

Ультразвуковой Аппарат Для Проведения Лечебных И Косметических Процедур

[Владимир.Н. Хмелев](#), [Роман.В. Барсуков](#), [Евгений.В. Ильченко](#), [Дмитрий.В. Генне](#), [Денис.С. Абраменко](#)

Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Аннотация – Статья посвящена способам повышения эффективности работы ультразвуковых аппаратов за счет оптимизации режима работы ультразвуковых колебательных систем, реализации способа контроля наличия/отсутствия акустической нагрузки. Результаты работы реализованы в ультразвуковом аппарате, предназначенном для проведения лечебных и косметических процедур.

Ключевые слова – Ультразвук, медицинская техника, липосакция, контроль, акустическая нагрузка.

I. ВВЕДЕНИЕ

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ (УЗ) АППАРАТЫ различного назначения занимают значительную нишу в сфере медицинского оборудования [1]. УЗ аппараты используются в хирургии, пластической хирургии (инвазивная липосакция), стоматологии, при терапевтическом лечении, гинекологии, косметологии и т.д.

В медицинской практике широко используются технологии ультразвукового воздействия на кожные и подкожные ткани человека при непосредственном контакте излучателя. Такие технологии сегодня применяются для проведения процедур внешней (неинвазивной) липосакции, ввода лекарственных препаратов через кожные покровы, лечения акне, процедур чистки кожи (в косметологии).

Используемые на практике УЗ аппараты отечественного и зарубежного производства, обладают рядом недостатков, основными из которых являются недостаточная интенсивность ультразвукового воздействия и непродолжительный режим работы, ограниченный тепловыделением и нагревом УЗ излучателя.

Необходимость повышения интенсивности УЗ колебаний обусловлена необходимостью обеспечения процедуры внешней липосакции (кавитационной деструкции подкожных жировых тканей).

Нагрев УЗ излучателя может привести к ожогу пациента, уменьшает ресурс излучателя, сокращает время процедуры лечения.

Статья посвящена решению проблем, ограничивающих возможность повышения интенсивности ультразвукового излучения, при одновременном снижении уровня нагрева ультразвуковых колебательных систем (УЗКС).

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

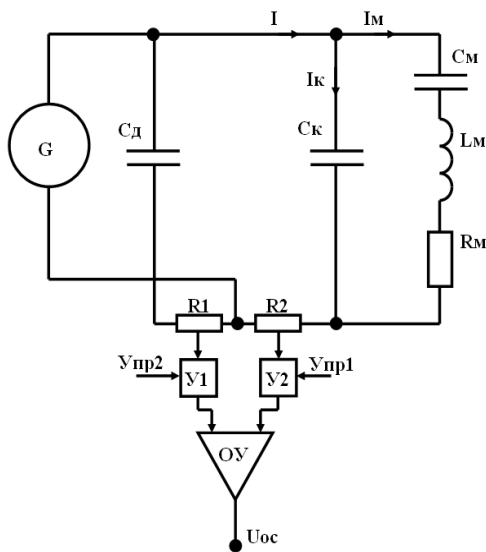
Известно, что нагрев УЗКС зависит от величины амплитуды механических колебаний излучающей поверхности, материалов системы, режима ее работы (резонансный режим или работа вблизи резонанса).

Современные УЗ генераторы (УЗГ) снабжаются системами автоматической подстройки частоты (АПЧ). Их работа обеспечивает непрерывную подстройку частоты задающего генератора, обеспечивая равенство частот генератора и резонансной частоты УЗКС. При этом, критерием настройки УЗГ на резонансную частоту УЗКС является равенство нулю сдвига фаз между сигналом задающего генератора и током, потребляемым УЗКС. Однако этот критерий не обеспечивает точную настройку генератора на резонансную частоту УЗКС, что обуславливает ее дополнительный нагрев.

Для выявления причин невозможности установления рабочей частоты генератора равной собственной резонансной частоте колебательной системы рассмотрим эквивалентную электрическую схему замещения УЗКС [2], которая представлена элементами C_m , L_m , R_m и C_k , как показано на рисунке 1.

Значения элементов C_m , L_m , R_m обусловлены одновременно механическими свойствами УЗКС и свойствами акустической нагрузки. Элемент C_k обусловлен наличием статической электрической емкости пьезопреобразователя, входящего в состав конструкции УЗКС. Ток I является полным током, потребляемым колебательной системой, ток I_m называют током механической ветви, который является электрическим аналогом амплитуды механических колебаний излучающей поверхности.

Из эквивалентной схемы следует, что ток, потребляемый УЗКС складывается из тока механической ветви, образованной элементами C_m , L_m , R_m и током, протекающим по статической емкости C_k . Именно наличие этой электрической емкости обуславливает неточную настройку электронного генератора на резонансную частоту УЗКС.



U1, U2 – предварительные усилители с управляемым коэффициентом усиления; R1, R2 – резистивные токовые датчики; G – генератор электрических колебаний ультразвуковой частоты

Рисунок 1 – Эквивалентная схема замещения УЗКС со схемой выделения тока механической ветви

Анализ эквивалентной схемы позволяет получить частотные характеристики ультразвуковой колебательной системы, представленные на рисунке 2. Кривая 1 – амплитудно-частотная характеристика колебательной системы, 2 – фазочастотная характеристика колебательной системы, 3 – фазочастотная характеристика тока, потребляемого колебательной системой.

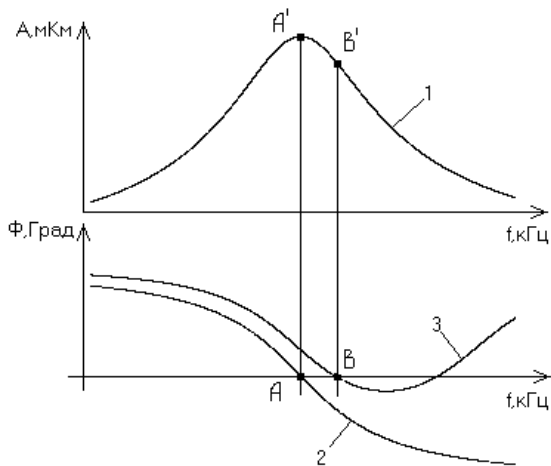


Рисунок 2 – Частотные характеристики ультразвуковой колебательной системы

Из анализа кривых на рисунке 2 следует, что точке равенства нулю ФЧХ тока, потребляемого УЗКС (точка B), соответствует точка B' на амплитудной частотной характеристике, которая не совпадает с максимумом на кривой, в то время как точка перехода через нуль ФЧХ УЗ излучателя как механической системы (точка A), соответствует максимуму на амплитудно-частотной характеристике (точка A').

Для более точной настройки электронного генератора на резонансную частоту УЗКС было предложено в качестве

критерия настройки на резонанс использовать равенство нулю фазочастотной характеристики тока механической ветви, которая свободна от влияния статической емкости пьезокерамических элементов.

Для выделения тока механической ветви колебательной системы была предложена дифференциальная схема, представленная на рисунке 1. При работе схемы происходит усиление разности тока, протекающего по добавочной емкости Cд и тока I. Таким образом, частотные характеристики сигнала Uос соответствуют частотным характеристикам УЗКС, как механической колебательной системы [3].

Применение нового критерия настройки УЗГ на резонанс колебательной системы [3] позволило снизить нагрев колебательной системы и тем самым повысить амплитуду механических колебаний излучающей поверхности.

Вместе с тем, при длительной работе УЗКС, не смотря на применение нового критерия настройки УЗГ на резонанс колебательной системы происходит ее разогрев.

Анализ методики проведения процедур лечения при помощи УЗ аппарата для внешней липосакции, позволил выяснить что большую часть времени УЗ излучатель работает вхолостую, т.е. не обеспечивает ввода ультразвуковых механических колебаний в зону обработки.

Длительная работа УЗ излучателя вхолостую может привести к перегреву пьезокерамических элементов, входящих в состав электромеханического преобразователя излучателя, перегреву рабочего инструмента, снижению ресурса излучателя и электронного генератора и к неоправданному расходу электрической энергии.

В связи с этим была решена задача создания системы, позволяющей «активировать» УЗ излучатель только в моменты возникновения акустической нагрузки.

При изменении акустической нагрузки значения элементов Cм, Lм, Rм меняются, что приводит к изменению тока механической ветви. В этом случае, при работе ультразвукового аппарата на выходе дифференциальной схемы появляется сигнал Uос, величина которого пропорциональна амплитуде механических колебаний рабочей поверхности излучателя. В случае отсутствия контакта излучателя (режим холостого хода) с обрабатываемым объектом или средой амплитуда механических колебаний и соответственно амплитуда тока, протекающего по пьезоэлементам ультразвуковой колебательной системы, остаются стабильными.

При появлении акустической нагрузки (контакте излучателя с обрабатываемой средой или объектом) амплитуда механических колебаний рабочей поверхности инструмента изменяется и соответственно изменяется величина тока механической ветви, причем характер и глубина амплитудной модуляции зависит от неравномерности прижатия ультразвуковой колебательной системы к обрабатываемому объекту, волнового сопротивления среды, стабильности акустического контакта и т.п.

Изменение амплитуды электрического тока во времени при различных режимах работы (режимах нагрузки и режимах холостого хода) можно представить, как показано на рисунке 3.

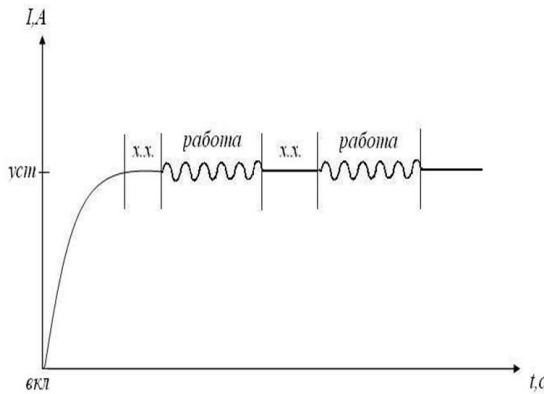


Рисунок 3 – Модуляции тока УЗКС при наличии акустической нагрузки

Таким образом, критерием наличия или отсутствия акустической нагрузки на ультразвуковой излучатель может являться наличие и величина амплитудных модуляций тока механической ветви УЗ колебательной системы.

Для практической реализации был предложен способ управления процессом ультразвукового воздействия, основанный на непрерывном контроле тока механической ветви, обнаружении амплитудных модуляций и управлении амплитудой механических колебаний излучателя (включение/отключение ультразвуковой генерации аппарата).

Для практической реализации предложенного способа управления процессом ультразвукового воздействия разработана структурная схема аппарата, представленная на рисунке 4.

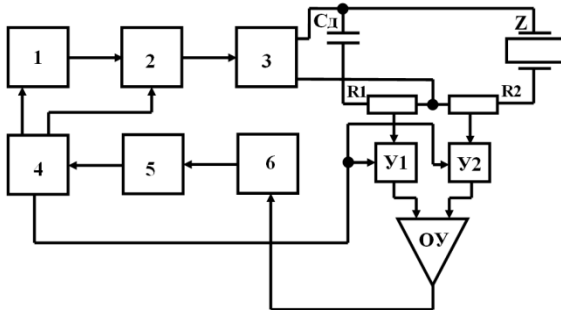


Рисунок 4 – Структурная схема УЗ генератора, реализующего предлагаемый способ управления

Задающий генератор 1 вырабатывает низковольтный сигнал ультразвуковой частоты, который поступает на усилитель 2, где он усиливается до требуемой амплитуды. Сигнал с выхода усилителя через резистивные токовые датчики R1 и R2 поступает на пьезокерамические элементы Z ультразвуковой колебательной системы и добавочную электрическую емкость Cd, через согласующее звено 3. Ток, протекающий через пьезокерамические элементы ультразвуковой колебательной системы и ток, протекающий через емкость Cd. Сигналы с токовых датчиков R1 и R2, через управляемые усилители Y1 и Y2 поступают на дифференциальный усилитель 7, где выполняется их вычитание друг из друга. Амплитудное значение сигнала, получаемого в результате работы дифференциального усилителя выделяется при помощи амплитудного детектора 6, которое далее

поступает на вход аналого-цифрового преобразователя 5. Оцифрованное амплитудное значение тока механической ветви поступает на микроконтроллер 4, под управлением которого работают все узлы и системы электронного генератора, в частности микроконтроллер управляет напряжением на выходе усилителя 2, от величины которого зависит амплитуда колебаний рабочей поверхности ультразвуковой колебательной системы. При включении электронного генератора на ультразвуковую колебательную систему подается электрическое напряжение, при котором интенсивность ультразвуковых колебаний соответствует уровню, достаточному для проведения процедуры внешней липосакции. В процессе работы ультразвукового аппарата микроконтроллер 4 непрерывно анализирует величину амплитудных модуляций тока механической ветви ультразвуковой колебательной системы. В случае, когда величина амплитудных модуляций тока механической ветви ультразвуковой колебательной системы не превышает 1% от текущей амплитуды в течении, например 5 секунд, микроконтроллер вырабатывает сигнал на уменьшение напряжения питания излучателя до уровня, при котором он может длительное время работать без существенного нагрева излучателя (энергосберегающий режим). В режиме энергосбережения ультразвуковой генератор находится до тех пор, пока в течении 0.5 секунд и более величина амплитудных модуляций не превысит 3% от текущей амплитуды тока механической ветви ультразвуковой колебательной системы. Если величина амплитудных модуляций, превышающих 3% от текущей амплитуды тока, длится в течении более чем 0.5 секунд, микроконтроллер 4 вырабатывает сигнал на увеличение напряжения питания колебательной системы до уровня необходимого для осуществления того или иного технологического процесса. Далее процесс повторяется.

На рисунке 5 показано как изменяется ток механической ветви ультразвуковой колебательной системы, при работе разработанной системы.

Таким образом, если к ультразвуковой колебательной системе приложена акустическая нагрузка, то интенсивность ультразвуковых колебаний имеет необходимый максимальный уровень.

В случае, если акустическая нагрузка отсутствует, или неизменна в течение большого интервала времени, интенсивность ультразвуковых колебаний снижается до уровня, не вызывающего нагрева ультразвуковой колебательной системы.

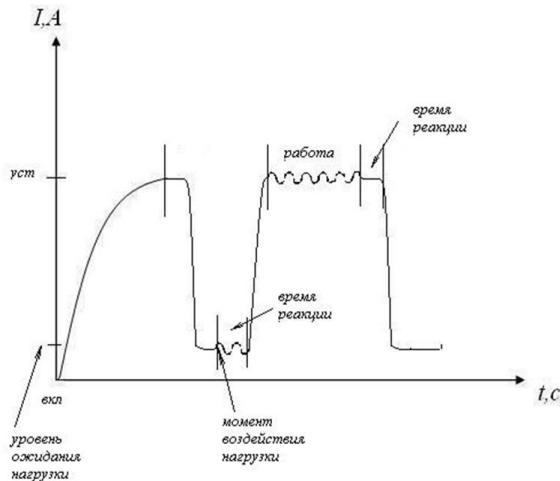


Рисунок 5 – Ток механической ветви УЗКС в процессе работы УЗ генератора в интегрированной системе контроля акустической нагрузки

- [2] Джагунов, Р. Г. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления [Текст]: справ. / Р.Г. Джагунов, А.А. Ерофеев. – СПб. : Политехника, 1994. - 607 с.
- [3] Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Шалунов А.В. Способ управления процессом ультразвуковой липосакции // Патент России № 2240073 2003.
- [4] Ультразвуковой массажер серии «Нежность» | U-SONIC.ru – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://u-sonic.ru/devices/delicacy2>
- [5] Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Генне Д.В., Хмелев С.С., Хмелев М.В. Способ управления процессом внешней ультразвуковой липосакции//Патент России № 2440165 2012.

III. ВЫВОДЫ

Рассмотренные способы управления работой УЗ генератора реализованы и апробированы в медицинском аппарате «Нежность» (см. рисунок 6), предназначенном для проведения процедур внешней липосакции, ввода лекарственных препаратов в подкожные покровы человека, проведения массажа [4].



Рисунок 6 – Ультразвуковой аппарат «Нежность»

При отсутствии акустической нагрузки (режим холостого хода) аппарат генерирует УЗ колебания мощностью менее 15 Вт. При возникновении акустической нагрузки (контакта излучателя с кожными покровами пациента) аппарат выдает номинальную мощность (около 60 Вт). Поскольку отсутствие модуляции в цепи УЗ излучателя свидетельствует не только об отсутствии нагрузки, но и о стабильности нагрузки, аппарат так же отключается в случае статичного контакта излучателя с телом пациента, что исключает вероятность ожога тканей пациента. На способ контроля акустической нагрузки, реализованный в аппарате «Нежность» был получен Патент РФ №2440165 [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хмелев, В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве [Текст] / В.Н. Хмелев, Леонов Г.В., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Шалунов А.В. – Алтайский гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 400с.