

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/40-158

Ссылка для цитирования этой статьи:

Исаев И.А., Исаева Л.А. Математическое моделирование ультразвукового передатчика подводной связи // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2022. №4

УДК 62-1/-9

DOI: 10.24412/2541-9269-2022-4-37-40

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЕРЕДАТЧИКА ПОДВОДНОЙ СВЯЗИ

Исаев И.А.¹, Исаева Л.А.¹,

¹ Волгоградский государственный технический университет, Россия, Волгоград

DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL STAND FOR ULTRASONIC TRANSMITTER UNDERWATER COMMUNICATIONS

Isaev I.A.¹, Isaeva L.A.¹

¹ Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd

Аннотация. Одним из современных направлений развития подводной связи является разработка беспроводных коммуникационных систем, использующих ультразвуковой канал приема/передачи. В статье рассмотрены основные подходы к разработке экспериментального макета ультразвукового приемопередающего устройства. Представлена эквивалентная схема ультразвукового канала приема/передачи, относительно которой было выполнено моделирование режимов работы ультразвукового приемопередающего устройства и приведены расчетные амплитудочастотные характеристики пьезоэлектрического преобразователя. Полученные результаты проведенных исследований могут быть положены в основу последующей разработки ультразвуковых приемопередающих устройств.

Ключевые слова: математическое моделирование, датчик подводной связи, амплитудочастотные характеристики пьезоэлектрического преобразователя

Abstract. One of the modern directions in the development of underwater communications is the development of wireless communication systems using an ultrasonic receive/transmit channel. The article considers the main approaches to the development of an experimental sample of an ultrasonic transceiver. An equivalent circuit of an ultrasonic transceiver channel is presented, relative to which the operation modes of the ultrasonic transceiver are simulated and the calculated amplitude-frequency characteristics of the piezoelectric transducer are given. The results of the conducted research can be used as a basis for the subsequent development of ultrasonic transceivers.

Keywords: mathematical modelling, ultrasonic transmitter underwater communications, amplitude-frequency characteristics of the piezoelectric transducer

На сегодняшний день одной из задач создания систем беспроводной связи

остается стремление увеличить пропускную способность гидроакустического канала, в том числе используя его для передачи служебной информации с различных автономных подводных аппаратов контроля и мониторинга. В подобных системах, согласно проведенному анализу современных систем связи, оптимальный частотный диапазон ограничивается диапазоном 30-40 кГц. Смещение частоты несущего сигнала в более высокий диапазон приводит к снижению дальности устойчивых приема/передачи из-за эффектов поглощения передаваемого сигнала.

Одним из возможных вариантов увеличения пропускной способности гидроакустического канала является использование двух- и более диапазонных приемопередающих устройств. В рамках данной работы ставилась задача разработки экспериментального макета приемопередающего устройства, на котором возможна была бы отработка двухдиапазонных режимов приема/передачи.

Обобщенная структурная схема передающего устройства (рис.1) включает в себя модули первичного преобразователя передаваемого сигнала, генератора несущей частоты, модулятора, усилителя мощности и модуля сопряжения с передающей антенной.

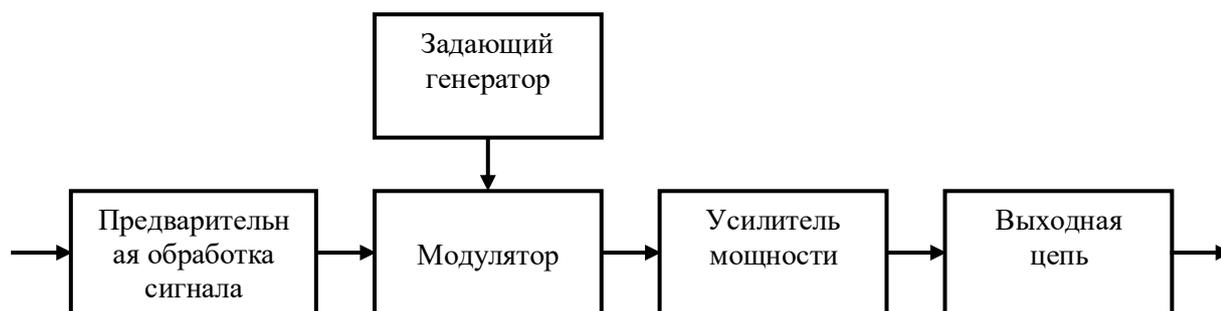


Рис. 1. Обобщенная структурная схема передающего устройства

Для математического моделирования режимов работы приемопередающих пьезоэлектрических преобразователей была использована упрощенная эквивалентная схема, составленная по схеме Редвуда [1]. В эквивалентной схеме пьезопреобразователя механические продольные или толщинные колебания пьезодатчика представлены соединениями электрических элементов R , L , C . Эквивалентная электрическая схема замещения может быть использована для анализа режимов работы пьезоэлектрического преобразователя в широком интервале частот. Упрощенная эквивалентная представлена на рис.2

В эквивалентной электрической схеме пьезоэлектрического преобразователя (рис.2.): C_0 определяет собственную емкость пластины, которая зависит от площади поверхности пластины и ее толщины, Rel – сопротивление диэлектрических потерь; Rp – сопротивление эквивалентное излучению энергии в окружающую среду и тепловым потерям на трение;

параметры L_p и C_p отражают влияние массы пьезоэлектрического преобразователя и его упругие свойства; L_{comp} последовательная индуктивность.

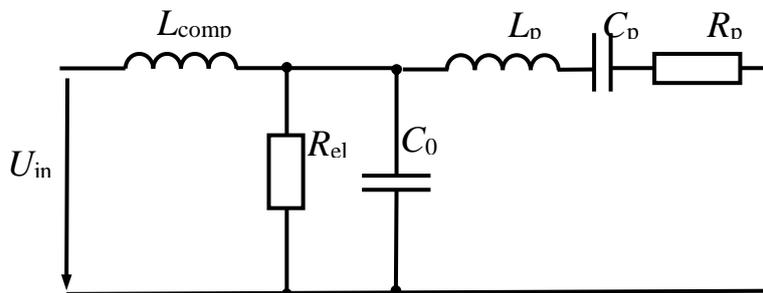


Рис.2. Эквивалентная схема пьезоэлектрического преобразователя

Комплексное полное электрическое сопротивление $\underline{Z}(\omega)$ эквивалентной электрической схемы пьезоэлектрического преобразователя определяется формулой:

$$\underline{Z}(\omega) = \frac{(R_p + j(X_{Lp} + X_{Cp})) \cdot \left(\frac{jX_{C_0} R_{el}}{R_{el} + jX_{C_0}} \right)}{(R_p + j(X_{Lp} + X_{Cp})) + j \frac{R_{el} X_{C_0}}{R_{el} + jX_{C_0}}} + j X_{L_{comp}} \quad (1)$$

где:

$X_L = j * \omega * L = j * 2\pi f * L$ – реактивное сопротивление индуктивного элемента,

j – комплексная единица;

$X_C = -\frac{j}{\omega C} = -\frac{j}{2\pi f C}$ – реактивное сопротивление емкостного элемента;

Для пьезоэлектрических преобразователей, используемых в макете приемопередающего устройства, были составлены эквивалентные электрические схемы замещения [2]. При этом были уточнены числовые значения электрических эквивалентов параметров используемых пьезоэлектрических преобразователей. Результаты расчета, полученные на основании математической модели ультразвукового пьезоэлектрического преобразователя, были подтверждены экспериментальными характеристиками. В ходе эксперимента оценивались изменения значений токов и падений напряжения на измерительных резистивных элементах передающей и приемной цепей. По результатам измерений были определены мощностные частотные характеристики пьезоэлектрических преобразователей.

Одними из основных результатов данной работы стали разработка и создание экспериментального макета приемопередающего устройства, а также определение методик математического моделирования ультразвукового передатчика подводной связи.

Литература

1. Redwood, M. Transient Performance of a Piezoelectric transducer / M. Redwood // Journal of the Acoustical Society of America. – 1961. – Vol. 33, Issue 4. – P. 527.
2. Исаев, А.В. Development of Systems for Transmitting Data and Energy through an Elastic Medium / А.В. Исаев, С.А. Петров, И.А. Исаев // 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Sochi, Russian Federation, 16-20 May 2022) : Proceedings / Moscow Polytechnic University, Tula State University, Volgograd State Technical University. – [Publisher: IEEE], 2022. – P. 648-653. – DOI: 10.1109/ICIEAM54945.2022.9787199.