

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В. Н. Хмелев, Р. В. Барсуков, Е. В. Ильченко, Д. В. Генне

Бийский технологический институт
Филиал ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»,
г. Бийск

Статья посвящена исследованию свойств пьезоэлектрического преобразователя ультразвуковой колебательной системы. Пьезоэлектрический преобразователь исследуется методом импедансных кривых при его работе в режиме акустического холостого хода. Измерения проводились при различных уровнях возбуждающего напряжения. Показано влияние возбуждающего напряжения на импеданс ультразвуковой колебательной системы в режиме акустического холостого хода.

Ключевые слова: ультразвук, ультразвуковой преобразователь, акустическая нагрузка, электрический импеданс, контроль.

Одно из направлений повышения эффективности ультразвуковых технологий связано с использованием в составе технологических аппаратов систем контроля состояния обрабатываемых сред. Применение таких систем позволяет реализовать непрерывный контроль процессов, протекающих в ультразвуковых (УЗ) полях высокой интенсивности и оптимизировать параметры ультразвукового воздействия, обеспечивая максимальное качество производимого продукта при заданной производительности.

Среди множества различных подходов к реализации контроля обрабатываемых сред (акустической нагрузки на аппарат) наиболее перспективным является способ контроля, основанный на непрерывном измерении электрических параметров пьезоэлектрических преобразователей ультразвуковых колебательных систем (УЗКС). Перспективность реализации такого подхода связана с исключением необходимости введения дополнительных датчиков в зону УЗ воздействия. Подходящая система контроля, как показывают

проведенные ранее исследования [1], позволит решать широкий спектр задач, среди которых автоматическая идентификация типа присоединенного рабочего инструмента, контроль интенсифицируемого технологического процесса и свойств обрабатываемых технологических сред.

Исследования такого способа и системы контроля параметров акустической нагрузки ультразвукового аппарата, основанных на непрерывном контроле электрических параметров пьезоэлектрического преобразователя УЗКС, представлены в работах [1,2,3].

Возможность определения параметров акустической нагрузки по значениям электрических параметров пьезоэлектрических преобразователей УЗКС основывается на результатах анализа модели УЗКС (физической эквивалентной схемы) с нагрузкой, представленной на рисунке 1[3]. Такой подход к анализу работы УЗКС, связанный с ее представлением в виде электрической эквивалентной схемы, достаточно распространен и подробно описан в нескольких работах [4,5,6].

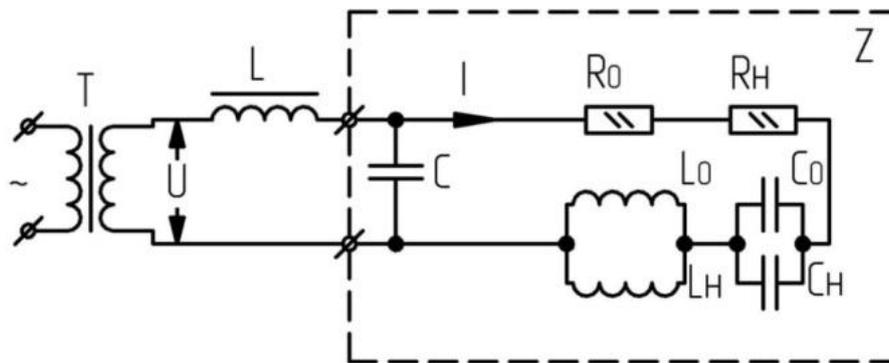


Рисунок 1 – Эквивалентная электрическая схема замещения УЗКС с пьезоэлектрическим преобразователем

При этом, чтобы проанализировать работу УЗКС, зная параметры ее физической эквивалентной схемы, необходимо воспользоваться следующими аналогиями между элементами физической эквивалентной схемы и физическими свойствами акустической нагрузки и УЗКС: индуктивность L_0 – эквивалентна колеблющейся массе, обусловленной собственными свойствами (инерционными) ультразвуковой колебательной системы, электрическая емкость C_0 – эквивалентна упругости материала, из которого изготовлена УЗКС, активное сопротивление R_0 – сопротивлению механических потерь, R_H – сопротивлению излучения колебательной системы, L_H – эквивалентна колеблющейся массе обрабатываемой жидкой фазы, присоединенной к излучающей поверхности, емкость C_H – обусловлена наличием у обрабатываемой среды упругих свойств, C – электрическая (статическая) емкость пьезоэлектрического преобразователя.

При реализации контроля электрических параметров УЗКС, при различных уровнях мощности УЗ воздействия, значения собственных параметров эквивалентной схемы УЗКС R_0 , L_0 , C_0 считаются постоянными и определяются при работе УЗ аппарата без нагрузки (физически в качестве акустической нагрузки в данном случае выступает воздушная среда).

Изменение значений R_H , L_H , C_H относительно их значений в воздушной среде позволяет контролировать изменение свойств акустической нагрузки.

На настоящий момент времени существует методика исследования электроакустических преобразователей по их импеданс диаграммам. В частности, в работе [7] пока-

зана возможность анализа влияния различных нагрузок на импеданс электроакустического преобразователя УЗКС при помощи круговых диаграмм, а в работе [8] предлагается устройство, позволяющее измерять параметры твердых материалов на основе анализа круговых диаграмм импеданса электроакустического преобразователя, находящегося в контакте с этими поверхностями.

Исследование свойств УЗКС таким методом представляет определенный интерес для разработки системы контроля свойств обрабатываемых сред, в связи с тем, что в его основу положен схожий принцип, а именно суждение о свойствах акустической нагрузки на основе анализа электрических свойств электроакустического преобразователя.

В связи с этим, возникла необходимость создания устройства для реализации метода контроля путем анализа круговых диаграмм импеданса пьезоэлектрического преобразователя при реализации технологических процессов в различных средах.

Далее представлены результаты исследований, направленных на создание устройств и практическую реализацию контроля импеданса пьезоэлектрического преобразователя при работе УЗКС в режиме холостого хода и при наличии акустической нагрузки.

Структура измерительной установки

Для проведения экспериментальных исследований использовался ультразвуковой аппарат «Волна» УЗТА 0,4/22 [9].

Для измерения импеданса пьезоэлектрического преобразователя УЗКС предложено и разработано устройство, структурная схема которого представлена на рисунке 2.

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

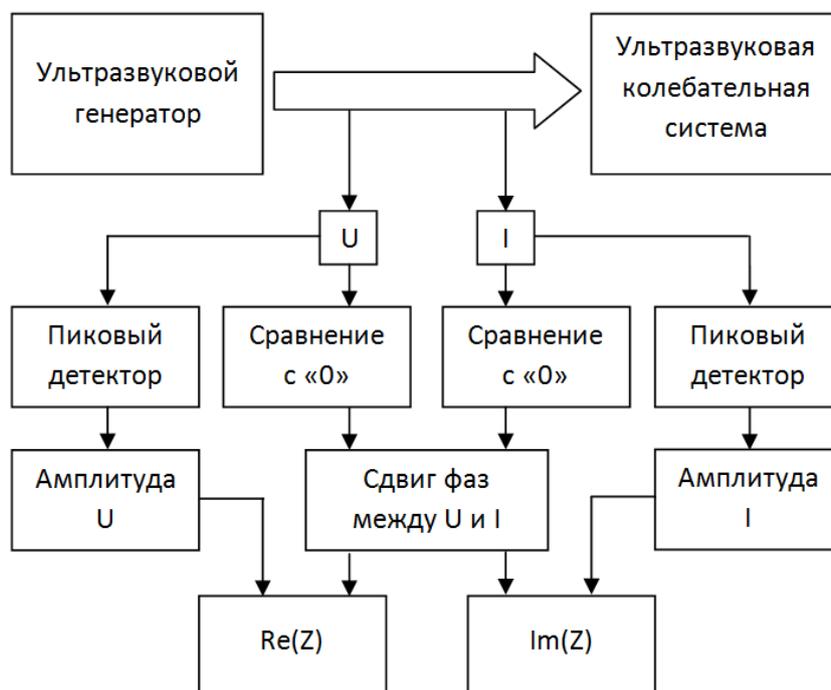


Рисунок 2 – Структурная схема устройства измерения импеданса пьезоэлектрического преобразователя УЗКС

Блок U представляет собой схему выделения сигнала, пропорционального напряжению, приложенному к пьезоэлектрическому преобразователю УЗКС; блок I представляет собой схему выделения сигнала, пропорционального току, протекающему через пьезоэлектрический преобразователь УЗКС.

Сигналы, пропорциональные току и напряжению на пьезоэлектрическом преобразователе УЗКС поступают на входы соответствующих усилителей с регулируемым коэффициентом усиления. Усиленный сигнал поступает на пиковый детектор для выделения амплитуды синусоидального сигнала. Амплитуды сигналов, пропорциональных току и напряжению на пьезоэлектрическом преобразователе УЗКС поступают на входы АЦП микроконтроллера.

Схема сравнения с нулем формирует прямоугольный сигнал из входного синусоидального сигнала, причем фазы входного и выходного сигналов совпадают. Таким образом, на выходе схемы сравнения формируются прямоугольные сигналы, частота и фаза которых равна частоте и фазе входных синусоидальных сигналов. В ходе измерений осуществляется контроль сдвига фаз между полученными прямоугольными сигналами.

Результатом работы измерительного устройства являются массивы данных в фор-

мате: частота возбуждающего напряжения, амплитуда напряжения приложенного к пьезоэлектрическому преобразователю, ток, протекающий через пьезоэлектрический преобразователь, длительность периода сигнала, пропорционального напряжению, приложенному к пьезоэлектрическому преобразователю и величина запаздывания фронта сигнала пропорционального току, протекающему через пьезоэлектрический преобразователь УЗКС относительно фронта сигнала пропорционального напряжению, приложенному к пьезоэлектрическому преобразователю УЗКС.

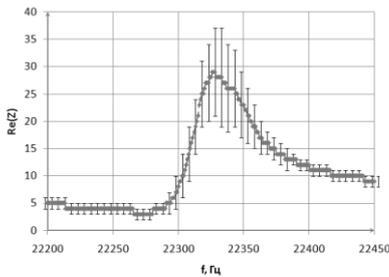
Измерения указанных величин проводились в процессе плавной перестройки частоты возбуждающего напряжения в окрестности частоты механического резонанса УЗКС. Далее представлены результаты проведенных измерений.

Результаты измерений

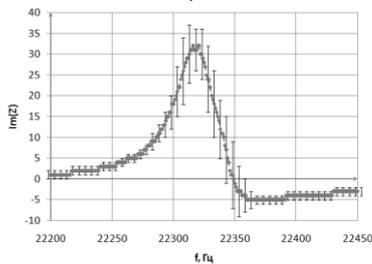
Разработанное измерительное устройство было использовано для измерения действительной и мнимой частей импеданса ультразвуковой колебательной системы при излучении УЗ колебаний в воздушную среду (режим холостого хода).

На рисунке 3 представлены зависимости действительной и мнимой частей импеданса пьезоэлектрического преобразователя УЗКС

от частоты. На рисунке 4 представлена круговая диаграмма, полученная для одного из значений возбуждающего напряжения пьезоэлектрического преобразователя УЗКС. Представленные диаграммы отражают изменение величины полного импеданса УЗКС в безразмерных единицах.



а)



б)

Рисунок 3, а – Зависимость действительной части импеданса пьезопреобразователя УЗКС от частоты в режиме холостого хода; б – зависимость мнимой части импеданса пьезопреобразователя УЗКС от частоты в режиме холостого хода

Увеличение величины погрешности измерений вблизи частоты механического резонанса связано с высокой добротностью УЗКС (остротой пиков ее частотных характеристик).

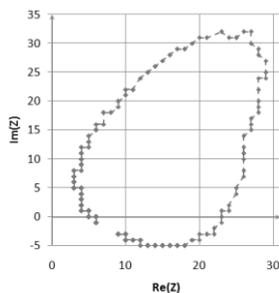


Рисунок 4 – Круговая диаграмма импеданса пьезопреобразователя УЗКС в режиме холостого хода

При изменении уровня возбуждающего напряжения P наблюдается картина, которая качественно отражается рисунком 5.

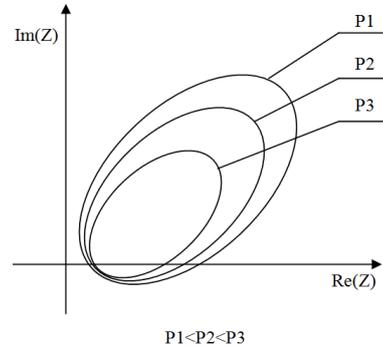


Рисунок 5 – Круговые диаграммы входного импеданса пьезопреобразователя УЗКС для различных уровней напряжения возбуждения

Следует обратить внимание на то, что с увеличением возбуждающего напряжения уменьшается размер области, ограниченной кривой входного импеданса, мнимая часть импеданса дважды пересекает ноль, кривые имеют эллипсообразную форму.

Характер изменения импедансной кривой с изменением уровня входного напряжения позволяет сделать вывод о необходимости измерения параметров холостого хода пьезоэлектрического преобразователя на каждом уровне мощности ультразвукового аппарата, поскольку эти параметры принимаются за собственные параметры пьезоэлектрического преобразователя УЗКС. Изменение входного импеданса пьезоэлектрического преобразователя при работе в режиме холостого хода при различном возбуждающем напряжении может быть связано с тем, что УЗКС является нелинейной системой.

Для проверки предположения об изменении собственных параметров эквивалентной схемы УЗКС в зависимости от значения тока механической ветви, по методике, описанной в работе [2], были измерены собственные параметры активного сопротивления R_0 УЗКС при работе в режиме акустического холостого хода. На рисунке 6 представлены данные, полученные для ультразвукового технологического аппарата «Волна» УЗ-ТА 0,4/22 [9] при использовании сменного рабочего инструмента диаметром 25 мм.

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

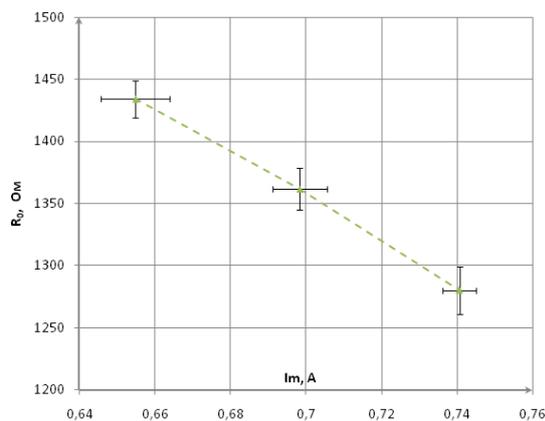


Рисунок 6 – Результаты измерения активной части импеданса механической ветви УЗКС в режиме акустического холостого хода

Представленные зависимости отражают изменение собственных характеристик УЗКС при изменении тока механической ветви и позволяют сделать вывод о необходимости измерений этих характеристик при различных значениях тока механической ветви для качественной работы системы контроля свойств обрабатываемых сред.

Заключение

Проведенные исследования методом импеданс диаграмм позволили установить, что активная и реактивная части импеданса УЗКС в режиме холостого хода могут отличаться в 2 – 3 раза при различном напряжении возбуждения. Это позволяет опровергнуть принятое предположение о том, что значения элементов R_0 , L_0 , C_0 являются постоянными величинами для каждой конструкции УЗКС и приводит к необходимости контроля собственных характеристик УЗКС при различных уровнях возбуждающего напряжения.

Измерение собственных характеристик эквивалентной схемы УЗКС позволит более корректно определять параметры контролируемых технологических сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмелев, В.Н. Пути совершенствования электронных генераторов ультразвуковых технологических аппаратов [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. № 3. – С. 247–254.
2. Хмелев, В.Н. Контроль параметров кавитирующих жидких сред, подвергаемых ультразвуковому воздействию [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.В. Генне, Д.С. Абраменко, Е.В. Ильченко // Ползуновский вестник. – 2012. №2/1. – С.154–159.
3. Хмелев, В.Н. Система контроля свойств технологических сред, подвергаемых воздействию ультразвуковых полей высокой интенсивности [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко // Датчики и системы. – 2013. – № 6. – С. 52 – 56.
4. Донской, А.В. Ультразвуковые электротехнологические установки [Текст] / А.В. Донской, О.К. Келлер, Г.С. Кратыш. – 2-е изд., перераб. и доп.– Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 208с, ил.
5. Джагунов Р.Г. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники систем контроля и управления [Текст] / Р.Г. Джагунов, А.А. Ерофеев – СПб.: Политехника, 1994. – 608с.
6. Мэзон, У. Физическая Акустика [Текст] т.2. Методы и приборы ультразвуковых исследований / Под ред. У. Мэзона – М.:Мир, 1966. – 592с.
7. Макаров, Л.О. Акустические измерения в процессах ультразвуковой технологии [Текст] / Л.О. Макаров – М.: Машиностроение, 1983. – 56с.
8. Устройство для измерения твердости металлов [Текст]: а. с. 513308: М. Кл. G 01 N 29/00 / В.Ф. Казанцев, Л.О. Макаров, С.А. Бойдек, В.С. Марголин, Б.Х. Мечетнер. – №2092438/25-28; заявл. 06.01.75; опубл. 05.05.76, Бюл. №17 – 4 с.
9. Ультразвуковой технологический аппарат серии «Волна» [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_protsesov_v_zhidkikh_sredakh/ultrazvukovoy_tekhnologicheskij_apparat_serii_volna_v1/

Барсуков Роман Владиславович – к.т.н., доцент, тел.: (3854)432570, e-mail: roman@bti.secsa.ru; **Хмелев Владимир Николаевич** – д.т.н., профессор; **Генне Дмитрий Владимирович** – инженер; **Ильченко Евгений Владимирович** – аспирант.