

Секция 3

ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 621.548

Е. С. АСТРАШЕВСКАЯ, Л. С. ДУБОВЕЦ

КОМБИНИРОВАННАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА ОСНОВЕ РОТОРОВ ДАРЬЕ И САВОНИУСА

Изучаются устройство и эксплуатации комбинированной ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения на основе роторов Дарье и Савониуса, рассмотрены преимущества и недостатки горизонтальных и вертикальных ветроэнергетических установок, предложено техническое решение для изучаемой ветроэнергетической установки по увеличению значения генерируемой энергии.

Согласно стратегии устойчивого развития, принятой на законодательном уровне во многих странах мира, в том числе и в Республике Беларусь, приоритетным направлением сейчас является разработка технологий использования возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ). Кроме экологического аспекта, предпосылками развития разработок по использованию местных видов топлива и возобновляемых источников энергии также являются экономические и социальные проблемы современного мира. Во многих странах значительный процент генерируемой энергии производится с помощью энергетических установок, использующих возобновляемые источники энергии, в том числе – ветроэнергетических установок (далее – ВЭУ) (Дания – 42%, Испания – 20%) [1].

подавляющая часть эксплуатируемых на данный момент – ВЭУ с горизонтальной осью вращения. Однако ВЭУ с горизонтальной осью вращения, несмотря на достаточно высокий коэффициент полезного действия, имеет свои недостатки. В частности, передача большого тока через коллектор вызывает ощутимые потери энергии и может привести к неприятностям как из-за нарушения контактов при их окислении, так и из-за снижения упругости пластин щеточного устройства [2]. Кроме того, ветроколесо такого типа обладает качествами гироскопа – волчка, стремящегося сохранить в пространстве ориентацию оси вращения [3]. Именно поэтому при изменениях направления ветра возникает значительная нагрузка на подшипники, что сокращает срок их службы.

Во многих случаях более выгодной может оказаться роторная ВЭУ, у которой ветроколесо имеет вертикальную ось вращения.

К достоинствами вертикальных ВЭУ можно отнести [4]:

1) успешно работают при любом направлении ветра, нет необходимости наличия флюгерного устройства (благодаря вертикальному расположению ведущего вала ротора, вертикальные турбины, в отличие от турбин с горизонтальной осью вращения, «захватывают» ветер, дующий в любом направлении) [5];

2) занимают меньшую площадь;

3) имеют высокие обороты при низкой скорости ветра;

4) простота конструкции — не нуждаются в высоких мачтах и растяжках, редукторах (генератор прямо на оси ротора);

5) обладают меньшим уровнем шума (некоторые).

Основными критериями выбора в пользу ВО ВЭУ можно назвать — близкое расположение ВЭУ к жилому объекту, стесненность в пространстве установки, слабый ветер в области установки. Отсутствие вибраций, низкий шум и возможность установки на любую поверхность делают ВО ВЭУ незаменимым, например, для любого транспортного средства, которое используется для длительных путешествий.

Известно несколько типов роторных ветродвигателей. Одним из самых простых и эффективных является ротор Савониуса (рисунок 1), представляющий собой разрезанный по диаметральной плоскости полый цилиндр со смещенными друг относительно друга частями [6]. Такой ротор хотя и тише ветроколеса, но имеет больший крутящий момент и способен работать при незначительных скоростях ветра.

Достоинства ротора Савониуса: высокая технологичность производства и низкий пусковой крутящий момент (обеспечивающий его самозапуск), а также работа, проходящая на малых скоростях. Недостатки данного типа: большой расход материалов при производстве; эффективность работы лопастной системы ниже, чем у горизонтальных ветряных генераторов [4].

Другой распространенный тип ветроколеса - ротор Дарье (рис. 2) [7].

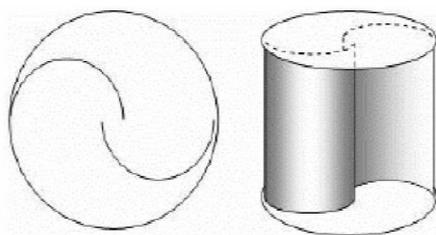


Рисунок 1 – Ротор Савониуса

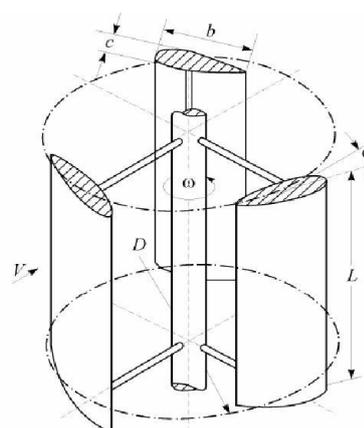


Рисунок 2 – Ротор Дарье

Благодаря вертикально расположенному главному валу, ветрогенератор с ротором Дарье прост в эксплуатации, так как можно расположить установку приводного оборудования на уровне земли. Однако работа лопастной системы ротора Дарье менее эффективна, невозможен самостоятельный запуск ветрогенератора с двумя лопастями при равномерном потоке, слабый пусковой момент. Опорные узлы ветроколеса имеют низкий срок службы (появляются дополнительные нагрузки, так как при вращении ротора направление подъёмной силы от каждой лопасти меняется на 360°) [4].

Комбинированные ветроэнергетические установки (далее – КВО ВЭУ) позволяют значительно повысить эффективность работы ВЭУ [2]. Ярким примером КВО ВЭУ на основе роторов Дарье и Савониуса является Maglev (рисунок 3) [8]. В его конструкции ротор Савониуса используется для раскрутки ротора Дарье до необходимой быстроходности. Таким образом, устраняются означенные выше недостатки роторов Савониуса и Дарье.

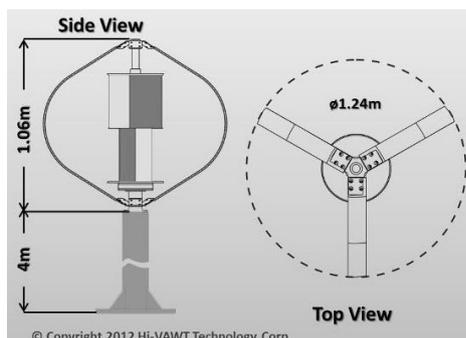


Рисунок 3 – Габариты ветрогенератора Maglev DS-300 300 Вт

Но Maglev имеет и свои недостатки: из рисунок 4 – при некоторой скорости ветра происходит резкое уменьшение генерации мощности. Это объясняется тем, что ротор Савониуса разогнав ротор Дарье (в начальный момент времени), начинает его тормозить, так как они расположены на одной оси и жёстко связаны механически. Т.е. когда ротор Савониуса уже прекращает работу, ротор Дарье только выходит на требуемую мощность.

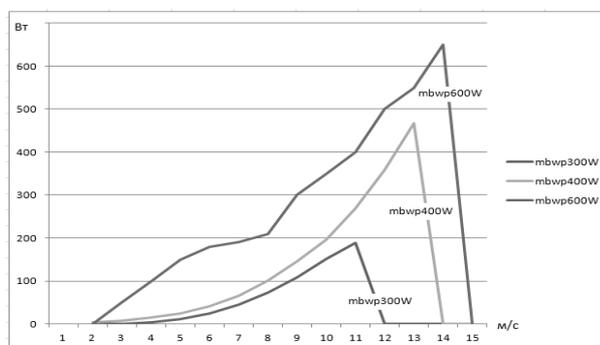


Рисунок 4 – График генерации КВО ВЭУ Maglev (для трёх конфигураций)

Для решения проблемы торможения мы предлагаем для КВО ВЭУ использовать роторы Савониуса и Дарье, соединенные посредством специального механизма, который будет разрывать жёсткую механическую связь роторов в определённый момент (например, храпового механизма).

Такое решение позволит:

- в начале работы ротором Савониуса по-прежнему производить запуск ротора Дарье;
- при увеличении скорости ветра, с момента начала торможения ротора Савониуса, разорвать механическую связь и обеспечить свободный «проскок» ротора Дарье. Это приведет к тому, что увеличится диапазон скорости ветра, при котором работает КВО ВЭУ, и, как следствие, увеличится значение генерируемой энергии.

Список литературы

1. Renewables 2015. Global Status Report. // Renewable Energy Policy Network for the 21st Century [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf – Дата доступа: 23.02.2016.
2. Ветродрив. Ру [Электронный ресурс] // Ветрогенератор с вертикальной осью вращения. Схема и конструкция роторных вертикальных ветрогенераторов. – 2010. – Режим доступа: <http://vetrodvig.ru/> – Дата доступа: 03.02.2016.
3. Моделист-конструктор [Электронный ресурс] // Пусть работает ветер. – 2016. – Режим доступа: <http://modelist-konstruktor.com/> – Дата доступа: 23.02.2016.
4. Портал об альтернативных источниках энергии для дома и дачи [Электронный ресурс] // Характеристики, классификация и отличия ветрогенератора Ленца – 2016. – Режим доступа: <http://mirenergii.ru/> – Дата доступа: 13.02.2016.
5. Альтернативная энергия [Электронный ресурс] // Виды ветродвигателей – 2015. Режим доступа: <http://altenergiya.ru/> – Дата доступа: 20.01.2016.
6. Беларусский портал по возобновляемым источникам энергии [Электронный ресурс] // Энергия ветра. – Минск, 2012. – Режим доступа: <http://re.energybel.by> – Дата доступа: 5.02.2016.
7. Горелов, Д. Н. Теплофизика и аэромеханика. Энергетические характеристики ротора Дарье (обзор) : учеб. пособие / Д.Н. Горелов. – Омск : Омский филиал Института математики им. С. Л. Соболева СО РАН, 2010. – Т. 17, № 3.
8. Сайт торгово-производственной компании Manblan [Электронный ресурс] // Ветрогенераторы МАГЛЕВ. – 2016. – Режим доступа: <http://msk.manblan.ru/> – Дата доступа: 20.01.2016.
- 9.

The article is devoted to studying design and operation activity of the vertical wind-driven power-plant based on combining a "Darrieus" and a "Savonius" type of vertical axis wind turbines. The benefits and limitations of horizontal and vertical axis wind turbines were considered. We suggest special engineering solution to improve the work of wind-driven power-plant (an increase of energy output).

Астрашевская Екатерина Сергеевна, студентка 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, astrashevskaya.es.15@itim.by.

Дубовец Любовь Сергеевна, студентка 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, dubovets.lyubov@mail.ru.

Научный руководитель – *Комар Владимир Николаевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, v.komar@grsu.by.

УДК 53.089.6

П. Е. БЕКИШ

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЕРКИ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

Изучены современные методы лазерной дальнометрии, рассмотрены действующие и перспективные методы метрологического контроля лазерных дальномеров, оценены величины погрешностей при метрологическом контроле лазерных дальномеров различными методами.

В настоящее время широко используются средства линейных измерений, основанные на принципах лазерной дальнометрии. Современные углоизмерительные приборы, такие как электронные тахеометры, снабжены лазерными дальномерами, что позволяет проводить не только измерения углов между объектами, но и расстояния до этих объектов. При этом развитие и совершенствование лазерных дальномеров, возрастающие требования к их точности и надежности приводят к необходимости создания новых методов и средств контроля метрологических характеристик таких приборов. Поэтому метрологический контроль измерительных систем лазерных дальномеров является на данный момент актуальной задачей.

При метрологическом контроле лазерных дальномеров в настоящее время в соответствии с действующими в Республике Беларусь техническими нормативно-правовыми актами используется геодезический полигон (ГП). ГП является носителем единиц геодезических величин – длин линий, превышений, значений углов, азимутов и ускорений силы тяжести. ГП представляет собой открытый участок местности, предназначенный для метрологической аттестации или поверки геодезического оборудования, протяженностью несколько километров [1].

Основные негативные факторы при использовании ГП – усложнение работ по метрологическому контролю, ведущее к увеличению их стоимости и продолжительности. Кроме того, одним из главных факторов, которые следует учитывать при поверке дальномерного блока тахеометра, являются метеорологические условия. При неблагоприятных метеоусловиях ухудшается видимость, соответственно мощности отразившегося сигнала лазерного пучка от отражателя может быть недостаточно для его регистрации. Еще один негативный фактор – широкий диапазон значений температуры (от -30 до $+30^{\circ}\text{C}$), при которой проводится поверка прибора. Дальномерный блок тахеометра в соответствии с методикой поверки поверяется при температуре $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ и влажности не более 80 %. Эти недостатки полигонов являются основными причинами создания компактного лабораторного базиса.

В данной работе предложен наиболее перспективный лабораторный метод метрологического контроля лазерных дальномеров на основе анализа характеристик точности действующих и альтернативных методов. Для проведения метрологического контроля лазерных дальномеров в лаборатории можно предложить два альтернативных подхода. В первом подходе с помощью системы зеркал базисное расстояние воспроизводится в зигзагообразном виде (рисунок 1). Следует отметить, что для данного способа может быть реализована практически любая конфигурация зеркал, которая удовлетворяла бы потребностям метрологического контроля лазерных дальномеров. В предложенном способе допустимо установить как несколько различных наборов зеркал с различными расстояниями между ними, так и использовать сложные инженерные решения для «собирания» необходимого расстояния из представленного набора регулируемых зеркал непосредственно во время проведения метрологического контроля [2].

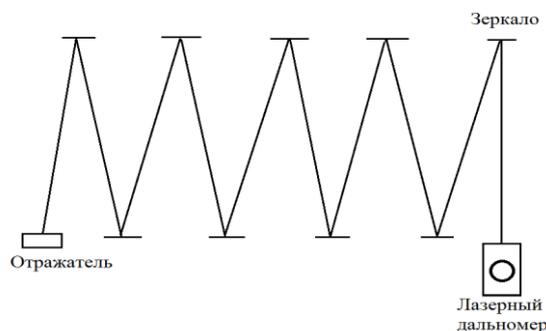


Рисунок 1 – Схема поверки лазерного дальномеров с применением зигзагообразного базиса

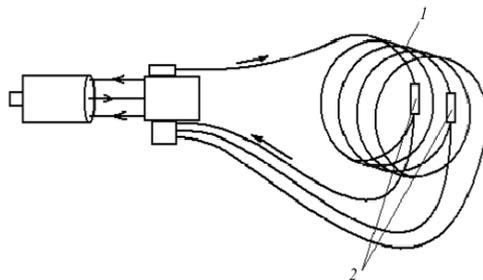
Во втором подходе в качестве базисных линий применяется оптическое волокно, которое обладает способностью практически без потерь передавать световой сигнал на большие расстояния (рисунок 2) [3].

В данной работе проведено оценивание погрешности измерения расстояний при поверке тахеометров различными методами (действующим и альтернативным).

Погрешность измерения расстояний современных тахеометров определяется по формуле:

$$\pm (a + b \cdot 10^{-6} \cdot D) \text{ мм или } \pm (a + b \text{ ppm}) \text{ мм,} \quad (1)$$

где a — постоянная составляющая погрешности; $b \cdot 10^{-6} \cdot D$ — переменная составляющая погрешности, которая изменяется в зависимости от измеряемого расстояния; D — измеряемое расстояние.



1 – оптоволокно, 2 – оптический делитель

Рисунок 2 – Схема поверки лазерного дальномеров с применением оптоволоконного базиса

При поверке лазерных дальномеров действующим методом погрешность составляет 3 мм на расстоянии 366 метров.

Погрешность тахеометра Sokkia SET 610 при поверке с помощью зигзагообразной базисной линии составила: 2 мм на расстоянии 96 метров.

Погрешность измерения расстояния с использованием в качестве базисной линии оптического волокна составила: для Sokkia 530 – 3 мм, для Sokkia 630 – 2 мм на расстоянии 366 метров.

Полученные результаты позволяют сделать выбор оптоволоконного геодезического базиса как наиболее предпочтительного с точки зрения точности измерений.

Список литературы

1. СТО-02570823-19-05. Базисы линейные эталонные. Общие технические требования. – Введ. 2006. 01.01. – Москва, 2005.
2. Коломиец, Л. В. Метрологический контроль тахеометров / Л. В. Коломиец, К. А. Подостроец. М. : Метрология, 2014. – С. 36–40.
3. Виноградов, Н. С. Разработка методов метрологического контроля измерительных систем лазерного дальномера : автореф. дис.... канд. техн. наук : 05.11.01 / Н. С. Виноградов; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. – Санкт-Петербург, 2012.

The paper studies modern methods of laser ranging, covers current and prospective methods in metrological control of laser ranging devices, estimates the value of errors during the metrological control of laser ranging devices by different methods.

Бекіш Павел Евгеньевич, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, bekishpasha@gmail.com.

Научный руководитель – *Василюк Геннадий Тимофеевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, vasilyuk@grsu.by.

УДК 533.9.01

А. И. БОЖКО, А. Д. ЮНИК

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОДА-КАТОДА

Рассмотрено влияние величины импульсного электропитания на процесс нагрева стенок электрода-катода цилиндрического типа в условиях разряда с эффектом полого катода при среднем вакууме.

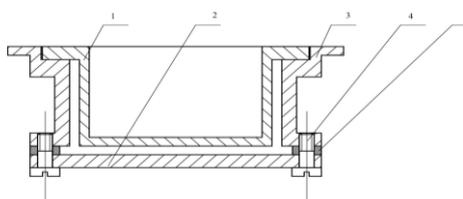
Характеристики плазмы определяются в значительной степени величиной электрической мощности, передаваемой в газовый разряд. При этом между величиной, вкладываемой в разряд электрической мощности и условиями формирования разряда (род газа, степень вакуума, скорость прокачки газа, расстояние между электродами и др.) существуют сложные зависимости [1]. Взаимосвязь между условиями формирования разряда в большинстве случаев устанавливается экспериментальным путем.

Изучение влияния режимов электропитания на температуру внутренней поверхности цилиндрического электрода-катода проводилось на установке на базе вакуумного поста УРМ–3.279.029. Измерения выполнялись при следующих значениях режимов возбуждения разряда с эффектом полого катода: давление в рабочей камере – 80–200 Па, подаваемая мощность – 400–800 Вт. В качестве плазмообразующего газа использовали азот.

На катод подается импульсное напряжение отрицательной полярности, частота импульсов порядка 50 кГц. Необходимость использования импульсов отрицательной полярности связана со специфическими эффектами формирования разряда с эффектом полого катода, так как на катод должно подаваться отрицательное напряжение [2]. На рисунках 1 и 2 представлены внешний вид разрядной системы и конструкция полого катода.



Рисунок 1 – Внешний вид разрядной системы



1 – вставка, 2 – нижняя пластина катода, 3 – основание, 4 – винт, 5 – втулка

Рисунок 2 – Конструкция полого катода цилиндрического типа

Для измерения температуры внутренней поверхности вставки катода использовалась термопара хромель-алюмель с рабочим диапазоном измерения температуры – 40–1100 °С, которая находилась в непосредственном контакте с внутренней частью катода. Рабочая часть термопары для защиты от электровоздействий помещена в кварцевую трубку, а основная – во фторопласт. Термопара подключалась к измерителю-регулятору «Сосна-003М», осуществляющему преобразование сигнала в значение температуры.

На рисунке 3 приведены зависимости величины нагрева стенок катода при различных давлениях плазмообразующего газа.

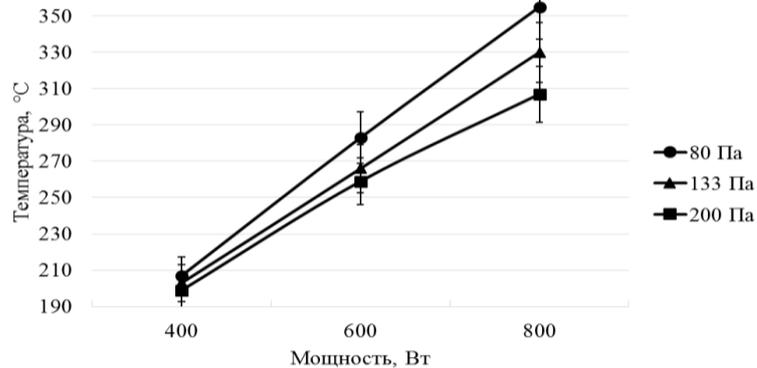


Рисунок 3 – Величина нагрева стенок электрода-катода цилиндрического типа при различных величинах давлений

Представленные графические зависимости показывают, что температура внутренней поверхности электрода-катода цилиндрического типа растет при увеличении подаваемой на катод мощности. При этом, по мере повышения подаваемой на катод величины мощности электропитания рост температуры замедляется, что обусловлено повышением величины рассеиваемой энергии за счет излучения.

Более низкие показатели значений температуры при более высоком давлении плазмообразующей среды связаны с ухудшением разрядных условий, а также с большей величиной теплоотвода при меньших значениях вакуума.

Список литературы

1. Райзер, Ю. П. Высокочастотный емкостный разряд: Физика. Техника эксперимента. Применение. / Ю.П. Райзер, М. Н. Шнейдер, Н. А. Яценко. – М. : Наука, 1995. – 320 с.
2. Божко, А. И. Электрические характеристики возбуждения разряда с эффектом полого катода при низком вакууме / А. И. Божко, С. В. Бордусов // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР : материалы конф. В 2 ч. Ч. 2, Минск, 18-19 марта 2014 г. / БГУИР ; редкол. : А. Н. Осипов [и др.]. – Минск, 2014. – С. 194–195.

The influence of the characteristics of the pulse power supply on the process of the cylinder type electrode-cathode walls heating in the conditions of hollow cathode discharge at medium vacuum is investigated.

Божко Андрей Игоревич, аспирант БГУИР, Минск, Беларусь, bordusov@bsuir.by.

Юник Андрей Дмитриевич, БГУИР, Минск, Беларусь, bordusov@bsuir.by.

Научный руководитель – *Бордусов Сергей Валентинович*, доктор технических наук, профессор кафедры ЭТТ БГУИР, Минск, Беларусь, bordusov@bsuir.by.

УДК 621.382

И. А. БУТЬКО

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЁТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ НА ОСНОВЕ RFID-ТЕХНОЛОГИИ

Рассмотрены особенности RFID-технологии, схема автоматизированной системы, принцип её работы и подключения, а также моделирование в среде Proteus. Возможности микроконтроллера Arduino Uno вполне достаточно для управления процессами, которые используются в данной системе.

RFID (Radio Frequency IDentification) – радиочастотная идентификация это современная технология, используя которую, информация необходимая для уникальной идентификации конкретного объекта, дистанционно записывается или считываются с наклеенной или встроенной в объект метки, с помощью

радиоволн. По дальности считывания RFID-системы можно подразделить на системы: ближней идентификации (до 20 см); идентификации средней дальности (от 20 см до 5 м); дальней идентификации (от 5 м до 300 м).

RFID-системы состоят из: метки или транспондера, считывателя (reader), антенны, системы управления считывателями (middleware). Метки – устройства способные хранить и передавать данные. По источнику питания метки бывают: пассивные, активные, полупассивные. В памяти меток содержится их уникальный идентификационный код. Метки некоторых типов имеют перезаписываемую память. Считыватели – это приборы, которые с помощью антенн получают информацию из меток, а также записывают в них данные. Антенны используются для наведения электромагнитного поля и получения информации от меток, попавших в это поле. Система управления считывателями – программное обеспечение, которое формирует запросы на чтение или запись меток, управляет считывателями, объединяя их в группы, накапливает и анализирует полученную с rfid-меток информацию, а также передает эту информацию в учетные системы.

Основные преимуществами при использовании RFID-технологии является то, что не требуется прямая видимость радиочастотной метки, чтобы считывать из нее информацию, поэтому rfid-метка может располагаться внутри упаковки (если она не металлическая), обеспечивая ее скрытность и сохранность. Также в таких системах возможна высокая скорость считывания меток (до 1000 штук в секунду). Возможно изменение информации в метке, если она относится к классу «чтение-запись» (Read/Write). Метки, которые обладают операцией «только чтение», являются долговечными, так как они устойчивы к воздействию окружающей среды, поскольку метку всегда можно поместить в любую защитную полимерную оболочку.

Автоматизированная система состоит из: контроллера Arduino Uno, RFID-модуля RC522, RFID-меток (пассивных) и персонального компьютера с собственным программным обеспечением. Схема подключения изображена на рисунке 1.

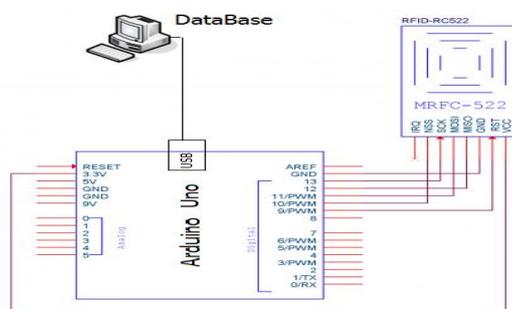


Рисунок 1 – Схема подключения контроллера к ПК и RFID-модулю

Arduino Uno – это устройство на основе микросхемы ATmega328. Контроллер имеет 14 цифровых входов/выходов (из них 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов), 6 аналоговых входов, кварцевый резонатор на 16 МГц, разъем USB, разъем питания, разъем для внутрисхемного программирования (ICSP) и кнопка сброса. Для начала работы с устройством достаточно просто подать питание от AC/DC-адаптера или батарейки, либо подключить его к компьютеру посредством USB-кабеля. RFID-модуль основан на микросхеме MFRC522, он работает на частоте 13.56 МГц, дальность считывания меток 0~60 мм. Для связи с контроллерами используется интерфейс SPI, с максимальной скоростью считывания 10 Мбит/с. Данный модуль способен осуществлять чтение и запись rfid-меток. Подключать его следует к источнику питания с напряжением 3.3 вольта. RFID-метки выполнены в виде брелоков и карточек, на которые возможно перезаписывать информацию. В качестве программного обеспечения используется программа, написанная на языке Visual Basic 6.0. Прошивка для микроконтроллера пишется на языке в C++ в специальной IDE, которую можно скачать на официальном сайте производителя данных контроллеров (<https://www.arduino.cc>). Для загрузки прошивки в контроллер не нужно использовать внешний программатор, так как ATmega328 в Arduino Uno выпускается с прошитым загрузчиком.

Принцип действия: при включении контроллера происходит конфигурация портов Arduino и инициализация модуля RC522. Если пользователь подносит карту к модулю, то происходит считывание данных и передача их на контроллер по интерфейсу SPI. Контроллер определяет идентификационный номер карты и передает его в COM-порт компьютера. Далее приложение, написанное на VB, считывает данные с COM-порта и устанавливает связь с локальной базой данных. Если id-номер карты совпадет с id-номером, записанным в базе данных, то приложение отправит разрешающий сигнал на 13 пин контроллера и диод загорится. Также в базу данных будет записано время прибытия пользователя. Если id-номера не совпадут, то приложение отправит запрещающий сигнал на контроллер, и диод будет моргать. Добавление новых пользователей будет осуществляться через базу данных. При необходимости на RFID-метку кроме уникального номера можно будет записать другую информацию.

При отсутствии необходимых деталей, симулировать работу контроллера и ПО можно в программе Proteus (рисунок 2).

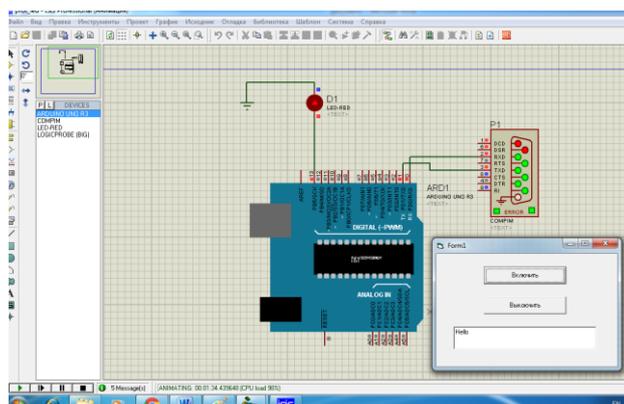


Рисунок 2 – Передача данных из программы на VB 6.0. в Proteus

Так как в библиотеке протейуса отсутствует RFID-модуль, вместо него подключили обычный диод. Отправка данных в контроллер осуществляется через COM-порт с помощью собственной программы, написанной на VB 6.0. При приеме логической «1» контроллер зажигает диод и отправляет сообщение-приветствие в последовательный порт. При приеме логического «0» контроллер гасит диод. Полученные данные сохраняются в текстовый файл.

Список литературы

1. Atmega328 DataSheet <http://www.atmel.com/.../atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48p>.
2. RC522 DataSheet http://www.nxp.com/documents/data_sheet/MFRC522.pdf.
3. RFID <https://ru.wikipedia.org/wiki/RFID>.

Бутько Иван Александрович, студент 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, ivanb_94@mail.ru.

Научный руководитель – *Ассанович Борис Алиевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 621.382

Ю. П. ВОРОНЕЦКИЙ, Е. Т. ЯДЕШКО

СОЗДАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО МАКЕТА ПАНОРАМЫ СРАЖЕНИЯ ВОЕННОГО ПЕРИОДА

В ходе работы было реализовано управление моторами постоянного тока, их запуском, отключением, изменением числа оборотов в процессе работы моторов. Также реализовано изменение угла поворота сервоприводов в заданном диапазоне.

Основной задачей являлось обеспечить движение танков с установленными в них моторами постоянного тока по заданному алгоритму, а также поворот башни танка на заданный угол. Второстепенными задачами являлись звуковые сопровождения танкового боя и возможность дальнейшего усовершенствования макета.

Для осуществления поставленных задач было выбрано управляющее устройство (контроллер), а также оборудование, приводящее в движение такие элементы как гусеницы танка и его башня (управляемое устройство). Управляющим устройством выступает контроллер Arduino Uno, который построен на ATmega328. Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Управляемым устройством выступают сервоприводы Tower Pro SG90 и моторы постоянного тока. Сервоприводы Tower Pro SG90 выполняют задачу по повороту башни танка на заданный угол, который ограничен диапазоном от 0 до 180 градусов. Данный сервопривод полностью удовлетворяет условиям поставленной задачи, имеет небольшие размеры (22mm x 11.5mm x 22.5mm), вес (9 грамм) и имеет интуитивно понятную и простую схему подключения:

- Коричневый провод – Земля (Ground, подключается к пину GND на плате Arduino)
- Красный провод – Питание +5 V (подключается к пину 5V на плате Arduino)
- Желтый провод – Сигнал управления (подключается к цифровому пину Arduino)

На рисунке 1 представлен сервопривод Tower Pro SG90.



Рисунок 1 – Сервопривод Tower Pro SG90

Моторы постоянного тока подключаются не к простому цифровому выходу, а через двуканальный драйвер моторов на микросхеме L298P к выходу ШИМ. На рисунке 2 представлена упрощенная схема подключения управляемого оборудования к управляющему.

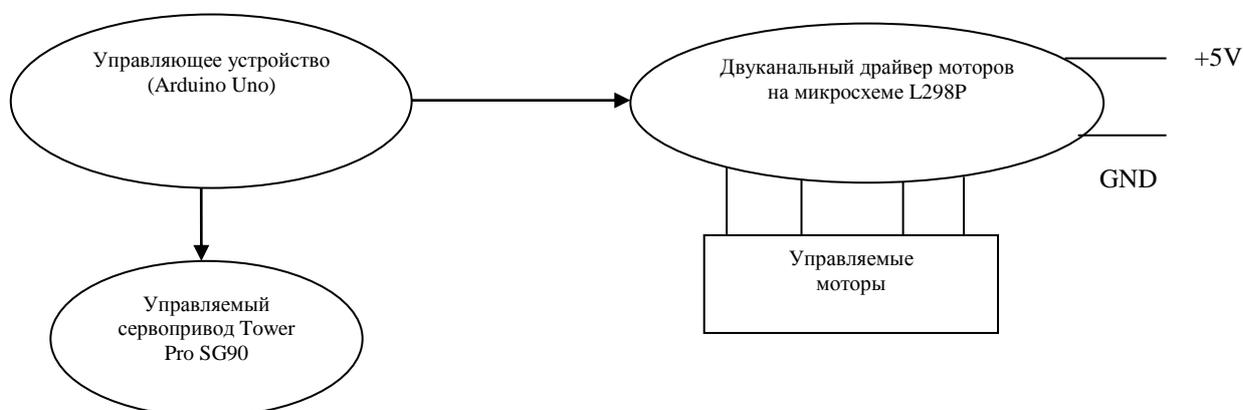


Рисунок 2 – Схема подключения моторов постоянного тока и сервоприводов Tower Pro SG90 к Arduino Uno

Алгоритм работы заключается в следующем:

1. Пользователь переключает установленную кнопку в положение ВКЛ.
2. Танки начинают своё движение и завершают его для того, чтобы повернуть башню и совершить выстрел.
3. После совершения выстрела танк перемещается на новую локацию.
4. Пункт 3 повторяется до тех пор, пока все танки противника не будут выведены из строя.

Следует напомнить, что макет является демонстрационным, несёт собой реконструкционный характер и что на самом деле проходит лишь имитация танкового сражения, выстрелов и повреждений зданий и техники.

На рисунке 3 можно увидеть некоторые промежуточные тестирования работы макета и настройку перед запуском.



Рисунок 3 – Тестирование работы оборудования

После установки сервоприводов и перед подключением их и драйвера моторов к Arduino, на Arduino была записана прошивка, написанная в среде Arduino Software(IDE).

В данный момент макет работает по алгоритмам, записанным в прошивку, при этом каждый алгоритм представляет собой новый сценарий проведения танкового боя. В скором времени планируется установить элементы управления, для того чтобы пользователь сам определял сценарий демонстрации работы макета. Также планируется установить MP3 модуль и синхронизировать работу макета со звуковыми эффектами. Также проводятся работы по установке светодиодной подсветки макета. В долгосрочной перспективе будет осуществлён переход к беспроводному формату подключения управляемого оборудования к контроллеру, а также осуществление управления как по заданному алгоритму так с помощью пульта дистанционного управления.

Список литературы

1. Atmega328 DataSheet <http://www.atmel.com/.../atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48p>.
2. L2989P DataSheet http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/2/9/8/L298P.shtml.

Воронецкий Юрий Павлович, студент 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, voronetsky19@gmail.com.

Ядешко Евгений Тадеушевич, студент 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, zhenia04.94@mail.ru.

Научный руководитель – *Ассанович Борис Алиевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 53.072.12

Д. С. ГРЕКОВА

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «ИЗУЧЕНИЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ»

Разработаны и изготовлены модули для изучения принципов работы основных типов аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Произведено моделирование избранных схем АЦП в программе Electronics Workbench. Лабораторный стенд состоит из изготовленных модулей, на базе которых возможно изучение принципов работы АЦП последовательных приближений, параллельного и интегрирующего АЦП.

Модуль «АЦП последовательных приближений» состоит из компаратора, буфера (шинного усилителя-формирователя), цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), к которому подключается источник опорного напряжения (ИОН). Обмен информацией между ЦАП и управляющим ПК осуществляется посредством интерфейса Centronics (или преобразователя интерфейсов USB-Centronics), сигналы шины данных которого подключены к входам буфера, нагруженного на входы ЦАП. На вход компаратора поступает измеряемый сигнал, а на опорный вход – напряжение с выхода ЦАП. Для индикации состояния компаратора использован светодиод. Сигнал с компаратора передается в ПК, который с помощью создаваемой студентами программы управления может реализовать алгоритмы АЦП последовательного счета и последовательного приближения.

Модуль «Параллельный 3-х разрядный АЦП» представляет собой массив из 7-и компараторов, каждый из которых сравнивает входное напряжение с индивидуальным опорным напряжением, формируемым с помощью резисторного делителя. Значения опорных напряжений начинаются со значения, равного половине младшего значащего разряда, и увеличиваются при переходе к каждому следующему компаратору с шагом, равным $U_{оп}/8$. Изменяемый сигнал подается на входы компараторов одновременно. С увеличением входного напряжения компараторы последовательно устанавливают свои выходы в логическую единицу, начиная с компаратора, отвечающего за младший значащий разряд. Для индикации состояния компараторов использованы светодиоды. Сигналы с компараторов посредством интерфейса Centronics передаются в ПК, на базе которого программно реализуется приоритетный шифратор.

Модуль «Интегрирующий АЦП на базе преобразователя напряжение-частота» построен на основе преобразователя напряжение-частота (ПНЧ), включающего в себя источник постоянного тока, заряжаемый от него конденсатор, аналоговый ключ для разрядки конденсатора и одновибратор на выходе. Импульсы с выхода ПНЧ поступают в ПК. Частота импульсов определяется частотомером, реализуемым студентами программно.

Модули изготовлены в виде односторонних печатных плат размером 120x80 мм, содержащих разъемы для подключения измерительных приборов и ПК. Созданы компьютерные модели, изучаемые АЦП в программе Electronics Workbench. Разработанные модули используются в лабораторном практикуме по курсу "Основы автоматизации измерений" при изучении принципов работы АЦП.

Список литературы

1. Герман, А. Е., Гачко, Г. А. Основы автоматизации эксперимента : лабораторный практикум / А. Е. Герман, Г. А. Гачко. – Гродно : ГрГУ, 2005. – 56 с.

2. Никамин, В. А. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Справочник. / В. А. Никамин. – СПб. : КОРОНА принт ; М. : «Альтекс-А», 2003. – 224 с.

3. Опадчий, Ю. Ф. – Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): учеб. для вузов / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров ; под. ред. О.П. Глудкина. – М. : Горячая Линия – Телеком, 2000. – 768 с.

Laboratories stand for studying the principles of the main types of analog-to-digital converters (ADCs). Produced modeling ADC circuits in Electronics Workbench program.

Грекова Дарья Сергеевна, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, volkda88@mail.ru.

Научный руководитель – Герман Андрей Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, german@grsu.by.

УДК 681.586.372

В. В. ГРИГУТЬ

БЕСПРОВОДНОЕ УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ УЧЕБНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Разработано многоканальное беспроводное устройство регистрации физических величин для применения в учебном эксперименте. Приведены структурная схема, компонентная база, описан принцип работы.

Беспроводные технологии находят применения в различных сферах деятельности человека. Они улучшают эргономические характеристики оборудования, в случаях сложного монтажа и агрессивных сред – снижают стоимость, позволяют проводить сложные опыты.

Существует ряд учебных экспериментов, проведение которых с помощью проводных технологий затруднено или вовсе невозможно. Среди них изучение движения по окружности, измерение индукции магнитного поля на вращающейся рамке, получение параметров движущихся объектов в режиме реального времени. Оборудование для учебных экспериментов должно отвечать ряду требований: соответствовать высокому отношению цена/возможности, быть простым в эксплуатации и обслуживании, иметь эстетический внешний вид. Существующие датчики зачастую не удовлетворяют данным критериям, поэтому их применение в учебном эксперименте затруднительно либо вовсе невозможно. Для решения этой проблемы разработано беспроводное устройство регистрации физических величин (БУРФВ) со следующими техническими характеристиками:

- напряжение питания беспроводного датчика – 3,3 В;
- напряжение питания базового блока – 5 В;
- ток потребления беспроводного датчика не более 26 мА;
- ток потребления базового блока не более 35 мА;
- дальность связи до 50 м;
- рабочая частота – 2,4 ГГц;
- максимальное число беспроводных датчиков – 10;
- максимальная частота опроса датчика-регистратора – 160 Гц;
- максимальное время работы беспроводного датчика без подзарядки – 2 часа;
- габаритные размеры 28x28x38 мм;
- масса не более 16 г.

Структурная схема разработанного БУРФВ представлена на рисунке 1.

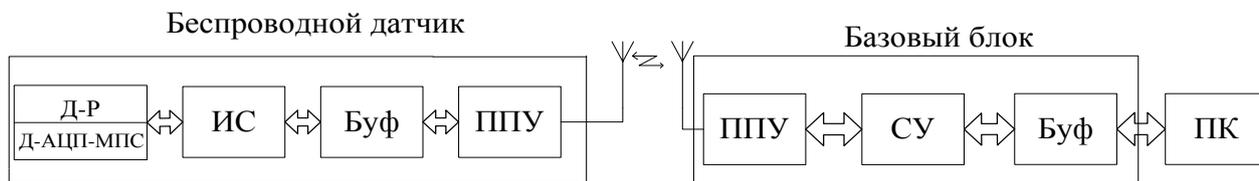


Рисунок 1 – Структурная схема беспроводного устройства регистрации физических величин

Цифровой датчик-регистратор Д-Р осуществляет преобразование измеряемой физической величины в цифровой код. Полученный сигнал передается на интерфейс связи с датчиком ИС, формирующий пакеты данных для передачи и управления работой приёмо-передающего устройства ППУ. Принятые приемником пакеты данных буферизируются в буфере Буф и передаются на персональный компьютер ПК. Работой приёмо-

передающего устройства ППУ в приёмнике управляет схема управления СУ. Полученная информация обрабатывается и выводится на монитор в удобном для пользователя виде.

В качестве цифрового датчика-регистратора целесообразно применять миниатюрные сенсоры физических величин, работающие по интерфейсам I2C, SPI, 1-Wire. Разработанное БУРФВ оснащено измерителями ускорения MPU-6050 и атмосферного давления BMP180.

Модули приёма-передачи беспроводного датчика и базового блока реализованы на основе чипа NRF24L01+. Эта ИМС имеет встроенную микропроцессорную систему управления приёмо-передатчиком, работающим на частоте 2,4 ГГц. Передача данных осуществляется пакетами длиной 32 байта, со скоростью до 2 Мбит/с с применением GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying) модуляции.

Интерфейс связи, схема управления и буфер БУРФВ реализованы на основе микроконтроллера Atmega32L-8AU. Он способен работать при более низком напряжении питания (2,7 – 5,5В), чем Atmega32-16AU, но на более низкой тактовой частоте – 8 МГц. Atmega32L-8AU имеет необходимые для применения в БУРФВ интерфейсы SPI, I2C, UART 8 канальный 10 битный АЦП, 32 Кб Flash, 1024 бита ППЗУ и 2Кб SRAM памяти. Тактирование микроконтроллера осуществляется от внешнего кварцевого резонатора с резонансной частотой 8 МГц, который может быть как в выводном, так и в SMD исполнении. Потребляемый ток Atmega32-16AU при работе на указанной частоте не превышает 5 мА.

Электропитание беспроводного сенсора осуществляется от литий-полимерного аккумулятора ёмкостью 100 мА/ч размерами 15x10x1,8 мм и встроенным контроллером заряда. У этого источника питания выходное напряжение находится в интервале от 3,7 – 4,2 В, поэтому для обеспечения его значения равным 3,3 В применён интегральный стабилизатор напряжения хс6206р332мг. Эта ИМС выпускается в корпусе SOT-23, её основные параметры: падение напряжения 0,35 В, рассеиваемая мощность 250 мВт, максимальный выходной ток при напряжении 3,3 В – 200 мА, цена 0,1\$. Для её работы не требуется большого количества внешних элементов, достаточно фильтрующих конденсаторов на входе и выходе.

Электропитание сборища осуществляется от порта USB микроконтроллера, в качестве стабилизатора применена та же ИМС, что и в беспроводном датчике.

Для обеспечения работы БУРФВ в мультидатчиковом режиме разработано программное обеспечение, реализующее следующий алгоритм работы. После включения базового блока происходит считывание из EEPROM адресов зарегистрированных беспроводных датчиков. Далее, последовательно, каждому из них, базой передаётся команда начать сбор данных. После этого, базовый блок передаёт каждому из них команды на передачу накопленных данных. Интервал между передачами в 300 мс обусловлен размером буфера.

Обработка данных производится по следующему алгоритму. Беспроводные сенсоры, в зависимости от типа датчика-регистратора, выдают результат длиной от 1 до 4 байт. Радиомодуль передаёт данные по 1 байту, результат измерения побайтово разбивается. Для увеличения помехозащищённости каждый пакет имеет контрольную сумму длиной 2 байта.

Работа БУРФВ с датчиком-акселерометром успешно апробирована при измерении центростремительного ускорения и вибраций опор кабины и водительского сиденья трактора МТЗ 3022ДЦ.1 в полевых условиях. Результаты полевых испытаний показывают, что разработанное для лабораторных условий БУРФВ способно функционировать при температуре -6°C и дальности его действия 50 м достаточно для указанных измерений.

БУРФВ целесообразно применять в учреждениях образования при проведении следующих учебных экспериментов. Измерение центростремительного ускорения, получение значения параметров магнитного поля в опыте с вращающейся рамкой, контроль влажности, давления и температуры воздуха в герметичных боксах.

Список литературы

1. Григуть, В. В. Применение беспроводных датчиков в демонстрационном эксперименте/ В. В. Григуть, А. Е. Василевич // Проблемы и перспективы инновационного развития университетского образования и науки : материалы Междунар. науч. конф. (Гродно, 26-27 февраля 2015 г.).
2. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы / В. А. Буров [и др.] ; под общ. ред. А. А. Покровского. – М. : Просвещение, 1967. – Ч. 2 : Механика, теплота. – 367 с.
3. Григуть, В. В. Обзор рынка цифровых датчиков температуры и ускорения для учебного эксперимента / В. В. Григуть // Физика конденсированного состояния : материалы XXIII междунар. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 16 апр. 2015 г. / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол. : В. Г. Барсуков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно, 2015. – С. 157 – 159.
4. Григуть, В. В. Компонентная база беспроводного устройства регистрации физических величин, применяемого в учебном эксперименте / В. В. Григуть // Современные информационные технологии в системе научного и учебного эксперимента : опыт, проблемы, перспективы : материалы III между. науч.-метод. конф. (Гродно, 14-15 мая 2015 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол. : В. Г. Барсуков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно, 2015. – С. 71 – 73.
5. MPU-6050 datasheet // Invensense [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/RM-MPU-6000A.pdf> – Дата доступа: 01.02.2015.
6. BMP180 // Bosch Sensortec [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: https://www.bosch-sensortec.com/en/homepage/products_3/environmental_sensors_1/bmp180_1/bmp180. – Дата доступа: 01.09.2015.
7. Atmega32 datasheet // Atmel [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.atmel.com/Images/doc2467.pdf>. – Дата доступа: 30.03.2015.

8. NRF24L01 datasheet // Nordic Semiconductor [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>. – Дата доступа: 01.02.2015

Developed multi-channel wireless device registration of physical quantities for use in an educational experiment. The blockdiagram, component base, described the working principle.

Григуть Валерий Владимирович, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, valer.grigut@yandex.ru.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

УДК 681.586

А. Ю. ДАУКША

ОБЗОР ДАТЧИКОВ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Проведен обзор датчиков медико-биологической информации. Приведены основные характеристики, требования, обобщенная классификация, а также перечислены ведущие мировые производители датчиков медико-биологической информации.

Датчиком называют устройство, преобразующее измеряемую или контролируруемую величину в сигнал, удобный для передачи и дальнейшего преобразования или регистрации.

В рамках медицинской электроники рассматриваются датчики, которые преобразуют измеряемую или контролируемую неэлектрическую величину в электрический сигнал. Использование электрического сигнала предпочтительнее, чем иных сигналов, так как электронные устройства позволяют сравнительно несложно усилить его, передавать на расстояние и регистрировать [1].

Ниже приведены общие характеристики датчиков медико-биологической информации, вне зависимости от их физической природы и количества необходимых промежуточных этапов преобразований.

1. Передаточная функция – устанавливает взаимосвязь между выходным электрическим сигналом датчика S и внешним воздействием s : $S=f(s)$.

2. Диапазон измеряемых значений (максимальный входной сигнал) – динамический диапазон внешних воздействий, который датчик может воспринять.

3. Диапазон выходных значений – алгебраическая разность между электрическими выходными сигналами, измеренными при максимальном и минимальном внешнем воздействии.

4. Точность – основная характеристика любого датчика, определяющая погрешность его измерений.

5. Калибровка – устранение большей части систематической погрешности прибора путём задания коэффициентов коррекции данных.

6. Ошибка калибровки – погрешность, допущенная производителем при проведении калибровки датчика.

7. Гистерезис – это разность значений выходного сигнала для одного и того же входного сигнала, полученных при его возрастании и убывании.

8. Нелинейность – определяется для датчиков, передаточную функцию которых возможно аппроксимировать прямой линией. Под нелинейностью понимается максимальное отклонение L реальной передаточной функции от аппроксимирующей прямой линии.

9. Насыщение – диапазон выходных сигналов за верхней границей рабочего диапазона обусловленный нелинейностью преобразования входного воздействия.

10. Воспроизводимость – это способность датчика при соблюдении одинаковых условий выдавать идентичные результаты.

11. Мертвая зона – нечувствительность датчика в определенном диапазоне входных сигналов.

12. Разрешающая способность – характеризует минимальное изменение измеряемой величины, которое может почувствовать датчик.

13. Выходной импеданс – характеристика, указывающая, насколько легко датчик согласовывается с электронной схемой.

14. Сигнал возбуждения – электрический сигнал, необходимый активному датчику для работы.

15. Надежность – это способность датчика выполнять требуемые функции при соблюдении определенных условий в течение заданного промежутка времени.

16. Специальные характеристики входных сигналов.

17. Динамические характеристики.

18. Факторы окружающей среды.

19. Характеристики датчиков, диктуемые условиями их применения.

20. Статистическая оценка [2].

К датчикам медико-биологической информации предъявляется ряд специальных требований. Независимо от особенностей конкретных технических реализаций они должны обеспечивать:

- получение устойчивого информативного сигнала;
- минимальное искажение полезного сигнала;
- максимальную помехозащищенность;
- удобство размещения в необходимом для измерения месте;
- отсутствие раздражающего или другого действия на организм;
- возможность стерилизации (без изменения характеристик) и многократного использования [3].

Обобщенная классификация.

Медицинские датчики подразделяются на [4,5]:

1. *Энергетические* датчики – датчики, в которых вырабатываемый сигнал изменяется при взаимодействии с объектом исследования и затем принимается этим же датчиком.

2. *Биоуправляемые* датчики – принимают сигнал, приходящий непосредственно от объекта исследования и имеющий внешнее по отношению к датчику происхождение. Биоуправляемые датчики, в свою очередь, подразделяются на:

2.1. *Генераторные* – измеряемый параметр непосредственно преобразуется в электрический сигнал, т. е. под воздействием измеряемой величины активные датчики сами генерируют сигнал соответствующей амплитуды или частоты. К таким датчикам относятся:

2.1.1. Пьезоэлектрические.

2.1.2. Термоэлектрические.

2.1.3. Индукционные.

2.1.4. Фотоэлектрические.

2.2. *Параметрические* – датчики, в которых под воздействием измеряемого сигнала изменяется какой-либо электрический параметр. Среди них:

2.2.1. Емкостные.

2.2.2. Реостатные.

2.2.3. Индуктивные.

Ведущие производители датчиков медико-биологической информации.

First Sensor – один из ведущих поставщиков решений в области датчиков для медицины, промышленности и мобильных приложений. Продукция компании сертифицирована в соответствии с ISO 13485 и охватывает датчики для измерения давления, расхода, уровня наполнения, кислорода, света, излучения и ускорения.

Philips Healthcare – подразделение компании Philips, занимающееся производством медицинского оборудования. Philips Healthcare выпускает датчики потока, температуры, давления, пульсоксиметрические датчики и др.

Dräger Medical GmbH – подразделение компании немецкой компании, производящее медицинскую технику, в том числе широкий спектр медицинских датчиков.

Maquet AG – транснациональная компания, производитель и поставщик медицинского оборудования. Кислородные датчики, датчики сатурации, температурные датчики, а также потока и кислорода.

General Electric Healthcare – одним из ведущих мировых производителей медицинского оборудования. Компания производит широкий спектр медицинских датчиков, включающий датчики кислорода, потока, температуры, пульсоксиметрические датчики, датчики для ультразвуковых сканеров.

Список литературы

1. Олейник, В. П. Аппаратные методы исследований в биологии и медицине / В. П. Олейник, С. Н. Кулиш. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2004. – 110 с.
2. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Федотов, А. А. Математическое моделирование и анализ погрешностей измерительных преобразователей биомедицинских сигналов / А. А. Федотов, С. А. Акулов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 282 с.
4. Датчики медико-биологической информации [Электронный ресурс]. // iLab – информационный портал по вопросам биомедицинской инженерии. – Режим доступа: <http://ilab.xmedtest.net/?q=node/3577>. – Дата доступа: 21.02.2016.
5. Медицинская электроника [Электронный ресурс]. // Репозиторий Харьковского национального медицинского университета. – Режим доступа: <http://repo.knmu.edu.ua/bitstream/123456789/3161/1/МЕДИЦИНСКАЯ%20ЭЛЕКТРОНИКА%203.pdf>. – Дата доступа: 22.02.2016.

A review of medical and biological information sensors. The main characteristics, requirements, generalized classification as well as the world's leading manufacturers of medical and biological information sensors.

Дauкша Александр Юрьевич, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, dauksha_aj@grsu.by.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИЗУЧЕНИЕ ПУЛЬСАЦИИ СВЕТОВОГО ПОТОКА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА»

Разработана и экспериментально апробирована лабораторная работа по изучению пульсаций светового потока люминесцентных источников света для практического использования в учебном процессе при изучении курса «Основы светотехники и фотометрии».

Изучение основ светотехники в системе подготовки будущих инженеров по специальности «Лазерные технологии» связано с излучением источников света и их важнейших особенностей. Определенное внимание непременно уделяется люминесцентным источникам света, достаточно распространённым в настоящее время.

Наряду с высокой световой отдачей (~ 90 лм/Вт) данные источники обладают таким недостатком как пульсации светового потока, связанные с негативным влиянием на здоровье человека. При питании газоразрядных ламп переменным током частотой 50 Гц из-за малой постоянной времени разряда ($\sim 10^{-4}$ с) лампа зажигается и гаснет на каждом полупериоде напряжения, вызывая пульсации светового потока с частотой 100 Гц.

Для изучения данного эффекта и выбора оптимальных путей уменьшения его проявления разработана лабораторная работа «Исследование пульсаций светового потока люминесцентных источников света». Данная работа будет использоваться при изучении предмета «Основы светотехники и фотометрии».

В подготовленном теоретическом описании поясняются физические причины наличия пульсаций и рассматриваются возможные способы их снижения (использование ламп с минимальным коэффициентом пульсаций, использование соответствующих схем питания, питание ламп током повышенной частоты и др.). Рассмотрены также соответствующие методы уменьшения пульсаций светового потока светильников, которые состоят из нескольких люминесцентных ламп.

Лабораторная установка. Для экспериментального изучения пульсаций светового потока была создана установка, состоящая из люминесцентного источника света, датчика для измерения изменения светового потока на основе фотодиода ФД24К и цифрового осциллографа DS5032E, регистрирующего сигнал; снимаемый с фотодиодного датчика. Фотодиод датчика использовался в фотovoltaическом режиме работы. Осциллограф был включен в режим измерения постоянного сигнала.

На рисунке 1 приведена осциллограмма светового потока лампы ЛБ-20 с индуктивным пускорегулирующим аппаратом.

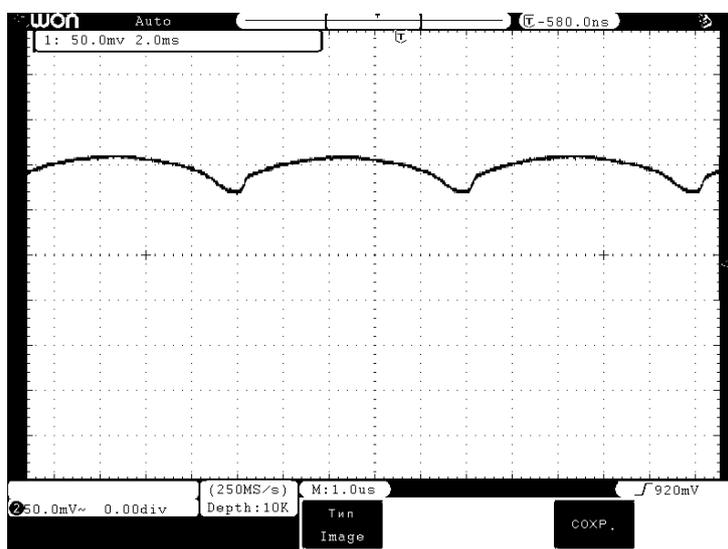


Рисунок 1 – Осциллограмма светового потока лампы ЛБ-20 с индуктивным пускорегулирующим аппаратом. Скорость развёртки 2 мс/дел

Осциллограмма светового потока лампы, аналогичной ЛБ-20 с электронным пускорегулирующим аппаратом показана на рисунке 2. Указанная лампа работает на повышенной частоте питающего напряжения – 35 кГц.

Исходя из зарегистрированных осциллограмм, был определен коэффициент пульсаций светового потока в соответствии с выражением:

$$K_{\text{п}} = \frac{\Phi_{\text{max}} - \Phi_{\text{min}}}{2\Phi_{\text{cp}}},$$

где Φ_{max} и Φ_{min} – максимальное и минимальное значение светового потока за период колебания; Φ_{cp} – среднее значение светового потока.

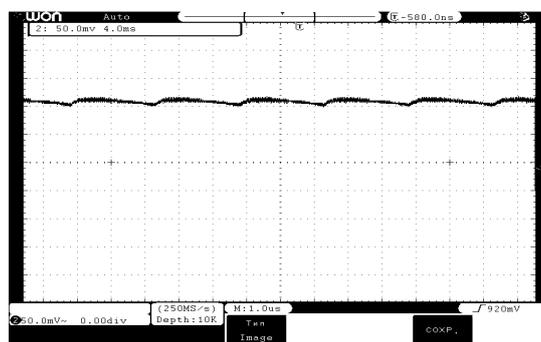


Рисунок 2 – Осциллограмма светового потока лампы ЛБ-20 с электронным пускорегулирующим аппаратом. Скорость развёртки 4 мс/дел

Для лампы ЛБ-20 с индуктивным пускорегулирующим аппаратом, коэффициент пульсаций светового потока составил 22%, в то время как для лампы с электронным пускорегулирующим аппаратом указанная величина оказалась равной 5 %.

В соответствии с санитарным нормам и правилам (СНиП), допустимая величина коэффициента пульсаций для различных типов помещений находится в пределах 10–20 %. Люминесцентные лампы с электронным пускорегулирующим аппаратом удовлетворяют СНиП для использования в любых помещениях, в то время как коэффициент пульсации лампы ЛБ-20 превышает допустимый предел.

Люминесцентные лампы с электронным пускорегулирующим аппаратом, работающие на повышенной частоте питающего напряжения, обеспечивают существенное меньшее значение коэффициента пульсаций светового потока.

Использование разработанной лабораторной работы в практикуме по предмету «Основы светотехники и фотометрии» позволит студентам обстоятельно усвоить особенности данного эффекта.

Список литературы

1. Кнорринг, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – 2-е изд. – Санкт-Петербург, 1992. – 448 с.
2. Шашлов, А. Б. Основы светотехники: учебник для вузов. / А. Б. Шашлов. – 2-е изд. – М. : Логос, 2011. – 256 с.
3. Щепина, Н. С. Основы светотехники: учебник для техникумов. / Н. С. Щепина. – М. : Энергоатомизд, 1985. – 344 с.
4. Варфоломеев, Л. П. Элементарная светотехника. / Л. П. Варфоломеев. – М., 2013. – 285 с.

Developed and experimentally tested in laboratory work to study the pulsations of the luminous flux of fluorescent light sources for practical use in educational process when studying the basics lighting and photometry.

Дьяченко Алина Юрьевна, студентка 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, alina.diatchenko@yandex.by.

Научный руководитель – *Курстак Владислав Юозефович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, vkurstak@tut.by.

УДК 621.039.85

Е. В. ЕМЕЛЬЯНЕНКО, А. В. САВКОВ

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОДНОФОТОННОЙ И ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ С УЧЁТОМ АППАРАТНЫХ АСПЕКТОВ

В мировой практике в области диагностической радиологии методы однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) и позитронно-эмиссионной томографии (совмещенной с компьютерной томографией, далее – ПЭТ) зарекомендовали себя благодаря высокому качеству и информативности получаемого изображения. Актуальным является вопрос о перспективности развития того или иного метода.

На сегодняшний день в Республике Беларусь есть действующий центр ПЭТ с циклотронной лабораторией для производства радиофармпрепарата (РФП) и изотопные лаборатории с ОФЭКТами. В связи с неуклонным ростом онкологических заболеваний необходимо продолжать развивать отрасль ядерной медицины. Если у белорусских диагностов есть опыт работы с однофотонными томографами, то ПЭТ центр открыт сравнительно недавно.

Физические факторы.

ПЭТ и ОФЭКТ имеют схожие принципы работы: поглощение сцинтилляционными детекторами и регистрация гамма-квантов из очагов накопления радиофармпрепарата, а также оба сканера, как правило, представляют интегрированную систему с компьютерным рентгеновским томографом. Однако принципиально различаются физические аспекты, которые оказывают существенное влияние на качество получаемой информации, а именно итоговое реконструированное изображение. Необходимо отметить, что специфика получения изображения обусловлена используемыми радиофармпрепаратами.

ОФЭКТ системы используют гамма-излучающие радиофармпрепараты, детекторы регистрируют «единичные фотоны». В свою очередь, в целях избежания получения сигналов от фонового излучения используются коллиматоры, которые необходимо менять в зависимости от используемого радиофармпрепарата.

Радиофармпрепараты, используемые для процедуры ПЭТ-КТ диагностики являются позитронными излучателями. Позитроны (e^+) испускаются при распаде и переходе в устойчивое состояние дефицитных по нейтронам атомов e^+ аннигилирует с e^- в ткани с испусканием в противоположные стороны фотонных пар с энергией каждого фотона 511 кэВ, которые регистрируются детекторами (рисунок 1). Кроме того методика регистрации совпадающих событий в ПЭТ-сканерах позволяет добиться наилучшего соотношения сигнал/шум.

Место нахождения позитрона определяется парой детекторов (хордой), т.е. детекторы установлены по кругу гентри. В качестве кристалла детектора в ПЭТ сканере используется ВГО (германат висмута) или LSO (силикат лютеция), который считается на сегодняшний день стандартом для ПЭТ-детекторов. Основным преимуществом кристаллов LSO по сравнению с традиционными кристаллами NaI (которые, как правило, установлены на ОФЭКТ) является существенно меньшая постоянная времени спада светового импульса - 40 нс по сравнению с 250 нс и 300 нс, соответственно. Это позволяет сформировать более короткий импульс на выходе детектора. Способность кристаллов на основе лютеция генерировать на выходе мощный световой поток, делать их очень маленькими, обеспечивает исключительное изометрическое пространственное разрешение без каких-либо потерь чувствительности. Кроме того, кристаллы на основе лютеция показывают превосходящие характеристики FWHM, что является одним из определяющих факторов пространственного разрешения.

Время исследования и обработки информации на ОФЭКТ занимает больше времени по отношению к ПЭТ, т.к. детекторы в ПЭТ сканере расположены по кругу гентри, и нет необходимости вращения детектирующей системы вокруг исследуемого объекта.

Учитывая вышесказанные преимущества ПЭТ-сканеров по сравнению с ОФЭКТ-сканерами необходимо обратить внимание на TOF (времяпролетная технология) метод обработки информации с детекторов.

Исследования, проведенные в РНПЦ ОМР им. Александрова на томографе с TOF показали высокий результат, а как итог - высокоинформативное изображение (рисунок 2).

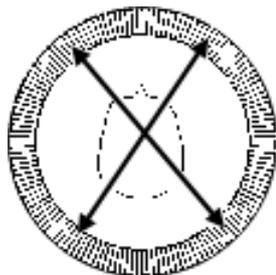


Рисунок 1 – Схема регистрации гамма-квантов в ПЭТ

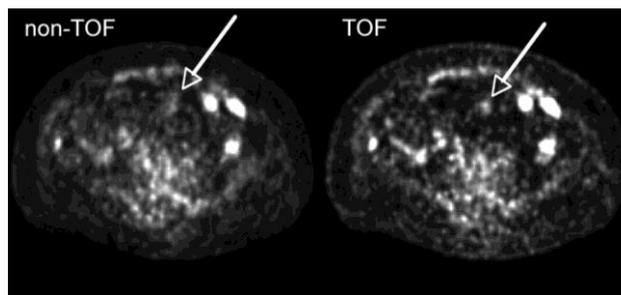


Рисунок 2 – Изображение с TOF

Дозиметрические аспекты.

При прохождении диагностической процедуры как на ОФЭКТ, так и на ПЭТ получает немалую дозиметрическую нагрузку. Дозу, получаемую при компьютерной томографической диагностике (которая следует перед ПЭТ и ОФЭКТ исследованиями) нет необходимости учитывать, т.к она эквивалентна.

Эффективная доза пациента (Е), которому введен конкретный препарат, может быть определена через произведение величины вводимой активности на соответствующий дозовый коэффициент. Коэффициент учитывает соединение изотопа и биологической метки.

Для сравнения рассчитана дозы получаемые пациентом от соединений Tc-99m), а так же F-18. $E = KDi,j * Ai,j$
 KDi,j – дозовый коэффициент для «i» изотопа и «j» соединения, мЗв/МБк; Ai,j – вводимая активность, МБк.

$E=0,0130*700= 9,1$ (пертехнетат)

$E=0,019*500= 9,5$ (фтор)

Однако необходимо учесть такие аспекты, как период полураспада и энергию гамма-кванта (таблица 1).

Изотоп	Период полураспада	Энергия гамма-кванта	Вид исследования
F-18	109 минут	511 кэВ	ПЭТ
Tc-99m	360 минут	146 кэВ	ОФЭКТ

В отношении периода полураспада фтор занимает более выигрышную позицию, однако обладает достаточно большой энергией образующихся фотонов.

Экономические факторы.

Для проведения диагностики на ОФЭКТ нет необходимости в циклотроне, а необходимым и достаточным условием для получения РФП является наличие генераторов.

ПЭТ – дорогостоящий метод исследования, так как необходимые для него радионуклиды имеют короткий период полураспада и поэтому должны быть получены на местном циклотроне и быстро включены в качестве метки в молекулы используемых веществ посредством синтеза в лаборатории. Однако на сегодняшний день активно внедряются методики по использованию генераторов для производства позитрон-излучающих изотопов, необходимых для ПЭТ исследования.

Учитывая наличие циклотронно-радиохимической лаборатории в РНПЦ ОМР им. Александра целесообразна закупка и инсталляция ПЭТ – сканеров в различных частях республики и наладка доставки радиофармпрепаратов.

ПЭТ является перспективным методом радионуклидной диагностики позволяющим получать уникальную информацию о метаболизме и перфузии нормальных и патологически измененных тканей на клеточно-молекулярном уровне. Эти данные могут иметь решающее значение для диагностики и дифференциальной диагностики злокачественных опухолей на ранних этапах их развития. Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о том, что многие аспекты использования ПЭТ в онкологии изучены недостаточно. Технические возможности ПЭТ позволяют решать широкий спектр задач и постоянно развиваются. На сегодняшний день в мировую практику активно внедряется ПЭТ-сканер, интегрированный с МРТ, где используются уникальные устойчивые к магнитному полю детекторы.

Учитывая некоторые преимущества ПЭТ-сканеров, нельзя полностью отказаться от ОФЭКТ, т.к. это система с большой практикой, показавшей хорошие результаты, а так же имеющая умеренные ценовые характеристики. Необходимо работать с проверенными методиками в области ОФЭКТ, а также стремиться расширять круг задач для ПЭТ систем, учитывая их технические возможности, а так же высокую точность и специфичность метода.

Список литературы

1. Арсвольд, Д., Эмиссионная томография: основы ПЭТ и ОФЭКТ / Д. Арсвольд. М.: Техносфера, 2009.
2. Ramos C. D., Erdi Y. E., Gonen M. [et al.]. “FDG-PET standardized uptake values in normal anatomical structures using iterative reconstruction segmented attenuation correction and filtered back-projection”, Eur. J. Nucl. Med. – 2001, – 28. № 2.

In the world practice in the field of diagnostic radiology methods of single-photon emission computed tomography (SPECT) and positron emission tomography (combined with CT, PET) have proven themselves through their high quality and information content of the image. The question of development of these methods is actual.

Емельяненко Евгений Владимирович, магистрант МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, Минск, Беларусь, zheka-ava@mail.ru.

Савков Александр Владимирович, магистрант кафедры лазерной физики и спектроскопии БГУ, Минск, Беларусь, savkov.00@mail.ru.

Научный руководитель – *Тарутин Игорь Германович*, доктор технических наук, профессор, РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александрова, Минск, Беларусь, itarutin@tut.by.

УДК 334.716:005.591.6

А. Р. КОМАР, А. М. ОСТРИКОВ

АЛГОРИТМ ЛЕВЕНШТЕЙНА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Рассмотрен алгоритм Левенштейна для обработки данных. При передаче данных данные передаются не полностью в результате помех при передаче. Для решения этой задачи Владимир Иосифович Левенштейн придумал алгоритм, который может исправить кодовое слово с выпадением или вставкой одного бита, также алгоритм подразумевает нахождение позиции, из которой выпал бит, а также его символ «0» либо «1».

Пропуск сигнала по уровню приводит к выпадениям символа. На рис. 1 стрелкой указано место выпадения бита информации.

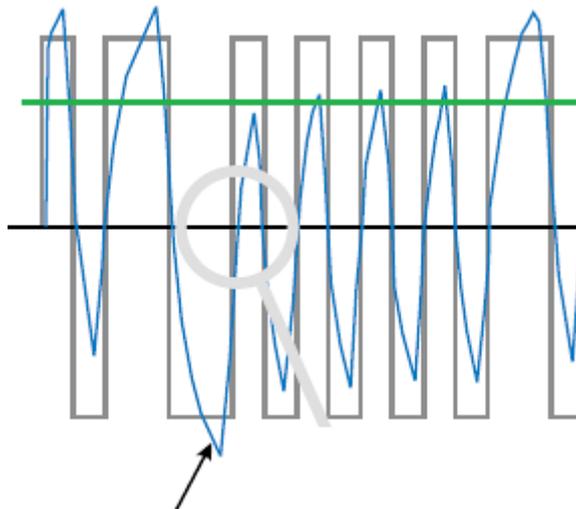


Рисунок 1 – Выпадение символа при пропуске сигнала по уровню

Алгоритм Левенштейна реализует код с исправлением одного выпадения или вставки, но этот алгоритм не подходит для исправления кодового слова с выпадением или вставкой более одного бита информации. В этом случае принятое кодовое слово заменяется на наиболее похожее отпавленное кодовое слово.

В рассмотренном примере мы брали кодовое слово длиной, равной 6 бит, следовательно, количество передаваемых бит должно быть кратным 6. А размер принятых кодовых слов должен равняться минимум 5. Только в этом случае можно найти и исправить ошибку в кодовом слове, используя алгоритм Левенштейна. На примере, рассмотренном в среде MathLAB, мы исследовали выпадение одного бита информации.

Кодовые слова выбираются следующим образом: принимая параметр a как $0 \leq a \leq n$ в VT-кодах, $VT_a(n)$ коды это набор бинарных слов $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ с длиной n , такие, что выполняется равенство:

$$\sum_{i=1}^n ix_i \equiv a \pmod{(n+1)} \quad (1)$$

Данный тип кодов – простые корректирующие коды выпадения и вставок. Принимая $a = 0$, используются только оптимальные из них. Например, после подсчета $\sum_{i=1}^n ix_i \equiv 0 \pmod{7}$ код $VT_0(6)$ с длиной блока $n = 6$ получается,

что $VT_0(6) = \{000000, 001100, 010010, 011110, 100001, 101101, 110011, 110100, 111111\}$.

Левенштейн предложил простой алгоритм детектирования для VT-кодов, который будет описан ниже. Предположим, что будут использованы кодовые слова $VT_0(n)$.

1. Предположим, что кодовое слово $x \in VT_0(n)$ передается по целевому каналу, причем бит на позиции p был удален и y был получен.
2. Пусть L_0 нулевой и L_1 биты левее удаленного, а R_0 нулевой и R_1 биты правее удаленного (где $p = 1 + L_0 + L_1$),
3. Подсчитаем вес $wt(y) = L_1 + R_1$ и контрольную сумму $\sum_i iy_i$. Если удаленный бит равен нулю, новая контрольная сумма $R_1 (\leq wt(y))$ будет меньше чем предыдущая. Если удаленный бит равен единице, то новая контрольная сумма будет равна $p + R_1 = 1 + L_0 + L_1 + R_1 = 1 + wt(y) + L_0 (> wt(y))$, т.е. меньше своего предыдущего значения.

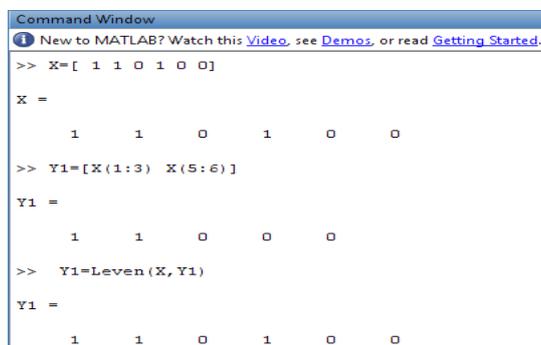
Таким образом, если недостаток контрольной суммы (предположим контрольная сумма равна D), меньше либо равен $wt(y)$, значит можно сделать вывод о том, что «0» бит был удален и мы восстанавливаем его слева от самого правого R_1 . В противном случае, делается вывод о том, что был удален бит «1» и он должен быть восстановлен справа от самого левого L_0 .

Пример: После передачи кодового слова $X_1 = 1_11_20_31_40_50_6$ получили кодовое слово $Y_1 = 1_10_21_30_40_5$.

По алгоритму, представленному выше, найдём $S(X_1) = \sum_{i=1}^6 x_i \cdot i$ и $S(Y_1) = \sum_{i=1}^5 y_i \cdot i$. Получим $S(X_1) = 7$ и $S(Y_1) = 4$. Найдём разность контрольных сумм: $S(X_1) - S(Y_1) = \Delta Y = 3$, а при $n_y = 5$ находим $\|Y\| = n_y - \Delta Y = 2$. Из соотношения $\Delta Y > \|Y\|$, по алгоритму Левенштейна отсчитываем справа $n_x - \Delta Y = 3$ нулевых символов и вставляем перед ними символ 1. После этого получаем исходное

слово X_1 . $X_1 = 1_11_20_31_40_50_6 = Y_1=1_11_20_31_40_50_6$. Подсчитав вес полученного кодового слова Y_1 , получим $S(X_1) = S(Y_1)$, что доказывает исправление выпадения одного бита информации из кодового слова.

В среде MathLAB была реализована функция $Leven(X, Y_1)$ (рис. 2), которая определяет позицию и выпавший символ. В нашем случае «0» или «1». В параметрах функции записаны X - передаваемое кодовое слово, и Y_1 – принятое кодовое слово.



```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
>> X=[ 1 1 0 1 0 0]

X =

     1     1     0     1     0     0

>> Y1=[X(1:3) X(5:6)]

Y1 =

     1     1     0     0     0

>> Y1=Leven(X, Y1)

Y1 =

     1     1     0     1     0     0
  
```

Рисунок 2 – Результат моделирования работы алгоритма Левенштейна в MathLAB

На рисунке 2 изображены начальные данные, X и Y_1 , а также результат работы функции, реализующей алгоритм Левенштейна. После передачи кодового слова X было принято слово Y_1 , в котором выпал один символ. После применения алгоритма Левенштейна к принятому слову Y_1 оно будет равно передаваемому кодовому слову X , что доказывает работоспособность алгоритма Левенштейна.

Список литературы

1. Джиттер. Теория [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jprr.org/index.php/jprr/article/view/26>.
2. Vladimir I. Levenshtein. 1966. Binary codes capable of correcting deletions, insertions and reversals. Soviet Physics-Doklady. 10, 8. (Feb. 1966). 707–710.

Комар Андрей Романович, студент 3 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, andruha_kar@mail.ru.

Остриков Артём Михайлович, студент 3 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, eghio@mail.ru.

Научный руководитель – *Ассанович Борис Алиевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, bas@grsu.by.

УДК 378.012.7:537.1

С. В. КУЧУК

РАССМОТРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛА И ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ЦИФРОВОГО ГЕНЕРАТОРА С USB ИНТЕРФЕЙСОМ ДЛЯ УЧЕБНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Разработан многоканальный цифровой генератор с USB интерфейсом для применения в учебном эксперименте. Представлена в работе структурная схема прибора, компонентная база, используемая для создания генератора, рассмотрен функционал и описан принцип работы.

Многофункциональные цифровые генераторы востребованы на предприятиях и электронных лабораториях. Генератор позволяет сгенерировать необходимый сигнал с требуемыми параметрами без больших усилий и нет необходимости менять схематехнику прибора или использовать другое устройство. В ряде учебных экспериментов появляется необходимость генерации сигналов разной формы и параметрами. С этой задачей прекрасно справляется цифровой генератор. Основными сигналами управления являются синусоидальный, треугольный и меандр. Оборудование для учебных экспериментов должно соответствовать высокому отношению цена/возможности, быть простым в эксплуатации и обслуживании. Для простоты задания выходных параметров генератора используется компьютер, на котором задаются все необходимые параметры выходного сигнала, что значительно удобнее и надежнее чем ручная регулировка. Для решения поставленных задач был разработан многофункциональный цифровой генератор с USB интерфейсом.

Структурная схема разработанного генератора представлена на рисунке 1.

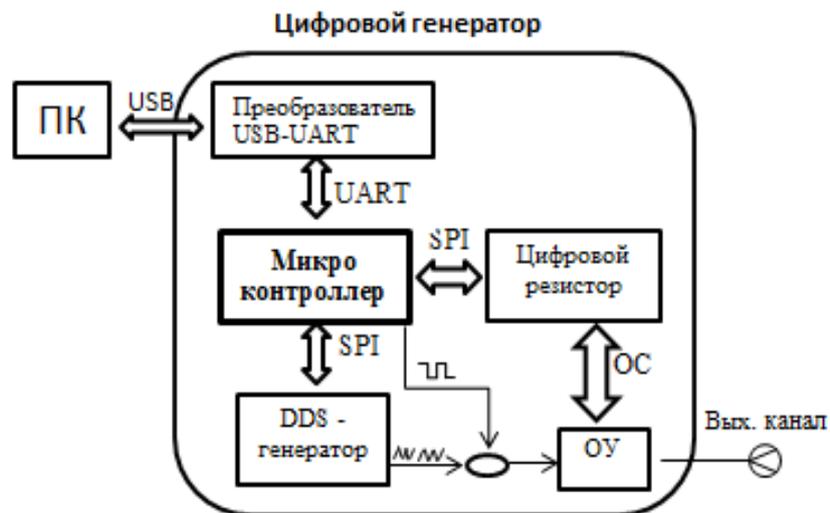


Рисунок 1 – Структурная схема работы цифрового генератора с USB интерфейсом

Цифровой генератор обладает следующими техническими характеристиками:

1. Напряжение питания базового блока – 5 В;
2. Напряжение питания микроконтроллера – 3,6 В;
3. Ток потребления цифрового генератора не более 360 мА;
4. Возможные сигналы синусоидальный, треугольный, меандр;
5. Минимальная частота генерации сигнала 4 Гц;
6. Максимальная частота генерации сигнала 10 МГц;
7. Минимальная амплитуда сигнала 0,4 В;
8. Максимальная амплитуда сигнала 4,6 В.

Генератор принимает входные данные от компьютера через USB порт. Питание также осуществляется по USB, что облегчает работу генератором т.к. нет необходимости использовать дополнительный источник питания. На компьютере задаются необходимые параметры сигнала. Корректировку сигнала можно производить в момент подачи сигнала без остановки устройства.

Для преобразования сигнала с компьютера используется преобразователь интерфейсов USB UART FT232RL. Он полностью интегрирует 1024 бита EEPROM памяти. Полностью интегрировано USB сопротивление. Скорость передачи данных от 300 байт до 3 Мб на TTL уровне. Для поставленной задачи целесообразно выбрать именно FT232RL.

В качестве управляющего микроконтроллера был взят STM32F103C8T6. Одной из главных особенностей которого является возможность генерирование меандра. STM32F103C8T6 имеет достаточно выходных портов для управления всеми сторонними устройствами в генераторе. Однако напряжение питания STM32F103C8T6 3,3В. Для этих целей был спроектирован источник питания из 5В в 3,6В с помощью обычного стабилизатора напряжения без дополнительной обвязки. STM32F103C8T6 генерирует выход от 4 Гц до 16 МГц. STM32F103C8T6 имеет 128 Кб флэш памяти и 20 Кб SRAM. В генераторе через порты SPI микроконтроллер управляет DDS генератором и цифровым резистором на обратной связи операционного усилителя. STM32F103C8T6 со своими характеристиками даёт возможность далее усовершенствовать цифровой генератор.

При необходимости получения синусоидально или треугольного сигнала микроконтроллер по шине SPI обращается к DDS генератору, реализованному на AD9833BRM, являющийся генератором сигнала низкого напряжения. AD9833BRM. Напряжение питания AD9833BRM 5В, что позволяет ему работать непосредственно от порта USB. AD9833BRM имеет возможность генерировать сигнал от 0Гц до 12,5 МГц.

После выбора формы необходимого сигнала он попадает на операционный усилитель (ОУ). ОУ реализован на LM358D. ОУ имеет напряжение питания +5В и -5В. Для этого с помощью TMA0505D реализуем питание, +5В и -5В для питания LM358D, взяв за исходное напряжение USB порт 5В. На обратной связи (ОС) ОУ ставим фильтр низких частот (ФНЧ) для сглаживания выходного сигнала.

Для регулировки выходного напряжения с ОУ LM358D в обратную связь ОУ ставим электронный резистор, реализованный на MCP41010-i/SN. Сопротивление MCP41010-i/SN меняется до 100КОм. Напряжение питания 5В, что позволяет питаться то порта USB. Управляется по SPI от микроконтроллера STM32F103C8T6.

Для обеспечения работы цифрового генератора разработано программное обеспечение, работающее по следующему алгоритму. После отправки данных с USB порта компьютера преобразователь USB UART FT232RL преобразует полученные данные, для последующей их обработки контроллером STM32F103C8T6. На

входы PA9 и PA10 микроконтроллера поступают данные с FT232RL. Микроконтроллер, обрабатывая полученные данные, при необходимости даёт задание DDS генератору (для синусоидального или треугольного сигнала) или сразу выдаёт сигнал (меандр) непосредственно с PB3. При необходимости DDS генератор генерирует синусоидальный или треугольный сигнал с необходимой частотой. Далее сигнал идёт на ОУ LM358D, который задаёт выходной напряжение (амплитуду) сигнала. Управляется ОУ цифровым резистором MCP41010-i/SN, который в свою очередь управляется микроконтроллером по шине SPI. ФНЧ на ОС ОУ сглаживает выходной сигнал для идеализации выходного сигнала. При необходимости получения сигнала большей амплитуды на выходе возможно поставить ещё один ОУ с обвязкой ФНЧ и заданным сопротивлением. Для данных целей было достаточно одного ОУ, чтобы получить необходимую амплитуду сигнала.

На устройстве также предусмотрена функция перепрограммирования микроконтроллера через преобразователь USB UART что также увеличивает возможности данного генератора, его усовершенствования и перепрограммирования. На устройстве предусмотрены светодиоды для сигнализации режима работы устройства (простой, перепрограммирование, работа)

В итоге был спроектирован цифровой генератор с возможностью генерировать сигнал синусоидальный, треугольный и меандр с частотой от 4Гц до 10МГц и амплитудой от 0,4В до 4,6В. Генератор целесообразно использовать в учебных лабораториях для учебного эксперимента при проведении учебных экспериментов по электричеству.

Список литературы

1. FT232RL datasheet // Ftdi [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://pdf.datasheet.su/ftdi/ft232rl.pdf>. – Дата доступа: 23.02.2016.
2. STM32F103C8T6 datasheet // Stmicroelectronics [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://pdf.datasheet.su/stmicroelectronics/stm32f103c8t6.pdf>. – Дата доступа: 23.02.2016.
3. AD9833BRM datasheet // Analog devices [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9833.pdf>. – Дата доступа: 23.02.2016.
4. LM358D datasheet // Texas Instruments [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf>. – Дата доступа: 23.02.2016.
5. TMA0505D datasheet // Traco Power [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/50/314726_DS.pdf. – Дата доступа: 23.02.2016.
6. MCP41010-i/SN datasheet // Microchip [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.farnell.com/datasheets/12247.pdf>. – Дата доступа: 23.02.2016.

Designed a digital multi-channel generator with a USB interface for use in an educational experiment. Represented in the block diagram of the device, component framework that is used to create a generator, consider the functional and principle of operation is described.

Кучук Сергей Валентинович, магистрант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, sergej-kuchuk@narod.ru.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

УДК 535.8

В. В. ЛИСАЙ

МЕХАНИЗМЫ РАЗРУШЕНИЯ ПРОЗРАЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ

Рубиновый лазер ГОР-100М, работающий в режиме свободной генерации, направлялся фокусирующей системой на облучаемый образец из ПММА. Лазерная деструкция ПММА изучалась с помощью скоростной голографической киносъемки. Исследования показали, что основным механизмом разрушения ПММА при «нормальных» условиях (температура ~ 300 К, давление ~ 105 Па) является горение облучаемого вещества.

Излучение рубинового лазера ГОР-100М, работавшего в режиме свободной генерации (длительность импульса $\tau \sim 1,2$ мс), пройдя через фокусирующую систему, направлялось на образец, располагавшийся либо в вакуумной камере, либо в кювете с водой. В качестве фокусирующих применялись как однолинзовые, так и двухлинзовые системы. Это позволяло получать на поверхности мишени однородное пятно фокусировки излучения с резкими границами. Диаметр полученного таким образом пятна излучения варьировался в ходе экспериментов от 1 до 2 мм. Для изучения пространственной и временной эволюции зоны лазерного разрушения в ходе воздействия ЛИ на образец использовался метод скоростной голографической киносъемки [1]. Образец помещался в одно из плеч интерферометра Маха-Цендера. Интерферометр освещался излучением

второго рубинового лазера. Длительность импульса излучения зондирующего лазера составляла ~ 400 мкс. Селекция поперечных мод зондирующего лазера осуществлялась диафрагмой, помещенной внутрь резонатора, а продольных – эталоном Фабри-Перо, использовавшимся в качестве выходного зеркала. Зондирующее излучение направлялось в коллиматор, позволявший получать параллельный световой пучок диаметром до 3 см, что позволило наблюдать за развитием зоны разрушения. Интерферометр был состыкован со скоростной фоторегистрирующей камерой СФР-1М. Скоростная камера работала в режиме лупы времени. Полученные отдельные кадры голограмм обеспечивали временное разрешение не хуже 0,8 мкс (время экспозиции одного кадра) и пространственное разрешение по полю объекта ≈ 50 мкм.

Динамика лазерного разрушения образца из ПММА, окруженного воздухом, находящимся в «нормальных» условиях (температура ~ 300 К, давление $\sim 10^5$ Па) достаточно подробно описана в работе [2]. Принципиально иная картина наблюдается при воздействии импульсного лазерного излучения с аналогичными параметрами на образец из ПММА, окруженный воздухом при давлении $\sim 10^{-5}$ Па. На поверхности облучаемого образца образования макроскопической (видимой) зоны разрушения первоначально не наблюдается. Лазерное излучение беспрепятственно проходит вглубь образца и поглощается на неоднородностях материала, как при лазерном пробое в стекле и других прозрачных аморфных силикатах, а также кристаллах [3]. В результате внутри образца возникает и увеличивается в размерах видимая зона разрушения. Если она «выходит на поверхность», в «точке выхода» начинается развитие кратера. Аналогичная картина наблюдается и при воздействии лазерного излучения на образец из ПММА, расположенный в воде.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при «нормальных» условиях (температура ~ 300 К, давление $\sim 10^5$ Па) основным механизмом разрушения ПММА является его поверхностное горение под воздействием лазерной плазмы, имеющей температуру ~ 7000 К.

Список литературы

1. Барихин, Б. А. Скоростная голографическая киносъемка лазерной плазмы / Б. А. Барихин, А. Ю. Иванов, В. И. Недолугов // Квантовая электроника. – 1990. – Т. 17, № 11 – С. 1477–1480.
2. Васильев, С. В. Динамика роста кратера и формирования упругих волн при действии на поверхность прозрачного диэлектрика миллисекундного лазерного импульса / С. В. Васильев, А. Ю. Иванов, В. И. Недолугов // Квантовая электроника. – 1994. – Т. 21, № 4 – С. 324–328.
3. Иванов, А. Ю. Акустическая диагностика процесса лазерной обработки материалов / А. Ю. Иванов. – Гродно : ГрГУ, 2007. – 280 с.

The radiation of the GOR-100M ruby laser operating in the free oscillation regime passed through the focusing system and was directed onto the irradiated PMMA sample. Laser destruction of PMMA was studied by means of fast holographic filming. Studies of laser treating of this transparent insulator showed that the main mechanism of its destruction under “normal” condition (temperature ~ 300 K, pressure $\sim 10^5$ Pa) is burning of PMMA.

Лисай Валерий Валерьевич, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь; arelav19901229@gmail.com.

Научный руководитель – *Иванов Алексей Юрьевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики и теплотехники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, ion_ne@mail.ru.

УДК 533.924

М. С. ЛУШАКОВА, Д. А. ДОМОРЁНОК

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ МОНО-Si ПОСЛЕ РЕАКТИВНОГО ИОННО-ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПОСЛЕСВЕЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ СВЧ РАЗРЯДА

Проведено экспериментальное исследование микрорельефа поверхности моно-Si после проведения процесса реактивного ионно-химического травления в области послесвечения плазмы СВЧ разряда.

При производстве таких изделий микроэлектроники, как микроэлектромеханические системы (МЭМС), при формировании отдельных структур интегральных микросхем и т.д. требуется обеспечить высокие скорости процесса формирования топологии изделия. Прямое увеличение мощности, вкладываемой в плазму разряда, в которой производится обработка, не всегда возможно, так как приводит к перегреву обрабатываемых поверхностей, связана с повышением радиационной дефектности обрабатываемых структур и т.д. [1,2]. Одним из возможных путей решения этой проблемы является проведение предварительной ионизации плазмообразующего газа вне области обработки. Однако практическое использование такого подхода требует дополнительного теоретического и экспериментального исследования.

В качестве плазменного источника использовался СВЧ плазматрон резонаторного типа, собранный на базе согнутого в кольцо прямоугольного волновода, имеющего на внутренней поверхности отверстия для поступления СВЧ энергии в резонирующую область. По оси волноводного излучателя располагалась кварцевая

разрядная камера, в которой в условиях вакуума возбуждался газовый разряд. Обрабатываемые пластины размещались вне области СВЧ плазмообразования на горизонтальном подложкодержателе, являющимся элементом разрядной системы Е-типа. В качестве рабочего газа использовался CF_4 . В зону обработки газ подавался в предварительно ионизированном СВЧ разрядом состоянии.

Операционными параметрами процесса обработки служили величина давления CF_4 , выходная мощность разрядной системы Е-типа и мощность СВЧ магнетрона. Анализ морфологии и микрорельефа моно-Si после операции реактивного ионно-химического травления проводился по данным атомно-силовой микроскопии.

Экспериментально установлено, что СВЧ предионизация плазмообразующего газа позволяет ускорить процесс травления до 4 раз по сравнению с процессом травления в разряде Е-типа без предионизации.

Результаты исследований морфологии поверхности моно-Si после проведения процесса реактивного ионно-химического травления в CF_4 в области послесвечения плазмы СВЧ разряда (рисунки 1–2) показали, что величина шероховатости поверхности обработанных образцов в диапазоне исследуемых значений давления варьируется от $Rz = 7,75$ нм до $Rz = 31,48$ нм и коррелирует с величиной скорости травления.

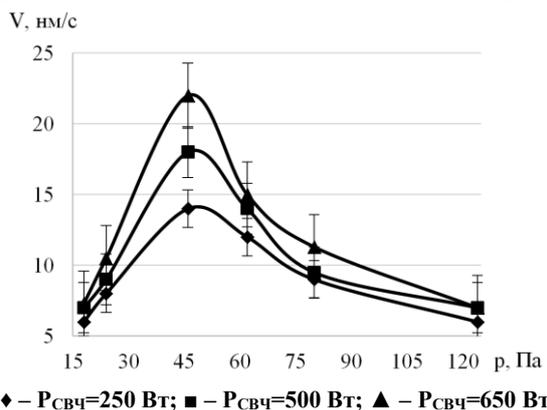


Рисунок 1 – Зависимость скорости травления моно-Si в CF_4 от давления в вакуумной камере при различных мощностях СВЧ предионизации плазмообразующего газа

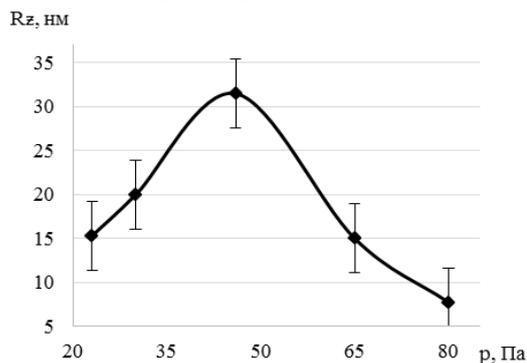
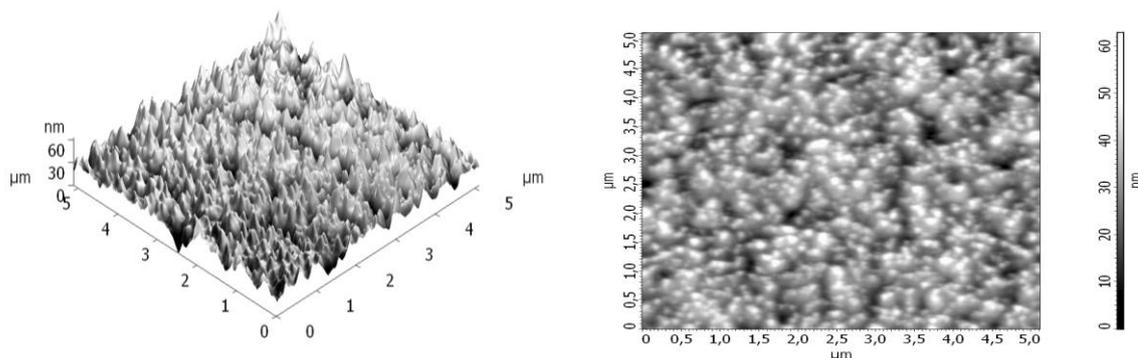


Рисунок 2 – Зависимость шероховатости по 10 точкам Rz моно-Si в CF_4 от давления в вакуумной камере при мощности СВЧ $P=250$ Вт

Как видно из представленных данных, зависимость скорости травления моно-Si от давления CF_4 в диапазоне давлений 10-133 Па носит экстремальный характер (рисунок 1), а максимальная скорость травления моно-Si в CF_4 достигается при давлении в вакуумной камере 40-50 Па. Зависимость шероховатости поверхности моно-Si в CF_4 от давления имеет схожий вид (рисунок 2). В области более низких давлений равномерность рельефа поверхности выше, но скорость удаления моно-Si ниже, чем при 40-50 Па. В области более высоких давлений морфология поверхности имеет более упорядоченную структуру по сравнению с областью более низких давлений. Характер микрорельефа поверхности моно-Si после реактивного ионно-химического травления CF_4 в условиях СВЧ предионизации плазмообразующего газа при давлении в вакуумной камере $p=46$ Па показан на рисунке 3.



Шероховатость по 10 точкам $Rz = 31,48$ нм, максимальная высота 62,8 нм

Рисунок 3 – Микрорельеф поверхности моно-Si после реактивного ионно-химического травления CF_4 в условиях СВЧ предионизации плазмообразующего газа при давлении в вакуумной камере $p=46$ Па

Применительно к процессу травления канавок моно-Si установлено, что в случае предварительной ионизации газа CF_4 СВЧ плазмой поверхностный слой после обработки имеет более развитую периодическую зернистую структуру, чем при обработке в разряде Е-типа без предионизации СВЧ разрядом.

Таким образом, результаты исследования указывают на то, что в процессе реактивного ионно-химического травления материалов в послесвечении СВЧ разряда необходимо учитывать энергетические режимы возбуждения разряда E-типа и СВЧ преионизации плазмообразующего газа, так как эти параметры могут быть определяющими при формировании морфологии обрабатываемой поверхности с определенными характеристиками, например при формировании многослойной структуры микроэлектронных устройств.

Список литературы

1. Данилин, Б. С. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов / Б. С. Данилин, В. Ю. Киреев. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 264 с.
2. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники : в 3 т. / А. П. Достанко [и др.] ; под общ. ред. А. П. Достанко. – Минск: ФУАинформ, 2001. – Т. 2. – 244 с.

Лушакова Мария Сергеевна, аспирант БГУИР, Минск, Беларусь, masha_lushakova@mail.ru.

Доморёнок Дарья Александровна, БГУИР, Минск, Беларусь, bordusov@bsuir.by.

Научный руководитель – *Бордусов Сергей Валентинович*, доктор технических наук, профессор, БГУИР, Минск, Беларусь, bordusov@bsuir.by.

УДК 621.039.587

ЛЭ ТХИ ЗИЕУ ХЬЕН

**О ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАЧАЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИИ
В ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЕ**

Предложена корректная формула пространственного распределения начальной ионизации в рабочем объеме цилиндрической ионизационной камеры, которая дает правильное поведение этой величины как на поверхности радиатора, так и вдали от него.

Ионизационная камера деления (ИКД) представляет собой газово-разрядный детектор, предназначенный для измерения нейтронных потоков в ядерных реакторах и критических сборках. В самой популярной конструкции камеры деления ее внутренняя поверхность (радиатор) покрывается тонким слоем делящегося вещества (например, U-235). Для регистрации нейтронов используется ядерная реакция деления. Осколки деления являются тяжелыми заряженными частицами с зарядом примерно +20e, имеющие среднюю кинетическую энергию 60–100 МэВ. Два осколка испускаются в противоположных направлениях, при этом один из них удерживается в радиаторе, другой влетает в рабочий объем камеры, который обычно наполняется чистым газом Ar. Вследствие ионизации газа возникает дрейф ионов Ar и электронов к соответствующим электродам, и при наличии высокого напряжения между электродами во внешней цепи протекает электрический ток. При моделировании параметров ИКД необходимо знать начальную плотность ионизации, создаваемой тяжелыми заряженными частицами в рабочем объеме ионизационной камеры.

Вопросу определения пространственного распределения начальной ионизации посвящено несколько публикаций. В них получены различные формулы для оценки плотности ионизации, создаваемой всеми треками, проходящими через рабочий объем газа. Например, в работе [1] авторами получена приближенная формула для цилиндрической камеры, в предположении, что частицы покидают радиатор только в направлении, перпендикулярном оси радиатора:

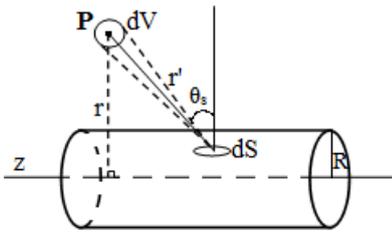
$$N(r) = \frac{N_{fst} R}{\pi} F_1(r), \quad (1)$$

где $N(r)$ – плотность пар ионов, создаваемая продуктами деления в рабочем объеме камеры, R – радиус радиатора, r – радиус точки наблюдения. Величина N_{fst} имеет смысл поверхностной плотности осколков деления, испускаемых поверхностью радиатора за единицу времени. Функция $F_1(r)$, характеризующая радиальную зависимость плотности ионизации, учитывает вклад от видимых с данной точки r областей поверхности радиатора, имеет вид

$$F_1(r) = \int_{-\arccos(R/r)}^{\arccos(R/r)} \frac{X(r')(r \cos \theta - R)}{r^2 + R^2 - 2rR \cos \theta} d\theta,$$

где r' – расстояние от точки испускания до точки наблюдения (длина трека), $X(r')$ – среднее число пар ионов, созданных продуктами деления на единицу длины пройденного в газе пути (плотность ионизации вдоль трека). Интегрирование по угловой переменной соответствует суммированию вкладов от видимых с данной точки r областей поверхности радиатора.

Физически плотность ионизации на поверхности радиатора $r=R$ – конечная величина, и формула (1) дает правильный предел, который



равен $N(0)=N_{fst}X(0).$ (2)

Другая более сложная формула, в которой сделана попытка учесть произвольное направление, в котором могут вылетать осколки деления из поверхности радиатора, приведена в работе S.Chabod [2]:

$$N(r, z) = \frac{N_{fst}R}{2\pi} F_2(r, z), \tag{3}$$

Рисунок 1 – К оценке плотности ионизации цилиндрической камеры

$$F_2(r) = \int_{-\arccos(R/r)}^{\arccos(R/r)} \int_{z'=-h/2}^{h/2} \frac{X(r')}{r^2 + R^2 - 2rR \cos \theta + (z - z')^2} dz' d\theta,$$

где z – координата вдоль цилиндрического радиатора. В этой формуле при $r \rightarrow R$ интеграл логарифмически расходится, а не стремится к конечному пределу (2).

Эти два примера показывают, что требуется корректный вывод пространственного распределения начальной плотности ионизации в рабочем объеме камеры. Ниже изложен такой вывод, основанный на простых физических соображениях о механизме ионизации в газе.

Плотность ионизации в бесконечно малом объеме dV вокруг произвольной точки P рабочего пространства камеры определяется суммированием вкладов треков, исходящими из элементарной площадки dS радиатора (см. рис. 1). Следует отметить, что число пар ионов, генерированных в этом объеме всеми треками, исходящими из элементарной площадки dS радиатора, определяется величиной этой площадки и ее ориентацией относительно линии наблюдения r' (вклад вносит только перпендикулярная составляющая к этой линии). С учетом этого замечания плотность ионизации в элементарном объеме dV, обусловленная осколками деления, излучаемыми из площадки dS, будет определяться выражением:

$$dN = \frac{N_{fst}}{2\pi r'^2} X(r') \cos \theta_s dS,$$

где θ_s – угол между нормалью к площадке dS и линией наблюдения r', все остальные величины имеют тот же смысл, что и в формулах (1, 3). Тогда начальную плотность ионизации N(r) можно записать в виде:

$$N(r) = \frac{N_{fst}}{2\pi} \int \frac{X(r') \cos \theta_s}{r'^2} dS. \tag{4}$$

Интегрирование в (4) ведется по той части поверхности радиатора, треки из которой проходят через точку наблюдения. Это выражение отличается от формулы (3) наличием множителя $\cos \theta_s$, который существенно меняет поведение начальной плотности ионизации вблизи поверхности радиатора.

Выражение (4) может быть записано для цилиндрической камеры в виде:

$$N(r) = \frac{N_{fst}R}{2\pi} F(r, z), \tag{5}$$

$$F(r, z) = \int_{-\arccos(R/r)}^{\arccos(R/r)} \int_{-z_0}^{z_0} \frac{X(r')(r \cos \theta - R) d\theta dz}{(r^2 + R^2 - 2rR \cos \theta + (z - z')^2)^{3/2}},$$

где предел интегрирования

$$z_0 = \sqrt{l^2 - (r^2 + R^2 - 2rR \cos \theta)}$$

отражает тот факт, что длина трека физически ограничена его длиной пробега l.

Сравним выражения (1,3,5) для коротких камер, когда их длина h существенно меньше длины свободного пробега осколков деления. Для таких камер пределы интегрирования $\pm z_0$ могут быть заменены на $\pm h/2$. Для простоты плотность ионизации вдоль трека будем считать постоянной и равной X_0 . Нормированные на

величину $\frac{N_{fst}RX_0}{2\pi}$ результаты, рассчитанные по формулам (1,3,5) для параметров $h = 1$ см и $R = 1.25$ мм, использованных в [1,2], приведены на рисунке 2.

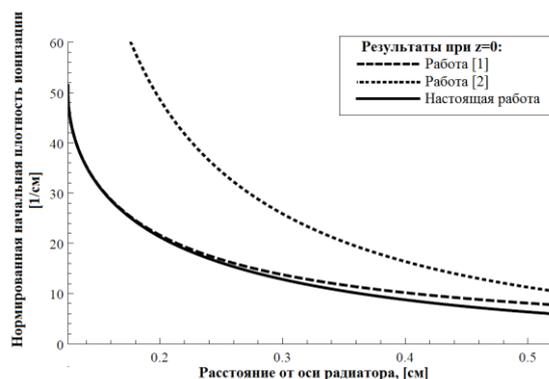


Рисунок 2 – Сравнение приведенной плотности ионизации для трех моделей

Полученное выражение (5) для пространственной распределения плотности ионизации отличается результатов [1,2] и имеет правильное поведение, как на поверхности радиатора, так и вдали от него.

Список литературы

1. Poujade, O. Modeling of the saturation current of a fission chamber taking into account the distortion of electric field due to space charge effects / O. Poujade, A. Lebrun // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 1999. – № 433. – P. 673.
2. Chabod, S. Modelling of Fission Chambers in Current Mode – Analytical Approach / S. Chabod, G. Fioni, A. Letourneau, F. Marie // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. – 2006. – № 566. – P. 633–653.

The correct formula for calculation of the spatial distribution ion pair density in sensitivity volume of ionization chamber has been proposed.

Лэ Тхи Зиеу Хьен, аспирант физического факультета БГУ, Минск, Беларусь, hienle.job@gmail.com.

Научный руководитель – *Кутень Семен Адамович*, кандидат физико-математических наук, Институт ядерных проблем БГУ, semen_kuten@list.ru.

УДК 535.36

Е. В. МАТУК, И. А. ОСТАПЧУК

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННЫХ СИЛ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ В ЛАЗЕРНОМ ЛУЧЕ ГАУССОВСКОЙ ФОРМЫ

Рассматриваются радиационные силы, действующие на металлические наночастицы, находящиеся в водной среде в сфокусированном лазерном луче. Разработана и сконструирована лазерная установка и получены результаты экспериментальных исследований по транспортировке наночастиц под действием радиационных сил в гауссовом пучке. Показано, что наибольшее влияние из всех компонент радиационных сил на движение наночастиц вдоль лазерного излучения оказывает сила, действующая вдоль направления распространения излучения, т. е. сила рассеяния.

В научном мире обсуждается вопрос об управлении движением малых частиц, находящихся в поле лазерного излучения. Сильно сфокусированный лазерный пучок обладает возможностью захватывать, удерживать и манипулировать движением атомов, молекул, частиц нанометровых и микрометровых размеров. Такое управление локализацией частиц малых размеров имеет целый ряд практические применения. Разогретая наночастица может проделать отверстие в мембране клетки и, тем самым, облегчить доставку лекарств внутрь нее [1]. Вследствие поглощения излучения наночастицами происходит их нагрев, и, как следствие, вскипание биоткани. Под действием градиентных сил «горячие» наночастицы создают «парообразный канал», по которому они перемещаются в максимум интенсивности излучения. Проведенные оценки показывают, что при использовании низкоинтенсивных лазерных источников, применяемых в лазерной терапии, эффект образования «парообразного канала» и перемещение по нему «горячих» наночастиц вполне достижим. Направленное движение «горячих» наночастиц в биотканях перспективно для избирательного уничтожения патологических клеток. Созданное авторами [2, 3] устройство для перемещения частиц и биологических объектов с помощью радиационных сил (так называемый «лазерный пинцет»), в настоящее время широко используется в биологии и медицине при исследовании вирусов и бактерий [4], молекул ДНК [5], процессов,

происходящих внутри живой клетки [6], и др. Помимо медико-биологических приложений, радиационные силы используются для записи концентрационных решеток в жидкой суспензии взвешенных диэлектрических частиц малых размеров [7]. В [8] высказана возможность пространственного разделения наночастиц различных размеров и оптических свойств жидких средах. Такие искусственно созданные среды имеют большие значения кубической восприимчивости и могут использоваться в качестве широкополосных нелинейных сред для лазерного излучения малой интенсивности и большой длительности импульса [9, 10].

Целью настоящей работы является исследование движения металлической наночастицы под действием радиационных сил в поле лазерного пучка, с учётом распределения интенсивности гауссовой формы.

Основные соотношения.

При рассмотрении радиационных сил, действующих на наночастицу, условно выделяют две составляющие [11]: компоненту силы, действующую вдоль градиента интенсивности поля и отличную от нуля только в неоднородном электрическом поле, т.е. градиентную силу F_{grad} , и силы, действующей вдоль направления распространения излучения, т. е. силу рассеяния F_{scat} . Таким образом, полную силу действующую со стороны электромагнитного поля на наночастицу, можно представить в следующем общем виде:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{grad} + \mathbf{F}_{scat} \quad (1)$$

Интенсивность гауссова пучка, распространяющегося вдоль оси z , определяется выражением [12]

$$I(z, r) = I_0 \left(\frac{r_0}{r_z} \right)^2 \exp\left(-\frac{r^2}{r_z^2} \right), \quad (2)$$

где $r_z = r_0 \sqrt{1 + (z/z_g)^2}$ – радиус пучка в точке z , $z_g = kr_0^2$ – дифракционная длина пучка, $k = (\omega/c)n$ – волновое число излучения с частотой ω в окружающей наночастицу жидкости с показателем преломления n , r – радиальная координата, $I_0 = const$. Схема фокусировки пучка линзой с фокусным расстоянием f в кювету с жидкостью, в которую погружена наночастица представлена на рисунке 1.

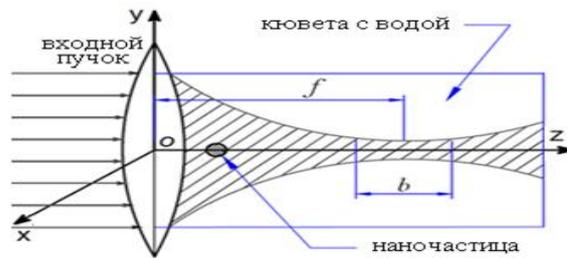


Рисунок 1 – Схема модели фокусировки пучка тонкой линзой с фокусным расстоянием f в кювету с жидкостью, в которую погружена наночастица, b – конфокальный параметр [8]

В экспериментах по манипуляции частицами радиационными силами их пространственное перемещение Δz обычно составляет не более 1 см [13, 14]. Оценки показывают, что при $k = 10^5 \text{ см}^{-1}$ и $r_0 = 10^{-2} \text{ см}$ $(\Delta z/z_g)^2 \ll 1$. Поэтому, не теряя общности, в дальнейшем можно положить $r_z = const = r_0$. В этом случае действующие на наночастицу радиометрические силы можно записать в виде [15, 16]

$$\bar{F}_{scat} = z \frac{8}{3} \pi \frac{n}{c} k^4 \alpha^2 I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2} \right) \equiv z F_{scat}^0 I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2} \right), \quad (3)$$

$$\bar{F}_{grad} = \bar{r} 2\pi \frac{n}{c} \alpha \left(-\frac{2r}{r_0^2} \right) I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2} \right) \equiv \bar{r} F_{grad}^0 \left(-\frac{2r}{r_0^2} \right) I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2} \right), \quad (4)$$

где

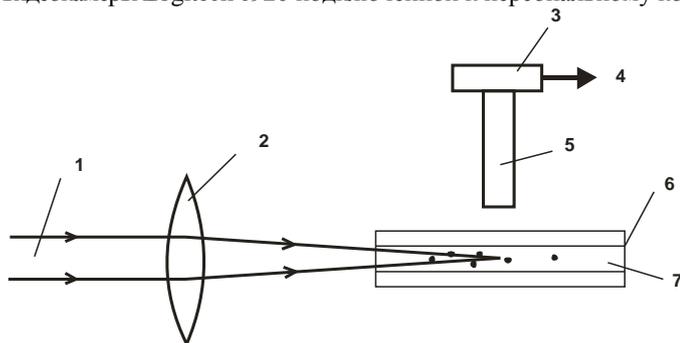
$$\alpha = R^3 \frac{\bar{m}^2 - 1}{\bar{m}^2 + 2} \quad (5)$$

– поляризуемость наночастицы радиуса R ($kR \ll 1$), $\bar{m} = n_0/n > 1$, n_0 – показатель преломления материала наночастицы, $\bar{z} \perp \bar{r}$ – орт-вектора осей координат. Заметим, что $\bar{F}_{grad}(r)$ имеет максимум в точках $r_{max} = \pm r_0 / \sqrt{2}$.

Результаты экспериментальных исследований.

Для исследования действия радиационных сил на металлические наночастицы использовалась экспериментальная лазерная установка, представленная на рисунке 2. Источником оптического излучения являлся лазер ЛТИ-701(с длиной волны генерации 532 нм, максимальной мощностью 4 Вт). Исследуемыми объектами являлись серебряные наночастицы, погруженные в водную среду и размещенные в кювете. Локализация и наблюдаемое движение нанообъектов осуществлялось при помощи оптического микроскопом. Лазерное

излучение сфокусировалось в кювету собирающей линзой. Регистрация движение наночастиц осуществлялось при использовании цифровой видеокамеры Logitech c920 подключенной к персональному компьютеру.



1 – лазерное излучение, 2 – собирающая линза, 3 – веб-камера, 4 – компьютер, 5 – микроскоп, 6 – кювета, 7 – исследуемые серебряные наночастицы в воде

Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

На рисунке 3 показаны результаты действия радиационных сил лазерного излучения на серебряные наночастицы. В результате рассеивания, возникающего при отражении лазерного излучения на наночастицах, реализуется возможность определения положения частиц.

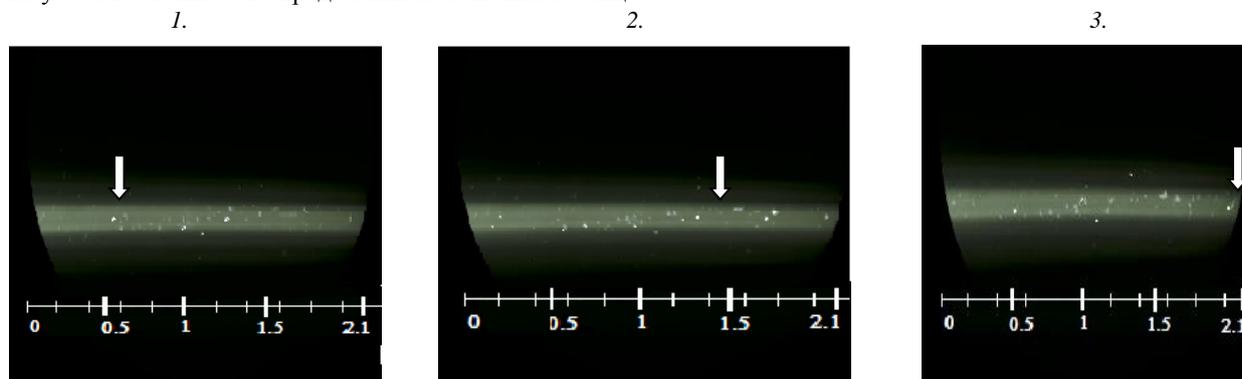


Рисунок 3 – Последовательные снимки движения наночастицы в поле лазерного излучения (частица указана стрелкой)

Первоначально (рисунок 3(1)) наночастица расположена по левой стороне в области рисунка, далее, как видно из рисунков, частица постепенно смещается вдоль лазерного луча и затем, на снимке-5, смещена в правую сторону. Следует отметить, что в данном случае движение наночастицы носит направленный характер вдоль луча по сравнению с направлением движения частиц перпендикулярно лучу, т.е. действием градиентной силы F_{grad} . Следовательно, основной вклад в радиационные силы в эксперименте дает сила рассеяния, действующая вдоль направления распространения излучения, т. е. F_{scat} и именно она является определяющей на поведение частицы.

В работе изложены результаты исследования движения металлической наночастицы под действием радиационных сил в поле лазерного пучка с гауссовым распределением интенсивности. Показано, что основное влияние из всех компонент радиационных сил на движение наночастиц оказывает сила, действующая вдоль направления распространения излучения, т. е. сила рассеяния F_{scat} .

Результаты работы, могут быть использованы в экспериментальны исследования по воздействию радиационных сил лазерного излучения на металлические наночастицы в жидкостях близким к биологическим средам, в случае когда частицы находятся в поле сфокусированного лазерного луча.

Список литературы

1. IPHT Jena annual report 2007 / ed. by J. Popp, F. Sondermann. – Zwickau : Color-Druck Zwickau GmbH & Co. KG, 2008. – 148 p.
2. Ashkin, A. Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles / A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm, A. Ashkin, // Opt. Lett. – 1986. – V. 11. – P. 288–290.
3. Ashkin, A. Optical trapping and manipulation of single cells using infrared laser beams / A. Ashkin, J. M. Dziedzic, T. Yamane. // Nature. – 1987. – V. 330. – P. 769 – 771.
4. Ashkin, A. Optical trapping and manipulation of viruses and bacteria / A. Ashkin, J. M. Dziedzic // Science. - 1987. – V. 235. – P. 1517–1520.

5. Austin, R.H. Stretch genes / R.H. Austin, J. P. Brodgi, E. C. Cox, T. Duke, W. Volkmuth // *Phys. Today.*—1997. —V. 50. P. 32–38.
6. Live Cell Imaging. Ed. By R. D. Goldman, D. L. Spector. Cold Spring Harbor, NY : CSHL Press, – 2005.
7. Афанасьев, А. А. Модуляция концентрации частиц в интерференционном поле лазерного излучения / А. А. Афанасьев, В. М. Катаркевич, А. Н. Рубинов [и др.]. // *Журнал прикл. спектроскопии.* – 2002. –Т. 69, № 5. – С. 675–679.
8. Афанасьев, А. А. О радиационных силах, действующих на прозрачную наночастицу в поле сфокусированного лазерного пучка / А. А. Афанасьев, Л. С. Гайда, Д. В. Гузатов, А. Н. Рубинов, А. Ч. Свистун // *Квант. электроника.* – 2015. – Т. 45, № 10. – С. 904–907.
9. Афанасьев, А. А. Четырехволновое смешение в жидкой суспензии диэлектрических прозрачных микросфер / А. А. Афанасьев, А. Н. Рубинов, С. Ю. Михневич, И. Е. Ермолаев. // *ЖЭТФ.* – 2005. – Т. 128, Т. 3(9). – С. 451–463.
10. Smith, P. W. Four-wave mixing in an artificial Kerr medium / P. W. Smith, A. Ashkin, W. J. Tomlinson // *Opt. Lett.* – 1981. – V. 6. – P. 284–286
11. Chaumet, P.C. Time-averaged total force on a dipolar sphere in an electromagnetic field / P. C. Chaumet, M. Nieto-Vesperinas // *Opt. Lett.* – 2000. – Vol. 25, No. 15. – P. 1065–1067.
12. Ахманов, С. А. Физическая оптика / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 665 с.
13. Kawata, S. Optically driven Mie particles in an evanescent field along a channeled waveguide / S. Kawata and T. Tani // *OPTICS LETTERS.* – 1996. – Vol. 21, No. 21. – P. 1968–1970.
14. Ng, L. N. Manipulation of colloidal gold nanoparticles in the evanescent field of a channel waveguide / L. N. Ng, M. N. Zervas, and J. S. Wilkinson // *APPLIED PHYSICS LETTERS.* – 2000. – Vol. 76, No. 15. – P. 1993–1995.

In work the radiation forces operating on the metal nanoparticles which are in the water environment in the focused laser beam are considered. The laser installation is developed and designed and results of experimental studies on transportation of nanoparticles under the influence of radiation forces in a Gaussian bunch are received. It is shown that from all a component of radiation forces force, acting along the direction of distribution of radiation, i.e. dispersion force has the greatest impact on the movement of nanoparticles along laser radiation.

Матук Евгениюш Веславович, аспирант физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, eugeniusz91@mail.ru.

Останчук Игорь Александрович, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, igorostapchuk1994@mail.ru.

Научный руководитель – *Гайда Леонид Станиславович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, gls@grsu.by.

УДК 621.883

А. А. НЕКРАШЕВИЧ, А. Н. РАДЮК

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ ЗАТЯЖКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассмотрена проблема неравномерной затяжки резьбовых соединений, приводящая к снижению надежности узлов и машин в целом. Представлена имитационная модель установки и методы исследования на ее основе, которые позволят определить значимость воздействия различных факторов на характеристики соединений.

Одной из характеристик, определяющих надежность механизмов и отремонтированных автотранспортных средств, является точность затяжки резьбовых соединений.

К основным группам факторов, обуславливающих появление неравномерности распределения сил затяжки в соединениях ремонтируемого узла, относятся [1]:

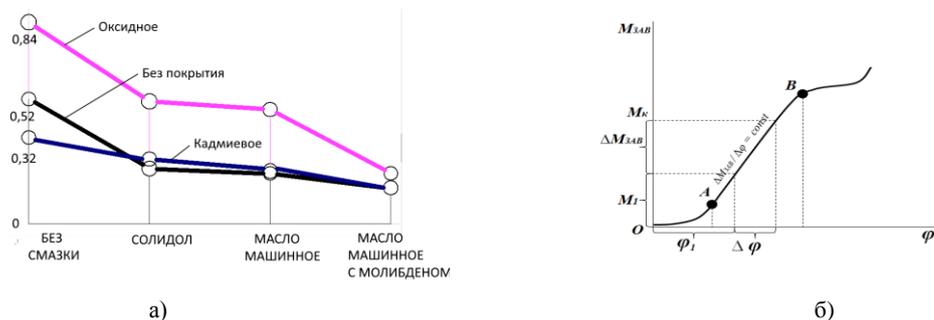
- технологические (имеющие место непосредственно в процессе сборки);
- эксплуатационные (возникающие в процессе работы узла).

К технологическим факторам относятся, несоответствие расчетных параметров фактическим (погрешность методов и средств контроля силы затяжки, коэффициентов трения, геометрических размеров резьбы, коэффициентов податливости и т.д.), перенапряжения сил в резьбовых соединениях при последовательной затяжке, человеческий фактор.

На практике наиболее часто для контроля осевой силы затяжки резьбовых соединений, используют метод приложения вращающего момента с помощью специализированных динамометрических ключей [2,3]. При сборке механизма или ремонтируемого узла рекомендованный техническими условиями на сборку момент затяжки не гарантирует обеспечение требуемой (расчетной) величины силы затяжки с достаточной точностью. Это происходит из-за несоответствия фактических коэффициентов трения в резьбовом соединении расчетным, что объясняется изменением состояния резьбовых соединений в процессе эксплуатации. Отклонение созданной величины силы затяжки от требуемой по разным оценкам может достигать +23...39 % [4]. Такая низкая точность контроля недопустима при сборке ответственных и особо ответственных и резьбовых соединений.

Максимально допустимое отклонение от требуемой величины силы затяжки при сборке особо ответственных соединений (болты шатунов, крышек коренных подшипников и т.п.) составляет +5 %, ответственных резьбовых соединений (болты головок цилиндров, поддонов картеров и т.п.) +5...-15 % [1]. Неравномерная затяжка резьбовых соединений вызывает остаточную деформацию стянутых деталей и искажение макрогеометрии их контактных поверхностей при эксплуатации узлов [5], а к отклонению от размеров ответственных деталей предъявляются жёсткие требования [6]. К примеру, предельно допустимые отклонения от плоскостности привалочных поверхностей головок цилиндров и блоков двигателей обычно не более 0.02...0.05 мм на 100 мм длины. По данным исследований [7] коэффициенты трения в резьбовых соединениях в процессе эксплуатации нестабильны и зависят от целого ряда факторов: шероховатости рабочих резьбовых поверхностей, наличия и вида смазки, наличия и вида покрытия, наличия абразивных частиц или коррозии в зоне контакта сопрягаемых резьбовых поверхностей, скорости завинчивания.

Особенность эксплуатации открытых резьбовых соединений, применяемых в различных механизмах, в том, что они постоянно подвержены воздействию внешней среды [7]. С течением времени состояние резьбовых соединений изменяется (коррозия, загрязнение, изнашивание заводских покрытий и т.д.), при этом коэффициенты трения резьбовых поверхностей рассеиваются в широком диапазоне от 0.05 до 0.5 [8]. Зависимость силы трения и момента затяжки от различных факторов отражена на диаграммах (рисунок 1).

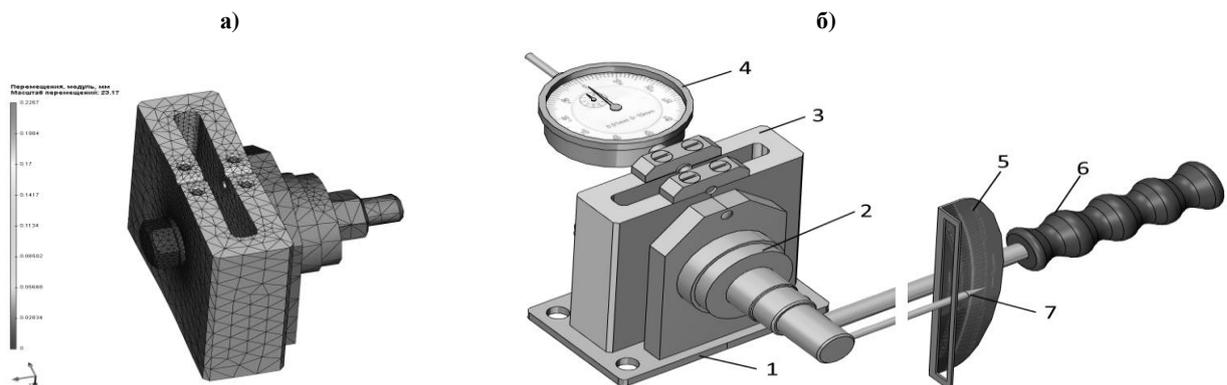


а – влияние параметров поверхности в зоне контакта на силу трения, б – график зависимости момента завинчивания от угла поворота болта

Рисунок 1 – Влияние различных факторов на силы трения и величину момента завинчивания резьбового соединения

Для исследования особенностей процесса затяжки резьбовых соединений, на кафедре машиноведения и технической эксплуатации автомобилей, были сформированы трехмерные компьютерные модели с помощью системы проектирования T-Flex (рисунок 2). Проведен конечноэлементный анализ конструкции деталей соединения для определения деформаций деталей и изменения их макрогеометрии.

На основе построенных трехмерных моделей и проведенного конечноэлементного анализа в дальнейшем планируется разработать алгоритм контактного взаимодействия деталей, для анализа напряжений и деформаций в нагруженных областях соединения.



а – конечно-элементный анализ деформации деталей соединения, б – трехмерная модель установки для исследования параметров резьбового соединения (1 – основание, 2 – подкладное кольцо, 3 – пружина, 4 – индикатор, 5 – шкала динамометрического ключа, 6 – рукоятка ключа, 7 – стрелка-указатель)

Рисунок 2 – Модель установки для определения численных значений силы затяжки при различных состояниях резьбовой пары

Результаты данного исследования будут использованы для повышения точности затяжки и улучшения технологии сборки группового резьбового соединения при ремонте ответственного узла автомобиля.

Presented simulation model setup and methods based on it that will determine the significance of the impact of various factors on the characteristics of the compounds.

Список литературы

1. Гусаков, Б. В. Отечественные и зарубежные методы и средства тарированной затяжки резьбовых соединений / Б. В. Гусаков // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2003. – № 9. – С. 12–23.
2. Кузьмин, Ю. А., Повышение безотказности трактора класса 40 кН резервированием затяжки резьбовых соединений : дис... канд. техн. наук : 05.02.03 / Ю. А. Кузьмин. – Ульяновск, 2004. – 180 с.
3. ГОСТ 24705-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры. – М. : Московский печатник, 2004. – 20 с.
4. Блаер, И. Л. Измерительные свойства резьбовых соединений / И. Л. Блаер / Машиностроитель. – 2004. – № 10. – С. 33 – 37.
5. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.
6. Анурьев, В. И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3 т. Т. 1. / В. И. Анурьев. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 816 с.
7. Биргер, И. А. Резьбовые и фланцевые соединения / И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич – М. : Машиностроение, 1990. – 368 с.
8. Иосилевич, Г. Б. Затяжка и стопорение резьбовых соединений / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Ю. В. Шарловский. – М. : Машиностроение, 1985. – 224 с.

Некрашевич Алексей Александрович, студент 3 курса факультета инновационных технологий машиностроения ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, aleksey.93.nekrashevich@mail.ru.

Радюк Александр Владимирович, студент 3 курса факультета инновационных технологий машиностроения ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, raduk.2010@mail.ru.

Научный руководитель – *Калугин Юрий Константинович*, кандидат технических наук, доцент ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 53.087.47

А. В. НИКИТО, А. Ю. КЛИНЦЕВИЧ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ ВИСКОЗИМЕТРОВ УСЛОВНОЙ ВЯЗКОСТИ

Разработана и изготовлена автоматизированная установка для поверки вискозиметров условной вязкости. Устройство позволяет повысить достоверность результатов измерений, исключив субъективную погрешность, при поверке данных средств измерений. Применение установки на предприятии позволит сократить время на исследование вязкости анализируемой жидкости, тем самым увеличив производительность труда.

Разработанная установка позволяет исключить влияние поверителя на процесс поверки вискозиметров условной вязкости. Устройство в автоматическом режиме выполняет ряд операций, которые ранее осуществлял поверитель вручную. Конструктивно установка состоит из трех основных частей: электромагнитный клапан, оптический датчик и блок управления. Блок-схема установки представлена на рисунке 1.

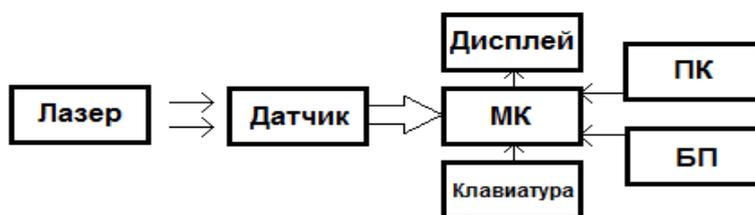


Рисунок 1 – Блок-схема автоматизированной установки

Блок управления управляет электромагнитным клапаном, получает и обрабатывает данные от оптического датчика и отображает результат на дисплее. Излучатель и приемник оптического датчика прочно закреплены противоположно друг другу в U-образном корпусе из фторопласта. Датчик работает по принципу светового барьера (Т тип, разнесенная оптика): излучатель датчика генерирует световое излучение, приемник реагирует на прерывание луча объектом. В качестве излучателя используется маломощный полупроводниковый лазер с длиной волны 650 нм. Световой поток лазера фокусируется с помощью собирающей линзы в фокус которой попадает струя градуировочной жидкости. Регистрация изменения светового потока осуществляется

специализированной микросхемой Si1143 (Silicon Labs). При попадании градуировочной жидкости в фокус линзы интенсивность светового потока уменьшается до определенного значения, в результате чего запускается таймер и начинается отсчет времени истечения жидкости. После истечения всего объема жидкости происходит разрыв струи и увеличение интенсивности света, попадающего на оптический датчик, что сигнализирует об окончании процесса измерения. Время истечения жидкости отображается на семисегментном индикаторе блока управления. Связь оптического датчика с блоком управления осуществляется посредством цифрового интерфейса I2C.

Разработанный датчик обладает высокой надежностью, его можно использовать для работы в условиях высокоскоростных процессов и для распознавания объектов малых форм (единичных капель, тонких струй жидкости).

В качестве микроконтроллера используется ATmega328P (Atmel) семейства AVR. Данные микроконтроллеры обладают широкими возможностями и необходимым для решения поставленной задачи комплектом интегрированных устройств. Применяемый микроконтроллер имеет достаточный объем памяти для хранения переменных и программного кода. Семейство AVR обладает оптимальным соотношением цена/функциональность. Специализированная микросхема Si1143 содержит в себе инфракрасный фотодиод, фотодиод видимого излучения, АЦП, фильтр и управляющую логику.

Список литературы

1. Микроконтроллеры Atmel AVR ATmega328P [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA328P.aspx>. – Дата доступа: 11.02.2016.
2. Datasheet Si1143: PROXIMITY/AMBIENT LIGHT SENSOR MODULE WITH I2C INTERFACE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si1141-42-43-M01.pdf>. – Дата доступа: 11.02.2016

Designed and produced an automated system for checking viscometer, which use to measure the relative viscosity of a fluid. The device allows you to increase the reliability of measurement results by excluding subjective error during data verification of measuring instruments. Applying installation at the plant will reduce the time to research the viscosity of the liquid being analyzed, thus increasing productivity.

Никито Алексей Вячеславович, Республиканское унитарное предприятие «Гродненский центр стандартизации, метрологии и сертификации», Гродно, Беларусь, NikitoAV@mail.ru.

Клинецвич Артур Юрьевич, Республиканское унитарное предприятие «Гродненский центр стандартизации, метрологии и сертификации», Гродно, Беларусь, klintsevich@grodno.net.

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, german@grsu.by.

УДК 629.7 520.8

И. П. ОХРИМЕНКО, П. В. ПЕТРОВ

КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА

Рассматривается система для детектирования спутников земли и определения параметров их орбит. Детектирование производится с борта исследовательского спутника. Исследовательский спутник принимает сигнал от детектируемого спутника. Обсуждаются результаты моделирования принимаемых сигналов и методы их дешифровки для восстановления параметров орбиты детектируемого спутника.

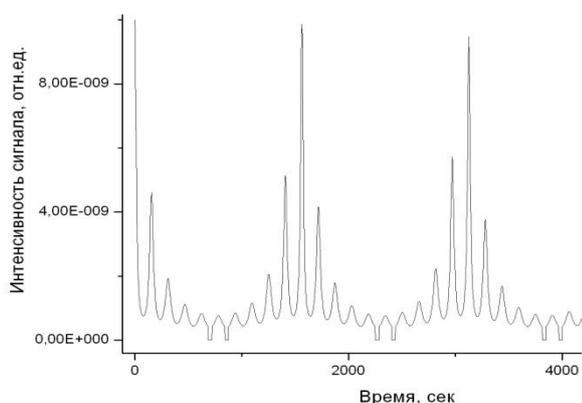


Рисунок 1. График зависимости интенсивности детектируемого сигнала от времени.

В связи с активным развитием космической сферы деятельности, актуальной проблемой является поиск исследовательских задач, выполняемых на орбите. Предлагается задача анализа сигналов для детектирования спутников. Известны баллистический, оптический и радиотехнический методы детектирования искусственных спутников земли. Объединяющим свойством данных методов является то, что детектирующая техника находится преимущественно в наземном сегменте. С каждым годом количество спутников и околоземных космических объектов продолжает расти, что делает задачу оперативного контроля параметров орбит всех объектов в околоземном пространстве актуальной и значимой.

Целью данной работы является задача детектирования искусственного спутника земли с борта исследовательского спутника с заданными и известными характеристиками движения по орбите. Метод восстановления характеристик движения основан на исследовании временной зависимости интенсивности сигнала детектируемого спутника (рис.1). Характер временной зависимости мощности сигнала позволяет сделать вывод об угловом положении орбиты детектируемого спутника и определить кинематические характеристики движения по орбите. Дополнительную информацию несут участки сигнала с «нулевой» интенсивностью. «Нулевая» интенсивность сигнала означает, что детектируемый спутник находится в тени земли. При близком значении радиусов орбит спутников, возможны ситуации, когда определить кинематические характеристики невозможно. В работе обсуждаются основные причины ограничивающие точность метода и способы обнаружения трудно детектируемых спутников.

Метод дешифровки сигнала основывается на выявлении периодичности принимаемого сигнала, анализе функции мощности и амплитудно-частотной характеристики сигнала. Периодичность сигнала определяется параметрами орбиты детектируемого спутника и направлением движения. Интенсивность сигнала определяется увеличением расстояния $r(t)$ между детектируемым и тестовым спутником, относительной ориентацией диаграммы направленности источника и детектора. Методы цифровой обработки сигналов (Фурье преобразование, фильтры) позволяют оперативно определять период и рассчитать амплитудно-частотную характеристику сигнала. Временные интервалы «нулевой» интенсивности характеризуют угловое положение плоскости орбиты детектируемого спутника относительно исследовательского.

В работе обсуждаются модель космической системы мониторинга, результаты решения прямой и обратной задачи детектирования параметров орбит спутников. Показаны границы применимости системы для детектирования спутников с различными параметрами орбит.

Список литературы

1. Бордовицына, Т. В. Теория движения искусственных спутников Земли. Аналитические и численные методы : учеб.пособие / Т. В. Бордовицына, В. А. Авдюшев. – Томск : изд-во Томского университета, 2007. – 178 с.

The method of detection of artificial earth satellites as well as the method determine the parameters of its orbit on board the satellite with the known characteristics of the orbital motion are overviewed and analyzed in the article. The method is based on a study of the time dependence of the intensity of the detected satellite signal.

Охрименко Иван Петрович, студент 5 курса факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ, Минск, Беларусь, Ivan.Ohrymenko@gmail.com.

Петров Павел Васильевич, старший преподаватель факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – Кольчевский Николай Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий БГУ, Минск, Беларусь.

УДК 621.321

А. Т. ПАНАСЮК

ПРОСТОЙ ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ШИМ-РЕГУЛЯТОР ЯРКОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Представлено описание простейшего двухканального ШИМ-регулятора яркости светодиодных источников света для использования в растениеводстве. Регулятор позволяет устанавливать требуемый уровень яркости красных и синих светодиодов, образующих источник света со спектральными свойствами, оптимальными для определенных растений и их условий выращивания.

В настоящее время широко используются технологии выращивания растений в теплицах. Одним из основных условий для достижения высокой урожайности является наличие необходимого количества света. Это может быть достигнуто при помощи искусственного освещения, которое обеспечивает спектр света, подобный солнечному, либо оптимизированный спектр, с учетом максимального поглощения света растениями. Использование в качестве источника света светодиодов наиболее оправдано, т.к. они обладают рядом преимуществ: экологичность, возможность выбора спектра свечения с наибольшей эффективностью для растений, высокий КПД, отсутствие нагрева и др. В светодиодных источниках света, используемых для подсветки растений, чаще всего используются комбинации двух типов светодиодов – красных и синих, излучающих свет в наиболее эффективно преобразуемом растениями диапазоне. Изменение соотношения между красной и синей компонентами света позволяет адаптировать источник света к конкретным сортам растений, а также избирательно их стимулировать с целью усиления роста или, например, образования плодов.

Для решения задачи плавного регулирования яркости светодиодов наиболее часто используются принцип широтно-импульсного регулирования [1]. При этом светодиод периодически зажигается и гаснет с заданной частотой и на время, продолжительность которого можно изменять (регулируется скважность импульсов тока через светодиод). Ток на протяжении всего времени одиночной вспышки остается номинальным, поэтому спектр свечения не искажается. При таком способе регулирования мощности потери энергии минимальны, коэффициент полезного действия схем с ШИМ-регулированием очень высок (более 95 %).

Устройство содержит два однотипных канала (для красного и синего источников света), схема одного из них представлена на рисунке 1.

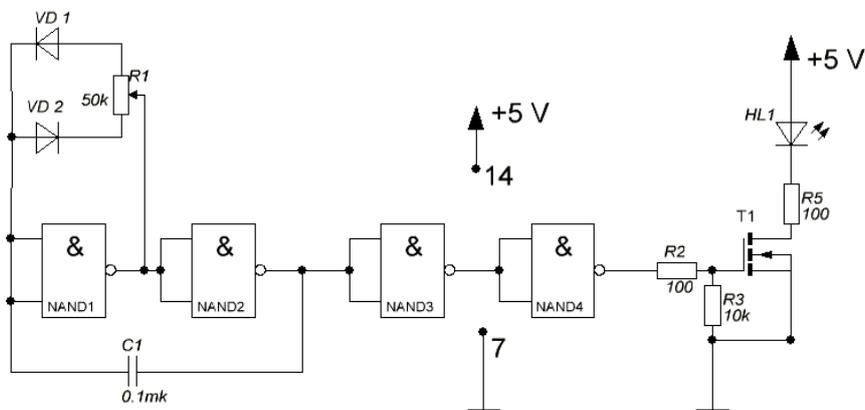


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема одного канала ШИМ-регулятора

ШИМ-регулятор собран по общеизвестной схеме мультивибратора на двух инверторах, в котором за счёт диодов отдельно меняется постоянная времени заряда и разряда частото задающего конденсатора, что позволяет изменять скважность выходных импульсов и значение эффективного напряжения на нагрузке.

В качестве силового ключа использован полевой транзистор T1 IRLN2502, который выдерживает максимальный ток нагрузки 3.4 А, чего достаточно для управления большинством бытовых светодиодных источников света.

Светодиодный источник света подключается между стоком транзистора T1 и положительным полюсом источника питания с напряжением 5-15В (на схеме в качестве источника света показан одиночный светодиод HL1 с токоограничивающим резистором R5). Достоинством схемы являются простота и доступность элементов, недостатком – диапазон изменения яркости – меньше 100 %.

Изготовленное устройство планируется применить для подсветки выращиваемой рассады и в экспериментах по изучению влияния спектра освещения на параметры роста растений.

Список литературы

1. ElectricInfo [Электронный ресурс]. – 2008–2015. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/praktika/824-regulirovanie-yarkosti-svetodiodov.html>. – Дата доступа: 1.01.2016.

In this paper describes a simple two-channel PWM dimmer for LED light sources. The controller allows to set the required level of brightness of red and blue LED light source with spectral properties, optimized for specific plants and their growing conditions.

Панасюк Андрей Тадеушевич, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, generaal@mail.ru.

Научный руководитель – Герман Андрей Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 535–95

С. В. ПРОЦЕНКО, В. Г. БЕЛКИН

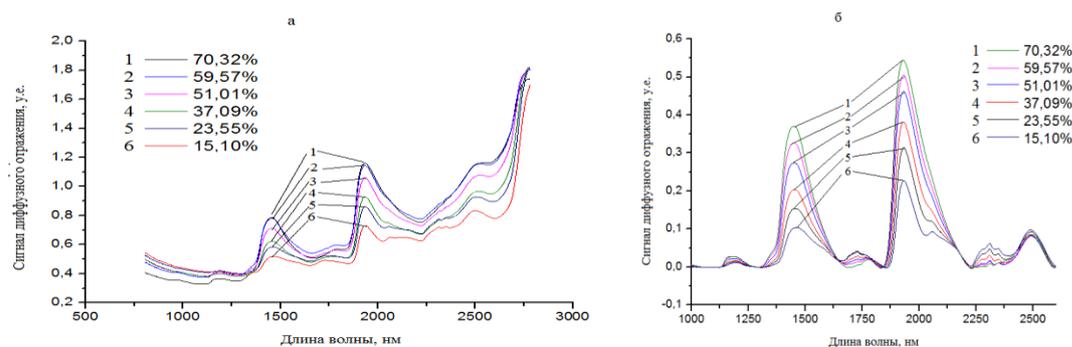
РАЗРАБОТКА МАКЕТА ИНФРАКРАСНОГО ДАТЧИКА ВЛАЖНОСТИ ЗЕЛЁНОЙ МАССЫ

Определение влажности зелёной массы непрерывно в процессе уборки представляет актуальную задачу, решение которой позволит повысить качество силосуемого корма. В работе приводятся результаты разработки макета датчика влажности зелёной массы. Для этого был выполнен комплекс работ: изготовление образцов зелёной массы, получение спектров диффузного отражения, изготовление макета и полевые испытания.

В последнее время для анализа кормовых сельскохозяйственных культур все чаще используются методы инфракрасной спектроскопии, основанные на приеме диффузного отражения [1, 2]. Основным преимуществом, которое относится к инфракрасной спектроскопии, является быстрота определения компонентного состава и точность, сравнимая с химическим анализом [3]. Влажность корма является одним из ключевых показателей, который отвечает за сохранность питательных компонент в период силосования. Для предотвращения гниения корма используются специальные консерванты, которые необходимо вносить именно на комбайне, однако, их количество и высокая стоимость требуют наличие онлайн системы измерения влажности, показания которой используются для необходимой дозировки консерванта [2].

В нашей стране идет разработка и испытания макета отражательного датчика влажности на комбайне КВК-8060 производства ОАО «Гомсельмаш», основной принцип работы заключается в приеме отраженного инфракрасного излучения. Основными узлами оптической схемы являются излучатель, модулятор, фотоприемник, интерференционные фильтры, полусфера. Разработка осуществляется ООО «Аквар-систем» совместно с кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета БГУ.

Для определения аналитических длин волн были получены спектры диффузного отражения образцов зеленой массы с влажностью 15–70 % на Фурье-спектрометре MATRIX-I в диапазоне длин волн 1,0–2,7 мкм. На рисунке 1 представлены спектры диффузного отражения зелёной. Следует отметить, что особенностью спектров диффузного отражения является наличие общего наклона, который обусловлен увеличением общего сигнала при увеличении длины волны. Для устранения этого эффекта использовалась встроенная в спектрометр функция. Устранение общего наклона производится для упрощения дальнейших расчетов [1].



а – исходные спектры, б – после устранения общего наклона

Рисунок 1 – Спектры диффузного отражения зеленой массы с различным уровнем влагосодержания

Спектр диффузного отражения зеленой массы представляет собой комбинацию полос поглощения различных компонент, входящих в состав. Однако, несмотря на этот факт, для определения влажности могут быть использованы длины волн 1445 нм и 1934 нм как аналитические без определенных математических преобразований исходного спектра и в статье [2] приводится подробное тому объяснение.

По результатам проведенных спектроскопических исследований была осуществлена градуировка макета датчика для определения влажности зеленой массы и проведены полевые испытания на комбайне КВК-8060 производства ОАО «Гомсельмаш». Влажность определялась согласно ГОСТу 27548-97 «Корма растительные. Методы определения содержания влаги» термogravиметрическими весами Sartorius MA 45, которые внесены в реестр средств измерений Республики Беларусь. На рисунке 2 представлены фотографии с полевых испытаний.



Рисунок 2 – Фотографии макета датчика влажности зелёной массы во время проведения полевых испытаний

Макет датчика влажности зелёной массы крепится к силосопроводу, такое расположение обеспечивает наилучшее взаимодействие излучения с анализируемым кормом и при этом уменьшается влияние заполнения силосопровода на сигнал.

Проведенные полевые испытания показывают возможность использования макета датчика влажности в дальнейшем как систему определения влажности зелёной массы в процессе уборки кормовых

сельскохозяйственных культур. Дальнейшие испытания будут направлены на улучшение алгоритмов определения влажности, а также на определение компонентного состава.

Список литературы

1. Крищенко, В. П. Ближняя инфракрасная спектроскопия / В. П. Крищенко. – М. : Кронн – пресс, 1997. – 638 с.
2. Белкин, В. Г. Влияние влажности зеленой массы на ее спектры диффузного отражения в ближней инфракрасной области / В. Г. Белкин, С. В. Проценко // Вестник БГУ Серия 1. Физ. Мат. Информ. – 2014. – № 3 – С. 22–25.
3. Мухутдинов, М. Оптические методы и устройства контроля влажности. / М. Мухутдинов, Э. С. Мусаев. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 96 с.

Determination of moisture content of green mass is continuously in the process of cleaning is an important task that will improve the quality of the silage forage. The paper presents the results of the development of the layout of the moisture sensor. For this purpose, was performed a complex of works: manufacturing of the samples of green mass, production of spectra of diffuse reflection, making the layout and field testing.

Проценко Станислав Викторович, аспирант кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета БГУ, Минск, Беларусь, stas-p0@rambler.ru.

Белкин Валерий Георгиевич, кандидат физико-математических наук, директор по развитию ООО «Аквар-систем», Минск, Беларусь, vgb1240@gmail.com.

Научный руководитель – *Воропай Евгений Семёнович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета БГУ, Минск, Беларусь, voropay@bsu.by.

УДК 621.981

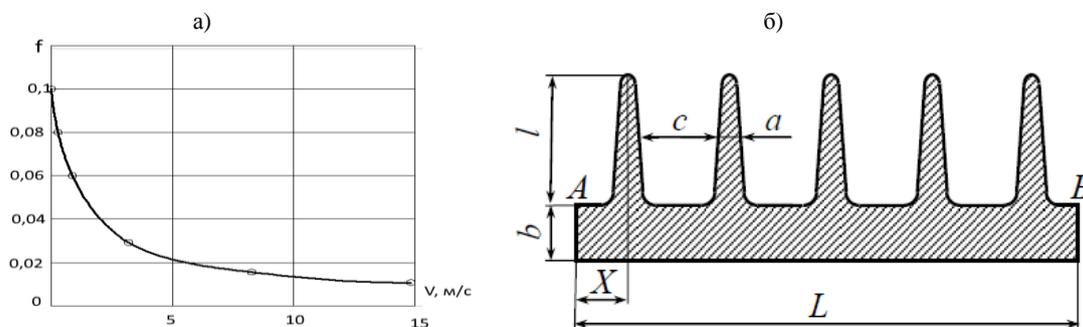
А. В. РАДЮК, А. А. НЕКРАШЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАБОТЕ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОРПУСА

Большие потери передаваемой мощности на трение в червячных передачах связаны с большим тепловыделением. Актуальной является задача установления теплового баланса между деталями редуктора и воздухом, окружающим корпус. Исследование тепловых процессов, выполненное на основе компьютерного моделирования, позволит уменьшить потери энергии и оптимизировать геометрические параметры корпуса червячного редуктора.

Редукторы с червячным зацеплением – один из наиболее распространённых типов редукторов. Они имеют широкую область применения: транспортеры, конвейеры, подъёмники, насосы, мешалки, приводы ворот. Основной сферой применения червячных редукторов являются механизмы и устройства в которых требуется экономичное решение по снижению частоты вращения привода и увеличению крутящего момента в условиях отсутствия значительных ударных нагрузок и невысокой периодичности включений [1].

Существенным недостатком редуктора является нагрев сопряженных деталей и корпуса, который влечет за собой потерю энергии. Червячный редуктор имеет недостаточно высокий КПД, часть мощности, которая теряется в зацеплении, рассеивается в окружающую среду в виде тепла для уменьшения потерь энергии на корпусе таких редукторов выполняются теплоотводящие ребра [4,5]. Основная причиной нагрева контактирующих деталей редуктора – значительное трение в червячной паре. Величина трения зависит от различных факторов, характеризующих работу редуктора. Один из основных факторов, влияющих на температуру нагрева – скорость скольжения [2]. Конструктивные параметры ребер редуктора, зависящие от скорости скольжения и, как следствие от величины температуры нагрева, влияют на габариты редуктора и определяют его вес и стоимость (рисунок 1).



а – график влияния скорости скольжения в зоне контакта на силу трения, б – конструктивные параметры охлаждающих ребер

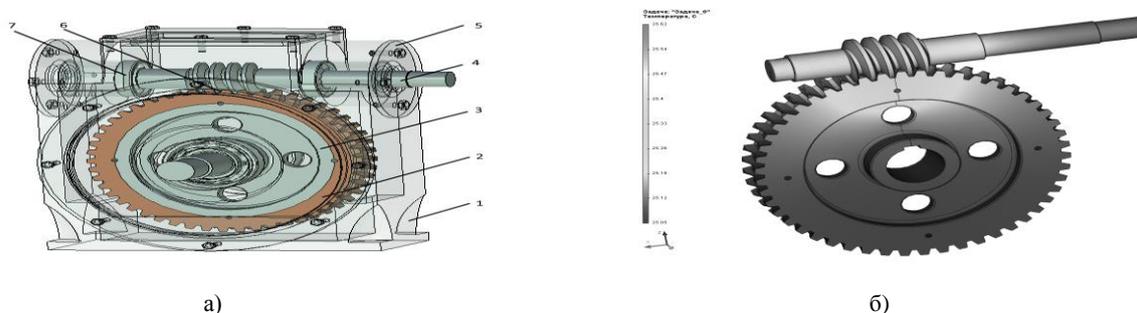
Рисунок 1 – Влияние различных факторов на тепловые процессы в червячном редукторе

В зацеплении червячной пары реализуются значительные окружные, радиальные и осевые усилия, которые через детали подшипниковых узлов воздействуют на корпус. Корпус должен иметь достаточную прочность и жесткость. По условиям прочности должны обеспечиваться минимально возможная толщина стенки, минимальное значение площади сечения и минимальное значение момента инерции. При установившемся режиме работы редуктора количество теплоты, выделяемое в нем, равно количеству теплоты, отводимой от него. Этот тепловой баланс устанавливается при некотором определенном перепаде температур между находящимся в редукторе маслом и воздухом, окружающим корпус.

Для повышения интенсивности охлаждения некоторые крупногабаритные червячные редукторы поставляются с вентиляторными крыльчатками на свободном торце быстроходного вала. В других случаях приходится организовывать принудительную циркуляцию масла в корпусе редуктора. Перечисленные способы снижения температуры деталей относятся к редукторам с большой передаваемой мощностью (свыше 4...5 кВт). В случаях с меньшей мощностью дополнительные меры по отводу тепла, как правило, не требуются, [1-4] но несмотря на это основными задачами при проектировании червячных редукторов и мотор-редукторов, являются: уменьшение тепловых воздействий на детали редуктора, и оптимизация геометрических параметров корпуса. Решения этих задач производится, как правило, с помощью системы проектирования инженерных конструкций, включающей в себя модуль теплового анализа [6-7].

Для исследования особенностей процесса нагрева деталей червячного редуктора, нами была сформирована трёхмерная сборочная модель, которая отображает конструктивные особенности элементов редуктора и их взаимодействие (рисунок 2).

С помощью специализированного модуля интегрированной среды T-Flex, проведен анализ тепловых процессов в червячной паре редуктора, для определения температурных характеристик в зоне зацепления.



а – спроектированная модель червячного редуктора с обозначением основных элементов и зоны контакта червячной пары (1 – корпус без охлаждающих ребер, 2 – венец червячного колеса, 3 – основание червячного колеса, ведущий (быстроходный) вал редуктора, 5 – крышка подшипника, зона контакта червячной пары, 7 – подшипник)
б – конечноэлементный тепловой анализ параметров червячной пары

Рисунок 2 – Модель червячного редуктора для исследования тепловых процессов

На основе полученной трехмерной сборочной модели и результатов теплового анализа в дальнейшем планируется провести оптимизацию геометрических параметров корпуса червячного мотор-редуктора с заданной мощностью, применяемого в промышленной установке.

Список литературы

1. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т. 1. / В. И. Анурьев. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 816.
2. Вейц, В. Л. Динамика самотормозящихся червячных механизмов при силах трения, зависящих от скорости / В. Л. Вейц / Теория машин и механизмов. Вып. 105–106. – М. : Наука, 1965. – С. 5–19.
3. Крагельский, И. В. Коэффициенты трения : справ. Пособие / И. В. Крагельский, И. Э. Виноградова. – М. : Машгиз, 1962. – 220 с.
4. Решетов, Д.Н. Детали машин. /Д. Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
5. Жуков, К.П. Проектирование деталей и узлов машин / К. П. Жуков, Ю. Е. Гуревич. – М. : Станкин, 2004. – 671 с.
6. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 541 с.
7. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов : пер. с англ. / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.

Investigation of thermal processes executed on the basis of computer modeling, will reduce energy losses and optimize the geometric parameters of the housing worm gear.

Радюк Александр Владимирович, студент 3 курса факультета инновационных технологий машиностроения ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, raduk.2010@mail.ru.

Некрасевич Алексей Александрович, студент 3 курса факультета инновационных технологий машиностроения ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, aleksey.93.nekrashevich@mail.ru.

Научный руководитель – *Калугин Юрий Константинович*, кандидат технических наук, доцент ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОГРАММИРУЕМЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ ПОДСВЕТКОЙ

Целью данной работы являлась разработка устройства на основе контроллера Arduino Nano, позволяющего динамически управлять восемью нагрузками (например, световыми приборами архитектурной подсветки) и имеющего функцию дистанционного включения.

Архитектурная подсветка выполняет широкий спектр задач: она призвана подчеркнуть архитектурные преимущества жилых, административных и торговых зданий, памятников культуры и объектов общественного внимания. В задачу подсветки так же входит формирование гармонического и привлекательного имиджа города и его отдельных районов в темное время суток. Особый интерес представляет создание управляемой подсветки, в которой световые эффекты являются динамическими и программируемыми.

К созданию описываемого 8-канального контроллера меня подтолкнуло увлечение светодинамическими устройствами. На рисунке 1 представлена принципиальная электрическая схема устройства, включающая в себя 8 одногипных силовых ключей, подключенных к выходам 16-канального программируемого ШИМ TLC5940. Выводы D2, D3, D9, D10, D11, D13 данной микросхемы подключаются к выходным портам контроллера Arduino NANO, выбранного благодаря низкой стоимости и наличию широкого ассортимента инструментальных средств [1]. Управляющая программа загружается в контроллер посредством USB, дистанционное включение/отключение светодинамических эффектов реализовано с помощью Wi-Fi модуля ESP8266 [2]. Изготовленное устройство используется для управления подсветкой индивидуального дома.

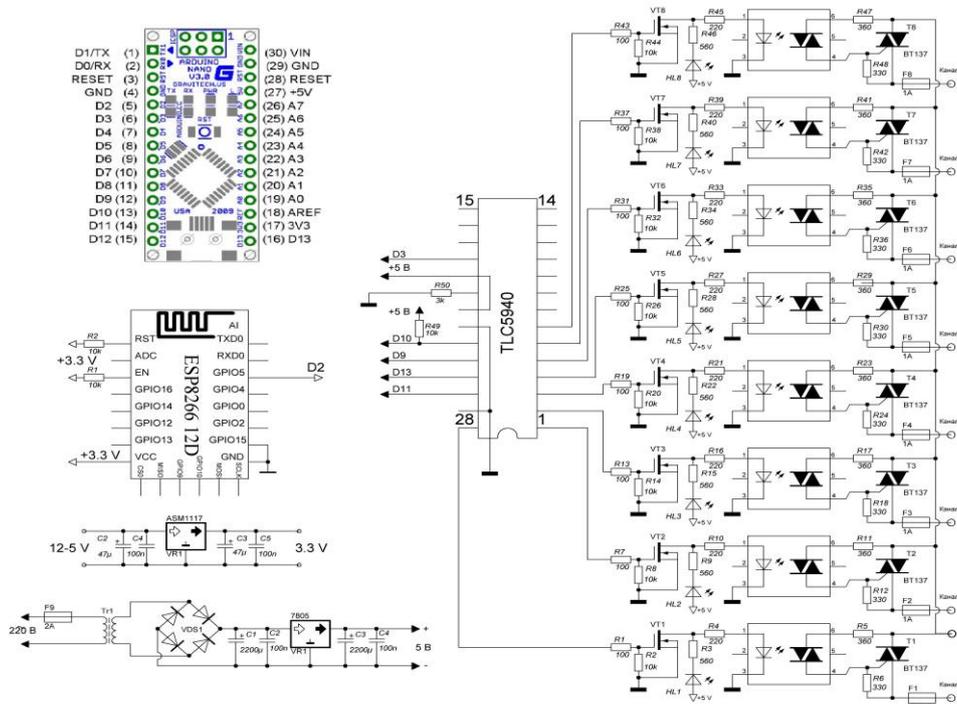


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема устройства

Список литературы

1. Arduino USA ONLY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage> – Дата доступа: 10.01.2016.
2. Сообщество разработчиков ESP8266 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://esp8266.ru/esp8266-nodemcu-luauploader>. – Дата доступа: 10.01.2016.

Architectural lighting performs a wide range of tasks: it is designed to emphasize the architectural advantages of residential, office and commercial buildings, cultural sites and objects of public attention. By building the described 8-channel controller pushed me hobby dynamic lighting devices. The control program is loaded into the controller via USB, remote on / off lighting effects realized by means of Wi-Fi module ESP8266.

Рожко Виталий Юрьевич, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, salat00@yandex.ru.

Научный руководитель – Герман Андрей Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 621.3.062

В. Ю. РОЖКО

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ДИСТАНЦИОННЫЙ WI-FI ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ

Целью работы являлась разработка устройства, позволяющего дистанционно (с использованием Wi-Fi) управлять двумя электроприборами, питающимися от осветительной сети.

В настоящее время большой интерес представляет концепция IoT (Internet of Things) – интернет-вещей, оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или внешней средой. Интерес к подобным решениям в последнее время возрос, так как на рынке появились относительно недорогие модули, предназначенные для решения задач дистанционного управления с помощью проводного и беспроводного подключения к компьютерным сетям. На рынке представлено множество готовых решений, а также встраиваемых модулей для решения задач пользователя с радиоуправлением по каналам Bluetooth и Wi-Fi. С выходом на рынок Wi-Fi модулей ESP8266 [1] область решаемых задач значительно расширилась за счет низкой цены и простоты их использования.

В настоящей работе были решены следующие задачи:

- Разработка принципиальной электрической схемы устройства.
- Изготовление печатной платы.
- Монтаж и отладка.
- Разработка приложения для мобильных устройств на базе ОС Android.

На рисунке 1 представлена принципиальная электрическая схема изготовленного устройства. Программное обеспечение Wi-Fi-модуля написано на языке Lua [2] (скриптовый язык программирования, похожий по синтаксису на JavaScript). Управление выполняется через специальное приложение для смартфонов на базе ОС Android (рисунок 2). Приложение написано в MIT App Inventor [3] (среда визуальной разработки Android-приложений) и ориентировано на включение в помещении освещения и управление дополнительной нагрузкой.

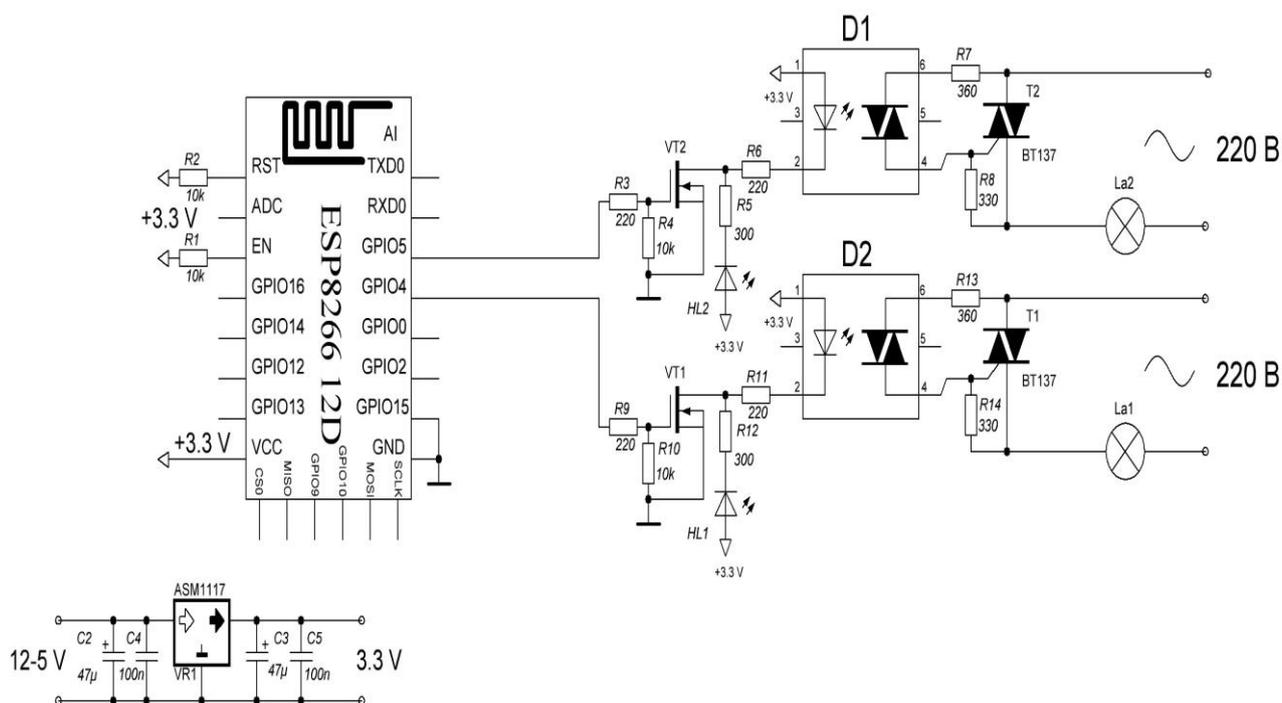


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема устройства

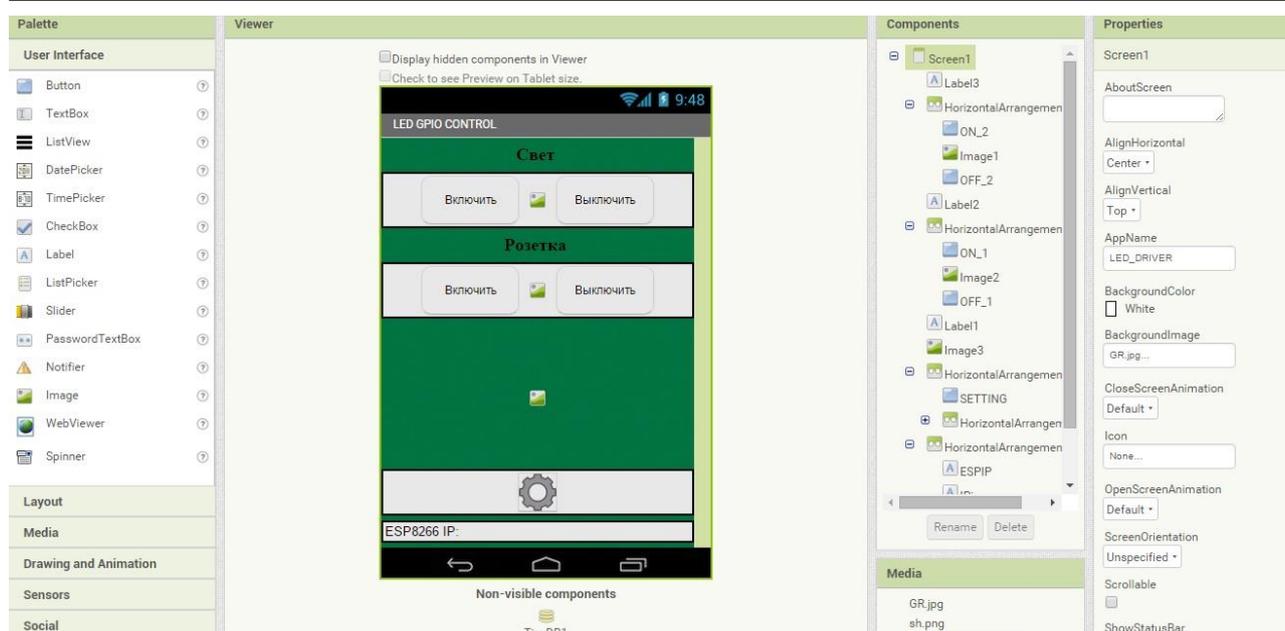


Рисунок 2 – Приложение для мобильных устройств на базе ОС Android

Список литературы

1. Сообщество разработчиков ESP8266 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://esp8266.ru/esp8266-nodemcu-luauploader>. – Дата доступа: 10.01.2016.
2. The programming language Lua [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lua.org/> – Дата доступа: 10.01.2016.
3. MIT App Inventor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ai2.appinventor.mit.edu>. – Дата доступа: 10.01.2016.

Currently, great interest is the concept of IoT (Internet of Things) - the Internet of things, equipped with built-in technologies to communicate with each other and the environment. The interest in such solutions has recently increased as the market appeared relatively inexpensive ESP8266 modules.

The essence of this work is to develop a two-channel remote Wi-Fi switch. Control is carried out through a special application for smartphones based on OC Android.

Рожко Виталий Юрьевич, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, salat00@yandex.ru.

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 537.528

А. О. РОМАШКЕВИЧ

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ДЕМОНСТРАЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ФИЗИКЕ

Создано малогабаритное электроразрядное устройство, которое позволяет проводить широкий круг демонстрационных экспериментов в школе по разделам «Электростатика» и «Постоянный электрический ток. Электрический ток в различных средах», а также использовать его для внеклассной работы в кружках, проведения вечеров по физике.

Одними из первых исследователей импульсного разряда в жидкостях являются естествоиспытатели Т. Лейн и Дж. Пристли (XVIII век), исследователи Т. Сведберг и Ф. Фрюнгель (XX век) установившие, что электрический пробой жидкостей, так же как и воздуха (молния), носит характер искры, воспринимаемой в виде отшнурованного узко и ярко светящегося канала. Однако было не известно, что разряд в жидкости может явиться прообразом нового способа трансформации электрической энергии в механическую и быть широко использован в самых различных областях науки и техники [1].

Первооткрывателем механизма электрогидравлических явлений считается Л. А. Юткин, который впервые сформулировал и обозначил новый способ трансформации электроэнергии в механическую как электрогидравлический эффект (ЭГЭ) [2]. Сущность этого эффекта состоит в том, что при прохождении

электроразряда высокого напряжения через жидкость в открытом или закрытом сосуде, некоторый объем этой жидкости, находящийся в межэлектродном пространстве, мгновенно вскипает, в результате чего в сосуде образуется газожидкостная смесь. При расширении образовавшегося газа в сосуде возникают высокие и сверхвысокие избыточные гидравлические давления (100 тыс. атм.), способные совершать полезную механическую работу. Электрогидравлический эффект является основой создания множества технологических процессов, которые широко применяются во многих промышленных отраслях всего мира. Однако тема применения ЭГЭ в учебном процессе (учебном и демонстрационном эксперименте) в настоящее время является полностью не разработанной и представляет большой научно-методический интерес.

Малогабаритное электроразрядное устройство представляет собой переносной блок, в котором расположены элементы, указанные на рисунке 1.

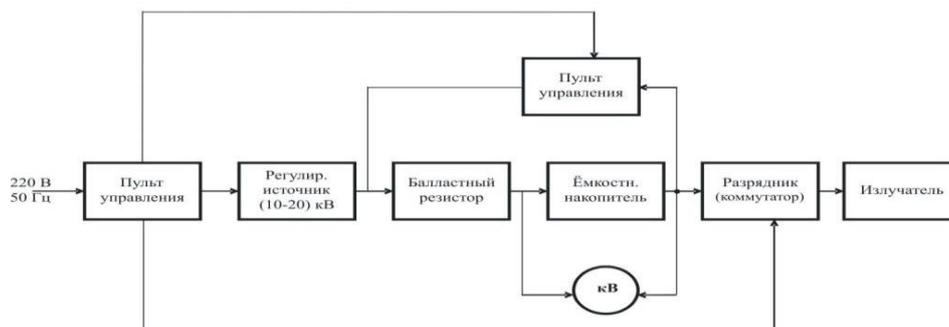


Рисунок 1 – Структурная схема малогабаритного электроразрядного устройства

Устройство работает от однофазной сети 220 В, 50 Гц и включает в себя:

1. Пульт управления, с которого осуществляется регулировка высокого напряжения в пределах от 10 до 20 кВ плавно. Контроль «высокого» осуществляется с помощью стрелочного киловольтметра, а также с пульта управления осуществляется управление работой коммутатора и схемой защиты.

2. Регулируемый источник (10–20 кВ) вырабатывает постоянное напряжение, необходимое для питания накопителя.

3. Балластный резистор обеспечивает заданное значение тока заряда конденсаторной батареи ёмкостного накопителя.

4. Ёмкостный накопитель – батарея из двух конденсаторов К75-48 (0,22 мкФ, 25 кВ), соединенных параллельно, обеспечивает при напряжении 10–20 кВ запасаемую энергию от 22 до 88 Дж.

5. Коммутатор предназначен для импульсного разряда ёмкостного накопителя на излучатель и представляет собой блок из двух высоковольтных управляемых керамических разрядников ТГ-127 и РУ-62, соединенных последовательно для исключения самопрооба при напряжении больше 15 кВ. Коммутатор работает в режиме одиночных импульсов (1 раз в 2 мин.).

6. Высоковольтный импульс, сформированный коммутатором, по высоковольтному коаксиальному кабелю транспортируется на излучатель, который может быть тонкой медной (алюминиевой) проволокой, графитовым стержнем либо чистой водой, через которую осуществляется разряд.

7. Схема защиты предназначена для снятия остаточного заряда на ёмкостном накопителе и представляет собой вакуумный выключатель ВВ-20, обмотка которого после выключения питания замыкает батарею накопителя на балластный резистор, снимая с него остаточный заряд.

Малогабаритное электроразрядное устройство (рисунок 2) имеет множество практических приложений.



Рисунок 2 – Внешний вид малогабаритного электроразрядного устройства

В настоящий момент оно используется, в частности, в лабораторных практикумах при обучении студентов. Весьма перспективным представляется его использование для проведения широкого круга

демонстрационных экспериментов в школе по разделам «Электростатика» и «Постоянный электрический ток. Электрический ток в различных средах», а также использовать его для внеклассной работы в кружках, проведения вечеров по физике.

На основе изучения научно-методической литературы установлены его конкретные применения для показа различных учебных и занимательных опытов по указанным разделам физики. Особый интерес представляют следующие эффектные демонстрации:

- | | |
|---|--------------------------------|
| – опыты Планте (электрический прилив и электрический фонтан); | – борьба с гравитацией; |
| – танец мыльных пузырей; | – статический разделитель; |
| – иголка-молниеотвод; | – демонстрация шаровой молнии; |
| – летающая птица; | – статический дождь; |
| – огни Святого Эльма; | – зарядка на расстоянии; |
| – электризация воды, растений и мыльных пузырей; | – статический «клей»; |
| | – электрический ветер; |
| | – молния на столе. |

Эти и множество других занимательных опытов вызовут у учащихся интерес к изучению физики, позволят им глубже изучить многие физические явления и научат применять их на практике.

Список литературы

1. Использование эффекта Л. А. Юткина в электрогидравлических устройствах / А. А. Бекаев [и др.]. // Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». – М. : МГТУ «МАМИ», 2010. – С. 22–32.
2. Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 253 с.
3. Рабиза, Ф. В. Опыты без приборов: Научно-популярная лит. / Ф. В. Рабиза. – М. : Дет. лит., 1988. – 111 с.
4. Горев, Л. А. Занимательные опыты по физике в 6-7 классах: пособие для учителей / Л. А. Горев. – М. : Просвещение, 1977. – 152 с.
5. Гальперштейн, Л. Забавная физика: Научно-популярная лит. / Л. Гальперштейн. – М. : Дет. лит., 1993. – 255 с.
6. Гальперштейн, Л. Я. Здравствуй, физика! Для восьмилетней школы / Л. Я. Гальперштейн. – М. : Дет. лит., 1967. – 208 с.
7. Майоров, А. Н. Физика для любознательных, или О чем не узнаешь на уроке / А. Н. Майоров. – Ярославль : «Академия развития», Академия К», 1999. – 176 с.
8. Ди Специо, М. Занимательные опыты: электричество и магнетизм / М. Ди Специо ; пер. с англ. М. Заболотских, А. Расторгуева. – М. : АСТ : Астрель, 2008. – 160 с.
9. Ванклив, Дж. Занимательные опыты по физике / Дженис Ванклив ; пер. с англ. Н. Липуновой. – М. : Астрель, 2008. – 254 с.

Created by a small-sized electric discharge unit, which enables a wide range of demonstration experiments in schools under sections "Electrostatics" and "Direct current. Electric current in different environments", as well as use it for class work in the circles of the evenings of physics.

Ромашкевич Андрей Олегович, студент 4 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, andrroma07@gmail.com.

Научный руководитель – *Тарковский Викентий Викентьевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, tarkovsky@grsu.by.

УДК 621.317

Е. В. СЕЛЮТИН, П. В. ПЕТРОВ

РАСПРЕДЕЛЁННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Рассматривается система для автоматической регистрации показаний аналоговых приборов и передачи данных по сетям интернета. Система основана на использовании web-камеры в качестве регистрирующего элемента и программного обеспечения для анализа и передачи данных по указанному ip-адресу.

Проблема экспериментальных наблюдения и автоматизированной регистрации показаний аналоговых измерительных приборов может быть решена с применением компьютера в сочетании с web камерой и программным обеспечением для передачи данных по интернету. Обычная web-камера с успехом может улучшить стандартные регистрирующие и измерительные приборы. Достоинства применения web-камеры: использование обычного компьютера, лёгкая адаптация к условиям измерений и исследований, возможность быстрого обновления и расширения, совместимость с любыми измерительными устройствами, экономичность

Известным ограничением на пути использования компьютера в области измерений и регистрации аналоговых сигналов является то, что компьютер не способен принимать аналоговые данные, так как является

полностью цифровым устройством. Для решения этой проблемы существуют специализированные устройства – Аналого-Цифровые Преобразователи (АЦП), которые осуществляют преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму. В качестве АЦП в нашем случае используется web-камера, которая преобразует аналоговый сигнал от измерительного или регистрирующего прибора в цифровой вид, пригодный для приёма и обработки его компьютером. Программное обеспечение является инструментом, позволяющим обрабатывать данные полученные от измерительных приборов и предоставлять доступ к ним удаленному пользователю (рис. 1). Разработка цифровых измерительных систем является актуальной с практической точки зрения.

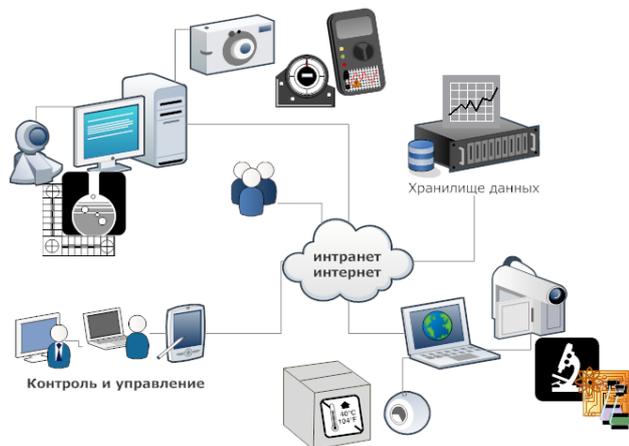


Рисунок 1. Схема распределенной измерительной системы.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения для применения web-камеры в качестве бесконтактного измерительного, или регистрирующего прибора. Для написания программного обеспечения, позволяющего использовать WEB-камеру в качестве инструмента для бесконтактного измерения или регистрации, мной была выбрана платформа программирования JavaFX. При разработке использовалась библиотека Java Webcam-capture, которая дает пользователям возможность доступа к встроенным или подключенные через USB веб-камерам или к удаленным IP / сетевым камерам напрямую из java-кода. Используя предоставляемую библиотеку пользователь способен считывать изображения с камер и оцифровывать. Использовалась JavaCV (java интерфейс к OpenCV-библиотекам алгоритмов компьютерного зрения), который использует обертки от JavaCPP пресетов из библиотеки, используемых исследователями в области компьютерного зрения, и предоставляет вспомогательные классы, чтобы сделать их проще в использовании функциональности на платформе java. В качестве тестирования возможностей программы были проведены эксперимент с помощью регистрирующей системы на основе двух web-камер A4Tech PKS-720G, полупроводникового лазера и интернет сайта в качестве web хранилища. В работе обсуждаются особенности построения распределенных измерительных систем.

Список литературы

1. Лопатин, Д. П. Цифровая обработка изображений наночастиц / Д. П. Лопатин, С. В. Кулаженко, Н. Н. Кольчевский // Сб. работ 67-й науч. конф. студентов и аспирантов Белорусского государственного университета, Минск, 17–20 мая 2010 г. в 3 ч. Ч. 1 / Белорус. гос. ун-т. – Минск : Изд. центр БГУ, 2011. – 300с.

The system for automatic registration of analogue devices indicators and transmission of data via the Internet are proposed. The system is based on web camera as a registering device and software for analysis and data transmission to the ip address.

Селютин Егор Владимирович, студент 5 курса факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ, Минск, Беларусь, selyutin1993@gmail.com.

Петров Павел Васильевич, старший преподаватель факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Кольчевский Николай Николаевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий БГУ, Минск, Беларусь.

УДК 621.084.2

Н. Ф. СТОЛЯР

ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТОДА В НАНОРАЗМЕННОЙ СТРУКТУРЕ

Представлены результаты моделирования катодных характеристик в наноразмерной структуре, состоящей из четырех электродов. Получены зависимости максимума плотности тока на катоде от величин потенциалов на управляющих электродах и аноде.

В настоящее время активно исследуются электронные процессы в вакуумных наноструктурах, в частности, автоэлектронная эмиссия – испускание электронов твердыми телами под действием сильного электрического поля на уровне Ферми. На данный момент это явление уже активно используется в полевой эмиссионной микроскопии [1]. В то же время активно развивается вакуумная наноэлектроника ввиду перспективности использования вакуумных промежутков для транспорта электронов.

При подаче относительно небольшой разности потенциалов на электроды наноразмерной структуры, расстояние между электродами которой составляет от одного до нескольких десятков нанометров, можно получить достаточно большое электрическое поле. Величины этого поля хватает, чтобы получить необходимую эмиссию электронов с одного или нескольких электродов структуры. В виду того, что расстояние между электродами очень мало (меньше чем длина свободного пробега электрона), при переносе носителей заряда обеспечивается баллистический транспорт. Это свойство позволит создать структуры с более низким уровнем шума, меньшим энергопотреблением и более высокой скоростью переключения (рабочей частотой).

В данной работе было проведено моделирование эмиссионных свойств катода структуры изображенной на рисунке 1. Были получены зависимости величины плотности тока на катоде от значения потенциала на аноде и управляющих электродах. Данная структура состоит из: 1 – катода; 2 – анода и 3 – управляющих электродов (затворов). Катод выполнен из меди, работа выхода электрона из которого равна 4.4 эВ. Расстояние между катодом и анодом составляет 10 нм, между электродами-затворами – 16 нм. Расстояние от катода до оси симметрии затворов – 5 нм. Каждый электрод шириной в 4 нм и на конце имеет скругление радиусом в 2 нм.

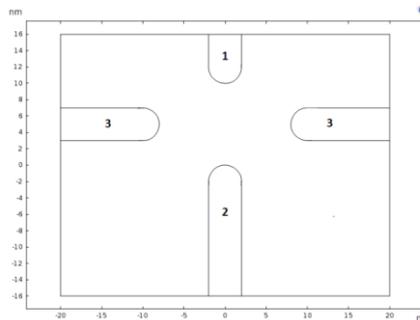


Рисунок 1 – Моделируемая наноразмерная структура

Моделирование распределения электрического поля производилось в программном пакете COMSOL Multiphysics. В качестве граничных условий использовались значения потенциалов на электродах. С помощью картины распределения поля была найдена плотность тока вблизи катода. Для этого использовалась формула Фаулера-Нортгейма для автоэлектронной эмиссии:

$$j = \frac{e^3 E^2}{8\pi h \Phi} \frac{1}{t^2(y)} \exp\left[\frac{-8\pi\sqrt{2m}\Phi^{3/2}v(y)}{3heE}\right], \quad (1)$$

где e – заряд электрона; E – значение внешнего электрического поля возле поверхности катода; h – постоянная Планка; Φ – работа выхода электрона из катода; m – масса электрона; $t^2(y)$ и $v(y)$ – эллиптические формулы

Нортгейма аргумента $y = \sqrt{e^3 E / (4\pi\epsilon_0 \Phi^2)}$.

Значение функции $t^2(y)$ слабо зависит от величины поля и близко к единице. Зависимость $v(y)$ от величины электрического поля аппроксимируется выражением [2]:

$$v(y) = 0,955 - 1,03y^2. \quad (2)$$

Используя формулу (1) была получена зависимость плотности тока на поверхности катода от величины потенциала на управляющих электродах (рисунок 2, а). На катод подавался потенциал -5 В. Первоначально на управляющие электроды был подан потенциал минус 2,5 В, а затем его постепенно увеличивали до +2,5 В. Расчеты проводили при потенциалах анода в +5, +6 и +7 В.

Также была рассчитана зависимость плотности тока на поверхности катода от величины потенциала на аноде (рисунок 2, б). На катод подавался потенциал -5В. На аноде был установлен потенциал в +5 В, который увеличивали до +9 В. Данные расчеты проводили при установленных на управляющих электродах потенциалах: -1, 0, +1 и +2 В.

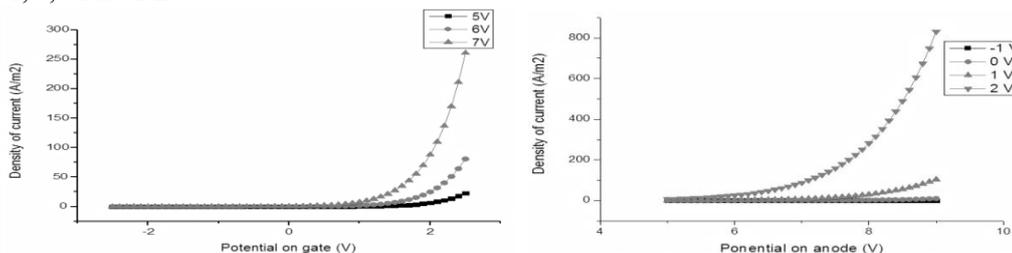


Рисунок 2 – Зависимость плотности тока а) от величины потенциала на управляющих электродах, б) от величины потенциала на аноде

В ходе расчетов было установлено, что поле создаваемое в предлагаемой наноструктуре имеет величину порядка $2,5 \cdot 10^9$ В/м². Плотность тока при увеличении потенциала на аноде и управляющей сетке экспоненциально увеличивается. Из рисунка 2, а видно, что пороговый потенциал на затворе составляет порядка 1 В. При увеличении потенциала на управляющих электродах до 2 В плотность тока на катоде увеличивается почти на порядок (рисунок 2,б). Учитывая малые значения потенциалов на электродах, можно предположить, что данная структура для полноценной работы не потребует больших энергозатрат. Малые размеры структуры и наличие баллистического транспорта носителей заряда обеспечат высокую скорость переключения.

Список литературы

1. Фурсей, В. Н. Автоэлектронная эмиссия / В. Н. Фурсей // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6, № 11 – С. 96–103.
2. Батраков, А. В. Автоэлектронная эмиссия / А. В. Батраков. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 143 с.

Results of modeling of cathode characteristics in nanoscale structure which contain four electrodes were introduced in that work. Dependences of maximum of current density on cathode from value of potential on gate and from value of potential on anode were introduced.

Столяр Николай Фёдорович, аспирант кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, n.stolyar@list.ru.

Научный руководитель – *Борисенко Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой микро- и нанoeлектроники БГУИР, Минск, Беларусь, Borisenko@bsuir.by.

УДК 62-791.2

Е. С. ХАЦУК

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ НА БАЗЕ ДАТЧИКА DHT11 НА ПЛАТФОРМЕ ARDUINO

Рассмотрены структурная схема устройства контроля температуры и влажности, его возможности, дальнейшее развитие и использование, а также основные характеристики всех его компонентов, достоинства и обоснование выбора данного устройства.

Так как диапазон измерений и условий их применения могут сильно отличаться друг от друга, разработаны разные по точности, помехоустойчивости и быстродействию типы датчиков температуры. Какого бы типа ни был температурный датчик, общим для всех является принцип преобразования. А именно: измеряемая температура преобразуется в электрическую величину (за это и отвечает первичный преобразователь) [1].

Структурная схема приведена на рисунке 1.

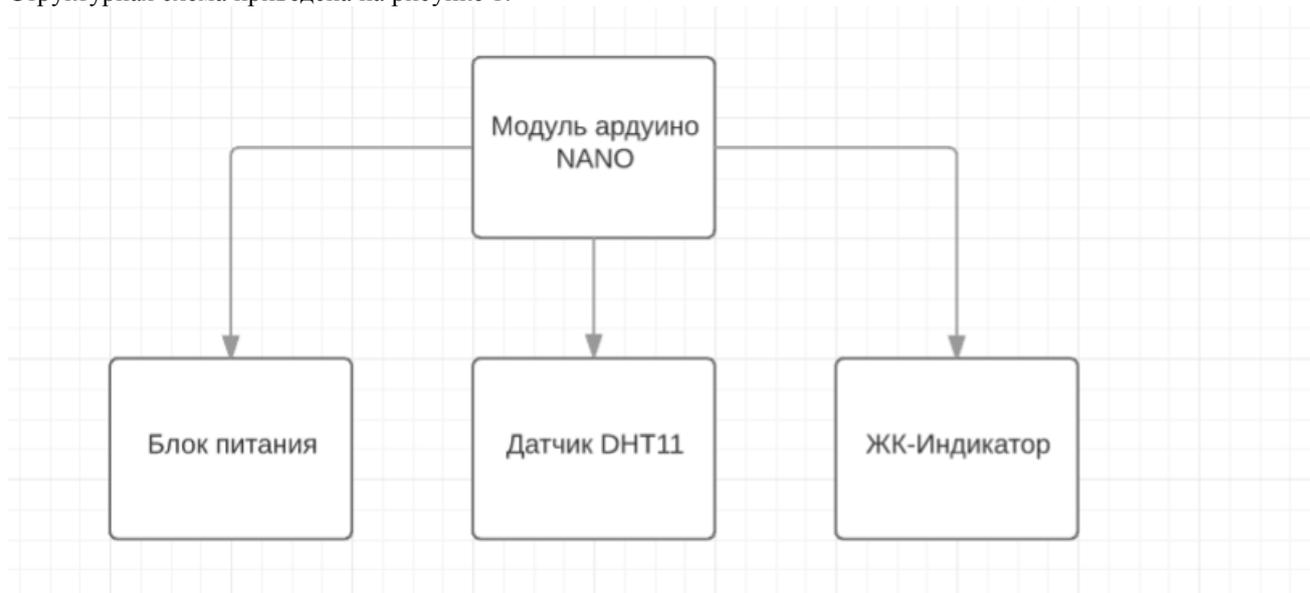


Рисунок 1 – Устройство контроля температуры и влажности

Датчик DHT11 по типу действия относится к терморезистивным термодатчикам. Терморезистивные термодатчики основаны на принципе изменения электрического сопротивления (полупроводника) при изменении температуры. Основным элементом является терморезистор — элемент, изменяющий свое сопротивление в зависимости от температуры окружающей среды.

Несомненные преимущества термодатчиков — это долговременная стабильность, высокая чувствительность, а также простота создания интерфейсных схем [2].

DHT11 является одним из простых в использовании и недорогих цифровых датчиков для измерения температуры и относительной влажности окружающего воздуха. В DHT11 используется емкостной датчик влажности и термистор. Единственным реальным недостатком этого датчика является то, что можно получить новые данные из него не более одного раз в 2 секунды.

Этот датчик включает в себя резистивный компонент измерения влажности и компонент измерения температуры с отрицательным температурным коэффициентом (NTC), которые подключены к высокопроизводительному 8-битному микроконтроллеру. Каждый датчик DHT11 строго калибруется, коэффициенты калибровки хранятся в виде программ в однократно программируемой энергонезависимой памяти и используются во внутренних процессах обработки сигнала. Стандартный алгоритм получения данных от датчика DHT11 представляет собой три этапа: запрос, отклик, чтение данных.

Параметры датчика DHT11:

- Диапазон измерения температуры: от 0 до +50 °С, с точностью ± 2 °С;
- Диапазон измерения относительной влажности: от 20 до 90 %, с точностью ± 5 %;
- Напряжение питания: от 3 до 5 В, максимум 5,5 В;
- Потребляемый ток: от 0,5 до 2,5 мА (при опросе);
- Частота опроса не более одного раза в 2 секунды (не более 0,5 Гц) [3].

В основе рассматриваемого устройства используется Arduino Nano.

Arduino – это электронный конструктор и удобная платформа быстрой разработки электронных устройств. Платформа пользуется популярностью благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному коду. Устройство программируется через USB без использования программаторов.

Устройства на базе Arduino могут получать информацию об окружающей среде посредством различных датчиков, а также могут управлять различными исполнительными устройствами.

Arduino Nano может получать питание через подключение Mini-USB, или от нерегулируемого 6–20 В (вывод 30), или регулируемого 5 В (вывод 27) внешнего источника питания. Автоматически выбирается источник с самым высоким напряжением [4].

Заданная программа устройства отображается на ЖК индикаторе.

Основные технические характеристики:

- Дисплей: Символьный 16x02 либо 20x04;
- Контраст: Настраивается потенциометром;
- Напряжение питания: 5В;
- Интерфейс: I2C.

Преимуществом данного устройства является достаточно низкая стоимость и простота конструкции, но при этом его параметры достаточны для качественной работы, а точность измерения не уступает другим датчикам. Также немаловажным фактором является его низкое энергопотребление и долговременная стабильность. Данная разработка выгоднее в плане несложной реализации и простоты конструкции, она может применяться как для личного использования, так и в промышленной деятельности. Небольшой размер, низкое энергопотребление и возможность передачи сигнала на расстояние до 20 метров дают возможность его применения в различных проектах.

Выбор устройства на платформе Arduino обусловлен доступной ценой (совместимую плату можно собрать самому или приобрести за сумму до 500 000 бел. рублей), программное обеспечение Arduino работает под Linux, Mac OSX и Windows (большая часть других систем доступна только под Windows).

Список литературы

1. Фрайден, Дж. Мир электроники. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден ; под ред. Е. Л. Свинцова. – М. : Изд. дом «Техносфера», 2005. – 617 с.
2. Шарапов, В. М. Мир электроники. Датчики. / В. М. Шарапов. – М. : Изд. дом «Техносфера», 2012. – 256 с.
3. Петин, В. А. Электроника. Проекты с использованием контроллера Arduino / В. А. Петин ; под ред. Г. С. Добиная, Е. А. Кондуковой. – М. : БХВ-Петербург, 2015. – 400 с.
4. Аппаратная платформа Arduino Nano. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>. – Дата доступа: 20.02.2016.

The block diagram of the control unit of temperature and humidity, its opportunity, further development and using, the main characteristics of all its components, advantages and justification of a choice of this device also are considered in this article.

Хацук Евгений Сергеевич, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, jenia9309@mail.ru.

Научный руководитель – Ситкевич Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, sittan@tut.by.

УДК 62-791.2

Е. В. ЯРМОНТОВИЧ

ИК ДАТЧИК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТОТЫ ПУЛЬСА

Рассмотрены структурная схема устройства регистрации частоты пульса с помощью ИК датчика, принцип его работы и применение. Микроконтроллер PIC16F628A является вполне достаточным для управления процессами, которые используются в данной системе.

Датчик движения – датчик, обнаруживающий перемещение каких-либо объектов. Чаще всего под этим термином подразумевается электронный инфракрасный датчик, обнаруживающий присутствие и перемещение человека и коммутирующий питание электроприборов. Принцип работы основан на отслеживании уровня ИК-излучения в поле зрения датчика (как правило, пироэлектрического). Сигнал на выходе датчика монотонно зависит от уровня ИК излучения, усредненного по полю зрения датчика. При появлении человека (или другого массивного объекта с температурой большей, чем температура фона) на выходе пироэлектрического датчика повышается напряжение.

Структурная схема приведена на рисунке 1.

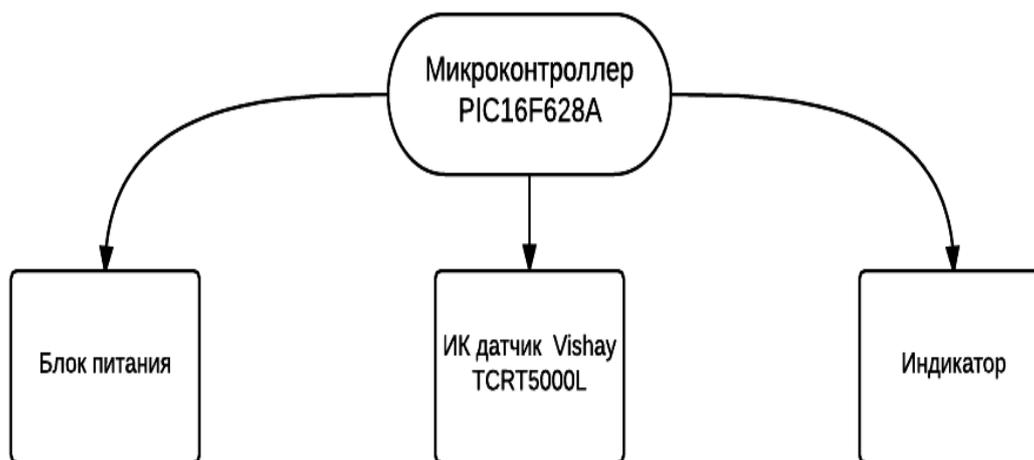


Рисунок 1 – Устройство для регистрации частоты пульса

Датчик Vishay TCRT5000L испускает инфракрасный сигнал и затем ловит отражение этого сигнала от поверхности. В зависимости от типа и цвета поверхности меняется интенсивность отраженного сигнала. По этой интенсивности можно приблизительно судить об оттенках цвета поверхности. Также данный датчик может использоваться как датчик Холла для определения скорости вращения. Он состоит из светодиода, испускающего свет в инфракрасном диапазоне, и фототранзистора. Рабочая дистанция – 12мм.

Основные характеристики:

- расстояние до измеряемого объекта 12 мм;
- рабочая длина волны 950 нм;
- метод зондирования: отражение;
- питание 5В [1].

PIC16F628A имеют 8-уровневый аппаратный стек и большое количество внутренних и внешних прерываний. В архитектуре RISC ядра микроконтроллера разделены: 14-разрядная память программ и 8-разрядная память данных. Такой подход позволяет выполнять все инструкции за один машинный цикл, кроме команд ветвления, которые выполняются за два машинных цикла. Ядро микроконтроллера поддерживают 35 простых в изучении, но очень эффективных инструкций. Дополнительные регистры управления и новые архитектурные решения позволяют создавать высокоэффективные устройства.

Специальные особенности микроконтроллера PIC16F628A позволяют сократить число внешних компонентов, что в свою очередь снижает стоимость конечного устройства, повышает надежность системы и уменьшает энергопотребление.

Энергосберегающий режим SLEEP позволяет эффективно использовать микроконтроллер в устройстве с питанием от батареек или аккумуляторов. Выход из режима SLEEP происходит при возникновении внешних, некоторых внутренних прерываниях и сбросе микроконтроллера.

Микроконтроллеры PIC16F628A удовлетворяют ряду параметров для их использования от зарядных устройств до удаленных датчиков с малым потреблением электроэнергии.

Основные характеристики RISC ядра:

- тактовая частота от DC до 20 МГц;
- поддержка прерываний;
- 8-уровневый аппаратный стек;
- прямая, косвенная и относительная адресация;
- 35 однословных команд.

При этом все команды выполняются за один машинный цикл, кроме команд ветвления и условия с истинным результатом [2].

Преимуществом данного устройства является достаточно низкая стоимость и простота конструкции, но при этом его параметры достаточны для качественной работы, а точность измерения не уступает другим датчикам.

Список литературы

1. Датчик Vishay TCRT5000L [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/252412/VISHAY/TCRT5000L.html>.
2. Микроконтроллер PIC16F628A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/74968/MICROCHIP/PIC16F628A.html>.

The article deals with a block device registration pulse frequency circuit using IR sensor, the principle of its work and using. Microcontroller PIC16F628A is quite sufficient for managing of processes which are used in this system.

Ярмонтович Евгений Викторович, студент 5 курса физико-технического факультета ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, yarmontovich925@gmail.com.

Научный руководитель – *Ситкевич Татьяна Анатольевна*, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроники ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно, Беларусь, sittan@tut.by.