

УДК 681.883.67.001.24

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ПЬЕЗОПЛАСТИНЫ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ АКУСТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ЦЕПИ

© 2008 г. С. И. Коновалов, А. Г. Кузьменко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
197376 Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова 5

E-mail: root@post.etu.spb.ru

Поступила в редакцию 27.11.07 г.

На основе расчетов исследована зависимость длительности излучаемого импульса от коэффициента электромеханической связи пьезоматериала. Получено оптимальное значение коэффициента связи.

PACS: 43.38.Yn

В ряде предшествующих статей авторами рассмотрено влияние электрических нагрузок (корректирующих RL -цепей различного вида) на длительность акустического импульса, излучаемого пьезопластиной в жидкие и твердые среды [1–5]. В указанных работах на основе проведения численных расчетов определены оптимальные (с точки зрения получения акустического импульса минимальной длительности) параметры рассмотренных излучающих систем. При проведении дальнейших исследований определен интерес авторов вызвал вопрос о влиянии величины коэффициента электромеханической связи пьезоактивного материала на длительность излучаемого импульса. В настоящей работе обсуждаются некоторые результаты этих исследований.

На рис. 1 представлена пьезокерамическая пластина, имеющая в качестве акустической нагрузки воду. Тыльная сторона излучателя граничит с воздухом. Ко входу пластины последовательно с ней подключена последовательная корректирующая RL -цепь. Возбуждение излучателя осуществляется импульсом электрического напряжения $U(t)$. Методика расчета импульса колебательной скорости на выходе преобразователя известна. Она основывается на использовании электрической схемы-аналога излучателя и преобразования Фурье и ничем не отличается от изложенной в работе [5]. В связи с этим расчетные формулы здесь не приводятся. Как и в предшествующих работах, введем в рассмотрение ряд па-

раметров, с помощью которых можно охарактеризовать систему, изображенную на рис. 1:

$$\omega_{эл} = \frac{1}{\sqrt{LC_0}}; \quad n = \frac{\omega_{эл}}{\omega_0}; \quad Q = \frac{\omega_{эл}L}{R},$$

где C_0 – электрическая емкость заторможенной пластины; ω_0 – антирезонансная частота пластины. Физический смысл введенных параметров: $\omega_{эл}$ – резонансная частота электрического контура, образованного индуктивностью L и собственной емкостью C_0 пьезопластины; n – относительная резонансная частота электрического контура; Q – имеет смысл электрической добротности. Как и ранее, будем считать, что электрическое возбуждение осуществляется импульсом напряжения $U(t)$ в виде полупериода синусоиды на частоте ω_0 антирезонанса пластины. За длительность импульса, аналогично предыдущему, будем принимать время от его начала до момента спада амплитуды колебательной скорости в десять

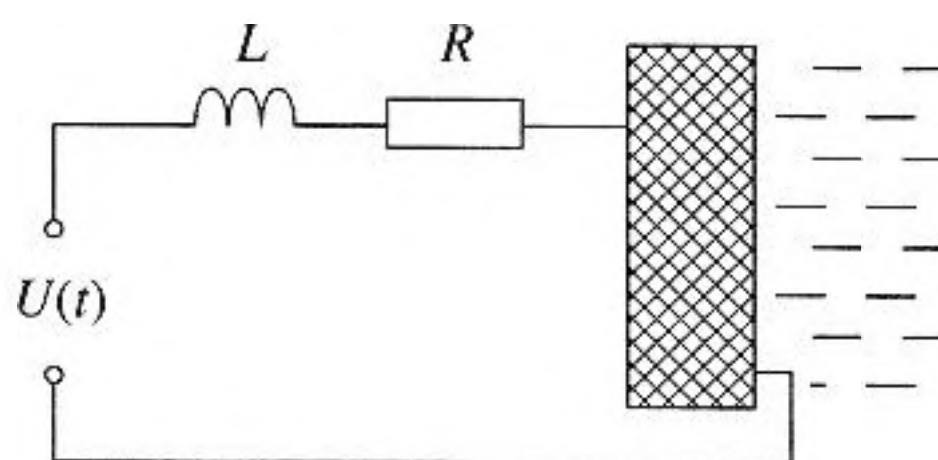


Рис. 1. Схема задачи.

раз от максимума. Введем безразмерное время

$$T = \frac{t}{(T_0/2)} \quad (T_0 - \text{период колебаний на частоте } \omega_0).$$

Это позволит оценивать длительность излучаемых импульсов числом полупериодов колебаний на собственной частоте пьезопластины. В работе [1] для случая применения электрической цепи рассматриваемого вида и использования пьезокерамики ЦТСНВ-1 определена пара оптимальных значений параметров Q и n , при которых длительность акустического импульса колебательной скорости, излучаемого в жидкость, минимальна. Эти значения составляют: $Q = 1.5$ и $n = 1.15$. Длительность акустического импульса τ_n при этом равняется примерно 5.5 полупериода.

Цель настоящего исследования состоит в оценке расчетным путем длительностей и амплитуд сигналов, излучаемых рассматриваемой системой в зависимости от значения квадрата коэффициента электромеханической связи b^2 . Изучение данного вопроса может представить интерес с точки зрения определения потенциальных возможностей пьезокерамики, поскольку совершенно очевидно, что эффективность применения корректирующих цепей зависит от указанного параметра. Достижение поставленной цели возможно при условии фиксации в расчете значений всех параметров пьезокерамики, кроме b^2 . Далее представлены результаты расчета.

При осуществлении исследования диапазон изменения b^2 выбран от нуля до единицы. Первоначальный этап работы позволил установить, что значения параметров Q и n , при которых достигается существенное снижение длительности излучаемого сигнала, приблизительно сохраняют свои значения в рассматриваемом диапазоне изменения параметра b^2 . Эти значения соответствуют установленным в [1] и составляют: $Q = 1.5$ и $n = 1.15$. Указанные величины приняты в дальнейшем расчете в качестве оптимальных. Стоит отметить, что данные значения параметров определены проведением большого количества систематически выполненных расчетов путем перебора возможных значений параметров Q и n в широких диапазонах.

На рис. 2 представлен излучаемый акустический импульс в виде, нормированном к единице, при $b^2 \approx 0$. По оси абсцисс отложено безразмерное время T . По оси ординат – нормированное значение колебательной скорости v/v_{\max} (v_{\max} – максимальное значение колебательной скорости в импульсе). Можно видеть, что длительность импульса очень велика и существенно превышает 20 полупериодов колебаний на собственной частоте пьезопластины. Увеличение значения квадрата коэффициента электромеханической связи до $b^2 = 0.05$ (см. рис. 3) позволяет добиться сниже-

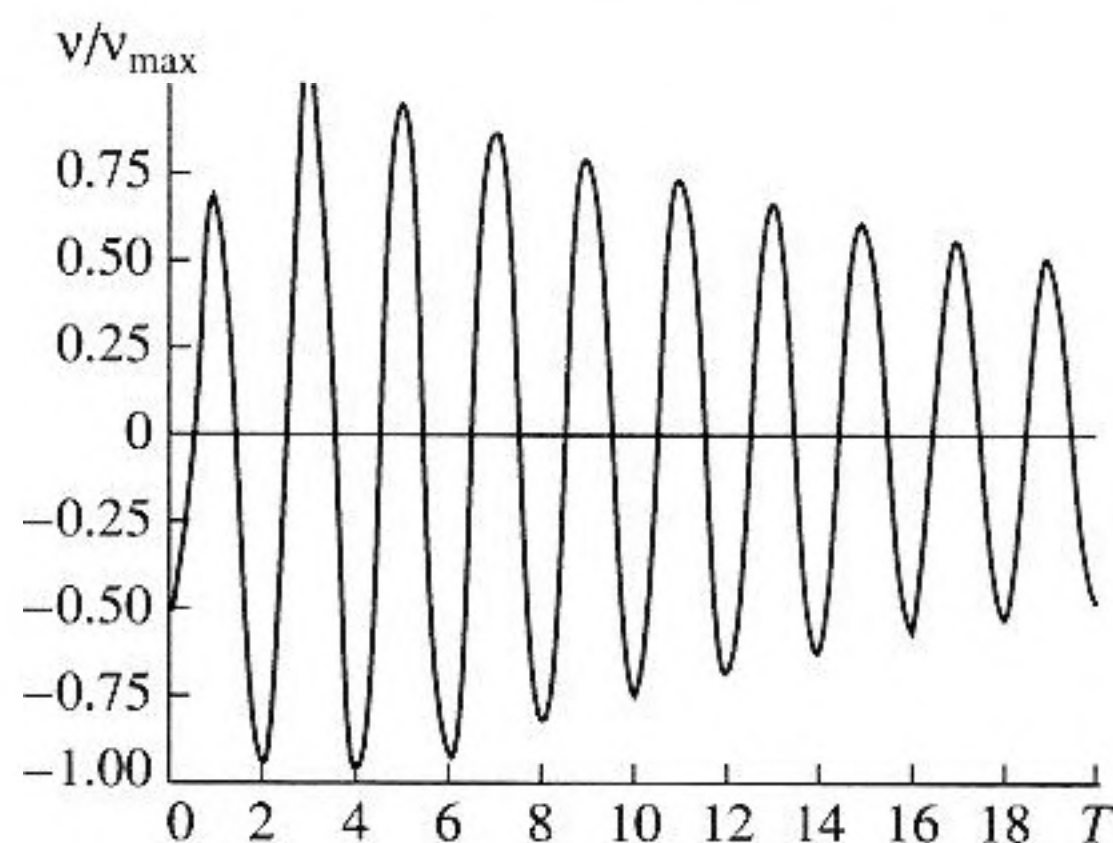


Рис. 2. Форма акустического импульса при $b^2 \rightarrow 0$.

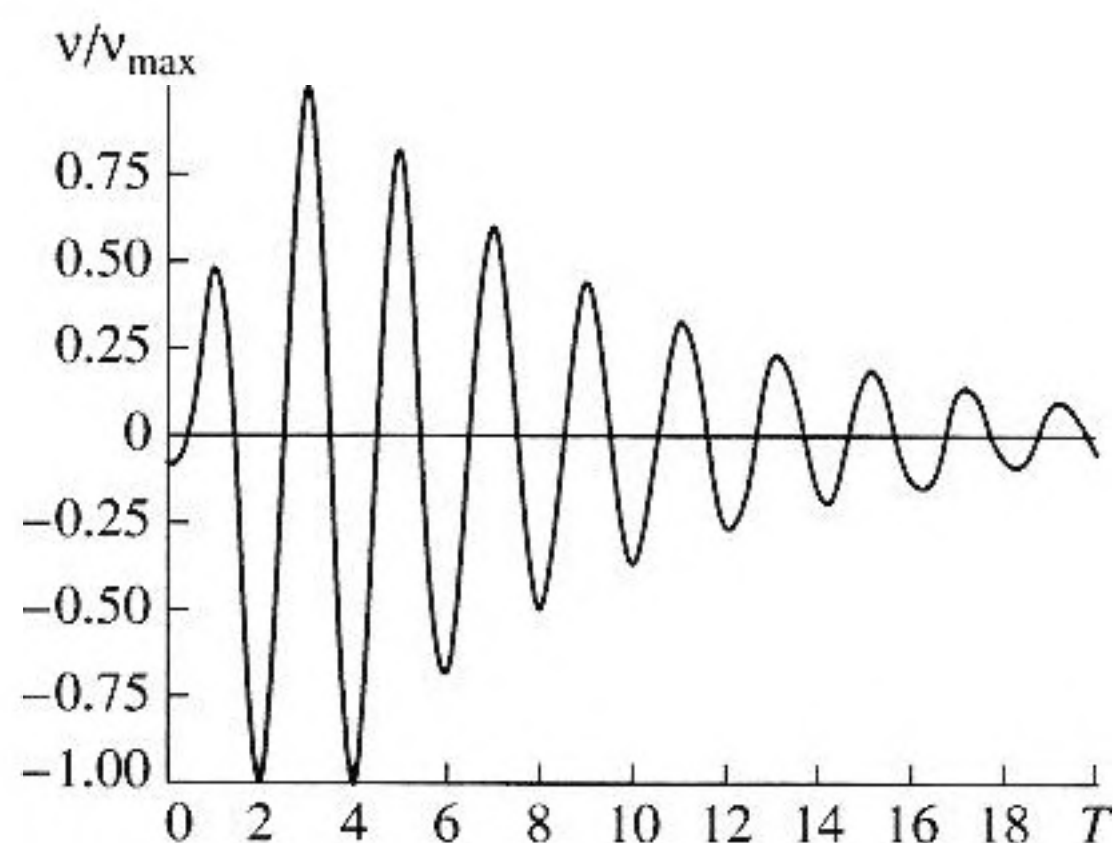


Рис. 3. Вид акустического импульса при $b^2 = 0.05$.

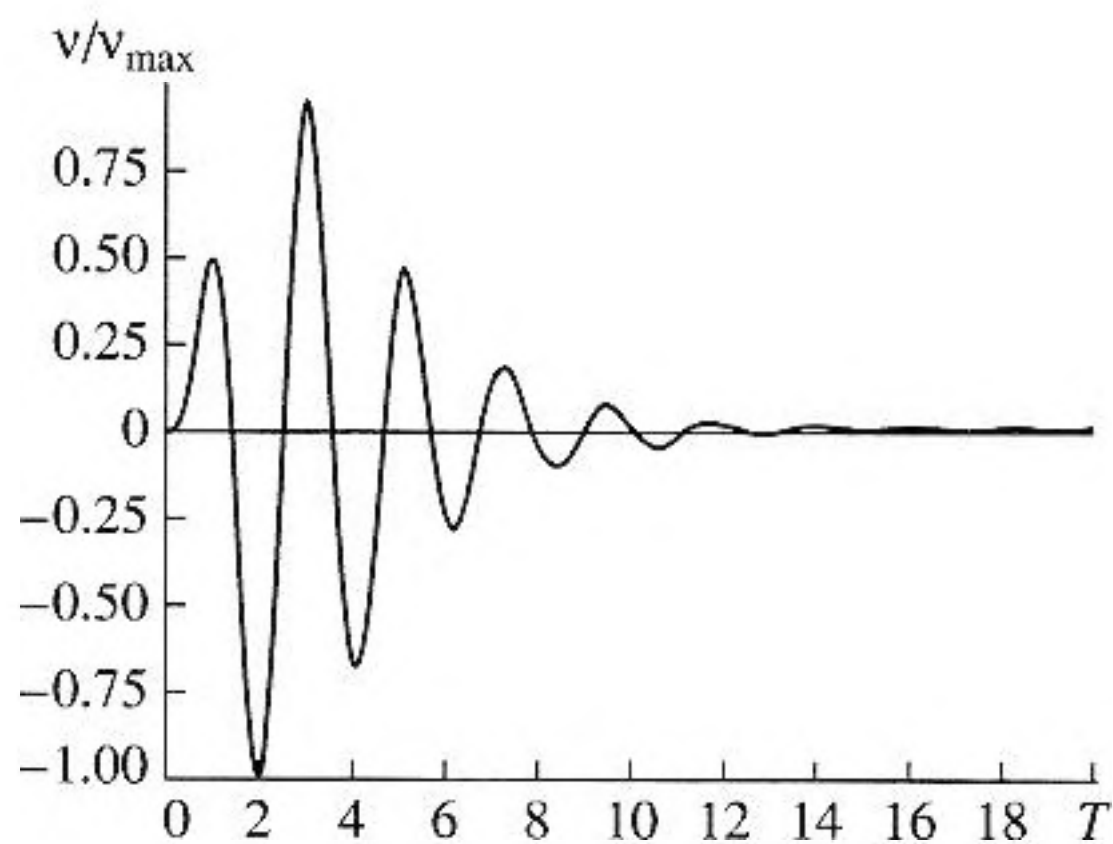


Рис. 4. Акустический импульс при $b^2 = 0.15$.

ния длительности сигнала до $\tau_n \approx 19$ полупериодов. На рис. 4 и 5 приведены формы акустических импульсов соответственно при $b^2 = 0.15$ и $b^2 = 0.25$. Как видно из представленных графиков, длительности импульсов уменьшаются соответственно до значений $\tau_n \approx 8.3$ и $\tau_n \approx 6.5$. Дальнейший рост па-

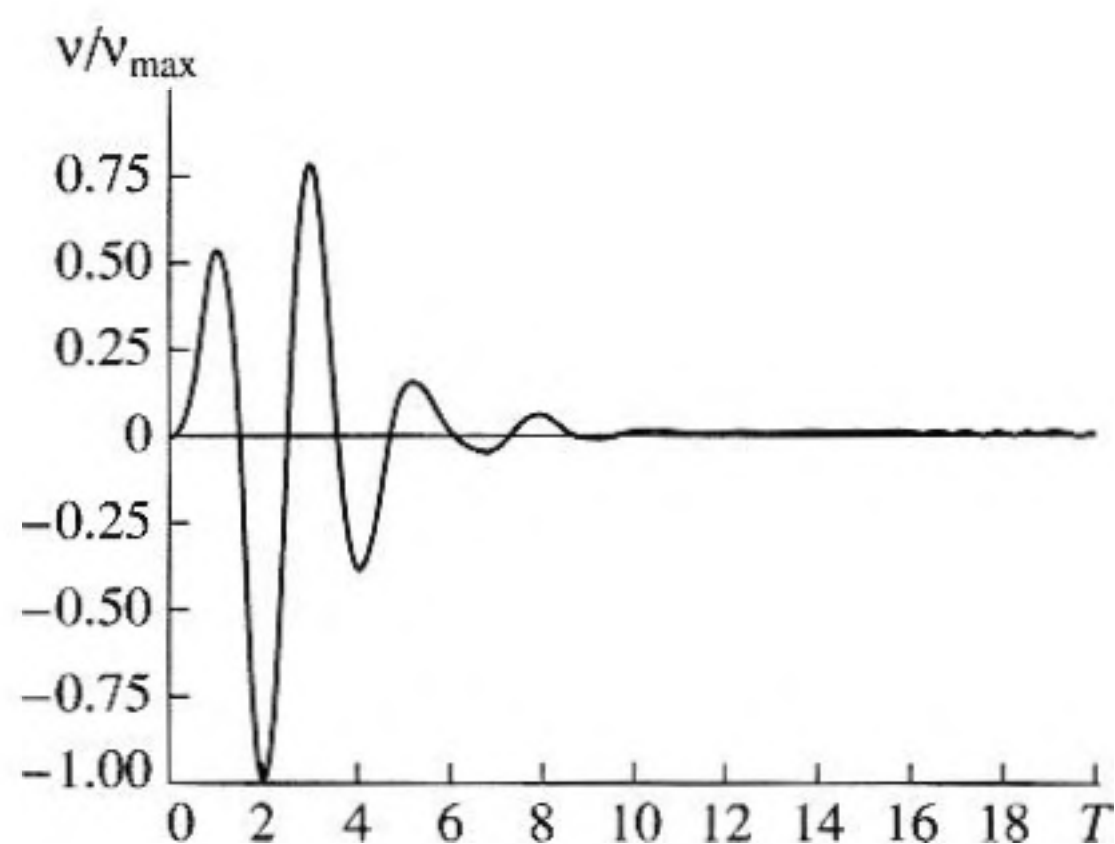


Рис. 5. Акустический импульс при $b^2 = 0.25$.

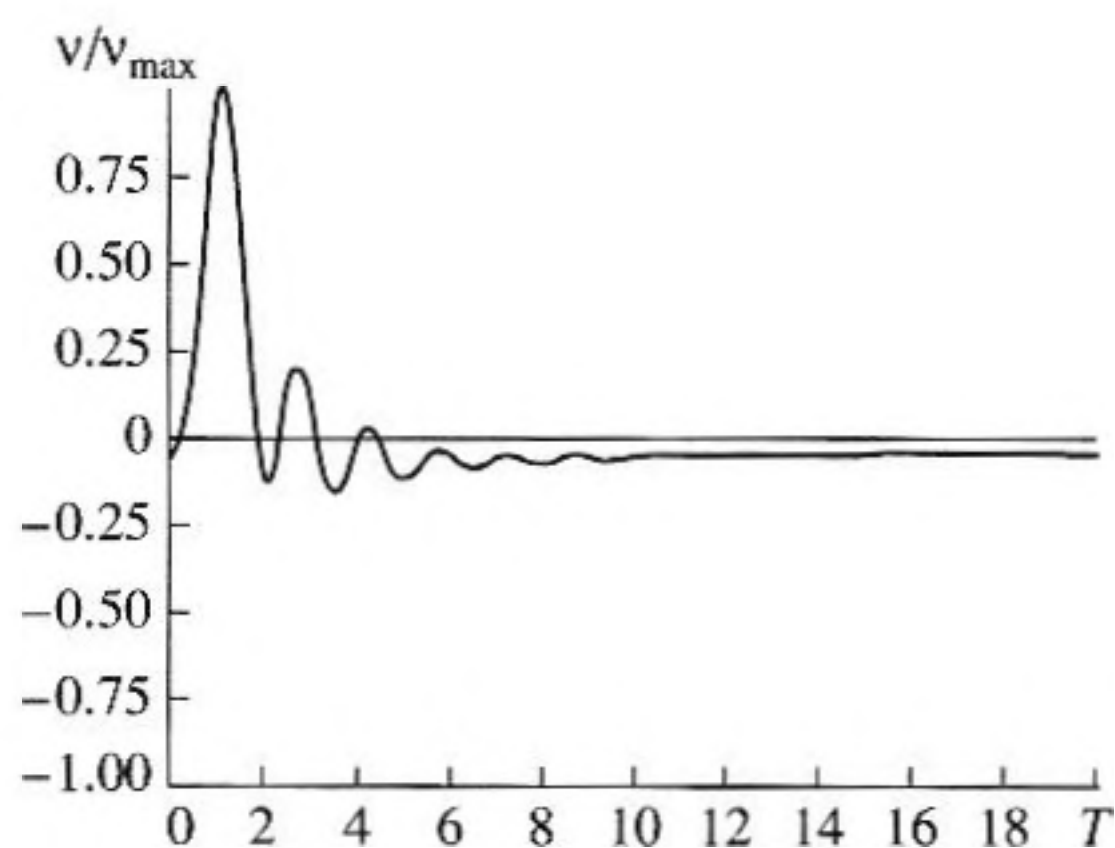


Рис. 6. Вид акустического импульса при $b^2 = 1$.

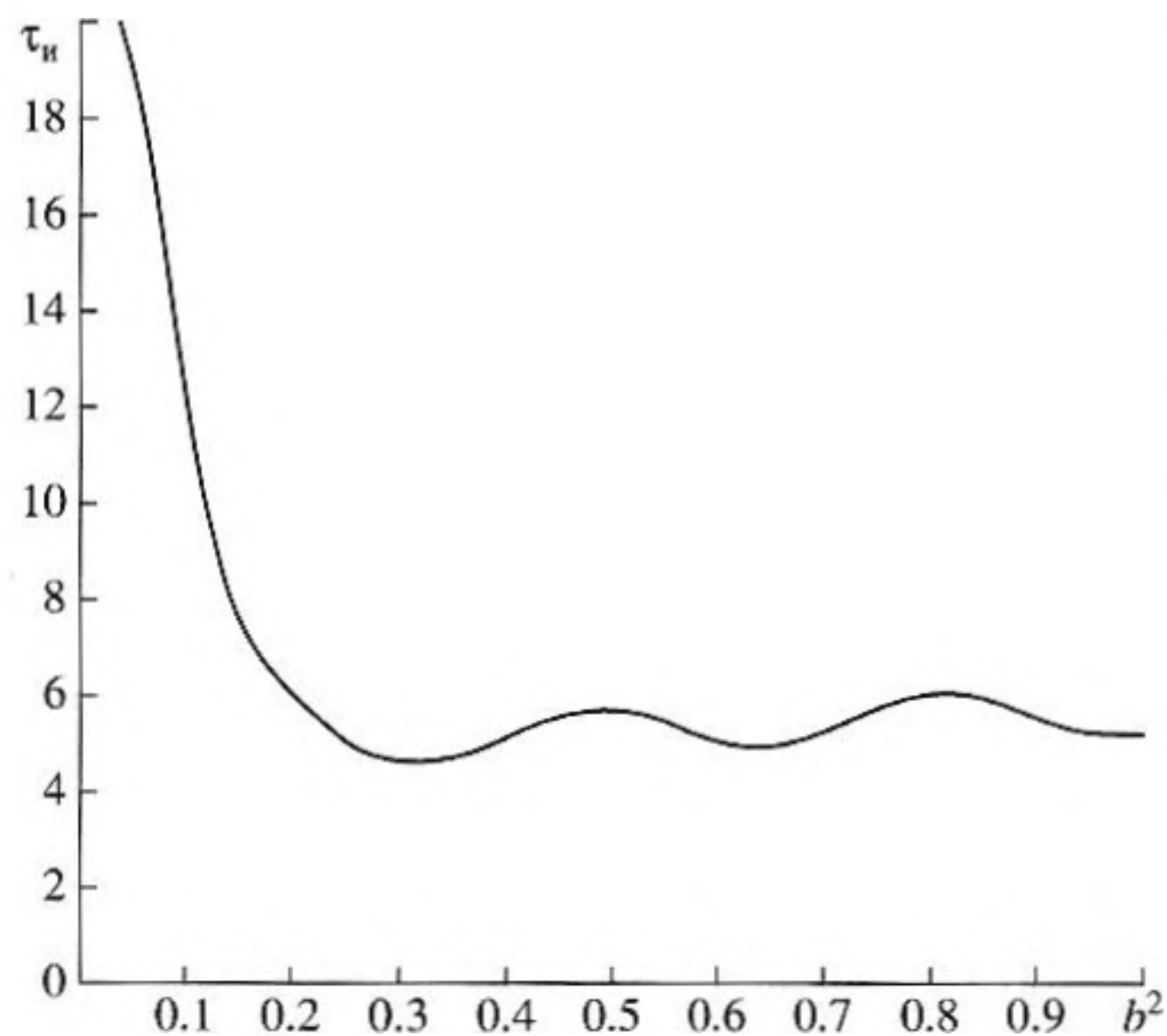


Рис. 7. Зависимость длительности акустического импульса от параметра b^2 .

параметра b^2 влечет за собой искажение формы излучаемого сигнала. Предельно возможному теоретическому значению $b^2 = 1$ соответствует излучаемый акустический сигнал, изображенный на рис. 6.

Результаты расчетного исследования в обобщенном виде представлены на рис. 7, где приведена зависимость длительности импульса излучаемого акустического сигнала τ_n от величины квадрата коэффициента электромеханической связи b^2 . Можно видеть, что возрастание величины b^2 от нуля до примерно 0.25–0.30 при оптимальных значениях Q и n позволяет добиться довольно существенного снижения длительности импульса по сравнению со случаем, когда $b^2 = 0$ (по меньшей мере в 5–6 раз). Дальнейшее увеличение b^2 не ведет к положительным результатам. Наблюдаются лишь незначительные осцилляции значений τ_n .

В завершение следует упомянуть о величинах амплитуд сигналов, излучаемых рассматриваемой системой при оптимальных значениях Q и n . График, отражающий зависимость максимальных амплитуд A излучаемых акустических импульсов от величины квадрата коэффициента электромеханической связи b^2 , приведен на рис. 8. Здесь по оси ординат отложена величина A , являющаяся безразмерной величиной, которая приведена в условных единицах, пропорциональных колебательной скорости. Такое представление результатов объясняется решением задачи с точностью до постоянного множителя. Из представленного рисунка видно, что при $b^2 = 0$ излучаемый сигнал отсутствует ($A = 0$). По мере возрастания b^2 наблюдается монотонный рост величины A вплоть до значений $b^2 \approx 0.5$. Дальнейшее увеличение b^2 не приводит к заметным изменениям величины A .

Таким образом, в работе рассмотрена нагруженная на жидкость пьезопластина с подключенной к ней корректирующей электрической цепью. Расчетно-теоретическим путем проведено исследование потенциальных возможностей снижения длительностей излучаемых акустических импульсов за счет изменения величины коэффи-

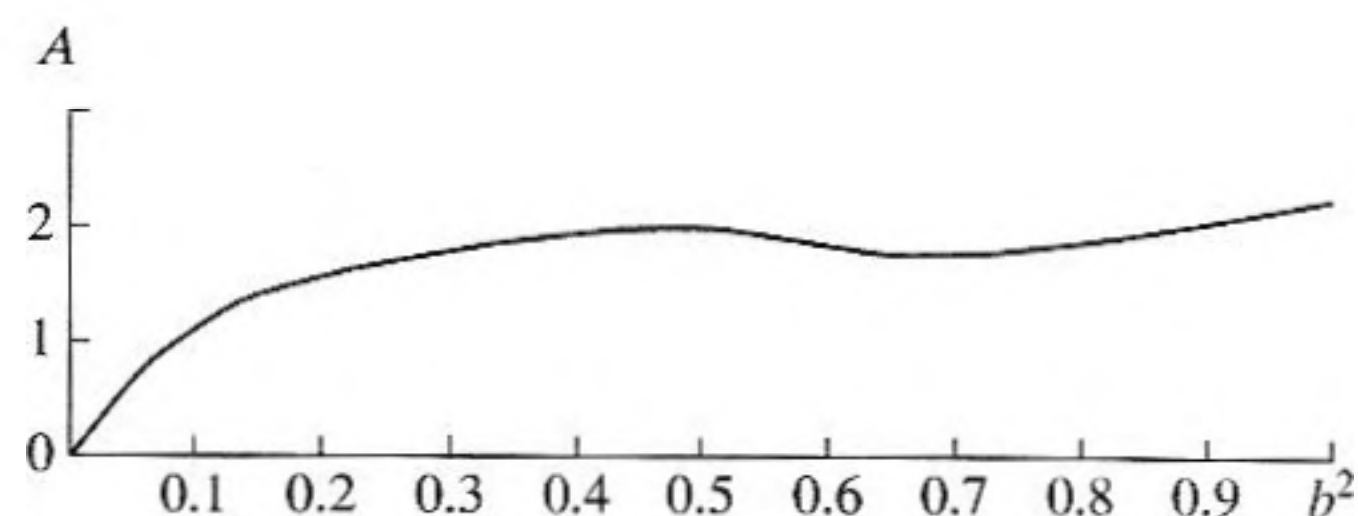


Рис. 8. Зависимость максимальных амплитуд акустических импульсов от параметра b^2 .

циента электромеханической связи активного материала. Установлено, что при оптимальных значениях параметров, характеризующих систему, эффективное снижение длительностей излучаемых сигналов наблюдается в области значений $b^2 = 0.25-0.30$. Длительность импульсов при этом составляет примерно 5–5.5 полупериодов. Показано, что возрастание значений b^2 до величины $b^2 \approx 0.5$ способствует возрастанию максимальной амплитуды излучаемого сигнала. Дальнейшее увеличение b^2 не ведет к заметному ее изменению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. Влияние электрической нагрузки на длительность акустического импульса, излучаемого пьезопластиной // Акуст. журн. 2004. Т. 50. № 1. С. 129–130.
2. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. Демпфирование пьезопластины и использование электрической цепи на ее входе для получения короткого акустического импульса // Акуст. журн. 2005. Т. 51. № 6. С. 829–832.
3. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. О влиянии различных способов соединения элементов электрической нагрузки на длительность импульса, излучаемого пьезопреобразователем // Акуст. журн. 2007. Т. 53. № 2. С. 285–287.
4. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. Исследование возможности получения короткого акустического импульса при подключении индуктивно-резистивной цепи на вход излучателя, нагруженного на твердое тело через контактный слой // Дефектоскопия. 2004. № 11. С. 15–21.
5. Коновалов С.И., Кузьменко А.Г. Оптимизация параметров электрической нагрузки пьезопластины для излучения короткого акустического импульса // Дефектоскопия. 2004. № 4. С. 15–19.

Influence of the Electromechanical Coupling Coefficient of a Piezoelectric Plate on the Acoustic Pulse Duration in the Presence of a Compensating Circuit

S. I. Konovalov and A. G. Kuz'menko

St. Petersburg State Electrotechnical University, ul. Prof. Popova 5, St. Petersburg, 197376 Russia

e-mail: root@post.etu.spb.ru

Abstract—The dependence of the emitted pulse duration on the electromechanical coupling coefficient of a piezoelectric material is investigated by computation. The optimal value of the coupling coefficient is obtained.