

# ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПУТИ РАЗВИТИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко  
ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», г. Бийск

В статье рассматриваются типовая структура современных ультразвуковых генераторов, предназначенных для работы в составе УЗ технологических аппаратов, применяемых для интенсификации различных физико-химических процессов. Современный УЗ генератор рассматривается не только как преобразователь электрической энергии бытовой или промышленной сети в энергию механических колебаний УЗ диапазона, но и как сложный объект, состоящий из ряда систем, работающих под управлением центрального микроконтроллера.

*Ключевые слова:* генератор, ультразвук, аппарат, структура, ультразвуковые технологии.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные ультразвуковые (УЗ) генераторы представляют собой не просто устройства преобразующие энергию электрической сети в энергию электрических колебаний ультразвуковой частоты. Современные генераторы – это сложные устройства, состоящие из множества подсистем, совместная работа которых происходит под управлением микроконтроллеров. Доступность и широкий выбор современных микроконтроллеров, интеграция их в структуру УЗ генераторов, возможность программной реализации различных алгоритмов управления и систем, возможность учета особенностей реализации тех или иных УЗ технологий, позволили реализовать структуру современного УЗ генератора с гибким программным ядром, позволяющую решать широкий спектр задач.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основу любого УЗ генератора (УЗГ) составляет тракт преобразования электрического напряжения бытовой или промышленной сети в электрическое напряжение ультразвукового диапазона (выше 18 кГц) требуемой величины. Поскольку ультразвуковые колебательные системы (УЗКС) в большинстве своем являются резонансной нагрузкой на УЗГ, параметры которой (добротность, резонансная частота) могут сильно изменяться от величины акустической нагрузки, то одной из важных систем в структуре УЗГ является система автоматической подстройки частоты (АПЧ). Второй, не менее важной системой в структуре УЗГ является система управления амплитудой колебаний излучающей поверхности рабочего инструмента УЗКС, которая в конечном итоге определяет энергетические параметры УЗ воздействия на технологическую среду.

Структура современных УЗ генераторов не ограничивается этими тремя элементами, и в зависимости от области применения, реализуемого УЗ процесса,

может существенно отличаться. На рис. 1 представлена структура современного УЗ генератора. **Выпрямитель/регулятор мощности** представляет собой выпрямитель сетевого напряжения, совмещенный с регулятором напряжения. Существуют варианты подключения, как к однофазной, так и к трехфазной электрической сети. В качестве регулятора напряжения чаще всего используется тиристорный регулятор. В качестве регулятора напряжения можно использовать так называемые чопперные схемы. Для отдельных образцов УЗ техники этот узел может быть дополнен корректором мощности, позволяющим существенно повысить качество потребляемой электрической энергии из питающей сети.

**ВЧ преобразователь** представляет собой транзисторный мостовой или полумостовой инвертор, частота преобразования которого лежит в УЗ диапазоне и определяется **задающим генератором**. В качестве силовых элементов (транзисторных ключей) могут выступать как дискретные элементы, так и силовые модули.

**Узел согласования с УЗКС** представляет собой согласующее звено между ВЧ преобразователем и ультразвуковой колебательной системой и состоит из ВЧ трансформатора и согласующих LC звеньев. Параметры узла согласования определяются характеристиками УЗКС и свойствами обрабатываемой технологической среды. В некоторых случаях применяются согласующие элементы с переменными параметрами, что позволяет в процессе работы корректировать условия согласования УЗГ с колебательной системой.

**УЗКС** – ультразвуковая колебательная система, является электромеханической системой, функциями которой, с одной стороны, является эффективное преобразование электрической энергии в энергию механических колебаний и ввод ее в технологические среды, с другой стороны УЗКС является элементом обратной связи (чувствительным элементом системы обратной связи УЗГ). По сути УЗКС можно рассмат-

ривать как объект управления, контролируя параметры которого ультразвуковым генератором формируются оптимальные управляющие воздействия.

Рассмотренная группа элементов структуры УЗ генератора является элементами силового тракта, параметры которых определяют мощность УЗ аппарата в целом.

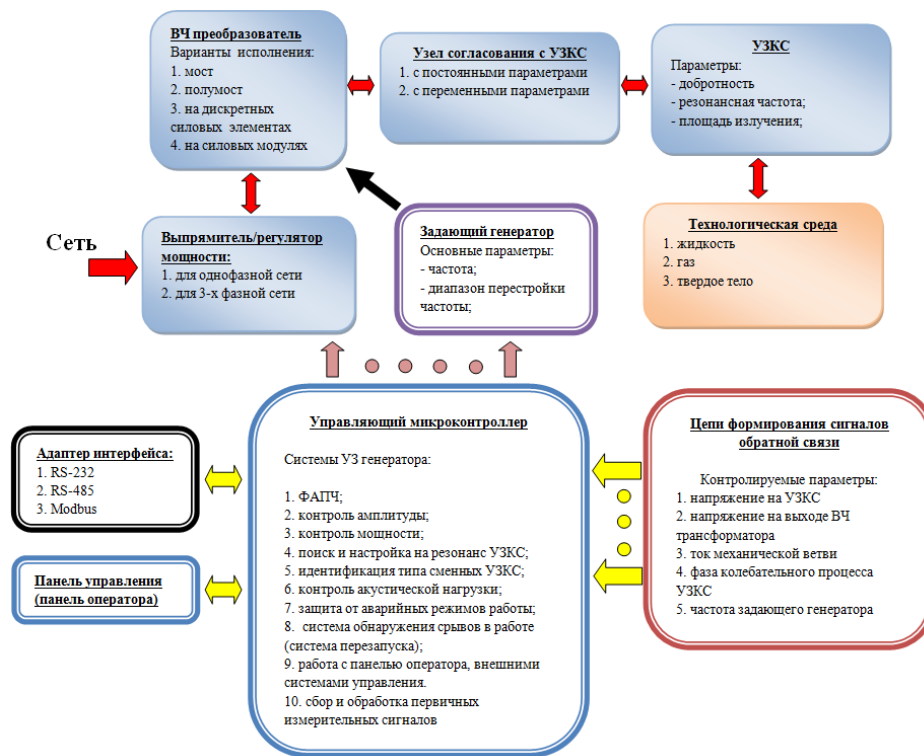


Рис. 1. Структура современного ультразвукового генератора

Рассмотренная группа элементов структуры УЗ генератора является элементами силового тракта, параметры которых определяют мощность УЗ аппарата в целом.

Поскольку оптимальная работа УЗ аппарата возможна только при непрерывном контроле параметров УЗКС, параметров электронного генератора, а так же свойств обрабатываемых сред в структуре УЗ генератора присутствуют *цепи формирования сигналов обратной связи*. Этот узел формирует первичные измерительные сигналы, несущие информацию о частоте задающего генератора, величине тока механической ветви УЗКС, напряжении на пьезокерамических элемента преобразователя УЗКС, фазе колебательного процесса УЗКС, потребляемой мощности и др.

*Управляющий микроконтроллер* УЗ генератора является элементом, под управлением которого работают все узлы и системы электронного генератора. Управляющий микроконтроллер является составной частью всех систем электронного генератора. Под управлением микроконтроллера работают такие системы как, система автоматической подстройки частоты, система стабилизации амплитуды механических колебаний УЗКС, система контроля мощности,

система поиска и настройки на резонансную частоту УЗКС, причем управляющий микроконтроллер не просто управляет этими системами, а реализует часть их функций в части контроля, принятия решений, выработки управляющих воздействий.

Наличие вычислительных ресурсов в виде управляющего микроконтроллера дало возможность на основе первичных измерительных сигналов, получать вторичные измерительные данные, выполнять их более сложный анализ, что позволило в конечном итоге контролировать, например:

- процесс сварки термопластичных материалов, путем анализа характера изменения кривой тока, потребляемого УЗКС в процессе сварки [1];
- некоторые физические процессы, протекающие в УЗ полях, связанные с изменением акустических обрабатываемых сред, за счет контроля параметров УЗКС непосредственно контактирующих с технологическими средами [2, 3];
- кавитационные явления, возникающие в жидких средах, степень их развития, так же счет контроля параметров УЗКС непосредственно контактирующих с технологическими средами [4, 5]. Так, например, возможность удержания режима развитой кавитации позволила, повысить КПД ультразвуковых

установок в целом, увеличить эффективность их работы.

Возможность получения параметров и характеристик подключаемых к УЗ генератору различных колебательных систем позволило решить проблему автоматической идентификации сменных УЗКС.

**Панель оператора** позволяет обслуживающему персоналу управлять УЗ аппаратом, а так же контролировать основные его параметры. Кроме того, существует возможность подключения современных УЗ аппаратов к внешним управляющим системам, встраивать их в имеющиеся системы автоматического управления технологическими процессами.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая структура, ее полная или упрощенная реализация, позволяет создавать УЗ технологические аппараты [6], применяемые в различных отраслях промышленности, медицины, сельском хозяйстве, быту. Наличие управляющих микроконтроллеров, автоматизации процесса УЗ воздействия на технологический объект, позволили упростить работу с УЗ технологическим оборудованием, снизить требования к обслуживающему персоналу.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Способ герметизации картриджей для очистки воды [Текст]: пат. 2241599 Рос. Федерация: МПК7 В29С65/08 / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.Н. Сливин, А.В. Шалунов, И.И. Савин,

М.В. Хмелёв, С.В. Левин; заявл. 11.12.2003; опубл. 10.12.2004.

2. Khmelev, V.N. Determination of the concentrations of water solutions during their cavitation processing [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, E.V. Ilchenko, N.S. Popova // 16th International Conference on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2015: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2015. – P. 245–248.

3. Пат. 2473076 Российская Федерация, МПК G 01 N 29 02. Способ контроля свойств жидких сред [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.В. Генне, Д.С. Абраменко, Е.В. Ильченко; заявитель и патентообладатель ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ». – номер заявки: 2011128957/28. Заявл. 07.12.2012 Опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2.

4. 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.

5. 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.

6. Ультразвук. Аппараты и технологии: монография [Текст] / В.Н. Хмелев [и др.]. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015.— 688 с.

*Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н., заместитель директора по научной деятельности ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел. (3854)432570, e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

*Барсуков Роман Владиславович – к.т.н., инженер электронщик ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ», тел. (3854)432570, e-mail: roman@bti.secna.ru.*

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

# THE PRINCIPLES OF CONSTRUCTION AND WAYS OF DEVELOPMENT OF ULTRASONIC ELECTRONIC GENERATORS

**V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, E.V. Ilchenko**

*ООО «Center of Ultrasonic Technologies», Biysk*

**Abstract** – The article discusses the typical structure of modern ultrasonic generators designed for operation in the ultrasonic technological devices that are used for intensification of different physical-chemical processes. Modern ultrasonic generator is considered not only as a converter of electric energy into energy of mechanical oscillations of ultrasonic range. The ultrasonic generator is considered as a complex object consisting of multiple systems that are running the central microcontroller.

*Index terms:* generator, ultrasound, apparatus, structure, ultrasonic technology.

## REFERENCES

1. Khmelev, V.N. [et. al], A method of sealing cartridges for water purification: Pat. 2241599 Russian Federation: December 10, 2004.
2. Khmelev, V.N. Determination of the concentrations of water solutions during their cavitation processing [Текст] / V.N. Khmelev, R.V. Barsukov, D.V. Genne, E.V. Ilchenko, N.S. Popova // 16th International Conference on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2015: Conference Proceedings. – Novosibirsk, NSTU, 2015. – P. 245–248.
3. Khmelev, V.N. [et. al], A method for the liquid media properties control: Pat. 2473076 Russian Federation, January 20, 2013,
4. Khmelev, V.N. [et. al] Cavitating Liquid Medias Parameters Control During Ultrasonic Impact “Polzunovsky Gazette”. – 2012. Vol. 2/1. – pp.154–159.
5. Khmelev, V.N. [et. al] Control properties of technological environments exposed to high intensity ultrasonic fields “Sensors and Systems”, vol. 6, pp. 52 – 56, 2013
6. Khmelev, V.N. [et. al] Ultrasound. Apparatus & Technologies. Biysk: AltGTU Publishing, 2015.

*Khmelev Vladimir Nikolaevich – Deputy Director for Science, “Center of ultrasonic technologies AltGTU” Ltd , (3854)432470, e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

*Barsukov Roman Vladislavovich – electronics engineer, “Center of ultrasonic technologies AltGTU” Ltd, (3854)432570, e-mail: roman@bti.secna.ru*

*Ilchenko Evgeny Vladimirovich – electronics engineer, “Center of ultrasonic technologies AltGTU” Ltd, (3854)432470, e-mail: iev@bti.secna.ru.*