

УДК 534.232

PACS: 43.35.+d

## Цифровой акустический способ определения добротности пьезоэлектрических кристаллов

Н. Мухтаров, Л. Р. Саримов

*Работа относится к технике ультразвуковых измерений в твердых телах. Описан разработанный цифровой ультразвуковой способ определения акустических параметров пьезоэлектрических кристаллов. Сущность способа заключается в автоматическом измерении временного интервала между отраженными импульсами и затухания продольных ультразвуковых волн (УЗВ), в исследуемом образце пьезокристалла, с выдачей информации в цифровом виде. Описывается техническое оснащение и функциональные особенности акустического и электронного блоков ультразвуковой системы. Разработанный способ может быть использован в заводских и научных лабораториях пьезоэлектрического приборостроения для получения экспресс информации о качестве исходных материалов изготавливаемых изделий.*

*Ключевые слова:* скорость, поглощение, затухание, амплитуда, частота, длительность, импульс, добротность, качество.

### Введение

Общеизвестно широкое применение пьезоэлектрических кристаллов в резонаторах, фильтрах и других электромеханических устройствах, где изделие из пьезокристалла является основным рабочим материалом [1, 2]. Для качественной работы таких устройств, последний должен обладать минимальным содержанием дефектов, т. е. обладать высокой акустической добротностью. В связи с этим возникает необходимость изучения качества кристаллов, что связано с поиском и разработкой различных экспериментальных методов и способов исследования [3, 4].

Работа [5] посвящена разработке спектроскопических методов исследования добротности пьезоэлектрических кристаллов. Методом дифракции света на ультразвуке [6, 7] исследовались электромеханические характеристики новых перспективных пьезоэлектрических кристаллов из группы лангаситов и ланганитов.

Рассмотренные методы относятся, в основном, к оптическим исследованиям добротности пьезоэлектрических кристаллов. Что касается прямых акустических методов определения этого параметра, то их число довольно ограничено, а сами процессы измерений весьма трудоемки. Поэтому целью данной работы явилось исследование возможности создания акустического измерителя постоянной длины, позволяющий (при минимальном вмешательстве оператора в процесс эксперимента) автоматически измерять время прохождения и затухания ультразвука в исследуемом образце пьезокристалла с выдачей информации в цифровом виде.

### Эксперимент

Предлагаемый способ основан на известных выражениях определения скорости  $v$  и коэффициента поглощения УЗВ  $\alpha$  в твердых телах [8], согласно которым скорость и коэффициент поглощения УЗВ в исследуемой среде связаны с временным интервалом между последовательными отраженными импульсами, затуханием сигнала и длиной исследуемого образца. При этом используется соотношение для скорости распространения УЗВ

$$v = \frac{l}{\tau}, \quad (1)$$

где  $l$  – длина исследуемого образца,  $\tau$  – интервал между отраженными импульсами.

---

Мухтаров Низамитдин, профессор, д.ф.-м.н.  
Саримов Ленар Рафисович, доцент, к.т.н.  
Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) Федерального университета.  
Россия, 423812, г. Набережные Челны, проспект Сююмбике, 10А.  
Тел. (8552) 39-59-72. Факс (8552) 39-59-72.  
E-mail: nmuhtarov2014@mail.ru

Статья поступила в редакцию 8 декабря 2016 г.

---

© Мухтаров Н., Саримов Л. Р., 2017

Соотношение для коэффициента поглощения УЗВ определяется следующей формулой:

$$\alpha = \frac{1}{2kl} \left( \ln \frac{U_0}{U_k} - 2kl \frac{1}{R} \right), \quad (2)$$

где  $U_0$  – амплитуда зондирующего импульса прямого прохождения;  $U_k$  – амплитуда  $k$ -го отраженного импульса;  $R$  – коэффициент отражения пьезоизлучателя.

Скорость  $v$  и коэффициент поглощения УЗВ  $\alpha$  связаны с добротностью кристалла  $Q$  соотношением [1]

$$Q = \frac{\pi v}{\alpha v}, \quad (3)$$

где  $v$  – частота зондирующего импульса.

Поскольку длина образца  $l$  может быть измерена с помощью компаратора с точностью  $10^{-5}$  м, то задача определения скорости и коэффициента поглощения УЗВ сводится к измерению временных интервалов между отраженными импульсами и затухания УЗВ.

Определение этих параметров предъявляет жесткие требования к методике проведения эксперимента [9, 10]. Этим требованиям удовлетворяет разработанная нами автоматизированная ультразвуковая установка, которая обладая большой чувствительностью и точностью, что позволяет при минимальном вмешательстве оператора в процесс эксперимента получать информацию в цифровом виде. На рис. 1 представлена функциональная блок-схема ультразвуковой установки, а на рис. 2 – эпюры напряжений, характеризующие временные и амплитудные соотношения акустических сигналов.

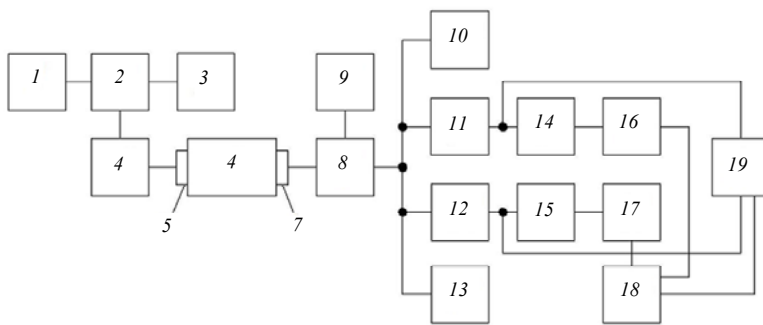


Рис. 1. Функциональная блок-схема УЗВ установки.

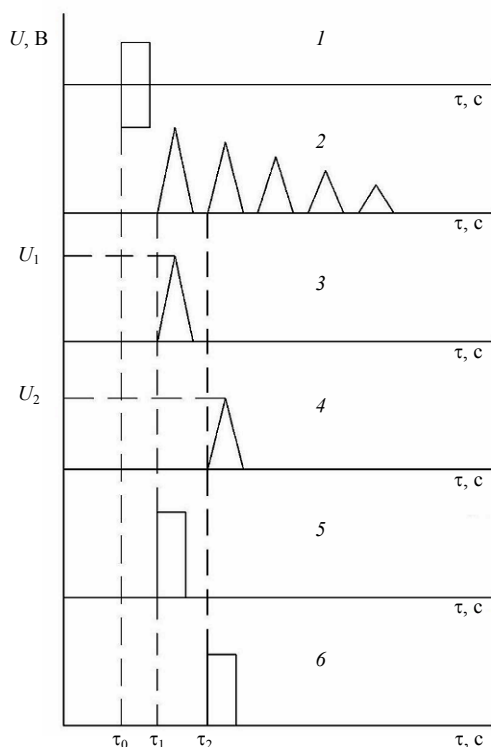


Рис. 2. Эпюры напряжений сигналов УЗВ.

Ультразвуковая установка (рис. 1) состоит из акустического блока и электронного блока, дающего цифровые значения измеряемых величин. В акустическом блоке установки исходный высокочастотный сигнал с ВЧ-генератора 2 (Г4-107), частота которого контролируется частотомером 3 (ЧЗ-34), модулируется генератором прямоугольных импульсов 1 (Г5-15), усиливается усилителем 4 (УЗ-33) и поступает на пьезопреобразователь 5 (рис. 2, *эпюра 1*). Возбужденные акустические волны проходят через исследуемый образец 6, принимаются приемным пьезопреобразователем 7, усиливаются и детектируются супергетеродинным приемником 8, контролируются осциллографом 9, где выглядят как затухающие по экспоненте импульсы (рис. 2, *эпюра 2*). Эти импульсы несут в себе всю информацию об объекте, а именно, временная задержка  $\tau$  между отраженными импульсами дает информацию о скорости, а амплитуда  $U$  – информацию о поглощении УЗВ в исследуемом образце.

Для представления этой информации в цифровом виде служит электронный блок установки. Допустим, что для измерения временных и ампли-

тудных соотношений между импульсами пачки (рис. 2, *эюра 2*) мы выделили первые два импульса. Схема сегментирования разделяет эти импульсы на два канала и подает на ключевые схемы 11 и 12, которые служат для выборки и стробирования выделенных отраженных импульсов. Ключевые схемы собраны на полевых транзисторах, благодаря чему сигнал коммутируется с наименьшими потерями, что позволяет избежать влияния управляющего сигнала на коммутирующий. Каждый ключ управляется собственным устройством задержки 10 и 13, каждый из которых представляет собой два мультивибратора, включенных последовательно и работающих в ждущем режиме. Первый мультивибратор запускается от общего синхроимпульса и задерживает запуск второго мультивибратора на время, нужное для срабатывания ключа. Второй мультивибратор непосредственно управляет ключом, задавая ему время срабатывания, равное ширине исследуемой части акустического спектра. Далее эти выделенные сигналы по своим каналам подаются на схему измерения интервалов времени 19 (ЧЗ-34) и на схему измерения амплитуд, состоящих из пиковых детекторов 14 и 15 и аналого-цифровых преобразователей (АЦП) 16 и 17. Пиковый детектор служит для преобразования импульсного напряжения сигнала в постоянное и собран на полевых транзисторах, что обеспечивает преобразование без значительных потерь. Для подключения к нему АЦП на его выходе использован параллельный истоковый повторитель.

Для измерения времени прохождения сигнала через образец, первый нормированный строб – импульс (рис. 2, *эюра 5*), передним фронтом запускает блок интервалов времени частотомера 19, а второй выбранный нами отраженный строб – импульс (рис. 2, *эюра 6*) – по второму каналу, также своим передним фронтом дает команду «стоп» блоку интервалов времени частотомера 19. Блок интервалов времени определяет момент поступления каждого импульса, преобразует их в импульс длительностью  $\tau$ , который подается в систему отбора информации 18 (Ф5033), где и фиксируется.

Для измерения затухания УЗВ первый строб – импульс (рис. 2, *эюра 3*), минуя усилитель – ограничитель, поступает на пиковый детектор 14, преобразуется в постоянное напряжение, фиксируется АЦП 16 и далее подается в систему отбора информации 18. Вторым выбранным отраженным строб – импульс (рис. 2, *эюра 4*) – по второму каналу поступает на свой пиковый детектор 15, преобразуется, фиксируется по амплитуде АЦП 17 и также поступает в систему отбора информации 18. Таким образом, в систему отбора 18 поступает

информация о длительности и амплитудах акустических сигналов. На выходе системы отбора 18 получается четкая последовательность цифр в двоично-десятичном коде: первая – длительность  $\tau$ , вторая – амплитуда  $U_0$ , третья – амплитуда  $U_1$ , четвертая – амплитуда  $U_3$ , и т. д. отраженных акустических импульсов. Вывод этой информации обеспечивается на цифropечатающее устройство (на схеме не показан). По измеренным значениям  $\tau$  и  $U$  при данной температуре и частоте по формулам (1), (2) и (3) вычисляются скорость, коэффициент поглощения УЗВ и добротность в исследуемом кристалле.

Испытания всей ультразвуковой системы показали ее надежность и удобство в проведении эксперимента.

Погрешность измерения скорости составляет порядка  $0,03 \div 0,05$  %, а коэффициента поглощения УЗВ, без учета потерь на преобразования, составляет  $5 \div 10$  %. Диапазон рабочих частот  $5 \div 50$  МГц и выше.

### Заключение

Анализ вышеизложенного позволяет сделать следующие выводы.

1. Предлагаемый цифровой ультразвуковой способ исследования является эффективным инструментом при решении технологических проблем контроля качества пьезоэлектрических кристаллов.
2. Созданная ультразвуковая установка, обладая высокой чувствительностью и точностью, позволяет при минимальном вмешательстве оператора в процесс эксперимента измерять акустические параметры исследуемых кристаллов с выдчей информации в цифровом виде.
3. Система позволяет в широкой области частот и температур проводить исследования акустических свойств конденсированных сред.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Островский О. В., Надточный А. В., Коротченко О. А., Никандрова М. В.* // ЖТФ. 2003. Т. 73. Вып. 10. С. 97.
2. *Земляков В. Л., Ключников С. Н.* // Измерительная техника. 2010. № 3. С. 38.
3. *Ермолов И. Н., Алешин Н. П., Потапов А. И.* Акустические методы контроля. – М.: Высшая школа, 1991.
4. *Земляков В. Л.* Методы и средства измерений в пьезоэлектрическом приборостроении. – Ростов н/д: Изд-во ЮФУ, 2009.
5. *Аникьев А. А., Умаров М.* Способ определения добротности кристаллов пьезокварца / Авторское свидетельство № 1685147, 1991.
6. *Johnson W. L., Kim S. A., Uda S.* // Proc. IEEE Inter Freq. Contr. Symp. 2003. Vol. 57. P. 646.

7. Whatmore R. W. // J. Cryst. Growth. 1980. Vol. 48. P. 530.  
 8. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. – М.: Мир, 1972.  
 9. Носов В. А. Проектирование ультразвуковой измерительной аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1972.  
 10. Бражников Н. И. Ультразвуковые методы. – М.: Энергия, 1965.  
 11. Кондротас К., Сукацкас В., Яронис Э. Научные труды высших учебных заведений Литовской ССР (Вильнюс, 1973). С. 141.

PACS: 43.35.+d

## The digital acoustic method for determining a quality factor of piezoelectric crystals

N. Muhtarov and L. R. Sarimov

Branch of Kazan Federal University in Naberezhnye Chelny  
 10A Sujumbike av., Naberezhnye Chelny, 423812, Russia  
 E-mail: nmuhtarov2014@mail.ru

Received December 8, 2016

**Consideration is given to the ultrasonic measurement technique in solids. The digital ultrasonic method for determining the acoustic parameters of piezoelectric crystals has been developed. The method consists in the automatic metering of a time interval between echo pulses and a longitudinal attenuation of ultrasonic waves (USW) in samples of the piezoelectric crystal. There is an information output in the digital form. The hardware and functional features of acoustic and electronic units of the ultrasonic system are presented. The developed method can be used in the factory and scientific laboratories for instrumentation of the piezoelectric express-information on quality of ingoing materials for fabricated items.**

**Keywords:** velocity, absorption, attenuation, amplitude, frequency, duration, pulse, quality factor, quality.

### REFERENCES

1. O. V. Ostrovsky, A. V. Nadtochny, O. A. Korotchenko, and M. V. Nikandrova, Tech. Phys., **73** (10), 97 (2003).
2. V. L. Zemlyakov and S. N. Kluchnikov, Izmerit. Tekhn., No. 3, 38 (2010).
3. I. N. Yermolov, N. P. Aleshin, and A. I. Potapov, *Acoustic Control Methods* (High School, Moscow, 1991) [in Russian].
4. V. L. Zemlyakov, *Methods and Measuring Instrument in the Piezoelectric* (Publishing SFU, Rostov-on-Don, 2009) [in Russian].
5. A. A. Anikjev and M. Umarov, *The Method for Determining the Quality Factor Piezoelectric Quartz Crystals*. (RF License 1685147, 1991).
6. W. L. Johnson, S. A. Kim, and S. Uda, Proc. IEEE Inter Freq. Contr. Symp. **57**, 646 (2003).
7. R. W. Whatmore, J. Cryst. Growth. **48**, 530 (1980).
8. R. Truell, Ch. Elbaum, and B. Chick, *Ultrasonic Methods in Solid State Physics* (Mir, Moscow, 1972) [in Russian].
9. V. A. Nosov, *Design of Ultrasonic Instrumentation* (Mashinost., Moscow, 1972) [in Russian].
10. N. I. Brazhnikov, *Ultrasonic Methods* (Energiya, Moscow, 1965) [in Russian].
11. K. Kondrotas, V. Sukatskas, and E. Yaronis, *Proceedings of the Higher Educational Establishments of the Lithuanian SSR* (Vilnius, 1973), p. 141.