

ковых давлений не одинаковы: Так, скорость роста давления P^+ при приближении к фокусу меньше, чем скорость спада при удалении от него. P^- , наоборот, быстрее растет до фокуса, а после спадает существенно медленнее. Следует также отметить, что линии для P^+ и P^- с одинаковыми номерами очерчивают фигуры разных площадей. Другими словами, объем, в котором величина P^+ превышает заданный уровень, больше, чем аналогичный, соответствующий давлению P^- . Рисунок 2, кроме того, иллюстрирует инвертирование монополярного сигнала после прохождения фокуса: при $z > 1$ величина P^- превышает P^+ и импульс сжатия превращается в импульс разрежения.

Временные профили импульсов в точках $a-d$ (см. рис. 2) приведены на рис. 3. Исходный импульс (a) — монополярный экспоненциальный. В фокальной точке (b) достигаются максимальные $P^+ = P^- = 1/D$, а форма импульса есть производная от его исходного профиля. При смещении в фокальной плоскости (c) профиль, оставаясь симметричным, становится более гладким и происходит некоторое растягивание импульса. Всякому импульсу до фокуса можно поставить в соответствие другой за фокусом, являющийся с хорошей точностью инвертированным повторением первого (c и d).

Итак, в отличие от фокусировки синусоидальных волн, при которой форма волны не меняется, оставаясь синусоидальной, а изобарические поверхности представляют собой симметричные эллипсоиды, фокусировка импульсов имеет ряд отличий. Принципиально изменяется профиль импульса, изобарические поверхности имеют грушевидную форму. Такие импульсные акустические поля могут быть рассчитаны с учетом эффектов фокусировки и дифракции предложенным методом.

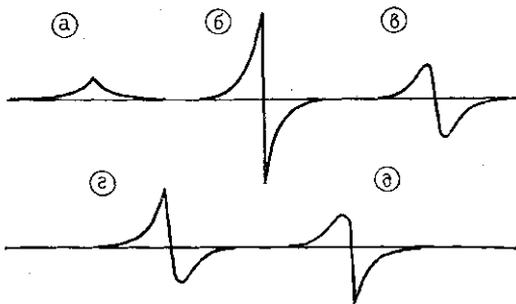


Рис. 3. Профили импульсов в точках $a-d$ (см. рис. 2)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мусатова А. Г., Сапожников О. А. // Акуст. журн. 1993. 39, № 2. С. 315. [2] Виноградова М. Б., Руденко О. В., Сухоруков А. П. Теория волн. М., 1990. [3] Сапожников О. А. // Акуст. журн. 1991. 37, № 4. С. 760.

Поступила в редакцию
10.03.93

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1993. Т. 34, № 4

УДК 534.232

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО СОГЛАСОВАНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МАЛЫХ ВОЛНОВЫХ РАЗМЕРОВ

П. Н. Кравчун
(кафедра акустики)

Рассмотрена задача одночастотного согласования комплексных импедансов с помощью акустической согласующей системы с сосредоточенными параметрами. Решение иллюстрируется расчетами согласующих систем для гидроакустических преобразователей малых волновых размеров. Кратко обсуждаются свойства согласующих систем и возможности их оптимизации.

При создании малогабаритных (т. е. малых в сравнении с длиной волны на рабочей частоте) подводных электроакустических преобразователей возникает проблема их согласования со средой [1]. Это обусловлено двумя обстоятельствами: 1) импеданс излучения Z_s таких преобразователей имеет малую действительную часть;

$R_s \ll X_s$, $R_s \ll S\rho c$, где $R_s = \text{Re } Z_s$, $X_s = \text{Im } Z_s$, S — площадь излучающей поверхности, ρc — волновое сопротивление среды; 2) традиционные согласующие системы в виде одного или нескольких слоев имеют, как правило, размеры порядка длины волны, что в данном случае неприемлемо.

Одна из возможностей решения этой проблемы связана с применением дискретных структур с сосредоточенными параметрами. У таких структур, как правило, не наблюдается однозначной связи между резонансными частотами и размерами, поэтому согласующие системы на их основе могут быть сделаны достаточно компактными.

В данной работе рассматривается одночастотное согласование малогабаритных пьезоэлектрических преобразователей двух типов: один из них представляет собой пьезоэлемент малых волновых размеров, закрепленный нерабочим торцом на жесткой стенке, а второй — колебательную систему, в которой инерционный элемент является пьезоактивным, а упругий — пассивным [1]. В качестве согласующей системы рассмотрим звено полосового механического фильтра. Общий вид преобразователей с согласующей системой представлен на рис. 1.

Решение задачи согласования будет достигнуто при выполнении условия

$$Z_s = \frac{b_{11}Z + b_{12}}{b_{21}Z + b_{22}}, \quad (1)$$

где Z — входной механический импеданс преобразователя, звездочка — знак комплексного сопряжения, b_{jk} — элементы характеристической матрицы $\|B\|$ согласующего звена, имеющей вид

$$\|B\| = \begin{pmatrix} \frac{-\omega^2 M + \kappa_1 + \kappa_2}{\kappa_1} & \frac{\omega^2 M - \kappa_2}{i\omega} \\ -\frac{i\omega}{\kappa_1} & 1 \end{pmatrix}$$

(ω — циклическая частота, i — мнимая единица, смысл параметров M , κ_1 , κ_2 ясен из рис. 1).

Рис. 1. Пьезопреобразователи с согласующей системой (показана штриховыми линиями)

Разделяя действительную и мнимую части в (1), получаем нелинейную систему из двух уравнений для определения параметров согласующего звена. Решение системы имеет вид

1) при $R=R_s$ ($R=\text{Re } Z$):

$$M = -\frac{X_s}{\omega} + \frac{X}{\omega} + \frac{\kappa_2}{\omega^2}, \quad \kappa_1 = \frac{\omega(R^2 + X^2)}{2X_s},$$

где $X = \text{Im } Z$;

2) при $R \neq R_s$ (случай, представляющий практический интерес):

$$M = \sqrt{\frac{R_s}{\omega^2} \frac{R^2 + X^2 - RR_s}{R}} - \frac{X_s}{\omega} + \frac{\kappa_2}{\omega^2},$$

$$\kappa_1 = \frac{R\omega \sqrt{R_s(R^2 + X^2 - RR_s)/R} - X\omega R_s}{R - R_s}.$$

Условия физической реализуемости согласующей системы ($M > 0$, $\kappa_1 > 0$, $\text{Im } M = 0$, $\text{Im } \kappa_1 = 0$) накладывают определенные ограничения на допустимые значения Z и Z_s (ввиду громоздкости здесь не приводятся; из них, в частности, следует, что целесообразно положить $\kappa \ll \kappa_1$). В дальнейшем для упрощения будем пользоваться «эффективной» массой согласующего звена $M_e = M + X_s/\omega - \kappa_2/\omega^2$, полагая без ограничения общности $X_s = 0$ и $\kappa_2 = 0$.

Результаты расчетов параметров согласующих систем для указанных выше типов преобразователей приведены на рис. 2 и 3. Во всех случаях параметры пьезоматериала соответствовали пьезокерамике ЦТС-19 [2], внутреннее сопротивление источника питания выбиралось равным 600 Ом, считалось также, что последовательно с внутренним сопротивлением включена индуктивность, компенсирующая на частоте

согласования емкость пьезоэлемента. Из приведенных на рис. 2 результатов следует, что для преобразователя первого типа масса согласующей системы возрастает по мере понижения частоты согласования, что неприемлемо для целей низкочастотного

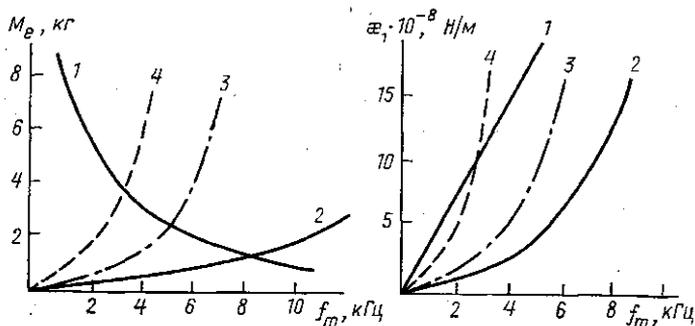


Рис. 2. Зависимость параметров согласующих систем от частоты f_m , на которой осуществляется согласование, для преобразователя первого типа с $l=7,2$ см и $S=18$ см² (1) и для преобразователя второго типа с $l=7,2$ см и $S=18$ см² (2), $l=14,4$ см и $S=70$ см² (3), $l=24$ см и $S=70$ см² (4)

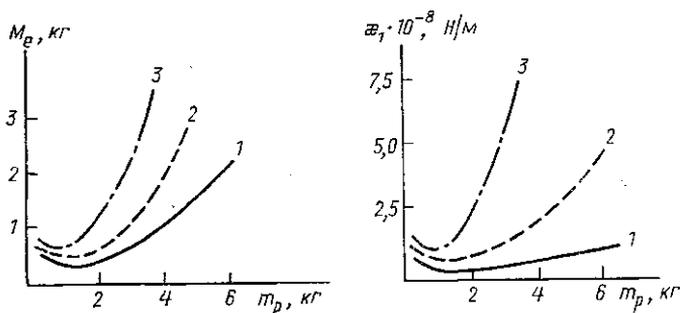


Рис. 3. Зависимость параметров согласующих систем от массы пьезоэлемента для второго типа преобразователя с $S=18$ см² для частот согласования 1000 Гц (1), 2000 Гц (2), и 3000 Гц (3); масса пьезоэлемента изменялась путем изменения его длины

согласования. Второй же тип преобразователя имеет более благоприятные для низкочастотного согласования свойства: масса и упругость согласующих систем для него убывают с понижением частоты согласования.

Весьма важно, что при заданной частоте согласования для второго типа преобразователя существуют оптимальные значения массы пьезоэлемента, при которых согласующая система имеет минимальные массу и упругость (рис. 3), вполне приемлемые с практической точки зрения.

Сравнение частотных характеристик чувствительности согласованных и несогласованных преобразователей в режиме излучения показывает значительное (более чем в 2 раза) преимущество согласованных преобразователей как по чувствительности на резонансной частоте, так и по ширине полосы.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кравчун П. Н., Чернышев К. В. // Подводные технические средства исследования океана / Отв. ред. В. С. Ястребов. М., 1988. С. 38. [2] Подводные электроакустические преобразователи: Справочник. Л., 1983.

Поступила в редакцию
25.03.93