

Адаптивная Система Согласования Электронного Генератора С Пьезоэлектрической Ультразвуковой Колебательной Системой Для Различных Технологических Задач

Владимир Н. Хмелёв д.т.н. *Senior Member*, IEEE, Дмитрий В. Генне *Student Member*, IEEE,
Роман В. Барсуков, к.т.н., Сергей Н. Цыганок, к.т.н.
Бийский технологический институт (филиал)
ГОУ ВПО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Аннотация – Статья посвящена проблемам согласования ультразвуковых колебательных систем с электронными генераторами, для автоматического поддержания оптимального режима передачи энергии от электронного генератора к ультразвуковой колебательной системе.

Ключевые слова – согласование, пьезоэлектрический преобразователь, ультразвуковой генератор, УЗКС, дроссель, булава.

I. ВВЕДЕНИЕ

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности.

Применение ультразвуковых колебаний позволяет интенсифицировать большинство процессов, которые в обычных условиях протекают относительно медленно. Это пропитка, эмульгирование, диспергирование, экстракция, большая часть химических реакций. Существует ряд чисто ультразвуковых технологий - это фасонная обработка хрупких материалов, таких как стекло, камень, сварка термопластичных материалов, кавитационная очистка изделий и материалов.

Ультразвук нашёл своё применение и в медицине, с его помощью не только диагностируют заболевания внутренних органов, но и проводятся бескровные операции по удалению злокачественных новообразований.

II ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для воздействия на различные технологические среды и материалы применяются ультразвуковые технологические аппараты, которые осуществляют преобразование электрической энергии промышленной сети в механические колебания с ультразвуковой частотой и ввод их в

обрабатываемую среду (материал). Независимо от назначения ультразвуковые технологические аппараты состоят из электронного генератора и ультразвуковой колебательной системы. Электронный генератор осуществляет преобразование электрической энергии сети переменного тока в электрические колебания ультразвуковой частоты для питания ультразвуковой колебательной системы. Ультразвуковая колебательная система (УЗКС) выполняет преобразование электрических колебаний в механические колебания рабочей поверхности и ввод их в обрабатываемую среду или материал.

В настоящее время большое распространение получили ультразвуковые колебательные системы с пьезоэлектрическими преобразователями.

Пьезоэлектрическая колебательная система в общем случае является комплексной электрической нагрузкой на электронный генератор и её непосредственное подключение к нему приводит к снижению эффективности передачи энергии. В связи с этим необходимо осуществлять согласование электронного генератора и ультразвуковой колебательной системы, для обеспечения оптимального режима работы всей технологической установки.

III. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

На Рис. 1 представлена электрическая схема замещения пьезоэлектрического преобразователя работающего в нерезонансном режиме [1].

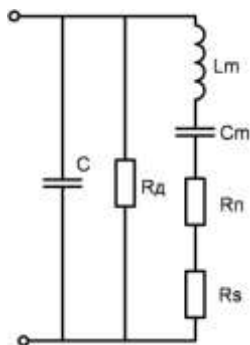


Рис. 1. Эквивалентная схема пьезоэлектрической колебательной системы вблизи резонансной частоты

Здесь индуктивность L_m эквивалентна колеблющейся массе преобразователя, емкость C_m – гибкость, активное сопротивление R_n – сопротивление механических потерь, R_s – сопротивление излучения, C – электрическая (статическая) емкость пьезоэлектрического преобразователя, R_d – диэлектрические потери. Сопротивление механических потерь обусловлено внутренним трением частиц материала при колебаниях, а также потерями механической энергии в местах крепления преобразователя. Сопротивление излучению определяется параметрами излучателя и пропорционально волновому сопротивлению среды. Электрическая емкость пьезоэлектрического преобразователя обусловлена геометрическими размерами и диэлектрической проницаемостью используемых пьезоэлементов.

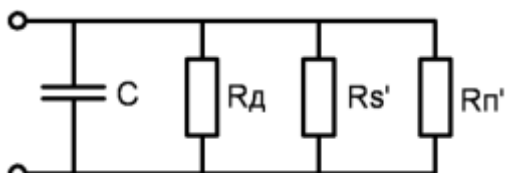


Рис. 2. Эквивалентная схема пьезоэлектрической колебательной системы на резонансной частоте

На резонансной частоте механического контура (L_m C_m) электрическая эквивалентная схема пьезоэлектрического преобразователя преобразуется к виду представленному на Рис. 2. Здесь R_s' и R_n' – сопротивления, приведенные к параллельной схеме [1]. Как видно из эквивалентной схемы пьезоэлектрического преобразователя он является комплексной нагрузкой определяемой в основном емкостью пьезоэлектрического преобразователя. Подключение такой нагрузки напрямую к электронному генератору приводит к снижению эффективности передачи энергии в нагрузку, а, следовательно, и снижению эффективности ультразвукового воздействия на обрабатываемый объект.

IV. КОМПЕНСАЦИЯ СТАТИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Выше говорилось о том, что колебательная система, работая на своей резонансной частоте, является электрической активно-емкостной нагрузкой для электронного генератора. Для компенсации статической емкости пьезоэлектрического преобразователя используется способ, представленный на Рис. 3. Последовательно с пьезоэлектрическим преобразователем включается дроссель [2]. Индуктивность дросселя выбирается такой, чтобы резонанс электрического последовательного колебательного контура находился на несколько (3-4) килогерц выше, частоты механического резонанса (резонансная частота колебательной системы). Это позволяет приблизить характер электрической нагрузки, подключаемой к генератору, к активному (при работе на резонансной частоте УЗКС).

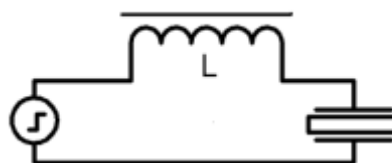


Рис. 3. Компенсация статической емкости пьезоэлектрической колебательной системы

Такой способ согласования имеет определённые недостатки. При изменении температуры пьезопреобразователя изменяется электрическая емкость его пьезоэлементов, что влечет за собой изменение условия согласования. Изменение параметров среды (вязкость, акустический импеданс, давление и т.д.) также приводит к изменению условия согласования.

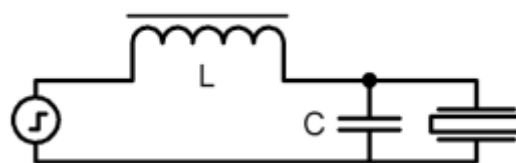


Рис. 4. Способ уменьшения влияния изменения статической емкости пьезоэлектрической колебательной системы

Для компенсации изменения емкости пьезоэлектрического преобразователя в процессе работы применяют модифицированную схему согласования, представленную на Рис. 4. Здесь дополнительная емкость, подключенная параллельно пьезоэлементам преобразователя уменьшает влияние изменяющейся электрической емкости преобразователя на положение резонанса электрического колебательного контура. Компенсировать влияние изменения параметров среды на пьезопреобразователь этот способ обеспечить не может.

Для обеспечения согласования ультразвуковой колебательной системы с электронным генератором при работе в различных режимах работы необходимо изменять индуктивность компенсирующего дросселя. Далее рассматривается несколько вариантов реализации этого метода согласования.

На Рис. 5 представлен вариант ступенчатой перестройки согласующего дросселя. Здесь изменение индуктивности обеспечивается отключением (замыканием накоротко) необходимого числа дросселей.

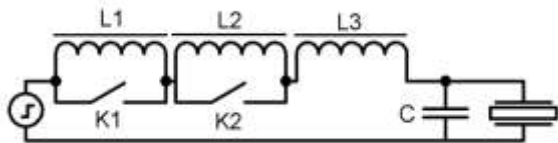


Рис 5. Способ ступенчатой регулировки индуктивности согласующего дросселя.

Такой способ управления индуктивностью не является оптимальным, так как не позволяет производить корректировку в процессе работы (не прекращая УЗ воздействие). Один из вариантов применения подобного согласующего звена представлен на Рис. 6.

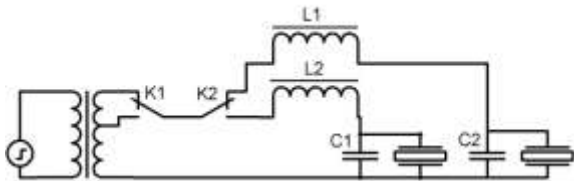


Рис 6. Согласующий контур для подключения двух колебательных систем.

Здесь каждая колебательная система подключена к своему согласующему звену. Переключение колебательных систем осуществляется контактами реле K2. Реле K1 позволяет изменять спряжение питания колебательной системы при необходимости. Этот способ используется при необходимости подключения к электронному генератору двух колебательных систем с существенно отличающимися параметрами.

На Рис. 7 представлен вариант согласующего звена с перестраиваемым дросселем, позволяющим плавно изменять индуктивность согласующего дросселя в процессе работы.

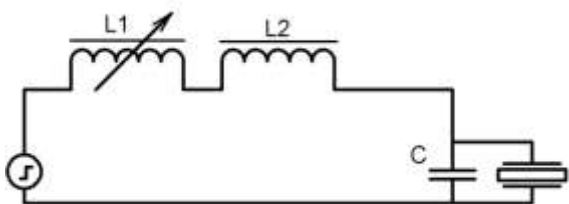


Рис 7. Согласующий контур с перестраиваемым дросселем.

В качестве перестраиваемого дросселя здесь может быть применен дроссель с изменяемым воздушным зазором [3].

V. АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РАЗЛИЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ

На основании обзора существующих способов согласования УЗКС с электронным генератором создана система согласования, включающая в себя управляемый дроссель (ферровариометр) и блок управления.

На Рис. 8 представлена базовая схема адаптивной системы согласования УЗКС с электронным генератором.

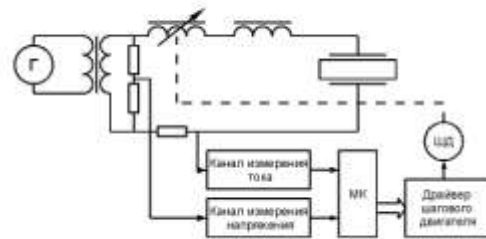


Рис. 8 Структурная схема управляющего блока адаптивной системы согласования.

Представленная схема состоит из нескольких блоков. Это измерительные блоки, одинаковые для токового канала и канала напряжения, включающие в себя усилитель и детектор перехода сигнала через ноль, и микроконтроллер, осуществляющий управление индуктивностью согласующего дросселя, на основе, полученной от измерительных блоков, информации.

Упрощенная блок схема алгоритма управления представлена на Рис. 9.

Критерием оптимального согласования УЗКС с электронным генератором является равенство нулю фазового сдвига между током и напряжением на выходе электронного генератора.

Такой алгоритм управления позволяет поддерживать режим оптимального согласования при обработке жидких сред. В таком технологическом процессе изменение параметров среды происходит медленно относительно времени воздействия.

Существует другой класс технологических процессов, в которых время ультразвукового воздействия составляет единицы, десятки секунд. К таким процессам относится ультразвуковая сварка.

Применение адаптивной системы в виде, описанном выше, применительно к подобным про-

цессам невозможно из-за большого времени, требуемого для начальной настройки.



Рис 9. Блок-схема алгоритма управления индуктивностью согласующего звена.

Возможное решение такой задачи это выполнение операции первоначальной настройки при включении, а в процессе ультразвукового воздействия производить лишь корректировку, требующую меньших временных затрат, либо применение в согласующем звене дополнительно дросселя с обмоткой подмагничивания, что позволит оперативно изменять его индуктивность в процессе работы.

Другим классом аппаратов, где применение адаптивных систем согласования является оправданным и целесообразным является класс ультразвуковых технологических аппаратов комплектуемых несколькими колебательными системами. В основном это медицинские, хирургические аппараты.

Применительно к таким аппаратам алгоритмы работы системы согласования могут быть следующими. В памяти микроконтроллера хранится информация о параметрах согласующего звена для каждой колебательной системы предназначенной для работы с этим аппаратом. Эта информация определяется на этапе настройки аппарата и в процессе эксплуатации не может быть изменена. При смене колебательной системы в процессе работы выставляются требуемые параметры согласующего звена.

Возможен и вариант автоматического определения параметров согласующей цепи. После подключения (смены) ультразвуковой колебательной системы генератор переходит в режим настройки согласующего звена. Для этого частота генератора устанавливается на несколько кГц ниже резонансной частоты колебательной системы и производится измерение статической емкости подключенной колебательной системы. Далее рассчитываются параметры согласующего звена на резонансной частоте колебательной системы, и аппарат переходит в режим нормальной работы. При необходимости, параметры согласующего звена корректируются в процессе работы согласно алгоритму, описанному выше.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная адаптивная система согласования используется в аппаратах серии БУЛАВА мощностью от 3 до 8 киловатт, которые предназначены для обработки жидких сред. Наличие такой системы согласования позволяет повысить эффективность ввода ультразвуковой энергии в обрабатываемую жидкую среду, а также повысить эффективность и надежность аппарата в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Донской А.В. Ультразвуковые электротехнологические установки Л.: Энергоиздат, 1982 208с. Ил.
- [2] Зернов Н.В., Карпов В. Г. Теория радиотехнических цепей / – Л.: Энергия, 1972 – 816 с.
- [3] Vladimir N. Khmelev, Senior Member, IEEE, Roman V. Barsukov, Dmitry V. Genne, Student Member, IEEE "The self-action agreement system of electronic generator with the piezoelectric oscillatory system" International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2007: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2007.