

## Выбор формы короткого зондирующего акустического сигнала для определения дистанции до объекта

С.И. Коновалов, А.Г. Кузьменко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5 E-mail: [SIKonovlov.eut@gmail.com](mailto:SIKonovlov.eut@gmail.com)

*Рассмотрен электроакустический пластинчатый пьезопреобразователь, излучающий в водную среду. Тильная сторона пластины граничит с воздухом. Исследовано влияние формы излучаемого акустического импульса на выходе преобразователя на точность определения расстояния до объекта. Показано, что целесообразно использовать акустические импульсы длительностью три и пять полупериодов на резонансной частоте преобразователя. Приведены формы соответствующих возбуждающих импульсов электрического напряжения.*

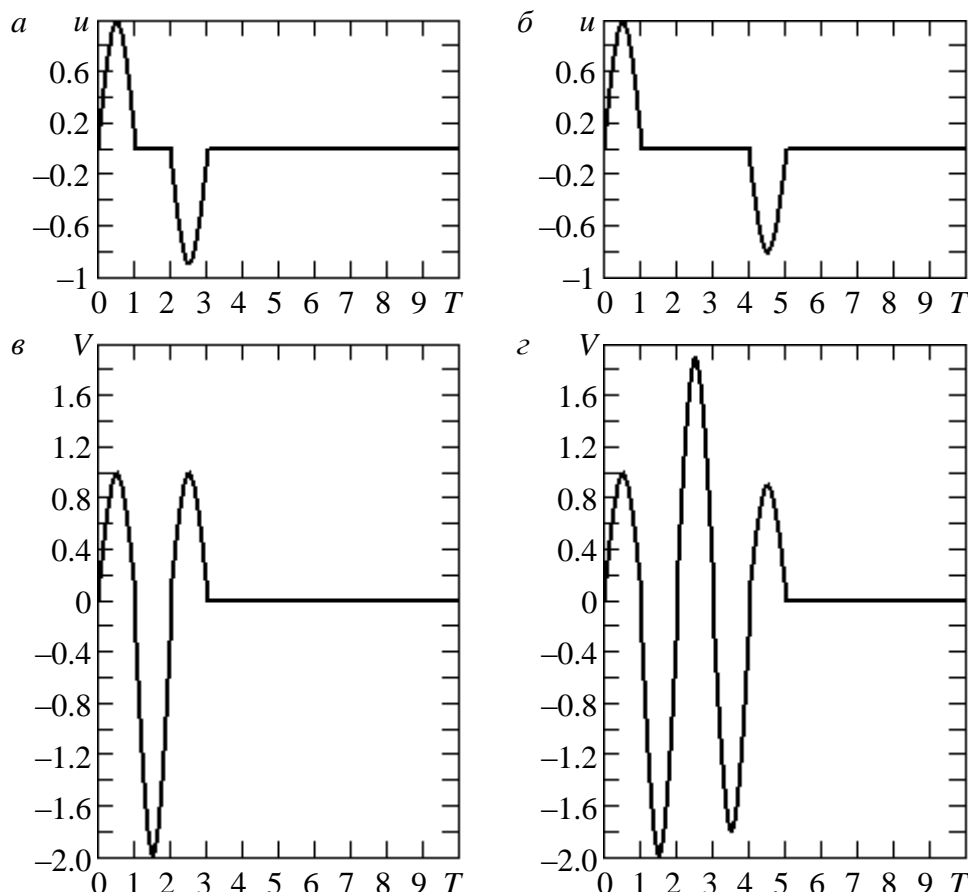
*The electroacoustical piezoelectric transducer as a plate, radiating in water is surveyed. The back side of the plate bounds with air. Effect of a form of radiated acoustic pulse at the output of the transducer on precision of determination of distance up to the object is probed. The expediency of usage of acoustic pulses having duration three and five half-cycles of a resonant frequency of the transducer is shown. Forms of the relevant excitation pulses of electric voltage are given.*

В эхолокации для определения дистанции до объекта наблюдения часто используется акустический импульс, представляющий собой высокочастотные колебания (несущую частоту), модулированные видеоимпульсом (“низкая” частота). Видеоимпульс определяет форму излучаемого импульса. На экране индикатора, по существу, наблюдается огибающая радиоимпульса. При измерениях дистанции определяется время между моментом излучения и появлением отметки от цели на развертке индикатора. Длительность импульса на экране является конечной, но привязки к отдельным моментам импульса (к моменту отсчета) не существует. В связи с этим приближенно считают, что погрешность измерения времени прихода сигнала определяется половиной длительности импульса. Этот метод не является прецизионным, но погрешность его считается удовлетворительной. Точность измерения можно повысить путем снижения длительности импульса. Это возможно, если число колебаний несущей частоты достаточно велико. В противном случае это ведет к утрате понятия огибающей.

Использование сигнала, содержащего лишь несколько колебаний, подразумевает учет его дискретной структуры. Стремление к получению столь короткого импульса приводит к необходимости возбуждать акустический преобразователь одним полупериодом синусоидального электрического напряжения на собственной частоте преобразователя. При этом возникает переходный процесс, длительность которого для пластинчатого преобразователя при односторонней нагрузке на воду превышает двадцать полупериодов. Амплитуды переходного процесса в каждый из полупериодов могут быть рассчитаны методом Даламбера [1 - 4]. Также можно показать, что процесс может быть прекращен, если в любой из полупериодов после начального полупериода подать компенсирующий электрический импульс определенной амплитуды в противофазе с переходным процессом в данный полупериод. Прекращение переходного процесса (компенсация) произойдет в следующий полупериод. Амплитуда компенсирующего импульса может быть рассчитана по соответствующим формулам [5, 6].

Остановимся на некоторых требованиях к коротким импульсам, которые способствуют лучшему измерению расстояния. Если импульс содержит несколько полупериодов, то целесообразно, чтобы в его середине была максимальная амплитуда. Для этого число полупериодов должно быть нечетным. Максимальную амплитуду в середине им-

пульса легче идентифицировать. При использовании ее для отсчета, погрешности с разными знаками будут симметричны. При четном числе полупериодов середина импульса приходится на переход через ноль, что осложняет измерения. Также желательно, чтобы непосредственно около выбранной амплитуды не было соседних максимумов (слева и справа) той же полярности, соизмеримых с ней. Кроме того, соотношение максимальной амплитуды и амплитуды первого полупериода желательно иметь возможно большим. В работе расчетным путем исследован импульсный режим работы электроакустического преобразователя в виде пьезопластины (материал ЦТСНВ-1).



**Рис. 1. Формы возбуждающих сигналов (а), (б) и соответствующие им акустические импульсы (в), (г)**

Акустическая нагрузка – вода. Тыльная сторона пластины свободна. Возбуждение излучателя осуществляется электрическим напряжением в виде одного полупериода синусоиды на собственной частоте преобразователя. Значения удельных акустических импедансов материалов: пьезокерамика –  $30 \cdot 10^6$  Па·с/м, вода –  $1,5 \cdot 10^6$  Па·с/м. Расчетным путем определены оптимальные формы возбуждающих электрических сигналов. Примеры их приведены на рис. 1. Возбуждение преобразователя, осуществляемое импульсами электрического напряжения, представленными на рис. 1, а и рис. 1, б, позволяет получать короткие акустические сигналы (рис. 1, в и 1, г соответственно), удовлетворяющие сформулированным требованиям. Амплитуда напряжения возбуждения принята за единицу. Компенсирующий импульс подается в третий (рис. 1, а) и в пятый (рис. 1, б) полупериоды. По оси абсцисс на рисунках отложено безразмерное время  $T$ , соответствующее отношению истинного (физического) времени  $t$  к длительности полупериода возбуждающего преобразователь импульса. Это позволяет оценивать длительность акустического сигнала в виде числа полупериодов колебаний на собственной

частоте излучателя. На рис. 1, в и рис.. 1, г по оси ординат отложена колебательная скорость  $V$ , нормированная к амплитуде первого полупериода.

В работе оценены точности (погрешности) определения расстояния при использовании предложенных акустических импульсов. В частности, для случая применения акустического импульса, имеющего длительность, равную трем полупериодам, она составила  $\pm 1,125$  мм для частоты 1 МГц и  $\pm 0,45$  мм для частоты 2,5 МГц. Использование акустического импульса длительностью пять полупериодов позволяет получать погрешности  $\pm 1,875$  мм для частоты 1 МГц и  $\pm 0,75$  мм для частоты 2,5 МГц.

Расчетным путем установлено, что при увеличении длительности акустических импульсов до семи, девяти и более полупериодов, амплитуда полупериода, находящегося в середине импульса, не только не является максимальной из всех амплитуд, но и не сильно отличается по величине от соседних с ней амплитуд. Это затрудняет ее идентификацию. Данный факт позволяет утверждать, что наиболее благоприятным для определения расстояния до объекта (с точки зрения минимума ошибки и удобства применения) являются рассмотренные случаи, когда длительность акустического импульса, излучаемого пьезоэлектрическим преобразователем, составляет три или пять полупериодов колебаний на его резонансной частоте.

Таким образом, на основании расчетов, выполненных с использованием метода Даламбера, в работе рассмотрено влияние формы акустического импульса, излучаемого пьезокерамическим электроакустическим преобразователем в виде пластины, акустически нагруженной на водную среду, на точность определения расстояния до объекта. Показано, что возможно получение акустических импульсов малой длительности при задании определенной формы возбуждающего электрического сигнала. Обоснована целесообразность использования акустических импульсов, представляющих собой колебания в виде трех и пяти полупериодов резонансной частоты рассматриваемого преобразователя. Отмечено, что в случае применения более длинных акустических сигналов, затруднена идентификация амплитуды полупериода, находящегося в середине излучаемого импульса, что не может способствовать увеличению точности определения расстояния до интересующего объекта.

### Литература

1. Голубев А.С. Преобразователи ультразвуковых дефектоскопов: Учеб пособие / ЛЭТИ. – Л., 1996 – 80 с.
2. Домаркас В.И., Кажис Р.-И. Ю. Контрольно-измерительные и пьезоэлектрические преобразователи. – Вильнюс: Изд-во “Минтис”, 1975. – 258 с.
3. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. К вопросу о возможности сокращения длительности акустического импульса преобразователя, возбуждаемого импульсами специальной формы // Известия СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. – 2013. – №1. – с. 74 – 81.
4. Persson H. Electric excitation of ultrasound transducers for short pulse generation // *Ultrasound in medicine & biology*. – 1981. – V.7. – Is.3. – P.285-291.
5. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. Особенности импульсных режимов работы электроакустических пьезоэлектрических преобразователей. – СПб.: Политехника, 2014. – 294 с.
6. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. Об уменьшении длительности переходного процесса в электроакустическом пластинчатом пьезопреобразователе при использовании компенсирующего электрического импульса // Сборник трудов XXVII сессии Российского Акустического Общества, посвященной памяти ученых-акустиков ФГУП “Крыловский государственный научный центр” А.В. Смольякова и В.И. Попкова, СПб, 16 – 18 апреля 2014, с. 729 – 741.