

Изменение параметров пьезоэлектрических преобразователей с помощью добавочных элементов

Валерий Шарапов, Жанна Сотула, Лариса Куницкая, Александр Ткаченко (г. Черкассы, Украина)

В статье описан метод изменения параметров пьезоэлектрических преобразователей с помощью добавочных элементов. В частности, может быть увеличена выходная мощность преобразователя, снижена рабочая частота и расширена полоса частот, а также могут быть получены преобразователи со свойствами дифференцирующих и интегрирующих цепей.

Пьезоэлектрические преобразователи и датчики широко применяются в электроакустике, в ультразвуковой, медицинской, измерительной технике, в сканирующих зондовых наномикроскопах, пьезодвигателях и в других областях науки и техники [1–3]. Особое место пьезоэлектрические преобразователи занимают в гидроакустике, являясь по существу ушами и глазами подводных и надводных кораблей.

Как известно [4], преобразователь – это устройство, которое преобразует одну физическую величину или энергию в другую физическую величину или энергию, например, тепловую энергию – в электрическую, силу – в перемещение, давление – в электрическое напряжение или ток, электрическое напряжение одного уровня – в электрическое напряжение другого уровня, и т.д.

В работе [5] описаны методы синтеза (создания, проектирования) пьезоэлектрических преобразователей. Эти методы позволяют не только расширять возможности технологии проектирования, но и создавать преобразователи с необходимыми характеристиками. Среди описанных технологий особый интерес представляет технология добавочных элементов, не требующих какой-либо доработки пьезоэлемента и изменяющих характеристики преобразователя за счёт внешних цепей.

Основные параметры пьезоэлемента на различных частотах

Частота, кГц	0,8	1,2	2,5
r_0 , КОм	9,3	5,9	3,9
Звуковое давление, дБ	80	93	97

Поскольку пьезоэлемент представляет собой электромеханическую колебательную систему, присоединение к нему механических или электрических элементов изменяет параметры этой системы [6]. Здесь возможны как минимум два варианта. В первом случае к пьезоэлементу *механически* присоединяют металлическую пластину, второй пьезоэлемент или ультразвуковой концентратор. Во втором случае к пьезоэлементу *электрически* присоединяют ёмкость, индуктивность, сопротивление, ещё один пьезоэлемент или часть пьезоэлемента.

Присоединение металлической пластины к пьезоэлементу превращает мноморфный пьезоэлемент в биморфный, при этом появляется новый вид колебаний – изгибные. Эти колебания являются самыми низкочастотными для пьезоэлектрических преобразователей, при этом чувствительность преобразователя увеличивается на порядок и более; аналогичный результат достигается при соединении двух пьезоэлементов [1, 5]. Присоединение к пьезоэлементу ультразвукового концентратора снижает рабочую частоту устройства и увеличивает амплитуду смещения. Такие устройства используются в ультразвуковой обработке материалов [6, 7] и в измерительных устройствах [1].

Не меньший интерес представляет добавление к пьезоэлементу электрических элементов – индуктивности, ёмкости, активного сопротивления и цепей, составленных из этих элементов. Упрощённая эквивалентная электрическая схема пьезоэлемента изображена на рисунке 1а. На этой схеме $C_{эл}$ – ёмкость между элект-

родами пьезоэлемента, $L_{дв}$, $C_{дв}$, R – динамические индуктивность и ёмкость, а также активные потери в пьезоэлементе. Если присоединить к входу пьезоэлемента индуктивность [9] (см. рис. 1б) таким образом, чтобы эта индуктивность и ёмкость между электродами образовали последовательный колебательный контур $L_{доб}C_{эл}$, то резонансную частоту этого контура можно определить по известной формуле:

$$f_{доб} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{доб}C_{эл}}}. \quad (1)$$

Резонансная частота собственно пьезоэлемента

$$f_{ПЭ} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{дл}C_{дл}}}. \quad (2)$$

Кроме того, возникает резонанс на частоте

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_{доб} + L_{дл})C_{дл}}}. \quad (3)$$

В зависимости от величин $C_{эл}$ и $L_{доб}$ возможны три случая:

$$\begin{aligned} f_{доб} &= f_{ПЭ}; \\ f_{доб} &> f_{ПЭ}; \\ f_{доб} &< f_{ПЭ}. \end{aligned} \quad (4)$$

Экспериментальную проверку выполним для электроакустического преобразователя ЗП-19. Преобразователь состоит из стальной пластины (марки 40Х) диаметром 32 мм и толщиной 0,15 мм. К пластине приклеен эпоксидным компаундом пьезоэлемент диаметром 23 мм и толщиной 0,2 мм. Получившийся биморфный элемент закреплён в корпусе из ударопрочного полистирола.

Проверку выполним в пьезотрансформаторном режиме, для чего один из электродов пьезоэлемента разделим на две части – кольцо и диск (см. рис. 2а). Эквивалентная электрическая схема такого преобразователя показана на рисунке 2б, где Tr – идеальный трансформатор, $C_{вых}$ – ёмкость между

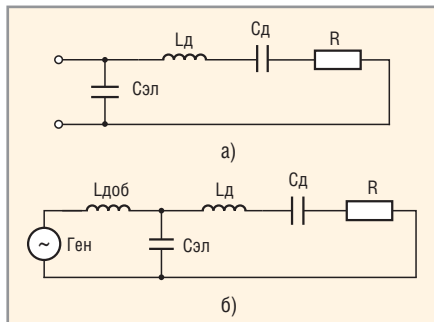


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема пьезоэлемента (а), эквивалентная схема пьезоэлемента с дополнительной индуктивностью (б)

выходными электродами пьезотрансформатора.

Для проведения экспериментов были изготовлены катушки индуктивности ($L_{доб}$) 0,24, 1,0 и 2,4 Гн. Эти индуктивности с ёмкостью $C_{эл}$ (17 нФ) образуют резонансные частоты 2,5, 1,22 и 0,8 кГц соответственно. На рисунке 3 показаны АЧХ этого преобразователя, где основная резонансная частота изгибных колебаний равна примерно 2,5 кГц. Измерения проводились в пьезотрансформаторном режиме. На резонансной частоте также измерялось звуковое давление с помощью шумомера фирмы RFT.

Характеристики преобразователя были измерены при подключении каждой из индуктивностей (см. рис. 3б – 3г). Одновременно на указанных частотах измерялось собственное (активное) сопротивление потерь r_0 (см. таблицу). Видно, что с понижением частоты потери в пьезоэлементе увеличиваются. Рисунок 3 подтверждает, что, используя дополнительные колебательные контуры, создаваемые с помощью дополнительной индуктивности и межэлектродной ёмкости пьезоэлемента, можно создавать низкочастотные акустические колебания с помощью преобразователя сравнительно высокой частоты.

На рисунке 4 показаны варианты схем преобразователей с добавочными колебательными контурами, которые позволяют увеличить выходную мощность (звуковое давление). Если выбрать величину $f_{доб}$ близкой к f_p , можно не только повысить уровень звукового давления, но и расширить полосу пропускания преобразователя, что актуально для преобразователей, используемых для подводной связи. Разумеется, приведённые схемы не исчерпывают все возможности таких преобразователей.

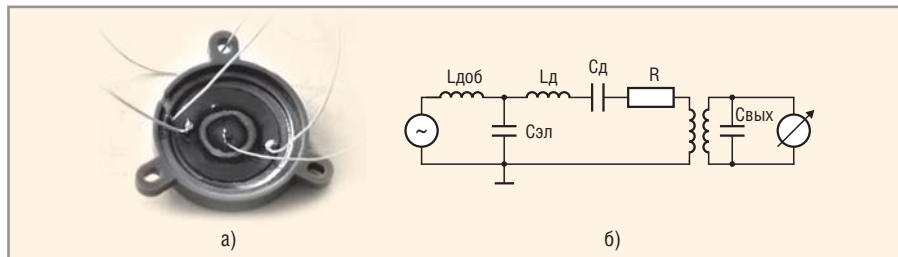


Рис. 2. Электроакустический преобразователь ЗП-19 (а), эквивалентная схема (б)

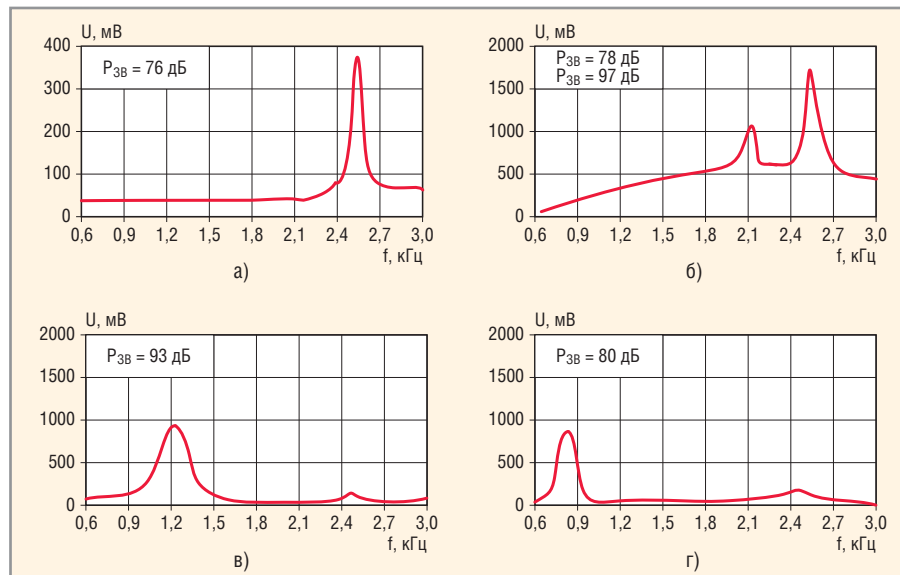


Рис. 3. АЧХ преобразователя ЗП-19

а) $L_{доб} = 0$; б) $L_{доб} = 0,24$ Гн; в) $L_{доб} = 1,0$ Гн; г) $L_{доб} = 2,4$ Гн

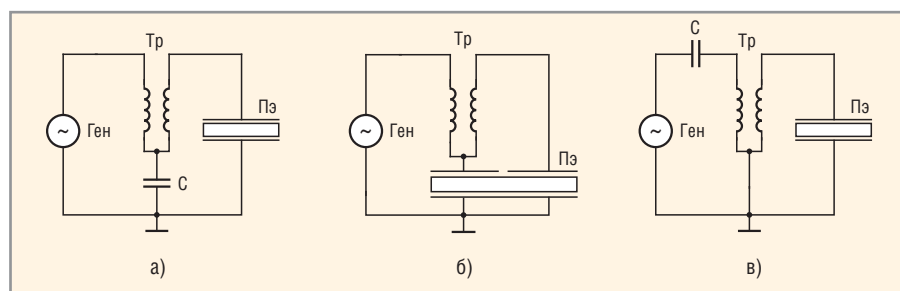


Рис. 4. Преобразователи с добавочными колебательными контурами

Следует также отметить, что при подключении к пьезоэлементу активных сопротивлений могут быть получены преобразователи со свойствами дифференцирующих и интегрирующих цепей, которые могут найти применение в измерительном и технологическом оборудовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаронов В.М., Мусиенко М.П., Шаронова Е.В. Пьезоэлектрические датчики. Техносфера, 2006.
2. Sharapov V. Piezoceramic sensors. Springer, 2011.
3. Шаронов В.М., Минаев И.Г., Сотула Ж.В., Базило К.В., Куницкая Л.Г. Пьезокерамические трансформаторы и датчики. Черкассы: Вертикаль, 2010.

4. Шаронов В.М. и др. Датчики. Техносфера, 2012.
5. Шаронов В.М., Сотула Ж.В., Куницкая Л.Г. Пьезоэлектрические электроакустические преобразователи. Черкассы: Вертикаль, 2012.
6. Шаронов В.М., Сотула Ж.В. Пьезокерамические преобразователи. Новые технологии проектирования. Электроника НТБ. 2012. № 5. С. 96–102.
7. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Под ред. И.П. Голяминой. Советская энциклопедия, 1979.
8. Физика и техника мощного ультразвука: Физические основы ультразвуковой технологии. Под ред. Л.Д. Розенберга. Наука, 1970.
9. Шаронов В.М. Спосіб створення акустичних коливаль за допомогою п'єзоелемента. Патент України № 56930. Н04R 17/00. 2011. Бюл. № 2.

