



ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2016

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ,
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ,
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ
«ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2016»,
ПОСВЯЩЁННОЙ ГОДУ ОБРАЗОВАНИЯ
В СОДРУЖЕСТВЕ НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВ

КРАСНОЯРСК, СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

15-25 АПРЕЛЯ 2016 Г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Сборник материалов
Международной конференции студентов,
аспирантов и молодых учёных
«Перспектив Свободный-2016»,
посвящённой Году образования
в Содружестве Независимых Государств

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля
2016 г.

Красноярск, 2016



ПЕРСПЕКТИВ СВОБОДНЫЙ-2016

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2016 г.

«Конструирование и технология производства радиоаппаратуры»



СПОСОБ КОНТРОЛЯ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В АНОДНОМ УЗЛЕ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА

Автахутдинов Д.Р., Петровский Н.Ю, Тен В.П., Громыко А.И.

научные руководители Тен В.П., Громыко А.И.

Сибирский федеральный университет

В статье рассмотрен способ контроля токораспределения в анодном узле алюминиевого электролизера. Приведены результаты экспериментальных исследований предложенного способа на примере электролизеров Содерберга.

Введение

Одной из нерешенных до настоящего времени задач диагностики эффективности процесса электролиза алюминия является контроль токораспределения по штырям самообжигающегося анода электролизера Содерберга.

Отсутствие приемлемых для производства средств контроля токораспределения в анодном узле создает значительные сложности в разработке оптимальных алгоритмов перестановки штырей или схем замены анодов, что отрицательно сказывается на стабильности технологического процесса электролиза алюминия.

Нарушения в работе анодов

В [1, 2] рассмотрены основные нарушения в работе самообжигающихся анодов с верхним токоподводом и меры по их предотвращению и ликвидации.

На рис.1 упрощенно показаны типичные дефекты в анодном блоке:

1 - ослабление контакта штыря с анодной шиной; 2 - закупоривание анодной массой подштыревого отверстия; 3 - перегрев анода; 4 - припекание анодной массы к анодному кожуху; 5 - припекание анода к анодному кожуху; 6-каверны в аноде; 7 - протекание массы на подошву через подштыревое отверстие; 8 - конус на подошве анода; 9 - углубления в аноде; 10 - шейки на боковой поверхности анода; 11 - горизонтальные трещины в теле анода; 12 - неровности на поверхности штырей.

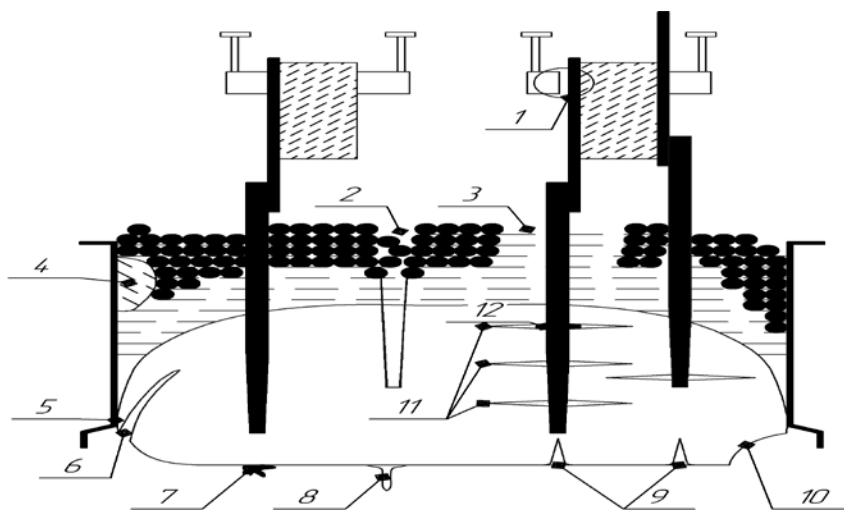


Рис.1 - Нарушения в работе анодов

Указанные отклонения сопровождаются образованием сквозных отверстий в теле анода, частичной пассивацией, перегревом отдельных штырей, локальным изменениям межполюсного расстояния, переходом металла в нестабильное состояние,

и как следствие, приводят к перераспределению тока по штырям. В результате происходит нарушение теплового режима ванны и уменьшение выхода по току.

Методы контроля токораспределения

Для количественной оценки неравномерности токораспределения по анодам электролизера используются [3,4,5] среднеквадратическое отклонение, степень перегрузки каждого штыря, коэффициенты перегрузки, таблицы (номограммы) распределения тока по штырям.

Измеряемыми параметрами для оценок принимаются: токовая нагрузка на каждом штыре; средняя сила тока по штырям, фактический ток серии. Заданные параметры: номинальная сила тока по штырям, номинальный ток серии электролизеров.

В настоящее время на производстве контроль распределения тока по анодным штырям, преимущественно, осуществляют методом «Вилки» и с помощью токоизмерительных клещей типа КЭИ-5 на основе датчика Холла с диапазоном измерения от 0 до 5000 ампер.

В обоих случаях процесс измерения продолжительный и трудоемкий, кроме того измерения токовыми клещами в штырях, прилегающих к торцам анода дают значительную погрешность из-за влияния тока в анодных спусках.

Погрешность измерения методом «Вилки» обусловлена плохим контактом щупа с боковой поверхностью штыря-штанги и малым сопротивлением участка цепи, на котором измеряется падение напряжения, пропорциональное определяемому току в штыре.

Способ контроля токораспределения в анодном и катодном узлах алюминиевых электролизеров

Авторами предложен способ и устройство реализации контроля токораспределения по анодным штырям с использованием гармоник тока серии электролизеров [6,7,8].

Для питания электролизеров типа С-8БМ используются 6-фазные мостовые выпрямители [9]. Схема состоит из двух параллельно соединенных 3-фазных выпрямителей, силовые трансформаторы которых включены «звездой» и «треугольником», в результате чего, на выходе преобразователя возникают пульсации тока серии с гармониками кратными 50 Гц и максимальной амплитудой на 12 гармонике.

Поэтому, в качестве информативного параметра для контроля токораспределения возможно использовать гармоническую составляющую частотой 600 Гц.

В предлагаемом способе силу тока измеряют с помощью индукционных датчиков, устанавливаемых на каждый токоподводящий элемент электролизера.

Затем определяется суммарный сигнал от всех измеренных элементов и находят коэффициент пропорциональности путем деления силы тока серии, измеренной на момент съема сигналов с датчика, на суммарный сигнал и с учетом коэффициента пропорциональности находится величина силы тока в каждом токоподводящем и/или токоотводящем элементе электролизера. Полученные значения кодируют и передают по линии связи в АСУ для принятия необходимых технологических воздействий.

Для реализации способа авторами разработано устройство контроля токораспределения [7] и проведены экспериментальные исследования в условиях электролизного цеха.

На рис. 2, представлена функциональная схема устройства, реализующего предлагаемый способ контроля токораспределения по токоподводящим элементам конструкции анодного узла электролизера с самообжигающимися анодами.

Устройство контроля токораспределения в анодном узле алюминиевого электролизера работает следующим образом.

Сигналы с выхода электромагнитных датчиков (3), пропорциональные силе тока в каждом из анодных штырей (2), подаются на коммутатор входных сигналов (7) через линии связи (4) электромагнитных датчиков (3) с коммутатором входных сигналов (7). Линии связи (4) в виде витых пар и электромагнитные датчики (3) устанавливаются внутри швеллера (5) до его монтажа на анодной шине (1). Электромагнитные датчики располагаются ниже анодной шины по центру плоскости алюминиевых штанг (2), подводящих ток к штырям. Швеллер (5) крепят к анодной шине (1) скобами (6), используя элемент крепления (11). Ширину швеллера (5) берут равной толщине анодной шины (1), что обеспечивает защиту электромагнитных датчиков от механического повреждения и воздействия выбросов огня при смене штырей. Сила тока в каждом из анодных штырей (2), а, следовательно, и в каждой штанге (13), подводящей ток к штырю, зависит от сопротивления контакта алюминиевой штанги (13) с анодной шиной (1) и сопротивления контакта (глубины погружения) анодного штыря с углеродистым телом анода.

С выхода коммутатора входных сигналов (7) сигналы, пропорциональные току в каждом из анодных штырей (2), поступают на вход нормализатора входных сигналов (8), где обеспечивают необходимую фильтрацию и согласование по уровню. С выхода нормализатора (8) сигналы подают на АЦП (9) для преобразования в цифровой код.

Преобразованный в АЦП (9) цифровой сигнал подают на микропроцессор (10), где рассчитывают ток, протекающий через каждый анодный штырь (2), и данные передают через устройство согласования (11) на вход АСУ (12). АСУ (12) выводит информацию на дисплей и/или печать в виде номограммы, представленной на рис. 5.

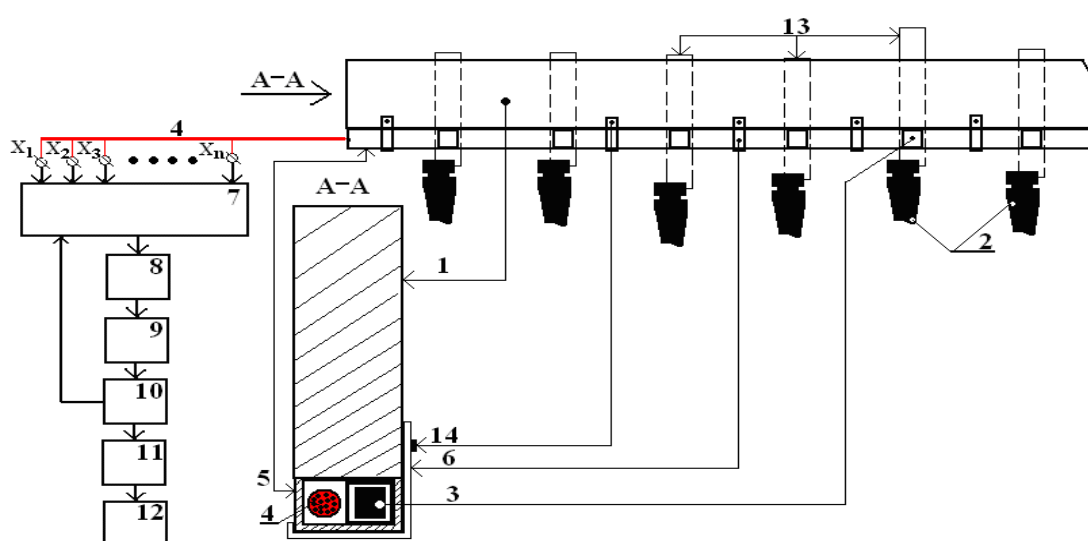


Рис.2 - Устройство контроля токораспределения в анодном узле алюминиевых электролизеров

Выводы

Положительный эффект от реализации данного способа контроля токораспределения по анодным штырям заключается в стабилизации технологического режима процесса электролиза, снижении потерь электроэнергии в анодном узле за счет своевременного устранения перекосов в распределении электрического тока.

С помощью разработанных электромагнитных датчиков впервые удалось реализовать бесконтактный метод измерения величины тока в штырях, расположенных с торцов анода вблизи анодных спусков.

Список Литературы

1. Ю.В. Борисоглебский, Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. *Металлургия алюминия*. Новосибирск: Наука, 1999. - 438 с.
2. Минцис М.Я., Крюковский В.А., Галевский Г.В. Влияние схемы ошиновки на распределение тока в подине алюминиевого электролизера // Сборник докладов VI Международного Конгресса «Цветные металлы и минералы». –Красноярск: 2014, с. 396-401.
3. Калужский Н.А., Слуцкий И.З., Скворцов А.П., Деркач А.С., Цыпкин М.Г. Распределение тока по анодам на промышленных электролизерах -Повышение эффективности электролитического производства алюминия, Л. 1985.
4. Баженов А.Е., Венков Г.А., Петров Д.С. Влияние распределения тока на качество обжига электролизеров. – Цветные металлы, 1984, №3, с. 47-49.
5. Громыко А.И., Соболев А.Н, Тен В.П. Мониторинг технологических параметров алюминиевого электролизера // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2011615948, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ, 29 июля 2011 г.
6. Громыко А.И., Ситников А.М. Способ контроля токораспределения в алюминиевых электролизерах. Пат.№ 2371524, от 27.10.2009г.
7. Громыко А.И., Никитин Ю.И., Тен В.П., Моисеев Ю.В., Марков Н.В, Голыня А.Е. Устройство контроля токораспределения в анодном узле алюминиевых электролизеров. Пат. № 2401325, от 10.10.2010г.
8. Громыко А.И., Гнителиев В.П., Матюшев Р.А., Тен В.П. Моделирование метода автоматического контроля технологического состояния алюминиевого электролизера // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2011610050, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ, 11 января 2011 г.
9. Громыко А.И., Шайдуров Г.Я. Автоматический контроль технологических параметров алюминиевых электролизеров. — Изд-во Красноярского университета. Красноярск, 1984. -240с.
10. Громыко А.И., Нефедов И.Е., Тен В.П. Устройство контроля токораспределения в алюминиевых электролизерах. Пат.№ 2484183, от 10.06.2013г.



ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ В X-ДИАПАЗОНЕ

Баранов О.Ю.

научный руководитель доц. Трегубов С.И.

Сибирский федеральный университет

Микроэлектронные устройства СВЧ конструктивно выполняются, как правило, в виде герметичных объемных модулей. Фотография и типовое расположение конструктивных элементов приведены на рисунке 1.

Одним из конструктивных параметров, влияющих на характеристика микрополосковых элементов является расстояние H между микрополосковой платой и герметизирующей крышкой. Чем выше частотный диапазон, тем сильнее указанное влияние.

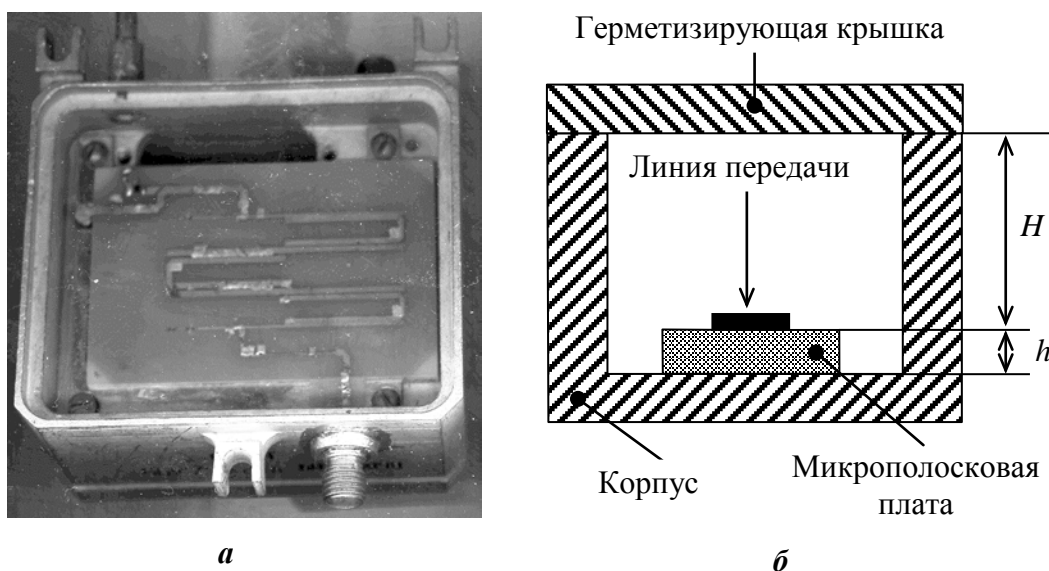


Рис.1 – Микрополосковый СВЧ модуль: а – фотография модуля, б – схематичное изображение расположения конструктивных элементов модуля

Для определения влияния расположения крышки было проведено исследование зависимости волнового сопротивления микрополосковой линии передачи (МПЛ) от расстояния H .

Моделирование осуществлялось в САПР *CST STUDIO SUITE* [1]. Выбор пакета был осуществлен исходя из: обеспечения функциональности, удобства в использовании, скорости выполнения расчетов и точности полученных результатов.

В расчетной модели было заложено следующее: материал основания МПЛ – RO4350В, материалом корпуса – алюминий, материал микрополоска – медь. При расчете ширины микрополосковой линии задавалось также ее волновое сопротивление и максимально возможные потери. Расчетная геометрическая модель приведена на рисунке 2.

Первоначально определялась ширина микрополосковой линии для значений волнового сопротивления – 25, 50 и 75 Ом. Значение 50 Ом является типовым значением для высокочастотной линии передачи [2]. Другие волновые сопротивления могут применяться для согласования входных и выходных электрических параметров активных элементов с МПЛ. Например, на топологии СВЧ микроэлектронной платы,

приведенной на фотографии (рисунок 3), можно выделить элементы линии с разной шириной, особенно в местах подключения активных элементов. Уширения МПЛ передачи часто связано с необходимостью введения подборных элементов, используемых для согласования отдельных частей СВЧ тракта.

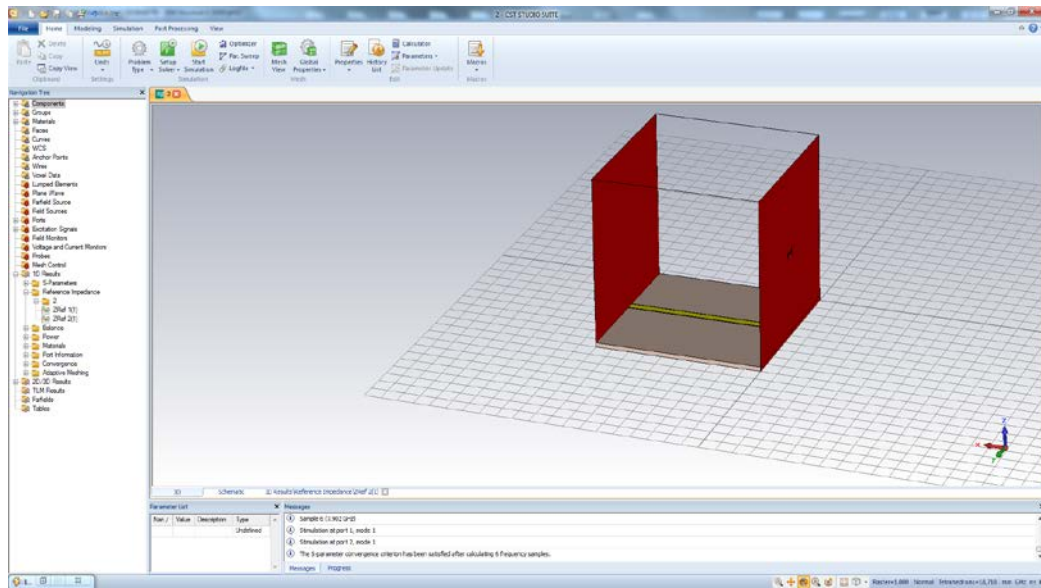


Рис.2 – Фрагмент копии экрана для расчета параметров микрополосковой линии

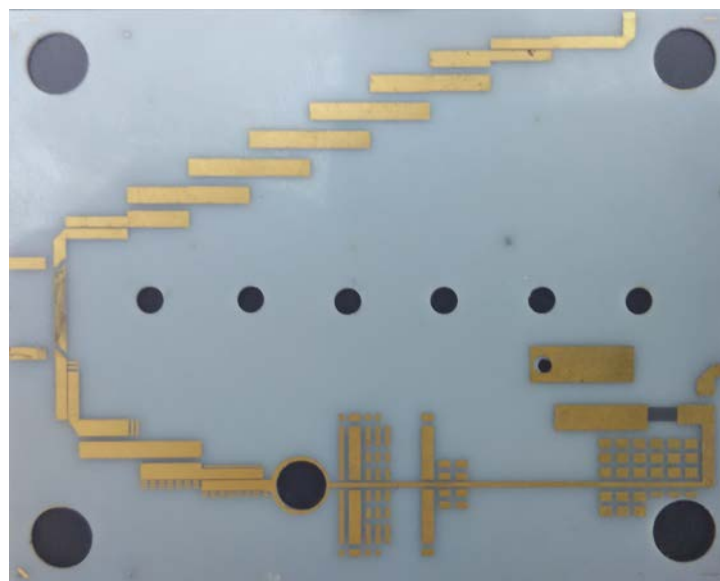


Рис.3 – Фотография СВЧ платы

Как показывает опыт создания микрополосковых устройств при установке герметизирующей крышки параметры устройств изменяются вследствие изменения волнового сопротивления МПЛ. Поэтому необходимо определить расстояние от МПЛ до крышки, при котором изменение волнового сопротивления будет незначительным (менее 1 %). Установка крышки на значительном расстоянии от МПЛ, там, где ее влияние будет слабым, может привести к увеличению габаритно-массовых характеристик готового устройства.

Определим зависимость изменения волнового сопротивления от высоты расположения крышки. Результаты расчетов для волнового сопротивления МПЛ, равного 50 Ом, приведены на рисунке 4. В качестве единицы длины выбрана толщина подложки МПЛ.

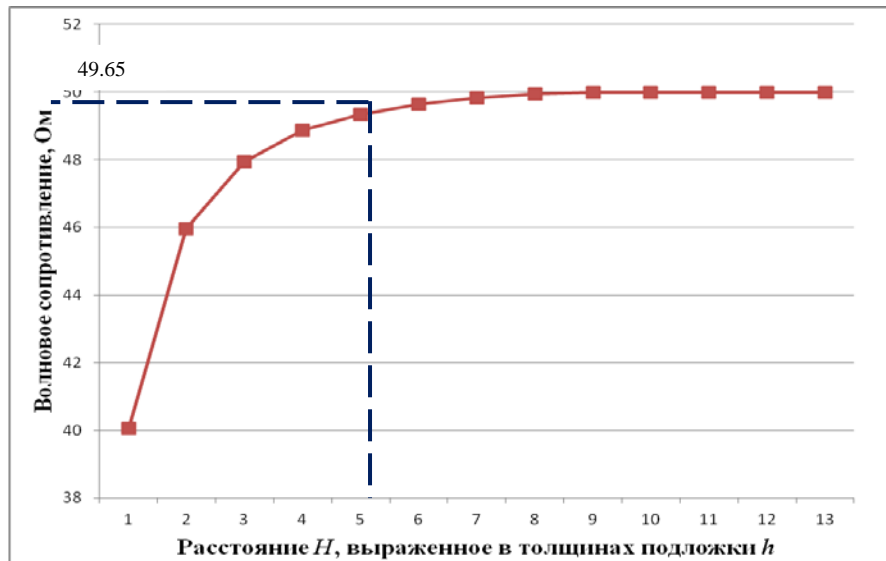


Рис.4 – Зависимость волнового сопротивления МПЛ от расстояния H . $W = 50$ Ом

Из графика, приведенного на рисунке 4 видно, что изменение волнового сопротивления менее чем на 1 % достигается $H = 6h$. Аналогичные результаты наблюдаются и при более высоких значениях волнового сопротивления (рисунок 5).

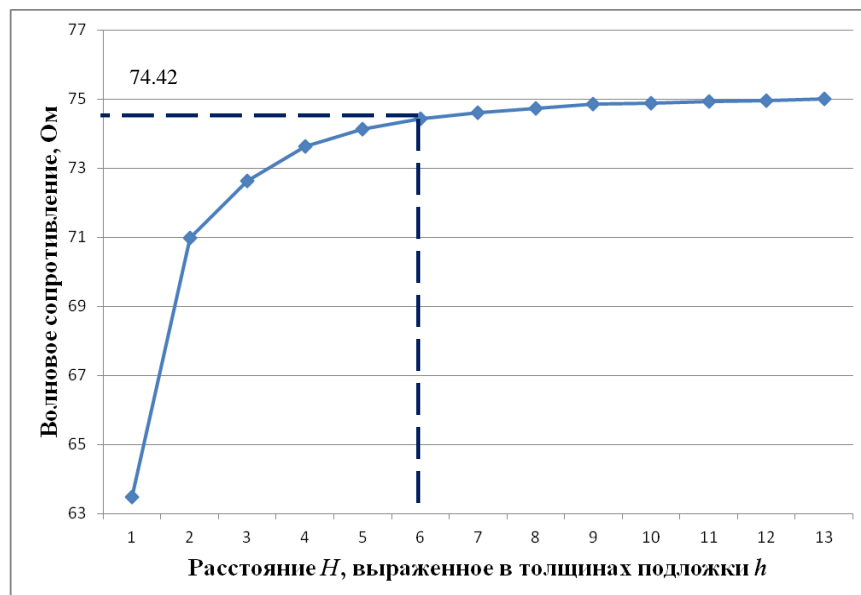


Рис.5 – Зависимость волнового сопротивления МПЛ от расстояния H . $W = 75$ Ом

На рисунке 6 приведена зависимость изменения волнового сопротивления при номинальном 25 Ом.

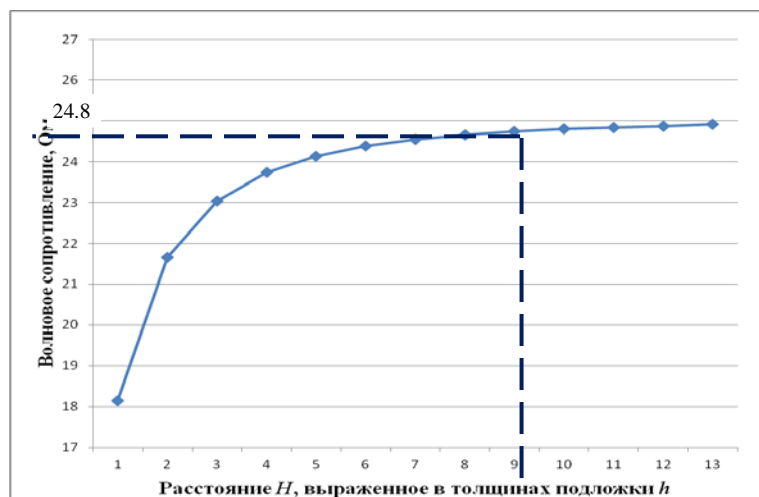


Рис.6 – Зависимость волнового сопротивления МПЛ от расстояния $H.W = 25 \text{ Ом}$

Из графика, приведенного на рисунке 5 видно, что изменение волнового сопротивления менее чем на 1 % достигается $H = 10h$.

Поскольку герметизирующая крышка (см. рисунок 2) устанавливается после окончательной настройки СВЧ устройства, то реально получаемые параметры этого устройства после герметизации будут другими, что видно из приведенных графиков (рисунки 4, 5, 6).

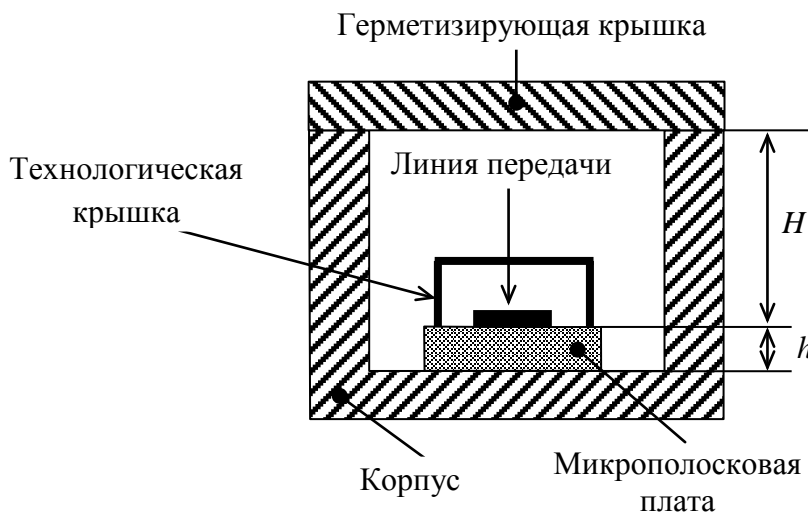


Рис.7 – Установка технологической крышки

Устранение влияния герметизирующей крышки можно произвести технологической крышкой (см. рисунок 7), установка которой проводится в процессе регулировки блока до его герметизации. Коррекция влияния высоты подъема технологической крышки над платой проводится при регулировке.

Список литературы

1. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. – М.: Издательство МЭИ, 2010. – 160 с.
2. Малорадский Л. Г., Явич Л. Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. – М.: «Советское радио», 1972. – 232 с.

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ САБВУФЕРА В ДОМАШНИХ УСЛОВИЯХ

Бердников Г. К.

научный руководитель Зограф Ф.Г.

Сибирский федеральный университет

Одним из самых знаменитых изобретений XX века является громкоговоритель. В далёком 1876 г. Александром Грэммом Бэллом была создана и запатентована электродинамическая головка, спустя годы её модернизировали Вернер фон Сименс, Никола Тесла, Хорас Шорт и другие. В 1898 г. Оливером Лоджем был разработан прототип современных динамических головок, использующих магнитное поле для перемещения катушки или магнита, который был соединен с диффузором. Основная проблема громкоговорителей того времени была связана с воспроизведением низких частот при относительно небольших габаритах. Акустические системы того времени были громоздкими, обладали небольшим КПД, и воспроизводили частоты порядком от 100 Гц.

В 60-е годы была выдвинута концепция *High-Fidelity (Hi-Fi)* (пер. как высокая верность) целью которой было построение аппаратуры, воспроизводящей звуки очень близко к оригиналу. Это стало сильным толчком в развитии акустических систем, технологии изготовления элементов конструкции (громкоговорителей, корпусов, фильтров), разработке новых методов измерения параметров, и создании теории их расчета.

Принципиально важным этапом в развитии акустических систем стало создание в 1971-1973 годах теории расчета низкочастотных оформлений, авторами которых являлись *Neville Thiele* и *Richard Small*, основанной на аналогии с теорией фильтров. Это позволило перевести на научную основу проектирование корпусов, создать соответствующие компьютерные программы, которые широко используются в практике проектирования громкоговорителей.

Благодаря теории расчета Тилля-Смолла стало возможным, любому заинтересованному человеку, сравнительно легко спроектировать и построить по заданным параметрам низкочастотную акустическую систему, далее – сабвуфер (от англ. *subwoofer*: *sub* – под и *woofer* – низкочастотный динамик).

В данной работе описаны основные этапы разработки и изготовления сабвуфера высокого качества, не уступающего по своим параметрам аналогам от ведущих производителей. Разработка ориентирована на изготовление сабвуфера в домашних условиях и с минимальными финансовыми затратами.

Конкретизируем цели и задачи работы.

Цель – за минимальные средства сконструировать сабвуфер высокого качества для домашнего пользования.

Задачи:

- выбор типа корпуса;
- выбор динамической головки;
- расчет корпуса;
- сборка сабвуфера;
- тестирование громкости сабвуфера в рассчитанной полосе частот;
- оценка качества звучания сабвуфера;
- расчет стоимости затраченных материалов и деталей и сравнение с ценой магазинных аналогов.

Выбор типа корпуса

Прежде чем приступить к расчету, нужно выбрать тип корпуса. У всех корпусов есть свои плюсы и минусы. Рассмотрим самые популярные.

Закрытый ящик – наиболее простой в изготовлении и проектировании. Низкочастотный динамик помещается в герметичный деревянный корпус, который улучшает его акустические характеристики. Изготовить сабвуфер с таким корпусом довольно просто, однако он имеет самый низкий КПД.

Фазоинвертор – сабвуфер со специальной трубкой в корпусе. Трубка выводит воздух и обеспечивает дополнительное звучание от задней части динамика. По сложности в изготовлении и качеству звучания этот тип нечто среднее между закрытым ящиком и бандпасом (от англ. *frequency band* - частотный диапазон и *pass* – пропускать).

Бандпас 4-го порядка - это тип сабвуфера, корпус которого разделен на камеры. Объемы этих камер разные, в одной из них размещен динамик, а во второй - фазоинвертор. Одной из особенностей этого типа сабвуфера является способность конструкции ограничивать частоты, которые воспроизводит диффузор. Для БП 4-го порядка полная добротность (Q_{ts}) динамика должна быть равна $\sim 0,4$.

Бандпас 6-го порядка отличается от 4-го порядка наличием еще одного фазоинвертора и еще одной камеры. Есть два типа бандпасов 6-го порядка – первый имеет один фазоинвертор, а второй два (один из них общих для обеих камер). Этот тип корпуса является наиболее сложным в проектировании, но выдает максимальный КПД.

Был выбран тип корпуса – бандпас 4-го порядка, потому что он прост в изготовлении по сравнению с БП 6-го порядка, у него хороший КПД и качество баса.

Выбор динамической головки

Динамик должен обладать рядом определенных параметров: полной добротностью $Q_{ts} \sim 0,4$; чувствительностью от 90 дБ (Вт/м) и выше, номинальной мощностью от 150 Ватт, и полосой воспроизведения частот от 30 до 90 Гц. Всем этим требованиям соответствует динамическая головка *Kenwood KFC-W112S*, которая по соотношению цена-качество, в сегменте до двух тысяч рублей является оптимальным выбором.

Расчет корпуса

Расчет корпуса сабвуфера проводился для динамика *Kenwood KFC-W112S* в программе *WinISD beta* (Рис. 1). Мощность на которую будет рассчитан корпус – 200 Ватт. В программе необходимо ввести характеристики нашего динамика (данные из паспорта динамика), выбрать количество динамиков и тип корпуса – бандпас 4-го порядка, затем запустить расчет.

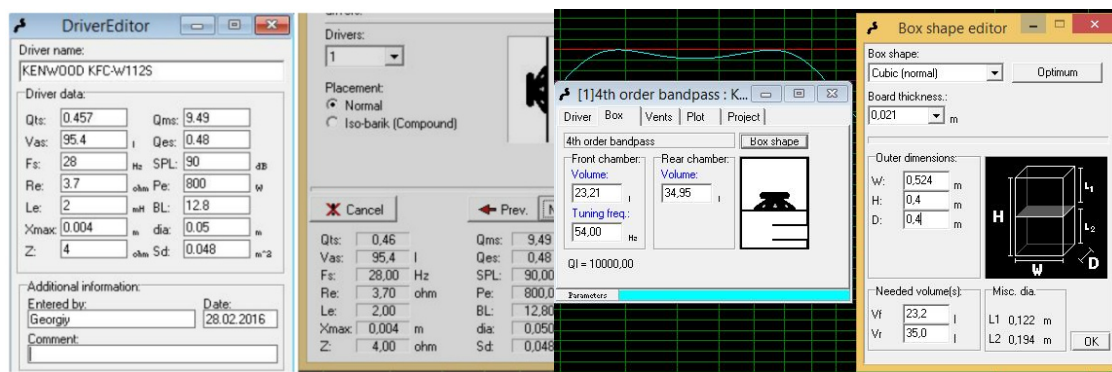


Рис.1 – Расчет корпуса сабвуфера в программе WinISD beta

Сборка сабвуфера

Программа рассчитывает оптимальный (согласно своим алгоритмам) корпус и строит график зависимости уровня громкости звука (дБ) от частоты (Гц). Затем вводятся параметры выбранного типа корпуса: частота резонанса, объемы первой и второй камер (в данной работе частота – 54 Гц, а объемы – 23,21 и 34,95 литров соответственно). По результатам расчета диапазон частот составил от 30 до 95 Гц по уровню -3 дБ. Так же рассчитываются размеры корпуса и фазоинвертора без учета толщины материала. Материалом, в данной работе, послужила фанера толщиной 21 мм (см. рис 1).

Размеры были изменены на 40×40×52,4 см, для придания сабвуферу формы напоминающей куб, с точки зрения дизайна сабвуфер будет выглядеть необычно и выделяться на фоне магазинных аналогов и с точки зрения эргономики при желании его можно использовать как подставку.

После приобретения всех деталей и материалов производится сборка сабвуфера (рис. 2). С помощью электрического лобзика вырезаются отверстия под фазоинвертор, динамик и акустический терминал. К нижней панели на столярный клей последовательно приклеиваются боковые стенки, центральная перегородка, передняя и задняя панели. С помощью саморезов устанавливаются акустический терминал и динамик, затем приклеивается фазоинвертор и припаиваются провода к динамику и акустическому терминалу. Все стыки обильно промазываются акриловым герметиком. Панели скрепляются между собой оцинкованными саморезами в просверленные отверстия меньшего диаметра с шагом 5-7 см.

К внутренним стенкам, с помощью строительного степлера и клея крепится ватин, затем объем обеих камер на половину заполняется синтепоном, для того чтобы улучшить качество баса придав ему “мягкости” и погасить нежелательные стоячие волны. Благодаря этому решению убирается “бубнение”, бас становится более четким, очерченным. В самом конце прикручивается верхняя крышка. Субвуфер собран. Далее следует грунтовка, шпатлёвка и покраска как минимум, несколькими слоями глянцевой краской красного цвета, с последующей шлифовкой каждого слоя.

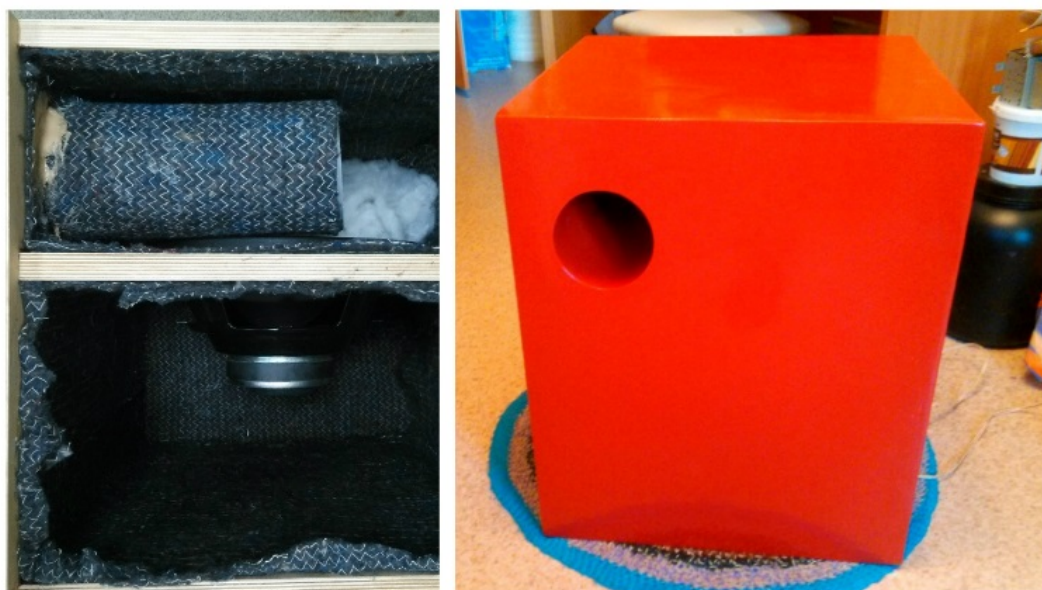


Рис.2 – Сборка корпуса сабвуфера

Тестирование громкости сабвуфера в рассчитанной полосе частот

Собранный сабвуфер был протестирован на слух при помощи программного генератора (*WinISD beta*) и усилителя, где максимальная громкость и вибрации были замечены при подаче сигнала на частотах от 35 до 84 Гц, что соответствует рассчитанной в программе *WinISD beta* АЧХ.

Оценка качества звучания сабвуфера

Качество звучания определялось путем проведения экспертной оценки, в которой приняло участие 20 респондентов различающихся квалификацией в предметной области: любящие иногда послушать хорошую музыку, работающие в сфере связанной с музыкой, и просто те, кто иногда слушает музыку. На вопрос: “Как бы вы оценили качество баса по 10-ти бальной шкале?” – двенадцать человек поставили оценку 10 из 10, пять человек – поставили по 9 баллов, два человека – поставили по 8 баллов, и один – 7 баллов.

Среднее арифметическое экспертной оценки 9,4 балла, что является хорошим результатом, и говорит о качестве собранного сабвуфера. В дальнейшем планируется провести исследование на основе более репрезентативной выборки.

Стоимость на затраченные материалы и детали, сравнение полученной суммы с ценами магазинных сабвуферов

- НЧ-динамик *Kenwood KFC W112S* (30 см) 200w(rms) – 1690 рублей
- Фанера 21мм. – 1342 рубля
- Клей момент столяр – 115 рублей
- Саморезы 50мм. 100шт. – 143 рубля
- Герметик силиконовый – 127 рублей
- Акустический терминал – 65 рублей
- Фазоинвертор 100x270мм. – 80 рублей
- Ватин - 50 рублей
- Синтепон – 80 рублей

Итого: 3757 рублей.

Вывод

В своем ценовом сегменте данный сабвуфер не имеет конкурентов среди различных брендов. По качеству звука с ним могут сравниться лишь сабвуферы цена на которые начинается от десяти тысяч рублей.

При правильном расчёте и точном изготовлении можно собрать сабвуфер высокого качества за минимальные средства.

Список литературы

1. Сворень, Р.А. Шаг за шагом. Усилители и радиоузлы. – М: Издательство «Детская литература», 1965. – 272с.
2. Бать, С.Д. Любительские громкоговорители-4. – М.: Техносфера, 2013 – 160с.
3. Гапоненко, С. В. Акустические системы своими руками. – СПб.: Наука и Техника, 2013. – 240 с.
4. Параметры Тила-Смолла и акустическое оформление динамика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://magnitola.org/o-raschete-i-izgotovlenii-korpusov/4950-parametry-tilya-smolla-i-akusticheskoe-oformlenie-dinamika.html>.
5. Статья "Громкоговорители, часть 1" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.moinf.info/articles/loudspeakers>.



ВЫБОР АВТОТРАССИРОВЩИКА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРА**Борисов Д.Е.****научный руководитель канд. техн. наук Носкова Е.Е.***Сибирский федеральный университет*

Трассировка электрических соединений является основной задачей синтеза при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. Для решения задачи трассировки используются известные, базирующиеся, в основном, на волновом алгоритме, методы, так и современные методы, базирующиеся на эволюционных подходах. В современных системах автоматической трассировки разных производителей, реализованные методы и алгоритмы трассировки объединены в базовые стратегии, которые могут применяться для заданного типа печатной платы и коммутационной схемы. При необходимости инженер-конструктор может сформировать собственную стратегию трассировки, основанную на базовой, скомбинировав несколько методов автотрассировки.

Для определения оптимальной системы автоматизированного проектирования в условиях определенной исходной информации инженеру-конструктору необходимо знать влияние управляющих параметров методов и конструктивно-технологических ограничений на результат трассировки. Как показывает практика, при одних и тех же заданных ограничениях на параметры печатной платы выбор стратегии трассировки значительно влияет на результат, поэтому поиск оптимальной системы автоматизированного проектирования требует дополнительного исследования. Сложность выбора системы автоматизированного проектирования заключается в принципиальных различиях моделей и алгоритмов, применяемых в этих системах, что не позволяет произвести однозначное сравнение.

В работе проведен анализ стратегий следующих систем автотрассировки: *TopoR*, *Situs* (САПР *Altium Designer*), *Layout* (САПР *OrCAD*) и произведен выбор наилучшей САПР при помощи порогового метода ЭЛЕКТРА.

При формировании целевой функции трассировки использовались следующие критерии оптимальности: количество переходных отверстий (ПО), суммарная длина соединений (СДС), время трассировки.

TopoR — развитие более ранней САПР *FreeStyleRoute (FSR)*, работавшей под управлением *DOS*. В отличие от зарубежных аналогов, *TopoR* является топологическим автотрассировщиком, т.е. стадии трассировки и метризации разделены. Трассировка производится на разбиении рабочего поля на треугольные области с помощью триангуляции Делоне. Вершинами триангуляции выступают точки, расположенные на контактах, барьерах, полигонах и других элементах топологии, не изменяющихся во время трассировки. Определяются лишь топологические пути проводников на триангуляции, а точная геометрическая форма проводников и точное местоположение переходов вычисляются позднее, на метрическом этапе. Результирующие проводники имеют не привычную ортогональную форму, а состоят из отрезков, расположенных под произвольными углами, и даже (если выбрана соответствующая опция) могут содержать дугообразные участки [1].

Трассировка в САПР *TopoR* подразделяется на начальную трассировку и ее оптимизацию. При оптимизации итерационно выполняются такие процедуры, как перекладка проводников, «всплытие» участков проводников и оптимизация расслоения. Когда заканчивать оптимизацию, пользователь решает сам.

Situs - программа автоматической трассировки в составе САПР *Altium Designer*. Пользователь составляет стратегию из проходов трассировки - набора действий, реализуемых по определенному алгоритму с использованием определенных критериев оптимизации. Всего реализовано 14 алгоритмов трассировки (проходов): *Adjacent memory*, *Clean pad entries*, *Completion*, *Fan out signal*, *Fan out to plane*, *Globally optimized main*, *Hug*, *Layer Patterns*, *Main*, *Memory*, *Multilayer main*, *Recorner*, *Straighten*, *Spread*. По выполняемым операциям проходы автотрассировщика можно разбить на три группы: 1) частичная, или предварительная трассировка; 2) полная трассировка; 3) окончательная доводка.

Проходы первой группы выбирают связи для трассировки по определенным критериям. Связи, которые не подпадают под эти критерии, не трассируются. К данной группе относятся проходы *Adjacent memory*, *Clean pad entries*, *Fan out signal*, *Fan out to plane*, *Layer Patterns*, *Memory*. Вторая группа проходов осуществляет разводку всех связей. К ним относятся: *Completion*, *Globally optimized main*, *Main*, *Multilayer main*. Проходы третьей группы не осуществляют трассировку, а изменяют конфигурацию ранее проложенных проводников. Это проходы *Hug*, *Recorner*, *Straighten*, *Spread*. В общем случае стратегия трассировки должна включать в себя проходы всех трех групп.

Layout Plus - программа автоматической трассировки входила в состав в САПР *OrCAD* до версии 10.0, с версии 16.2 подключается в виде отдельного модуля. Разводка ПП автотрассировщиком *Layout Plus* выполняется за 7 циклов. Каждый цикл состоит из трех этапов, каждый из которых представляет собой один из алгоритмов трассировки с заданными пользователем управляющими параметрами (*Via Cost*, *Retry Cost*, *Route Attempt*, *Route Limit*). Всего реализовано 6 алгоритмов трассировки: *Heuristics*, *Maze*, *Auto CDE*, *Fanout*, *Auto DFM*, *Via Reduce*.

Maze – алгоритм «поиск выхода из лабиринта», во время его работы дорожки могут сдвигаться и переразводиться. *Heuristics* игнорирует значения всех весовых коэффициентов, исключая параметр, указывающий количество попыток для разводки соединения. *Auto DFM* оптимизирует разводку платы, устраняя некоторые проблемы, а именно: скашивает острые углы; исправляет ошибки соединения дорожек с контактными площадками. *Fanout* использует алгоритм *Heuristics*, отдавая предпочтение расположению сквозных переходных отверстий под компонентом. *Via Reduce* пытается уменьшить количество переходных отверстий на плате.

Результаты исследований стратегий трассировки в *Situs*, *Layout Plus* и *TopoR* сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты трассировки

САПР	Кол-во эксп. шт.	СДС, мм.	Кол-во ПО, шт.	Время, мин.
<i>Altium Designer</i>	20	6485	19	2÷5
<i>OrCAD</i>	20	6402	43	2÷5
<i>FreeStyleRoute</i>	2	5800	4	240

Все вычислительные эксперименты проводились на одном эскизе ПП с размерами 140x140мм. На плате размещено 116 элементов, из них 110 маловыводные и 6 многвыводных (т.е. с количеством выводов менее 10 и более 10 соответственно).

Метод ЭЛЕКТРА предназначен для решения задач, в которых из имеющегося множества альтернатив требуется выбрать заданное количество лучших альтернатив с учетом их оценок по нескольким критериям, а также важности этих критериев [2]. Принцип работы метода следующий. Для каждой пары альтернатив (A_i и A_j) выдвигается предположение (гипотеза) о том, что альтернатива A_i лучше, чем A_j . Затем

для каждой пары альтернатив находятся два индекса: индекс согласия (величина, подтверждающая предположение о превосходстве A_i над A_j) и индекс несогласия (величина, опровергающая это предположение). Множество критериев I разбивается на три подмножества:

$I^+(x,y)$ - множество критериев, по которым x превосходит y : $x > y$.

$I(x,y)$ - множество критериев, по которым y превосходит x : $y > x$.

$I^-(x,y)$ - множество критериев, по которым x и y имеют одинаковые оценки: $y = x$

[3].

Определяется относительная важность P_i^+ , P_i^- , $P_i^=$ каждого из этих подмножеств:

$$P_{x \succ y}^* = \sum_{i \in I^*(x,y)} P_i, \quad (I^* \in \{+, -, =\})$$

P_i - коэффициент относительной важности i -го критерия.

правило сравнения альтернатив x и y в методе ЭЛЕКТРА-I формируется следующим образом:

$$x \succ y \Leftrightarrow \frac{P_{x \succ y}^+ + P_{x \succ y}^-}{\sum_{i=1} P_i} > c_1, \quad \left(\frac{1}{2} \leq c_1 \leq 1\right).$$

На основе анализа индексов согласия и несогласия выбирается одна или несколько лучших альтернатив.

В качестве входной информации для метода ЭЛЕКТРА выбраны следующие критерии оптимальности: количество экспериментов, количество переходных отверстий (ПО), суммарная длина соединений (СДС), время трассировки.

Эксперт составляет таблицу оценок проектов.

Таблица 2 - Таблица оценок автотрассировщиков по критериям

Альтернативы	Кол-во эксп.	СДС	ПО	Время
<i>Altium</i>	2	64,85	2	2÷5
<i>Layout</i>	2	64	5	2÷5
<i>Topor</i>	1	58	1	240
Вес	3	7	4	2

Критерием с самым большим весом выбрана суммарная длина соединений, к минимизации этой величины стремятся все автотрассировщики.

Далее необходимо рассмотреть все пары трассировщиков i и j . Если по какому-либо критерию i -ый трассировщик лучше, чем j -ый, то соответствующий критерию вес прибавляется к P_{ij} , в противном случае к N_{ij} . То же самое справедливо для j -го трассировщика. Если по какому-либо критерию j -ый трассировщик лучше, чем i -ый, то соответствующий критерию вес прибавляется к P_{ji} , в противном случае к N_{ji} . При одинаковом значении критерия для i -го и j -го трассировщика, такое значение пропускается (приравнивается к нулю). Затем, когда для пары рассмотрены все критерии, находятся отношения $D = P_{ij} / N_{ij}$ и $D = P_{ji} / N_{ji}$. Значения $D \leq 0$ отбрасываются.

Сравнение альтернативы *Altium* с *Layout*:

$$P_{12} = 0 + 0 + 4 + 0 = 4$$

$$N_{12} = 0 + 7 + 0 + 0 = 7$$

$$D_{12} = 4/7 = 0.5714 \text{ - отклонено.}$$

Сравнение альтернативы *Layout* с *Altium*:

$$P_2 = 0 + 7 + 0 + 0 = 7$$

$$N_2 = 0 + 0 + 4 + 0 = 4$$

$$D_{21} = 7/4 = 1.7 \text{ - принято.}$$

Все остальные пары рассчитываются аналогично.

В таблицу заносятся все вычисленные значения D

Результаты полученные методом ЭЛЕКТРА сведены в таблицу 3.

Таблица 3 - Полная матрица предпочтений САПР

	<i>Altium</i>	<i>Layout</i>	<i>Topor</i>
<i>Altium</i>		0,57	0,14
<i>Layout</i>	1,75		0,14
<i>Topor</i>	7	7	

В матрице предпочтений содержатся предпочтения проектов между собой.

На основе полной матрицы предпочтений построен граф предпочтений:

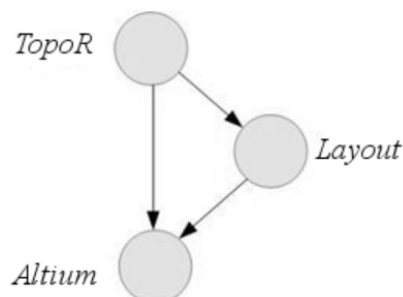


Рис.1 – Граф предпочтений

Из графа построенного по таблице 3 видно, что автотрассировщик *TopoR* лучше автотрассировщиков *Layout Plus* и *Altium Designer*; автотрассировщик *Layout Plus* лучше автотрассировщика *Altium Designer*.

Результаты эксперимента показывают, что эффективность трассировки определяется, прежде всего, системой автоматической трассировки. Полученная СДС в автотрассировщике *TopoR* меньше на 2,71% и на 7,78% по сравнению с СДС в *Layout*, и СДС в *Situs*, а количество ПО меньше на 616% и на 16.7% соответственно. Результаты полученные пороговым методом ЭЛЕКТРА показывают, что наиболее эффективным является автотрассировщик *TopoR*. Вторым по эффективности является автотрассировщик *Layout*.

Список литературы

1. TopoR. Топологический трассировщик печатных плат [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://eda.eremex.ru/products/topor/>.
2. Петровский А. Б. Теория принятия решений: учебник для студ. высш. учеб. Заведений / А. Б. Петровский. -М. : Издательский центр «Академия», 2009. - 400 с.
3. Ногин В. Д. Принятие решений при многих критериях. Учебно-методическое пособие. – СПб. Издательство «ЮТАС», 2007.

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ *PIP* В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Домнин А.В.

научный руководитель Трегубов С.И.

Сибирский федеральный университет

На современных предприятиях, занимающихся производством радиоэлектронной техники при изготовлении печатных узлов, содержащих как поверхностно-монтажные, так и штыревые компоненты, используется технология смешанного монтажа, она основана на применении и ручного труда и специализированного автоматизированного оборудования. В этом случае часть процесса сборки печатных узлов по технологии смешанного монтажа, связанная с установкой и пайкой компонентов, показана на рисунке 1.

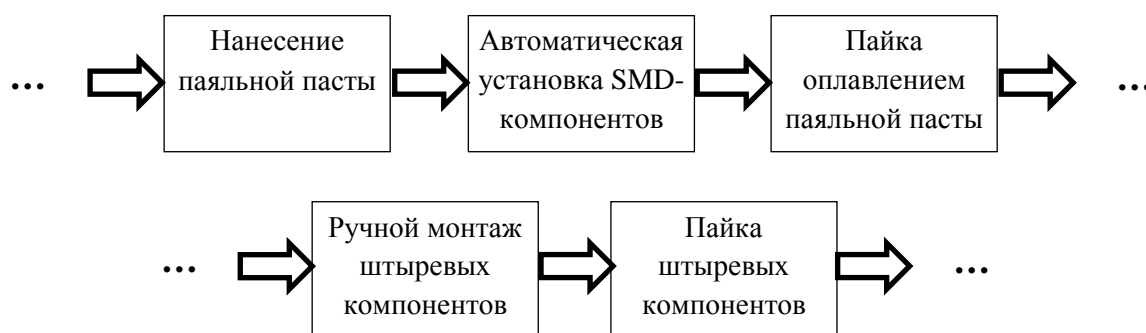


Рис.1 - Схема сборки печатных узлов по смешанной технологии

При использовании указанного технологического процесса производители сталкиваются со следующими проблемами:

- влияние человеческого фактора при установке штыревых компонентов;
- зависимость качества изделия от квалификации персонала;
- необходимость применения разных паяльных паст отличающихся температурой плавления при групповых способах пайки;
- увеличение длительности технологического процесса.

Избавиться от подобных недостатков позволяет применение технологии *Pin in paste (PIP – вывод в пасту)* [1]. При данной технологии пайка штыревых компонентов осуществляется в печи оплавления одновременно с пайкой поверхностно монтируемых (*SMD – surface mounted device*) компонентов. Для этого в область монтажных отверстий штыревых компонентов наносится необходимое количество паяльной пасты, далее в отверстия устанавливаются сами компоненты, затем происходит пайка оплавлением в едином технологическом цикле (рисунок 2).

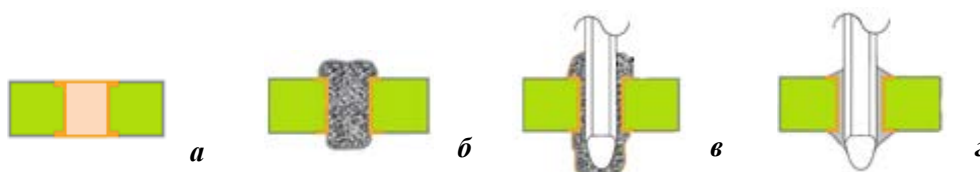


Рис.2 - Схема монтажа штыревых компонентов: а – монтажное отверстие; б – нанесение паяльной пасты; в – установка вывода; г – оплавление

При всей очевидности выгод применения указанного технологического процесса его внедрение предполагает преодоление некоторых трудностей. Во-первых, необходимо подобрать тип паяльной пасты, отвечающий возможностям получения качественного электрического соединения компонентов, предназначенных для монтажа по свинцовой и бессвинцовой технологиям. Это особенно актуально для предприятий производящих аппаратуру специального назначения.

Следствием применения одной паяльной пасты для монтажа компонентов различающихся типом выводов, габаритами, массой и т. д. вызывает необходимость тщательной отработки технологического процесса при оплавлении пасты. То есть температурный профиль оплавления оказывает существенное влияние на качество электрического соединения.

Следующим вопросом, который необходимо решить – это расчет количества паяльной пасты, наносимой в отверстия. Поскольку при установке компонента часть пасты выдавливается штыревым выводом и ее может не хватить для обеспечения необходимого качества (рисунок 3).

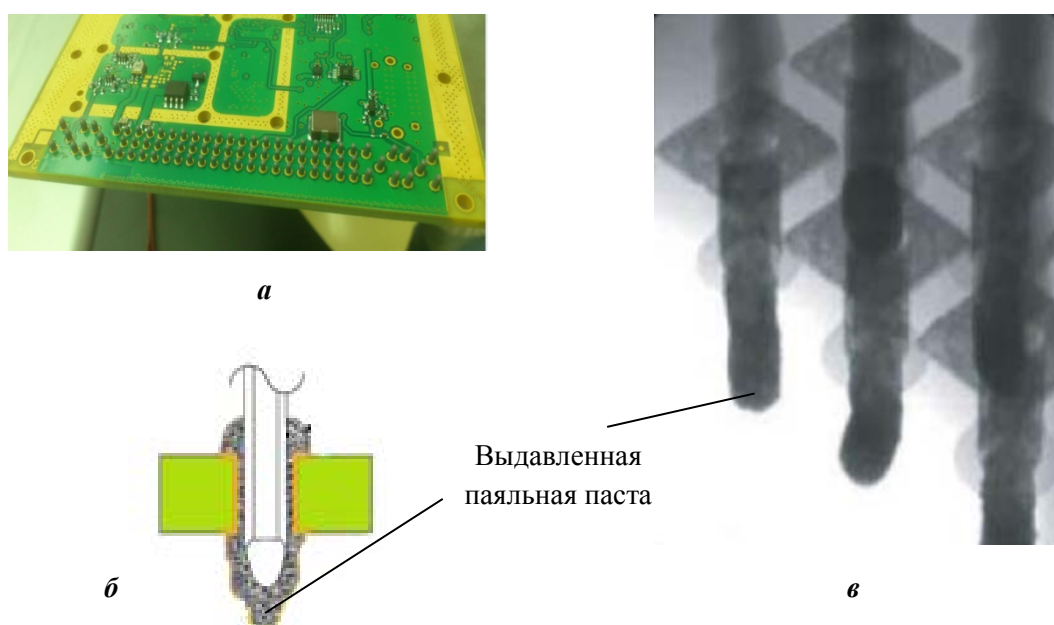


Рис.3 - Выдавливание паяльной пасты при монтаже штыревых компонентов: а – печатная плата; б – схематичное изображение установки штыревого вывода; в – рентгеновский снимок установленного компонента

Расчет необходимого объема пасты можно произвести по методике изложенной в [2]. Исходными данными для расчета являются диаметр отверстия ($D_{отв}$), диаметр вывода ($D_{выв}$), толщина печатной платы (h) и необходимость формирования галтелей.

Объем пасты для заполнения отверстий определяется по формуле:

$$V_{\text{пасты в отв}} = (\pi \times (D_{отв}/2) \times (D_{отв}/2) \times h) - (\pi \times (D_{выв}/2) \times (D_{выв}/2) \times h).$$

Общий требуемый объем пасты при двух галтелях:

$$V_{\text{пасты}} = 2 \times (V_{\text{пасты в отв}} + 2 \times 0,215r^2 \times 2\pi (0,2234r + a)),$$

где: r – радиус контактной площадки, a – радиус вывода.

Поскольку паяльная паста содержит примерно 50 % металлического материала, а другая часть является флюсом, который вытекает в процессе пайки, то требуется объем пасты вдвое больше, чем рассчитанный общий объем.

Вследствие выдавливания паяльной пасты рассчитанного ее объема может не хватить для обеспечения надежного электрического контакта, то есть отверстие будет не полностью заполнено паяльной пастой. Так, например заполнение паяльной пастой на 75 % соответствует уровню качества 3-го класса по стандарту IPC-A-610 (рисунок 4).

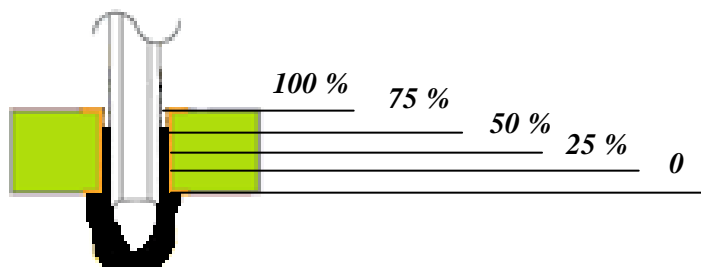


Рис.4 - Влияние заполнения объема на определение качества соединения

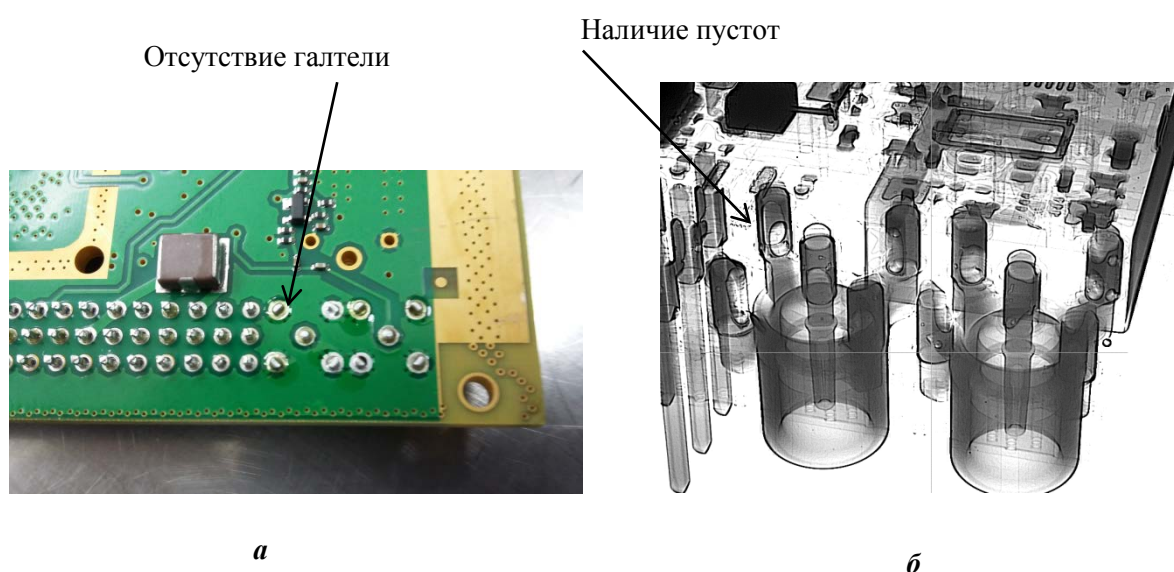


Рис.5 - Оценка качества пайки многовыводного разъема установленного на печатную плату: а – фотография, б – рентгеновский снимок

Как видно из рисунке 5 количество пасты нанесенного дозатором не всегда хватает для обеспечения необходимого качества, следовательно, необходимо искать другие способы нанесения паяльной пасты с целью заполнения необходимого объема.

Список литературы

1. Demitras. A. «Pin in paste stencil design for notebook mainboard». Global SMT & Packaging - February 2008, p.28. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://web.ics.purdue.edu/~gblack/Pin_In_Paste_Printing.pdf.
2. Pin in paste application note [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.littelfuse.com/data/en/application_notes/pin-in-paste_english_1f.pdf.

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КОНСТРУКЦИИ АВАРИЙНОГО РАДИОМАЯКА САС БПЛА

Клешнина С.А.

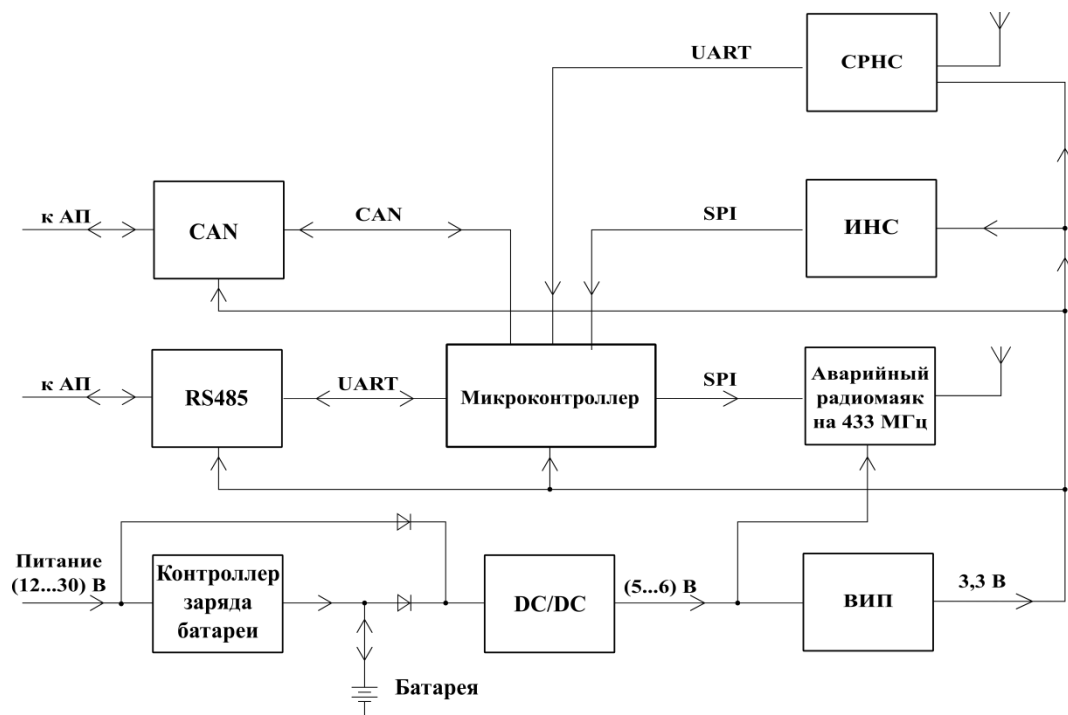
научный руководитель доц. Трегубов С.И.

Сибирский федеральный университет

Перед разработчиками беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) постоянно стоит задача повышения надёжности летательного аппарата (ЛА) и соответственно уменьшение вероятности потери борта. Данная задача актуальна как для пилотируемых, так и для беспилотных летательных аппаратов. Одним из способов решения задачи - повышения (увеличения) надёжности, является внедрение системы автоматического спасения (САС).

Существуют различные решения построения САС, к ним относятся, например, парашютные системы, системы контроля аварийной посадки и другие. Применение для этих систем специализированных устройств, позволяющих регистрировать телеметрическую информацию, позволяет системе автоматического спасения приводить летательный аппарат (ЛА) в точку посадки при отказах штатных навигационных систем и/или предпринимать меры для спасения борта [2].

Таким устройством является аварийный радиомаяк, позволяющий отслеживать местоположение борта в нештатных ситуациях. Радиомаяк – передающая радиостанция, излучающая радиосигналы, используемые для определения координат [3]. На рисунке 1 представлена функциональная схема данного устройства.



CAN, RS485 - интерфейс передачи данных;

АП - автопилот;

СРНС - спутниковая радионавигационная система;

DC/DC - преобразователь напряжения;

ВИП - вторичный источник питания;

ИНС - инерциальная навигационная система

Рис.1 - Функциональная схема аварийного радиомаяка

После разработки конструкции (а даже и в процессе разработки) радиомаяка необходимо решить вопрос о его размещении в ЛА. Установка радиомаяка должна минимизировать расцентровку судна. В противном случае это может отразиться на летательной способности аппарата. Рассмотрим расположение радиотехнического и другого оборудования в конструкции БПЛА самолётного типа (категория аэродинамической схемы - летающее крыло) [1]. Схема расположения основного оборудования приведена на рисунке 2.

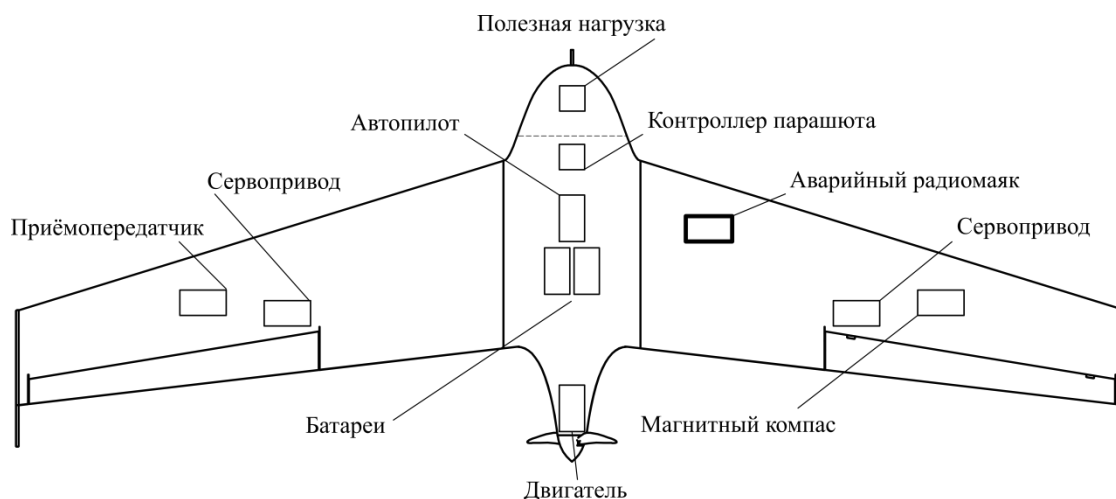


Рис.2 - Расположение основных функциональных узлов в конструкции БПЛА

Как видно из рисунка встраиваемое оборудование расположено достаточно симметрично, при этом следует отметить, что коэффициент заполнения по объёму фюзеляжа достаточно высок.

Автопилот (АП) располагается ближе к центру масс ЛА, что уменьшает погрешность определения пространственной ориентации по ИНС. Под центром масс находится парашют, что обеспечивает корректное его раскрытие и правильную центровку аппарата при посадке. Батареи располагаются равномерно по центру таким образом, чтобы не нарушить балансировку самолёта. В передней части самолёта размещается полезная нагрузка (фото-киноаппаратура, геодезическое оборудование и пр.). Такое размещение функциональных узлов позволяет наиболее эффективно использовать схему с толкающим винтом, в которой двигатель размещается в задней части борта. Магнитный компас располагается в крыле, для того чтобы на измерения магнитного поля не влияли электромагнитные помехи от силовой установки аппарата. Также в крыльях находятся сервопривод и радиомодем.

Анализ компоновки борта позволяет предположить, что наиболее благоприятное место размещения радиомаяка – внутренний объём крыла. Крылья самолёта, в следствие отсутствия в них массивных деталей и конструкций, являются наиболее безопасной частью БПЛА при возникновении аварийных ситуаций. Также не мало важно, что крылья удалены от влияния электромагнитных помех силовой установки ЛА. Тем не менее, желательно аварийный радиомаяк приблизить к фюзеляжу для уменьшения расцентровки и приблизить к носовой части самолёта для удаления от силовых цепей.

Поскольку в крыле существуют ограничения по высоте (координате Z), то корпус радиомаяка должен быть низкопрофильным. Для определения максимальны габаритов устройства рассмотрим параметры внутреннего объёма крыла (рисунок 3).

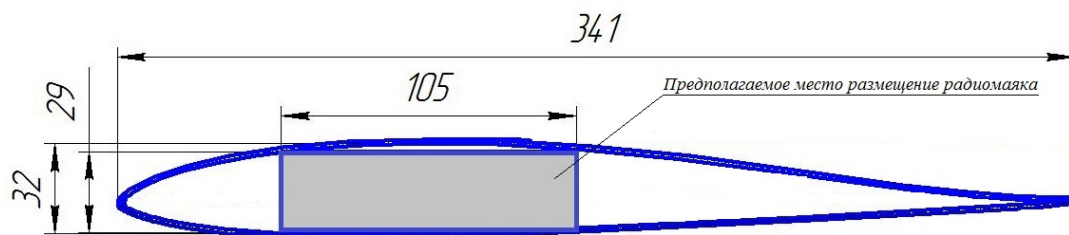


Рис.3 - Сечение крыла БПЛА

Исходя из рассмотрения внутренней полости крыла максимальные габариты радиомаяка не должны превышать 105×29 мм. Конкретизация размеров осуществляется при компоновки разрабатываемого устройства.

Аварийный радиомаяк может быть выполнен как в корпусном, так и бескорпусном исполнении. Во втором случае для защиты изделия от внешних воздействий можно осуществить обволакиванием в полимерном компаунде. При использовании кожуха или корпуса к последнему предъявляются следующие требования: малая масса, механическая прочность, вибростойкость, устойчивость к высоким температурам (при значительных ударных нагрузках основные батареи питания, см. рис. 1, находящиеся внутри конструкции БПЛА, могут загореться). Применение всенаправленной спутниковой антенны, расположенной на печатной плате (ПП), определяет следующее требование для материала корпуса – он должен быть радиопрозрачным на частоте передачи полезного сигнала.

Для обеспечения предъявляемых требований в качестве материала корпуса можно использовать стеклопластик. Это композиционный материал, для которого путём подбора типа армирующего материала и типа связующего, можно получить заданные индивидуальные требования. Стекловолокна придают прочность, а связующее скрепляя их вместе, распределяет нагрузки по всей конструкции, защищая от воздействия окружающей среды. Композиционные материалы устойчивы к высоким температурам, коррозии и большим нагрузкам. Стеклопластик в 3,5 раза легче стали, что даёт нам возможность создать корпус лёгким, также он обладает такими важными качествами, как низкое водопоглощение, высокая надёжность и радиопрозрачность [4].

Размеры основания ПП радиомаяка определяются двумя составляющими: суммой площадей электронных компонентов и площадью батареи, применяемой для автономного питания устройства. Габаритные размеры батареи равны 66×32×13 мм. Анализ размещения компонентов показал, что для них достаточно площадь печатной платы разрабатываемого устройства 55×40 мм. Высота максимального компонента – 4,3 мм. По полученным геометрическим параметрам, представленных на рисунке 3, можно сделать вывод, что радиомаяк возможно разместить в крыле. С учётом необходимых зазоров и конструктивных элементов предполагается, что максимальные размеры корпуса не превысят 100×80×20 мм.

Конструктивное исполнение корпуса должно обеспечивать устойчивое положение печатного узла (ПУ) и батареи для снижения риска их возгорания при больших ударных нагрузках. Для закрепления ПУ в конструкции корпуса можно использовать отбортовки, стойки и винтовые соединения. Неизменность положения одной части корпуса относительно другой выполняется с помощью направляющих, отбортовки, которая также будет защищать устройство от попадания пыли благодаря нахлёсту, и винтовых соединений. Сопряжение позволяет придать корпусу сплошной вид. Закрепить батарею в корпусе можно с помощью держателей или заточением её

между крышкой и нижней частью. На рисунке 4 представлен вариант конструкции корпуса аварийного радиомаяка.

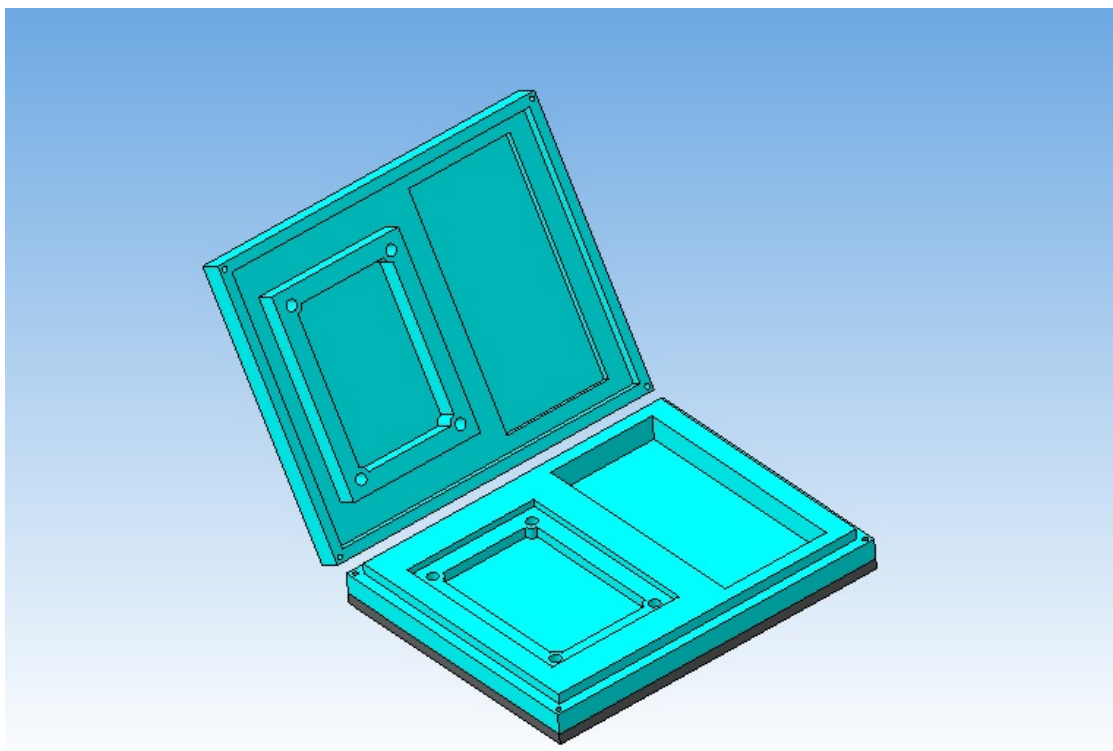


Рис.4 - 3D-модель корпуса

Конкретный выбор конструктивных элементов, обеспечивающих заданные технические характеристики корпуса, определится после анализа механических, в первую очередь вибрационных, и тепловых воздействий.

Одним из вариантов обеспечения нормального теплового режима прибора является внедрение в нижнюю поверхность крыла металлических пластин, на которых располагается аварийный радиомаяк. Эта пластина позволит кондуктивно отвести тепло от прибора и передать в окружающую среду конвективно – за счёт обдува крыла потоком воздуха.

Список литературы

1. БПЛА DELTA-M [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uav-siberia.com/delta-m>.
2. Клешнина С. А., Люманов Р. О., Сушков А. А. Разработка и проектирование системы автоматического спасения для беспилотных летательных аппаратов / Сборник научных статей Всероссийской молодежной школы семинара «Актуальные проблемы информационных технологий, электроники и радиотехники - 2015» (ИТЭР - 2015). – Таганрог: Изд-во НОЦ ЗИС КТ Южного федерального университета, 2015. С. 538.
3. Радиомаяк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/радиомаяк>.
4. Стеклопластик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://laboratoriatinga.ru/stekloplastik/3242.html>.

ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Зинкевич А.С.

научный руководитель д-р. техн. наук Патрушева Т.Н.

Сибирский федеральный университет

В области космического материаловедения, необходимы покрытия с пассивной терморегуляцией класса «истинный поглотитель» («ИП») с антистатическими свойствами, низким газовыделением, с повышенной стойкостью к воздействию факторов космического пространства (ФКП) (протонное, электронное излучение, ультрафиолетовое излучение, термоперепады в вакууме), наносимых на наружную поверхность космических аппаратов для поддержания определенного теплового режима. Терморегулирующие покрытия (ТРП) в конструкциях космических аппаратов (КА) являются элементами внешних покрытий (ВП) и входят в систему пассивной терморегуляции. Назначение ВП КА - обеспечение расчетных величин внешних тепловых нагрузок от излучения Солнца и планет и сброс тепла в космическое пространство.

Для обеспечения теплового режима космического аппарата (КА) и элементов его конструкции применяются терморегулирующие покрытия класса «истинные поглотители». В последнее время особенно актуален вопрос о снижении уровня газовыделения покрытий, используемых в оптических трактах КА и систем наблюдения (сканеры земной поверхности и другие). Газовыделение должно удовлетворять требованиям ГОСТ Р50109 (потеря массы $\leq 1\%$, содержание легколетучих конденсирующихся веществ (ЛКВ) $\leq 0,1\%$) при вакуумно-тепловом воздействии в течение 24 часов. С точки зрения оптических свойств к терморегулирующим покрытиям (ТРП) класса «истинные поглотители» предъявляются следующие требования: коэффициент поглощения солнечного излучения $A_s \geq 0,95$, коэффициент теплового излучения $E_n = 0,92-0,95$, удельное объемное электрическое сопротивление $\rho_v \leq 1 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ [1].

Определяющими характеристиками ТРП являются коэффициент поглощения солнечного излучения α_s , для ТРП «ИП» $\alpha_s \rightarrow 1$ и коэффициент теплового излучения (степень черноты) ϵ для ТРП «ИП» $\epsilon \rightarrow 1$.

К терморегулирующим материалам и покрытиям предъявляются повышенные требования радиационной стойкости, в части сохранения термооптических характеристик в период всего срока эксплуатации, и по величине газовыделения в связи с большой площадью, занимаемой этими материалами на поверхности КА.

Для исключения отказов радиоэлектронного оборудования на космических аппаратах используется стойкая к воздействию радиации элементная база и защитное экранирование, обеспечивающие при минимальных габаритно-массовых характеристиках максимальный срок активного существования и надежность. Поэтому проблема защиты элементной базы от радиации сводится к выбору наиболее эффективного защитного экрана.

В качестве защитного экрана можно использовать терморегулирующие покрытия, обеспечивающие:

- поддержание заданного теплового баланса систем КА в заданном диапазоне температур в процессе натурной эксплуатации;

- дополнительную защиту элементной базы, отдельных узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры от повреждающего воздействия ионизирующего излучения космического пространства.

Разработан пигмент для светоотражающих покрытий содержащий титанат бария, в котором катион титана частично замещен ионом олова [2]. Излучательная способность такого пигмента в зависимости от температуры изменяется скачкообразно от 0,42 до 0,77 при изменении рабочей температуры от -67 до +98°C. Изобретение позволяет осуществлять термостабилизацию космических аппаратов и других объектов техники. Такие покрытия могут быть использованы для терморегулирования космических аппаратов, для термостабилизации технологических процессов, происходящих в химических ректорах, в технологических емкостях пищевой, легкой и других отраслях промышленности, а также для теплосбережения жилых и производственных зданий. Наиболее примечательной областью применения таких покрытий являются космические аппараты. В них из трех видов передачи тепла (теплопроводность, конвекция и излучение) возможен только один - излучение, так как аппараты не имеют контакта ни через твердое тело (отсутствует контакт с объектами), ни через газ (аппарат находится в глубоком вакууме).

Все известные к настоящему времени светоотражающие покрытия типа эмалей или керамических покрытий, используемые в космической технике, состоят на 70-85% из пигмента и на 15-30% из связующего. В качестве пигментов используются порошки таких соединений, как: оксид цинка, диоксид титана, диоксид циркония, оксид алюминия, ортитанат цинка и их смеси. Излучательная способность (ϵ) таких пигментов и покрытий, изготовленных на их основе, в зависимости от температуры или постоянна, или незначительно изменяется по линейному закону, то есть с ростом температуры она увеличивается [3].

Оксид титана может выступать в качестве пигмента самостоятельно, как смесь двух пигментов, или как твердый раствор, синтезированный из двух пигментов. Он обладает хорошей отражательной способностью и широко используется в качестве пигмента как для отражающих покрытий космических аппаратов, так и при производстве эмалей и красок бытового назначения [4]. Излучательная способность ϵ пигмента TiO_2 составляет 0,9 и увеличивается в зависимости от температуры в диапазоне 0-100°C не более чем на 0,05 [5]. Однако покрытие на основе TiO_2 , как и любое отражающее покрытие, не может предотвратить переохладения объекта под действием соответствующих внешних условий, а также и не полностью предотвращает перегревание объекта, так как со временем уменьшается его отражательная способность, что приводит к росту температуры защищаемого объекта.

Таким образом, задача создания материала - пигмента для отражающих покрытий, который наряду с терморегулирующими свойствами обладал бы способностью к термостабилизации, остается по-прежнему актуальной. То есть необходимо создание пигмента для отражающих покрытий с фазовым переходом в зависимости излучательной способности от температуры.

Титанат бария $BaTiO_3$ известен как материал с фазовым переходом электрической проводимости и диэлектрической проницаемости в зависимости от температуры. Этот материал используется в качестве сегнетоэлектрика. Как показали исследования, титанат бария и его соединения, в которых титан частично замещен оловом, обладают хорошими отражающими способностями и при этом имеют фазовый переход в зависимости излучательной способности от температуры [6].

Излучательная способность пигмента на основе титаната бария в области рабочей температуры испытывает резкий скачок за счет фазового перехода: она изменяется от значений, характерных для металлов ($\epsilon=0,1-0,4$), до значений, характерных для диэлектриков ($\epsilon=0,7-0,95$). То есть при повышении температуры покрытия из-за каких-то внешних факторов резко увеличивается его излучательная способность, что приводит к увеличению излучаемой тепловой энергии и снижению температуры.

Понижение температуры покрытия ниже рабочей также вызывает скачкообразное снижение излучательной способности покрытия. Это приводит к уменьшению излучаемой энергии, к повышению температуры до прежнего уровня, т.е. к ее стабилизации. В результате покрытие обеспечивает стабилизацию температуры объекта, на поверхности которого оно находится, в рабочей области.

Большая востребованность сегнетоэлектрических тонкопленочных материалов сталкивается с проблемой их синтеза, который требует использования высокочистых исходных веществ и наукоёмкого высокотемпературного синтеза.

В нашей работе пленки сегнетоэлектриков получены экстракционно-пиролитическим методом [7], в котором органические прекурсоры формируются в процессе экстракции металлов из водных растворов их неорганических солей, при этом примесные катионы остаются в водной фазе. Полученные экстракты исследуются для уточнения концентрации металлов в них металлами атомной адсорбции и масс-спектрометрии, и далее экстракты смешиваются в соотношении Ba:Ti = 1:1/ Полученный рабочий раствор используется для нанесения пленок на подложки методом накатывания с последующим пиролизом в вертикальной печи при температуре 500 °С для удаления органической составляющей. Для формирования фазы сложного оксида проводился высокотемпературный отжиг при температурах 500–700 °С. При этом следует учесть, что твердофазный синтез титанатов бария и стронция из простых оксидов происходит при температурах 1300 °С. Разрабатываемый метод обеспечивает и снижение температуры синтеза и чистоту получаемых сложных оксидов.

Тонкие пленки BaTiO₃ были получены нанесением раствора смеси экстрактов – карбоксилатов бария и титана на кварцевые подложки и пиролизом при температуре 500 °С с последующим отжигом при различных температурах. Полученные материалы были исследованы методом РФА на приборе ДРОН 4 (рисунок 1)

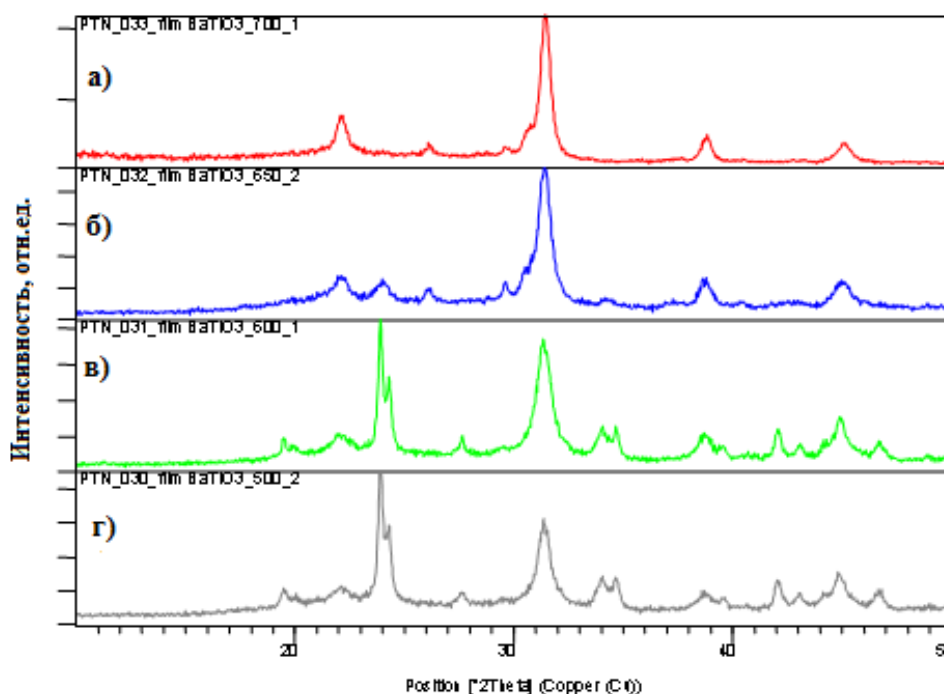


Рис.1 - РФА тонких пленок, полученных из растворов экстрактов Ba и Ti.

Как показали результаты рентгенофазового анализа, в процессе отжига пленки в течение 10 минут при 500 и 600 °С происходит образование около 40–50 % фазы

сегнетоэлектрика BaTiO_3 ($31,5 \text{ } 2\Theta$) наряду с непрореагировавшими оксидами TiO_2 и BaO (24 ; 34 ; $34,5 \text{ } 2\Theta$). Отжиг при температуре $650 \text{ } ^\circ\text{C}$ в течение 10 минут приводит к более полному формированию фазы BaTiO_3 , тогда как при $700 \text{ } ^\circ\text{C}$ получается чистая фаза сегнетоэлектрика. Увеличение времени отжига до 1 часа позволит снизить температуру синтеза фазы титаната бария до $650 \text{ } ^\circ\text{C}$.

По полуширине рентгеновского пика с использованием уравнения Шеррера $\Delta 2\Theta = m\lambda/D_{\text{hkl}} \text{Cos}\Theta$ ($m=1$, $\lambda=1,5418 \text{ нм}$) определен размер зерен в полученной пленке BaTiO_3 , который составил 20 нм .

Анализ микроструктуры на сканирующем электронном микроскопе также свидетельствует о наличии в пленке BaTiO_3 однородных зерен круглой формы с размером около 20 нм (рис. 2).

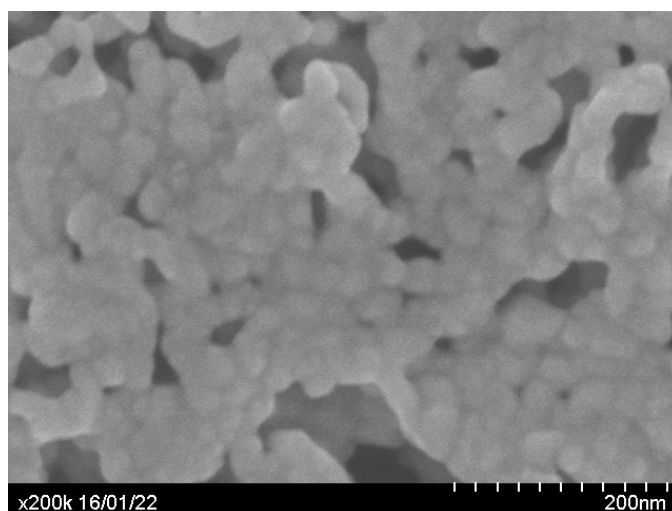


Рис.2 - Микроструктура пленки BaTiO_3

В результате проведенных исследований установлено, что сегнетоэлектрические пленки можно получить из растворов экстрактов титана и бария, нанесенных на подложки кварцевого стекла или металлов после отжига при температурах $650\text{--}700 \text{ } ^\circ\text{C}$ в течение 10 минут.

Список литературы

1. Тепловой обмен и тепловой режим космических аппаратов. Под ред. Дж. Лукаса.; Пер. с англ. под ред. Н.А.Анфимова. – М.: Мир, 1974. – 524 с.
2. Городецкий А.А., Демидов С.А., Иванченков А.С. и др. Исследование терморегулирующих покрытий на орбитальной космической станции «Салют-6» // Модель космоса. – М.:МГУ, 1983, т.2. С.394-416.
3. Новицкий Л.А., Степанов Б.М. Оптические свойства материалов при низких температурах. Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.
4. Соколовский А.Н. Исследование оптических свойств фото- и радиационной стойкости модифицированных пигментов диоксида титана. Автореферат дисс. канд. физ.-мат. наук. – Томск, ТУ СУР, 2006. – 18 с.
5. Михайлов М.М. Спектры отражения терморегулирующих покрытий космических аппаратов. – Томск: Изд Томского университета, 2007. – 314 с.
6. Сабури О. Полупроводники на основе титаната бария. – М.: Энергоиздат, 1982. – 301 с.
7. Холькин А.И., Патрушева Т.Н. Экстракционно-пиролитический метод получения оксидных функциональных материалов. – М.: КомКнига, 2006. – 276 с.

IBIS-МОДЕЛИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Каленчиц Ю. А.

научный руководитель канд. физ.-мат. наук Левицкий А.А.

Сибирский федеральный университет

На сегодняшний день при проектировании современных высокоскоростных и высокочастотных цифровых устройств на печатных платах, в отличие от цифровых устройств, работающих на низкой рабочей частоте, особое внимание уделяется учету характеристик активных элементов цепи, а также взаимовлияния трасс межсоединений платы на работу схемы. На низких рабочих частотах эти конструктивные элементы не оказывают заметного влияния на работу схемы, однако с ростом рабочих частот цифровых микросхем, их времени переключения и крутизны фронтов важность учета паразитных эффектов печатных плат на целостность сигнала и электромагнитную совместимость существенно возрастает [1].

Анализ целостности сигналов и электромагнитной совместимости проводят посредством моделирования спроектированного цифрового устройства на печатной плате в современных системах автоматизированного проектирования с использованием моделей – *IBIS* и *SPICE*.

Проблема моделирования целостности сигналов и электромагнитной совместимости заключается в эффективности использования тех или иных моделей.

IBIS (*Input/Output Buffer Information Specification*) модели были введены в процесс моделирования фирмой *Intel* в 90-х годах и затем стандартизированы альянсом электронной промышленности (*Electronics Industry Alliance*). Сущность *IBIS* заключается в том, что в спецификации приводится описание свойств только входных и выходных параметров интегральных микросхем (ИС), к таким параметрам относятся значения вольт-амперных характеристик входных и выходных сигналов при различных логических состояниях, паразитных параметров корпуса и переходных характеристик при нормированной активной нагрузке. Для учета возможного разброса параметров микросхем в *IBIS*-модели закладываются номинальные, минимальные и максимальные значения параметров [2,3].

С точки зрения моделирования *IBIS*-модель обладает как достоинствами, так и недостатками. К достоинствам можно отнести сравнительную простоту, точность модели, а также универсальность в части решения сопутствующих топологическому проектированию задач. Простота модели позволяет моделировать сложные цифровые устройства за непродолжительное время. Кроме того, эта модель может быть создана для любой микросхемы на основе экспериментальных замеров входных и выходных параметров, не требуя при этом знания внутренней архитектуры, обеспечивая этим сохранность коммерческой тайны об используемых в ИС схемотехнических решениях при передаче информации организациями-производителями ИС разработчикам высокоскоростных и высокочастотных цифровых устройств. К недостаткам можно отнести невозможность моделирования распространения сигнала внутри микросхемы, поскольку данная модель не описывает внутреннюю структуру ИС.

Язык и система *SPICE* (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) были созданы более двадцати лет назад. Язык предназначен для описания электрических цепей разной сложности. Он используется для расчета схем во временной и частотной областях, а также в статическом режиме. *SPICE*-модель содержит в себе схему и список всех цепей ИС, что делает её более информативной, чем ранее упомянутая *IBIS*-модель.

При проведении моделирования все элементы схемы заменяются их математическими моделями, позволяя таким образом провести полное схемотехническое моделирование цифрового узла с наиболее точными результатами. Язык *SPICE* и системы на его основе имеют различные модификации и используются во многих САПР. Однако языки, используемые во всех системах, имеют значительные отличия и дополнения по сравнению с начальной версией *SPICE*. Недостатком *SPICE*-модели является отсутствие в свободном доступе принципиальных электрических схем, особенно с номиналами пассивных и характеристиками активных элементов. Также моделирование цифровых устройств на основе *SPICE*-моделей и содержащихся в них элементов занимает гораздо больше времени, чем с *IBIS*-моделями. Все эти недостатки создали условия для массового перехода от *SPICE*-моделей к *IBIS*-моделям ИС при анализе целостности сигналов.

Таким образом, на основании вышеизложенного, можно заключить, что при моделировании высокоскоростных и высокочастотных цифровых устройств на печатных платах существует потребность в создании универсальной модели, сочетающей в себе достоинства двух вышеописанных видов моделей:

1. простоту;
2. точность параметров;
3. универсальность.

В настоящее время наблюдается важная тенденция в области *IBIS*-моделирования: *IBIS* в своем развитии все больше сближается с *VHDL* и другими языками описания логических систем. Файлы с *IBIS*-описанием микросхем могут быть дополнены *VHDL*-описанием логики её функционирования. Такое сочетание языков разного назначения в стандарте *IBIS* называют мультязычным расширением. На основе совместного использования *IBIS* и *VHDL* для описания электрических свойств и логики функционирования микросхем можно проводить моделирование цифровых узлов на печатных платах на разных этапах проектирования [4].

Список литературы

1. Сабунин А. *Altium Designer* – Обеспечение целостности сигнала на печатной плате / А. Сабунин // Современная электроника. – 2010. – №8 – С. 58-65.
2. R. N. G. Cunny. *SPICE and IBIS modeling kits the basis for signal integrity analyses* // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1996. - August - P. 204 – 208.
3. К.О. Петросянц, И.А. Харитонов, А.С. Адонин, А.В. Сидоров, А.В. Александров. Создание *IBIS* моделей цифровых микросхем с учетом воздействия внешних факторов / К.О. Петросянц, И.А. Харитонов // МЭС – 2012 «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем»: сб. науч. тр. / Москва. Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН – Москва, 2012. – С. 187–192.
4. Системы автоматизированного проектирования для ЭМС [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elcut.ru/publications/sukhanov5.pdf>
5. Michael Mirmak *IBIS Modeling Cookbook* // Intel Corporation, Government Electronics and Information Technology Association and The *IBIS* Open Forum. – 2005. – URL: <http://www.eda.org/ibis/>
6. Bonnie Baker, “The *IBIS* model: A conduit into signal-integrity analysis, Part 1” // *Analog Applications Journal* (4Q 2010). URL: www.ti.com/lit/an/slyt390/slyt390.pdf (дата обращения: 20.02.2016)



РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМОЙ

Люманов Р.О.

научные руководители Боев Н.М., Зограф Ф.Г.

Сибирский федеральный университет

В России успешно развивается беспилотная гражданская авиация, которая решает задачи по дистанционному зондированию Земли. Для этого на борту летательного аппарата (ЛА) используется аппаратура для фото- видеосъемки и система передачи данных для обмена информации между наземным комплексом управления (НКУ) и ЛА. При использовании этих систем возникают проблемы [1]:

1) Для высокоскоростной передачи данных характерен диапазон частот выше 2 ГГц, в результате чего затухание на трассе велико. Поэтому должны использоваться остронаправленные антенны с узкой диаграммой направленности для увеличения коэффициента усиления антенны.

2) При проведении аэрофотосъемки необходима стабилизация камеры по трем осям (свободная ориентация камеры). Это позволяет: уменьшить количество снимков; снизить затраты на обработку; снимать боковые текстуры зданий и сооружений; производить многоракурсную съемку комплексных сосредоточенных объектов.

3) При проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также летных испытаний, необходимым средством объективного контроля является фото- видеофиксация процесса взлета и посадки ЛА.

Для решения данных проблем и повышения эксплуатационных характеристик системы должны быть оборудованы опорно-поворотной платформой (ОПП) с устройством управления, обеспечивающим требуемое быстродействие и точность позиционирования ОПП, при габаритах, позволяющих установку на ЛА.

Целесообразность разработки обусловлена сложившейся геополитической ситуацией и возникшими трудностями с приобретением импортных устройств и компонентов, а также ценой зарубежных аналогов.

На рисунке 1 представлена схема предлагаемого устройства управления опорно-поворотной платформой.

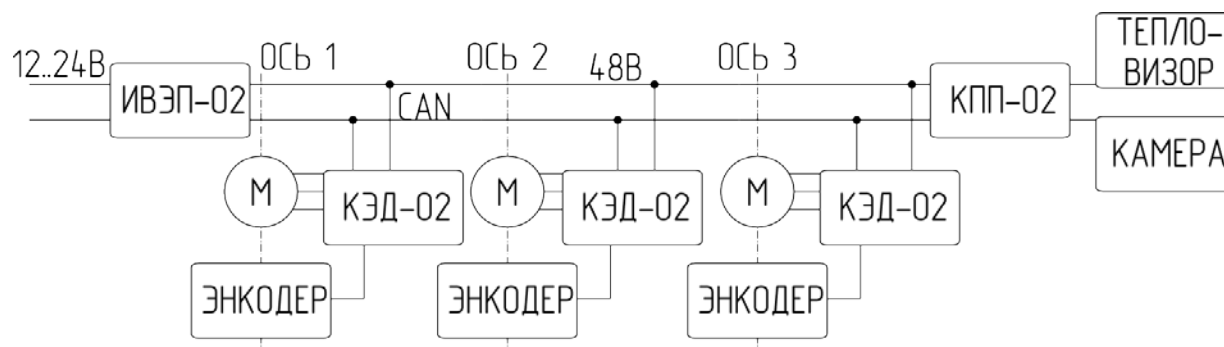


Рис.1 - Схема устройства управления опорно-поворотной платформой

Источник питания реализован в виде ИВЭП, который повышает напряжение до 48 В. Это необходимо для питания электродвигателей и всех устройств платформы. Максимальный ток потребления устройства составляет 3 А.

В качестве контроллера поворотной платформы используется КПП-02 (контроллер поворотной платформы), который задает требуемое положение ОПП, а также имеет цепи измерения температуры тепловизора и камеры.

Управление двигателями осуществляет КЭД-02 (контроллер электродвигателя). КЭД-02 получает информацию с КПП-02 и производит коррекцию положения оси, ориентируясь на эту информацию и данные, получаемые с энкодера.

При изменении типа двигателей, например при использовании устройства в наземном оборудовании, меняются программы КЭД-02, КПП-02 и ИВЭП.

Компактность устройства достигается применением SMD-монтажа и многослойных печатных плат высокого класса точности.

На рисунке 2 представлена 3D модель прототипа опорно-поворотного устройства с антенной для борта БПЛА.

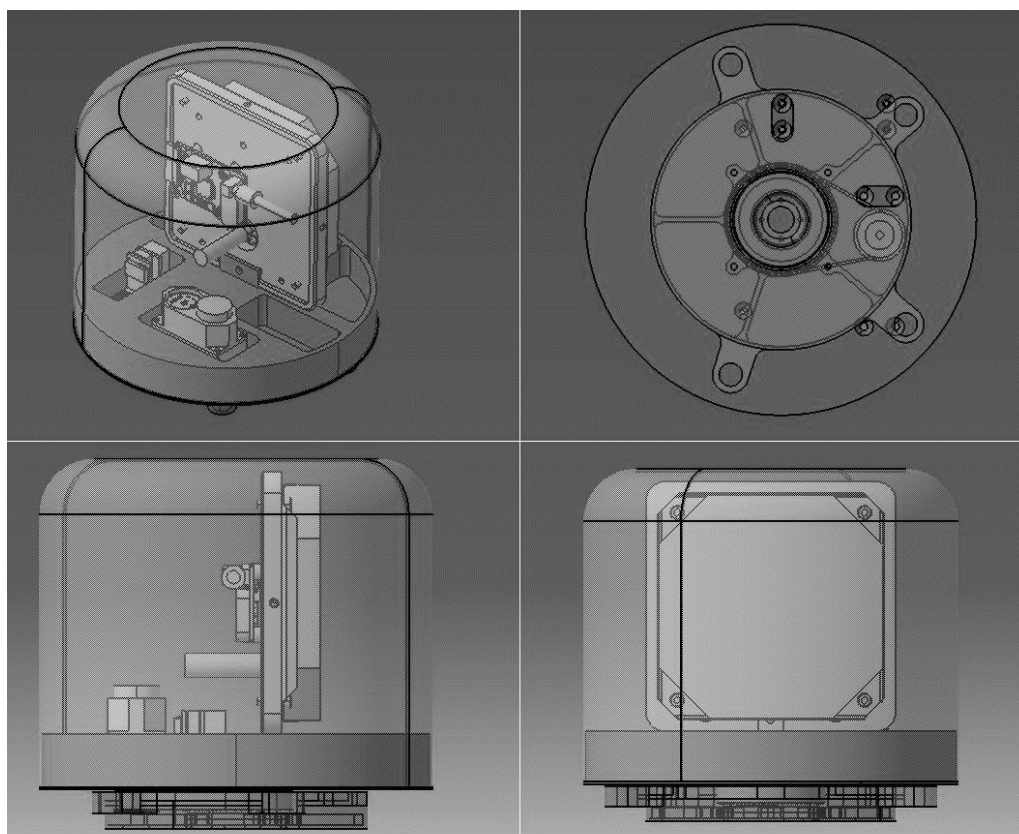


Рис.2 - Опорно-поворотное устройство для борта БПЛА

Предложено универсальное устройство, которое имеет возможность управления приводами поворотной платформы с тремя степенями свободы. Универсальность устройства достигается за счет возможности управления различными типами приводов (коллекторные, бесколлекторные, шаговые двигатели) и использования различного бортового оборудования. Компактные размеры устройства и малая масса позволят использовать его для управления ОПП с различной массой полезной нагрузки как для бортового оборудования ЛА, так и для оборудования наземного комплекса управления.

Список литературы

1. Боев Н. М. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния / Н. М. Боев, П. В. Шаршавин, И. В. Нигруца // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – №3. С. 147-158.

КОНТРОЛЬ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА СОДЕРБЕРГА

Нохрин Ю.С., Нефедов И.Е., Тен В.П., Громыко А.И.

научные руководители Тен В.П., Громыко А.И.

Сибирский федеральный университет

Введение

Основные задачи производства алюминия: повышение производительности (выхода по току) электролизера, сокращение расхода электроэнергии и вредных выбросов в окружающую среду. Для решения этих задач необходимы автоматизированные средства управления технологическим процессом, создание которых тормозится из-за недостатка средств автоматического измерения и контроля наиболее важных технологических параметров алюминиевых электролизеров: комплексного и активного сопротивления, обратной ЭДС, емкости анод – электролит и концентрации глинозема в электролите в реальном масштабе времени.

Исследование

Обратная ЭДС и активное сопротивление электролизера связаны с такими технологическими параметрами как, концентрация глинозема в электролите, межполюсное расстояние (МПП), состав электролита, и др.

На (рис. 1) представлен график зависимости изменения обратной ЭДС (E), приведенного напряжения (U) и активного сопротивления электролизера (R) от концентрации глинозема в электролите. В реальных условиях на электролизерах с анодами Содерберга, величина обратной ЭДС может изменяться на 50% (затемненная область), а величина сопротивления электролизера – на 20% [8].

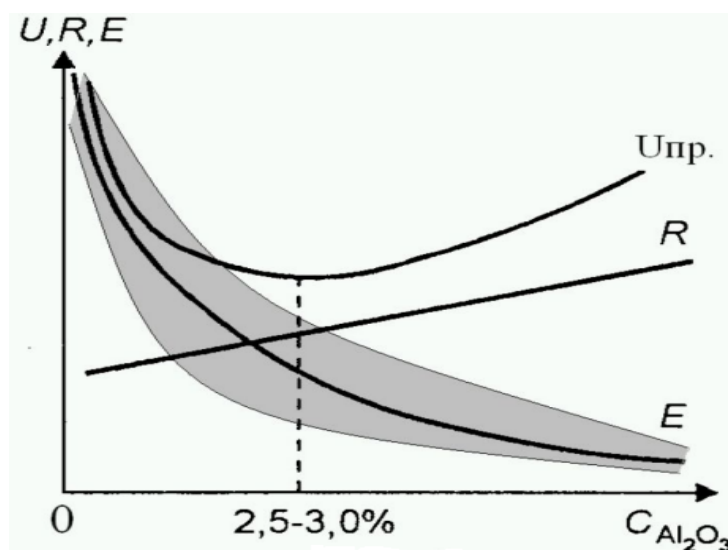


Рис.1 - Зависимости изменения обратной ЭДС (E), приведенного напряжения (U) и активного сопротивления электролизера (R) от концентрации глинозема в электролите

Следовательно, не контролируемые значения обратной ЭДС сильно влияют на результат измерения рабочего (приведенного) напряжения электролизной ванны, и на результат регулирования МПП.

Сотрудниками СФУ предложен способ измерения комплексного сопротивления электролизера с последующим вычислением активного сопротивления и обратной ЭДС.

Величину комплексного сопротивления электролизера определяем по результатам измерения переменной составляющей падения напряжения на электролизере и тока вызвавшего это падение напряжения. Существующие схемы выпрямления тока серии обуславливают наличие гармоник кратных 50 Гц. Наибольшее амплитудное значение имеют гармоники 300Гц, 600Гц, 1200Гц [1-3]. Комплексное сопротивление на гармонике можно найти из равенства (1)

$$\dot{Z} = \frac{U}{I} e^{i\theta} = R_a + jX_L - jX_C \quad (1)$$

Поскольку, точно измерить фазовый сдвиг между током и напряжением на выбранной гармонике тока серии, является сложной технической задачей в условиях электролизного цеха, составляющие комплексного сопротивления можно найти из решения системы трех уравнений (2) [5, 7]

$$\begin{aligned} Z_1 &= \sqrt{R^2 + \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C}\right)^2} = \frac{U_1}{I_1} \\ Z_2 &= \sqrt{R^2 + \left(2\omega_1 L - \frac{1}{2\omega_1 C}\right)^2} = \frac{U_2}{I_2} \\ Z_3 &= \sqrt{R^2 + \left(4\omega_1 L - \frac{1}{4\omega_1 C}\right)^2} = \frac{U_3}{I_3} \end{aligned} \quad (2)$$

где индексы 1, 2, 3 – соответствуют измерениям на частотах 300Гц, 600Гц, 1200Гц. напряжения U и тока I протекающего через электролизер. Решение системы уравнений дает значения величин $R_1 = R_a$, L и C электролизера. После вычисления сопротивления, величину обратной ЭДС определяют из формулы (3)

$$R_a = \frac{U_3 - E_0}{I_c} \quad (3)$$

далее значение обратной ЭДС можно использовать как в алгоритмах управления электролизной ванной, так и контролировать концентрацию глинозема в электролите, по отношению величин обратной ЭДС и падения напряжения на активном сопротивлении электролизной ванны: [5]

$$n = \frac{E_0}{I_c * R_a} \quad (4)$$

По величине безразмерного коэффициента n можно судить о концентрации глинозема в электролите при

- $n \leq 0,5$ – большая концентрация (4–6%),
- $0,5 < n < 0,65$ – номинальная концентрация (2–4%),
- $n \geq 0,65$ – критическая концентрация (менее 2%).

Полученное значение активного сопротивления из системы уравнения можно использовать для вычисления межполюсного расстояния h (мм) из формулы (5)

$$R_a = \left(\frac{\rho_n * h}{S} + R_k\right) \quad (5)$$

где R_a – активное сопротивление промежутка анод-катод электролизера, R_k – активное сопротивление токоподводящих узлов электролизера, ρ_n – удельное сопротивление электролита в зависимости от концентрации, h – МПР, S – площадь зеркала

электролита [3]. Работоспособность данного метода была экспериментально подтверждена, на КрАЗе. Из системы уравнений определены: активное сопротивление, обратная ЭДС, МПР, концентрация глинозема и характер изменения данных параметров во времени (Рис. 2).

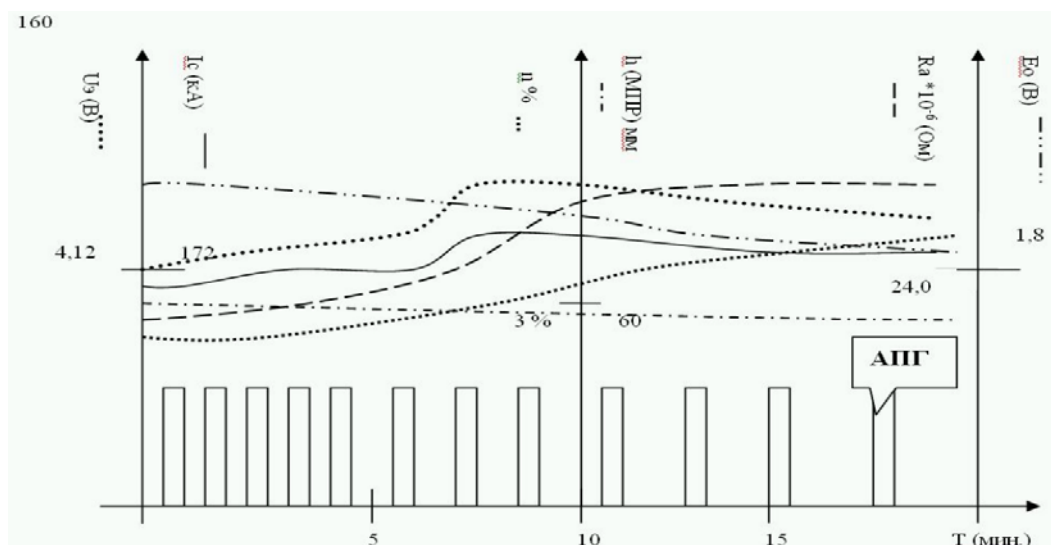


Рис.2 - Графики зависимостей, полученные на реальном электролизере

Для реализации измерительной системы (RCL) разработан автономный блок съема и передачи информации, структурная схема которого изображена на (рис.3).



Рис.3- Структурная схема автономного блока съема и передачи информации

Сигнал с электролизера поступает на вход АЦП через входные узкополосные фильтры-усилители. С выхода АЦП, оцифрованный сигнал поступает на микропроцессор, где проходит дополнительную обработку цифровой фильтрации и через контроллер ввода-вывода, по радиоканалу или через USB порт передается в систему сбора и обработки информации.

Заключение

Использование разработанного блока контроля RC L электролизера, позволит:

- Непрерывно в режиме реального времени измерять и контролировать изменение активного сопротивления, обратной ЭДС и межполюсного расстояния электролизной ванны.

- Непрерывно контролировать изменением концентрации глинозема в электролите.

- Оптимизировать процесс электролиза по минимуму потребления электроэнергии как за счет поддержания заданной величин R_a и E_0 , так и за счет сокращения количества анодных эффектов.

- Непрерывно в режиме реального времени контролировать объём металла.

- Стабилизировать форму рабочего пространства, что обеспечит увеличение продолжительности срока службы электролизных ванн.

Реализация контроля R_a и E_0 , дает возможность улучшить экологическую обстановку на территории примыкающей к алюминиевым заводам и условия работы в цехах электролиза алюминия, а также данный метод целесообразно использовать для оснащения разрабатываемых новых перспективных электролизеров на инертных анодах, где очень жесткие требования предъявляются именно к контролю концентрации глинозема в электролите [6].

Список литературы

1. Громько А.И., Шаповалов А.В. Измерение комплексного сопротивления электролизера. — Цв. металлы, 1983, №1, с. 40—42.

2. Громько А.И., Заливной В.И., Анисов С.П. и др. Экспериментальная оценка измерения обратной ЭДС алюминиевого электролизера. — Цв. металлы, 1985, №8, с. 64-66.

3. Графов Б.М., Укше Е.А. Электрохимические цепи переменного тока. —М.: Наука, 973. — 376 с., ил.

4. Громько А.И. Устройство контроля активного сопротивления и обратной ЭДС алюминиевого электролизера. А.С., №1463808, Опубл. в Б.И., 1989, №9. Громько А.И., Зограф Г.М., Манн В.Х.

5. Громько А.И. Способ контроля технологических параметров алюминиевых электролизеров. Пат. РФ № 2057823. Опубл. в Б.И., 1996, № 10. Зограф Г.М., Моргалюк В.Д

6. Nickel Ferrite Cermets as inert Anodes for Aluminum Electrolysis 2010. Kingston Process Metallurgy Inc. 1079 Pembroke Crescent, Kingston, ON CANADA K7P 1P24.

7. А.И. Громько, Нефёдов И.Е., Измерение составляющих комплексного сопротивления электролизера. Сборник докладов Международной конференции «АЛЮМИНИЙ СИБИРИ-2012», 10-12 Сентября 2012 года, С. 152- 153.

8. Ю.В. Борисоглебский, Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов «Металлургия алюминия», Новосибирск «НАУКА» Сибирская издательская фирма РАН 1999 г. – 437 с.



ОЧИСТКА ПРОМЫВНЫХ СТОКОВ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ РЕАГЕНТНЫМ СПОСОБОМ С ПОМОЩЬЮ ФЕРРОФЕРРИГИДРОЗОЛЯ

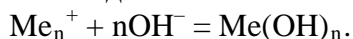
Сулименков А.А.

научный руководители Чупий В.И., ст. преподаватель Томилина Н.П.
Сибирский федеральный университет

Производство печатных плат — одно из производств, серьезно влияющих на загрязнение окружающей среды, в частности ионами тяжелых металлов, наиболее опасных для биосферы.

Реагентный метод – наиболее распространенный метод, заключающийся в переводе растворимых веществ в нерастворимые при добавлении различных реагентов с последующим отделением их в виде осадков.

Наиболее широко для осаждения металлов используется гидроксид натрия, который осаждает ионы металла в виде гидроксидов:



Нейтрализация кислотно-щелочных сточных вод ведется путем добавления в реактор 1%-го раствора известкового молока или 10%-го раствора щелочи NaOH или КОН для доведения рН воды до оптимальной величины 6,5-9,5, при которой происходит максимальное выпадение гидроксидов тяжелых металлов в осадок. Для образования и осаждения гидроокисей требуется поддерживать рН в пределах:

- для меди – 8-9,54;
- для железа – 7,5-9,7;
- для хрома 3-х валентного – 4,9-6,8;
- для никеля – 7,7-9,5;
- для цинка – 6,4-8,0.

Достоинства метода:

- осаждение широкого интервала начальных концентраций растворов тяжелых металлов в виде гидроксидов металлов;

- универсальность;
- простота эксплуатации.

Недостатки метода:

- громоздкость оборудования;
- значительный расход реагентов;
- дополнительное загрязнение сточных вод;
- невозможность возврата в оборотный цикл очищенной воды из-за повышенного солесодержания;

- потребность в значительных площадях для захоронения шлама, имеющего 3-й класс опасности;

- необходимость в обезвреживании промывных вод ($\text{CN} \rightarrow \text{CO}_2$, $\text{Cr}^{+6} \rightarrow \text{Cr}^{+3}$) и дальнейшей отправки в бак усреднения стоков.

Существует система очистки стоков, основанная на применении наноконпозиции, получаемой из отходов стали Ст3. Сущность предложенной технологии сводится к тому, что предварительно в отдельном электролизере проводится анодное растворение указанных металлических отходов с получением суспензии, которая затем направляется в реактор, где происходит смешение ее с очищаемым стоком. Готовая суспензия носит название ферроферригидрозоля (ФФГ).

Ферроферригидрозо́ль состоит из наночастиц, имеющих очень большую поверхность, которая содержит химически активные группы, действующие как специфические адсорбенты, и соединения железа (II) и железа (III). ФФГ используется для нейтрализации и удаления тяжелых металлов, а также для обезвреживания других сопутствующих загрязнителей, таких как фосфаты, органические соединения, остатки смазочно-охлаждающих жидкостей, красителей и детергентов. Это возможно из-за одновременно работающих различных механизмов, например сорбции, коагуляции, восстановления, ферритизации. Метод пригоден для очистки сточных вод с размещением отходов согласно природоохранным законам и внедрен в нескольких восточно- и западноевропейских странах.

Наноконпозиция ФФГ может обезвреживать воду и в том случае, если получать его отдельно и затем дозировать в обрабатываемый сток. Параметры рабочего раствора регулировать гораздо легче, чем параметры производственного стока. Можно подобрать раствор с такими характеристиками, которые позволяют получать наноконпозицию ФФГ из отходов металла, а не из кондиционной стали.

Полученный после очистки шлам 4-го класса опасности можно безопасно захоранивать на городских свалках или использовать как сырье для производства различных технических продуктов, таких как керамика, пигменты и т. п. Обезвреженная вода может быть возвращена в технологические процессы до 70%.

Таким образом, предлагается безопасная для окружающей среды технология и сберегающий ресурсы промышленный процесс.

Внедрив эту технологию, предприятие со средними финансовыми возможностями в состоянии выполнять самые строгие нормы обезвреживания токсичных стоков.

Таблица 1 - Сравнение обезвреженных сточных вод традиционным реагентным способом и при помощи ФФГ [1]

Основные критерии оценки технологии	Традиционный реагентный способ	Метод очистки ферроферригидрозо́лем
1	2	3
Достижение ПДК	Достижение мягких норм ПДК	Достижение ПДК в соответствии с требованиями Европейского Союза
Возврат воды в производство	Не возвращается	Возвращается в техническую или оборотную системы
Количество очищенной воды	Дополнительное засаливание	Нет дополнительного засаливание
Депонирование осадка	В свалках опасных отходов	В свалках безопасных отходов
Утилизация осадка	Захоранивание	В керамику, пигмент, черепицу
Использование токсичных реагентов	Используются кислота, щелочь, бисульфит и др.	Используется незначительное количество щелочи и кислоты для доведения pH

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Необходимость раздельной обработки стоков	Отдельно обрабатываются кислотнo-щелочные стоки и хромосодержащие	Все в одном потоке
Спектр обезвреживания	Узкий	Широкий: тяжелые металлы очищаются в присутствии ПАВ, органических веществ, красителей, детергентов и пр.
Зависимость осаждения от степени кислотности раствора (рН)	Разные металлы осаждаются в разных интервалах рН	Из-за образования ферритов все металлы осаждаются в одном диапазоне рН
Необходимость отстойников	Отстаивание в течение 4-72 часов	Отстаивание в течении 2 часов

Таблица 2 – Сравнение ПДК традиционного реагентного способа и способа ФФГ при рН = 6,5-9,5 [2]

Ионы тяжелых металлов	ПДК при реагентном способе, мг/л	ПДК при помощи ФФГ, мг/л
Zn	0,35-0,4	0,05-0,2
Cr ⁺³	0,4-0,48	0,09-0,2
Cr ⁺⁶	0,25-0,4	0,001-0,05
Ni	0,4-0,45	0,1-0,25
Cu	0,38-0,4	0,05-0,25
Pb	0,04	0,02-01

Появление такого продукта, как нанокomпозиция ФФГ, позволяет улучшить технологию очистки сточных вод и достичь более высокого качества очищаемой воды, пригодной для повторного использования, а также использовать нетоксичные шламы для производства технически полезных материалов.

Набор оборудования для осуществления технологии очистки сточных вод с помощью ФФГ наряду с традиционным оборудованием реагентных водоочистных станций имеет специальный генератор для получения нанокomпозиции ФФГ из отходов железа [1].

Список литературы

1. Будиловскис Ю., Будкина Л., Медведев А., Шкундина С. Применение ферроферригидрозоля для очистки промышленных стоков / Журнал Технологии в электронной промышленности. 2011. №1.
2. Каталог World of Ineco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ineco.lt/assets/files/inecokatalogas_v3_46EN.pdf.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ И ПОДЖИГА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ТИРАТРОНА

Трухина И. С.

научный руководитель доц. Трегубов С. И.

Сибирский федеральный университет

Несмотря на широкое внедрение полупроводниковых приборов, в ряде устройств используются высоковольтные тиратроны. Они применяются в сейсморазведке, установках электробурения, установках для очистки нефтезаборных устройств, медицинских установках для разрушения камней в почках, установках магнитно-импульсной, электрогидравлической и гидроимпульсной обработки материалов. Тиратроны используются в импульсных установках, работающих на эффекте Юткина, который также имеет название электрогидравлический эффект (ЭГЭ). Это явление позволяет осуществить преобразование электрической энергии в механическую с высоким коэффициентом полезного действия [1]. Структурная схема устройства для создания ЭГЭ приведена на рисунке 1.

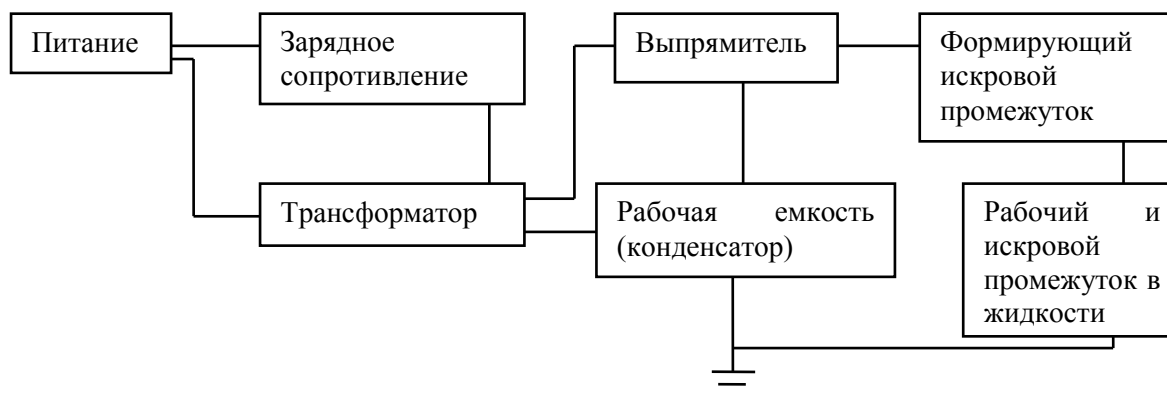


Рис.1 - Структурная схема устройства, работающего на ЭГЭ

Тиратрон представляет собой ионный (газоразрядный) прибор, предназначенный для управления электрическим током с помощью напряжения, поданного на его электроды. Выполнен в виде герметичного баллона, в качестве наполняющего газа может использоваться инертный газ, водород, пары ртути или пары материала, из которого изготовлены электроды. Тиратроны классифицируются по способу подачи управляющего сигнала:

- управляемые током;
- управляемые напряжением.

Важным конструктивным элементом электронных устройств на тиратронах является система питания и поджига. Например, для высоковольтного тиратрона ТДИ1-150к/25 эта система должна включать в себя:

- поджигающий трансформатор;
- питающий трансформатор;
- импульсный блок питания;
- блок поджига;
- батарею конденсаторов.

Структурная схема устройства питания и поджига представлена на рисунке 2.

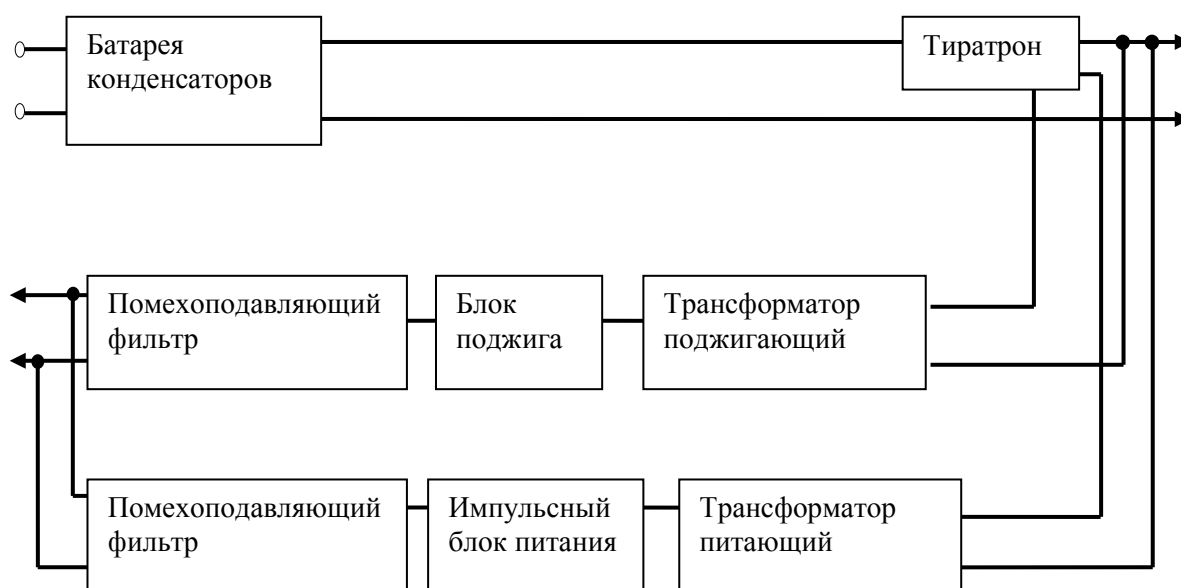


Рис.2 – Структурная схема системы питания и поджига тиратрона серии ТДИ

При разработке конструкции данной системы необходимо учитывать следующее:

- наличие хорошей изоляции;
- обязательное применение помехоподавляющих фильтров;
- использование экранирования.

В хорошей изоляции нуждаются обмотки высоковольтных трансформаторов и другие высоковольтные цепи. Это требование обуславливает выбор материала для каркаса вторичной обмотки. Хорошими электроизоляционными свойствами обладают полиамид 6, полиэтилен, фторопласт. Выбор конкретного материала определяется способом формообразования каркаса – резание, литье. Кроме этого, в ряде случаев, на первый план может выдвигаться требование по массе изделия. Немаловажным фактором является также рабочие температуры трансформатора.

Так как импульсный блок питания может являться источником помех, необходимо обеспечить его электромагнитную совместимость с электронным устройством [2]. Для этого используются помехоподавляющие фильтры, включающие в себя трансформаторы со встречной обмоткой и конденсаторы, для подавления синфазной составляющей помехи. В качестве материала сердечника может использоваться феррит марки 2000НМ.

Поджигающий и питающий трансформаторы нуждаются в экранировании как магнитного поля, так и электрического. В качестве экранов могут быть использованы листы меди толщиной 0,2 мм. Для предотвращения короткого замыкания витков экрана используется прокладка из электроизоляционного картона.

Список литературы

1. Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, – 1986. – 253 с.
2. Noise Suppression Products/EMI Suppression Filters [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.murata.com/en-eu/products/emc/emifil/knowhow/basic>.