

Кроме того, двухпоточная модель позволяет проследить динамику взаимодействия двух потоков в процессе перемагничивания ферромагнитного тела. В работе [4] проведен анализ изменения намагниченности материала в поверхностном слое ферромагнитного тела с учетом различных магнитных гистерезисов: гистерезис материала – для внутреннего потока, гистерезис тела – для потока Φ_p (рис. 2). На рисунке изображены начальные кривые намагничивания $M(I_{0m})$ и нисходящие ветви $M(I_{m0})$ гистерезиса намагни-

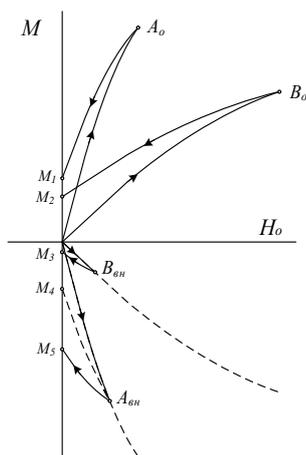


Рисунок 2 – Схема перемагничивания поверхностного слоя магнитомягкой (1 и 4) и магнитожесткой (2 и 3) сталей

ченности материала магнитомягких и магнитожестких сталей. Все нисходящие ветви по абсолютному значению $|M(I_{m0})|$ расположены выше

начальных кривых $|M(I_{0m})|$, что соответствует обычному перемагничиванию ферромагнетика. Сложение значений намагниченности по соответствующим ветвям гистерезисов при одинаковых токах дают две указанные выше формы гистерезиса перемагничивания поверхностного слоя магнитомягких и магнитожестких сталей.

Таким образом, можно считать, что двухпоточная модель по рис.1, объясняющая необъясненные ранее экспериментальные результаты, соответствует реальным процессам намагничивания и перемагничивания ферромагнитных тел. В связи с этим проблема точности определения намагниченности материала в объеме ферромагнитных тел требует учета внутреннего магнитного потока Φ_p , который не регистрируется внешними измерителями.

Литература

- 1.Томилов, Г.С. Исследование распределения индукции в массивных стальных изделиях при локальном намагничивании их при помощи приставных электромагнитов. – Дефектоскопия, 1966, № 3. – С. 77–85.
- 2.Гусев, А.П. Модели магнитных зарядов и потоков в задаче дефектоскопии с локальным намагничиванием. / А.П. Гусев // Дефектоскопия. – 2014. – № 6. – С. 46–53
- 3.Чернышев, А.В., Зацепин, Н.Н., Гусак, Н.О., Шевкунов, В.И. Магнитное поле в полости поверхностной щели при намагничивании образца в разомкнутой магнитной цепи. Дефектоскопия, 1986. – №1. – С. 13–17.
- 4.Гусев, А.П. Гистерезис магнитного поля поверхностных дефектов различных сталей при намагничивании приставным электромагнитом / А.П. Гусев // Дефектоскопия. – 2015. – № 10. – С. 24–32.

УДК 615.837.3

ОДНОКРИСТАЛЛЬНАЯ МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АППАРАТА МАГНИТОУЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕРАПИИ

Гомбалевский П.Д., Дедович Н.Н., Романов А.Ф.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко» Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь

Построение современной аппаратуры в большинстве случаев предполагает применение микропроцессорных систем. Главная особенность микропроцессора – возможность программирования логики работы аппаратуры. Микропроцессоры используются для управления процессом измерения и обработки результатов измерения с последующим формированием управляющих сигналов для модулей обеспечивающих функциональные требования аппаратуры. При разработке аппарата для магнитоультразвуковой терапии [1] потребовалось решить вопрос выбора микропроцессорной системы для реализации устройства управления (рисунок 1).

Часть узлов аппарата реализована на базе программируемой логической схемы (ПЛИС).

Процессор Nios II, представленный компанией Altera – это программная 32-разрядная микропроцессорная система, которая полностью реализована с использованием только логического синтеза и оптимизирована для реализации в ПЛИС. Применение Nios II в качестве устройства управления позволяет снизить количество элементов, требуемых для построения аппарата. Достоинствами такого решения перед обычными микропроцессорами состоят в том, что в любой момент можно реконфигурировать ядро, добавляя или удаляя нужные элементы без изменения аппаратной части, а количество ядер на кристалле ограничено только ресурсами выбранной ПЛИС.

Основные характеристики процессорного ядра Nios II/f:

- более 2-х гигабайт адресного пространства (поддержка памяти на кристалле и внешней памяти);
- отдельный кэш инструкций и кэш данных;
- аппаратное выполнение умножения и деления;
- 6-ти стадийный конвейер;
- поддержка исключений;
- система защиты памяти;
- выполнение операции умножения и сдвига за один такт;
- динамическое предсказание ветвлений;
- использование до 256 пользовательских инструкций;
- широкие возможности отладки через JTAG модуль;
- реализация требует 1400-1800 логических элементов ПЛИС и включает 3 блока памяти М4К, плюс блоки для кэш памяти;
- производительность процессора 51 миллион операций в секунду (51 DMIPS) на частоте 50 МГц;
- загружаемая RISC архитектура с перестраиваемой конфигурацией имеет возможность встраивания операционных систем MicroC/OS-II (Micrium), uCLinux и NucleusPlus (ATI/Mentor).

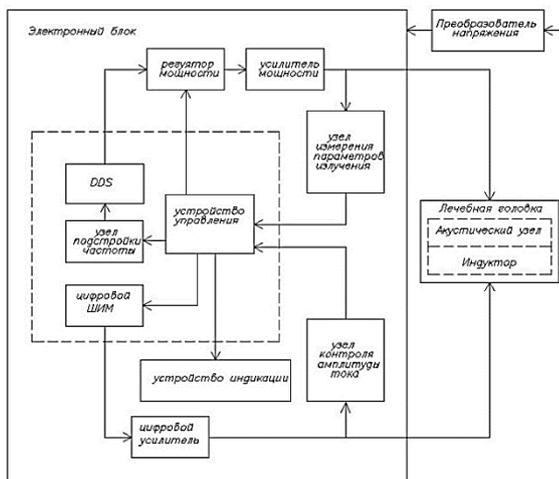


Рисунок 1 – Блок-схема аппарата для магнитоультразвуковой терапии

Процессор NiosII и интерфейсы для сопряжения с периферийными компонентами системы связаны в кристалле ПЛИС с помощью синхронной шины Avalon (рисунок 2).

Процессор построен по архитектуре RISC (арифметические и логические операции выполняются над операндами, находящимися в регистрах общего назначения), имеет 32-х разрядные шины данных и адреса, 32 регистра общего назначения

и 32 источника внешних прерываний. Машинное слово процессора NiosII имеет ширину 32 бита, такой же размер имеют его регистры. Для адресации байтов в слове используется little-endian стиль, при котором менее значимые байты расположены по меньшим адресам в памяти. NiosII имеет гарвардскую архитектуру (раздельные шины для данных и команд) и может функционировать в следующих режимах:

– Режим супервизора. В этом режиме процессору разрешается выполнять все инструкции и осуществлять любые функции. Процессор переключается в этот режим после поступления сигнала сброса.

– Режим пользователя. Целью данного режима является предотвращение выполнения определенных инструкций системного назначения. Переключение в этот режим становится возможным лишь при наличии модуля управления памятью или модуля защиты памяти.

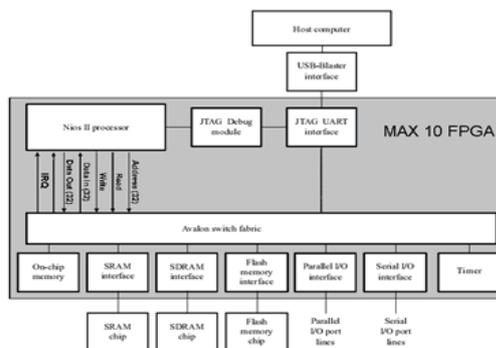


Рисунок 2 – Пример архитектуры процессорного ядра с Nios II

Процесс построения и отладки вычислительных систем, реализованных внутри кристалла ПЛИС, и программных приложений, предназначенных для созданных систем, подробно описан компанией Altera [2] и также существуют русскоязычные источники [3, 4].

При разработке аппарата для магнитоультразвуковой терапии узлы формирующие сигналы для лечебной головки и микропроцессорная система реализованы на одном кристалле MAX 10M50DAF484C6GES. Внешними являются только узлы согласования сигналов с лечебной головкой по мощности и измерительные узлы, формирующие сигналы о состоянии лечебной головки для устройства управления. В результате синтеза ядро процессора потребовало менее 10 % ресурсов ПЛИС. Микропроцессорная система обеспечивает интерфейс с пользователем для индикации состояния лечебной процедуры и упрощает управление режимами работы, повышая функциональность аппарата. Большие вычислительные возможности Nios II позволяют

использовать процессор для обработки измеренных сигналов, характеризующих магнитное и ультра-звуковое излучение. Цифровая фильтрация измеренных сигналов обеспечивает стабильное излучение при изменении нагрузки в ходе лечебной процедуры и уменьшает влияние случайных погрешностей. Процессор дает возможность реализовать пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор с целью получения точной и быстрой подстройки генерируемых сигналов и в результате повышает эффективность преобразования электрических сигналов в излучение.

Несомненно, применение ПЛИС снижает стоимость разработки и модернизации аппаратуры,

требует меньшее количество элементов и увеличивает функциональность аппаратуры.

Литература

1. Дедович Н.Н. Разработка аппарата для магнитоультразвуковой терапии / Н.Н. Дедович, А.Ф. Романов // Материалы 11-й МНТК «Приборостроение – 2018», Минск, 2018.
2. https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/hb/nios2/edh_ed_handbook.pdf
3. Н.В. Ефремов, А.А. Бородин. Инструментальные средства проектирования и отладки систем на программируемых кристаллах компании Altera: уч. пособ. – М.: Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана.
4. http://www.naliwator.narod.ru/nios_II.html

УДК 666.76

СИНТЕЗ КЕРАМИЧЕСКИХ ТЕРМОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ В ОБЛАСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗИСТОГО КОРДИЕРИТА

Дятлова Е.М.¹, Сергиевич О.А.¹, Колонтаева Т.В.², Тимошенко Н.В.¹

¹Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Введение. В области развития технической керамики актуальной является проблема создания высокотермостойких и износостойких керамических материалов, которые могут использоваться в машиностроительной, электронной, химической, легкой и других отраслях промышленности. Промышленное производство такого рода материалов в настоящее время в республике отсутствует, а изготавливаемые отдельными предприятиями изделия из термостойкой и износостойкой керамики уступают по своим эксплуатационным и экономическим характеристикам зарубежным аналогам. При синтезе высокотермостойкой керамики используют малорасширяющиеся фазы, дополняя их другими структурными составляющими для регулирования критериев термостойкости [1, 2].

Система $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ не представляет особого интереса для получения огнеупорных материалов в связи с содержанием легкоплавких эвтектик, однако она может быть взята за основу для синтеза термостойких материалов технического назначения с повышенными показателями прочности и износостойкости. Сведения о данной системе и ее особенностях, заключающихся в образовании малорасширяющейся фазы феррокордиерита, а также о синтезе керамических материалов с низким ТКЛР ($1,8\text{--}2,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) довольно ограничены и представлены в работах [3, 4]. Феррокордиерит образуется при более низких температурах по сравнению с обычным магниевым кордиеритом, что представляет особый интерес к изучению данной системы. Выявлено, что оксид железа принимает активное участие в процессах спекания и формирования железосодержащих

кристаллических фаз (герцинит – $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, феррокордиерит – $2\text{FeO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ и магнетит – Fe_3O_4), образуя при этом маловязкие расплавы.

Целью данной работы является проведение исследований в области синтеза керамических материалов технического назначения на основе системы $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, что позволит в некоторой степени нивелировать недостатки традиционной кордиеритовой керамики. Основными задачами исследования являются синтез образцов керамических материалов в системе $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, исследование их физико-химических и термомеханических характеристик, установление влияния температуры синтеза и количества исходных компонентов на свойства образцов, исследование поведения массы при нагревании, особенностей фазообразования и формирования структуры опытных образцов оптимального состава.

Методология. Керамическая масса готовилась сухим способом путем совместного измельчения определённого количества исходных сырьевых компонентов в планетарной мельнице марки РМ 100 фирмы Netzsch (Германия) в течение 10 мин при скорости вращения барабана 250 об/мин. с последующим магнитным обогащением. Пресс-порошок влажностью 8–10 % с использованием в качестве связки воды или полуводной дисперсии клея поливинилацетата (ПВА) протирался через сито № 05. Прессование лабораторных образцов (цилиндров $\varnothing 20$ мм и высотой 20 мм, дисков $\varnothing 16$ мм и высотой 5–10 мм, плиток $(50 \times 50 \times 5)$ мм и балочек $(50 \times 8 \times 8)$ мм) осуществлялось на гидравлическом прессе ПСУ–50 при давлении 30–40 МПа. Образцы сушились при