



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(19) SU (11) 1821901 A1

(51)5 Н 03 Н 9/64

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ  
ВЕДОМСТВО СССР  
(ГОСПАТЕНТ СССР)

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4902581/22  
(22) 16.01.91  
(46) 15.06.93. Бюл. № 22  
(71) Московский научно-исследовательский институт и Омский научно-исследовательский институт приборостроения  
(72) С.А.Доберштейн, В.А.Малюхов, В.С.Орлов и С.Н.Кондратьев  
(56) Патент США № 4044321, кл. Н 03 Н 9/30, опубл. 1977.

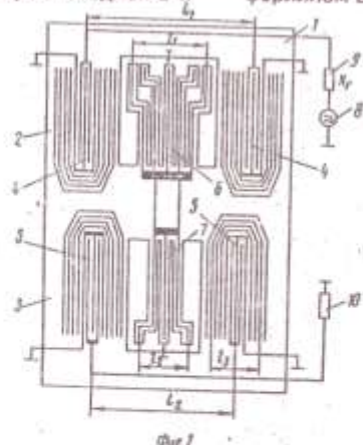
Nikite Met. et. Electronics Letters, 1984, v 20, № 11, p. 453-454.

(54) ФИЛЬТР НА ВЫТЕКАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

(57) Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано в технике связи. Целью изобретения является снижение вносимых потерь и искажений амплитудно-частотной характеристики без ухудшения избирательности. Фильтр на вытекающих поверхностных акустических волнах (ВПАВ) содержит пьезоэлектрический звукопровод 1, на рабочей поверхности которого параллельно друг другу размещены входной 2 и

2

выходной 3 акустические каналы, каждый из которых содержит соответственно первый 6 или второй 7 центральные встречно-штыревые преобразователи (ВШП), выполненные фазовзвешенными, и по два периферийных ВШП 4, 5, выполненных однонаправленными с многополосковыми ответвителями (МПО) U-образной формы и размещенных симметрично относительно соответствующего центрального ВШП 6 или 7. Центральные ВШП входного и выходного акустических каналов электрически последовательно соединены друг с другом и содержат в каждом поперечном сечении соответствующее число пар электродов. Протяженности центральных ВШП 6, 7 входного 2 и выходного 3 каналов выполнены неодинаковыми вдоль направления распространения ПАВ в определенном соотношении. Приведено соотношение расстояний между центрами периферийных ВШП во входном и выходном ВШП, а также количество пар электродов в каждом периферийном ВШП 4, 5, 3 ил.



(19) SU (11) 1821901 A1

Изобретение относится к радиоэлектронике и может использоваться в устройствах обработки сигналов на поверхностных акустических волнах (ПАВ) для селекции частот.

Цель изобретения - снижение вносимых потерь и уменьшение искажений АЧХ без ухудшения избирательности фильтра.

Поставленная цель достигается тем, что в фильтре на ПАВ, содержащем пьезоэлектрический звукопровод, на рабочей поверхности которого параллельно друг другу размещены входной и выходной акустические каналы, каждый из которых содержит соответственно первый или второй центральные ВШП, выполненные фазовзвешенными, и по два периферийных ВШП, выполненных на основе U-образных МПО и размещенных симметрично относительно соответствующего центрального ВШП, центральные ВШП входного и выходного акустических каналов электрически последовательно соединены друг с другом и содержат в каждом поперечном сечении по  $N_1 = 1.5/K_a^2$  пар электродов, электроды центральных и периферийных ВШП выполнены шириной  $\lambda_0/4$ , где  $K_a$  - коэффициент электроакустической связи,  $\lambda_0$  - длина ВПАВ на средней частоте.

Согласно изобретению, протяженность  $l_2$  центрального ВШП выходного канала вдоль направления распространения ВПАВ выполнена относительно протяженности  $l_1$  центрального ВШП входного канала в соответствии с условием

$$l_1 - l_2 = n \lambda_0, \quad (1)$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots$  - целое число, расстояния между центрами периферийных ВШП во входном и выходном каналах также выполнены в соответствии с условием:

$$L_1 - L_2 = \frac{\lambda_0}{2} [2n - (2m + 1)], \quad (2)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  - расстояния между центрами периферийных ВШП соответственно входного и выходного каналов, м;

$m = 0, 1, 2, \dots, n < n$ , при этом количество пар электродов в каждом периферийном ВШП выходного канала выбрано из соотношения

$$N_2 = 10^{\left[ \lg N_1 + \frac{\alpha_0 \cdot l_2 / 2 \lambda_0 \cdot \alpha_0}{\alpha_p} - \frac{\alpha_0 \alpha}{p} \right]}, \quad (3)$$

где  $\alpha_p$  - потери на распространение ВПАВ в звукопроводе, дБ/λ;

$\alpha_0$  - потери на излучение объемных волн, дБ;

$p = 1.5 - 2.0$  - коэффициент, определяемый материалом звукопровода и его кристаллографической ориентацией.

Фильтр на ВПАВ представлен на фиг. 1; на фиг. 2 - его эквивалентная схема; на фиг. 3 - экспериментальная АЧХ фильтра.

Фильтр на ВПАВ содержит пьезоэлектрический звукопровод 1, на котором расположены входной 2 и выходной 3 акустические каналы, каждый из которых содержит периферийные однонаправленные преобразователи (ОНП) соответственно 4,5 с МПО U-образной формы и центральный ВШП 6 или 7 с фазовым взвешиванием, электрически соединенный с центральным ВШП другого канала. Протяженность  $l_2$  второго фазовзвешенного ВШП 7 выходного канала 3 выполнена короче протяженности  $l_1$  первого фазовзвешенного входного 2 ВШП 6. Периферийные ОНП 4 входного канала с расстоянием между центрами  $L_1$  подключены параллельно к источнику напряжения 8 с сопротивлением 9, а периферийные ОНП 5 выходного канала с расстоянием между центрами  $L_2$ , имеющими  $L_1$ , подключены параллельно к сопротивлению нагрузки 10 (фиг. 1).

Ширины электродов всех ВШП фильтра выполнены одинаковыми и равными  $\lambda_0/4$ , где  $\lambda_0$  - длина ВПАВ на средней частоте. Количество пар электродов в каждом поперечном сечении центральных фазовзвешенных ВШП 6, 7 выбрано одинаковым из условия самосогласования  $N_1 = 1.5/K_a^2$ , обеспечивающего компенсацию статической емкости ВШП индуктивной составляющей его проводимости излучения.

Предлагаемый фильтр на ВПАВ работает следующим образом. При подаче электрического сигнала  $E_r$  от источника напряжения 8 (фиг. 2) с внутренним сопротивлением  $R_r$  периферийные ОНП 4 входного канала 2 будут излучать акустические потоки по направлению к первому центральному ВШП 6 этого канала. Акустический сигнал, преобразованный центральным ВШП 6 в электрический, поступает на центральный ВШП 7 выходного акустического канала 3 за счет их гальванической связи. При обратном преобразовании электрического сигнала в акустический посредством ВШП 7 акустический поток от него попадает на периферийные ОНП 5, преобразуется ими в электрический сигнал и поступает на сопротивление нагрузки 10. Последовательное электрическое соединение центральных ВШП 6 и ВШП 7 обеспечивает высокую крутизну АЧХ фильтра, а их фазовое взвешивание - подавление боковых лепестков в АЧХ, т.е. высокую избирательность. Малые вносимые потери обеспечиваются выполнением периферий-

ных преобразователей 4, 5 однонаправленными с МПО U-образной формы. Фильтр не требует согласующих элементов, поскольку выбором определенного количества пар электродов в ОНП 4, 5 входного 2 и выходного 3 каналов обеспечивается режим самосогласования по входу и выходу — компенсация статической емкости ОНП реактивными составляющими их проводимостей излучения.

Поскольку периферийные ОНП 4 и ОНП 5 в каждом из каналов соединены друг с другом электрически параллельно, а в свою очередь входной 2 и выходной 3 каналы включены каскадно из-за электрически последовательного соединения центральных ВШП 6, 7, то характеристическая передаточная функция фильтра (без учета нагрузок и отражений) может быть записана в виде

$$H_{\phi}^c = H_1^c H_2^c, \quad (4)$$

$$\text{где } H_1^c = H_{n1}^c (H_{a1}^c)^* + (H_{r1}^c)^* H_{a1}^c = -2 H_{n1}^c (H_{a1}^c)^* e^{-ikd_1} \quad (5)$$

$$H_2^c = (H_{n2}^c)^* H_{a2}^c + H_{r2}^c (H_{a2}^c)^* = -2 (H_{n2}^c)^* H_{a2}^c e^{-ikd_2} \quad (6)$$

характеристические передаточные функции соответственно входного 2 и выходного 3 акустических каналов.  $d_1 = L_1/2$ ,  $d_2 = L_2/2$  — соответственно расстояния между центрами периферийных ОНП 4, 5 и центральных 6, 7 ВШП в соответствующих каналах (фиг. 1)  $k = \omega/v$  — волновое число,  $v$  — скорость ВП АВ,  $\omega$  — текущая круговая частота.

В предложенном фильтре благодаря выполнению протяженностей  $l_1$  и  $l_2$  центральных ВШП 6 и 7 из условия (1) в последних используются неодинаковые функции взвешивания, поэтому нули функции  $H_1$  практически совпадают с боковыми лепестками функции  $H_2$ , что способствует улучшению избирательности фильтра.

Кроме того, искажения АЧХ в полосе пропускания фильтра вследствие СТП в предлагаемом фильтре также ниже, чем в прототипе [1]. Действительно, с учетом уравнений (5) и (6) рабочие передаточные функции входного и выходного каналов фильтра (фиг. 2) могут быть записаны в виде

$$H_{1p}^c = 2 H_{n1}^c (H_{a1}^c)^* \bar{Y}_1 e^{-ikd_1} \quad (7)$$

$$H_{2p}^c = 2 (H_{n2}^c)^* (H_{a2}^c) \bar{Y}_2 e^{-ikd_2} \quad (8)$$

$$\text{где } Y_1 = \frac{Y_r \cdot Y_{a2}}{(Y_r + 2 Y_{n1}) (Y_{a2} + Y_{a1})};$$

$$Y_2 = \frac{Y_{a1} \cdot Y_n}{(Y_{a1} + Y_{a2}) (Y_n + 2 Y_{n2})};$$

$Y_r$ ,  $Y_n$  — проводимости генератора и нагрузки фильтра,

$Y_{a1}$ ,  $Y_{a2}$  — проводимости излучения центральных ВШП 6 и 7,

$Y_{n1}$ ,  $Y_{n2}$  — проводимости излучения периферийных ОНП 4 и 5.

В требуемом режиме самосогласования проводимости излучения всех ВШП становятся чисто активными. Учитывая, что проводимости нагрузки и генератора также чисто активные, т.е.  $Y_n = G_n$ ,  $Y_r = G_r$ , получаем при полном согласовании всех преобразователей фильтра:  $G_r = 2 G_{n1}$ ,  $G_n = 2 G_{n2}$ ,  $G_{a1} = G_{a2} = G_a$ . Условие полного (по реактивным и активным составляющим) самосогласования требует также выполнения соотношения  $G_r = G_n$ . Тогда  $G_{n1} = G_{n2}$  и  $H_{n1} = H_{n2} = H_n$ , т.е. периферийные ВШП должны быть идентичны.

Поэтому в режиме полного согласования  $\bar{Y}_1 = \bar{Y}_2 = 1/2 Y_n$  и рабочая передаточная функция фильтра становится

$$H_{\phi}^c = H_{n1}^c H_2^c = (H_n^c)^2 H_{a2} H_{a1} e^{-ik(d+d)} \quad (9)$$

С учетом же СТП в каждом канале (но без двукратно подавленного СТП от входного канала и выходного канала) их рабочие передаточные функции могут быть записаны в виде

$$H_1^c = 2 H_{n1} H_{a1} \bar{Y}_1 [1 + T_{n1} T_{a1} e^{-2ikd_1}] e^{-ikd_1} \quad (10)$$

$$H_2^c = 2 H_{n2} H_{a2} \bar{Y}_2 [1 + T_{n1} T_{a2} e^{-2ikd_2}] e^{-ikd_2} \quad (11)$$

где  $T_{n1}$ ,  $T_{n2}$ ,  $T_{a1}$ ,  $T_{a2}$  — коэффициенты отражений ВП АВ соответственно от ОНП 4 и 5, ВШП 6 и 7.

Предположим, что собственные фазы периферийных ОНП 4, 5 и центральных ВШП 6, 7 нулевые, тогда при полном согласовании  $H_{n1} = H_{n2} = A_n$ ,  $T_{n1} = T_{n2} = T_n$ , а в полосе пропускания  $H_{a1} = H_{a2} = A_a$ ,  $T_{a1} = T_{a2} = T_a$ .

Пренебрегая сигналами более чем трехкратного прохождения, получаем в итоге рабочую передаточную функцию фильтра в целом:

$$H_{\phi}^c = A_n A_{a1} A_{a2} e^{-ik(d_1+d_2)} + T_a T_n A_n A_{a2} e^{-2ik(2d_2+d_1)} \times [1 + \frac{A_{a1}}{A_{a2}} e^{-2ik(d-d)}] = H_{осн} + H_{стп} \quad (12)$$

Первый член в уравнении (12) соответствует основной характеристике, второй — искажению характеристики от СТП. Из уравнения (12) видно, что искажения АЧХ из-за СТП минимальны в фильтре при условии  $d_1 = d_2 = \lambda/4$ , что с учетом (1) приводит к соотношению для выбора расстояний  $L_1$  и  $L_2$  между центрами ОНП 4 и 5:

$$L_1 - L_2 = \frac{\lambda_0}{2} (2n - (2m + 1)), \quad (2)$$

где  $m = 0, 1, 2, 3$  — целое число.

Таким образом, при выполнении протяженности  $l_1$  и  $l_2$  периферийных ОНП 4, 5, также как и расстояний  $L_1$ ,  $L_2$  между ними, неодинаковыми и выбор их из соотношений (1) и (2) в предложенном фильтре обеспечи-

вадет уменьшение искажений АЧХ из-за СТП.

Поскольку расстояние  $L_2$  в выходном канале 3 предложенного фильтра уменьшилось по сравнению с  $L_1$  во входном канале, то уменьшились и потери на распространение в этом канале 3. Потери  $\alpha_p$  на распространение ВПАВ заметно уменьшаются как акустическое сопротивление среды  $Z_0$ , так и активную и реактивную составляющую проводимости излучения ВШП на ВПАВ, а следовательно, влияют на режим самосогласования. Значит, необходимо скорректировать проводимости однонаправленных ВШП 5 в выходном канале выбором количества пар электродов для более оптимального согласования с сопротивлением нагрузки и обеспечения минимума искажений АЧХ.

Оценим влияние потерь на распространение в фильтре при режиме самосогласования периферийных ОНП 5 в выходном канале фильтра (фиг. 2). В этом случае активная  $G$  и реактивная  $B$  составляющие проводимости излучения ВШП на ВПАВ связаны с количеством пар электродов  $N$  зависимостью [3].

$$G \sim N^p, \quad B \sim N^p \quad (13)$$

где  $p = 1.5-2.0$  — коэффициент, зависящий от кристаллографической ориентации звукопровода. Для ниобата лития  $YX/41^\circ$   $p = 1.65-1.69$ , для среза  $YX/64^\circ$   $p = 1.83-1.86$ . Центральный ВШП для обеспечения режима самосогласования в каждом поперечном сечении имеет  $N_1 = 1.5/K_1^2$  пар электродов. Поэтому активная и реактивная проводимости излучения центрального ВШП 6 входного канала будут

$$G_{a1} \sim N_1^p, \quad B_{a1} \sim N_1^p$$

Для обеспечения режима самосогласования в выходном канале, очевидно, необходимо, чтобы периферийные ОНП 5, соединенные параллельно, имели бы такие же активную и реактивную проводимости излучения как и в центральном ВШП 7, т.е.  $2G_{a2} = G_{a2} = G_{a1} = G_a$ ,  $2B_{a2} = B_{a2} = B_{a1} = B_a$ , откуда

$$G_{a2} = \frac{G_a}{2}, \quad B_{a2} = \frac{B_a}{2}$$

где  $G_{a2}$ ,  $B_{a2}$  — активная и реактивная составляющие проводимости излучения каждого периферийного ОНП 5 выходного канала.

С учетом (13) получим, что количество пар электродов  $N_2$  в каждом периферийном ОНП для обеспечения режима самосогласования связано с количеством пар электродов  $N_1$  в центральном ВШП соотношением

$$N_2^p = \frac{N_1^p}{2} \quad (14)$$

За счет потерь на распространение ВПАВ под ОНП 4, 5 и между ВШП 5, 6, а также потерь на излучение объемных волн, мощность  $P_2$  в выходном канале фильтра меньше мощности  $P_1$ , подводимой на его центральную ВШП 7. Потери в канале  $A_k$  при этом составляют

$$A_k = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$$

например, для выходного канала

$$A_k \approx 2A_{p2} + A_{p1} + 3A_{об} + 2A_{рп}$$

где  $A_{p2} = \alpha_p \frac{l_3}{\lambda_0}$ ,  $A_{p1} = \alpha_p \frac{l_2}{\lambda_0}$  — потери на распространение ВПАВ с декрементом удельного затухания  $\alpha_p$  (дБ/λ) соответственно под ОНП 5 протяженностью  $l_3$  и центральным ВШП 7 протяженностью  $l_2$ ,  $A_{рп} = \alpha_p d_2/\lambda_0$  — потери на распространение ВПАВ между ОНП 5 и ВШП 6;

$A_{об} = \alpha_0$ , дБ — потери на излучение объемных волн каждым ВШП в канале.

В результате суммарные потери с учетом распространения ВПАВ под ОНП 5 и между ОНП 5 и ВШП 7 составляют

$$A_2 = \alpha_p L_2/2 \lambda_0 + \alpha_0 = 10 \lg \frac{P_n}{P_n} \quad (15)$$

где  $P_n$  и  $P_n$  — соответственно падающая на ОНП 5 и отдаваемая им в нагрузку в выходном канале.

Поскольку мощность излученной или принятой преобразователем акустической волны пропорциональна проводимости его излучения, то измеренная проводимость излучения (как активная, так и реактивная части) периферийных ОНП 5 на звукопроводе с потерями  $\alpha_p$  будет меньше проводимости излучения рассчитанной по формуле самосогласования. Следовательно, необходимо увеличить проводимости излучения с учетом (15). Тогда выражение (14) для количества пар электродов в выходных однонаправленных ВШП примет вид

$$N_2^p = 10 \frac{A_2^p}{10^p} \frac{N_1^p}{2}$$

После необходимых математических операций получим

$$N_2 = 10 \left[ \lg N_1 + \frac{A_2}{20p} - \frac{\lg 2}{p} \right]$$

С учетом (15) окончательно для ОНП 5 учтенной протяженности  $l_2$  имеем

$$N_2 = 10 \left[ \lg N_1 + \frac{2\alpha_p l_2}{20p} + \frac{\alpha_0}{20p} - \frac{\lg 2}{p} \right] \quad (3)$$

Для фильтров на ВПАВ с широко применяемыми срезами  $YX/41^\circ$  &  $YX/64^\circ$   $\alpha_p = 4.35 \cdot 10^{-2}$  дБ/λ и  $\alpha_0 = 8.7 \cdot 10^{-3}$  дБ/λ соответственно [3]. Потери на излучение объемных волн обычно составляют  $\alpha_0 = 0.2-0.3$  дБ.

В результате при выборе числа электродов  $N_2$  в периферийных ОНП 5 из соотноше-

ния (3) обеспечивается режим их полного самосогласования фильтра с учетом потерь на распространение ВПАВ и на излучение ОАВ и тем самым достигается снижение вносимых потерь фильтра.

Таким образом, использование предложенного технического решения позволяет обеспечить достижение поставленной цели – снижение вносимых потерь и уменьшение искажений АЧХ без ухудшения избирательности за счет "укорачивания" протяженности центрального ВШП выходного канала, выбора неодинаковых расстояний между центрами периферийных ОНП во входном и выходном каналах, а также выбора числа электродов в периферийных ОНП выходного канала.

Экспериментальная проверка предложенного технического решения на фильтрах со звукопроводами из ниобата лития среза  $YX/64^\circ$  показала (фиг. 3) уменьшение вносимых потерь на 0,3–0,5 дБ и снижение искажений АЧХ в полосе пропускания на 0,8 – 1,5 дБ по сравнению с прототипом.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Фильтр на вытекающих поверхностных акустических волнах (ВПАВ), содержащий пьезоэлектрический звукопровод, на рабочей поверхности которого параллельно друг другу размещены входной и выходной акустические каналы, каждый из которых содержит соответственно первый и второй центральные встречно-штыревые преобразователи (ВШП), выполненные фазовзвешенными, и по два идентичных периферийных ВШП, выполненных однонаправленными на основе U-образных многополосковых ответвителей (МПО) и размещенных симметрично относительно соответствующего центрального ВШП, центральные ВШП входного и выходного акустических сигналов электрически

последовательно соединены друг с другом и содержат в каждом поперечном сечении по  $N_1 = 1,5/K_3$  пар электродов, электроды центральных и периферийных ВШП выполнены шириной  $\lambda_0/4$ , где  $K_3$  – коэффициент электромеханической связи,  $\lambda_0$  – длина ВПАВ по средней частоте, о т л и ч а ю щ и с я т е м , что, с целью снижения вносимых потерь и уменьшения искажений амплитудно-частотной характеристики фильтра без ухудшения избирательности, протяженность  $l_2$  центрального ВШП выходного канала вдоль направления распространения ВПАВ выполнена относительно протяженности  $l_1$  центрального ВШП входного канала в соответствии с условием  $l_1 - l_2 = n \lambda_0$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$  – целое число, расстояния между центрами периферийных ВШП во входном и выходном акустических каналах выполнены в соответствии с условием

$$L_1 - L_2 = \frac{\lambda_0}{2} [2n + (2m + 1)],$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – расстояния между центрами периферийных ВШП соответственно входного и выходного каналов, м;

$$m = 0, 1, 2, \dots, m < n,$$

при этом количество пар электродов в каждом периферийном ВШП выходного канала выбрано из соотношения

$$N_2 = 10 \left[ \lg N_1 \cdot \frac{\alpha_p l_2 / 2 \lambda_0 \cdot \alpha_0}{10^{\alpha_0}} - \lg 2 \right],$$

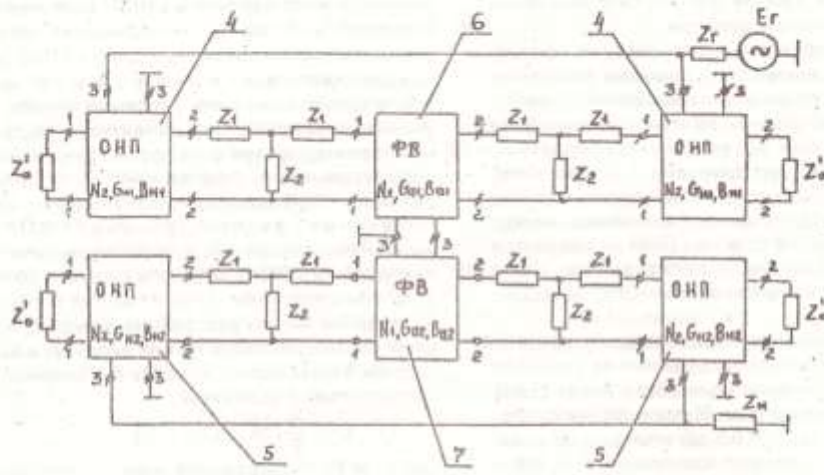
$$N_2 = 10$$

где  $N_2$  – количество пар электродов в периферийном ВШП выходного канала;

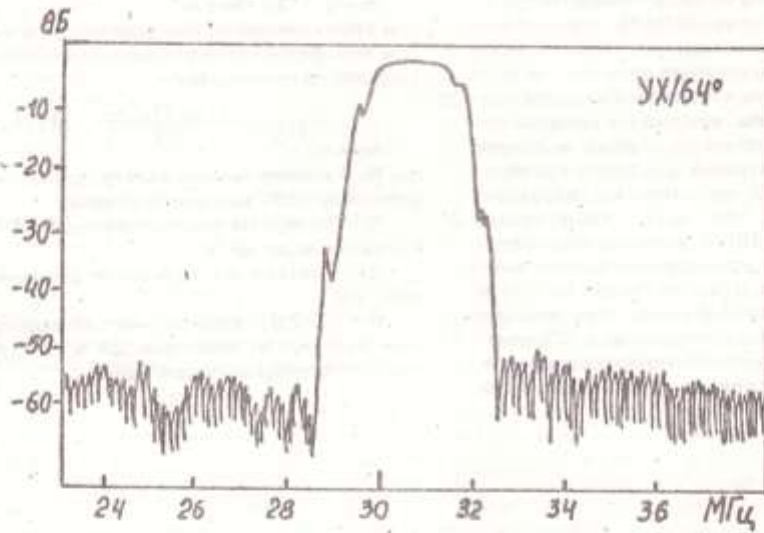
$\alpha_p$  – потери на распространение ВПАВ в звукопроводе, дБ/λ;

$\alpha_0$  – потери на излучение объемных волн, дБ;

$p = 1,5-2,0$  – коэффициент, определяемый материалом звукопровода и его кристаллографической ориентацией.



Фиг. 2



Фиг. 3

Редактор Составитель В. Орлов  
Техред М. Моргентал Корректор С. Патрушева

Заказ 2112 Тираж Подписное  
ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101