

Кучер Д.Б., Зонтова Т.В., Харланов А.И.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ГЕНЕРАТОРОВ ЧАСТОТЫ**

**Введение.** Обеспечение безопасности движения судов, наблюдение за различными подводными объектами, проведение спасательных операций на море невозможно без применения современных гидроакустических систем (ГАС).

При работе ГАС существуют сложные взаимосвязи между аппаратурой, средой распространения гидроакустического сигнала и целью. Кроме того, работа ГАС осуществляется на фоне интенсивных гидроакустических помех различного происхождения. Именно данные аспекты определяют дальность действия гидроакустических систем в реальных условиях. При этом наибольшее значение имеют параметры аппаратуры: рабочая частота, акустическая мощность, длительность импульсов, полоса частот и т.д.

В этом отношении в качестве источника акустического сигнала возможно применение пьезоэлектрических генераторов частоты, позволяющих получать высокостабильные колебания. Таким образом, целью данной работы является исследование основных характеристик пьезоэлектрических генераторов, а также рассматривается возможность их улучшения путем использования резонансных свойств магнитной жидкости.

**Основной материал.** В пьезоэлектрических генераторах частоты (см. рисунок 1) заряд взрывчатого вещества 1 состоит из двух элементов с различными скоростями детонации, чтобы обеспечить плоский фронт детонационной волны [1–3]. Достигнув буфера 2, детонация формирует в нем ударную волну, которая переходит в рабочее тело 3, выполненное из сегнетоэлектрика. Воздействие ударной волны на рабочее тело вызывает нагрев вещества до температуры, превышающей точку Кюри, и переводит его в параэлектрическое состояние [1–3]. При этом структурные элементы рабочего тела разрушаются, и направленная поляризация вещества исчезает, что вызывает протекание в системе тока деполяризации [1–3]. Этот ток заряжает два конденсатора, соединенные последовательно.

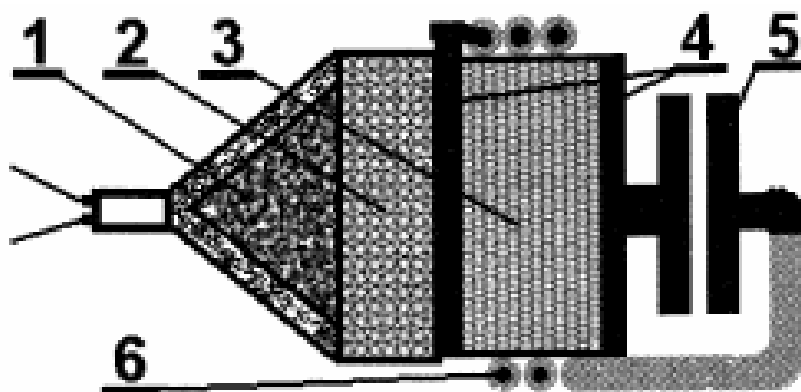


Рисунок 1 – Схема пьезоэлектрического генератора частоты:  
1 – взрывчатое вещество; 2 – буфер; 3 – рабочее тело (сегнетоэлектрик);  
4 – металлизированные пластины; 5 – конденсатор; 6 – соленоид

Первый из них образуется металлизированными поверхностями 4 на рабочем теле. Второй конденсатор 5 вводится в систему дополнительно. К одной из обкладок рабочего тела подключается соленоид 6. Таким образом, применение данных реактивностей позволяет формировать высокостабильные колебания при излучении сигнала (см. рисунок 2). На рисунке 3 представлена зависимость спектральной

плотности энергии от частоты излучаемого пьезоэлектрическим генератором с диаметром рабочего тела 20 мм сигнала [1–3]. Анализируя данную зависимость, необходимо заметить, что излучаемые МЭМИ могут воздействовать на РЭС только в достаточно узких диапазонах частот. При этом уровень энергетического воздействия достаточно мал (до  $10^{-13}$  Дж) для поражения современных РЭС.

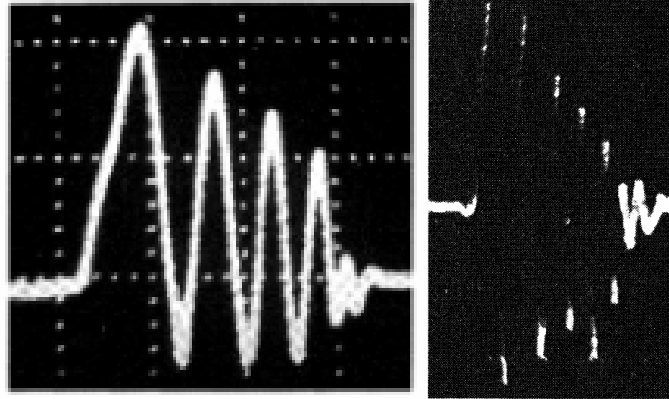


Рисунок 2 – Осциллограммы выходных сигналов с пьезоэлектрического генератора частоты

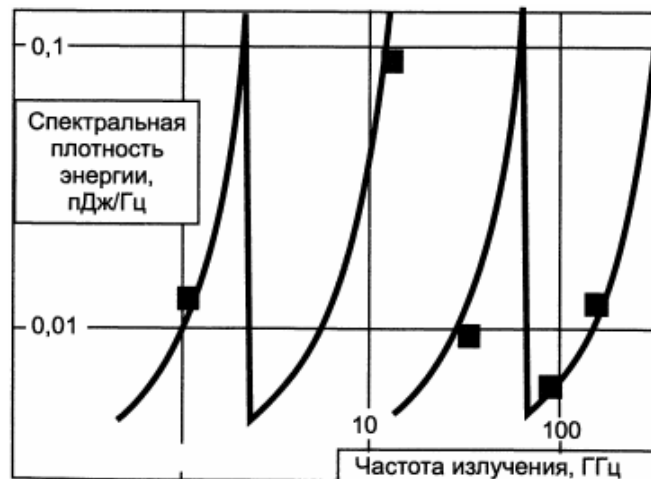


Рисунок 3 – Спектр излучения пьезоэлектрических генераторов частоты

Таким образом, можно сформулировать следующие недостатки пьезоэлектрических систем:

1. Излучаемые МЭМИ могут воздействовать на РЭС только в достаточно узких диапазонах частот;
2. Уровень энергетического воздействия достаточно мал (до  $10^{-13}$  Дж) для поражения современных РЭС;
3. Отсутствие в данных генераторах конструктивной возможности оперативно изменять амплитудно-временные и частотные характеристики генерируемого МЭМИ в широких пределах.

Для улучшения энергетических характеристик пьезоэлектрических генераторов частоты возможно использование в данных системах резонансных явлений магнитной жидкости.

Физические предпосылки возбуждения вынужденных волн на поверхности магнитной жидкости заключаются в том, что давление в любой точке жидкости пропорционально напряженности магнитного поля в ней. Это означает, что свободная поверхность жидкости как поверхность постоянного давления, находящаяся в периодическом магнитном поле, будет волнистой, представляя собой систему впадин и возвышений, соответствующих минимумам и максимумам магнитного поля. Соответственно, бегущее магнитное поле генерирует бегущую поверхностную волну. При совпадении характеристик возбуждаемой магнитным полем поверхностной волны с характеристикой собственных волн создаются наиболее

благоприятные условия для передачи энергии от магнитного поля к входящей волне (эхо-сигнал), и соответственно, ее возбуждение будет носить резонансный характер. Условием наступления резонанса является такая связь между частотой и периодом вынуждающей силы, которая соответствует связи между этими величинами для свободных поверхностных волн. В этом и заключается принципиальное отличие от иных колебательных систем, при котором существует только одна колебательная характеристика силы – частота. В рассредоточенных системах резонанс достигается в результате соответствия свободным колебаниям как временных, так и пространственных характеристик силы.

Для слоя жидкости толщиной  $l$ , ограниченного у основания твердой поверхностью, а с обратной стороны – бесконечным массивом немагнитной жидкости, условие резонанса в пренебрежении возмущениями поля имеет вид [4,5]:

$$\omega^2 = \frac{(\rho_1 - \rho_2)kg + \alpha k^3}{\rho_1 + \rho_2} \text{th}kl, \quad (1)$$

где  $\rho_1$  – плотность МЖ;  $\rho_2$  – плотность воды;  $k$  – резонансное волновое число;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\alpha = 3,2 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

Возникновение эффекта усиления гидроакустического сигнала на частоте 47 Гц наглядно демонстрируют экспериментальные осциллограммы, приведенные на рисунке 4 [6].

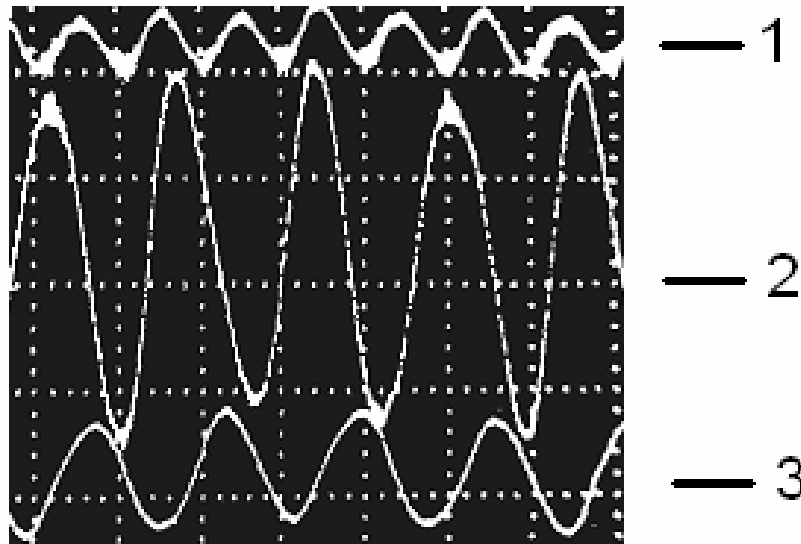


Рисунок 4 – Осциллограммы колебаний выходной мембраны вызванные:  
1 – колебаниями магнитной жидкости; 2 – усиленным сигналом; 3 – входным сигналом

Анализ графических зависимостей, представленных на рисунке 4, позволяет сделать вывод, что использование магнитной жидкости в пьезоэлектрических генераторах частоты позволяет получить акустические колебания с лучшими амплитудными и, следовательно, энергетическими характеристиками.

**Выводы.** Таким образом, применение пьезоэлектрических генераторов в современных гидроакустических системах позволяет получать стабильные колебания. Однако существенным недостатком данных источников является низкий уровень энергетических характеристик генерируемых акустических колебаний. Для улучшения свойств пьезоэлектрических генераторов акустических колебаний возможно использование резонансных свойств магнитной жидкости.

**Литература**

1. Прищепенко А.Б. Взрывы и волны. Взрывные источники электромагнитного излучения радиочастотного диапазона / А.Б. Прищепенко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 208 с.

2. Прищепенко А.Б. Баланс энергии при работе взрывного пьезоэлектрического генератора частоты / А.Б. Прищепенко, Д.В. Третьяков, М.В. Щелкачев // Мегагаусная и мегаамперная импульсная техника и применение. – Саров, 1996. – Т. 2. – С. 954–958.
3. Прищепенко А.Б. Функционирование генератора частоты с рабочим телом из ферромагнетика и сегнетоэлектрика / А.Б. Прищепенко, Д.В. Третьяков // Электричество. – 2000. – № 4. – С. 60–63.
4. Блум Э.Я. Магнитные жидкости. / Э.Я. Блум, А.О. Цеберс. – М.: Знание, 1989. – 240 с.
5. Шлиомис М.И. Магнитные жидкости / М.И. Шлиомис // Успехи физ. наук. – 1974. – Т. 112. Вып. 3. – С. 427–458.
6. Балакирев В.А. Параметрическое усиление акустических колебаний в магнитной жидкости / В.А. Балакирев // Математика, природознание, технические науки : доповіді НАН України 2003.– №2. – С. 78–84.

УДК 621.396.677

Кучер Д.Б., Зонтова Т.В., Харланов О.І.

**ВИКОРИСТАННЯ РЕЗОНАНСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАГНІТНОЇ РІДИНИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ЧАСТОТИ**

В роботі розглянуто можливість використання п'єзоелектричних генераторів частоти для отримання стабільних акустичних коливань. Запропоновано використання резонансних явищ магнітної рідини для підвищення їх енергетичних характеристик.

Kucher D.B., Zontova T.V., Harlanov A.I.

**USE OF RESONANCE PROPERTIES OF MAGNETIC LIQUID FOR INCREASE OF POWER DESCRIPTIONS OF PIEZOELECTRIC GENERATORS OF FREQUENCY**

Possibility of the use of piezoelectric generators of frequency is considered in work for the receipt of stable acoustic vibrations. The use of the resonance phenomena of magnetic liquid is offered for the increase of them power descriptions.