

АНАЛИЗАТОР ИМПЕДАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко, Д.В. Генне, Д.С. Абраменко, А.Д. Подкользин

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск

В статье приведены данные научных исследований, по разработке усовершенствованного УЗ прибора, связанных с изучением влияния акустической нагрузки на параметры и характеристики ультразвуковых колебательных систем. Отличительной особенностью представленного УЗКС, является повышение эффективности работы ультразвуковых излучателей, а так же снижение их себестоимости. Преимуществом разработанного анализатора заключается в контроле импеданса и возможности своевременного выявления критических изменений.

Ключевые слова: УЗКС, микросхема, колебательная система, электронный генератор.

ВВЕДЕНИЕ

Разработчики ультразвуковых колебательных систем (УЗКС), в ходе их проектирования, большое внимание уделяют механическим параметрам УЗКС таким как: резонансная частота, геометрические конструктивные особенности, свойства материалов волноводных элементов, коэффициент усиления [1], распределение колебаний по рабочей поверхности УЗКС [2, 3] (например, инструменты для формирования протяженных швов при УЗ сварке), площадь или объем обрабатываемой среды, точка размещения пьезо-керамических элементов и т.п. В ходе создания УЗКС решается задача расширения функциональных возможности по частотному диапазону и обеспечение возможности эффективной работы в широком диапазоне акустических нагрузок. При этом проектирование конструкции осуществляется без учета влияния электронного генератора, т.е. колебательная система не рассматривается как электромеханический преобразователь, являющийся электрической нагрузкой на генератор.

Вместе с тем излучатель ультразвуковых колебаний, как нагрузка на электронный генератор, имеет комплексное сопротивление, величина и характер которого определяется всеми перечисленными (и не только) механическими параметрами УЗКС. Эффективная работа ультразвуковых технологических аппаратов возможна только при согласовании ультразвукового излучателя с электронным генератором [4], которое подразумевает компенсацию реактивных составляющих импеданса УЗКС (т.е. подключение дополнительных реактивных элементов на электрической стороне, для исключения реактивной составляющей у такой скорректированной нагрузки) и приведение ее активной величины до определенного значения.

Таким образом, контроль импеданса УЗКС, с одной стороны, может позволить оптимизировать про-

цесс согласования ее с электронным генератором. С другой стороны, контроль импеданса УЗКС может обеспечить диагностику механических параметров УЗКС для выявления влияния различных конструктивных особенностей и целенаправленного влияния на электрический импеданс УЗКС. Кроме того, контроль импеданса обеспечит своевременное выявление критических изменений, как при производстве УЗКС, так и уже «поработавших» УЗ колебательных систем.

На рынке измерительного оборудования присутствует ряд приборов [5], предназначенных для получения импедансных характеристик УЗКС. Все они являются очень сложными, дающими порой избыточную информацию, не имеющую практической значимости, а некоторые из них являются приставками и требуют подключения к ПК со специализированным ПО. Так же не маловажным фактором, влияющим на использование подобного оборудования, является его высокая стоимость.

Таким образом, целью данной работы является разработка недорогого анализатора, позволяющего получать импедансные характеристики УЗ излучателей, с преобразователями пьезоэлектрического типа.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Структура измерителя представлена на рисунке 1.

Он состоит из синтезатора частоты DSS, синусоидальный сигнал, с выхода которого, усиливается (усилитель А) и поступает на подключенную УЗ колебательную систему.

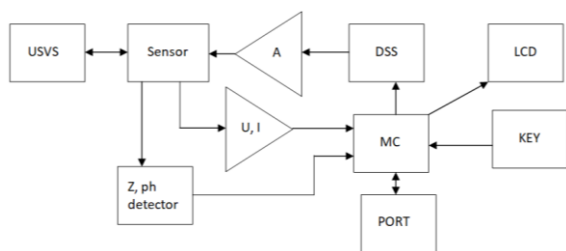


Рис. 1 – Структура измерителя импеданса УЗКС

Схема датчиков (sensor) формирует сигналы, пропорциональные напряжению и току, потребляемому УЗКС. По сути это блок, состоящий из резистивного делителя напряжения и резистивного токового датчика, необходимых для формирования сигналов обратной связи.

Эти два ВЧ сигнала обратной связи несут информацию о фазовом соотношении исходных сигналов (тока и напряжения на УЗКС). Далее эти сигналы поступают на входы устройства (Z, pH detector), которое, с одной стороны, является фазовым детектором, а с другой стороны реализует функцию деления сигналов, пропорциональных напряжению и току соответственно. Таким образом, на выходах этого блока, формируются два постоянных сигнала, пропорциональных отношению тока и напряжения на УЗКС, и их фазовому соотношению. Эти информационные сигналы поступают на аналоговые входы микроконтроллера MC, где оцифровываются и используются далее для расчетов основных параметров и характеристик УЗКС.

Кроме того, на аналоговые входы микроконтроллера поступают сигналы с выхода усилителя (U, I) совмещенного с амплитудным детектором, которые пропорциональны амплитуде тока и напряжения УЗКС.

Графический (LCD) дисплей, подключенный к микроконтроллеру, используется для оперативного отображения полученных параметров и характеристик УЗКС. Режимы работы прибора, а также тип отображаемой на дисплее информации задается при помощи органов управления KEY.

Коммуникационный порт (PORT) используется для подключения прибора к персональному компьютеру с целью протоколирования и последующей обработки полученной измерительной информации. Микроконтроллер MC так же управляет синтезатором частоты (DSS), задает частоту измерений или диапазон перестройки по частоте для получения частотных характеристик измеряемых параметров.

В качестве источника сигнала была использована микросхема AD9851, которая представляет собой цифровой синтезатор частоты синусоидального сигнала с возможностью перестройки в интересующем диапазоне (от 15 кГц до 200 кГц), с малым шагом по частоте. Структура микросхемы AD9851 показана на Рис. 2а

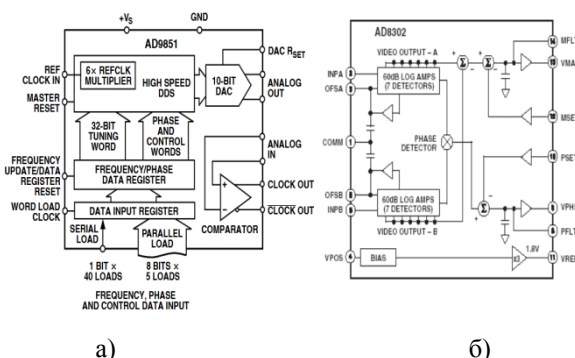


Рис. 2 – Структура микросхемы AD9851 (а), структура микросхемы AD8302 (б)

Одним из достоинств данной микросхемы является наличие цифрового интерфейса, который позволяет управлять ею при помощи внешнего управляющего контроллера, который присутствует в структуре разрабатываемой схемы.

В качестве узла, реализующего формирование сигнала пропорционального отношению напряжения и тока, протекающего через УЗКС, а также сигнала, пропорционального их фазовому соотношению используется микросхема AD8302 (фирма Analog Device), которая представляет собой аппаратно реализованный измеритель усиления/затухания и фазы сигналов. Структура этой микросхемы представлена на рис. 2б, которая состоит из двоякого логарифмического усилителя-измерителя амплитуды и фазового детектора.

Частоты контролируемых сигналов могут лежать в диапазоне от постоянного напряжения до 2.7 ГГц, что, конечно же, для поставленной задачи является избыточным, поскольку интерес представляет диапазон частот от 15 кГц до 200 кГц.

В ходе работы микросхемы AD8302 на ее выходах формируются два аналоговых сигнала. Первый пропорционален отношению амплитуд входных сигналов, второй – разности их фаз. По этим двум значениям можно рассчитать все характеристики УЗ преобразователя (активную, реактивную составляющие входного сопротивления УЗКС, комплексное сопротивление).

Рассмотренная структура прибора, можно сказать, является классической, а используемые в измерительном тракте специализированные микросхемы нашли применение в составе измерительных приборов применяемых для получения аналоговичных параметров и характеристик антенно-фидерных трактов, и имеют неплохие метрологические характеристики.

Отличительным элементом является разработанное оригинальное программное обеспечение, написанное для управляющего микроконтроллера (MC) и программное обеспечение для ПК, предназначенное для сбора, обработки и визуализации полученных характеристик.

Разработанный прибор позволяет определять следующие параметры и характеристики УЗКС:

- значение резонансных, антирезонансных частот в указанном диапазоне;
- импеданса на резонансной частоте (комплексный, модуль, а так же активная и реактивная составляющие);
- частотные характеристики модуля импеданса, а так же действительной и мнимой части импеданса УЗКС;
- добротность УЗ колебательной системы;
- АЧХ и ФЧХ тока УЗ колебательной системы.

На рис. 3 представлен внешний вид анализатора со снятой крышкой, на заднем фоне которого, в качестве примера, показаны полученные частотные характеристики импеданса стержневой УЗКС с преобразователем пьезоэлектрического типа.

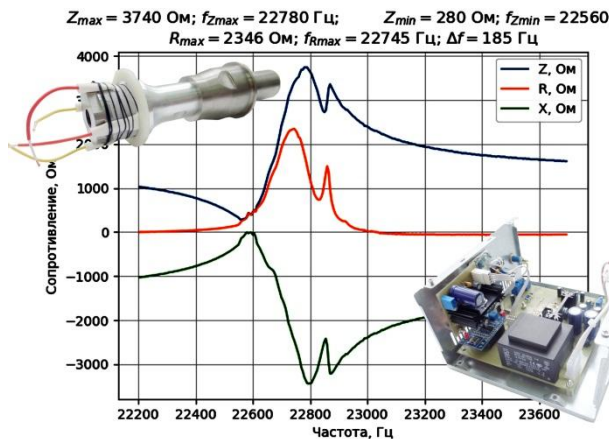


Рис. 3 – Фото измерительного блока анализатора на фоне полученных частотных характеристик

Известно, что акустическая нагрузка, влияет на параметры УЗКС [6–7], поэтому большое практическое значение имеет проведение измерений именно при наличии акустической нагрузки. Единственный минус данного анализатора заключается в том, что он не позволяет проводить измерения при силовом режиме работы УЗКС, что было бы интересно, поскольку в большинстве случаев в таком режиме меняется акустическая нагрузка и, соответственно меняются параметры УЗКС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный анализатор может быть использован не только для оценки параметров и характеристик, разработанных или уже существующих, ультразвуковых колебательных систем пьезоэлектрического типа, но и для проведения научных исследований, связанных с изучением влияния акустической нагруз-

ки на параметры и характеристики ультразвуковых колебательных систем [6, 7].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov, V.A. Nesterov, M.E. Vakar, “Development of ultrasonic welding technology by hand tool” 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2016: Novosibirsk, NSTU, 2016, pp 280-284 doi: 10.1109/EDM.2016.7538741
2. V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, A.V. Lehr, “The development of ultrasonic welder for the formation of continuous welding seams” XIII International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, Novosibirsk, NSTU, 2012, pp 148-156. doi: 10.1109/EDM.2012.6310207
3. V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, A.V. Lehr, “Studies of transformation of longitudinal ultrasonic vibrations into radial ones” XII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2011, Novosibirsk, NSTU, 2011, pp 288-291. doi: 10.1109/EDM.2011.6006971
4. V.N. Khmelev, D.V. Genne, R.V. Barsukov, D.S. Abramenko, A.N. Slivin, A.A. Romashkin, “Matching of electronic generators with piezoelectric vibrating systems for increase in efficiency of ultrasonic devices” 2010 11th Annual International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices, EDM’2010. doi: 10.1109/EDM.2010.5568790
5. TRZ Horn Analyzer [Online] Available: <http://www.atcp-ndt.com/products/piezo-and-ultrasonics/trz-horn-analyzer.html>
6. V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V. Ilchenko, “Method of Acoustic Load Control” International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM’2011: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2011, pp 236-240. doi: 10.1109/EDM.2011.6006959
7. V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V. Ilchenko, “The Ultrasonic Device for Treatment and Cosmetic Procedures” International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM’2012: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2012, pp 106-109. doi: 10.1109/EDM.2012.6310199

Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н., профессор Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854)432581, e-mail: vnkh@bti.secna.ru

Барсуков Роман Владиславович – к.т.н., доцент Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО АлтГТУ, тел. (3854)432570, e-mail: roman@bti.secna.ru

Ильченко Евгений Владимирович – инженер ООО «Центр ультразвуковых технологий», тел. (3854)432570, e-mail: iev@bti.secna.ru

Генне Дмитрий Владимирович – инженер каф. методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. (3854)432581, e-mail: gdv@bti.secna.ru

Абраменко Денис Сергеевич – доцент каф. методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. (3854)432581, e-mail: ades@bti.secna.ru

Подкозьин Алексей Дмитриевич – студент, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. 89994759390, e-mail: alexeypodkolzin95@gmail.com

ANALYZER OF IMPEDANCE CHARACTERISTICS OF ULTRASONIC VIBRATIONAL SYSTEMS

V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, E.V. Ilchenko, D.V. Genne, D.S. Abramenko, A.D. Podkolzin

Biysk Technological Institute (branch) of the federal state budget educational institution of higher professional education "Altai State Technical University named by I.I. Polzunov, Biysk.

The article presents the data of scientific research on the development of an advanced ultrasound device related to the study of the effect of acoustic loading on the parameters and characteristics of ultrasonic oscillatory systems. A distinctive feature of the UOS is the increase in the efficiency of ultrasonic radiators, as well as a reduction in their cost. The advantage of the developed analyzer is the control of impedance and the possibility of timely detection of critical changes.

Keywords: ultrasonic oscillatory system, microcircuit, oscillatory system, electronic generator.

REFERENCES

1. V.N. Khmelev, A.N. Slivin, A.D. Abramov, V.A. Nesterov, M.E. Vakar, "Development of ultrasonic welding technology by hand tool" 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2016: Novosibirsk, NSTU, 2016, pp 280-284 doi: 10.1109/EDM.2016.7538741
2. V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, A.V. Lehr, "The development of ultrasonic welder for the formation of continuous welding seams" XIII International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, Novosibirsk, NSTU, 2012, pp 148-156. doi: 10.1109/EDM.2012.6310207
3. V.N. Khmelev, A.N. Slivin, V.A. Nesterov, A.V. Lehr, "Studies of transformation of longitudinal ultrasonic vibrations into radial ones" XII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2011, Novosibirsk, NSTU. 2011, pp 288-291. doi: 10.1109/EDM.2011.6006971
4. V.N. Khmelev, D.V. Genne, R.V. Barsukov, D.S. Abramenko, A.N. Slivin, A.A. Romashkin, "Matching of electronic generators with piezoelectric vibrating systems for increase in efficiency of ultrasonic devices" 2010 11th Annual International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2010. doi: 10.1109/EDM.2010.5568790
5. TRZ Horn Analyzer [Online] Available: <http://www.atcp-ndt.com/products/piezo-and-ultrasonics/trz-horn-analyzer.html>
6. V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V. Ilchenko, "Method of Acoustic Load Control" International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2011: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2011, pp 236-240. doi: 10.1109/EDM.2011.6006959
7. V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V. Ilchenko, "The Ultrasonic Device for Treatment and Cosmetic Procedures" International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2012: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2012, pp 106-109. doi: 10.1109/EDM.2012.6310199

Khmelev Vladimir Nikolaevich – Deputy Director on scientific work, doctor of technical Sciences, Biysk technological Institute (branch) of the AltSTU, phone: (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.

Barsukov Roman Vladislavovich – associate Professor, Department of Methods and Means of Measurement and Automation, candidate of technical Sciences, Biysk technological Institute (branch) of the AltSTU, phone: (3854)432570, e-mail: roman@bti.secna.ru.

Ilchenko Evgeny Vladimirovich - research associate Department of Methods and Means of Measurement and Automation, Biysk technological Institute (branch) of the AltSTU, phone: (3854)432570, e-mail: iev@bti.secna.ru

Genne Dmitry Vladimirovich – engineer, Biysk Technological Institute (branch) of the AltSTU, phone: (3854)432570, e-mail: gdv@bti.secna.ru.

Abramenko Denis Sergeevich – associate professor docent, Biysk Technological Institute (branch) of the AltSTU, phone: (3854)432570, e-mail: ades@bti.secna.ru.

Podkolzin Alexey Dmitrievich – undergraduate, Biysk Technological Institute, ph. 89994759390, e-mail: alexeypodkolzin95@gmail.com