

СЕКЦИЯ 2

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Среда, 23 апреля 2014 г., ауд.278 (гл. корпус МГТУ).

Начало в 10.00.

Председатель: профессор, д.т.н. Шахнов В.А.

Руководитель экспертной комиссии: доцент Соловьев В.А.

Ученый секретарь: асс. Аверьянихин А.Е.

Экспертная комиссия:

А.Е.АВЕРЬЯНИХИН, А.А.АДАМОВА, А.И.АРАБОВ, К.И.БИЛИБИН, А.И.ВЛАСОВ, В.А.ВЕРСТОВ, В.Н.ГРИДНЕВ, Л.В.ЖУРАВЛЕВА, Л.А.ЗИНЧЕНКО, Ю.В.ИВАНОВ, Э.Н.КАМЫШНАЯ, А.А.КАРПУНИН, И.А.КОСОЛАПОВ, А.Е.КУРНОСЕНКО, А.В.ЛАВРОВ, В.В.ЛЕОНИДОВ, Н.В.МАКУШИНА, Э.В.МЫСЛОВСКИЙ, В.В.МАКАРЧУК, В.В.МАРКЕЛОВ, Е.В.РЕЗЧИКОВА, В.А.СОЛОВЬЕВ, С.Г.СЕМЕНЦОВ, Н.А.СЕРГЕЕВА, М.Д.СЕРГЕЕВА, Ю.Н.ТИНЯКОВ, К.А.УСАЧЕВ.

В рамках работы секции будет осуществлен первый этап конкурсного отбора проектов для участия в конкурсе инновационных проектов МГТУ им.Н.Э.Баумана. Критериями конкурсного отбора участников молодежного научно-инновационного конкурса являются:

1. Уровень инновационности идеи (предложения, метода, способа ...).
1.1. Идея должна быть новой, впервые сформулированной именно самим номинантом. В этом смысле все номинанты равны. Остальные просто не могут быть номинированы на участие в этой программе.

1.2. Уровень наукоемкости тем выше, чем более:

- основательны научные исследования, в результате которых она появилась;
- основательны дальнейшие научные исследования, необходимые для ее реализации.

1.3. Техническая значимость тем выше, чем большее влияние ее реализация окажет на уровень техники. «Пионерные» идеи (изобретения) – пенициллин, лазер, синтез алмазов - открывают новые отрасли науки и техники. Идеальная по инновационности идея неожиданна для рынка. Поэтому она им не может быть сейчас востребована, она сама формирует новую потребность и нишу рынка.

Высокий технический уровень имеют решения, например, многоотраслевого использования.

Оригинальные технические решения дают новые принципы решения известной задачи.

Есть решения, позволяющие решить проблему еще одним, дополнительно к известным, способом. Но и в этом случае, если уже известно 10 способов решения задачи, то новый способ может и не давать существенных преимуществ в решении задачи или давать их только в очень ограниченном по масштабам применения числе случаев.

1.4. Масштабность использования предложения тоже может сильно различаться – от решения локальной задачи одного местного потребителя до ...

1.5. Срок превращения идеи в конечный продукт с выходом его на рынок: новизна, рискованность идеи, объем необходимых научных исследований не позволяют уложиться в 2-3 года, но и не требуют 10-15 лет

1.6. Идея тем актуальней, чем меньше вероятность того, что за 5-7 лет в результате научных исследований появятся и «раскрутятся» до продукта другие более эффективные пути решения задачи.

Победитель сам организует работу по привлечению необходимого финансирования. Инновационная программа МГТУ им.Н.Э.Баумана оказывает ему поддержку на начальном этапе работы над его идеей.

НАХОЖДЕНИЕ НУЛЕВОЙ ТОЧКИ НА ЗАГОТОВКЕ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФРЕЗЕРОВКИ

Алексеев М.А.

Научный руководитель: Арабов Д.И.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

FINDING ZERO POINT ON A BLANK USING MACHINE VISION SYSTEM DURING MILLING PROCESS

Alekseev M.A.

Supervisor: Arabov D.I.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрен алгоритм нахождения нулевой точки на заготовке в процессе фрезерования без участия оператора, с помощью системы машинного зрения. Проведен анализ различных методов получения нулевой точки, показаны результаты использования различных алгоритмов. Даны рекомендации по использованию рассмотренных методов.

Abstract

The article discussed in detail algorithm of finding zero point using machine vision system during milling process without operator. Different methods of finding zero point are considered. Results of using different algorithms were shown. The recommendation about usage of considered methods was given.

Введение

При использовании фрезерных станков низкого ценового диапазона, а также самодельных станков выставление нулевой точки на заготовке обычно осуществляет оператор. Данная особенность использования фрезерных станков вносит определённые неудобства при использовании станка, а также, является достаточно не точным, таким образом, при использовании не больших заготовок возможна ситуация когда изготавливаемая модель может не уместиться на заготовке.

Для автоматизации процесса определения нулевой точки имеет смысл использовать автоматизированную систему, которая позволит найти заготовку в рабочей зоне станка и определить координаты, куда надо передвинуть фрезу. Такая система заменит человека в качестве наблюдателя и сможет выполнять поставленную задачу значительно быстрее оператора [1].

Будем считать, что рабочая зона станка в начальный момент является однородной по цвету и чистой. Также, в основном, работа происходит с чёрно-белыми изображениями, так как цветные изображения обладают высокой степенью инвариантности. Однако в особых случаях их применение имеет место. Обработка изображений велась с помощью библиотеки OpenCV.

Предварительная обработка изображений заключается в его фильтрации различными фильтрами:

1. 2D фильтр [2];
2. Гауссов фильтр [1];
3. Медианный фильтр [1].

2D фильтр представляет собой свёртку изображения с ядром

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Данный фильтр позволяет сделать изображение более чётким, что позволяет лучше выделить края заготовки.

Гауссов фильтр представляет собой свёртку изображения с двумерной гауссианой. Данная фильтрация позволяет в значительной степени избавиться от шума, вызванного особенностями текстуры, но, к сожалению, при этом скругляются углы и объекты начинают «расплываться», что является определённым недостатком, так как уменьшает точность нахождения нулевой точки.

Медианный фильтр представляет собой алгоритм, по которому каждому пикселю присваивается среднее значение яркости, выбранное из набора пикселей, входящих в определённую окрестность данного пикселя. Данный фильтр позволяет избавиться от шумов типа «соль и перец».

Опытным путём определена последовательность использования данных фильтров: с начала, осуществляется 2D фильтрация, далее медианная, и под конец происходит фильтрация Гауссовым фильтром.

1 Выделение заготовки в рабочей зоне станка

После предварительной фильтрации изображения необходимо выделить заготовку на фоне рабочей зоны станка.

Первым методом осуществить это является бинаризация с определённым порогом (рисунок 1):



Рисунок 1 – Изображение до и после бинаризации

Далее, осуществляется разметка связанных областей или просто поиск массива чёрных точек в рабочей зоне и определение необходимой нулевой точки – точки в угле заготовки находящейся на определённом расстоянии от ближайших краёв. Основной проблемой данного метода является выбор порога бинаризации и критерий, показывающий, что выбранный порог является наилучшим. Данный метод применим только в случаях, когда цвет заготовки сильно отличается от цвета заднего фона, также необходимо хорошее освещение. Так на рисунке 2 показан случай, когда невозможно выбрать порог бинаризации так, чтобы полностью выделить всю заготовку целиком:

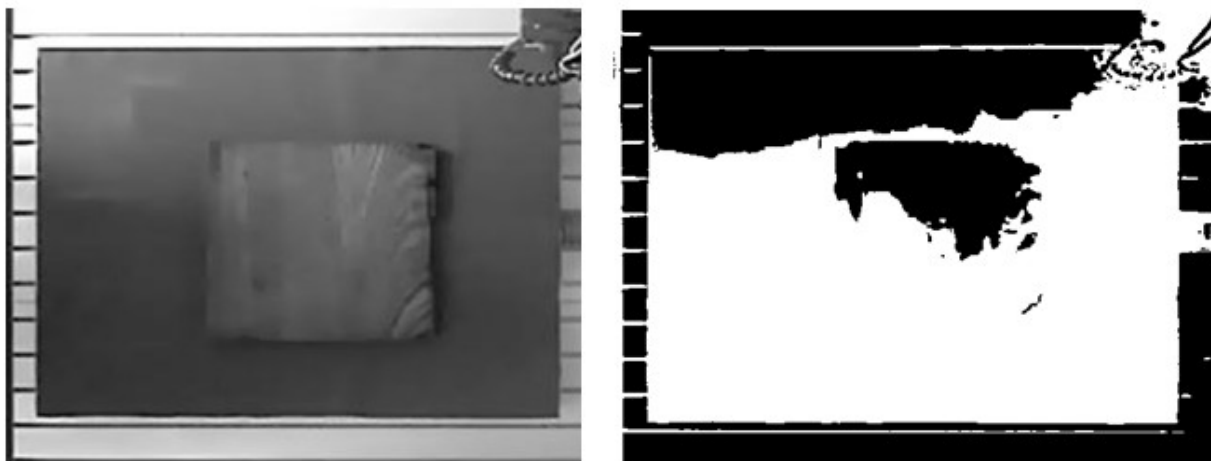


Рисунок 2 – Пример невозможности правильно подобрать порог бинаризации

Таким образом если использовать бинаризацию для выделения заготовки в рабочей зоне станка, то необходимо удостовериться, что условия освещения позволяют осуществить работу алгоритмов. Данное ограничение значительно уменьшает применимость бинаризации в качестве метода обнаружения заготовки.

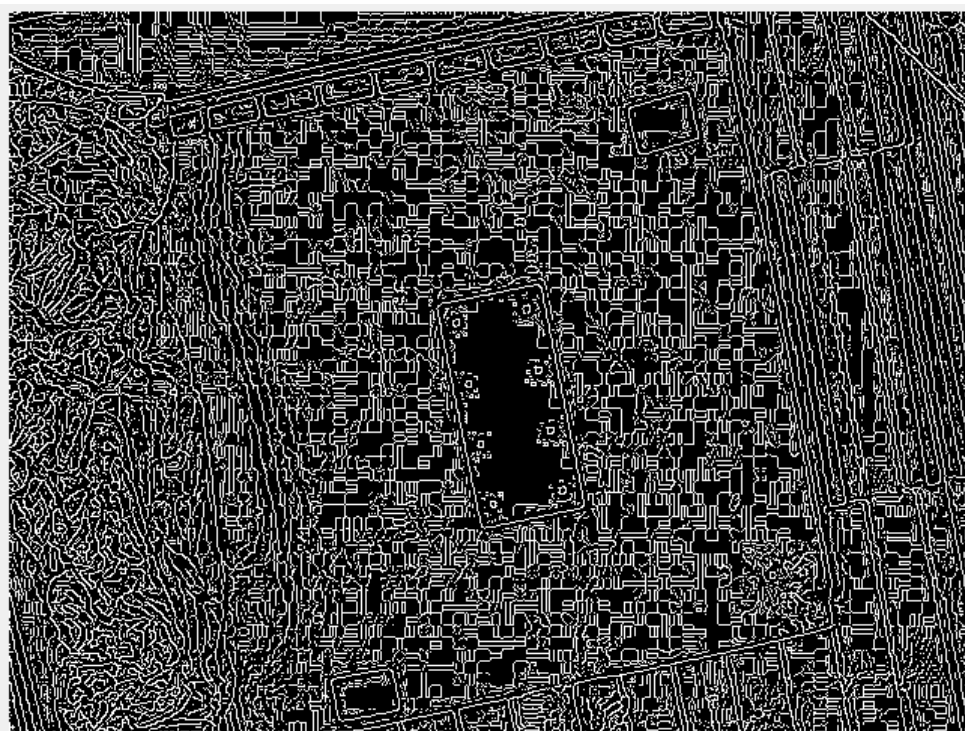


Рисунок 3 – Результат работы детектора краёв Канни при нулевых значениях пределов

По другому определить заготовку можно выделив её края из исходной картинки. Выделение краёв осуществляется с помощью одного из самых лучших методов – детектора краёв Канни [1]. Данный детектор работает с чёрно-белым изображением, получая в результате бинарное изображение, содержащее все выделенные края. Объяснение принципов работы данного детектора не входит в задачи данной статьи, но необходимо знать, что так как данный детектор основан на анализе градиентов яркости пикселей, то для его работы ему необходимо определить значения верхнего и нижнего предела значения градиентов. Определение пределов значения градиентов можно произвести вручную, но, тогда, для каждого вида материала заготовки необходимо будет заново определять эти пределы. Для

автоматизации этого процесса можно ввести критерий замкнутости контура заготовки. Тогда, начиная с максимальных значений можно итерационно уменьшать размеры пределов, до тех пор, пока не будет найден замкнутый контур в рабочей зоне станка. На рисунке 3 и 4 показаны результаты работы детектора краёв Канни при различных значениях верхнего и нижнего пределов.

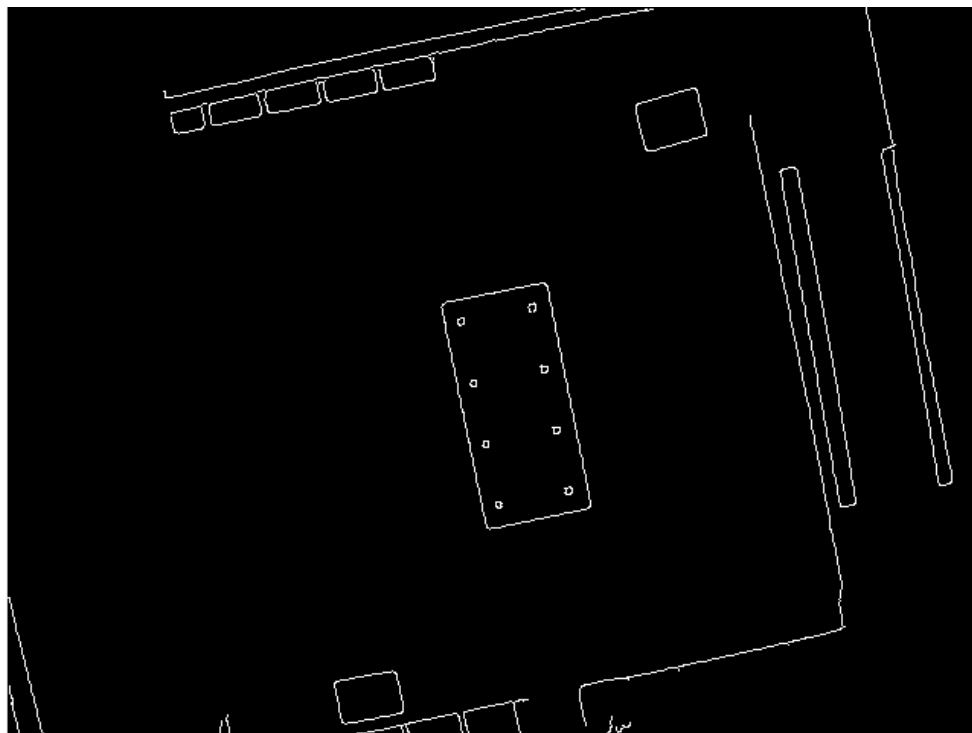


Рисунок 4 - Результат работы детектора краёв Канни
(нижний пердел равен 171, верхний 479)

Как видно из рисунков выше, увеличивая пределы можно добиться полного выделения контура заготовки. Шумы, возникающие на изображении обычно имеют слабые градиенты, а после применения Гауссова и медианного фильтра становятся настолько малы, что быстро отсекаются при повышении пределов.

При применении детектора краёв Канни важно определить необходимое количество фильтраций фильтром Гаусса, так как при их недостаточном количестве такие дефекты заготовок как заусенцы, окажут достаточно большое влияние на результат работы детектора краёв и не позволят получить замкнутый контур.

После определения контура заготовки нахождение нулевой точки представляет из себя тривиальную задачу.

Данный метод хоть и требует нахождения определённых параметров, тем не менее является более надёжным, чем бинаризация, так как может сработать там, где бинаризация не сможет правильно найти заготовку (рисунок 5).

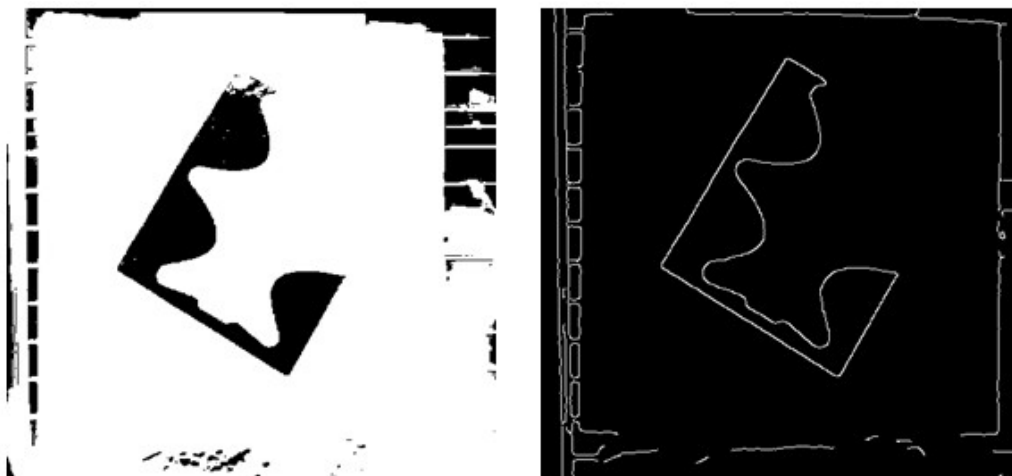


Рисунок 5 – Сравнение качества выделения заготовки методом бинаризации и выделения краёв

Так же интересным методом выделения заготовки является выделение по цвету. Данный метод имеет крайне узкий диапазон применений: случаи, когда цвет заготовки сильно отличается от цвета фона. Но в определённых ситуациях данный метод может сработать на уровне бинаризации.

Заключение

В данной работе был произведен обзор и сравнение различных способов нахождения заготовки в рабочей зоне станка для последующей установки нулевой точки. Было показано, что наиболее простым методом является бинаризация изображения, однако данный метод довольно требователен к условиям освещения. Другой метод – нахождение краёв заготовки является более удобным, так как обладает конкретным критерием правильности подбора параметров – замкнутость контура заготовки. Также был рассмотрен метод выделения заготовки по цвету, однако данный метод имеет крайне узкий диапазон применимости. Обработка изображений велась с помощью библиотеки OpenCV на языке C++.

Таким образом, применяя предложенные методы можно решить задачу автоматического нахождения нулевой точки на заготовке с довольно высокой степенью надёжности, особенно при применении детектора краёв.

Литература

1. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752с.
2. Robert Laganière. OpenCV 2 computer vision application programming cookbook. – Packt Publishing, 2011. – 298 с.
3. <http://docs.opencv.org>

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОГО УСТРОЙСТВА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ваганов А.Л.

Научный руководитель: Юдин А.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

PROTOTYPING OF MECHATRONIC DEVICE IN THE CONTEXT OF MODERN DIGITAL FABRICATION

Vaganov A.L.

Supervisor: Yudin A.V.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрена работа по созданию катапульты для мобильного робота соревнований Евробот 2014. Так же рассмотрена работа по выполнению растрового изображения на станке ЧПУ, ознакомление с устройством Oktopod Studio и его применение в управлении катапультой.

Abstract

The article describes the work to create a catapult for mobile robot competition Eurobot 2014. Just examined work to implement bitmap CNC machine, familiarization with the device Oktopod Studio and its application in the management of a catapult.

Введение

В современном мире с быстрым ростом появляются инновации в области электротехники, микроэлектроники, автоматизации РЭС и т.д.. Все внимание в мире устремлено на робототехнику и микроэлектронику так же, как в недалекие 80е года прошлого столетия интернет взорвал мир. По всему миру появляются новые идеи роботов для решения разного рода задач. Для обучения людей в этой сфере проводятся ежегодные соревнования Евробот, в которых любой желающий в возрасте до 30 лет может принять участие. Каждый год задаются новые правила. Участникам предлагается решить поставленные задачи с помощью робота за установленное время. Идея соревнований, придумать способ решения и применить его на деле.

Робот –это автоматизированный механизм, выполняющий определенные задачи, по запланированному алгоритму. Сам робот состоит из отдельных готовых модулей, которые собираются как конструктор и выполняют каждый свою определенную задачу.

В соревнованиях Евробот 2014 одна из задач робота является стрельба шариками по мишени. Один из таких отдельных модулей является пускательный механизм. Ниже представленная катапульта является примером и одним из вариантов решения поставленной задачи.

Наряду с развитием робототехнических лабораторий, активно развивается движение FabLab. Это небольшая мастерская, оборудованная станками, управляемых с компьютера, и ставит задачу дать возможность сделать «почти всё» из «практически ничего». Fablab очень тесно контактирует с Евробот, что позволяет облегчить изготовления роботов. В данной статье описана работа по изготовлению одного из модулей робота для участия в соревнованиях Евробот 2014 в условиях лаборатории FabLab.

1. Технологический процесс разработки механизма катапульты

В 2014 году в соревнованиях Евробот, робот должен выполнить несколько практических задач, одна из которых - бросок шарика для настольного тенниса в цель. Так как для робота важны эффективный бросок, креативность механизма, творческий подход и есть

ограничение по времени, нужно было придумать такой пусковой механизм, который бы помещался по своим габаритам в корпус робота, выстреливал 6 снарядов за 10–15 секунд при этом был максимально привлекателен и понятен публике. В итоге выбор пал на катапульту. Была проделана работа по ознакомлению с механикой работы подобных устройств, просмотр уже готовых катапульти с выявлением их плюсов и минусов.

Первый вариант катапульти был изготовлен из картона (рис. 1), для упрощения изготовления и выявления работоспособности механизма. Для броска использовался груз значительной массы и по золотому правилу механики требовалось использовать очень длинный рычаг, что вошло с ограничением размера механизма. Результат показал, что система может работать, но необходимы обязательные доработки.

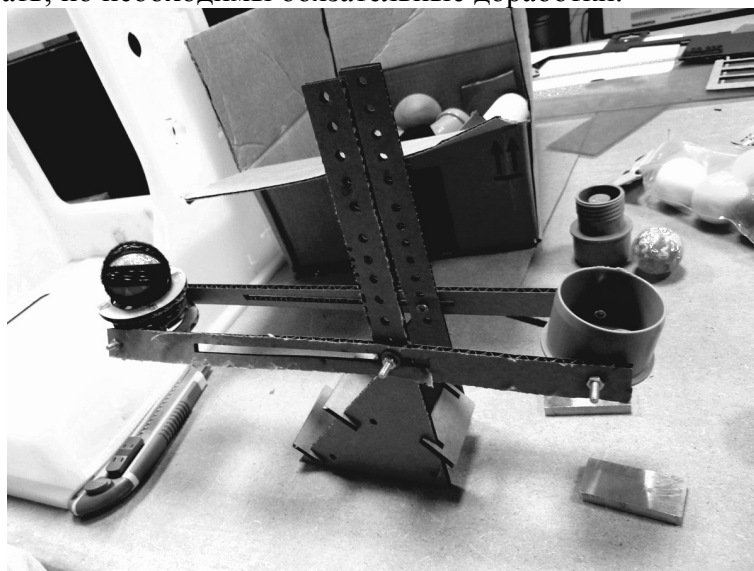


Рисунок 1 – картонный прототип

Следующий прототип задумывался с целью сделать конструкцию жесткой и увеличить дальность и скорость броска (рис. 2). Каркас катапульти был изготовлен заново из фанеры, тем самым конструкция приобрела жесткость. Был заменен груз, который приводил катапульту в движение на пружину, жестко прикрученную к основанию катапульти и к рычагу. Рычаг был усилен и модернизирован подиумом для снаряда. В заключении этого этапа конструкция катапульти была закреплена на жестком основании что придало ей еще большую жесткость в целом – механизм стало возможным разместить непосредственно на подвижной платформе мобильного робота. В итоге снаряд стал вылетать с большей скоростью, примерная дальность стрельбы 0,5-1 м, появилась возможность изменять дальность броска за счет вариации жесткости пружины.

Третий прототип был разработан с целью уменьшения габаритов (рис. 3). Изменилась форма рычага, что значительно уменьшило размер конструкции, поменялось положение крепления пружины, вследствие чего рычаг стал двигаться только в одну сторону, вторая сторона стала «глухой стеной».

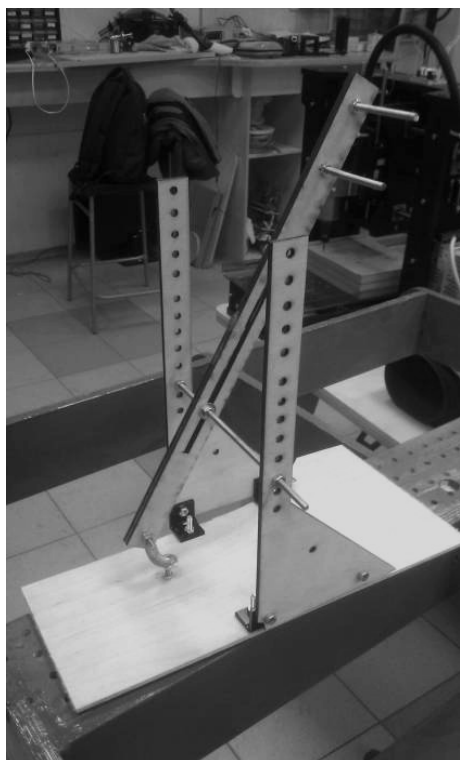


Рисунок 2 – 1ый деревянный прототип

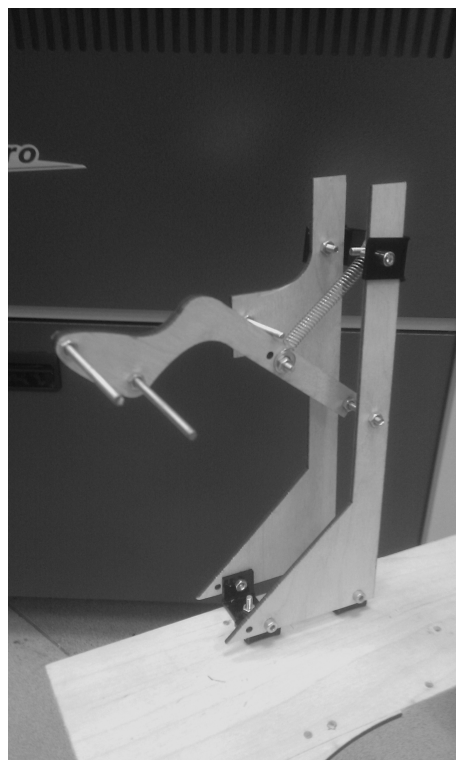


Рисунок 3 – прототип с «глухой стеной»

К следующему прототипу добавился особый механизм растягивания пружины (рис. 4). Он состоит из двух стенок с прорезями, по которым вертикально ходит рейка. Ее поднимает, установленный на электромотор, рычаг. Доходя до конечной точки, он опрокидывает рейку. Рычаг с рейкой связан ниткой. В итоге была решена задача автоматизированного оттягивания рычага с последующим отпусканием.

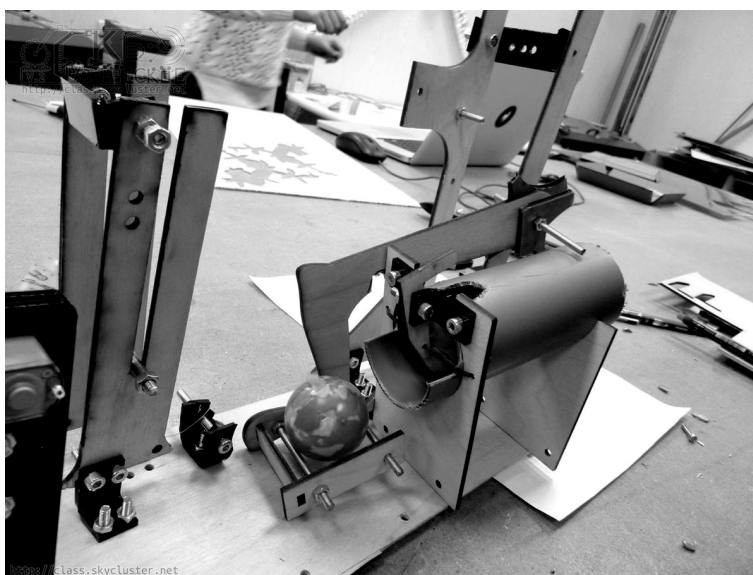


Рисунок 4 – прототип с автоматическим оттягиванием рычага

Заключительный прототип катапульты был направлен на разработку отделения для хранения шариков, механизма подачи шарика пусковую площадку на рычаге с последующим запуском (рис. 5).

Магазином для снарядов послужила труба, в которой помещается 3 шарика. Самая интересная деталь данного механизма – это качель ограничителя. Она, как дозатор, позволяет осуществить постепенную подачу шариков, один за другим. Такая качель за один ход механизма подачи пропускает только один шарик.



Рисунок 5 – прототип с дозатором шариков

После окончания прототипирования чернового варианта катапульты необходимо выполнить доработку синхронности работы отдельных элементов механизма. Так же уменьшить размеры устройства до минимума и доработать отдельные узлы с целью повысить виброустойчивость (в ходе эксплуатации прототипов выяснилось, что при продолжительной стрельбе соединения механизма разбалтываются и приходят в негодность – теряют жесткость или перестают сохранять необходимые траектории движения).

Пусковой механизм в виде катапульты должен быть установлен на подвижную платформу робота, для последующей навигации и поиска цели. После того, как робот находит цель, встает на специальное место выстрела, подается команда к выстрелу на систему управления катапульты. На рис. 6 представлен алгоритм работы катапульты.

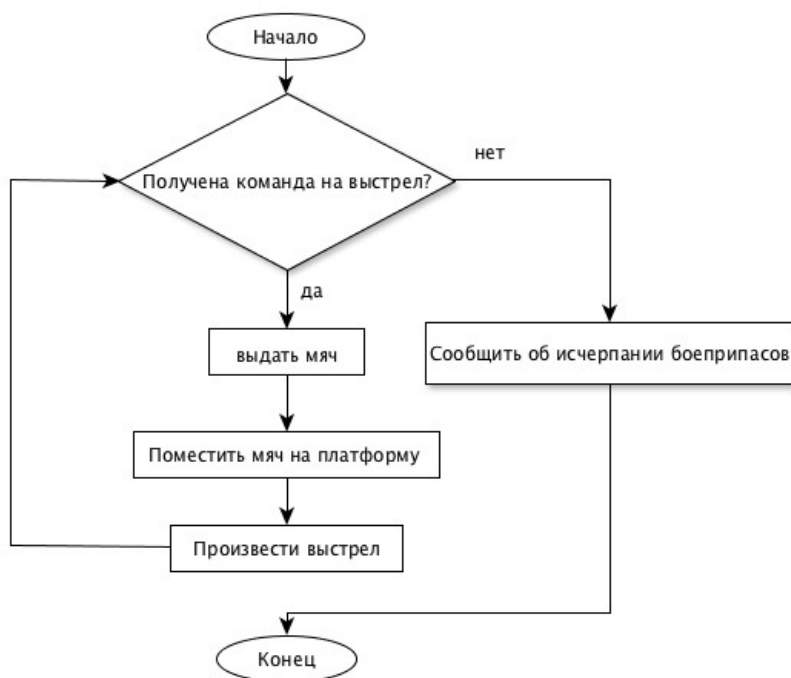


Рисунок 6 – Алгоритм работы катапульты

Для правильной работы механизма, нужно наличие датчика в трубе, который будет сигнализировать о наличии шариков. Если снаряды исчерпались, все устройство заканчивает работу. Выстрел катапульти должен быть отлажен и все выстрелы должны быть идентичны по дальности и углу выстрела. Так как катапульта находится на подвижной платформе, робота нужно запрограммировать вставать на заранее просчитанное расстояние от цели, с последующим включением катапульти.

В итоге механическая задача разработать отлаженный пусковой механизм, стреляющий по цели снарядами в виде шариков, была выполнена успешно. В процессе изготовления устройства была проделана работа над минимизацией размера устройства, согласованностью всех движений устройства в целом, улучшением скорости и дальности броска.

Разработанное пусковое устройство – катапульта, удовлетворяет требованиям соревнований Евробот 2014 и позволяет конструкторам робота компоновать его как один из компактных модулей на роботе. Сложность итогового механизма компенсируется привлекательностью для публики и, как следствие, служит хорошим основанием для получения приза зрительских симпатий и привлечения интереса обывателей к конкретному роботу и робототехнике в целом.

2 Принцип работы на станке лазерной резки, режим нанесения рисунка на заготовку

Растровое изображение – изображение, представляющее собой сетку пикселей или цветных точек (обычно прямоугольную) на мониторе, бумаге и других отображающих устройствах и материалах .

Важными характеристиками изображения являются:

1. количество пикселей – может указываться отдельно количество пикселей по ширине и высоте (1024×768, 640×480 и т. п.) или же общее количество пикселей;
2. количество используемых цветов или глубина цвета (эти характеристики имеют следующую зависимость: $N = 2^k$, где N — количество цветов, k — глубина цвета); Глубина цвета (качество цветопередачи, битность изображения) — термин компьютерной графики, означающий объём памяти в количестве бит, используемых для хранения и представления цвета при кодировании одного пикселя растровой графики или видеоизображения.
3. цветовое пространство (цветовая модель) — RGB, CMYK, XYZ, YCbCr и др.;
4. разрешение — справочная величина, говорящая о рекомендуемом размере изображения.

Растровая графика позволяет создать практически любой рисунок, в не зависимости от сложности, в отличие, например, от векторной, где невозможно точно передать эффект перехода от одного цвета к другому без потерь в размере файла. Так же растровая графика используется сейчас практически везде: от маленьких значков до плакатов с высокой скоростью обработки сложных изображений. К недостаткам можно отнести , что у простых изображений большой размер файла, теряется качество при масштабировании, нету вывода на печать на графопостроитель.

Числовое программное управление (ЧПУ) — компьютеризованная система управления, управляющая приводами технологического оборудования, включая станочную оснастку. Оборудование с ЧПУ может быть представлено: станочным парком, например, станками (станки, оборудованные числовым программным управлением, называются станками с ЧПУ); для обработки металлов (например, фрезерные или токарные), дерева, пластмасс; для резки листовых заготовок, для обработки давлением и т.д.

Структурно в состав ЧПУ входят:

1. пульт оператора (или консоль ввода-вывода), позволяющий вводить управляющую программу, задавать режимы работы; выполнить операцию вручную. Как правило, внутри шкафа пульта современной компактной ЧПУ размещаются её остальные части;
2. дисплей (или операторская панель) - для визуального контроля режимов работы и редактируемой управляющей программы/данных; может быть реализован в виде отдельного устройства для дистанционного управления оборудованием;
3. контроллер - компьютеризированное устройство, решающее задачи формирования траектории движения режущего инструмента, технологических команд управления устройствами автоматики станка, общим управлением, редактирования управляющих программ, диагностики и вспомогательных расчетов (траектории движения режущего инструмента, режимов резания);
4. ПЗУ - память, предназначенная для долговременного хранения (годы и десятки лет) системных программ и констант; информация из ПЗУ может только считываться;
5. ОЗУ - память, предназначенная для временного хранения управляющих программы и системных программ, используемых в данный момент.

Лазерный станок ЧПУ работает с черно-белыми изображениями. На рис. 7 представлен экспериментальный станок ЧПУ.



Рисунок 7 – Лазерный станок ЧПУ

Рисунок наносится на фанеру с мощностью выжигания лазером поверхности. При нанесении растрового изображения станок распознает тон пикселя и выжигает материал на определенную глубину, в итоге получается разнотонная, рельефная поверхность. В программной среде станка мы можем варьировать некоторыми характеристиками чтобы придать контраст и объем выполненного изображения и глубину прожигания, такими как: соотношение тона пикселя к глубине прорезания поверхности; установленное разрешение DPI – количество проходов на 1 дюйм, чем больше значение DPI, тем рельефнее и объемнее получается полученный рисунок, чем меньше значение DPI, тем более гладкая поверхность с маловыраженным рисунком; скорость прохода и мощность лазера, которая варьируется от 1 до 100.

Первоначальное изображение было цветным, затем изменилось на черно-белое (рис.8).



Рисунок 8 – Первоначальный рисунок



Рисунок 9 – Рисунок после выжигания

В программном обеспечении были выбраны следующие настройки: DPI = 250, speed = 70, power = 90. После роделанной работы получился рельефный рисунок, который показан на рис. 9.

3_Устройство управления катапульты – контроллер быстрого прототипирования Oktopod Studio

Oktopod Studio является платформой для разработки прототипов в таких областях как: мехатроника, робототехника и автоматизация, что позволяет создавать и управлять электронными устройствами и моделями.

Данное устройство состоит из Oktopod_Board - платформа и Oktopod_Control - программное обеспечение (рис.10).

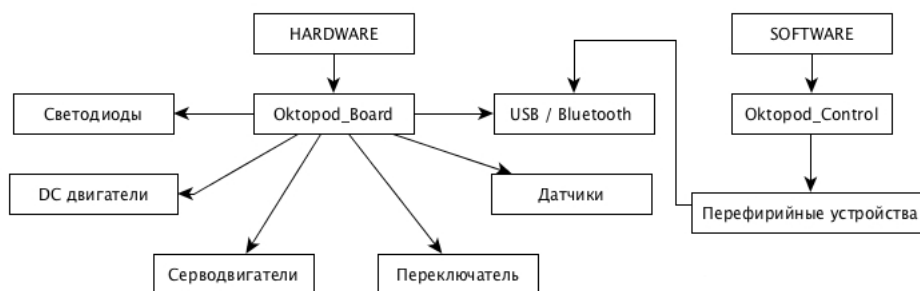


Рисунок 10 – Структурное описание устройства

Соединение между этими двумя частями осуществляется с помощью Bluetooth или USB.

Oktopod_Board представляет собой программируемый логический контроллер (PLC), к которому можно подключить низковольтные электронные устройства, такие как: светодиоды, DC и серводвигатели, электромагниты, переключатели, фото, термо-и магнитные датчики, и так далее. Устройство состоит из 8 аналоговых выходов (до 3А), 2 драйверов двигателя постоянного тока, 3 драйверов серводвигателя, 4 цифровых входов, USB / Bluetooth модулей связи и входное питание 6-12В (рис.11).



Рисунок 11 – Функциональная схема Oktopod_Board

Oktopod_Control программное обеспечение для управления платформой, которое разработано под PC и так же для мобильных телефонов на платформе Android. Данная программа используется в качестве пульта дистанционного управления. В качестве программной доски используется утилита "WishList", в которой мы можем прописать алгоритм работы платформы, задать очередность подачи питания на выходы устройства (рис.12).

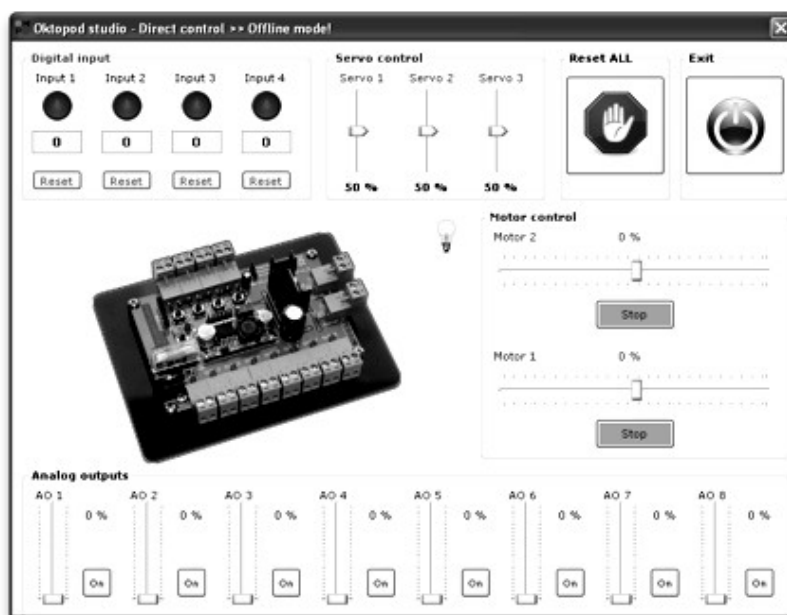


Рисунок 12 – Визуальное представление Oktopod_Control

С помощью данной платформы будет запускаться пускательный механизм, рассмотренный выше. Плюсы этого устройства в том, что он прост в управлении и подготовит к переходу на более сложную платформу, такую как Arduino.

Заключение

В данной статье обобщена работа по изготовлению одного пускательного механизма для робота для участия в соревнованиях Евробот 2014. Подробное описание прототипирования наглядно показывает ход мыслей в решении на первый момент простой задачи, показывает работу по постепенному решению вновь выявившихся задач, показывает ход мыслей изобретателя. Разработанный модуль является одним из примеров решения для Евробот 2014.

В рамках статьи видно, что работа в лаборатории цифрового производства типа Fablab значительно упрощает изготовление устройств. За подобными лабораториями будущее современной инженерии.

Литература

1. Правила молодежных соревнований мобильных автономных роботов Евробот. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.eurobot-russia.ru/media/EA2014_rules_RU_alpha.
2. А.Е.Аверьянихин, А.И.Власов, Л.В. Журавлева, Л.А. Зинченко, В.А. Соловьев ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов/ под ред. В.А. Шахнова. – М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 53 с.: ил.
3. И.И. Артоболевский “Механизмы в современной технике: Том 3 - Рычажно-кулачковые, рычажно-зубчатые, рычажно-храповые, рычажно-клиновые и винто-рычажные механизмы. Механизмы с гибкими и упругими звеньями. – М.: Наука, Главная редакция Физико-математической литературы, 1979. – 416 с. ”
4. Юлдашев М.Н., Зотьева Д.Е. Конструкторское решение для быстрого прототипирования электронных устройств – М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.

ОПТИМАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР ВОЛЬТЕРРА ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭХОКОМПЕНСАЦИИ

Байкина Л. Р.

Научный руководитель: д.т.н., профессор, Семенов Станислав Григорьевич
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THE OPTIMAL VOLTERRA FILTER FOR MULTICHANNEL ECHO CANCELLATION SYSTEM

Baykina L.R.

Supervisor: Dr., Prof., Semencov S.G.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается проблемы акустического эха в многоканальных системах связи. Подробно описан процесс разработки оптимального фильтра Вольтерра для решения задачи эхокомпенсации акустических сигналов.

Abstract

The article presents the acoustic echo cancellation problems in multichannel communication systems. Describes in detail the full process of designing the optimal Volterra filter for acoustic echo cancellation system.

Введение

Главное отличие многоканальных систем связи от одноканальных с точки зрения построения системы акустической эхокомпенсации заключается в наличии взаимной корреляции сигналов в каждом из каналов. Это приводит к резкому снижению скорости сходимости адаптивных алгоритмов.

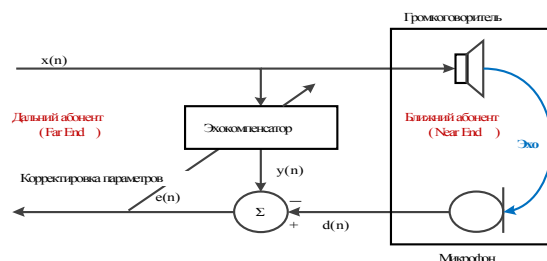


Рисунок 1 - Блок-схема одноканального эхокомпенсатора

Процесс обработки сигналов в многоканальных системах эхокомпенсации алгоритмически не отличается от одноканальных систем (рисунок 1). Однако резко возрастают требования к скорости сходимости используемых фильтров, к робастности системы управления, а также к вычислительной сложности используемых алгоритмов.

Ядром каждого адаптивного алгоритма обработки сигналов является цифровой фильтр с программируемыми коэффициентами. Использование такого фильтра позволяет пропустить без искажения полезный сигнал и максимально ослабить различного рода помехи, вносимые каналом связи.

Адаптивный фильтр действует по принципу оценивания статистических параметров поступающего сигнала и изменения собственных коэффициентов таким образом, чтобы минимизировать некоторую функцию ошибки. Эту функцию ошибки можно определить множеством способов, в зависимости от решаемой задачи.

В случае многоканальной системы эхокомпенсации разумно разработать модификацию адаптивного фильтра Вольтерра, поскольку данного рода фильтр имеет хорошие показатели сходимости в условиях нелинейного изменения сигнала[1]. С учетом того, что одной из важных особенностей поставленной задачи является высокая скорость сходимости, то в качестве адаптивного алгоритма будем использовать рекурсивный метод наименьших квадратов (РНК).

1 Фильтр Вольтерра

Фильтр Вольтерра N-го порядка (рисунок 2) с входным сигналом $x(n)$ и выходным сигналом $y(n)$ может быть представлен математически следующим образом [2]:

$$y(n) = h_0 + \sum_{i=1}^N \sum_{j_1=0}^M \dots \sum_{j_i=j_{i-1}}^M h_i(j_1 \dots j_i) \cdot x(n - j_1) \dots x(n - j_i) \quad (1)$$

где h_i - ядра Вольтерра i-го порядка.

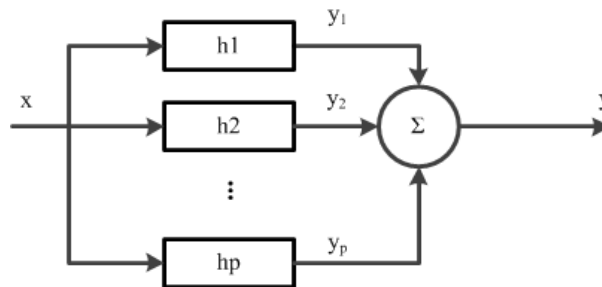


Рисунок 2 - Блок-схема r-канального фильтра Вольтерра

Такого рода фильтр может быть использован в качестве линейного для некоторых видов алгоритмов. Вследствие хорошей поведенческой модели фильтра в контексте акустического эха, с использованием рекурсивного алгоритма наименьших квадратов для проведения экспериментов, определено, что ядра Вольтерра являются симметричными [1], то есть можно рассчитывать только половину фильтра с положительными индексами коэффициентов, что снижает вычислительную сложность алгоритма.

Таким образом,

$$x_1(n) = (x(n), x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-M+1)) \quad (2)$$

$$\hat{h}_1 = (\hat{h}_1(0), \hat{h}_1(1), \dots, \hat{h}_1(n-M+1)), \quad (3)$$

для ядер Вольтерра первого порядка,

$$x_2(n) = (x^2(n), x(n)x(n-1), x(n)x(n-2), \dots, x(n)x(n-M+1), \\ x(n-1)x(n-1), \dots, x(n-M+1)x(n-M+1)) \quad (4)$$

$$\hat{h}_2 = (\hat{h}_2(0,0), \hat{h}_2(0,1), \dots, \hat{h}_2(0, n-M+1), \hat{h}_2(1,1), \\ \dots, \hat{h}_2(n-M+1, n-M+1)), \quad (5)$$

для ядер Вольтерра второго порядка, и

$$x_3(n) = (x^3(n), x^2(n)x(n-1), \dots, x^2(n)x(n-M+1), \dots, \\ x(n)x(n-M+1)x(n-M+1), \dots, x(n-M+1)x(n-M+1)x(n-M+1)) \quad (6)$$

$$\hat{h}_3 = (\hat{h}_3(0,0,0), \hat{h}_3(0,0,1), \dots, \hat{h}_3(0,0, n-M+1), \dots, \hat{h}_3(1,1,1) \\ \dots, \hat{h}_3(n-M+1, n-M+1, n-M+1)), \quad (7)$$

для ядер Вольтерра третьего порядка.

Ограничимся рассмотрением первых трех порядков ядер фильтра, поскольку согласно исследованиям [3] дальнейшее увеличение порядка приводит к значительному усложнению вычислений адаптационного алгоритма, что является неприемлемым для систем, занимающихся обработкой сигналов в реальном режиме времени.

Согласно выбранному методу рекурсивных наименьших квадратов, ошибка фильтрации каждого из фильтров Вольтерра, составит:

$$e_1(n) = y(n) - h_0(n) - \hat{h}_1(n)x_1^T(n) \quad (8)$$

$$e_2(n) = y(n) - h_0(n) - \hat{h}_1(n)x_1^T(n) - \hat{h}_2(n)x_2^T(n) \quad (9)$$

$$e_3(n) = y(n) - h_0(n) - \hat{h}_1(n)x_1^T(n) - \hat{h}_2(n)x_2^T(n) - \hat{h}_3(n)x_3^T(n) \quad (10)$$

2 Расчет оптимального фильтра Вольтерра

Фильтр Вольтерра с фиксированным порядком и фиксированной длиной импульсной характеристики сходится к неизвестной нелинейной системе, используя один из адаптивных алгоритмов. Применение различных техник к ядрам Вольтерра является предметом для изучения на протяжении многих лет. Большинство из этих методов хорошо подходят для ядер второго порядка, некоторые специально разработаны для ядер третьего порядка.

Наибольшее распространение получил метод наименьших средних квадратов (НСК). Однако, несмотря на небольшую вычислительную сложность, данный метод обладает существенными недостатками, а именно невысокой скоростью сходимости и зависимостью этой скорости от входных данных.

Для обеспечения высокой скорости сходимости используем алгоритм рекурсивных наименьших квадратов. Смысл данного метода применительно к фильтрам Вольтерра состоит в минимизации значения следующей функции оценки:

$$J(n) = \sum_{k=0}^n \lambda^{n-k} (d(k) - H(n)X'(k))^2, \quad (11)$$

где $H(n)$ - коэффициенты фильтра, $X(k)$ - входной сигнал, λ - параметр, регулирующий размер памяти фильтра, $d(k)$ - желаемый выходной сигнал.

Таким образом, алгоритм рекурсивных наименьших квадратов по обновлению коэффициентов фильтра Вольтерра включает в себя следующие шаги:

1. Инициализация: $H(0) = [0 \ 0 \dots 0]$; $S_{xx}(0) = \delta * I$, где $\delta > 0$ - небольшая положительная константа.

2. Расчет для каждой из итераций:

1) Определение входного вектора $X(n)$;

2) Расчет ошибки работы;

$$e\left(\frac{n}{n-1}\right) = d(n) - H(n-1) * X'(n)$$

3) Расчет коэффициента масштабирования;

$$\mu(n) = X(n) * S_{xx}(n-1) * X'(n)$$

4) Расчет матрицы G ;

$$G(n) = \frac{(S_{xx}(n-1) * H'(n-1))}{(\lambda + \mu)}$$

5) Расчет новых значений коэффициентов фильтра;

$$H(n) = H(n-1) + e\left(\frac{n}{n-1}\right) * G'(n)$$

6) Обновление матрицы S_{xx} ;

$$S_{xx} = \lambda^{-1} * (S_{xx}(n-1) - G(n) * X(n) * S_{xx}(n-1))$$

Модель новой системы эхокомпенсации представленная на рисунке 3 оптимизирована для числа каналов от 1 до 15 с учетом взаимной корреляции сигналов и коэффициента нелинейности b . Вследствие чего выбраны следующие параметры модели [4]:

Число коэффициентов фильтра M - 20;

Среднее число итераций сходимости - 25;

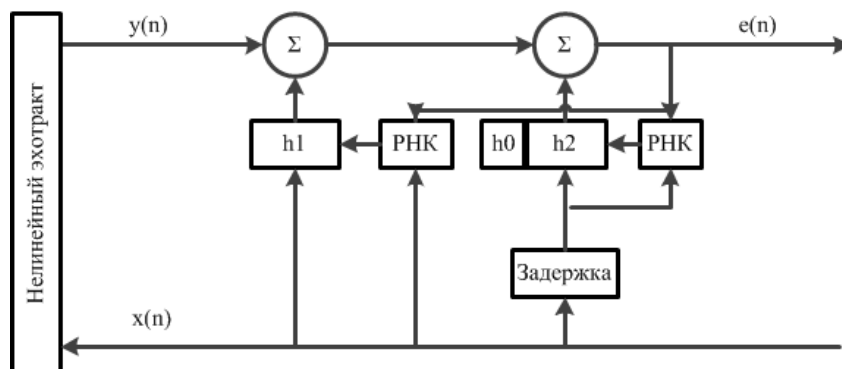


Рисунок 3 - Блок-схема системы эхокомпенсации на основе фильтра Вольтерра

В результате проведенного моделирования, на рисунке 4 можно увидеть отклик фильтров Вольтерра на "чистый" сигнал, в зависимости от порядка ядер.

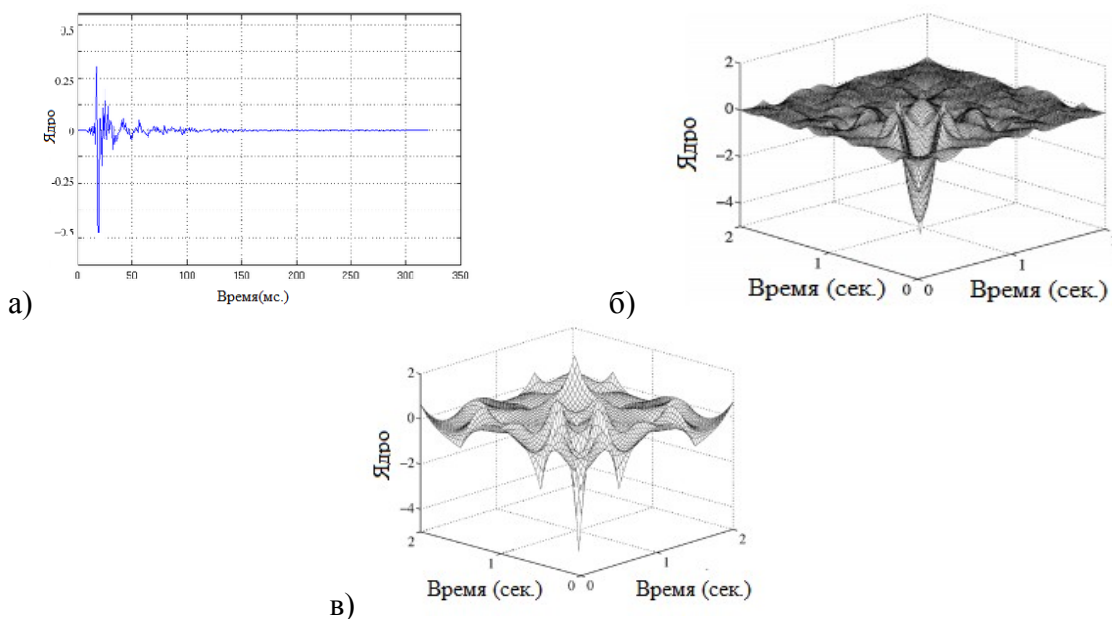


Рисунок 4 - а) отклик фильтра Вольтерра 1-го порядка; б) отклик фильтра Вольтерра 2-го порядка; в) часть отклика фильтра Вольтерра 3-го порядка

На рисунке 5 показана скорость сходимости при равных параметрах нелинейности $b=0,1$ для каждого из типов фильтров Вольтерра спроектированной системы эхокомпенсации.

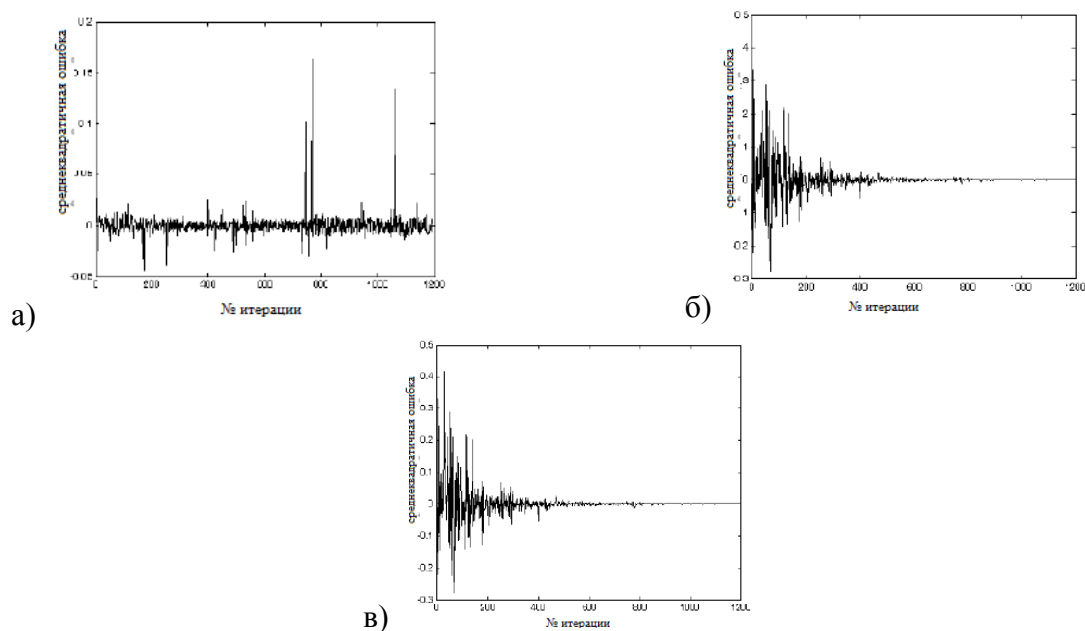


Рисунок 5 - а) ошибка фильтра Вольтерра 1-го порядка; б) ошибка фильтра Вольтерра 2-го порядка; в) ошибка фильтра Вольтерра 3-го порядка

На основе анализа полученных результатов моделирования, можно сделать вывод, что оптимальным типом фильтра для многоканальной системы эхокомпенсации является фильтр Вольтерра с порядком ядер равным двум и рекурсивным методом наименьших квадратов в качестве адаптивного алгоритма управления.

Заключение

В результате исследования влияния параметров фильтра Вольтерра на скорость сходимости адаптивных алгоритмов в условиях взаимной корреляции сигналов, разработана модель оптимального фильтра Вольтерра. Проведенное моделирование демонстрирует возможность эффективного решения задачи эхокомпенсации предложенным методом и позволяет использовать данную модель в качестве основы для многоканальной системы эхокомпенсации.

Литература

1. Paulo S.R. Diniz: Adaptive Filtering: Algorithms and Practical Implementation, Third Edition// Springer, 2009 P.627.
2. Elliot S.J., Nelson P.A. Algorithm for multichannel LMS adaptive filtering // Electronic Letters - 2005. 21. P.979.
3. G.Budura, C. Botoca: Efficient Implementation of the Third Order Adaptive Volterra Filter// Facta Universitatis, 2006.
4. A.Stenger, R.Rebenstein: Adaptive Volterra filters for nonlinear acoustic echo cancellation// University of Erlangen-Nurnberg, 2008.

КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СУБМИКРОННЫХ СБИС

Благова С.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Макаrchук В.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

CONTROL PRECISION ALIGNMENT IN PRODUCTION SUBMICRON VLSI

Blagova S.V.

Supervisor: Candidate of technical science, assoc.prof/ Makarchuk V.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрен литографический процесс получения функциональных слоёв по технологии 0.25 мкм. Рассмотрены критерии оценки качества совмещения технологических слоёв, приведены различные способы контроля точности совмещения. На примере установки проекционной пошаговой мультипликации PAS 5500/250C фирмы "ASML" (Голландия) проведен анализ возможности аппаратного контроля совмещения. Рассмотрена реализация методики контроля точности совмещения слоев с помощью дифракционных меток.

Abstract

The article describes lithography process for production of functional layers on 0.25 micron technology. Considered evaluation criteria combining technology layers are various ways to control the accuracy of alignment. On an example of setting the projection step animation company ASML PAS 5500/250S analysis of possible hardware combination. The realization of a technique for checking the precision alignment layers using diffraction tags.

Введение

Известно, что технологический маршрут производства СБИС состоит из множества операций, среди которых операция литографии на сегодняшний день является ключевой, поскольку от качества ее выполнения в наибольшей степени зависит процент выхода годных СБИС. В то же время литография является одной из наиболее сложных операций, как по применяемому оборудованию и инструментальным методам, так и по технологическим приемам [1].

Для создания новой элементной базы с наилучшими техническими характеристиками вместо обычной кремниевой пластины используют структуры КНИ, без которых невозможна разработка радиационно-стойких СБИС (и аппаратуры на их основе), а также термостойких и высоковольтных СБИС с малым потреблением энергии и различных микроэлектромеханических систем (МЭМС). СБИС на основе КНИ надежнее аналогичных схем, созданных по технологии объемного кремния, поскольку полная изоляция элементов диэлектриком более совершенна, чем изоляция *p-n*-переходами. Радиационная стойкость СБИС и плотность компоновки элементов в схемах на основе структур КНИ существенно выше стойкости микросхем, произведенных по технологии объемного кремния.

Структура КНИ представляет собой технологию производства СБИС, основанную на применении в качестве подложки трехслойной структуры, которая состоит из монокристаллической кремниевой пластины, диэлектрика и размещённого на нём тонкого поверхностного слоя такого же монокристаллического кремния (рисунок 1). В качестве диэлектрика может использоваться диоксид кремния SiO_2 или, гораздо реже, сапфир (в этом случае технология называется «кремний на сапфире» или КНС) [2].



Рисунок 1 – Подложка на основе КНИ-структуры

В настоящее время наибольшее распространение получили КНИ-подложки, в которых в качестве изолирующего слоя используется диоксид кремния.

Помимо сказанного, вследствие роста числа компонентов в современных СБИС появляется необходимость уменьшения проектных топологических норм, в результате чего является необходимость постоянного увеличения разрешающей способности процесса литографии.

При уменьшении проектных норм микроэлектронных изделий все более сложным становится контроль совмещения литографических слоев в технологическом процессе их производства.

Рассовмещением называют погрешность совмещения соседних технологических слоев, показывающая на какое расстояние один технологический слой сместился относительно другого в процессе получения структуры. Значение рассовмещения можно опеределить по формулам:

$$R_x = \frac{a - b}{2}$$

$$R_y = \frac{c - d}{2}$$

R_x – величина рассовмещения по оси X,

R_y – величина рассовмещения по оси Y,

a – расстояние между фигурами разных слоёв с левой стороны,

b – расстояние между фигурами разных слоёв с правой стороны,

c – расстояние между фигурами разных слоёв с верхней стороны,

d – расстояние между фигурами разных слоёв с нижней стороны (рисунок 2).

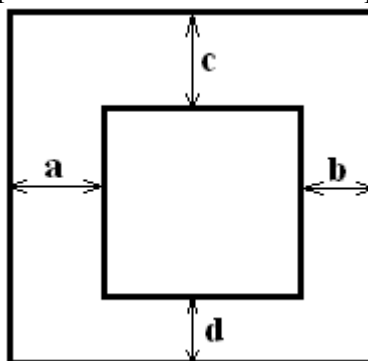


Рисунок 2 – Фигура контроля совмещения «квадрат в квадрате» (квадрат большего размера находится в предыдущем слое, квадрат меньшего - в текущем)

Выделяют три основных вида рассовмещения: сдвиг (рисунок 3а), угловой разворот (рисунок 3б) и масштабируемость (рисунок 3в). Каждый из них может быть устранен с помощью коррекции параметров совмещения.

Для изделий с минимальной проектной нормой 0,35 мкм и выше возможен контроль рассовмещения с помощью оптической микроскопии с использованием шкалы «нониус», состоящей из штриховой и пирамидальной частей, расположенных в соседних разных шаблонах (рисунок 4), или фигур типа «квадрат в квадрате».

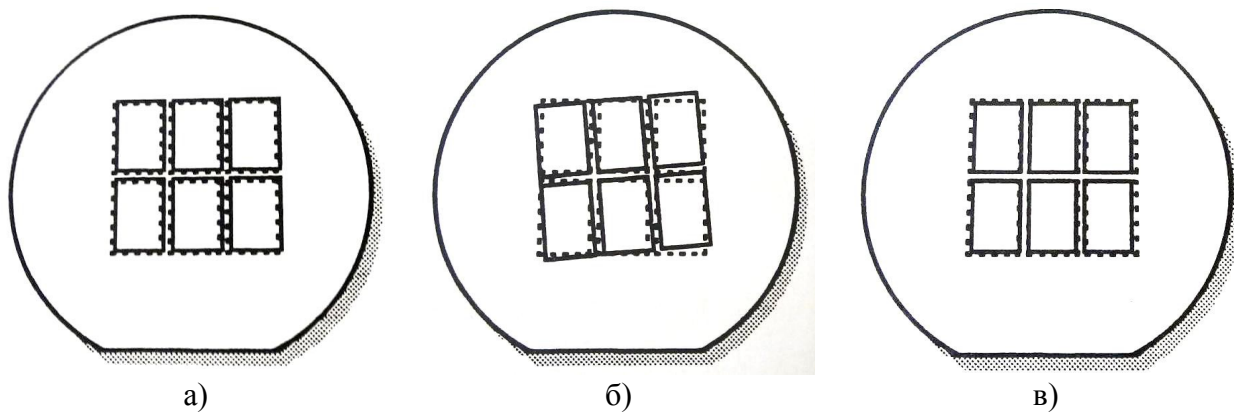


Рисунок 2 – Виды рассовмещения: а) сдвиг; б) угловой разворот; в) масштабируемость [3]

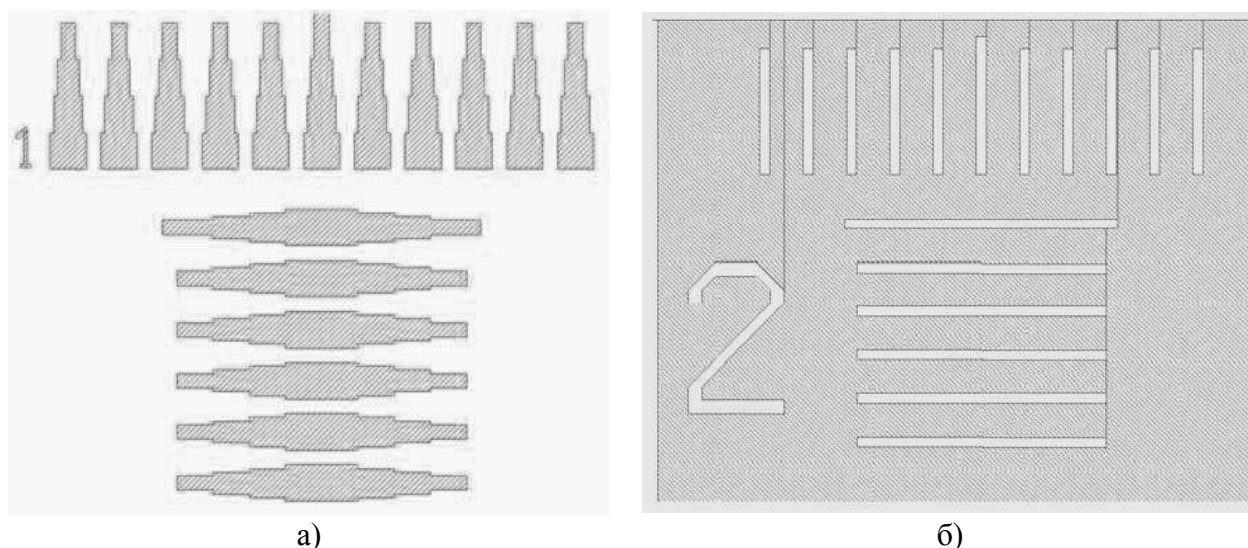


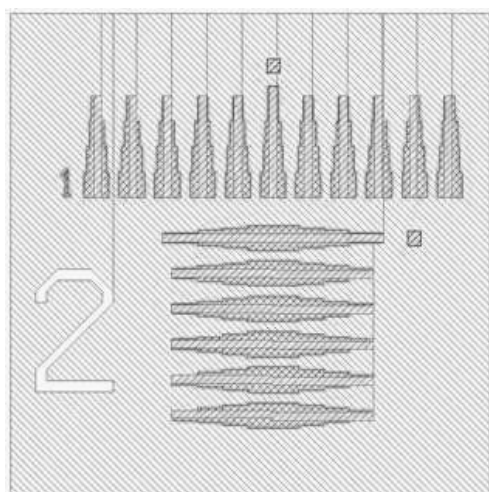
Рисунок 4 – Шкала «нониуса»: а) Пирамидальная часть; б) Штриховая часть

Погрешность таких измерений составляет величину порядка 100 нм . Величина рассовмещения определяется оператором в процессе визуального оптического контроля, а, следовательно, может зависеть от субъективных факторов (рисунок 5). Как видно из рисунка 5а рассовмещение отсутствует, в центральном делении шкалы центры пирамидальной и штриховой частей совпадают по оси X , в верхнем делении шкалы центры пирамидальной и штриховой частей совпадают по оси Y . На рисунке 5б показано рассовмещение одновременно по осям X и Y . Из рисунка видно, что рассовмещение по оси Y больше, чем по оси X .

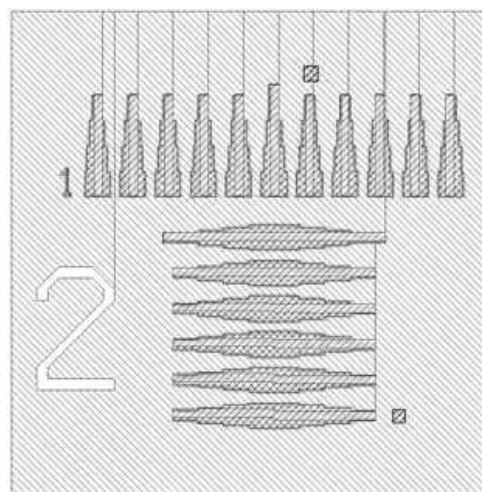
При уменьшении размеров элементов менее $0,25 \text{ мкм}$ такой контроль уже неприменим, так как требуемая погрешность измерений ($< 50 \text{ нм}$) не может быть достигнута.

На зарубежных микроэлектронных предприятиях для контроля рассовмещения фотолитографических слоев в технологическом процессе изготовления субмикронных микросхем используется специализированное и весьма дорогостоящее оборудование.

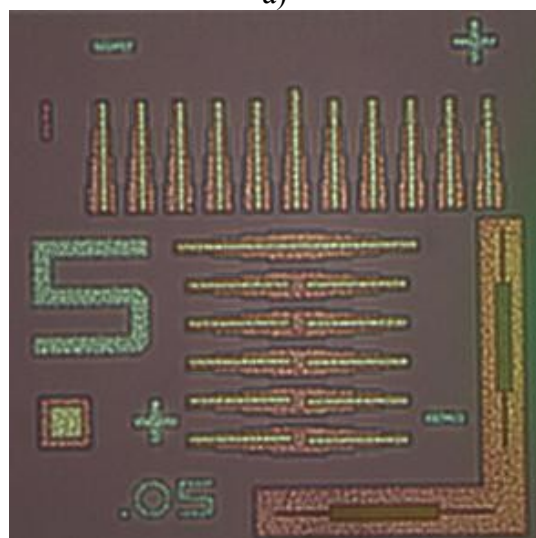
В настоящее время наиболее часто точность совмещения определяется визуально в рамках контроля резистивной маски и технологических слоёв по «виньеровским» нониусам с точностью не хуже $0,05 \text{ мкм}$. Для изготовления изделий по технологии $0,25 \text{ мкм}$ для критических слоев такая точность недостаточна.



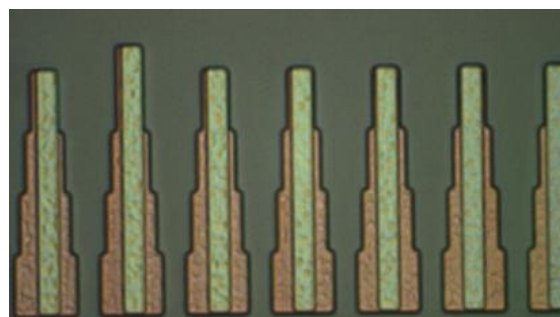
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5 – Примеры рассовмещений:

а) нулевое; б) одновременное по осям X и Y; в) по оси X $0,05 \text{ мкм}$ (фотография $500\times$); г) по оси X $0,15 \text{ мкм}$ (фотография $1500\times$).

Соответственно, необходимо исследовать другие методы контроля совмещения, которые смогут удовлетворить необходимые параметры и критерии контроля.

Методы контроля совмещения слоёв

В процессе изготовления СБИС на подложке формируются топологические слои, которые должны быть последовательно воспроизведены в заданных относительно друг друга позициях, определяемых разработчиком. Для большинства СБИС требования на допуск при совмещении составляют примерно четверть минимального разрешаемого размера элемента.

Совмещение зависит от оптических свойств системы, плоскостности поверхностей шаблона и подложки, а также вида меток совмещения и способов обработки сигнала рассовмещения. Для распознавания и коррекции ошибок совмещения проводят измерения плоскостности пластин, ширины линий и совмещений, используя нониусы:

- электрический тест - создаются проводящие слои для образования делителей напряжения;
- оптический тест - регистрация интерференционного сдвига. Измеряется амплитуда дифрагировавшего когерентного света;

- тест на качество края - регистрация лазерного излучения, отраженного от края структур;
- микроскопический тест - при помощи сканирующего электронного микроскопа.

На производстве обычно используются несколько методов коррекции ошибок совмещения, чтобы получить более достоверные данные.

Система контроля совмещения степпера PAS5500/250C фирмы ASML (Нидерланды)

Первым этапом процесса совмещения на установке PAS5500/250C является процесс позиционирования пластины. Эта операция выполняется в два этапа. На первом этапе осуществляется, так называемое, предварительное совмещение, которое производится на столике предварительного совмещения. Затем пластина перемещается со столика предварительного совмещения на столик экспонирования для подготовки к заключительному совмещению [4].

Каждый шаблон топологического слоя имеет два знака первичного совмещения (M1 и M2), а каждая пластина имеет, как минимум, два первичных знака (W1 и W2). Расстояние между знаками M1 и M2 на шаблоне зависит от проекционных линз и для системы PAS 5500/250, составляет 139 мм.

Лазер системы совмещения (гелий-неоновый лазер мощностью 10 мВт) генерирует линейно поляризованный луч красного цвета ($\lambda=632,8$ нм), который может быть направлен на пластину без опасности ее экспонирования, поскольку слой резиста, покрывающий кремниевую пластину чувствителен только к УФ-излучению. Этот луч, пройдя верхнюю часть осветителя, в нижней его части делится на два параллельных оптических луча (рисунок 6). В системе совмещения только один из этих лучей используется в каждый момент времени. Это достигается путем перемещения координатного стола таким образом, что один из знаков совмещения пластины W1 или W2 позиционируется под одним из знаков M1 или M2 [4].

Поочередное совмещение двух знаков шаблона с одним знаком пластины используется для измерения высоты шаблонного столика, которое обеспечивает корректное вычисление кратности проекционных линз и любой необходимый поворот шаблона. Второе совмещение по другому знаку пластины позволяет вычислить угол поворота пластины (угловое рассовмещение).

Совмещение шаблона и пластины обеспечивается перекрытием луча, отраженного от знака совмещения, находящегося на пластине, знаком совмещения шаблона. Каждый знак совмещения содержит четыре фазовые решетки. Две из них используются для совмещения по оси X, и остальные две — по оси Y. Периоды в изображениях решеток составляют 16 и 17.6 мкм на уровне пластины, а соответствующие периоды на уровне шаблона - 40 и 44 мкм [4].

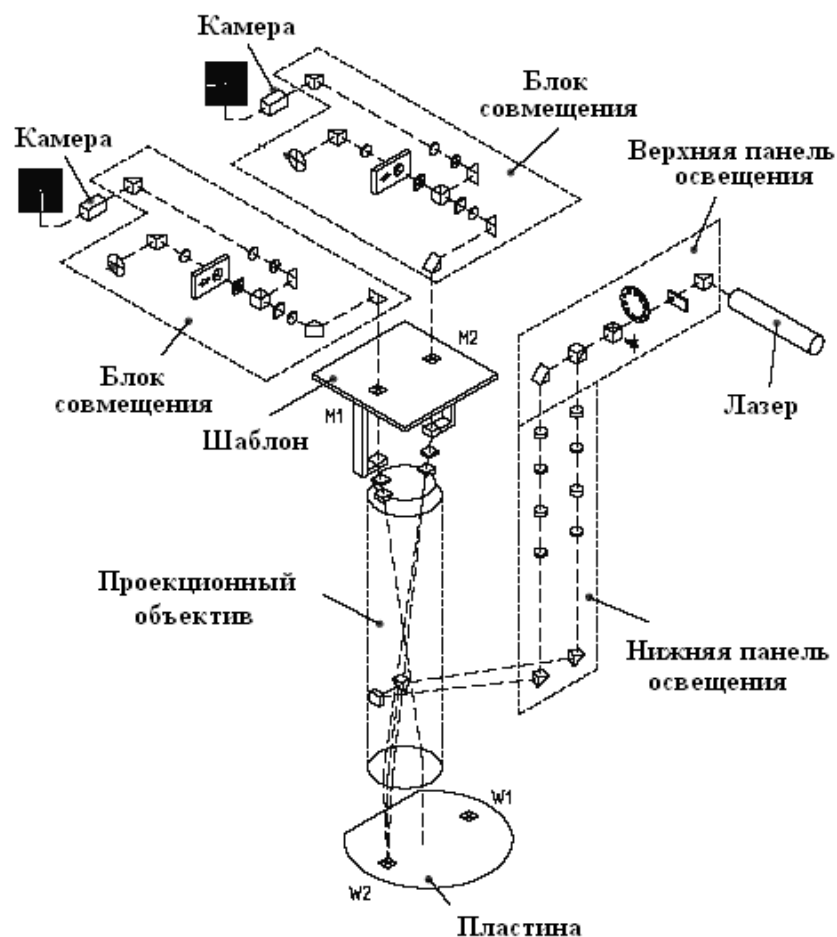


Рисунок 6 – Структурная схема системы контроля совмещения степпера [3]

Знак совмещения шаблона представляет собой квадратную фигуру, разделенную на четыре квадранта. Он содержит две вертикальные и две горизонтальные решетки с определенным шагом в каждом квадранте (рисунок 7). В двух таких решетках (одной горизонтальной и одной вертикальной) период составляет 40 мкм , а в двух других — 44 мкм . Хромовый крест в центре знака может использоваться для контроля с помощью оптического метрологического инструментария.

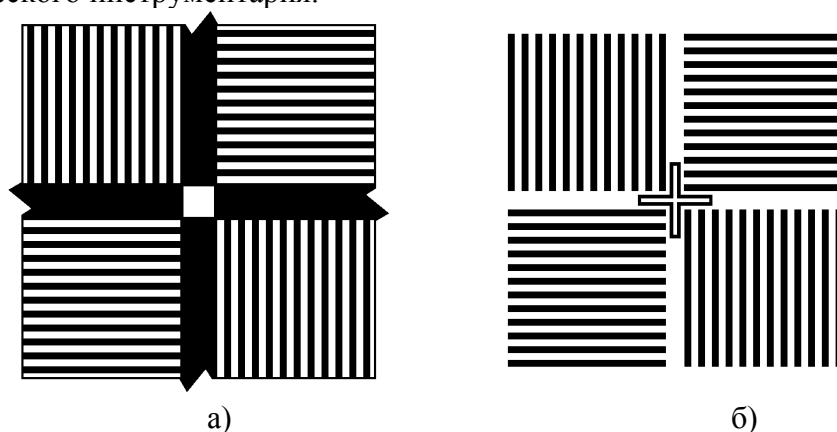


Рисунок 7 – Знаки совмещения а) На шаблоне; б) На пластине [3]

Оптика совмещения позволяет в области захвата $\pm 44\text{ мкм}$ совместить знаки на шаблоне со знаками на пластине с точностью $\pm 0,04\text{ мкм}$.

Дифракционные фигуры (метки) контроля совмещения

Из-за отсутствия специализированного контрольно-измерительного оборудования для контроля и анализа точности совмещения фотолитографических слоев необходимо использовать другие методики контроля совмещения для достижения большей точности и независимости от субъективных факторов. Такой методикой может стать методика контроля точности совмещения с использованием набора дифракционных решеток.

Предполагается, что данная методика позволит измерять величину совмещения слоев с точностью до $0,01 \text{ мкм}$ [5].

Дифракционные методы наиболее распространены в настоящее время в мире для контроля процессов изготовления субмикронных изделий с проектными нормами 90 нм и менее. Методы основаны на анализе отраженного от многоуровневых дифракционных решеток света, свойства которого зависят от сдвига уровней решетки друг относительно друга [5].

Недостаток таких методов заключается в сложности расчетов, необходимости калибровки и зависимости от условий регистрации. Вместе с тем, существует группа дифракционных методов, которые позволяют исключить указанные недостатки. Таковыми являются методы контроля с помощью набора дифракционных решеток с различным контролируемым сдвигом в расположении решеток верхнего и нижнего уровня. Достоинством данных методов является низкая чувствительность к изменениям условий измерения, отсутствие необходимости построения сложной математической модели формирования изображения и необходимости калибровки. Другими словами, вся аппаратная часть метода, обеспечивающая высокую точность измерений, переносится на сами структуры. Именно эти методы и легли в основу разрабатываемой методики контроля рассовмещения слоев [5].

В этом случае фигуры контроля представляют собой набор из N накладывающихся друг на друга дифракционных решеток (обычно $N=11$ или 13). В нижележащем контролируемом слое все решетки одинаковые (базовая фигура), а в слое, лежащем сверху, решетки последовательно сдвинуты на контролируемую величину с шагом в 50 нм следующим образом (рисунок 8):

- центральные решетки в обоих шаблонах совпадают (сдвиг отсутствует);
- решетки шаблона верхнего слоя слева от центральной сдвинуты на $50, 100, 150, 200, 250 \text{ нм}$ влево;
- решетки шаблона верхнего слоя справа от центральной сдвинуты на $50, 100, 150, 200, 250 \text{ нм}$ вправо.

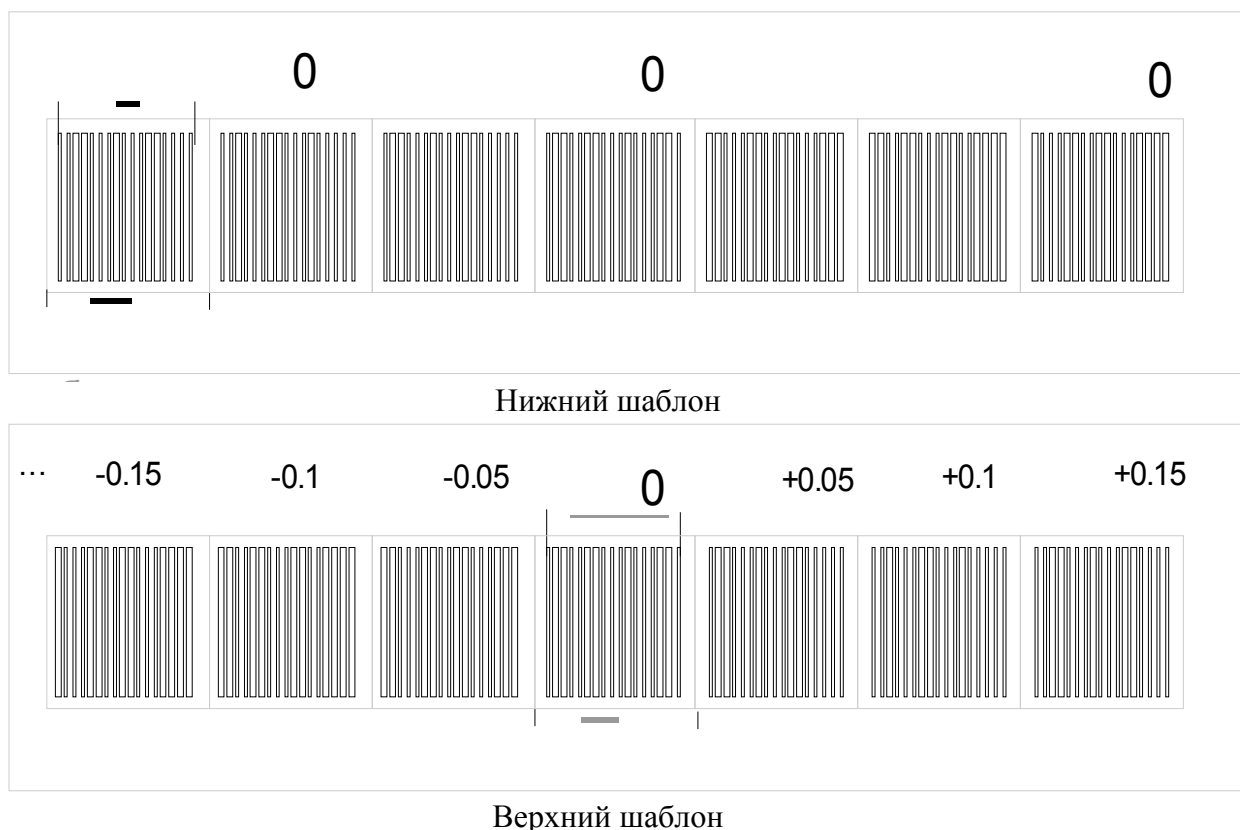


Рисунок 8 – Представление фигур контроля в шаблонах топологических слоев [5]

При наблюдении в оптическом микроскопе с небольшим увеличением заложенных в шаблон дифракционных структур наблюдается цветовая картина, зависящая от сдвига нижней и верхней решеток относительно друг друга [5]. При нужных условиях наблюдения, дифракционные решетки выглядят как области определенного цвета, причем каждая из них имеет свой цвет, отличный от цвета других областей (рисунок 9).

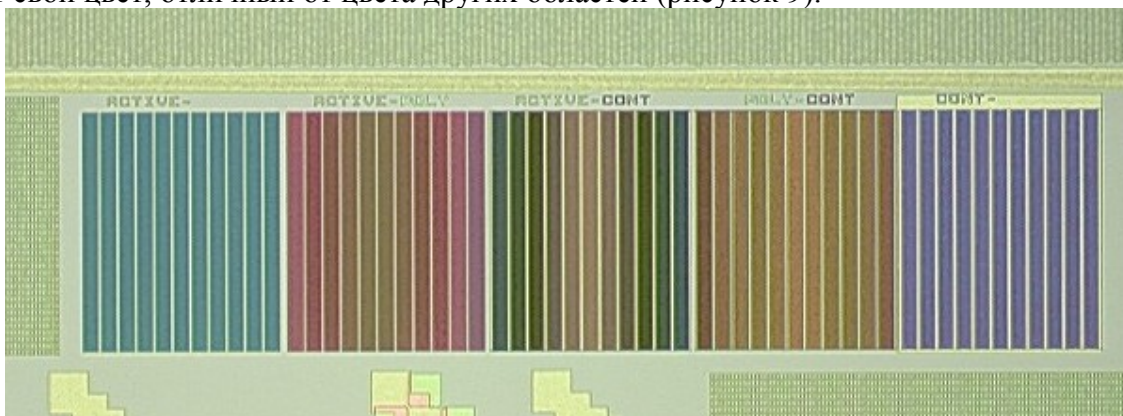


Рисунок 9 – Вид структур контроля рассовмещения слоев на стадии травления контактов

При нулевом рассовмещении цвета решеток будут распределены симметрично относительно центра. Если рассовмещение отлично от нуля, центр симметрии цвета будет сдвигаться на соответствующую рассовмещению величину. Следовательно, задача измерения рассовмещения сводится к поиску центра цветовой симметрии дифракционной структуры. Для корректных измерений необходимо обеспечить такие условия регистрации изображений, при которых достигается хороший цветовой контраст, и элементы дифракционных решеток не разрешаются микроскопом.

В результате уменьшении проектных норм изделий микроэлектроники контроль совмещения литографических слоев становится все более сложным. При уменьшении минимальной проектной нормы до 0.25 мкм и менее контроль рассовмещения с помощью оптической микроскопии с использованием нониусной шкалы или фигур «квадрат в квадрате» становится неприменимым, поскольку уже не обеспечивает требуемой точности измерений ($< 50\text{ нм}$).

Вследствие отсутствия возможности приобретения специализированного контрольно-измерительного оборудования, с помощью которого проверяется точность совмещения литографических слоев, необходимо использовать альтернативные методики контроля качества совмещения, каковой может стать методика контроля с использованием набора дифракционных решеток. Эта методика имеет меньшую погрешность измерений и, кроме того, не зависит от субъективных факторов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ
(грант НШ-2903.2014.9)

Литература

1. К.И.Билибин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств /под общ. редакцией В.А.Шахнова. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2002. 568 с. (серия: Информатика в техническом университете, второе издание).
2. Богданович Б.Ю., Гоафутин В.И., Калугин В.В., Нестерович А.В., Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Чаплыгин Ю.А. Технологии и методы исследования структур КНИ. – М.: Изд-во МИЭТ (Троицк, Моск. обл.), 2003, – 289 с.
3. Training Manual. ASML Veldhoven. – ASML, 2000. – 523 с.
4. Родионов И.А. Проблемы проекционной фотолитографии i-line диапазона при производстве СБИС с субмикронными размерами элементов // Квалификационная работа бакалавра. — М: МГТУ, 2006.
5. Захарченко А.А., Кукина Н.С., Михальцов Е.П., Столяров А.А., Троицкий В.Ю. Методика контроля точности совмещения фотолитографических слоёв при изготовлении микросхем с проектными нормами 0.25 мкм и менее. — М: Труды НИИСИ РАН, 2013, том 3, - 72 с.
6. Методы литографии в нанотехнологиях : учеб. пособие /В.В.Макарчук, И.А.Родионов, Ю.Б.Цветков - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. (Библиотека Нанотехнология): в 17 кн. Кн.9). - 176 с.:ил.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ КАК ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Чистяков М.Г.

Научные руководители: к.т.н., доцент Макаrchuk В.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

Руководитель группы проектирования ИМС Морозов С.А.

НИИ Системных исследований РАН, Москва, Россия

ANALYSIS WAYS OF CONTROL STEPPING MOTORS AS BASES OF ELABORATION ALGORITHM OF OPERATION THE MICROCONTROLLER CONTROL SYSTEM

Chistyakov M.G.

Supervisors: candidate of technical science, reader Makarchuk V.V.

MSTU named after N.E. Bauman, faculty IU4, Moscow, Russia

Head of group of design IC Morozov S.A.

SRI of System Analysis RAS, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены основные способы управления шаговыми двигателями, приведена структурная схема одной из возможных систем управления. Даны рекомендации по выбору способов управления и разработке алгоритма работы микроконтроллера системы управления шаговым двигателем.

Abstract

The article describes the main ways to control stepper motors, structural scheme of one of the possible control systems. Recommendations at a choice of a way of management and development of algorithm of work of the microcontroller system stepper motor control.

Введение

Шаговые двигатели используются в различных системах автоматизированного управления, от станков с числовым программным управлением до роботизированных средств специального назначения. Для управления ими используются различные системы, как построенные на микросхемах с неизменяемыми способами управления, так и микроконтроллерные с подстраиваемыми способами управления. Для микросхем с неизменяемыми способами управления способ управления, как правило, задаётся до начала работы и не учитывает изменение внешних факторов, таких как нагрузка на валу двигателя, его нагрев и изменение питающего напряжения. В микроконтроллерных системах управления возможна подстройка под внешние факторы и, кроме того, имеется возможность изменять способы управления двигателем.

Перед рассмотрением способов управления шаговым двигателем стоит отметить, что он представляет собой электромеханическое устройство, которое преобразует электрические импульсы в дискретные механические перемещения. Каждый импульс, поданный на двигатель, заставляет ротор повернуться на определённый угол – шаг. Основные преимущества шагового двигателя заключаются в том, что угол поворота ротора определяется числом импульсов, поданных на двигатель. Стоит отметить, что при совершении нескольких шагов ошибка не накапливается и остаётся такой же, как и при повороте на один шаг. Поэтому для позиционирования ротора не требуется использование датчиков угла поворота. Помимо этого шаговым двигателем обеспечивается высокий момент на низких скоростях движения и при остановке. Немаловажно, что в конструкции двигателя отсутствуют щётки, что обеспечивает больший срок его службы.

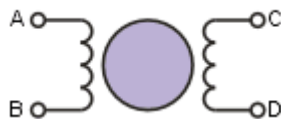


Рисунок 1 - Схема шагового двигателя с биполярной конфигурацией обмоток.



Рисунок 2 - Схема шагового двигателя с униполярной конфигурацией обмоток.

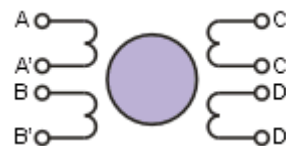


Рисунок 3 - Схема шагового двигателя с четырёхобмоточной конфигурацией обмоток.

Необходимо отметить, что для системы управления важными, в отличие от конструкции самого шагового двигателя, являются только следующие параметры: напряжение питания, максимальный ток обмотки, максимальная температура, а также конфигурация и электрические параметры обмоток, такие как сопротивление и индуктивность. При выборе алгоритма управления шаговым двигателем стоит обратить внимание на типы конфигурации обмоток, которые бывают биполярными (рисунок 1), униполярными (рисунок 2) и четырёхобмоточными (рисунок 3) [1].

В рамках данной статьи будут рассмотрены алгоритмы управления для биполярного типа конфигурации обмоток. Такой же алгоритм управления допустимо применять для шаговых двигателей с другой конфигурацией обмоток. Для этого в случае униполярной конфигурации обмоток необходимо подключить средние выводы обмоток AB и CD к «общей» цепи. А для четырёхобмоточного двигателя их необходимо включать либо последовательно, либо параллельно. Последовательное включение обмоток по характеристикам будет полностью соответствовать двигателю с биполярной конфигурацией обмоток. Параллельное - позволит увеличить стабильность двигателя, но при этом уменьшит максимальный нагрузочный момент.

1 Структура системы управления

Управление обмотками шагового двигателя осуществляется через так называемый Н-мост (рисунок 4), с помощью которого регулируют ток в его обмотках.

Существующие способы реализации Н-моста разделяют на встроенные в контроллер управления шаговым двигателем и дискретные. Дискретные способы являются предпочтительным вариантом, так как их возможно изменять применительно к типу шагового двигателя. Они устанавливаются отдельно, что позволяет уменьшить влияние на микроконтроллер теплового и электромагнитного воздействий. Встроенные Н-мосты негативно влияют на стабильность работы контроллера, поскольку создают большие помехи.

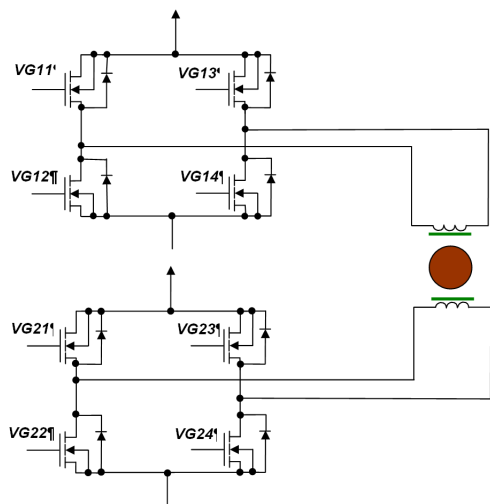


Рисунок 4 – Схема Н-моста



Рисунок 5 – Структурная схема системы управления

Для согласования нагрузок между Н-мостом и управляющим контроллером ставится инвертор. Это также позволяет сократить влияние силовой части управления двигателем на контроллер и согласовать его выход со входом силового Н-моста.

2 Способы управления шаговым двигателем

Существует несколько способов управления шаговым двигателем. Первый способ – «полношаговый однофазный» – заключается в том, что при каждом такте управляющего импульса включается только одна обмотка (рисунок 6). Преимуществом данного способа является простота его реализации. Однако из-за того, что в каждый момент времени включена только одна обмотка, создающая момент на валу двигателя, его эффективность оказывается низкой.

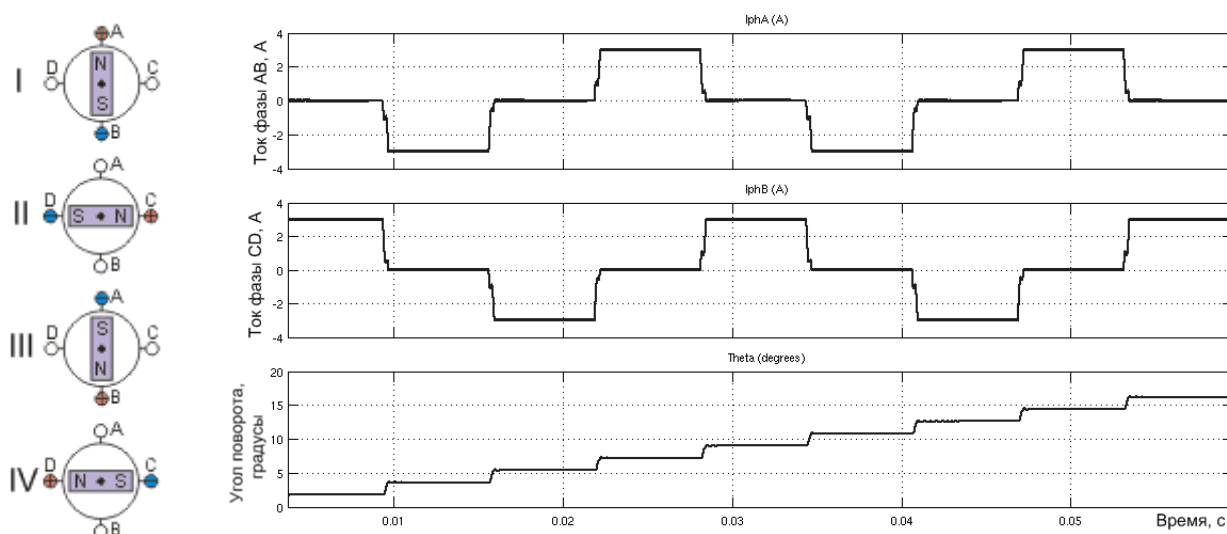


Рисунок 6 – Положение ротора, токи через обмотки и угол поворота ротора при «полношаговом однофазном» способе управления

Второй способ – «полношаговый двухфазный» – состоит в том, что при каждом такте управляющего импульса включаются две обмотки, и ротор фиксируется между полюсами статора (рисунок 7). Эффективность этого способа управления выше, так как в отличие от «полношагового однофазного» способа управления выходной момент создается сразу двумя обмотками.

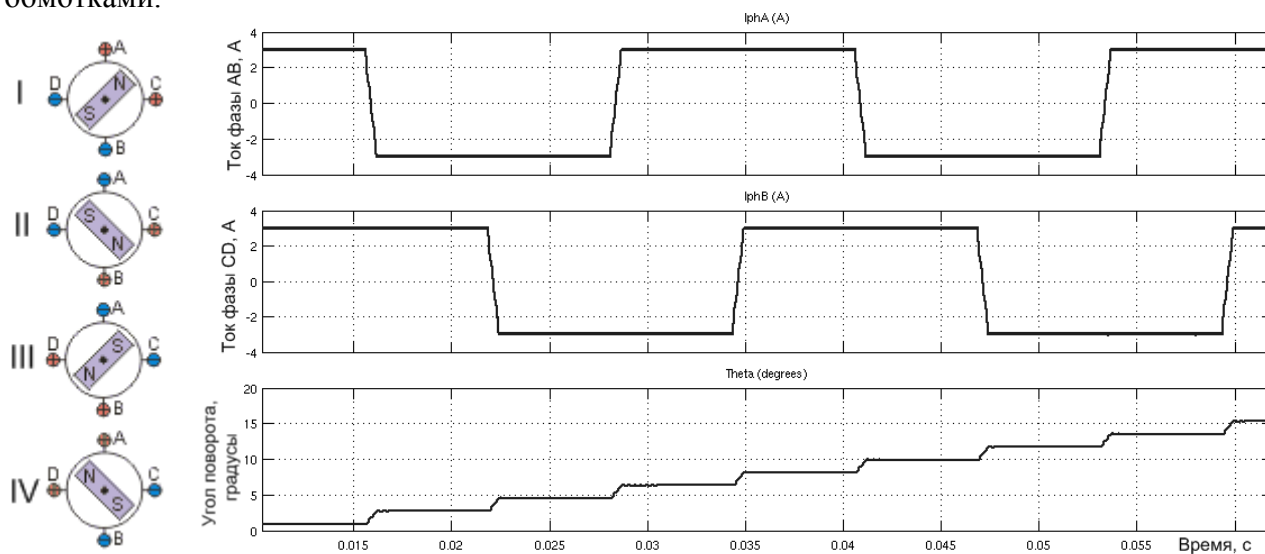


Рисунок 7 – Положение ротора, токи через обмотки и угол поворота ротора при «полношаговом двухфазном» способе управления

Недостатки первых двух методов заключаются в том, что при их использовании в обмотках двигателя появляется явление резонанса на низких и средних частотах следования управляющих сигналов. На рисунке 8 пунктиром показана идеальная характеристика, а сплошной линией - типовая зависимость выходного момента на валу двигателя от скорости вращения [2]. Из рисунка видно, что существуют две области резонанса: *а* – область низкочастотного резонанса и *б* – область среднечастотного резонанса. Низкочастотный резонанс возникает на частотах до 100 Гц , среднечастотный резонанс - на частотах от 1000 до 1500 Гц [3]. Различие этих характеристик для «полношагового однофазного» и «полношагового двухфазного» способов управления двигателем заключается в разных частотах возникновения резонанса.

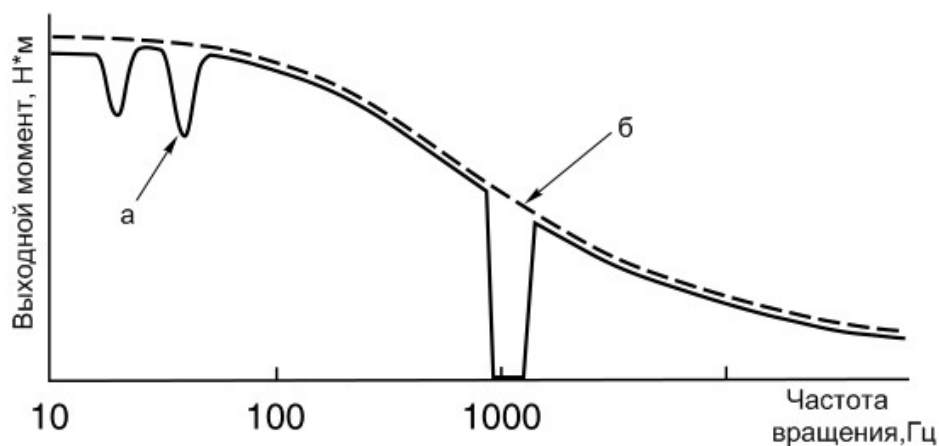


Рисунок 8 – Зависимость выходного момента от частоты вращения вала

Третий способ – «полушаговый» – представляет собой комбинацию первого и второго способов. В нем за каждый такт управляющего импульса ротор поворачивается на полшага и фиксируется попеременно то у полюса, то между полюсами (рисунок 9). Этот метод позволяет уменьшить нестабильность вращающего момента, возникающую из-за резонанса.

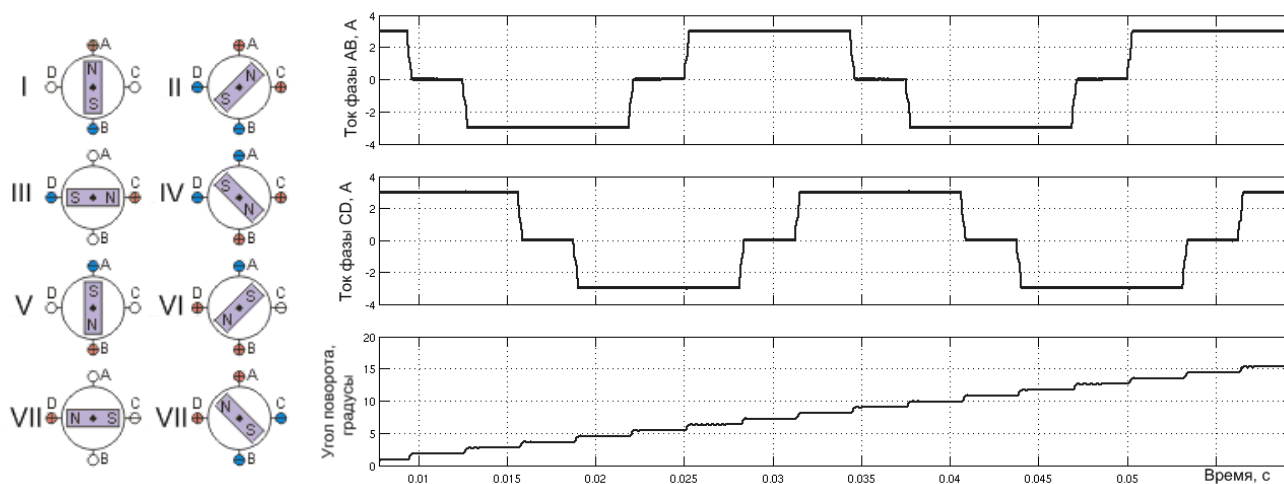


Рисунок 9 – Положение ротора, токи через обмотки и угол поворота ротора при «полушаговом» способе управления

Недостатком данного метода является различный выходной момент в период нахождения ротора напротив обмотки статора и между ними. Для устранения этого недостатка можно повышать уровень тока в обмотках двигателя в момент нахождения ротора напротив обмотки статора. Однако повышение тока ведет к увеличению выделяемой мощности, а значит, к увеличению температуры двигателя и, как следствие, к уменьшению его срока службы.

Четвертый способ – «микрошаговый» – представляет собой модификацию «полушагового» способа. Суть его заключается в том, что ток в каждой обмотке двигателя плавно изменяется по закону синусоиды (рисунок 10).

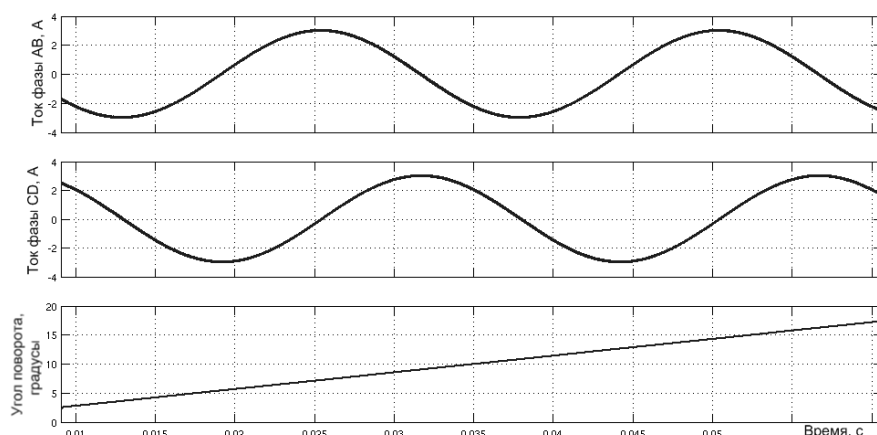


Рисунок 10 –Токи через обмотки и угол поворота ротора при «полушаговом» способе управления

Это позволяет устранить нестабильность крутящего момента, вызванную резонансом, и, тем самым, обеспечить плавность хода ротора. Его недостатком является сложность реализации. Для формирования синусоиды можно использовать два основных метода: с помощью цифро-аналогового преобразователя и с помощью широтно-импульсной модуляции. В случае с цифро-аналоговым преобразователем используют синусоиду, состоящую из 32 или 64 шагов, тогда как для метода широтно-импульсной модуляции можно добиться меньшей разницы между значениями, тем самым повысив плавность хода ротора.

Заключение

При разработке алгоритма работы микроконтроллера управления шаговым двигателем следует учесть, что главная проблема заключается в необходимости поддержания максимально возможного момента на его валу. Из этого следует, что для разгона ротора стоит использовать «микрошаговый» способ, который при увеличении частоты должен переходить в «полношаговый двухфазный» способ. Это позволит добиться наибольшего момента и преодолеть области низкочастотного и среднечастотного резонансов. Стоит также отметить, что переключение между режимами следует совершать при таком положении ротора, которое соответствует обоим режимам. При разработке системы управления шаговым двигателем следует также учитывать изменение питающего напряжения и с помощью широтно-импульсной модуляции поддерживать ток на заданном уровне. Для сохранения срока службы двигателя дополнительно необходимо отслеживать его температуру.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (грант НШ-2903.2014.9)

Литература

1. Кенио Т., Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления.— М.: Энергоатомиздат, 1987. 200 с.
2. Hughes A., Electric Motors and Drives. Fundamentals, Types and Applications — Oxford, 2006, 432 p.
3. Acarnley P., Stepping Motors - A guide to theory and practice — 4th Edition — The Institution of Electrical Engineers, London, 2002, 170 p.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЭМС РЕЗОНАТОРОВ И ГЕНЕРАТОРОВ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Щукин И.В., Денисенко Н.А.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Зинченко Л.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ENVIRONMENT HARDENING MEMS RESONATORS AND GENERATORS DESIGN

Shchukin I.V., Denisenko N.A.

Supervisor: Dr., Prof. Zinchenko L.A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассмотрены проблемы проектирования МЭМС резонаторов и генераторов с учетом внешних воздействий (тепловых, механических и ионизирующих излучений). Приводятся результаты сравнительного анализа различных проектных решений.

Abstract

The paper elaborates the problems of designing MEMS resonators and oscillators in environment including thermal, mechanical, and ionizing radiation conditions. We discuss the results of comparative analyze of different design solutions.

Введение

МЭМС (micro-electromechanical system, MEMS) — технологии и устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. МЭМС-устройства изготавливают на кремниевой подложке, аналогично технологии изготовления однокристалльных интегральных микросхем. Одной из перспективных областей исследований в области МЭМС является разработка принципиально новых МЭМС резонаторов и генераторов [1, 2].

Преимуществами устройств на базе МЭМС являются компактные размеры, а также устойчивость к ударам, вибрациям и ионизирующим излучениям. Из недостатков можно отметить относительно узкий диапазон частот, обеспечиваемый МЭМС. Особенности МЭМС-технологии позволяют успешно использовать эти устройства в генераторах, управляемых напряжением, и в программируемых генераторах.

В статье рассматриваются особенности проектирования МЭМС резонаторов и генераторов с учетом внешних воздействий. Приводятся результаты сравнения различных проектных решений.

1 Кварцевые генераторы

Для получения стабильных колебаний наиболее популярным подходом являются кварцевые генераторы.

Кварцевые генераторы изготавливаются на базе кварцевых резонаторов и вспомогательной генерирующей схемы. Кварцевый элемент с заданной резонансной частотой получают срезом кристалла кварца под определенным углом. Сначала кристаллический элемент шлифуется и полируется, затем осуществляется травление, металлизация, монтаж, настройка, сборка и упаковка в корпус. Кварцевые резонаторы отличаются высокой добротностью и стабильностью.

Производство резонаторов на частоту выше 100 МГц становится сложнее из-за трудностей в изготовлении тонких кварцевых пластин с высокой степенью параллельности

рабочих сторон, что сильно влияет на появление резонанса на гармониках вблизи рабочей частоты.

Сложность процесса производства приводит к большому количеству брака на разных этапах производства, а также к большим срокам изготовления. Типовой срок изготовления кварцевых генераторов и резонаторов, например, фирмы Golledge составляет от 4 до 12 недель.

Еще одним недостатком кварцевых резонаторов являются их относительно большие размеры.

В условиях внешних воздействий, например, ударных нагрузок, кварцевые генераторы деградируют, что может привести к выходу из строя всего устройства.

В связи с этим актуальным являются исследования по проектированию МЭМС резонаторов и генераторов, устойчивых к внешним воздействиям.

2 Устройство и принцип работы МЭМС резонаторов

В настоящее время все МЭМС резонаторы могут быть классифицированы следующим образом [3-6]:

- емкостные МЭМС резонаторы;
- пьезоэлектрические МЭМС резонаторы.

Одним из простейших емкостных резонаторов является кантилевер, закрепленный определенным образом. Форма кантилевера может быть разнообразной: диск, кольцо, квадратная пластина, прямоугольный брус и т. д. Отметим, что лучшие характеристики обеспечивает проектное решение типа диск [3]. Также хорошие характеристики имеют емкостные резонаторы, изготовленные в виде квадратной пластины. В таблице 1 приведены результаты сравнения характеристик кварцевого резонатора и емкостного квадратного резонатора, изготовленного из кремния [3].

Таблица 1 - Сравнение характеристик кварцевого резонатора и емкостного квадратного резонатора

Параметры	Кварцевые резонаторы	МЭМС резонаторы
Размер	2–5 мм	400 мкм
Частота	1–80 МГц	1–50 МГц
Добротность $Q (\times 10^3)$	100–200	75–150
CMOS интегрирование	Нет	Да
Упаковка	Керамика или металл	Пластик
Отклонение (за первый год)	3–5 ppm	3 ppm
Отклонение при воздействии температуры	1–10 ppm	1–10 ppm
Устойчивость к удару	Плохая	Хорошая
Стоимость	Высокая	Низкая

На рис. 1 представлено одно из возможных проектных решений пьезоэлектрического МЭМС резонатора. МЭМС Резонатор состоит из пьезоэлектрической подложки AlN и кристалла кремния. В отличие от чисто кремниевых емкостных резонаторов для его работы не требуется напряжение смещения.

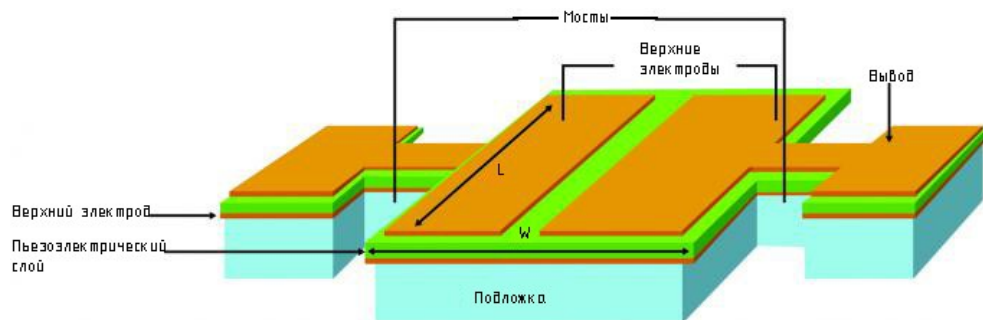


Рисунок 1 – Структурная схема МЭМС резонатора на МЭМС [4]

При приложении электрического поля на один из верхних электродов возникает акустическая волна. Резонатор начинает вибрировать и это механическое возбуждение преобразуется в электрический сигнал, который улавливается вторым электродом. Резонансная частота определяется формулой:

$$f_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E_{EFF}}{\rho_{EFF}}}$$

где L – длина резонатора, E_{EFF} – эффективная постоянная упругости, ρ_{EFF} – эффективная массовая плотность.

Акустическая волна рассеивается по всем направлениям. Для увеличения энергии в заданном направлении подбирается профиль толщины и ширины резонатора. Для стандартного резонатора 107 МГц измеренное значение добротности Q составляет 7453.

При изготовлении МЭМС резонаторов используется совместимый КМОП процесс с корпусированием на уровне пластины (WLP). На пластину из кремния на изоляторе (КНИ) осаждается пьезоэлектрический слой, формируются электроды. Затем изготавливаются выводы и контактные площадки.

На рис. 2 показано объемное изображение резонатора размером 550 x 450 x 200 мкм. На рис. 3 размер резонаторов сравнивается с крупинкой риса.

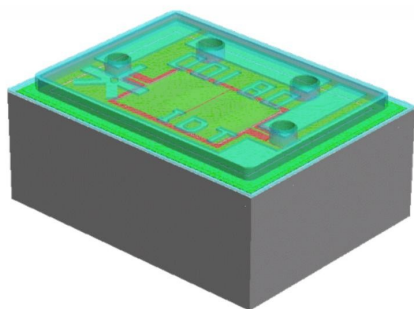


Рисунок 2 – Объемная модель резонатора на МЭМС [4]

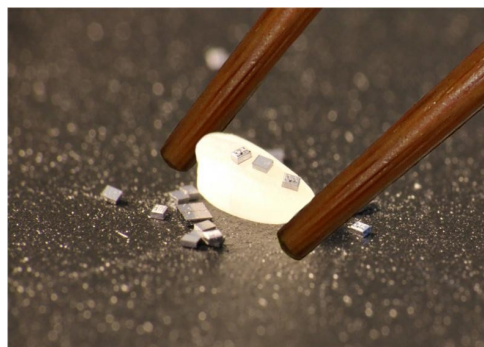


Рисунок 3 – Реальный размер резонатора на МЭМС [4]

Пьезоэлектрические МЭМС резонаторы по сравнению с кварцевыми могут генерировать сигналы более высокой частоты. У них также не наблюдается провала на температурной зависимости активности. МЭМС резонаторы обладают меньшей чувствительностью к механическому шоку и вибрации. Если кварцевые резонаторы выдерживают шок 50-100g, то МЭМС – более 1500g.

В [4] указано, что испытания на долговременную стабильность частоты показали, что при температуре 25°C частота колебания резонаторов МЭМС отклоняется на $\pm 2,5$ ppm за 21 месяц. Частота кварца при этих же условиях отклоняется на ± 5 ppm. При 125°C частота колебания МЭМС отклоняется менее чем на ± 3 ppm за 4500 ч. Аналогичный показатель для кварцевого резонатора составляет ± 10 ppm.

МЭМС резонаторы устанавливаются методом поверхностного монтажа. Выходной сигнал может быть двух типов: дифференциальный с низким напряжением (LVDS) и положительный ЭСЛ с низким напряжением (LVPECL). Частота выходного сигнала может достигать 625 МГц.

Моделирование как емкостных, так и пьезоэлектрических резонаторов может быть выполнено с использованием метода конечных элементов [2].

3 МЭМС генераторы

МЭМС генераторы имеют меньшие размеры и вес по сравнению с кварцевыми генераторами.

МЭМС генераторы имеют более высокий уровень стабильности, меньший уровень шума. Потребление энергии у них гораздо ниже, чем у кварцевых генераторов.

Для повышения стабильности МЭМС генератора к внешним тепловым воздействиям схему генератора дополняют цифровым синтезатором, который компенсирует более 3000 ppm в диапазоне температур: -40...+85 °C.

Стойкость к внешним воздействиям также может быть обеспечена за счет выбора материалов. На рис. 4 систематизированы свойства различных материалов, используемых при производстве МЭМС.

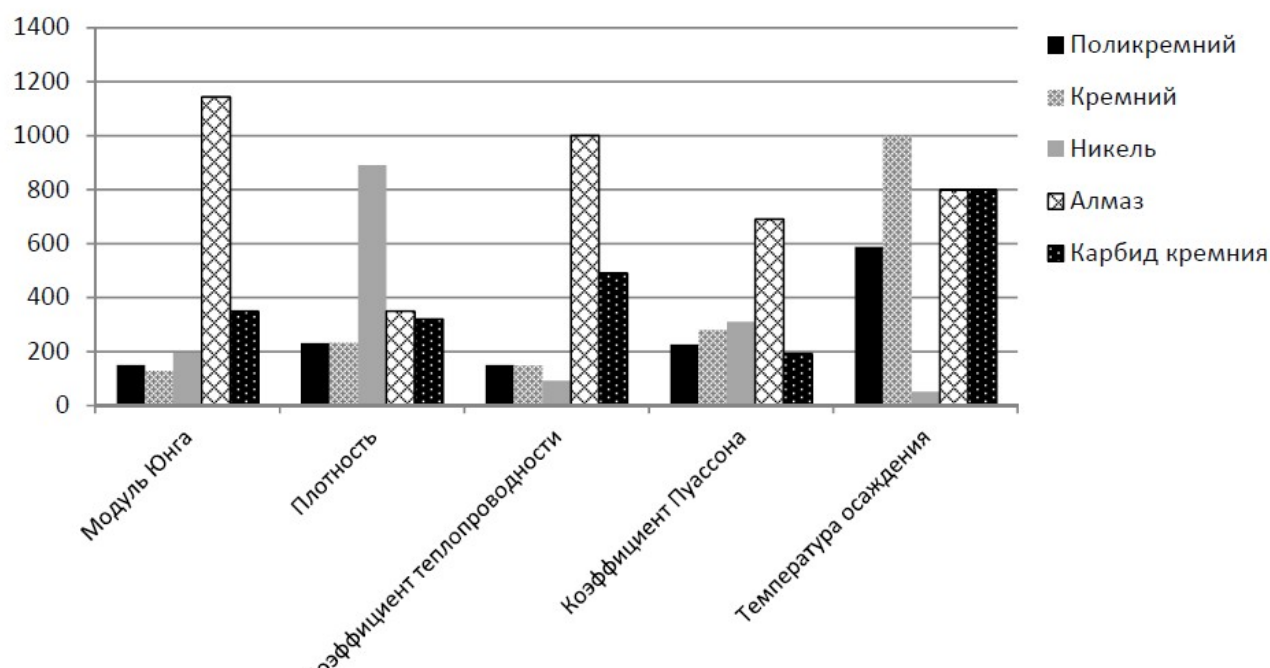


Рисунок 4 – Свойства материалов, используемых при производстве МЭМС

Анализ рис. 4 позволяет сделать вывод, что из рассматриваемых материалов наибольшая плотность у никеля. МЭМС, изготовленные из этого материала, потенциально имеют больший ресурс по устойчивости к радиации. Наибольшие модуль Юнга и коэффициент теплопроводности у алмаза, что позволяет обеспечить потенциальную устойчивость МЭМС, изготовленных из этого материала, к механическим и тепловым воздействиям.

Перспективным также является использование карбида кремния, т.к. у этого материала большая плотность, большой коэффициент теплопроводности и большой модуль Юнга. При относительно невысокой стоимости этого материала МЭМС, изготовленные из карбида кремния, будут потенциально устойчивы к механическим, тепловым и радиационным воздействиям.

Одним из ярких примеров использования МЭМС-резонаторов в электронике является детище компании SiTime – SiT8003. МЭМС генератор SiT8003XT – самый миниатюрный в мире генератор частоты, толщина микросхемы составляет 25% от толщины стандартных кварцевых аналогов. На рис. 5 показаны МЭМС генератор SiT8003XT и кварцевый генератор.

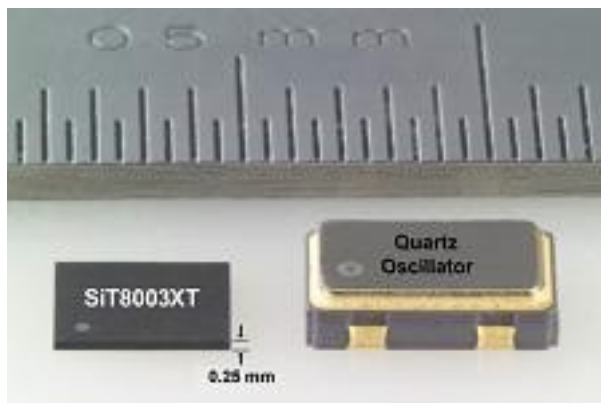


Рисунок 5 – Сравнение размеров МЭМС генератора и кварцевого генератора [5]

Генераторы серии SiT8003 устанавливаются в сверхтонкие пластмассовые SMD корпуса, а особенности МЭМС технологии позволяют добиваться 10-и кратного увеличения надежности и запаса прочности по сравнению с кварцевыми генераторами. Они используются также в таких изделиях, как мобильный телефон Motorola RAZR™, ноутбук Apple MacBook Air, беспроводное устройство чтения книг Kindle 2 и следующее поколение по производительности SIM карт для мобильных телефонов с толщиной в 0.76 мм (HC-SIM).

Заключение

МЭМС генераторы обеспечивают высокую стабильность, низкий уровень шумов, низкое энергопотребление и широкий диапазон частот, по сравнению с кварцевыми. Также у них значительно меньший размер и высокая устойчивость ко всем видам физического воздействия, что позволяет использовать их не только в устройствах для повседневного использования, но и для военной сферы.

МЭМС технологии являются будущим электроники, потому что они позволяют уменьшить размер, энергопотребление не только резонаторов и генераторов, но и других устройств, таких как гироскопы и акселерометры.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 13-07-00073-а).

Литература

1. Негоденко О.Н., Румянцев К. Е., Зинченко Л.А., Липко С.И. Схемотехника, моделирование и применение транзисторных устройств с отрицательным сопротивлением. Таганрог, ТРТУ, 2002. 221 с.
2. Зинченко Л.А. САПР наносистем. М. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 219 с.
3. Basu J., Bhattacharyya T. Microelectromechanical Resonators for Radio Frequency Communication Applications. *Microsystem Technologies* . 2011. No. 10.
4. <http://eltime.ru/images/stories/knowledge/mems-oscillator/>
5. http://catalog.gaw.ru/project/documents/16001_17000/16373/new1.jpg4.
6. Borkowski T., Время перемен: кварцевые генераторы уступают дорогу МЭМС, РадиоЛоцман, №9, 2013г. с. 17-20.

МЕТОДЫ КРЕПЛЕНИЯ ПОДЛОЖЕК НА ОСНОВАНИЯХ КОРПУСОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Егоркин К.С., Кулик Д.В., Москоленко К.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Журавлева Л.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

METHODS OF SUBSTRATES MOUNTING ON BODIES BASES IN MANUFACTURING TECHNOLOGY OF ELECTRONIC EQUIPMENT

Egorkin K.S., Kulik D.V., Moskolenko K.
Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Juravleva L.V.
Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье представлен анализ методов крепления подложек на основаниях различных конструкций корпусов, обеспечивающих не только надежную фиксацию подложек, но и хороший теплоотвод от установленных на них микросхем.

Abstract

This article presents an analysis of substrates attaching methods on the bases of various structure bodies that provide not only reliable fixation of substrates, but also a good heat sink from microcircuits installed on these substrates.

Введение

Одним из основных элементов конструкции гибридных микросхем и микросборок является подложка, на которую устанавливаются и монтируются компоненты и микросхемы [1]. Выбор метода крепления подложек на основания корпусов зависят от требований не только к надежности крепления, но и необходимости обеспечения интенсивного теплоотвода.

Актуальность работы определяется необходимостью разработки технологии лужения подложек микросхем и микросборок при использовании метода пайки подложек на основание корпуса.

Объектом исследования является операция крепления подложек на основания корпусов, которые используются для герметизации изделий электронной аппаратуры, изготовленных по гибридно-пленочной технологии.

Постановка задачи: провести анализ методов крепления подложек на основания корпусов микросхем и микросборок, изготовленных по гибридно-пленочной технологии, и выбрать технологию крепления, обеспечивающую надежное крепление и интенсивный теплоотвод.

Целью работы является определение наиболее технологичного метода крепления подложек, соответствующего требованиям обеспечения надежного крепления и интенсивного теплоотвода.

Научная и практическая новизна работы заключается в применении сегментного лужения обратной стороны подложек при их креплении на основание корпуса методом пайки.

Практическая ценность работы заключается в обеспечении технологичности операции крепления подложек на основания корпусов методом пайки.

Результатом работы являются: анализ методов крепления подложек на основания корпусов и выбор метода, обеспечивающего надежное крепление и интенсивный теплоотвод.

1 Характеристика подложек

Подложка представляет собой квадратную или прямоугольную пластину стандартного размера толщиной 0.2-1.6 мм, на которой размещаются активные и пассивные компоненты, микросхемы, контакты для монтажа и межсоединения. Сторона, на которой производят монтаж, является рабочей.

Материал подложки оказывает сильное влияние на параметры всей микросхемы, поэтому к нему предъявляются особые требования. Он должен обладать высоким удельным электрическим сопротивлением; быть механически прочным при небольших толщинах; быть химически инертным к осаждаемым веществам; иметь высокую физическую и химическую стойкость при нагревании до нескольких сотен градусов; не выделять газов в вакууме; иметь термический коэффициент расширения, возможно близкий к ТКР осаждаемых слоев.

В настоящее время такого материала, который бы обладал комплексом всех перечисленных свойств, нет. Наиболее полно этим требованиям соответствуют некоторые типы стекол и керамики, например: ситалл (СТ50-1), фотоситалл, поликор (99% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$), электровакуумное стекло (С41-1), керамика (22ХС) [2,3].

В таблице 1 приведены некоторые сравнительные характеристики подложек из ситалла и стекла.

Таблица 1 - Сравнительные характеристики подложек из ситалла и стекла

Марка материала	Водопоглощение за 24 часа, %	Температ. коэф. линейного расширения $\times 10^7$ (в интервале темп.) 1/град	Удельное объемное сопротив. при темпер. 20° С, Ом $\times$ см	Диэлект. прониц. при темпер. 20° С и частоте 1 МГц	Тангенс угла диэл. потерь при темп. 20° С и частоте 1 МГц.	Электр. прочность Епр, кВ/мм.
Боросиликатное стекло С48-3; С41-1	Не менее 0,001	48 (20-300)	Не менее 10^{14}	7,1	(12-15) $\times 10^{-4}$	Более 40
Ситалл Ст50-1	Не менее 0,001	50 (20-300)	Не менее 10^{14}	8,3-8,5	(12-20) $\times 10^{-4}$	Более 40

Ситалл представляет собой стеклокерамический материал, полученный кристаллизацией стекла, который обладает целым рядом положительных свойств стекла и керамики и хорошо обрабатывается.

2 Основные методы крепления подложек на основания корпусов

2.1 Крепление подложек методом приклейки

Основными способами крепления подложек являются приклейка и пайка.

Приклейка - процесс соединения деталей посредством клея с образованием неразъемного соединения (рис.1,2).

Приклеивание дает возможность соединять самые разнообразные материалы в различных сочетаниях (от больших до малых толщин), упрощать конструкцию узла, снижать расход металлов, не применять крепежной арматуры и припоев. Клеевые соединения позволяют получать соединительные швы с электроизоляционными, оптическими, токопроводящими и другими заданными свойствами.

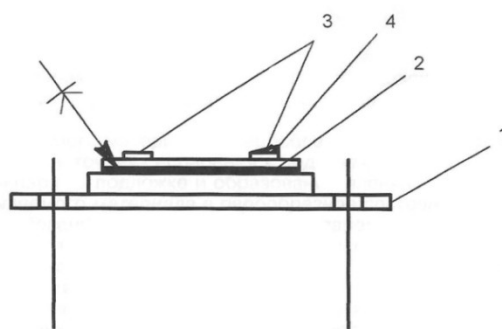


Рисунок 1- Приклейка подложки на основание корпуса со штыревыми выводами: 1 - основание корпуса; 2 - подложка; 3– контактные площадки на подложке; 4 - дефект при приклейке подложки (попадание клея на контактные площадки)

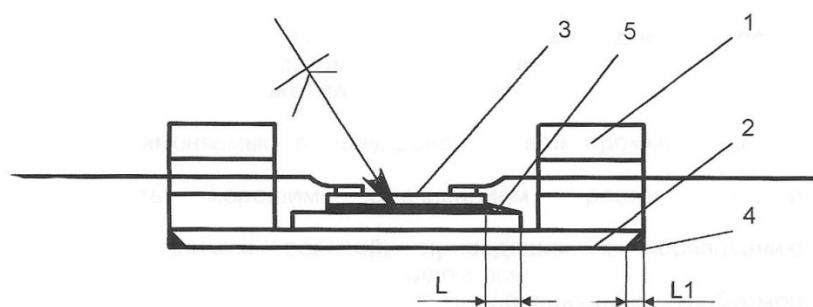


Рисунок 2 - Приклейка подложки на основание корпуса с планарными выводами: 1 - основание корпуса; 2- нижняя крышка корпуса; 3- подложка; 4- сварной шов; 5 - дефект при приклейке (попадание клея в "запретную" зону); L, L1 - зоны под сварку и герметизацию

В основе процесса склеивания лежит явление адгезии, т.е. способность некоторых веществ прилипать к поверхности других материалов. Адсорбционная теория (теория молекулярных сил) объясняет адгезию и когезию (сцепление между молекулами самого клея) главным образом взаимодействием сил Ван-дер-Ваальса, т.е. сил притяжения между незаряженными молекулами склеиваемых тел.

Помимо одного из основных достоинств приклейки, которым является простота, к ее преимуществам также можно отнести и то, что при соединении разных металлов, вследствие изоляционных свойств клея, отсутствует контактная коррозия. Кроме того, благодаря наличию клеевой пленки, затрудняется передача колебаний. Процесс склеивания легко поддается автоматизации, что делает его технологичным и заметно более дешевым по сравнению с другими видами крепления.

К недостаткам процесса приклейки следует отнести незначительную тепловую стойкость клеевых соединений, сравнительно низкую прочность, а также длительность технологического процесса (длительная выдержка при отверждении). Для клеевых соединений недопустимы длительные нагрузки, так как эти соединения склонны к ползучести (текучести). При склеивании необходимо избегать возникновения напряжений после отверждения клеевого шва, так как при появлении напряжения в процессе эксплуатации прибора, клеевые соединения, особенно в условиях тепловых ударов, термических циклов и динамических нагрузок, расслаиваются, растрескиваются и разрушаются вследствие разности термических коэффициентов расширения материалов.

Клеи, используемые для крепления кристаллов и подложек к основаниям корпусов полупроводниковых приборов и микросхем, должны обеспечивать хорошую прочность соединения и сохранение своих физико-химических свойств в диапазоне рабочих температур прибора; иметь термический коэффициент расширения, близкий к термическому коэффициенту расширения склеиваемых материалов; иметь высокую химическую стойкость;

обладать высокими электроизоляционными и оптическими свойствами; иметь степень вязкости, которая обеспечивала бы удобство работы; выдерживать воздействие температуры при последующих технологических операциях.

Клеи выпускают в виде жидких, пастообразных и твердых веществ (прутки, гранулы, порошки, пленки) или нанесенными на подложку (клеящие ленты, ткани и т.д.). Клеи могут быть холодного и зрячего отверждения [3].

Обычно клеи - это композиционные материалы, в состав которых входят связующие вещества, растворители, наполнители, пластификаторы и катализаторы.

Связующая основа обладает клеящими свойствами и обеспечивает необходимую прочность соединения. Растворители определяют вязкость клея, а наполнители (металлические порошки - алюминиевая пудра, нитрид бора, волокнистые материалы и др.) увеличивают прочность, уменьшают усадку, повышают вязкость, металлические порошки вводятся в состав клея для повышения теплопроводности клеевого соединения. Пластификаторы повышают эластичность клеевого слоя, а катализаторы ускоряют процесс отверждения клея.

В зависимости от назначения, клеи делят на конструкционные и неконструкционные. Конструкционные клеи (на основе термореактивных смол) используют для получения прочных соединений, а неконструкционные (на основе термопластичных смол) для внутренних соединений.

Наиболее перспективными являются эпоксидные клеи, отверждающиеся без выделения побочных продуктов. Они универсальны, выдерживают кратковременный нагрев до 430 градусов. Прочность эпоксидных клеев почти не зависит от толщины клеевого слоя, что значительно упрощает их нанесение. Обычно, адгезионные свойства таких клеев выше когезионных. Вследствие малой ползучести, они деформируются под действием длительной нагрузки значительно меньше, чем другие клеи.

В микроэлектронных устройствах для создания электрических контактов применяют токопроводящие клеи (контактолы). Адгезионные свойства таких клеев определяются связующей основой (эпоксидной смолой и др.), а проводимость достигается применением наполнителей (мелкозернистых порошков золота, серебра, меди и др.). Скорость загустения контактолов зависит от состава и количества растворителя. Приготовленный контактол хранят при температуре ниже нуля в парах растворителя.

Удельное сопротивление проводящего эпоксидного клея находится в пределах 0.01 ... 0.0006 Ом x см.

Процесс склеивания состоит из подготовки поверхностей соединяемых деталей; нанесение клея, его подсушивания (открытая выдержка) и отверждения клеевых соединений.

2.2 Подготовка поверхностей соединяемых деталей

Процесс подготовки поверхности склеиваемых деталей должен гарантировать эффективность очистки, в основном, от четырех видов возможных загрязнений:

- физические или механические загрязнения (пыль, ворсинки, различные частицы, химически не связанные с поверхностью);
- химически связанные с поверхностью загрязнения (окисные и другие пленки, образующиеся при хранении, а также при химической и термической обработке);
- загрязнения в виде органических соединений (масло, жир, воск, отпечатки пальцев);
- ионные загрязнения (от предварительной химической обработки в щелочах, кислотах, продукты дыхания, остатки флюса).

Существует четыре основных метода удаления загрязнений с поверхностей склеиваемых деталей:

- растворение (например, растворение NaCl в H₂O);
- эмульсирование (например, отделение с помощью щелочи, жировой пленки с образованием эмульсии);

- химическое воздействие, превращающее загрязнения в растворимые продукты, которые затем могут быть удалены промывкой (например, удаление окислов металлов кислотой);

- механическое воздействие, удаляющее частицы загрязнений потоком жидкости или газа (например, удаление пылинок с помощью ультразвука, струи жидкости или пара).

Признаком чистой и хорошо смачиваемой поверхности является хранение на ней сплошной пленки воды в течение 1 ... 2 мин.

2.3 Нанесение клея

Нанесение клея на поверхности склеиваемых деталей осуществляется кисточкой, пульверизатором, погружением или с помощью дозаторов. Используется трафаретная и офсетная печать, клей или клеевая паста продавливается ракелем через шаблон. Для вязких клеев применяют накатывание. Толщину наносимой пленки клея берут в пределах 0.05 ... 0.25 мм. При более толстых пленках наблюдается значительное уменьшение прочности соединения.

Контакты наносят с помощью шприца, что позволяет дозировать количество клея. Это важно для обеспечения высокого качества контактного соединения. Если капля окажется слишком большой, то она может не затвердеть после высыхания наружной области. Такое же явление произойдет при быстрой горячей сушке (при температуре 75 градусов) без выдержки на воздухе в течение одного часа.

2.4 Контроль качества клеевых соединений

Показателями качества клеевых соединений являются предел прочности при сдвиге и наличие дефектов при визуальном контроле.

Предел прочности на сдвиг определяется по следующей формуле:

$$t = P/F$$

где P - разрушающая сила; F - площадь склеивания. При монтаже подложек на основание корпуса контроль предела прочности на сдвиг не проводится.

Визуальный контроль качества проводится с использованием микроскопов при 16-ти кратном увеличении.

Характерными дефектами клеевых соединений при визуальном контроле являются попадание клея на КП подложки и в зоны под сварку и герметизацию оснований корпусов и смещение подложки.

Контроль качества приклейки подложек проводится до и после сушки. Перед сушкой удаляются излишки клея и устраняются упомянутые выше дефекты. После сушки дефектные изделия бракуются.

На качество клеевых соединений большое влияние оказывают режимы технологического процесса (температура, время, давление при склеивании), а также шероховатость и неплоскостность оклеиваемых поверхностей, толщина пленки клея и физико-химические свойства клеевой пленки.

2.5 Крепление подложек методом пайки

Вторым, не менее популярным в производстве, способом крепления подложек является пайка.

Пайкой называется процесс получения неразъемного соединения материалов путем нагрева ниже температуры расплавления каждого из них в результате смачивания, растекания и заполнения зазора между ними расплавленным припоем и сцепления их при кристаллизации шва.

Способы пайки можно классифицировать по механизму образования паяного соединения или по разновидностям технологии, связанным с применяемыми для нагрева источниками тепла.

К преимуществам пайки относятся:

- отсутствие расплавления и сравнительно невысокий нагрев паяемого металла, что обеспечивает неизменность его химического состава;
- сохранение структуры и механических свойств;
- в большинстве случаев соединения имеют хороший внешний вид и не нуждаются в какой-либо последующей обработке;
- сохраняются точные размеры и форма изделий и получаются прочные и герметичные соединения.

К недостаткам метода соединения деталей пайкой относятся:

- неоднородность паяного соединения вследствие наличия окисных пленок на исходных деталях;
- необходимость применения флюсов, загрязняющих кристалл полупроводника;
- достаточно высокий разогрев кристалла при пайке (200-600С).

Припоями называют сплавы и чистые металлы, которые предназначены для присоединения деталей методом пайки и для горячего лужения металлических и металлизированных поверхностей [3].

Припои, применяемые в полупроводниковой промышленности, должны обладать хорошим смачиванием, растеканием и жидкотекучестью; давать минимум реакций, приводящих к образованию интерметаллических соединений с металлом основы; обеспечивать получение швов, обладающих требуемой механической прочностью и пластичностью, особенно в условиях несогласованных спаев; иметь температуру плавления обязательно ниже температуры "давления паяемых изделий; обладать достаточно высокими прочностью и пластичностью; иметь термический коэффициент расширения, не отличающийся резко от ТКР основного металла; в паре с паяемым металлом быть коррозионно устойчивыми; иметь высокие теплопроводность и электропроводность, если припои применяются для пайки токопроводящих изделий; не быть по своему составу дефицитными и чрезмерно дорогими [1].

Припои подразделяются на два класса: низкотемпературные с температурой плавления ниже 400С (главным образом индиевые, свинцово-оловянные) и высокотемпературные с температурой плавления выше 400С (преимущественно на медной, серебряной и золотой основах). Низкотемпературные припои (мягкие припои) хорошо смачивают соединяемые металлы, процесс пайки с их использованием довольно прост, но они не дают прочных соединений. Пайка высокотемпературными (твердыми) припоями позволяет получать весьма прочные соединения, но предъявляет повышенные требования к точности изготовления соединяемых деталей.

В качестве мягких припоев, в основном применяют оловянно-свинцовые припои с добавками других металлов. Применяемый наиболее часто припой ПОС-61 (содержащий 61% олова и 39% свинца) обеспечивает высокую герметичность, наилучшую среди других оловянно-свинцовых припоев, растекаемость и узкий температурный интервал затвердения.

В качестве твердых припоев применяют припои на основе серебра (припой марки Пср). Серебро в припоях обеспечивает хорошую смачиваемость основных металлов, хорошую электро- и теплопроводность паяных соединений, высокую антикоррозийную стойкость, образует прочные и чистые швы. Основные свойства припоев приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные свойства припоев

Марка припоя	Химический состав, %						Температура кристаллизации, С	
	Sn	Pb	Ag	Cd	Cu	Zn	начало	конец
Мягкий припой: ПОС-61	61	39	-	-	-	-	183	183
Твердые припои:								
Пср 50	-	-	50	-	50	-	850	779
Пср 50Кд	-	-	50	18	16	16	650	635
Пср КдМ 50-34-16	-	-	50	34	16	-	675	625

Для получения качественной пайки необходимо, чтобы расплавленный припой хорошо смачивал поверхность паяемого металла. Качество смачивания зависит от чистоты смачиваемой поверхности, наличия или отсутствия на ней окисных пленок и от характера физико-химического взаимодействия между припоем и твердым металлом. Для улучшения условий смачивания применяют флюсы.

Флюсы представляют собой неметаллические вещества, служащие для удаления окисной пленки с поверхности припоя и паяемого материала, для предотвращения образования этой пленки при пайке, а также для снижения поверхностного натяжения припоя.

По выполняемой роли флюсы разделяют на две группы: защитные и активные. Защитные флюсы предохраняют детали от окисления, а активные - восстанавливают окислы. В качестве защитных флюсов наиболее часто применяют канифоль и ее спиртовые растворы. Канифоль относится к слабоактивным флюсам, поэтому при ее применении паяемое соединение должно тщательно обезжириваться. Остатки канифольного флюса не поглощают влаги и не вызывают коррозии места пайки. Особенно часто используют флюсы на основе канифоли марок ФКСп, ФПЭт, ФКТС, ЛТИ-120. Активными флюсами служат химические вещества - хлористый цинк ($ZnCl_2$) и хлористый аммоний (NH_4Cl) [2].

Существенное влияние на процесс пайки оказывает состояние поверхности паяемых материалов. Для получения механически прочного соединения необходимо, чтобы место пайки было тщательно очищено от грязи, жиров, продуктов коррозии и окисных пленок, которые сильно мешают растеканию припоя и проникновению его в шов.

Очистка деталей достигается различными способами: обезжириванием, травлением, полированием, промывкой в воде и отжигом в восстановительной атмосфере или в вакууме. Выбор способа определяется характером загрязнений, свойствами материала и конфигурацией деталей.

При монтаже неметаллических подложек методом пайки на поверхность подложки наносится тонкая металлическая пленка. Основными методами получения тонких металлических пленок на поверхности подложек являются термическое напыление (испарение) в вакууме и ионное распыление.

Далее металлизированную и очищенную от загрязнений подложку облуживают методом погружения в расплавленный припой (формируют слой полуды). В зависимости от метода металлизации, применяемого на более ранних этапах технологического процесса, различают сплошное и сегментное лужение. При сплошном лужении слой полуды, наносимый на поверхность подложки, представляет сплошную пленку, которая осаждается на всей металлизированной поверхности.

Основным недостатком такого метода лужения является то, что из-за наличия сил поверхностного натяжения слой полуды принимает выпуклую форму (рис.3). Как следствие, характерным дефектом паяного соединения при монтаже подложек являются непропаи по периметру подложки, растрескивание подложки по углам и смещение подложки.

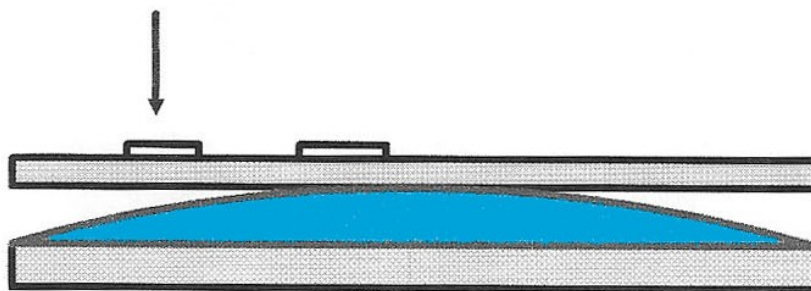


Рисунок 3 – Сплошное лужение подложки

При сегментном лужении припой осаждается на металлизированных участках подложки (сегментах). При этом методом лужения является разномысность припоя на различных сегментах поверхности подложки (рис. 4).

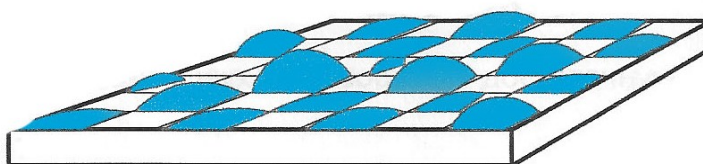


Рисунок 4 – Сегментное лужение подложки

Качество лужения оценивается визуальнo под микроскопом при 16-ти кратном увеличении.

Пайка подложек может проводиться с помощью неподвижного источника тепла (стационарный нагреватель) или подвижного источника тепла (конвейерные печи) в инертной среде.

Заклучение

По результатам анализа методов крепления подложек на основания корпусов различных конструкций следует, что для обеспечения надежного крепления и интенсивного теплоотвода целесообразно использовать сегментную пайку с предварительным лужением подложек.

Литература

1. Гимпельсон В.Д. Тонкопленочные микросхемы для приборостроения и вычислительной техники. - М.:Машиностроение, 1976.- 328с.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники.- М.: Лаборатория базовых знаний, 2000.- 218с.
3. Журавлева Л.В. Электроматериаловедение: учебник для нач. проф. Образования.- 9-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2013.- 352с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МИКРОАКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА

Филиппов И.А.

Научный руководитель: д.т.н., проф. Зинченко Л.А., к.т.н., доцент Лавров А.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

MEMS SENSOR DESIGN FOR SECURITY SYSTEMS

Filippov I.A.

Supervisor: Prof., Dr. Zinchenko L. A., As. Prof., Dr. Lavrov A. V.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы моделирования и проектирования распределенных МЭМС на основе множества Кантора. Показано, что эти системы могут быть использованы в системах контроля доступа в помещение.

Annotation

In the paper modeling and design of distributed MEMS using Cantor sets are discussed. It is shown that the systems can be used to design security systems

Введение

Объект исследования и предметом исследования являются МЭМС и их применение в системах контроля доступа в помещение. Целью исследования является применение распределенных МЭМС в охране помещений. Актуальность данных исследований, очень высока, так как применение МЭМС в будущем будет только расти.

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) - устройства, основанные на микроэлектронных и микромеханических свойствах [2]. Механической частью системы может являться компонент: микрозеркало, инерциальный датчик, датчик давления и т.д.

Существует много различных видов МЭМС, которые применяются во многих отраслях науки и техники. Наиболее широко распространены такие виды, как гироскопы и акселерометры, чаще всего которые можно встретить в мобильных устройствах и планшетах. Обычно МЭМС делят на два типа: сенсоры – измерительные устройства, которые переводят те или иные физические воздействия в электрический сигнал, и актюаторы (исполнительные устройства) – системы, которые занимаются обратной задачей, то есть переводом сигналов в те или иные действия. Одним из интересных вариантов использования МЭМС является его применение в жестких дисках, улавливая момент, когда жесткий диск может подвергнуться повреждению из-за удара и паркуют головки диска. В фототехнике использование датчиков движения не менее актуально – именно на их основе работают системы стабилизации изображения. На рисунке 1 приведен пример МЭМС гироскопа.

МЭМС технология может быть реализована с использованием целого ряда различных материалов и технологий производства, выбор которых будет зависеть от создаваемого устройства и рыночного сектора, в котором он должен работать [3].

Современные МЭМС представляют собой сформированные на единой подложке датчики, актюаторы, схемы управления с размерами элементов от нескольких сотен до нескольких единиц микрон. Но в отличие от микросхем, МЭМС, как правило, имеют трехмерную структуру. Для их изготовления используют технологические операции, полностью или частично позаимствованные у микроэлектроники: окисление, фотолитографию, травление, легирование, металлизацию, создание контактов, резку и т.п. Разработаны и специальные технологические операции, например химическое анизотропное травление (как правило, сухое), позволяющее формировать структуры в гальванически выращенных толстых металлических слоях. Освоены процессы селективного травления в

зависимости от концентрации примеси, метод анодной сварки или плавления для соединения пластин кремния.

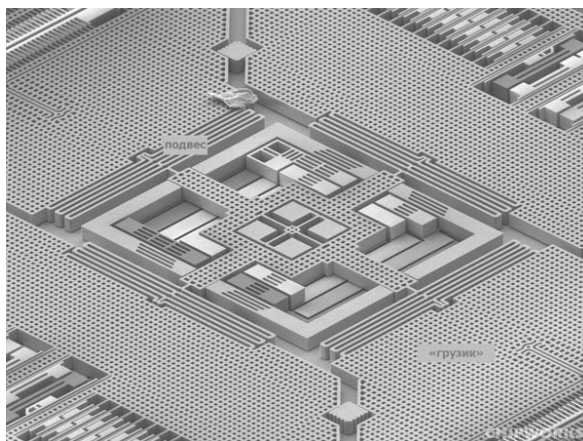


Рисунок 1 - Гироскоп L3G4200D производства ST Microelectronics [6]

Базовым материалом для микромеханических приборов, как и для полупроводниковых приборов, служит кремний. Это объясняется наличием на рынке кремниевых пластин высокой степени чистоты и кристаллографического совершенства. Выполненные на кремнии МЭМС легко объединяются с электронными устройствами управления и обработки данных. К тому же монокристаллический кремний известен своими превосходными механическими характеристиками. Сегодня 95% микро электромеханических приборов изготавливают на кремниевых пластинах диаметром 100 мм, но в ближайшее время планируется перейти на 150-мм пластины.

Используя методы изготовления и материалы микроэлектроники в качестве основы, в МЭМС присутствуют как механические, так и электрические компоненты. Механические компоненты в МЭМС, как транзисторы в микроэлектронике, имеют размеры, которые измеряются в микронах и насчитывают от нескольких до миллионов.

Одним из немало важных плюсов МЭМС технологии, является на данный момент ее изготовление. Традиционные технологические циклы изготовления интегральных схем, адаптированные для создания трехмерных механических структур (объемная микро обработка, поверхностная микро обработка и технология LIGA) [3].

Кремниевая объемная микрообработка включает технологию глубинного объемного травления. При таком процессе объемная структура получается внутри подложки благодаря ее анизотропным свойствам, т. е. различной скорости травления кристалла в зависимости от направления кристаллографических осей. Объемную структуру можно получить и методом наращивания, когда несколько подложек сплавляются и образуют вертикальные связи на атомарном уровне.

При поверхностной микромеханической обработке трехмерная структура образуется за счет последовательного наложения основных тонких пленок и удаления вспомогательных слоев в соответствии с требуемой топологией. Преимущество данной технологии - возможность многократного удаления (растворения) вспомогательных слоев без повреждения взаимосвязей базовых слоев. А главная ее особенность состоит в том, что она совместима с полупроводниковой технологией, поскольку для микрообработки используется обычная КМОП-технология.

Название технологии LIGA [3] означает комбинацию рентгеновской литографии, гальванотехники и прессовки (формовки). Здесь толстый фоторезистивный слой подвергается воздействию рентгеновских лучей с последующим гальваническим осаждением высоко профильных трехмерных структур. Сущность процесса заключается в использовании рентгеновского излучения от синхротрона для получения глубоких, с отвесными стенками топологических картин в полимерном материале. Излучение синхротрона имеет сверхмалый угол расходимости пучка. Источником излучения служат

высокоэнергетические электроны (с энергией более 1 ГэВ), движущиеся с релятивистскими скоростями. Глубина проникновения излучения достигает нескольких миллиметров. Это обуславливает высокую эффективность экспонирования при малых временных затратах. Считается, что данная технология обеспечивает наилучшее отношение воспроизводимой ширины канала к его длине при минимальных размерах.

Одним из перспективных направлений является переход к распределенным МЭМС («умная пыль») [1]. Это структура, характеризующаяся полным отсутствием механических связей между элементами, с активным (собственный привод, движитель) или пассивным (движение в потоке газа, жидкости) пространственным перераспределением элементов. Возможны эпизодические непосредственные информационные связи, наиболее вероятно общение и управление через центральное управляющее звено. В основном — асинхронная деятельность элементов. Области применения — наблюдение за погодой (пыль разбрасывается с самолета), аэро и гидродинамические измерения в потоках, диагностические и ремонтные работы внутри трубопроводов, работающих двигателей, горячих зон, «тараканы» для уборки и сортировки мусора.

МЭМС «пыль» [1] раздвигает вычислительные границы в области создания вычислительных сетей. Некоторые частицы «пыли» могут не работать и их нужно активировать в любой момент времени. Отдельные узлы нужно найти, определить, кто их соседи, координировать действия с друг другом, и взять на себя задачи, такие как распределенные акустического зондирования и локализации звука, которые требуют координации множества частиц. Умная пыль стирает различие между распределенными вычислениями (с помощью моделей клиент-сервер) и параллельных вычислений (SIMD и VLIW). Параллельные вычисления включают в себя непосредственную временную синхронизацию среди процессов, которые происходят в наборе процессоров расположенных совсем рядом друг с другом. Распределенное вычисление, с другой стороны, обычно связаны с процессами, которые происходят в отдаленных местах, и поэтому синхронизация и обмен результатами происходят гораздо реже.

Распределенные МЭМС требуют новых образцов процессов вычисления, которые поддерживают высокую степень синхронизации на довольно больших расстояниях для того, чтобы позволить приложениям, например, локализации звука, которые требуют жесткой синхронизации, сопоставлять сведения о событиях в окружающей среде в реальном времени.

МЭМС применялись для контроля доступа в помещение в качестве исследования помещений на возможность прослушивания [2].

В данной статье будет рассмотрена возможность применения «умной пыли» в качестве системы датчиков для контроля доступа в помещение.

За счет своих преимуществ подобные системы можно применять в охранных системах. Датчики расположенные по всему периметру помещения могут быть легко скрыты за счет своих размеров. Синхронизация же требуется в рамках отдельного участка возможного проникновения в помещение, на пример окно или дверь. В дальнейшем информация будет обрабатываться на сервере и возможность ложного сигнала одного из датчиков можно исключить математическими алгоритмами, но как сказано выше, только в рамках одной из подсистем (окно или дверь), система же в целом, т.е. все помещение, должна быть синхронизирована максимально быстро.

2 МЭМС акселерометры

В данной работе рассматривается проектирование микроакселерометра. Акселерометр - прибор, измеряющий проекцию ускорения (разность между абсолютным ускорением объекта и гравитационным ускорением). Существуют несколько видов акселерометров. Их различают по чувствительным элементам и принципу действия: емкостной, пьезоэлектрический, пьезорезистивный и др.

Существуют различные варианты акселерометров, например, со встроенной системой сбора и обработки информации. Это значительно упрощают конструкцию системы, и позволяет измерять ускорения и вибрации со всеми внутренними элементами.

Акселерометр может применяться как для измерения проекций абсолютного линейного ускорения, так и для косвенных измерений проекции гравитационного ускорения. Последнее свойство используется для создания инерциальных навигационных систем, где полученные с их помощью измерения интегрируют, получая инерциальную скорость и координаты носителя, при регистрации амплитуд выше собственной резонансной частоты можно измерять непосредственно собственную скорость акселерометра.

Вместе с гироскопом, акселерометр является важной составляющей навигации (системы управления траекторией движения).

Сегодня наиболее распространены датчики движения. Существуют несколько их видов, основанных на разных принципах емкостной, пьезоэлектрический, пьезорезистивный и др. [2].

Емкостные датчики основаны на конденсаторном принципе. Подвижная часть системы – классический грузик на подвесах. При наличии ускорения грузик смещается относительно неподвижной части акселерометра. Обкладка конденсатора, прикрепленная к грузику, смещается относительно обкладки на неподвижной части. Емкость меняется, при неизменном заряде меняется напряжение – это изменение можно измерить и рассчитать смещение грузика. Откуда, зная его массу и параметры подвеса, можно найти и искомое ускорение. На практике, МЭМС-акселерометры устроены таким образом, что отделить друг от друга составные части – грузик, подвес, корпус и обкладки конденсатора – не так-то просто. Особенностью МЭМС и является, что совмещается все в одном устройстве.

Помимо датчиков, основанных на конденсаторном принципе, существуют МЭМС акселерометры, использующие пьезоэффект. Вместо смещения обкладок конденсатора, в акселерометрах такого типа происходит давление грузика на пьезокристалл. Под воздействием деформации пьезоэлемент вырабатывает ток. Из значения напряжения, зная параметры системы, можно найти силу, с которой грузик давит на кристалл – и, соответственно, рассчитать искомое ускорение.

Конструктивно датчики движения или акселерометры достаточно просты. В зависимости от своей конструкции они могут состоять из корпуса, грузиков или подвижных масс, интерферометров и подвесов. Пример акселерометра на рисунке 2.

Датчики, выполненные по технологии МЭМС, изготавливаются с помощью тех же технологических приемов, что и интегральные микросхемы. Акселерометр и гироскоп состоит из двух ключевых элементов:

- МЭМС-кремниевый микромеханический сенсора, чувствительного к ускорению или повороту;
- схемы обработки сигнала, преобразующей выходные сигналы этого сенсора в аналоговые или цифровые сигналы.

Для снижения стоимости и увеличения надежности, чаще всего все это выполняется в одном корпусе.

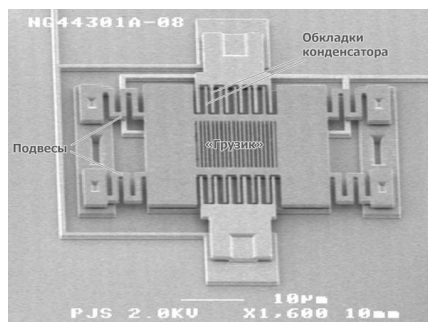


Рисунок 2 – МЭМС акселерометр разработки Sandia Labs [6]

В данной работе будут рассмотрены несколько аналогов МЭМС акселерометров разных фирм. Характеристики микроакселерометров приведены в таблице 1. Первый акселерометр фирмы ANALOG DEVICES – ADXL001. Данный акселерометр, обеспечивает высокую производительность и широкую полосу пропускания. Идеально подходит для использования в промышленных, медицинских и военных отраслях, где широкая полоса пропускания, малый размер, низкое энергопотребление, и надежная производительность являются главными характеристиками.

Таблица 1 Характеристики микроакселерометров

Модель	Диапазон ускорений (g)	Чувствительность (mV/g)	Погрешность (%)	U питания (В)	Ток (μA)	Размер (мм)	Диапазон температур (°C)
ADXL001	±70 ±250 ±500	16	4	3...6	700	5x5 LCC	-40...+125
ADXL350	±2 ±4 ±8	256 LSB/g	5	2,0...3,6	166	-	-40...+85

Использование ADXL001, обеспечивает желаемый динамический диапазон, который варьируется от ± 70 g до ± 500 g. Выходной канал акселерометра проходит через широкие полосы частот в дифференциально- несимметричном преобразователе, который позволяет получить доступ к полной механической характеристике датчика. Напряжение питания от 3,3 В до 5 В. ADXL001 также имеет режим самотестирования (ST), который позволяет проверить электромеханическую цепь сигнала. ADXL001 доступен в 8 -выводном LCC корпусе, промышленного стандарта и рассчитан на работу в расширенном промышленном температурном диапазоне (от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$). Цена 14\$. Количество осей 1.

ADXL350 имеет высокую производительность, и небольшой тонкий корпус. Обладает низким энергопотреблением. Является 3 - осевым акселерометром с высоким разрешением и по выбору диапазонов измерений до ± 8 g. Вывод цифровых данных форматируются как 16-разрядные в дополнительном коде и доступны либо через SPI (3 или 4-проводной) или с цифровым интерфейсом I2C.

ADXL350 хорошо подходит для высокопроизводительных портативных приложений. Он измеряет статическое ускорение силы тяжести в наклоне, а также динамическое ускорение в результате движения. Его высокое разрешение (2 мг / LSB) позволяет измерить наклон меньше $1,0^{\circ}$. Несколько специальных функций определяют наличие или отсутствие движения, и если ускорение на любой оси превышает уровень, заданный пользователем. Определяет свободное падение. Эти функции могут быть отображены на одном из двух выходных контактов прерывания. Цена 4.57\$.

Сравнив 2 микроакселерометра фирмы Analog Devices, были рассмотрены такие параметры, как чувствительность и амплитудный диапазон, из этих характеристик можно сделать вывод о различных применениях микроакселерометров. В данной работе микроакселерометр рассматривается в рамках охраны помещения и соответственно для обеспечения всех параметров, разрабатываемое устройство должно быть близко по своим характеристикам к микроакселерометру ADXL001.

3 Моделирование и проектирование распределенных МЭМС

Один из возможных вариантов конструкции чувствительного элемента представлен на рис. 4.

Моделирование чувствительного элемента сенсора проводилось в ПО ANSYS Workbench [4]. Полученные модель и результаты деформации, а так же график и полученные значения приведены в таблице 2 и на рисунках 3-5.

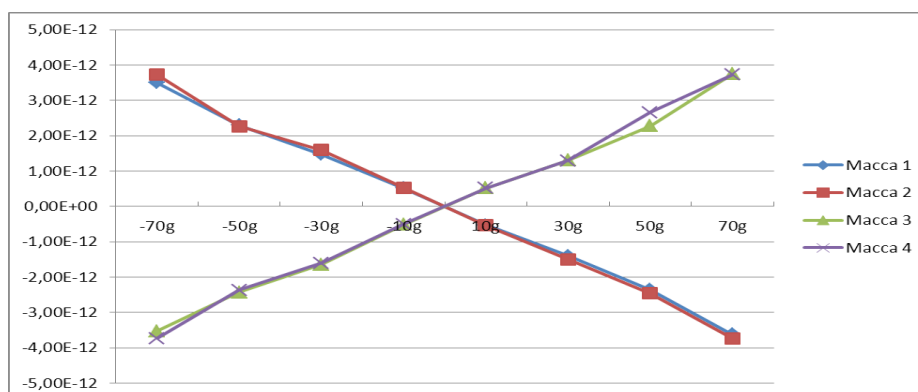


Рисунок 3 – График смещения по оси X

Основной проблемой является сложность синхронизации такой системы и обработки полученных данных, исключение неправильных и ложных срабатываний, правильный выбор материала и конструкции.

Распределенный чувствительный элемент может быть построен на основе фракталов [5]. На рисунке 6 показан пример множества Кантора. Классическое множество Кантора или пыль Кантора, названо по имени Георга Кантора, который описал его в 1883 году. Это множество известно как пример множества нулевой меры Лебега, чья мощность равна мощности континуума. Построение классической пыли Кантора начинается с выбрасыванием средней трети (не включая концы) единичного отрезка. Исходное множество есть отрезок (0,1), и первый шаг состоит в удалении открытого интервала (1/3, 2/3). На следующем и всех остальных шагах выкидываем среднюю треть (не включая концы) всех отрезков текущего уровня. Таким образом, получается последовательность множеств. На рисунке 7 приведен пример построения распределенной пыли, как пыли Кантора.

Таблица 2 – Зависимость смещения от ускорения (по оси X)

Ускорение, g	-70g	-50g	-30g	-10g	10g	30g	50g	70g
Смещение массы 1, м	3,50E-12	2,30E-12	1,47E-12	5,21E-13	-5,21E-13	-1,39E-12	-2,35E-12	-3,62E-12
Смещение массы 2, м	3,73E-12	2,26E-12	1,60E-12	5,33E-13	-5,33E-13	-1,50E-12	-2,46E-12	-3,73E-12
Смещение массы 3, м	-3,52E-12	-2,43E-12	-1,64E-12	-5,15E-13	5,16E-13	1,30E-12	2,27E-12	3,74E-12
Смещение массы 4, м	-3,73E-12	-2,36E-12	-1,60E-12	-5,03E-13	5,23E-13	1,30E-12	2,66E-12	3,73E-12

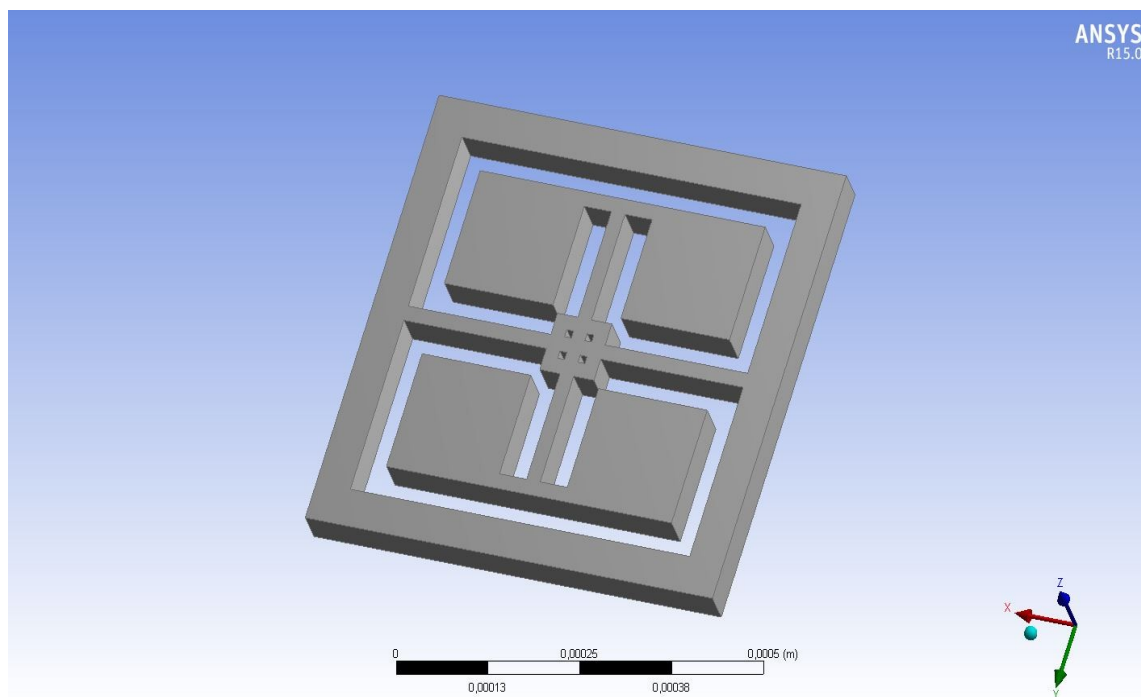


Рисунок 4 – 3D модель чувствительного элемента микроакселерометра

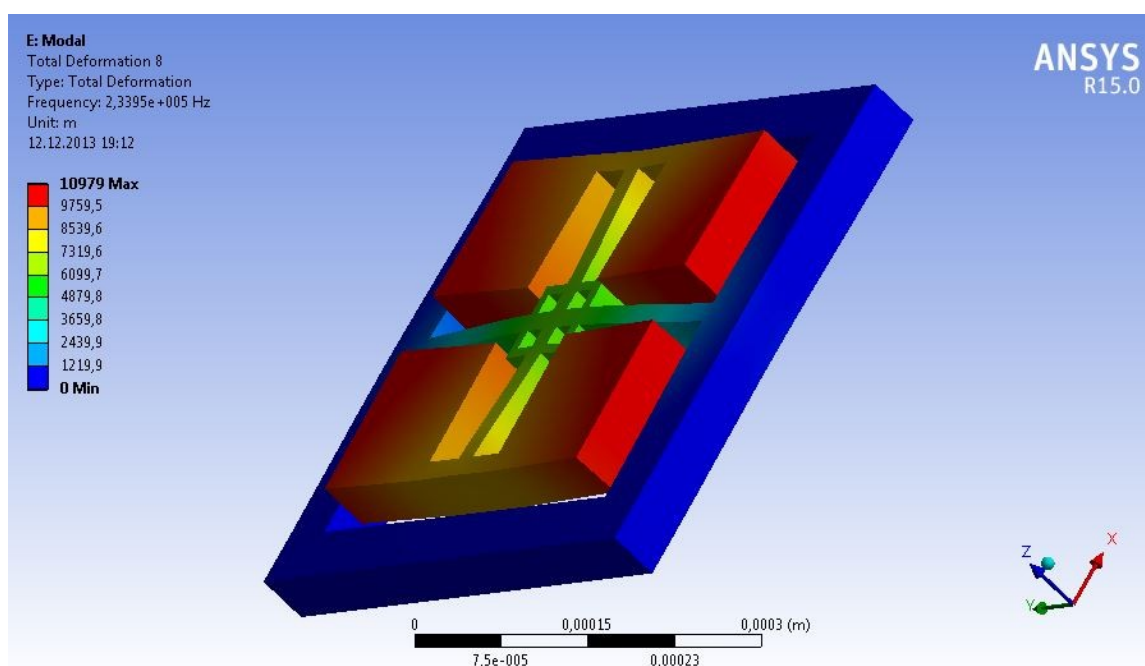


Рисунок 5 – Деформация при ускорении

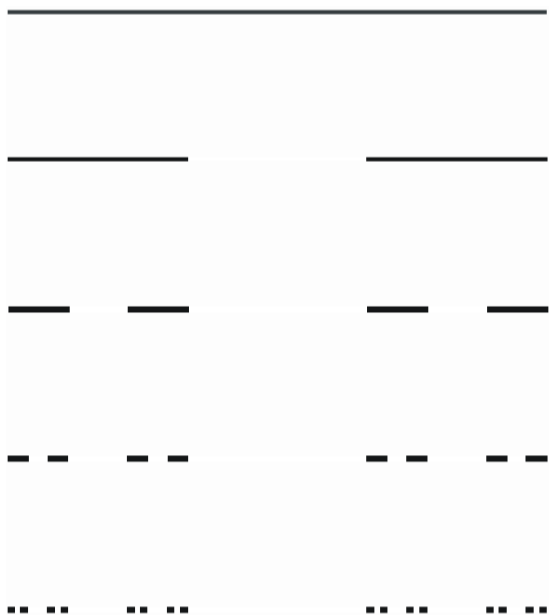


Рисунок 6 – Пример множества Кантора

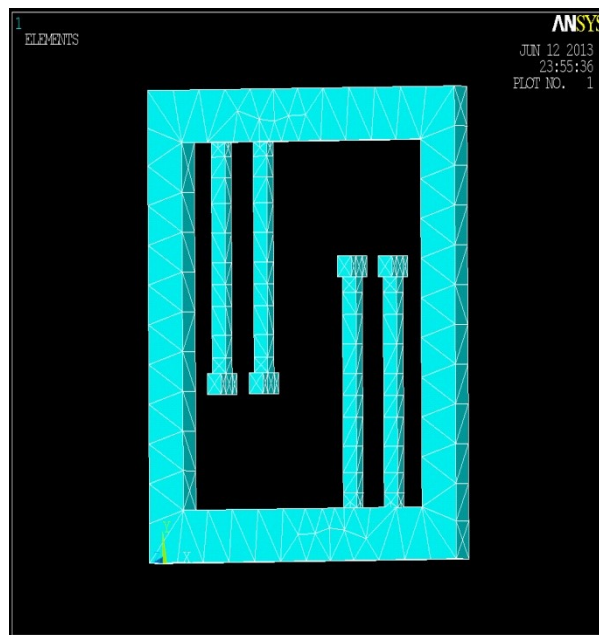


Рисунок 7 – Пример устройства МЭМС

При проектировании микроакселерометра, базирясь на данном множестве, мы можем увеличить число интерферометров, тем самым, увеличив характеристики, такие как чувствительность и повысив эффективность устройства.

Заключение

В данной работе рассмотрены основные виды МЭМС, указаны их свойства и их классификация, рассмотрели их применение, а так же был рассмотрен пример применения фракталов при проектировании МЭМС.

Указаны основные достоинства данной технологии. Приведены примеры чувствительных элементов МЭМС акселерометров.

Был рассмотрен пример применения «умной пыли», ее сложности и недостатки. Обсуждена возможность ее применения при охране помещений. Данная тема требует дальнейших исследований и экспериментов, т.к. МЭМС в таком виде еще не применялось в защите помещений, а лишь в исследованию их на акустические свойства.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 13-07-00073-а).

Литература

1. Distributed MEMS: New challenges for computation - Berlin A.A. - IEEE Computational Science & Engineering, 1997, v.4, N1, с. 5
2. А. Васенков, В. Епифанова, В. Юдинцев Микроэлектромеханические приборы. Настало время выходить в свет. — Электроника НТБ. Выпуск #5-6/1998
3. Микроэлектромеханические системы (MEMS), С. Р. Poole, F. J. Owens, Introduction to Nanotechnology Wiley-Interscience 2003, с. 400.
4. Зинченко Л.А. САПР наносистем. М. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 219 с.
5. Shakhnov V., Makarchuk V., Zinchenko L., Verstov V. Heterogeneous knowledge representation for VLSI systems and MEMS design // Proc. IEEE 4th International Conference CogInfoCom'13, Hungary. с.189-194.
6. А.Дрожжин. MEMS: микроэлектромеханические системы, часть 1 // Интернет портал «3dnews». – (18 октября 2010)

СРАВНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДИК ДЛЯ СБОРКИ КУБИКА РУБИКА

Фирян А.А., Пасканний С.А.

Научный руководитель: Власов А.И.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

COMPARING OF LOGICAL METHOD RUBIK'S CUBE

Firyan A.A. Paskanniy S.A.

Supervisor: Vlasov A. I.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются две методики по сборке кубика Рубика. Они исследованы по нескольким параметрам. Кратко представлены алгоритмы каждой из методик, однако, будут указаны источники, где можно будет их посмотреть. В заключении будут представлены рекомендации по выбору методики.

Annotation

This article is about two methods for assembling the Rubik's Cube. They were studied by several parameters. Algorithms for each of the methods are briefly presented, however, sources where you will see methods will be given. In conclusion you will see recommendations for choosing methods.

Введение

Кубик Рубика — механическая головоломка, изобретённая в 1974 году (и запатентованная в 1975 году) венгерским скульптором и преподавателем архитектуры Эрне Рубиком.

Головоломка представляет собой пластмассовый куб ($3 \times 3 \times 3$). Кубик Рубика состоит из 27 элементов, способных вращаться вокруг 3 внутренних осей куба. Каждая грань состоит из девяти квадратов и окрашена в один из шести цветов, в одном из распространённых вариантов окраски, расположенных парами друг напротив друга: красный — оранжевый, белый — жёлтый, синий — зелёный; но в различных вариантах Кубика Рубика грани окрашены в разные цвета совершенно различным образом. Повороты граней позволяют отсортировать цветные квадраты множеством различных способов. Задача заключается в том, чтобы «собрать кубик Рубика»: поворачивая грани куба, вернуть его в первоначальное состояние, когда каждая из граней состоит из квадратов одного цвета.

В данной теме будут исследованы две методики для сборки кубика Рубика, которые будут сравнены по нескольким параметрам. Первый — время, затрачиваемое на сборку куба; второй — количество алгоритмов, требуемых для запоминания в рассматриваемой методике, и, наконец, количество движений, необходимых для решения головоломки.

Исследование является актуальным, так как в процессе сравнения методик развивается память (как зрительная, так и тактильная), пространственное мышление, а также концентрация внимания и быстрота реакции.

Цель работы — показать преимущества и недостатки каждой из методик. Указав все плюсы и минусы методик, можно решить задачу выбора методики для людей, которые только учатся собирать куб.

При разборе методик будем полагать, что при сборке совершается 3 движения в секунду. Не будет учитываться реакция человека. Также не будет учитываться время, которое уходит на определения случая, то есть, заканчивая алгоритм, мы определяем следующий случай и решаем его.

Введем некоторые сокращения:

- First two layers – F2l;
- Orientation of the last layer – Oll;
- Permutation of the last layer – Pll.

Первая методика – “Old Pochmann”. Ее идея состоит в том, чтобы ставить на свое место по одному угловому или ребрному элементу за алгоритм, постоянно меняя два элемента друг с другом. Один из них всегда фиксирован (и называется буфером), за один алгоритм этот элемент ставится на своё место (за исключением внедрения в новый цикл). Два элемента меняются при помощи установочных ходов и используемых алгоритмов. Поскольку в кубике 3x3x3 невозможно поменять два угла, то во время сборки углов одновременно с этим приходится менять и два ребра, а во время сборки рёбер - два угла. Поэтому установочные ходы надо делать так, чтобы они не меняли местоположение буфера и определенных углов/рёбер.

Сначала собираются реберные элементы (рис.2),а затем угловые (рис.3) . На (рис.1) изображен разобранный куб.

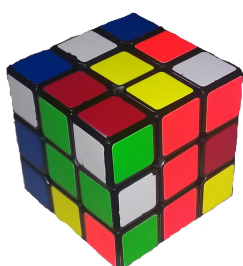


Рисунок 1 –
начало сборки реберных
элементов

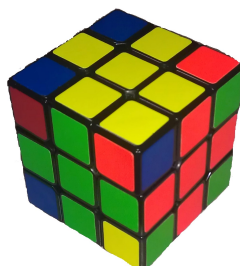


Рисунок 2 –
начало сборки угловых
элементов

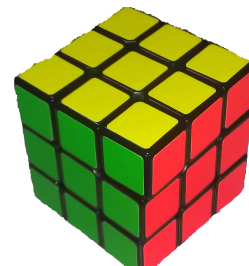


Рисунок 3 –
собран куб

Вторая методика – “Fridrich method”. Этот метод был придуман в 1981 году в Чехии Джессикой Фридрих. Она относится к послойным методам, то есть кубик собирается по слоям, как во многих методиках для начинающих. Сначала собирается крест на начальной стороне (рис.5) , потом собирается первый слой одновременно со вторым (F2L) (рис.6),а последний слой решается в 2 этапа (Oll и Pll) (рис.7,8). На (рис.4) изображен разобранный куб.



Рисунок 4 – начало сборки
креста



Рисунок 5 – начало F2L



Рисунок 6 – начало Oll



Рисунок 7 – Начало Pll



Рисунок 8 – собран куб

1 Методики и их параметры

Методика Old Pochmann. В данной методике первый этап состоит из сортировки реберных элементов по своим местам и в этом этапе используется один алгоритм (рис.9) , в котором 14 движений (T-perm <http://cubemir.ru/speedcubing/pll/pll.html>). Но нужно еще учесть, что к буферному кубику необходимо подводить реберный кубик - это называется “сетап мувом”. Затем нужно сделать алгоритм и обратно ставить на место кубик. На сетап мувы в среднем уходит 4 хода. Так как реберных элементов 12, то перестановок будет 11. Необходимо учесть, что в кубике просто так два элемента нельзя поменять местами, поэтому меняются еще и угловые элементы. Так как нечетное количество перестановок, то при сборке углов это нужно будет учесть.

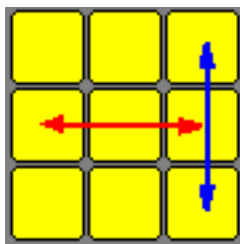


Рисунок 9 – алгоритм T-perm

1 Этап: $(14+4)*11=198$ движений

Во втором этапе сортируются угловые элементы. Алгоритм, с помощью которого происходит перестановка кубиков, состоит из 17 движений (Y-perm <http://cubemir.ru/speedcubing/pll/pll.html>) (рис.10). Так как кубиков угловых 8 штук, то перестановок будет 7. Так как перестановок нечетное количество, то в конце останется только поменять местами и повернуть два реберных элемента.

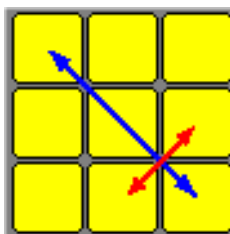


Рисунок 10 – алгоритм Y-perm

2 Этап: $(15+4)*7=133$ движений

В третьем этапе из-за нечетного количества перестановок придется одновременно переставить и угловые и реберные элементы. Используем алгоритм, в котором 14 движений (R-perm <http://cubemir.ru/speedcubing/pll/pll.html>).

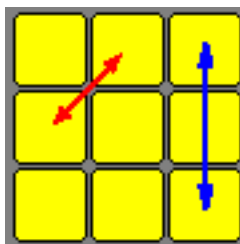


Рисунок 10 – алгоритм R-perm

3 Этап: $(14)*1=14$ движений

Итого имеем, что на сборку необходимо затратить: $198+133+14= 345$ движений.
Так как совершается 3 хода в секунду, то время сборки будет: $315/3= 115$ секунд
Необходимо знать 3 алгоритма, чтобы собрать куб.

Fridrich Method. Первый этап - сборка креста на начальной стороне. Нужно поставить на свое место 4 боковых элемента, содержащих цвет начальной стороны. В среднем уходит 7 движений (рис.4). <http://cubemir.ru/speedcubing/cross/cross.html>

1 Этап: $(7)*1=7$ движений

Второй этап - Сборка первого слоя одновременно со вторым слоем (F2L). Нужно поставить 4 пары "боковушка-угол", состоящих из углового элемента с цветом начальной стороны и соответствующего ему бокового элемента из 2-го слоя (рис.5). Тут возможен 41 случай расположения, надо сделать один из 41 алгоритма.
<http://cubemir.ru/speedcubing/f2l/f2l.html>

2 Этап: $(7)*4=28$ движений

Третий этап - Ориентация последнего слоя(OLL).Разворачиваем одновременно и реберные и угловые элементы, чтобы они смотрели цветом последней стороны вверх (рис.6). Тут возможно 57 случаев расположения цветов последней грани и, соответственно, надо сделать один из 57 алгоритмов.
<http://cubemir.ru/speedcubing/oll/oll.html>

3 Этап: $(9)*1=9$ движений

Перестановка в последнем слое (PLL).Переставляем элементы последнего слоя так, чтобы они оказались на своих местах(рис.7). Тут возможен 21 случай расположения, надо сделать один из 21 алгоритма.
<http://cubemir.ru/speedcubing/pll/pll.html>

4 Этап: $(12)*1=12$ движений

Итого имеет, что на сборку необходимо затратить: $7+28+9+12 = 56$ движений.
Так как совершается 3хода в секунду, то время сборки будет: $56/3= 19$ секунд
Необходимо знать $41+57+21 = 119$ алгоритмов, чтобы собрать куб.

Методика Old Pochmann требует знания небольшого количества алгоритмов и идеально подойдет для новичков. Если в будущем вы захотите собирать кубик вслепую, то вам останется только научиться запоминать куб, так как эта методика является базовой. Это может хорошо развить вашу память, и вы научитесь собирать не один кубик вслепую, а несколько сразу. В этой методике используются три алгоритма из Fridrich Method , поэтому, переходя на эту методику, вам придется учить на 3 алгоритма меньше.

Вообще, практически все спидкуберы собирают методикой Fridrich. Если вы планируете научиться собирать быстро кубик, то следует выбрать эту методику. При этом придется выучить много алгоритмов, но алгоритмы группируют, чтобы было легче учить. Mats Valk этой методикой поставил действующий рекорд мира - 5.55
<http://www.youtube.com/watch?v=WCrTrtxAUbA>. Будет незатруднительно понять суть методики Old Pochmann и научиться собирать куб вслепую.

Заключение

Мы сравнили две методики и, если вы только учитесь собирать кубик, то следует выбрать методику Old Pochmann. А если вы ставите цель научиться собирать куб быстро, то следует выбрать Fridrich Method.

Литература

1. Методика Old Pochmann – Электронный ресурс. - [http://speedcubing.ru/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_Old_Pochmann_\(%D0%98%D0%B2%D0%B0%D0%BD_%D0%A1%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B2\)](http://speedcubing.ru/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_Old_Pochmann_(%D0%98%D0%B2%D0%B0%D0%BD_%D0%A1%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B2)). – Проверено 10.02.2014.
2. Методика Fridrich – Электронный ресурс. - <http://cubemir.ru/speedcubing/fridrich/fridrich.htm> 1 – Проверено 10.02.2014.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ АЛКОГОЛЯ В КРОВИ

Говердовский А.Д.

Научный руководитель: Леонидов В.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

MEASUREMENT OF BLOOD ALCOHOL CONTENT

Goverdovskiy A.D.

Supervisor: Leonidov V.V.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье рассматриваются теоретические основы измерения концентрации алкоголя в крови человека. Представлен процесс выбора подходящего датчика, методики измерений для имплементации в мобильном устройстве, предназначенном для работы со смартфонами.

Abstract

This paper looks into theoretical basis of measuring blood alcohol content (BAC). The selection of suitable alcohol sensor, measurement method for implementation in a mobile device designed for use with smartphones is presented.

Введение

Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [1], дорожно-транспортные происшествия занимают восьмое место по числу унесенных жизней с цифрой в 1,24 миллиона смертей в год. Затраты на устранение последствий происшествий составляют миллиарды долларов в год. Участие алкоголя доказано в 30%¹ происшествий.

Качество управления транспортным средством стремительно ухудшается уже при низких концентрациях алкоголя. Для большинства взрослых людей минимальное значение концентрации алкоголя в крови, влияющее на качество управления это 0.5 промилле, а при 1 промилле вероятность риска уже в 5 раз выше, чем при нулевом уровне.

В данной работе описываются теоретические основы разрабатываемого алкотсера, особенностями которого является его работа со смартфоном, а также его принадлежность относительно незанятой ниша дешевых датчиков алкоголя.

1 Выбор датчика алкоголя

В своей простейшей форме электрохимический датчик алкоголя состоит из пористого, химически инертного слоя, закрытого с обеих сторон платиновыми пластинами. Производитель наполняет пористый слой раствором кислотного электролита и присоединяет платиновые выводы к обеим пластинам. Вся конструкция помещается в пластиковый корпус с двумя воздушными выводами для входа и выхода воздуха. Разные производители используют различные версии конструкции, но базовая конфигурация описана выше и представлена на рис. 1.

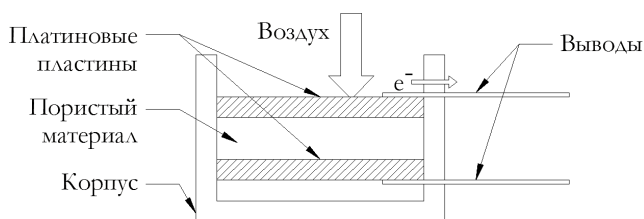
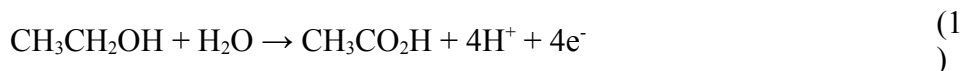


Рисунок 1 – Базовая конфигурация электрохимического сенсора

¹ Данные ВОЗ для США на 2009 год

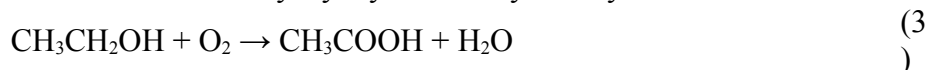
Измерение уровня алкоголя происходит следующим образом: когда пользователь выдыхает в алкотестер, этаноловый спирт, присутствующий в дыхании окисляется в уксусную кислоту на аноде:



На катоде атмосферный кислород восстанавливается:



Общая реакция – окисление этанола в уксусную кислоту и воду:



Произведенный данной химической реакцией электрический ток пропорционален концентрации алкоголя в измеряемой среде. Поскольку выходной сигнал электрохимических датчиков - электрический ток порядка 100 мкА, для измеримости сигнала с помощью АЦП его необходимо перевести в напряжение и усилить.

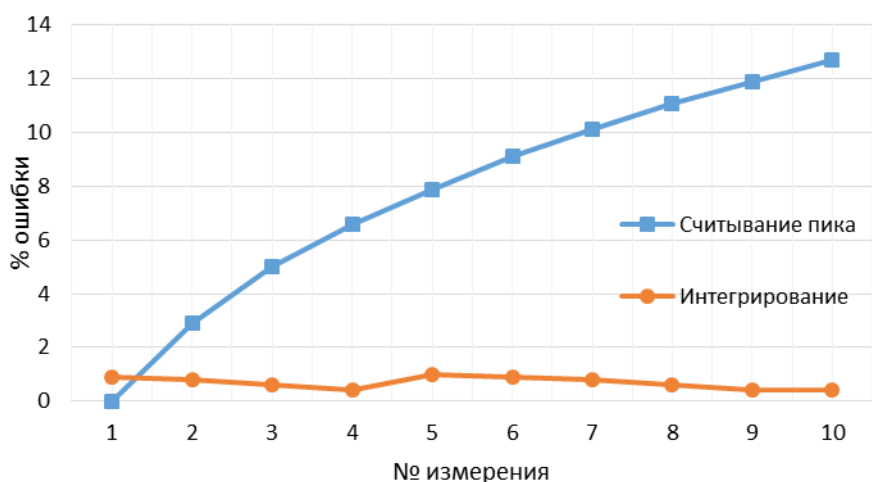


Рисунок 2 – Процент ошибки для различных методов при серии измерений

Существует два способа измерения сигнала: интегрирование и считывание пика [2]. Считывание пика заключается в получении максимального значения без учета остальной информации. При интегрировании происходит интеграция всего сигнала с момента его выхода до момента возвращения в область около нулевого значения. Этот метод позволяет сохранить точность измерения в серии измерений (см. рис. 2), а также позволяет измерить более широкий диапазон концентраций алкоголя за счет измерения как амплитудной, так и временной составляющих сигнала.

2. Конструкторские особенности разрабатываемого устройства

Структурная схема потоков воздуха в устройстве представлена на рис. 2. В большинстве алкотестеров для обеспечения постоянства измеряемого объема воздуха используется индукционный насос, подающий фиксированный объем в момент около конца выдоха. Требуемый момент времени определяется с помощью датчика давления, расположенного в продувной трубе. В данной версии устройства было решено отказаться от датчика давления и насоса из соображений минимизации стоимости, потребления электроэнергии. Таким образом, система контроля потоков воздуха состоит из продувной трубы (1), отвода датчика алкоголя (2) и самого датчика (3). Важен выбор диаметра отводной трубы, поскольку он ограничивает суммарный объем воздуха, получаемый датчиком, а следовательно и максимальную измеримую концентрацию.

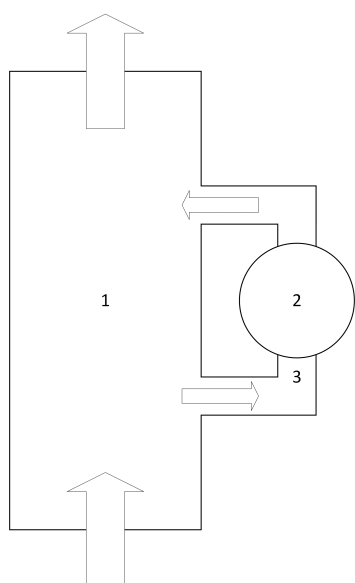


Рисунок 2 – Пневматическая
схема потоков воздуха в
устройстве

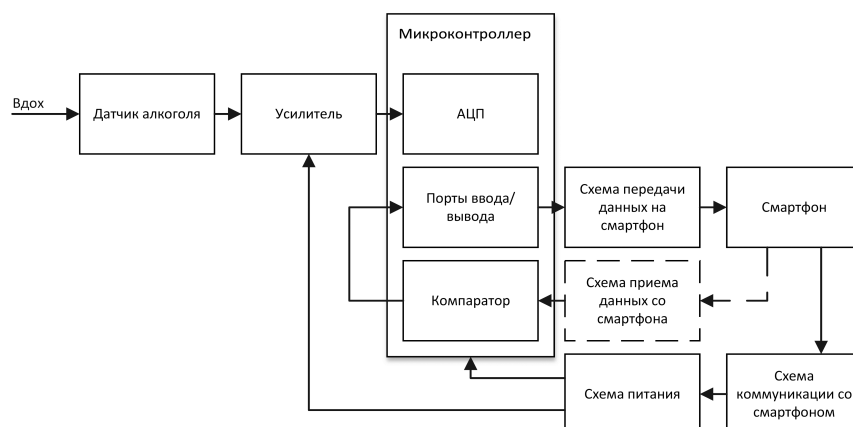


Рисунок 3 – Структурная схема устройства

Принципиальная структурная схема (рис. 3) устройства состоит из микроконтроллера, датчика алкоголя, усилителя сигнала датчика и схемы связи со смартфоном. Схема усиления сигнала датчика представляет собой операционный усилитель, подключенный трансимпеданциально. Устройство работает следующим образом: при соединении со смартфоном, ПО, установленное на нем подает синусоидальный сигнал на устройство. Данный сигнал выпрямляется и открывает цепь между батареей питания и микроконтроллером. Включившись, микроконтроллер посылает статусное сообщение, рассчитывает нулевой уровень сигнала и начинает следить за отклонениями в уровне сигнала. При фиксировании положительного отклонения начинается интеграция сигнала с частотой 10 кГц.

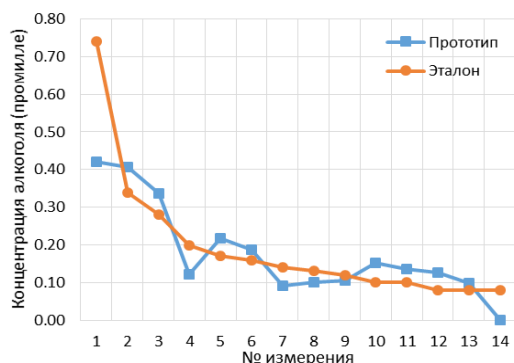


Рисунок 4 – Результаты эксперимента

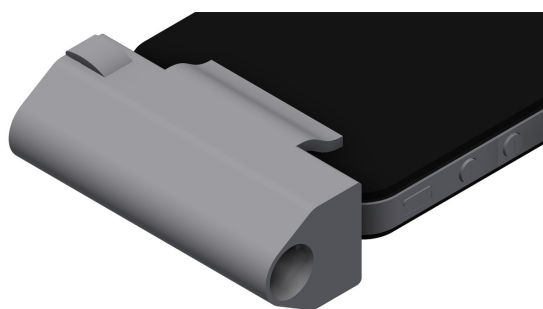


Рисунок 5 – Устройство в
закреплённом положении на смартфоне

После падения сигнала обратно в нулевую область значение, полученное в ходе интеграции делится на время измерения для уравнения коротких и длинных выдохов. Данное значение передается в смартфон через протокол, основанный на бинарной частотной модуляции и выводится на дисплей.

В результате работы был изготовлен прототип устройства. Результаты испытания приведены на рис. 4. Структура эксперимента состоит в принятии алкоголя, 5 минутном ожидании испарения алкоголя из ротовой полости и выдохе в эталонный и тестируемый алкотестеры, с промежутком между измерениями в 2 минуты.

Заключение

Дальнейшая работа будет направлена на изготовление версии устройства, рассчитанной на крепление к корпусу смартфона, что подразумевает разработку конструкции корпуса для литья под давлением, добавление держателя сменной батареи, использование меньшего по размеру датчика алкоголя. Также проводится отладка программного обеспечения, направленная на обеспечение более высокой стабильности устройства, интерпретации результатов измерения.

Литература

1. Global status report on road safety 2013, World Health Organisation
2. Fuel Cell Technology - White Paper. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.intox.com/t-fuelcellwhitepaper.aspx> - Проверено 02.02.2014.

ЗАЩИТА ОТ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Якубов А.Р.

Научный руководитель: доцент Соловьев В.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

PROTECTION AGAINST THERMAL INFLUENCES

Yakubov A.R.

Supervisor: Soloviev V.A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В данной работе идет речь о защите от тепловых воздействий. В статье рассматриваются теоретические основы теплообмена. Также в статье описывается принципы выбора способа охлаждения.

Abstract

In this paper deals with the protection against thermal effects. This article discusses the theoretical basis of heat transfer. The article also describes the principles for selecting the method of cooling.

Введение

Микросхемы и радиоэлементы функционируют в ограниченных температурных диапазонах. Отклонение температуры от указанных диапазонов может привести к необратимым изменениям компонентов. Повышенная температура снижает диэлектрические свойства материалов, ускоряет коррозию конструкционных и проводниковых материалов. При пониженной температуре затвердевают и растрескиваются резиновые детали, повышается хрупкость материалов. Различия в коэффициентах линейного расширения материалов могут привести к разрушению залитых компаундами конструкций и, как следствие, нарушению электрических соединений, изменению характера посадок, ослаблению креплений.

Высокая надежность и длительный срок службы изделия будут гарантированы, если температура среды внутри РЭА является нормальной и равной 20-25 °С. Изменение температуры относительно нормальной на каждые 10 °С в любую сторону уменьшает срок службы аппаратуры приблизительно в 2 раза. Обеспечение нормального теплового режима приводит к усложнению конструкции, увеличению габаритов и массы, введению дополнительного оборудования, затратам электрической энергии. Как известно, передача теплоты от нагретой аппаратуры в окружающую среду осуществляется кондукцией, конвекцией и излучением.

Кондукция - процесс переноса тепловой энергией между находящимися в соприкосновении телами или частями тел за счет теплопроводности тел.

Конвекция — перенос энергии макрочастицами газа или жидкости.

Перенос теплоты излучением происходит за счет превращения тепловой энергии в энергию излучения (лучистая энергия).

В реальных условиях теплообмен осуществляется одновременно двумя или тремя видами, что делает проблематичным точный расчет температурного поля. Поэтому на практике расчет проводится, как правило, для наиболее эффективного вида теплообмена, который принимается для данного блока, прибора, системы за основной.

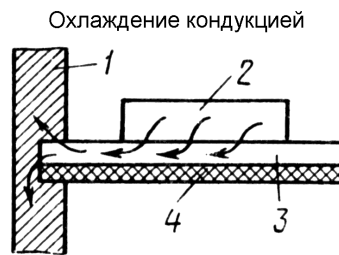


Рисунок 1 — Охлаждение кондукцией. 1- стенка прибора, 2- интегральная схема, 3- теплоотвод, 4- печатная плата.

Для стационарной аппаратуры используются в основном способы охлаждения теплопроводностью, воздушное естественное и принудительное, а также принудительное воздушное с дополнительным охлаждением жидкостью в трубопроводах. При высоких требованиях к стабильности параметров схем применяют термостатирование узлов и блоков.

1 Теплоотвод кондукцией

С увеличением плотности компоновки РЭА большая доля теплоты удаляется кондукцией, т.е. передачей тепловой энергии от нагретого элемента к элементу с меньшей температурой.

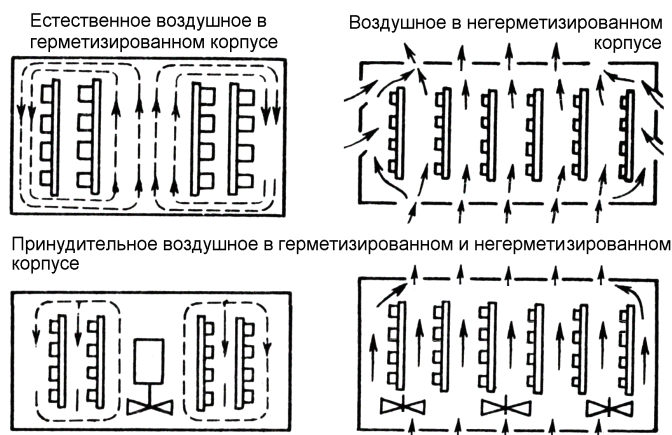


Рисунок 2 – Охлаждение конвекцией

Для улучшения условий отвода теплоты от тепловыделяющих элементов в конструкции применяют тепловые разъемы, теплоотводящие шины, печатные платы на металлической основе и т. д.

2 Теплоотвод конвекцией

Естественное и принудительное воздушное охлаждение наиболее просты и доступны. Теплота от нагретых корпусов радиоэлементов передается окружающей атмосфере за счет *естественной конвекции*. Эффективность естественного воздушного охлаждения тем больше, чем больше разность температур между корпусом и окружающей средой и чем больше площадь поверхности корпуса. Имеет также значение плотность окружающей среды, при уменьшении которой отвод теплоты от поверхности элементов уменьшается.

Принцип охлаждения естественной конвекцией основан на том, что слои воздуха, нагреваясь от выделяющих теплоту элементов и обладая вследствие этого меньшей плотностью, перемещаются вверх и замещаются более холодными слоями. Чем больше объем замещаемого воздуха, тем лучше теплообмен. Эффективность теплообмена зависит от места расположения элементов в объеме аппаратуры. Так, при вертикальном расположении

модулей (плат) воздушному потоку ничего не препятствует и теплые слои воздуха быстро заменяются холодными. При горизонтальном расположении плат смена слоев воздуха затруднена, вследствие чего нагрев элементов происходит в большей степени. В худшем положении находятся элементы в верхней части корпуса, так как здесь замещения теплых слоев холодными практически не происходит.

Качество естественного воздушного охлаждения зависит от мощности, выделяемой аппаратурой во время работы в виде теплоты, формы и габаритных размеров корпуса и площади его поверхности. Улучшение охлаждения можно получить искусственным увеличением площади поверхности корпуса, например, введением специальных ребер — *радиаторов*.

Существенное улучшение теплового режима достигается введением специальных *вентиляционных отверстий* в дне и крышке корпусов аппаратуры. В этом случае в приборы поступают извне холодные слои воздуха, которые вытесняют теплые слои через отверстия в крышке. При необходимости такие отверстия следует предусматривать и в боковых стенках корпусов в виде жалюзи. Суммарная площадь вентиляционных отверстий в дне (крышке) прибора должна составлять 20...30 % сечения конвективных потоков воздуха. Входные вентиляционные отверстия должны располагаться как можно ниже. Чтобы не препятствовать поступлению свободных конвективных потоков воздуха внутрь прибора, между установочной поверхностью и дном должен быть зазор 20-30 мм. С внутренней стороны кожуха вентиляционные отверстия часто закрывают защитными металлическими сетками.

Естественное охлаждение используется с плотностью тепловых потоков от охлаждаемых поверхностей не более $0,05 \text{ Вт/см}^2$. При этом необходимо стремиться к равномерному распределению выделяемой мощности по всему объему изделия. Компоненты и узлы с большими тепловыделениями необходимо располагать в верхней части корпуса или вблизи стенок, критичные к перегреву компоненты в нижней части и защищать тепловыми экранами. Блестящий экран сокращает лучистый тепловой поток приблизительно вдвое. В целях выравнивания температуры внутри аппаратуры теплонагруженные модули должны иметь высокую степень черноты, внутренние поверхности кожухов и каркасов окрашиваются черными красками или лаками. При компоновке аппаратуры необходимо избегать образования «ловушек тепла», в которых отсутствуют конвективные потоки воздуха.

3 Принудительное воздушное охлаждение.

При принудительном воздушном охлаждении теплоотвод от внутренних полостей корпуса РЭА осуществляется движущимися потоками воздуха, объем и скорость движения которых определяются вентиляторами. Оно широко используется в аппаратуре с тепловыделением не более $0,5 \text{ Вт/см}^2$ и выполняется по схемам подачи воздуха снизу вверх и сверху вниз. Забор воздуха снизу, где имеет место наибольшее количество пыли, приводит к повышенной запыленности аппаратуры, охлаждение сверху вниз - к меньшей запыленности, но требует большего расхода воздуха.

Чем ниже температура охлаждающего воздуха и выше скорость его движения, тем эффективнее принудительное воздушное охлаждение. Применяются приточная, вытяжная и приточно-вытяжная схемы вентиляции. В приточно-вытяжной используются два вентилятора на входе и выходе воздуха из изделия. Работа вентилятора по приточной схеме вентиляции происходит в благоприятных условиях при пониженной температуре, что обеспечивает большую производительность. Вытяжную схему вентиляции можно рекомендовать в аппаратуре с большими аэродинамическими сопротивлениями. Вентиляторы устанавливаются либо непосредственно в прибор, либо в специальные блоки с креплением на корпусе прибора или каркасе стойки. В блоках обычно размещают вентиляторы, противопыльный фильтр, элементы сигнализации и аварийного отключения.

Появление шума и вибраций в результате работы вентиляторов являются недостатками принудительного охлаждения, однако реализуется конструктивно просто и обеспечивает высокую гибкость при перепланировке технических средств.

4 Выбор способа охлаждения

При выборе способа охлаждения РЭА учитываются ее режим работы, конструктивное исполнение, величина рассеиваемой мощности, объект установки, окружающая среда.

Режим работы аппаратуры характеризуется длительностями включенного и выключенного состояний и бывает длительным, кратковременным, кратковременно-повторным. Длительный режим свойственен стационарной аппаратуре, которая находится во включенном состоянии в продолжение многих часов и дней, кратковременный - бортовой, время непрерывной работы исчисляется несколькими часами.

При проектировании сложной аппаратуры с длительным временем включенного состояния, как правило, возникнет необходимость в разработке принудительной системы охлаждения (СО). Решение о разработке СО для аппаратуры кратковременно-повторного режима работы принимается лишь после анализа режима работы аппаратуры. Носимая РЭА, в силу малых рассеиваемых мощностей, принудительной СО не снабжается.

Таблица 1 - Плотность тепловых потоков аппаратуры.

Способ охлаждения	Негерметичная q_s , Вт/см ² , не более	Герметичная q_v Вт/см ³ , не более
Естественная конвекция	0,05	0,02
Принудительная конвекция	0,50	0,45
Водо-воздушный	0,65	0,60

Необходимость разработки СО выявляет тепловой анализ РЭА. Для этого по каждому модулю первого уровня составляется перечень тепловыделяющих компонентов, устанавливаются рассеиваемые мощности и максимально допустимые температуры. На основе этих данных выделяются критичные к перегреву компоненты, а также компоненты, устанавливаемые на теплоотводы. Далее рассчитываются удельные поверхностные и объемные тепловые потоки модулей высших уровней. По значениям плотности теплового потока q_s и q_v в первом приближении выбирают систему охлаждения по допустимому перегреву в 40°C (таблица 1).

Заключение

Настоящее и будущее аппаратуры связано с использованием достаточно больших мощностей в сравнительно малых объемах. Это приводит к резкому увеличению плотности мощности рассеяния, а, следовательно, и плотности рассеиваемой теплоты. Поэтому при конструировании аппаратуры особое значение приобретает разработка методов отвода теплоты, регулирования и контроля температуры.

Литература

1. Сушко Виктория Юрьевна Тепловая защита электронных устройств при интенсивных термических воздействиях, 2007 .

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПЕРВОГО УРОВНЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СРЕДСТВАМИ САПР SOLID EDGE

Качалова А.М.

Научный руководитель: старший преподаватель Курносенко А.Е.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THERMAL AND MECHANIC ANALYSIS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS IN ECAD SOLID EDGE

Kachalova A.M.

Supervisor: senior lecturer Kurnosenko A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы инженерного анализа электронных модулей первого уровня на механические и тепловые воздействия. Исследовано создание 3D модели платы и получение результатов инженерного анализа. Кратко представлена разработка программного обеспечения для получения теоретических данных. Проведен опытный анализ модуля.

Annotation

Cet article est dédié à une analyse technique du packaging électronique de premier niveau, par l'exemple des impacts thermiques et mécaniques. Il présente une analyse détaillée de la création d'un modèle 3D et l'obtention de résultats par recherche théorique et expérimentale. Y figurent également les résultats d'adaptation du programme afin de compiler les données théoriques. L'analyse expérimentale du module a été menée.

Введение

Работа посвящена инженерному анализу электронных модулей первого уровня на механические и тепловые воздействия средствами САПР Solid Edge [1].

В настоящее время большое число приборных устройств представляют собой совокупность механической и электронной части. При этом особенно актуальным становится подход, в рамках которого проектирование устройства, включающего в себя механическую и электрическую составляющие, должно проводиться в едином информационном пространстве, связывающим системы ECAD и MCAD с учетом всех ограничений, налагаемых каждой из этих частей друг на друга в рамках параллельного проектирования. Помимо этого, чтобы уменьшить время и затраты на разработку прототипа устройства и его тестирования, необходимо вместо реальной физической модели использовать виртуальную модель конструкции. Это позволит проектировщикам успешно испытать изделие с применением легко модифицируемой компьютерной модели.

Для проведения анализа необходимо создать модель печатной платы в ECAD программе, создать или подключить библиотеки компонентов и сопоставить двумерное изображение элемента и его трехмерную модель. Затем печатная плата экспортируется в формат IDF и открывается в необходимой MCAD системе, в которой уже проводится инженерный анализ данной печатной платы с установленными компонентами. Новизна предлагаемой работы заключается в реализации современного уровня разработки электронного модуля [2].

Цель работы – спроектировать конструкцию в 3D САПР на основе данных, полученных от электронной САПР, и провести инженерный анализ данной конструкции, а также проверить адекватность полученных моделей с помощью натурных испытаний выбранных устройств.

1 Создание платы в P-CAD

Для анализа платы необходимо сначала создать электронную модель платы. Для этого была выбрана программа P-CAD, т.к. она предоставляет возможность экспорта модели в формате IDF 3.0.

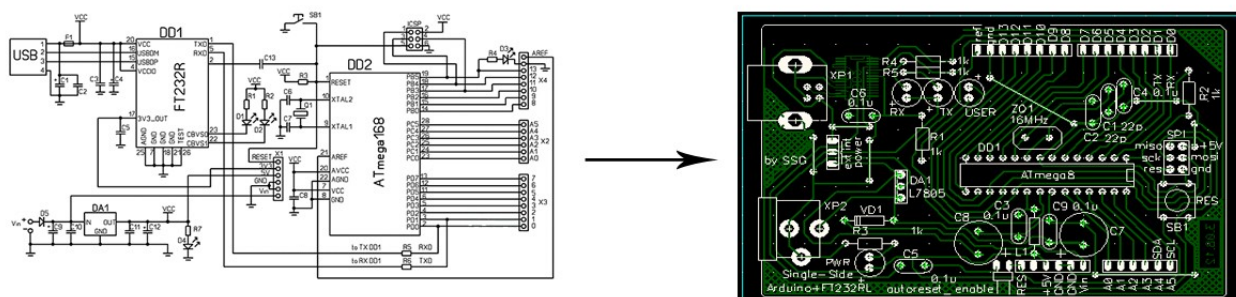


Рисунок 1 - Создание электронной модели платы

Создание 3D модели платы производится путем импорта модели в формате IDF в САПР Solid Edge ST6.

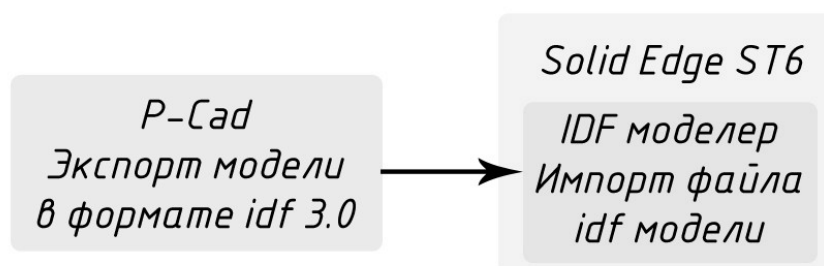


Рисунок 2 - Создание 3D модели

Инженерный анализ 3D модели устройства, подробно описывающий отклики платы на внешние воздействия, весьма сложен в связи с обработкой большого количества поверхностей сложной формы, на что так затрачивается много вычислительных ресурсов, поэтому актуальным является задача упрощения расчетных схем исследуемых конструкций.

2 Инженерный анализ ячейки

При расчете **теплового поля** инженер сталкивается с необходимостью определения коэффициента конвективного теплообмена α . Аналитическое решение получено лишь для нескольких достаточно простых ситуаций. В большинстве встречающихся на практике случаев этот коэффициент определяется экспериментальным путём, при этом как результаты теоретических решений, так и экспериментальные данные обрабатываются методами теории подобия, и представляются в безразмерном виде в форме соответствующих критериев (Nu, Gr, Pr, Re).

Коэффициент α конвективное – это сложная функция, зависящая, в частности, от движения газа, плотности, температуры, специфического нагрева, типа потока (ламинарный, турбулентный) и других факторов, зависящих от времени [3].

$$\alpha = f(w, p, t, c_p, l, \lambda \dots)$$

Поэтому для расчета теплового воздействия были предложены 2 подхода. Если требуется расчет α конвективное, то его значение рассчитывается коэффициентным итерационным методом. Суть этого метода сводится к расчету теплового режима в несколько этапов, где последовательно определяются перегревы «корпус - окружающая среда», «микромодульный массив – корпус» и т. д.

В большинстве случаев фаски, скругления и сложные переходы в модели платы незначительно влияют на результаты анализа, поэтому для анализа модель прежде всего необходимо упростить, т.е. идеализировать.

Один из наиболее известных способов упрощения состоит в замене сложной по форме нагретой зоны конструкции аппарата прямоугольным параллелепипедом – эквивалентной нагретой зоной с одинаковой среднеповерхностной температурой и равномерно распределенными источниками тепловой энергии. Еще одно упрощение заключается в том, что учитываются только основные, вносящие наибольший вклад в теплообмен способы переноса энергии.

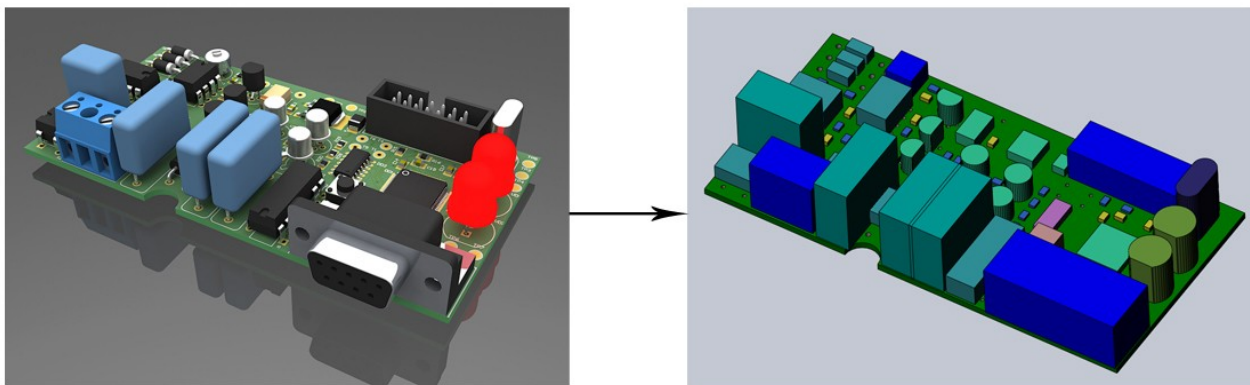


Рисунок 3 - Упрощение конструкции для теплового анализа

Необходимо помнить, что упрощение формы конструкции и идеализация тепловых процессов должны обеспечивать адекватность тепловой модели.

Алгоритм теплового анализа платы в программе Solid Edge ST6 представлен на рисунке 4.

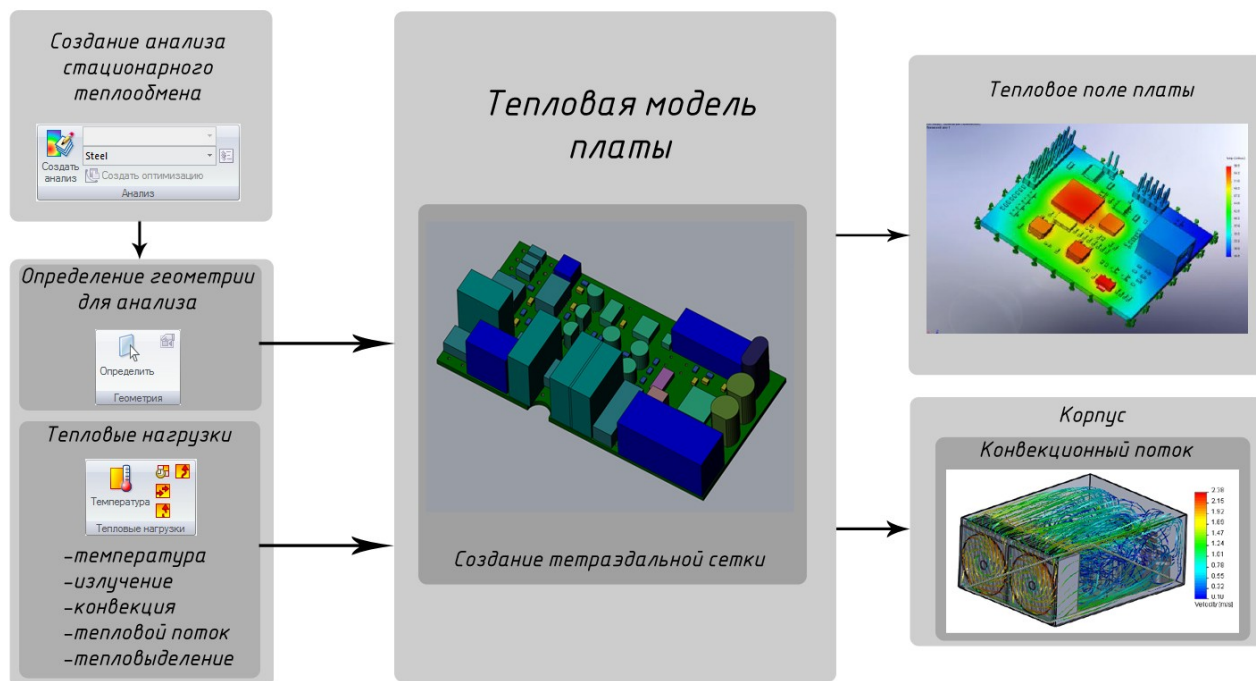


Рисунок 4 - Алгоритм теплового анализа

Выполняя анализ платы на **механические** воздействия, необходимо также учитывать реакцию печатной платы на механические воздействия, такие как 1) деформацию (прогиб) под воздействием статического нагружения от собственной тяжести и 2) отклик на воздействие внешних вибрационных и ударных нагрузок.

Статическое нагружение под собственной тяжестью имеет большое значение в проектировании платы, особенно если плата имеет тяжелые компоненты, такие как трансформатор, аккумулятор и т.д. Провисание платы может привести к нежелательному касанию других плат или корпуса, особенно при дополнительном наложении вибрационных нагрузок

Алгоритм анализа платы на механические воздействия в программе Solid Edge ST6 представлен на рисунке 5.

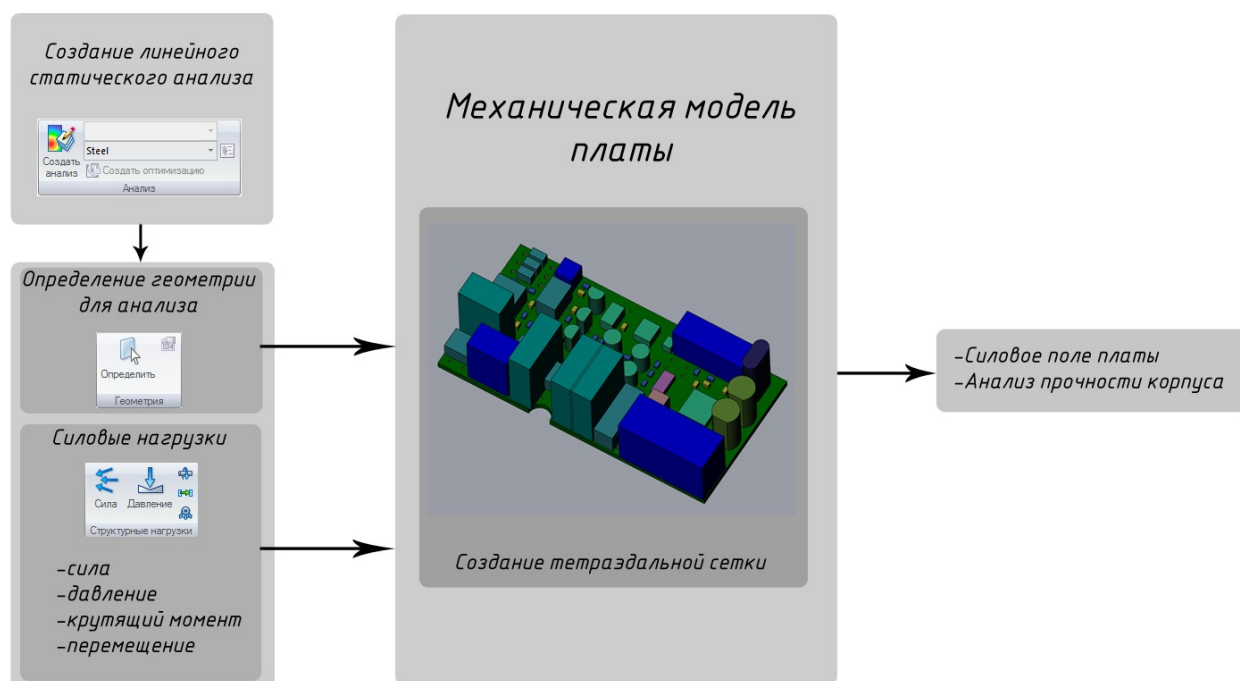


Рисунок 5 - Алгоритм механического анализа

Как и в тепловой модели, модель для механического анализа должна быть упрощена для экономии вычислительных ресурсов.

Заключение

В ходе проведенной работы был кратко описан инженерный анализ платы на тепловые и механические воздействия. Разработанные алгоритмы лягут в основу разработки комплексных процедур анализа электронных модулей в САПР Solid Edge.

Литература

1. Диденко Д.В. Учимся работать в Solid Edge. – М: ДМК Пресс, 2009. – 250 с.
2. Самойленко Е.А. Методика создания 3D-моделей путем передачи данных между ECAD и MCAD системами. – М: МГУПИ, 2009. – 7 с.
3. Lucian M., Ovidiu P., Adrian T. Packaging and Thermal Analysis of a Power Inverter for Inductive Heating Applications.//16th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, Pitesti, Romania, 2010.

СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФПЗС

Кадрилеев Н.М.

Научный руководитель: Леонидов В.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

STAND FOR MEASURING THE PARAMETERS OF PCCD

Kadrileev N.M.

Supervisor: Leonidov V.V.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Работа посвящена вопросам проектирования стенда для измерения параметров ФПЗС. Описаны структурная, функциональная и электрическая принципиальная схемы стенда. Разработано необходимое программное обеспечение стенда. Особое внимание уделено заданию тактовых диаграмм для управления ФПЗС. Проведены испытания работы стенда. Изготовлен действующий макет стенда.

Abstract

This article is devoted to design of a stand for measuring the parameters of PCCD. Structural, functional and electrical schemes are described. Necessary software of a stand was developed. Particular attention is paid to setting clock diagrams for control of PCCD. Tests of a stand were carried out. The first version of the stand was constructed.

Введение

Работа посвящена вопросам проектирования стенда для измерения параметров фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС). Выбор темы работы обоснован необходимостью детального анализа статических и динамических параметров изготавливаемых линейных ФПЗС. Объектом исследования являются линейные фоточувствительные приборы с зарядовой связью ФПЗС11Л [1].

Актуальность работы определяется тем, что при производстве ФПЗС линеек их параметры имеют широкий разброс. Поэтому каждая линейка имеет свой режим работы. Это обуславливает актуальность задачи разработки специализированных измерительных стендов, обеспечивающих контроль динамических и статических параметров разрабатываемых и серийно выпускаемых приборов. Аналогами данного стенда могут служить универсальный стенд для контроля ПЗС-коммутаторов, представленный на конференции в 1992 году [2], а также аппаратно-программный комплекс для экспериментальных исследований приборов с зарядовой связью, представленный на конференции в 2010 году [3].

Для работы ФПЗС необходимо подать на линейку сигналы, соответствующие тактовой диаграмме и карте режимов работы прибора [1]. Тактовая диаграмма задается программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС), согласно карте режимов задаются различные уровни тактовых сигналов, что реализуется с помощью стабилизаторов, двухуровневых драйверов и цифрового изолятора. Универсальность стенда для измерения параметров ФПЗС заключается в возможности регулировки уровней сигналов.

Целью работы является разработка стенда для измерения параметров линейных ФПЗС.

Для достижения заявленных целей в работе предусматривается решение следующего комплекса задач:

- разработка структурной схемы стенда для измерения параметров ФПЗС;
- разработка функциональной схемы устройства;
- разработка электрической принципиальной схемы устройства;
- конструкторское проектирование стенда для измерения параметров ФПЗС;
- разработка программного обеспечения стенда для измерения параметров ФПЗС.

Результатом работы является полностью собранный и работающий стенд для измерения параметров ФПЗС, который позволяет быстро измерять как статические, так и динамические параметры изготавливаемых линейных ФПЗС.

1 Структурная схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Структурная схема стенда для измерения параметров ФПЗС показана на рисунке 1.

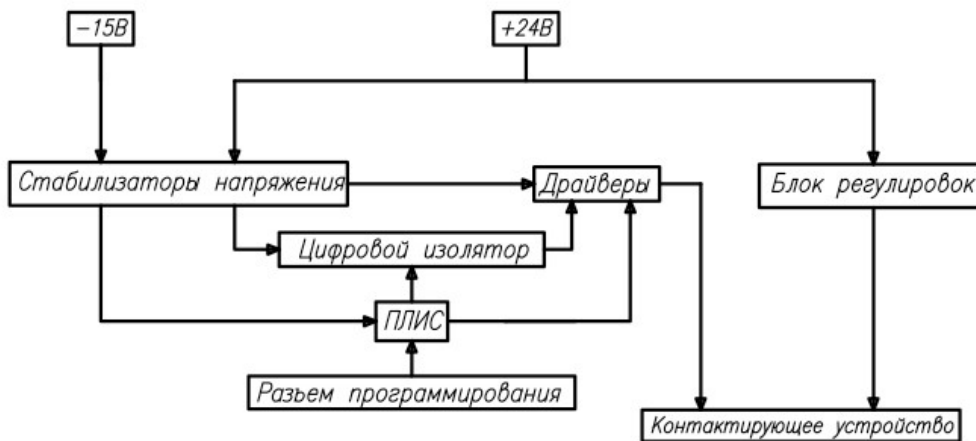


Рисунок 1 - Структурная схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Для формирования на выходе импульсных сигналов используется ПЛИС. Питание ПЛИС, драйверов и цифрового изолятора осуществляют стабилизаторы напряжения, которые в свою очередь питаются от входного напряжения +24 В и -15 В. Драйверы позволяют регулировать верхний уровень импульсных сигналов поступающих с ПЛИС, а цифровой изолятор отвечает за регулировку нижнего уровня одного из импульсных сигналов. Регулировка осуществляется подачей различного уровня напряжения питания со стабилизаторов на драйверы и цифровой изолятор. Выходные сигналы постоянного уровня задаются блоком регулировок.

2 Функциональная схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Для реализации данной структурной схемы необходимо использовать определенные функциональные блоки. Функциональная схема стенда для измерения параметров ФПЗС представлена на рисунке 2.

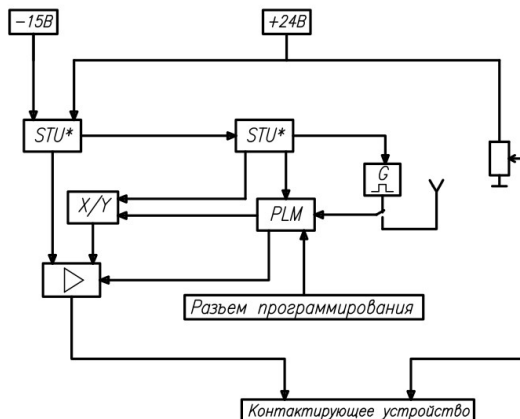


Рисунок 2 – Функциональная схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Стабилизаторы напряжения на функциональной схеме разделены на два блока STU*. В первом блоке осуществляется задание напряжений питания драйверов и на одном из стабилизаторов устанавливается напряжение равное 7 В, которое используется для питания трех микросхем, включенных во второй блок STU*, две из которых питают ПЛИС, кварцевый генератор и входную часть изолятора, а третья используется для формирования уровня выходного напряжения логического изолятора. В стенде предусмотрена возможность выбора источника тактового сигнала: кварцевый генератор, либо внешний источник тактового сигнала, подаваемого через разъем, расположенный на плате стенда. Для задания уровней выходных сигналов постоянного напряжения используются потенциометры.

3 Принципиальная электрическая схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Схема электрическая принципиальная стенда для измерения параметров ФПЗС представлена на рисунке 3.

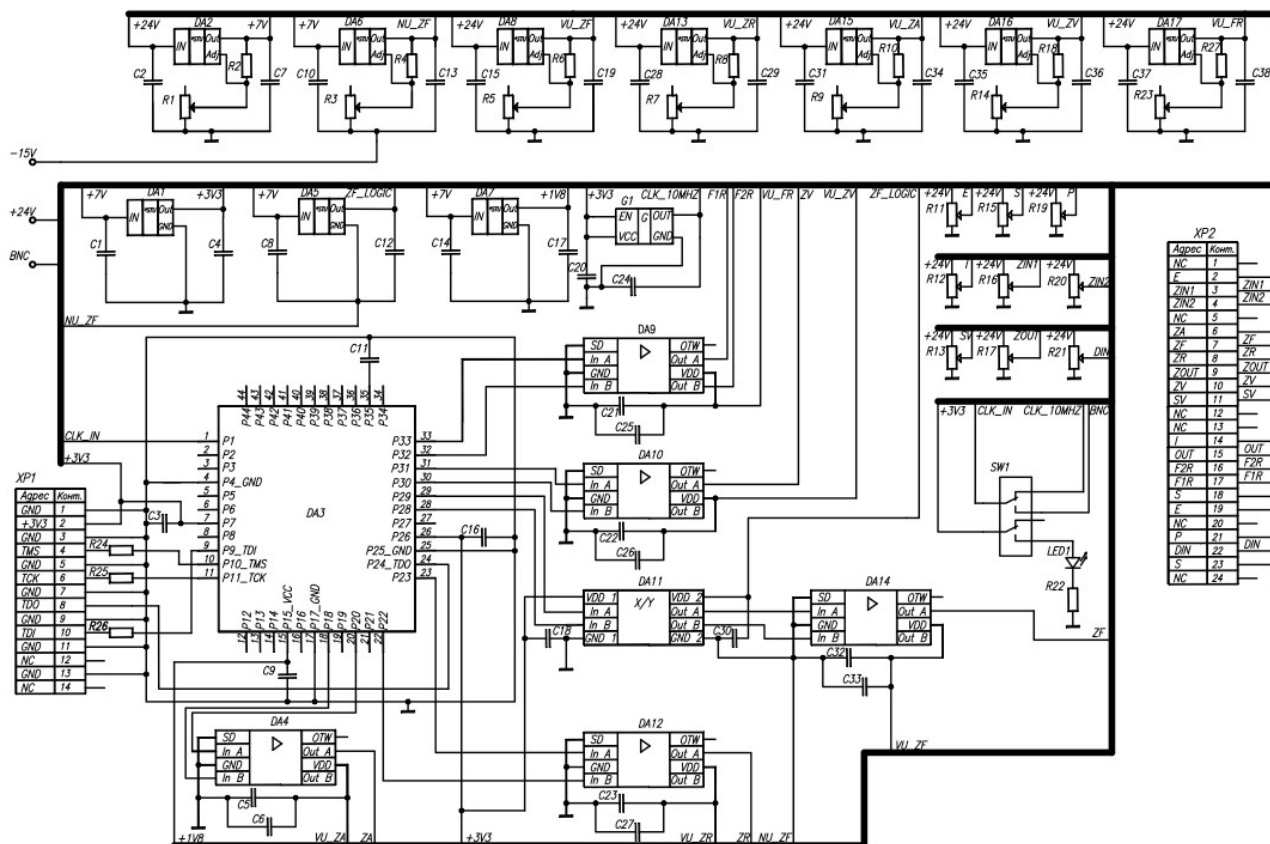


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Формирование выходных сигналов, соответствующих тактовой диаграмме [1] осуществляется посредством ПЛИС DA3. Кварцевый генератор G1 формирует тактовый сигнал, DA1, DA5 и DA7 обеспечивают напряжение питания ПЛИС. Также на схеме присутствуют 7 регуляторов напряжения, состоящих из стабилизатора напряжения - DA2 (DA6, DA8, DA13, DA15, DA16, DA17), фильтрующих емкостей на входе - C2 (C10, C15, C28, C31, C35, C37) и выходе - C7 (C13, C19, C29, C34, C36, C38), а также потенциометра - R1 (R3, R5, R7, R9, R14, R23) и резистора - R2 (R4, R6, R8, R10, R18, R27), которые выполняют функцию делителя напряжения. Потенциометры R11, R12, R13, R15, R16, R17, R19, R20, R21 служат для установки выходных сигналов постоянного напряжения. Драйверы DA4, DA9, DA10, DA12, DA14 регулируют верхний уровень выходных сигналов, а микросхема DA11 служит для изменения нижнего уровня сигнала «ЗФ». Тумблер SW1 позволяет выбирать один из двух источников тактового сигнала для ПЛИС: внутренний (генератор G1), либо внешний, подаваемый на разъем BNC. Выход стенда представляет собой колодку XP2, на

которую подаются сформированные управляющие сигналы, а также сигналы с потенциометров.

4 Программное обеспечение стенда для измерения параметров ФПЗС

Требуемые тактовые диаграммы для управления ФПЗС линейкой и измерения её параметров представлены на рисунке 4.

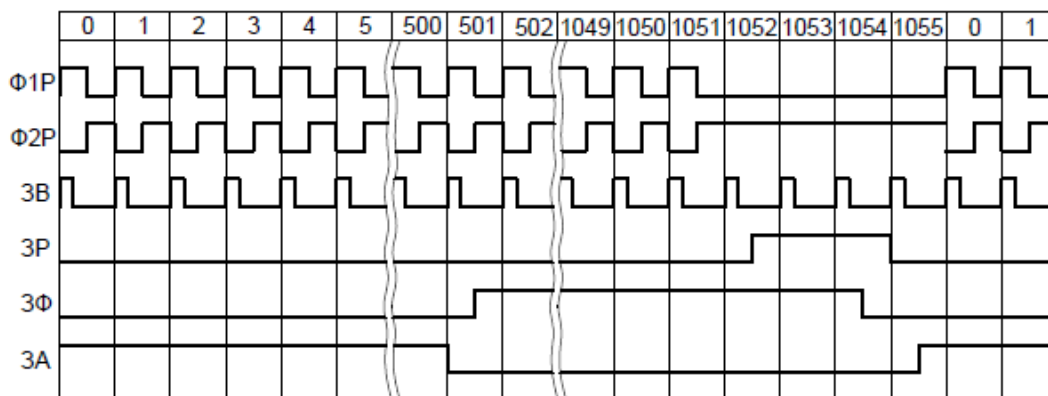


Рисунок 4 – Тактовые диаграммы для управления линейными ФПЗС серии S [1]

Для реализации представленных временных диаграмм используется ПЛИС XC2C32A фирмы Xilinx, а для ее моделирования использовался САПР Xilinx ISE Design Suit.

Результаты моделирования для участка временной диаграммы с 498 по 503 такты представлены на рисунке 5.

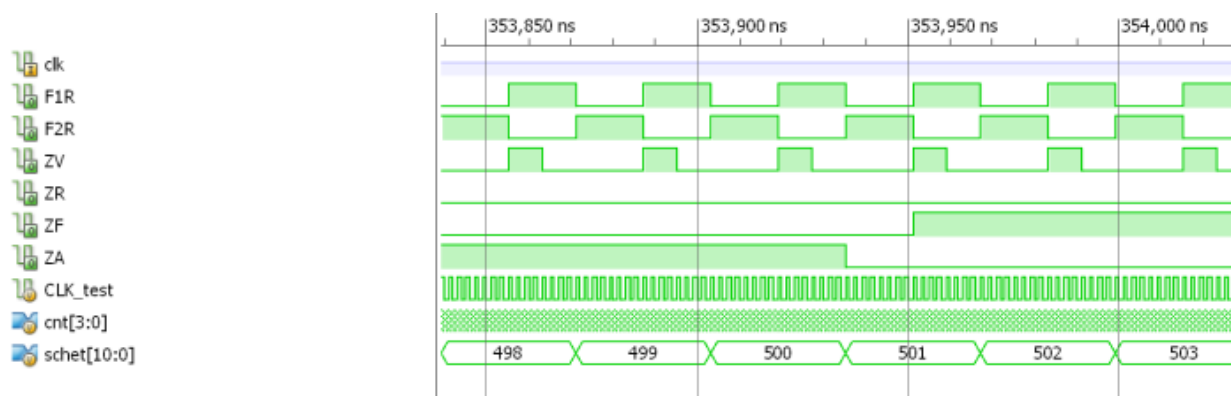


Рисунок 5 – Моделирование ПЛИС в САПР Xilinx ISE Design Suit

Как видно из рисунка, ЗА переходит из состояния логической единицы (далее «1») в состояние логического нуля (далее «0») по окончании 500 такта, а ZF из состояния «0» в состояние «1» на половине длительности 501 такта. Первая фаза F1R в начале каждого такта переходит в «0», а в его середине в «1». Вторая фаза F2R противоположна первой фазе, т.е. в начале каждого такта она переходит в «1», а в его середине в «0». ZV переходит из состояния «0» в состояние «1» при каждом переходе из «0» в «1» первой фазы F1R, а на половине длительности импульса F1R переходит из «1» в «0».

Результаты моделирования ПЛИС в САПР Xilinx ISE Design Suit для участка временной диаграммы с 1050 по 1055 такта представлены на рисунке 6.

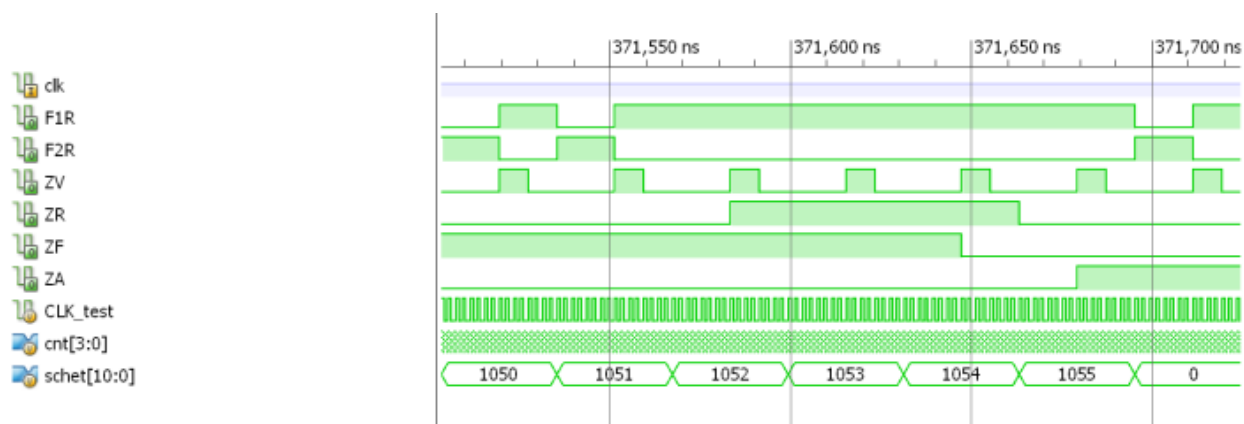


Рисунок 6 – Моделирование ПЛИС в САПР Xilinx ISE Design Suit

На середине 1051 такта первая фаза F1R переходит из «0» в «1» и остается в таком состоянии до конца 1055 такта. А вторая фаза F2R на середине 1051 такта переходит из «1» в «0» и также остается в таком состоянии до конца 1055 такта. На половине длительности 1052 такта ZR переходит из состояния логической единицы в состояние логического нуля, а затем обратно в «1» в конце 1054 такта.

Заключение

В ходе проведенной работы были разработаны стенд для измерения параметров ФПЗС, необходимое программное обеспечение, изготовлен действующий макет стенда. Проведены испытания стенда с линейными ФПЗС серии ФПЗС11Л, протестирована работа программного обеспечения на практике. Данный стенд обладает хорошими эксплуатационными характеристиками, универсален. Позволяет производить качественную проверку всех статических и динамических параметров линейных ФПЗС. При использовании стенда для измерения параметров ФПЗС сокращается время поиска режима работы каждой линейки.

Литература

1. ОАО «НПП «ПУЛЬСАР». Линейные ФПЗС серии S [Электронный ресурс] URL: <http://www.pulsarnpp.ru/index.php/2010-06-08-14-12-46/2010-06-08-14-43-10/-s>. Дата обращения: 18.12.2013.
2. Колчин Г.С., Певцов Е.Ф., Петровский В.И. Универсальный стенд для контроля ПЗС-коммутаторов // Приборы с зарядовой связью и системы на их основе: Тез. докл. IV научно-технич. конф. с международным участием "ПЗС- 92", 27 сент.-2 окт. 1992 г., Краснодарский край, г.Геленджик, Россия.- Москва, 1992.- С. 69.
3. Певцов Е.Ф., Гусев М.Е., Зинис К.А., И.В. Хмельницкий, Чернокожин В.В. Аппаратно-программный комплекс для экспериментальных исследований приборов с зарядовой связью // IX н-техн. конф. <Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА> г. Звенигород. 01-03 дек. 2010 г.М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова. 2010.

РАЗРАБОТКА ПРАВИЛ КОРРЕКЦИИ И ВЕРИФИКАЦИИ ТИПОВЫХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В СЛОЕ МЕТАЛЛИЗАЦИИ БИБЛИОТЕКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 0,25 МКМ КМОП СБИС

Ковалев Д.Д.

Научные руководители: к.т.н., доцент Макаrchук В.В.,

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

к.ф.-м.н. Амирханов А.В., к.т.н. Гладких А.А.

НИИСИ РАН, Москва, Российская Федерация

THE DEVELOPMENT OF OPC AND VERIFICATION RULES OF TYPICAL TOPOLOGICAL SITUATIONS IN THE METALLIZATION LAYER 0.25 UM CMOS VLSI DESIGN LIBRARY

Kovalev D.D.

Supervisors of studies: Ph.D., assistant professor Makarchuk V.V.,

BMSTU, Moscow, Russian Federation

Candidate of physicomathematical science Amirkhanov A.V.,

Candidate of technical science Gladkikh A.A.

SRISA RAS, Moscow, Russian Federation

Аннотация

Статья посвящена разработке правил коррекции эффекта оптической близости и верификации для типовых топологических ситуаций, которые возникают при проектировании СБИС и в дальнейшем могут привести к нежелательным изменениям полученного топологического рисунка. Приведено описание существующих методов коррекции эффекта оптической близости. Обоснован выбор метода коррекции, основанного на правилах модификации топологического слоя. Проведен анализ выбора критических линейных размеров элементов топологии на изображении фотошаблона по модели формирования маски фоторезиста. Приведено описание процедуры верификации топологии. Разработаны фрагменты правил коррекции эффекта оптической близости, реализующие создание компенсирующих элементов для различных топологических ситуаций, присутствующих в библиотеке стандартных элементов для проектирования быстродействующих специализированных КНИ СБИС с минимальным топологическим размером 0,25 мкм.

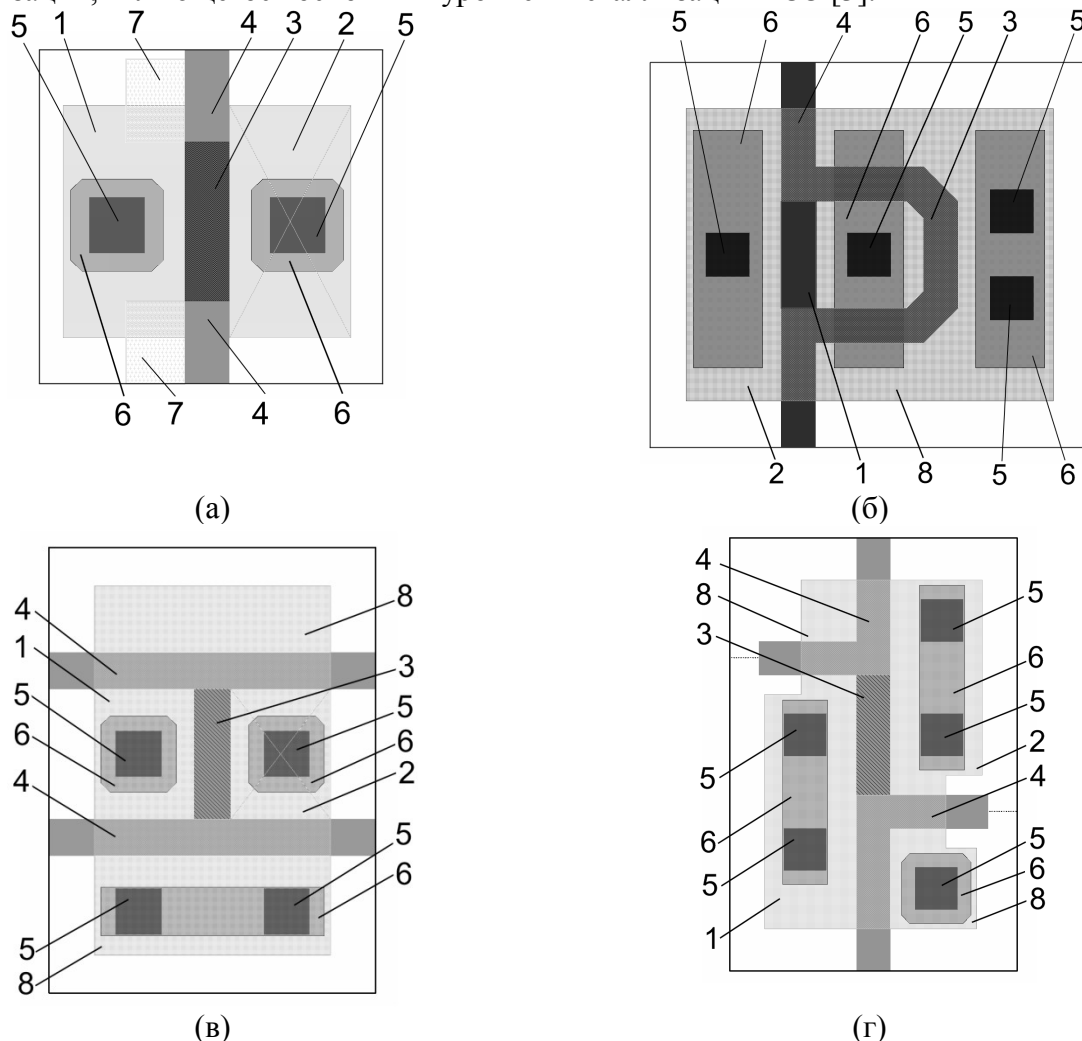
Abstract

The paper is devoted to the development of rules of verification and OPC rules for the typical topological situations that arise at design VLSI and in the further can lead to undesirable variations of the received topological pattern. The description of existing methods of OPC is resulted. The choice of a method of OPC based on rules of modification of a topological layer (Rule-Based OPC) is proved. The analysis of a choice of the critical linear dimensions of topological elements on the image of a photo mask based on lithography model is lead. The description how to verify the topology is resulted. Fragments of OPC rules, realizing the creation of compensating elements for different topological situations, which present in the library of standard elements for the design of high-speed VLSI SOI with a minimum feature size of 0.25 microns, are developed.

Введение

В современной жизни нас повсюду окружает электроника: телефоны, компьютеры, бытовая техника. Ядром всех этих устройств являются сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) с субмикронными (или даже ниже) размерами элементов. Однако СБИС используются и при разработке специализированных вычислительных систем (например, суперкомпьютеров), беспилотных летательных аппаратов, спутников, например, для решения задач по созданию системы глобального геопозиционирования. В случае применения СБИС в спутниках в силу высокого радиационного воздействия космоса при их разработке необходимо применение как специальных технологий (таких, например, как «кремний на изоляторе»), так и более сложных конструктивных решений. В работах [1-3], посвященных радиационно-стойким СБИС, в том числе спроектированным с

использованием библиотеки стандартных элементов (БСЭ), рассмотрено применение особых транзисторов с полной диэлектрической (окисной) изоляцией: КМОП-транзисторы А-, О- и Н-типа, топология которых показана на рисунке 1. Очевидно, что сложный рисунок их топологии влечет за собой усложнение рисунка всех топологических слоев СБИС. Однако в первую очередь это затрагивает топологические слои поликремния и первого уровня металлизации, являющегося основным уровнем металлизации БСЭ [3].



1 - Область истока

2 - Область стока

3 - Активная часть затвора

4 - Пассивная часть затвора

5 - Контакт к слою металлизации

6 - Слои металлизации

7 - Вставки

8 - Область, обеспечивающая контактирование с «телом» транзистора

Рисунок 1 – Топологии КМОП-транзисторов

(а) – А-типа; (б) – О-типа; (в) – Н-типа; (г) – модифицированного Н-типа

Топологические размеры элементов при проектировании СБИС с использованием БСЭ зависят от целого ряда факторов, причем минимальные их значения определяются технологическими ограничениями и задаются правилами проектирования [3, 4]. Необходимо особо отметить, что во многих топологических ситуациях требуется выдерживать размеры элементов с высокой точностью (например, при трассировке цепей тактового сигнала микропроцессоров). Однако в реальности полученный топологический рисунок может отличаться от спроектированного вследствие влияния на процесс литографии различных физических эффектов, и в первую очередь оптических, одним из которых является эффект оптической близости.

Вносимые им критические искажения возникают в случае, когда размеры топологических элементов разрабатываемой СБИС меньше длины волны экспонирующего

излучения [5]. Например, при производстве СБИС с минимальной проектной нормой 0,25 мкм с использованием литографической установки, работающей на длине волны экспонирующего излучения 365 нм (i-линия излучения ртути), этому условию будет удовлетворять уже не только топологический слой поликремния (критический линейный размер (КЛР) - 0,25 мкм [4]), но и топологический слой первого уровня металлизации (КЛР - 0,32 мкм [4]). В некоторых ситуациях различие исходной топологии и полученного рисунка маски фоторезиста может оказаться недопустимым, поскольку от этого зависят электрические параметры СБИС. Кроме того, в случае рассовмещения топологических слоев при изготовлении СБИС и нежелательных искажений топологии (в частности, сокращения длины контура проводника на его конце, что представлено на рисунке 2) может произойти потеря электрического контакта (или площадь контакта может оказаться недостаточной для надежной работы схемы).

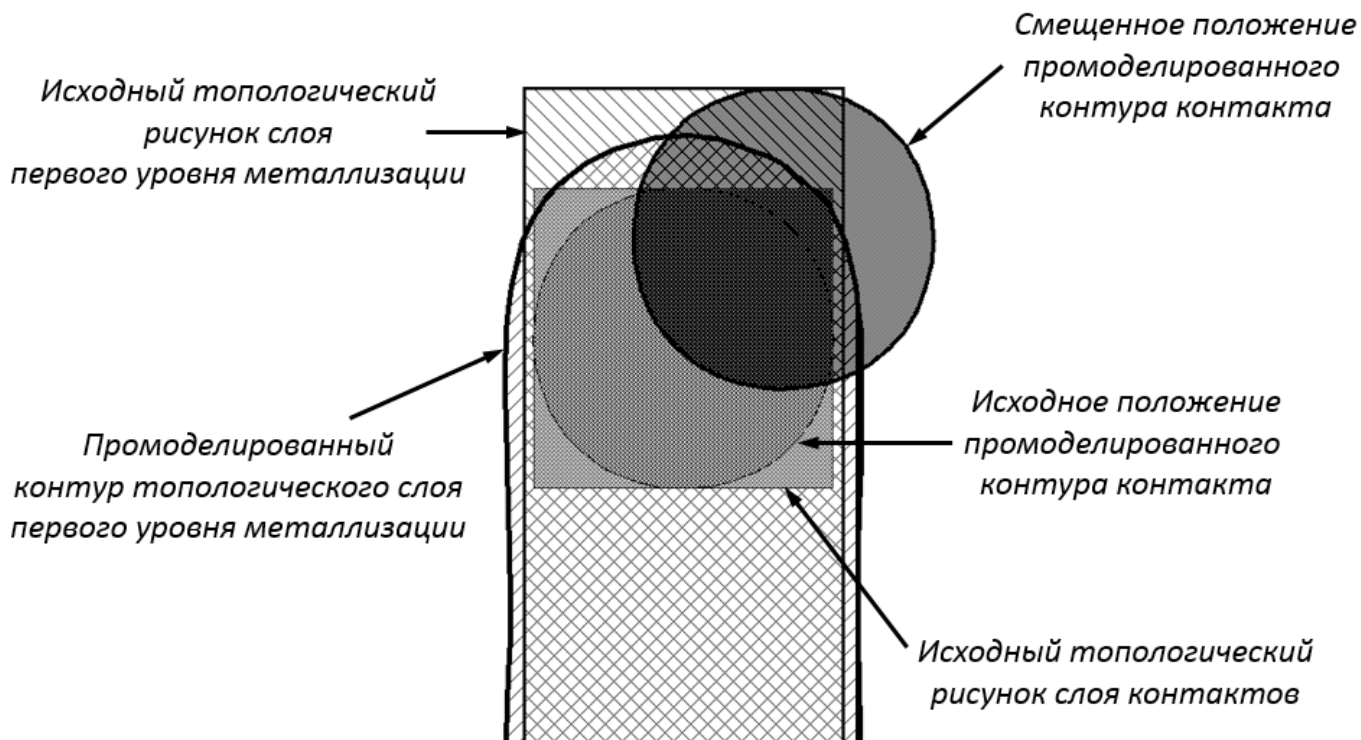


Рисунок 2 – Случай рассовмещения топологических слоев металлизации и контактных окон, приводящий к возможному нарушению электрического контакта

Для компенсации ошибок, вносимых эффектом оптической близости, используется один из методов повышения разрешения оптической системы, называемый коррекцией эффекта оптической близости (Optical Proximity Correction – OPC) [5]. Как правило, различают два метода OPC: основанный на правилах модификации топологического слоя (Rule-Based OPC – RBOPC) и основанный на литографическом моделировании топологического слоя (Model-Based OPC – MBOPC).

Метод RBOPC заключается в следующем. Берется набор экспериментально полученных правил коррекции, согласно которым осуществляется модификация топологических ситуаций, удовлетворяющих заданному описанию. При появлении какой-либо ранее не определенной ситуации необходимо дополнить ранее существовавшие правила коррекции новым правилом. Однако в этом и заключается главный недостаток этого метода, поскольку с ростом точности проводимой OPC количество правил проверки резко возрастает. Из-за того что параметры коррекции различных топологических структур требуют экспериментальной проверки, затрачиваемые усилия и средства также растут слишком быстро даже при небольшом увеличении точности OPC. По этим причинам метод RBOPC, как правило, не применяется на производствах СБИС с минимальной проектной нормой менее 90 нм [6].

В методе MBOPC взамен экспериментально полученных правил коррекции используется откалиброванная по экспериментальным данным модель литографического процесса. Топологический слой в этом случае представляется набором полигонов. Их границы итеративно сдвигаются до тех пор, пока промоделированный рисунок маски фоторезиста не достигнет исходной топологии с требуемой точностью. Для корректной работы методу MBOPC требуется всего лишь несколько правил проверки. Поэтому к нему предъявляют, в основном, два требования: высокой точности и высокой скорости обработки топологического слоя работы в совокупности с возможностью реализации многопоточных вычислений. [5].

Основная цель данной работы заключалась в разработке правил коррекции RBOPC для слоя первого уровня металлизации на примерах типовых топологических ситуаций в БСЭ для проектирования быстродействующих спецстойких КНИ СБИС с минимальным топологическим размером 0,25 мкм, разрабатываемой в НИИСИ РАН [3]. Учитывая, что в технологическом процессе применяется литографическая установка – степпер ASML PAS5500 с длиной волны экспонирующего излучения 365 нм, в данном случае вполне обосновано применение метода RBOPC, поскольку искажения критических линейных размеров на порядок меньше самих размеров [6].

Для снижения временных и производственных затрат в работе использовался следующий подход. Параметры RBOPC для слоя металлизации подбирались с использованием верификации (сравнения полученного в результате моделирования топологического рисунка с исходным) скорректированной топологии с помощью моделирования литографического процесса. При этом разработка правил коррекции осуществлялась одновременно для всех элементов библиотеки. Параметры элементов топологической коррекции выбирались, как уже было отмечено, на основе моделирования процесса литографии. После того, как верификация скорректированных в БСЭ топологий была пройдена без ошибок, осуществлялась их экспериментальная проверка.

Рассмотрим более подробно основные этапы, необходимые для разработки правил коррекции эффекта оптической близости применительно к топологическому слою первого уровня металлизации КМОП КНИ СБИС.

1 Моделирование контура топологического слоя

Под контуром в дальнейшем будем понимать сечение маскирующего слоя вдоль поверхности пластины на некотором заданном расстоянии от нее.

Использованные в работе модели технологического процесса литографии слоя металлизации (модели оптической системы, формирования маски фоторезиста и формирования контура после травления по полученной маске для слоя металлизации) были разработаны согласно методике и экспериментальным данным, приведенным в работе [6]. Скругление углов маски фоторезиста после процесса литографии для контактных окон моделировалось с помощью размытия по Гауссу [7].

Все математические модели, описывающие разнообразные физические процессы, можно условно разделить на две категории. К первой категории относятся модели таких процессов, для которых достоверно известны все физические законы. Следовательно, эти модели представляют собой набор известных уравнений. К таким моделям в контексте данной работы можно отнести модель оптической системы.

В свою очередь, в отличие от оптической системы, для процессов травления и формирования маски фоторезиста на данном этапе развития науки и техники не все физические закономерности достоверно известны. Поэтому в этом случае применяют так называемые «эмпирические» модели, в которых форма математического описания физических процессов представляет собой полином. Аргументами в этом случае являются известные физические величины, их степени и смежные произведения, для каждого из которых существует весовой коэффициент.

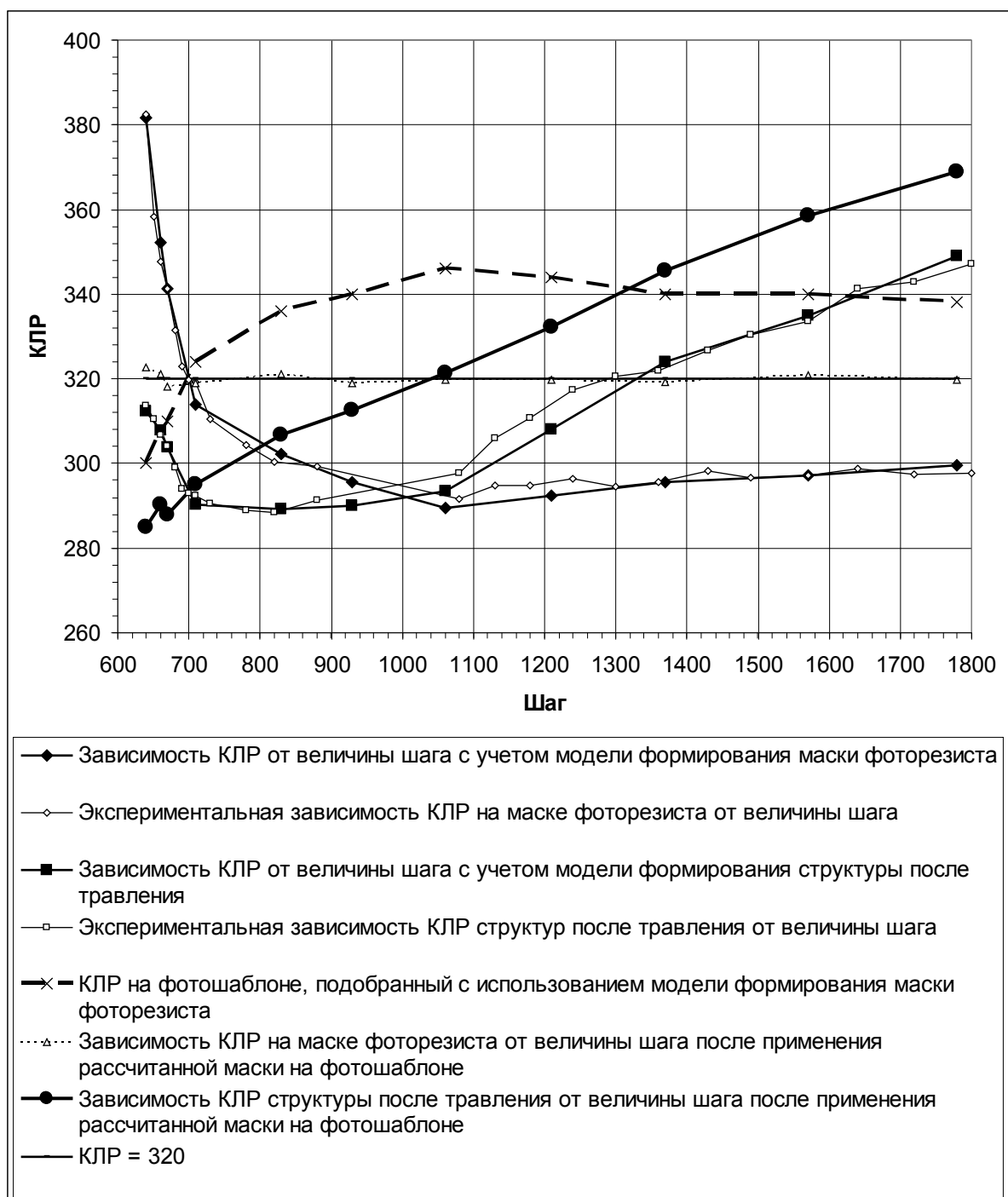


Рисунок 4 – Анализ выбора значений КЛР на изображении фотошаблона по модели формирования маски фоторезиста

Калибровка модели представляет собой подбор весовых коэффициентов. При этом необходимо осуществить выбор таким образом, чтобы поведение модели как можно более точно отражало поведение КЛР элементов в реальности, но в то же время, чтобы в некалиброванных участках модель давала верные прогнозы [6]. Для проведения калибровки необходимо использовать результаты эксперимента.

Анализ экспериментальных данных (рисунок 4) показал, что при подборе параметров элементов коррекции для слоя металлизации предпочтительнее основываться на модели травления по полученной фоторезистивной маске, а не на модели формирования самой маски фоторезиста.

В качестве исходных взяты экспериментальные данные, отражающие зависимость КЛР на пластине от величины шага тестовой структуры, состоящей из параллельно расположенных проводников. Зависимости, полученные экспериментально и при моделировании, совпали в пределах 5%-й погрешности. Следующим шагом было вычисление параметров необходимой коррекции для получения стабильного значения КЛР вне зависимости от величины шага. Вычисления производились с учетом модели формирования маски фоторезиста. Таким образом, были получены значения, отражающие зависимость от величины шага скорректированных КЛР на изображении фотошаблона, которые обеспечивали бы совпадение маски фоторезиста на пластине с номинальным значением. Если использовать данное изображение фотошаблона и, с учетом модели формирования структуры после травления, рассчитать зависимость КЛР на пластине после травления от величины шага, то она будет далека от идеальной – кривая имеет положительный наклон, в то время как должна стремиться к горизонтальной линии (см. рисунок 4).

Следовательно, необходимо учитывать модель формирования топологической структуры после травления при подборе параметров коррекции.

2 Верификация топологии

Как было сказано ранее, верификация – это сравнение промоделированного контура с исходным топологическим рисунком. Цель верификации заключается в выявлении на этапе проектирования СБИС топологических ситуаций, которые могут привести к дефектам при ее изготовлении.

Реализовать процедуру верификации в рамках программного обеспечения возможно в виде скриптов. Для формирования скриптов нужен набор технологических правил, составленный на основе экспериментальных данных, показывающих недопустимые отклонения параметров от требуемых, а также на основе данных по калибровке модели, зависимости критических размеров от величины шага и т.д. В дальнейшем этот набор правил формализуется с помощью специального языка программирования. В зависимости от используемой САПР для проведения OPC этот язык может быть различным. Среди таких САПР наиболее известные САПР фирм Synopsys, Mentor Graphics, Cadence Design Systems. В НИИСИ РАН для проведения операции OPC используется САПР «Calibre» фирмы Mentor Graphics. В состав этой САПР входит инструмент для верификации топологии *Calibre OPCverify*.

OPCverify – это язык программирования, используемый для построения скриптов проверки правил верификации результатов проведения OPC [8]. Для создания скриптов на OPCverify необходимы заранее созданные файлы модели оптической системы и модели формирования маски фоторезиста, содержащие коэффициенты соответствующих этим моделям полиномов.

Скрипт на OPCverify имеет следующую структуру:

1. Описание входных и выходных слоев.
2. Моделирование контура после травления с использованием команды *LITHO OPCVERIFY*.
3. Проверки правил верификации путем сравнения исходной топологии с полученным контуром в результате моделирования с использованием команды *LITHO OPCVERIFY* и с занесением результатов проверки в RDB-файл.
4. LITHO-файлы, среди которых файлы моделирования контура топологических слоев контактов и первого уровня металлизации и файлы проверок стандартных и пользовательских правил верификации.

RDB-файл представляет собой базу данных, содержащую в себе записи о всех нарушениях правил верификации, формализованных в скрипте. Среди нарушений, которые позволяет выявить OPCverify, находятся такие, как: замыкания (*bridge*) и заужения (*pinch*) проводников (рисунок 5), ошибки перекрытия контактных и функциональных слоев (*area_overlay*) (рисунок 2), непропечатавшиеся фрагменты топологии (*not_printing*) и прочие. Более того, OPCverify различает непосредственное (*hard*) замыкание/заужение и возможное (*soft*).

Замыкания происходят, в основном, вследствие близкого расположения проводников (рисунок 5а). Заужения характерны для средней части длинных прямых проводящих линий в отсутствии других близко расположенных элементов топологии (рисунок 5б). Ошибки перекрытия были описаны ранее (рисунок 2). Те фрагменты, которые впоследствии на пластине не пропечатываются, образуются в результате малых значений характерных размеров элементов, таких как, например, ширина проводника. Подобные словесные описания типовых топологических ситуаций позволяют на их основе составить формализованные правила верификации.

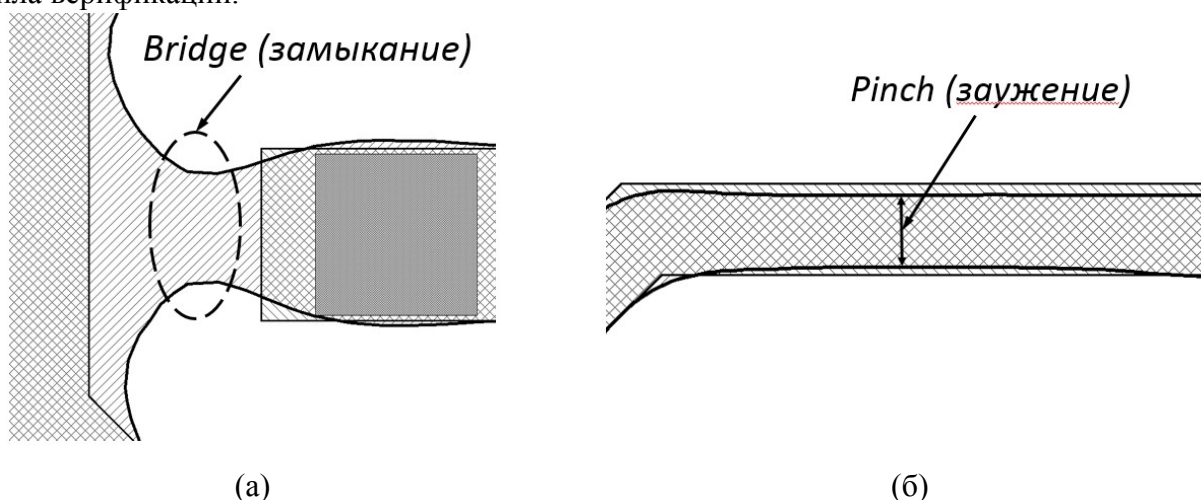


Рисунок 5 – Примеры нарушений правил верификации
(а) – типа *bridge*; (б) – типа *pinch*.

Наибольший интерес представляют LITHO-файлы проверок правил верификации. Их структура представлена на рисунке 6.

```

LITHO FILE LITHO_SIMULATE_MET1 [
  optical_model_load OpticalModel "met1_etch"
  resist_model_load ResistModel "met1_etch.mod"
  background clear
  layer sim_layer visible dark
  setlayer img_ctr = image optical OpticalModel dose 1.00 resist_model ResistModel
]

LITHO FILE LITHO_OPCV_COVER_CHECKS [
  background clear
  layer met1_ctr hidden dark
  layer cont_ctr hidden dark
  setlayer met1_cont_coverage = area_overlay cont_ctr met1_ctr min < 0.7 \
    shift 0.10 max_extent 0.35 output_type worst property {min}

```

Загрузка моделей оптической системы и структуры после травления

Выбор и установки слоев

Создание слоя, содержащего контур после травления

Выбор и установки слоев

Создание контекстных слоев с помощью команды OPCverify (здесь: выбор недопустимых перекрытий контактных окон)

Рисунок 6 – Структура LITHO-файла

Команды типа *setlayer* позволяют создавать контекстные слои, которые затем могут использоваться для записи в RDB-файл или для вывода на экран. Они позволяют как идентифицировать нарушения, так и находить определенные топологические ситуации для дальнейшей обработки [8].

3 Проведение коррекции эффекта оптической близости

Для проведения OPC необходимо вначале определить набор правил, согласно которым будет проводиться коррекция. Правило в словесной форме представляет собой ответы на вопросы «что и как корректировать?». То, что корректировать, определяется с помощью проведенной ранее верификации. То, как корректировать, определяется путем подбора параметров фигур коррекции, с целью достижения наилучшего совпадения промоделированного контура с рисунком исходной топологии. Формализация этих правил осуществляется с помощью языка SVRF.

SVRF (*Standard Verification Rule Format* – стандартный формат проверки правил) – язык, операции и операторы которого используются для создания файлов, содержащих правила коррекции (SVRF Rule File) [9]. SVRF-файл используется приложением «Calibre» для чтения данных по слоям из файлов, содержащих топологию в форматах GDS или OASIS, для обработки информации по слоям и применения решений OPC к этим слоям. Правила, формализованные в виде блоков внутри SVRF-файлов, представляют собой операции над слоями. Функциональность этих операций заключается в выборе границ и/или полигонов (в соответствии с выполняемым правилом) и изменение их, реализуемое в виде параллельного сдвига, поворота, удлинения, утолщения границ, добавления дополнительных полигонов и проч. Ко всем созданным таким образом элементам топологии и исходному топологическому слою применяется операция «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ», результатом которой является слой с проведенной OPC. При проведении в дальнейшем повторной верификации этот слой будет выбран для моделирования контура.

Топологическая ситуация, приведенная на рисунке 5б, исправляется с применением элементов коррекции, называемых *bias* (расширение/сужение шины). Эти элементы формируются на основе таблиц правил изменения размеров в зависимости от параметров шины, т.е., например, для каждого диапазона расстояний и ширины шины задается фиксированный размер расширения/сужения.

Детерминирование и формирование компенсирующих элементов для коррекции эффекта оптической близости в более сложных топологических ситуациях, например, таких как окончание линий (см. рисунок 2), внешний и внутренний (рисунок 7) углы 135 и 90, рассмотрены в таблицах 1-5.

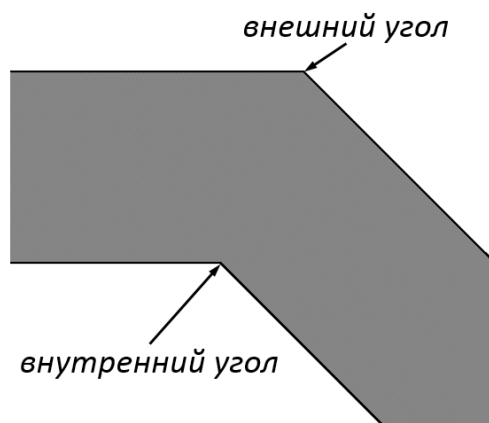
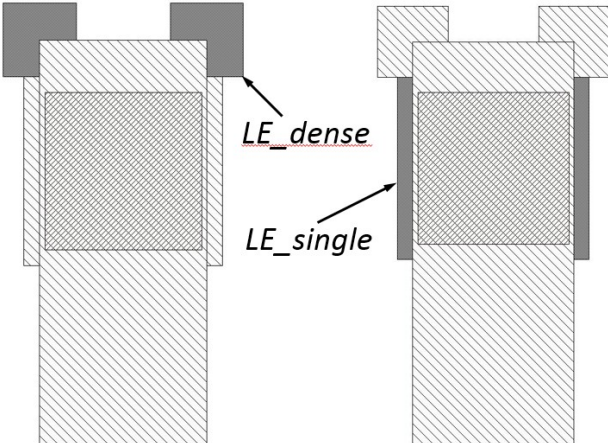
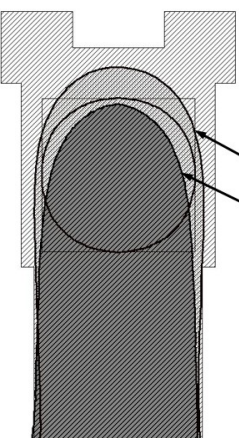


Рисунок 7 – Определение внешних и внутренних углов

Таблица 1 – Пример формализованных правил OPC. Компенсирующие элементы для конца контура проводника

Компенсирующие элементы для структуры окончания контура проводника			
Фрагмент кода	1	<pre>LE_convex = CONVEX EDGE met1 ANGLE1 == 90 LENGTH1 >= 0.1 ANGLE2 == 90 LENGTH2 >= 0.1 WITH LENGTH > 0.3 < 0.5</pre>	Выбор граней контура слоя металлизации, находящихся на окончании проводящей линии (<i>LINE END</i>) по заданным параметрам
	2	<pre>LE_enclosure = ENCLOSURE cont [LE_convex] >= 0.1 <= 0.15 OPPOSITE PARALLEL ONLY</pre>	Выбор из граней, определенных на предыдущем шаге, тех, которые находятся на заданном расстоянии от граней контактов и параллельно им (охват контакта)
	3	<pre>LE_full_edge = TOUCH EDGE LE_convex LE_enclosure</pre>	Выбор граней, определенных на шаге (2), целиком
	4	<pre>LE_1 = EXPAND EDGE LE_full_edge INSIDE BY 0.07 OUTSIDE BY 0.07 EXTEND BY 0.07 LE_2 = EXPAND EDGE LE_full_edge INSIDE BY 0.07 OUTSIDE BY 0.07 EXTEND BY -0.07 LE_dense = (LE_1 NOT LE_2) NOT met1</pre>	Создание компенсирующих элементов путем «вытягивания» полигонов из выбранных на шаге (3) граней
	5	<pre>IA90_zone = EXTERNAL [met1] <= 0.150 ABUT == 90 INTERSECTING ONLY</pre>	Выбор отрезков граней заданной длины, образующих прямой внутренний угол
	6	<pre>LE_single_ext = EXTERNAL (met1) < 0.4 OPPOSITE</pre>	Выбор всех граней проводников металла, кроме тех, что расположены на расстоянии меньше заданного относительно другой грани
	7	<pre>LE_single_notcoin = NOT COINCIDENT EDGE LE_single_ext IA90_zone</pre>	Исключение из найденных на шаге (6) граней отрезков, найденных на шаге (5)
	8	<pre>LE_single_enc = ENCLOSURE cont [LE_single_notcoin] == 0.01 OPPOSITE PARALLEL ONLY</pre>	Выбор среди определенных на шаге (7) граней отрезков, находящихся на определенном расстоянии от граней контактов строго параллельно им
	9	<pre>LE_single_expand = EXPAND EDGE LE_single_enc OUTSIDE BY 0.03 EXTEND BY 0.03 LE_single = LE_single_expand NOT met1 LE = LE_single OR LE_dense</pre>	Создание компенсирующего элемента на основе выбранных на шаге (8) граней (см. рисунок ниже)

Иллюстрация		
Вывод	Введением фигур коррекции проблема недостаточного охвата контакта была решена путем обеспечения охвата контакта согласно заданным технологическим нормам.	

Сравнение контура до и после

Таблица 2 – Пример формализованных правил OPC. Компенсирующие элементы для внутреннего прямого угла

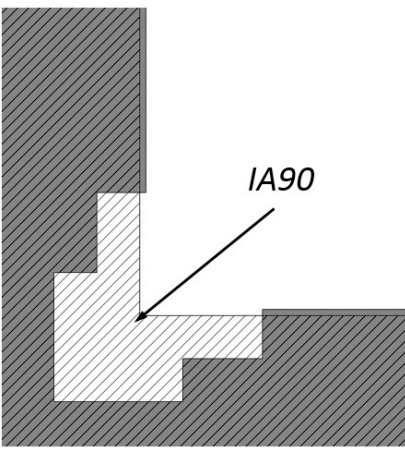
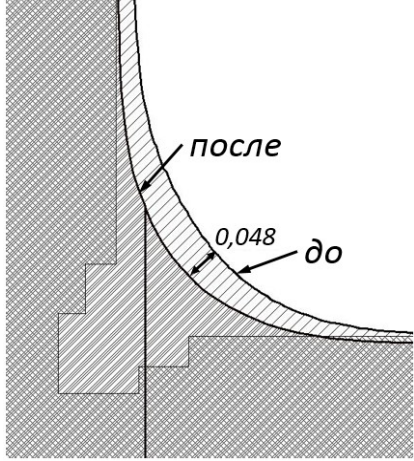
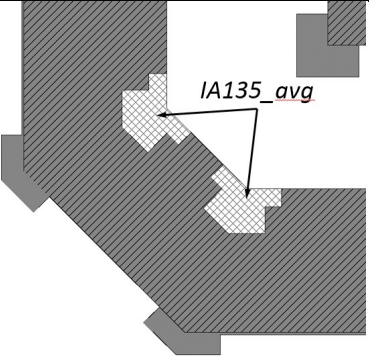
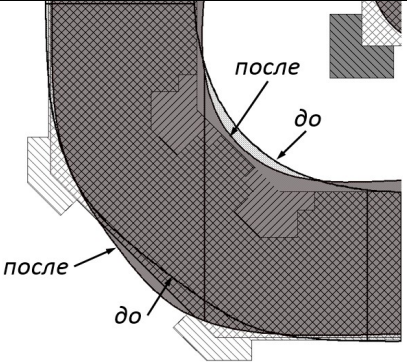
Компенсирующие элементы для внутреннего прямого угла			
Фрагмент кода	1 0	IA90_coin = NOT COINCIDENT EDGE met1 LE	Выбор граней, еще не подвергавшихся коррекции
	1 1	IA90_1 = EXPAND EDGE (EXTERNAL [IA90_coin] <= 0.1 ABUT == 90 INTERSECTING ONLY) INSIDE BY 0.035 CORNER FILL	Создание компенсирующего элемента 1) Среди граней, определенных на шаге (10), выбрать отрезки заданной длины, которые примыкают к внутреннему прямому углу 2) Вырезание полигона вдоль найденных отрезков
	1 2	IA90_2 = EXPAND EDGE (EXTERNAL [IA90_coin] <= 0.035 ABUT == 90 INTERSECTING ONLY) INSIDE BY 0.07 CORNER FILL IA90 = IA90_1 OR IA90_2	Повторение предыдущего шага с целью получения второго выреза компенсирующего элемента и объединение обоих вырезов в единый компенсирующий элемент
Иллюстрация			
Вывод	Путем введения фигур коррекции обеспечено более точное соответствие рисунка		

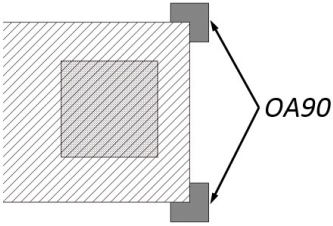
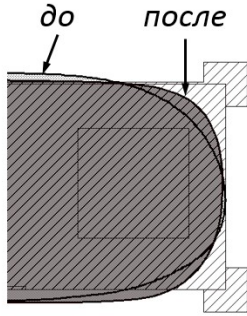
Таблица 4 – Пример формализованных правил ОРС. Компенсирующие элементы для каждого из внутренних углов 135° , примыкающих к грани заданной длины

Компенсирование элементов для каждого из внутренних углов 135°, примыкающих к грани заданной длины					
Фрагмент кода	1 9	IA135_coin = NOT COINCIDENT EDGE IA135_coin_1 IA135_long	Выбор граней, еще не подвергавшихся коррекции		
	2 0	IA135_length_avg = LENGTH IA135_coin >= 0.25 < 0.26	Выбор граней, которые имеют длину в заданном диапазоне		
	2 1	IA135_convex_met1_avg = CONVEX EDGE met1 ANGLE1 == 225 LENGTH1 >= 0.24 < 0.26 ANGLE2 < 360	Выбор граней, примыкающих к внутреннему углу 135° только одним из своих концов		
	2 2	IA135_edges_avg = DFM COPY IA135_length_avg IA135_convex_met1_avg	Объединение граней, выбранных на шагах (20) и (21)		
	2 3	IA135_avg_s1 = EXPAND EDGE (EXTERNAL [IA135_edges_avg] <= 0.077 ABUT == 135 INTERSECTING ONLY) INSIDE BY 0.04 CORNER FILL	Создание компенсирующего элемента 1) Среди граней, определенных на шаге (22), выбрать отрезки заданной длины, которые примыкают к внутреннему углу 135° 2) Вырезание полигона вдоль найденных отрезков		
	2 4	IA135_avg_s2 = EXPAND EDGE (EXTERNAL [135IA_edges_avg] <= 0.04 ABUT == 135 INTERSECTING ONLY) INSIDE BY 0.1 CORNER FILL IA135_avg = DFM COPY IA135_avg s1 IA135_avg s2	Повторение предыдущего шага с целью получения второго выреза компенсирующего элемента и объединение обоих вырезов в единый компенсирующий элемент		
	2 5	IA135 = DFM COPY IA135_avg IA135_long	Объединение компенсирующих элементов для внутренних углов 135° в единый слой		
Иллюстрация					
Сравнение контура до и после					

		после введения ОРС	
Вывод	Путем введения фигур коррекции обеспечено более точное соответствие размеров и положения контура проводника на пластине исходной топологии.		

Таблица 5 – Пример формализованных правил ОРС. Компенсирующие элементы для внешних углов 90°, не находящихся на окончании контура проводника

Компенсирующие элементы для внешних углов 90°, не находящихся на окончании контура проводника			
Фрагмент кода	2 6	OA90_coin = NOT COINCIDENT EDGE IA135_coin IA135	Выбор граней, еще не подвергавшихся коррекции
	2 7	OA90_cont = ENCLOSURE cont [met1] <= 0.15 OPPOSITE PARALLEL ONLY	Выбор из граней, определенных на предыдущем шаге, тех, которые находятся на заданном расстоянии от граней контактов и параллельно им (охват контакта)
	2 8	OA90_touch = TOUCH EDGE met1 OA90_cont	Выбор граней, определенных на шаге (27), целиком
	2 9	OA90_int_jog = INTERNAL [OA90_touch] <= 0.16 ABUT == 90 INTERSECTING ONLY	Среди граней, определенных на шаге (28), выбрать отрезки заданной длины, которые примыкают к внешнему углу 90°
	3 0	OA90_jog_length = LENGTH OA90_int_jog == 0.16	Среди граней, определенных на шаге (29), выбрать грани с заданной длиной (это позволит исключить из рассмотрения грани, принадлежащие окончанию линии проводника)
	3 1	OA90_int = INTERNAL [OA90_jog_length] <= 0.06 ABUT == 90 INTERSECTING ONLY	Среди граней, оставшихся после шага (30), выбрать те, которые пересекаются под прямым углом
	3 2	OA90_notcoin_prevopc = COINCIDENT EDGE OA90_coin OA90_int	Выбор граней, еще не подвергавшихся коррекции, среди определенных на шаге (31)
	3 3	OA90_serif = EXPAND EDGE OA90_notcoin_prevopc OUTSIDE BY 0.06 CORNER FILL OA90 = OA90_serif NOT met1	Создание компенсирующих элементов путем «вытягивания» полигонов из выбранных на шаге (32) граней

Иллюстрация		ОПССравнение к	
Вывод	Путем введения фигур коррекции проблема недостаточного охвата контактного окна слоем металлизации в случае рассовмещения была решена.		

После проведения операции ОПС процедуру верификации необходимо повторить. Перед началом изготовления СБИС ни одно из правил верификации не должно быть нарушено. Как следствие, процесс коррекции-верификации является итеративным и заканчивается при условии отсутствия ошибок.

Таким образом, разработка правил верификации и коррекции и проведение процедуры верификации-коррекции топологии на стадии разработки СБИС является очень важным этапом, позволяющим предугадать и скомпенсировать нежелательные изменения топологического рисунка на пластине, которые возникают вследствие эффекта оптической близости и могут привести к нарушениям в работе микросхемы.

Заключение

Корректировка типовых элементов библиотеки позволяет покрыть бóльшее число топологических ситуаций. Однако при дальнейшей трассировке библиотеки возможно возникновение новых топологических ситуаций, которые также могут быть описаны в скрипте на языке SVRF.

Дальнейшая задача состоит в разработке скриптов для конкретных топологических размеров элементов библиотеки спецстойких СБИС с учетом разработанных в данной работе правил, что позволит повысить качество процесса литографии и, тем самым, увеличит процент выхода годных СБИС.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ
(грант НШ-2903.2014.9)

Литература

1. Волков С.И., Морозов С.А. Конструктивно-технологический базис радиационно-стойких сложно-функциональных КНИ БИС// IX Межотраслевая конференция по радиационной стойкости. Сборник докладов в двух частях. Часть 1. – 2010. – С. 67-71.
2. Волков С.И., Глушко А.А., Морозов С.А.. Исследование и моделирование факторов, ограничивающих радиационную стойкость КНИ// Труды НИИСИ РАН.

Математическое и компьютерное моделирование систем: прикладные аспекты. – М., НИИСИ РАН, 2011. – Том 1; №1. – С. 51-56.

3. Чистяков М.Г. Разработка библиотеки стандартных элементов для систем автоматизированного проектирования сверхбольших интегральных схем по технологии SOI с минимальным топологическим размером 0,25 мкм // Автореферат квалификационной работы бакалавра по направлению подготовки 211000 «Конструирование и технология электронных средств» – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 16 с. (рукопись).

4. Design Rules MOSIS Scalable CMOS (SCMOS) (Revision 8.00). – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.mosis.com/files/scmos/scmos.pdf>. - Проверено 23.01.2014.

5. Chris Mack. Fundamental Principles of Optical Lithography: The Science of Microfabrication. – Wiley, November 2007. – 534 pages.

6. Особенности топологического проектирования субмикронных КМОП СБИС с учетом литографических ограничений / Демин С.В., Амирханов А.В., Михальцов Е.П., Родионов И.А., Тафинцева Е.В. // Сборник научных трудов НИИСИ РАН. Математическое и компьютерное моделирование систем: теоретические и прикладные аспекты. – М., НИИСИ РАН, 2009. – С. 24-31,

7. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005, 2006. – 1072 с.

8. Calibre OPCverify User's and Reference Manual (Software Version 2011.1) – Mentor Graphics Corporation, 2011. – 405 pages.

9. Standard Verification Rule Format (SVRF) Manual (Calibre 2011.1) – Mentor Graphics Corporation, 2011. – 2073 pages.

СТРУКТУРА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Кулешова А.Д

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф. Семенцов С.Г.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

STRUCTURE OF DATA CENTER MONITORING SYSTEM

Kuleshova A.D.

Supervisor: prof., Dr. Sementsov S.G.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются основные вопросы в области построения систем мониторинга в центрах обработки данных. Подробно исследована структура подобных систем. Кратко представлены варианты реализации систем мониторинга.

Abstract

This article discusses the major issues in building monitoring systems in data centers. Detailed study of the structure of such system works. Summarized embodiments monitoring system works.

Введение

В условиях развития современного бизнеса актуальна задача построения эффективных информационных систем, ориентированных на решение различных задач и упрощение сопутствующих бизнес-процессов. Эффективность таких ИТ-систем, в числе прочего, измеряется гарантией их бесперебойной работы. Таким образом, первоочередным вопросом для разработчика ИТ-инфраструктуры является организация современной инженерной инфраструктуры отвечающей требованиям надежности, безопасности, отказоустойчивости, экономичности и масштабируемости. Консолидация инфраструктуры в единый Центр Обработки Данных (ЦОД) позволяет облегчить построение единой **системы мониторинга** (СМ) [1] обеспечивающей своевременную реакцию на инциденты, и как следствие, снижающей риски и финансовые затраты на поддержание отдельно взятого ИТ-комплекса.

Текущие требования [2] к эффективным системам мониторинга ЦОД диктуются рядом внешних факторов, влияющих на качество работы вычислительных и связанных ресурсов. Особое внимание следует уделить негативным воздействиям окружающей среды и человеческому фактору. К ним можно отнести: сбой энергоснабжения, пожар и задымление, несанкционированный доступ, взлом, кражи, затопление, резкие температурные изменения, пыль, электромагнитные излучения и пр. Исходя из сформулированных опасностей, функционал обеспечиваемый системами мониторинга можно разделить на: 1) обеспечение функционирования технологического оборудования, 2) защита от технических сбоев, 3) защита от несанкционированных действий человека. Эффективная система должна осуществлять круглосуточный мониторинг, комплексный анализ заданных параметров и обладать минимальным временем отклика для своевременного обнаружения и последующей реакции на негативный фактор.

На международном рынке представлен обширный ряд вариантов реализации систем мониторинга ЦОД. Как правило, существующие инфраструктуры [3] вводят в эксплуатацию две независимые системы контроля – ИТ и инженерных служб. Каждая из этих систем требует независимой настройки и поддержки, что является их существенным минусом. В связи с чем, интерес представляет разработка единой интегрированной системы мониторинга за ИТ-процессами и инженерными службами ЦОД.

1 Разработка структуры системы мониторинга ЦОД

Высокие требования к уровню масштабируемости и отказоустойчивости ЦОД требуют от систем мониторинга и управления максимального приближения автоматизации управления компонентами ЦОД к бизнес-процессам. СМ ЦОД должна обеспечивать автоматическое управление и диспетчеризацию инженерного оборудования, работу датчиков и агрегатов, поддержку параметров работы оборудования и их оперативного изменения. СМ должна вести непрерывный контроль и регистрацию основных параметров, а также диспетчеризацию возникающих инцидентов.

Для построения СМ требуется выделить ее существенную часть – **базу**, обрастающую дополнительными модулями и функциями. Таковой базой является инженерная инфраструктура (рис. 1).



Рисунок 1 – Структура систем мониторинга ЦОД

Система мониторинга и контроля направлена главным образом на управление инженерными системами объекта и должна взаимодействовать со всеми его составляющими, не отклоняясь при этом от принципа целостности СМ и интеграции с ИТ-модулем.

Архитектурное решение такой системы можно представить тремя уровнями (рис.2):

- Периферийные устройства, ИП (физический уровень)
- Инженерное оборудование, сеть передачи данных (уровень IT)
- ПО – средства виртуализации, архивации, публикации (уровень приложений)



Рисунок 2 – Субмодули архитектуры систем мониторинга ЦОД.

Под периферийными устройствами подразумеваются системы электроснабжения, климатическая, автоматического пожаротушения, охранной и пожарной сигнализаций, контроля доступа центра обработки данных (ЦОД).

ПО включает в себя **аналитический модуль**, постоянно отслеживающий рабочие параметры систем на предмет отклонения от нормы и способен автоматически запускать процедуры согласно заложенным инструкциям.

Данная архитектура позволяет реализовать:

- Общую платформу, объединяющую инженерные ИТ-системы
- Систему централизованного управления ЦОД
- Мониторинг микроклимата: температура, влажность, воздушные потоки
- Интеграцию датчиков: утечки, задымления, открытие дверей, движение, напряжение
- Контроль системы энергоснабжения, отображение статуса внешних энерговодов, дизель-генераторов и устройств бесперебойного питания на картах сети и планах помещений
- Планирование загрузки оборудования
- Интеграция с системами СКУД
- Систему оповещений

2 Структура модуля мониторинга инженерных систем.

Именно инженерная инфраструктура (рис.3) во многом определяет показатели надежности, непрерывности функционирования и масштабируемости системы в целом и включает в себя:

- Строительные и монтажные конструкции (стойки)
- Кабельную систему
- Систему бесперебойного питания
- Систему пожаротушения
- Климатическое оборудование
- Системы контроля доступа

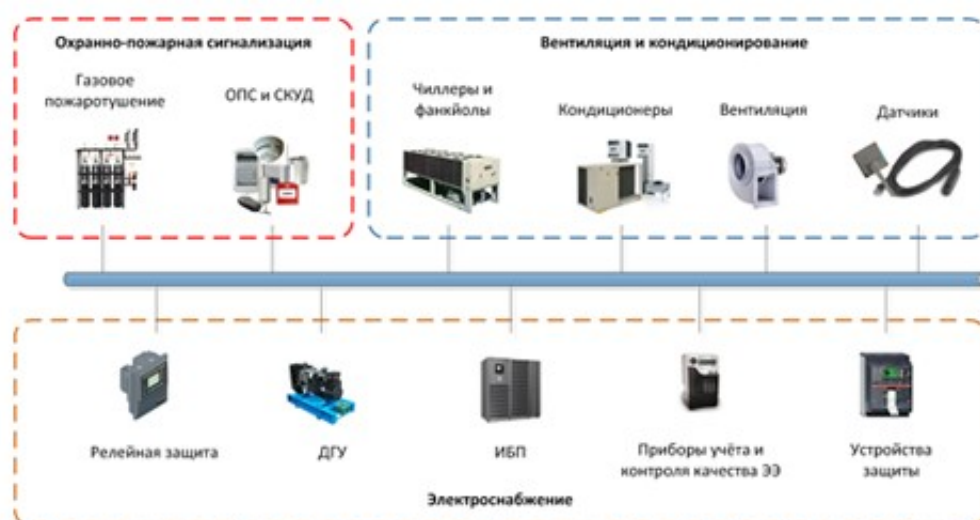


Рисунок 3 – Состав инженерной инфраструктуры

Система контроля инженерной инфраструктуры включает в себя:

1. Климатическая система – поддержание температурных режимов и уровня влажности. Установленные периферийные датчики обеспечивают бесперебойную систему кондиционирования, регулирования температуры и влажности воздуха, поддержание приемлемых параметров для нормального функционирования оборудования. Энерго- и водоснабжение этих систем должно быть продублировано в зависимости от типа резервирования ЦОД. Помимо этого, компьютерный зал должен быть оборудован осушительным каналом на случай затопления в результате прорыва труб или срабатывания оросителей.
2. Система электроснабжения – установка систем бесперебойного питания (ИБП). : локальные ИБП для одной зоны, этажа или здания, генератор, подстраховывающий работу ИБП на компьютерном этаже или этажах, службы здания и офисов, в случае необходимости. Основным источником энергии всего здания предоставляется местным поставщиком энергии. В зависимости от уровня резервирования ЦОД все эти элементы могут содержать несколько источников питания. Системы энергоснабжения должны быть оборудованы устройствами защиты от перепадов напряжения (TVSS) с напольными распределителями питания.
3. Система безопасности – комплекс технических средств направленных на пожаротушение, видеонаблюдение могут быть основаны на IP, при этом камеры слежения могут быть подсоединены медными или волоконно-оптическими кабелями. Система может быть настроена таким образом, что каждая камера будет служить мини-сервером или ПК. Поскольку такая система представляет собой сеть, ее можно соединить локально или глобально и добавить возможность голосового оповещения через встроенные рядом с камерами спикеры.
- 4.СКУД – система контроля и управления доступом

Заключение

Разработка структуры систем мониторинга ЦОД имеет большое значение при проектировании отказоустойчивых комплексов большой вычислительной мощности. Разработана система, позволяющая совместить мониторинг ИТ-модуля и инженерную инфраструктуру комплекса. Разработана структура модуля мониторинга инженерной системы.

Литература

1. <http://docs.gurtam.com/ru/pro/1301/manager/terms/start>
2. TIA STANDARD TIA-942 — Arlington, USA.:Telecommunication Industry Association, 2008. 148 с.
3. http://www.ups-info.ru/for_partners/library/infrastruktura_tsod_obretaet_novee_forme/

ВЫСОКОПЛОТНАЯ КОМПОНОВКА МЕЖСОЕДИНЕНИЙ МНОГОСЛОЙНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ ПЛАТ

Миронова Ж.А.

Научный руководитель: член-кор. РАН, д.т.н., проф. Шахнов В.А.

к.т.н., доц. Гриднев В.Н.

МГТУ им. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

MULTILAYER WIRING BOARDS OF HIGH-DENSITY

Mironova Z.A.

Supervisor: prof, Dr. Shakhnov V.A., Ph.D Gridnev V.N.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Увеличение функциональных возможностей и уменьшение массогабаритных характеристик радиоэлектронной аппаратуры обеспечивается как повышением степени интеграции полупроводниковых компонентов, так и миниатюризацией структур коммутационных плат. В настоящей статье рассматриваются технологические методы создания высокоплотной компоновки межсоединений коммутационных плат для установки поверхностно-монтажных компонентов с матричным расположением большого (до 1500 шт.) числа и малым шагом их расположения (менее 1 мм).

Abstract

The increase in functionality and decrease in weight and size characteristics of electronic equipment resulting in integration and miniaturization of semiconductor structures of wiring boards. The components of the land grid array identified technological problems of manufacturing high-density interconnect wiring boards. This article discusses the problems and technology of high-density interconnects existing wiring boards to date.

Введение

Переход от периферийного к матричному расположению выводов поверхностно монтируемых компонентов (ПМК) значительно повышает плотность их размещения на поверхности коммутационной платы, что требует увеличения плотности размещения контактных площадок (КП) на поверхности платы. В свою очередь, увеличение плотности размещения КП неизбежно приводит к необходимости решения задачи обеспечения трассировки связей между выводами, так как возникает ограничение, связанное с небольшими (менее 1 мм) расстояниями между соседними контактными площадками. Особенно это актуально для ПМК с матричным расположением большого количества (до 1500 шт.) выводов [1].

В традиционной, наиболее широко используемой технологии изготовления многослойных коммутационных плат, создание межсоединений с нижележащими слоями происходит с помощью формирования металлизированных сквозных отверстий (МСО), выполняемых механическим сверлением с последующей металлизацией (рис. 1). При этом металлизированные отверстия размещаются между КП, предназначенными для монтажа выводов ПМК (рис. 2). В настоящее время отношение толщины многослойной коммутационной платы с МСО к диаметру металлизированного отверстия (аспектное отношение – Aspect ratio) достигает 20:1 [2].

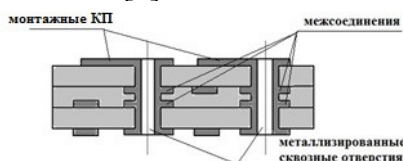


Рисунок 1 - Многослойная коммутационная плата с металлизированными сквозными переходными отверстиями

Одним из недостатков метода МСО при высокоплотном размещении КП и переходных отверстий является большая вероятность ухода припоя в металлизированное отверстие, что неизбежно влияет на качество паяного соединения [3, 4]. Для исключения этого недостатка при изготовлении такой многослойной платы переходные отверстия защищаются специальной жидкой паяльной маской, препятствующей проникновению припоя в переходное отверстие (операция тентирования).

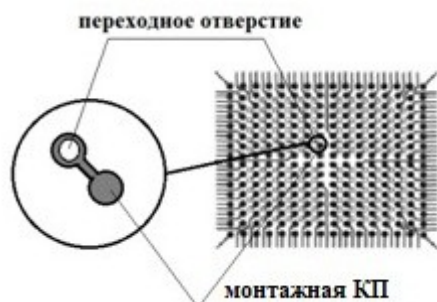


Рисунок 2 - Размещение монтажной КП с КП сквозного металлизированного отверстия

При этом тентирование сквозного металлизированного отверстия с двух сторон может привести к расширению находящегося внутри переходного отверстия воздуха и вспучиванию маски во время групповой пайки, а тентирование, выполненное с одной стороны платы, – к попаданию в отверстие во время монтажа химических реактивов и разрушению межсоединения. Таким образом, для создания надежного межсоединения необходима дополнительная технологическая операция заполнения переходных металлизированных отверстий полимером, выполняемая перед нанесением защитной паяльной маски. Такая дополнительная операция приводит к необходимости учета следующих технологических факторов [5]:

- коэффициент теплового расширения (КТР) материала, применяемого для заполнения отверстий, должен быть близок к КТР материалам коммутационной платы;
- должна быть предусмотрена возможность прямого заполнения отверстий материалом без использования шаблона или трафарета;
- проведение последующей технологической операции планаризации поверхности КП с отверстием в случае выступа материала заполнения над поверхностью коммутационной платы.

В качестве материалов для заполнения отверстий экономически более выгодно использовать непроводящие материалы (без добавления металлических частиц), так как такие материалы дешевле проводящих, а металлизация отверстий полностью обеспечивает качественное межсоединение, не нуждающееся в дополнительном электрическом контакте за счет проводящего материала в металлизированных отверстиях [5].

При использовании трафарета для заполнения металлизированных отверстий с аспектным отношением более 10:1 на оборудовании без вакуумного режима существует большая вероятность попадания воздуха в промежутки между проходами ракеля и некачественное заполнение отверстий.

В случае использования полной матрицы монтажных КП для ПМК с шагом менее 0,8 мм остается недостаточно пространства для размещения КП с переходными механически просверленными отверстиями [4], а также для размещения печатных проводников для осуществления связей между контактами ПМК. Решение этой проблемы заключается в совмещении КП, предназначенной для установки ПМК, и КП с переходным отверстием. Это возможно только в случае заполнения отверстия полимером, его планаризации и создания монтажной КП непосредственно на заполненном переходном отверстии как показано на рис.3.

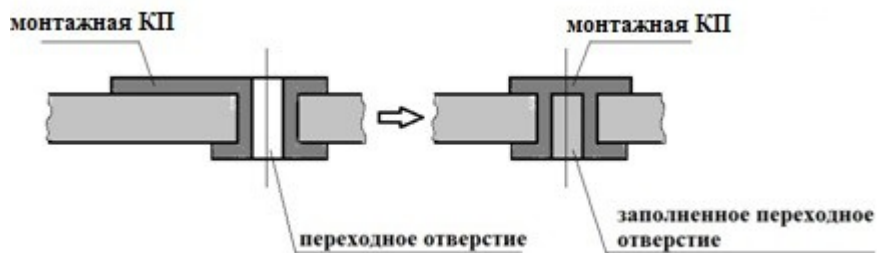


Рисунок 3 - Совмещение монтажной КП с КП с переходным отверстием

Для создания высокоплотной компоновки межсоединений коммутационных плат, предназначенных для установки ПМК с матричным расположением большого количества выводов (до 1500 шт.) и малым шагом их размещения (менее 0,8 мм) по традиционной технологии изготовления коммутационных плат МСО, технологический процесс должен включать в себя следующие операции:

- изготовление отдельных односторонних или двухсторонних слоев с проводящим рисунком;
- сборка и прессование пакета, состоящего из отдельных слоев, склеивающих прокладок (препрега) между ними, экранов (при необходимости);
- сверление сквозных отверстий в спрессованном пакете;
- металлизация сквозных отверстий и формирование рисунка внешних слоев коммутационной платы;
- заполнение сквозных металлизированных отверстий материалом с соответствующим КТР, определенных для межсоединения КП, предназначенных для установки ПМК, и находящихся в области 1 мм от них;
- планаризация поверхности внешних слоев коммутационной платы;
- формирование КП, предназначенных для установки ПМК, непосредственно на заполненных металлизированных отверстиях.

Сквозные металлизированные отверстия, в качестве межсоединений многослойной коммутационной платы, проходят через все слои, сокращая пространство для размещения трасс проводников на внутренних слоях и затрудняя размещение элементов с противоположной стороны коммутационной платы. Такое конструктивно-технологическое решение не позволяет минимизировать число трассировочных слоев, суммарную длину соединений и число межслойных переходов. Поэтому для повышения трассировочной способности на внутренних слоях коммутационных плат, предназначенных для установки ПМК с матричным расположением и малым шагом выводов, межсоединения выполняют с помощью глухих металлизированных отверстий, например, как в так называемой технологии изготовления многослойных коммутационных плат с высокой плотностью межсоединений (HDI). Этот вид технологии изготовления многослойных коммутационных плат подразумевает изготовление ядра коммутационной платы традиционным методом МСО и последующее наращивание слоев с формированием глухих микроотверстий [6].

Изготовление многослойных коммутационных плат HDI во многом зависит от: [7]:

- вида диэлектрического материала наращиваемых слоев;
- метода формирования глухих микроотверстий (фотопроцесс, лазер, плазма, трафаретная печать, механическое сверление);
- выбора метода металлизации.

Широкое распространение среди технологий изготовления многослойных коммутационных плат с высокой плотностью межсоединений получила технология с формированием глухих микроотверстий путем лазерного сверления. При этом технологическое ограничение на формирование качественной металлизации глухого отверстия, т.е. аспектное отношение (Aspect ratio) максимально составляет от 1:1 до 1,5:1. Процесс лазерной абляции полиимида позволяет сформировать глухое отверстие с основанием металлизированной КП нижележащего слоя коммутационной платы. Таким

образом, с помощью данной технологии происходит межсоединение соседних слоев платы. В случае матричного расположения и большого количества трассируемых монтажных КП внешнего слоя коммутационной платы HDI, где существует необходимость формирования межсоединений с более глубокими внутренними слоями, чем с соседним, реализуют «ступенчатые» микропереходы, как это показано на рис. 4.



Рисунок 4 - Формирование межсоединений с помощью несоосных микропереходов

В изготовленных этим методом платах КП и переходные отверстия также занимают много места, что создает трудности для трассировки проводников через группу таких межсоединений. Для повышения плотности компоновки проводящего рисунка в этом случае используется технология «стековых» микроотверстий, т.е. располагающихся друг над другом, как это показано на рис. 5.

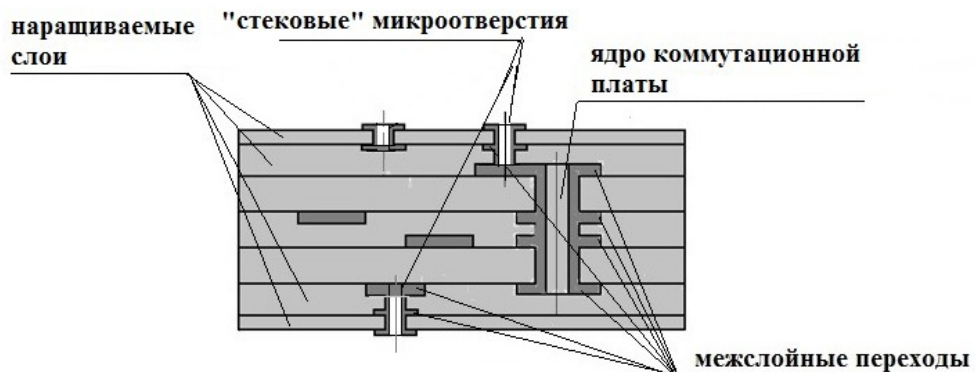


Рисунок 5 - Структура платы HDI с применением «стековых» микроотверстий

Для создания качественного паяного соединения, как и в случае коммутационной платы MCO, глухие металлизированные отверстия, предназначенные для межсоединения ПМК, должны быть заполнены материалом с соответствующем КТР, а затем проведены планаризация поверхности платы и формирование монтажных КП непосредственно на глухих заполненных микроотверстиях [4].

Существует технологический процесс, при котором полностью заполняются микроотверстия металлом в процессе химико-гальванического меднения, при этом требуется больше времени на выполнение операции металлизации и дальнейшая планаризация поверхности (удаление медных колец вокруг микроотверстия).

Для создания высокоплотной компоновки межсоединений в коммутационных платах, предназначенных для установки ПМК с матричным расположением большого (до 1500 шт.) количества выводов и малым (менее 1 мм) шагом их размещения по технологии изготовления плат HDI, где межсоединения наращиваемых слоев являются микроотверстиями соединяющими соседние слои платы, технологический процесс должен включать в себя следующие операции:

- изготовление ядра коммутационной платы по традиционной технологии металлизации сквозных отверстий;
- наращивание внешних слоев для формирования микроотверстий;
- создание микроотверстий;
- металлизация микроотверстий и формирование рисунка внешних слоев коммутационной платы;
- при необходимости повторение наращивания и создание микроотверстий;
- заполнение микроотверстий материалом с соответствующим КТР, предназначенных для установки ПМК;
- планаризация поверхности внешних слоев платы;
- формирование КП, предназначенных для установки ПМК, непосредственно на заполненных металлизированных отверстиях.

В результате анализа существующих конструктивно-технологических решений создания межсоединений многослойных коммутационных плат, предназначенных для установки ПМК с матричным расположением, большим количеством (до 1500 шт.) и малым шагом выводов (менее 1 мм), для увеличения плотности компоновки межсоединений выявлены следующие пути решения:

1) совмещение КП, предназначенных для установки ПМК, с переходными отверстиями позволит увеличить плотность компоновки монтажных КП в 2,5 раза за счет возможности применения ПМК с меньшим шагом выводов;

2) формирование соосных глухих переходных отверстий для межсоединения монтажных КП внешнего слоя коммутационной платы с любым внутренним позволит минимизировать число слоев в 2 раза, при этом для достижения наилучшего результата отношение диаметра к глубине отверстия должно составлять 1:10;

3) заполнение переходных отверстий, предназначенных для совмещения с КП, материалом с соответствующим КТР коммутационной платы повысит надежность платы путем защиты от химических реагентов и предотвращения деградации металлизированного покрытия;

4) возможность применения оборудования, предназначенного для традиционного изготовления коммутационной платы МСО позволит выпускать продукцию на отечественных предприятиях.

Заключение

Создание высокоплотной компоновки межсоединений многослойной коммутационной платы, предназначенной для установки ПМК с матричным расположением, большим количеством и малым шагом выводов, путем совмещения КП для установки ПМК с заполненными глухими отверстиями, соединяющими внешний слой коммутационной платы с любым внутренним открывает возможности осуществления оптимальной суммарной длины межсоединений, позволяет сократить площадь и количество слоев коммутационной платы.

В свою очередь проектирование коммутационных плат с учетом возможностей производства может уменьшить затраты на их изготовление до 25 % [7].

Таким образом, решение технологических задач создания высокоплотной компоновки межсоединений многослойных коммутационных плат позволит получить оптимальное конструктивно-технологическое решение для данного объекта анализа.

Литература

1. Нинг-Ченг Ли Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и Flip chip технологии/пер. с англ. – М.: Технологии, 2006. – 392 с.
2. Технологическая дорожная карта IPC по электронике и радиоэлектронике – Москва: Техносфера, 2013. – 664 с.
3. Памятка разработчику: BGA – это просто: сайт Нанотех. – 2010 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pcb.by>
4. IPC-7095B «Design and assembly process implementation for BGAs», 2008 – 51с.
5. Торстен Рекерт Новые технологии заполнения отверстий и последующей планаризации –Москва: Технологии в электронной промышленности, № 5, 2005. – 26-30 с.
6. IPC-2226 «Design standard for high density interconnect (HDI) printed board», 2000 – 60 с.
7. Печатные платы: Справочник в 2-х книгах. Книга 1/ под редакцией Кумбза – Москва: Техносфера, 2011. – 1016 с.

ОСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК НИТРИДА ТИТАНА РЕАКТИВНЫМ ВЧ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Васильев Д.Д., Каракулов Р.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Моисеев К.М.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ11, Москва, Россия

TITANIUM NITRIDE THIN FILMS DEPOSITION BY REACTIVE RF MAGNETRON SPUTTERING

Vasiliev D.D., Karakulov R.A.

Supervisor: PhD, Moiseev K.M.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Проведены эксперименты по ВЧ магнетронному распылению титана в среде азота и аргона для осаждения тонких пленок TiN в качестве антиэмиссионных покрытий. Приведены результаты микрорамановского спектра образцов и результаты анализа образцов с помощью растрового электронного микроскопа.

Abstract

Experiments of Ti RF sputtering in nitrogen and argon for antiemission TiN thin films are made. Results of Spector micro-Raman analysis of the samples and the results of the samples using scanning electron microscopy are shown.

Введение

Одним из методов получения нитрида титана является магнетронное ВЧ реактивное распыление титана в среде азота. Пленки, полученные данным методом, обладают обширным набором свойств, и нашли широкое применение в различных сферах. Из-за износостойкости и устойчивости к агрессивным средам ими покрывают протезы в стоматологии. Благодаря повышенной прочности и износостойкости, нитрид титана наносят на режущую кромку инструментов. Из-за малого коэффициента трения пленками нитрида титана покрывают поршни в автомобилях и подшипники скольжения. Благодаря коррозионной стойкости и цвету, пленки нитрида титана можно встретить на куполах и украшениях.

Еще одно главное и не до конца изученное качество тонких пленок нитрида титана стехиометрического состава – их антиэмиссионное свойство [1]. В устройствах выработки мегаваттных мощностей (гиротронах) под воздействием высоких температур и паров бария у молибденовых электродов снижается работа выхода, что приводит к развитию термоавтоэлектронной эмиссии, из-за чего катоды разрушаются, ухудшая вакуум и состав рабочей среды, что уменьшает срок службы устройства в целом. Цель данной работы – получение стехиометрических тонких пленок нитрида титана для изучения в качестве антиэмиссионного покрытия.

1 Описание эксперимента

Пленки нитрида титана получались методом реактивного ВЧ магнетронного распыления мишени из титана в среде азота на установки ВУП в лаборатории кафедры «Электронные технологии в машиностроении». Использовался магнетрон с косвенным охлаждением и диаметром мишени 100 мм, высокочастотный генератор до 1 кВт с автоматическим устройством согласования, и установка, оснащенная двухканальной системой подачи газа на базе РРГ. Остаточное давление воздуха перед напуском рабочего газа составляло $7,7 \cdot 10^{-3}$ Па. В качестве рабочего газа использовался аргон, а реактивного – азот. Поток азота варьировался относительно общего потока и составлял 10% и 20%. Общий поток газов составлял 1,44 л/час. Давление во время распыления составляло 0,3 Па. Осаждение

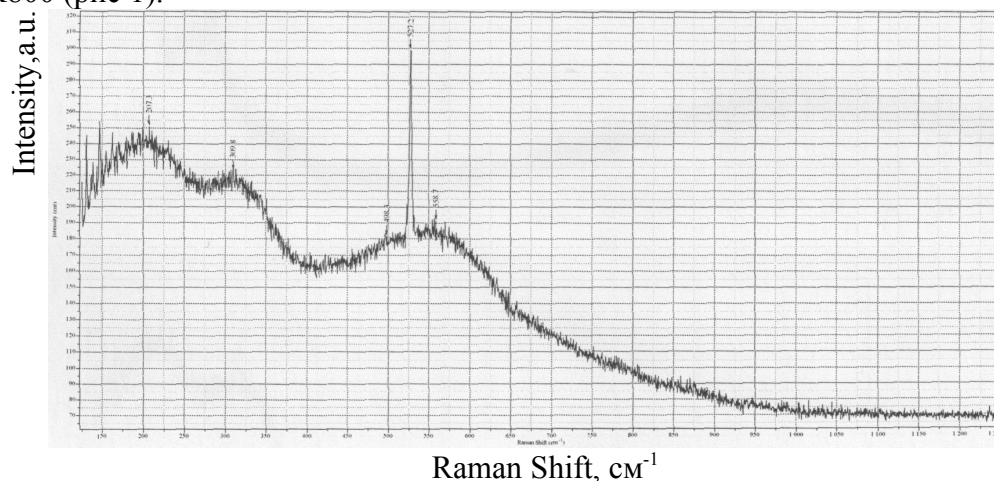
производилось в течение 30 минут на кремниевые пластины. Мощность ВЧ источника составляла 100 Вт и 300 Вт. Перед экспериментом, в камере закреплялись два образца на расстоянии 70 мм и 150 мм от магнетрона. В результате проведенных 4-х экспериментов было получено 8 образцов (табл. 1).

Таблица 1. Параметры экспериментов

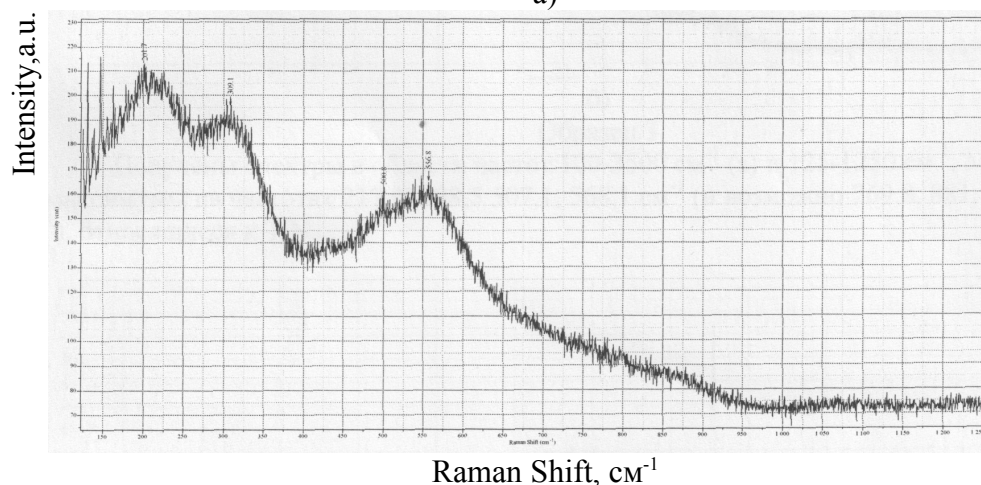
Номер образца	Давление, Па	Мощность, Вт	Расстояние до источника, мм	Содержание азота от общего потока, %	Время осаждения, мин
1	0,3	100	70	20	30
2	0,3	100	150	20	30
3	0,3	300	70	20	30
4	0,3	300	150	20	30
5	0,3	100	70	10	30
6	0,3	100	150	10	30
7	0,3	300	70	10	30
8	0,3	300	150	10	30

2 Результаты экспериментов

Образцы 1, 3, 5, 7 были исследованы с помощью микрорамановского спектрометра LabRamHR800 (рис 1).



а)



б)

Рисунок 1. Результаты Рамановской микроскопии: а) образец 1; б) образец 3

Для всех образцов наблюдается размытие максимумов, характерных для нитрида титана, что говорит о том, что в пленках присутствуют связи титана с азотом.

На рисунке 1, а) можно видеть максимумы на частотах 207,3; 309,8; 498,3 и 558,7 см^{-1} , относящиеся к TiN. Максимум на частоте 527,2 см^{-1} относится к кремнию, из которого сделана подложка, что, свидетельствует о том, что пленка тонкая.

На рисунке 1, б) можно видеть максимумы на частотах 201,7; 309,1; 500,8 и 556,8 см^{-1} , относящиеся к TiN.

Образец 7 был исследован на растровом электронном микроскопе NVision 40-38-47. Поверхность пленки получилась неоднородная, наблюдается наличие отдельных кусочков материала (рис. 2).

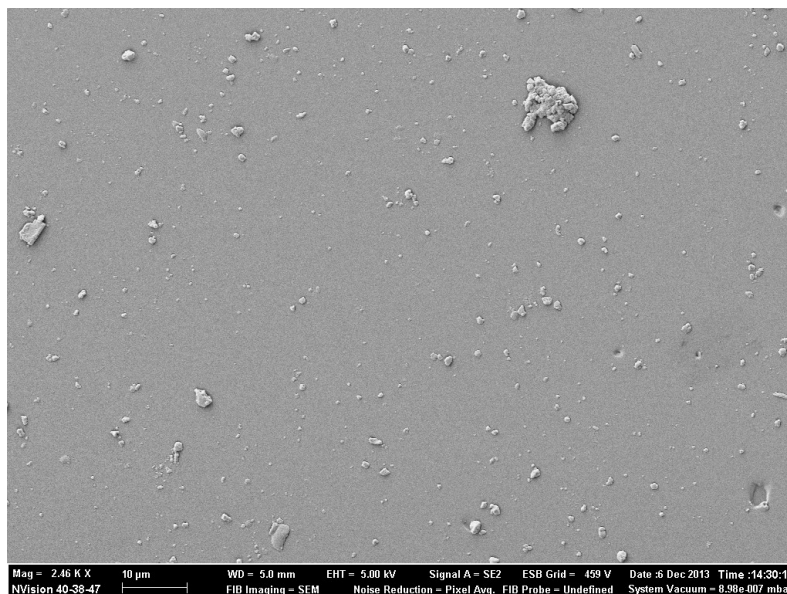


Рисунок 2. Фотография поверхности пленки в растровом электронном микроскопе

При измерении материала кусочков получалось, что они состоят на 34,74% из титана и на 65,26% из азота. Измерение области с кусочками показало наличие 34,44% титана и 65,56% азота. В области без кусочков содержится 31,12% титана и 65,53% азота, а остальное (3,3%) составляют примеси железа (рис. 3).

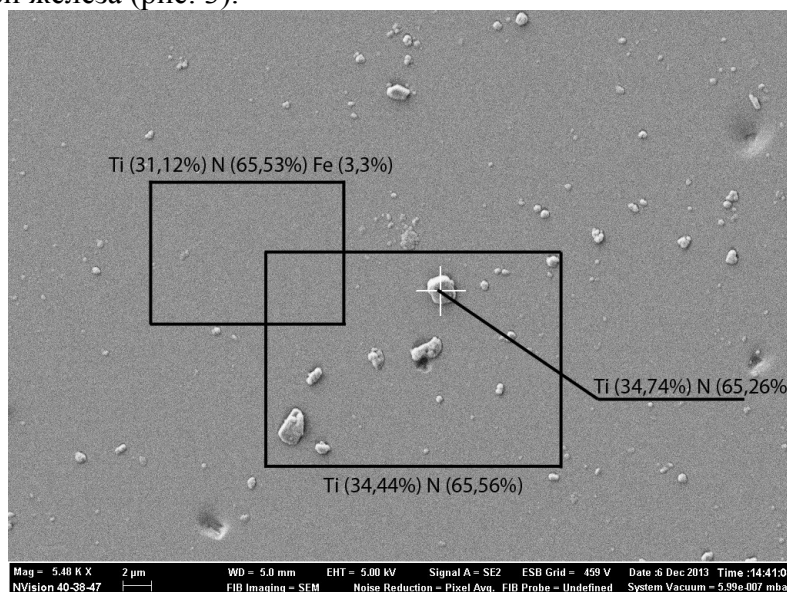


Рисунок 3. Результаты растровой микроскопии

Заключение

По результатам Рамановской микроскопии и растровой электронной микроскопии можно сделать вывод, что, так как в пленке находятся связи титана с азотом, нитрид титана сформировался. Однако пленка получилась неоднородная, о чем свидетельствует разная стехиометрия пленки. Можно предположить, что поскольку не было возможности контролировать и изменять температуру подложки, то температура подложки была меньше критической [2], и частицам не хватало энергии для формирования сплошной пленки.

Наличие железа в пленке объясняется несбалансированной магнитной системой магнетрона, при которой происходит частичное рапыление прижимного кольца мишени магнетрона.

Литература

1. Самсонов Г. В. Нитриды. – К.: «Наукова думка», 1969. – 133 с.
2. Панфилов Ю.В. Электронные, ионные и плазменные технологии. Часть 1. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 40 с.

ВИДЫ ГИСТОГРАММНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ДАННЫХ В ЛОГИКО-МНОЖЕСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Папулин С.Ю.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

TYPES OF DATA HISTOGRAMS USED IN LOGIC-SET MODEL OF REPRESENTATION

Papulin S.Y.

Supervisor: Associate Professor, Ph.D., Vlasov A.I.
Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Одним из средств анализа, в том числе поиска, цифровых данных по различным видам запросов является логико-множественная модель представления. В данной статье обсуждаются возможные варианты гистограммного описания данных, которые могут быть использованы в обозначенной модели. Кроме того, приводятся компоненты модели с учётом различных видов гистограммных представлений применительно к анализу данных в целом, многоблочных данных и коллекций.

Abstract

One of the means of data analysis, including information retrieval, using different types of queries is the logic-set histogram model of representation. The paper provides information about possible variations of histogram data descriptions that can be used in the mentioned model; discusses model components in view of diverse types of histograms used for analysis of data in general, multi-blocks of data and data collection.

Введение

Средства анализа данных по запросу являются одним из наиболее важных элементов при реализации компьютерных систем обработки и хранения данных с активным участием пользователя. С развитием электронных и информационных технологий, с увеличением объема обрабатываемых данных потребность в этих средствах значительно возросла. Большинство современных средств анализа по запросу строятся на основе множественной, логической, нечеткой, вероятностной, семантической, фреймовой и других моделях представления и анализа данных [1,2].

Логико-множественная гистограммная модель – это ещё одно средство представления, предназначенное для анализа данных по запросу [3]. При элементном запросе анализ осуществляется по гистограмме данных на предмет количественного показателя присутствия некоторого элементного состава, обозначенного в запросе. В этой связи важным является то, какие могут быть использованы при этом виды гистограммных представлений данных. Поэтому далее в работе достаточно подробно разбирается этот вопрос.

1 Гистограммное представление данных

Если рассматривать данные как упорядоченный набор элементов, каждый из которых имеет своё значение, то множество всех возможных значений каждого элемента данных определим как универсальное множество U :

$$U = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}, \quad (1)$$

где M – количество элементов универсального множества.

Для упрощения дальнейшего изложения введем биективную функцию indx такую, что каждому элементу множества U ставится в соответствие определенный элемент из множества натуральных чисел и наоборот:

$$\text{indx}: U \leftrightarrow U', \quad (2)$$

где $U' = \{i | i \in \mathbb{N}, 1 \leq i \leq M\}$.

Гистограммой называется представление данных, каждый элемент которой соответствует элементу универсального множества, а его значение есть количественный показатель присутствия этого элемента в данных.

Можно выделить несколько основных форм записи гистограммного представления:

- упорядоченная последовательность значений:

$$(H(1), H(2), \dots, H(M)), \quad (3)$$

где $H(i)$ – количественное значение i -ого элемента в данных, $1 \leq i \leq M$ (или $i \in U'$);

- вектор значений:

$$[H(1) \ H(2) \ \dots \ H(M)]; \quad (4)$$

- множество значений:

$$\bigcup_{i \in U'} H(i)/i, \quad (5)$$

где $\bigcup_{i \in U'}$ – знак, обозначающий объединение элементов $H(i)$ в одно множество по всем $i \in U'$; $/$ – обозначение разграничения значения i -ого элемента гистограммы и элемента множества U' .

Частным случаем множественной формы записи является несущее множество значений, т.е. множество элементов гистограммы, значения которых больше нуля:

$$\bigcup_{i \in U''} H(i)/i, \quad (7)$$

где $U'' = \{i | i \in U', H(i) > 0\}$, $U'' \subseteq U'$.

Кроме того, при использовании векторной формы в случае многоблочных данных или коллекции данных их гистограммные представления можно записать в виде матрицы:

$$\begin{bmatrix} H_1(1) & \dots & H_1(M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N^{DP}}(1) & \dots & H_{N^{DP}}(M) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где N^{DP} – количество блоков данных или элементов в коллекции.

Все обозначенные ранее формы записи одинаково подходят для описания гистограммных представлений данных. Тем не менее, далее отдаётся предпочтение первой форме – в виде упорядоченной последовательности.

2 Виды гистограммных представлений данных

Гистограммные представления можно классифицировать по нескольким категориям. В первую очередь выделяют ненормализованные и нормализованные гистограммы. В общем виде к нормализованным относятся те гистограммы, в которых элементы имеют относительные количественные значения. Кроме того, гистограммы можно подразделить в зависимости от данных, которые они представляют, на три вида: гистограмма данных в целом, в том числе всей коллекции данных; гистограмма блока данных; гистограмма элемента коллекции.

В результате определим следующие виды гистограммных представлений:

- ненормализованное гистограммное представление данных в целом:

$$H^{\bar{N}} = \left((H(1), \dots, H(M)) \middle| 0 \leq H(i) \leq N^{DE}, H(i) \in \mathbb{N}, \sum_{i=1}^M H(i) = N^{DE} \right), \quad (7)$$

где N^{DE} – количество элементов в данных; $1 \leq i \leq M$;

- нормализованное гистограммное представление данных в целом:

$$H^N = \left((H(1), \dots, H(M)) \middle| H(i) = H^{\bar{N}}(i)/N^{DE}, H(i) \in \mathbb{R}, \sum_{i=1}^M H(i) = 1 \right); \quad (8)$$

- ненормализованное гистограммное представление j -ого блока данных или элемента коллекции данных:

$$H_j^{\bar{N},P} = \left((H(1), \dots, H(M)) \middle| 0 \leq H(i) \leq N_j^{DE,P}, H(i) \in \mathbb{N}, \sum_{i=1}^M H(i) = N_j^{DE,P} \right), \quad (9)$$

где $N_j^{DE,P}$ – количество элементов в j -ом блоке данных или элементе коллекции;

- нормализованное гистограммное представление j -ого блока данных или элемента коллекции данных:

$$H_j^{N,P} = \left((H(1), \dots, H(M)) \middle| H(i) = \bar{N}_j^{P}(i) / N_j^{DE,P}, H(i) \in \mathbb{N}, \sum_{i=1}^M H(i) = 1 \right); \quad (10)$$

- нормализованное гистограммное представление j -ого блока данных относительно данных в целом или элемента коллекции данных относительно всей коллекции:

$$H_j^{N^P,P} = \left((H(1), \dots, H(M)) \middle| H(i) = \bar{N}_j^{P}(i) / N^{DE}, H(i) \in \mathbb{R}, \sum_{i=1}^M H(i) \leq 1 \right). \quad (11)$$

Все указанные выше гистограммы сгруппируем по структуре данных. В итоге получим класс гистограмм данных в целом и класс гистограмм блока данных или элемента коллекции, которые обозначим как H^D и $H_j^{D,P}$, соответственно.

3 Логико-множественная гистограммная модель представления данных при различных видах гистограммных представлений

В работе [3] были сформулированы основные составляющие логико-множественной гистограммной модели представления для случая использования элементного запроса. К ним относятся, помимо гистограммы данных, множество используемых элементов $E^G = \{E | E \subseteq U\}$, алгебра гистограммного представления $\mathcal{H}$, функция преобразования элементов множества E^G в элементы множества H^G алгебры $\mathcal{H}$, элементное высказывание S^E , гистограммное высказывание S^H и функция вычисления количественного показателя присутствия.

С учётом выделенных классов гистограммных представлений разграничим две алгебры – $\mathcal{H}$ и $\mathcal{H}_j^P$. Алгебра $\mathcal{H}$ строится на основе использования гистограммного представления данных в целом H^D и записывается в следующем виде [3]:

$$\mathcal{H} = \langle H^G; Op^H = \{\cup, \cap, \wedge, \vee, \dot{\vee}, \setminus, \overline{}\}; \mathbf{0}, \mathbf{1} \rangle, \quad (12)$$

где Op^H – множество операций над элементами множества H^G ; $\mathbf{0}$ и $\mathbf{1}$ – константы, где $\mathbf{0}$ – гистограммное представление, значения всех элементов которого равно нулю, а $\mathbf{1} = H^D$; H^G – множество гистограммных представлений элементов E^G в контексте гистограммы данных H^D :

$$H^G = \{ (H(1), \dots, H(M)) | 0 \leq H(i) \leq H^D(i); 1 \leq i \leq M, \sum_{i=1}^M H(i) \leq \Sigma H^D \}, \quad (13)$$

где $\Sigma H^D = \sum_{i=1}^M H^D(i)$.

Для определения количественного значения присутствия обозначенного в запросе элементного состава из E^G запрос пользователя представляется в виде элементного высказывания S^E , которое затем необходимо преобразовать в гистограммное S^H и вычислить его количественное значение ΣS^H . Для указанного преобразования сначала следует перевести элементы элементного высказывания в гистограммную форму. С учетом особенностей гистограммного представления данных в целом H^D это можно реализовать следующим образом:

$$H^E = \left((H(1), \dots, H(M)) \middle| H(i) = \begin{cases} \Sigma H^D, & \text{если } \text{indx}^{-1}(i) \in E, E \in E^G \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \right). \quad (14)$$

где E – элемент элементного высказывания.

Вкратце, дальнейшее преобразование выполняется за счет пересечения гистограмм H^D и H^E , формирования гистограммного высказывания и определения его значения посредством

алгебры $\mathcal{H}$. Поэтому не будем отдельно останавливаться на данном вопросе, а перейдем к рассмотрению второй алгебры – $\mathcal{H}_j^P$.

При анализе многоблочных данных или коллекции данных каждый блок или элемент имеет своё гистограммное представление, в общем виде которое обозначается как $H_j^{D,P}$. Поэтому алгебру (12) для этих случаев определим следующим образом:

$$\mathcal{H}_j^P = \langle H_j^{G,P}; Op^H; \mathbf{0}_j^P, \mathbf{1}_j^P \rangle, \quad (15)$$

где $\mathbf{0}_j^P$ и $\mathbf{1}_j^P$ – константы такие, что $\mathbf{0}_j^P$ есть гистограммное представление, значения всех элементов которого равно нулю, а $\mathbf{1}_j^P = H_j^{D,P}$; $H_j^{G,P}$ – множество гистограммных представлений элементов E^G в контексте гистограммы j -ого блока данных или элемента коллекции $H_j^{D,P}$:

$$H_j^{G,P} = \{(H(1), \dots, H(M)) | 0 \leq H(i) \leq H_j^{D,P}(i); 1 \leq i \leq M, \sum_{i=1}^M H(i) \leq \Sigma H_j^{D,P}\}. \quad (16)$$

где $\Sigma H_j^{D,P} = \sum_{i=1}^M H_j^{D,P}(i)$.

Соответственно выражение (14) для представления элементов элементного высказывания S^E в гистограммной форме примет следующий вид:

$$H_j^{E,P} = \left((H(1), \dots, H(M)) \middle| H(i) = \begin{cases} \Sigma H_j^{D,P}, & \text{если } \text{indx}^{-1}(i) \in E, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, E \in E^G \right). \quad (17)$$

В целом приведенные алгебры $\mathcal{H}$ и $\mathcal{H}_j^P$, в сущности, определяют одну и ту же процедуру вычисления значений гистограммных высказываний, но с учетом особенностей различных структур данных, описания которых представляются в виде гистограмм H^D и $H_j^{D,P}$, соответственно.

Заключение

Таким образом, все виды гистограмм, приведенные во втором разделе и обобщенные в форме H^D и $H_j^{D,P}$, могут быть использованы при анализе данных посредством логико-множественной гистограммной модели представления. При этом принцип применения модели представления остаётся одним вне зависимости от того, рассматриваются данные в целом или как составные.

Литература

1. Матвеев М.Г., Свиридов А.С., Алейникова Н.А. Модели и методы искусственного интеллекта. Применение в экономике: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. 448с.;
2. Tanwar P., Prasad T.V., Aswal M. S. Comparative Study of Three Declarative Knowledge Representation Techniques // International Journal on Computer Science & Engineering, 2010, pp. 2274-2281. Режим доступа: <http://www.enggjournals.com/ijcse/doc/IJCSE10-02-07-53.pdf> (дата обращения: 15.12.2013);
3. Папулин С.Ю. Свойства бинарных операций логико-гистограммного представления данных // 15-ая Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2013». Том 1. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. С.118-124. Режим доступа: http://www.iu4.ru/2013_ts/02_tom01.pdf (дата обращения: 15.12.2013).

КОНЦЕПЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕРФЕЙСА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТУДЕНТА И ПРЕПОДАВАТЕЛЯ

Подорин А.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Журавлева Л.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

THE CONCEPT OF FUNCTIONAL INTERFACE BETWEEN STUDENT AND TEACHER

Podorin A.A.

Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Juravleva L.V.

Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В работе представлена концепция вспомогательного интерфейса для взаимодействия преподавателя и студента. Основное внимание в работе уделено описанию интерфейса, способов взаимодействия, функциональных возможностей интерфейса и преимуществ использования данного интерфейса.

Abstract

This work is devoted to the concept of utility interface for interaction of student and teacher. The main attention is given to description of interface, methods of communication, functional capabilities of interface and advantages of this interface.

Введение

Актуальность работы определяется низкой автоматизацией труда преподавателей и студентов в области сдачи и приема самостоятельных письменных работ, непрозрачностью проверки письменных работ, несоблюдением стандартов и регламентов при оформлении самостоятельных письменных работ [1-4].

Процесс сдачи самостоятельных письменных работ, проверяется преподавателем чаще всего вручную и требует:

- большого количества самостоятельных работ на бумажном носителе, которые преподаватель должен проверять и оценивать во внеаудиторных условиях;
- приёма, проверку и оценку работ непосредственно в присутствии студентов;
- либо принятие работ в электронном виде.

В последнем случае необходимо использовать различные способы передачи самостоятельных работ в установленные сроки, обеспечивать возможность преподавателям быстрого доступа к самостоятельным работам и проверки и оценки работ.

При выполнении различных самостоятельных, письменных работ студенты чаще всего пренебрегают требованиями регламента по оформлению самостоятельной работы в электронном виде. Кроме того, часто отсутствуют стандартные формы для оформления различных документов. Данный интерфейс должен помочь справиться также с этой проблемой.

Объектом исследования является процесс взаимодействия преподавателя и студентов при сдаче, контроле и оценке самостоятельных письменных работ, включающий в себя передачу работ преподавателю, проверку, возврат работ студентам и оценку выполненных работ.

Процедура взаимодействия преподавателя и студента в процессе выполнения самостоятельных работ характеризуется сложностью, ограниченностью возможностей преподавателя и требует больших затрат времени не только для выполнения самостоятельных работ, но и для ожидания очередности для проверки и оценки работы преподавателем. Всё это снижает продуктивность самостоятельной работы студентов. При использовании электронной формы документооборота повышается продуктивность работы

преподавателей и студентов, расширяются организационные формы работы преподавателя, снижается трудоемкость работы преподавателя при использовании формализованных электронных способов приема письменных работ.

Постановка задачи: разработать концепцию интерфейса взаимодействия (систему электронного документооборота) преподавателя и студента при выполнении самостоятельных письменных работ, определить функциональные возможности и варианты ее реализации.

Целью работы является определение функциональных возможностей предложенного интерфейса и описание способов его реализации.

Научная и практическая новизна работы заключается в новом подходе, заложенном в концепции интерфейса взаимодействия преподавателей и студентов при приеме самостоятельных письменных работ, и реализации этого интерфейса.

Практическая ценность работы заключается в последующей разработке системы электронного документооборота и её внедрении в учебный процесс подготовки специалистов технического профиля.

Результатом работы являются:

- описание базового функционала системы;
- описание необходимых взаимодействий с другими системами;
- анализ возможности использования дополнительного функционала;
- описание способов реализации предложенной концепции.

1 Концепция базового функционала интерфейса взаимодействия с пользователем

Структура базового функционала интерфейса взаимодействия преподавателей и студентов представлена на рисунке 1.

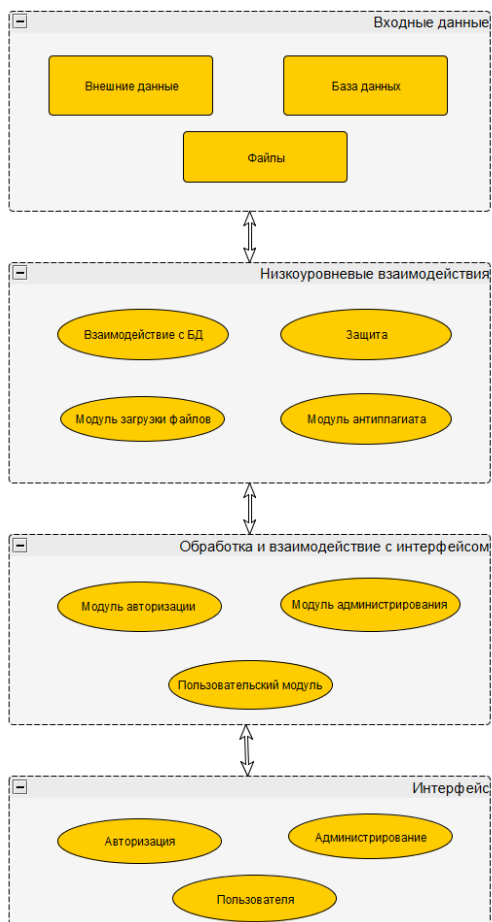


Рисунок 1 – Структура системы

Предлагаемая система является сложным программным продуктом, который должен удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение возможность многопользовательской работы;
- разграничение прав пользователей;
- высокая степень защиты;
- возможность последующих модификаций.

Для реализации таких возможностей при разработке используется трехуровневая система взаимодействия: источник данных (СУБД, файловая система и др.), программная прослойка (Apache+PHP, Tomcat+Apache и др.), интерфейс пользователя (HTML, Adobe Flex и др.). Данная система позволяет независимо друг от друга изменять отдельные части, не затрагивая при этом работу других элементов. Отдельно выделяется программная прослойка, через которую происходит взаимодействие с источниками данных, но при этом объекты интерфейса не взаимодействуют с ней.

Все модули объединяются в четыре группы:

- модули входных данных;
- модули низкоуровневых взаимодействий;
- модули обработки и взаимодействия с интерфейсом;
- модули интерфейса.

Модули входных данных отвечают за хранение данных и передачу их в компоненты более высокого уровня. К данному уровню относятся различные базы данных, внешние данные, которые поступают через интерфейс, файлы, которые хранятся на различных носителях информации.

Модули низкоуровневых взаимодействий отвечают за взаимодействие с входными данными и их первоначальную обработку. Основной задачей является упрощение взаимодействия с различными системами и данными – упростить взаимодействие с различными базами данных и файловой системой. Являются частью программной прослойки, которая выполняется на сервере приложений.

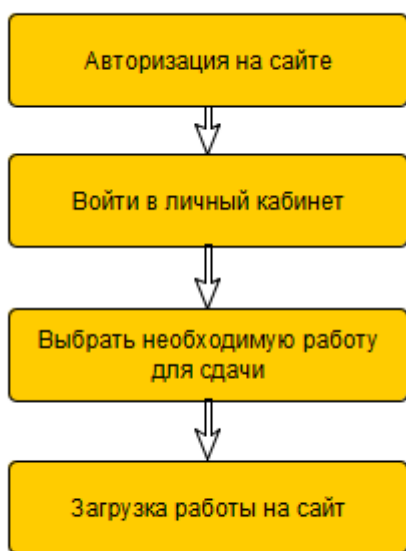
Модули обработки и взаимодействия с интерфейсом отвечают за обработку запросов, поступающих от интерфейса. При этом происходит обработка информации и производятся различные преобразования.

2 Алгоритмы взаимодействия с системой

Данная система предусматривает два основных сценария использования:

- загрузка самостоятельной печатной работы студентов;
- проверка самостоятельной печатной работы преподавателем.

На основании данных сценариев составляется сценарий использования студентами (рисунок 2) и сценарий использования преподавателями (рисунок 3).



Данный алгоритм подразумевает выполнение простых шагов, при этом происходит фоновая обработка данных [3,5]. При авторизации на сайте происходит проверка наличия пользователя в базе данных и уровня доступа пользователя. Вход в личный кабинет подразумевает загрузку данных о данном пользователе, списка необходимых письменных работ для сдачи и стадии их выполнения. При загрузке работы происходит проверка файлов на наличие отклонений в оформлении от регламента и проверка в системе «антиплагиата». По результатам проверки пользователю выдается уведомление об успешной загрузке на сайт, либо сообщение с указанием причины невозможности загрузки на сайт.

Рисунок 2 - Сценарий студента



Рисунок 3 - Сценарий преподавателя

Шаги авторизации и входа в личный кабинет аналогичны таким шагам в сценарии студента. Отличием является информация, которая отображается в личном кабинете. Для преподавателя - это информация о последних полученных работах. После этого выбирается определённая работа для проверки, при этом отображается информация о потенциальных проблемах с «плагиатом». Преподаватель загружает работу с сайта, проверяет её и определяет статус выполненной работы (зачтена, возвращена на доработку и т.п.)

Действия загрузки и проверки работы сопровождаются уведомлениями по электронной почте преподавателя и студента.

3 Программные способы реализации интерфейса

3.1 Варианты реализации интерфейсов

В данной статье представлены два основных способа реализации данного интерфейса:

- PHP + HTML;
- PHP + ActionScript.

Оба способа имеют свои достоинства и недостатки.

3.2 PHP + HTML

Данный способ является одним из стандартных для реализации любых сайтов. В качестве плюсов можно выделить следующие:

- простота программирования на PHP;
- быстрая обработка данных;
- наличие библиотек для некоторых необходимых функций и другие.

Преимущества представляет именно сочетание средств реализации, т.к. PHP присутствует в обоих. В данном случае PHP используется на всех стадиях обработки данных для интерфейса, т.е. взаимодействие с внешними системами, обработка данных и вывод интерфейса (используется косвенно, т.к. он генерирует HTML-код для отображения пользователя). Данный метод хорошо зарекомендовал себя для простых сайтов с отсутствием большого количества динамического контента и использования JavaScript. Основным минусом в данном случае является JavaScript т.к. он не является стандартизированным языком и выполняется на каждом браузере по-разному в зависимости от используемого компилятора, т.е. возможна проблема несовместимости браузеров.

В итоге хотелось бы отметить главный минус данной системы, а именно использование Javascript.

3.3 PHP + ActionScript

В данном случае PHP отвечает только за обработку информации и взаимодействие с внешними системами, причем интерфейс данной системы является также внешней системой.

ActionScript – это язык, который разрабатывается компанией Adobe. Он стандартизирован и обрабатывается одним компонентом для всех браузеров, т.е. отсутствует такая проблема, как различная работа одинакового кода в разных браузерах.

Из плюсов стоит отметить, что при данной реализации упрощается написание дополнительных интерфейсов, которые бы опирались на данную систему (программы для мобильных операционных систем и т.п.), также присутствует пакет для разработчиков, который упрощает интеграцию ActionScript и PHP.

Заключение

В работе представлен концепт интерфейса взаимодействия студентов и преподавателей, рассмотрена общая структура системы и сценарии взаимодействия с интерфейсом, описаны варианты реализации концепта с использованием различных программных продуктов с учетом их преимуществ и недостатков.

Литература

1. А.И.Власов Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей //Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. - 2013. - № 10-2 (17). - С. 17-26.
2. Лунина И. Н., Покровская М. В., Резчикова Е. В. Об опыте интеграции педагогических технологий в техническом университете// Высшее образование в России. - 2013г. - №2.
3. Власов А.И., Журавлева Л.В., Макушина Н.В., Резчикова Е.В., Шахнов В.А., Чебова А.И. Онтология наноинженерии// Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. - 2013. - № 12-1 (19). - С. 50-67.
4. Власов А.И., Журавлева Л.В., Тимофеев Г.Г. Методы генерационного визуального синтеза технических решений в области микро- наносистем // Научное обозрение. - 2013. - №1. - С.107-111.
5. Власов А.И., Журавлева Л.В. Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. - 2013. - №1.- С.133-140.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА И ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Пустовалов В.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Камышина Э. Н.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, ИУ4, Москва, Россия

Pustovalov V.A.

Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Kamisnay E. N.

Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Работа посвящена исследованию основных принципов построения и эксплуатации экспертных систем конструкторско-технологического проектирования в области поиска типовых технологических процессов на основе конструкторско-технологической базы данных.

Abstract

Work is devoted to the basic principles of construction and operation of expert systems design and technological design in search of standard processes on the basis of design and technological database.

Введение

Существуют задачи интерпретации, диагностики, контроля, прогнозирования, планирования, проектирования и т.д. Такие задачи могут быть решены с помощью экспертных систем (ЭС), которые являются ярким представителем систем искусственного интеллекта.

Объект исследования и предмет исследования. Объектом исследования является типовой производственный процесс типового предприятия на участке ремонта и наладки оборудования.

Оборудование играет основополагающую роль на промышленном предприятии. Техника на заводах и в крупных компаниях представлена многочисленными станками и центрами. Они предназначены для выполнения различных задач и вместе составляют технологический комплекс производства. Выбор оборудования для производства – это простая задача, требующая особого внимания. Решать эту задачу необходимо исходя из таких факторов как возможности и потребности предприятия.

Создание системы, объединяющей доступные знания при выборе оборудования позволит существенно уменьшить временные затраты на начальном этапе выбора технологического оборудования ионно-химического травления. Особенно полезной такая система может оказаться для молодых специалистов, которые, не имея опыта (работы на производстве), часто тратят на правильный выбор большое количество времени. Формализация и автоматизация этого процесса возможна с помощью экспертных систем.

В настоящее время ряд компаний, такие как (Astrocom), (ИНКОТЕС), (Cyscorp) ведут разработки в данном направлении, но ЭС выбора оборудования ионно-плазменного травления является узкоспециальной и уникальной в зависимости от задач и направления производства. Анализ работ по поиску и выбору оборудования выявил дефицит решений в данном направлении, в связи с чем, возникла необходимость создания системы для выбора технологического оборудования. Необходимость разработки и внедрения экспертной системы, вызвана большими объемами работы с документами, экономией времени, удобством доступа к информации, уникальностью информации и повышением исполнительской дисциплины на каждом технологическом этапе.

Цель работы: Является разработка экспертной системы поиска и выбора технологического оборудования с использованием программного компонента IU4 Expert Lab v2.0.

Для достижения поставленной цели в работе решен следующий комплекс задач:

- выявление объектов предметной области и их свойств;
- разработка иерархической модели;
- разработка и отладка ЭС.

Методы исследований:

- элементы теории построения экспертных систем на производстве;
- элементы теории построения фреймовой модели;
- методы управления проектами в рамках предприятия;
- типовые решения в области экспертных систем.

Предложена и обоснована методика построения экспертной системы для выбора технологического оборудования, учитывающая их иерархическую структуру.

Построена база знаний экспертной системы, включающая декларативную компоненту в виде объектно-ориентированной модели.

Извлечены знания из полученной от экспертов информации о технологическом оборудовании, которые использованы при построении базы знаний ЭС что способствует экономией времени и удобством доступа к информации.

Практическая ценность работы состоит в том что ЭС поиска и выбора технологического оборудования, выступает в качестве модуля автоматизированной системы управления технологическими процессами на ремонтно-настроечном и проектных этапах.

1 Выявление объектов предметной области и их свойств

В ходе работы необходимо проанализировать предметную область и решить задачу создания базы знаний. Во-первых, необходимо выбрать удобную и корректную для данной предметной области форму представления знаний. Правильный выбор формы представления знаний способен значительно упростить процесс решения задачи, а неправильный — внести в работу лишние сложности. Исходя из характеристик предметной области и поставленных задач, выбрано представление знаний в виде фреймов.

В составе базы знаний ЭС включено наиболее широко применяемое в производстве оборудование, такие как: вакуумные насосы типа Рутс, пластинчато-роторные вакуумные насосы, блоки питания тлеющего разряда, блоки питания ионного источника, генераторы, компрессоры. Так как каждый вид аппаратуры обладает большим числом характеристик, то для предварительной классификации выделены следующие группы: блоки питания, вакуумное оборудование и устройства снабжения. В ходе вывода экспертная система в общем случае сначала определяет, к какой группе относится оснастка, а затем определяет конкретный вид необходимой аппаратуры.

2 Разработка иерархической модели

Последовательность работы ЭС фреймовой семантической сети для синтеза конструкторских технологических решений

1. Занесение в базу знаний типовых слотов и фреймов.

- Ввод и редактирование слотов
- Назначение слотов
- Параметры слотов

2. Занесение в базу знаний информации о фреймовой структуре знаний:

- Ввод и редактирование фреймового дерева
- Ввод описания каждого фрейма
- Определение свойств каждого фрейма, назначение слотов.

3. Занесение в базу данных конкретных фреймов.

- Выбор фрейма
- Ввод значения слотов
- Добавление документов
- Определение параметров

4. Формирование решения

3 Разработка и отладка ЭС

Можно выделить следующие основные этапы построения экспертных систем:

1. Идентификация;
2. Концептуализация;
3. Формализация;
4. Реализация;
5. Тестирование.

Идентификация – определение существенных особенностей задачи, формирование требований к системе. При построении развитой диалоговой системы данный этап прорабатывается полностью.



Рисунок 1 – Концептуализация выбора оборудования

Концептуализация – формирование языка системы, т. е. понятий, отношений, механизма управления, построение полных моделей объекта. Данный этап также достаточно полно охвачен проработками (см. рисунок 1.)

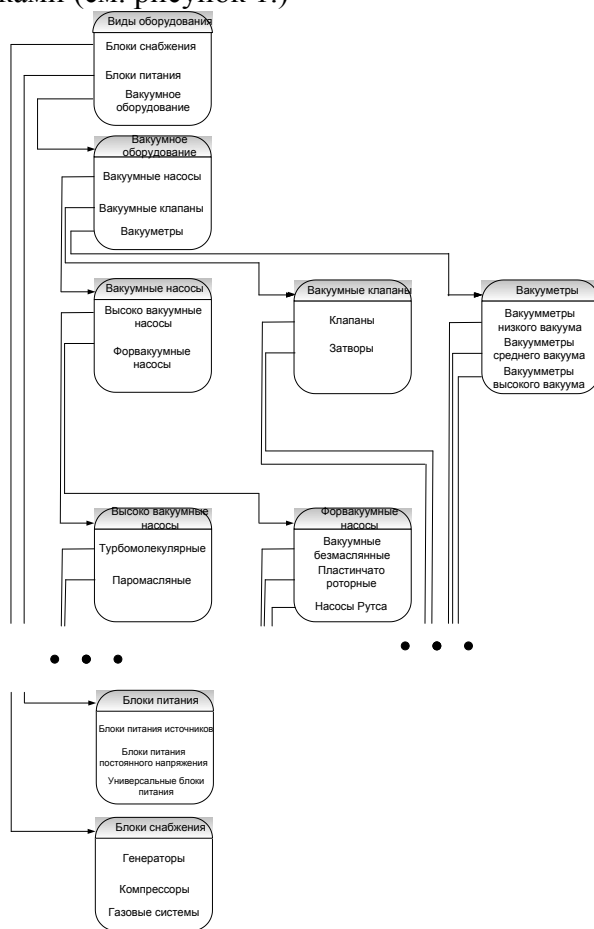


Рисунок 2 – Формализация выбора видов оборудования

Формализация – выражение ключевых понятий и отношений формальным способом на языке построения экспертных систем. Сейчас известны две формы представления знаний: на основе правил, когда знания отражаются в форме правила «если – то»; на основе фреймов, когда знания отражаются в форме семантической сети (см. рисунок 2.)



Рисунок 3. – Реализация экспертной системы.

Реализация – превращение формализованных знаний в программный продукт, который содержит блоки содержания, формы и согласования (см. рисунок 3.)

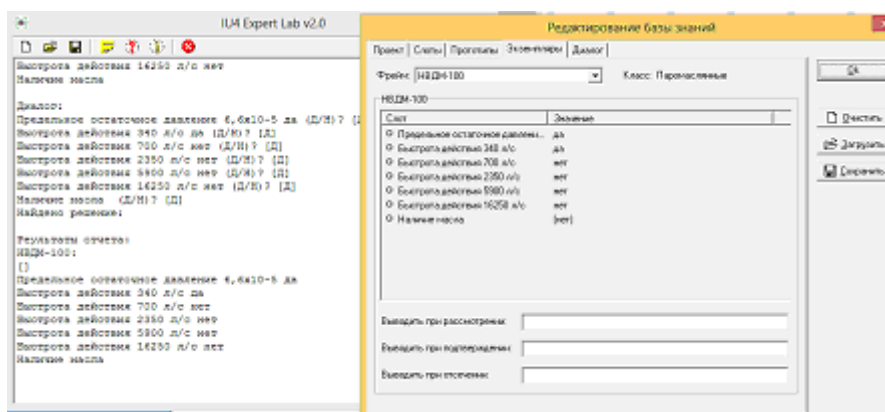


Рисунок 4 – Тестирование экспертной системы.

Тестирование – оценка качества разработанной системы по следующим направлениям: признание экспертами правильности принятых системой решений; непротиворечивость в полноте правил вывода; адекватность описания хода принятия решений; универсальность системы (см. рисунок 4.).

Заключение

Результатом работы является экспертная система системы поиска и выбора технологического оборудования, выступающего в качестве модуля автоматизированной системы управления технологическими процессами на участке ремонта и наладки оборудования, реализованной с использованием системы IU4 Expert Lab v2.0. Экспертная система охватывает в себе выбор оборудования для ионно-плазменной обработки материалов по необходимым параметрам.

Литература

1. Люгер Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е издание. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003.
2. Попов Э.В. Экспертные системы. Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. - М.: Наука, 1987.
3. Джексон П. Введение в экспертные системы. : Пер. с англ. : Уч. Пос. – М. :. Изд. дом "Вильямс", 2001.
4. Герман О.В. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний.- Минск.:ДизайнПРО,1995.-256с.
5. <http://www.itstan.ru/it-i-is/bazovye-ponjatija-ekspertnyh-intellektualnyh-sistem-eis.html>

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ И ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Сафаров М.А.

Научные руководители*: к.т.н., доцент, Аитов И.Л.; ст. преп. Яшин Е.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

* - УГАТУ, Уфа, Россия

THE MULTIFUNCTION DEVICE FOR DEMONSTRATION AND STUDY OF THE ELECTRIC PHENOMENA

Safarov M.A.

Supervisors: Dr., Assoc. Prof, Aitov I.L.; Sr. Lect., Yashin E.V.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Работа посвящена разработке, изготовлению и исследованию универсальной, недорогой, зрелищной демонстрационной установки по физике на основе трансформатора Тесла, отвечающей всем требованиям, предъявляемым к современному школьному оборудованию.

Abstract

Scientific work is devoted to development, production and research of universal, affordable, spectacular demonstration device based on the Tesla coil that meets all the requirements for the modern school equipment.

Введение

В настоящее время школьное демонстрационное и лабораторное оборудование по физике в большинстве своем является неинтересным и морально устаревшим [1].

Актуальность данной проблемы заключается в том, что это является одной из причин снижения интереса к изучению естественнонаучных и технических дисциплин [2].

Цель данной работы - создание качественно новой демонстрационной установки по электродинамике, основой которой будет являться трансформатор Тесла

Для этого в рамках работы были проведены

- математическое и компьютерное моделирование;
- схемотехническое, конструкторское и технологическое проектирования;
- всесторонние экспериментальные исследования;

Особое место в работе было уделено обеспечению безопасности устройства.

В первую очередь было проведено математическое моделирование и расчет наиболее значимых параметров трансформатора Тесла. Математические модели отражены на рис. 1, рис. 2.

В результате моделирования определены: длина, диаметр проводника, количество витков, индуктивность, емкость вторичной обмотки, толщина скин-слоя, емкость тороида, емкость вторичного контура.

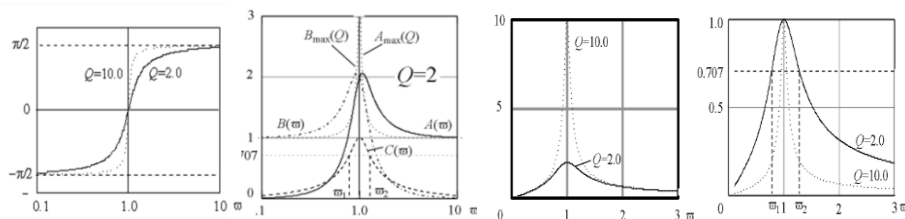


Рисунок 1 - фазовый сдвиг между током и напряжением при разных значениях добротности; изменение величин в окрестности резонанса при $Q=2, 3$ (в логарифмическом масштабе оси абсцисс); абсолютные значения напряжения при разных значениях добротности [3]

Далее было проведено компьютерное моделирование трансформатора Тесла как цепи с сосредоточенными параметрами в САПР SwitcherCAD (рис. 2). Так как вторичная обмотка является цепью с распределенными параметрами [4], [5], [6], [7], она промоделирована также в САПР INCA и Wolfram Mathematica (рис. 3).

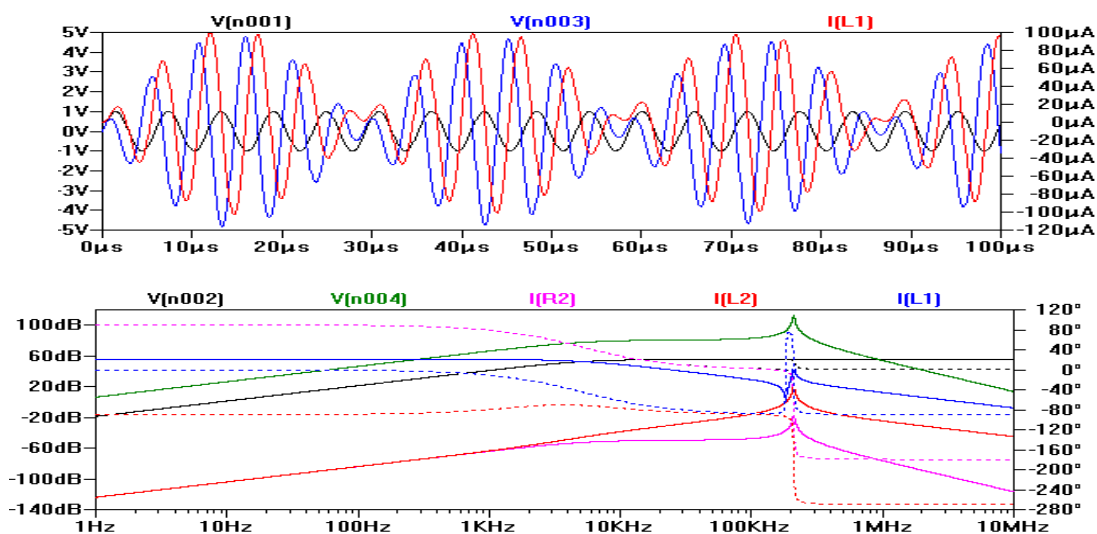


Рисунок 2 - Результат моделирования трансформатора Тесла в SwitcherCAD: временные диаграммы напряжений и токов при резонансной частоте; частоте, отличной от резонансной; АЧХ и ФЧХ токов и напряжений

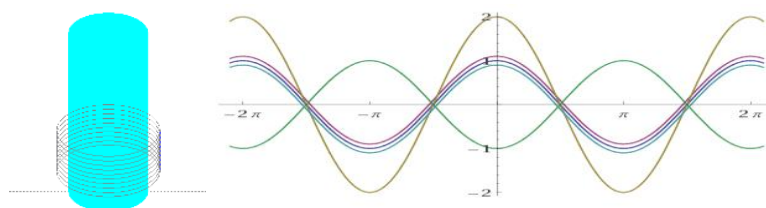


Рисунок 3 - Изображение моделируемого в САПР INCA трансформатора; результат моделирования трансформатора Тесла в Wolfram Mathematica

В результате моделирования рассчитаны коэффициент связи, параметры стоячей волны, резонансная частота, выходное напряжение без учета интерференции; выяснено, что резонансная частота в катушке Тесла пропорциональна коэффициенту связи.

Далее было проведено схемотехническое проектирование блока управления трансформатором Тесла. Первоначальная схема (рис. 4), обладала множеством недостатков и в дальнейшем прошла целый ряд усовершенствований: повышение мощности, снижение тепловых потерь, обеспечение устойчивости и надежности (устранение искажений ШИМ-сигнала (рис. 4), эффекта Миллера, тиристорного эффекта, импульсных помех (рис. 4), влияния ЭМИ (рис.4)).

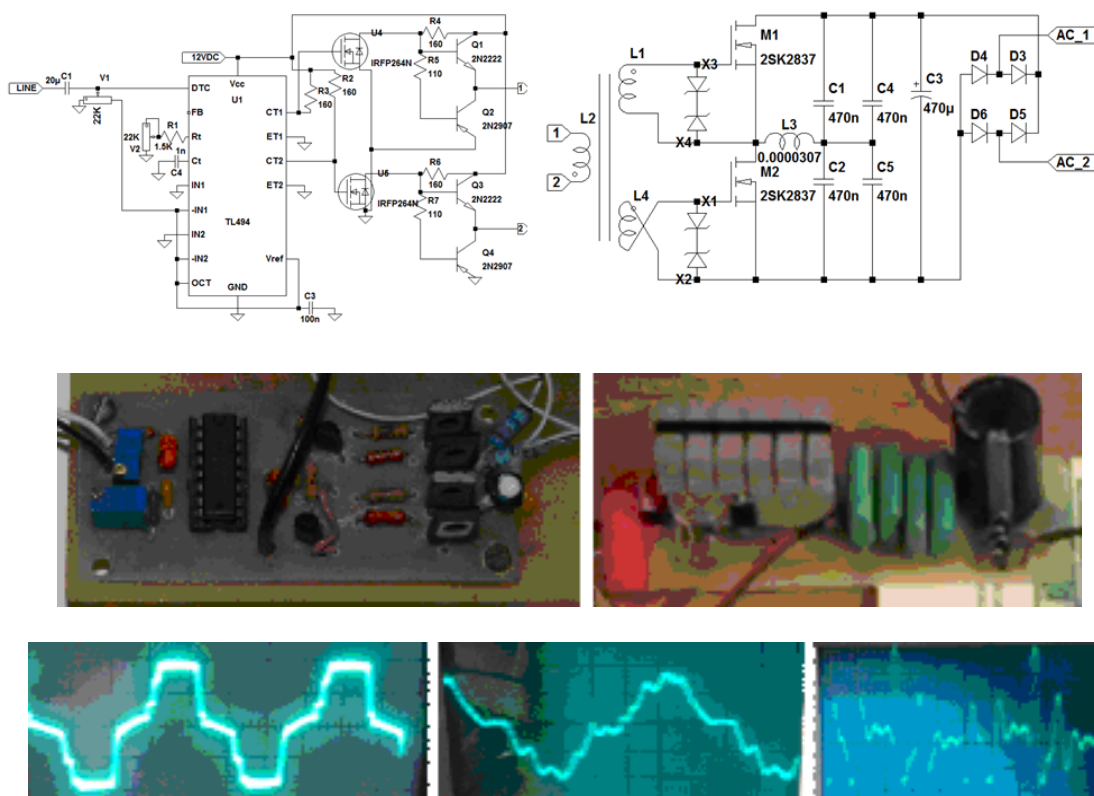


Рисунок 4 – Первоначальная схема блока управления трансформатором Тесла (с полумостовым инвертором и трансформаторной развязкой); сигналы на выходе управляющей части, трансформатора, инвертора

В результате схемотехнического проектирования разработан и изготовлен блок управления (рис. 6), который отличается повышенной мощностью, надежностью, низкими тепловыми потерями и возможностью быстрой точной настройки импульсов на резонансную частоту. Также, в данную схему введена возможность регулировки скважности выходных импульсов аналоговым сигналом.



Рисунок 5 – Результат конструкторского и технологического проектирований

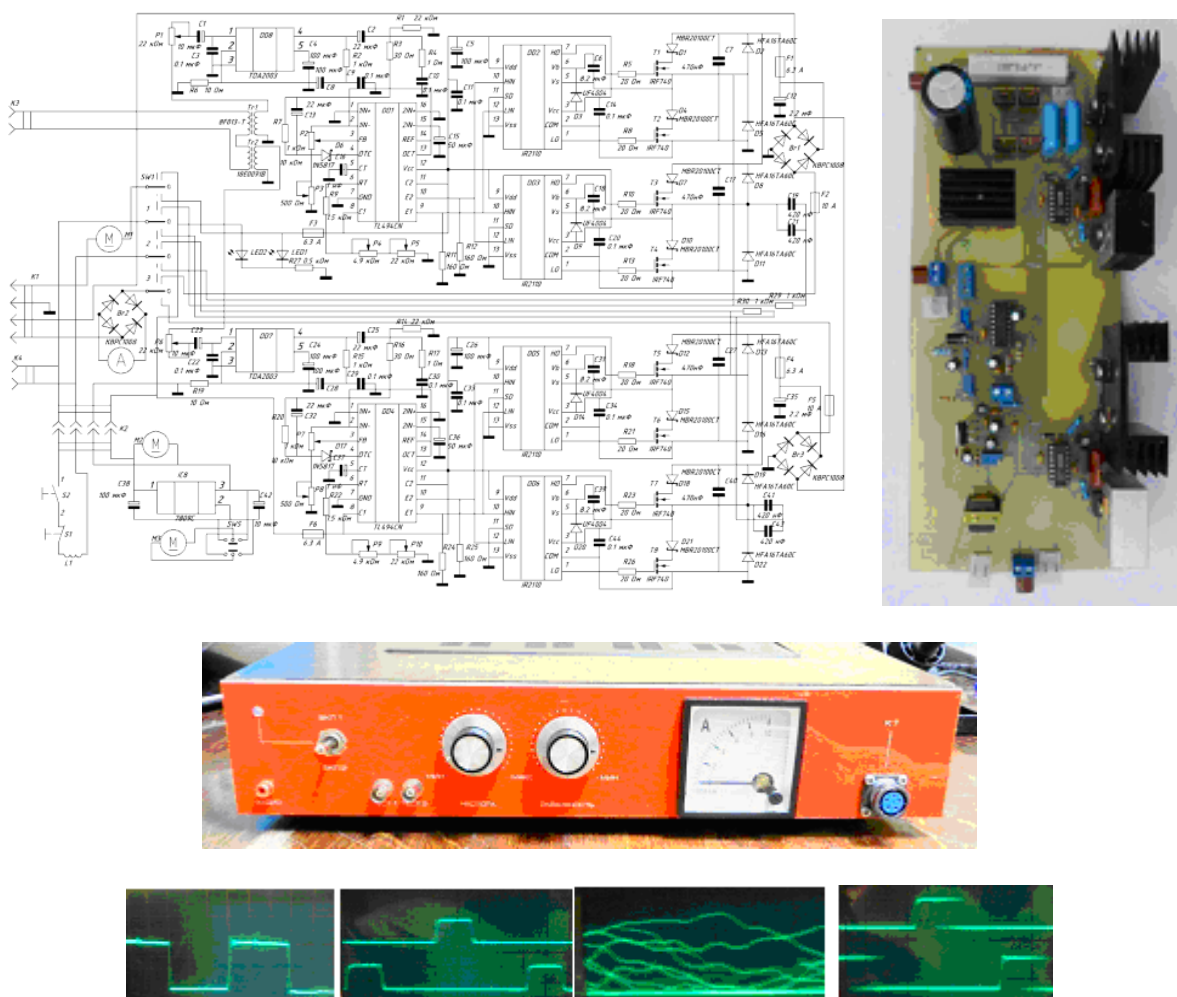


Рисунок 6 – Результат схемотехнического проектирования - итоговая схема блока управления трансформатором Тесла (с мостовым инвертором и интегральными драйверами); лицевая панель; сигналы на истоке транзистора верхнего плеча инвертора, затворах транзисторов инвертора, входе DTC, выходе ШИМ

Далее были проведены конструкторское и технологическое проектирования. В частности, для смены объектов демонстрации был использован реверсивный электромеханический привод, лицевая панель была создана с помощью CorelDraw и системы TROFTEC, для изготовления вторичной обмотки изготовлен самодельный намоточный станок.

Большое внимание при создании устройства было уделено обеспечению безопасности: специальные схемотехнические решения позволили снизить питающее напряжение до безопасного (~ 42 В), для защиты от выделяющегося озона использован угольный фильтр, клетка Фарадея защищает от ЭМИ, LC-фильтр обеспечивает ЭМС с другими устройствами, высокая частота тока защищает от воздействия высокого выходного напряжения (скин-эффект) [8 - 10].

В рамках работы было проведено множество экспериментальных исследований. Исследование зависимости длины дугового разряда от параметров катушки Тесла представлено на рисунке 7.

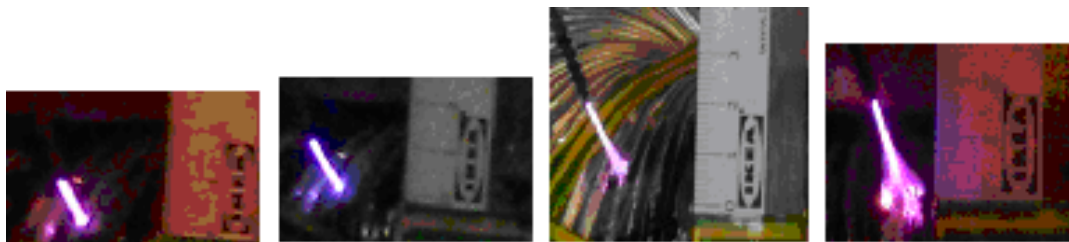


Рисунок 7 – Дуговые разряды при различных параметрах

В результате данного исследования были определены оптимальное расположение первичной обмотки, количество ее витков. Выяснено, что емкость вторичного контура положительно влияет на длину дугового разряда

Измерение выходного напряжения (проведенное при помощи самодельного киловольтметра), исследование влияния вторичной обмотки на первичную представлено на рисунке 8.

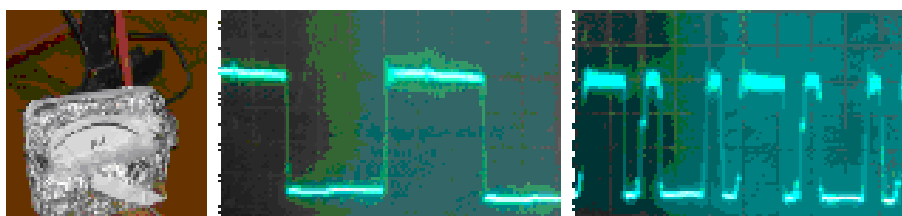


Рисунок 8 – Самодельный КВ-метр; сигналы на первичной обмотке без резонанса, при резонансе

Измерения показали, что при резонансе напряжение на вторичной обмотке многократно увеличивается, и оно оказывает значительное влияние на первичную.

Исследование параметров ЭМП трансформатора Тесла, проведенное при помощи самодельного датчика на основе магнитной антенны представлено на рисунке 9.

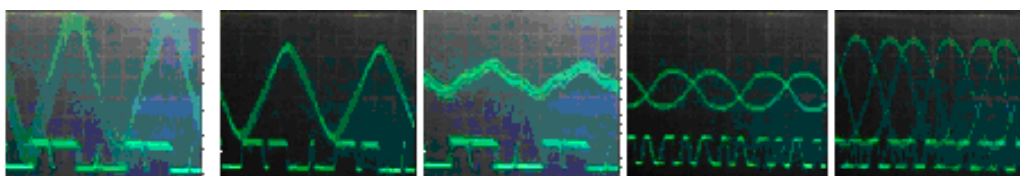


Рисунок 9 – Сигнал на антенне при различных параметрах

Данное исследование показало, что напряженность распределена в форме стоячей волны, пучность которой находится на верхнем конце вторичной обмотки.

Измерение периода гармоник и тока в первичной обмотке трансформатора Тесла в различных режимах работы

В результате данного исследования было выяснено, что в трансформаторе Тесла большая часть потребляемой энергии переходит в энергию электромагнитного поля, а также то, что в нём можно наблюдать картину пространственных гармоник, период которых пропорционален емкости вторичного контура.

Исследование с помощью профессионального метрологического оборудования показало, что применение клетки Фарадея позволяет снизить уровень ЭМИ от КТ до безопасных значений. Данные зафиксированы в Акте технической экспертизы (рис. 10).

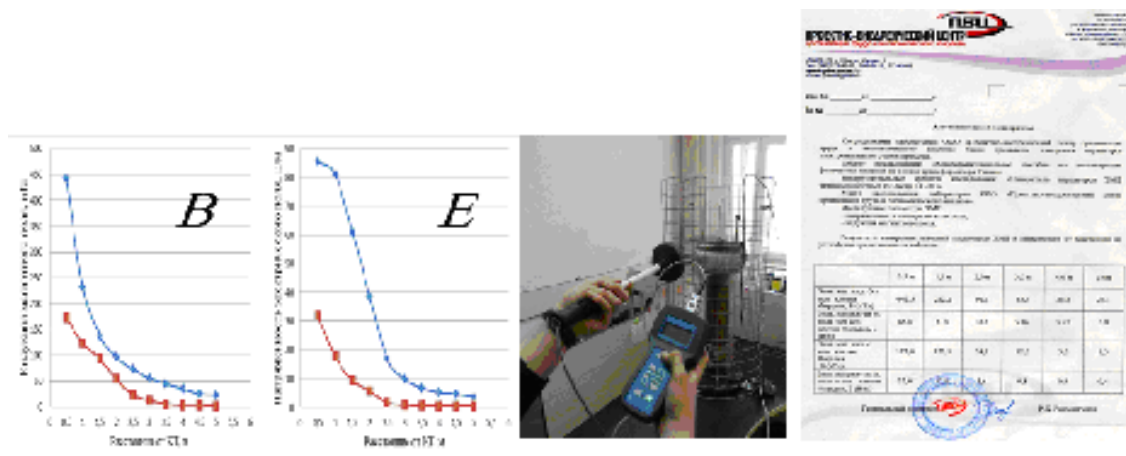


Рисунок 10 – Результаты исследования индукции магнитного поля, напряженности электрического поля; процесс исследования; Акт технической экспертизы

В рамках работы проведено сравнение с единственным найденным аналогом – учебной катушкой Тесла немецкой фирмы «3B Scientific». Устройство, созданное в рамках данной работы, обладает преимуществом по функциональности, универсальности, инвариантности, возможности расширения функционала, стоимости, наличии защиты от электромагнитного излучения и озона, но уступает аналогу по массе и габаритам.

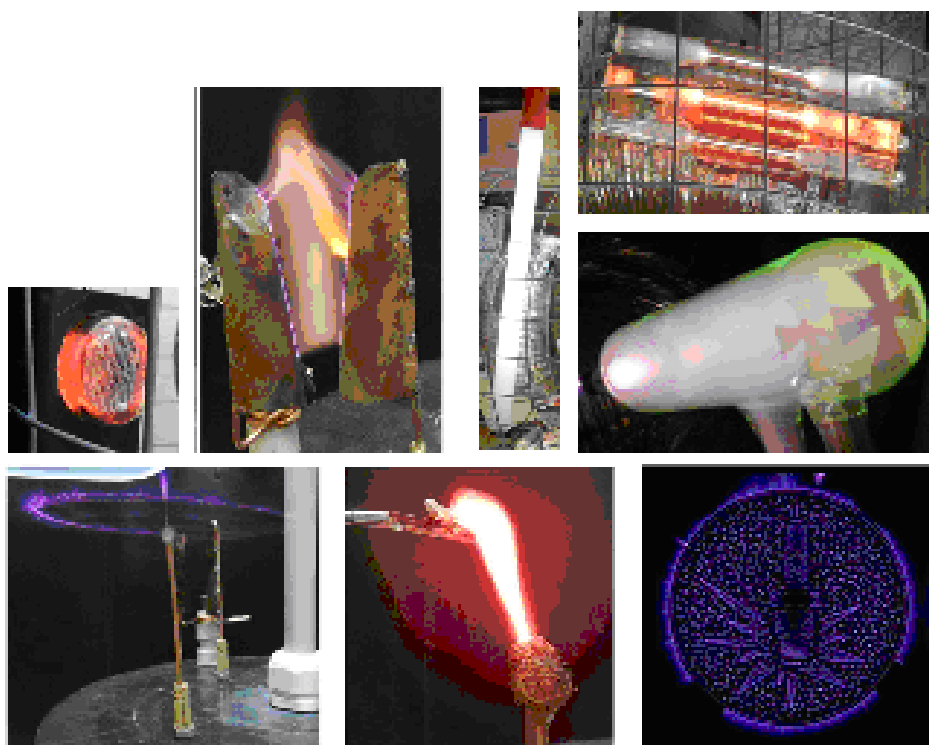


Рисунок 11 – Опыты, проводимые на созданной установке: демонстрация стоячей электромагнитной волны, эффект «лестницы Иакова», свечение различных газов в ЭМП высокой напряженности и беспроводная передача энергии, опыт с «мальтийским крестом», эффект «ионного двигателя», окрашивание дугового разряда различными веществами и демонстрация плазменного громкоговорителя, эффект Кирлиана

Результаты работы:

- разработана, изготовлена и исследована демонстрационная установка по электродинамике, которая отвечает всем требованиям к современному учебному оборудованию, в том числе соответствующим СанПиН и ГОСТ [11], [12], [13], [14], [15], [16];
- созданная установка успешно апробирована на региональных и всероссийских конференциях;
- разработано методическое пособие для работы с установкой.

Литература

1. Федеральный компонент государственного стандарта общего образования. Часть II. Среднее (полное) общее образование./ Министерство образования Российской Федерации. - М. 2004. - 266 с.;
2. Резник Н.И., Берестнева О.Г., Алексеева Л.Ф., Шевелев Г.Е. Вопросы образования: Инвариантный подход. Компетентностный подход.— Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 461 с.;
3. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. — 9-е изд. — М.: Высшая школа, 1996;
4. "RF Coils, Helical Resonators and Voltage Magnification by Coherent Spatial Modes" by Kenneth and James Corum;
5. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Теория поля. — Издание 7-е, исправленное. — М.: Наука, 1988;
6. О.С. Литвинов, К.Б. Павлов, В.С. Горелик. Электромагнитные волны и оптика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана.
7. Tesla's lectures before the Institution of Electrical Engineers (London) and the Royal Institution (London), February 3 and 4, 1892;
8. Hyper and Ultra High Frequency Engineering, by R. Sarbacher and E.W. Edson, Wiley, 1943;
9. Быков В.Л. Глава 4. Кожа и её производные // Частная гистология человека. — СПб: Сотис, 2001. — С. 56-70. — 304 с. — 3000 экз. — ISBN 5-85503-116-0;
10. Улащик В. С. Универсальная медицинская энциклопедия. Физиотерапия. — Книжный дом, 2008. — 640 с. — ISBN 978-985-489-713-4;
11. ГОСТ 28139-89 Оборудование школьное. Общие требования безопасности;
12. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.4.2.2821-10;
13. Инструкция по охране труда при проведении демонстрационных опытов по физике ИОТ-008-2004;
14. СанПиН 2.4.2.1178-02 «Гигиенические требования к условиям обучения в общеобразовательных учреждениях»;
15. «Правила безопасности труда для кабинетов (лабораторий) физики общеобразовательных школ» (Приложение к письму Минпроса РСФСР от 11 апреля 1983 г. № 96-М);
16. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».

КОНЦЕПЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ПОВЕРХНОСТНОМУ МОНТАЖУ SMD КОМПОНЕНТОВ

Щукин И.В., Ревзин Г.Г., Феоктистов Д.В.
Научный руководитель: Гриднев В.Н
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

PROPOSITION FOR CONDUCTING A LAB ACTIVITY ON SURFACE-MOUNT TECHNOLOGY

Shchukin I.V., Revzin G.G., Feoktistov D.V.
Supervisor: Gridnev V.N.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассказывается о методике проведения лабораторной работы на установке поверхностного монтажа ECM93. Проведен анализ по оптимальной последовательности действий, необходимых для правильного выполнения задания по поверхностному монтажу компонентов.

Annotation

The article describes the methodology of conducting a lab activity on surface mounting, utilizing the ECM93 Pick-and-Place SMT machine. Optimal necessary operation sequence of the ECM93 machine is analyzed.

Введение

Современное инженерное образование имеет возможность предоставлять будущим инженерам практику работы в учебных проектах, находящихся на стыке многих направлений техники. Практически все интегральные схемы, которые знакомы всем нынешним инженерам, используют компоненты очень малых размеров. Малый размер компонентов ограничивает использование ручного труда при производстве печатных плат (ПП).

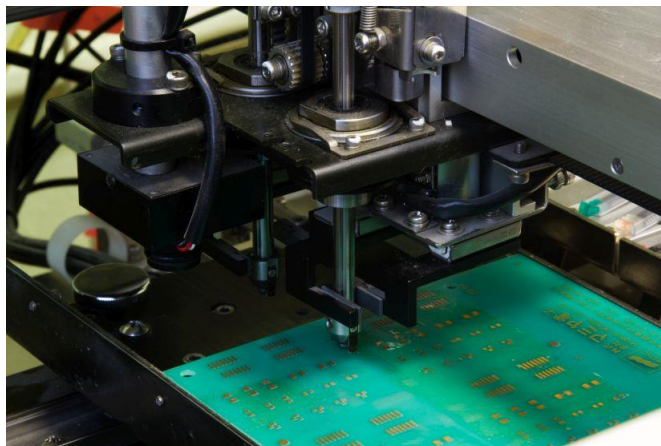


Рисунок 1 – Рабочая часть установки

Технология поверхностного монтажа (ТПМ) начала своё развитие в 1960-х и получила широкое применение к концу 1980-х годов. Одним из первопроходцев в этой технологии была компания IBM. Элементы были перепроектированы таким образом, чтобы уменьшить контактные площадки или выводы, которые бы паялись непосредственно к поверхности печатной платы. В сравнении с традиционными, платы для поверхностного монтажа имеют повышенную плотность размещения электронных элементов, обладают меньшими расстояниями между проводниковыми элементами и контактными площадками.

Часто припоя достаточно для установки компонента на плату, однако элементы на нижней ("второй") стороне платы необходимо приклеивать.

У ТПМ есть ряд преимуществ перед остальными способами изготовления ПП:

- снижение массы и размеров печатных узлов за счет отсутствия выводов у компонентов или их меньшей длины, а также увеличения плотности компоновки, уменьшения размеров самой элементной базы и уменьшения шага выводов.
- улучшение электрических характеристик: за счет уменьшения длины выводов и более плотной компоновки.
- лучшая ремонтпригодность, поскольку упрощается очистка контактных поверхностей от припоя и отсутствует необходимость в прогреве припоя внутри металлизированного отверстия.
- возможность размещения деталей на обеих сторонах печатной платы.
- меньшее число отверстий, которое необходимо выполнить в плате.
- повышенный уровень технологичности. в сравнении с монтажом в отверстия процесс легче поддается автоматизации.
- существенное снижение себестоимости серийных изделий.

1 Анализ возможностей установки для проведения лабораторной работы

Краткие данные об установке для поверхностного монтажа ЕСМ93:

- установка компонентов различного размера из ленточных и кассетных питателей;
- возможность установки на ПП размером не более 300х300(мм);
- 2 вакуумные головки;
- набор из 5 насадок разного размера для каждой головки;
- управление установкой с помощью операционной системы MS-DOS;
- для работы необходимо создать давление в пневматической системе;
- перемещение компонентов по 3-м координатам с возможностью поворота;

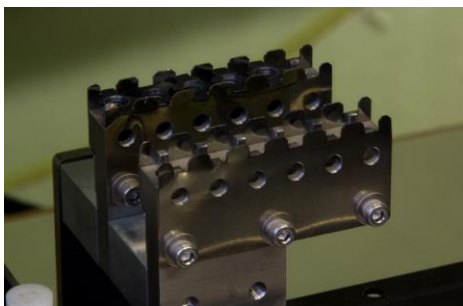


Рисунок 2 – Блок насадок



Рисунок 3 - Ленточные питатели

Установка имеет все возможности для монтажа различных компонентов на учебные платы разных размеров. Набор насадок для вакуумных головок позволяет брать как сопротивления в корпусе SMD0805, так и микропроцессоры типа STM32F4, как из ленточных, так и из кассетных питателей. Захват компонентов происходит с помощью вакуума, образованного с помощью компрессора низкого давления, что безопасно в учебных целях.

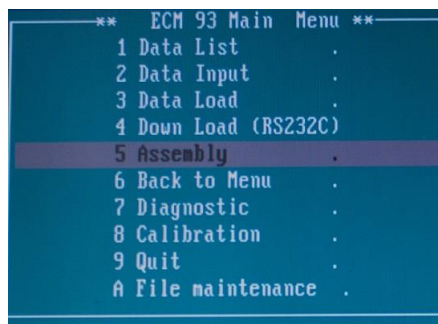


Рисунок 4 - Программное обеспечение станка ЕСМ93

У программного обеспечения есть понятный интерфейс, что облегчает понимание процесса программирования установки.

2 Постановка задачи проведения лабораторных работ по поверхностному монтажу компонентов на ПП на промышленном оборудовании

Из анализа установки видно, что ее можно использовать для проведения лабораторных работ по поверхностному монтажу компонентов на ПП в ВУЗах и других учебных заведениях. Необходимо написать методическое указание, в котором будет указан план проведения лабораторной работы. Нужно составлять маршрут проведения работы с целью обучения студента полному пониманию работы установки, программированию и устранению возможных неполадок при производстве.

Для этого необходимо проанализировать методические указания по другим направлениям и сделать процесс выполнения работы понятным после ознакомления с необходимой теоретической частью.

Для анализа были взяты методические указания к лабораторным работам по физике 1-го и 2-го курса.

3 Решение задачи проведения лабораторных работ по поверхностному монтажу компонентов на ПП на промышленном оборудовании

После анализа, проведенного автором, было выяснено, что для оптимального понимания студентом материала необходим минимум определений, понятий и общее представление о работе установки в кратком виде, так как люди понимают и запоминают все лучше через действия, чем через слово, текст, иллюстрацию. Поэтому был сделан вывод о необходимости упора на практическую часть, т.е. о необходимости в простом и понятном описании всех действий, изложить смысла каждой операции.

Для того, чтобы студенты могли быстрее ознакомиться с процессом программирования и работы установки, был снят видеоматериал со звуковыми комментариями, который показывает все этапы работы установки, ознакомительный вариант программы, демонстрирующий все возможности установки, методическое указание с иллюстрациями, в котором подробно описаны все последовательности действий для настройки, программирования и запуска установки ЕСМ93.

4 Маршрут для производства печатной платы на ЕСМ93

Для того, чтобы смонтировать компоненты и припаять их, необходимо сначала подготовить установку к работе.



Рисунок 5 - Компрессор



Рисунок 6 – Компьютер и блок питания

Для этого нужно выполнить следующие операции:

1. Заправить ленту с компонентами в ленточные питатели;
2. Установить питатель в соответствующий слот с определенным номером;
3. Заправить компоненты в кассету;
4. Установить кассету на соответствующее место в питателе;
5. Закрепить макетную плату на рабочем поле;
6. Включить последовательно питание компрессора, компьютера, блока питания установки;
7. Запуск управляющей программы;
8. Задание данных о питателях (координат X,Y,Z, угол поворота, номер насадки)

Type	#	X	Y	Z	Strk	Исч
tape	1	3.87	3.81	.00	300	
tape	2	15.82	3.26	.00	300	
tape	3	28.82	3.21	.00	300	
tape	4	42.28	2.98	.00	300	
tape	5	54.92	3.18	.00	300	
tape	6	67.92	3.16	.00	300	
tape	7	80.92	3.16	.00	300	
tape	8	93.92	3.16	.00	300	
tape	9	106.82	3.17	.00	300	
tape	10	118.85	2.68	.00	300	
tape	11	132.82	3.16	.00	300	
tape	12	144.42	3.36	.00	300	
tape	13	158.82	3.16	.00	300	
tape	14	171.92	3.16	.00	200	
tape	15	184.85	3.19	.00	300	

Рисунок 8 – Задание координат питателей

После подготовки установки можно приступить к работе. Суть лабораторной работы заключается в производстве и контроле производства печатных плат. Для того, чтобы сделать печатную плату, необходимо проделать ряд операций:

1. Задание координат печатной платы;
2. Задание необходимых операций в программе установки компонентов. Для однозначного задания операции необходимо и достаточно задать: номер насадки, номер вакуумной головки, номер питателя, координаты X,Y,Z, угол поворота, номер насадки.
3. Проверка и корректировка каждой операции в ручном режиме;
4. Тестовый запуск программы;
5. Подготовка макетной платы к установке компонентов (нанесение паяльной пасты). В целях экономии финансовых средств было принято решение в учебных целях вместо паяльной маски использовать двухсторонний скотч;
6. Установка компонентов на макетную плату;
7. Анализ погрешности установки с помощью микроскопа.

#	=Hd	Fdr	= X	===	Y	===	A	Pt	Nzl	Ind	Strk
bias			56.83		149.87						
1	1	19	10.60		11.40		.00	1	1	1	259
2	1	21	4.40		6.70		.00	1	1	1	259
3											

Рисунок 9 – задание координат компонентов

5 Программирование станка ЕСМ93

Создание программы для установки имеет множество нюансов. Например, при задании координат питателей нужно очень точно отцентровать головку по осям X и Y, и вручную подобрать координату Z. Это нужно для того, чтобы вакуумная головка захватила элемент при первом соприкосновении, ведь если она заберет компонент раньше, он может сместиться при подъеме на необходимое расстояние между головкой и питателем, а если задать координату Z слишком большой, то головка может удариться о питатель и сломать насадку.

Но также важно и задавать координаты установки компонентов, так как точность задания координат по X,Y влияет на погрешность установки, и, как следствие, качество продукта, но и координата Z превносит свой вклад в качество продукта. Если координата Z будет слишком маленькой, то компонент при падении будет смещаться от места запланированной установки, а если будет слишком большой, вакуумная головка врежется в макетную плату и может испортить компонент или сломать насадку.

Из вышесказанного видно, что процесс программирования установки требует максимальной концентрации и точности, необходимых для высокого качества продукта.

6 Дальнейшее развитие проекта

Результаты можно применить в обучении студентов технологии поверхностного монтажа, проведение лабораторных работ по производству печатных плат ТПМ.

С практической точки зрения результаты работы можно применить в промышленном производстве печатных плат с помощью конвейера.

Заключение

В результате проделанной работы были получены и разработаны: методика проведения лабораторных работ по наладке и производству на установке поверхностного монтажа ЕСМ93, технология подготовки макетной платы к учебным целям для расчета погрешности установки компонентов, методические указания по лабораторной работе.

Полученные результаты можно использовать для дальнейшего развития лабораторных работ по данной тематике, улучшения данных методических указаний для более полного освоения материала.

Литература

1. «Руководство оператора ЕСМ9» - г. Москва, Ostec, 1993.
2. Поверхностный монтаж – электронный ресурс:
<http://ru.wikipedia.org/wiki/%CF%E2%E5%F0%F5%ED%E2%F1%F2%ED%FB%E9%EC%E2%F2%E0%E6> (Проверено 29.10.2013).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ БЛИЖНЕПОЛЬНЫХ АНТЕНН

Шаламов А. В., Дорофеев А.В., Рыжиков И. А.

Научный руководитель: к.т.н. Родионов И. А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

DEVELOP A SYSTEM OF REMOTE POWER SUPPLY BASED ON NEAR-FIELD ANTENNA

Shalamov A. V., Dorofeenko A.V., Ryzhikov I. A.

Supervisor: Ph.D Rodionov I. A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

Произведен обзор особенностей существующих систем дистанционного питания имплантируемых устройств. Разработан макет установки для исследования особенностей передачи энергии с использованием ближнепольных антенн. Получены зависимости эффективности передачи от основных параметров: расстояния и среды. В заключении представлены рекомендации по созданию действующего прототипа устройства.

Abstract

In this article electromagnetic system for distance powering implants are developed. For this purpose review of exists systems was done. The model of powerin system was constructed. And measurements of efficiend were carred.

Введение

Применение имплантируемых устройств началось в 50х года 20 века с кардиоимплантов. С каждым годом подобные устройства становятся всё более популярными и технологически совершенными.

Одним из центральных элементов имплантируемого устройства является система питания, которая непосредственным образом влияет на функциональные возможности устройства.

В самых первых устройствах применялись внешние элементы питания, соединяемые проводами с имплантируемой частью. При этом без особых проблем можно заменить элемент питания, но наличие внешней, жёстко связанной, части вызывает определенные неудобства при использовании и повышает риск механического повреждения устройства с последующим инфицированием. Данная система питания до сих пор находит широкое применение, например, в кохлеарных имплантах и некоторых кардиостимуляторах.

Следующим шагом в развитии технологии питания имплантируемых устройств стало использование батарей, которые монтируются в устройство и обеспечивают его функционирование в течение нескольких лет. После чего необходимо извлечь устройство и заменить элементы питания, что требует повторного хирургического вмешательства. Такая технология в настоящее время является наиболее распространённой. В данном случае часть устройства, содержащая элементы питания размещается в легко доступном месте, например, в районе большой грудной мышцы или ключицы, что позволяет свести хирургическое вмешательство к минимуму. Срок службы таких устройств составляет 7 – 10 лет и непосредственным образом зависит от типа батареи. Наиболее распространены из них литий-ионные с напряжением 3,7В [1].

Стоит учитывать, что многие типы аккумуляторов имеют различные эксплуатационные ограничения, которые необходимо учитывать при проектировании устройства. Например, NiMH-аккумуляторы чувствительны к перезаряду, литиевые - к перезаряду, напряжению и

температуре. NiCd- и NiMH-аккумуляторы имеют так называемый эффект памяти, заключающийся в снижении ёмкости, в случае, когда зарядка осуществляется при не полностью разряженном аккумуляторе. Также эти типы аккумуляторов обладают заметным саморазрядом, то есть они постепенно теряют заряд, даже не будучи подключенными к нагрузке [1].

Для решения задачи создания вживляемых имплантатов нужны малогабаритные аккумуляторы с низким напряжением зарядки. Также необходимо учитывать возможный нагрев аккумулятора, сопровождающий его работу.

В настоящее время активно исследуются методы, позволяющие обеспечивать питание имплантируемого устройства дистанционно. Это позволяет избежать повторного хирургического вмешательства для замены батарей.

Дистанционное питание можно осуществлять посредством электромагнитного излучения и акустических колебаний (таблица 1). На данный момент, в силу простоты реализации, наиболее распространено использование электромагнитного излучения. К недостаткам такого метода можно отнести, сравнительно с акустическим методом, сильное падение эффективности с увеличением расстояния передачи [2]. В электромагнитном методе стоит выделить применение излучения оптического диапазона, в которых применяется лазер для передачи энергии в имплантируемое устройство, находящееся рядом с поверхностью кожи. Для приёма может применяться фотодиод или термоэлектрическая батарея. Использование акустических методов позволяет эффективнее передавать энергию на больших расстояниях. Но при этом возникает значительное отражение от границ тканей с различными акустическими сопротивлениями.

Таблица 1 – Методы передачи энергии для дистанционного питания

Электромагнитные методы	Оптические системы
	Электромагнитные системы
Ультразвуковые методы	Пьезоэлектрические системы
	MEMS

Ввиду вышеизложенного необходимо создание систем, позволяющих осуществлять эффективную дистанционную передачу энергии и информации. При этом необходимо учитывать безопасность уровня излучения для организма.

В данной работе будет представлена электромагнитная система для дистанционного питания имплантируемого устройства. Также в ходе работы были получены экспериментальные данные, отражающие зависимость эффективности передачи энергии в имплантируемое устройство в зависимости от расстояния между приемной и передающей катушками и от среды.

1 Постановка задачи

Задачей данной работы является разработка экспериментального стенда для исследования характеристик ближнепольных антенн, предназначенных для обеспечения питанием имплантируемых устройств, получение экспериментальных данных с последующим их сравнением. Разработка математической модели системы и проверка её в макромасштабе с последующей её корректировкой. После чего произвести миниатюризацию системы и разработать технологии её производства.

В работе была выбрана электромагнитная антенна, представляющая собой две катушки, исходя из простоты ее конструкции и дальнейшей реализации с использованием методов напыления. Также данный тип передающих систем обладает наиболее высокой эффективностью на расстояниях до 30 мм, чем системы, использующие ультразвук [2].

2 Описание установки

В ходе работы был разработан экспериментальный стенд для исследования особенностей передачи энергии в среде материалов близких к тканям организма, структурная схема которой представлена на рисунке 1.

В качестве источника постоянного напряжения был выбран генератор постоянного напряжения Б5-50, вырабатывающий 12В. Напряжение с генератора постоянного напряжения подается на генератор переменного напряжения, выходная частота которого составляет 1кГц. К выходу генератора переменного напряжения подключается передающая катушка, параметры которой представлены в таблице 1. Приемная катушка имеет аналогичные параметры и подключается к выпрямителю переменного напряжения.

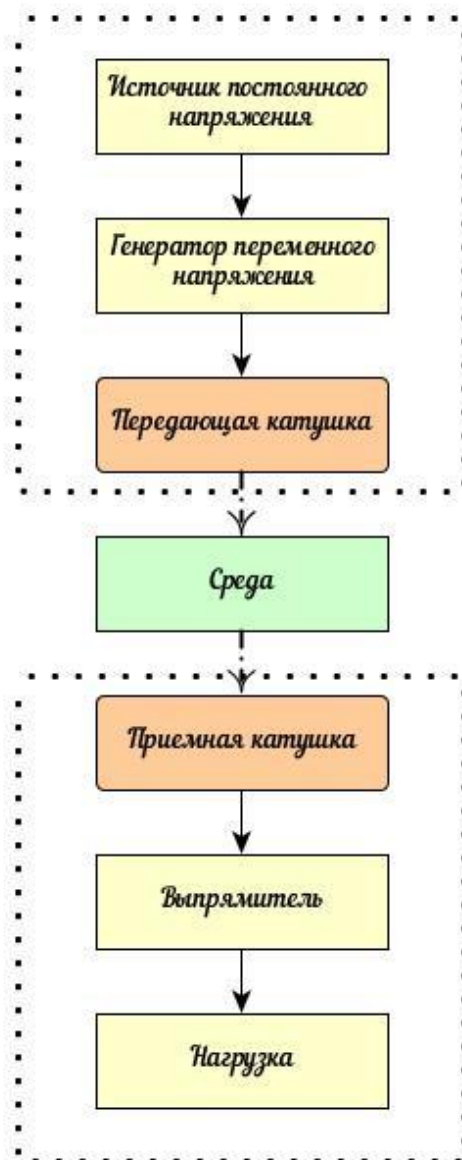


Рисунок 1 – Структурная схема стенда

При работе на частоте 1 кГц основной вклад в передачу вносит магнитное поле, взаимодействие которого с тканями организма не столь значительно, как у электрического поля [3]. Это позволяет уменьшить потери в тканях и тем самым минимизировать их нагрев.

Таблица 2 – Параметры катушек

Диаметр, мм	38
Высота, мм	2
Индуктивность, мкГн	30
Количество витков, шт	15

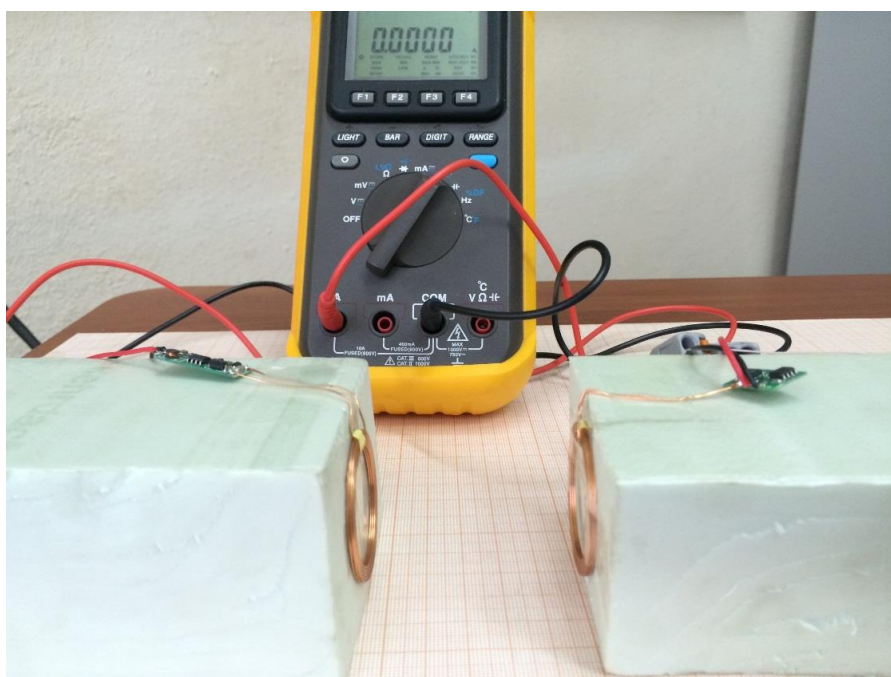


Рисунок 2 – Внешний вид стенда

Для моделирования тканей организма в работе применялись: пластины парафина, диэлектрическая проницаемость которого соответствует диэлектрической проницаемости жировой ткани, и находится в районе 4 Ф/м и изотонический раствор NaCl, диэлектрическая проницаемость которого соответствует диэлектрической проницаемости кожной и мышечной ткани, и находится в районе 40 Ф/м.

3 Экспериментальная часть

В ходе эксперимента были получены зависимости передаваемой мощности от расстояния между передатчиком и приемником при различных средах: воздух, парафин, изотонический раствор. Для каждого случая был построен график.

В первом эксперименте использовалась среда без наполнителя (воздух) (рисунок 2). Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 3 – Результаты первого опыта

L, мм	I, мА	V, В	P, Вт
25	0	0	0
20	9.422	2.6614	0.0051
15	40.280	3.8765	0.0936
10	177.940	7.1130	1.8269
5	333.480	11.2450	6.4168
0	980.000	12.3440	55.4151

Где: L – расстояние между катушками;

I – ток в нагрузке (в качестве нагрузки использовался резистор номиналом 57.7 Ом);

V – напряжение на выходе без нагрузки;

P – мощность, выделяемая в нагрузке;

На основании полученных данных был построен график зависимости передаваемой мощности от расстояния между передатчиком и приемником (рисунок 3).

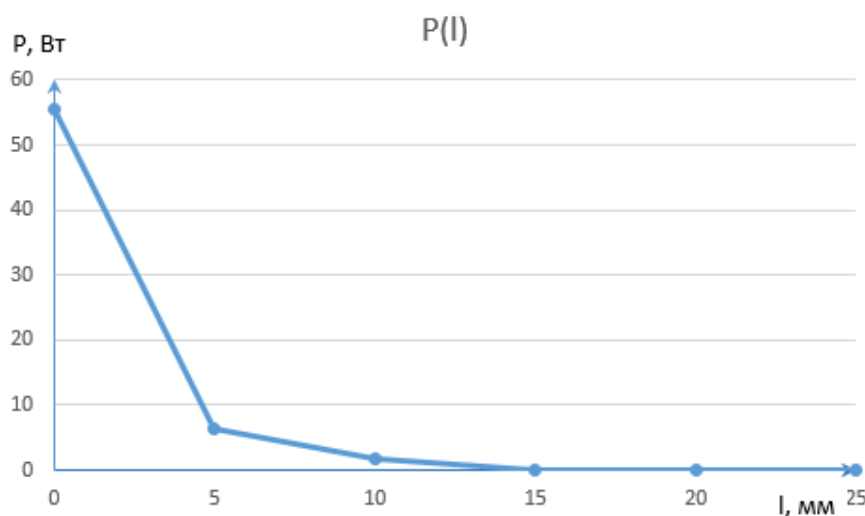


Рисунок 3 – Зависимость передаваемой мощности от расстояния в воздухе

Как видно из графика, характер уменьшения передаваемой мощности является экспоненциальным, что соответствует теоретическим данным [3]. Также видно, что на расстоянии более 15мм передаваемая мощность практически равна нулю, что соответствует результатам статьи [2].

Во втором опыте в пространство между передатчиком и приемником был помещен слой парафина толщиной 12мм, который является диэлектриком и обладает электромагнитными свойствами схожими со свойствами жировой ткани (рисунок 4):

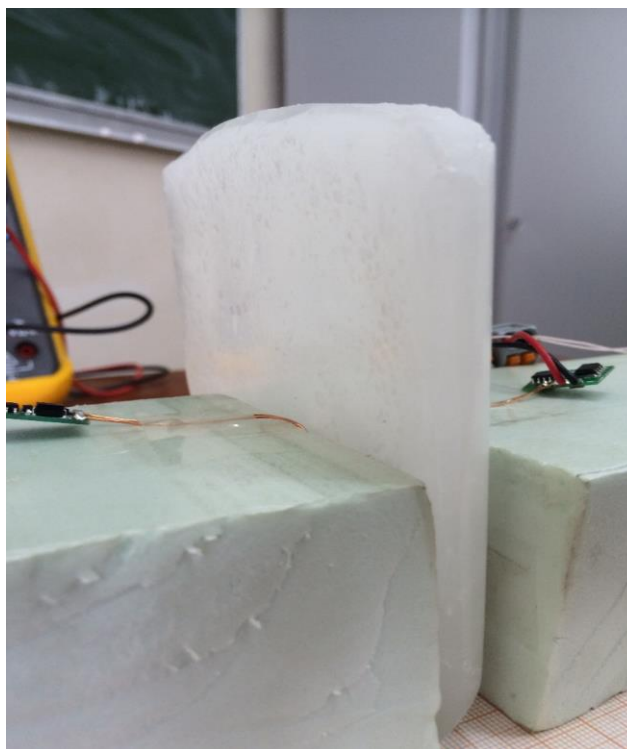


Рисунок 4 – Стенд для второго опыта

Полученные результаты (таблица 2):

Таблица 4 – Результаты второго опыта

L, мм	I, мА	V, В	P, Вт
25	0	0	0
20	7.303	2.9	0.003
15	66.78	4.141	0.257
12	150.91	5.264	1.314

На основании полученных данных был построен график (рисунок 5).

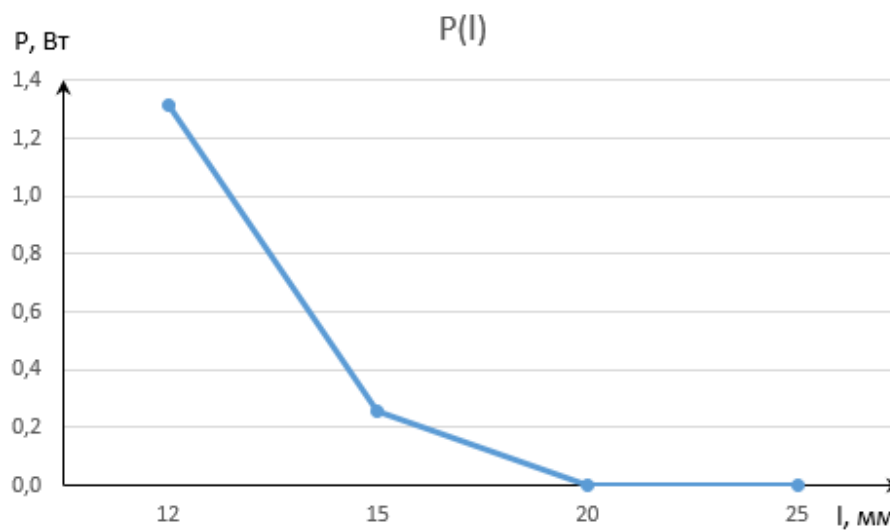


Рисунок 4 – Зависимость передаваемой мощности от расстояния в парафине

Из графика видно, что на расстоянии большем 15мм величина передаваемой мощности незначительна и имеет экспоненциальный характер, как и в первом опыте. Это можно объяснить тем, что магнитное поле слабо взаимодействует с тканями организма.

В третьем опыте в качестве среды использовался водный раствор NaCl, который обладает схожими электромагнитными свойствами с кожей и мышечной тканью (рисунок 6).



Рисунок 5 – Стенд для третьего опыта

Полученные результаты (таблица 4):

Таблица 5 – Результаты третьего опыта

L, mm	V, В	I, mA	P, Вт
25	1.75	0.57	0.00002
20	2.90	6.21	0.0022
15	4.83	52.70	0.160
12	6.29	205.13	2.424
10	8.37	240.14	3.324
5	11.14	502.34	14.561
0	12.34	940.51	51.038

На основе полученных данных был построен график (рисунок 7).

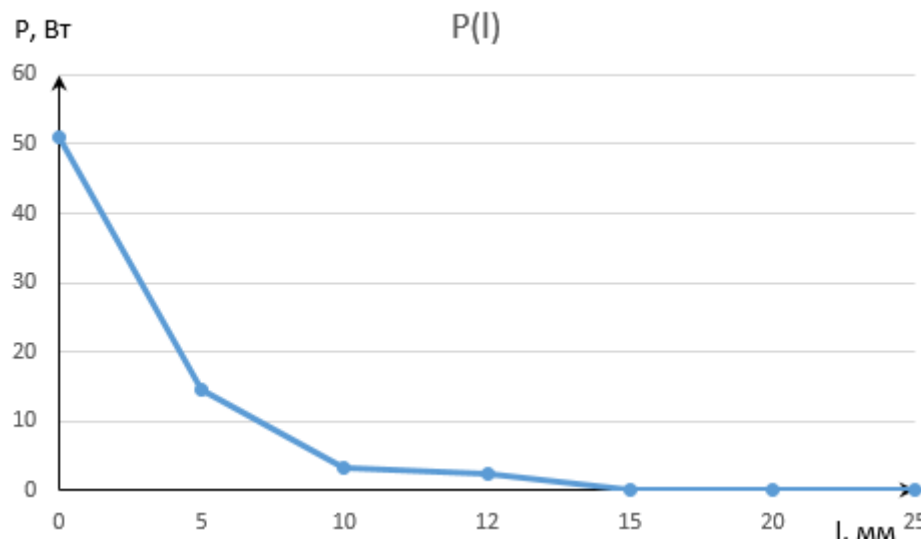


Рисунок 6 – Зависимость передаваемой мощности от расстояния в соленом растворе

В данном опыте полученная зависимость передаваемой мощности от расстояния также имеет экспоненциальный характер и на расстоянии большем 15мм практически равна нулю.

Исходя из анализа результатов всех проведенных опытов, можно сделать вывод, что ткани организма слабо влияют на распространение магнитного излучения, что подтверждает теорию [3].

Для повышения эффективности передачи в дальнейшем предполагается использовать магнитную фокусировку. В работе [5] было показано, что бегущий по проволоке плазмон фокусируется на ее заостренном конце. Возможность концентрации поля на острие была хорошо известна и ранее – это эффект громоотвода, а также плазмонный резонанс на конце иглы сканирующего микроскопа ближнего поля.

Эффект нанофокусировки можно получить и на дискретной системе – цепочке сфер, размеры которых последовательно уменьшаются [6]. В дальнейшей работе мы намерены реализовать магнитную нанофокусировку на цепочке последовательно уменьшающихся разомкнутых колец (SSR) (рисунок 7). Разные кольца связаны индуктивно.

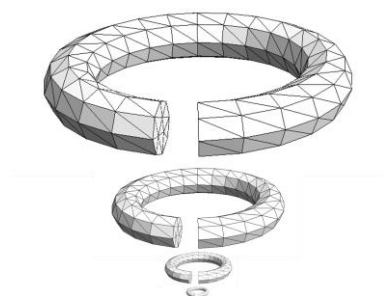


Рисунок 7 – Система резонирующих колец

Фокусировка может сократить потери, т.е. создать сколь угодно большое магнитное поле в очень малой области пространства. Такая возможность связана с тем, что быстрое уменьшение размеров колец (по прогрессии, которая является «дискретной экспонентой») «фокусирует быстрее, чем потери поглощают». Возможные ограничения связаны с необходимостью обеспечения согласования по величине передаваемого магнитного потока, что, естественно, требует обеспечения определенного уровня индуктивности для всех используемых контуров.

Заключение

В ходе работы был разработан испытательный стенд для получения зависимости передаваемой мощности системой из двух катушек при изменении расстояния между ними и различными разделяющими средами. Для передачи была выбрана частота 1кГц, т.к. при этом основной вклад в передачу вносит магнитное поле. На рисунке 7 приведены полученные результаты.

Из рисунка 7 видно, что характер полученных зависимостей схож, что является следствием слабого взаимодействия магнитного поля с тканями организма, в следствие того, что их относительная магнитная проницаемость близка к 1, что соответствует теоретическим данным [3].

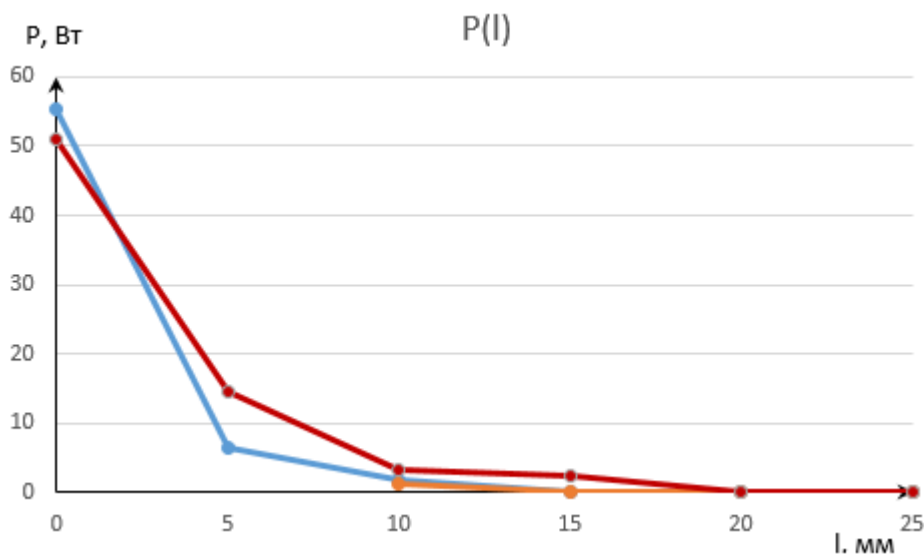


Рисунок 8 – Результаты всех опытов

Следующим этапом разработки будет апробирование математической модели, миниатюризация системы, для чего возможно применение метаматериалов, например, магнитная нанофокусировка, разработка технологического процесса и создание опытной модели устройства.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 13-08-12112 ОФИ_М).

Литература

1. Ильин А. С. Оценка возможности использования оптического излучения для подзарядки батарей питания имплантатов – М., ИТПЭ РАН, 2013
2. A. Denisov, E. Yeatman, Ultrasonic vs. Inductive Power Delivery for Miniature Biomedical Implants; Imperial College London - London, 2010
3. Кинг Р., Смит Г. Антенны в материальных средах – М., Мир, 1984. – 209с.
4. S. Alturi, A Wideband Power efficient inductive link for implantable biomedical; North Carolina State University – Raleigh, 2006
5. M. Stockman, Nanofocusing of Optical Energy in Tapered Plasmonic Waveguides, Georgia State University – Atlanta, 2004
6. K. Li, M. Stockman, D. Bergman, Self-Similar Chain of Metal Nanospheres as an Efficient Nanolens, Tel Aviv University – Tel Aviv, 2003

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ МИКРОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Щелбанин А.В., Садовников А.В.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Зинченко Л.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

APPLICATION OF GRAPHS FOR SIMULATION OF DISTRIBUTED MICROSYSTEMS

Shelbanin A.V., Sadovnikov A.V.

Supervisor: Dr., Prof. Zinchenko L.A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы моделирования распределенных микросистем. Представлен аналитический обзор одного из перспективных практических приложений распределенных микросистем - носимых сенсорных сетей (Body Area Networks). Обсуждаются особенности разработанного программного модуля для моделирования взаимодействия узлов BAN. Приведены результаты экспериментальных исследований на основе разработанного программного модуля.

Abstract

In this paper, we have presented an overview of body area networks (BAN). We discuss features of sensor devices interferences for BAN. The software implemented in C# is presented. Finally, experimental results are discussed.

Введение

Распределенные микросистемы относятся к одному из развивающихся направлений в МЭМС индустрии. За счет использования пространственного расположения микросистем возможно построение устройств с новыми функциональными возможностями. Однако при этом возникают проблемы негативного взаимного влияния отдельных микросистем друг на друга. Особенно эти отрицательные эффекты проявляются при использовании беспроводной связи между отдельными узлами в распределенных микросистемах.

Одним из наиболее важных практических приложений распределенных микросистем являются устройства, которые могут сканировать физиологические показатели человека при помощи сенсоров. Носимые сенсорные сети (Body Area Network (BAN)) — технология, позволяющая передать различные жизненные показатели пациента на мобильные устройства. Особенно важно применение технологии BAN для людей, страдающих хроническими заболеваниями и острыми приступами. Это позволяет вовремя среагировать на обострение болезни. Преимуществами технологии BAN являются: удобство, эффективность и относительно низкая стоимость, что позволяет применить ее в различных приложениях. К отличительным особенностям технологии BAN следует отнести близкое расположение сенсоров (в пределах тела носителя) и приемных устройств.

Вопросы моделирования отдельных узлов сенсорных сетей рассмотрены в [3 -5]. В [3] показано, что при моделировании электронных компонентов необходимо учитывать влияние температуры, влажности и других дестабилизирующих факторов. В [4] рассмотрены вопросы влияния технологических погрешностей на выходные характеристики микросистемы. В работе [5] обсуждены проблемы моделирования микросистем. Показано, что при моделировании микросистем наименее трудоемким является системный уровень.

В статье рассматриваются вопросы применения аппарата теории графов для моделирования функционирования носимых сенсорных сетей. Для проведения экспериментальных исследований был разработан программный модуль, позволивший выполнить экспериментальные исследования особенностей функционирования носимых сенсорных сетей в условиях ограничения распространения сигнала внутри помещения.

1 Особенности технологии BAN

Техническое воплощение технологии BAN отличается простотой: на определенные наиболее важные органы фиксируются специальные сенсоры, которые в свою очередь сканируют физиологические показатели и различные параметры организма, а затем передают данные по беспроводному протоколу на мобильные устройства, на которых выводится подробная информация о состоянии организма. При необходимости система сообщает о возникновении чрезвычайной ситуации. При этом к сенсорам предъявляются следующие требования: малые размеры и вес и очень низкое потребление энергии.

На рис. 1 представлена один из вариантов архитектуры BAN, которая включает сенсоры:

1. ЭЭГ – датчик для электроэнцефалографии;
2. Вестибулярный датчик
3. Датчик кровяного давления
4. ЭКГ – датчик для электрокардиографии;
5. ЭМГ – датчик для электромиографии;
6. Датчик движения;

Данные с сенсоров передаются на основе беспроводного протокола.

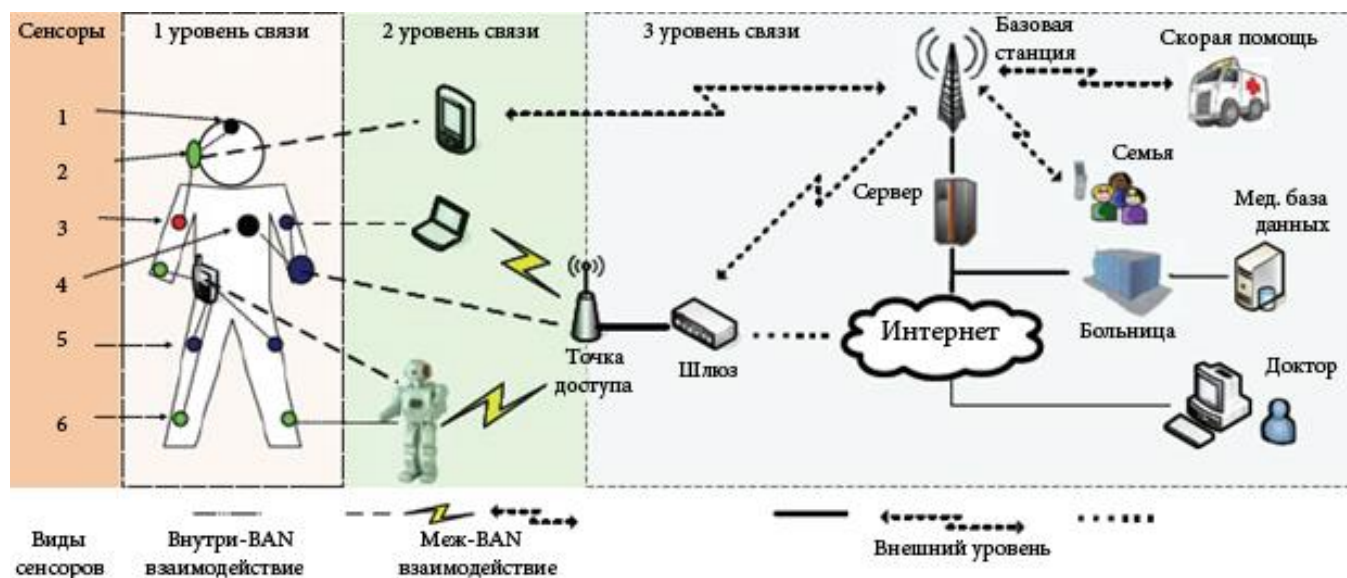


Рисунок 1 - Архитектура BAN

Архитектура BAN подразделяется на три уровня:

- внутри-BAN взаимодействие;
- меж-BAN взаимодействие;
- внешний уровень.

Уровень внутри-BAN взаимодействия реализуется на основе системы проводной или беспроводной связи на короткие расстояния (до 2 метров), которая осуществляет обмен данными между сенсорами на теле человека, а также между сенсорами и портативными компьютерами или мобильным устройством. На рис. 2 показаны различные варианты взаимодействия сенсора с сетью.

Уровень меж-BAN взаимодействия реализуется на основе локальных сетей или систем мобильной связи. Принципиальной особенностью на этом уровне является возможность изменения положения сенсора при движении пользователя. В данной работе рассматривается только движение пользователя со средней скоростью передвижения человека. Из исследования исключены вопросы

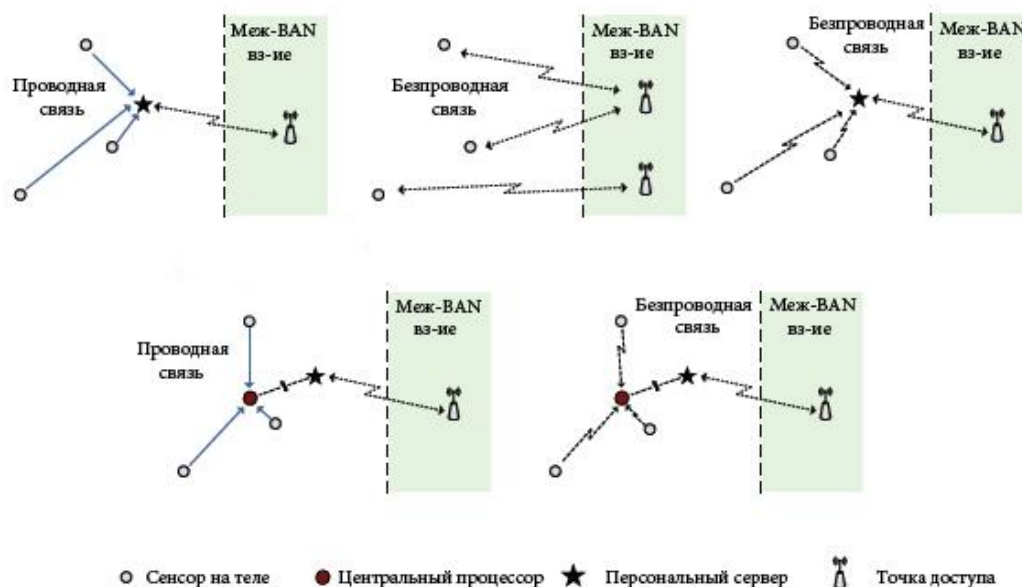


Рисунок 2 – Возможные варианты взаимодействия сенсора с сетью

Внешний уровень предназначен для развертывания систем е-здоровья и обеспечивает связь с семейным доктором и медицинским учреждением. В чрезвычайных ситуациях система информирует больницу, семью или врача об ухудшении здоровья наблюдающегося для принятия экстренных мер.

2 Моделирование функционирования носимых сенсорных сетей

Для моделирования функционирования носимых сенсорных сетей могут быть использованы различные подходы [5]. В данной статье для моделирования был выбран аппарат теории графов.

В работе был исследован сценарий, при котором все пользователи находятся в одной комнате и могут произвольно перемещаться в пределах комнаты. Рис. 3 иллюстрирует рассматриваемый сценарий.



Рисунок 3 – Особенности функционирования носимых сенсорных сетей для нескольких пользователей в ограниченном пространстве

В предложенной модели каждый пользователь носимой сенсорной сети представляется как вершина графа. Количество вершин графа равно числу пользователей

носимой сенсорной сети. Граф является взвешенным и полным. Вес ребра определяется как расстояние между отдельными носителями BAN сети.

В ходе выполнения работы был разработан программный модуль, который позволяет исследовать особенности функционирования носимых сенсорных сетей. Модуль написан на языке программирования С# в программном комплексе Visual Studio 2010 в операционной системе Windows 7. Для моделирования произвольного перемещения был использован стандартный класс с#- Random, который представляет генератор псевдослучайных чисел.

Входными параметрами являются:

- размеры комнаты (длина и ширина, в м, при этом площадь комнаты не может превышать 100 кв. м);
- количество пользователей (не более 100);
- время моделирования (минут);
- длина шага человека (0 -0,9 м);
- количество шагов в минуту (0-150 шагов в минуту).

На рис. 4 приведен пример задания входных параметров.

Выходными данными является информация о весах ребер на каждом такте, которая выводится в отдельный текстовый файл. Для демонстрации работы программы на рис. 5 приведены примеры моделирования функционирования носимой сенсорной сети.

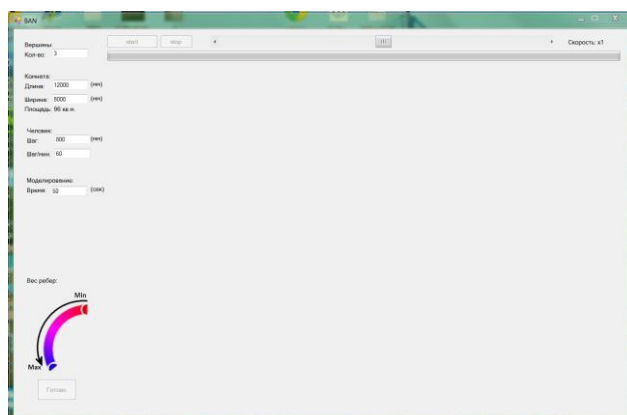


Рисунок 4 – Пример задания входных параметров

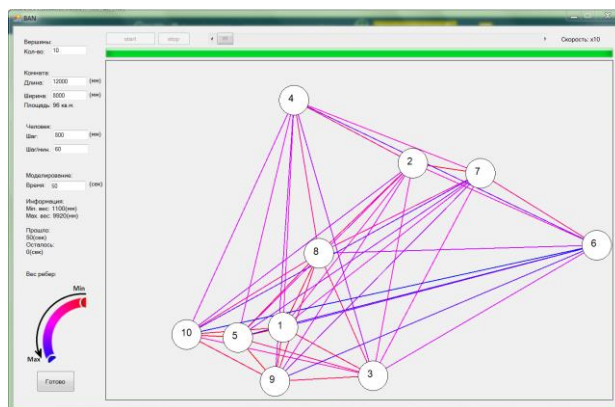
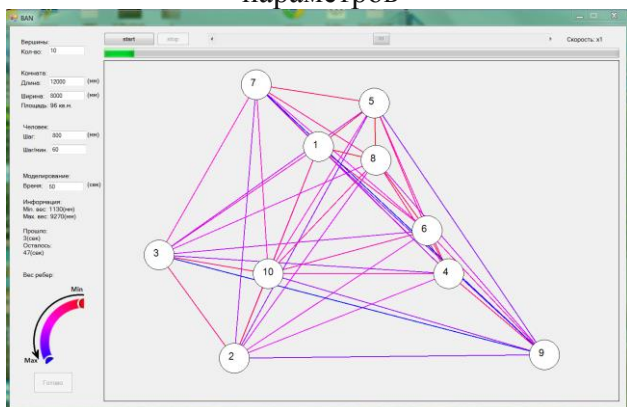


Рисунок 5 – Примеры работы программы

Для начала моделирования необходимо нажать кнопку Старт. В программе предусмотрена возможность изменения скорости моделирования, а также остановки процесса моделирования путем нажатия кнопки Стоп.

Для визуализации веса ребра (и, соответственно, расстояния между пользователями) использованы цвета. Для окраски ребра с наименьшим весом используется красный цвет, а для окраски ребра с наибольшим весом - синий. Остальные ребра окрашиваются в цвет, зависящий от веса ребра (чем меньше вес, тем цвет ребра ближе к красному).

Заключение

В работе рассмотрены вопросы моделирования носимых сенсорных сетей. Разработанная программа наглядно демонстрирует взаимодействие сенсоров в BAN сети. Она может быть применена для исследования взаимодействия BAN-сетей, выбора датчиков и сенсоров и т.д.

В заключении хотелось бы отметить, что продвижение BAN очень актуально и необходимо в данное время, так как это не только позволит облегчить мониторинг состояния пациента, но и предотвратить болезнь на самой ранней стадии.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 13-07-00073-а).

Литература

1. Chen Min, Gonzalez S. et al. Body Area Networks: A Survey. In Mobile Networks and Applications. 2011. V. 16. pp.171-193
2. Технология мониторинга тела Body Area Network (BAN) Электронный ресурс [<http://t-human.com/journal/body-area-network>]
3. Негоденко О.Н., Зинченко Л.А., Липко С.И., Прокопенко В.Г. Машинное моделирование транзисторных аналогов негатронов // Радиотехника. 1992 - №10-11. – с.87-90.
4. Шахнов В.А., Зинченко Л.А., Косолапов И.А. Особенности многомасштабного моделирования микрооптоэлектромеханических систем с учетом технологических погрешностей // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). - С. 29-37
5. Зинченко Л.А. САПР наносистем. - М. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 219 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ WEB-СИСТЕМА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ

Корольков А.С., Незаметдинов Э.Х., Шевцов А.С.

*Научный руководитель: доцент, Соловьев В.А., канд. техн. наук Маркелов В.В.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, РФ*

AUTOMATED WEB-SYSTEM FOR CALCULATING THE SCREENING EFFECTIVENESS

Korolkov A.S., Nezametdinov E.H., Shevtsov A.S.

*Research advisor: associate professor, Solovyev V.A., Ph.D Markelov V.V.
Bauman Moscow State University, Moscow, RF*

Аннотация

Предлагаемая автоматизированная веб-система расчета эффективности экранирования позволяет оценивать и сравнивать характеристики электростатического, магнитостатического и электромагнитного экранирования для различных материалов и форм экранов. Ключевой особенностью данной работы является разработка не только вычислительных алгоритмов, но визуализация результатов расчетов и их представление в наглядном графическом виде, а также разработка программы, использование которой не привязано к конкретной операционной системе. Это позволит быстро начать работу с программой и получать наглядные данные об эффективности экранирования при различных параметрах рассчитываемой задачи.

Annotation

Proposed automated web-system for calculating the screening effectiveness allows to evaluate and compare characteristics of electrostatic, magnetostatic and electromagnetic screening for different materials and screen shapes. A key feature of this work is developing not only the computational algorithms, but visualization of the results of calculations and their representation in graphic form, as well as developing program, that could be used on various operating systems. This will helps user to get started with the program faster and receive illustrative information about the effectiveness of screening with different parameters of calculated task.

Введение

Задача защиты радиоэлектронной аппаратуры от помех имеет значение для проектирования качественных и высоконадежных радиоэлектронных устройств.

Данная работа посвящена автоматизации процесса расчетов эффективности экранирования и синтеза экранов. Результатом работы является программное обеспечение, позволяющее проводить расчеты с высокой точностью. Одним из вариантов использования программы является её применение для проведения лабораторных работ по курсу «Теоретические основы конструирования и надежности ЭС», ранее расчеты проводились без помощи ЭВМ.

Электромагнитные экраны применяются в РЭА для защиты чувствительных элементов и узлов от внешних и внутренних электромагнитных помех. При этом различают следующие виды экранирования:

- Экранирование электрического поля - поле в ближней зоне излучения от источника, эквивалентного электрическому диполью;
- Экранирование магнитостатического поля - поле в ближней зоне излучения от источника, эквивалентного магнитному диполью – рамке стоком;
- Экранирование электромагнитного поля - поле в ближней и дальней зонах излучения от любых других электромагнитных источников энергии;

При экранировании внутри блоков РЭА вследствие относительно небольших расстояний между источниками и приемниками помех речь идет, как правило, об экранировании электро- или магнитостатических полей. Известно, что эффективность

магнитостатического экрана значительно ниже, чем электростатического. Поэтому наибольшую сложность представляет защита от магнитостатических полей. [1]

1 Задачи анализа и синтеза видов экранирования

При решении анализа часто используют величину эффективности экранирования $\mathcal{E}$, представляющую собой коэффициент экранного затухания в логарифмических единицах (децибелах).

Целью задачи синтеза является расчет толщины стенок экрана и определение экранирующего эффекта.

Электростатическое экранирование заключается в шунтировании большей части (или всей) паразитной емкости емкостью на корпус.

Толщина электростатического экрана не влияет эффективность экранирования. Однако для реальных экранов бесконечно больших размеров или замкнутой формы эффективность экранирования определяется следующим выражением:

$$\mathcal{E}^* = 20 \lg\left(\frac{60\pi}{R_{\mathcal{E}}}\right) = 20 \lg(60\pi d\sigma),$$

где $R_{\mathcal{E}}$ – удельное поверхностное сопротивление материала экрана;

σ – удельная проводимость Ом/м;

$\mathcal{E}^*$ – необходимая эффективность экранирования.

Магнитостатическое экранирование основано на замыкании магнитного поля в толще экрана вследствие его большей магнитопроводимости по сравнению с окружающим пространством. Такой экран одинаково пригоден для защиты от воздействия внешнего магнитного поля, так и от поля, созданного источником внутри экрана.

Эффективность экранирования в общем виде может быть оценена по выражению:

$$\mathcal{E}_M = 1 + \mu_r \frac{d}{D_{\mathcal{E}}},$$

где μ_r – магнитная проницаемость материала экрана;

σ – удельная проводимость [Ом/м];

$D_{\mathcal{E}}$ – диаметр эквивалентного экрана сферической формы [мм].

При расчете эффективности **электромагнитного экранирования** используют величину, называемую эквивалентной толщиной проникновения δ .

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}.$$

В данном случае выбор формул для расчета зависит от соотношения толщины экрана и эквивалентной толщины проникновения и частоты излучения. [2]

2 Архитектура и интерфейс системы

Интерфейс пользователя данной веб-системы реализован с помощью технологии Adobe Flex.

Adobe Flex - комплект средств разработки (SDK) для создания кросс-платформенных Rich Internet Applications (RIA) на основе Flash. RIA (“Насыщенное интернет-приложение”) - это веб-приложение, доступное через Интернет, обладающее функциональностью традиционных настольных приложений, которое предоставляется либо уникальной спецификой браузера, либо через плагин, либо путём “песочницы” (виртуальной машины) [3].

Как правило, приложение RIA:

- передаёт веб-клиенту необходимую часть пользовательского интерфейса, оставляя большую часть данных (ресурсы программы, данные и пр.) на сервере;
- запускается в браузере и не требует дополнительной установки ПО;
- запускается локально в среде безопасности, называемой «песочница» (sandbox).

Рисунок 4 - параметры расчета

В целях обеспечения быстрого ввода исходных данных для расчета параметры были сгруппированы и расположены внутри трех “панелей”. На первой панели пользователь может выбрать форму экрана и тип экранирования, для которого планируется произвести расчет. Выбор этих параметров определяет, какие параметры появятся на второй панели.

Рисунок 2 - Параметры экрана

Рисунок 3 - частота электромагнитного поля помехи

На второй панели размещены поля для задания параметров самого экрана и свойств его материала. На третьей задаются границы диапазона частот помех. После ввода всех данных активируется кнопка для запуска расчета.

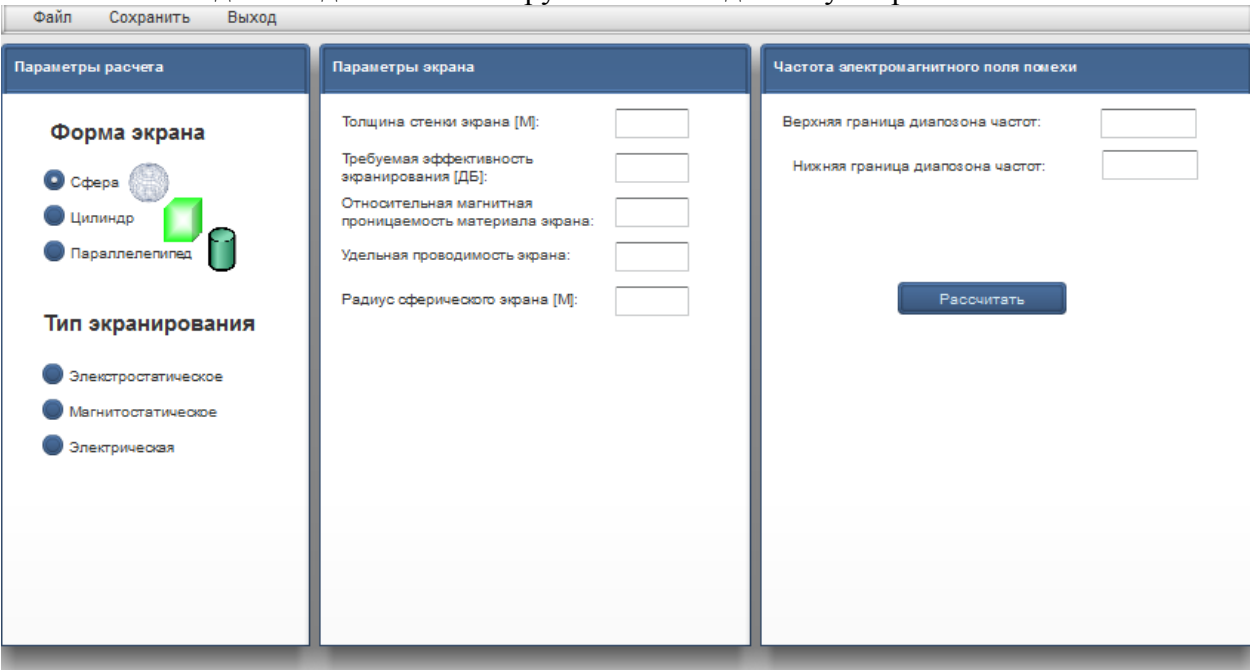


Рисунок 2 - Интерфейс ввода исходных данных

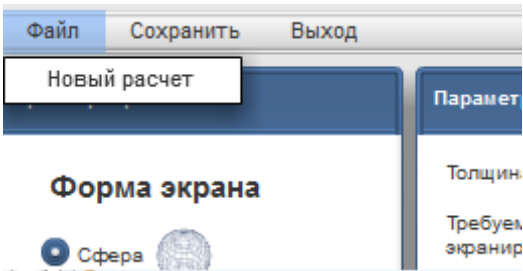


Рисунок 5 - Меню "Файл"

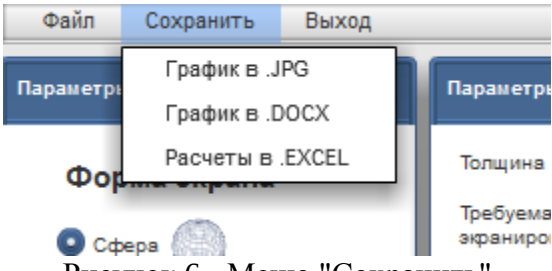


Рисунок 6 - Меню "Сохранить"

Верхнее меню программы содержит следующие функции, позволяющие начать расчет заново, очистив все поля для ввода, или сохранить результаты расчетов в виде графиков, текста, таблиц в различные форматы данных.

При выборе опции расчета диапазона частот, результатом расчета помимо данных является график.

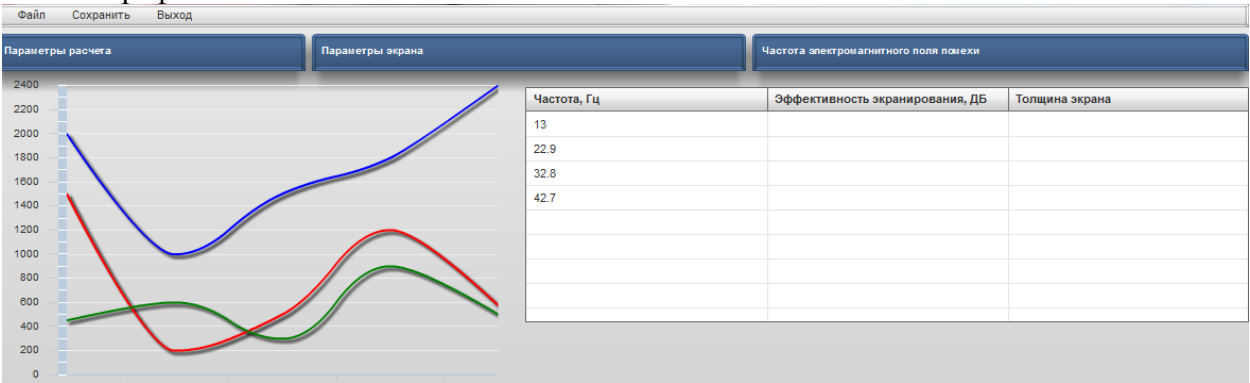


Рисунок 7 - Результаты расчета

Математические расчеты выполняются с помощью технологии BlazeDS.

BlazeDS - серверная Java-технология для передачи данных, которая позволяет установить соединение с удалёнными back-end данными и брать эти данные в режиме реального времени для Adobe AIR rich Internet applications (RIA). [4]

Заключение

В результате работы была получена автоматизированная веб-система для расчета эффективности экранирования. Система удобна для использования, поскольку является независимой от операционной системы, быстра для развертывания, так как для её запуска не требуется установки; она также обладает понятным и приятным интерфейсом и предоставляет широкие возможности для обработки полученных данных, позволяя сохранять результаты расчета в текстовом и графическом виде для последующего анализа.

Предполагается, что сфера применения системы может включать в себя решение практических задач, возникающих в процессе проектирования ЭА, а также использование её в качестве вспомогательного инструмента при выполнении лабораторных работ студентами по курсу «Теоретические основы конструирования и надежности ЭС».

Разработанная система поддается последующему функциональному наращиванию и масштабированию. В дальнейшем, возможно, дополнить систему модулями для расчета других задач, возникающих при проектировании ЭА, а также организовать обмен данными с сервером для расчета задач, требующих больших вычислительных мощностей. В дополнение, система обладает API для подключения базы данных.

Литература

1. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов / Е. М. Парфенов, Э. Н. Камышная, В. П. Усачов. - М.: Радио и связь, 1989.- 282 с.
2. Шахнов В.А. Теоретические основы конструирования и надежности электронных средств // Конспект лекций.– М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010.–37 с.
3. Обзор технологии Adobe Flex.– Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.adobe.com/products/flex.html>.— Проверено 22.01.2014.
4. Технология BlazeDS руководство разработчика .– Электронный ресурс. Режим доступа: http://livedocs.adobe.com/blazeds/1/blazeds_devguide/index.html.—Проверено 22.01.2014.

ЗАЩИТА ЯЧЕЕК ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Шкулёва Е.Н.

Научный руководитель: доцент, Соловьев В.А.
МГТУ им. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

PROTECTION OF ELECTRONIC EQUIPMENT FROM MECHANICAL IMPACTS

Shkuleva E.N.

Supervisor: Prof., Soloviev V.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены понятия механических воздействий, вибропрочность ячеек электронной аппаратуры. Произведен анализ видов механических воздействий на электронную аппаратуру. Рассмотрена конструкция электронной аппаратуры в качестве колебательной системы. Проанализирован эффективный метод повышения устойчивости конструкции такой, как амортизация конструкции электронных средств. Исследовано понятие прочности конструктивных элементов. Исследована защита электронной аппаратуры от воздействия помех, использованы помехоподавляющие фильтры. Приведен пример исследования электростатического и магнитостатического экранирования.

Abstract

The article discusses the notion of mechanical stress, vibration cell electronics. The analysis of types of mechanical effects on electronic equipment. The design of electronic equipment as an oscillatory system. Analyzed effective method of increasing the stability of the structure such as depreciation design electronic means. Explore the concept of strength of structural elements. Investigated the protection of electronic equipment from interference filters used pomehopodavlyayushie. An example of the study of electrostatic and magnetostatic shielding.

Введение

В настоящее время современные автоматизированные технические системы и объекты имеют электронные устройства, осуществляющие управление, регулирование, связь и координацию. Сложность решаемых задач возрастает. Это приводит к тому, что оснащенность электронной аппаратурой таких объектов, как корабли, самолеты, спутники, возрастает, и отказ в работе хотя бы одного из устройств может привести к отказу всего объекта. Поэтому требования к надежности электронных и электронно-вычислительных средств постоянно растут.

Все виды электронной аппаратуры подвергаются воздействию внешних механических нагрузок. Откликом, или реакцией конструкции на механические воздействия называют трансформацию и преобразование энергии механического возбуждения. К ним относятся механические напряжения в элементах конструкции, перемещения элементов конструкции и их соударения, деформации и разрушения конструктивных элементов, изменения свойств и параметров конструкции.

Механические воздействия могут приводить к взаимным перемещениям деталей и узлов, деформации крепежных, несущих и других элементов конструкций, их соударению.

1 Виды механических воздействий на электронную аппаратуру

Все виды электронной аппаратуры подвергаются воздействию внешних механических нагрузок: вибрации, удары, ускорения, акустические шумы, - которые передаются к каждой детали, входящей в конструкцию. Механические воздействия имеют место в работающей ячейке электронной аппаратуры, если она установлена на подвижном объекте, или только при транспортировке ее в нерабочем состоянии. Количество переданной энергии определяет

уровень и характер изменения конструкции. Допустимые уровни механического изменения конструкции определяются ее прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям.

Под прочностью конструкции понимается способность аппаратуры выполнять функции и сохранять параметры после приложения механических воздействий. Устойчивость конструкции - способность электронной аппаратуры сохранять функции и параметры в процессе механических воздействий.

При незначительных механических воздействиях в элементах конструкций возникают упругие деформации, не сказывающиеся на работоспособности аппаратуры. Увеличение нагрузки приводит к появлению остаточной деформации и при определенных условиях разрушению конструкции. Разрушение может наступить и при нагрузках, много меньших предельных значений статической прочности материалов, если конструкция окажется подверженной знакопеременным нагрузкам.

На транспортируемую ячейку электронной аппаратуры и в процессе ее эксплуатации воздействуют вибрации, ударные нагрузки и линейные ускорения. Гармонические вибрации характеризуются частотой, амплитудой, ускорением. Как правило, конструкция аппарата, выдержавшая воздействие вибрационных нагрузок в определенном частотном диапазоне, выдерживает ударные нагрузки и линейные ускорения с большими значениями соответствующих параметров. Ударные нагрузки характеризуются числом одиночных ударов или их сериями (обычно оговаривают максимальное число ударов), длительностью ударного импульса и его формой, мгновенной скоростью при ударе, перемещением соударяющихся тел. Линейные ускорения характеризуются ускорением, длительностью, знаком воздействия ускорения [1].

В отношении конструкции ячейки электронной аппаратуры различают два понятия: вибрационная устойчивость и вибрационная прочность. Вибрационная устойчивость - свойство объекта при заданной вибрации выполнять заданные функции и сохранять значения своих параметров в пределах нормы. Вибрационная прочность - прочность при заданной вибрации и после прекращения ее. Воздействие транспортной тряски складывается из ударов и вибраций. Введение амортизаторов между электронной аппаратурой и объектом в качестве среды, уменьшающей амплитуду передаваемых колебаний и ударов, снижает действующие на электронную аппаратуру механические силы, но не уничтожают их полностью. В некоторых случаях образованная с введением амортизаторов резонансная система влечет за собой возникновение низкочастотного механического резонанса, который приводит к увеличению амплитуды колебаний ячеек электронной аппаратуры.

2 Конструкция как колебательная система

При разработке конструкции электронной аппаратуры необходимо обеспечить требуемую жесткость и механическую прочность ее элементов.

Жесткость конструкции есть отношение действующей силы к деформации конструкции, вызванной этой силой. Под прочностью конструкции понимают нагрузку, которую может выдержать конструкция без остаточной деформации или разрушения. Повышение прочности конструкции электронных средств связано с усилением конструктивной основы, применением ребер жесткости, контровки болтовых соединений. Особое значение имеет повышение прочности несущих конструкций и входящих в них узлов методами заливки и обволакивания.

Во всех случаях нельзя допускать образования механической колебательной системы (рисунок 1). Это касается крепления монтажных проводов, микросхем, экранов и других частей, входящих в электронную аппаратуру.

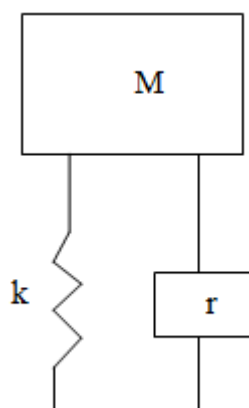


Рисунок 1 – Колебательная система

Основными параметрами любой конструкции с позиций реакции на механические воздействия являются масса, жесткость и механическое сопротивление - демпфирование. При анализе влияния вибраций на конструкции модулей последние представляют в виде системы с сосредоточенными параметрами, в которой заданы масса изделия m , элемент жесткости в виде пружины и элемент механического сопротивления в виде демпфера, характеризующиеся параметрами k и r соответственно [2].

Показателем механической системы является число степеней свободы, определяющих положение системы в пространстве в любой момент времени. Рассматриваемое число степеней свободы конструкции зависит от степени ее упрощения, т. е. модель должна в определенной степени отображать реальную конструкцию и быть достаточно простой для исследования.

3 Амортизация конструкции ЭС

Один из эффективных методов повышения устойчивости конструкции, как транспортируемой, так и стационарной, к воздействию вибраций, а также ударных и линейных нагрузок - использование амортизаторов. Действие амортизаторов основано на демпфировании резонансных частот - поглощении части колебательной энергии. Аппаратура, установленная на амортизаторах, в общем случае может быть представлена в виде механической колебательной системы с шестью степенями свободы: совокупностью связанных колебаний, состоящих из линейных перемещений, и вращательных колебаний по каждой из трех координатных осей.

Эффективность амортизации характеризуется коэффициентом динамичности или передачи, числовое значение которого зависит от отношения частоты действующих вибраций f к частоте амортизированной системы f_0 .

При разработке схемы амортизации необходимо стремиться к тому, чтобы система имела минимальное число собственных частот и чтобы они были в 2-3 раза ниже наименьшей частоты возмущающей силы [1].

Для амортизированной аппаратуры следует как можно больше уменьшать собственную частоту, а для неамортизированной, напротив, увеличивать, приближая ее к верхней границе возмущающих воздействий или превышая ее.

Выбор схемы расположения амортизаторов зависит главным образом от расположения аппаратуры на носителе и условий динамического воздействия.

4 Прочность конструктивных элементов

Механическую прочность элементов конструкции проверяют методами сопротивления материалов и теории упругости для простейших конструкций с распределенной и смешанной нагрузкой. В большинстве практических случаев конструкции деталей электронной аппаратуры имеют более сложную конфигурацию, затрудняющую определение в них напряжений. При расчетах сложную деталь заменяют ее упрощенной моделью: балкой, пластиной, рамой [2].

При проектировании конструкции выполняют:

- проверочные расчеты, когда форма и размеры детали известны;
- проектные расчеты, когда размеры опасных сечений неизвестны и их определяют на основе выбранных допустимых напряжений;
- расчеты допускаемых нагрузок по известным опасным сечениям и допустимым напряжениям.

При проведении проверочных расчетов на упругие колебания с учетом направления воздействия вибраций выделяют детали и узлы, имеющие наибольшие деформации, выбирают расчетные модели, рассчитывают собственные частоты, определяют нагрузки и сравнивают полученные значения с пределами прочности выбранных материалов, при необходимости принимают решение о повышении прочности конструкции.

Для увеличения вибропрочности в конструкции отдельных элементов вводятся дополнительные крепления, ребра и рельефы жесткости, отбортовки, выдавки, используются материалы с высокими демпфирующими свойствами, демпфирующие покрытия.

Внешние вибрационные воздействия часто задаются довольно узким диапазоном частот. В правильно сконструированной аппаратуре собственная частота f_0 конструкции не должна находиться в спектре частот внешних воздействий. Любая конструкция обладает несколькими значениями собственных частот, однако расчет выполняется только для низших значений f_0 , поскольку деформации конструкций в этом случае будут максимальными. Если низшее значение собственной частоты входит в диапазон внешних воздействий, то конструкцию дорабатывают с целью увеличения f_0 и выхода из спектра частот внешних воздействий [2].

Вибрации, направленные ортогонально к плоскости печатной платы, попеременно изгибают ее и влияют на механическую прочность установленных на ней микросхем и компонентов. Если компоненты считать жесткими, то изгибаться будут их выводы. Большинство отказов компонентов происходит из-за поломки паяных соединений выводов с платой. Наиболее жесткие воздействия имеют место в центре платы, а для прямоугольных плат еще и при ориентации тела элемента вдоль короткой стороны платы. Приклеивание компонентов к плате значительно улучшает надежность паяных соединений.

5 Защита электронной аппаратуры от воздействия помех

Надежность и достоверность работы электронной аппаратуры и систем зависят от их помехозащищенности по отношению к внешним и внутренним, случайным и регулярным помехам.

Помехой для аппаратуры является внешнее или внутреннее воздействие, приводящее к искажению аналоговой или дискретной информации в изделии во время ее хранения, преобразования, обработки или передачи. Помеха - непредусмотренный при проектировании электронной аппаратуры сигнал, способный нарушить ее функционирование. Так как сигналы в электронной аппаратуре имеют электрическую природу, то при конструировании необходимо учитывать помехи той же природы, как наиболее вероятные источники искажения информации. Помехами могут быть напряжения, токи, электрические заряды, напряженность поля.

Помехи могут быть классифицированы по причине наведения, характеру проявления и пути распространения (рисунок 4).

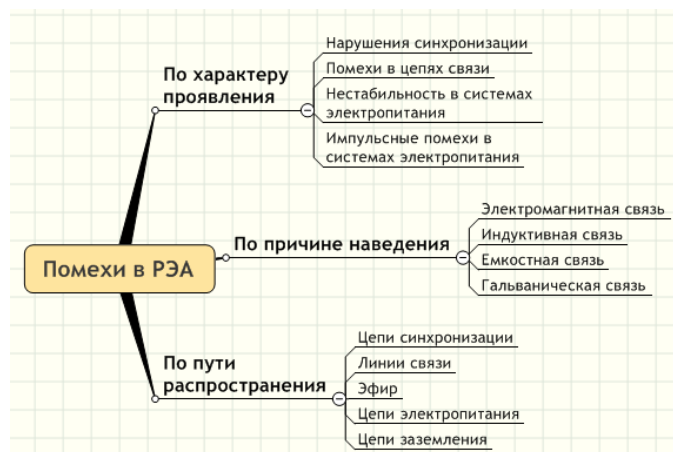


Рисунок 4 – Классификация помех в РЭА

Источники помех многообразны по физической природе и подразделяются на внутренние и внешние.

Внутренние помехи возникают внутри работающей аппаратуры. Источниками электрических помех являются, в основном, блоки питания и токоразводящие цепи. Источниками магнитных помех являются трансформаторы и дроссели. Значительные помехи создают электромагниты, электрические двигатели, реле и электромеханические устройства. Внутренними помехами являются также помехи от рассогласования волновых сопротивлений линий связи с входными и выходными сопротивлениями модулей, которые эти линии соединяют, а также помехи, возникающие по земляным шинам [2].

Под внешними помехами понимаются помехи сети электропитания, сварочных аппаратов, щеточных двигателей, передающей радиоэлектронной аппаратурой, а также помехи, вызванные разрядами статического электричества и атмосферными явлениями. Действие на аппаратуру внешних помех по физической природе аналогично действию внутренних помех.

6 Помехоподавляющие фильтры

Эффективным схемным средством ослабления внешних помех по сетям питания является использование помехоподавляющих фильтров.

Фильтры характеризуются частотой среза и коэффициентом фильтрации, равным отношению сигнала на входе и выходе фильтра. Зная спектр частот полезного сигнала и помехи, и задаваясь определенным ослаблением помехи, проектируют соответствующие схемы фильтров.

1. Использование металлического листа в качестве «земли» - этот метод применим для элементов второго уровня конструктивной иерархии электронной аппаратуры и заключается в установке в эти конструктивные элементы сравнительно толстого металлического листа, к которому припаивают обратные провода от всех закрепленных ячеек или модулей.

2. Использование сплошных металлических прокладок в качестве шин питания. Этот метод применим в случае использования многослойных печатных плат. В таких платах отдельные слои изготовляют с максимально большой площадью металла и применяют их в качестве шин питания, эти слои размещают внутри многослойной платы. При использовании сплошных металлических слоев значительно уменьшаются собственное индуктивное сопротивление шин питания, общие участки протекания токов различных элементов и увеличивается взаимная емкость между шинами питания [2].

3. Применение экранов в РЭА. При прохождении мощных сигналов по цепям связи последние становятся источниками электромагнитных полей, которые, пересекая другие цепи связи, могут наводить в них дополнительные помехи. Источниками электромагнитных помех могут быть также мощные промышленные установки, транспортные коммуникации, двигатели.

Экраны включаются в конструкцию для ослабления нежелательного возмущающего поля в некотором ограниченном объеме до приемлемого уровня или для локализации, где это возможно, действие источника полей. Возможны два варианта защиты. В первом случае экранируемая аппаратура размещается внутри экрана, а источник помех вне его, во втором - экранируется источник помех, а защищаемая от помех аппаратура располагается вне экрана. Первый вариант обычно используют при защите от внешних помех, второй - внутренних.

Функции экранов чаще всего выполняют кожухи, панели и крышки приборов блоков и стоек, при выборе материалов и расчете толщины которых кроме соображений эффективности экранирования необходимо учитывать требования обеспечения механической прочности, жесткости, надежности соединения отдельных элементов.

Отверстия и щели в экранах уменьшают эффективность экранирования, поэтому их необходимо исключать или сводить к минимуму. Однако полностью от них избавиться невозможно. Отверстия вводятся в кожух для установки соединителей, элементов управления, индикации, обеспечения нормального теплового режима. Эффективность экрана не ухудшится, если в его конструкции выполнены отверстия, максимальные размеры которых не превышают $1/2$ минимальной длины волны экранируемого сигнала. Чтобы помеха не проникала через вентиляционные отверстия, на внутренних поверхностях кожухов с отверстиями может закрепляться металлическая сетка [3].

По принципу действия различают электростатическое, магнитостатическое и электромагнитное экранирования.

7 Электростатическое экранирование

Применяется при внутренних помехах с одних функциональных модулей аппаратуры на другие. При введении между модулями заземленного экрана высокой проводимости источник помех окажется подсоединенным на землю через паразитную емкость, желательнее как можно большую, а входы и выходы схем - на соответствующие паразитные емкости (обычно много меньшие), что должно учитываться схемотехником при оценке параметров и характеристик схемы. Экранирующий эффект заключается в шунтировании на корпус большей части паразитной емкости, имеющейся между источником и приемником наводок.

В качестве экранов служат детали шасси и каркасов, обшивки стоек, панелей, субблоков, кассет, специальные листовые металлические прокладки на монтажной стороне плат, блоков, субблоков.

С целью улучшения экранировки особо чувствительных к помехам цепей на обеих сторонах печатных плат сигнальные и заземленные экранные проводники чередуют таким образом, чтобы против сигнальной линии, проходящей с одной стороны платы, всегда располагалась заземленная линия с другой стороны платы. При этом каждая сигнальная линия оказывается окруженной тремя заземленными линиями, в результате чего достигается не только эффективная экранировка сигнальной линии от внешних помех, но и для полезного сигнала обеспечивается подобная волноводу цепь от источника до нагрузки.

Экранирование применяется также для проводов входной и выходной линий, при этом чаще всего оказывается достаточным экранировать только входную цепь. Для устранения гальванической помехи по земле экраны проводов необходимо заземлять в одной точке. При выполнении линий передачи печатным способом вводятся экранирующие трассы, коммутируемые с шиной нулевого потенциала и выполняющие функции экранов проводов [3].

8 Магнитостатическое экранирование

Задача экранирования сводится к уменьшению или полному устранению индуктивной связи между источником и приемником помехи. Если магнитный поток пересекает контур, образуемый проводником, то в контуре наводится помеха. Для полного устранения или уменьшения напряжения помехи, наводимой в контуре, необходимо:

- поместить контур в экран;

- ориентировать его так, чтобы магнитные силовые линии поля не пересекали контур, а проходили вдоль него;
- уменьшить площадь контура.

Магнитные экраны выполняют как из ферромагнитных, так и немагнитных металлов. Ферромагнитные материалы с большой магнитной проницаемостью обладают малым магнитным сопротивлением, в результате чего линии магнитного поля будут шунтированы материалом экрана, и пространство внутри экрана не будет подвергаться воздействию магнитного поля. Магнитное экранирование тем эффективнее, чем больше магнитная проницаемость экрана и толще экран. При выборе материала экрана необходимо помнить, что магнитная проницаемость с увеличением частоты поля уменьшается, и это сказывается на эффективности экранирования.

Действие экрана из немагнитного металла основано на вытеснении внешнего магнитного поля из внутреннего пространства прибора материалом экрана. Внешнее переменное магнитное поле создает индукционные вихревые токи в экране, магнитное поле которых направлено навстречу внешнему полю внутри экрана. У экранов из немагнитных металлов эффективность экранирования повышается с увеличением толщины и проводимости материала экрана. Толщина немагнитного экрана может в несколько раз превысить толщину ферромагнитного, обеспечивающего на фиксированной частоте одинаковое ослабление. Использование ферромагнитного материала позволяет значительно снизить массу экрана. При экранировании магнитного поля заземление экрана не обязательно, поскольку оно не влияет на качество экранирования [3].

Заключение

В данной статье были рассмотрены возможные методы защиты ячеек электронной аппаратуры от механических воздействий.

Механические воздействия могут приводить к взаимным перемещениям деталей и узлов, деформации крепежных, несущих и других элементов конструкций, их соударению. При незначительных механических воздействиях в элементах конструкций возникают упругие деформации, не сказывающиеся на работоспособности аппаратуры. Увеличение нагрузки приводит к появлению остаточной деформации и при определенных условиях разрушению конструкции. Разрушение может наступить и при нагрузках, много меньших предельных значений статической прочности материалов, если конструкция окажется подверженной знакопеременным нагрузкам.

Работа по обеспечению нормального функционирования электронной аппаратуры начинается с сопоставления допустимых параметров механических воздействий на электрорадиоэлементы. Если применяемые электро-радио элементы удовлетворяют требованиям технического задания, необходимо устранить резонансные колебания и выполнить обеспечение прочности элементов конструкций электронных средств. Если устранить или уменьшить резонансные колебания до допустимого уровня не удастся, то следует применить общую или локальную виброизоляцию. Для обеспечения необходимой защиты от механических воздействий часто приходится применять рассмотренные способы совместно.

Литература

1. Талицкий Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий – Владимир: Владимирский государственный университет, 2001.
2. Ивченко В.Г. Конструирование и технология ЭВМ – Таганрог: ТГРУ, 2001.
3. Шкулёва Е.Н. Исследование электромагнитных волн на основе стенда радиочастотной идентификации // Квалификационная работа бакалавра – М.: МГТУ им. Баумана, 2013. –98 с.

АНАЛИЗАТОРЫ СОДЕРЖАНИЯ ПАРОВ ЭТИЛОВОГО СПИРТА В ВОЗДУШНЫХ И ЖИДКИХ СРЕДАХ

Григорьев П.В., Кочешков А.Э.

Научные рук.: к.т.н., доцент Журавлева Л.В., гл. технолог Цивинская Т.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

EXISTING ANALYSERS OF VAPOR CONTENT OF ETHYL HYDROXIDE IN LIQUID AND AIR MEDIUM

Grigorev P.V., Kocheshkov A.E.

Supervisor: Ph.D. Juravleva L.V., tech. Tsyvinskay T.A.

Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье представлен анализ основных принципов конструирования существующих анализаторов содержания паров этилового спирта (C_2H_5OH) в жидких и воздушных средах, и концепция разработки анализатора со сменными датчиками одноразового использования.

Abstract

This article represents the analysis of the main principles of construction of existing analysers of vapor content of ethyl hydroxide (C_2H_5OH) in liquid and air medium, and the conception of engineering of the analyser with single-use replaceable sensors

Введение

Анализаторы содержания паров этилового спирта состоят из датчиков, выделяющих какой-либо элемент, входящий в состав спирта, который может служить индикатором наличия паров спирта в жидких или воздушных средах со сменными датчиками одноразового использования.

Актуальность работы определяется необходимостью проведения достоверного экспресс-контроля содержания паров этилового спирта в воздухе, выдыхаемом человеком.

Объектом исследования является анализатор содержания паров этилового спирта, позволяющий поводить экспресс-контроль с высокой точностью результатов у большого количества людей, потребляющих препараты, содержащие этиловый спирт.

Постановка задачи: провести патентный поиск и анализ существующих методов обнаружения паров этилового спирта в жидких и воздушных средах и разработать концепцию анализатора.

Целью работы является разработка физических основ и структуру анализатора со сменными датчиками одноразового использования.

Научная и практическая новизна работы заключается в разработке принципиально новой конструкции анализатора паров этилового спирта с использованием не только новых программно-аппаратных средств, сетевых языков программирования, интеллектуальных сенсорных модулей, объединяющих в себе функции электропитания, определения физических параметров, самодиагностики, защиты от внешних воздействий, но и сменных датчиков одноразового использования.

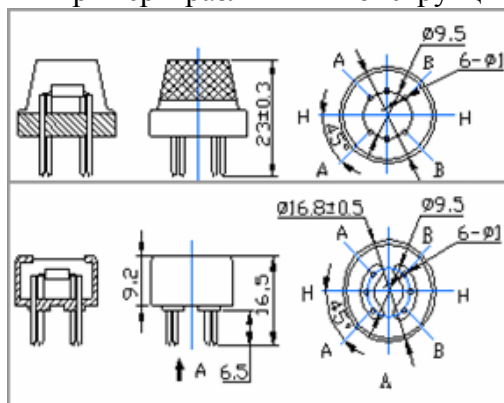
Практическая ценность работы заключается в разработке портативного анализатора содержания паров этилового спирта, в котором используются сменные датчики одноразового использования.

Результатом работы является концепция конструкции сменного датчика одноразового использования для анализатора паров этилового спирта в жидких и газовых средах.

1 Анализ конструкций существующих анализаторов содержания паров этилового спирта

Современные автономные и общие системы измерения паров этилового спирта строятся на принципах адаптивности и искусственного интеллекта, предполагающих реализацию концепции построения распределенных реконфигурируемых автоматизированных систем за счет применения новых программно-аппаратных средств, сетевых языков программирования, интеллектуальных сенсорных модулей, объединяющих в себе функции: электропитания, определения физических параметров, самодиагностики, защиты от внешних воздействий.

Примеры различных конструкций анализаторов представлены на рисунке 1.



a

б

Рисунок 1 – Анализаторы паров этилового спирта: *a* – полупроводниковый Alcohol gas sensor MQ-3, *б* - ME3A-C2H5OH Alcohol Sensor.

Анализаторы обладают следующими характеристиками:

- время ответа;
- время обработки информации (предоставления результата);
- рабочее напряжение;
- рабочий ток;
- рабочая температура.

Основные виды датчиков содержания паров этилового спирта в жидких и воздушных средах представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 - Основные виды датчиков содержания паров этилового спирта в жидких и воздушных средах

Полупроводниковые датчики представляют собой вещество с пористой кристаллической структурой, которое подобрано так, что при продувании выдыхаемого воздуха через датчик молекулы спирта впитываются пористым веществом датчика и меняют проводимость этого вещества. Меняется электрический ток, протекающий через датчик, и внешне это выглядит как изменение цифр на дисплее прибора или отклонение

стрелки, или свечение определённого индикатора. Недостаток этих датчиков состоит в том, что кроме молекул спирта в их объёме могут сорбироваться другие маломолекулярные соединения органических веществ, похожие по структуре и размерам на молекулы спирта, например, аммиак, сероводород, кетоновые тела. На этом принципе построен датчик Alcohol gas sensor MQ-3 (см. рис. 1).

Полупроводниковый датчик спирта Alcohol gas sensor MQ-3 обладает следующими характеристиками:

- избирательность по отношению к этанолу;
- требует регулировки после 300-400 измерений;
- показания сильно зависят от температуры окружающей среды;
- время анализа 20-60 секунд.

Для стабильной работы анализатора с полупроводниковым датчиком необходимо постоянно поддерживать рабочую температуру или разогревать до его рабочей температуры (примерно 400 градусов, это зависит от полупроводникового материала). Так же процедура измерения может занимать до 10 минут, что гораздо дольше, чем у анализатора с инфракрасным датчиком (несколько секунд).

Электрохимические датчики представляют собой электрохимическую ячейку с двумя платиновыми электродами, на аноде которой осажден катализатор, специфичный по отношению к этанолу [1]. В присутствии этого катализатора именно спирт вступает в окислительно-восстановительную реакцию с выделением свободных электронов.

В отношении этих датчиков существует известное заблуждение, что они требуют замены с регулярностью в один год. Это не так. На самом деле, они исправно служат 5 — 7 лет, так как катализатор при реакции присутствует, но не расходуется.

Примером электрохимического датчика является датчик ME3A-C2H5OH Alcohol Sensor, представленный на рисунке 1б [2].

Электрохимические датчики ME3A-C2H5OH Alcohol Sensor обладают следующими свойствами:

- высокая избирательность по отношению к этанолу, специфичность, высокая чувствительность, точность;
- высокая стабильность, большинство приборов с электрохимическими датчиками имеют межповерочный интервал не менее одного года;
- мало зависят от температуры окружающего воздуха;
- высокое быстродействие.

Инфракрасные датчики используют принцип поглощения инфракрасного излучения парами спирта [2]. Это спектрофотометры, настроенные на определённую длину волны поглощения. Современные приборы данного типа анализируют поглощение инфракрасного спектра сразу на двух волнах, что обеспечивает высокую точность измерений и хорошую селективность анализа.

Инфракрасные датчики обладают следующими свойствами:

- абсолютная избирательность по отношению к этанолу;
- высокая стабильность;
- показания сильно зависят от температуры окружающей среды.
- время анализа может занимать до 30 минут, поскольку это стационарный прибор для лабораторных условий, прогрев перед началом работы длится порядка 20 минут, затем каждая процедура измерения занимает до 10 минут.

Приборы с инфракрасными датчиками применяются в основном в лабораторных условиях, в крайнем случае, в передвижном пункте медицинского освидетельствования, оборудованном на базе автомобильного фургона, потому что для него также установлены определённые требования к температуре окружающего воздуха.

В рассмотренных патентах основное внимание уделено конструкциям микродатчиков, а также топологиям и структурам чувствительных элементов.

По результатам анализа существующих конструкций анализаторов паров спирта можно сделать следующие выводы:

- существующие методы компенсации предусматривают установку дополнительных компонентов (дублирование чувствительных элементов давления или установка акселерометра для вычисления инерционной помехи, установка дополнительных термочувствительных элементов для термокомпенсации), что усложняет конструкцию анализатора;

- при использовании датчиков для высоких давлений, в существующих разработках применяются дополнительные упругие элементы (стальные мембраны) для снижения воздействия непосредственно на сам чувствительный элемент, что увеличивает сложность конструкции и делает невозможным измерение малых значений давления;

- изготовленные полупроводниковые чувствительные элементы датчиков давления на КНД-структуре (кремний на диэлектрике) имеют высокое сопротивление изоляции между элементами схемы, что является необходимым условием для создания датчиков давления, обладающих повышенными временной стабильностью и стойкостью к воздействиям электромагнитных полей и токов источников естественного и искусственного происхождения.

- ТКС (температурный коэффициент сопротивления) тензорезисторов в структурах КНД не превышает значения 0,2%/°C, что соответствует типовому техническому заданию на датчики давления, использующиеся в судостроительной технике;

- серийный выпуск и разработки датчиков давления с интеллектуальными функциями осуществляют компании Siemens, Honeywell, Yokogawa, ABB, Motorola, Analog devic, Bosch.

2 Анализатор содержания паров этилового спирта со сменными одноразовыми датчиками

На основании анализа существующих конструкций анализаторов содержания паров спирта целесообразно разрабатывать анализаторы с автономными измерителями содержания паров спирта и сменными одноразовыми датчиками.

Структура анализатора с автономной системой измерения паров спирта со сменными одноразовыми датчиками представлена на рисунке 3.

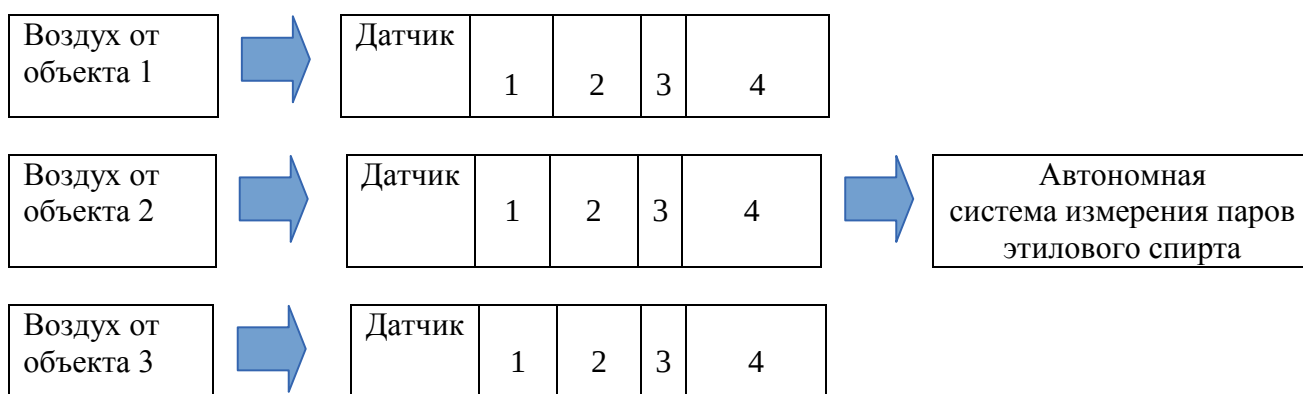


Рисунок 3 - Структура анализатора с автономной системой измерения паров спирта со сменными одноразовыми датчиками: 1- адсорбент, 2- порошок оксида кремния, 3- фильтр, 4 – палладиевая полоска

Датчик представляет собой систему в виде мундштука, в которой спирт разлагается с помощью порошка оксида кремния с выделением водорода. Водород под давлением поступает через мембрану на полоску палладия, напыленного на подложку. В результате поглощения водорода меняется проводимость палладия. Величина этих изменений может служить мерой содержания паров спирта в жидкой или воздушной среде. Влага, содержащаяся в контролируемом объеме жидкости или воздуха, адсорбируется с помощью силикагеля в мундштуке. Измерение количества этилового спирта в контролируемом объеме жидкости или газа осуществляется автономной системой измерения.

Заключение

Предложенная, на основе анализа существующих конструкций анализаторов содержания паров этилового спирта структура позволяет использовать сменные одноразовые датчики с использованием автономной системы измерения паров этилового спирта.

Литература

1. www.fips.ru.
2. www.uspto.gov.
3. www.patentstorm.us ru.
4. Проектирование наносенсоров : учеб. пособие/А.А.Денисов, В.А.Кальнов, В.А.Шахнов - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. (Библиотека Наноинженерия»: в 17 кн. Кн.6). - 128 с.:ил.

ЭЛЕКТРОХРОМНЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ СИСТЕМ С ИЗМЕНЯЕМОЙ АДАПТИВНОЙ СВЕТОПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Токарев С.В.

Научный руководитель: д.т.н., проф. Шахнов В.А.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

ELECTROCHROMIC THIN-FILM COATINGS FOR SYSTEMS WITH VARIABLE ADAPTIVE LIGHT TRANSMISSION

Tokarev S.V.

d.t.s., prof. Shakhnov V.A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В последнее время большое внимание уделяется развитию и использованию энергоэффективных технологий, которые позволят снизить потребление энергии, уменьшив тем самым количество вредных выбросов в атмосферу. Электрохромизм является одним из проявлений хромизма и заключается в обратимом изменении оптических свойств материалов при приложении внешнего электрического потенциала. Явление электрохромизма может быть использовано для создания энергоэффективных систем модуляции электромагнитного излучения.

В данной статье представлено описание электрохромного эффекта, описание обобщенной конструкции электрохромной ячейки, перечислены материалы, проявляющие электрохромные свойства, а также перечислены основные области применения электрохромов и разработки в этих областях.

Abstract

Recently, much attention is paid to the development and use of energy efficient technologies that will reduce energy consumption, thus reducing the amount of harmful emissions into the atmosphere. Electrochromism is one of the several types of chromism. A phenomenon of electrochromism is reversible change of optical properties of materials in the application of an external electric potential. Electrochromic phenomenon can be used to create energy-efficient systems with electromagnetic radiation modulation.

This article describes an electrochromic effect, gives a description of the generalized structure of the electrochromic cell materials are exhibiting electrochromic properties, and shows a main areas of application of electrochromic materials and current developments in these areas.

Введение

Термин «хромизм» означает способность вещества обратимо изменять свою окраску при различном внешнем воздействии. В зависимости от типа внешнего воздействия, различают следующие виды хромизма:

- *электрохромизм* – способность обратимого изменения окраски под воздействием внешнего электрического потенциала (рисунок 1, а);
- *термохромизм* – обратимое изменение окраски при изменении температуры (рисунок 1, б);
- *фотохромизм* – изменение интенсивности внешнего излучения (рисунок 1, в);
- *сольватохромизм* – изменение окраски в результате изменения полярности растворителя (рисунок 1, г);
- *пьезохромизм* – изменение окраски под внешним механическим воздействием;
- *галохромизм* – изменение *pH* кислотности раствора;
- *ионохромизм* – изменение окраски в результате изменения количества ионов в веществе.

На рисунке 1 представлены некоторые проявления хромизма.

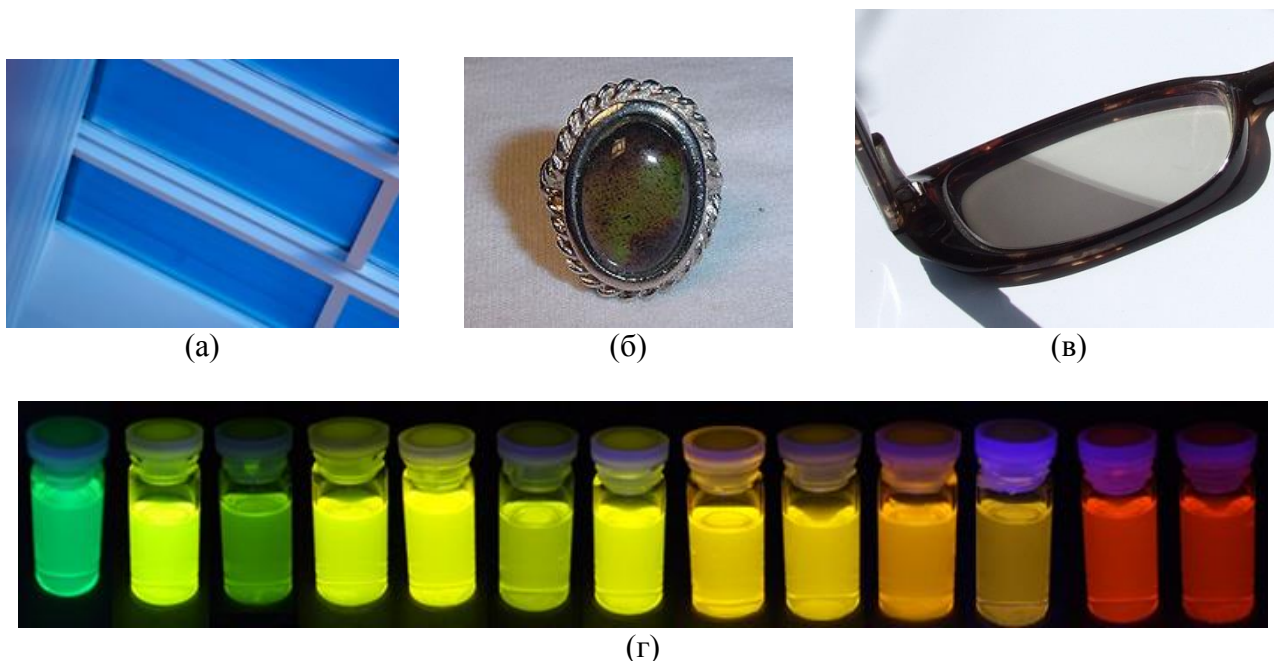


Рисунок 1 – Проявление эффекта хромизма:
а – электрохромизм [1]; б – термохромизм [2]; в – фотохромизм [3];
г – сольватохромизм [4]

Электрохромизм – явление обратимого изменения оптических свойств тонких пленок в процессе протекания электрохимической окислительно-восстановительной реакции. Феномен электрохромизма может проявляться не только в видимом цветовом диапазоне, но и в ближней инфракрасной, инфракрасной и микроволновой областях. Поэтому далее понятие «изменение цвета» означает изменение коэффициентов пропускания и поглощения электромагнитных волн для детекторов этих длин волн. В случае электромагнитного излучения видимого спектра в качестве детектора может выступать глаз наблюдателя.

1 История электрохромизма

История электрохромных материалов начинается в 1706 году, когда Генрих Дисбах открыл берлинскую лазурь – материал, обладающий электрохромными свойствами, который изменяет свою окраску с темного синего цвета до обесцвеченного состояния при приложении внешнего напряжения. В 1815 году впервые был зафиксирован факт проявления электрохромных свойств у оксида вольфрама WO_3 , опыт Якоба Берцелиуса показывал факт изменения цвета оксида вольфрама в реакции восстановления при нагревании в газообразном водороде [5]. Только в 1953 году Краус сформулировал описание явления электрохромизма в тонких пленках оксида вольфрама. Само явление электрохромизма обрело большой интерес в научной среде после публикации 1969 года С.К. Деба, который описал первое управляемое электрохромное устройство на основе оксида вольфрама [6].

До сих пор явление электрохромизма представляет интерес в научной среде и имеет большую область для фундаментальных исследований и прикладного применения. Особенно сильно интерес к этому эффекту был повышенным в 1980-х годах, когда было сделано предположение его использования для создания умных стекол энергоэффективных зданий [7]. Коммерческий интерес к явлению электрохромизма связан прежде всего с применением этого эффекта в смарт-стеклах, окнах и дисплеях.

На рисунке 2 показано сравнение затрат энергии на охлаждение и освещение помещения при использовании стекол с различными технологиями хромизма. Применение обычных чистых стекол энергоэффективно в области освещения помещений, но энергозатратно при охлаждении помещений. С другой стороны, статически отражающее стекло позволяет использовать меньше энергии на охлаждение помещения, но требует больше энергии на освещение.

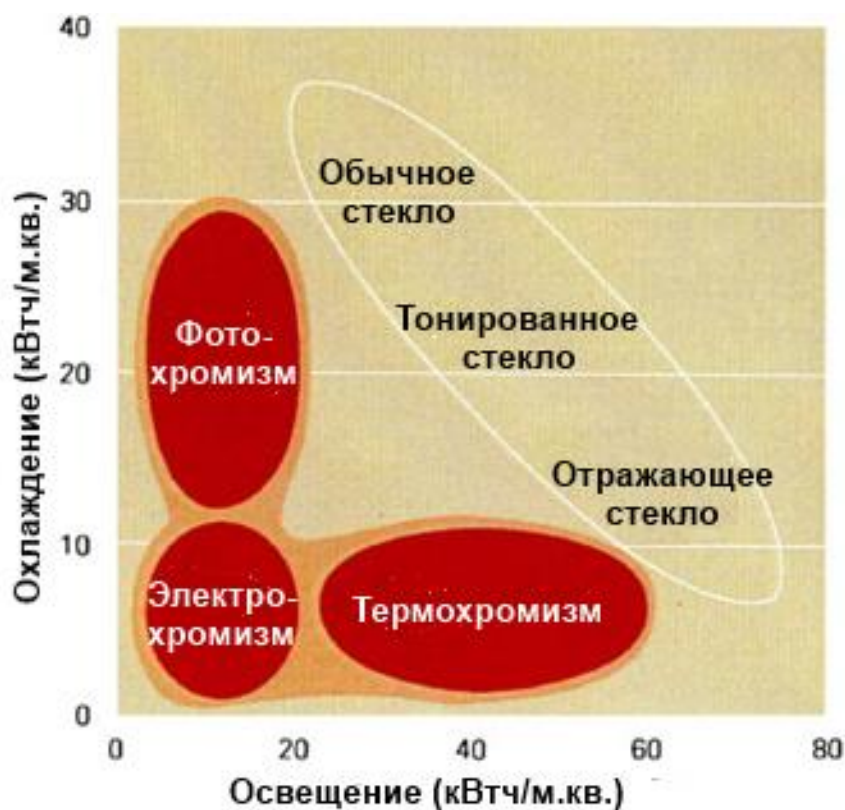


Рисунок 2 – Сравнение затрат электроэнергии на поддержание приемлемой температуры и освещенности внутри помещений при использовании различных оконных технологий [8]

Применение фотохромных и термохромных технологий энергоэффективно при освещении и охлаждении помещений, соответственно. Наряду с этим, применение электрохромных стекол позволяют снизить затраты энергии как на охлаждение, так и на освещение помещений.

2 Конфигурация электрохромной ячейки

Конфигурация электрохромных устройств может быть различной, но основная конфигурация схожа с конфигурацией электрохимической ячейки. Электрохромные устройства, как правило, состоят из семи слоев, показанных на рисунке 3. Три внутренних активных слоя (противоэлектрод, ионно-проводящий слой или электролит, рабочий электрохромный слой) располагаются между двумя токопроводящими прозрачными электродами. Эти пять слоев находятся между защитными слоями, как правило, из стекла или гибкого полимерного материала. Окислительно-восстановительная реакция протекает между двумя электроактивными материалами противоэлектрода и рабочего электрода в среде электролита.

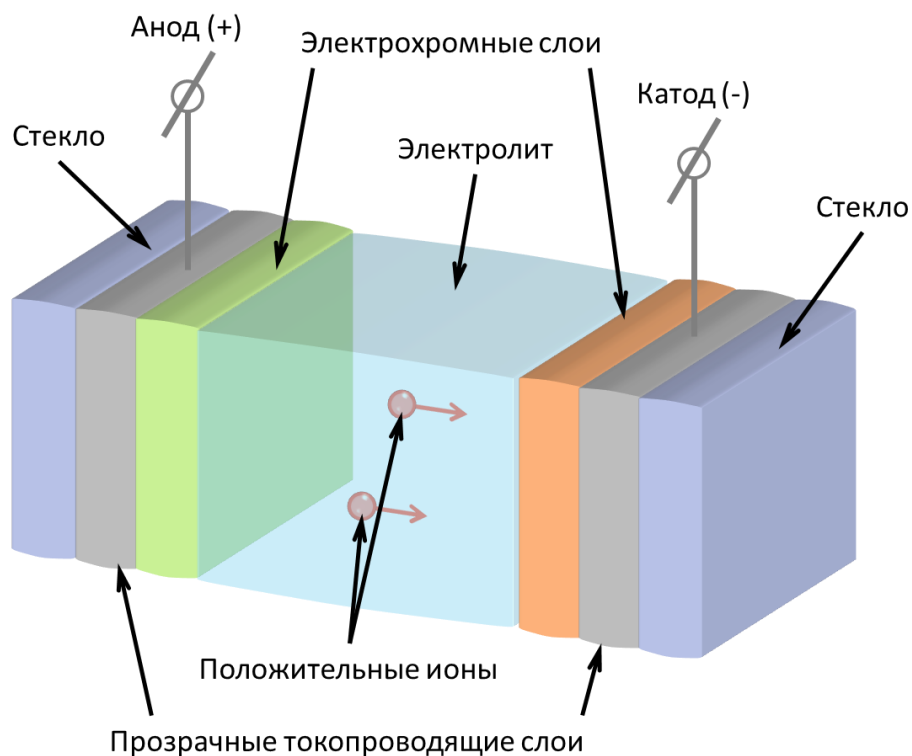


Рисунок 3 – Конструкция электрохромного устройства.

Выделяют четыре типа электролитов для электрохромных устройств: водные электролиты, органические жидкие электролиты, ионные жидкие электролиты, твердые полимерные электролиты. Водные и органические жидкие электролиты легки в производстве и долговечны. В силу этих преимуществ их часто используют в электрохромных смарт-стеклах. Недостатками таких электролитов является вероятность их утечки и низкая химическая стабильность. Водные электролиты могут быть как кислотными, так и щелочными. Для улучшения электрохимических свойств, органические жидкие электролиты содержат пропилен карбонат, или этилен карбонат с добавлением солей, таких как перхлорат лития ($LiClO_4$) или перхлорат натрия ($NaClO_4$). К ионным жидким электролитам относится нитрат этил аммония ($EtNH_3NO_3$) [9].

Твердые полимерные электролиты зачастую представляют собой матрицу из полимера или геля с абсорбированным жидким раствором электролита, где только один тип ионов может перемещаться в полимерной матрице. Другой возможной реализацией является ионно-связанная система, состоящая из смеси ион-содержащих полимера и соли, где катионы и ионы могут перемещаться в структуре полимера.

Противоэлектрод в структуре электрохромного устройства используется как слой для хранения ионов. Противоэлектродом может быть слой любого материала с сопоставимыми требованиями к электронной и ионной проводимостью как у рабочего электрода. Противоэлектрод также может обладать электрохромными свойствами, как и рабочий электродов с отличием только в типе механизма окрашивания (катодный/анодный).

В качестве основы для многослойной структуры электрохромного устройства могут быть использованы подложки из стекла или полиэтилентерефталата (ПЭТ). Для применения электрохромов в смарт-стеклах обе подложки должны быть прозрачными для электромагнитного светового излучения. Для электрохромных дисплеев и зеркал достаточно, чтобы только одна из подложек была прозрачной. Подложки покрываются токопроводящей тонкой пленкой для сохранения прозрачности.

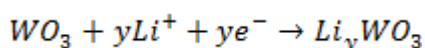
Прозрачные токопроводящие покрытия используются во многих системах и устройствах, таких как плазменные дисплеи, жидкокристаллические дисплеи, сенсорные панели, электронная бумага, солнечные батареи, антистатические покрытия, покрытия

электромагнитной защиты, смарт-стекла. Высокая светопропускающая способность и низкое сопротивление позволяют использовать прозрачные токопроводящие материалы в качестве токоприемника в солнечных батареях, в качестве электродов в смарт-стеклах, электрохромных и жидкокристаллических дисплеях и сенсорных панелях.

В настоящее время наилучшим сочетанием светопропускания и проводимости обладает оксид индия допированный оловом (*ITO*) в соотношении 90% оксида индия In_2O_3 и 10% оксида олова SnO_2 . *ITO* покрытие является неорганическим, что в сочетании с низким коэффициентом сопротивления (0,0001 Ом/см), высоким коэффициентом пропускания (более 90 %) и отражением инфракрасного излучения, делает его пригодным для использования во многих устройствах и системах. Недостатком *ITO* является относительно высокая стоимость, поскольку индий относится к редкоземельным веществам. В качестве альтернативы *ITO* покрытию могут быть использованы другие высоколегированные оксиды проводящих материалов, такие как оксид фтор-олово $SnO_2:F$ (*FTO*), цинко-алюминиевый оксид $ZnO:Al$ (*AZO*), оксид цинка и галлия $ZnO:Ga$ (*GZO*) и оксид титан-ниобия $TiO_2:Nb$ (*TNO*). Ожидается, что к 2016 году 90% рынка емкостных сенсорных панелей и смартфонов будет использовать *ITO* и его аналоги [10]. Другими альтернативами прозрачным токопроводящим оксидам являются органические полимеры и наноматериалы.

К токопроводящим органическим полимерам относится поли(3,4-этилендиокситиофен), сокращенно *PEDOT*. Данный полимер имеет ряд преимуществ перед *ITO* покрытиями, такие как гибкость, возможность нанесения технологией печати и низкая стоимость. *PEDOT* обладает лучшей светопрозрачностью, но большим коэффициентом сопротивления по сравнению с токопроводящими оксидами. Для улучшения рабочих характеристик *PEDOT* легируется поли(стирол сульфонатом) – *PSS*, результирующий водорастворимый материал *PEDOT:PSS* обладает коэффициентом светопропускания равным 80 % в видимом спектре и удельным сопротивлением от 0,0017 до 0,0025 Ом/см. Другой полимер, поли(этилен имин)-литий-бис(трифлуорометилсульфонил) имид (*PEI-LiTFSI*) с добавлением наночастиц оксида олова SiO_2 позволяет повысить ионную проводимость без увеличения светового рассеивания. Соединение *PEDOT*, полианилина *PANI* и полипиролла *PPY* показывает хорошие физические свойства для использования в качестве токопроводящего прозрачного слоя. Углеродные нанотрубки являются многообещающей альтернативой из-за высокой проводимости и коэффициента пропускания порядка 90 % в диапазоне длин волн от 440 нм до 22 мкм. Углеродные нанотрубки уже были использованы в качестве токовых проводников в электрохромных устройствах вместо *ITO* покрытия, что позволило улучшить электрохимическую стабильность устройства, повысить контраст и уменьшить время отклика. Графен также может быть использован в качестве прозрачных токопроводников, за счет высокой подвижности носителей заряда и поглощения только 2,3 % видимого света.

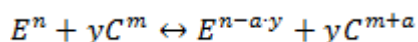
При приложении разности потенциалов к электродам электрохромного устройства, в устройстве начинает протекать окислительно-восстановительная реакция. В случае катодной электрохромной пленки, такой как оксид вольфрама WO_3 , на электрохромном слое будет протекать реакция восстановления, которая сопровождается поглощением электронов. На противозлектроде будет протекать реакция окисления, в ходе которой будут образовываться свободные ионы. Для компенсации протекающего через внешнюю цепь заряда, ионы диффундируют через слой электролита от противозлектрода к электрохромному слою. Эта реакция может быть выражена уравнением для электрохромного слоя из оксида вольфрама и литиевого электролита:



Внедрение ионов лития в структуру прозрачной электрохромной пленки WO_3 приводит к ее окрашиванию в темно-синий цвет. Изменение полярности внешнего напряжения приводит к обратному процессу в многослойной электрохромной структуре, в

результате которого устройство приобретает изначальный оттенок. Окрашивание может быть остановлено в любой промежуточный момент путем размыкания внешней цепи. Устройство при этом будет сохранять свой оттенок за счет оптической памяти, которую также называют бистабильностью [6, 7].

Общее уравнение процесса окрашивания может быть записано как:



где E – рабочий электрохромный электрод, C – противоэлектрод. Противоэлектрод также может является анодно окрашиваемым электрохромным слоем.

Для функционирования электрохромного устройства требуется выполнение закона сохранения заряда. Количество заряда вышедшего из анодной половины реакции должно быть эквивалентно количеству заряда пришедшего в катодную часть.

Материалы, которые окрашиваются при внедрении ионов называются катодными, материалы которые изменяют окраску при экстракции ионов называются анодными электрохромными материалами. Наиболее популярными электрохромными материалами являются оксид вольфрама (WO_x) и оксид никеля (NiO_x). Несмотря на то, что многие вещества проявляют электрохромные свойства в той или иной степени, электрохромные пленки должны удовлетворять многим требованиям, чтобы найти практическое применение. Скорость модуляции электромагнитного излучения находится в прямой зависимости от ионной и электронной проводимости внутренних слоев. Важной характеристикой электрохромных материалов является эффективность окрашивания, которая определяется уравнением:

$$CE(\lambda) = \frac{\log \left(\frac{T_0(\lambda)}{T_C(\lambda)} \right)}{Q},$$

где $T_0(\lambda)$ и $T_C(\lambda)$ – коэффициент пропускания излучения с длиной волны λ в неокрашенном и окрашенном состоянии соответственно, Q – количество перенесенного заряда на единицу площади поверхности.

Для повышения эффективности окрашивания, улучшения долговечности и увеличения скорости протекания процесса окрашивания, ученые разрабатывают новые композитные электрохромные материалы. Применение в многослойной структуре анодных и катодных электрохромных пленок вместе, позволяет получить лучшие свойства конечного устройства, чем при использовании одного типа.

3 Классификация электрохромных материалов

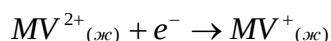
Электрохромы классифицируют по фазовому состоянию вещества до и после процесса изменения полосы поглощения. Фазовое состояние определяет зависимость тока, протекающего через устройства в процессе окрашивания от времени. Эта зависимость в свою очередь, напрямую связана с временной зависимостью окрашивания вещества. Всего выделяют три типа электрохромов.



дные Тип III: Твердофазные

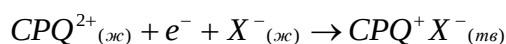
Рисунок 4 – Классификация электрохромных структур по типу электроактивного вещества

Электрохромные устройства первого типа используют электрохромное вещество в жидкой фазе и остается в ней в течение всего времени работы устройства. Примером этого типа электрохромов является водный метил виологен (1,1'-диметил-4,4'-бипиридил). Цвет данного материала изменяется в процессе реакции восстановления от бесцветного до синего:



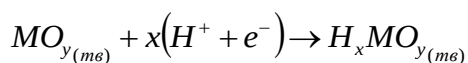
Другим примером может быть любой водорастворимый виологен, или фенотиазин в неводном растворе.

Электрохромные устройства второго типа - электрохром изначально находится в жидкой фазе и переходит в твердую фазу, оседая на электроде, в процессе электронного переноса зарядов. Этот фазовый переход увеличивает эффективность цикла записи-стирания и уменьшает время отклика в процессе обесцвечивания. Примером электрохромного материала второго типа является цианопенил паракват, который меняет свой цвет с бесцветного на зеленый в ходе реакции:



Включения анионного заряда X обеспечивает электронейтральность твердой структуры. Другим примером электрохромов второго типа могут быть гептил или бензил виологены [11], метоксифлуран в растворе ацетонитрила [12]. Примером неорганических электрохромов второго типа являются висмут, свинец или серебро, который восстанавливаются на электроде из водного раствора ионов или катионов в комплексе с присоединенными органическими или неорганическими молекулами (лиганды).

Электрохромные устройства третьего типа характеризуются твердой фазой электроактивного вещества на протяжении всего рабочего цикла. Большинство неорганических электрохромных материалов относятся к третьему типу. Формула химической реакции для большинства из них имеет вид:



где M обозначает металл, валентные электроны которых с наивысшей энергией занимают d -орбиталь электронной оболочки атомов. Примером таких металлов являются вольфрам, молибден, никель;

$y = 3$ в большинстве случаев, и показывает число атомов кислорода в веществе;

x – коэффициент внедрения, показывает пропорциональное соотношение металлических частиц, которые были восстановлены в ходе реакции, это значение обычно лежит в диапазоне $0 \leq x \leq 0,3$.

Другие неорганические электрохромные материалы третьего типа включают в себя комплексы фталоцианина и гексацианоферраты металлов («берлинская лазурь»). Для

третьего типа органических электрохромов характерны электроактивные проводящие полимеры: полипиррол, политиофен, полианилин, которые являются мономерами и образуют твердую электрохромную структуру в реакции полимеризации.

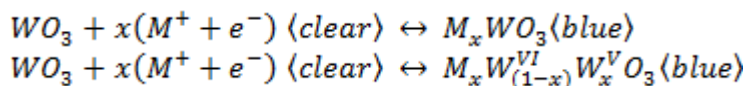
Наиболее важными веществами, которые обладают электрохромизмом, являются: переходные оксиды металлов (ТМО), материалы на основе берлинской лазури (*Prussian blue*), которая представляет собой смесь гексацианоферратов, виологены, комплексы лантанидов, металлополимеры и метал фталоцианины [13]. В таблице 1 приведены примеры соединений веществ, перечисленные выше.

Таблица 1 – Классы электрохромных веществ.

Класс материалов	Примеры соединений
Оксиды переходных металлов	WO_3 , V_2O_5 , Nb_2O_5 , MoO_3 , $Ir(OH)_3$, NiO_2
Берлинская лазурь	$C_{18}Fe_7N_{18}$ (синий), $C_6Fe_2N_6$ (коричневый), C_3FeN_3 (зеленый)
Виологены	1,1'-дизамещенные-4,4'-бипиридольные соли (C_5H_6N)
Проводящие полимеры	PEDOT ($C_6H_6O_2S$), PPy (C_4H_5N), PT (C_4H_4S), PANI ($C_6H_5NH_2$)

Оксиды переходных металлов

Оксид вольфрама является первым соединением, у которого было обнаружено и широко изучается явление электрохромизма. Аморфная пленка WO_3 переходит из неокрашенного состояния в темно синее в результате окислительно восстановительной реакции. Характеристики процесса окрашивания зависят от структуры и состава тонкой пленки, в частности от атомной структуры, размеров наночастиц, пор и внедренных веществ. Механизм инжекции и экстракции ионов можно описать уравнением:



где M^+ обозначает внедряемые ионы, которыми могут быть H^+ , Li^+ , Na^+ , K^+ . Прозрачный цвет оксида вольфрама образуется частицами W^{VI} . Синюю окраску пленка приобретает за счет того, что некоторые частицы переходят в восстановленное состояние W^V . Коэффициент x может принимать значения от 0 до 1. Интенсивный синий цвет характерен для малых значений x , при больших значениях пленка приобретает бронзовый оттенок.

Внедрение и перенос заряда между W^{VI} и W^V сопровождается изменениями в структуре решетки материала и формированием поляронов, которые приводят к поглощению электромагнитного излучения в тонкой пленке. Этот феномен может быть показан при помощи рентгеновского излучения и метода электронного парамагнитного резонанса [14, 15]. Оксид вольфрама имеет ярко выраженный пик поглощения в ближнем инфракрасном диапазоне. Окрашивание вызывают вакансии атомов кислорода с одним захваченным электроном, которые не имеют окраски в полностью окисленном состоянии. Время отклика для обычного WO_3 электрохромного устройства составляет порядка одной минуты для слоя площадью 1 м^2 и порядка одной секунды для маленьких электрохромных элементов. Время обесцвечивания увеличивается с повышением температуры [16]. Коэффициент эффективности окрашивания может быть увеличен путем добавления других электрохромных оксидов. Коэффициент пропускания солнечного света может изменяться от 86% до 12% [17].

Пленки на основе оксида вольфрама WO_3 и оксида никеля NiO наиболее часто применяются вместе в одном электрохромном устройстве, поскольку они обладают противоположными механизмами окрашивания и могут работать как противоэлектроды,

улучшая рабочие параметры конечной электрохромной системы. В таблице 2 приведены примеры оксидов переходных металлов, обладающих электрохромными свойствами.

Таблица 2 – Электрохромные оксиды переходных металлов.

Материал	Механизм окрашивания	Цвет	Метод нанесения
Оксид вольфрама WO_3	Катодный	Синий	Термическое испарение / Магнетронное распыление / Золь-гель
Оксид титана TiO_2	Катодный	Голубой	Термическое испарение / Магнетронное распыление
Оксид иридия IrO_2	Анодный	Голубой/Серый	Магнетронное распыление / Анодирование
Оксид ниобия Nb_2O_5	Катодный	Голубой	Золь-гель / Магнетронное распыление
Оксид марганца MnO_2	Анодный	Коричневый	Электролиз
Оксид ванадия V_2O_5	Катодный/Анодный	Коричневый/Желтый	Магнетронное распыление
Оксид молибдена MoO_3	Катодный	Синий	Термическое испарение

Процесс окрашивания ряда оксидов, обладающих электрохромным эффектом, представлен в таблице 3.

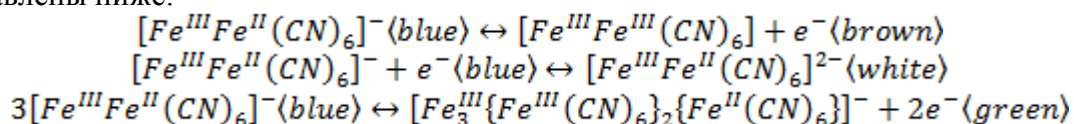
Таблица 3 – Процесс электрохромного окрашивания ряда оксидов переходных металлов.

Материал	Реакция процесса окрашивания	Механизм
Оксид никеля	$Ni(OH)_2 \leftrightarrow NiOOH + H^+ + e^-$ $NiOH + Ni(OH)_2 \leftrightarrow Ni_2O_3 + 3H^+ + 3e^-$	анодный
Оксид ниобия	$Nb_2O_5 + xM^+ + xe^- \leftrightarrow M_xNb_2O_5$	катодный
Оксид ванадия	$V_2O_5 + xM^+ + xe^- \leftrightarrow M_xV_2O_5$	катодный
Оксид молибдена	$MoO_3 + x(M^+ + e^-) \leftrightarrow M_xMo_{(1-x)}^{VI}Mo_x^V O_3$	катодный
Оксид иридия	$Ir(OH)_3 \leftrightarrow IrO_2 \cdot H_2O + H^+ + e^-$ $Ir(OH)_3 + (OH)^- \leftrightarrow IrO_2 \cdot H_2O + H_2O + e^-$	анодный

Для оксида ванадия основным механизмом окрашивания является катодный механизм, но при определенных условиях возможно проявление анодного механизма.

Берлинская лазурь

Под берлинской лазурью понимаются соединения с общей формулой $M^A_x[M^B(CN)_6]_y$. Обычно под символом M понимается железо Fe^{III} , но может быть и другой переходный металл [13]. Процессы изменения окраски различных соединений берлинской лазури представлены ниже:



Молекула берлинской лазури может быть восстановлена путем окисления структуры и исключения одного электрона, что приводит к образованию вещества коричневого цвета. Восстановление молекулы берлинской лазури на один и два электрона ведет к образованию вещества белого и зеленого цветов, соответственно.

Виологены

Виологены также являются электрохромными материалами и образованы дикватернизацией 4,4'-бипередина в форму 1,1'-дизамещенные-4,4'-бипиридольные соли. Свое название виологены получили благодаря фиолетовой окраске, которую они имеют в окрашенном состоянии. Виологены бесцветны в дикатионной форме ($bipm^{2+}$) и окрашиваются при восстановлении. Наиболее известной производной виологенов является паракват дихлорид; 1,1'-диметил-4,4'-дипиридилий дихлорид. Паракват токсичен для человека и животных, широко используется как сильный гербицид неспецифического действия. Модифицированные нанопористые электроды TiO_2 с добавлением виологенов позволяют улучшить время отклика и стабильность электрохромных систем [18]. Несмотря на это, токсичность этих материалов ставит под вопрос широкое их применение в потребительском секторе.

Токопроводящие полимеры

Различные ароматические мономерные соединения с сопряженными кольцевыми структурами, как тиофен, фуран, анилин, карбазола, азулен и индола, могут претерпевать химические или электрохимическое окисление, образуя легированные проводящие полимерные пленки полипиррола (PPy), политиофена (PT), полианилина (PANI), поли 3 метил анилина (MEPA) и т.д. Токопроводящие легированные (окисленные) формы и непроводящие нелегированные (восстановленные) формы имеют различную окраску, в силу изменений в спектре оптического поглощения как в видимой, так и в ближней инфракрасной областях. В зависимости от степени окисления и восстановления, изменение коэффициента поглощения может варьироваться, что позволяет образовывать различные оттенки цветовой палитры. Почти все тонкопленочные покрытия из токопроводящих полимеров обладают электрохромными свойствами

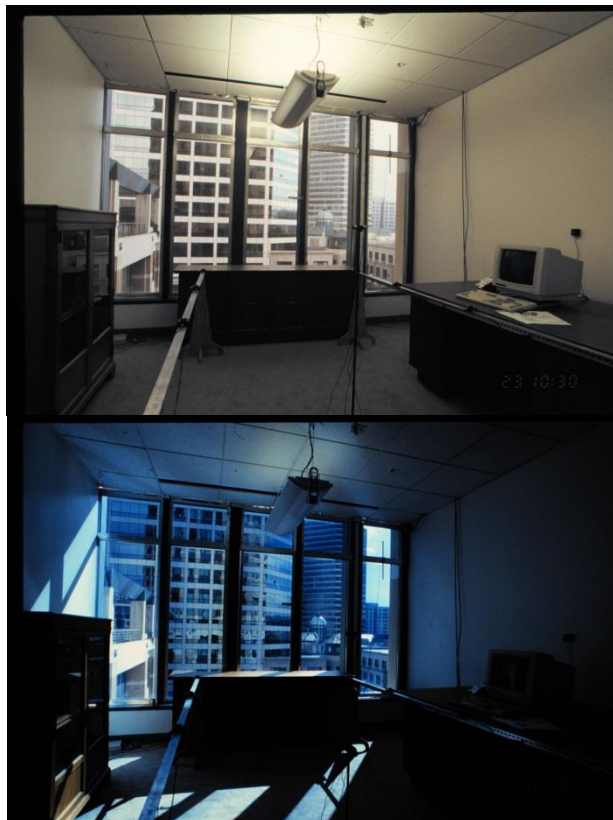
Другими преимуществами токопроводящих полимеров перед неорганическими материалами также являются большая цветовая гамма, возможность работы при более низких напряжениях, легкость производства, а также возможность химической модификации [19]. Механические свойства полимеров делают возможным создание гибких устройств. Наиболее многообещающим для использования в структуре электрохромных устройств является полимер PEDOT, легированный PSS, за счет своей долгосрочной стабильности, низкого потенциала окисления, высокого контраста и быстрой переключательной способности.

4 Применение электрохромного эффекта

Возможные применения электрохромных материалов включают, помимо смарт-стекол, электрохромные дисплеи, индикатор теплового воздействия для замороженных продуктов питания, электрохромные зеркала. Электрохромный эффект может быть использован для контроля теплового воздействия на замороженные продукты. Состав и концентрация полимерного электролита подбирается таким образом, чтобы его проводимость при определенной пониженной температуре была минимальной, что позволяет сохранять неокрашенное состояние электрохрома. При этом проводимость должна значительно возрасти при превышении температурой определенной отметки, что приводит к окрашиванию электрохромной пленки. Степень окраски зависит от величины и времени воздействия повышенной температуры. Важно, что при повторном замораживании окраска материала сохраняется.

Одним из возможных применений электрохромов является производство **смарт-стекол** для зданий. Компания *Flabeg* показала в 1999 году несколько прототипов «умных» электрохромных стекол размером 0,8 на 1,6 м² с коэффициентом пропускания $T = 50 - 15 \%$

[20]. В ходе функционирования выявились проблемы в многослойной структуре, что привело к быстрой деградации образцов. В том же году, Национальная лаборатория имени Лоуренса в Беркли установила большое двойное электрохромное окно с диапазоном светопропускания $T = 51 - 14 \%$ в дополнение к существующему стеклу с $T = 75 \%$. Данная инсталляция проработала с ноября 1999 года по февраль 2000 года [21].



(а)



(б)

Рисунок 5 – Разработки в области электрохромных смарт-стекол:

а – Национальная лаборатория Лоуренса; Беркли [21]; б – ChromoGenics AB, Швеция [22]

Двенадцать лет спустя на рынок вышло множество компаний, занимающихся разработкой смарт-стекол для конечного потребителя. В числе таких *Switch Materials* (Канада), *Pleotint's film* (США), *Soladigm* (США), *Sage Electrochromics* (США), *ChromoGenics AB* (Швеция). Последняя компания специализируется на производстве электрохромных стекол большой площади ($0,8$ на $1,8 \text{ м}^2$), с серым окрасом в затемненном состоянии, время окрашивания и обесцвечивания после 750 циклов составляет 40 и 120 секунд соответственно. Коэффициент пропускания варьируется в диапазоне от 70% в обесцвеченном состоянии до 37% в окрашенном состоянии.

Электрохромные зеркала широко применяются в настоящее время в автомобильной промышленности. Аналогично смарт-стеклам, электрохромные зеркала не имеют высоких требований к скорости переключения. Компания *Gentex* разработала автоматическое электрохромное зеркало заднего вида для предотвращения ослепления водителя светом фар сзади едущего автомобиля (рисунок 6).

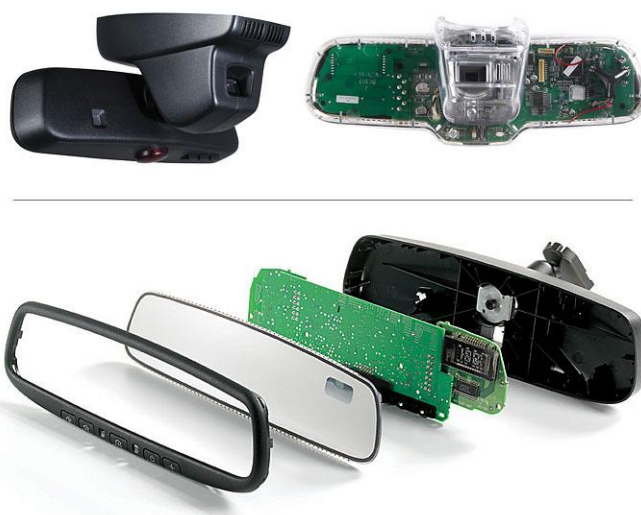


Рисунок 6 – Электрохромное зеркало заднего вида компании Gentex [23]

Зеркало улавливает яркость падающего на него света, в том числе света фар автомобиля сзади и подает сигналы на электрохромную структуру, расположенную перед отражающей поверхностью, тем самым автоматически подстраивая отражающую способность зеркала для комфорта и безопасности водителя. В качестве электрохромного материала используется виологен первого типа в фазе раствора. Один из электродов выполнен из *ITO* покрытия, второй электрод металлизированный и имеет отражающую способность. В зеркале имеется два фотодетектора, первый улавливает свет фар автомобиля, второй улавливает дневной свет и включает/выключает первый. На текущий момент было уже куплено более миллиона таких зеркал.

Электрохромные дисплеи, также как и жидкокристаллические, являются светоотражающими, в отличие от *OLED* дисплеев, являющихся светоиспускающими. Преимуществом электрохромных дисплеев является низкое энергопотребление, поскольку энергия расходуется только в момент обновления информации. Статическое изображение не потребляет энергию, поскольку электрохромный материал обладает эффектом памяти. Основным недостатком, ограничивающим применение электрохромных дисплеев, является большое время отклика. При больших размерах электрохромной панели, возможно неравномерное окрашивание, т.к. на электродах возле внешнего контакта питающее напряжение выше.

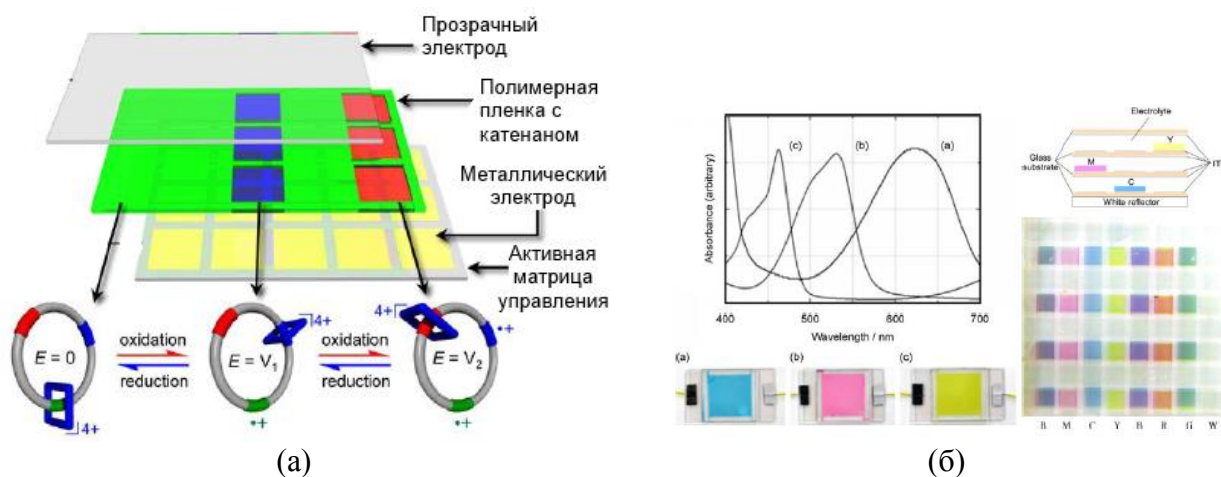


Рисунок 7 – Варианты конструкций цветных электрохромных дисплеев [24]

На рисунке 7,а показана иллюстрация работы дисплея электронной бумаги на основе катенанов, способного отображать *RGB*-цвета в соответствии с приложенным напряжением [24]. Катенаны представляют собой особые соединения, молекулы которых состоят из двух и более циклов, продетых один сквозь другой подобно звеньям цепи. Циклы связаны с собой топологической связью, а не химической. Для формирования цветного рисунка возможно использование голубого, желтого и пурпурного цветов (рисунок 7,б).

На рисунке 8 показаны дисплей на основе технологии электронной печати фирмы *Acreo*, электрохромный дисплей фирмы *Aveso* толщиной 250 мкм для применения в банковских картах и платежных системах, разработка электрохромного индикатора фирмы *Bayer*, гибкий дисплей фирмы *Siemens*.

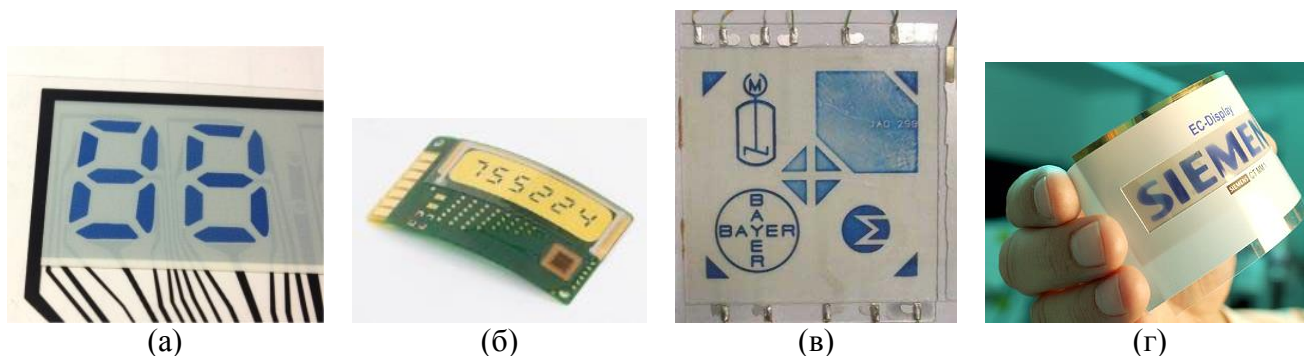


Рисунок 8 – Прототипы электрохромных дисплеев:
а – *Acreo* [25]; б – *Aveso* [26]; в – *Bayer* [27]; г – *Siemens* [28]

Учеными из университета Вашингтона был разработан прототип «умных» **солнцезащитных очков** с использованием полимерных электрохромных материалов. На рисунке 9,а показана совместная разработка Института Материаловедения Университета штата Коннектикут, США и Политехнического Университета Картахены, Испания [29]. На рисунке 9,б показан мотоциклетный шлем с электрохромно изменяемым коэффициентом пропускания в диапазоне от 70% до 25%, разработанный компанией *ChromoGenics* [22].

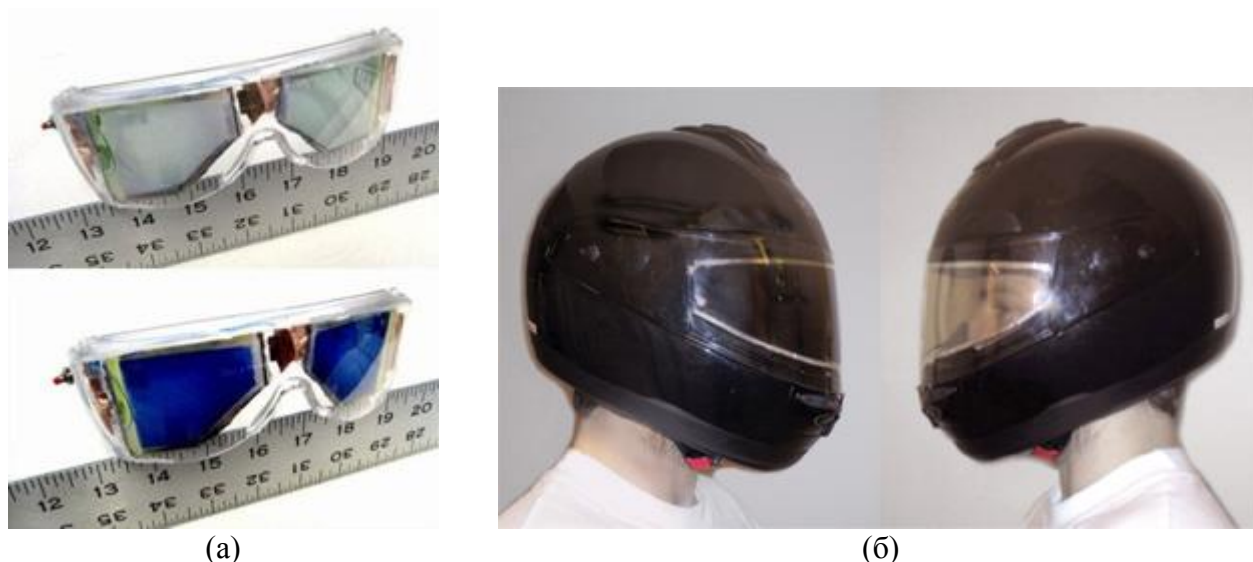


Рисунок 9 – Электрохромные очки (а) [29] и электрохромный шлем (б) компании *ChromoGenics* [22]

Электрохромные устройства могут быть использованы для термического контроля космических спутников, которые подвержены высоким перепадам температур из-за различных орбитальных изменений, инфракрасному излучению Земли и Солнца. Модуляция

инфракрасного излучения осуществляется путем обратимого изменения оптических свойств электрохромной системы в ИК диапазоне.

Компания *EIC Laboratories* занимается разработкой печатного многоцветного текстиля на основе электрохромного эффекта в видимого и инфракрасном спектрах [30]. Органические микроволокна применимы для создания элементов электронного текстиля, транзисторов, светоизлучающих электрохимических ячеек и электрохромных волокон непосредственно на тканевых волокнах [31]. Для создания электрохромного текстиля могут применяться наночастицы *PEDOT:PSS*. Одним из применений электрохромного текстиля является создание адаптивного военного камуфляжа, который подстраивает свою окраску под окружающую местность. На рисунке 10 показан транзистор на основе *PEDOT* наночастиц.

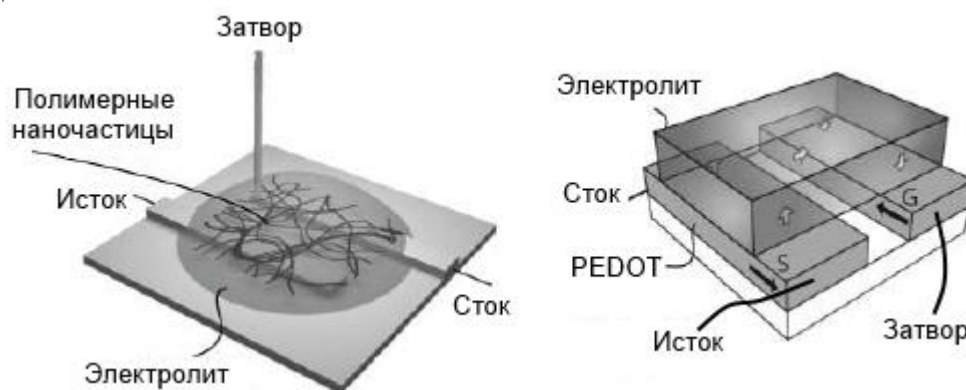


Рисунок 10 – Конструкция транзистора на основе полимерных *PEDOT* наночастиц [31]

В настоящее время ведутся разработки логических систем с использованием молекул для обработки информации. Предпринимаются попытки создать (био-) молекулярный триггер с применением полимерных материалов начиная от фотонных систем и заканчивая комплексами переходных металлов и гибридных соединений наночастиц и белков [32]. Предполагается, что и здесь электрохромные материалы найдут применение в качестве модуляторов электромагнитного излучения.

Заключение

Несмотря на то, что электрохромные материалы стали известны ученым более сотни лет назад, первые серьезные исследования и разработка первых прототипов устройств с использованием эффекта электрохромизма начались относительно недавно. Феномен электрохромизма заключается в обратимом изменении коэффициентов светопропускания и поглощения за счет изменения структуры электрохромной пленки в процессе протекания электрически управляемой окислительно-восстановительной реакции.

Практически все вещества проявляют электрохромные свойства в той или иной степени. Но для практического применения электрохромные вещества должны обладать рядом свойств, основным из которых является коэффициент эффективности окрашивания. Основными веществами, которые обладают электрохромизмом, являются: переходные оксиды металлов, материалы на основе берлинской лазури, виолегены, комплексы лантанидов, металлополимеры и метал фталоцианины.

Электрохромизм может проявляться как в видимой области спектра излучения, так и в инфракрасной области. Электрохромные материалы могут быть использованы для создания «умных» стекол энергоэффективных зданий, которые могут позволить снизить затраты энергии на охлаждение, отопление, а также освещение помещений. Помимо этого, электрохромизм может быть использован для создания систем отображения информации с малым энергопотреблением, меньшим, чем у систем на жидких кристаллах, а также найти применение в других областях, где требуется модуляция электромагнитного излучения, например, очки, зеркала, одежда с изменяемой адаптивной окраской.

К преимуществам явления электрохромизма относятся низкое энергопотребление за счет эффекта сохранения окраски без приложения внешнего напряжения, низкая стоимость исходных материалов и возможность использования простых технологий печати для создания электрохромных устройств и интеграции с другими изделиями печатной электроники, большая палитра цветных электрохромных материалов, что может позволить упростить конструкцию цветных устройств за счет исключения цветowych фильтров. К недостаткам можно отнести сравнительно высокое время на переключение оптических состояний, а также возможную деградацию некоторых материалов.

Исследования в данной области продолжаются. Электрохромные материалы являются перспективными для создания систем модуляции электромагнитного излучения с низким энергопотреблением.

Литература

1. Официальный веб-сайт компании SageGlass (электронный ресурс: <http://sageglass.com/technology/>)
2. Термохромизм (электронная публикация: <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermochromism>)
3. Фотохромизм (электронная публикация: <http://en.wikipedia.org/wiki/Photochromism>)
4. Веб-сайт Университета Хиросаки, Япония (электронный ресурс: <http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/~jun/kawa00e.html>)
5. P.M.S. Monk, R.J. Mortimer, D.R. Rosseinsk *Electrochromism and Electrochromic Devices* // Cambridge University Press. – 2007.
6. C.G. Granqvist *Handbook of inorganic Electrochromic Materials* // Elsevier. - 2002.
7. E. Avendano, L. Berggren, G.A. Niklasson, C.G. Granqvist, A. Azens *Electrochromic materials and devices: Brief survey and new data on optical absorption in tungsten oxide and nickel oxide films* // *Thin Solid Films*. - 2006, V. 496 - PP. 30-36.
8. C.G. Granqvist, P.C. Lansaker, N.R. Mlyuka, G.A. Niklasson, E. Avendano *Progress in chromogenics: New results for electrochromic and thermochromic materials and devices* // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. – 2009, 93 – PP.2032-2039.
9. D.R. Rosseinsky, R.J. Mortimer *Electrochromic Systems and the Prospects for Devices* // *Advanced Materials*. - 2001, V.13. – PP.783-793.
10. *Indium Tin Oxide and Alternative Transparent Conductor Markets* // NanoMarkets study. - 2009.
11. P.M.S. Monk *The Viologens: Physicochemical Properties, Synthesis and Applications of the Salts of 4,40-Bipyridine*. – Chichester: Wiley. - 1998.
12. B. Grant, N. J. Clecak, M. Oxsen *Study of the electrochromism of methoxyfluorene compounds*. // *J. Org. Chem.* - 1980, 45, 702–5.
13. N.M. Rowley, R.J. Mortimer *New electrochromic materials* // *Science Progress*. – 2002, V.85. – PP. 243-262.
14. J.V. Gabrusenoks, P.D. Cikmach, A.R. Lusi, J.J. Kleperis, G.M. Ramans *Electrochromic colour centres in amorphous tungsten trioxide thin films* // *Solid State Ionics*. – 1984, V.14 – PP. 25-30.
15. A. Temmink, O. Anderson, K. Bange, H. Hantsche, X. Yu *Optical absorption of amorphous WO₃ and binding state of tungsten* // *Thin Solid Films* - 1990, V.192. - PP. 211-218.
16. R. Viennet, J.-P. Randin, I. D. Raistrick *Effect of Active Surface Area on the Response Time of Electrochromic and Electrolytic Displays* // *Journal of The Electrochemical Society* – 1982, V.129. – PP. 2451-2453.
17. J.S.E.M. Svensson, C.G. Granqvist *Electrochromic tungsten oxide films for energy efficient windows* // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. – 1984, V.11. – PP.29-34.
18. R. Cinnsealach, G. Boschloo, S. Nagaraja Rao, D. Fitzmaurice *Coloured electrochromic windows based on nanostructured TiO₂ films modified by adsorbed redox chromophores* // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. – 1999, V.57. – PP.107-125.

19. A.A. Argun, P-H. Aubert, B.C. Thompson, I. Schwendeman, C.L. Gaupp, J. Hwang, N.J. Pinto, D.B. Tanner, A.G. MacDiarmid, and J.R. Reynolds Multi-colored electrochromism in polymers: Structures and devices // Chemistry of Materials. - 2004, V.16. – PP.4401-4412.
20. C.M. Lampert Large-area smart glass and integrated photovoltaics // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2003, V.76. – PP.489-499.
21. E. Lee, D. DiBartolomeo, S. Selkowitz Electrochromic Window Tests in U.S. Office Show Promise // Environmental Energy Technologies Division News, Lawrence Berkeley National Laboratory - 2000.
22. C. G. Granqvist Electrochromic foil devices with variable optical transmittance // Active, functional and nanostructured coatings, 4th Mikkeli International Industrial Coating Seminar MIICS.- Mikkeli, Finland. - 2008.
23. Официальный веб-сайт компании Gentex (электронный ресурс: <http://www.gentex.com/>)
24. Taichi Ikeda, J. Fraser Stoddart Electrochromic materials using mechanically interlocked molecules // Science and Technology of Advanced Materials.- 2008.
25. Официальный веб-сайт компании Acreo (электронный ресурс: <https://www.acreo.se/case-printed-technology-for-low-cost-electronic-displays>)
26. D. Brestovansky Printed Displays offer New World of Design Opportunities (электронная публикация: <http://www.ecnmag.com/articles/2010/02/printed-displays-offer-new-world-design-opportunities>)
27. Simplified Electrochromic Technology Improves Performance, Reduces Cost (электронная публикация: <http://marketplace.yet2.com/app/insight/techofweek/27692>)
28. Electrochromic displays (электронная публикация: http://lcp.elis.ugent.be/tutorials/tut_echrom)
29. Chunye Xu, Chao Ma Smart sunglasses feature lenses that change color on demand // 233rd American Chemical Society National Meeting. - Chicago, USA. - 2007.
30. Fei Wang Electrochromic Textiles Using Star Polymers / EIC Laboratories Inc. - 2003.
31. Mahiar Hamed Organic electronics on micro and nano fibers from e-textiles to biomolecular nanoelectronics / PhD Thesis - Linköpings University, Sweden. - 2008.
32. Graham de Ruiter, Milko E. van der Boom Sequential logic and random access memory (RAM): a molecular approach // Journal of Materials Chemistry. - 2011.

РАЗРАБОТКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА МИКРОАКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПУЛЬСА

Трофимов И.В.

Научные руководители: к.т.н., доцент Лавров А.В., к.т.н., доцент. Макаrchук В.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF SENSOR FOR MEASURING MICROACCELEROMETERS PULSE BEATS ON THE WRIST

Trofimov I.V.

Supervisors: Ph.d., Assoc. prof. Lavrov A.V., Ph.d., Assoc. prof. Makarchuk V.V.
BMSTU, Chair IU4, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассмотрены три основные характеристики МЭМС: миниатюризация, множественность и совместимость с микроэлектронными технологиями. Приведены общие сведения о таком разделе научных исследований как бионанотехнологии и о биосовместимых материалах. Изложены результаты моделирования в программной среде ANSYS чувствительного элемента МЭМС, предназначенного для использования в аппаратуре медицинского назначения.

Abstract

This article discusses the three main characteristics of MEMS: miniaturization, plurality and compatibility with microelectronic technologies. Provides an overview of the research topic and bionanotechnologies as biocompatible materials. The results of modelling in the software environment of ANSYS MEMS sensor for use in medical equipment.

Введение

Микроэлектромеханические системы (сокращенно МЭМС) представляют собой интегрированные системы, комбинирующие различные электрические и механические компоненты. Обычно эти объекты изготавливаются по технологии, совместимой с одной из микроэлектронных технологий и имеют размеры от 0,1 до 1000 мм. На рисунке 1 показана функциональная блок-схема типовой МЭМС.



Рисунок 1 – Функциональная блок-схема типовой МЭМС

Можно дать и другое определение МЭМС - как набора технологий, которые позволяют миниатюризировать и массово производить большое количество датчиков и актуаторов.

В настоящее время МЭМС используются для создания систем анализа, исследования и восприятия. При этом сами МЭМС могут состоять из тысяч интегрированных датчиков и актуаторов.

1 Три основные характеристики МЭМС

Используя методы изготовления и материалы микроэлектроники в качестве основы, в МЭМС присутствуют как механические, так и электрические компоненты. Механические компоненты в МЭМС, как и транзисторы в микроэлектронике, имеют размеры, которые измеряются в микронах, а их число колеблется от нескольких десятков до миллионов.

МЭМС можно охарактеризовать с трех основных позиций: с позиции микроминиатюризации, с позиции множественности и по отношению к технологиям микроэлектроники.

Рассмотрим теперь каждую из них более подробно.

Миниатюризация – это не единственная, но очень важная характеристика МЭМС. Миниатюризация даёт множество преимуществ в производительности электромеханических устройств и систем. Структуры, которые относительно малы и легки, приводят к устройствам, обладающим относительно высокими резонансными частотами. Они, в свою очередь, означают высокие рабочие частоты и широкие полосы сигналов управления для датчиков и актюаторов.

В отличие от микроэлектронных устройств, таких как интегральные микросхемы, микроминиатюризация для МЭМС не является принципиальной движущей силой. Потому что МЭМС определяет взаимодействие с некоторыми аспектами физического мира (такими как давление, инерция, и т.д.). Вследствие этого для МЭМС существуют размеры, опускаясь ниже которых, будет наноситься ущерб ее функционированию в целом. Например, при уменьшении размера (вместе с тем и массы) акселерометра становится труднее обнаружить малые величины ускорения. Этот минимальный размер варьируется в зависимости от назначения устройства.

Множественность для МЭМС играет такую же большую роль, как и миниатюризация. Она даёт им два важных преимущества.

Во-первых, она позволяет изготавливать десятки тысяч или миллионы их компонентов так же быстро и просто, как и один компонент. Полупроводниковая промышленность доказала, что экономия масштаба имеет решающее значение для снижения цены единицы продукции.

Во-вторых, она в равной степени придает МЭМС гибкость в дизайне с массовым параллелизмом взаимосвязанных электромеханических систем. Вместо того, чтобы проектировать компоненты, акцент может перейти в сторону проектирования структуры и формы взаимосвязей среди тысяч и даже миллионов компонентов. Такой подход к разработке был стандартной процедурой в проектировании микроэлектронных систем на протяжении почти трех десятилетий.

Технологии микроэлектроники позволяют формировать и электромеханические компоненты. Не имеет значения, если шаги электронной обработки и микрообработки чередуются, или, если электронной обработке предшествует микрообработка, или если электронная обработка делается отдельно от микрообработки и компоненты позже упаковываются. Несмотря на это, микроэлектроника, интегрированная в МЭМС устройства обеспечивает их интеллектом и позволяет создать систему обратной связи в замкнутом контуре, локализовать формирование сигнала, и взять параллельно под контроль большое число актюаторов.

Кроме того, значительный вклад, который внесли микроэлектронные материалы, способствует развитию МЭМС устройств.

2 Общие сведения о бионаноинженерии

Биоинженерия [1, 2] обычно определяется как ориентируемая на фундаментальные исследования деятельность, близко связанная с биотехнологией и генной инженерией, т.е. модификацией клеток с целью получения улучшенных и развития новых микроорганизмов.

Типичные цели биоинженерии можно сформулировать следующим образом:

- развитие улучшенных разновидностей растений и животных для производства пищи;
- изобретение новых улучшенных медицинских диагностических тестов;
- производство синтетических вакцин;
- исследование поверхностных белковых взаимодействий;

и многое другое;

Более подробно области применения бионаноинженерии показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Области применения бионаноинженерии

Биоразработки используются во многих новых областях, таких как:

- технический анализ системы;
- обнаружение и контроль физиологических сигнатур (биодатчики);
- терапевтические и восстановительные процедуры;
- устройства для замены и улучшения физических функций (искусственные органы);
- создание новых биологических продуктов;
- медицинская информатика и искусственный интеллект.

3 Общие сведения о биосовместимых материалах

Биосовместимый материал (далее биоматериал) представляет собой нежизнеспособный материал, который при вступлении в контакт с тканями живого организма или не оказывает на них отрицательного воздействия, или оказывает желаемое положительное воздействие.

К биоматериалам обычно предъявляют следующие требования:

- они не должны вызывать воспалительной реакции тканей живого организма;
- они не должны оказывать токсического и аллергического действия на живой организм;
- они не должны обладать канцерогенным действием;
- они не должны провоцировать развитие инфекций;
- они должны сохранять свои функциональные свойства в течение всего

предусмотренного срока эксплуатации.

Биоматериалы действуют согласованно при контакте с живым организмом или биологической жидкостью, не вызывая болезненных реакций. Но любой известный в

настоящее время биоматериал не может быть абсолютно биосовместимым, поскольку со временем он теряет свои биомеханические характеристики, деградирует. Примером сказанного могут служить биоматериалы, используемые в качестве материалов для изготовления протезов суставов. Поэтому в настоящее время можно говорить только об относительно биосовместимых материалах, которые, находясь в течение определённого периода времени в живой среде, обеспечивают необходимые живому организму функции в течение времени, достаточного для выполнения заданных функций.

Поскольку все известные в настоящее время биоматериалы так или иначе теряют свои свойства, то этот процесс называют биодegradацией, а свойство противостоять биодegradации называют биоустойчивостью.

Все существующие биоматериалы разделяют на биоинертные и биоактивные. Биоинертные материалы практически не взаимодействуют с живым организмом, в то время как биоактивные, наоборот, взаимодействуют с живым организмом требуемой на него реакцией с целью повышения эффективности лечения;

Осложнения, которые могут возникнуть в процессе имплантации биоматериалов можно подразделить на осложнения, возникшие в результате повреждения импланта, и осложнения, возникшие в результате химического или биологического воздействия на имплант.

Как уже упоминалось выше, все существующие в настоящее время биоматериалы являются лишь относительно биосовместимым, что представляет собой проблему в этой сфере. Пожалуй, единственным вариантом выхода из сложившейся ситуации видится в использовании достижений генной инженерии с целью получения биоматериалов с идеальными свойствами, пригодными для решения любой проблемы.

4 Пример моделирования чувствительного элемента

Моделирование сенсора проводилось в программной среде ANSYS [3]. Общий вид модели чувствительного элемента представлен на рисунке 3.

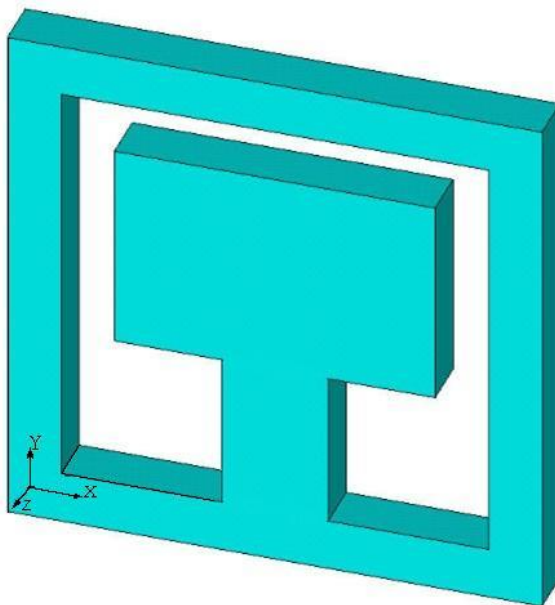


Рисунок 3 – Общий вид чувствительного элемента сенсора

Как показало моделирование в среде ANSYS, при приложении нагрузки с ускорением в $1g$ по оси Z (т.е. от нас) подвижная масса чувствительного элемента будет испытывать деформацию, величина которой показана в виде цветовой гаммы на рисунке 4. Величина ускорения в $1g$ была выбрана из предположения, что подобное ускорение будет испытывать подвижная масса чувствительного элемента при измерении пульса пациента.

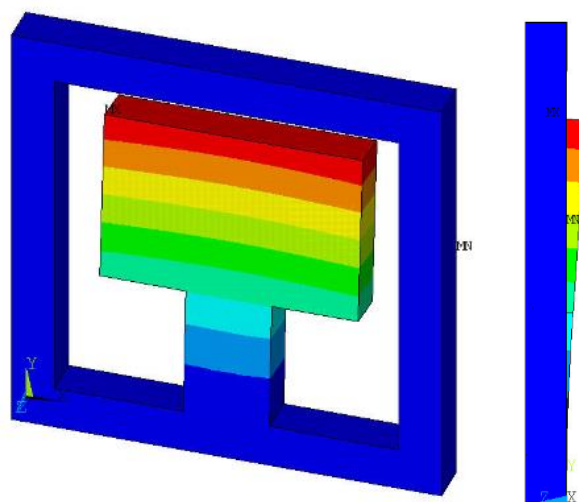


Рисунок 4 – Деформация подвижной массы чувствительного элемента при ускорении в $1g$

Полученные по результатам моделирования величины отклонения по осям X,Y,Z крайних узлов подвижной массы чувствительного элемента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Отклонение подвижной массы чувствительного элемента по осям при ускорении $1g$

Номер узла	$\Delta X, м$	$\Delta Y, м$	$\Delta Z, м$
29	0.19983E-05	0.26419E-04	-0.12034E-03
30	0.21220E-05	0.29314E-04	-0.34355E-03
31	-0.23865E-05	0.29324E-04	-0.34362E-03
32	-0.21425E-05	0.26391E-04	-0.12010E-03

В качестве материала для изготовления моделируемого чувствительного элемента был использован монокристаллический кремний, а для получения биосовместимости на его поверхность была напылена пленка полиимида.

Заключение

Рассмотрено одно из основных свойств МЭМС, применяемых в медицинских целях, называемое биосовместимостью. Определены основные требования, предъявляемые к биосовместимым материалам.

В программной среде ANSYS выполнено моделирование отклонения подвижной массы чувствительного элемента, который предполагается использовать в медицинской аппаратуре для контроля частоты и формы пульса пациента.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 13-07-00073а).

Литература

- 1 Власов А.И., Денисов А.А., Елсуков К.А. Бионаноинженерия – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э.Баумана, 2011, - 222 с.
- 2 Кригер О.В., Гореликова Г.А. Основы биотехнологии – Кемерово, 2009, -116 с..
- 3 Зинченко Л.А. САПР наносистем. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011, - 219 с.

АНАЛИЗ МЕХАНИКИ ПОВОРОТА ШАССИ МОБИЛЬНОГО КОЛЕСНОГО РОБОТА В ЦЕЛЯХ ОРГАНИЗАЦИИ ЕГО УПРАВЛЕНИЯ

Ванройе Н.К.

Научный руководитель: Юдин А.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

MECHANICS ANALYSIS OF MOBILE WHEELED ROBOT CHASSIS IN ORDER TO ORGANIZE ITS CONTROL

Vanroye N.K.

Supervisor: Yudin A.V.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Аннотация

Данная статья посвящена вопросу проектирования ходовой части мобильного робота. Был проведен анализ наиболее распространенных типов шасси, с целью определения наиболее рациональной конструкции и системы управления шасси для участия робота в соревнованиях Eurobot-2014. Описаны конструкция шасси и система управления приводами, отдельно описана система поворота шасси робота. Проведены исследования поведения шасси при выполнении поворотов, представлены ошибки, оказывающие влияние на точность выполнения движений.

Abstract

This article is devoted to the design of the chassis of the mobile robot. Analyzed the most common types of chassis, in order to determine the most efficient design and chassis control systems to participate in robot competitions Eurobot-2014. The design chassis and the drive control system is described separately turning robot chassis. Researches chassis behavior when making turns, presented errors affecting the accuracy of movements.

Введение

За последние 50 лет человечество совершило огромный скачок в области робототехники. Отчасти он был ознаменован появлением все более прочных и легких, компактных устройств для создания роботов, постепенным улучшением ходовой, исполнительной части. Помимо внедрения качественно новых материалов в эту отрасль, сильно вперед шагнула электроника, обеспечив возможности для усложнения поведения робота. Последнее время сильное влияние на развитие практической робототехники оказывает повсеместное распространение так называемого «цифрового» производства [1] – технологий быстрого и точного изготовления всех базовых компонентов робототехнической системы.

Естественно возникает вопрос, в чем состоит «техническое превосходство» одной ходовой части над другой, и в чем оно проявляется? Ответ на этот вопрос зависит от поставленных задач, которые робот с данным типом шасси должен выполнять. Например, для перемещения по неровным поверхностям, траве и каменистой местности разрабатываются шестиколесные роботы, поскольку они имеют большее сцепление, по сравнению с четырехколесными. Ещё большее сцепление обеспечивают гусеницы. Однако, в закрытых помещениях, на гладких поверхностях и коврах целесообразно использование более маневренных двухколесных дифференциальных схем движения.

Спектр решаемых задач огромен: от перевозки грузов и транспортировки людей до военных операций и исследовательских миссий на других планетах. В нашем же случае - в рамках соревнований Евробот от ходовой части робота требуется относительная прочность и простота конструкции, мобильность механизма в целом.

Целью работы является разработка и техническая реализация шасси робота-участника соревнований Eurobot-2014. Шасси – важная часть мобильного робота и должно отвечать условиям соревнований и обеспечивать передвижение робота по игровому полю в условиях соревнований Eurobot-2014.

Конструкция робота предполагает модульную командную разработку несколькими конструкторами: в круг задач робота Eurobot помимо передвижения входят еще 5 задач по активному взаимодействию с окружающей средой. В этой связи, шасси должно быть как можно более компактным – в этом случае прочие механизмы, которые несет шасси, могут быть легче скомпонованы и размещены на борту робота.

Необходимо разработать шасси так, чтобы оно позволило роботу передвигаться с достаточной скоростью и маневренностью для выполнения заданий, поставленных Правилами соревнований. При этом система шасси должна быть проста в обслуживании и безопасна в эксплуатации.

1 Важные положения правил соревнований Eurobot-2014

Выделены основные положения из правил, касающиеся как робота, так и шасси в частности.

1. Периметр Основного Робота на старте не должен превышать 1200 мм. Это состояние называется «стартовая конфигурация». Периметр Основного Робота во время матча может увеличиться до 1500 мм. Это состояние называется «развернутая конфигурация».
2. Все системы (и робот(-ы) и маяки) должны соответствовать существующим национальным и европейским законам и стандартам. В частности, используемые системы должны соответствовать официальным нормам безопасности жизнедеятельности и быть безопасными для участников и зрителей во время и вне матчей (например, в боксах команды или в процессе ожидания/подготовки матча)
3. У роботов не должно быть никаких опасных выступающих или острых частей.
4. Все роботы должны соответствовать официальным стандартам «низкого напряжения». То есть электрические напряжения, используемые в роботах или маяках, не должны превышать 48 В.

2 Разработка шасси робота

При конструировании робота рассматривалось 3 типа шасси, имеющих как ряд преимуществ, так и ряд недостатков в условиях поставленной задачи.

Проведен анализ этих шасси, отвечающих Правилам соревнований и наиболее распространенных как в любительской, так и в промышленной робототехнике: четырехколесное шасси, гусеничное шасси, двухколесное шасси.

Рассмотрим тип 1 – четырехколесное шасси. Ходовая часть состоит из четырех колес, причем одна пара из них - ведущие, другая - направляющая, приводимая в движение механизмом управления.

Преимущества:

- Для вращения обоих колес достаточно одного двигателя.
- Простота системы управления электроприводами шасси.

Недостатки:

Для обеспечения поворота необходимо свободное место на поле, следовательно, такая система недостаточно маневренна.

На рис. 1 приведен пример четырехколесного шасси.

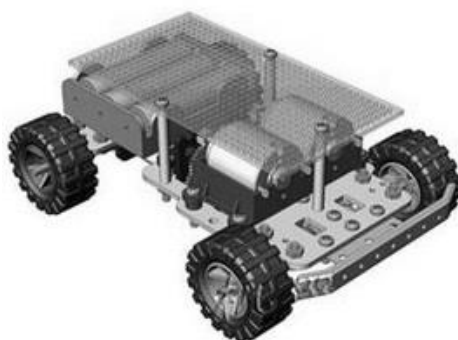


Рисунок 1 – Четырехколесное шасси

Рассмотрим тип 2 – шасси на гусеничном ходу. Ходовая часть гусеничной конструкции. Гусеницы приводятся в движение посредством зацепления их ведущим колесом. Путём изменения скорости перематывания одной или обеих гусениц танк может совершать поворот, в том числе и разворот на месте.

Преимущества:

Высокая маневренность. Возможен разворот на месте на 360 градусов.

Недостатки:

Сложность ходовой части ввиду наличия в ней большого количества деталей. Кроме того, портит поверхность при развороте на месте.

На рис. 2 приведен пример шасси на гусеничном ходу.

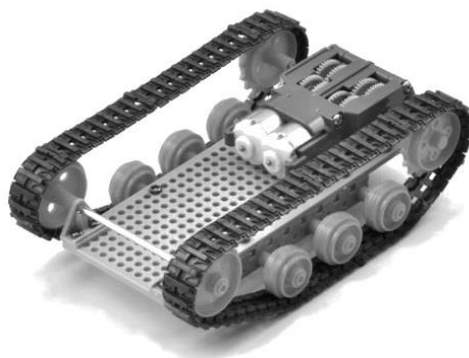


Рисунок 2 – Шасси на гусеничном ходу

Рассмотрим тип 3 – двухколесное шасси. Ходовая часть содержит в себе два колеса, одновременно являющимися ведущими, а также они представляют собой два независимых колеса, способных, вращаясь в разных направлениях, совершать поворот робота.

Преимущества:

-Высокая маневренность. Возможен разворот на месте на 360 градусов.

-Простота системы управления шасси.

Недостатки: требует дополнительных опор – скользких подпорок, конструкция которых в отдельных случаях начинает сильно влиять на динамику поворота шасси (например, подпорка типа «рояльное колесо»).

На рис. 3 приведен пример двухколесного шасси.



Рисунок 3 – Двухколесное шасси

В результате анализа преимуществ и недостатков каждого типа шасси сделан вывод, что наиболее приемлемо в условиях заранее известных и подготовленных плоских поверхностей для езды двухколесное шасси с дифференциальным приводом в силу своей маневренности и относительно несложной технической реализации. Оно объединяет собой гусеничное шасси (независимые друг от друга приводы) и четырехколесное шасси (шасси движется на колесах).

Шасси данной конструкции обеспечивает робот достаточной маневренностью, занимая собой минимальную площадь при передвижении и повороте, так как поворот осуществляется на месте и не существует такой проблемы, как, например, парковка у автомобиля – не нужно совершать дополнительные маневры, чтобы оказаться в определенной точке выдерживая вектор направления движения. Дифференциальный привод – это два независимо управляемых электродвигателя и система, управляющая ими через пульт управления или контроллер программного управления.

В работе исследуется шасси собранное автором из имевшихся и специально изготовленных деталей. Двигатели и редукторы были взяты из фонда студенческого бюро, без специального подбора или выбора. Основные несущие элементы конструкции и колеса были изготовлены на станках с ЧПУ. В результате было разработано и собрано шасси (см. рис. 4), которое было подвергнуто исследованиям, в том числе и исследованиям исходных двигателей.

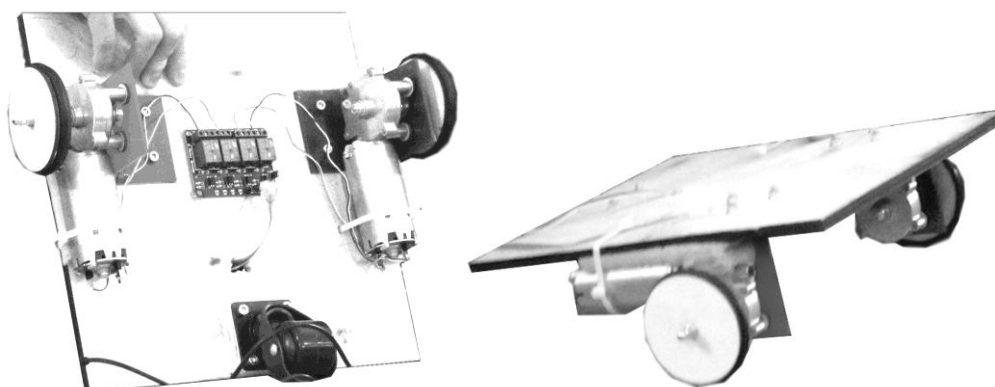


Рисунок 4 – изготовленное шасси для дальнейшего анализа

На рис. 5 изображена 3D-модель шасси, разработанная в системе трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования Autodesk Inventor.

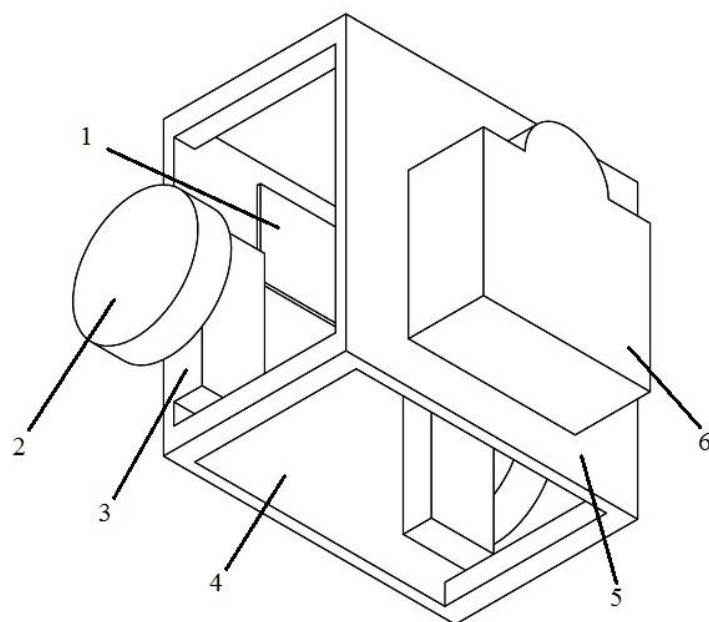


Рисунок 5 – Модель шасси робота (изометрическая проекция)

Основные элементы шасси:

1. Блок реле;
2. Колесо;
3. Двигатели;
4. 1-ый ярус (тележка);
5. 2-ой ярус;
6. Другие элементы робота.

3 Процесс сборки шасси робота

Процесс сборки шасси робота можно разбить на 9 основных пунктов, каждый из которых представляет собой отдельный технологический этап.

- Выбор размеров шасси в соответствии с Правилами соревнований. Периметр шасси составляет 1200 мм.
- Выбор приводов колес шасси. Ими стали электродвигатели, рассчитанные на напряжение в 36 В.
- Вырезка основания шасси из фанеры (1-ого яруса робота) на станке лазерной резки.
- Вырезка стоек под двигатели, соединяющих последние с основанием шасси, на станке лазерной резки.
- Разработка и сборка колес из фанеры. В качестве шин выбраны резиновые кольца, применяемые в сантехнике.
- Крепление колес к приводам.
- Установка опорного колеса на основании шасси для сохранения равновесия робота на игровой площадке.
- Установка блока реле «4-Channel 5V Relay Module for Arduino» – системы управления приводами.
- Сборка панели управления приводами шасси.

4 Система управления шасси робота

Шасси включает в себя два колеса на независимых двигателях и блок реле, с помощью которого производится их управление.

Поворот шасси на месте осуществляется двигателями при движении их в противоположных направлениях (схема дифференциального привода). Для поворота направо левый привод вращается вперед, а правый - назад. Для поворота налево, наоборот, правый привод вращается вперед, а левый - назад. Технически данная задача реализуется посредством переполюсовки токов приводов с помощью панели реле, установленной на шасси и управляемой кнопочными переключателями с главного пульта управления.

На рис. 6 схематически изображен поворот робота на 90° вправо.

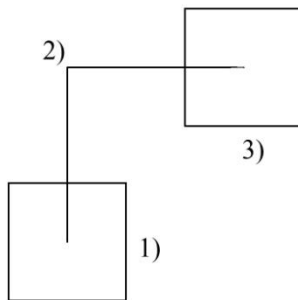


Рисунок 6 – Схема поворота шасси

Схема поворота шасси:

1. Движение робота до поворота.
2. Точка поворота на месте.
3. Движение робота после поворота.

Система проста в технической реализации и не требует программирования микроконтроллеров, так как оператор напрямую воздействует на токи, включая и выключая необходимые для совершения поворота управляющие реле.

Имеются входы 1 и 3, на которые подается напряжение 24V для питания приводов и вывод 2, подключаемый к выводам 1 и 3 в зависимости от включения входа IN 1, который управляет этим реле. В начальном положении вывод 2 подключен к входу 1, при включении входа IN 1 вывод 2 встает в положение 3.

На рис. 7 изображена схема включения одного из четырех реле, составляющих блок реле.

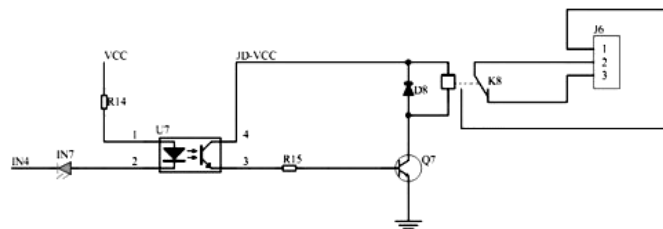


Рисунок 7 – Схема элемента блока реле

На рис. 8 изображена упрощенная схема пары реле, управляющих одним приводом.

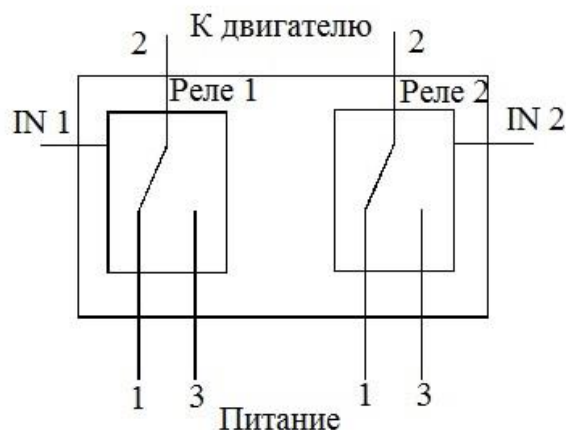


Рисунок 8 - Схема пары реле

Для управления одним двигателем задействуются 2 реле. На выходы 1 и 3 первого реле подается постоянный ток питания. На выход 1 подается «+», на выход 2 - «-», на выходы 1 и 3 второго реле «-» и «+» соответственно. При подаче питания таким образом на выходах 2 реле 1 и выходе 2 реле 2 идут токи «+» и «-» соответственно, что позволяет вращать приводу колесо в направлении «по часовой стрелке». При подключении выводов IN 1 и IN 2 произойдет переключение реле с положения 1 в положение 3. На выходах 3 реле подведена противоположная полярность, что дает ток противоположного направления на выходах 2 реле. Ток течет в обратном направлении и, соответственно, привод вращается в направлении «против часовой стрелки». По такой же схеме работает питание второго привода. В совокупности, управляя четырьмя реле, составляющих блок реле, появляется возможность реализовать движение робота вперед-назад и поворот на месте на любой угол, относительно начального положения.

В пунктах а и б рис. 9 схематически изображена пара реле в двух рабочих положениях: исходное (полярность + -) и состояние пары реле при включенных входах IN1 и IN 2.

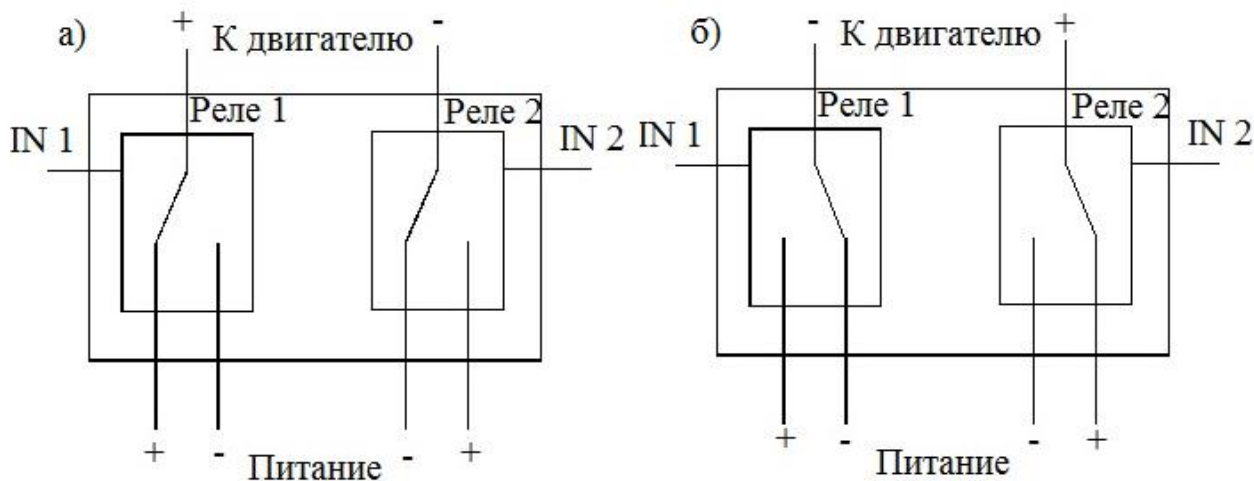


Рисунок 9 – а) исходная полярность;
б) полярность тока при включенных входах IN1 и IN 2

Таким образом, разработана схема управления каждым двигателем шасси в отдельности. Каждый двигатель приводится в движение с помощью своей кнопки на пульте управления.

Такая система управления позволяет совершать более удобный поворот – поворот на месте, в отличие от поворота на колесах, управляемых с помощью рулевой системы. При повороте занимает наименьшая площадь – площадь самого шасси. Это позволяет свести к минимуму вероятность столкновения робота с элементами игровой площадки для случая, когда проекция контура робота на плоскость – окружность.

5 Исследование точности угла требуемого поворота при люфте колеса

В процессе сборки шасси возможны некоторые неточности, которые в результате приводят к ошибкам в точности езды. Такие неточности обусловлены низким качеством сборки или устанавливаемых деталей. Таким образом, необходимо свести минимуму эти факторы, а если они все же имеются, то необходимо рассчитать, насколько результат не удовлетворяет заданию. В ходе прохождения задания робот производит множество поворотов, и даже малая неточность в результате может привести к большим отклонениям от предполагаемого результата.

Так, в ходе испытаний был замечен небольшой люфт редуктора двигателя, приводящий к заметному люфту колеса. Были проведены исследования зависимости неточности поворота робота на заданный угол от наличия этого люфта колеса. При неполной затяжке гайки крепления колеса к оси возникает небольшой холостой люфт колеса, который в ходе испытаний шасси привел к отличиям расчетного угла поворота от полученного

Данные шасси, необходимые для расчетов:

- Расстояние между колесами шасси: $L=300\text{mm}$
- Требуемый угол поворота: $\alpha=120^\circ$
- Диаметр колеса: $d=80\text{mm}$
- Угол люфта: $\alpha = 2^\circ$

Запрограммируем робота, чтобы он совершил поворот на угол $\alpha=120^\circ$. То есть колеса шасси совершат количество оборотов, необходимых, чтобы робот повернулся на угол $\alpha=120^\circ$.

А. Рассчитаем путь, пройденный колесом при хорошо затянутой гайке.

1. Радиус поворота

$$r = \frac{L}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ mm}, (1)$$

где L - расстояние между колесами шасси.

2. При требуемом угле $\alpha=120^\circ$ траекторией движения колеса вокруг центра шасси будет дуга окружности. Рассчитаем путь, пройденный колесом:

$$S = \frac{\pi r \alpha}{180}, (2)$$

где α – величина угла в градусах, $\alpha = 120^\circ$.

$$S = \frac{\pi * 150 * 120}{180} \approx 314 \text{ mm} (3)$$

Б. Рассчитаем ход люфта в mm .

1. Длина окружности колеса:

$$l = 2\pi R \approx 251.2 \text{ mm}, (4)$$

где $\pi=3.14$.

2. Ход люфта:

$$S = \frac{\pi r \alpha}{180}, (5)$$

где α – величина угла в градусах, $\alpha = 2^\circ$.

$$S = \frac{\pi * 40 * 2}{180} \approx 1.41 \text{ mm} \quad (6)$$

При выполнении поворота робот не доезжает $S = 1.41 \text{ mm}$, то есть колесо проходит

$$314 - 1.41 = 312.59 \text{ mm} \quad (7)$$

Что в угловой мере составляет

$$\beta = \frac{312.59 * 180}{\pi r} = \frac{56266.2}{472} = 119.2^\circ, \quad (8)$$

где $\pi=3.14$.

Таким образом, колесо не доезжает поворот на угол $\varphi=0.8^\circ$.

В результате проведенных расчетов выявлена неточность выполнения действий, заданных условием: повернуть робота на угол $\alpha=120^\circ$. Эта неточность получается в результате неполной затяжки крепежной гайки. Такой брак приводит к тому, что, по программе, привод производит необходимое количество оборотов, необходимых для достижения цели, но цели не достигает в силу наличия погрешности, по величине равной $\varphi=0.8^\circ$.

В ходе матча каждый робот производит порядка 20 поворотов. И если в ходе каждого поворота робот будет не доезжать на угол $\varphi=0.8^\circ$, то на момент окончания матча ошибка хода робота будет составлять 16° , что неприемлемо для точного выполнения поставленной перед роботом задачи. Продолжая движение, робот отклоняется от курса и при прохождении длинного прямолинейного отрезка пути он не сможет точно достичь цели.

Заключение

Именно соревнования роботов «Евробот» являются средой, где происходит не просто борьба между молодыми инженерами, здесь разворачиваются битвы технологий, битвы умов коллективов, наконец, создаются послышки к инновационным проектам. Такие исторические моменты как знаменитая «гонка вооружений» - яркий пример противоборства умов инженеров оборонной промышленности.

Так и в соревнованиях «Евробот» из года в год мы видим все более изобретательные, конструктивные и рациональные идеи, которые, могут найти свое применение во всех сферах жизни человека.

Целью разработки автором робота является командная сборка, высокотехнологичного продукта, лепту в построение которого сможет внести каждый. Такой робот – результат совместных исследований, проб, ошибок, неожиданных конструктивных решений. Конечно, решение требует итеративного подхода: каждый раз появляется более рациональная конструкция, приходящая на смену предыдущей. Но суть остается одна – это робот, выполняющий задание. Авторы же на каждом этапе-итерации задают вопрос насколько полученная конструкция соответствует задаче и естественным экономическим, технологическим и прочим ограничениям.

В дальнейшем, конструкция шасси будет улучшаться. Будут меняться приводы, электроника и планируется использование другого алгоритма поворота шасси: с использованием микроконтроллерной электроники. Будет меняться не только полярность управляющего тока, но и подаваемое на двигатель напряжение: то есть станет возможен поворот в движении. То есть, например, для поворота направо необходимо увеличить напряжение на левом проводе. Частота оборотов вырастет, и робот повернется.

Автор планирует продолжить начатую работу в сторону усложнения возможных маневров робота на дифференциальном шасси. Представленная в данной статье работа закладывает задел на дальнейшее улучшение показателей точности при выполнении роботом поворотов и будет использована при построении системы автоматического управления движением шасси.

Литература

1. Чистяков М.Г. Расчет траектории мобильного робота в частной задаче перемещения объектов // Сборник научных трудов. 13-ая Молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2011". - Москва. 27-28 апреля 2011 г.- С.310-313.
2. Правила молодежных соревнований роботов Евробот 2014: «Первоботная ЭРА»: Пер. с англ. С дополнениями НОК Евробот России./ Общ. Ред. А.В. Юдина. Изд. 1-е.— М.: Национальный организационный комитет Евробот России, 2013. — 35с., ил. Электронный ресурс. Режим доступа: http://eurobot-russia.org/main/media/EA2014_rules_RU_alpha.pdf — Проверено 31.01.2014.
3. Чистяков М.Г. Задача оптимизации системы автоматического управления: определение предельных режимов движения мобильного робота. Электронный ресурс. Режим доступа: http://class.skycluster.net/_media/documentation/archive/2012/files/2012_iu4_conf_chistyakov.pdf — Проверено 31.01.2014.
4. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fab.cba.mit.edu/content/tools/>— Проверено 31.01.2014.
5. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.eurobot.org>— Проверено 31.01.2014.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ МЭМС В ЗДАНИЯХ И ПОМЕЩЕНИЯХ

Вирясова А.Ю.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Зинченко Л.А.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

DISTRIBUTED MEMS SIMULATION FOR OFFICE SCENARIO

Viryasova A.U.

Supervisor: Dr., Prof. Zinchenko L.A.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются особенности моделирования распределенных МЭМС с учетом особенностей распространения волн в помещениях. При моделировании использованы графовые модели и алгоритмы теории графов.

Abstract

We discuss features of distributed MEMS simulation for office scenario. We have used graph models and graph algorithms.

Введение

Распределенные МЭМС находят широкое применение в различных областях [1], например, при создании умной кожи, умных поверхностей, например, крыла самолета, меняющего свои характеристики в зависимости от изменения внешних условий или умного ковра, используемого в концепции «умный дом». Пример этого подхода приведен на рис. 1.

Одной из основных проблем при проектировании распределенных МЭМС является организация взаимодействия между отдельными узлами проектируемой системы. Использование традиционных подходов, базирующихся на использовании проводных систем связи, приводит к громоздким системам коммуникации. При этом также наблюдаются значительные задержки при передаче информации между отдельными узлами, расположенными на значительном удалении.

Одним из перспективных направлений является использование естественных каналов распространения сигналов и систем беспроводной связи. Однако при использовании таких систем в помещениях наблюдаются эффекты мертвых зон, вызванных переотражением радиоволн от стен, а также затухание радиоволн при прохождении через стены.

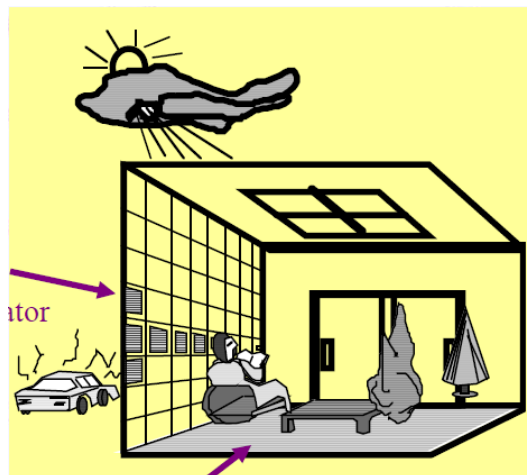


Рисунок 1 – Комната с умным ковром и обоями

Затухание в стенах определяется используемым диапазоном частот и может изменяться от 5 до 35 дБ, что приводит к уменьшению дальности связи. Как следствие этого физического эффекта, необходимо увеличение числа отдельных узлов распределенных МЭМС для обеспечения устойчивой работы проектируемой системы.

В данной статье рассмотрен наихудший случай, при котором распространение радиоволн через стены невозможно. Моделирование проводится только для случая прямой видимости. Подобные условия распространения наблюдаются в помещениях с сильно армированных сталью зонах и при установке стальных перегородок между отдельными комнатами.

1 Применение графовых моделей для моделирования распределенных МЭМС

Графы находят широкое применение [2] при решении различных прикладных задач, например, при решении различных логистических задач, в системах связи, при проектировании СБИС.

В статье рассматривается применение аппарата теории графов для моделирования функционирования распределенных МЭМС в помещениях в условиях сильного затухания радиоволн.

Отдельные узлы распределенных МЭМС располагаются стационарно внутри одноэтажного здания (рис. 1).

В здании есть внутренние стены, выполненные из материала, который обладают большим коэффициентом поглощения. Это приводит к тому, что распространение возможно только по определенному каналу.

Для моделирования функционирования распределенной МЭМС каждый узел заменяется вершиной графа. Для рассматриваемого примера число вершин графа равно 9. Т.к. узлы располагаются стационарно, то граф является статическим. Вес ребра графа определяется как расстояние между соседними узлами распределенной МЭМС. Таким образом, для рассматриваемой модели граф является взвешенным.

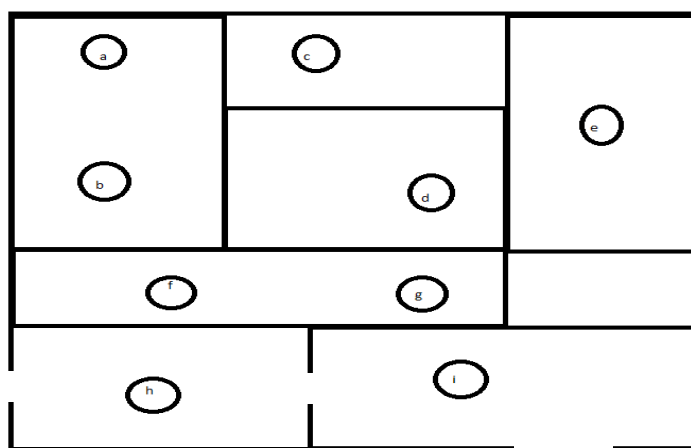


Рисунок 1 - Пример расположения распределенной МЭМС

Для визуализации был использован GraphViz [3]. Описание полученной модели на языке dot представлено ниже.

```
graph {
node [fontsize=9];
{a -- b [label="1",len=1.00];
b -- f [label="1",len=1.00];
f -- h [label="1",len=1.00];
```

```

f -- g [label="1",len=1.00];
d -- g [label="1",len=1.00];
d -- c [label="1",len=1.00];
g -- e [label="1",len=1.00];
g -- i [label="1",len=1.00];
i -- e [label="1",len=1.00];}

```

На рис. 2 представлен полученный граф для рассматриваемого примера.

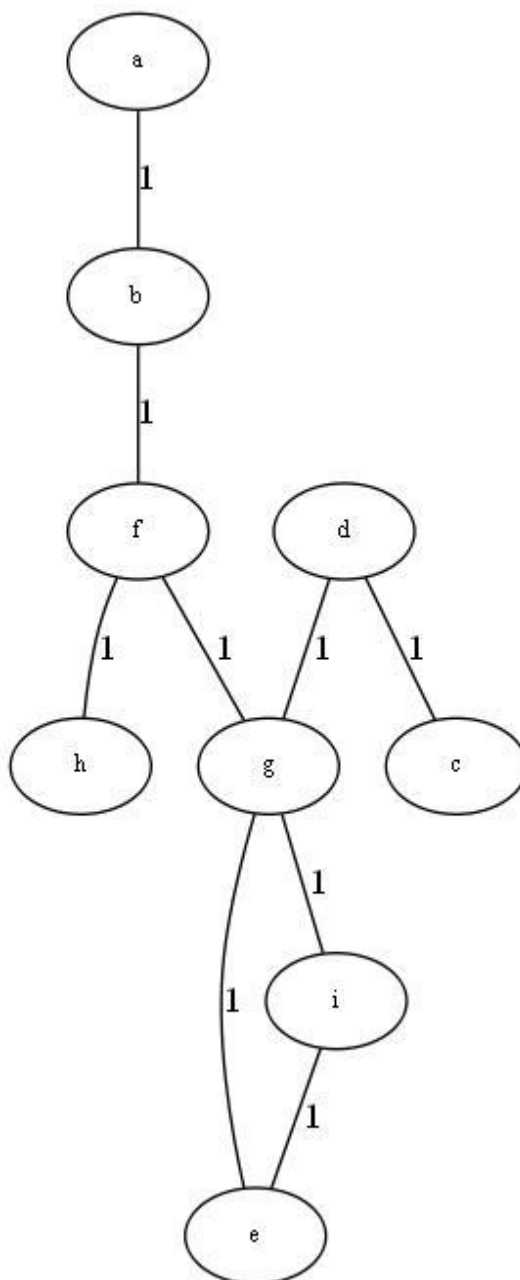


Рисунок 2 – Полученная графовая модель

В статье рассматривается решение следующих двух подзадач.

- определение расстояние между отдельными соседними узлами распределенной МЭМС в зоне прямой видимости;
- определение расстояния между всеми вершинами графа.

2 Применение алгоритмов теории графов для моделирования функционирования распределенных МЭМС

Для моделирования процесса функционирования распределенных МЭМС могут быть использованы алгоритмы теории графов. В данной работе был применен алгоритм Дейкстры для нахождения кратчайшего расстояния между всеми узлами распределенной МЭМС.

Программа написана на языке С. Задание и визуализация взвешенного ориентированного графа рисунок 3.

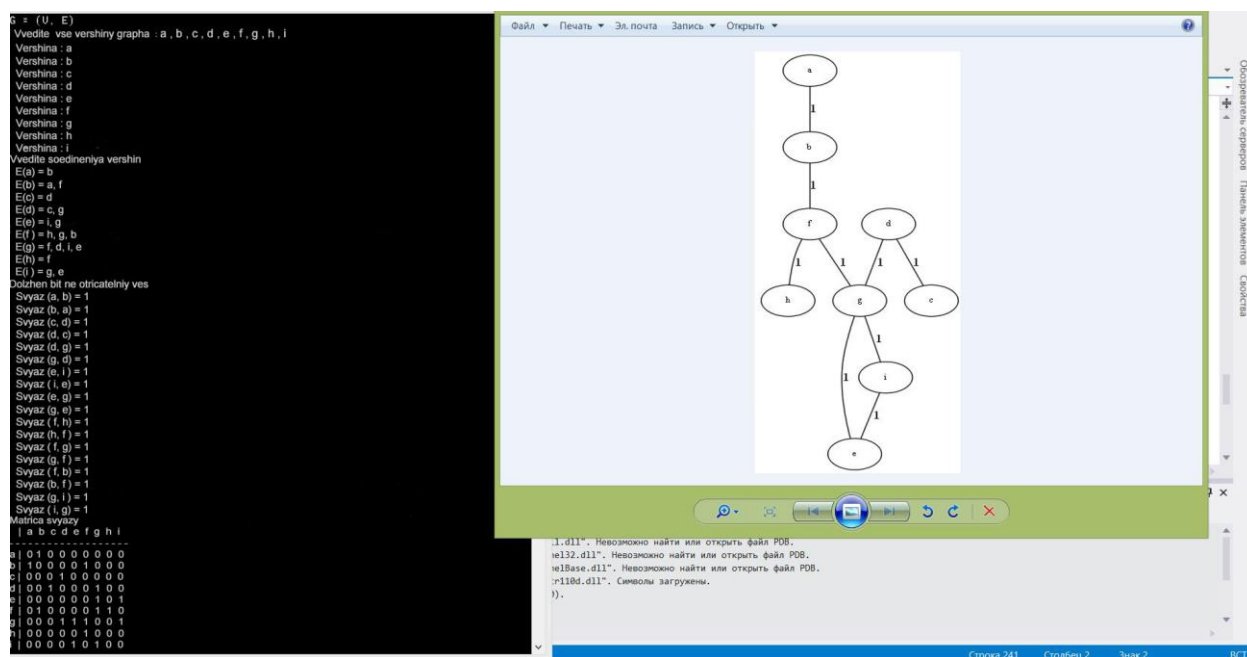


Рисунок 3 – Задание графа и его визуализация на GraphViz [3]

Далее выбирается начальная вершина и алгоритм рассчитывает кратчайшие пути до всех остальных вершин графа и их вес рисунок 4.

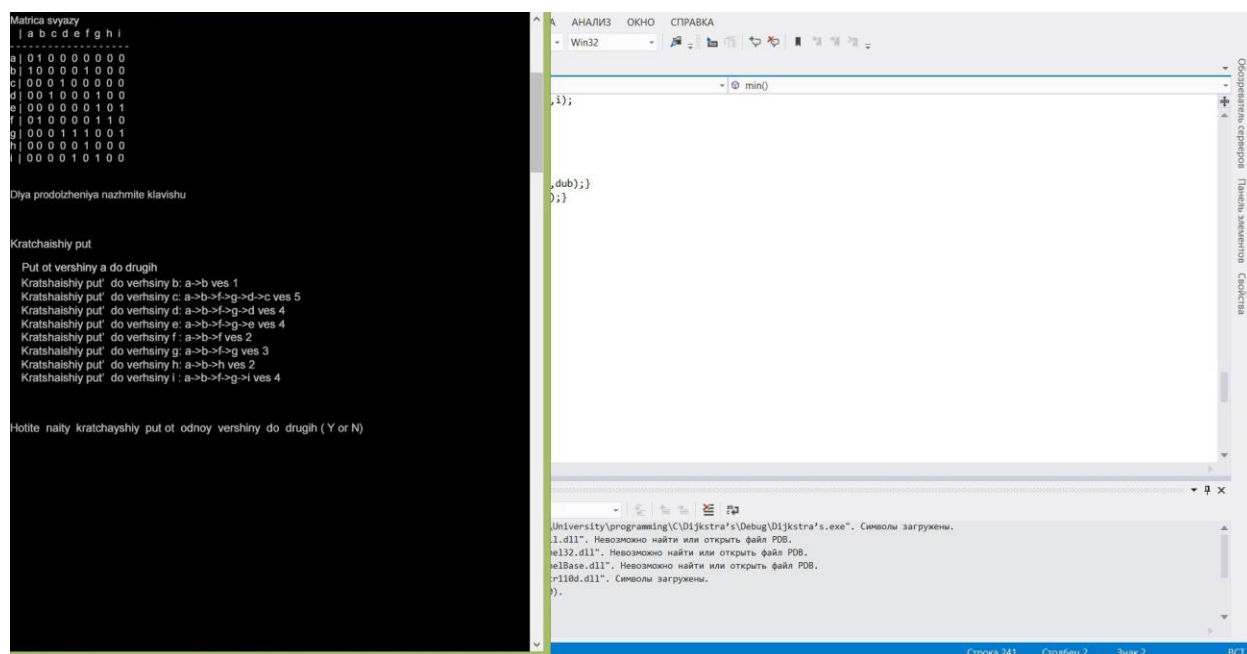


Рисунок 4 – Нахождение кратчайшего пути

Заключение

В работе рассмотрено применение теории графов для моделирования распределенных МЭМС в условиях функционирования в помещениях. Показано, что применение программы GraphViz позволяет визуализировать модели и выполнить поиск минимального расстояния.

Необходимо отметить, что в дальнейшем планируется усовершенствование предлагаемого подхода за счет использования более точных моделей распространения радиоволн.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 13-07-00073-а).

Литература

1. Л.А.Зинченко. САПР Наносистем : учеб. пособие. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. (Библиотека Наноинженерия»: в 17 кн. Кн.17). - 224 с.:ил.
2. Бионические информационные системы и их применение/ под ред. Л.А.Зинченко, В.М.Курейчика, В.Г.Редько. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 288 с.
3. GraphViz. <http://www.graphviz.org>.

ЗАДАЧА ПРОКЛАДЫВАНИЯ МАРШРУТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Воронов С.С.

Научный руководитель: Юдин А.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

TASK OF ROUTE BUILDING AND SPATIAL POSITION VISUALISATION FOR A MOBILE ROBOT

Voronov S.S.

Supervisor: Yudin A. V.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Аннотация

В данной статье представлены варианты решения проблем навигации мобильных роботов, созданных для участия в конкурсе Eurobot 2014. Были тщательно проанализированы правила конкурса, на их основе поставлены задачи для создания навигационной модели, предложены методы по их решению в виде алгоритмов действий. В завершение статьи автором рассмотрена возможность визуализации результатов работы навигационной системы в удобной для человека форме в виде отдельного программного приложения.

Abstract

This article presents solutions to navigation problems of mobile robots created for the Eurobot 2014 contest. The competition rules were carefully analyzed, tasks for navigation model implementation were set and methods for their optimal solution were proposed. The article finishes with author's presentation of navigation system work results' visualization software tool displaying information in user-friendly form.

Введение

Задача навигации автоматизированных систем с мобильными механическими элементами, будь то робот, средство передвижения человека или фрезерный станок, возникает с момента первых попыток осуществить автоматизированное движение на практике. Степень автоматизации может варьироваться от непосредственного участия оператора в управлении системой до полного автономного поведения. Сложность системы навигации непосредственно связана со степенью автоматизации. Имея в виду, что выше означенные примеры систем подобны в части принципов организации управления движением мобильных элементов будем далее рассматривать только робототехническое приложение для навигационных систем.

Решение навигационных задач включает в себя взаимодействие робота и среды на всевозможных уровнях: следует считывать информацию с датчиков, определяя как положение робота, так и окружающие его объекты; анализировать данную информацию на процессорах, формируя и постоянно обновляя карту окружающего пространства, реагировать на эти данные, подавая соответствующее управление на двигатели и прочие исполнительные механизмы. Компьютерные системы построения маршрута разработаны достаточно хорошо и успешно используются не только в задачах реального мира, но и применяются, например, в компьютерных играх.

Сложной задачей является сопоставление реальных координат объектов с теми, которые на данный момент имеет робот в своей памяти. Датчики окружающей среды имеют те или иные недостатки, все они получают данные с помехами. Например, если взять на рассмотрение ультразвуковые маяки, то небольшое изменение температуры ведёт к изменению скорости распространения звуковых колебаний, основного носителя информации о положении элементов системы, что необходимо обязательно учитывать в подобных системах. Если динамика изменения температуры в окружающем пространстве одинакова для всех точек системы – достаточно обеспечить замеры температуры и компенсировать изменения программно. Куда более серьезные последствия могут создать различного рода

непредсказуемые помехи, такие как точечные турбулентные колебания температуры, которые практически невозможно предсказать.

1 Постановка задач навигационной системы

Соревнования мобильных роботов Eurobot 2014 ставит перед участниками ряд задач, каждую из которых необходимо проанализировать и расставить приоритеты выполнения [2]. В зависимости от выполнения задачи разные требования предъявляются и к системе навигации. Кратко рассмотрим задания, опишем принципиальные моменты. В задачах Eurobot помимо разрабатываемого робота принимают так называемые игровые элементы, с которыми робот должен взаимодействовать для успешного решения задачи.

Одной из задач является **бросание копья в мамонта**. Игровой элемент Мамонт – вертикальная плоскость, с прикреплённой липучкой. Игровой элемент Копьё – мяч для пинг-понга, обернутый липучкой. Задача робота – выстрелить шарик так, чтобы он прилип к мамонту. Пусть механизм запуска снаряда требует от робота находиться в конкретно заданной точке игрового поля (это упрощает задачу конструирования механизма метания). Тогда из произвольного/начального места поля необходимо переместиться в точку с фиксированными координатами, что является элементарным действием навигационной модели (рис.1). При этом, как и во всех остальных случаях, необходимо учитывать и тот случай, когда эта точка будет занята другим роботом или игровым элементом.

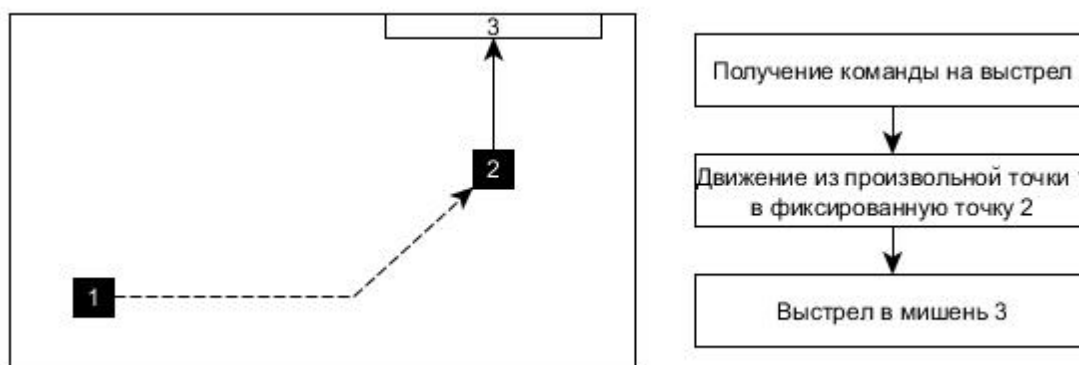


Рисунок 1 — Выстрел в мишень

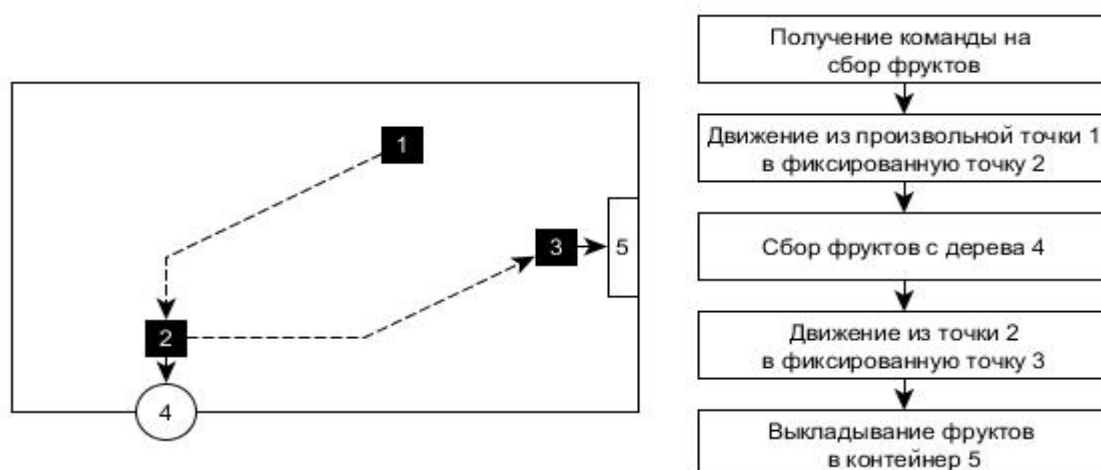


Рисунок 2 — Сбор фруктов

Следующая задача - **сбор фруктов**. Игровой элемент Фрукты - цилиндры, подвешенные на вертикальных столбах по краю поля. Необходимо перенести как можно больше указанных цилиндров в специальный контейнер, расположенный на поле. Задача,

которая решается уже в два этапа, которые заключены в циклы. Во-первых, необходимо достигнуть определённой точки рядом со столбом, чтобы специальный механизм мог взять фрукт. Во-вторых, после этого этот фрукт (или несколько сразу) надо положить в определённый контейнер, координаты которого так же известны заранее (рис.2). Необходима постоянная координация с механизмом сбора.

Ещё одно задание - **работа с «огнём»**. Игровой элемент Огонь - треугольная фигура, заданной толщины, имеет две стороны, каждая покрашена в один из двух цветов (на двух сторонах разные цвета). Необходимо перевернуть огонь цветом своей команды и горизонтально положить. Если положить огонь на специально отведённое место (игровой элемент «сердце огня») - начисляются дополнительные очки (рис.3). Прежде всего, робот должен иметь специальные датчики, определяющие нахождение огня рядом с роботом, потому что он может перемещаться, а значит его положение заранее неизвестно. Именно поэтому представляется наиболее эффективным метод, при котором робот реагирует на огонь при решении остальных задач.

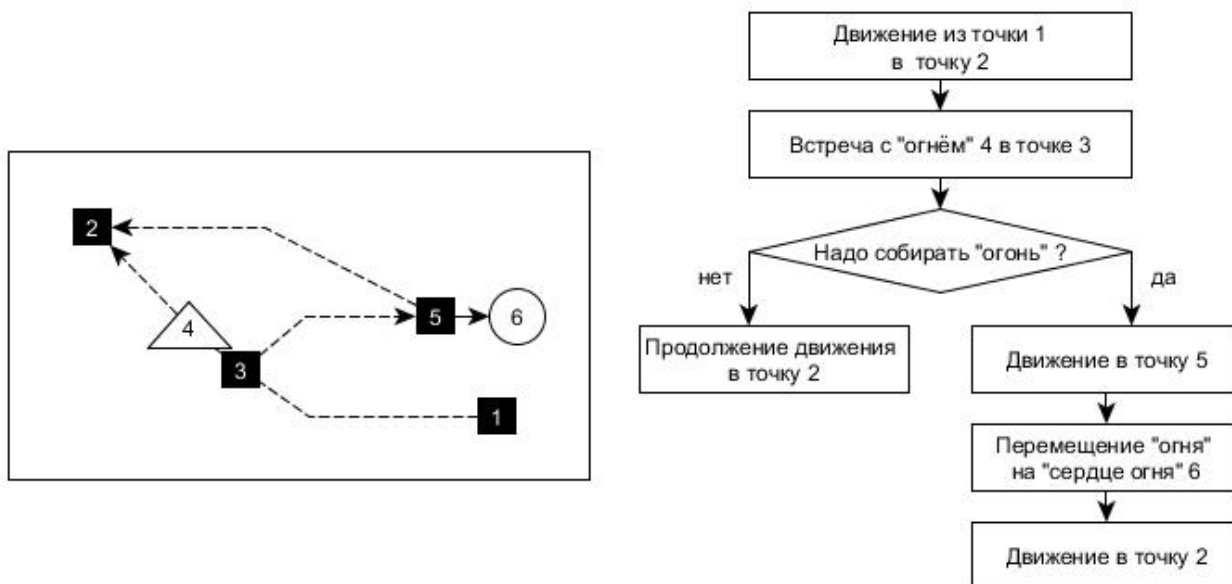


Рисунок 3 — Работа с «огнём»

Если робот может перевозить несколько огней, то он может положить его себе в багаж, чтобы отвезти после нескольких сразу. В противном случае робот может или просто переворачивать, или отвезти на сердце огня, а затем возвращаться к отложенной задаче.

2 Решение задачи навигации в общем виде

Перед нашей системой ставятся следующие задачи: робот должен уметь двигаться из одной фиксированной точки игрового поля в другую и реагировать на внешнюю среду, получая информацию со специальных датчиков. При получении команды от центрального вычислительного устройства на движение в указанную точку роботу необходимо проложить маршрут последовательных перемещений, чтобы затем по нему двигаться. Надо отметить, что навигация - лишь один из компонентов работающей системы, поэтому необходимо уметь отправлять сигнал в узел, занимающийся вычислениями, о том, что указанная команда выполнена.

Из всего этого следует необходимость в следующей архитектуре общей системы (рис.4): вычислительное устройство обменивается данными с исполнительным, которое непосредственно взаимодействует с внешней средой.

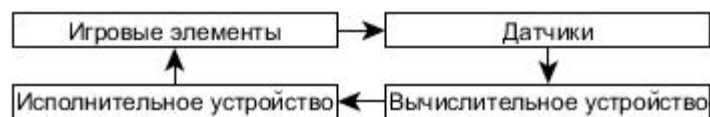


Рисунок 4 - Архитектура системы

При этом у нас есть датчики, которые способны получать информацию из внешней среды и отсылать её на обработку вычислительному устройству.

3 Основы алгоритма перемещения из текущей токи в заданную

Примем, что мы имеем следующий функционал: мы можем посылать команду исполнительному устройству вращать каждое из колёс независимо друг от друга на фиксированный оборот. Выведем простейшие манипуляции. При равном обороте на обоих колёсах робот движется вперёд-назад. При вращении колёс в разные стороны мы имеем поворот робота на произвольное количество градусов.

Разобьём наше игровое поле на достаточно малые квадраты, так чтобы они образовывали сетку размера n^2 , каждой клетке дадим соответствующие ей координаты. Наш робот, имея указанное функционирование, может поворачиваться и двигаться так, чтобы оказаться в любой из восьми соседних клеток (рис.5). Чтобы оказаться в клетках 2, 4, 6, 8 следует при необходимости повернуть робота на 90 градусов в одну из сторон и двигаться вперёд/назад. Для движения по диагонали — повернуть на количество градусов, кратное 45 и двигаться. Тем самым мы получаем прямолинейное движение по ломаной линии: перемещение-поворот-перемещение-... и так далее. Остаётся сформулировать алгоритм последовательного передвижения из квадрата в квадрат до достижения нужной цели.

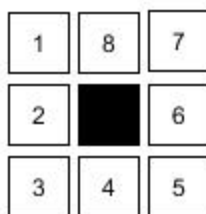


Рисунок 5 — Поле вариантов для выбора близлежащей цели движения робота

Воспользуемся наиболее эффективным для этих целей алгоритмом, известным как A*, который позволяет сделать последовательный список из координат, по которым нужно совершить движение. Мы учитываем возможные препятствия (эти координаты помечаем как заблокированные), и алгоритм строит маршрут так, чтобы объезжать их (рис.6).

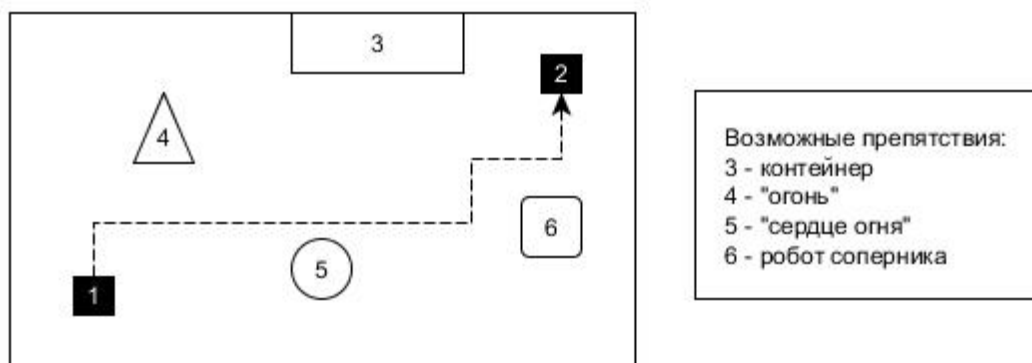


Рисунок 6 — объезд препятствий

Подробнее с этим алгоритмом на псевдокоде или реализованном на одном из реальных языков программирования можно ознакомиться в соответствующем источнике [3].

4 Реализация алгоритма перемещения из текущей точки в заданную

Опишем функцию, которую мы назовём элементарной: движение из точки с одними координатами в точку с другими (рис 7.).



Рисунок 7 - Основной алгоритм навигации мобильного робота

Прежде всего мы передаём функции начальные и конечные координаты и массив занятых препятствиями клеток. Алгоритм A* вычисляет маршрут, учитывая препятствия и выдаёт массив последовательных соседних координат, по которым должен двигаться робот. Далее мы прогоняем массив с начала, выбирая оттуда пары координат, по которым специальная функция формирует команду вращения колёс. Если нам надо двигаться прямо, то это, как было сказано ранее, пара одинаковых чисел вида (S1, S1), где S1 – некоторое расстояние. Если по диагонали, то две пары чисел: поворот, затем движение. Эта пара добавляется в специальную очередь. После обработки всего массива мы указанную очередь передаём на контроллер управления колёсами, который последовательно обрабатывает их и вращает колёса.

5 Прерывания движения

Во всей построенной системе не обойтись без качественного механизма прерываний движений робота. Они нужны по нескольким причинам:

7. Встреча робота соперника. Чтобы избежать столкновения надо остановить робота и спроектировать новый маршрут.

8. Встреча перемещаемого объекта. В этом случае надо понять, стоит ли делать что-то с ним или вернуться к предыдущим действиям.

Одно из решений выглядит следующим образом. Пусть датчик способен выдавать по запросу массив координат, которые чем-то заняты и присылать ответ на запрос, был ли объект тем, который надо переместить. Тогда опишем две функции: первая — сравнение информации о текущих занятых клетках с полученной. Если в определённом радиусе есть несовпадения, причём занята хотя бы одна клетка нашего маршрута, то маршрут надо переформировать, послав текущие и конечные координаты функции, описанной выше.

Вторая — оповещение центрального алгоритма о том, что встречен объект, который можно переместить. В зависимости от принятого решения может потребоваться выполнить некоторые действия и сформировать новый маршрут.

Каждая из функций может вызываться или по таймеру, или по завершении каждой итерации перемещения на соседнюю клетку.

6 Визуальное средство отслеживания робота на поле

Для наглядного представления ситуации на игровом поле с точки зрения робота необходима система визуализации. Она представляет собой графическое представление объектов, которое можно отобразить, например, на экране монитора компьютера.

В простейшем случае мы имеем некоторую заготовку, на которой изображены все элементы поля. Управляя движением робота, мы знаем текущие координаты робота и текущий маршрут. Всё это можно схематично визуализировать. Если усложнить подход, то имея датчики, передающие информацию об игровом поле, мы в определенном радиусе можем заметить, например, робота соперника и следить за его движением (рис.8).

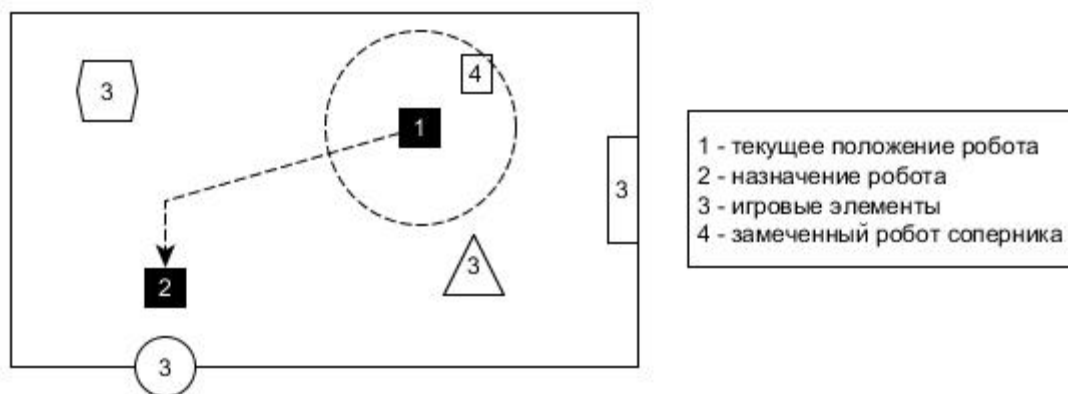


Рисунок 8 — Визуализация (робот 4 не виден без датчиков)

Наконец, мы можем отслеживать реальное положение робота, используя соответствующие датчики (рис. 9).

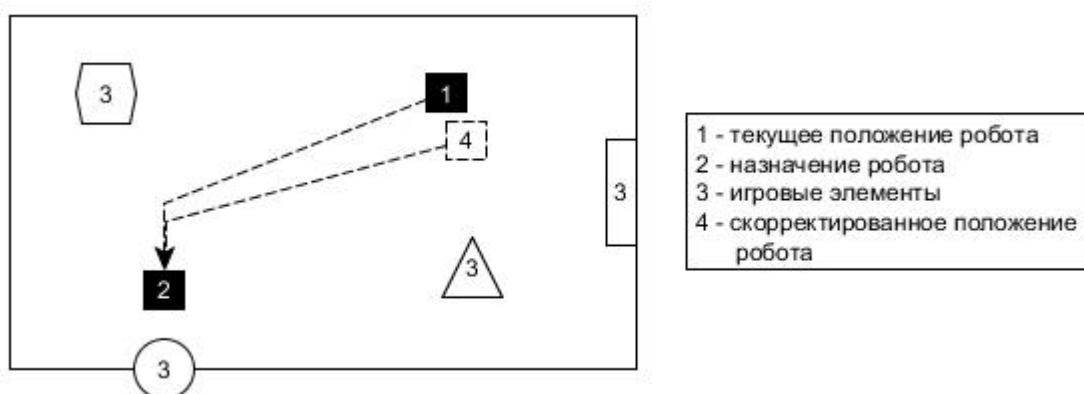


Рисунок 9 — Визуализация с корректировкой

Как известно, ожидаемое и реальное положение робота могут не совпадать из-за неточности работы, например, механизма колёс робота.

Заключение

Разработка навигационных моделей является одной из приоритетных задач в автономной мобильной робототехнике. Усовершенствование систем на любом из этапов даёт огромный рывок в плане эффективности роботов. При этом важны как решения локальных задач, так и глобальные теоретические разработки, например совершенствование алгоритмов прокладки маршрутов.

В статье дан один из возможных подходов к поставленной задаче. Автор планирует дальнейшую работу над реализацией описанной модели на различных устройствах и визуализацией действий робота.

Литература

1. Молодежные соревнования мобильных автономных роботов Евробот. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.eurobot.org>, <http://www.eurobot-russia.ru> — Проверено 31.01.2014.
2. Правила молодежных соревнований роботов Евробот 2014: «Первоботная ЭРА»: Пер. с англ. С дополнениями НОК Евробот России./ Общ. Ред. А.В. Юдина. Изд. 1-е.— М.: Национальный организационный комитет Евробот России, 2013. — 35с., ил. Электронный ресурс. Режим доступа: http://eurobot-russia.org/main/media/EA2014_rules_RU_alpha.pdf — Проверено 31.01.2014.
3. Информация по алгоритму A*. Электронный ресурс. Режим доступа: http://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Алгоритм_A* — Проверено 31.01.2014.
4. Расчет траектории движения мобильного робота в частной задаче перемещения объектов — Электронный ресурс. Режим доступа: http://class.skycluster.net/_media/documentation/archive/2011/files/2011_iu4_conference_c_histyakov.pdf — Проверено 31.01.2014.
5. Афонин В.Л., Макушкин В.А. Интеллектуальные робототехнические системы. — М.: Интернет-университет информационных технологий - ИНТУИТ.ру, 2005 — 208 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТОРА БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ПРИМЕРЕ ДАТЧИКА БУМАГИ

Юлдашев М.Н.

Научный руководитель: Юдин А.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ELECTRONIC DEVICE RAPID PROTOTYPING SOLUTION USE CASE IN PAPER SENSOR APPLICATION

Yuldashev M.N.

Supervisor: Yudin A.V.

BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается проблема, которая возникает при использовании офисной техники, когда возникают ситуации недостатка расходных материалов вследствие несвоевременного предупреждения об их исчерпании. Поставлена задача модернизации конструктора для прототипирования электронных устройств с целью получения устройства для прецизионного детектирования количества бумаги в офисной технике. Проведено исследование точности ультразвукового и инфракрасного дальномера. Кратко представлено описание разрабатываемого устройства и рассмотрена его практическая реализация. В заключении указаны результаты проделанной работы.

Abstract

The article deals with the problem that arises in the use of office equipment and with the defect of the expendable materials due to delays in warning of its exhaustion. Was imposed the task of updating the constructor prototype electronic devices in order to obtain a device to accurately detect the amount of paper in office equipment. The author performed a study of the accuracy of ultrasound and infrared rangefinder. The device developed is briefly described and is studied its practical application. In conclusion the results of the work are shown.

Введение

В наше время нельзя обойтись без различной офисной техники, в которой принтер занимает второе место по распространённости после персональных компьютеров. Принтеры предназначены для перевода текста или графики на физический носитель из электронного вида малыми тиражами (от единиц до сотен) без создания печатной формы. Расходными материалами для принтера являются бумага и, в зависимости от типа принтера, тонер или краска.

Существует множество производителей принтеров и каждый из них поставил себе цель создать устройство, которое будет не только выполнять свою основную функцию печати, но и информировать пользователя о состоянии расходных материалов. В частности – в каждом принтере предусмотрено оповещение об исчерпании тонера. Устройство считает приблизительный расход тонера на основе заполнения страницы краской и заранее предупреждает о скором завершении тонера. В случае с бумагой – большинство принтеров способны только определить отсутствие бумаги в лотке. Нередко такие предупреждения возникают непосредственно во время печати с последующим прерыванием печати, что негативно сказывается на работоспособности принтера.

На основании вышеизложенной проблемы был предложен вариант решения в виде отдельного устройства для определения количества бумаги в принтере на базе конструктора для быстрого прототипирования электронных устройств (КЭУ).

1 Архитектура устройства

Конструктор, описанный в предыдущей работе [1], может иметь различную конфигурацию внешних датчиков и исполнительных механизмов. В данной работе была выбрана структурная схема, состоящая из главного модуля 3 и датчика расстояния 2, которые определяют количество бумаги в принтере 1 (см. рисунок 1). Датчик определяет расстояние до бумаги. В том случае, если измеренное расстояние будет больше той величины, которая соответствует малому количеству бумаги в принтере, то КЭУ оповестит об этом. Оповещение осуществляется посредством вывода сообщения на дисплей конструктора и звукового сигнала или отправки уведомительного сигнала на компьютер.

Структурная схема устройства для определения недостатка бумаги в принтере представлена на рисунке 2. На ней наглядно показаны основные узлы устройства для определения недостатка бумаги в принтере.

Алгоритм работы устройства определения недостатка бумаги в принтере представлен на рисунке 3.

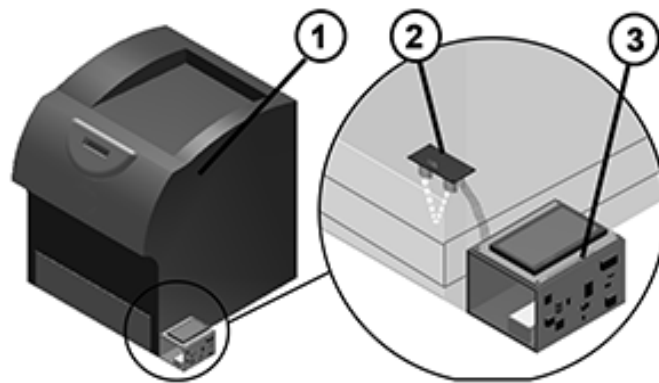


Рисунок 1 - Устройство для определения недостатка бумаги в принтере

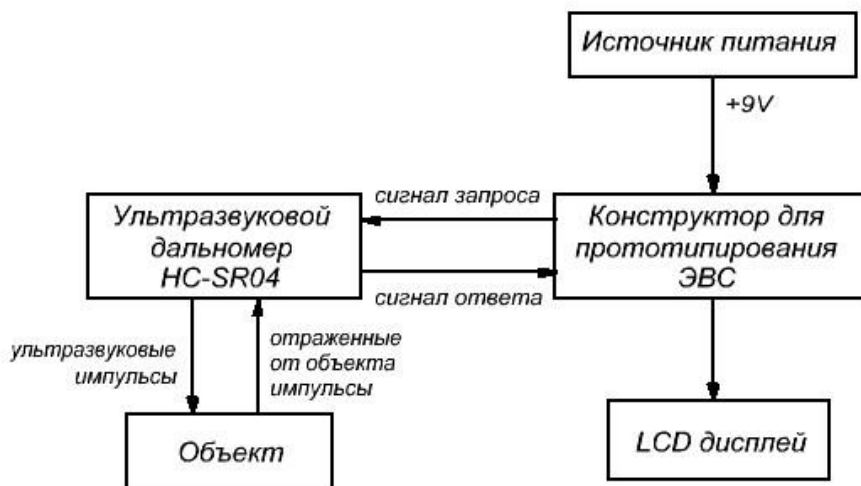


Рисунок 2 - Структурная схема устройства для определения недостатка бумаги в принтере

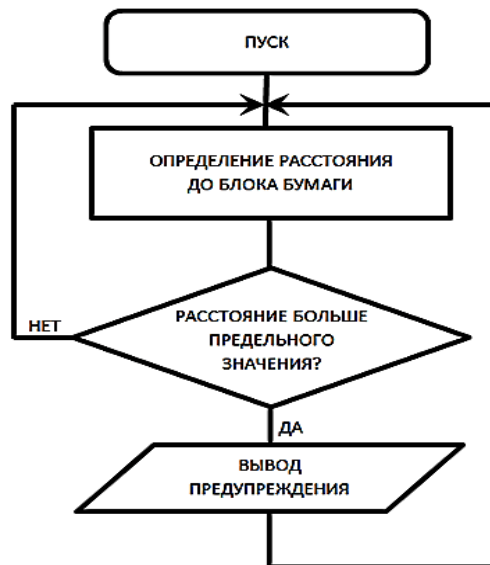


Рисунок 3 - Алгоритм работы датчика определения недостатка бумаги в принтере

На основании структурной схемы и алгоритма работы следует прототипирование устройства на базе КЭУ, которое описано в следующем разделе.

2 Конструкция устройства

Форма конструктора представляет собой параллелепипед (см. рисунок 4), боковые стороны которого являются печатными платами. Одна из печатных плат содержит основную электрическую схему 1, а вторая - макетную плату 2, а также необходимые разъемы для работы с конструктором.

Механическое соединение печатных плат осуществляется при помощи верхней и нижней панелей 3, которые являются каркасом конструктора. Электрическое соединение производится при помощи дополнительной платы, называемой «переходная плата». К этой плате также крепиться LCD дисплей.

С нижней стороны конструктора имеется подставка 4 с монтажными отверстиями, чтобы конструктор можно было крепить к другим конструкциям.

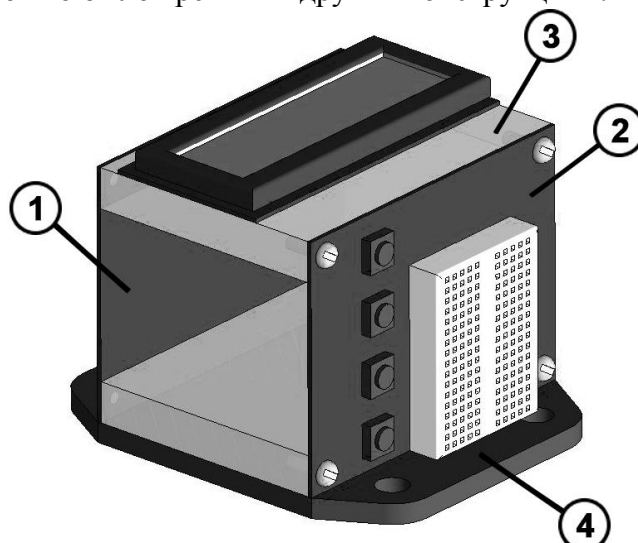


Рисунок 4 - Устройство для прототипирования ЭВС

Главный модуль (основная электрическая схема) был спроектирован на базе отладочной платы Arduino UNO, т.к. она удовлетворяет необходимым требованиям, таким как:

- программирование без дополнительного программатора,
- необходимое количество выводов,
- возможность работы устройства от питания компьютера или от автономного источника,
- индикация состояния микроконтроллера (режим программирования, отладки или исполнения) [3].

3 Пример программного кода устройства для определения недостатка бумаги в принтере

В таблице 1 приведен листинг программного кода, который отвечает за работу устройства для определения количества бумаги в принтере. Программа написана на языке программирования устройств Ардуино, основанного на C/C++.

Таблица 1 – Листинг программного кода для устройства определения недостатка бумаги в принтере.

```
#define trigPin 12
#define echoPin 13
#define led 11
#define led2 10

void setup() {
  Serial.begin (9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);           //настройка выводов платы
  pinMode(echoPin, INPUT);            //для работы с датчиком расстояния,
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(led2, OUTPUT);
}

void loop() {
  long duration, distance;
  digitalWrite(trigPin, LOW);         // запрос сигнала
  delayMicroseconds(2);               // с датчика расстояния,
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = (duration/2) / 29.1;      // определения расстояния до объекта,
  if (distance < 4) {                 // условие для определения недостатка
    digitalWrite(led,HIGH);           // бумаги в принтере
    digitalWrite(led2,LOW);
  }
  else {
    digitalWrite(led,LOW);
    digitalWrite(led2,HIGH);
  }
  if (distance >= 30 || distance <= 0){
    Serial.println("Paper is end");
  }
  else {
    Serial.print(distance);
    Serial.println("OK!");
  }
  delay(500);
}
```

4 Исследование датчиков расстояния

Точность датчика HC-SR04. По паспорту ультразвуковой дальномер HC-SR04 измеряет расстояние с разрешением ~ 3 мм в диапазоне от 3 до 400 см. На результат измерения влияет угол расположения отражающей поверхности. Если поверхность расположена перпендикулярно пути распространения ультразвукового сигнала датчика, то результат измерения будет точнее.

Размер отражающей поверхности и ее структура также оказывают влияние на точность измерений. В случае, если мы имеем маленький объект, то скорее всего ультразвуковой сигнал не будет отражаться.

Также большое значение имеет точность измерения длительности эхо сигнала. Наилучший результат можно получить при высокой тактовой частоте микроконтроллера и таймера. И наконец, скорость распространения звуковых колебаний в воздухе зависит от его температуры. В датчике этот нюанс не просчитывается автоматически, что требует дополнительной электронной и программной реализации для большей точности измерения.

Дальномер инфракрасный GP2D120. Модуль ИК-датчиков позволяет определить расстояние до объекта, используя при этом узконаправленный пучок невидимого глазу света. По паспорту инфракрасный дальномер GP2D120 измеряет расстояние в диапазоне от 4 до 30 см. Вследствие ограничений расстояния для каждого типа подобных датчиков были использованы 2 взаимодополняющих сенсора. Данный модуль может быть использован в системе навигации, построения карты местности, а также в системе избегания препятствий [5]. Выходные характеристики представлены на рисунке 5.

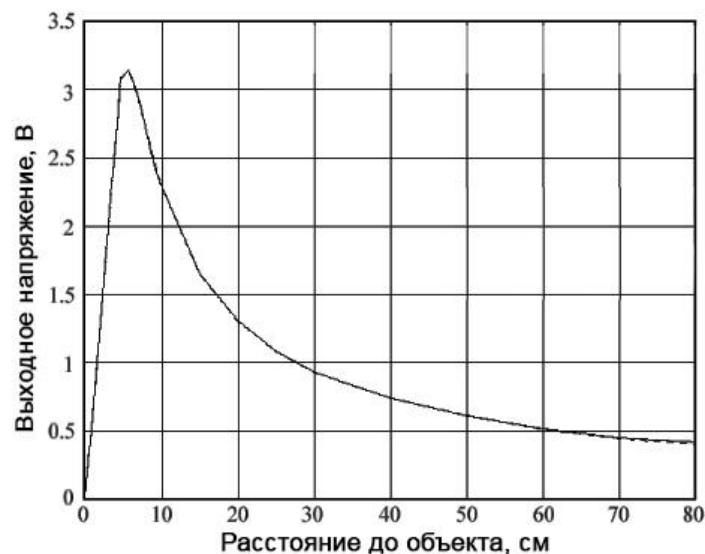


Рисунок 5 - График выходного напряжения дальномера GP2D120 в зависимости от расстояния до объекта

Из графика видно, что выходная характеристика не монотонна и имеет экстремум. Производитель рекомендует использовать датчик на расстоянии от 6 см, при котором преобразование графика с инверсией дает практически линейную характеристику. Применение дальномеров. Нужно отметить существенные недостатки, которые присущи приборам, работающим с использованием ультразвуковой локации. В первую очередь это касается точности измерения, которая определяется средой, в которой распространяется ультразвук. Ее характеристики и их значения, в первую очередь плотности, не являются постоянными и могут меняться в процессе проведения измерительных работ. К другим недостаткам можно отнести ограниченность по расстоянию замера. Минимальная дистанция для данных приборов составляет 0,3 м., а максимальная 20 м.

5 Выбор датчика расстояния и расчет его точностных характеристик

В качестве датчика расстояния выбран модуль HC - SR04. В таблице 1 представлена необходимая информации о модуле.

Таблица 4.1. Характеристики модуля ультразвукового дальномера HC - SR04.

Рабочее напряжение	5 В
Рабочий ток	15 мА
Рабочая частота	40 Гц
Максимально расстояние	500 см
Минимальное расстояние	2 см
Точность измерения	0.3 см
Допустимый угол измерения	15°

Для эксперимента была выбрана бумага плотностью 80 г/м^2 . Из расчета, что плотность офисной бумаги составляет 800 кг/м^3 , делаем вывод, что толщина одного лист – 0.1мм. Отсюда следует, что номинальная точность дальномера в расчете на бумагу составляет 30 листов.

Емкость лотка в типичном принтере составляет 350 листов, среднее количество печатаемых листов за раз равно примерно 15 страниц. Желательно, чтобы устройство предупреждало нас об исчерпании бумаги за 50-70 страниц, что возможно реализовать с помощью модуля ультразвукового дальномера HC - SR04. Но данная точность не позволяет решить вопрос о подсчете количества бумаги в лотке с более высокой точностью. На данном этапе была поставлена следующая задача определения количества бумаги с точностью до нескольких листов. В идеальном варианте устройство должно определять количество бумаги в принтере с точностью до одного листа (0.1 мм).

Заключение

В результате проделанной работы было разработано устройство для определения недостатка бумаги в принтере. Устройство реализовано на базе конструктора для быстрого прототипирования электроники. Данная реализация включала всего несколько шагов для получения готового устройства из конструктора, что подчеркивает преимущества конструктора, такие как: быстрота прототипирования и отсутствие паяльных работ.

Анализ датчиков расстояния показал их принцип работы, преимущества и недостатки при применении. В результате, при прототипировании устройства использовался ультразвуковой датчик, т.к. он является более универсальным и простым в использовании.

Дальнейшее развитие проекта требует тщательного анализа датчиков для получения более точных измерений, чем мы имеем на данный момент. Вероятнее данные исследования будут нацелены на модернизацию датчика расстояния для повышения точности измерения до одного листа, чтобы устройство подсчёта бумаги можно было считать завершённым и готовым к внедрению в производство. Также остается задача показать возможность расширения (интегрирования) конструктора.

Литература

1. Конструкторское решение для быстрого прототипирования электронных устройств / М.Н. Юлдашев, Д.Е. Зотьева // Сборник научных трудов. 15-ая Молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы - 2013". - Москва. 24 апреля 2013 г.- С.295-300.
2. Применение положений технического регламента для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов / под ред. В.А.Шахнова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - 53 с.: ил.
3. Описание отладочного комплекта Arduino UNO. - Электронный ресурс. Режим доступа: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> - Проверено 28.01.2014г.
4. Документация на ультразвуковой датчик HC-SR04. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/HCSR04b.pdf> - Проверено 14.01.2014г.
5. Документация на инфракрасный датчик GP2D120. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://robot-develop.org/wp-content/uploads/2011/03/gp2d120.pdf> - Проверено 14.01.2014г.
6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: в 3-х томах. / Пер. с англ.: Б. Н. Бронина, И. И. Короткевич и др. — М.: Мир, 1993.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КНИ МОП-ТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Юлкин А.С.

Научные руководители: к.т.н., доцент, Макаrchук В.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Российская Федерация

к.т.н. Глушко А.А., к. ф.-м. н. Амирханов А.В.

НИИСИ РАН, Москва, Российская Федерация

DEVELOPMENT OF SOI MOSFET ELECTROPHYSICAL PARAMETERS PARAMETRIC OPTIMIZATION TECHNIQUES BASED ON SYSTEM DEVICE-TECHNOLOGICAL SIMULATION

Yulkin A.S.

Supervisors: PhD, associate professor Makarchuk V.V.

MSTU, Moscow, Russia

PhD Glushko A.A., PhD Amirhanov A.V.

SRISA RAS, Moscow, Russia

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы оптимизации электрофизических параметров МОП-транзисторов с помощью системы TCAD Synopsys. Сложность проблемы заключается в неприемлемой длительности вычислений в системе TCAD Synopsys, необходимых для проведения процесса оптимизации. Предложена методика поиска метода оптимизации и выбора параметров его настройки, сокращающих вычислительные затраты. Выбран метод оптимизации, с помощью которого проведена оптимизация профиля легирования кармана КНИ МОП-транзистора.

Abstract

The problems of optimization of electro-physical parameters of the SOI MOSFET, resulting of technology of submicron SOI CMOS VLSI in system modeling TCAD Synopsys, are considered. Complexity of the problem is unacceptable duration of computations in TCAD Synopsys, required for process optimization. The technique of search optimization method and choose settings that reduce the computational costs are offered. Optimization method is selected by which the optimization of SOI MOS-transistor body doping profile is performed.

Введение

Современное микроэлектронное производство является сложнейшей совокупностью технологических процессов, направленных на получение высокотехнологичного изделия – сверхбольших интегральных схем (СБИС). В микроэлектронике зачастую возникают задачи оптимизационного характера, призванные изменить критические электрофизические параметры элементов СБИС, варьируя параметры режимов технологических операций, и, сохранив при этом другие в области допустимых отклонений от первоначальных допустимых значений. Касаясь таких задач, можно отметить, что они характеризуются большим количеством параметров режимов этих технологических операций, которые так или иначе сказываются на электрофизических параметрах элементов СБИС, и, в конечном счете, влияют на параметры изготавливаемой СБИС.

Поиск оптимальных режимов технологических операций в настоящее время осуществляется методами математического моделирования. При этом проводится многократное моделирование технологического процесса в целом с изменением режимов отдельных операций с целью определения степени соответствия результирующих параметров моделируемых элементов СБИС целевым значениям.

Переход от экспериментального получения количественных оценок параметров элементов СБИС к математическому моделированию с использованием возможностей

высокопроизводительных ЭВМ привел к радикальному ускорению в области разработки технологии изготовления СБИС с оптимальными режимами.

С другой стороны, при отсутствии методики оптимизации, этот способ моделирования остается все же недостаточно эффективным, так как расчет типового элемента СБИС (например, МОП-транзистора) с приемлемой аппроксимирующей сеткой порядка 10-15 тысяч вершин занимает даже в одной из самых передовых систем приборно-технологического моделирования TCAD Synopsys обычно несколько часов. Большое количество изменяемых параметров технологических операций приводит к необходимости многократного расчета физической структуры конкретного элемента СБИС. В результате время выполнения даже одной итерации процесса оптимизации затягивается практически на несколько дней. Поэтому главная цель представляемой работы состояла в разработке методики оптимизации электрофизических параметров КНИ МОП-транзистора.

Ранее в [1] была предпринята попытка проведения оптимизации режимов технологических операций ионной имплантации изготовления КНИ МОП-транзистора методом Хука-Дживса, и было достигнуто увеличение одного из основных параметров структуры КНИ МОП-транзистора, влияющих на его радиационную стойкость к накопленной дозе (порогового напряжения «донного» транзистора) на 57%. В ней ставилась цель показать, что такое увеличение возможно, однако вопрос об эффективности этого «увеличения» не поднимался. Поэтому дальнейшим логическим продолжением решения этой проблемы должно быть достижение наилучшего результата с алгоритмической точки зрения. То есть важно добиться удовлетворяющего результата, под которым понимается поиск решения задачи оптимизации за заданное время с максимально возможным «улучшением» целевой функции.

Прежде чем приступить к поиску приемлемого метода решения задачи оптимизации режимов технологических операций, необходимо задать целевую функцию и функции ограничений, применительно к которым этот метод будет использоваться.

1 Определение целевой функции тестирования алгоритмов

Для выбора функции тестирования алгоритмов следует рассмотреть задачу оптимизации, связанную с увеличением стойкости КНИ n -МОП-транзистора [2] по накопленной дозе с незначительными отклонениями его характеристик от первоначальных (не более 10%).

Следует пояснить, почему выбрана задача увеличения стойкости именно КНИ n -МОП-транзистора. В структуре КНИ n -МОП-транзистора, как и в его комплементарно-дополняющем КНИ p -МОП-транзисторе, во время облучения в окисле накапливается положительный заряд, который, действуя, как приложенное напряжение, способствует изменению порогового напряжения МОП-структур, сформированных на этом окисле [3]. Однако, в случае КНИ p -МОП-транзистора, такое изменение происходит в отрицательную сторону, то есть приводит к увеличению его порогового напряжения. В то время как для КНИ n -МОП-транзистора происходит уменьшение его порогового напряжения. В результате при наборе некоторой критической дозы начинает образовываться канал инверсной проводимости, приводящий к самопроизвольному открыванию транзистора. Таким образом КНИ n -МОП-транзистор по сравнению с p -МОП-транзистором является одной из критических структур СБИС, которая определяет нижнюю границу ее радиационной стойкости.

Конструкция исследуемого транзистора представлена на рисунке 1. Как видно из рисунка активная структура КНИ n -МОП-транзистора расположена в отсеченном слое монокристаллического кремния p -типа проводимости, располагающимся на скрытом окисле 2, который в свою очередь находится на кремниевой подложке 11 также p -типа проводимости. Активные области КНИ n -МОП-транзисторов, изготовленных на общей кремниевой пластине, отделяются друг от друга боковым окислом 1. Структура транзистора (далее называемого основным транзистором) состоит из области кармана 9 p -типа

(концентрация легирующей примеси порядка 10^{17} - 10^{18} см⁻³), высоколегированных областей истока 3, стока 10 *n*-типа (концентрация легирующей примеси порядка 10^{20} - 10^{21} см⁻³), управляющего поликремневого затвора 7, отделенного от кармана 9 тонким подзатворным диэлектриком 8, спейсеров 6 и располагающихся под ними LDD-областей 5 *n*-типа (концентрация легирующей примеси порядка 10^{18} - 10^{19} см⁻³). Для обеспечения надежных контактов к областям истока и стока используется силицид кремния 4. Однако в КНИ *n*-МОП-структуре, показанной на рисунке 1, также существует паразитный транзистор (далее называемый донным транзистором), образованный областями истока, стока, и подложкой кремниевой пластины, выполняющей роль затвора, при прикладывании к ней напряжения относительно истока.

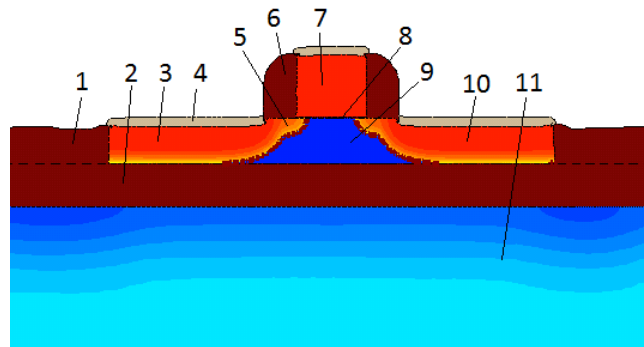


Рисунок 1 – Конструкция типового КНИ *n*-МОП-транзистора

Как известно, при накоплении определенной дозы в скрытом окисле КНИ *n*-МОП-транзистора происходит самопроизвольное открывание донного *n*-МОП-транзистора: области истока и стока замыкаются образующимся проводящим каналом донного транзистора, который располагается вблизи границы кармана транзистора со скрытым слоем окисла. Роль затвора донного транзистора в данном случае играет скрытый окисел. Эффект накопления заряда в скрытом окисле эквивалентен эффекту прикладывания напряжения к подложке КНИ *n*-МОП-транзистора относительно его истока [4].

Одним из способов предотвращения образования проводящего канала в донном транзисторе при накоплении заряда в скрытом окисле является увеличение его порогового напряжения, которое в свою очередь зависит от концентрации примеси в кармане вблизи его границы со скрытым окислом. Варьировать остальные параметры, влияющие на изменение порогового напряжения донного транзистора, такие как относительная диэлектрическая проницаемость материала диэлектрика скрытого слоя и его толщина, на практике не представляется возможным. Однако при этом важно сохранить характеристики основного транзистора, то есть сохранить концентрацию примеси в кармане вблизи границы с подзатворным диэлектриком.

Таким образом, задачу оптимизации порогового напряжения донного транзистора можно упростить, заменив ее на поиск оптимального профиля легирования кармана КНИ *n*-МОП-транзистора. Задача состоит в увеличении концентрации примеси вблизи донного окисла при ограничениях на изменение концентрации примеси вблизи подзатворного диэлектрика основного транзистора. Такая замена позволит значительно снизить вычислительную сложность каждого расчета целевой функции и функций ограничений, тем самым ускорив процесс тестирования предлагаемых алгоритмов.

Поскольку формирование профиля легирования кармана КНИ МОП-транзисторов производится преимущественно с помощью операции ионной имплантации примеси в кремниевую пластину, то в данном случае изменяемыми переменными должны быть энергия имплантации и доза имплантируемой примеси для каждой стадии этого процесса.

В [5] приведена следующая зависимость распределения примеси после *i*-й операции ионной имплантации вдоль глубины пластины *x*:

$$N_i(x) = \frac{N'_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta R_{p,i}} \cdot \exp\left(-\frac{(x-R_{p,i})^2}{2 \cdot (\Delta R_{p,i})^2}\right), \quad (1)$$

где: N'_i - количество внедренных примесных атомов на единицу площади (доза),

$R_{p,i}$ - средняя глубина проникновения внедряемых примесных атомов,

$\Delta R_{p,i}$ - отклонение глубины проникновения внедряемых примесных атомов от ее среднего значения.

Пользуясь тем, что $R_{p,i}$ и $\Delta R_{p,i}$ практически линейно зависят от энергии ионной имплантации, а N' есть доза имплантируемой примеси [4], можно определить:

$$R_{p,i} = a \cdot E_i + b, \Delta R_{p,i} = c \cdot E_i + d, \quad (2)$$

где a, b, c, d - постоянные величины.

Таким образом, полный профиль распределения примеси в кармане КНИ МОП-транзистора описывается следующей формулой:

$$\begin{cases} N'_i = D_i \\ R_{p,i} = a \cdot E_i + b \\ \Delta R_{p,i} = c \cdot E_i + d \\ N_{\Sigma}(x) = \sum_i \frac{N'_i}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta R_{p,i}} \cdot \exp\left(-\frac{(x-R_{p,i})^2}{2 \cdot (\Delta R_{p,i})^2}\right) \end{cases}. \quad (3)$$

Для описания процесса температурной диффузии примеси можно воспользоваться вторым законом Фика в конечноразностной форме:

$$\Delta C_i = -D \frac{C_{i+1} - 2C_i + C_{i-1}}{\Delta x^2} \cdot \Delta t, \quad (4)$$

где ΔC_i – приращение концентрации примеси в i -м элементе моделируемого отрезка за промежуток времени Δt ,

D – коэффициент диффузии,

C_i – концентрация примеси в i -м узле,

Δx – мера разбиения моделируемого отрезка на узлы, с краевыми условиями, заключающимся в том, что скорость переноса частиц через границы моделируемого отрезка равна нулю:

$$\Delta C_0 = -D \frac{C_{i+1} - C_i}{\Delta x^2} \cdot \Delta t, \quad (5)$$

$$\Delta C_n = -D \frac{-C_i + C_{i-1}}{\Delta x^2} \cdot \Delta t. \quad (6)$$

Рассматривая упрощенную математическую модель технологической операции ионной имплантации, описанную выражениями (1)-(6), можно заметить следующее. В связи с монотонной зависимостью дисперсии распределения примеси по глубине от средней глубины проникновения примеси (2) операции глубокой ионной имплантации будут влиять на концентрацию примеси, как в глубине кремниевой подложки, так и на ее поверхности, в то время как операции поверхностной ионной имплантации изменяют только поверхностную концентрацию имплантируемой примеси. Таким образом, можно перейти к двухстадийной задаче оптимизации, в которой на протяжении первой стадии изменяются параметры операции глубокой ионной имплантации, задающей концентрацию примеси в объеме кремниевой подложки, а на протяжении второй стадии - корректируется концентрация примеси в приповерхностном слое кремниевой подложки для обеспечения постоянства электрофизических параметров основного транзистора.

2 Выбор алгоритмов оптимизации

Для выбора лучшего алгоритма решения задачи оптимизации были проанализированы встроенные в систему математического моделирования COMSOL алгоритмы оптимизации, в которой используются два класса алгоритмов: алгоритмы на основе градиентных методов и алгоритмы на основе методов, не использующие производную. Градиентные методы рационально использовать только в тех случаях, когда можно вычислить производные целевой функции в аналитическом виде [6]. Так как задача математического моделирования

элемента СБИС не сводится к аналитической формуле, следует рассмотреть алгоритмы на основе методов прямого поиска, встроенные в систему приборно-технологического моделирования TCAD Synopsys и систему COMSOL, то есть методы, не использующие производную: метод Нелдера-Мида, метод Монте-Карло и метод покоординатного поиска. Сразу стоит отметить, что использование метода Монте-Карло при решении поставленной задачи не оправдано, так как он использует большое количество вычислений в случайно выбранных точках.

Попытка использования алгоритмов, реализованных в модуле оптимизации системы TCAD Synopsys, а именно методов последовательного квадратичного поиска, квазиньютоновского метода и метода нелинейного симплекса, не привела к удовлетворительному решению задачи оптимизации. Поэтому было предложено использование модифицированных под двухстадийную задачу алгоритмов на основе сторонних методов, описанных и реализованных в пакете COMSOL.

3 Сравнение выбранных алгоритмов

Выше были обозначены два основных алгоритма, удовлетворяющих накладываемым на них ограничениям: метод Нелдера-Мида и метод покоординатного поиска. Причем последний метод является частным случаем метода Хука-Дживса, и поэтому далее будет рассмотрен именно он.

Для выбора лучшего метода необходимо установить критерии, по которым будет производиться выбор. Одним из важных критериев, безусловно, является скорость «улучшения» целевой функции в зависимости от количества ее вызовов в программе. Акцент делается именно на количество вызовов в программе целевой функции, а не на количество итераций по той причине, что в течение одной итерации может быть вызвано совершенно разное количество функций, в результате чего время итерации может варьироваться в большом диапазоне.

Для выбора другого критерия стоит учесть, что ранее была принята стратегия двухстадийного поиска. Пользуясь тем, что во время второй стадии процесса оптимизации происходит корректирование достигнутого решения, можно назначить больший допуск для отклонений на первой стадии процесса оптимизации, чем при одностадийном поиске. Такое увеличение допуска способствует повышению скорости достижения оптимального решения, что проиллюстрировано на рисунке 2.

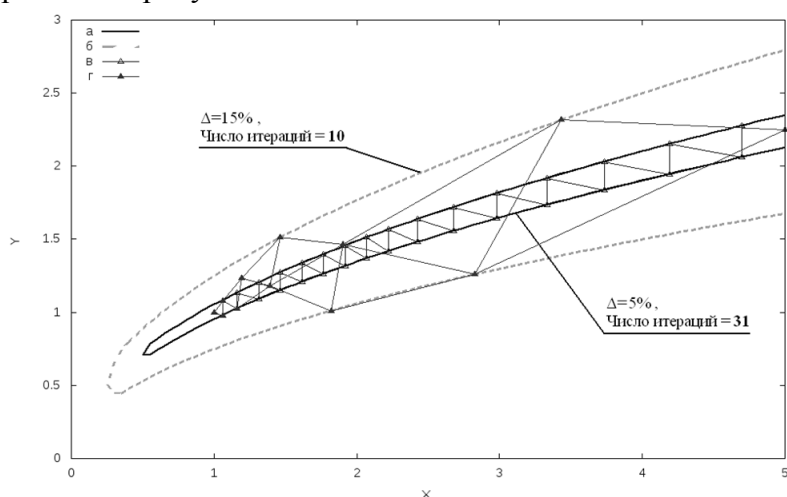


Рисунок 2 – Пояснение влияния допуска на отклонение функции ограничений от первоначального значения на скорость достижения оптимального решения (а) – область допустимых решений с допуском на отклонение функции ограничений $\Delta=5\%$, (б) – область допустимых решений с допуском на отклонение функции ограничений $\Delta=15\%$, (в) – итерации процесса оптимизации для $\Delta=5\%$, (г) – итерации процесса оптимизации для $\Delta=15\%$

На рисунке качественно показан процесс оптимизации, а именно движение симплекса с каждой итерацией в области допустимых решений для поставленной выше задачи. Оптимизация проводилась из начальной точки с координатами [1,1], причем глобальный оптимум находился на бесконечном удалении от оси ординат в 1-м квадранте, то есть являлся практически недостижимым.

Из рисунка 2 видно, что при увеличении допустимого отклонения функций ограничений от ее первоначального значения скорость достижения оптимального решения повышается, так как для показанного участка пространства оптимизируемых параметров при $\Delta = 5\%$ укладывается 31 симплекс, а при $\Delta = 15\%$ – всего 10 симплексов, то есть сокращается количество итераций.

К недостаткам слишком большого увеличения допуска на отклонения, можно отнести тот факт, что в отдельных случаях компенсация выхода за область допустимых решений с физической точки зрения не представляется возможной.

В соответствии с вышеперечисленными критериями были построены поверхности зависимости значения целевой функции (при поиске её наибольшего значения) от количества ее вызовов в программе и от допустимого отклонения. На рисунках 3а и 3б показаны эти поверхности, построенные по результатам работы обоих алгоритмов. Причем по оси X откладывалось количество вызовов целевой функции в программе, по оси Y – допустимое отклонение функции ограничений от первоначального значения, а по оси Z – значение функции, полученное в ходе оптимизации с указанным допустимым отклонением функции ограничений и в пределах указанного количества вызовов целевой функции.

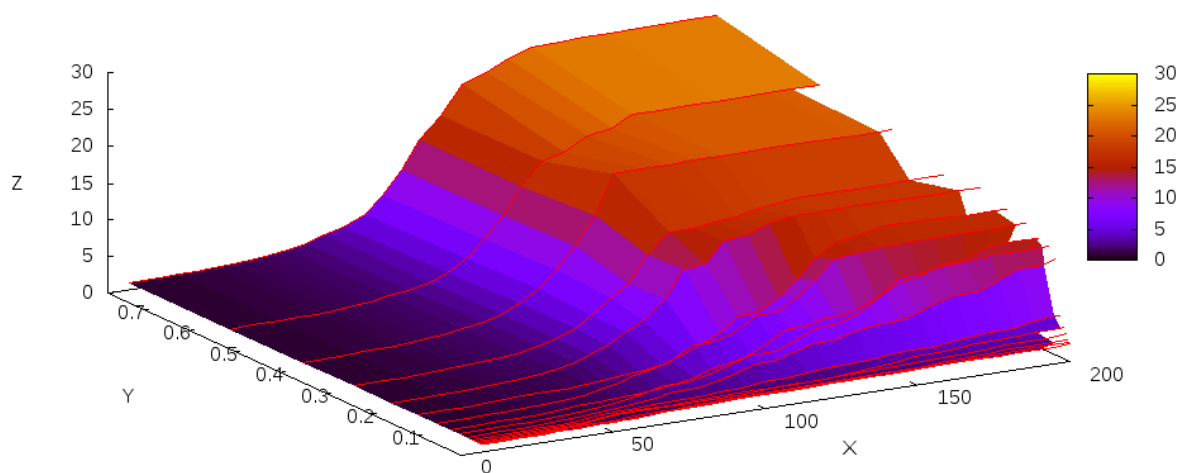


Рисунок 3а – Поверхности значений целевой функции, нормированной по ее минимальному значению в ходе оптимизации методом Хука-Дживса

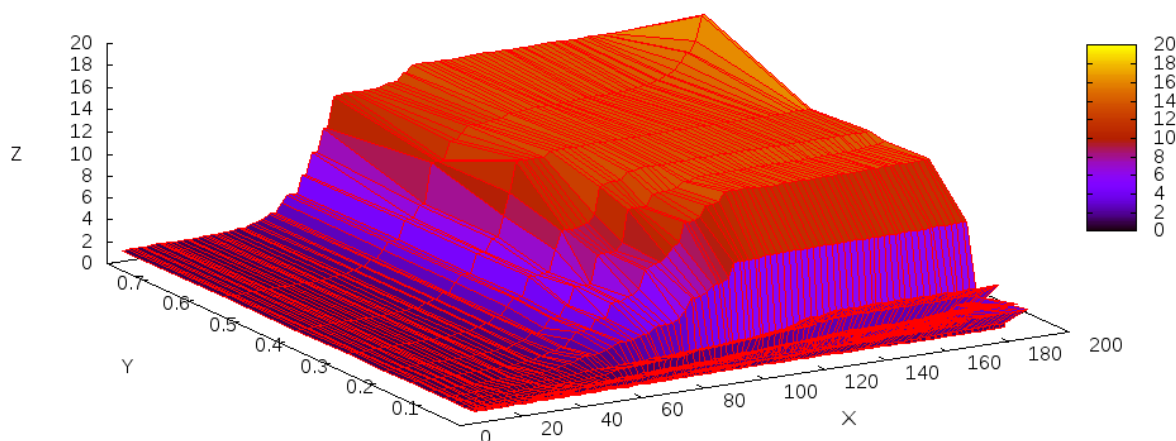


Рисунок 3б – Поверхности значений целевой функции, нормированной по ее минимальному значению в ходе оптимизации методом Нелдера-Мида

Для оценки скорости оптимизации следует рассмотреть проекцию поверхности на плоскость «Количество вызовов функции в программе»-«Значение функции» (см. рисунок 3), то есть профильные проекции поверхностей, представленных на рисунке 4.

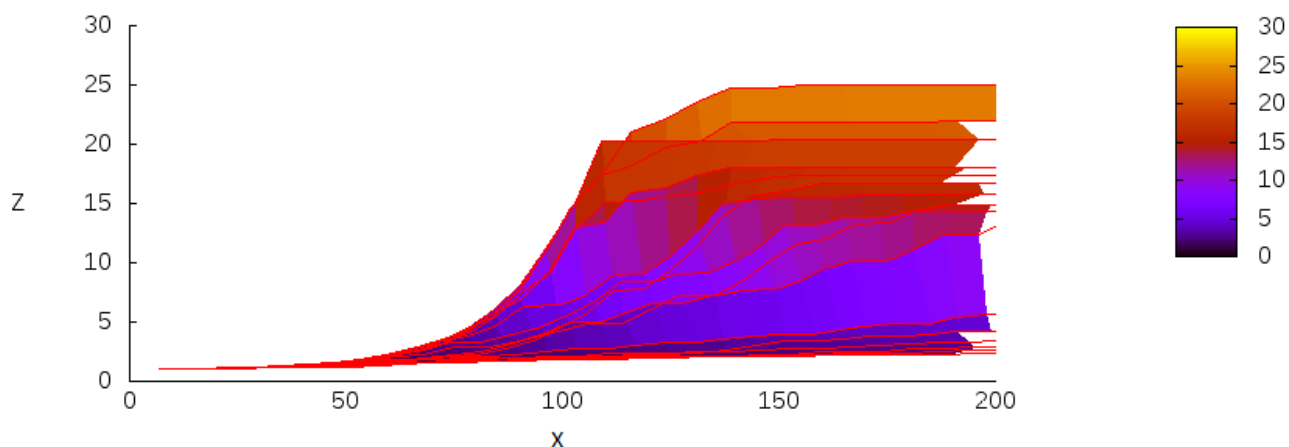


Рисунок 4а – Профильная проекция поверхности значений целевой функции, нормированной по ее минимальному значению в ходе оптимизации методом Хука-Дживса

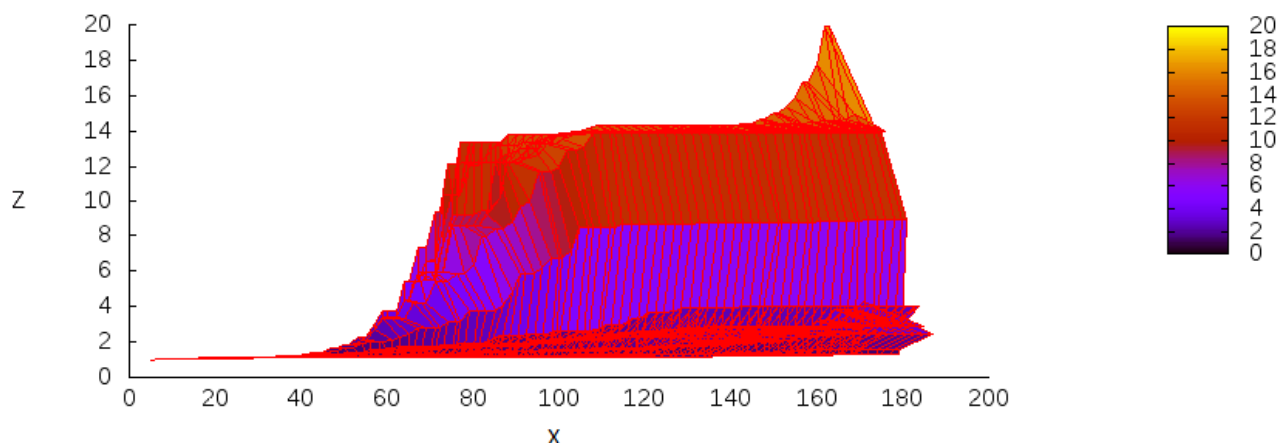


Рисунок 4б – Профильная проекция поверхности значений целевой функции, нормированной по ее минимальному значению в ходе оптимизации методом Нелдера-Мида

Из рисунка 4 очевидно, что второй алгоритм оптимизации является более быстрым, чем первый, поскольку у него выход на «плоскую» область происходит при 80 вызовах целевой функции в программе, тогда как у первого алгоритма — при 150.

Для определения критического значения допустимого отклонения функции ограничений, то есть такого значения отклонения, при превышении которого «улучшение» целевой функции происходит незначительно (тангенс угла касательной, проведенной в такой точке, равен 1), следует рассмотреть проекцию поверхности на плоскость «Допустимое отклонение»-«Значение функции» (см. рисунок 3), то есть фронтальные проекции поверхностей, представленных на рисунке 5.

Относительно показанных на рис.5 графиках следует заметить, что для первого алгоритма критическое значение допустимого отклонения равно приблизительно 5%, а для второго алгоритма — 15%. На первый взгляд может показаться, что отклонение в 15% недопустимо велико для задач оптимизации в области микроэлектроники, однако не стоит забывать, что выбран двухстадийный поиск, то есть на второй стадии это отклонение в 15% с большой вероятностью будет скорректировано.

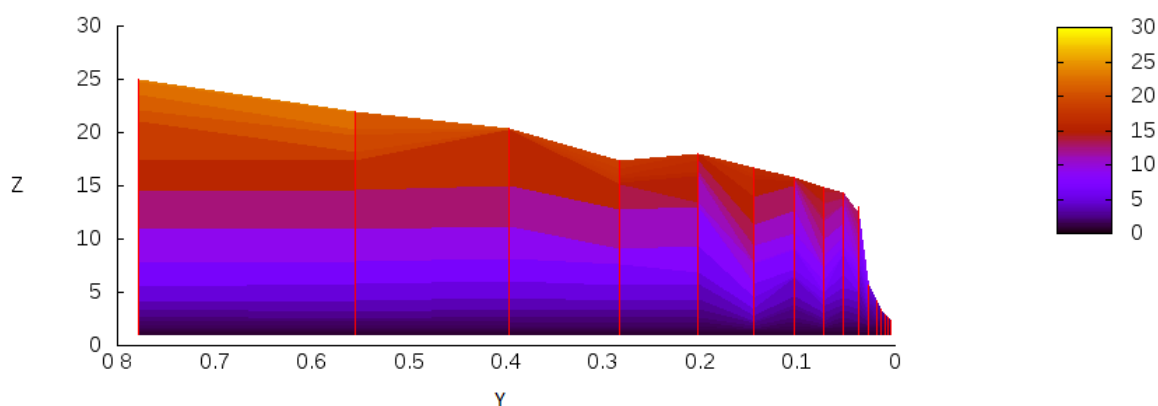


Рисунок 5а – Фронтальная проекция поверхности значений целевой функции, нормированной по ее минимальному значению в ходе оптимизации методом Хука-Дживса

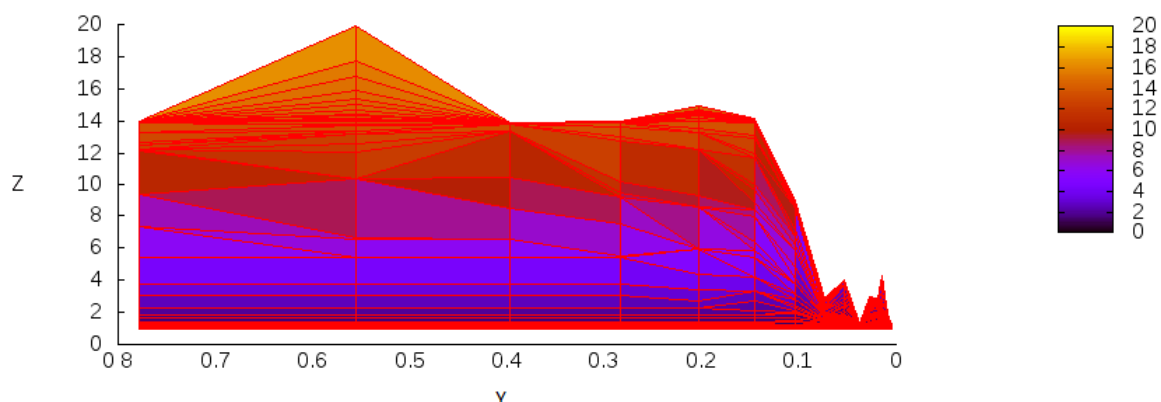


Рисунок 5б – Фронтальная проекция поверхности значений целевой функции, нормированной по ее минимальному значению в ходе оптимизации методом и Нелдера-Мида

Таким образом, после выполненного анализа алгоритмов, можно сделать предположение, что алгоритм Нелдера-Мида является лучшим среди рассмотренных алгоритмов для решения поставленной задачи оптимизации режимов технологических операций.

Для подтверждения правильности этого предположения задача оптимизации была решена обоими алгоритмами. Для каждого алгоритма было установлено максимальное число итераций – 100 и допустимое отклонение в 15%. Исходный и результирующий концентрационные профили примеси, полученные после проведения оптимизации, показаны на рисунке 6.

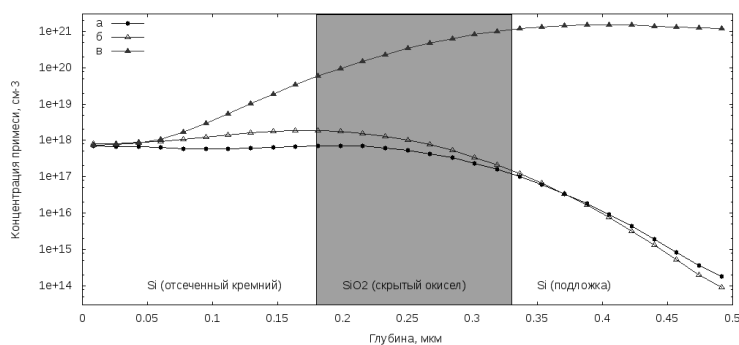


Рисунок 6 – Концентрационный профиль примеси в кремниевой подложке до (а) и после оптимизации методами Хука-Дживса (б) и Нелдера-Мида (в)

Из рисунка 6 следует, что алгоритм Нелдера-Мида в частном случае является предпочтительным.

Концентрации примеси на границе скрытого окисла и отсеченного кремния, то есть значений целевой функции до и после проведения оптимизации обоими алгоритмами, представлены в таблице 1. Дополнительно для оценки скорости решения задачи оптимизации обоими алгоритмами в ней приведено количество вызовов функций в программе.

Таблица 1 – Значения целевой функции до и после оптимизации

	До оптимизации	После оптимизации	Количество вызовов функции в программе
Алгоритм Хука-Дживса	$7,14 \times 10^{17}$	$1,86 \times 10^{18}$	481
Алгоритм Нелдера-Мида	$7,14 \times 10^{17}$	$5,81 \times 10^{19}$	178

Из рисунка 6 и таблицы 1 видно, что алгоритм Хука-Дживса позволил увеличить значение целевой функции в 6,2 раза за 481 вызовов функции, в то время как алгоритм Нелдера-Мида обеспечил ее увеличение в 80,3 раза, затратив всего 178 вызовов целевой функции.

Таким образом, исходя из описанных выше результатов, алгоритм Нелдера-Мида является наиболее быстрым и удовлетворяет наложенным требованиям для решения оптимизационной задачи данного класса.

4 Оптимизация одномерного концентрационного профиля с использованием системы TCAD “SYNOPSYS”

На основе полученных результатов было рассмотрено решение поставленной выше задачи оптимизации с помощью разработанной методики, используя средства моделирования в системе TCAD Synopsys. Для обеспечения меньших временных затрат оптимизация была выполнена на одномерной модели КНИ *n*-МОП-транзистора.

В таблице 2 представлены рекомендованные режимы технологических операций ионной имплантации примеси после выполнения оптимизации по разработанной методике. Поскольку время выполнения оптимизации зависит главным образом от количества вызовов процедуры расчета структуры КНИ МОП-транзистора (расчета целевой функции), то для временной оценки каждой стадии представлены количества вызовов целевой функции и функции ограничения в программе.

Таблица 2 – Результаты оптимизации одномерного концентрационного профиля

	До оптимизации	После оптимизации 1-й стадии	После оптимизации 2-й стадии
Доза 1-й стадии операции ионной имплантации, см^{-2}	$1,2 \times 10^{13}$	$3,2 \times 10^{13}$	$3,2 \times 10^{13}$
Энергия 1-й стадии операции ионной имплантации, кэВ	70,0	61,8	61,8
Доза 2-й стадии операции ионной имплантации, см^{-2}	$7,0 \times 10^{12}$	$7,0 \times 10^{12}$	$6,7 \times 10^{12}$
Энергия 2-й стадии операции ионной имплантации, кэВ	15,0	15,0	17,0
Количество вызовов функции в программе	-	188	68

Результаты одномерного моделирования КНИ *n*-МОП-транзистора с учетом режимов, указанных в таблице 2, представлены на рисунке 7. Показаны профили распределения акцепторной примеси по глубине кармана кремниевой пластины в стандартном технологическом процессе; с использованием режимов, полученных после 1-й стадии алгоритма оптимизации; с использованием режимов, полученных после 2-й стадии алгоритма оптимизации.

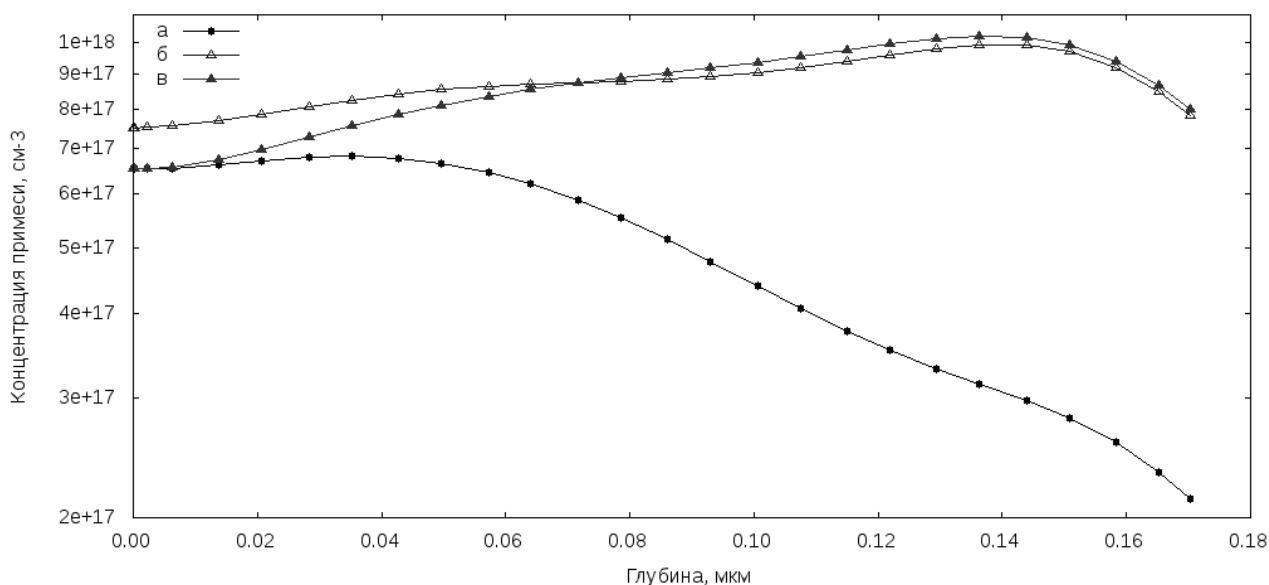


Рисунок 7 – Концентрационный профиль акцепторной примеси в кармане кремниевой пластины при одномерном моделировании (а – профиль при стандартном технологическом процессе, б – профиль после выполнения 1-й стадии оптимизации, в – профиль после выполнения 2-й стадии оптимизации)

Как видно из рисунка 7, на первой стадии оптимизации произошло резкое увеличение донной концентрации акцепторной примеси (см. таблицу 3), причем концентрация поверхностной примеси также увеличилась, но незначительно (таблица 3). Последующая вторая стадия позволила полностью скомпенсировать отклонение в поверхностной концентрации, и даже немного повысить донную концентрацию вместо ожидаемого ее уменьшения.

В таблице 3 представлены численные значения концентраций акцепторной примеси вблизи поверхности кремниевой пластины, вблизи скрытого окисла, а также отклонения от их первоначальных значений после одномерного моделирования.

Таблица 3 – Результаты одномерного моделирования

	До оптимизации	После оптимизации 1-й стадией	Отклонение, %	После оптимизации 2-й стадией	Отклонение, %
Поверхностная концентрация примеси, см^{-3}	$6,52 \times 10^{17}$	$7,50 \times 10^{17}$	15	$6,52 \times 10^{17}$	~ 0
Концентрация примеси вблизи скрытого окисла, см^{-3}	$2,13 \times 10^{17}$	$7,81 \times 10^{18}$	266,2	$7,99 \times 10^{18}$	274,7

Таким образом, разработанная методика позволила увеличить значение целевой функции, в качестве которой была выбрана концентрация акцепторной примеси в кармане вблизи скрытого окисла, более, чем в 3 раза, и при этом обеспечить незначительное (~0%) отклонение функции ограничений от первоначального значения.

5 Проверка полученных результатов на двумерной модели КНИ N-МОП-транзистора

Рассчитана двумерная модель КНИ n-МОП-транзистора и показано улучшение его электрофизических параметров по сравнению с их значениями до оптимизации. Результаты двумерного моделирования КНИ n-МОП-транзистора с учетом режимов, указанных в таблице 2, представлены на рисунке 8. Показаны профили распределения акцепторной примеси по глубине кармана кремниевой пластины в стандартном технологическом процессе, с использованием режимов, полученных после 2-й стадии алгоритма оптимизации.

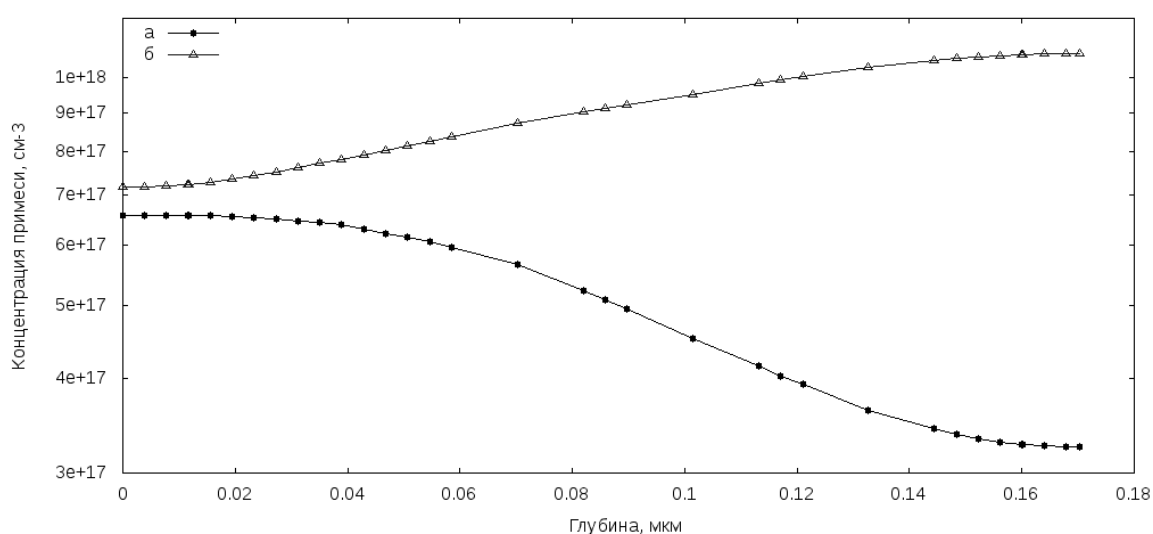


Рисунок 8 – Концентрационный профиль акцепторной примеси в кармане кремниевой пластины при двумерном моделировании
(а – при стандартном технологическом процессе, б – после выполнения оптимизации)

Как видно из рисунка 8, при двумерном моделировании отклонение концентрации акцепторной примеси вблизи поверхности кремниевой пластины составило 8,88% (см .таблица 4). Поскольку увеличение точности расчетов двумерной модели не уменьшает отклонение, то можно прийти к выводу, что такое отклонение возникает в результате эффектов перераспределения легирующей примеси вдоль поверхности кремниевой пластины, которые, естественно, не учитывались при одномерном моделировании.

В таблице 4 представлены численные значения концентраций акцепторной примеси вблизи поверхности кремниевой пластины, вблизи скрытого окисла, а также отклонения от их первоначальных значений после двумерного моделирования.

Таблица 4 – Результаты двумерного моделирования

	До оптимизации	После оптимизации	Отклонение, %
Поверхностная концентрация примеси, см^{-3}	$6,59 \times 10^{17}$	$7,17 \times 10^{17}$	8,9
Концентрация примеси вблизи скрытого окисла, см^{-3}	$3,25 \times 10^{17}$	$1,08 \times 10^{18}$	232,1

Однако, прежде чем делать окончательные выводы, необходимо проанализировать непосредственно электрофизические параметры полученного КНИ *n*-МОП-транзистора, которые и являются наиболее важными в задаче оптимизации.

На рисунках 9а,б показаны графики сток-затворных характеристик КНИ *n*-МОП-транзистора до и после применения рекомендованных режимов технологических операций при напряжениях на стоке 0,1 В и 2,5 В.

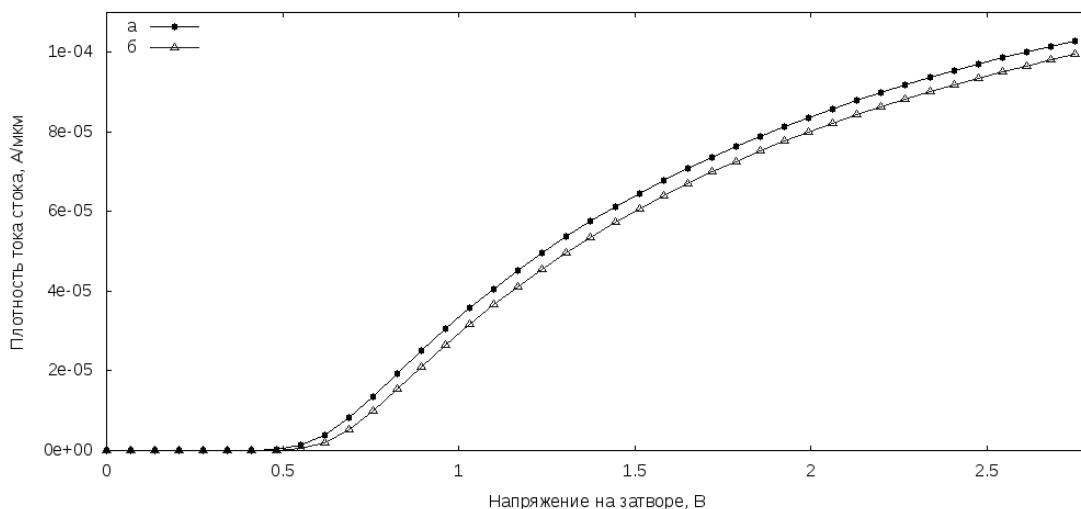


Рисунок 9а – Сток-затворные характеристики КНИ *n*-МОП-транзистора, полученного в стандартном техпроцессе (а) и полученного с учетом предложенных режимов технологических операций (б) при напряжении на стоке 0,1 В

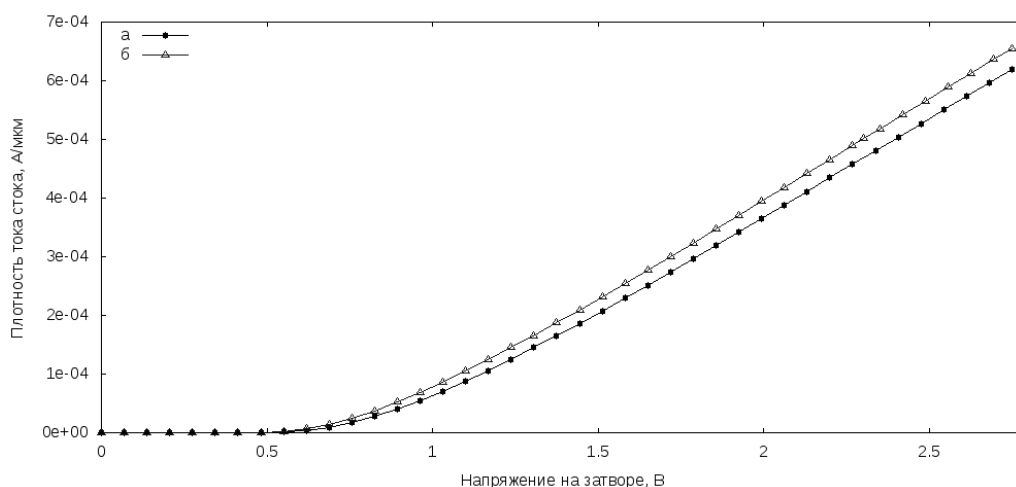


Рисунок 9б – Сток-затворные характеристики КНИ *n*-МОП-транзистора полученного в стандартном техпроцессе (а), и полученного с учетом предложенных режимов технологических операций (б), при напряжении на стоке 2,5 В

В таблице 5 приведены численные значения пороговых напряжений и токов насыщения основного транзистора до и после оптимизации режимов операций ионных имплантаций. Также показаны отклонения этих значений от первоначальных.

Таблица 5 – Электрофизические параметры основного транзистора

	До оптимизации	После оптимизации	Отклонение, %
Пороговое напряжение при $U_{ds} = 0,1 \text{ В, В}$	0,591	0,636	7,6
Плотность тока насыщения при $U_{ds} = 0,1 \text{ В, А/мкм}$	$1,03 \times 10^{-4}$	$9,94 \times 10^{-5}$	3,5

Пороговое напряжение при $U_{ds} = 2,5 \text{ В}$	0,855	0,894	4,6
Плотность тока насыщения при $U_{ds} = 2,5 \text{ В}$, А/мкм	$6,55 \times 10^{-4}$	$6,19 \times 10^{-4}$	-5,5

В заключение следует рассмотреть сток-затворную характеристику “донного” транзистора, являющуюся основной для данной задачи. Такая характеристика изображена на рисунке 10.

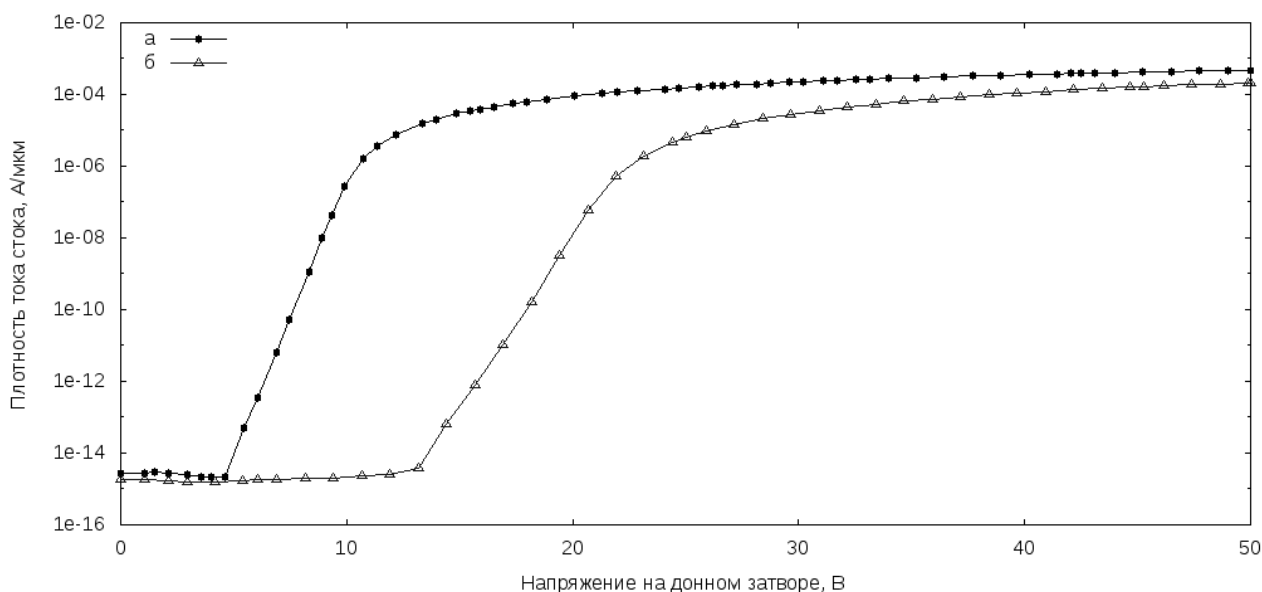


Рисунок 10 – Сток-затворная характеристика “донного” транзистора (а – до оптимизации, б – после оптимизации)

В таблице 6 приведены численные значения порогового напряжения и плотности тока насыщения “донного” транзистора до и после оптимизации режимов операций ионных имплантаций. Также показаны отклонения этих значений от первоначальных.

Таблица 6 – Электрофизические параметры “донного” транзистора

	До оптимизации	После оптимизации	Отклонение, %
Пороговое напряжение при $U_{ds} = 2,5 \text{ В}$	13,9	29,0	108,6
Плотность тока насыщения при $U_{ds} = 2,5 \text{ В}$, А/мкм	$4,80 \times 10^{-11}$	$2,11 \times 10^{-11}$	-56,0

Из таблицы 6 следует, что после оптимизации, как пороговое напряжение, так и плотность тока насыщения донного транзистора существенно изменились (на 108,6% и на -56,0% соответственно). По сравнению с пороговым напряжением, полученным в работе [1], значение порогового напряжения, достигнутое в настоящей работе, существенно увеличилось (с 57% до 108,6%). Однако при этом получено большое отклонение параметров основного транзистора от первоначальных (7,61% против 1,1%). Одним из способов снижения этого отклонения является выполнение оптимизации на двухмерной модели КНИ МОП-транзистора, но этот процесс сопряжен с большими временными затратами.

Заключение

Таким образом, предложена методика поиска приемлемого метода оптимизации, а также определения допустимого отклонения функций ограничений от ее первоначальных значений для двухстадийного поиска. Наиболее подходящим методом с точки зрения временных затрат для решения задачи оптимизации, поставленной в [1], оказался метод Нелдера-Мида. С использованием этого метода выполнена успешная оптимизация структуры КНИ n -МОП-транзистора, в результате чего достигнуто увеличение порогового напряжения “донного” транзистора более, чем в 2 раза, с отклонениями пороговых напряжения и плотности токов насыщения при напряжениях на стоке 0,1 В и 2,5 В от первоначальных значений не более 7,6%. В целях снижения отклонений параметров основного транзистора необходимо выполнять оптимизацию на более точной, двухмерной модели.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (грант НШ-2903.2014.9)

Литература

1. Глушко А.А., Юлкин А.С. Особенности оптимизации технологических режимов производства КНИ КМОП СБИС по критерию стойкости к воздействию спецфакторов// Труды НИИСИ РАН. Математическое и компьютерное моделирование сложных технических систем: теоретические и прикладные аспекты. Т.3. №1. Москва, Издательство «НИИСИ РАН», 2013. с. 20-23.
2. Юлкин А.С. Оптимизация технологических режимов производства КНИ КМОП СБИС по критерию стойкости к воздействию спецфакторов// Сборник трудов 15-й Молодежной международной научно-технической конференции «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2013» - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. - С. 425-428.
3. Коршунов Ф.П., Богатырев Ю.В., Вавилов В.А. Воздействие радиации на интегральные микросхемы. Мн.: Наука и техника, 1986 — 254 с.
4. Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем. М.: Мир, 1989, - 630 с., ил.
5. Моделирование элементов и технологических процессов. Под ред. П. Антонетти, Д. Антониадиса, Р. Даттона, У. Оулдхема. М.: Радио и связь, 1988. - 496 с., ил.
6. Пшеничный Б.Н., Данилин Ю.М. Численные методы в экстремальных задачах. М: «Наука», 1975, - 380 с.

МЕХАНИЗМ СИНХРОНИЗАЦИИ КОНТЕНТА ДЛЯ НЕУПРАВЛЯЕМОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ (CDN)

Заникова Б.Н.

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф. Семенцов С.Г.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

CONTENT SYNCHRONIZATION MECHANISM FOR CONTENT DELIVERY NETWORK (CDN) IN THE INTERNET

Zanikova B.N.

Supervisor: prof., Dr. Sementsov S.G.

MSTU, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматривается структура сети доставки контента (CDN). Описаны основные модули CDN и механизм взаимодействия между модулями. Разработан алгоритм публикации и синхронизации асетов между центральным узлом (core) и региональными узлами (midorigin). Подробно описана реализация модуля паблишер для публикации контента в CDN.

Abstract

This article discusses the structure of content delivery network (CDN). The basic modules of CDN and the mechanism of interaction between modules have been described. The algorithm of publication and synchronization between the central node (core) and regional nodes (midorigin) has been developed. Described in detail the implementation of the module publisher for publishing content on the CDN.

Введение

Популярность онлайн-видео в сети интернет неуклонно растет каждый год по всему миру. Миллионы пользователей уже не могут представить сеть Интернет без популярных видео-хостингов подобных YouTube. Появляются новые web-ресурсы позволяющие пользователям смотреть фильмы, любимые сериалы и тв-шоу с экранов персональных компьютеров. Так, с 2010 по 2013 год доля потребителей, которые хотя бы раз в неделю смотрели видео в Глобальной сети, выросла с 53% до 60%.

С развитием техники расширился и спектр устройств, на которых стало возможно смотреть различное видео из сети – смартфоны, планшетные компьютеры, телевизоры нового поколения с прямым подключением к Интернету. Современная технология доставки видеоконтента Over the Top (OTT – термин можно интерпретировать как «передача по неуправляемой сети Интернет») стала прорывной технологией в мире цифрового телевидения, благодаря тому, что она расширяет рамки пользования услугами с одного стационарного устройства (персонального компьютера или приставки) до всего спектра современных устройств, подключенных к Интернету и способных отображать информацию на дисплее. Однако доставка через неуправляемую сеть несет свои ограничения. Скорость доставки видео сильно влияет то, насколько далеко пользователь находится от сервера вещания. Это происходит из-за того, что при использовании технологии TCP/IP [1], применяемой для распространения информации в сети Интернет, задержки при передаче информации зависят от количества маршрутизаторов, находящихся на пути между источником и потребителем контента.

Размещение контента между несколькими географически разнесенными серверами сокращает сетевой маршрут передачи данных и делает загрузку контента быстрее с точки зрения пользователя. Такая распределенная система серверов называется сетью доставки контента или CDN [2]. Использование CDN существенно увеличивает скорость скачивания контента из сети Интернет. Конечные пользователи испытывают меньшую задержку при загрузке контента, отсутствие резких изменений скорости загрузки и высокое качество потока данных. Технология CDN способна предотвратить задержки при передаче данных,

возможные прерывания связи и потери на перегруженных каналах и стыках между ними. Управление нагрузкой при передаче сетевого трафика позволяет разгрузить магистраль и узлы сети, распределив возникающую нагрузку между удалёнными серверами. Основной проблемой при распределении нагрузки между узлами CDN является метод-механизм синхронизации контента между центральным узлом (core) и региональными узлами (midorigin).

1 Описание архитектуры CDN

Архитектура платформы доставки контента (CDN) отвечает требованиям доставки потокового и файлового видеоконтента на узловые точки сети (midorigin) и пограничные узлы сети (edge).

Архитектура решения имеет блочную структуру и обладает гибкостью при технической реализации и масштабировании решения. При проектировании архитектуры учтены текущие тенденции в разработке программных продуктов, модулей и требования к высоконагруженным системам, позволяющим поддерживать бизнес-процессы в сети Оператора без отказов в обслуживании даже в часы наибольшей нагрузки (ЧНН) [3].

По функциональным признакам CDN разделен на несколько областей: ядро (Core), серверы агрегации (Midorigin) и серверы раздачи контента (Edge).

- Ядро (Core) - сетевой операционный узел (техническая площадка оператора с подключенными магистральными и региональными каналами связи).
- CDN Origin - специализированный выделенный сервер (сетевое хранилище данных) с полной копией контента каталога Stream и синхронизированный с MidOrigin серверами в сети.
- CDN MidOrigin - специализированный выделенный сервер в рамках сетевого макрорегиона Оператора.
- CDN Edge - специализированный выделенный сервер на границе сети Оператора, выделенный отдельный узел в сети доставки контента.
- CDN MediaControlManager – программное обеспечение управления CDN-сетью (Front-End и Back-End).
- CDN Redirector – программное обеспечение маршрутизацией запросов в CDN сети (Redirector).
- CDN Supervisor - специализированный хост, не участвующий в передаче контента, но координирующий потоки с узлами сети CDN (Node).

Серверы агрегации (MidOrigin) [4] устанавливаются в крупных региональных узлах и предназначены для промежуточного кэширования контента, что позволяет снизить время отклика и повысить доступность контента для серверов раздачи данного региона.

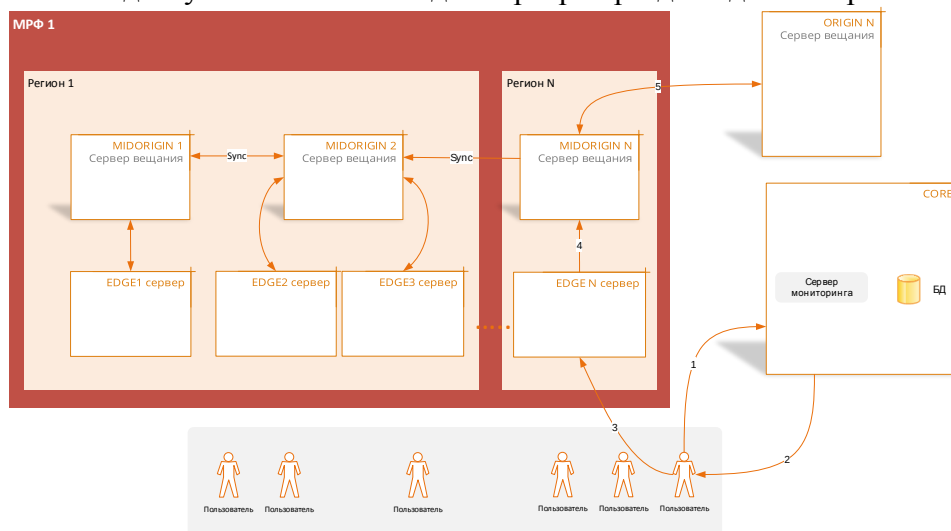


Рисунок 1 – Структурная схема платформы доставки контента

Серверы раздачи (Edge) устанавливаются в местах наибольшей концентрации конечных пользователей. В общем случае, контент, полученный от поставщика, сначала агрегируется в сети CDN, а затем доставляется конечному потребителю с ближайшего к нему Edge сервера. При этом под «ближайшим» понимается сервер, обладающий лучшей комплексной сетевой метрикой. Оптимальный сервер не обязательно будет наиболее близким географически к ближайшему узлу MidOrigin. За перенаправление запросов пользователей на оптимальный сервер раздачи отвечает Redirector. Компоновка ядра, точки установки серверов агрегации, количество и состав узлов раздачи выбирается исходя из прогнозируемых показателей нагрузки и предполагаемой топологии сети. Общая блок-схема решения CDN представлена на рисунке 1.

2 Механизм синхронизации контента

Единицей контента в сети CDN является ассет(asset) [5], который представляет собой набор файловых ресурсов (один или более) объединенных в одну логическую структуру (директория на диске). Помимо самого контента имеется также метаданные, в которых находится описание и вспомогательная информация о контенте. Метаданные хранятся в кеше - независимой системе хранения (distributedcache).

Каждый ассет имеет следующие статусы:

- **READY** - данный ассет размещен в точке доступной системе синхронизации и подготовлен к публикации;
- **PUBLISHING** - данный ассет в режиме публикации, данные перекачиваются в региональные хранилища;
- **PUBLISHED** - система синхронизации получила подтверждение от всех региональных дата-центров, о том, что отгрузка контента успешно произведена;
- **PARTIAL_PUBLISHED** - ошибочное состояние - ассет не был загружен во все региональные дата-центры или был загружен частично, вывод из этого состояния ассета возможно через удаление (purge) во всех центрах и повторной зачатки контента
- **ARCHIVE** - ассет помечается этим статусом оператором, перестает быть активно отображаемым в статистиках и является кандидатом на удаление из системы

Процесс работы с системой синхронизацией контента был реализован следующим образом:

- публишер выбирает на файловой системе (assetsstorage) предварительно подготовленный ассет для публикации на midOrigin'ы
- в системе проставляются метаданные по ассету и он переводится в состояние **READY**
- публишер выбирает профиль синхронизации данного ассета
- публишер инициирует публикацию ассета
- ассет переводится в состояние **PUBLISHING** и начинает по связанным с профилем публикации транспортом отгрузку контента
- система мониторит процесс отгрузки контента и показывает состояние синхронизации
- когда все midOrigin'ы рапортовали об окончании загрузки (успешной), система переводит ассет в состояние **PUBLISHED**
- если данный ассет более не интересен публишеру, в любой удобный момент времени ассет переводится им в состояние **ARCHIVE** (для дальнейшего удаления)
- если какой либо из midOrigin'ов или центральный узел считает, что ассет не был загружен корректно, он переводится системой в состояние **PARTIAL_PUBLISHED** и такой ассет не считается опубликованным, из этого состояния ассет можно вывести только удалив все его инстанции на midOrigin'ах и републикации

Система синхронизации контента базируется на предоставлении двухуровневого API - публичное API и базовое API используемое модулями системы, публичное API является подмножеством базового.

Система состоит из следующих модулей:

Distributedcache

Кэш является хранилищем метаданных об ассетах с которыми система взаимодействовала. Также кэш выполняет функцию хранения настроек системы. На этапе запуска система, при прогреве кэша, в него загружается первоначальная информация, из файлов конфигураций, о профилях подключенных к системе публикаций.

Метаинформация содержащаяся в кешэ:

- имя ассета
- местоположение ассета (изначальное местоположение на assetsstorage)
- значение для данного ассета когда и в какой статус данный ассет был переведен
- описание - текстовый комментарий, генерируется автоматически и поясняет почему данный ассет был переведен в то или иное состояние. В случае возникновения проблемы с обработкой данного ассета, содержит текстовое описание проблемы

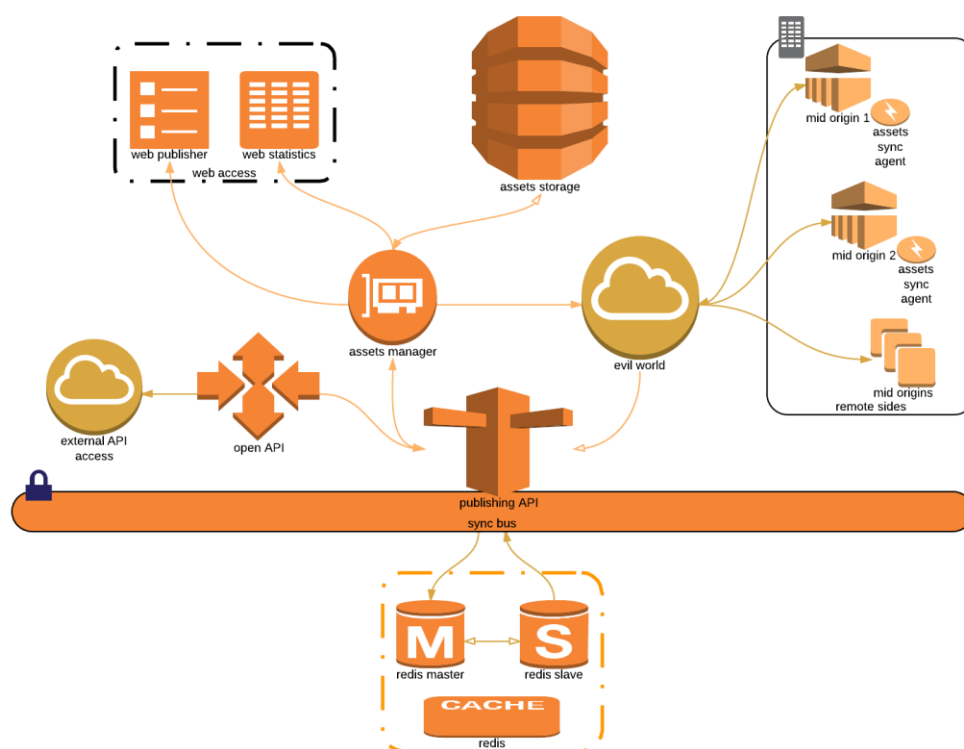


Рисунок 2 – Архитектура платформы доставки контент

syncbus

Специальный демон, основная цель которого осуществлять идентификацию (пользователя/системы) и последующую маршрутизацию запросов на уровень публичное/полное API.

assetsmanager

Демон (python) осуществляющий взаимодействие syncagent'ов, webpublisher и webstatistics на базе полного внутреннего API.

- подготовка ассета к публикации

- постановка задач на публикацию заданного ассета по заданному профилю
- отслеживание процесса копирования данных
- сбор статистики

Протокол по которому происходит взаимодействие **assetsmanager** и других подсистем. **assetssyncagent**

Демон (python) размещенный на географически удаленной площадке, осуществляющий транспорт данных от системы публикации до конкретной точки размещения данных на площадке.

- heartbeat взаимодействие с **assetsmanager**
- подготовка точки приема данных на конкретной площадке
- транспортировка и размещение данных на площадке
- сбор и пересылка статистики в **assetsmanager**

web publisher

Демоны (python) поддерживающие функционал публикации контента через web браузер.

- просмотр доступных к публикации ассетов
- выбор ассета для публикации
- инициация публикации по заданному профилю на географически удаленные площадки
- отображение статуса публикуемого ассета
- отображение статистики публикаций контентов по заданному профилю
- отображение не опубликованных по тем или иным причинам ассетов

Заключение

Разработан алгоритм публикации и синхронизации ассетов между центральным узлом (core) и региональными узлами (midorigin). Разработан модуль публишер для публикации контента в CDN. Разработан механизм взаимодействия между внешней системой публикации контента и модулем публишера CDN, который осуществляет публикацию ассета в CDN.

Литература

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/TCP/IP>
2. <http://hi-load.php.com.ua/topic/32/>
3. http://sernam.ru/t_23.php
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Content_delivery_network
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_asset

ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Загуменнов Ф. А.

Научный руководитель: Юдин А.В.

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РЛ6, Москва, Россия

SOFTWARE VIRTUAL REALITY INTERFACE FOR EMBEDDED SYSTEMS

Zagumennov F. A.

Supervisor: Yudin A.V

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Аннотация

В статье рассматриваются возможности связи и взаимодействия микроконтроллеров с программным движком виртуальной реальности. Подробно исследована связь между микроконтроллером STM32L152 и движком Run3 через протокол USB. Кратко представлено руководство по реализации данного способа на любом микроконтроллере и любом приложении. В заключении представлены рекомендации по применению технологии в других приложениях.

Annotation

The article is about opportunities of a connection between MCU and the game engine. The connection between the STM32L152 MCU and the Run3 game engine using USB is described in detail. Briefly is described how to realize this technique on any microcontroller and any computer application, including non-gaming applications. In conclusion, there are advices how to use this technology in other applications.

Введение

Трёхмерные программные приложения перестали быть чем-то уникальным. В ближайшем будущем границы между виртуальным и реальным миром будут стираться. Всё большее количество трёхмерных приложений не использует кнопочные органы управления, они реагируют на свойственные человеку движения. Одновременно увеличивается количество приложений, позволяющих синхронизировать трёхмерные виртуальные движения с движениями механизмов в реальном мире. Самым главным звеном для синхронизации и сопряжения работы отдельных элементов подобных систем служит взаимосвязь, интерфейс их аппаратной и программной частей. В статье затрагивается тема связи современных микроконтроллеров и программ виртуальной реальности.

В наши дни существует множество устройств ручного ввода и управления техникой, такие как клавиатура, мышь, джойстик и проч., многие из которых изобретены еще полвека назад. Для ввода уже обработанной информации данные могут передаваться через известные программные протоколы, присутствующие почти на всех вычислительных устройствах. Многие персональные компьютеры (ПК) в наше время выпускаются без портов LPT и COM, через которые сравнительно просто можно передавать уже обработанные данные. Новизна исследования заключается в том, что приведённая ниже технология позволяет организовать связь через порт USB с предварительной обработкой данных между движком виртуальной реальности и любым информационным объектом электроники.

Для демонстрации принципов предлагаемого подхода был выбран 32-битный микроконтроллер МК STM32L152 на плате STM32L-Discovery. Данный выбор обусловлен современностью микроконтроллера, доступностью и большим количеством аппаратных возможностей и портов [3]. Микроконтроллер (МК) связан с движком виртуальной реальности Run3, автором которого я являюсь, на котором реализовано взаимодействие с виртуальным миром при помощи получения данных с аппаратной части, и обратная взаимосвязь – управление аппаратной частью при помощи виртуальных объектов и событий.

Сопряжение осуществляется посредством виртуального порта RS232 через порт USB. Данные пересылаются в виде инструкций к исполнению, обрабатываются программным движком и исполняются в реальном времени. Обеспечивается обратная связь с микроконтроллером, куда пересылаются данные при происхождении в игровом процессе определённых действий (например, нажатие виртуального переключателя). Движок исполняет инструкции при помощи скриптовой подсистемы Lua, файлы которого исполняет движок, обрабатывая запросы микроконтроллера.

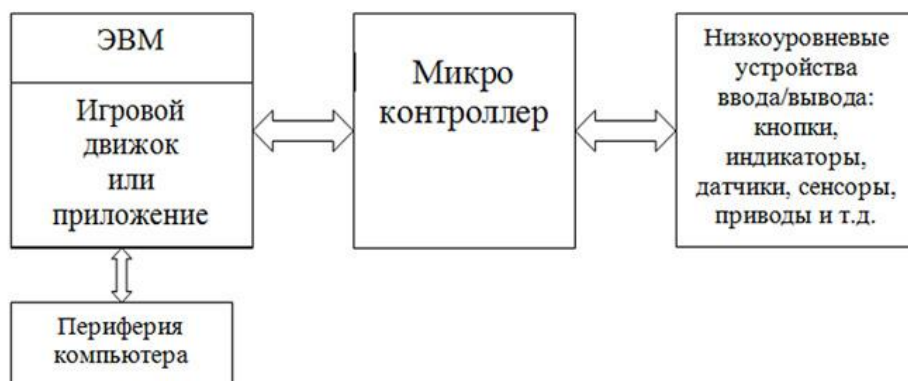


Рисунок 1 – Структурная схема системы

Данные на микроконтроллере обрабатываются прошивкой. В зависимости от полученной информации производятся определённые действия, например, установка состояния определённого порта и т.д. Описанный метод представлен в виде структурной схемы (рис.1).

1 Получение данных с микроконтроллера

STM32L152 имеет аппаратную поддержку порта USB, которая реализована на ПК в виде виртуального порта RS232. При написании реализации описанного метода использовался готовый проект на STM32L152 с поддержкой USB[1]. В коде была оставлена лишь поддержка данного интерфейса. Для связи используется стандартная библиотека STM32_USB FS Device Driver от ST.

Стоит добавить, что для работы с аппаратным USB STM32 требуется установка внешнего кварцевого резонатора на 8 МГц. Данная реализация позволяет на любом компьютере иметь доступ к такому порту, принимать и пересылать на него данные. Для работы с COM-портом в состав Run3 был добавлен класс CSerial [2], реализующий простой обмен данными через порт. Таким образом, при правильном подключении STM32 через USB движок виртуальной реальности уже имеет возможность программно связываться с STM32.

2 Обработка данных

В этой части рассматриваются возможности обработки данных как на ПК, так и на микроконтроллере. В движок виртуальной реальности встроен дополнительный скриптовый язык программирования Lua, который применяется для обработки игровых событий. Целесообразно использовать его и для связи с функциями приёма и передачи данных. Функция передачи данных посимвольно отправляет строку через (виртуальный) последовательный порт. Примерный фрагмент кода с реализацией для использования совместно с Lua (код для приложения), данный код будет исполняться при регистрации функции в системе скриптов Lua и вызове этой функции из скрипта. Регистрация осуществляется следующим образом (табл. 2.1-2.2):

Таблица 2.1 - Код регистрации функции Lua

```
lua_register(pLuaState, "COMSendData", COMSendData)
```

Таблица 2.2 – Код функции

```
static int COMSendData(lua_State* pL){
    int n = lua_gettop(pL); //проверка количества входных параметров
    if (n!=1){return 0;}
    if (lua_isstring(pL, 1)){
        String tex = lua_tostring(pL, 1); //получение строки
        if (global::getSingleton().port) //отправка строки на STM32 через COM
            global::getSingleton().port>SendData(tex.c_str(),tex.length());}
    return 1;
}
```

Приём данных на STM32 в данной реализации можно вести посимвольно. Для примера, при получении символа «а» микроконтроллер устанавливает лог. «1» на контакте, соединённом со светодиодом, что можно использовать для индикации (табл. 2.3):

Таблица 2.3 – Код приёма данных для STM32

```
switch (ts){ //данные в ts через прерывание USART, подробнее см в [1]
case 'a': {GPIO_TOGGLE(LD_GPIO_PORT, LD_GREEN_GPIO_PIN); break;}
           //включим зелёный светодиод
case 'b': {GPIO_ResetBits(LD_GPIO_PORT, LD_GREEN_GPIO_PIN); break;}
           //выключим
default:break;}
```

Микроконтроллеры STM32 с ядром ARM являются современными и динамично развивающимися. Их возможности, по сравнению с многими микроконтроллерами другой архитектуры, выше, что в первую очередь заключается в наличии аппаратной поддержки многих интерфейсов и количестве отдельных функциональных портов на один МК.

Существует множество статей, посвящённых работе с устройствами, которые могут добавить новизны в рассматриваемое приложение интерфейса. Мы ограничимся описанием обработки данных, регулирующих порты общего назначения (т.н. GPIO). При нажатии и отпускании кнопки, замыкающей лог. «1» на контакт порта, порт отправляет строку на USB, например так (табл. 2.4-2.5):

Таблица 2.4 – Макрос отправки команды

```
#define MACRO1(a1,b1,c1,d1,e1,f1,g1) if (GPIO_ReadInputDataBit(a1,b1)==1) \
    { if (g1) { \
        GPIO_SetBits(c1, d1); \ //Индикация
        usb_out(e1); \ //Вывод данных
        g1=0; \ //Переменная для установки флага
    } \
    } else { \
    if (!g1) { \
        usb_out(f1); \
        GPIO_ResetBits(c1, d1); \
        g1=1; }}
```

Таблица 2.5 – Отправка данных на ПК

```
MACRO1(GPIOC,GPIO_Pin_0,GPIOB, GPIO_Pin_4,"arun3/lua/funcs/pin0.lua
", "arun3/lua/funcs/pnn0.lua ",a);
```

Порт клавиш – С, пин – 0, порт с индикацией – В, пересылаемые значения - arun3/lua/funcs/pin0.lua при нажатии, и второе – при отпускании кнопочного переключателя.

Приведённый код для микроконтроллера позволит отправлять сообщения как, например, при нажатии, так и при отпускании кнопки, завязанной на порты ввода/вывода. Целесообразно отправлять данные в некотором формате, распознавая который, движок будет принимать определённые решения. Как одну из функций, следует встроить возможность запуска скрипта. При правильной реализации приведённый функционал обеспечит приложение всеми нужными возможностями для связи с МК.

Таблица 2.6 – frameListener

```
if (global::getSingleton().port){
global::getSingleton().port->ReadData(&a,1); //код команды
    if (a=='a'){ //команда «а» - исполнение скриптового файла
        char d[24]; // получение строки:
        global::getSingleton().port->ReadData(&d,23);
        String str = String(*&d,23);
        //проверка строки на корректность перед исполнением:
        if ((str[0]=='r')&&(str[22]=='a'))
            RunLuaScript(pLuaState,str.c_str());} //исполнение скрипта
```

В приложении виртуальной реальности нужно обрабатывать полученные данные каждый «фрейм», поэтому в программной реализации используется конструкция под названием frameListener, которая обрабатывает каждый кадр. Приведённый в табл. 2.6 код следует включить в подобную конструкцию.

3 Реализация для других МК и приложений

Первым шагом к реализации связи с МК должно стать добавление в возможности движка класса работы с выбранным портом, который присутствует на микроконтроллере. Далее следует добавить функции, которые осуществляют приём и передачу данных через порт, причём функции должны быть доступны всем другим компонентам движка. Второй шаг заключается в переводе управления обвязкой микроконтроллера с ручной (если такая присутствует) на управление через выбранный порт, с учётом выбранного формата данных.

Благодаря введению в проект этих возможностей будет реализована система, полностью аналогичная приведённой выше. Код, показанный в предыдущих частях работы, можно считать алгоритмическим, то есть, описывающим лишь принцип действия, и это позволит реализовать данный способ на любом другом МК и приложении.

4 Практический результат

Реализация данной идеи представлена на рис.2.

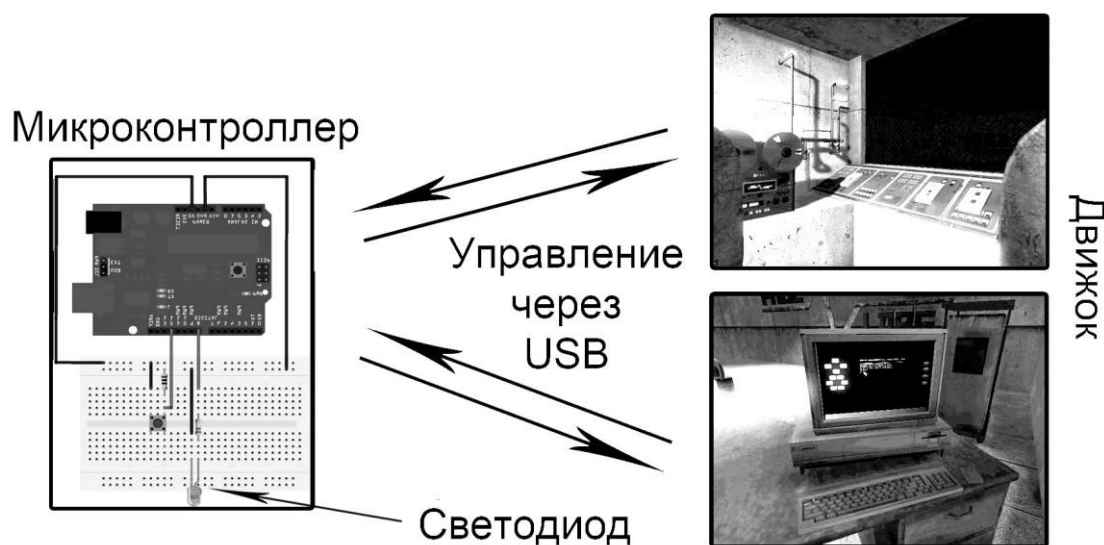


Рисунок 2 – Фотография и снимки экрана реализованной технологии

Заключение

Сфера применения подобной технологии не ограничивается созданием игровых приложений с применением новых технологий управления и взаимосвязи.

При использовании других приложений и МК следует обращать внимание на то, что связь должна быть двусторонней. Внимание следует также уделять выбору интерфейса связи. Протокол USB является наилучшим вариантом, по причине его скорости, простоты подключения и простоты работы с ним.

Таким образом, мы рассмотрели, как можно совершать обмен данными между приложением виртуальной реальности и микроконтроллером.

Литература

1. Пример реализации связи по USB для STM32L152 – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://we.easyelectronics.ru/STM32/usb-virtual-com-na-stm32l---keil-project.html> – Проверено 31.01.2014.
2. Класс CSerial для программной связи через COM-порт. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.codeguru.com/cpp/in/network/serialcommunications/article.php/c2503/CSerial--A-C-Class-for-Serial-Communications.htm> – Проверено 31.01.2014
3. Data-sheet(описание) на микроконтроллер STM32L152. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1544/SS1374/LN1041/PF248824> – Проверено 31.01.2014
4. LaMothe A., Tricks of the Windows Game Programming , 2E. — Sams, 2002.
5. Junker G., Pro OGRE 3D Programming. — Apress, 2006.