

Измеритель параметров ультразвуковых колебательных систем

[Р.В. Барсуков](#), [Е.В. Ильченко](#), [Д.С. Абраменко](#)

Аннотация – Статья посвящена разработке измерителя параметров ультразвуковых колебательных систем. Приводится структурная схема разработанного прибора, методика проведения измерений. В статье так же представлены результаты измерений, проведенных при помощи созданного прибора.

Ключевые слова – добротность, резонанс, измерение, ультразвук.

ВВЕДЕНИЕ

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ технологии уникальны. Они находят широкое применение в различных областях науки и техники [1]. Высокоэффективное преобразование энергии электрических колебаний в упругие ультразвуковые, их концентрация и ввод в обрабатываемые среды остается на сегодняшний день одной из основных проблем при создании ультразвуковых аппаратов.

Для решения этой проблемы используются специальные ультразвуковые колебательные системы (УЗКС), представляющие собой устройства, объединяющие в единой системе пьезоэлектрический преобразователь, волновод-концентратор и рабочий инструмент [2]. От ультразвукового аппарата требуется обеспечить передачу энергии механических колебаний в обрабатываемую среду. Эта энергия определяется амплитудой колебаний.

Кроме амплитуды колебаний немаловажным параметром УЗКС является добротность, которая определяется как отношение энергии, поступившей за период колебаний к энергии, потраченной в течение этого периода. Следовательно, добротность связана с потерей энергии, возникающей при работе УЗКС. Минимизация этих потерь означает получение наибольшего КПД.

Проведение измерений добротности ультразвуковых колебательных систем, например, на этапе настройки ультразвукового аппарата, позволило бы «отбраковать» УЗКС с низким значением добротности, повысив, в конечном итоге, эффективность работы ультразвукового аппарата.

Таким образом, измерение добротности является весьма актуальной задачей и в связи с этим была поставлена задача разработки стенда для измерения основных параметров УЗКС.

Самый распространенный и простой способ определения параметров УЗКС, таких как резонансная частота, амплитуда колебаний и добротность это измерения, проводимые при помощи точечного пьезоэлектрического датчика, представляющего собой широкополосный приемный пьезоэлектрический преобразователь с точечным контактом. Исследуемая колебательная система подключается к низковольтному генератору ультразвуковой частоты и в процессе плавной перестройки частоты генератора контролируют напряжение на выходе пьезоэлектрического датчика, который измерительной иглой касается точки излучающей поверхности УЗКС.

Для упрощения и ускорения процесса измерений его автоматизации, был разработан измеритель параметров, структурная схема которой представлена Рис.1.

I ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ПАРАМЕТРОВ УЗКС

Измеритель для определения параметров УЗКС состоит из следующих основных блоков:

- 1 - блок усиления сигнала;
- 2 - блок управления;
- 3 - блок измерения параметров сигнала, включающий
 - а - блок выделения амплитуды сигнала;
 - б - блок выделения частоты сигнала;
 - в - микроконтроллер;
- 4 - блок индикации;

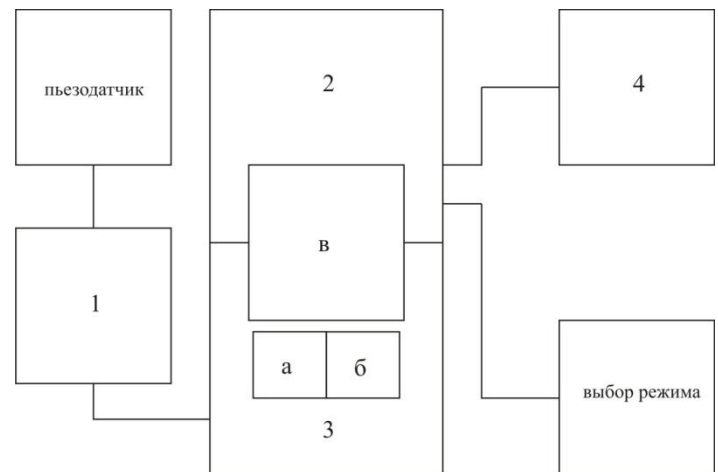


Рис. 1. Блок-схема измерителя.

Блок усиления сигнала представляет собой последовательно включенные повторитель и инвертирующий усилитель с регулируемым коэффициентом усиления. Необходимость использования повторителя обусловлена тем, что выходное сопротивление на выходе пьезоэлектрического датчика, который используется в качестве первичного преобразователя, достигает нескольких сотен мегаом. Сигнал, поступающий с пьезоэлектрического датчика, в процессе проведения измерений (для различных колебательных систем) может изменяться от милливольт до единиц вольт. Это обуславливает необходимость использования усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, устанавливаемым вручную.

Блок измерения параметров сигнала является основной частью устройства, и представляет собой микроконтроллер с возможностью ввода аналоговой и цифровой информации. Для ввода в микроконтроллер сигнала, пропорционального амплитуде колебаний используется амплитудный детектор. Для измерения частоты, из синусоидального сигнала при

помощи триггера Шмидта формируется прямоугольный сигнал (однополярный с амплитудой 5 В) с частотой равной частоте исходного переменного напряжения, который подается на один из цифровых входов микроконтроллера.

Работа измерителя происходит под управлением микроконтроллера, программное обеспечение которого обеспечивает весь вычислительный процесс и процесс визуализации измерительной информации на многоразрядном семисегментном индикаторе. Можно выделить три режима работы измерителя. Это режим настройки, режим измерения и режим отображения результатов измерений.

Переключение режимов производится микроконтроллером по нажатию кнопки «переключение режимов».

Блок индикации состоит из 5 семисегментных индикаторов и индикатора шкального типа. В процессе настройки и измерения семисегментные индикаторы отображают измеренную частоту, а шкальный индикатор информирует об уровне амплитуды сигнала. После завершения измерений на семисегментные индикаторы последовательно выводятся значения резонансной частоты системы, добротности системы и значение амплитуды сигнала на выходе пьезоэлектрического датчика (в вольтах) соответствующей резонансной частоте.

При работе созданного измерительного прибора можно выделить несколько режимов. Это режим настройки, измерения и режим отображения результатов измерений. При подаче напряжения питания устройство входит в режим настройки.

В режиме настройки оператором производится подстройка частоты генератора низкочастотных колебаний на частоту близкую к резонансной частоте УЗКС. Приближение текущей частоты генератора к резонансной частоте УЗКС определяется по уровню входного сигнала с пьезоэлектрического датчика, который выводится на светодиодный индикатор шкального типа.

Оператор, при помощи регулировки коэффициента усиления, задаваемого переменным резистором, должен добиться того, чтобы при настройке генератора на резонанс колебательной системы горели все элементы индикатора шкального типа. При выполнении этого условия будет использоваться весь динамический диапазон АЦП, на вход которого поступает сигнал с операционного усилителя. Текущее значение коэффициента усиления так же вводится в микроконтроллер и используется в дальнейшем для расчета амплитуды колебаний выраженной в вольтах (напряжение на выходе пьезоэлектрического датчика).

Выход из режима настройки и переход в режим измерений осуществляется очередным нажатием кнопки «переключение режимов».

В режиме измерений микроконтроллер работает по следующему алгоритму. Производится измерение текущей частоты. Если измеренная частота не равна предыдущему значению измеренной частоты, то производится измерение амплитуды сигнала. Измеренные амплитуда и частота сигнала заносятся в массив данных. Измерения повторяются до заполнения массива. После заполнения массива данных, осуществляется его сканирование и поиск максимального значения амплитуды и соответствующей ей частоты (резонансной частоты). После нахождения в массиве частоты, соответствующей резонансной и частот соответствующих амплитудам в $\sqrt{2}$ меньшим амплитуды соответствующей резонансной частоте вычисляется добротность по формуле (1)

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}, \quad (1)$$

где f_0 – резонансная частота системы; f_1, f_2 – частоты, соответствующие амплитуде сигнала, в $\sqrt{2}$ меньшей амплитуды сигнала на резонансной частоте.

Время нахождения прибора в режиме измерений составляет примерно 7 секунд. В ходе проведения измерений оператору необходимо осуществлять плавную перестройку частоты низковольтного генератора в окрестностях резонансной частоты исследуемой УЗКС контролируя переход через резонансную частоту по показаниям индикатора шкального типа. Пьезоэлектрический датчик в процессе измерений должен быть прижат с фиксированным усилием к рабочей поверхности УЗКС. После завершения процесса измерения устройство автоматически переходит в режим отображения результатов.

В режиме отображения результатов измерений на индикаторе прибора последовательно отображаются измеренные значения резонансной частоты, добротности и значения амплитуды сигнала (в вольтах). Выбор очередного параметра для отображения его на индикаторе прибора осуществляется путем нажатия кнопки «переключение режимов».

После того, как были последовательно отображены все измеренные параметры очередное нажатие кнопки «переключение режимов» переводит прибор в режим измерения.

II РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

С целью исследования функциональных возможностей созданного прибора был проведен ряд измерений. При проведении измерений был использован рабочий инструмент от медицинского ультразвукового аппарата «Тонзиллор»[] с различными сменными рабочими инструментами. Эскизы инструментов, которые использовались при проведении измерений представлены на Рис. 2.

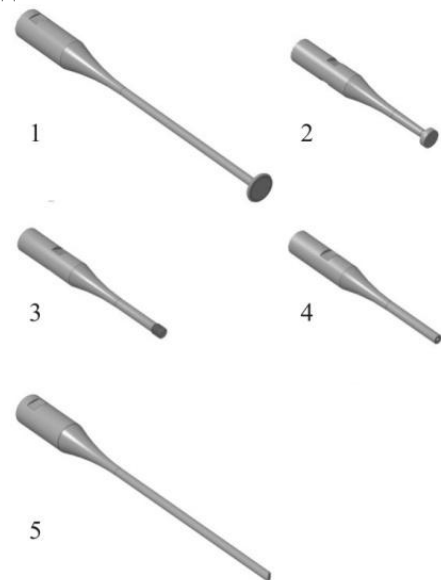


Рис. 2. Эскизы инструментов.

Сменные инструменты, используемые в ходе измерений представляют собой: инструмент №1 – двухполуволновой стержневой волновод с грибовидным окончанием; инструмент №2 – полуволновой инструмент с грибовидным окончанием; инструмент №3 – полуволновая инструмент

с окончанием в виде «ершика»; инструмент №4 – полуволновой стержневой инструмент с осевым каналом; инструмент №5 - двухполуволновой инструмент с окончанием типа «пика».

Результаты измерений представлены в Табл. I.

III ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был разработан измеритель основных параметров УЗКС, позволяющий определять добротность УЗКС, значение резонансной частоты, а также значение амплитуды колебаний УЗКС в режиме резонанса.

С помощью разработанного измерителя была проведена серия экспериментов, по установлению влияния различных рабочих инструментов, а также влияния различных обрабатываемых сред на параметры УЗКС.

Созданный измеритель и полученные в результате проведения исследований результаты позволяют повысить эффективность проектирования и использования пьезоэлектрических колебательных систем различного назначения в составе технологических аппаратов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Балдев Радж, Раджендран Р., Паланичани П. Применения ультразвука – М: Техносфера, 2006 – 576 с.
- [2] В.Н. Хмелев, А.Н. Лебедев, С.Н. Цыганок, И.И. Савин, В.Н. Штыр, М.В.Хмелев, Конструирование ультразвуковых колебательных систем для ультразвуковых аппаратов, Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003, Новосибирск, НГТУ, 2003.
- [3] Шутилов В.А. основы физики ультразвука – Л: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980 – 280 с.
- [4] <http://u-sonic.ru/devices/alena-1>

ТАБЛИЦА I

ПАРАМЕТРЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С РАЗЛИЧНЫМИ РАБОЧИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Инструмент	Резонансная частота, Гц	Добротность	Амплитуда колебаний, В
Без инструмента	27803	51	0.285
Инструмент №1	26699	206	0.6
инструмент №2	27272	122	0.89
инструмент №3	27272	104	0.81
инструмент №4	27235	119	0.87
инструмент №5	26708	249	0.52

Измерения показали, что при присоединении различных рабочих инструментов амплитуда колебаний возрастает в несколько раз (до 3 раз), разброс по резонансным частотам составляет около 570 Гц, добротность возрастает от 2 до 4.8 раз.

Кроме исследований по измерению добротности колебательной системы с различными инструментами была проведена серия экспериментов по измерению параметров многофункционального ультразвукового аппарата серии «Алёна-Л» модель УЗТА – 0,15/22 – ОСу [4] при различных волновых сопротивлениях обрабатываемой среды. В Табл. II представлены результаты, полученные при измерении параметров УЗКС, предназначенной для обработки жидких сред. В качестве технологических сред были использованы дистиллированная вода, спирт и оливковое масло. Измерения так же были проведены в режиме холостого хода, т.е. при отсутствии жидкой среды.

ТАБЛИЦА II

Влияние Волнового Сопротивления Среды На Параметры УЗКС

Среда	волновое сопротивление, кг/(м ² с) [3]	Резонансная частота, Гц	Добротность	Амплитуда колебаний, В
Воздух	0,45 *10 ⁻⁴	22612	370	3.41
Спирт	93*10 ⁻⁴	22310	230	2.49
Вода	150*10 ⁻⁴	22220	249	1.90
Масло	125*10 ⁻⁴	22241	239	2.01

По результатам измерений видно, что появление акустической нагрузки снижает резонансную частоту УЗКС, причем величина ухода резонансной частоты зависит от волнового сопротивления обрабатываемой жидкости. Кроме того наблюдается снижение добротности при появлении акустической нагрузки, причем чем больше волновое сопротивление среды тем меньше добротность УЗКС, что обуславливается существенным демпфированием излучателя обрабатываемой средой.