534

ЛЕКЦИОННЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ФАЗОВЫХ ЗОННЫХ ПЛАСТИНОК

Зонная пластинка, преграждающая путь участкам фронта звуковой волны, соответствующим четным или нечетным зонам Френеля, была предложена еще Рэлеем [1]. Описание ее устройства и использования можно найти, например, в [2]. Создание зонной пластинки, обращающей фазу колебаний половины зон, гораздо сложнее. Причина кроется в том, что акустическое сопротивление ρc любого вещества столь велико по сравнению с соответствующей величиной для воздуха, что звуковые волны отражаются от твердых тел практически полностью. В физическом кабинете Томского университета была сделана фазовая зонная пластинка. При этом использовался метод, предложенный У. Коком [3,4] для изготовления волноводных линз. Он состоит в том, чтобы заставить волны двигаться между наклонно расположенными пластинками. Тогда проходимый звуком в волноводе путь возрастает в $1/\cos\theta$ раз по сравнению с прямым его распространением в среде, что соответствует эффективному показателю преломления волноводного участка пути $n = 1/\cos\theta$.

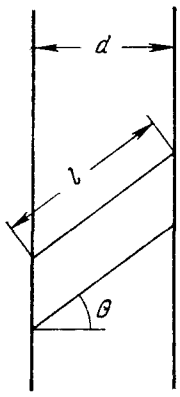

Рис. 1. Вид пластины сбоку.

По этому принципу были изготовлены сначала пластинки, вносящие разность хода $\lambda/2$ и λ между участками волнового фронта, распространяющимися сквозь пластинку и в свободном пространстве. Для этого в деревянные рамки вставлены наклонно полоски из картона или жести под углом 45° к плоскости рамки. Ширину полосок l определяют из обычного соотношения $d\,(n-1) = \lambda/2$ (или λ), которое в данном случае при $n = 1/\cos\theta$ и ширине полосы $l = d/\cos\theta$ принимает простейший вид $l - d = \begin{cases} \lambda/2, \\ \lambda \end{cases}$ (рис. 1). Полоски имеют ширину для полуволновой пластинки и длины волны $\lambda = 3{,}2$ *см*, равную 5,4 *см*; ширина полосок для волновой пластинки 10,8 *см* (рис. 2). Интервалы между пластинками равны 2 *см* и 4 *см* *), если отсчет вести вдоль рамки. Источником звука служит динамик 2ГД-21, питаемый от звукового генератора. Частоту генератора подбирают близкой к 10 *кгц*, чтобы длина волны составляла 3,2 *см*. Частоту звука подстраивают под готовую пластинку; для этого желательна достаточно плавная регулировка частоты звукового генератора. Опыт проводят так. Динамик помещают в фокусе сферического зеркала Пикте, чтобы получить плоскую акустическую волну. Прием ведут на микрофон 1-МД-35, находящийся в фокусе второго сферического зеркала. Напряжение с микрофона поступает на усилитель низкой частоты 28ИМ (У2-1А), затем на осциллоскоп С1-1 (ЭО-7) **) с выключенной временной разверткой.

*) Интервал в 4 *см* взят для волновой пластинки с целью ослабления отражения звуковых волн от широких наклонных пластин.

**) Можно промодулировать несущую частоту 10 *кгц* более низкой звуковой, затем, после усиления и детектирования, низкочастотный сигнал подать на динамик.

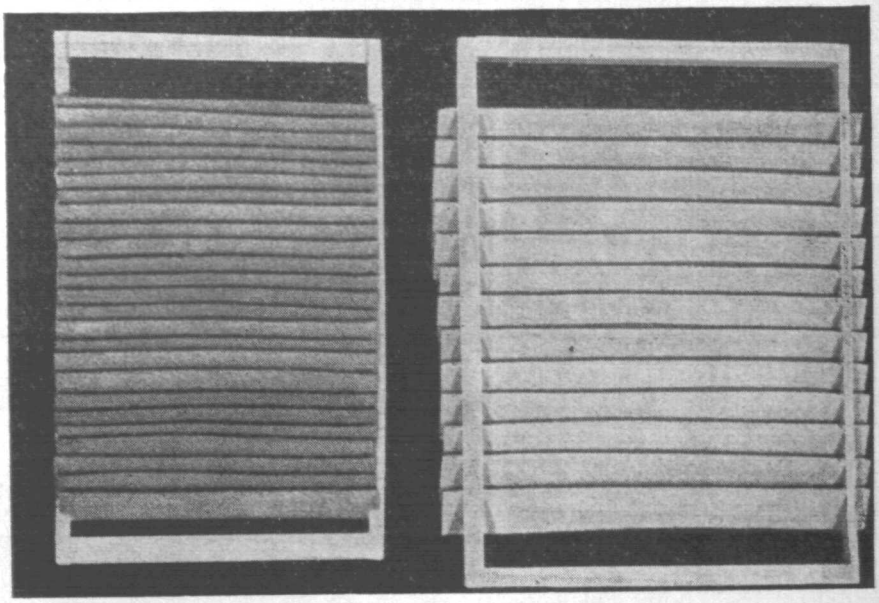

Рис. 2

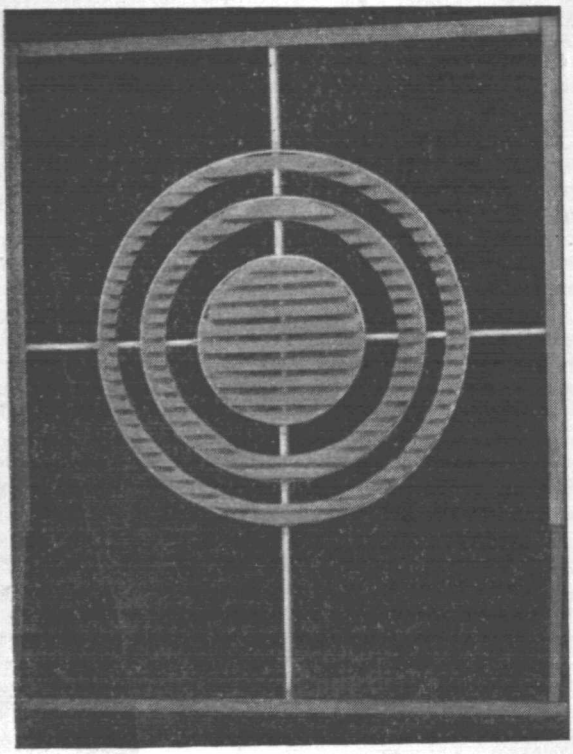

Рис. 3.

1. Поставив пластинку, вносящую разность хода $\lambda/2$, между участком волнового фронта, проходящим сквозь пластинку, и другим участком, распространяющимся в свободном пространстве, так, чтобы удлинить путь половине фронта волны, идущей к микрофону, наблюдают уменьшение амплитуды приема практически до нуля (при надлежащей частоте). Перекрыв фронт волны целиком этой пластинкой, демонстрируют восстановление интенсивного приема звуковых колебаний.

2. Пластинка, вносящая разность хода λ между участком волнового фронта, проходящим сквозь нее, и участком фронта, движущимся в свободном пространстве, незначительно ослабляет прием как при перекрытии ею половины фронта волны, так и при перекрытии всего фронта. При установке пластинок следует избегать эффекта возникновения интенсивных стоячих волн между динамиком и зонной пластинкой.

3. Для изготовления зонной пластинки с обращением фазы колебаний использована крестовина, на которой закреплены три кольца из латунной трубки, концы которой скреплены посредством впаянного в них стерженька. Трубку надлежащей длины предварительно изгибают на цилиндрической поверхности. К кольцам под углом 60° припаяны полоски жести, создающие дополнительный сдвиг фаз в 180° для волн, проходящих по наклонному пути между полосками. Используются сферические акустические волны (при этом зеркало, формирующее плоскую волну, убирают). Размер колец рассчитан для сферических волн с $\lambda = 3{,}2$ *см* и расстояний от зонной пластинки до источника звука и приемника по 1 *м*. Радиусы центральной и последующих зон Френеля в этом случае таковы: $R_0 = 12{,}67$, $R_1 = 17{,}95$, $R_2 = 22{,}03$, $R_3 = 25{,}48$, $R_4 = 28{,}54$, $R_5 = 31{,}80$, $R_6 = 32{,}70$ *см*.

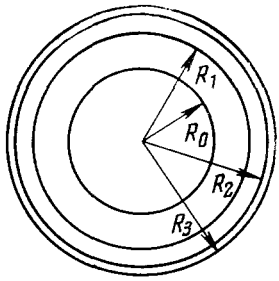

Рис. 4.

В нашей установке сдвиг фаз создан на площади центральной, второй и четвертой зон Френеля (рис. 3, 4).

Поместив фазовую зонную пластинку на пути сферических волн, посредине между микрофоном и динамиком, показывают, что она дает резкое увеличение амплитуды приема, вдвое большее, чем получаемое, когда четные зоны перекрыты кольцами из фанеры или жести и сквозь них волны вообще не проходят, т. е. в случае амплитудной зонной пластинки [2].

4. Для четвертого опыта изготовлен такой прибор: на стояке закреплен лист фанеры, в котором вырезано отверстие радиусом $R_3 = 25{,}40$ *см*, где умещаются четыре зоны Френеля. На крестовине, оставленной при выпиливании отверстия, с помощью штырей можно устанавливать алюминиевые диск и кольца с радиусами R_0, R_1, R_2, R_3, указанными выше. Стояк располагают посредине между микрофоном и динамиком, удаленными на 2 *м* друг от друга, как в опыте 3. Сняв диск, закрывающий центральную зону Френеля, показывают, что амплитуда принимаемой звуковой волны возросла вдвое по сравнению с полностью открытым волновым фронтом. Сняв следующее кольцо, убеждаются, что прием ослаблен до нуля. При открывании 2-й зоны Френеля прием возобновляется, но резко ослабевает при открывании 3-й зоны.

Томский государственный университет

Б. Ш. Перкальскис, В. Л. Ларин

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Рэлей, Теория звука, т. 2, М., Гостехиздат, 1955, стр. 144.
2. В. А. Кириллов, В. И. Твердохлебов, В. И. Хоменко, УФН 82 (1), 166 (1964).
3. А. Ф. Харвей, Техника сверхвысоких частот, т. I, М., «Сов. радио», 1965.
4. У. Кок, Звуковые и световые волны, М., «Мир», 1966.