

# Модуль Контроля Энергетических Характеристик Ультразвуковых Колебательных Систем

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

Бийский Технологический институт (филиал) филиал Алтайского технического университета им. И.И. Ползунова Бийск, Россия.

Центр ультразвуковых технологий Бийск Россия.

**Abstract** – Статья посвящается описанию модуля измерения выходной мощности ультразвукового генератора, рассмотрены схемные реализации, и область применения.

**Index Terms** – выходная мощность, ультразвук, энергия.

## I. INTRODUCTION

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВОГО воздействия определяет возможность реализации различных технологических процессов с максимальной производительностью и позволяет получать конечные продукты с заданным качеством. Энергия вводимых в процесс ультразвуковых (УЗ) колебаний является одним из основных параметров, характеризующих ультразвуковые технологические аппараты [1], а определяется эта энергия на основании контроля потребляемой пьезоэлектрической колебательной системой энергии (мощности) от электронного генератора.

Поскольку, при реализации технологических процессов возникает необходимость дозирования вводимой ультразвуковой энергии (например, особые требования по точности дозирования возникают при ультразвуковой сварке [3, 4, 6]), задача, организации непрерывного контроля мощности, потребляемой пьезоэлектрической колебательной системой в ходе УЗ воздействия, является актуальной.

Как было показано ранее [2, 5] входной электрический импеданс пьезоэлектрического преобразователя ультразвуковой колебательной системы сильно зависит от акустической нагрузки (обрабатываемой УЗ колебаниями технологической среды) и её физического состояния и внешнего воздействия (плотности, вязкости, температуры, давления). Все это усложняет решение задачи-поддержание одинакового режима воздействия в разных средах, особенно в тех случаях, когда акустические свойства обрабатываемой среды изменяются в процессе ультразвукового воздействия. Для анализа изменений параметров колебательных систем при

возможных внутренних и внешних воздействиях используются физические эквивалентные схемы замещения [2, 5] УЗ пьезоэлектрических преобразователей, простейшая из которых представлена на рис. 1.

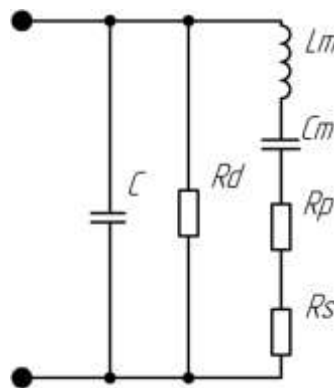


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема замещения УЗ пьезопреобразователя.

Здесь индуктивность  $L_m$  эквивалентна колеблющейся массе преобразователя, емкость  $C_m$  – гибкость, активное сопротивление  $R_p$  – сопротивление механических потерь,  $R_s$  – сопротивление излучения,  $C$  – электрическая (статическая) емкость пьезоэлектрического преобразователя,  $R_d$  – диэлектрические потери.

Из представленной на рисунке схемы замещения следует, что импеданс УЗКС имеет комплексный характер даже при работе на ее собственной резонансной частоте (активно-емкостной) [7, 8, 9]. Реактивность преобразователя обусловлена наличием статической емкости пьезоэлементов, входящих в состав УЗКС. Кроме того, на характер электрического импеданса УЗКС оказывают влияние акустические свойства обрабатываемых УЗ колебаниями сред, что в конечном итоге приводит не только к сдвигу фаз между потребляемым током и прикладываемым напряжением на пьезоэлементах УЗКС, но и к искажению их формы.

Это осложняет решение задачи контроля мощности и требует выбора рационального способа измерений.

## II МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ.

В настоящее время на практике используются несколько способов измерения активной мощности, потребляемой электрической нагрузкой. Рассмотрим возможности их применения к поставленной задаче.

Один из способов заключается в измерении действующих значений тока и напряжения, а также сдвига фаз между ними. При этом потребляемая мощность может быть рассчитана как:

$$P = IU \cos \varphi \quad (1)$$

Аппаратная реализация такого способа измерений несколько усложняется и требует применения специальных методов при работе с искаженными сигналами, форма которых существенно отличается от синусоидальной.

Недостатки рассмотренного способа могут быть преодолены при применении способа измерения активной мощности, основанного на измерении ее мгновенных значений с их последующим интегрированием (2).

$$P = \frac{1}{T} \sum IU \Delta t \quad (2)$$

Данный способ измерения мощности является более корректным, поскольку в этом случае не имеет значение величина сдвиг фаз между током и напряжением, а также форма исходных сигналов.

Реализация предложенного способа требует разработки способа практической реализации.

## III. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

Проведенный анализ современных подходов позволил предложить аппаратную реализацию выбранного способа на базе аналоговых умножителей, поскольку мгновенное значение потребляемой активной мощности это произведение мгновенных значений тока и напряжения.

В этом случае структурная схема измерительного модуля может быть представлена в виде, показанном на рис. 2.

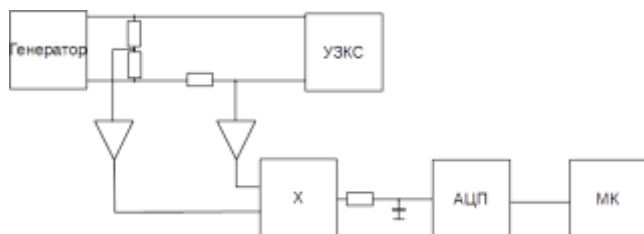


Рис. 2. Блок схема измерительного модуля.

Реализация процесса должна осуществляться следующим образом. Сигналы, пропорциональные напряжению и току, потребляемому УЗ колебательной системой, поступают на аналоговый умножитель (X).

В результате перемножения исходных сигналов, на выходе аналогового перемножителя присутствует периодический сигнал, постоянная составляющая которого пропорциональна потребляемой активной мощности. Для выделения этой постоянной составляющей в блок-схеме предусмотрена RC цепь, сигнал с выхода которой поступает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Оцифрованный сигнал передается на микроконтроллер (МК), который может являться как частью управляющей системы УЗ аппаратов, либо частью автономной измерительной системы.

Микроконтроллер МК осуществляет усреднение и расчет текущей потребляемой мощности, а так же расчет потребляемой энергии.

Рассматриваемая структура измерительного блока предусматривает наличие, как аппаратной, так и программной части. Программная часть подразумевает обработку оцифрованного сигнала пропорционального потребляемой нагрузкой мощности. Эта обработка включает масштабирование сигнала с учетом характеристик токового шунта и делителя напряжения. Далее масштабированный сигнал обрабатывается в зависимости от реализуемого технологического процесса. При ультразвуковой сварке выполняется интегрирование сигнала для расчета переданной в нагрузку энергии. Алгоритм работы сравнивает накопленную энергию с заданной, для определения момента окончания воздействия. В случае воздействия на жидкие среды происходит вычисление потребляемой мощности. Полученное значение текущей потребляемой мощности может использоваться для стабилизации вводимой в обрабатываемую среду энергии. При этом повышается качество обработки материалов.

## IV. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

На рис. 3 представлена схема электрическая принципиальная измерительного модуля, построенного на базе аналогового четырехквadrантного перемножителя AD633 фирмы Analog Device [10].

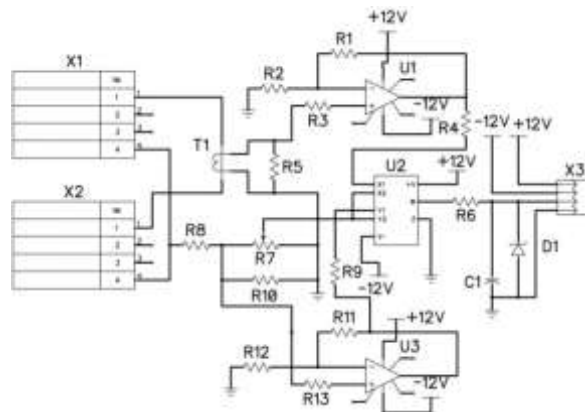


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема измерительного модуля.

Измеритель подключается в разрыв цепи между электронным генератором и УЗ пьезоэлектрическим преобразователем колебательной системы. Выход электронного УЗ генератора подключается к разьему X1, УЗ пьезопреобразователь подключается к разьему X2. Индуктивный токовый датчик Т1 обеспечивает формирование сигнала, пропорционального току, потребляемому УЗ излучателем. Резистивный делитель, собранный на элементах, R8, R7, R10, обеспечивает формирование сигнала, пропорционального напряжению на пьезокерамических элементах преобразователя УЗ излучателя. На элементах U1, R1, R2, R3 собран усилитель канала тока. На элементах U3, R11, R12, R13 собран усилитель канала напряжения.

Сформированные каналом тока и каналом напряжения сигналы поступают на аналоговый перемножитель U2. Элементы R6, C1 представляют собой интегрирующую цепь, обеспечивающую выделение постоянной составляющей выходного сигнала аналогового перемножителя, пропорциональной измеряемой мощности. Элемент D1 является защитным элементом, и ограничивает уровень выходного сигнала измерительного модуля на уровне +5В.

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный и реализованный в практическую конструкцию измерительный модуль прошел предварительные лабораторные испытания и может быть рекомендован для работы в составе, как самостоятельных измерительных устройств, так и в составе УЗ технологических аппаратов, для непрерывного контроля и управления параметрами ультразвукового энергетического воздействия.

Созданный измерительный модель имеет следующие основные характеристики:

диапазон измеряемых мощностей, Вт	10...1000
диапазон напряжение, В	100...2000
диапазон тока, А	0.1...10
диапазон рабочих частот, кГц	15...120.

Характеристики разработанного модуля позволяют использовать его в большинстве серийно выпускаемы ультразвуковых аппаратов май и средней мощности. Применение в ультразвуковых аппаратах разработанного модуля позволит повысить качество реализуемых процессов. Использование самостоятельного измерительного прибора на основе разработанного модуля позволит сократить время и повысить качество настройки ультразвуковых технологических аппаратов.

## ССЫЛКИ

- [1] A.E. Kolesnikov Ultrasonic measurements. 2th. ed. reclaiming and add. -M. : Standards Publishing House, 1982. -248p. in Russian

- [2] Zernov N.V., Karpov V. G. Theory of radio engineering circuits/ – Leningrad: Energy, 1972 – 816 p. in Russian
- [3] Gershgal D.A., Phredman V.M. Ultrasonic the technological equipment. - M.: Energy, 1976. - 318 p in Russian
- [4] Zmanovsky S.V., Tsyganok S.N., Shalunov A.V. The use of ultrasonic vibrations to improve the efficiency of sputtering aluminum melt / Scientific - Technical Gazette of the Volga region. 2011. - № 5. - P.135-140. in Russian
- [5] A.V.Donskoy, O.K.Keller, G.S.Kratysh Ultrasonic electrotechnological utility.. L.: Energoatomizdat. Leningrad., 1982. 208 p. in Russian
- [6] Raj Baldev, Rajendran V., Palanichi P. Ultrasound applications Moscow: Technosphere, 2006. - 576 p. in Russian
- [7] E. Kikuchi Ultrasonic Transducers M. : Mir 1972 424 p. in Russian
- [8] V.N. Khmelev, Barsukov R.V., Genne D.V., Abramenko D.S., Ilchenko E.V. Method of Control Acoustic Load // XII International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2011, Novosibirsk, NSTU. 2011. – P.236-240.
- [9] V.N. Khmelev, Genne D.V., Abramenko D.S., Barsukov R.V., Ilchenko E.V. The method of indirect control of the parameters of cavitating liquid media // XIII International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2012, Novosibirsk, NSTU, 2012. – P.135–139.
- [10] AD633 Low Cost Analog Multiplie [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD633.pdf>



**Vladimir N. Khmelev** (SM'04) is deputy director for scientific and research activity at Biysk technological institute, professor and lecturer, Full Doctor of Science (ultrasound), honored inventor of Russia, laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering, IEEE member since 2000, IEEE Senior Member since 2004. His scientific interests are in field of application of ultrasound for an intensification of various technological processes.



**Roman V Barsukov** has got engineer's degree at 1998 and Philosophy degree (Candidate of Engineering Sciences) at 2005. He is leading specialist in designing of modern electronic ultrasonic generation devices, laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering, docent and lecturer in Biysk Technological Institute. His research interests are in field of ultrasonic equipment and technologies and in applying of high intensive ultrasonic vibrations for intensifying of technological processes and for changing of materials and substances properties.



**Dmitry V. Genne** has got engineer's degree on information science and measuring engineering at 2006. He is engineer and lecturer in Biysk Technological Institute. He is leading specialist in controlling of treating parameters of variously applied ultrasonic equipment. His research interests are in development of high -power electronic generators for ultrasonic technological devices.



**Evgeniy V. Ilchenko** has got engineer's degree at 2012. He specializes in development and tuning of electronic schemes, and software development. His research interests are in field of measurements which are related to the applying of ultrasonic technological devices.