

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР УЛЬТРАЗВУКА

Л. А. Островский, И. А. Папилова, А. М. Сутин

Создание параметрического генератора акустических колебаний представляет не только практический, но и принципиальный интерес, поскольку в такой системе происходит непосредственная генерация когерентного звука звуком, без участия каких-либо электрических (как при генерации в пьезополупроводниках [1]) или электромагнитных (как при рассеянии Мандельштама – Бриллюэна [2]) источников энергии. Теоретический анализ параметрического взаимодействия акустических волн проводился в ряде работ [3 – 5]. Однако, практическая реализация таких эффектов на избранных частотах (особенно в жидкости или газе) затруднительна ввиду малости дисперсии звуковых волн. В настоящее время известны лишь немногие эксперименты по параметрическому усилению гиперзвука в твердом теле [6, 7]. Экспериментальное же исследование параметрической генерации в акустике, по-видимому, вообще не проводилось.

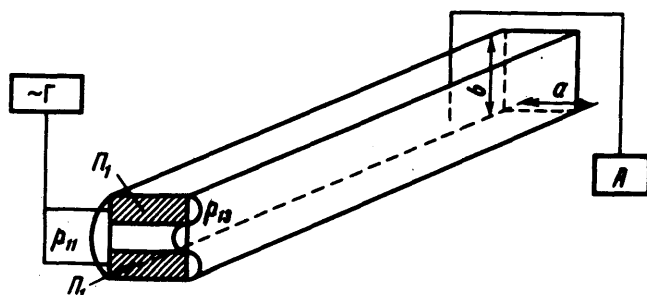


Рис. 1. Общая схема эксперимента:  $P_1$  – излучатель накачки,  $P_2$  – вибродатчик,  $G$  – генератор накачки,  $A$  – анализатор спектра

Нами был построен параметрический генератор ультразвука на основе акустического волновода с жидкостью. Трудности, связанные с малостью дисперсии среды устраняются при использовании взаимодействия различных волноводных мод. Теоретический анализ взаимодействия волн в таких системах был дан авторами ранее [5]. В эксперименте использовался прямоугольный волновод, заполненный водой, или спиртом, с тонкими (около 0,5 мм) латунными стенками, практически эквивалентными свободным границам. Размеры сечения волновода  $3 \times 2,3 \text{ см}^2$ , торцы закрыты жесткими отражателями, образующими резонатор длиной  $30 \pm 50 \text{ см}$ .

Схема эксперимента показана на рис. 1. Накачка на частоте 84 кГц подавалась от пьезокерамических излучателей  $P_1$ , расположенных так, чтобы возбуждалась мода  $p_{13}$  ( $p$  – звуковое давление, близкое к нулю на стенках волновода; индексы, как обычно, означают число полупериодов, укладываемых по сторонам поперечного сечения). При

выбранных соотношениях между поперечными размерами  $a$  и  $b$  стенок волновода ( $b^2/a^2 = 5/3$ ) выполняются условия синхронизма на частоте субгармоники (42 кГц) для моды  $p_{11}$ , на которой и генерировался сигнал (вырожденная параметрическая генерация). Сигнал и накачка принимались вибродатчиком  $\Pi_2$  из титаната бария и поступали на анализатор спектра.

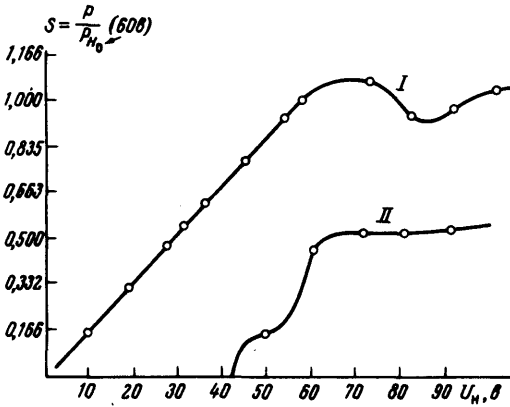


Рис. 2. Зависимость относительной амплитуды ( $S$ ) давления установившихся колебаний накачки (кривая 1) и генерируемого сигнала (кривая 2) в резонаторе от амплитуды напряжения ( $U_H$ ) накачки на входе излучателя. В качестве масштаба взята амплитуда давления, создаваемого в резонаторе накачкой при  $U_{H_0} = 60$  в

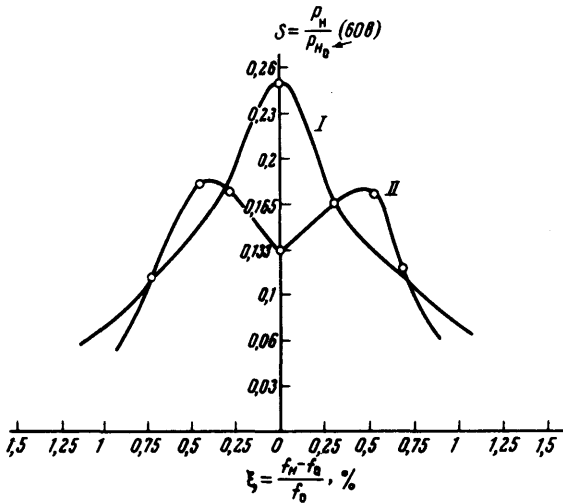


Рис. 3. Резонансная характеристика системы на частоте накачки ( $f_0 = 83,78$  кГц): 1 — ниже порога генерации ( $U_H = 3$  в), 2 — при генерации субгармоники

Мощность излучения накачки порядка  $0,3$  вт/см<sup>2</sup>; при этом число Маха  $M$ , создаваемое полем накачки, в волноводе, было невелико ( $M = 10^{-5} - 10^{-4}$ ) и усиление волны на длине резонатора составляло лишь  $3 \div 5$  дб, однако этого было достаточно для генерации довольно интенсивного сигнала на субгармонике с амплитудой, сравнимой с амплитудой накачки. Фазы генерируемого сигнала  $\theta_1$ , и накачки  $\theta_2$ , как и должно быть, удовлетворяли соотношению  $2\theta_1 - \theta_2 = \pm \pi/2$ , т. е. данная система в принципе может работать как фазовый триггер (акустический параметрон).

Некоторые результаты эксперимента приведены на рис. 2 и рис. 3. Из рис. 2 видно, что порог генерации соответствует  $U_H = 35$  в ( $U_H$  — амплитуда напряжения на излучателе  $\Pi_1$ ), при этом число Маха порядка  $5 \cdot 10^{-5}$ . Для амплитуды, в 2 — 3 раза превышающей пороговое зна-

чение, происходит насыщение накачки и сигнала в системе. Отсюда можно заключить, что механизм установления генерируемых колебаний связан в данном случае с отбором энергии у накачки (реакция сигнала на накачку).

Полоса генерации составляет 1 – 2% от несущей частоты и определяется дисперсией соответствующих мод в волноводе. При этом в резонансной кривой системы на частоте накачки виден характерный провал, связанный с дополнительной нагрузкой, создаваемой генерируемым сигналом (рис. 3). Время установления процесса – порядка 1 мсек.

Аналогичные результаты получены для волновода, заполненного этиловым спиртом. В этом случае порог генерации был в 1,5 – 2 раза ниже из-за большего значения параметра нелинейности в спирте.

Отметим, что использование волновода позволило осуществить одномерное взаимодействие волн на избранных частотах, так что длина области взаимодействия ограничена лишь весьма малым затуханием волн.

Авторы весьма признательны В.А.Звереву за полезные дискуссии и В.Г.Яхно за помощь в проведении эксперимента.

Научно-исследовательский  
радиофизический институт

Поступила в редакцию  
25 февраля 1972г.

### Литература

- [ 1 ] V.J.Hammond. Electron Compon. 6, 1221. 1970.
  - [ 2 ] С.В.Кривохижа, Д.И.Маш, В.В.Морозов, В.С.Старунов, И.Л.Фабелинский. Письма в ЖЭТФ, 3, 378, 1966.
  - [ 3 ] Е.А.Заболотская, А.И.Солуян, Р.В.Хохлов. Акуст. ж., 12, №2, 1966.
  - [ 4 ] З.А.Гольдберг. ДАН СССР, 306, №3, 1971.
  - [ 5 ] Л.А.Островский, И.А.Папилова. Препринт №19, Горький, 1971 (Акуст. ж., 12, 1972, в печати).
  - [ 6 ] V.Chao. J.Appl. Phys., 10, №10. 1970.
  - [ 7 ] S.Shiren. Proc. IEEE, 53, 1540. 1965.
-