комплекса. Математические модели, адекватно отражающие физические процессы, происходящие при воздействии СВЧ электромагнитных колебаний на обрабатываемый объект, являются основой для решения задач разработки автоматизированных энергоэффективных СВЧ ЭТУ, позволяющих получить требуемое качество продукции.

Наиболее подходящим программным обеспечением, позволяющим реализовать автоматизированное моделирование и разработку СВЧ ЭТУ, решение задач интеллектуального управления, является, по нашему мнению, пакет прикладных программ, реализованный в системе MATLAB, представляющий собой мощный язык программирования.

В настоящее время перечисленные выше программы реализуются в системе MATLAB. В качестве примера ниже приведены возможности интеграции MATLAB Compiler для создания средств математического моделирования и управления процессами СВЧ нагрева и сушки диэлектриков в камерах бегущей волны.

1. Архангельский Ю.С. СВЧ электротермические установки лучевого типа / Ю.С. Архангельский, С.В. Тригорлый. Саратов: СГТУ, 2000. - 122 с.
2. Тригорлый С.В. Численное моделирование и оптимизация процессов сверхвысокочастотной термообработки диэлектриков / С.В. Тригорлый // Прикладная механика и техническая физика. 2000. Т. 41. № 3. - С. 112-119.
3. Архангельский Ю.С. Разработка комплекса программ для моделирования СВЧ технологических процессов и установок / Ю.С. Архангельский, С.В. Тригорлый // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. Т.1. №1(10). - С. 123-127.
4. Архангельский Ю.С. Компьютерное моделирование СВЧ электротермических процессов и установок / Ю.С. Архангельский, С.В. Тригорлый. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т. 2006. - 212 с.

**Фабристова Т.М.¹, Флоренцев В.В.², Ждамиров В.Ю.², Востренков Ю.Ю.²,
Юдин И.А.², Токарев А. Н.³, Бирюков А.П.³**

Разработка и апробация медицинского запястного браслета-холтер

¹ООО «Горенье БТ»

²АО «НПО «КАДЕТЕК»

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(Россия, Москва)

doi:10.18411/lj-07-2018-33

idsp: 000001:lj-07-2018-33

Аннотация

Работа посвящена разработке лабораторного образца устройства сбора и обработки данных (УСиОД) от оптического пульсоксиметра, термометра и акселерометра. Представлены макетные платы лабораторного образца с датчиками сатурации крови кислородом, пульсометром, датчиком температуры и сведения о физических нагрузках (акселерометр) и исследованы их рабочие характеристики; описана разработка лабораторного образца УСиОД, выполненного на печатной плате фабричного производства, с монтажом компонентов по SMT – технологии.

Ключевые слова: сатурация крови, пульсоксиметр, ЭКГ, ЦОС.

Введение

В современном мире большинство людей стремится к регулярному контролю жизненно важных показателей самочувствия, таких как артериальное давление, сердечный ритм, мониторинг физической активности и другие. В помощь таким людям зарубежные компании STBL MedicalResearch AG [1], Bredmed, Beurer [2], OMRON [3] и GARMIN предлагают на рынке свои продукты: многофункциональные браслеты, выполненные в форме наручных часов. Учитывая, что данные приборы призваны

покрывать достаточно широкий сегмент рынка и предназначены для здоровых людей, стремящихся следить за качеством своего здоровья, а именно физической активностью. Функциональность предлагаемых решений недостаточна для исчерпывающего контроля за самочувствием их покупателя с точки зрения точных медико-диагностических показателей, относящихся к конкретному виду заболеваний, в частности – ишемической болезни сердца (ИБС). Например, некоторые приборы могут осуществлять только контроль пульса, другие – измерение артериального давления, третьи могут только фиксировать сведения о количестве пройденных шагов и так далее.

В последнее время в широкой медицинской практике возрастает интерес к суточным исследованиям ЭКГ и артериального давления. Такое исследование носит название суточное мониторирование или суточная запись по Холтеру (по фамилии американского врача, впервые предложившего данную методику). К сожалению, на приеме врач не всегда имеет достаточно времени, чтобы пояснить пациенту цель и важность данных исследований. Мониторирование по Холтеру – непрерывная регистрация ЭКГ на протяжении суток. Запись ЭКГ осуществляется при помощи небольшого портативного прибора, который пациент носит на поясе под одеждой (в настоящей работе рассматривается разработка устройства для запястного ношения). Во время исследования пациент ведет обычный образ жизни, отмечая в специальном дневнике время и обстоятельства возникновения неприятных ощущений в области сердца. Исследование выполняется как в стационаре, так и амбулаторно. Особую популярность приобретают носимые приборы, размещаемые на брючном или поясничном поясе с проводными датчиками – зондами. Данного вида устройства пока еще громоздки и имеют до восьми проводов – электродов, что обеспечивает недостаточно комфортное применение прибора, однако носимые устройства позволяют пациенту не отрываться от повседневной деятельности в момент прохождения обследования. Кроме того, эта методика позволяет врачу выяснить на что пациент реагирует вне зоны стационара и какие и по какой причине у него возникают кардионагрузки.

В настоящее время ряд компаний – производителей полупроводниковых компонентов разработали и изготовили целый набор различных неинвазивных медицинских интегральных датчиков, выполненных в компактном корпусе и имеющим малое энергопотребление. Среди этих производителей можно британскую фирму - PlesseySemiconductors [4]. Эта компания является ведущей в области разработки и производства полупроводниковых компонентов, используемых в качестве датчиков, средств измерения и управления. Продукты Plessey находят широкое применение в системах связи, технологическом оборудовании, медицинской, оборонной и аэрокосмической промышленности. В качестве одного из продуктов фирмы Plessey можно выделить датчики EpiC. Датчик EPIС представляет собой совершенно новую область сенсорных технологий, он измеряет изменения в электрическом поле подобно тому, как магнитометр обнаруживает изменения в магнитном поле. Датчик EPIС не требует ни механического, ни резистивного контакта для проведения замеров. На его основе производят такие инновационные продукты, как медицинские сканеры. Их достаточно просто расположить вблизи груди пациента, чтобы получить качественную электрокардиограмму (ЭКГ). Датчик может быть интегрирован в специализированной микросхеме с другими функциями, к которым относятся преобразование данных, цифровая обработка сигналов и беспроводная связь. EPIС — это сокращение английского термина ElectricPotentialIntegratedCircuit: интегральная микросхема для измерения электрического потенциала. Но эта аббревиатура стала уже синонимом и технологии ИМС, и самого датчика, а в более широком понимании — физических принципов работы устройства в составе системы. EPIС — это бесконтактный электрометр, что подразумевает отсутствие прямого прохождения сигналов постоянного тока извне через входные каскады датчика, подобно электроду затвора МОП- транзистора. Электрод защищен слоем диэлектрического материала, который нанесен на него, чтобы

изолировать электрод от измеряемого объекта. Устройство имеет полосу пропускания по переменному току (по срезу -3 дБ) от нескольких десятков до 200 МГц, эта характеристика регулируемая и может быть адаптирована к конкретным условиям применения. Такой электрометр не может иметь связи по постоянному току, поскольку сила электрического поля Земли вблизи поверхности достигает значений 100–150 В/м. В униполярном режиме устройство можно использовать для регистрации электрического потенциала; в дифференциальном режиме оно может измерять локальное электрическое поле или же может быть развернуто в решетки, что обеспечит отображение пространственного распределения потенциала (рисунок 1).

Рисунок 1 – 3D – модель внешнего вида разрабатываемого устройства

Медицинское сообщество проявило огромный интерес к датчикам ЕРІС в связи с широкими возможностями измерения физиологических показателей на поверхности человеческого тела. Эти датчики могут найти применение в таких областях, как электрокардиография (ЭКГ), электромиография (ЭМГ), электроэнцефалография (ЭЭГ) и электроокулография (ЭОГ). ЕРІС-датчик может быть использован, например, в качестве замены традиционной технологии «мокрого» (гелевого) электрода в кабеле пациента при снятии ЭКГ, потому что этот датчик не требует ни геля, ни других веществ, улучшающих качество контакта. Для получения качественного ЭКГ-сигнала достаточно расположить ЕРІС-датчик на теле пациента или в непосредственной близости от него. Датчик позволяет решать широкий круг задач — от простого кардиомониторинга до более сложных клинико-диагностических исследований. В последнем случае он может быть использован в качестве замены регистрации в традиционных 12 отведениях, когда электроды расположены на конечностях и туловище пациента для получения более четкой картины того, как работает его сердце. Набор датчиков ЕРІС, установленный на груди человека, может заменить традиционные системы, при этом датчики демонстрируют аналогичную или даже лучшую разрешающую способность. На рисунке 2 показано сравнение результатов, полученных с помощью ЕРІС и традиционных «мокрых» электродов для отведений II и AVL. Эти два отведения имеют особое значение в диагностике, например, такого заболевания, как окклюзия коронарной артерии.

Рисунок 2 – Записи ЭКГ, показывающие результаты, полученные с помощью: а) датчиков EPIC; б) «мокрых» электродов

Кроме того, в сочетании с другими методами измерений, а именно: измерениями температуры тела [5], влажности кожных покровов, оптической пульсоксиметрией [6], положением и активностью тела человека в пространстве, можно детально понять и изучить природу полученных кардиограмм, сравнить физические нагрузки на сердце и влияние внешних факторов, например, атмосферного давления и температуры на метеочувствительных людей.

Разработка лабораторного образца

Для тестирования отдельных модулей и элементов ЭКБ, а также тестирования взаимодействий этих элементов между собой была проведена разработка функциональной схемы лабораторного образца устройства сбора и обработки данных. Лабораторный образец представляет собой двухстороннюю печатную плату на базе фольгированного стеклотекстолита марки FR-4, на которой размещены ЭКБ измерительных, управляющих систем и системы тестирования и отладки. Для реализации лабораторного образца устройства был изучен ряд измеряемых параметров, составляющих функционал устройства. Все необходимые для измерения лабораторным образцом параметры и требования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики УСнОД.

Технические характеристики	Значение Rev 1.0	Тип устройства
Общие характеристики		
Количество датчиков ЭКГ	1	PS25251
Количество датчиков сатурации крови кислородом – оптических пульсоксиметров	1	Разрабатываемое
Количество датчиков температуры	2	AD590
Количество датчиков влажности	1	Разрабатываемый
Количество датчиков положения	1	MPU6050
Количество модулей сбора и управления (микроконтроллеров)	1	STM32F103
Количество модулей передачи данных по радиоканалу	1	HC-05 HC-06
Питание		
Напряжение питания прибора, В	3.3	-
Потребляемая мощность. ВА, не более	1.5	-
Частота, Гц	Пост	-
Интерфейс связи		
Тип интерфейса	RS-232	HC-05/HC-06
Скорость передачи, Кбит/с	2,4; 4,8; 9,6; 14,4; 19,6; 28,8; 38,4; 57,6; 115,2	9,6; 14,4; 19,6; 28,8; 38,4; 57,6

Функциональная схема лабораторного образца изображена на рисунке 3.

Для обеспечения высокочастотного режима работы полупроводникового датчика ЭКГ необходимо провести анализ всех режимов работы системы аналого-цифровых измерений – АЦП, для получения соответствия с заявленными характеристиками. Однако, следует помнить, что носимая электроника сильно ограничена в габаритных размерах, поэтому целесообразно использовать АЦП интегрированный в микроконтроллер. Исходя из частоты следования PQRS-импульса/ Обычно на ЭКГ можно выделить 5 зубцов: P, Q, R, S, T. Иногда можно увидеть малозаметную волну U. Зубец P отображает процесс деполяризации миокарда предсердий, комплекс QRS — деполяризации желудочков, сегмент ST и зубец T отражают процессы реполяризации миокарда желудочков. На рисунке 4 представлена схема разделения зубцов ЭКГ на все виды пульсаций сердца. При максимально допустимом пульсе, и при требовании для высокоточной обработки сигнала необходимости не менее десяти выборки АЦП на измеряемый импульс, следует, что частота тактирования АЦП должна

быть не менее 200 Вб*с. Современные микроконтроллеры, такие как STM 32f103 имеют в своем составе АЦП обеспечивающие частоту дискретизации до 1 МВб*с на канал, при разрядности в 12 бит.

Рисунок 3 – Функциональная схема лабораторного образца системы сбора и обработки данных

Рисунок 4 – Зубцы PQRS T импульса электрокардиограммы (ЭКГ)

На рисунке 5 представлена основная схема подключения к АЦП промежуточных фильтров помехоподавления.

Рисунок 5 – Схема электрическая принципиальная лабораторного образца системы сбора и обработки данных

При проведении анализа разработанной электрической схемы принципиальной, была проработан ряд вопросов по совместимости различного вида ЭКБ. Проанализировано размещение полигонов цифровых и аналоговых земель, исключающих воздействие дребзга, вызванного цифровыми высокочастотными шумами, образующимися в процессе переключения логических уровней на аналоговые цепи. В результате была получена система, состоящая из трех полигонов, разделенных между собой диэлектрическими зазорами и соединенными в одной точке по схеме «Звезда». Подобную схему соединения полигонов и земель часто применяют в прецизионных устройствах и аналого-цифровых быстродействующих РЭА. На рисунке 6 представлен сегмент топологии печатной платы лабораторного образца УСИОД.

Рисунок 6 – Топология ПП лабораторного образца системы сбора и обработки данных

Для организации взаимодействия между контроллером и датчиками, обработке полученной информации, выделения полезного сигнала и передачи информации на мобильное устройство, разработан алгоритм и микропрограммное обеспечение, построенное на основе данного алгоритма. Основными требованиями к микропрограммному обеспечению являются пониженное энергопотребление микроконтроллера, датчиков и систем приема-передачи информации. На рисунке 7 представлен алгоритм микропрограммного обеспечения управляющего микроконтроллера УСиОД.

Рисунок 7 – Алгоритм микропрограммного обеспечения

Методика исследований

Для повышения точности и временной стабильности работы лабораторного образца, исследование характеристик блока управления и измерения является одной из первостепенных задач.

Частота измерения сигналов с датчиков ЭКГ, сатурации, температуры и положения определяется инерционностью системы и самих датчиков. Выходной сигнал датчика ЭКГ – пропорциональное усиленное напряжение, в последствии преобразуемый в цифровой код 12-разрядным АЦП. Диапазон измерения частот для данной системы не превышает 100-200 Гц, что согласуется с расчетами.

Результаты испытаний

Для повышения точности и временной стабильности работы лабораторного образца, исследование характеристик блока управления и измерения является одной из первостепенных задач.

На рисунке 8а представлена фотография лабораторного образца измерительной системы, а на рисунке 8б – полученная с помощью нее оптическая кардиограмма измерений сердечного ритма человека.

Рисунок 8 – Фотография лабораторного образца платы сбора данных (а) и полученная с помощью лабораторного образца системы сбора данных оптическая кардиограмма (б)

1. Популярная механика. Часы-тонометр: непрерывный мониторинг (<http://www.popmech.ru/technologies/14314-chasy-tonometr-neprieryvnyy-monitoring/>)
2. Официальный представитель Beurer (<http://beurer.tv/catalog/tonometr-beurer-bc58.html>)
3. RHARMEX MARKET (http://pharmex-market.ru/market/tonometry/avtomaticheskie_na_zapyaste/)
4. Breakspear R., Connor S. A single-arm ambulatory EKG measurement system using capacitive sensors // Electronics goes medical paper (<http://plesseysemiconductors.com/library-plesseysemiconductors.php>)
5. Булкин П.С., Васильева О.Н., Киров С.А., Малова Т.И. Измерение температуры полупроводниковыми термометрами // Лабораторный практикум по молекулярной физике (http://genphys.phys.msu.ru/rus/lab/mol/Lab224_2013_2.pdf)
6. Anaesthesia Tutorial of the Week Dr. Iain Wilson Пульсоксиметрия // Выпуск №123, ноябрь 2015 г.

Шатунов А.Н.

Электрические потери в секциях разрезного проводящего тигля

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

(Россия, Санкт-Петербург)

doi:10.18411/lj-07-2018-34

idsp: 000001:lj-07-2018-34

Аннотация

Представлены результаты исследования энергетических параметров индукционной системы с разрезным проводящим тиглем для плавки оксидов и зависимости электрических потерь в секциях тигля от параметров плавки, полученные с использованием численного моделирования.

Ключевые слова: индукционная система, разрезной проводящий тигель, плавка оксидов

Несмотря на то, что индукционные установки с разрезными проводящими тиглями уже несколько десятилетий широко используются в промышленности, полного представления об электромагнитных явлениях, происходящих в секциях тигля так и нет. При проектировании и управлении этими индукционными установками успешно используются теоретическая база и накопленный опыт, но от недостатка данных могут возникать погрешности. Так, мало изучена зависимость электрических потерь в секциях разрезного тигля от параметров загрузки и частоты тока в индукторе. В данном случае исследовалась система (рисунок 1) с соосным расположением индуктора 1, загрузки (расплава) 2 и тигля 3. Расчеты проводились с использованием трехмерной