

Развитие Электронных Генераторов Ультразвуковых Технологических Аппаратов

Владимир Н. Хмелев, Дмитрий В. Генне, Денис С. Абраменко, Роман В. Барсуков, Евагений В. Ильченко, Сергей Н. Цыганок

Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия
Центр ультразвуковых технологий, Бийск, Россия

Аннотация – Статья посвящена разработке ультразвуковых генераторов. Рассматриваются варианты управления амплитудой механических колебаний.

Ключевые слова – Ультразвук, генератор, амплитуда механических колебаний.

амплитуда механических колебаний. Управление амплитудой механических колебаний осуществляется путем изменения напряжения питания ультразвуковой колебательной системы[1].

I. ВВЕДЕНИЕ

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ГЕНЕРАТОР является одним из важнейших компонентов ультразвукового технологического аппарата, он обеспечивает питание ультразвуковой колебательной системы поддерживая оптимальный режим её работы.

II. СТРУКТУРА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Ультразвуковой генератор является сложным электронным прибором объединяющим в себе как силовые модули так и измерительные цепи с управляющими микропроцессорными системами. Общая структурная схема ультразвукового генератора[2] представлена на рис. 1.

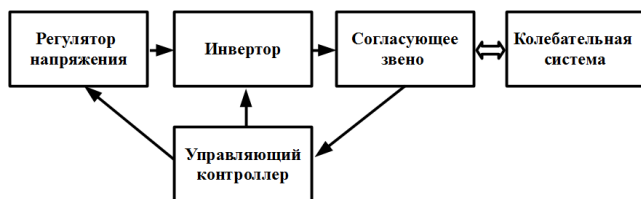


Рис 1 Общая структурная схема ультразвукового генератора

Основные задачи выполняемые генератором это преобразование напряжения промышленной сети (220В 50Гц) в напряжение пригодное для питания пьезоэлектрического преобразователя ультразвуковой колебательной системы. Поскольку УЗКС является резонансной нагрузкой подверженной внешнему воздействию со стороны обрабатываемой среды необходимо поддержание частоты выходного напряжения в зависимости от изменяющихся условий работы УЗКС. За поиск и поддержание рабочей частоты УЗКС отвечает микропроцессорный блок управления на основе алгоритмов заложенных в нем. Вторым параметром определяющим эффективность ультразвукового воздействия является

III. УПРАВЛЕНИЕ АМПЛИТУДОЙ КОЛЕБАНИЙ

Стабильность амплитуды механических колебаний рабочего окончатия Ультразвуковой колебательной системы является одним из важнейших параметров влияющий на протекание технологического процесса. Это обусловлено как стабильностью вводимой энергии во время ультразвукового воздействия, так и повторяемостью (при серии воздействия). Применительно к различным технологическим процессам существуют свои требования к качеству поддержания амплитуды механических колебаний.

A. Воздействие на жидкие среды.

Одним из самых не требовательных к стабилизации амплитуды колебаний является процесс обработки жидких сред [7] в следствии его инерционности и как правило достаточно длительного времени воздействия. Тем не менее при обработке малых объемов (пробирки) необходимо снижать уровень пульсаций амплитуды колебаний для уменьшения разбрызгивания обрабатываемого материала. В случае обработки жидкости под переменным давлением для компенсации влияния переменного давления.

B. Размерная обработка.

В процессе размерной обработки хрупких материалов[6] необходимо обеспечивать не только стабильную амплитуду но и профиль амплитуды (зависимость амплитуды колебаний от глубины засверливания). Нестабильность амплитуды колебаний может приводить к образованию сколов и ухудшению качества обрабатываемой поверхности.

C. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов.

Самым требовательным к качеству поддержания амплитуды механических колебаний является процесс ультразвуковой сварки[4]. Амплитуда механических колебаний является основным параметром влияющим на

качество формируемого сварного шва. Помимо стабильности амплитуды механических колебаний в процессе ультразвуковой сварки предъявляются жесткие требования по быстродействию (скорость нарастания и спада амплитуды колебаний) в следствии скоротечности процесса формирования сварного шва (0,1-0,5 сек.) [4]. Процесс формирования сварного шва требует больших амплитуд (50-100мкм) что является близким к максимально допустимым значениям для применяемых титановых сплавов. Все это предъявляет особые требования к управлению амплитудой колебаний такие как высокое быстродействие, стабильность поддержания заданной амплитуды, и малые перерегулирования из за возможного разрушения сварочных инструментов большой амплитудой колебаний.

Традиционно применяемые в качестве исполнительных механизмов тиристорные регуляторы напряжения не могут обеспечить требования предъявляемые к качеству управления амплитудой механических колебаний из за присущей им инерционности и повышенного уровня пульсаций.

Инерционность тиристорных регуляторов обусловлена необходимостью применения относительно больших фильтрующих емкостей на выходе регулятора.

Оценить требуемую ёмкость фильтрующего конденсатора можно по формуле (1) [8]

$$2\pi f \cdot C_{out} \gg \frac{1}{R}. \quad (1)$$

Единственный способ уменьшения инерции регулятора это уменьшение фильтрующей емкости, а при прочих равных условия это возможно только при увеличении рабочей частоты регулятора. Этого можно достичь используя в качестве регулятора импульсного понижающего преобразователя (чоппер)[5] с рабочей частотой преобразования более 20 кГц, такое повышение частоты позволит уменьшить фильтрующую емкость в 10-100раз, что позволит увеличить быстродействие регулятора в целом.

Применение импульсного преобразователя в качестве регулятора требует подачи на его вход выпрямленного и желательного стабилизированного напряжения в связи с этим возникает необходимость применения больших фильтрующих емкостей на выходе выпрямителя что как и тиристорный регулятор ухудшает режим работы выпрямителя и приводит к искажениям потребляемого из сети тока[5].

В связи с возрастающими требованиями к качеству потребляемого из сети тока все чаще в состав современного электронного оборудования включают корректор коэффициента мощности что позволяет не только снизить искажения потребляемого из сети тока но и стабилизировать напряжение питания регулятора.

Качество потребляемого из сети тока регламентируется [3] и для ультразвукового оборудования с потребляемым током до 16 А данные приаедены в таб. I.

Потребление тока из сети при использовании тиристорного регулятора представлена в таб. II.

Потребление тока из сети при использовании импульсного регулятора с активным корректором коэффициента мощности представлена в таб. III.

Как видно из таблиц 2 и 3 применение корректора коэффициента мощности позволяет существенно снизить амплитуды высших гармоник в потребляемом из сети токе.

ТАБЛИЦА I
 КАЧЕСТВО ПОТРЕБЛЯЕМОГО ИЗ СЕТИ ТОКА ДЛЯ
 УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОТРЕБЛЯЕМЫМ ТОКОМ
 ДО 16 А

№ гармонической составляющей	Максимально допустимое значение гармонической составляющей тока
не четные	
3	2,3
5	1,14
7	0,77
9	0,4
11	0,33
четные	
2	1,08
4	0,43
6	0,3

ТАБЛИЦА II
 ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОКА ИЗ СЕТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
 ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА

№ гармонической составляющей	Потребляемый из сети ток А *
1	1,25
2	0,01
3	1,17
4	0,02
5	1,123

*Потребляемая из сети мощность 240Вт

ТАБЛИЦА III
 ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОКА ИЗ СЕТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
 ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЯТОРА

№ гармонической составляющей	Потребляемый из сети ток А *
1	1,45
2	0,002
3	0,08
4	0,001
5	0,077

*Потребляемая из сети мощность 315Вт

Применение более качественного регулятора напряжения совместно с модернизированными алгоритмами управления позволило повысить электроакустический КПД с 63% у генераторов с тиристорным регулятором до 67% у генераторов с импульсными регуляторами напряжения при обработке водных растворов.

VI. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНЫХ РЕАЛИЗАЦИЙ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ АМПЛИТУДОЙ В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ГЕНЕРАТОРАХ.

А. Генераторы с тиристорным регулятором.

Из-за низкого быстродействия регулятора оптимальным является промежуточный вариант между пропорциональным и двухпозиционным регулятором.

Пропорциональный закон регулирования в ультразвуковых аппаратах (особенно, предназначенных для сварки термопластичных материалов) используется крайне ограниченно. При первоначальном включении аппарата или при резкой смене нагрузки на колебательную систему шаг изменения мощности может оказаться достаточно большим. В результате возникает дополнительная нагрузка на элементы регулятора мощности. Кроме того, из-за большой

инерционности регулятора практически неизбежно появление модуляции амплитуды на выходе УЗ аппарата.

Поэтому, шаг изменения текущего значения мощности, обычно, выбирают фиксированным. Причем на уменьшение мощности шаг устанавливается больше, поскольку кратковременное превышение амплитуды может привести к значительному ухудшению качества выполняемого процесса. Шаг может зависеть от значения разности между текущим и требуемым уровнем амплитуды, но обычно, используется не более 2—3 величин шагов.

Необходимость в использовании аналогового компаратора для экстренного выключения УЗ аппарата в случае чрезмерно быстрого изменения амплитуды колебаний. В этом случае тиристорный регулятор просто закрывается, но остаточного заряда конденсаторов иногда достаточно для работы в течение около 1 секунды.

Необходимость синхронизации с фазой сетевого напряжения. Это необходимо для фазового способа регулирования напряжения. Если сетевое напряжение сильно зашумлено (помехи от мощного промышленного оборудования), это может сказываться на стабильности выходного напряжения, а соответственно и на амплитуде механических колебаний.

В. Генераторы с импульсным регулятором.

В качестве основного закона регулирования предпочтительно использовать ПИ регулятор, что обеспечивает быстрое установление требуемой амплитуды колебаний, поддержание уровня амплитуды неизменным при резких изменениях акустической нагрузки.

Благодаря высокому быстродействию регулятора нет необходимости в использовании аналогового компаратора, поскольку резких всплесков амплитуды не возникает независимо от ситуации.

Синхронизация с сетью не требуется, что повышает надежность УЗ аппарата при низком качестве питающего напряжения.

У. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение современных схемотехнических решений совместно с оптимизацией алгоритмов управления в ультразвуковых генераторах позволило повысить их эксплуатационные характеристики. Использование корректоров коэффициента мощности позволяет не только снизить искажения потребляемого из сети тока но и уменьшить влияние изменения напряжения в питающей сети. Применение импульсных регуляторов напряжения позволяет увеличить скорость нарастания механической амплитуды колебаний и стабильность её поддержания на заданном уровне при изменяющихся внешних условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Barsukov, R. V., Abramenko D. S., Ilchenko E. V. Increase in Efficiency of Operation of Ultrasonic Processing Devices (Based on Welding of Thin Sheets) // 12th International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2011: Novosibirsk, NSTU, 2011.
- [2] Barsukov, R.V. Genne, D.V Abramenko D.S., Ilchenko E.V. Method of Control Acoustic Load // 12th International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2011: Novosibirsk, NSTU, 2011. – P.236–240.

- [3] ГОСТ30804.3.2-2013.
- [4] Khmelev, V. N., Genne D. V., Khmelev S. S., Abramenko D. S., Automating of process of ultrasonic welding of thermoplastic materials // XV International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2014: NSTU.
- [5] Semenov B. Y. Power electronics: from simple to complex. - M.: SOLON-PRESS, 2008, -- 416.p.:il. (in Russian).
- [6] Khmelev V.N., Nesterov V.A., Khmelev S.S., Genne D.V., Tsyganok S.N., Kostenko V.I. The development of experimental sample of ultrasonic equipment for the intake of lunar soil // 13th Annual International Conference and Seminar of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2012 - Proceedings" 2012. С. 162-169.
- [7] Khmelev V.N., Khmelev S.S., Abramenko D.S., Tsyganok S.N. Effectiveness increase of ultrasonic cavitation processing of viscous liquid // EDM - Proceedings 2009 International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2009. Сер. "2009 International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2009" sponsors: Novosibirsk State Technical University, IEEE Russia Siberia Section, IEEE Novosibirsk Joint ED/MTT/CPMT/COM/SSC Chapter. Novosibirsk, 2009. С. 262-265.
- [8] Preobragenskiy V.I. Semiconductor rectifiers. – M.; Energy, 1976 (in Russian).