

АВТОМОДУЛЯЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В НЕЛИНЕЙНОМ РЕЗОНАТОРЕ

И. А. Соустова, А. М. Сутин

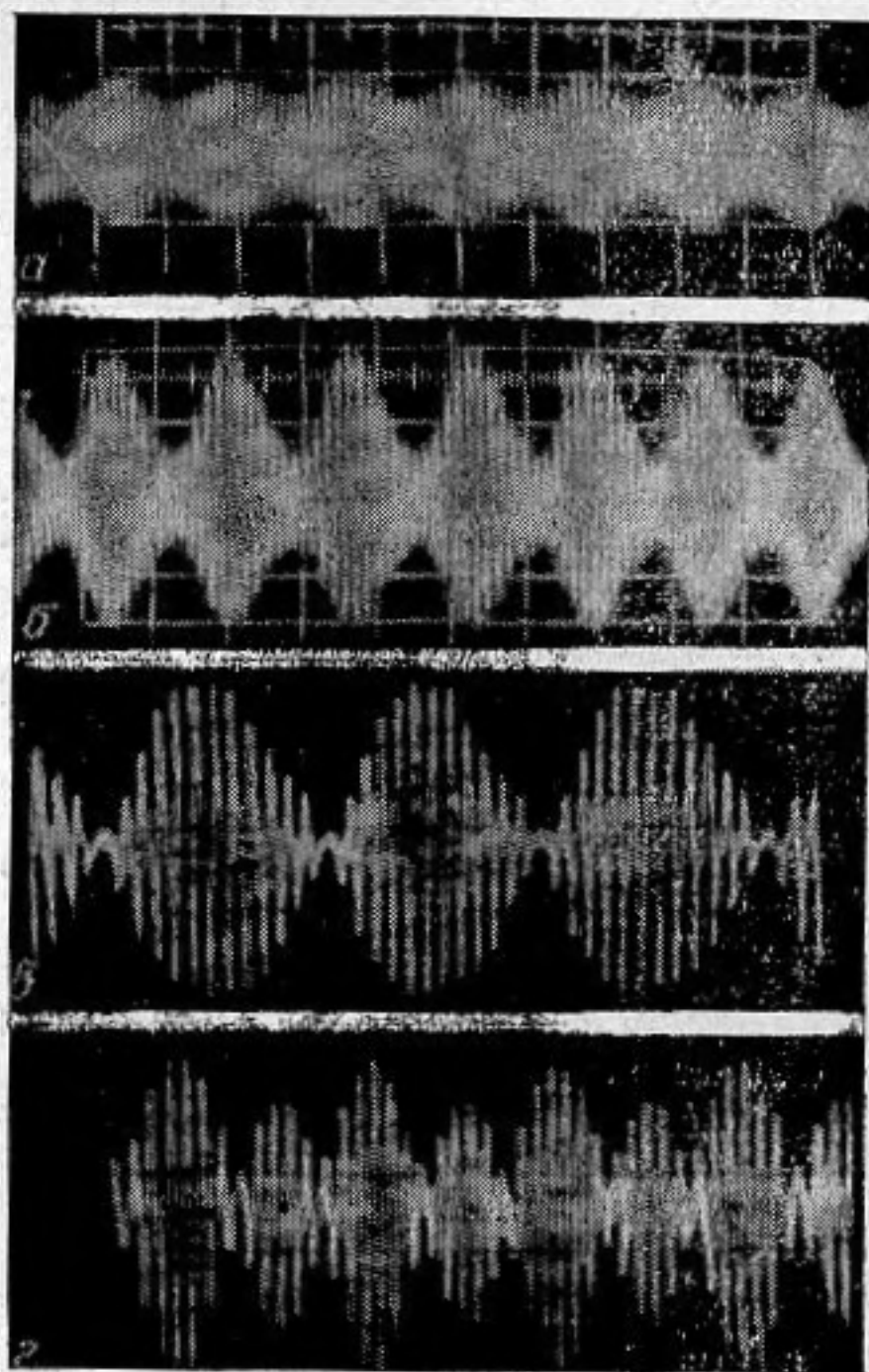
В работе [1] сообщалось об экспериментах по наблюдению нелинейных и параметрических эффектов в кольцевом резонаторе на твердом теле*. Были получены, в частности, параметрическая генерация и существенное параметрическое усиление в звуковом и ультразвуковом диапазонах, а также возбуждение многочастотных спектров. В дальнейшем в подобных системах удалось наблюдать и другие эффекты, связанные со взаимодействием акустических волн. Заслуживает внимания, в частности, автомодуляция интенсивного акустического поля, которой и посвящено настоящее сообщение.

Автомодуляция наблюдалась в резонаторе, выполненном из алюминиевого стержня диаметром 12 мм и длиной 635 мм, свернутого в кольцо, в зазор которого были вклеены пьезокерамические излучатели ультразвука (см. также [1]). Приемником служили миниатюрные пьезоэлементы, наклеенные на боковую поверхность резонатора (фиг. 3, а). Следует отметить, что, хотя акустические импедансы пьезокерамики и алюминия не полностью совпадают, отражением от излучателей можно пренебречь ввиду малости их толщины по сравнению с длиной волны.

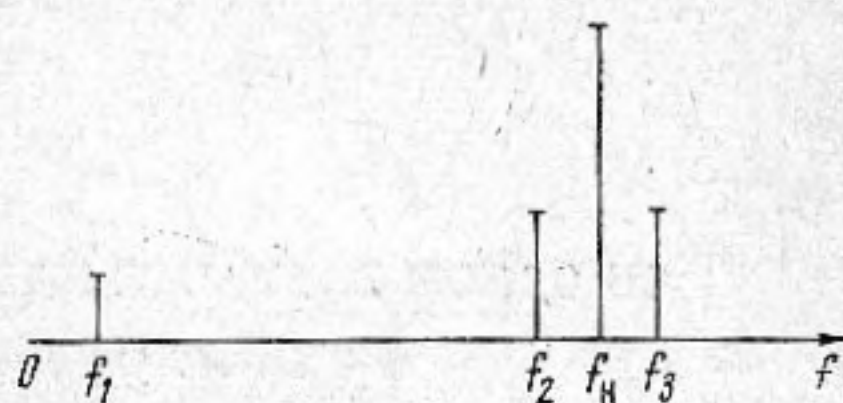
На излучатель подавалось гармоническое напряжение накачки с частотой f_n , близкой к одной из высших собственных частот резонатора на продольных волнах в диапазоне 50–200 кГц. При превышении накачкой некоторой пороговой величины в резонаторе возбуждалось модулированное акустическое поле (фиг. 1, а, б). В зависимости от значения расстройки между частотой накачки и ближайшей собственной частотой системы можно было наблюдать как мягкое, так и жесткое (гистерезисное) возбуждение модуляции (аналогично невырожденной параметрической генерации, описанной в [1]). Глубина модуляции росла с ростом возбуждающего напряжения.

Применение конических концентраторов ультразвука позволило усилить акустическое поле в резонаторе и тем самым повысить нелинейные эффекты. Так, в составном резонаторе из никелевой проволоки диаметром 3 мм, содержащем конические концентраторы длиной 100 мм и диаметром в основании 20 мм, глубина модуляции достигала 100% и более (фиг. 1, в, г). В данном случае для регистрации акустического поля использовались магнитострикционные свойства никеля: измерялась ЭДС, наведенная в небольшой индукционной катушке, надетой на проволоку.

Эффект нелинейной самомодуляции волн изучался ранее в задачах нелинейной оптики и радиофизики (см., например, [3]), где он, однако, был связан с наличием кубичной нелинейности в среде; из-за наличия четырехволновых процессов ($2f_n = f_1 + f_2$) возбуждались волны боковых частот f_1 и f_2 . В акустике нелинейность квадратичная (кубичные же члены пренебрежимо малы), и сам процесс носит несколько иной характер. Самомодуляция возникает в результате двухступенчатого процесса — сначала идет параметрическая генерация на двух низких частотах f_1 и f_2 , так что $f_1 + f_2 = f_n$, причем в данном случае f_1 отвечает первой собственной частоте резонатора и существенно меньше, чем f_n ; затем в результате нелинейного взаимодействия волн с ча-



Фиг. 1. Осциллограммы акустического поля в резонаторах при различной глубине модуляции

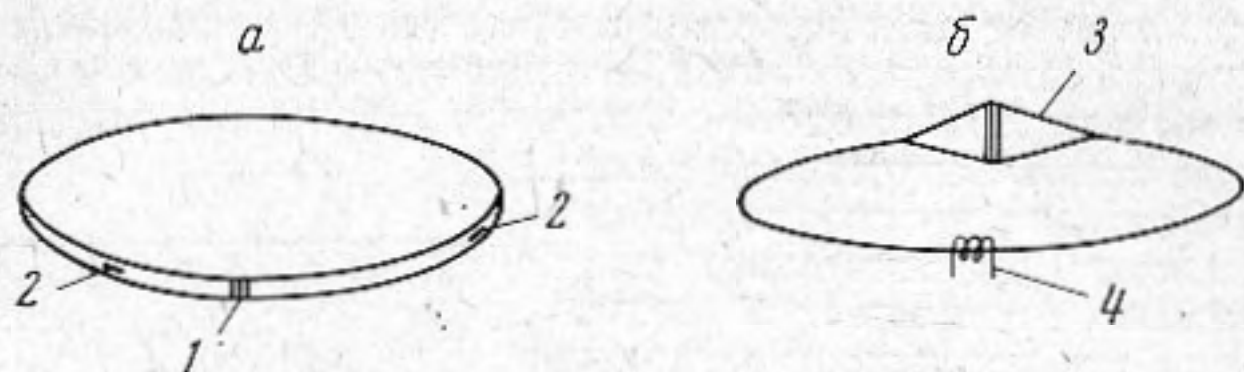


Фиг. 2. Спектр акустического поля в резонаторе

* В таких резонаторах нелинейные процессы имеют накапливающийся характер за счет многократных пробегов. В стержневых резонаторах со свободными границами накопления нелинейных эффектов для продольных волн не происходит ввиду изменения фазовых соотношений между взаимодействующими волнами при отражении от границы [2].

стотами f_1 и f_n возникают колебания суммарной частоты $f_3 = f_1 + f_n$. Таким образом, возникает модулированная волна с компонентами f_2 , f_n , f_3 и низкочастотный сигнал с частотой f_1 . Это подтверждается спектрограммой процесса (фиг. 2).

Заслуживает внимания возможность внешней модуляции в такой системе. При уменьшении амплитуды накачки ниже пороговой автомодуляция исчезает, но подача сигнала на частоте f_1 приводит к модуляции акустического поля в резонаторе этой



Фиг. 3. Кольцевые резонаторы: *a* — резонатор из алюминия, *b* — резонатор с концентраторами; 1 — пьезокерамические излучатели, 2 — пьезоприемники, 3 — концентраторы, 4 — приемная катушка

частотой. При этом для получения волны на боковой частоте с амплитудой порядка 50% от амплитуды волны на несущей частоте, в таком модуляторе амплитуда напряжения сигнала, подаваемая на излучатель, должна быть на 20 дБ меньше, чем амплитуда накачки.

Авторы выражают благодарность Л. А. Островскому за интерес к работе и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Островский, И. А. Папилова, А. М. Сутин. Параметрическая генерация и усиление акустических волн в кольцевом резонаторе на твердом теле. ЖТФ, 1973, 43, 10, 2213—2215.
2. Л. К. Зарембо, О. Ю. Сердобольская, И. П. Чернобай. Влияние фазовых сдвигов при отражении от границы на нелинейное взаимодействие продольных волн в твердых телах. Акуст. ж., 1972, 18, 3, 397—403.
3. Л. А. Островский, Л. В. Соустов. «Самомодуляция» электромагнитных волн в нелинейных линиях передачи. Изв. вузов, Радиофизика, 1972, 15, 2, 242—248.

Научно-исследовательский
радиофизический институт
Горький

Поступила
30 декабря 1974 г.

УДК 534.6

ОБ ОДНОМ ВАРИАНТЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

В. А. Сукацкас, Э. П. Яронис

В некоторых случаях измерений ультразвуковыми методами, когда объектом исследования является неэлектропроводная жидкость или газ, применяются конструкции интерферометров, в которых преобразователи нагружаются на исследуемое вещество с обеих сторон. Такая конструкция выгодно отличается от обычной отсутствием разности температуры или давления в среде, находящейся по обе стороны от преобразователей. Но работа преобразователей в этом случае имеет некоторые особенности. Например, в области полуволнового резонанса (или резонанса на любой нечетной гармонике) преобразователь с емкостной или омической электрической нагрузкой почти прозрачен для ультразвука. Такой режим работы преобразователей теоретически и экспериментально исследован сравнительно мало.

Отражательная способность преобразователей полностью описывается логарифмическим коэффициентом отражения $\psi = e - j\phi$. Здесь мы ограничимся изучением действительной части коэффициента e , от величины которой зависит острота пиков реакции в ультразвуковом интерферометре и, следовательно, точность измерения скорости и поглощения ультразвука. Величина ϕ играет существенную роль только в некоторых частных случаях, например в интерферометре переменной частоты.

Исследованный нами интерферометр схематически изображен на фиг. 1.