lambda}$. Но в большинстве случаев $M_i = M_o = M$, $W_i = W_o = W$, $i = m$, $f_i = f_m$.

Предлагаемый фильтр на ПАВ работает следующим образом (фиг. 2 и фиг. 3). При подаче электрического сигнала от внешнего генератора (на фиг. 2 и 3 условно не показан) входной преобразователь 2 возбуждает пучок ПАВ, распространяющийся в пьезоэлектрической подложке 1 в направлении выходного преобразователя 3. Последний преобразует принятые ПАВ в электрический сигнал, выделяющийся на внешней нагрузке R_L (на фиг. 2 и 3 условно не показана). В соответствии с изобретением преобразователи 2, 3 вдоль их апертур W_i и W_o разделены на параллельные акустические каналы 6, 7 с номерами $i = 1, 2, 3, \dots, M_i$, и $m = 1, 2, 3, \dots, M_o$.

Для простоты рассмотрим случай, когда число M_i акустических каналов 6 во входном преобразователе выбрано равным числу акустических каналов в выходном преобразователе 4, то есть $M_i = M_o = M$, $i = m$, $P_i = P_m$, $b_i = b_m$.

Кроме того, будем считать апертуры входного и выходного преобразователей также одинаковы, то есть $W_i = W_o = W$.

Поскольку периоды P_i и P_m и ширины b_i и b_m электродов в пределах каждого акустического канала 6, 7 в соответствии с изобретением выбраны постоянными, то пара соответствующих акустических

каналов 6, 7 образует сравнительно узкополосный суб-фильтр со средней частотой $f_i = V/P_i = V/\lambda_i$,

где V - скорость ПАВ, λ_i - длина ПАВ, соответствующая периоду P_i электродов и частоте акустического синхронизма f_i в i -м канале, являющейся средней частотой канала.

В результате фильтр на ПАВ в целом может быть представлен в виде совокупности из M электрически параллельно соединенных суб-фильтров, а передаточная функция фильтра для случая $M_i = M_o = M$, $i = m$, $W_i = W_o = W$, может быть записана в виде суперпозиции передаточных функций соответствующих суб-фильтров (фиг. 5)

$$H(f)_F = \sum_{i=1}^M f_i^{1/2} \cdot \langle A_i / W \rangle \cdot H_{i1}(f) \cdot H_{i2}^*(f) \cdot e^{-j\beta \cdot L_{oi}} \quad (4)$$

где $H_{i1}(f)$ и $H_{i2}^*(f)$ - передаточные функции соответственно входного 6 и выходного 7 акустических каналов,

$(\cdot)^*$ - знак комплексного сопряжения,

$f_i^{1/2}$ - коэффициент, учитывающий зависимость эффективности возбуждения ПАВ от частоты,

$\langle A_i / W \rangle$ - коэффициент, учитывающий весовой вклад акустического канала 6 или 7 с апертурой A_i в частотную характеристику преобразователей 2 или 3 с апертурами $W_i = W_o = W$ соответственно,

$$\beta = 2\pi / \lambda_i = 2\pi f / V - \text{фазовая постоянная,}$$

L_{oi} - расстояние между центрами акустических каналов 6 и 7 (фиг. 2 и 3), относящихся к одному суб-фильтру и определяющее заданную ФЧХ суб-фильтра.

Механизм формирования АЧХ фильтра путем суперпозиции АЧХ суб-фильтров, разнесенных по

частоте относительно друг друга на $\Delta f_i = f_i - f_{i+1}$, показан на фиг. 5. При этом АЧХ фильтра имеет заданную полосу пропускания BW и две переходные полосы TBW . Ширина одной из переходных полос определяется шириной полосы пропускания самого низкочастотного суб-фильтра $i = 1$, а ширина второй переходной полосы - шириной полосы пропускания самого высокочастотного суб-фильтра $i = M$.

В общем случае средняя частота F_o фильтра может совпадать с одной из средних частот акустических каналов.

В случае сложной формы заданной фазочастотной характеристики фильтра на ПАВ расстояние между центрами одноименных $i = m$ акустических каналов 6 и 7 может быть переменным, то есть $L_{oi} = \text{var}$. При одинаковом числе каналов $M_o = M_i = M$ во входном 6 и выходном 7 преобразователях передаточная функция фильтра на ПАВ будет

$$H(f)_F = e^{-j2\pi f \cdot T_i(f)} \cdot \sum_{i=1}^M f_i^{1/2} \cdot \langle A_i / W \rangle \cdot H_{i1}(f) \cdot H_{i2}^*(f), \quad (5)$$

где $T_i(f) = L_{oi} / V$ - время задержки ПАВ для i -го канала.

При заданной линейной фазе фильтра на ПАВ расстояние между центрами преобразователей 6 и 7 будет

$$L_i = L_o = \text{const} \text{ и } T_i(f) = T_o = L_o / V, \quad (6)$$

где T_o - постоянная запаздывания. Поэтому изменение фазы соседних i -го и $(i+1)$ -го акустических каналов относительно друг друга будет

$$\begin{aligned} \Delta \theta_i &= \theta_o \langle f_{i+1} \rangle - \theta_o \langle f_i \rangle = - \left(2\pi \frac{L_{i+1}}{\lambda_{i+1}} - 2\pi \frac{L_i}{\lambda_i} \right) = \\ &= 2\pi \left(\frac{L_o}{V} \right) \cdot \left(\frac{V}{\lambda_i} - \frac{V}{\lambda_{i+1}} \right) = -2\pi \cdot T_o \cdot \Delta f_i, \quad (7) \end{aligned}$$

то есть

$$\tau_0 = \tau(f_i) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta f_i} \quad (8)$$

При проектировании фильтра на ПАВ в полосе пропускания обычно возникают отклонения $\Delta\Phi$ реализуемой фазы $\Theta_p(f_i)$ от заданной фазы $\Theta_s(f_i)$, то есть $\Delta\Phi_i = \Theta_p(f_i) - \Theta_s(f_i)$, например, из-за дифракционного расхождения пучка ПАВ или отклонения потока энергии. Эти искажения фазы компенсируются согласно изобретению путем изменения расстояния L_i между центрами акустических каналов 6, 7, выбираемого из соотношения

$$L_i = L_0 + \left(\frac{\Delta\Phi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\pi \cdot \lambda}{1} \right) \quad (9)$$

Натурные и машинные эксперименты показывают, что оптимальное число акустических каналов в предлагаемом фильтре на ПАВ, позволяющее воспроизвести заданные частотные характеристики с точностью, заведомо лучшей, чем для фильтра-прототипа, составляет $10 < M < SUB > 0 < SUB > < 30$ и $10 < M < SUB > 1 < SUB > < 30$ при относительных полосах пропускания фильтра $BW < 0,6\%$. При относительных полосах $BW < 0,2\%$ возможно уменьшение числа каналов до $M_1 < 5$ и $M_0 < 5$. <P> фильтра-прототипа.

Для примера на фиг. 6 показана зависимость неравномерности $\Delta\alpha_{АЧХ}$ и относительной ширины переходной полосы TBW от числа $M = M_0 = M_1$ акустических каналов с относительной полосой пропускания $BW = 20\%$.

Нижний предел апертуры акустического канала $\delta_{A_1} > \lambda / 2$ обусловлен необходимостью сохранения плоского фронта ПАВ в пределах акустического канала с малым перекрытием электродов [4, стр.

187-200]. Верхний предел апертуры канала $\delta_{A_1} < W/2$ обусловлен минимальным количеством $M = 2$ акустических каналов в предлагаемом квазивеерном преобразователе.

С точки зрения функционирования предложенного фильтра на ПАВ разделение преобразователей на акустические каналы и введение соединительных перемычек приводит к результатам двоякого рода.

С одной стороны, в области расположения соединительных перемычек 8 не происходит синхронного сложения излучаемых ПАВ из-за различного наклона перемычек 8 по отношению к направлению распространения ПАВ. Это вызывает дополнительные потери на излучение ПАВ. Но

выбор протяженностей перемычек из соотношений $A_1/50 < \delta_{A_1} < A_1/10$ и $A_m/50 < \delta_{A_m} < A_m/10$ делает эти дополнительные потери пренебрежимо малыми.

С другой стороны, использование акустических каналов с регулярно расположенными электродами позволяет приблизить условия распространения ПАВ в этих каналах к условиям распространения ПАВ в регулярных волноводах. Последние условия обеспечивают концентрацию энергии ПАВ в пределах канала, что уменьшает вносимые потери и искажения частотных характеристик фильтра, связанные с дифракционной расходимостью пучка ПАВ [4, стр. 187-200] в фильтре-прототипе, что улучшает избирательность фильтра и коэффициент прямоугольности АЧХ.

Кроме того, размещение электродов в акустических каналах предлагаемого фильтра перпендикулярно направлению распространения ПАВ позволяет уменьшить паразитное взаимодействие соседних (вдоль апертуры) областей преобразователей, возникающее из-за дифракционного отклонения потока энергии ПАВ и дополнительного наклона фронта излучаемых ПАВ в фильтре-прототипе с веерными преобразователями. Промежуточные коммутационные слои между акустическими каналами, занятые соединительными перемычками, являются дополнительными акустическими барьерами для ПАВ, отклоняющихся от распространения вдоль продольной оси фильтра, что и способствует лучшей акустической изоляции соседних каналов и уменьшению искажения частотных характеристик, связанных с дифракционным расхождением пучка ПАВ и отклонением потока энергии ПАВ.

Перечисленные свойства позволяют также улучшить избирательность фильтра и коэффициент прямоугольности заданной АЧХ. Различные варианты выполнения соединительных перемычек в виде трапеций, прямоугольников или набора прямоугольников позволяет улучшить работу промежуточного слоя как акустического барьера.

При заданной длине подложки (или преобразователей) предложенный фильтр обеспечивает меньшие искажения частотных характеристик в полосе пропускания, лучшую избирательность и лучший коэффициент прямоугольности АЧХ по сравнению с прототипом.

Таким образом, предложенное техническое решение позволяет обеспечить достижения первой цели изобретения - улучшения точности воспроизведения заданных частотных характеристик. Дополнительным преимуществом предложенного фильтра является тот факт, что при одинаковом с прототипом коэффициенте прямоугольности АЧХ предложенный фильтр будет иметь более короткие преобразователи и подложку меньшей длины.

Достижение второй взаимосвязанной цели изобретения: упрощение изготовления фильтра, - решается следующим образом.

Во-первых, благодаря размещению электродов перпендикулярно направлению распространения ПАВ и разделению преобразователей на $M = 10-30$ акустических каналов, то есть благодаря использованию ступенчатых электродов (фиг. 2 и 3) вместо наклонных электродов (фиг. 1), в предлагаемом фильтре отсутствует необходимость разделения каждого электрода на 500-1000 фрагментов при изготовлении фотошаблона на оборудовании с дискретным перемещением исполнительных механизмов.

Во-вторых, благодаря выполнению электродов с постоянным периодом и шириной возможно изготовление акустических каналов предлагаемого фильтра путем мультиплицирования повторяющихся элементарных фрагментов (секций) вместо индивидуального пофрагментного изготовления каждого электрода в фильтре-прототипе.

В-третьих, выполнение соединительных перемычек согласно изобретению позволяет обойтись одной экспозицией (перемычки в виде трапеции при прямоугольниках, фиг. 4а, б) и 3-5 экспозициями (перемычки в виде набора сдвинутых прямоугольников, фиг. 4в) при изготовлении промежуточного коммутационного слоя на фотошаблоне предлагаемого фильтра.

В результате время изготовления фотошаблона предлагаемого фильтра уменьшается в 3-8 раз по сравнению с временем изготовления фильтра-прототипа.

Пример 1. На фиг. 7 изображены АЧХ (то есть $|s_{21}|$) фильтра со средней частотой $F_0 = 128$ МГц и полосой пропускания $BW3 = 30,0$ МГц. Кривая 1 соответствует фильтру-прототипу с веерными преобразователями, имеющими наклонные электроды с переменными периодом и шириной. Кривая 2 соответствует предлагаемому фильтру с квазивеерными преобразователями, имеющими по $M_1 = M_0 = 15$ акустических каналов с регулярными ступенчатыми электродами. Из сравнения видно, что в фильтре, изготовленном в соответствии с изобретением, меньше искажения АЧХ, связанные с дифракцией ПАВ: пульсации АЧХ в полосе пропускания уменьшились с 1,5 дБ для прототипа до 0,6 дБ в предлагаемом фильтре; избирательность в полосе заграждения улучшилась на 3-8 дБ, коэффициент прямоугольности улучшился с $K_n(40/3 \text{ дБ}) = 1,5$ до $K_n = 1,4$. При этом время изготовления фотошаблона уменьшилось с 12 часов (прототип) до 3 часов (предлагаемый фильтр).

Таким образом, использование предлагаемого технического решения позволяет обеспечить достижение взаимосвязанных целей изобретения: повышение точности воспроизведения заданных частотных характеристик и упрощение изготовления фильтров на ПАВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Морган. "Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах". М.: Радио и связь, 1990 г., 415 стр.
2. L.Solie, "Weighted tapered SPUDT SAW device". Заявка PCT WO 97/10646, Н 03 Н 9/145, 9/02, опубликована 20 марта 1997 г.
3. L. Solie, "Tapered transducers-design and application", Proc. IEEE 1998 Ultrasonics Symposium, pp.27-37, Senday, Japan, 1998 г.
4. Орлов В. С., Бондаренко В.С. "Фильтры на поверхностных акустических волнах". М.: Радио и связь, 1981 г., 274 стр.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Фильтр на поверхностных акустических волнах (ПАВ), содержащий пьезоэлектрическую подложку, на рабочей поверхности которой размещены входной и выходной преобразователи, образованные перекрывающимися противофазными возбуждающими или возбуждающими и отражающими электродами, периоды и ширины которых изменяются вдоль апертур преобразователей, отличающийся тем, что электроды входного и выходного преобразователей выполнены ступенчатыми и размещены перпендикулярно направлению распространения ПАВ, при этом периоды и ширины электродов изменяются от ступени к ступени вдоль апертур преобразователей, а в пределах каждой ступени, соответствующей параллельному акустическому каналу, периоды и ширины электродов выполнены постоянными, при этом число параллельных

акустических каналов выбрано из соотношений

$$BW/(TBW+1) \approx M_i < 100,$$

$$BW/(TBW+1) \approx M_o < 100,$$

где M_i и M_o - число акустических каналов во входном и выходном преобразователях соответственно;

BW - ширина полосы пропускания фильтра;

TBW - ширина переходной полосы фильтра,

а апертуры акустических каналов выбраны из соотношений

$$\lambda_{i/2} < A_{i < SUB > I < SUB >} < W_{i < SUB > I < SUB >} / 2,$$

$$\lambda_{m/2} < A_{m < SUB > M < SUB >} < W_{m < SUB > O < SUB >} / 2,$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, M_i$ и $m = 1, 2, 3, \dots, M_o$ - текущие номера акустических каналов во входном и выходном преобразователях;

A_i и A_m - апертуры i -го и m -го акустического каналов во входном и выходном преобразователях;

λ_i и λ_m - длины ПАВ, соответствующие периодам электродов i -го и m -го акустического каналов;

W_i и W_o - апертуры соответственно входного и выходного преобразователей,

при этом одноименные электроды соседних акустических каналов электрически связаны между собой соединительными перемычками, протяженности δ_{A_i} и δ_{A_m} которых вдоль апертур преобразователей выбраны из соотношений

$$A_i / 50 < \delta_{i < SUB > I < SUB >} / 10 \text{ и } A_m / 50 < \delta_{m < SUB > M < SUB >} / 10,$$

при этом расстояние L_i между центрами соответствующих акустических каналов во входном и выходном преобразователях выбрано из соотношения

$$L_i = L_{oi} + \left(\frac{\Delta\phi}{\lambda_{i/2}} \right) \cdot \lambda_i,$$

где L_{oi} - расстояние между центрами акустических каналов во входном и выходном преобразователях, соответствующее заданной фазочастотной характеристике фильтра;

$\Delta\phi_i$ - требуемая величина коррекции искажения фазочастотной характеристики i -го канала.

2. Фильтр на ПАВ по п. 1, отличающийся тем, что проводящие перемычки выполнены в виде трапеций, частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов.

3. Фильтр на ПАВ по п. 1, отличающийся тем, что проводящие перемычки выполнены в виде наклонных прямоугольников, частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов.

4. Фильтр на ПАВ по п. 1, отличающийся тем, что соединительные перемычки выполнены в виде набора прямоугольников, сдвинутых друг относительно друга вдоль направления распространения ПАВ и частично перекрывающих соединяемые одноименные электроды соседних акустических каналов, при этом число прямоугольников в наборе выбрано из соотношения

$$1 \approx K \approx (V \cdot L^{\lambda_{i,0}/2} \cdot \delta_1) \cdot (\Delta_{f_i} \cdot \lambda_{i,0} / f_i^2),$$

где $\Delta_{f_i} = f_i - f_{i+1} \approx BW / (M_{i,0} - 1)$ - разница средних частот соседних акустических каналов, электроды которых соединяются перемычкой;

$f_i = V / \lambda_i$ и $f_{i+1} = V / \lambda_{i+1}$ - средние частоты соседних i -го и $(i+1)$ -го акустических каналов;

V - скорость ПАВ;

$L^{\lambda_{i,0}}$ - протяженность входного или выходного преобразователя в длинах волн;

δ_1 - сдвиг между соседними прямоугольниками в наборе вдоль направления распространения ПАВ.