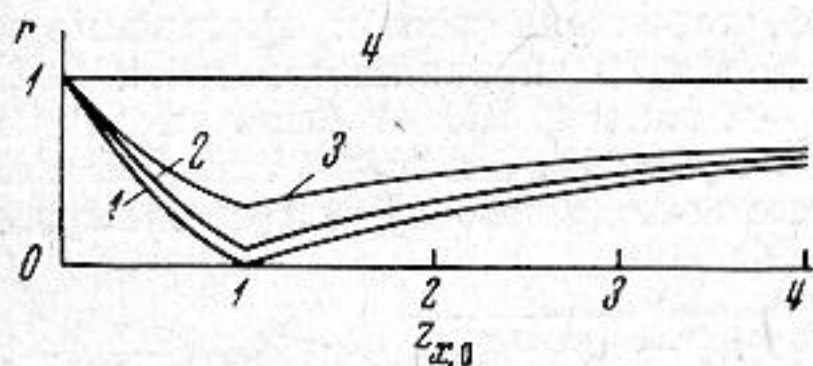


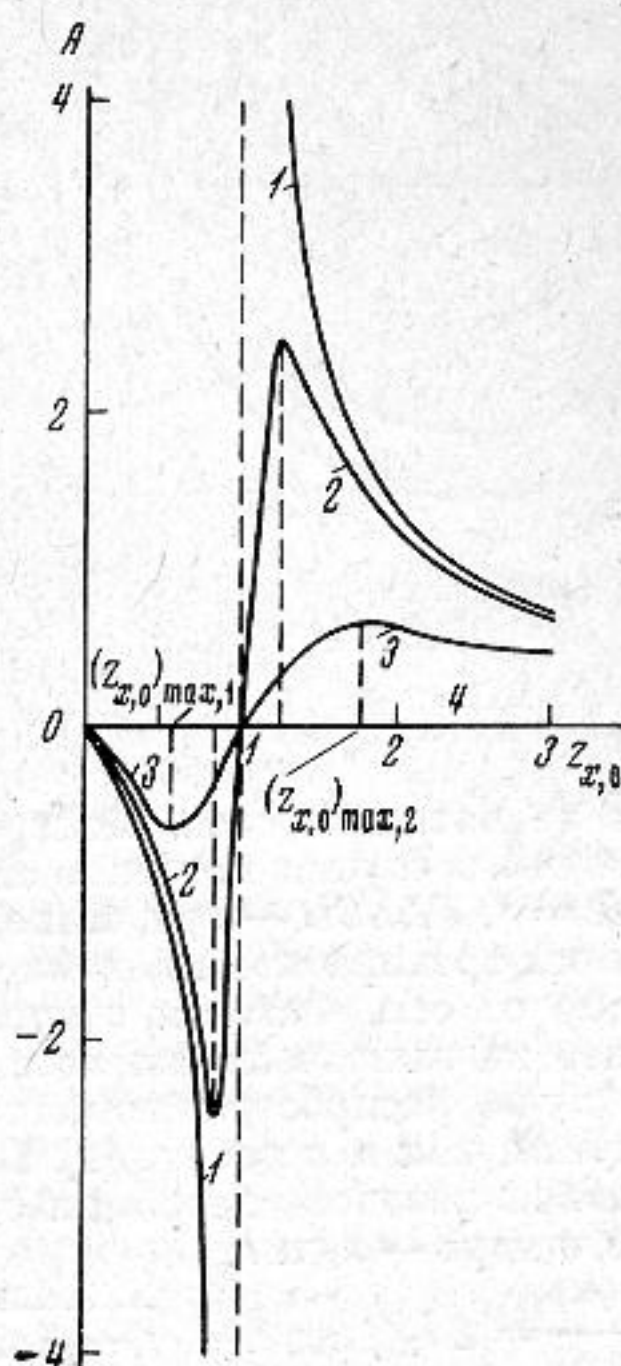
в частности, для чисто активного характера импеданцев эталона и нагрузки: $\psi = \varphi = 0$), при согласовывании импеданцев ($z_{x,0} \rightarrow 1$) чувствительность метода теоретически стремится к бесконечности. Однако в общем случае максимальная чувствительность метода (как видно из фиг. 2) резко зависит от величины параметра a , и уже для $a = 0,98$ она уменьшается до значения $A_{\max} = 2,5$. Кроме того, для значений $a \neq 1$ при согласовании импеданцев по модулю ($z_{x,0} \approx 1$) метод оказывается малочувствительным.

Таким образом, чувствительность метода теоретически ограничена пределами, определяемыми выражениями (4) и (3), и для ее повышения необходимо минимизировать значение r (т. е. $z_{x,0} \rightarrow 1$ и $a \rightarrow 1$, см. фиг. 1) и выбирать рабочий участок на кривой A вблизи точки ее максимального значения.

Методически это сводится к подбору импеданца эталона, близким по величине к предполагаемому импеданцу контролируемой нагрузки. Так, в частности, для чисто активного характеристического импеданца нагрузки (что, как известно, имеет место для не очень большого значения коэффициента поглощения: $Z_x = \rho c$, где ρ — плотность среды, c — скорость ультразвуковых волн соответствующего типа в



Фиг. 1



Фиг. 2

ней) эталон рекомендуется изготавливать из материала, близкого по акустическим свойствам к нагрузке и также обладающего не слишком большим поглощением ультразвука на используемой частоте. При этом максимальная степень согласования (минимальное значение коэффициента отражения r) будет ограничиваться только чувствительностью (отношением сигнал/шум) практически используемого приемника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Бражников. Ультразвуковые методы. Физические и физико-химические методы контроля состава и свойств вещества, М.—Л., «Энергия», 1965.
2. У. Мэзон. Физическая акустика. Методы и приборы ультразвуковых исследований, (пер. с англ.), т. 1, ч. А, гл. 4, 329—330, 352—355, М., «Мир», 1966.

Ростовский государственный
медицинский институт

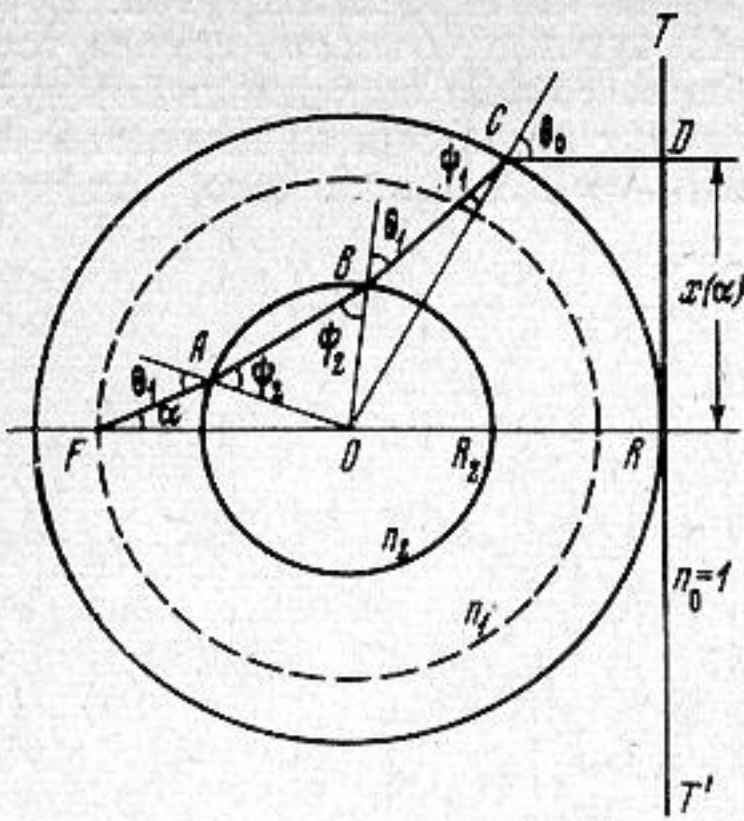
Поступило в редакцию
28 ноября 1969 г.

УДК 534.26

МОДИФИКАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛИНЗЫ ЛЮНЕБЕРГА

Р. В. Метёлкина, Б. С. Суриков

Акустические линзы Люнеберга, состоящие из внешнего слоя радиуса R и внутреннего слоя радиуса R_2 с постоянными показателями преломления n_1 и n_2 , рассмотрены в работе [1]. При заданном значении n_1 и соответственном выборе n_2 и относительного радиуса внутреннего ядра $r = R_2/R$ такие двухслойные линзы имеют очень малую фазовую aberrацию и могут формировать остронаправленные диаграммы в широком секторе углов обзора. В линзах сферической формы фокус находится на поверхности сферы, в цилиндрических линзах фокальная ось совпадает с одной из образующих цилиндра. Можно, однако, выбрать параметры линзы таким образом, чтобы ее фокус (или фокальная линия) находился внутри линзы,



Фиг. 1

в ее внешнем слое. Так, например, в работе [2] описана акустическая двухслойная линза с фокусом во внешнем слое, у которой граничные поверхности отличаются от сферических, но близки к ним, причем форма поверхностей выбрана из условия отсутствия фазовой аберрации при фокусировании волнового фронта от бесконечно удаленного источника, находящегося на акустической оси линзы. В такой системе центральная симметрия, свойственная линзам со сферическими поверхностями, нарушена, что приводит к возникновению фазовой аберрации при внеосевых положениях источника. Отсутствие в работе [2] данных о величине фазовой аберрации и ее влиянии на фокусирующие свойства линзы не позволяет оценить погрешности, возникающие при фокусировке наклонных волновых фронтов. Вследствие этого затруднительно установить пригодность предложенной линзы для использования в различных устройствах.

Нами была исследована фазовая аберрация акустической двухслойной линзы типа рассмотренной в работе [1], когда фокус линзы на-

ходится в ее внешнем слое. Поперечное сечение сферической или цилиндрической линзы для этого случая показано на фиг. 1. На этой фигуре F — фокус линзы, причем $OF/R = f$, $FABCD$ — луч, выходящий из фокуса под углом α к оси линзы, претерпевающий трехкратное преломление и пересекающий плоскость раскрыва TT' на высоте $x(\alpha)$ от оси. Фазовая аберрация $\Delta(\alpha)$, характеризующая отклонение волнового фронта на выходе линзы от плоского фронта TT' и равная разности фаз луча $FABCD$ и луча, распространяющегося вдоль оси линзы, может быть вычислена таким же путем, как и в работе [1]. Поэтому мы приведем без вывода выражения для относительной фазовой аберрации $\delta(\alpha)$, высоты выходящего луча $x(\alpha)$ и параметров внутреннего ядра — n_2 и r :

$$\delta(\alpha) = \frac{\Delta(\alpha)}{k_0 R} = 2n_1(f \cos \alpha - \sqrt{r^2 - f^2 \sin^2 \alpha}) + 2\sqrt{r^2 n_2^2 - n_1^2 f^2 \sin^2 \alpha} - n_1(1 + f - 2r) - 2n_2 r +$$

$$+ \frac{1 - \cos \left[2 \arcsin \left(\frac{n_1 f \sin \alpha}{n_2 r} \right) - 2 \arcsin \left(\frac{f \sin \alpha}{r} \right) + \alpha + \arcsin(f \sin \alpha) \right]}{\cos \left[2 \arcsin \left(\frac{n_1 f \sin \alpha}{n_2 r} \right) - 2 \arcsin \left(\frac{f \sin \alpha}{r} \right) + \alpha + \arcsin(f \sin \alpha) - \arcsin(n_1 f \sin \alpha) \right]}, \quad (1)$$

$$x(\alpha) = \sin \left[2 \arcsin \left(\frac{n_1 f \sin \alpha}{n_2 r} \right) - 2 \arcsin \left(\frac{f \sin \alpha}{r} \right) + \alpha + \arcsin(f \sin \alpha) \right],$$

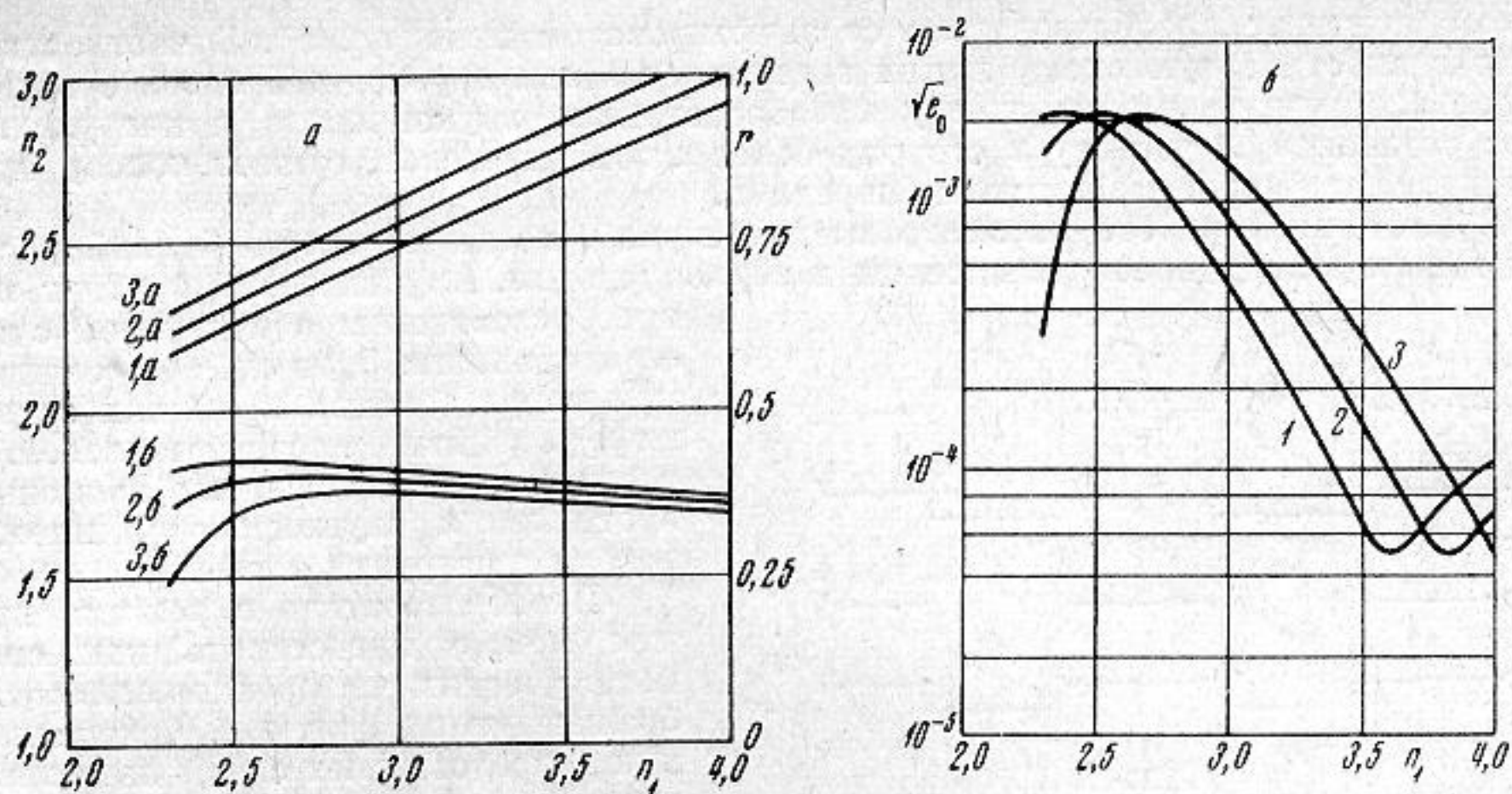
$$r = \frac{2 \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right)}{n_1 - 1 - \frac{1}{f}}, \quad (2)$$

$$n_2 = \frac{n_1}{p + \sqrt{p^2 - 1}}, \quad (3)$$

где p и Φ — вспомогательные величины:

$$p = \frac{1 - \frac{x_0^2}{4 \sin^2 \Phi} \left(\frac{n_1 - 1 - \frac{1}{f}}{n_1} \right) \cos \Phi}{1 - \frac{x_0^2}{4 \sin^2 \Phi} \left(\frac{n_1 - 1 - \frac{1}{f}}{n_1} \right)}$$

$$\Phi = \frac{1}{2} \arcsin x_0 - \frac{1}{2} \arcsin \frac{x_0}{n_1} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{x_0}{n_1 f}.$$



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 λ , 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-