

Фиг. 2

При  $f = 1$  приведенные выражения совпадают с соответствующими выражениями работы [1]. По формулам (1), (2) и (3) для различных значений  $0 < x_0 < 1$  были определены  $\delta(a)$ ,  $n_2$  и  $r$ , когда  $n_1$  и  $f$  являлись заданными величинами:  $2,3 \leq n_1 \leq 4,0$  и  $0,8 \leq f \leq 1,0$ . По формулам (8) и (9) работы [1] численным интегрированием были получены среднеквадратичные фазовые aberrации  $e_{0c}$  и  $e_{0z}$  сферической и цилиндрической линзы. По результатам расчета были найдены величины  $n_2$  и  $r$ , соответствующие минимальным значениям  $e_{0c}$  и  $e_{0z}$ . На фиг. 2, а показана зависимость  $\sqrt{e_{0c}}$  от  $n_1$  для различных положений фокуса. Кривая 1 соответствует  $f = 1,0$ , 2 —  $f = 0,9$ , 3 —  $f = 0,8$ . На фиг. 2, б представлены зависимости  $n_2$  (кривые 1, а, 2, а, 3, а) и  $r$  (кривые 1, б, 2, б, 3, б) от  $n_1$  для тех же значений  $f$ . Мы видим, что линзы с фокусом во внешнем слое при оптимальном выборе параметров также обладают малой фазовой aberrацией, как и линзы, рассмотренные в работе [1]. Следовательно, максимально достижимое отношение диаметра линзы  $D$  к длине волны в среде  $\lambda$ , равное, согласно работе [1],  $(D/\lambda)_{\max} = 1/7\sqrt{e_0}$ , может быть достаточно большим, что позволяет сформировать остронаправленные диаграммы. Так, например, при  $n_1 = 3,0$ ,  $f = 0,8$  (что соответствует параметрам линзы, описанной в работе [2]), оптимальные значения равны  $n_2 = 2,698$ ,  $r = 0,377$ , а отношение  $(D/\lambda)_{\max} = 103$ , что позволяет сформировать диаграмму направленности шириной порядка 33 угловых минут.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. Н. Каневский, Б. С. Суриков. Об одном варианте акустической линзы Люнеберга. Акуст. ж., 1970, 16, 4, 536—541.
2. H. R. Feldman. Nearly spherical acoustic lenses. J. Acoust. Soc. America, 1969, 45, 4, 868—871.

Москва

Поступило в редакцию  
23 марта 1970 г.

УДК 534.—16:621.374.5

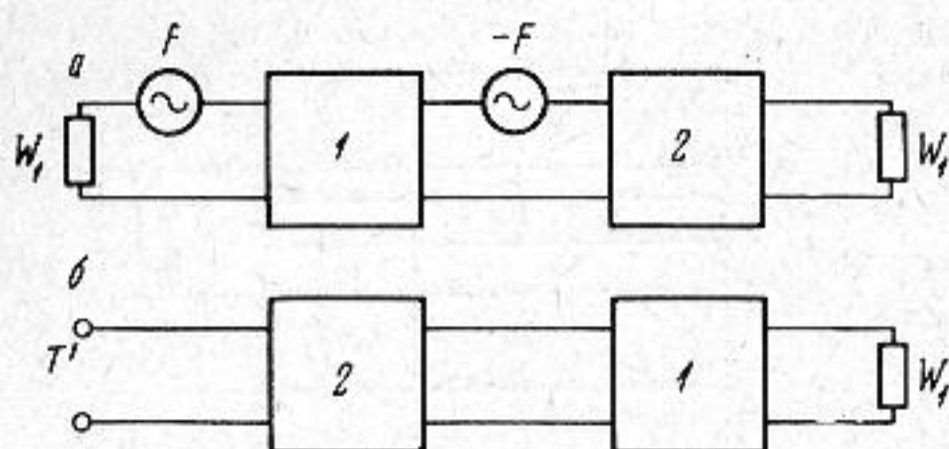
### ЗАВИСИМОСТЬ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ С ДИФФУЗИОННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ОТ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ МЕЖДУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ И ЗВУКОПРОВОДОМ

Ю. Е. Невский, Л. В. Селиванов

Влияние промежуточных слоев на характеристики устройств с двойным преобразованием, например линий задержки, для случая, когда преобразователями являются пьезоэлектрические пластины, рассматривался в ряде работ [1—3]. Из этих работ следует, что наличие склеивающих слоев изменяет форму амплитудно-частотной характеристики линии задержки по сравнению со случаем идеального акусти-

ческого контакта преобразователя со звукопроводом и нагрузкой. В частности, введение в акустическую схему линии задержки тонких переходных слоев с волновым сопротивлением, меньшим, чем у преобразователя, звукопровода и нагрузки, смещает резонансную частоту в сторону более высоких частот, сужает полосу пропускания и увеличивает коэффициент передачи.

В настоящей работе рассматривается случай, когда переходный слой расположен только между преобразователем и звукопроводом. Акустический контакт между преобразователем и нагрузкой считается идеальным. Этот случай реализуется при использовании в линиях задержки диффузионных преобразователей. При расчете принималось, что волновые сопротивления звукопровода, преобразователя и нагрузки равны.



Фиг. 1

метрами:  $W_1 = \rho_1 c_1 S$ ,  $\gamma_1 = i\omega l_1 / c_1$ , где  $W_1$  — характеристическое сопротивление четырехполюсника 1,  $S$  — площадь преобразователя,  $\gamma_1$  — постоянная распространения. Четырехполюсник 2 представляет собой склеивающий слой и характеризуется параметрами:  $W_2 = \rho_2 c_2 S$ ,  $\gamma_2 = i\omega l_2 / c_2$ . Отражением волн в нагрузке и звукопроводе мы пренебрегаем; поэтому на схеме их можно представить в виде нагрузочных сопротивлений с импедансом  $W_1$ . На границах раздела между преобразователем и средой действует возбуждающая сила  $F = (eS / l_1) \cdot V_{вх}$ , где  $e$  — пьезоконстанта,  $V_{вх}$  — входное напряжение. Механическое напряжение  $T_0$ , приходящееся на нагрузочное сопротивление  $W_1$ , стоящее в правой части схемы, есть напряжение на входе звукопровода.

Акустическая схема работы преобразователя в режиме приема показана на фиг. 1, б. Так же как и на фиг. 1, а цифрой 1 обозначен преобразователь, цифрой 2 — склеивающий слой,  $W_1$  — акустическая нагрузка. Напряжение, действующее на вход четырехполюсника 2  $T' = t_p \cdot T_0 \exp(-i\omega L / c_1)$ , где  $L$  — длина звукопровода,  $t_p = 2\Omega / (W_1 + \Omega)$  — коэффициент прохождения,  $\Omega$  — входное сопротивление четырехполюсника 2, нагруженного на входное сопротивление четырехполюсника 1. Электрическое напряжение, развиваемое на преобразователе, для случая, когда внешняя электрическая цепь разомкнута ( $R_{н} = \infty$ ), может быть определено из выражения

$$V_{вых} = \frac{d}{\epsilon} \int_0^l T(x) dx, \text{ где } d \text{ — пьезоэлектрическая константа, } \epsilon \text{ — диэлектрическая про}$$

ницаемость,  $T(x)$  — механическое напряжение внутри преобразователя. Амплитудно-частотная характеристика линии задержки, определяемая как  $A(\omega) = |V_{вых} / V_{вх}|$  может быть вычислена на основании приведенных акустических схем. Полученное выражение имеет вид

$$A(\nu) = \frac{2ed}{\epsilon\pi} \cdot \frac{1}{\nu} \cdot D \cdot \sin^2 \left( \frac{\nu\pi}{2} \right), \quad (1)$$

где

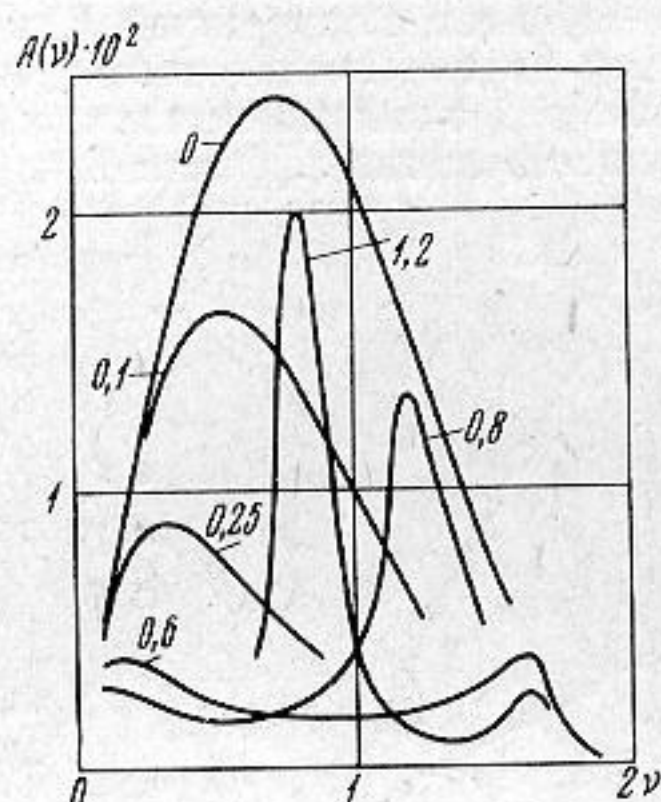
$$D = \frac{1}{\cos^2(\nu\nu'\pi) + \left( \frac{k_{12} + k_{21}}{2} \right)^2 \sin^2(\nu\nu'\pi)}$$

$$k_{12} = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2}; \quad k_{21} = \frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1}, \quad \nu = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad \nu' = \frac{\omega_0}{\omega'}$$

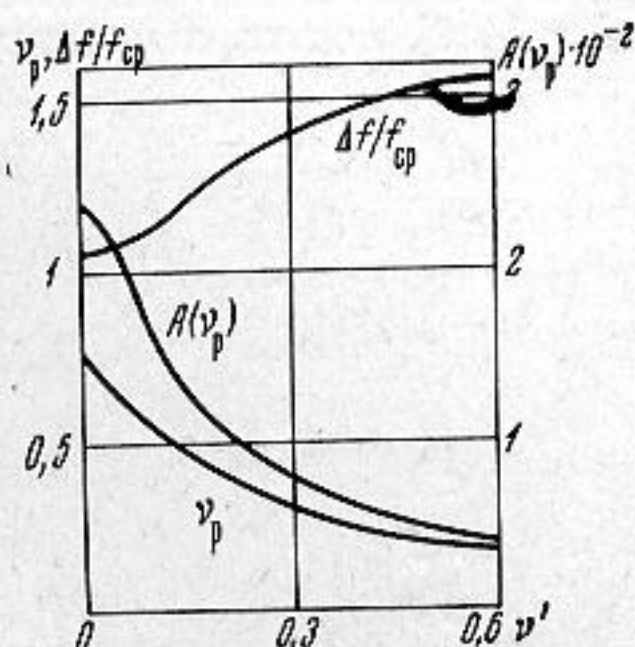
$\omega_0$  — частота, соответствующая случаю, когда по толщине преобразователя укладывается половина длины волны,  $\omega'$  — частота, соответствующая случаю, когда по толщине промежуточного слоя укладывается половина длины волны. По формуле (1) были рассчитаны амплитудно-частотные характеристики для линий задержки с диффузионными преобразователями, работающими на сдвиговых колебаниях, приклеенных к звукопроводу с помощью слоев эпоксидной смолы. На фиг. 2 приведены амплитудно-частотные характеристики для некоторых значений  $\nu'$  в интервале  $0 \div 1,2$ . Случай  $\nu' = 0$  соответствует идеальному акустическому контакту. При этом выражение (1) преобразуется к виду:

$$A(\nu) = \frac{2ed}{\epsilon\pi} \cdot \frac{1}{\nu} \cdot \sin^2 \left( \frac{\nu\pi}{2} \right), \quad (2)$$

Полоса пропускания в этом случае составляет 105%, резонансная частота  $\nu_p$  равна 0,75. Как видно из кривых фиг. 2, с увеличением толщины склеивающего слоя резонансная частота линии задержки смещается в сторону более низких частот, коэффициент передачи уменьшается, полоса пропускания увеличивается. Заметим, что согласно работам [1—3] при наличии склеивающих слоев (с волновым сопротивлением, меньшим волнового сопротивления преобразователя, звукопровода и нагрузки), расположенных с обеих сторон преобразователей, перечисленные характери-



Фиг. 2



Фиг. 3

стики изменяются в противоположную сторону. При  $\nu' \sim 0,5$  на амплитудно-частотной характеристике возникает второй максимум, расположенный в области более высоких частот по сравнению с первым. При дальнейшем увеличении  $\nu'$  появляются новые максимумы, однако, полоса пропускания вблизи дополнительных максимумов значительно меньше, чем вблизи первого. Зависимость резонансной частоты  $\nu_p$ , относительной полосы пропускания  $\Delta f / f_{cp}$  и коэффициента передачи на резонансной частоте  $A(\nu_p)$  от  $\nu'$  представлены на фиг. 3.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что линии задержки с диффузионными преобразователями должны обладать большей полосой пропускания по сравнению с линиями, использующими в качестве преобразователей пьезоэлектрические пластины. Оптимальным выбором толщины склеивающего слоя можно расширить полосу пропускания до 130 ÷ 150% при допустимом уменьшении коэффициента передачи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. В. Гончаров. К теории преобразователей. Акуст. ж., 1958, 4, 1, 37—46.
2. К. С. Александров, Л. С. Гуровиц, Е. И. Каменский. О влиянии склеивающего слоя на частотные характеристики ультразвуковых линий задержки. Акуст. ж., 1960, 6, 2, 171—179.
3. А. Г. Соколинский, Ю. М. Сухаревский. Магниево-ультразвуковые линии задержки. М., «Сов. радио», 1966.

Новосибирск

Поступило в редакцию  
27 октября 1969 г.

УДК 534.2

### О СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В СМЕСЯХ ГЕКСАН — ЭТАНОЛ ВБЛИЗИ КРИТИЧЕСКОЙ ТОЧКИ

В. Ф. Ноздрев, Ф. Ташмухамедов

Изучению распространения ультразвуковых волн в чистых жидкостях и смесях на линии насыщения посвящен целый ряд исследований. Результаты их показывают, что скорость распространения ультразвуковых волн в жидкостях и насыщенных парах с повышением температуры уменьшается, причем все быстрее по мере приближения к критической температуре, а скорость ультразвука в перегретом паре на