



УДК 681.883.67.001.24

С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Получение коротких импульсов на выходе системы излучения-приема за счет применения компенсирующих импульсов для излучателя и приемника

*Рассматривается система излучения-приема, состоящая из двух одинаковых пьезопластин, нагруженных на воду. Излучатель возбуждается полупериодом синусоидального электрического напряжения на резонансной частоте. Показано, что применение компенсирующих электрических импульсов для обеих пьезопластин позволяет получить на выходе системы короткие импульсы. Даны примеры получения импульсов длительностью от 2 до 5 полупериодов.*

### Пьезопластина, принцип Даламбера, компенсация, пьезоэлектрический преобразователь, акустический импульс, электрический импульс

Излучение и прием коротких акустических импульсов часто требуются для решения различных задач акустики. Применение сигналов такого типа позволяет повысить точность измерения дистанции до объекта, уменьшить мертвую зону, повысить разрешающую способность аппаратуры. Использование коротких акустических импульсов может оказаться полезным, например, при определении расстояния до объекта (или дефекта), в толщинометрии, при акустической передаче информации и т. д. Задачи подобного типа нередко встречаются в радиотехнике, радиолокации и других применениях электромагнитных сигналов. Обычно сигнал представляет собой колебания высокой частоты (несущей), модулированные низкой частотой (оггибающей сигнала). По существу, именно оггибающая используется для определения требуемых при решении задачи параметров. Само понятие оггибающей предполагает наличие весьма большого количества высокочастотных колебаний. В этом случае импульс имеет значительную длительность, т. е. режим работы преобразователя близок к стационарному. При этом, если преобразователь работает на резонансной частоте, то чувствительность аппаратуры высока. Если же его возбуждение осуществляется не на резонансной частоте, то чувствительность снижена. Стоит также отметить, что

при традиционном подходе к использованию импульсного режима подразумевается достаточно большая длительность импульса, а также пониженная чувствительность при использовании, например, механического демпфирования для сокращения длительности сигнала.

В связи с изложенным представляет интерес рассмотрение возможности получения короткого импульса за счет сокращения длительности переходного процесса в преобразователе. Управлять длительностью импульса при этом можно подачей на преобразователь электрических сигналов специальной формы. В опубликованных ранее работах [1]–[3] рассмотрен случай возбуждения пьезоэлектрической пластины одним полупериодом электрического напряжения на резонансной частоте. С одной стороны пластина нагружена на воду, а с другой, для общности решения, может присутствовать демпфер. В упомянутых работах показано, что переходный процесс в случае отсутствия демпфера превышает 20 полупериодов собственной частоты пьезопластины. Если в один из полупериодов на преобразователь подать компенсирующий электрический импульс, полярность которого противоположна полярности переходного процесса, а амплитуда определяется формулой, полученной в [1], то переходный процесс может либо прекратиться полностью в сле-

дующий полупериод, либо в отдельные полупериоды амплитуда его не превысит долей процента от амплитуды в начальный полупериод переходного процесса. Расчеты переходных процессов и возможности компенсации производились методом Даламбера, основанным на суммировании волн, распространяющихся внутри пластины и испытывающих частичное отражение и прохождение на гранях пьезопластины. Для рассмотрения задач, связанных с анализом переходных процессов в пьезопреобразователях простых форм, данный метод очень удобен.

Аналогично режиму излучения можно рассмотреть и режим приема акустического импульса такой же пьезопластиной. При этом оказывается, что, если на пьезопластину падает волна в виде полупериода смещения, электрический сигнал на выходе приемника будет иметь такое же соотношение амплитуд, как и акустический сигнал на излучателе. Это позволило применить результаты, касающиеся компенсации переходного процесса при излучении, для компенсации переходного процесса на выходе приемника.

Далее приводятся несколько примеров расчета коротких импульсов на электрическом выходе системы излучения-приема, состоящей из двух одинаковых пьезопластин (рис. 1), рабочие поверхности которых нагружены на воду, а тыльные – на воздух. В качестве активного материала выбрана пьезокерамика ЦТСНВ-1. Излучатель возбуждается одним полупериодом синусоидального электрического напряжения на частоте резонанса пьезопластины.

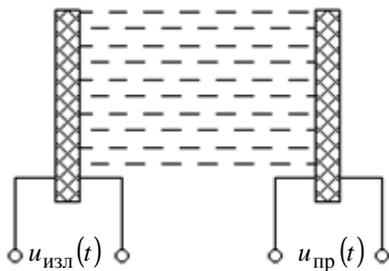


Рис. 1

Введем для удобства безразмерное время  $T = t/(T_0/2)$ , где  $t$  – обычное (физическое) время;  $T_0$  – период колебаний на частоте резонанса.

Пронумеруем полупериоды переходного процесса:  $i = 0, 1, 2, \dots$ . Номер последнего полупериода перед подачей компенсирующего импульса обозначим через  $n$ . Амплитуды переходного процесса нормируем к амплитуде начального полупериода.

*Пример 1.* На рис. 2, а показана форма электрического напряжения  $u_{изл}(T)$  на излучателе. Непосредственно возбуждающим является напряжение в нулевой полупериод  $0 \leq T \leq 1$ . Амплитуда этого полупериода принята за 1. Следующий полупериод с амплитудой 0.952 является компенсирующим импульсом. На рис. 2, б представлена форма акустического импульса смещения  $\xi_{изл}(T)$  на выходе излучателя. Можно видеть, что сигнал состоит из двух полупериодов с амплитудами 1 и  $-1.048$  соответственно. В последующие полупериоды амплитуды не превышают долей процента от амплитуды в начальный полупериод. Заметим, что в данном примере  $n = 0$ .

Пусть акустический сигнал, показанный на рис. 2, б, поступает на приемную пластину. Если в полупериод  $i = 1$  (в промежуток  $1 \leq T \leq 2$ ) для переходного процесса на приемнике подать компенсирующий электрический импульс с амплитудой  $u_k = 2$ , то получим выходной сигнал  $u_{пр}$ , состоящий из двух полупериодов с амплитудами 1 и  $-1.048$  соответственно (рис. 3). В следующие полупериоды с четными номерами ( $i = 2, 4, 6, \dots$ )

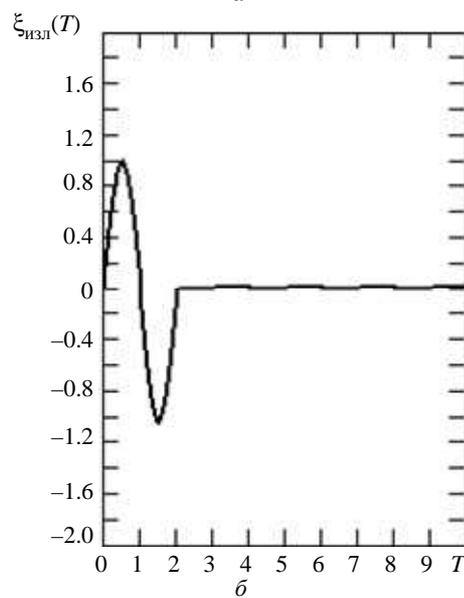
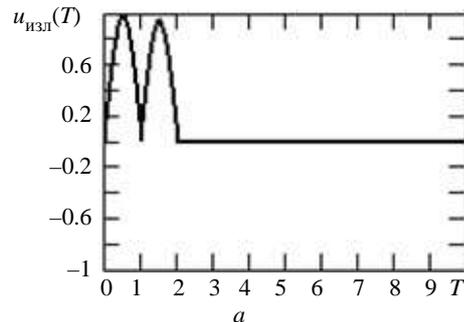


Рис. 2

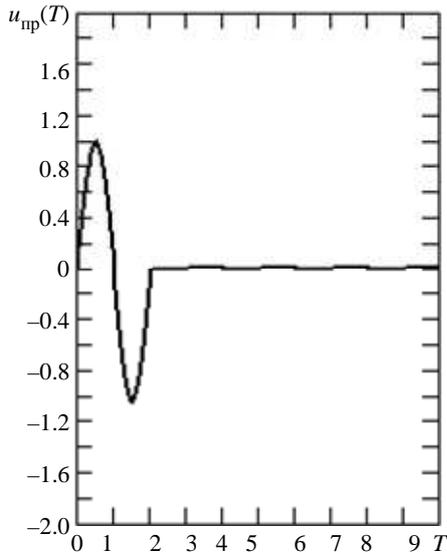


Рис. 3

переходный процесс будет гаситься полностью, а в нечетные ( $i = 3, 5, 7, \dots$ ) он не превысит  $4.5 \cdot 10^{-3}$  от амплитуды в начальный полупериод, убывая с ростом  $i$ .

*Пример 2.* В данном случае на излучающую пьезопластину по-прежнему подается электрический сигнал, представленный на рис. 2, а. Акустический сигнал на выходе излучателя по-прежнему соответствует случаю, показанному на рис. 2, б, т. е. он формируется совершенно аналогично тому, как это было выполнено в примере 1 ( $n = 0$ ).

Указанный акустический сигнал поступает на приемную пластину. Отличие от примера 1 состоит в том, что в данном случае для переходного процесса на приемнике компенсирующий электрический импульс с амплитудой  $u_k = -1.903$  подается в полупериод  $i = 2$  (в промежуток  $2 \leq T \leq 3$ ). В результате получаем сигнал  $u_{пр}$  на выходе приемника, состоящий из трех полупериодов с амплитудами 1;  $-3.048$ ; 2.098 (рис. 4). Далее в нечетные полупериоды ( $i = 3, 5, 7, \dots$ ) процесс гасится полностью, а в четные ( $i = 4, 6, 8, \dots$ ) убывает, начиная со значения амплитуды  $4.75 \cdot 10^{-3}$  при  $i = 4$ .

*Пример 3.* Форма электрического напряжения  $u_{изл}(T)$  на излучателе показана на рис. 5, а. Непосредственно возбуждающим является напряжение в нулевой полупериод  $0 \leq T \leq 1$ . Амплитуда этого полупериода принята за 1. Компенсирующий полупериод амплитудой  $-0.905$  подается в промежуток времени  $2 \leq T \leq 3$ , т. е. в данном случае

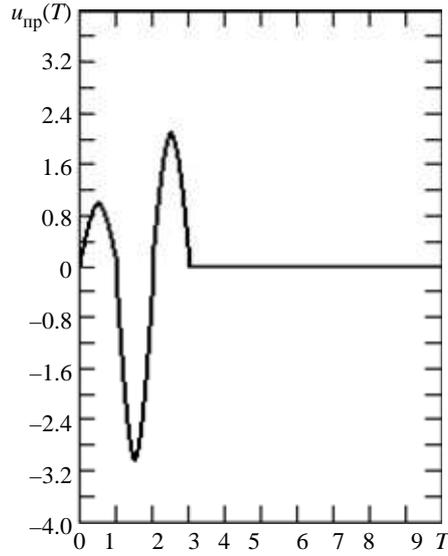
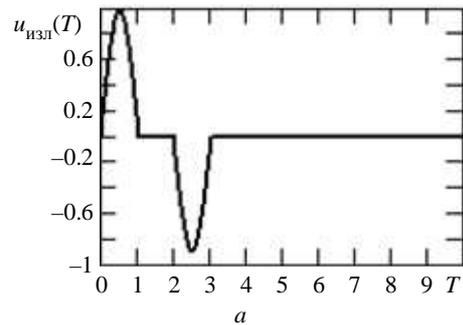
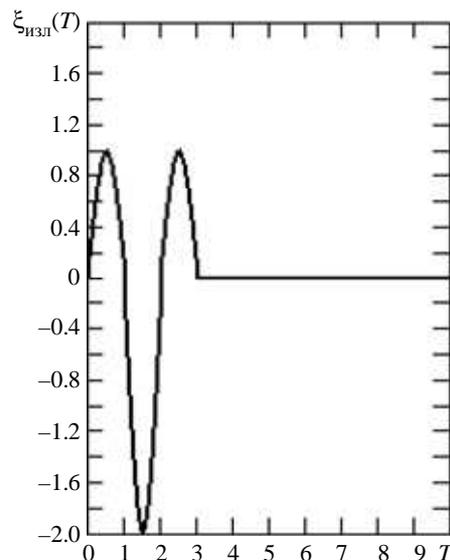


Рис. 4

$n = 1$ . На рис. 5, б представлена форма акустического импульса смещения  $\xi_{изл}(T)$  на выходе излучателя. Можно видеть, что акустический сигнал состоит из трех полупериодов с амплитудами 1;  $-2$ ; 1 соответственно.



а



б

Рис. 5

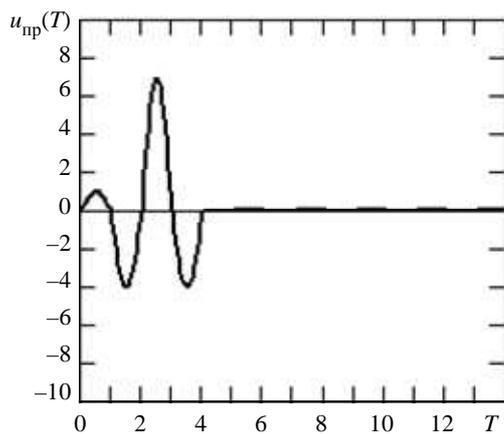


Рис. 6

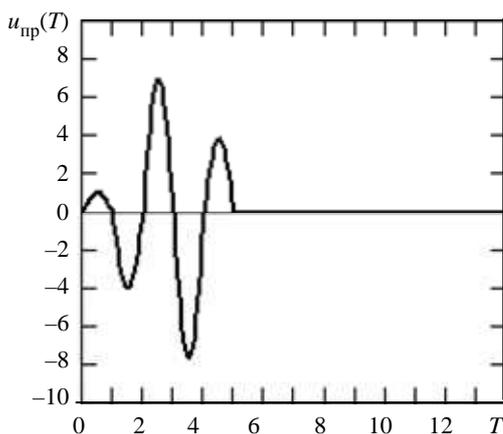


Рис. 7

Описанный акустический сигнал поступает на приемную пластину. Если в полупериод  $i = 3$  (в промежуток  $3 \leq T \leq 4$ ) для переходного процесса на приемнике подать компенсирующий электрический импульс с амплитудой 3.624, то получим на его выходе сигнал  $u_{пр}$ , состоящий из четырех полупериодов с амплитудами 1; -4; 6.905 и -3.995 соответственно (рис. 6). В дальнейшем в полупериоды с четными номерами процесс отсутствует, а в нечетные полупериоды убывает, начиная с  $8.64 \cdot 10^{-3}$  при  $i = 5$ .

*Пример 4.* В данном случае на излучающую пьезопластину по-прежнему подается электрический сигнал, представленный на рис. 5, а. Акустический сигнал на выходе излучателя по-прежнему соответствует случаю, показанному на рис. 5, б, т. е. он формируется совершенно аналогично тому, как это было выполнено в примере 3 ( $n = 1$ ).

Поступление данного акустического сигнала на приемник вызывает в нем переходный процесс. Как и в предыдущих случаях, можно показать, что если

на приемник подать компенсирующий электрический импульс в промежуток времени  $4 \leq T \leq 5$  переходного процесса с амплитудой -3.447, то получим выходной сигнал  $u_{пр}$ , состоящий из пяти полупериодов с амплитудами 1; -4; 6.905; -7.619; 3.8 (рис. 7). В последующие нечетные полупериоды процесс отсутствует, а в четные ( $i = 6, 8, 10, \dots$ ) убывает от значения  $8.2 \cdot 10^{-3}$  при  $i = 6$ .

Таким образом, в статье показано, что в системе излучения-приема можно получить короткие импульсы на выходе приемника за счет применения компенсирующих импульсов как для излучателя, так и для приемника. Число приведенных примеров ограничено описанием сигналов длительностью от 2 до 5 полупериодов, поскольку речь идет о получении коротких импульсов. Из приведенных вариантов пользователь может выбрать наиболее подходящий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-19-00693).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. О возможности сокращения длительности переходного процесса в акустическом преобразователе при помощи компенсирующего электрического импульса // Дефектоскопия. 2014. № 7. С. 12-19.
2. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. К вопросу о сокращении переходного процесса в демпфирован-

- ной пьезопластине, работающей в импульсном режиме // Дефектоскопия. 2014. № 11. С. 31-36.
3. Коновалов С. И., Кузьменко А. Г. Об оптимизации формы акустических импульсов малой длительности для решения задач зондирования при иммерсионном контроле // Дефектоскопия. 2015. № 2. С. 52-57.

S. I. Konovalov, A. G. Kuz'menko  
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

## OBTAINING OF SHORT PULSES IN THE OUTPUT OF A RADIATION-RECEPTION SYSTEM OWING TO THE USE OF COMPENSATING PULSES IN BOTH RADIATING AND RECEIVING OPERATING MODES

*A radiation-reception system consisting of two identical piezoelectric plates loaded, each, on one side with water, is considered. The radiator is excited by one half-period of sinusoidal electric voltage at the resonant frequency. It's shown that using of compensating electric pulses for both piezoplates allows to obtain short pulses in the output of a system. The examples of obtaining pulses with duration in the range of 2–5 half-period are given.*

**Piezoceramic plate, principle d'Alembert, compensation, piezoelectric transducer, acoustic pulse, electric pulse**

УДК 577.3

В. А. Парфенов  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

И. А. Юдин  
ОАО «Завод Магнетон»

## Атомно-силовая микроскопия и ее применения в науке, технике и реставрации

*Представлен обзор аналитического приборного метода исследования микроструктуры и топографии поверхностей материалов со сверхвысоким разрешением – атомно-силовой микроскопии. Приводится краткое описание физических принципов работы и основных применений этого метода, в том числе для проведения физических и биологических исследований, а также в промышленном производстве и реставрации памятников.*

### Сканирующая зондовая микроскопия, атомно-силовой микроскоп, наноидентификация, тонкие пленки, биология и медицина, реставрация

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) относится к группе высокоразрешающих измерительных методов исследования микроструктуры и топографических особенностей материалов, известной под общим названием сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ). В 1981 г. швейцарские физики Герд Бинниг и Генрих Рорер разработали основные принципы сканирующей туннельной микроскопии (СТМ), за что оба впоследствии (в 1986 г.) были удостоены Нобелевской премии по физике. СТМ основана на применении туннельного эффекта и заключается в измерении значения туннельного тока, которое экспоненциально зависит от расстояния зонд–образец. Метод СТМ позволяет строить изображения поверхности с латеральным разрешением в несколько ангстрем. В 1982 г. тот же Герд Бинниг совместно с Кельви-

ном Куэйтом и Кристофером Гербером предложили новую модификацию туннельного микроскопа, основанного на измерении сил межатомного взаимодействия и получившего название атомно-силовой микроскоп (АСМ). АСМ, будучи дальнейшим развитием техники СТМ, предоставляет широкие возможности для получения изображений поверхности различных объектов с атомным разрешением в жидкой и воздушной средах, а также в условиях высокого вакуума. В настоящее время к основным областям применения АСМ относятся физические науки, биология и промышленность. В данной статье дается краткий обзор применений АСМ.

**Физические принципы работы АСМ.** АСМ основана на измерении силового взаимодействия между поверхностью исследуемого образца и