



ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЗВУКА

Авторы: К. А. Наугольных

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЗВУКА, процесс генерации *комбинационных* тонов при нелинейном взаимодействии звуковых волн в среде. Существуют 2 режима П. и. з.: 1) две высокочастотные акустич. волны (компоненты волны накачки), взаимодействуя друг с другом, порождают акустич. волну разностной частоты, излучаемую из области взаимодействия; 2) модулированная по амплитуде или частоте высокочастотная акустич. волна накачки в результате детектирования средой возбуждает низкочастотную акустич. волну на частоте модуляции. Область нелинейного взаимодействия волн является своеобразной «бестелесной» антенной, размеры которой определяют характеристику направленности параметрич. излучателя звука. Поэтому даже при малых размерах излучателей волны накачки удаётся получить остронаправленное низкочастотное излучение. К достоинствам параметрич. излучателей звука относятся высокая направленность генерируемого излучения, отсутствие боковых лепестков диаграммы направленности, широкополосность; кроме того, для существенного относительного изменения частоты излучения достаточно весьма незначительного изменения частоты накачки (в пределах ширины полосы излучателя волны накачки). Осн. недостаток параметрич. излучателя звука – его невысокая эффективность: доля энергии накачки, идущая на низкочастотное излучение, обычно невелика и зависит от соотношения частот получаемой (сигнальной) волны

ω_c и волны накачки

ω_n . Для оптимального режима отношение мощности низкочастотного излучения

W_c к мощности накачки

W_n определяется формулой

$$W_c/W_n \approx (1/2)(\omega_c/\omega_n)^2.$$

Процесс генерации волны разностной частоты происходит по-разному, в зависимости от геометрич. параметров зоны взаимодействия волн накачки. Для плоского излучателя волны накачки можно выделить 2 предельных случая.

1) Нелинейное взаимодействие происходит в ближней зоне излучения волны накачки (см. [Звуковое поле](#)), где она является плоской. Протяжённость зоны взаимодействия в направлении распространения волн в этом случае определяется длиной пробега волны накачки

$$l = \alpha^{-1} ($$

α – коэф. поглощения этой волны), а поперечное сечение этой зоны – площадью излучателя волны накачки. Амплитуда

p_c низкочастотной сигнальной волны в дальней зоне пропорциональна длине l зоны взаимодействия. Для накачки в виде двух высокочастотных волн близкой частоты она выражается формулой

$$p_c = \frac{\varepsilon p_H^2 (k_c a)^2}{8 \rho c^2 \alpha r} D^W.$$

Здесь

ε – нелинейный параметр среды,

p_H – амплитуда волн накачки,

$$k_c = \omega_c / c,$$

a – радиус высокочастотного пучка, определяемый размером излучателя волн накачки,

ρ – плотность среды,

c – скорость звука в ней,

r – расстояние от излучателя волны накачки до точки наблюдения,

$D^W(\theta)$ – диаграмма направленности для низкочастотной волны, описываемая выражением

$$D^W(\theta) = [1 + k_c^2 \alpha^{-2} \sin^4(\theta/2)]^{-1/2}.$$

Угол

θ отсчитывается от оси области взаимодействия; характерная ширина диаграммы

направленности

$\theta_m \approx (k_c \alpha^{-1})^{-1/2}$. Формула (1) описывает два эффекта: образование тона разностной частоты при взаимодействии плоских волн на длине

$l = \alpha^{-1}$ (множитель

$\epsilon r_4^2 k_c / \rho c^2 \alpha$) и дифракционный эффект при излучении волны низкой разностной частоты из цилиндрич. области взаимодействия с малым поперечным сечением, характеризуемый параметром

$k_c a^2 / r$.

2) Гл. вклад в генерацию низкочастотной волны даёт нелинейное взаимодействие в дальней зоне излучения волны накачки, где она становится расходящейся и область взаимодействия имеет форму рупора. Волна разностной частоты возникает как результат взаимодействия расходящихся волн. Влияние дифракционных эффектов в этом случае не проявляется, поэтому преобразование высокочастотного излучения в низкочастотное происходит более эффективно.

При больших интенсивностях волны накачки она трансформируется в пилообразную волну, возрастает её поглощение и работа параметрич. излучателя переходит в нелинейный режим.

В параметрич. приёмнике звука гармонич. высокочастотная волна накачки модулируется низкочастотным сигналом, в результате чего из-за нелинейных свойств среды возникают сигналы комбинационных частот, обладающие высокой направленностью, которые регистрируются высокочастотным приёмником звука. Осн. достоинство параметрич. приёмника звука – возможность реализации достаточно длинных областей взаимодействия волн, что позволяет получить острую направленность при приёме низкочастотного звука.

Параметрич. излучатели звука применяются в калибровочных лабораторных установках, в измерительных гидроакустич. бассейнах как широкополосные излучатели для калибровки приёмников звука. Частота накачки в таких устройствах порядка 1 МГц, частота излучения 1–100 кГц, мощность накачки – десятки Вт. Более мощные низкочастотные параметрич. излучатели применяются в [гидроакустике](#) для зондирования океана на больших расстояниях, прецизионного профилирования дна,

зондирования придонных областей, изучения звукорассеивающих слоёв, турбулентности, определения толщины слоя ила, поиска предметов в мор. грунте, а также в [атмосферной акустике](#) для зондирования атмосферы, в частности для контроля степени турбулентности на взлётных трассах аэродромов. Параметрич. излучатели применяются также в рыбопоисковой аппаратуре, эхолотах и др.

Литература

Лит.: Наугольных К. А., Островский Л. А., Сутин А. М. Параметрические излучатели звука // Нелинейная акустика. Г., 1980; Новиков Б. К., Руденко О. В., Тимошенко В. П. Нелинейная гидроакустика. Л., 1981; Esipov I., Naugolnikh K., Timoshenko V. The parametric array and long-range ocean research // Acoustics Today. 2010. Vol. 6. № 2.

Processing math: 100%