

Рисунок 2 – Микроструктура и распределение элементов в массивном образце (а, б, в) и быстрозатвердевшей фольги сплава Al-7,1 ат. %Si

У стороны фольги, прилегающей к кристаллизатору наблюдается образование равномерно расположенных наноразмерных частиц кремния и фаз различных соединений на основе легирующих элементов. По мере уменьшения переохлаждения последовательно формируются слой ячеек и слой дендритов с постепенно увеличивающимся средним размером от нескольких сот нанометров до полутора-двух микрон. Укрупнение структурных составляющих у поверхности фольги, прилегающей к кристаллизатору, обусловлено более глубоким переохлаждением расплава, которое частично снимается за счет выделения скрытой теплоты кристаллизации. Элементный состав фольг доэвтектического сплава Al-7,1 ат. % Si при этом не изменяется.

Методом рентгеноспектрального микроанализа проводилось исследование элементного состава со стороны фольги, прилегающей к кристаллизатору (А) и со свободно затвердевающей стороны (В). При ускоряющем напряжении

20 кэВ толщина исследованного слоя оценивается равной ~ 3,5 мкм.

Таблица 1 – Элементный состав с двух сторон быстрозатвердевшей фольги

Сторона фольги	Концентрация элементов, ат. %				
	Al	Si	Fe	Mn	Ni
А	92,4	7,2	0,2	0,1	0,1
В	92,5	7,0	0,4	0,1	0,1

Таким образом, высокоскоростное затверждение доэвтектических силуминов Al-7 ат.%Si, обеспечивает ультрадисперсную микроструктуру, отсутствие крупных включений примесей и постоянство элементного состава по толщине.

### Литература

1. Васильев В.А., Митин Б.С., Высокоскоростное затвердевание расплава (теория, технологии и материалы) / Под ред. Б.С. Митина. – М.: ИнтерметИнжиниринг, 1998. – 400 с.
2. Шепелевич В.Г. Быстрозатвердевшие легкоплавкие сплавы. – Минск: БГУ, 2015. – 192 с.

УДК 615.8-7

## РАЗРАБОТКА АППАРАТА ДЛЯ МАГНИТОУЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕРАПИИ

Дедович Н.Н., Романов А.Ф.

НИИ прикладных физических проблем им.А.Н.Севченко БГУ, Минск, Республика Беларусь

В последние годы в медицинскую практику активно внедряются различные сочетанные физиотерапевтические методы, такие как фотоманитотерапия, электрофонотерапия и другие [1], когда на пациента одновременно воздействует

несколько лечебных факторов. Особенно перспективны сочетанные физиотерапевтические методы, позволяющие взаимно потенцировать действие сочетаемых физических факторов, сокращать время процедуры и уменьшать другие ее дозиметриче-

ские параметры. Принято считать, что усиление физиологических и лечебных эффектов наблюдается тогда, когда в одной процедуре используются физические факторы, близкие по механизму действия и схожие по направленности их влияния на важнейшие системы организма и типовые патологические процессы. Анализ литературных данных показывает, что ультразвук и магнитные поля во многом отвечают этому требованию, а, следовательно, совместное использование ультразвука и магнитного поля представляется перспективным [2]. Для практической реализации метода магнитоультразвуковой терапии (фономагнитотерапии) был разработан терапевтический аппарат, позволяющий проводить одновременное воздействие двумя лечебными факторами с постоянным контролем уровня излучающих воздействий.

Медицинский аппарат для фономагнитотерапии укрупнено можно представить в виде комплекса, состоящего из трех блоков: 1 – электронных узлов, предназначенных для возбуждения акустических (ультразвуковых) колебаний; 2 – электронных узлов, формирующих электрические токи и напряжения различной формы и длительности для индуктора, осуществляющего непосредственное преобразование электрических колебаний в энергию магнитного поля; 3 – общие узлы управления, задания режимов работы аппарата и визуализации прохождения процедуры (рисунок 1).

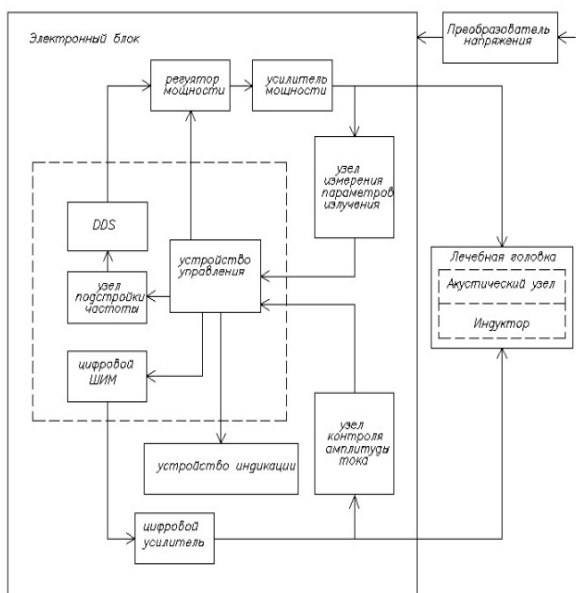


Рисунок 1 – Блок-схема аппарата

Реализация электронных узлов для возбуждения акустического и магнитного воздействий представляет собой две самостоятельные задачи, которые могут решаться независимо с последующей их взаимной синхронизацией при проведении процедур с помощью общего блока управления. Такая структура аппарата позволяет обеспечить как проведение комплексного (одновременного) воздействия на пациента акустическим и магнит-

ным полем, так и использование аппарата для проведения терапевтических процедур независимо по каждому воздействию, т. е. как два отдельных терапевтических аппарата.

Большая часть функциональных узлов аппарата реализована в цифровом виде на базе программируемой логической схемы (ПЛИС). Реализация узлов аппарата с использованием цифровых интегральных схем позволяет увеличить надежность и стабильность аппарата по сравнению с аналоговым подходом. Применение ПЛИС для реализации функций аппарата в цифровом виде позволяет увеличить гибкость решений и снизить затраты на модернизацию и сопровождение. В качестве ПЛИС используется семейство MAX10 фирмы Altera. Данное семейство ПЛИС обладает достаточным количеством элементарных логических элементов, высокой скоростью работы и, кроме того, имеет встроенный блок аналогово-цифрового преобразования (АЦП).

Для возбуждения магнитной части излучателя служит узел формирования формы и частоты тока, выполненный с использованием широтно-импульсной модуляции, т. е. подводимая к нагрузке мощность, регулируется изменением скважности импульсов, при постоянной их частоте.

Для контроля подаваемого напряжения в преобразователях портативных устройств, имеющих малые габариты и требующие высокой эффективности применение цифровой широтно-импульсной модуляции (ЦШИМ) имеет неоспоримые преимущества, такие как перепрограммируемый характер, нечувствительность к изменениям температуры, линейность, высокую скорость перестройки, минимизированную задержку и лучшую производительность.

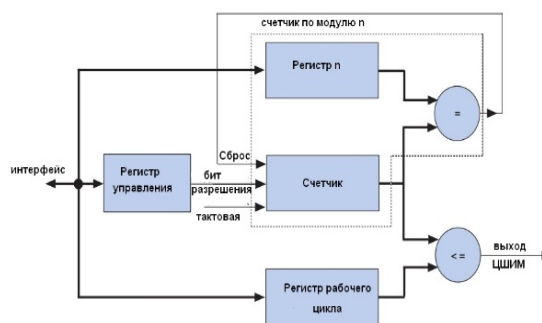


Рисунок 2 – Схема ЦШИМ-генератора

Логика работы ЦШИМ-генератора представлена на рисунке 2. Входной тактовый сигнал управляет 32-битным модульным счетчиком по модулю n, который определяет период сигнала на выходе ЦШИМ. 32-разрядный компаратор сравнивает текущее значение счетчика со значением рабочего цикла и определяет состояние выхода. Если текущее значение счетчика меньше или равно рабочему циклу, выход ЦШИМ имеет значение 0, в противном случае на выходе значение 1.

Сигнал на выходе ЦШИМ затем интегрируется для получения аналогового напряжения.

При использовании простого пассивного RC-фильтра частота интегратора должна быть как минимум на порядок ниже частоты ЦШИМ.

Для возбуждения ультразвуковой части излучателя служит регулируемый задающий генератор, который реализуется в ПЛИС с помощью схемы прямого цифрового синтеза (DDS). Характерной особенностью DDS является то, что отсчеты синтезируемого сигнала вычисляются цифровыми методами, после чего передаются на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), где и происходит их преобразование в аналоговую форму (напряжение или ток), как это показано на рисунке 3.

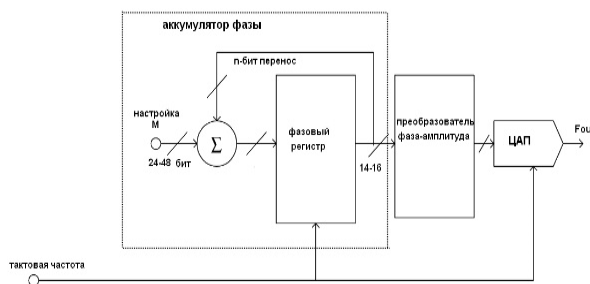


Рисунок 3 – Схема прямого цифрового синтеза

Одной из важных особенностей таких устройств является высокая разрешающая способность задания значений воспроизводимых частот и их большая точность. Скорость (время) перестройки выходной частоты с одного значения на другое очень высока и стабильна. Время перестройки не зависит от разности между начальной и конечной частотами.

С выхода ЦАП сигнал поступает на усилитель мощности. Нагрузкой усилителя мощности является ультразвуковая часть комбинированного излучателя. Для регулировки излучаемой мощности на входе усилителя установлен цифровой потенциометр, управляющий коэффициентом деления сигнала, поступающего на вход усилителя мощности.

Для контроля магнитного потока, протекающего через индуктор, используется датчик Холла, который крепится на индукторе и выход датчика через схему согласования подключается

к входу АЦП ПЛИС. Поскольку датчик преобразует значение амплитуды магнитного потока, протекающего через датчик в амплитуду электрического сигнала, то, кроме контроля тока протекающего через индуктор, этот способ позволяет дополнительно контролировать способность индуктора преобразовывать электрический сигнал в магнитный поток, т. е. контролировать воздействие магнитным полем.

Узел измерения параметров ультразвукового излучения частично реализован в ПЛИС. Для подстройки частоты сигнала, поступающего на пьезокерамический излучатель, в резонанс проводится измерение фазы напряжения и тока, протекающего через излучатель. Сравнение фаз тока и напряжения происходит в ПЛИС с помощью фазового детектора. Фазовый детектор, срабатывающий по фронтам входных сигналов, формирует управляющие импульсы, которые через схему суммирования (вычитания) поступают на вход DDS для коррекции частоты сигнала возбуждения. Для контроля акустического контакта сигнал с выхода измерителя тока подается на вход АЦП ПЛИС.

Устройство управления аппарата реализовано программно с помощью ПЛИС, для чего используется специально разработанная для ПЛИС фирмы Altera Nios2 - 32-разрядная микропроцессорная архитектура –soft-микро-процессор– микропроцессорное ядро, которое полностью создано с использованием только логического синтеза. Достоинством такого решения является снижение количества элементов, требуемых для построения аппарата, и, следовательно, снижение его стоимости.

### Литература

1. Улащик В.С. Физиотерапия. Новейшие методы и технологии. Минск : Книжный дом, 2013. – 448 с.
2. Улащик В.С. Магнитоультразвуковая терапия: теоретическое обоснование метода // Новости медико-биологических наук. 2016. – Т. 13. – № 2. – С. 172–177.

УДК 666.3/7

### ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРО- И ФАЗООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ САМОГЛАЗУРУЮЩИХСЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Дятлова Е.М.<sup>1</sup>, Сергиевич О.А.<sup>1</sup>, Алексеенко И.А.<sup>1</sup>, Шеченок А.А.<sup>2</sup>, Колонтаева Т.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Развитие науки о трении и изнашивании твердых тел показало, что в контакте трущихся тел наблюдается их адаптация за счет протекания гаммы физико-химических процессов, при этом создаются специфические поверхност-

ные структуры, реализующие низкий и стабильный коэффициент трения при высокой износостойкости [1]. Актуальным направлением современных исследований является сочетание различных систем, синтез и изучение новых материалов,