

Пути Совершенствования Ультразвукового Технологического Оборудования

Владимир Н. Хмелев, *Senior Member*, IEEE, Роман В. Барсуков, Евгений В. Ильченко
Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия
Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия

Аннотация – Статья посвящена разработке ультразвукового аппарата, оснащенного системой непрерывного контроля акустической нагрузки.

Ключевые слова – Ультразвук, электронный генератор, нагрузка, контроль.

I. ВВЕДЕНИЕ

ВСЕ БОЛЕЕ ШИРОКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ в различных сферах деятельности человека находят ультразвуковые (УЗ) технологические аппараты, предназначенные для воздействия на твердые, жидкие и газообразные среды с целью интенсификации процессов, протекающих в них, улучшения качества создаваемого продукта, реализации новых технологий, получения новых материалов с уникальными свойствами и т.п.

Современный УЗ технологический аппарат конструктивно состоит из двух основных составляющих: ультразвуковой колебательной системы (УЗКС) и ультразвукового электронного генератора (УЗГ), предназначенного для ее питания.

Ультразвуковые электронные генераторы обеспечивают питания колебательных систем электрическими колебаниями ультразвуковой частоты, вырабатываемыми за счет преобразования из электрических колебаний промышленной или бытовой сети. К функциям электронного генератора относится также обеспечение питания УЗКС электрическими колебаниями, частота которых соответствует резонансной частоте колебательной системы при всех возможных воздействиях на нее (система автоматической подстройки частоты – АПЧ) и обеспечение определенной амплитуды механических колебаний рабочего (излучающего) инструмента.

Уникальные результаты промышленного применения имеющихся УЗ аппаратов, возможность реализации процессов, не реализуемых без воздействия на процесс УЗ колебаний высокой интенсивности, позволили использовать разнообразнейшее, достаточно простое и «примитивное» по конструкции и схемотехнике УЗ оборудования, поскольку оно позволяло удовлетворять существовавшие ранее потребности. В связи с этим незначительное внимание уделялось развитию схемотехники и структуры современных ультразвуковых технологических аппаратов (УЗТА).

Вместе с тем, современные исследования [1 – 5] в направлении совершенствования УЗТА, комплексного изучения

системы «среда – излучатель - генератор», позволили выявить пути развития, совершенствования и оптимизации работы существующего ультразвукового оборудования.

Проведенные ранее исследования показывают, что все составляющие ультразвукового технологического аппарата и обрабатываемых сред взаимосвязаны друг с другом и, например, изменения свойств среды в процессе УЗ воздействия, смены одной среды на другую, смены рабочего инструмента приводит к снижению эффективности преобразования электрической энергии в ультразвуковую, снижению эффективности УЗ воздействия на процесс.

Результатом проведенных исследований стала оптимизация структуры современного генератора за счет реализации непрерывного контроля параметров генератора, колебательной системы и обрабатываемой среды при условии учета влияния:

- процессов, реализуемых в технологических средах под воздействием ультразвуковых колебаний высокой интенсивности;
- свойства обрабатываемых технологических сред;
- условия согласования электронного генератора с ультразвуковой колебательной системой при изменении свойств обрабатываемых сред;
- типа присоединяемого к ультразвуковой колебательной системе сменного рабочего инструмента.

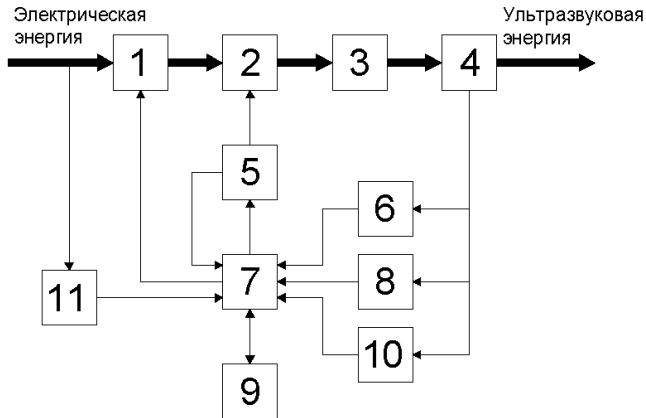
Интеграция системы непрерывного контроля и учета влияния перечисленных выше и других факторов позволили, в конечном итоге предложить и разработать новую структуру ультразвукового генератора, которая послужила основой созданного универсального ультразвукового технологического аппарата.

II. ТИПОВАЯ СТРУКТУРА УЗТА

На Рис. 1 представлена типовая структурная схема ультразвукового аппарата.

Ультразвуковой технологический аппарат работает под управлением микроконтроллера 7, который получает данные об амплитуде колебаний УЗКС, фазовом сдвиге между током и напряжением на УЗКС, позволяющие принимать решение о том, как необходимо регулировать амплитуду выходного напряжения и его частоту. Микроконтроллер позволяет программно реализовать систему автоматической подстройки частоты, систему стабилизации амплитуды, отслеживать возникновение аварийных ситуаций. В целом, с при-

менением микроконтроллеров схема ультразвукового генератора существенно упрощается. Таким образом, целесообразность использования микроконтроллеров для управления УЗТА не вызывает сомнений.



1 – управляемый источник постоянного напряжения; 2 – транзисторный инвертор; 3 – цепи согласования; 4 – УЗКС; 5 – генератор ультразвуковой частоты, управляемый напряжением; 6 – блок выделения амплитуды тока механической ветви; 7 – управляющий микроконтроллер; 8, 10 – сигналы для выделения разности фаз тока и напряжения; 9 – блок индикации; 11 – блок выделения сигнала синхронизации

Рис. 1. Структура УЗТА

Для электрического согласования УЗКС с электронным генератором (блок 3 Рис. 1) наибольшее применение нашла трансформаторно-дроссельная схема, представленная на Рис. 2.

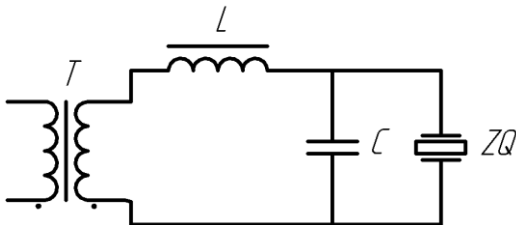


Рис. 2. Типовая схема согласования УЗКС и электронного генератора

В схему согласования входят высокочастотный трансформатор (Т), компенсационная индуктивность (L), включенной последовательно с пьезоэлектрическим преобразователем (ZQ) и добавочной емкостью (C).

Параметры трансформатора и LC контура связаны с параметрами УЗКС, такими как резонансная частота, механическая добротность, а так же свойствами обрабатываемой технологической среды.

При настройке ультразвукового аппарата резонансную частоту электрического LC контура выбирают как правило на несколько килогерц выше резонансной частоты механической системы. Это обеспечивает уменьшения изменения параметров УЗТА вследствие взаимных перемещений электрического и механического резонансов относительно друг друга, происходящих под влиянием температуры, изменяющихся параметров акустической нагрузки и др.

Поскольку параметры согласующего контура фиксированы, изменение акустической нагрузки влечет изменение условий согласования электронного генератора с УЗКС и приводит к снижению эффективности УЗ воздействия.

III. НОВАЯ СТРУКТУРА УЗТА

Проведенные ранее исследования, показали, что наиболее интересным и перспективным направлением развития УЗТА является применение системы непрерывного контроля параметров УЗКС, поскольку она позволяет без применения дополнительных датчиков, на основе косвенных измерений контролировать:

- свойства обрабатываемых сред (характер акустической нагрузки). Контроль характера акустической нагрузки (активный, реактивный, комплексный) позволяет в конечном итоге контролировать некоторые физические свойства сред, такие как коэффициент поглощения УЗ колебаний, вязкость, плотность и др. [6];

- типы рабочих инструментов, присоединяемых к УЗКС, которые отличаются друг от друга геометрией и площадью излучения [1, 5];

- процессы, протекающие в различных средах, при воздействии на них ультразвуковых полей (например, процесс развития кавитации в жидких средах, изменение физических свойств среды при процессах перемешивания, процесс перехода термопластичных материалов из твердого в вязкопластичное состояние при их УЗ сварке и т.п.) [1, 3].

Таким образом, возникают предпосылки создания УЗ оборудования, способного адаптировать параметры УЗ воздействия под изменяющиеся свойства обрабатываемых сред, изменяющиеся условия обработки.

Контроль частотных характеристик тока, протекающего через колебательную систему и напряжения на пьезоэлектрических элементах УЗКС, позволил получить параметры ее эквивалентной электрической схемы замещения, представленной на Рис. 3.

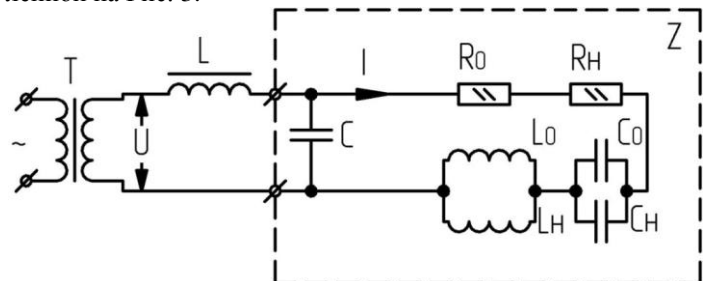


Рис. 3. Эквивалентная электрическая схема замещения УЗКС с пьезоэлектрическим преобразователем

В рассматриваемой эквивалентной электрической схеме: индуктивность L_0 – эквивалентна колеблющейся массе, обусловленной собственными свойствами (инерционными) ультразвуковой колебательной системы, электрическая емкость C_0 – эквивалентна упругости материала, из которого изготовлена ультразвуковая колебательная система, 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 пьезопреобразователя, $R_{ЭКВ}$ – активное сопротивление механической ветви, $L_{ЭКВ}$ – индуктивная составляющая импеданса механической ветви, $C_{ЭКВ}$ – емкостная составляющая импеданса механической ветви.

Контроль параметров при реализации УЗ воздействия на различные технологические среды [4,6] позволил установить наличие зависимости параметров ультразвуковых колебательных систем от свойств обрабатываемых технологических сред, режимов ультразвукового воздействия, площади рабочих инструментов УЗКС.

Так, в качестве примера, на Рис. 4 представлены зависимости активного сопротивления эквивалентной электрической схемы замещения УЗКС от тока механической ветви УЗКС. Зависимости получены для различных жидких сред (вода, спирт, ацетон) и различных рабочих инструментов (инструменты грибовидного типа диаметром 15 мм и 20 мм).

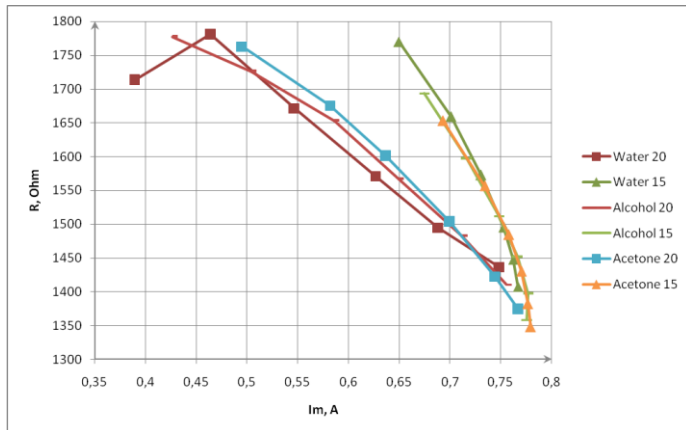


Рис. 4. Зависимость активного сопротивления эквивалентной схемы замещения УЗКС от тока механической ветви

Представленные зависимости иллюстрируют наличие влияния площади излучающего инструмента, свойств обрабатываемых сред на активную составляющую электрического импеданса УЗКС. Кроме того, из представленных зависимостей следует, что по мере увеличения тока механической ветви развивается кавитационный процесс. Это позволяет реализовать непрерывный контроль кавитационного процесса для обеспечения оптимального энергетического воздействия на различные технологические процессы (реализуемые с максимальной эффективностью при различных интенсивностях ультразвукового воздействия).

Выявленная и доказанная возможность реализации непрерывного контроля [4, 6] позволила предложить, разработать и интегрировать в структуру современного УЗ технологического аппарата измерительную систему, позволяющую контролировать параметры колебательной системы, электронного генератора и обрабатываемых сред и формировать управляющие воздействия для оптимизации УЗ воздействия при реализации любых технологических процессов, в различных условиях с учетом возможных влияющих факторов (температур, давлений, агрессивных химических воздействий и т.п.).

На Рис. 5 представлена разработанная структурная схема ультразвукового технологического аппарата, способного удовлетворять современным потребностям.

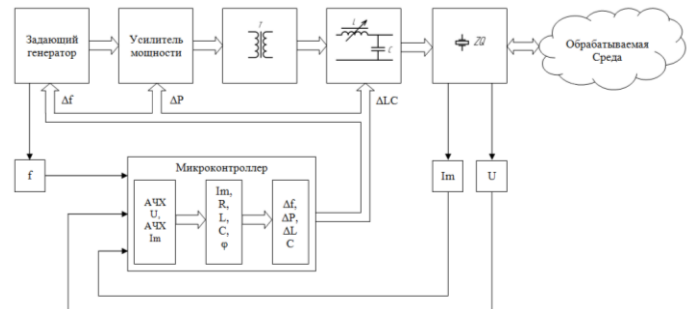


Рис. 5. Структура предложенного и разработанного УЗТА

Управляющий микроконтроллер непрерывно получает первичную измерительную информацию об электрических параметрах УЗКС в процессе нормальной работы УЗТА в виде амплитудно-частотных характеристик тока механической ветви I_m [7] и напряжения питания УЗКС U , измеряя их с помощью соответствующих блоков, и контролируя частоту с помощью блока f . Далее производится расчет параметров RLC элементов эквивалентной электрической схемы замещения УЗКС, а также фазового сдвига ϕ . Анализ полученных данных позволяет выполнить расчет управляющих воздействий Δf , ΔP , ΔLC , для корректировки параметров задающего генератора, усилителя мощности и изменения параметров согласующего LC контура.

Предложенная структура УЗТА позволяет создавать ультразвуковое оборудование, способное адаптировать в процессе работы свои параметры, как для оптимизации процесса преобразования электрической энергии в ультразвуковую, так и оптимизации процесса ультразвукового воздействия на процессы, протекающих в УЗ поле.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт создания ультразвуковых технологических аппаратов для применения в различных отраслях деятельности человека показал необходимость создания «интеллектуального» оборудования, способного, с одной стороны, учитывать влияние различных дестабилизирующих процесс факторов, снижающих эффективность работы оборудования, а, с другой стороны, способного непрерывно контролировать процессы, протекающие в различных технологических средах.

Предложенная концепция построения ультразвуковых технологических аппаратов позволит создать универсальное ультразвуковое оборудование и повысить эффективность ультразвукового воздействия при реализации различных технологических процессов и в различных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] 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.
- [2] Khmelev, V.N. Method of Control Acoustic Load [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, E.V. Ilchenko // International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2011: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2011. – P.236–240.
- [3] Khmelev, V.N. Practical Investigations of the Method of Indirect Parameter Checkout of the Acoustic Load Parameters [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, D.S. Abramenko, A.V. Shalunov, E.V. Ilchenko // International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro /

- Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2011: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2011. – P.241–244.
- [4] 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.
- [5] Khmelev, V.N., Parameter Monitoring of Ultrasonic Apparatuses at the Application of Different Working Tool [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, E.V. Ilchenko, Y.M. Kuzovnikov // International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2013: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2013. – P.109–111.
- [6] Способ контроля свойств жидких сред [Текст] пат. 2473076 Рос. Федерация: МПК G01N29/02 / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.В. Генне, Д.С. Абраменко, Е.В. Ильченко заявл. 12.07.2011; опубл. 20.01.2013
- [7] Способ управления процессом ультразвуковой липосакции [Текст]: пат. 2240073 Рос. Федерация: МПК7 А61В18/00, А61В17/32 / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Шалунов А.В; заявл. 13.03.2003; опубл. 20.11.2004.