

№8

2014

август

Научно-практический
журнал для специалистов

Республика Беларусь, г. Минск

ЭЛЕКТРОНИКА
инфо

*Тема номера:
«Опτικο-электронные
системы и технологии
в электронике»*

Комплектация для систем защиты кабельной
продукции в автомобильной и других
отраслях промышленности



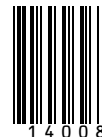
Schlemmer
CABLE PROTECTION SYSTEMS

FEK
ЭЛЕКТРОНИКА

ООО «ФЭК» РБ, 220015, г. Минск, пр. Пушкина, 29 Б,
тел./факс: +375 (17) 210-21-89,
+375 (29) 370-90-92, +375 (29) 274-17-13,
e-mail: info@fek.by, www.fek.by

ПОДПИСКА В БЕЛАРУСИ (Белпочта):
индивидуальная – 00822,
Ведомственная – 008222

ISSN 1999-7515



9 1771999 751006 1

4 008



Американские продукты отлично работают на белорусском рынке.

Продукция для IT-систем и связи
Электротехническая продукция
Инструменты и аксессуары

Закрытое акцiонерное общество
«Профессиональные сетевые системы»



Официальный дистрибьютер в Республике Беларусь:



ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ
ФАКУЛЬТЕТА РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЛГОСУНИВЕРСИТЕТА.
ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В СПИСОК НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ ВАК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

электроника
инфо

International magazine
of amateur and professional electronics
№8 (110) август 2014

Зарегистрирован
Министерством информации
Республики Беларусь
Регистрационный №71
от 19 августа 2014 года

Главный редактор:
Асмоловская Ирина Михайловна
i.asmalouskaya@electronica.by

Редактор технический:
Бортник Ольга Викторовна

Редакционная коллегия:

Председатель:
Чернявский Александр Федорович
академик НАН Беларуси, д.т.н.

Секретарь:
Садов Василий Сергеевич, к.т.н.
e-mail: sadov@bsu.by

Члены редакционной коллегии:
Беляев Борис Илларионович, д.ф.-м.н.
Борздов Владимир Михайлович, д.ф.-м.н.
Голенков Владимир Васильевич, д.т.н.
Гончаров Виктор Константинович, д.ф.-м.н.
Есман Александр Константинович, д.ф.-м.н.
Ильин Виктор Николаевич, д.т.н.
Кугейко Михаил Михайлович, д.ф.-м.н.
Кучинский Петр Васильевич, д.ф.-м.н.
Мулярчик Степан Григорьевич, д.т.н.
Петровский Александр Андреевич, д.т.н.
Попечиц Владимир Иванович, д.ф.-м.н.
Рудницкий Антон Сергеевич, д.ф.-м.н.

Отдел рекламы и распространения:
Антоневич Светлана Геннадьевна
тел./факс: +375 (17) 388-44-71
e-mail: s.antonovich@electronica.by

Учредитель:
ЗАО «Финансово-аналитическое агентство
«Эф энд Ка»
220018, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Одоевского,
д. 131, пом. 9, каб. 15,
тел./факс: +375 (17) 388-44-71

© Перепечатка материалов, опубликованных
в журнале «Электроника инфо», допускается
с разрешения редакции
За содержание рекламных материалов редакция
ответственности не несет

Подписной индекс в РБ:
00822 (индивидуальная),
008222 (ведомственная)

Цена свободная

Подготовка, печать:
150 экз. отпечатано
тип. ООО «Полиграфт»
г. Минск, ул. Кнорина, 50/4-401А
Лицензия №02330/466 от 21.04.2014 г.
Подписано в печать 28.08.2014 г.
Заказ №

СЛАВНЫЕ ИМЕНА

ОПТИЧЕСКАЯ «НАКАЧКА».....2

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ЗНАМЕНАТЕЛЬНЫЕ СОБЫТИЯ В ИСТОРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
И СТАНОВЛЕНИЯ КВАНТОВОЙ И ОПТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.....4

ОПТИКА

ВТОРИЧНАЯ ОПТИКА ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ – УМНЫЙ ПОДХОД К ЦЕНООБРАЗОВАНИЮ.....9

НАШИ ИНТЕРВЬЮ

GE LIGHTING: ВИДЫ НА РОССИЮ.....11

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ ПОТОКОМ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕКРЕСТКА
Е.В. Горбач, Е.И. Козлова.....13

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЕ СТАТЬИ.....20-39

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ДЕКОДИРОВАНИЕ РЕЧИ НА ОСНОВЕ ТРИГГЕРНОЙ СЕТИ СПУТЫВАНИЯ
А.В. Ткачя.....20

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФфуЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИРМЫ SYNOPSIS
Н.Л. Лагунович, В.М. Борздов, А.С. Турцевич.....24

ОПТИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ СИГНАЛОВ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ
ЗАПОМИНАЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ
А.В. Поляков, Н.Р. Хлебородов.....28

ПРЯМАЯ ЗАДАЧА МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ
Е.В. Соболев, Е.Н. Подденежный, А.А. Бойко.....33

АЛГОРИТМ ПЕРЕСТРОЙКИ СЕЛЕКТИВНОСТИ ДАТЧИКА В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ХАОСА
К ПЕРИОДИЧЕСКОМУ СИГНАЛУ, СКРЫТОМУ В ШУМАХ
В.П. Короткий, В.Н. Ильин, В.А. Селянтьев.....37

МОНТАЖ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА КОМПОНЕНТОВ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ
Б. Чаплицкий.....40

ДАТЧИКИ

ДАТЧИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ: КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ.
ЧАСТЬ 1. ДАТЧИКИ ХОЛЛА
С. Сысоева.....51

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

SAP ERP ПОДДЕРЖИТ БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ «ФЭК».....57
МОБИЛЬНЫЕ ТЕПЛОВИЗОРЫ FLUKE: ПРОСТО И БЕЗ ПРОСТОЕВ.....58
АНАЛОГОВЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ. УСИЛИТЕЛИ И КОМПАРАТОРЫ.....59
НОВОЕ СЕМЕЙСТВО USB POWER DELIVERY КОНТРОЛЛЕРОВ ОТ MICROCHIP.....60

АВТОМАТИЗАЦИЯ

КОМПЛЕКС ВОДОПОДГОТОВКИ, ПРИГОТОВЛЕНИЯ И РОЗЛИВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ.....61

ПРАЙС-ЛИСТ.....64

СПИСОК РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

«Алнар».....64
«Альфалидер групп».....64
«БелПлата».....12
«Барс-электроникс».....23
«Вектор Технологий».....36
«ГорнТрейд».....50
«Минский часовой завод».....23
«Нанотех».....19
«Приборостроительная компания».....64
«Промтехсервиснаб».....23
«РИФТЭК».....10
«СветЛед решения».....64
«Тиком».....50

«ФЭК».....64
«Чип электроникс».....64

Обложки, цветные вставки

Schneider Electric Industries S.A.S..... II вст.
«Альфачип ЛТД»..... IV вст.
«Новый Энергетический Партнер»... III обл.
«Профессиональные сетевые
системы»..... II обл.
«Рейнбоу»..... IV обл.
«ФЭК»..... I обл., I вст.
«Энерджи-Экспо»..... III вст.

ОПТИЧЕСКАЯ «НАКАЧКА»

Французский физик Альфред Кастлер родился в деревне Гебвиллер в Эльзасе, принадлежавшем тогда Германии, в семье Фредерика Кастлера и урожденной Анны Фрей. Детская любознательность и сильное впечатление, произведенное солнечным затмением, рано пробудили в нем интерес к естественным наукам. После окончания начальной школы мальчик поступил в Оберреальшуле – реальное училище, переименованное после присоединения Эльзаса к Франции по окончании первой мировой войны в лицей Бартольди. В 1920 году Кастлер был принят в Эколь нормаль суперьер.

По окончании ее Альфред преподавал физику в лицеех Мюльхауса, Кольмара и Бордо, а затем поступил в аспирантуру и одновременно на работу в качестве ассистента университета Бордо (1931). В 1936 году он успешно защитил в том же университете докторскую диссертацию по физике, посвятив ее возбуждению атомов ртути. Следующие два года Альфред преподает в университете Клермон-Феррана и в 1938 году назначается полным профессором физики в университете Бордо. По возвращении в 1941 году в Париж Кастлер преподавал в Эколь нормаль суперьер, а в 1945 году был утвержден в звании профессора. В этом учебном заведении он работал вплоть до выхода в отставку. С 1953 по 1954 год Альфред был приглашенным профессором в Лувенском университете (Бельгия).

Первые работы Кастлера были посвящены взаимодействию между светом и электронами в атомах. Если говорить упрощенно, то можно считать, что электроны обращаются вокруг атомного ядра по различным орбитам, одновременно вращаясь вокруг собственной оси, напоподобие волчков. Квантовая теория разрешает электронам двигаться по вполне определенным орбитам, соответствующим дискретным уровням энергии. Поглощая энергию от падающего света, они переходят на более высокие энергетические уровни. При обратных переходах, на более низкие уровни, электроны высвобождают поглощенную ранее энергию, испуская свет. Как и любая другая разновидность электромагнитного излучения, свет состоит из порций энергии, называемых фотонами. Энергия поглощенного или испускаемого фотона, пропорциональная частоте поглощенного или испущенного света, равна разности энергий тех уровней, между которыми происходит переход.



Альфред Кастлер (03.05.1902 – 07.01.1984)

Атом каждого химического элемента имеет свой особый, присущий только ему, набор разрешенных энергетических уровней. Так как возбужденные атомы испускают свет только на частотах, соответствующих разностям энергий между уровнями, спектры испускания, наблюдаемые, например, с помощью спектроскопа, состоят из серии цветных линий (цвет линии соответствует частоте видимого света). Спектр позволяет не только идентифицировать химический элемент, но и получать информацию о характерном для его атомов расположении энергетических уровней, т.е. о структуре его

атомов. Более тщательное рассмотрение показывает, что спектральные линии в действительности представляют собой полосы из тонких, плотно расположенных линий (тонкая или сверхтонкая структура атома). Атомные энергетические уровни представляют собой целую совокупность подуровней. Расщепление уровней на подуровни определяется различными свойствами электрона, например, его спином. Детали атомной структуры могут быть обнаружены по сдвигу спектральных линий подуровней, происходящему под действием электромагнитных полей. Однако оптическая спектроскопия не смогла достаточно точно разделить близко расположенные линии.

К концу 40-х годов в наиболее изощренных экспериментах использовалась радиочастотная спектроскопия. Один из таких методов, известный под названием метода магнитного резонанса в атомных пучках, связан с Изидором А. Раби и его группой из Колумбийского университета. Раби и его коллеги использовали свой метод для точных измерений атомных энергетических уровней в основном состоянии (т.е. в состоянии с низшей энергией). Основное состояние может иметь несколько магнитных подсостояний, которые слегка разделяются магнитным полем. Следовательно, воздействуя на атомы с помощью магнитного поля надлежаще подобранной частоты можно индуцировать переход с одного подуровня на другой. Под надлежаще выбранной частотой электромагнитного поля понимается такая, при которой энергия фотонов равна разности энергий между подуровнями. Именно такие частоты лежат в радиодиапазоне. Располагая особым образом магниты и щели, колумбийская группа сумела получить узкие пучки атомов, находящихся всего лишь в нескольких магнитных подсостояниях, причем детектора могли достигать только атомы в определенных состояниях. Если поле настроено на правильную частоту, то изменение числа атомов, достигающих детектора, свидетельствует о том, что переход с одного уровня на другой совершился. Зная энергию фотонов, вызывающих переходы, группа

Раби сумела вычислить энергетические уровни, соответствующие подстояниям. Такое соответствие между радиочастотой поля, вызывающего переход, и разностью энергий между подуровнями называется резонансом Герца (в честь Генриха Герца, предложившего первое экспериментальное доказательство существования радиоволн). Именем Герца ныне названа и единица частоты.

Метод магнитного резонанса в атомном пучке имеет свои ограничения: среднее время жизни возбужденного состояния до того, как оно испустит энергию и возвратится в невозмущенное основное состояние, очень мало (порядка одной десятиллионной секунды), и только небольшое число атомов претерпевает индуцированный резонансом переход. Каствлер вместе со своим студентом Жаном Бросселем разработал и несколько методов, в которых свет используется для преодоления некоторых из ограничений магнитного резонанса в атомном пучке. Метод Каствлера получил название метода двойного резонанса.

В этом методе пучок света соответствующей частоты возбуждает атомы до определенного энергетического уровня. Но при этом не все подуровни оказываются занятыми. Следовательно, при обратных переходах атомов в основное состояние свет испускается неодинаково в различных направлениях, кроме того, в каждом направлении он частично поляризован. Если электромагнитное поле, приложенное к возбужденным атомам, имеет частоту (энергию фотонов), необходимую, чтобы индуцировать переходы между занятыми и незанятыми подуровнями, то испускаемый свет изменяет как пространственное распределение, так и поляризацию. Это изменение свидетельствует о том, что радиочастота настроена на разность энергий между подуровнями (находится в резонансе с разностью энергий). Метод Каствлера является средством точной фиксации положений подуровней возбужденных атомных состояний.

В 1950 году Альфред Каствлер сообщил еще об одном методе, получившем название оптической накачки и позволившем ему сдвигать электроны в атомах с одного магнитного подуровня основного состояния на другой. В этом методе особым образом поляризованный свет на-

правляется на группу атомов. Если основное состояние имеет два магнитных подуровня, то атомы на одном подуровне поглощают свет и переходят в возбужденное состояние, тогда как атомы на другом подуровне этого не делают. Испуская излучение и возвращаясь в основное состояние, атомы занимают и поглощающие, и непоглощающие уровни. В этом случае говорят, что свет «накачал» атомы в непоглощающее основное состояние.

Стремясь к дальнейшему усовершенствованию своей экспериментальной методики, Каствлер и Броссель в 1951 году создали специальную группу при физической лаборатории Эколь нормаль сюрперьер. Более пятнадцати лет исследования их группы и других ученых способствовали уточнению атомных подуровней и изучению квантовомеханических явлений.

Помимо получения важной информации о подуровнях основных состояний многих атомов, физики научились ориентировать в желательном направлении ядра атомов в парах ртути и кадмия. Это позволило им точно измерить некоторые магнитные свойства ядер. Используя оптическую «накачку», экспериментаторы смогли создать мишени, состоящие из поляризованных атомов. Затем такие мишени подвергались бомбардировке пучками частиц в экспериментах по ядерной физике.

Альфред Каствлер был удостоен Нобелевской премии по физике в 1966 году «за открытие и разработку оптических методов исследования резонансов Герца в атомах». Представляя нового лауреата, Ивар Валлер из Шведской Королевской Академии наук остановился на описании характера работ Каствлера и некоторых выводах из них. «Большое число ядерных моментов было определено с высокой точностью, — заметил Валлер. — Идеи Каствлера относительно оптической «накачки» сыграли важную роль в создании лазера. Оптическая «накачка» позволила сконструировать удобные в обращении и очень чувствительные магнитометры и атомные часы».

После ухода в отставку в 1968 году Каствлер до 1972 года занимал пост руководителя научных исследований в Национальном центре научных исследований.

В 1924 году Альфред вступил в брак со школьной учительницей Элиз Косее. У супругов Каствлер родились два сына и дочь. Необычайно скромный, самоуглубленный человек, Каствлер, тем не менее, принимал активное участие в ряде политических событий. Он выступил в поддержку Израиля, был убежденным противником ядерного оружия, резко критиковал роль США во вьетнамской войне. Он оказывал поддержку алжирскому движению за независимость. Каствлер скончался 7 января 1984 года в Бандоле на Французской Ривьере.

Помимо Нобелевской премии Каствлер был удостоен премии Хольвека Лондонского физического общества (1954 г.), премии за научные исследования Французской академии наук (1956 г.), международной медали Ч.Э.К. Миса Оптического общества Америки (1962 г.) и других почетных наград. Он был избран членом Французской академии наук (1964 г.) и почетным членом научных обществ Польши, Германии, Венгрии и Бельгии. В 1952 году Каствлер стал кавалером, а в 1977 году командором ордена Почетного легиона. Альфред был почетным доктором университетов Лувена, Пизы и Оксфорда.

peoples.ru



ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ЗНАМЕНАТЕЛЬНЫЕ СОБЫТИЯ В ИСТОРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И СТАНОВЛЕНИЯ КВАНТОВОЙ И ОПТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Прогресс в различных областях науки и техники немалым без квантовой и оптической электроники, которая все интенсивнее внедряется во все сферы человеческой деятельности.

Считается, что квантовая и оптическая электроника, как отдельная наука, сформировалась в двадцатом веке. Однако она имеет глубокие и неразрывные корни с другими, даже более древними науками. В основе квантовой и оптической электроники лежат процессы взаимодействия света с веществом. Она родилась на стыке нескольких направлений и базируется на классической оптике, оптике полупроводников, физике твердого тела и квантовой механике.

В истории возникновения и становления оптической электроники можно условно выделить четыре основных этапа: 1) первые открытия оптических явлений и свойств; 2) установление фундаментальных понятий и законов оптической теории; 3) развитие квантовой и оптической электроники; 4) последние открытия и достижения квантовой и оптической электроники.

Первые открытия оптических явлений и свойств.

В развитии учения об оптических явлениях и эффектах основополагающая роль отводится оптике.

В древности оптика была прямо или косвенно связана с практическими нуждами. Греческие геометры обнаружили видимую прямолинейность распространения света, обратив внимание на отбрасываемые предметами тени. Учение о свете даже было включено в линейную геометрию. Наука об отражении лучей от зеркальных поверхностей была названа катоптрикой. Методика прослеживания хода луча для нахождения изображения, впервые изученная во времена Пифагора (в VI веке до н.э.), широко используется при оптических расчетах и в наши дни.

Проводя исследования в области оптики, Пифагор считал, что объекты становятся видимыми благодаря «выстреливаемым» ими крохотным частицам, попадающим в глаз человека. Зная законы отражения, он развивал геометрические методы построения мнимых изображений плоскими и кривыми зеркалами, основанные на прослеживании отраженных лучей и их продолжений за зеркало.

В V веке до н.э. греческий философ Эмпедокл выдвинул теорию, согласно которой предметы становятся видимыми благодаря неуловимому щупальцу, простирающегося от глаза и захватывающего видимый предмет. Эта идея получила название теории окулярных пучков.

В IV-V веках до н.э. в школе Платона были сформулированы два закона геометрической оптики – прямолинейность лучей света и равенство углов их падения и отражения.

В IV веке до н.э. древнегреческий философ и ученый Аристотель, отвергая теорию окулярных пучков, полагал, что свет является проявлением некоей разряженной среды, называемой пеллуцид и заполняющей все пространство.

В III веке до н.э. Эвклид установил законы распространения и отражения света. В трактатах «Оптика»

и «Катоптрика» он привел теоремы о равенстве углов падения и отражения, о симметричности предмета и изображения в плоском зеркале, о положении изображения на одной прямой с предметом в сферических зеркалах и т.п. Эвклида считают основоположником геометрической оптики. Теоретиком оптики был Архимед. Он обобщил все достижения греческой геометрической оптики.

В I-II веке н.э. Герон Александрийский – древнегреческий инженер и математик – систематизировал знания древних в области световых явлений. Следуя его трудам, все ученые стали разделять оптику на катоптрику, то есть науку об отражении, и диоптрику – науку об изменении направления световых лучей при попадании в прозрачные среды, или, как мы теперь говорим, о преломлении.

Во II веке н.э. Клавдий Птолемей – геометр и астроном из Александрии – первым ввел поправку на рефракцию, описал диоптрические исследования с целью учета влияния атмосферы при астрономических наблюдениях.

Со II-III века н.э. дальнейшее развитие науки происходило в арабском мире. Считается, что именно арабы создали линзы, однако, по преданию, еще император Нерон пользовался обработанным смарагдом (изумрудом) для наблюдения гладиаторских боев. Ибн ал-Хайсам (латинизированное имя Альхазен) из Каира установил, что падающий на поверхность зеркала луч и отраженный луч лежат в одной плоскости. Обширные сведения по оптике содержались в трудах арабских астрономов и философов Ибн-Сины и Ал-Бируни, написанных ими в X-XI веках.

Наиболее важным достижением средневековья было изобретение в XIII веке очков. В этот же период появились работы Роджера Бэкона – монаха-ученого, уделявшего большое внимание преломлению и отражению в линзах и зеркалах.

Начиная с конца XV века, происходит резкий сдвиг оптики в практическую область во многом благодаря трудам Леонардо да Винчи.

По многим данным, в 1590 году Захарий Янсен – нидерландский физик – построил первый двухлинзовый микроскоп.

Начала анализа и синтеза оптических систем положены на рубеже XVI-XVII веков И. Кеплером – немецким астрономом и оптиком. Кеплер описал перевернутое изображение на сетчатке глаза, вывел формулу, связывающую фокусное расстояние линзы с положениями предмета и его изображения на оптической оси, и ввел ряд новых терминов: сходимость и расходимость пучков, оптическая ось, фокус системы и т.д.

Законы преломления света были экспериментально установлены в 20-30-е годы XVII века голландским ученым В. Снелиусом и французским ученым Р. Декартом. В 1621 году Снелиус экспериментально обнаружил закон, связывающий угол, под которым наклонен свет, падающий на границу раздела двух сред, с углом, на который световой пучок, прошедший через границу раздела, отклонился. Он впервые связал между собой синусы этих углов. Закон,

носящий имя В. Снелиуса, был независимо от него открыт чисто математически Р. Декартом и опубликован им в 1637 году. Используя закон Снелиуса, Декарт первым исправляет сферическую абберацию. Этим было завершено построение фундамента геометрической оптики.

Установление фундаментальных понятий и законов оптической теории. Со второй половины XVII века формируется отдельная наука – прикладная оптика. При этом на новом уровне определяются фундаментальные понятия и законы оптической теории.

Во второй половине XVII века (примерно в 1662 году) французский математик и физик Пьер Ферма установил основной принцип геометрической оптики (принцип Ферма) – свет распространяется между двумя точками по кратчайшему пути, для прохождения которого необходимо наименьшее время.

Дальнейшее развитие оптики связано с открытиями дифракции света – итальянским ученым Ф. Гримальди в 1665 году, интерференции света, а также двойного лучепреломления (двулучепреломления) – датским ученым Э. Бартолиниусом в 1669 году.

В 1666 году английский ученый Исаак Ньютон при помощи трехгранной стеклянной призмы разложил солнечный свет на семь цветов (в спектр), а затем соединил их снова, получив исходный белый свет.

В 1672 году Роберт Гук независимо от Гримальди сделал ряд опытов и описал явление дифракции с точки зрения колебаний эфира.

В 1675 году И. Ньютон предложил корпускулярно-волновую теорию света.

В 1678 году голландский физик, механик, математик Христиан Гюйгенс разработал волновую теорию света. Объясняя механизм распространения света, Гюйгенс выдвинул принцип, согласно которому каждый элемент волны считается центром вторичных волн, и прямолинейное распространение света является следствием огибающей вторичных волн, как в прямом, так и в отраженном свете. Волновая теория света Гюйгенса была шагом вперед, однако, в XVII веке победил авторитет Ньютона, и волновая теория была отложена более, чем на сто лет.

Значительные достижения в XVIII веке были связаны с изучением световой энергетики – в качестве самостоятельной науки оформилась фотометрия, в основном, благодаря работам французского ученого П. Бугера и немецкого ученого И.Г. Ламберта. Бугер первым ввел понятие количества света, принцип градации света и разработал методы измерения силы света. В 1729 году он открыл закон ослабления света в среде. В 1760 году Ламберт фактически установил основные понятия фотометрии (сила света, яркость и освещенность) и ряд фотометрических закономерностей, относящихся к точечному источнику света. Он объяснил закон поглощения света средой, первоначально установленный в 1729 году Бугером (так называемый закон Бугера – Ламберта), установил экспоненциальную зависимость пропускания света в среде и ввел новое понятие коэффициента поглощения.

К этому времени относятся первые научные исследования по оптике в России: М.В. Ломоносов не только создавал ответственные рецептуры варки цветных и прозрачных стекол, но также вел активные прикладные работы. В оптике он придерживался волновой теории света, разработал

теорию цветов, сконструировал ряд оптических приборов. Значительные успехи в оптике XVIII века связаны с именем постоянно работавшего в России математика, механика и физика Л. Эйлера (родился в Швейцарии). Помимо собственно оптических достижений его теория функций комплексного переменного стала впоследствии фундаментом математического аппарата волновой оптики. Считается, что Эйлер первым записал уравнение плоской гармонической волны.

Начиная с XIX века, волновая теория света постепенно завоевывает устойчивые позиции.

В 1800 году английский ученый Т. Юнг предложил принцип суперпозиции волн. Благодаря Т. Юнгу в 1801 году появляется теория интерференции, объясняющая явление перераспределения световой энергии в пространстве. Опыт Юнга (1802 г.) с двумя щелями, позволяющий наблюдать интерференцию, стал классическим.

В 1808 году французский физик Э.Л. Малюс открыл явление поляризации света при отражении, ввел понятие плоскости поляризации, установил закон изменения интенсивности поляризованного света при повороте поляризатора (закон Малюса). Он разработал теорию двойного лучепреломления света в кристаллах.

В 1815 году французский ученый Ж.Б. Био открыл круговую поляризацию и закон вращения плоскости поляризации света (закон Био). В этом же году шотландский физик Д. Брюстер установил связь между показателем преломления диэлектрика и углом падения света, при котором отраженный от поверхности свет полностью поляризован (закон Брюстера). Он также открыл двойное лучепреломление в средах с искусственной анизотропией (стекло подвергалось одноосному сжатию), существование двухосных кристаллов (1818 г.).

В 1816 году французский физик О.Ж. Френель дополнил принцип Гюйгенса, введя представление о когерентности элементарных волн и их интерференции (принцип Гюйгенса – Френеля). На основе этого принципа в 1818 году Френель разработал теорию дифракции света. Впервые рассмотрел дифракцию от резкого края и круглого отверстия.

В 1833 году шотландский физик Д. Брюстер открыл флюоресценцию.

В 1845 году английский физик М. Фарадей обнаружил явление вращения плоскости поляризации света в магнитном поле (эффект Фарадея). Фарадей в 1846 году впервые высказал идею об электромагнитной природе света.

В 1852 году Дж. Стокс описал явление флюоресценции. Дж. Стоксом установлен факт того, что длина волны света люминесценции больше длины волны возбуждающего света (правило Стокса). Стокс открыл прозрачность кварца для ультрафиолетовых лучей.

В 1859 году немецкий физик Г.Р. Кирхгоф установил один из основных законов теплого излучения, согласно которому отношение испускательной способности тела к поглощательной не зависит от природы излучающего тела (закон Кирхгофа). Кирхгоф первым предложил (1862 г.) концепцию черного тела и создал его модель.

В 1860-х годах английский физик Д.К. Максвелл создал теорию электромагнитного поля, которую он сформулировал в виде системы нескольких уравнений (уравнения Максвелла), предсказав новый важный эффект: существование

в свободном пространстве электромагнитного излучения (электромагнитных волн) и его распространение со скоростью света. Максвелл раскрыл связь между оптическими и электромагнитными явлениями. Теория Максвелла позволила с единых позиций подойти к описанию радиоволн, света, рентгеновских лучей и гамма-излучения.

В 1873 году американский физик У. Смит обнаружил в слоях селена фотопроводимость. В 1875 году шотландский физик Д. Керр открыл явление двойного лучепреломления в оптически изотропных веществах, помещенных в однородное электрическое поле (электрооптический эффект Керра).

В 1880 году голландский физик Х.А. Лоренц независимо от датского физика Л.В. Лоренца дал формулу зависимости показателя преломления вещества от его плотности (формула Лоренц-Лоренца). К этой формуле Л.В. Лоренц пришел еще в 1869 году.

В 1884 году Л. Больцман впервые применил к излучению принципы термодинамики. В этом же году Дж.Г. Пойнтинг – английский физик – ввел понятие о потоке электромагнитной энергии (вектор Умова-Пойнтинга), используемое, в том числе в оптике.

В 1888 году профессор Московского университета А.Г. Столетов открыл внешний фотоэффект и изобрел первые вакуумные фотоэлементы. В 1889 году он установил прямую пропорциональность силы фототока количеству падающей световой энергии (закон Столетова).

В 1893 году немецкий физик В. Вин открыл два закона излучения абсолютно черного тела (закон излучения Вина и закон смещения Вина), за что был удостоен Нобелевской премии в 1911 году.

В 1896 году П. Зееман – нидерландский физик – открыл явление расщепления спектральных линий под влиянием магнитного поля (Эффект Зеемана), Нобелевская премия 1902 года.

В 1897 году английский физик Дж.Дж. Томсон и немецкий физик Э. Вихерт независимо друг от друга открыли электрон. Немецкий физик К.Ф. Браун сконструировал катодную трубку, в которой движением электронов управляло магнитное поле (электроннолучевая трубка).

В 1899 году английский физик Дж.У. Рэлей разработал теорию молекулярного рассеяния света (рэлеевское рассеяние). Русский физик П.Н. Лебедев открыл и измерил давление света на твердые тела, а затем и на газы (1907 год).

Развитие квантовой и оптической электроники.

В 1900 году немецкий физик Макс Планк (Нобелевская премия 1918 года) при анализе распределения по длинам волн равновесного теплового излучения пришел к необходимости введения понятий о квантовых скачках и кванте действия h как минимальном действии. Впоследствии эта постоянная, имеющая размерность (Дж·с), была названа постоянной Планка.

В 1905 году немецко-швейцарско-американский физик А. Эйнштейн (Нобелевская премия 1921 года) на основе теории Планка возродил в новой форме корпускулярную теорию света, предположив, что кванты Планка существуют в виде реальных частиц, названных им световыми квантами или фотонами.

В 1907 году российский ученый Б.Л. Розинг изобрел электронную систему получения телевизионного изображения при помощи электроннолучевой трубки.

В 1880–1909 годах Х.А. Лоренц создал классическую электронную теорию, основанную на анализе движений дискретных электрических зарядов.

К 1850–1910 годам относится создание газосветных трубок. В тридцатых годах XX века начались интенсивные исследования по применению люминофоров в газосветных трубках. Первые образцы ртутных ламп были изготовлены в СССР в 1927 году, газосветных ламп – в 1928 году, натриевых ламп – в 1935 году.

В 1912 году американский физик Р.Э. Милликен проверил уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и вычислил постоянную Планка. Р.Э. Милликен за работы по определению элементарного электрического заряда и фотоэлектрическому эффекту удостоен в 1923 году Нобелевской премии.

В 1913 году Н. Бор (Нобелевская премия 1922 года) установил простую зависимость частоты излучения от разницы энергий электронов, находящихся на различных уровнях. Немецкие физики Дж. Франк и Густав Герц (племянник Генриха Герца) экспериментально доказали существование дискретных уровней энергии атомов (опыты Франка-Герца), Нобелевская премия 1925 года.

В 1917 году А. Эйнштейн ввел понятие об индуцированном излучении. В этом же году были изготовлены первые фотоспротивления (Т. Кэйз).

В 1922 году американский физик А.Х. Комптон (лауреат Нобелевской премии, 1927 год) открыл явление рассеяния коротковолнового излучения на свободном или слабо связанном электроны (эффект Комптона), чем экспериментально доказал существование фотона. В 1923 году А. Комптон и П. Дебай дали теоретическую интерпретацию этому явлению. А. Эйнштейн предложил вариант единой теории поля, разработкой которой он занимался всю последующую жизнь. Датский физик Н. Бор (Нобелевская премия, 1922 год) пришел к представлению об оболочечной структуре атома, основанному на классификации электронных орбит по главному и азимутальному квантовым числам.

В 1923 году советский физик О.В. Лосев наблюдал свечение кристаллов карборунда (карбида кремния SiC) под действием электрического тока и дал объяснение этому явлению, которое легло в основу действия современных электролюминесцентных источников света. В этом же году советский физик, академик АН СССР С.И. Вавилов (совместно с В.Л. Левшиным) обнаружил уменьшение поглощения света урановым стеклом с ростом интенсивности света. Он ввел термин «нелинейная оптика».

В 1924 году австрийско-швейцарский физик В.Э. Паули (Нобелевская премия 1945 года) для объяснения сверхтонкой структуры спектральных линий предположил гипотезу ядерного спина.

Индийский физик Ш. Бозе и А. Эйнштейн разработали квантовую статистику частиц с целым спином (статистика Бозе-Эйнштейна).

В 1926 году разработана квантовая статистика для частиц с полуцелым спином – статистика Ферми-Дирака (Э. Ферми, П. Дирак). Австрийский физик Э. Шредингер (Нобелевская премия 1933 года) построил волновую механику и сформулировал ее основное уравнение, названное его именем (уравнение Шредингера). Э. Шредингер доказал математическую эквивалентность матричной механики В. Гейзенберга (Нобелевская премия, 1932 год) и волновой механики.

В 1927 году советский физик С.И. Вавилов открыл зависимость квантового выхода люминесценции от длины волны возбуждающего излучения (закон Вавилова). Английский физик П. Дирак (Нобелевская премия 1933 года) применил принципы квантовой теории к максвелловскому полю и получил первую модель квантованного поля. Был разработан метод вторичного квантования (П. Дирак и др.), создана квантовая теория излучения, предсказана тождественность квантов вынужденного и первичного излучений, лежащая в основе квантовой электроники.

В 1928 году А. Зоммерфельд разработал первую квантовую теорию металлов, а В. Паули объяснил сверхтонкую структуру спектров. Датским физиком Л. Розенфельдом построена квантовая теория оптической активности паров.

В 1928 году советскими физиками Г.С. Ландсбергом и Л.И. Мандельштамом открыто комбинационное рассеяние света в кристаллах и одновременно индийскими физиками Ч. Раманом и К. Кришнаном при исследовании рассеяния света в жидкостях (эффект Рамана).

В 1929 году немецкий физик Х.А. Бете (Нобелевская премия 1967 года) разработал теорию кристаллического поля.

В 1930-х годах американский физик Ф. Блох (Нобелевская премия 1946 года) и французский физик Л. Бриллюэн разработали основы зонной теории твердых тел (в 1930 году Л. Бриллюэн ввел понятие запрещенных зон). Созданы первые квантомеханические теории ферромагнетизма, основанные на обменном взаимодействии электронами: коллективизированная модель (советским физиком-теоретиком Я.И. Френкелем) и модель локализованных спинов (В. Гейзенберг). Открыто селективное рассеяние света (советскими учеными Л.И. Мандельштамом и Г.С. Ландсбергом). Советские физики И.Е. Тамм и С.П. Шубин заложили основы теории фотоэффекта в металлах. И.Е. Тамм разработал квантовую теорию рассеяния света в кристаллах.

В 1931 году американский инженер и изобретатель российского происхождения В.К. Зворыкин создал первый иконоскоп – передающую телевизионную трубку.

В 1932 году группой американских ученых во главе с Е. Лэндом впервые разработаны поляриоды, серийное изготовление которых начато с 1935 года.

В 1933 году советские физики М.А. Леонтович и Л.И. Мандельштам разработали теорию рассеяния света в твердых телах.

В 1934 году советские ученые П.А. Черенков под руководством С.И. Вавилова обнаружили излучение, возникающее при движении электрически заряженной частицы в среде с постоянной скоростью, превышающей фазовую скорость света в этой среде (излучение Черенкова – Вавилова).

В 1937 году советские ученые И.Е. Тамм и И.М. Франк построили теорию излучения (излучения Вавилова-Черенкова) быстро движущегося в среде электрона.

В 1940 году советский физик В.А. Фабрикант впервые указал на возможность использования индуцированного излучения для наблюдения отрицательного поглощения (усиления).

В 1947 году венгерско-английский физик Д. Габор разработал принципы голографии с записью волнового поля в одной плоскости (Нобелевская премия 1971 года).

Советский физик Н.Н. Боголюбов предложил метод приближенного вторичного квантования.

В 1948 году американский физик У.Б. Шокли (вместе с Дж. Пирсоном) обнаружили эффект поля, имевший важное значение для изобретения транзистора. Открыт транзисторный эффект и построен кристаллический триод с точечным контактом – первый полупроводниковый транзистор (Дж. Бардин, У. Браттейн). Шокли, Бардин и Браттейн удостоены Нобелевской премии (1956 год).

В 1948 году С. Томонага (Япония), Д. Швингер (США) и независимо от них Р. Фейнман (США) создали современную квантовую электродинамику (квантовая электродинамика Фейнмана-Швингера-Томонаги, Нобелевская премия 1965 года).

В 1949 году американский физик У.Б. Шокли разработал теорию p - n -перехода (теория Шокли) и предложил транзистор с плоскостными переходами. В 1950 году французский физик А. Кастлер разработал метод оптической накачки. Советские физики В.Л. Гинзбург (Нобелевская премия 2003 года) и Л.Д. Ландау (Нобелевская премия 1962 года) разработали квантовую теорию сверхпроводимости. Американские физики Э.М. Парселл совместно с Р. Паундом впервые наблюдали индуцированное излучение. Датский физик-теоретик О. Бор (сын Н. Бора) и американско-датский физик В. Моттelson развили обобщенную модель атомного ядра, за что все трое в 1975 году были удостоены Нобелевской премии.

В 1951 году советский физик В.А. Фабрикант совместно с М.М. Вудынским и Ф.А. Бутаевой установили явление усиления электромагнитных волн индуцированным излучением. В 1953 году французский физик А. Кастлер открыл явление оптической ориентации парамагнитных атомов (Нобелевская премия 1966 года). Сформулирована теория полупроводникового лазера на p - n -переходах (Дж. фон Нейман, США).

В 1954 году советские ученые Н.Г. Басов и А.М. Прохоров разработали проект, а американский ученый Ч. Таунс создал действующее устройство на пучке молекул аммиака, получившее название мазер (позднее им была присуждена Нобелевская премия). 1954 год считают годом рождения квантовой электроники как самостоятельной науки.

В 1958 году американские ученые Ч.Х. Таунс и А.Л. Шавлов разработали принцип работы лазера. Советские физики Н.Г. Басов, Б.М. Вул и Ю.М. Попов выдвинули идею полупроводникового квантового генератора и усилителя. Высказана идея газодинамического (теплого) лазера. В этом же году были предложены первые оптические резонаторы открытого типа в виде двух плоских параллельных зеркал А.М. Прохоровым, а затем Р.Х. Дикке, А.Л. Шавловым и Ч.Х. Таунсом.

В 1960 году американский физик Т. Мейман построил первый успешно работающий лазер с рубиновым стержнем в качестве активного вещества. В этом же году создан газовый лазер, работающий на смеси гелия и неона (А. Джаван, В. Беннет и Д. Эрриот, США).

В 1960 году в физическом институте АН СССР в Москве был рассмотрен принцип работы полупроводникового инжекционного лазера, а в 1962 году в ФТИ АН СССР в Ленинграде было обнаружено эффективное рекомбинационное излучение и наблюдалось вынужденное

излучение в кристаллах арсенида галлия (GaAs). Параллельно в ФТИ Ж.И. Алферовым (Нобелевская премия 2000 года) с сотрудниками успешно проводились работы по получению гетеропереходов и созданию на их базе эффективных приемников и источников света. Работами А.Л. Шавлова и Н. Бломбергера положено начало лазерной спектроскопии.

В 1962 году были созданы полупроводниковые лазеры одновременно несколькими группами американских исследователей (Р. Холлом, М.И. Нейтеном, Т. Квистом и др.), хотя теоретическое обоснование работы лазера сделал Н.Г. Басов с сотрудниками в 1958 году. Советский физик Ю.Н. Денисюк в 1962 году разработал метод голографии с записью в трехмерной среде, позволяющий рассматривать голограммы в белом свете. В этом же году советские физики Р.В. Хохлов и С.А. Ахманов (одни из основателей нелинейной оптики) предложили первый параметрический генератор света.

В 1962 году Н. Бломбергер сформулировал теорию, обосновывающую появление в лазерном излучении гармоник, кратных основной частоте. За вклад в развитие лазерной спектроскопии в 1981 году Н. Бломбергера и А.Л. Шавлова была присуждена Нобелевская премия по физике (совместно с К. Сигбаном).

В 1963 году советскими физиками Н.Г. Басовым и О.Н. Крохиным выдвинута идея получения высокотемпературной плазмы с помощью сфокусированного излучения лазера (лазерной термоядерный синтез). Построена теория ионизации в сильном световом поле (Л.В. Келдыш).

В 1964 году советский физик И.К. Кикоин открыл фотопьезоэлектрический эффект. Создан ионный лазер (У. Бриджес, США).

В 1965 году было обнаружено явление самофокусировки световых пучков. Явление самофокусировки электромагнитных волн было предсказано в 1962 году советским физиком-теоретиком Г.А. Аскарьяном.

В 1966 году советский физик А.М. Прохоров построил новый тип мощного газового лазера – газодинамический лазер. Создан рубиновый лазер с нерезонансной обратной связью. Американский физик К. Пател изобрел лазер повышенной мощности на смеси углекислого газа и азота.

В 1967 году советский физик Ю.А. Осипьян открыл фотопластический эффект. Обнаружено двойное тормозное излучение. Началось исследование нелинейных явлений, связанных с распространением в среде сверхкоротких (длительностью до 10-12 сек) световых импульсов.

В 1968 году получено видимое изображение предметов, освещаемых инфракрасным излучением, с помощью преобразования частоты излучения методами нелинейной оптики (Дж. Мидвинтер, Дж. Уорнер).

Последние открытия и достижения в области квантовой и оптической электроники. В 1970-е годы впервые наблюдались когерентные нелинейные эффекты в рентгеновской области. Экспериментально осуществлено умножение частоты в области вакуумного ультрафиолета. Наблюдались узкие двухфотонные резонансы (Н. Бломбергер, А. Шавлов).

В 1976-77 годах создан лазер на свободных электронах (Дж. Мейди с сотрудниками, США).

В 1980 году немецкий физик К. фон Клитцинг (Нобелевская премия, 1985 год) открыл квантовый эффект Холла.

В 1982 году швейцарские физики Г. Бинниг и Г. Рорер (Нобелевские лауреаты 1986 года вместе с немецким физиком Э. Русской) создали сканирующий туннельный микроскоп, позволяющий строить трехмерную картину расположения атомов на поверхностях проводящих материалов.

В 1985 году трое американских химиков Р. Смэлли, а также Р. Карл и Х. Крото (Нобелевские лауреаты, 1996 год) открыли фуллерены – молекулы, состоящие из 60 атомов углерода, расположенных в форме сферы. Эти ученые также впервые сумели измерить объект размером 1 нм.

В 1986 году Герд Бинниг разработал сканирующий атомно-силовой зондовый микроскоп, позволивший визуализировать атомы любых материалов (не только проводящих), а также манипулировать ими.

В 1991 году японский ученый С. Лиджима использовал фуллерены для создания углеродных трубок (или нанотрубок) диаметром 0,8 нм. На их основе в наше время выпускаются материалы в сто раз прочнее стали.

В 1998 году голландский профессор С. Деккер создал транзистор на основе нанотрубок, используя их в качестве молекул. Для этого ему пришлось первым в мире измерить электрическую проводимость такой молекулы.

В 2002 году С. Деккер соединил углеродную трубку с ДНК, получив единый наномеханизм.

В последние десятилетия разработаны и развиты методы удержания одиночного иона в ловушке и прецизионная спектроскопия высокого разрешения. За достижения в этом направлении Х.Д. Демелт (США) и В. Пауль (Германия) в 1989 году удостоены Нобелевской премии по физике. Учеными С. Чу, У.Д. Филиппсом (США) и К. Коэн-Тануджи (Франция) развиты методы охлаждения и захвата атомов с помощью лазерного излучения (Нобелевская премия, 1997 год).

Применение нанотехнологий, использование наноструктур, квантово-размерных слоев и сверхрешеток позволило создать элементы квантовой и оптической электроники с характеристиками, близкими к теоретическому пределу.

Важным этапом в развитии квантовой и оптической электроники явилось создание оптических волокон с низкими потерями (менее 1 дБ/см), что привело к широкому развитию систем передачи информации через волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Интенсивно развиваются устройства записи, воспроизведения и обработки оптической информации. Элементы квантовой и оптической электроники с каждым днем все больше становятся неотъемлемой частью нашего бытия, прогресс без которых немислим.

Бурное развитие и возникновение новых научных направлений квантовой и оптической электроники требует уточнения определения самой науки. В настоящее время представляется, что квантовая и оптическая электроника – наука об использовании квантовых процессов и оптического излучения для преобразования энергии, создания, обнаружения, передачи, приема, обработки, хранения и отображения информации современными техническими средствами. Такое определение, по мнению авторов, достаточно кратко и полно раскрывает суть науки и охватывает сферу ее применения на современном этапе развития.

cyberleninka.ru

ВТОРИЧНАЯ ОПТИКА ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ – УМНЫЙ ПОДХОД К ЦЕНООБРАЗОВАНИЮ

Бурное развитие светодиодных технологий и массовое производство компонентов для светодиодных светильников приводит к снижению их себестоимости для производителей светильников. Если четыре года назад самый большой «кусочек пирога» в себестоимости светодиодного светильника занимали светодиоды (около 70 %), то в ближайшем будущем самой дорогой частью светильника будет корпус-теплоотвод. Доля «пирога светодиодов» станет меньше стоимости драйвера и вторичной оптики. А вторичная оптика, которая дороже светодиода, в финансовом плане становится уже первичной. Почему так? Ответ прост: эффективная оптика для светодиодов – это дорогие оптические полимеры + труд инженеров оптиков + технологии изготовления линз и рефлекторов.

Высококачественные оптические полимеры – это нефть + высокие технологии по ее переработке. Основа себестоимости оптики – это нефть, которая стремительно дорожает. Но жизнь и конкуренция постоянно заставляют производителей искать пути для разумного (не в ущерб качеству!) снижения себестоимости продукции.

В этой статье рассмотрим возможности снижения цены вторичной оптики.

Возможность первая – самая дешевая, простая и самоубийственная – купить дешевые китайские (no name) кусочки прозрачного пластика, похожие на линзы и поменять. Плюсы – дешево. Минусы – неэффективная оптика съест 40 % света, что придется компенсировать увеличением количества светодиодов, увеличением радиатора и мощности драйвера. В результате светильники не будут энергоэффективными.

«Самоубийственность» этого подхода в том, что дешевые прозрачные полимеры (no name) могут потемнеть и пожелтеть до окончания гарантийного срока, что вызовет недовольство заказчика и необходимость менять партию светильников «на Сахалине» за свой счет. Подход – заведомо проигрышный, но, тем не менее, в России еще есть крупные предприятия, идущие этим путем. Это случается там, где производственную политику определяют люди, желающие, говоря простым языком, быстро «хапнуть», сколько успеют, и вовремя «слинять».

Возможность вторая – производить оптику самостоятельно на базе собственного предприятия или на сторонних контрактных площадках. Плюсы – независимость от сроков производства сторонних поставщиков, относительно низкая себестоимость оптики. Минусы – эффективность (self made) оптики и распределение света уступают средним образцам европейских и азиатских лидеров оптической отрасли. Недостатки оптики приходится компенсировать лишними светодиодами, драйвером и радиатором. Где потерять и где сэкономить – каждый производитель решает сам. Быстрая смена модельного ряда светодиодов требует постоянной переработки конструкции светильников и вторичной оптики. Постоянно разрабатывать новую оптику и адаптировать старую к новым светодиодам – это очень затратно. Для этого нужно держать на балансе и «кормить» с основного производства «свой маленький карманный LEDiL».

Возможность третья – договариваться с производителями вторичной оптики о снижении цен на линзы. Плюсы: если удастся договориться, то недорогая качественная оптика позволит разумно сэкономить и на светодиодах, и на радиаторе, и на драйвере, и на защитном стекле, и на монтаже. Минусы: производителей оптики невозможно уговорить отдать оптику даром. Но! Нужно понимать, что они тоже ищут возможности снижения себестоимости и цены для сохранения конкурентоспособности в изменчивом мире. И если себестоимость исходного сырья – оптических полимеров – не падает со временем, то путем совершенствования технологий производства стоимость оптики можно снизить.

Рассмотрим возможности технологического снижения себестоимости вторичной оптики на примере продукции компании LEDiL.

Первый метод. Модельный ряд стандартных линз и рефлекторов фирмы LEDiL составляет около трех тысяч наименований. Многие линзы разрабатывались 10 лет назад, но продолжают производиться и сейчас. Оптика, разработанная для доисторических светодиодов в корпусах K2, – крупногабаритная и увесистая. Очевидно, что много пластмассы не может стоить мало денег. И купить ее дешево можно только на распродаже неликвидов розничного склада дистрибьютора.

Если вы переходите со светодиодов K2 на малогабаритные светодиоды типа XBD, то разумно перейти на оптику меньшего размера и договариваться о «шоколадной» цене для мелких линз.

Второй метод. Снижение технологической себестоимости (и цены, соответственно) путем перехода на стандартные модульные мультилинзы.

Типовые стандартные модули позволяют компании LEDiL унифицировать габариты пресс-форм и парк термопласт-автоматов. Многокамерные горячие каналные пресс-формы позволяют получить больше линз за один «удар». Производственная логистика становится проще, и все факторы вместе позволяют снизить себестоимость оптики.

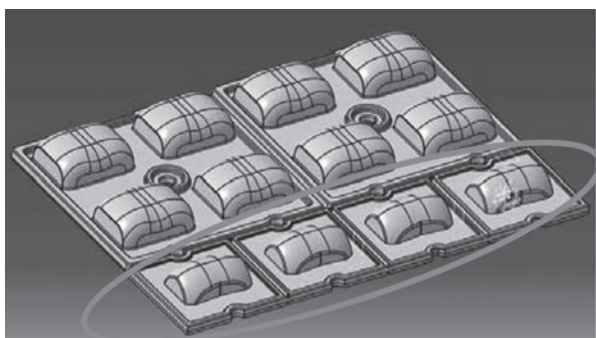
Вывод очевиден – широкий ряд стандартных модульных линз позволяет реализовать самые смелые мечты производителей светильников о снижении стоимости оптики.

Но, к сожалению, стандартные модули подходят не всем. У кого-то они «не влезают» в горячо любимый алюминиевый профиль (он же корпус-радиатор). Другие вынуждены использовать только одиночные линзы для оптимального отвода тепла в идеальном и уникальном корпусе. Как добиться дешевизны оптики в этом случае?

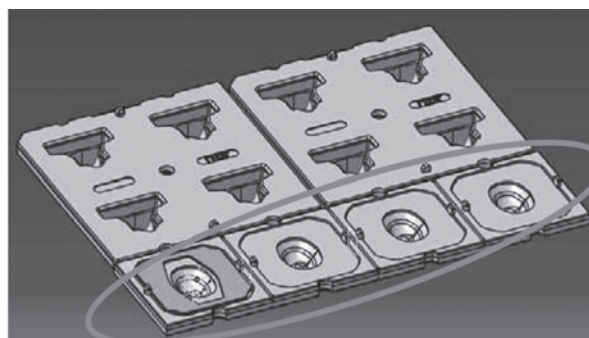
Компания LEDiL предлагает оптимальное решение и для таких случаев – модульную линзу формата 4x1, состоящую из четырех сегментов, которые можно ломать руками на одиночные линзы как плитку шоколада (рисунок 1).

Преимущества:

1. Новые линзы 4x1 совместимы по размерам со стандартными модулями 2x2 и одиночными линзами серии Strada-SQ, что позволит применять единую универсальную светодиодную плату для всех типов линз.



а)



б)

Рисунок 1 – Модульная линза формата 4×1 компании LEDiL: а) лицевая сторона; б) оборотная

2. Новые линзы 4x1 работают со светодиодами Cree XML (2) XTE XPG (2) и светодиодами других производителей в аналогичных корпусах.

3. Новые модули 4x1 технологически удобны для производства таких семейств линз, как:

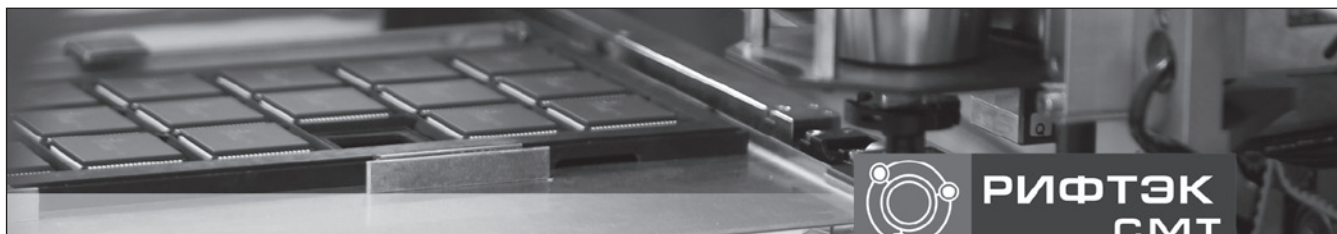
- уличные линзы серии Strada;
- промышленные линзы серии HB;
- прожекторные линзы серии Veronica.

И это позволяет решать почти все задачи применения вторичной оптики.

4. Новые модули 4x1, имеющие одиночные сегменты, герметично защищают светодиоды от воздействия внешней среды прямо на плате, что позволяет отказаться от защитного стекла и сэкономить 15–20 % светового потока.

5. Новые линзы 4x1 позволяют всем желающим получить качественные одиночные линзы по привлекательным ценам модульной оптики.

Журнал «Современная светотехника» № 5, 2013

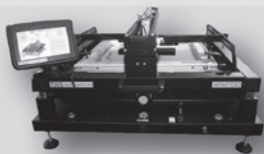


E-mail: smt@riftek.com

Тел.: +375 17 281 36 57



**РИФТЭК
SMT**



SMT-монтаж любой сложности
Профессиональное современное оборудование
Установка компонентов с использованием
новейших автоматов JUKI
Пайка компонентов в конвекционной печи
Современная линия ручного монтажа
Подбор и поставка компонентов

ЧУП «РИФТЭК-СМТ»
Республика Беларусь,
220090, г. Минск,
Логойский тракт, 22, 103

GE LIGHTING: ВИДЫ НА РОССИЮ

В интервью Саймона Гринвуда, коммерческого директора GE Lighting в Европе, рассказывается о планах продвижения компании на российском рынке.

– Какой сегмент рынка осветительного оборудования является основным для вашей компании?

– Наша стратегия и инвестиции формируются с учетом спроса со стороны наших клиентов. Сегодня мы наблюдаем объективную потребность рынка в оборудовании, которое имеет большую энергоэффективность, продолжительный срок службы и широкие возможности для управления и, следовательно, способно дать свет высокого качества. Мы стремимся предложить рынку светодиодные решения с исключительными возможностями, высоким качеством и надежностью. Мы разрабатываем и предлагаем световые решения для любого вида использования – внутри и вне помещений – с учетом требований заказчиков. Мы стремимся предлагать только самые лучшие продукты, инвестируя 5 % от выручки в исследования и разработки, при этом две трети инвестиций идут в сектор светодиодного оборудования – это позволяет нашей компании удерживать лидирующие позиции на рынке. Создание интеллектуальных устройств – это та область, где мы развиваемся особенно активно. На наш взгляд, одна из значительных возможностей, ставшая доступной с развитием светодиодных решений, заключается в оптимизации их конструкции под конкретные потребности. Мы концентрируем свои исследовательские ресурсы на разработке интеллектуальных светотехнических решений и умных услуг, основанных на светодиодных технологиях, которые позволяют совершенствовать наши предложения рынку (это касается, например, приложений, управляющих освещением) в рамках концепции умных городов.

– Насколько успешным был для вашей компании прошлый год?

– Подразделение GE Lighting находится в процессе трансформации для того, чтобы соответствовать новым потребностям рынка и клиентов. Этот продолжающийся процесс преобразований находит свое отражение в результатах нашей работы. Сегодня наше положение на рынке гораздо лучше, чем, скажем, четыре года назад. Подразделение GE Lighting выступает в роли поставщика ряда светотехнических решений, а не просто производителя ламп, как оно позиционировалось прежде. Имидж компании стал более профессиональным и динамичным, и продукция компании соответствует ожиданиям наших клиентов.

– А какие ожидания Вы связываете с 2014 годом?

– В настоящее время на рынке осветительного оборудования происходят очень динамичные события: приходят новые игроки, примерно каждые полгода в секторе



Саймон Гринвуд,
коммерческий
директор GE Lighting
в Европе

светодиодного освещения появляются новые продукты. Я считаю, что растущая конкуренция помогает компаниям работать лучше, и усиление конкуренции будет стимулировать развитие отрасли и приведет к появлению более эффективных решений. Отрасль должна установить общие стандарты и системы оценки. Требования к тестам и испытаниям должны быть согласованы так, чтобы само понятие эффективности стало единым и согласованным. Сейчас на этом рынке наблюдается большой наплыв участников, но я думаю, что ситуация очень быстро и есте-

ственно нормализуется: хорошие компании и хорошие продукты будут поддерживаться рыночным спросом, а плохие компании и их продукты начнут уходить с рынка, т.е. лишние игроки будут отсеиваться. Я верю, что жизнь подтвердит правильность выбора GE в качестве партнера для решения непростых вопросов энергетической эффективности, безопасности и благополучия потребителей. В 2014 году GE продолжит предоставлять своим партнерам наиболее подходящие решения в области осветительного оборудования.

– В чем, на Ваш взгляд, заключается основная разница между рынками Европы и России?

– Могу предложить, что европейский рынок в плане перехода на энергоэффективные решения развивается быстрее. По нашим оценкам, в России меньше инвестируют в модернизацию осветительных решений – большинство оборудования на промышленных и коммунальных объектах физически и морально устарело. Тем не менее, с учетом того, что правительство стимулирует изменения в этой сфере и интерес к светодиодам повышается, мы ожидаем, что рынок будет быстро развиваться. Кроме того, новая нормативная база (которая отличается от нормативной базы Евросоюза) позволит очистить рынок от некачественной продукции, способной отпугнуть потребителей от желания переходить на новые решения.

– Каковы, как Вам кажется, перспективы GE Lighting на российском рынке?

– Исторически наша компания всегда была сильным игроком на потребительском рынке. Наша нынешняя стратегия заключается в разработке широкого портфеля предложений – от ламп, поступающих в розничную сеть, до световых решений, которые включают оборудование для промышленных, офисных, торговых и муниципальных объектов.

– Какие новые технологии являются наиболее перспективными на данный момент?

– Основное внимание уделяется светодиодным технологиям, особенно при коммерческом использовании – для торговых и офисных помещений, где светодиоды уже конкурируют с другими типами решений (например, с люминесцентными и металлогалогенными лампами). Светодиодные решения стали более эффективными с точки

зрения стоимости владения. Для некоторых применений, например, для уличного освещения или освещения спортивных сооружений, требуются решения с исключительной производительностью и высокой цветопередачей. На данный момент таким требованиям отвечают только металлогалогенные лампы. Для дорожного освещения наиболее востребованными остаются натриевые лампы, их потенциал еще не исчерпан. Сегодня предлагаются натриевые лампы со сроком службы до 50 тыс. ч, но при этом и светодиодный рынок продолжает активно развиваться.

– Как Вы оцениваете долю вашей компании на российском рынке?

– У нас всегда была значительная доля рынка в потребительском секторе. Сейчас мы активно развиваем направления профессионального оборудования и решений для бизнеса.

– Считаете ли Вы российский рынок перспективным для дальнейшего продвижения продукции компании?

– Мы инвестируем значительные средства в расширение присутствия и увеличение своей доли на рынке. Светотехническая отрасль находится в середине эволюционного преобразования: потребности наших клиентов в более энергоэффективных продуктах предоставляют нам возможности для роста на российском рынке, и, понятно, что это происходит во многом благодаря технологическому лидерству компании.

– Какие, на Ваш взгляд, наиболее значительные события произошли на мировом рынке освещения в 2013 году?

– Это чрезвычайно захватывающее время для светотехнической отрасли. Вся отрасль переживает трансформацию, и в ближайшем будущем нас ожидают очень существенные изменения. Многие из них уже произошли, а впереди – еще больше. Кризис показал, что ориентация на краткосрочные показатели, а также отсутствие прозрачности и подотчетности не способствуют выживанию компаний. В результате субъекты мировой экономики начали активнее задумываться о будущем, строя долгосрочные планы и делая инвестиции в устойчивое развитие. Думаю, что переход на светодиодные технологии (который уже наблюдается в отрасли в настоящий момент) – это реализация подхода к долгосрочному планированию и обеспечению устойчивости в светотехнической отрасли. Непростые экономические условия требуют от участников рынка повышения эффективности, экономии и быстрой окупаемости инвестиций. Освещение – это наиболее благоприятный сектор с высокой отдачей для всех энергосберегающих проектов. По мере развития технологий светотехнические решения переходят из категории одноразовых товаров в категорию стратегических активов.

– Как, на Ваш взгляд, будет развиваться рынок светотехнических решений в следующем году?

– Согласно выводам исследования McKinsey, посвященного светодиодным технологиям, барьеры для внедрения свето-

диодных технологий можно преодолеть благодаря сотрудничеству производителей, продавцов и регуляторов рынка. У светодиодных решений есть потенциал стать доминирующими на рынке к 2015 году. В исследовании говорится, что светодиоды – это наиболее передовые решения с точки зрения экологической безопасности и экономии ресурсов. Светодиодные лампы могут давать более 100 лм/Вт электроэнергии, тогда как компактные люминесцентные лампы обеспечивают лишь 60–75 лм/Вт электроэнергии и служат в 3–4 раза меньше. Поскольку в светодиодах не используется ртуть, их можно безопасно утилизировать, при этом экономия энергии может составлять до 80 % по сравнению с лампами накаливания. Тем не менее, несмотря на все преимущества, стоимостная доля светодиодов на рынке все еще относительно невелика. Я твердо убежден в том, что за светодиодами – будущее светотехнических решений, особенно с учетом того, что спрос на электроэнергию растет вместе с ростом населения и развитием инфраструктуры. Очень важно повысить информированность всех участников этого процесса, чтобы люди, принимающие решения, и широкая общественность были лучше осведомлены о преимуществах светодиодного освещения. Несмотря на первоначально высокие затраты, светодиодные технологии обеспечат огромный выигрш в долгосрочной перспективе. К сожалению, мы редко видим, чтобы демонстрировался комплексный подход к вопросам освещения, а ведь в этом случае общую эффективность можно было бы повысить еще больше.

lightingmedia.ru

БелПлата тел. +375 17 287 85 66
факс +375 17 287 85 65
тел. моб. +375 29 684 43 09
220068, г. Минск, ул. Некрасова, 114.
оф. 238, 2 этаж, e-mail: info@belplata.by

Разработка и поставка печатных плат:
любой класс точности, широкий спектр покрытий, изготовление образцов от 5 дней.

Поставка фотошаблонов

Поставка трафаретов:
из нержавеющей стали и латуни.

Материалы для печатных плат:
защитные маски, маркировочные краски, фоторезисты, паяльные пасты.

Поставка изделий из феррита:
любые виды сердечников CI, EE, EEM, EP, EER, ETD, EC, EF, ED, EFD, EI, EPO, EPX, EPC и т.д.

Поставка электронных компонентов:
STMicroelectronics, NXP Semiconductors, Vishay, Holtek Semiconductor.

www.belplata.by

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ ПОТОКОМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕКРЕСТКА

Е.В. Горбач, Е.И. Козлова, г. Минск

Введение

Быстрое развитие методов и средств автоматизированного управления дорожным движением обусловлено интенсивным ростом городских перевозок. Безопасность дорожного движения и эффективность автомобильных перевозок в значительной мере определяются качеством организации дорожного движения, в основу которой входит управление транспортными и пешеходными потоками. Недостаток сведений о природе их характера ограничивает возможности планирования рациональных мероприятий по организации дорожного движения, их оптимизации и оперативной коррекции в соответствии с изменившимися условиями.

В крупных городах эта проблема приобретает особую остроту. Ситуация усложняется такими тенденциями, как постоянно возрастающая мобильность населения, уменьшение перевозок общественным транспортом и увеличение перевозок личным транспортом, нарастающий разрыв между увеличением количества автомобилей и протяженностью улично-дорожной сети (УДС), не рассчитанной на современные транспортные потоки (ТП).

Для поиска эффективных стратегий управления ТП в мегаполисе, оптимальных решений по проектированию улично-дорожной сети и организации дорожного движения необходимо учитывать широкий спектр характеристик транспортного потока, закономерности влияния внешних и внутренних факторов на динамические характеристики смешанного ТП. Применение методов управления и создание адекватной модели ТП является актуальной задачей в процессе организации и управления дорожным движением.

Определение оптимального режима работы светофора методом «проб и ошибок» требует не только значительных затрат, но чревато последствиями (дорожными заторами), поэтому наиболее безопасным методом решения этой проблемы является создание математической модели движения автомобилей на перекрестке. В данной работе предлагается имитационная модель автомобильной дорожной сети, в которой можно изменять режимы работы светофоров, потоки транспорта и его направления для определения оптимального режима работы перекрестка.

1 Алгоритм адаптивного управления

В основу разработанной в работе модели положен предложенный в [1] алгоритм адаптивного управления транспортными потоками на основе краткосрочного предсказания интенсивности транспортных потоков и моделей оптимизации перекрестков.

Система управления дорожным движением, представленная на рисунке 1, состоит из одного центрального пункта и множества локальных пунктов управления, число которых соответствует числу управляемых перекрестков в системе. Все локальные пункты имеют соединение по каналам связи с центральным пунктом управления.

Центральный пункт управления выполняет функции сбора и обработки информации об интенсивности движения транспортных средств в УДС. Результатом обработки информации является предсказанная величина транспортных потоков на основе следующих данных:

- текущих интенсивностей транспортных потоков;



Рисунок 1 – Схема системы адаптивного управления дорожным движением

- скоростей движения ТС;
- расстояний между смежными управляемыми перекрестками в системе;
- предсказания маршрутов движения ТС на основе статистики для текущего дня недели и времени суток;
- текущих длительностей фаз светофорных объектов на перекрестках УДС.

Локальные пункты в системе выполняют непосредственно оптимизацию управления транспортными потоками на соответствующих перекрестках. В состав каждого локального пункта управления входят:

- детекторы транспорта (ДТ);
- ЭВМ, выполняющая предобработку данных с ДТ, если это необходимо, и оптимизацию управления транспортными потоками;
- контроллер светофоров, допускающий внешнее задание длительности фазы светофорного объекта;
- светофоры.

В качестве ДТ предлагается использовать видеодетекторы. В этом случае сигнал с видеокамер поступает в ЭВМ локального пункта управления, где программный модуль предобработки выполняет анализ видеоизображений и оценку интенсивностей транспортных потоков на всех контролируемых полосах. Данные об интенсивности транспортных потоков передаются в центральный пункт управления.

Оптимизация управления транспортными потоками производится следующим образом. В ЭВМ имеется точная программная микроскопическая модель перекрестка. При расчете оптимальных длин фаз для следующего фазового цикла управления светофорным объектом (длительность фазового цикла составляет, как правило, 2–5 мин.) выполняются следующие действия:

- в модели задаются входные интенсивности транспортных потоков на следующие 5 мин. (прогноз интенсивностей от центрального пункта управления) с точностью до отдельного ТС;
- модуль оптимизации запускает прогоны модели перекрестка длительностью 5 мин. модельного времени, для каждого прогона задает новые длительности фаз модельного светофорного объекта и рассчитывает по результатам каждого прогона значение целевой функции;
- в результате цикла оптимизации, состоящего из нескольких прогонов модели, модуль оптимизации находит оптимальные длины фаз модельного светофорного объекта, соответствующие экстремуму целевой функции поиска.

Длительности фаз светофорного объекта представляют собой вектор параметров оптимизации ($\Phi = \Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$) (на крестообразном перекрестке обычно задается не более четырех фаз). В качестве целевой функции $F = F(\Phi)$ может служить среднее время ожидания проезда перекрестка ТС.

Критерием оптимизации в этом случае будет минимум среднего времени ожидания проезда

$$\min_{\Phi \in \Phi} F(\Phi) = F(\Phi^*),$$

где Φ – допустимое множество значений координат вектора длин фаз; Φ^* – вектор оптимальных значений длин фаз.

Допустимое множество значений координат вектора длин фаз имеет следующий вид:

$$\Phi = \{\Phi | T_{min} \leq \Phi_i \leq T_{max}, i=1, \dots, 4\} \subset R^4,$$

где T_{min} и T_{max} – соответственно минимальное и максимальное значения длины фазы.

Расчет производных целевой функции на модели является невозможным, поэтому в качестве методов оптимизации могут быть использованы только прямые методы. Предложено применение поочередного циклического варьирования длин фаз светофорного объекта от прогона к прогону с постоянным шагом по длине фазы. Длина шага варьирования длин фаз может быть задана равной 2–3 с.

Необходимым условием возможности реализации описанной системы адаптивного управления дорожным движением является наличие системы микроскопического моделирования транспортных потоков, скорость работы которой была бы достаточной для выполнения оптимизации длительности фаз светофорного объекта за время одного фазового цикла.

2 Имитационное моделирование транспортных потоков на перекрестке

Для более полной картины при проектировании участка дорожной сети необходимо имитационное моделирование транспортных систем. Имитационное моделирование – это метод, позволяющий строить описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Их можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов.

Имитационное моделирование – это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью с достаточной точностью, описывающей реальную систему, и с ней проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. С помощью имитационного моделирования можно проанализировать дорожно-транспортную обстановку. Так же имитационное моделирование позволяет имитировать поведение системы во времени. При этом временем в модели можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими процессами и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью.

Имитационная модель позволяет рассматривать поведение исследуемой системы во времени. При имитационном моделировании структура моделируемой системы адекватно отображается в модели, а процесс ее поведения рассматривается на построенной модели. Сравнение характеристик (конструкций, управлений) моделируемого объекта осуществляется путем вариантных просчетов. Особую роль имеет возможность многократного воспроизведения моделируемых процессов с последующей их статистической обработкой, позволяющей учитывать случайные внешние воздействия на изучаемый объект. На основе набираемой в ходе компьютерных экспериментов статистики делаются выводы в пользу того или иного варианта функционирования или конструкции реального объекта или сущности явления.

Для решения задачи требуется разработать имитационную модель, описывающую движение потока автомобилей на перекрестке. Модель должна позволять имитировать поведение автомобилей в данной ситуации в зависимости от текущего такта, позволять вносить изменения в структуру автомобильного потока.

Основной задачей данной работы была разработка библиотек элементов транспортной сети, содержащих в себе ряд полезных функций, в одном из инструментов имитационного моделирования. В качестве среды моделирования был

выбран пакет AnyLogic Professional 6.4.1. AnyLogic – это универсальный инструмент для моделирования дискретных, непрерывных и гибридных систем. Активный объект является экземпляром класса активного объекта. Чтобы создать модель AnyLogic, необходимо создать классы активных объектов (или использовать объекты библиотек AnyLogic) и задать их взаимосвязи. AnyLogic интерпретирует создаваемые графически классы активных объектов в классы Java, поэтому можно пользоваться всеми преимуществами объектно-ориентированного моделирования.

В данной работе было создано приложение, способное моделировать процесс движения транспортных средств согласно правилам дорожного движения, с учетом дорожной разметки, пешеходных переходов, регулируемых перекрестков.

Рассматриваемая модель представляет собой микроскопическую модель динамики транспортных потоков. Каждый автомобиль характеризуется набором следующих параметров: тормозной путь, максимально возможное ускорение, ускорение при экстренном торможении, время, время реакции водителя, скорость движения автомобиля в данный момент времени, текущее ускорение автомобиля с учетом обстановки на дороге, координата, стиль езды (медленный, нормальный), тип поддерживаемой дистанции (безопасно).

На каждом шаге каждый автомобиль анализирует состояние окружающей среды и принимает решение согласно заложенному алгоритму действий. Для каждой возможной ситуации проанализирована характерная модель, и прописана определенная схема действий: движение по двухполосной дороге, разъезд автотранспортных средств на перекрестке регулируемом, проезд пешеходного перехода.

Разработанная система может служить хорошим инструментом для организации дорожного движения, позволяя анализировать и прогнозировать состояние существующих транспортных узлов, подобрать оптимальный режим светофорного регулирования.

Разработка модели выполнена при следующих предположениях (гипотезах модели):

- объектом исследования является участок дорожного полотна;
- объектом оптимизации является режим работы светофора.

3 Результаты моделирования работы светофора

Автомобили пересекают крестообразный перекресток с движением прямо, с движением направо, с движением налево. Этот тип перекрестка управляется при помощи светофоров. Однако на нем также действуют правила проезда, как на равнозначном нерегулируемом перекрестке (поворот налево без специальной стрелки светофора). Исследуем

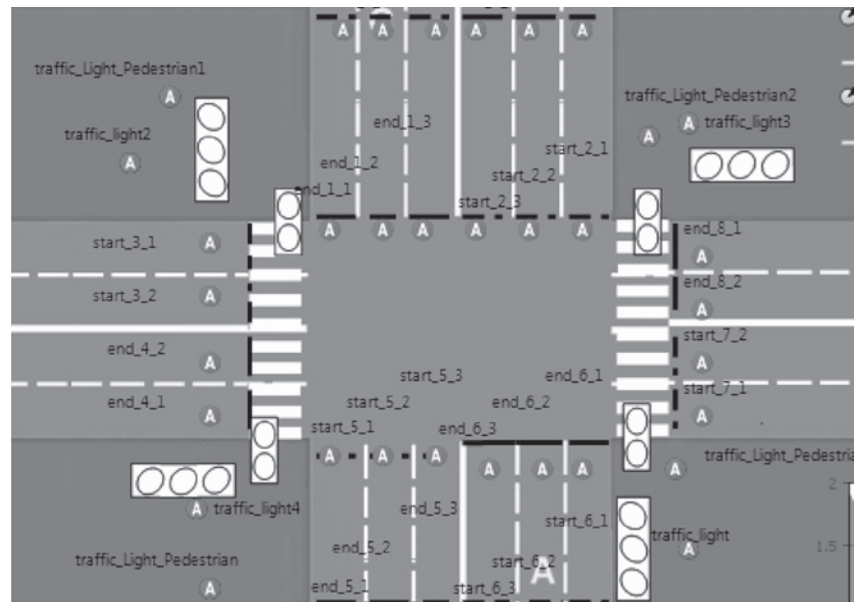


Рисунок 2 – Модель регулируемого перекрестка

возможности адаптивного светофора, установленного на перекрестке, при различных интенсивностях потоков автомашин, и сравним результат с работой обычного светофора. Также в работе модели можно проанализировать работу светофора при одинаковой интенсивности в статическом и динамическом режиме.

В обычном светофоре время работы зеленого и красного света, а также время цикла фиксированы. Это создает некоторые трудности в движении машин, особенно при изменении их потоков в часы пик, что довольно часто приводит к появлению автомобильных пробок.

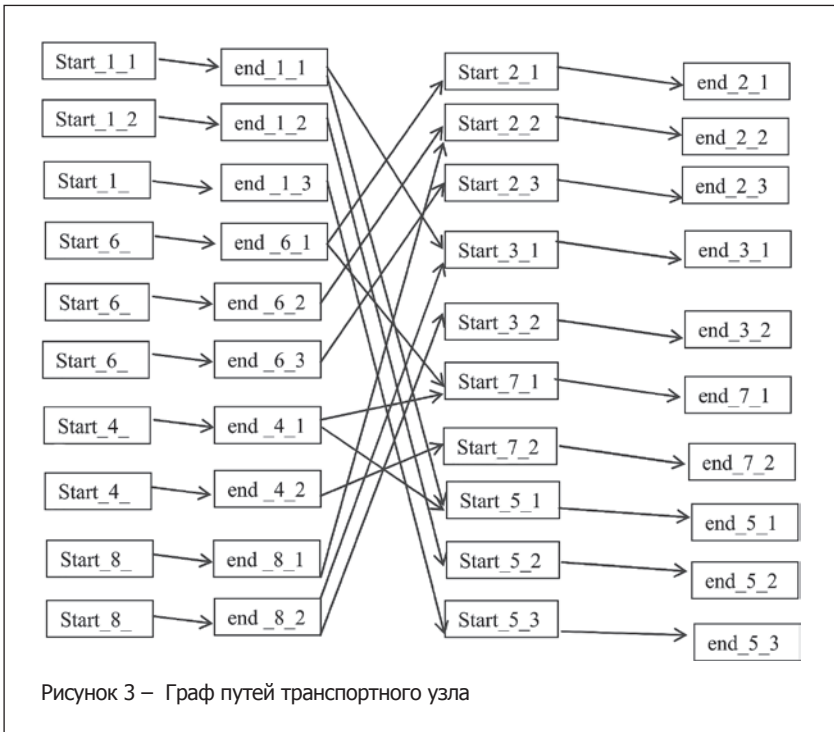
В адаптивном светофоре время цикла остается постоянным, однако, время его работы в режиме зеленого света должно меняться в зависимости от количества подъезжающих к перекрестку машин.

Модельное время – это условное логическое время, в единицах которого определено поведение всех объектов модели.

Пусть в статическом режиме зеленый сигнал горит 5 с модельного времени, желтый – 2 с, красный – столько, пока не загорится красный на другом светофоре (т.е. $5\text{ с} + 2\text{ с}$). В динамическом режиме длительность зеленого сигнала зависит от нагрузки на перекрестке.

В предлагаемом алгоритме предусмотрены классы, реализующие модель движения. Основными классами модели являются класс «светофор для авто», «светофор для пешеходов» и «полосы для движения», которые в программной реализации соответствуют: Traffic_light, Traffic_Light_Pedestrian, Pass. Остальные классы несут вспомогательный характер и описывают свойства и методы элементов улично-дорожной сети. Направления движения характеризуются чертой «начало» и чертой «конец».

На рисунке 2 представлено всего 40 экземпляров класса Pass. Агенты (машины) могут появляться из нескольких мест: start_1_1, start_1_2, start_1_3, start_6_1, start_6_2, start_6_3,



start_4_1, start_4_2, start_8_1, start_8_2, а исчезать в end_2_1, end_2_2, end_2_3, end_3_1, end_3_2, end_7_1, end_7_2, end_5_1, end_5_2, end_5_3. Для этого транспортного узла граф путей будет иметь вид, показанный на рисунке 3.

Алгоритм и его реализация позволяет построить практически любую схему городской дорожной сети, добавив автомобиль или входной транспортный поток, с возможностью смоделировать любую дорожную ситуацию, рассмотрев ее в реальном времени.

Опишем состояния самого агента (машины). Для того, чтобы было возможно изменять интенсивность потока, необходимо добавить элемент «бегунок» и параметр «carIntensive», который изображен на рисунке 4.

На рисунке 5 приведена диаграмма состояний агента (машины).

С помощью методов класса Pass определяется маршрут передвижения автомобилей.

Сами автомобили-агенты являются экземплярами класса Car. Реализованные в нем методы и свойства позволяют задавать поведение объекта Автомобиль. Экземпляр класса Car хранит в себе такие свойства, как текущая скорость автомобиля, ускорение, максимальная скорость, координаты положения в пространстве.

Среди реализованных в классе методов предусмотрена возможность принятия решения на обгон, поворот и т.д.



Statechart – точка вхождения. При создании нового экземпляра агента он начинает свое «существование» с состояния «go» (едет). Если агент перед собой видит другую машину и она находится настолько близко к нему, что он должен остановиться – агент переходит в состояние goAfterAnotherCar и переходит из него в состояние «go», если машина, из-за которой была остановка – уехала. Это состояние, по сути, нам необходимо, когда машины стоят в очереди перед светофором.

Схему поведения каждого транспортного средства можно описать следующими правилами, которым она подчиняется:

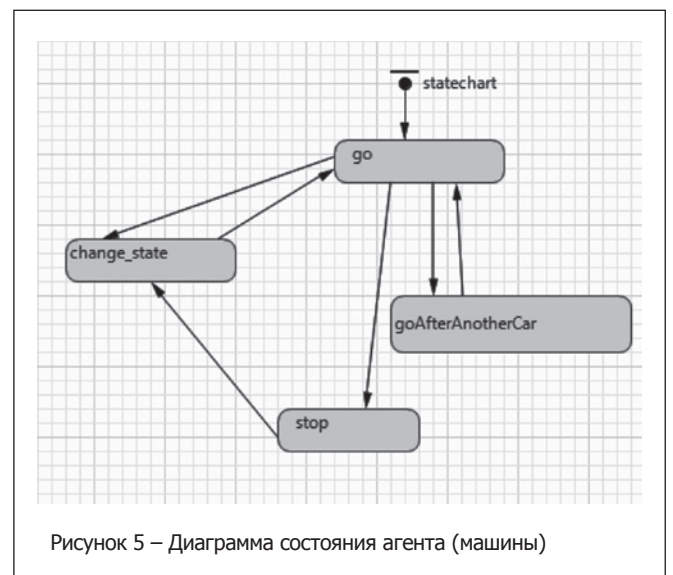
1) если возможно двигаться дальше, т.е. дорога свободна и горит разрешающий сигнал светофора, то передвинуться на величину шага;

2) если движение дальше невозможно (дорога занята, запрещающий сигнал светофора), то оно останавливается на соответствующей стоп-линии. Это происходит в состоянии «stop». По достижению стоп-линии заканчивается текущая полоса движения, поэтому агент должен выбрать

новую полосу. Это происходит в состоянии change_state. Если загорелся зеленый свет, то агент переходит в состояние «go», если же нет, то возвращается в состояние «stop». Машины останавливаются перед перекрестком, ожидая окончания действия красного света светофора. Все те автомобили, которые остались стоять перед светофором после одного цикла, считаются не обслуженными заявками.

За показатель эффективности данной системы принимается среднее число не обслуженных заявок за заданное количество циклов светофора. Соответственно, чем меньше значение имеет показатель эффективности, тем большее количество машин пропускает светофор.

Число циклов светофора не должно быть слишком малым, т.к. в этом случае не получается объективной информации,



или слишком большим, т.к. программа будет очень долго вычислять требуемую величину. Наиболее оптимальное количество циклов – 100.

Процесс построения дороги представляет собой формирование ее из отдельных объектов – экземпляров класса Pass, динамически связанных между собой. Для упрощения построения дороги можно использовать в качестве фона карту моделируемого участка дорожно-транспортной сети.

Описание класса автомобильной полосы Pass представлено на рисунке 6.

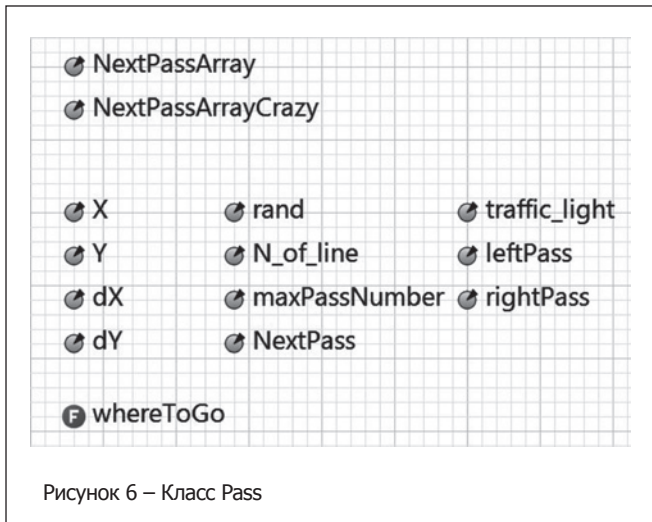


Рисунок 6 – Класс Pass

Описание переменных:

- X : double – абсцисса начала линии, которая характеризует полосу;
 - Y : double – ордината начала линии, которая характеризует полосу;
 - dX : double, dY : double – смещение конца линии по отношению к ее началу по осям X и Y соответственно;
 - rand : bool – указывает на способ выбора следующей полосы движения;
 - N_of_line : int – номер полосы;
 - maxPassNumber – количество полос в заданном направлении;
 - NextPass – значение следующей полосы для конкретного агента;
 - traffic_light – выбранный светофор для полосы;
 - leftPass – сохраняет значение левой полосы;
 - rightPass – сохраняет значение правой полосы;
 - NextPassArray[] – массив возможных значений следующих полос. С помощью этого массива происходит построение графа путей;
 - NextPassArrayCrazy[] – массив возможных значений для водителей, которые нарушают правила движения;
 - line:ShapeLine – характеризующая функция.
- Функция whereToGo():Pass возвращает значение следующей полосы движения. В этой функции определяется следующая полоса и записывается значение в NextPass:

```

if (c.crazy==false){
if (rand==true){
double p = uniform(0,1);
if (p<0.3) {
    
```

```

if(p<0.15 && NextPassArray[2]!=null)
NextPass=NextPassArray[2];
else NextPass=NextPassArray[0];
}else{
NextPass=NextPassArray[1];
}
//rand==false жесткая привязка
}else{
NextPass=NextPassArray[0];
}
}
    
```

Пользователь модели может включать и отключать светофор, менять как длительность горения зеленого и красного сигнала, так и длительность цикла регулирования.

Параметры работы светофорного объекта задаются на соответствующих шагах алгоритма, как показано на рисунках 7 и 8. На этой диаграмме приняты обозначения:

Statechart, initialState – названия диаграммы состояний; go, attention, slow, stop, ready – названия состояний в диаграмме traffic_light;

A,B – названия состояний в диаграмме initialState; t1, t4-t7 – названия переходов в диаграмме traffic_light; t2, t3 – названия состояний initialState.

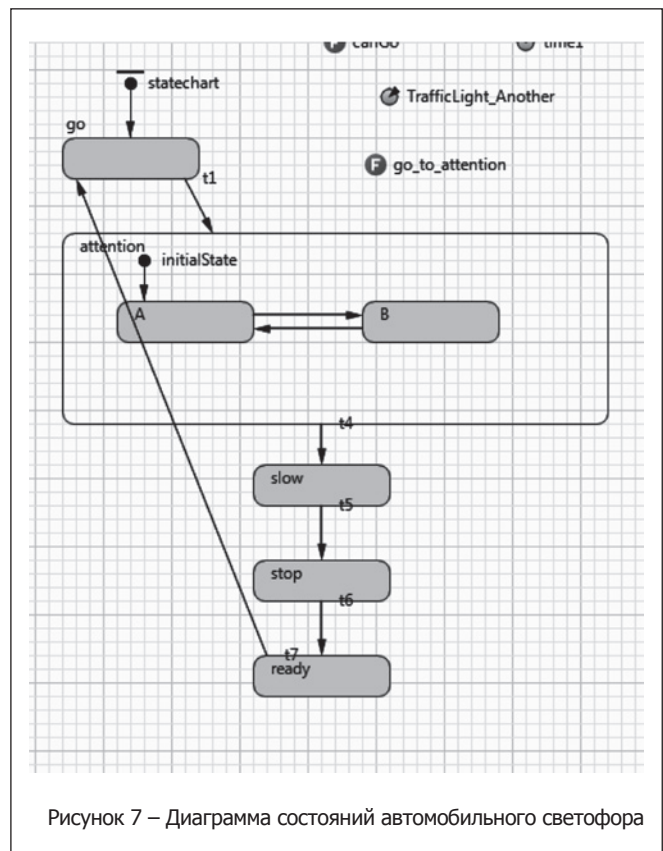


Рисунок 7 – Диаграмма состояний автомобильного светофора

Создан стейтchart для управления значениями этих параметров, каждое состояние отвечает за зажигание своего света или их комбинации. Например, в состоянии «медленно» должен гореть желтый, в состоянии «stop» должен загореться красный свет, а в состоянии «приготовиться» должны гореть красный и желтый одновременно. В состоянии «медленно» нужно включить желтый сигнал, т.е. при входе в это состоя-

ние установить параметр «желтый» в true, а при выходе из этого состояния установить в false. Для состояния «stop» аналогично описано состояние параметра красный, а для состояния «приготовиться» оба параметра красный и желтый установлены в true при входе, и в false при выходе.

Функция canGo() : bool возвращает значение true, когда свет зеленый, и false, когда желтый или красный.

```
if(statechart.isStateActive(slow)==true || statechart.isStateActive(stop)==true || statechart.isStateActive(ready)==true) return false; else return true;
```

Функция go_to_attention()

```
if(get_Main().dynamic.isSelected()==true){
if(time()-time1<wait_time_dynamic)
return false;
else return true;
}
else{
if(time()-time1<wait_time)
return false;
else return true;
```

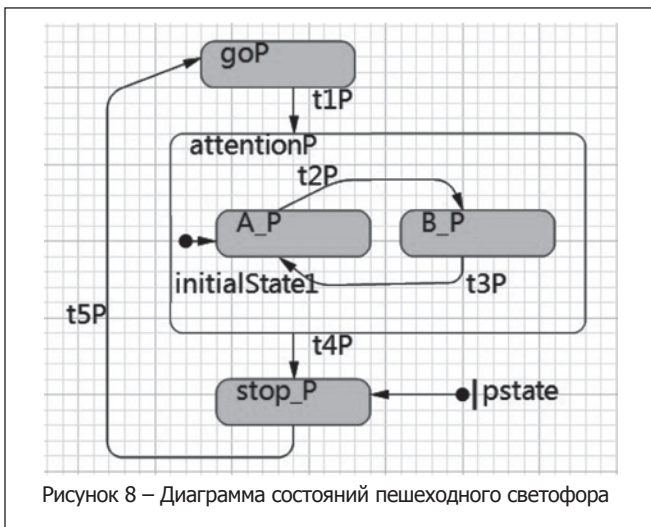


Рисунок 8 – Диаграмма состояний пешеходного светофора

У светофора есть функция canGo() : bool. Когда пешеходам можно идти – true, false – нельзя.

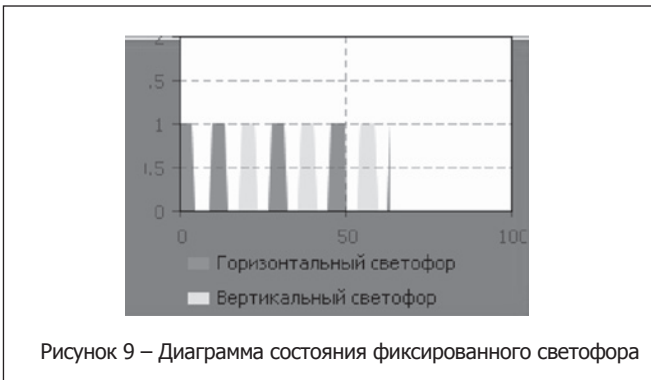


Рисунок 9 – Диаграмма состояния фиксированного светофора

Основные смоделированные параметры дорожного движения при минимальной интенсивности транспортного потока приведены на рисунках 9–12.

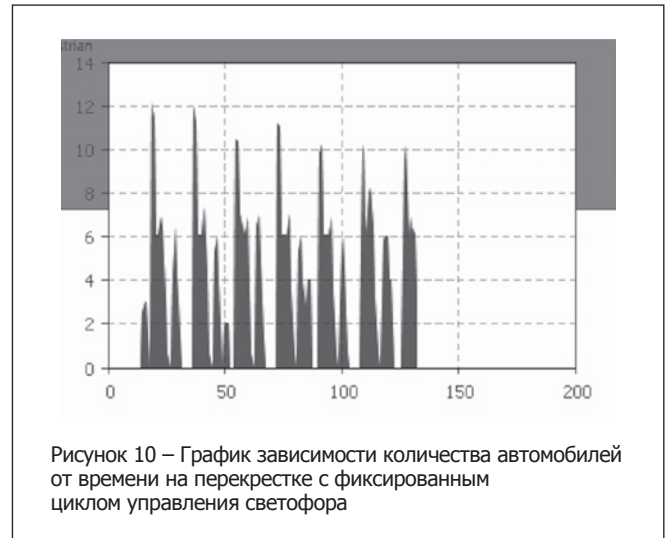


Рисунок 10 – График зависимости количества автомобилей от времени на перекрестке с фиксированным циклом управления светофора

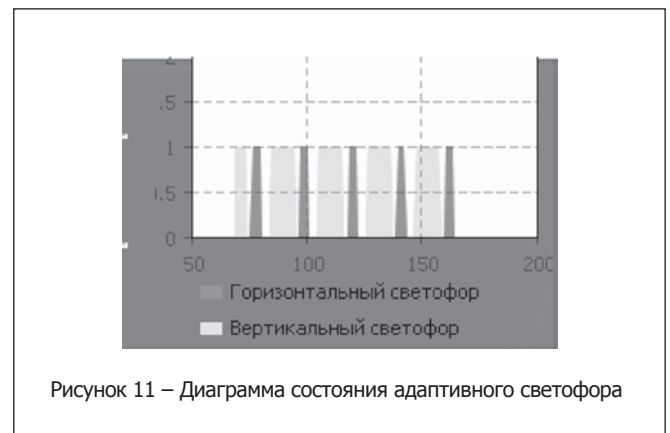


Рисунок 11 – Диаграмма состояния адаптивного светофора

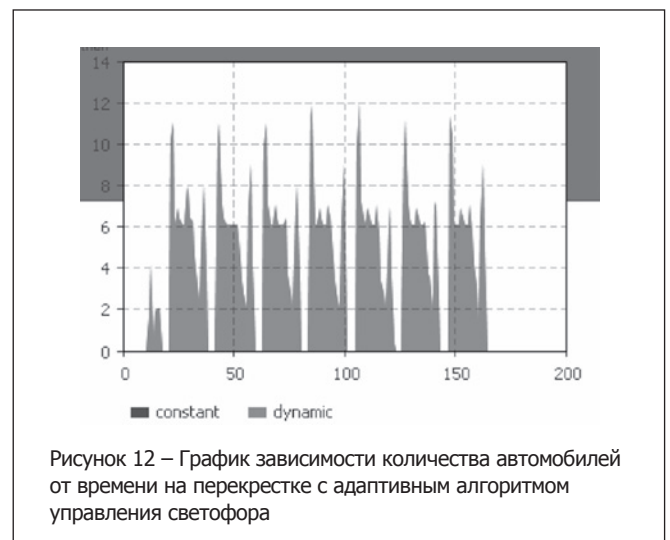
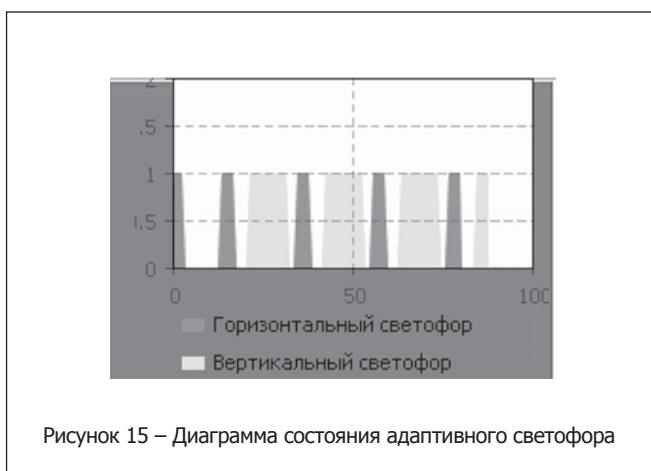
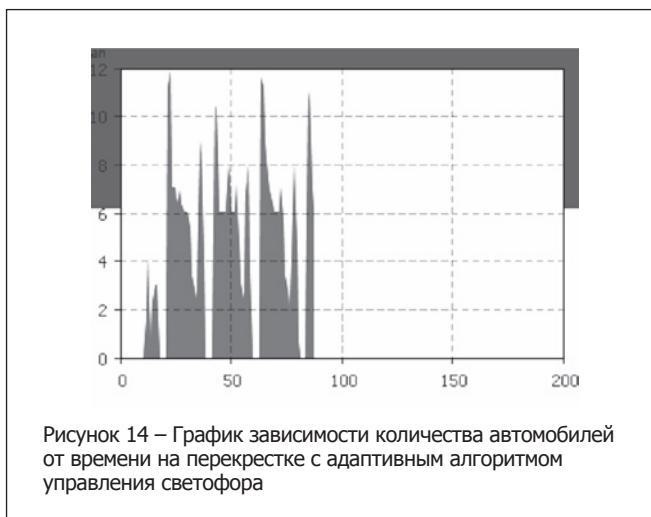


Рисунок 12 – График зависимости количества автомобилей от времени на перекрестке с адаптивным алгоритмом управления светофора

Основные параметры дорожного движения при максимальной интенсивности транспортного потока приведены на рисунках 13–15.



Заключение

Из анализа результатов работы представленной модели следует, что при равных параметрах адаптивный светофор дает существенное снижение длины очереди на

перекрестке и времени ожидания по сравнению со светофором с фиксированным циклом. Внедрение светофоров с адаптивными алгоритмами наиболее целесообразно на перекрестках, на которых значительно изменяются интенсивности движения в поперечных направлениях в течение суток.

Предложенная система адаптивного управления дорожным движением способна продемонстрировать высокую эффективность благодаря исчерпывающей оптимизации каждого отдельного перекрестка и учету транспортных потоков между соседними перекрестками с точностью до отдельных ТС. При наличии в УДС по какому-либо направлению транспортного потока высокой плотности происходит автоматическая подстройка управления на всех смежных перекрестках с организацией на данном направлении зеленой волны. При этом оптимизации подвергаются и все прочие направления с транспортными потоками меньшей плотности.

Оптимизация управления каждым отдельным перекрестком в реальном времени является возможной благодаря использованию системы микроскопического дискретно-событийного моделирования транспортных потоков в УДС. Данная система моделирования вследствие применения дискретно-событийного подхода обладает высокой производительностью и точностью.

Качество оптимизации управления транспортными потоками в высокой степени зависит от точности предсказания плотности потоков транспорта. При этом точность предсказания тем выше, чем меньше временной интервал предсказания. При использовании на локальных перекрестках аппаратного обеспечения достаточной производительности пересчет оптимальных длин фаз цикла регулирования светофорного объекта может производиться с началом каждой следующей фазы. В этом случае реально используемый временной интервал предсказания сократится до длительности одной фазы, т.е. до 15–100 с, в результате чего повысится эффективность оптимизации.

Литература:

1. Голубков, А.С. Адаптивное управление дорожным движением на базе системы микроскопического моделирования транспортных потоков / А.С. Голубков, В.А. Царев // Информационно-управляющие системы. – № 5 (48). – 2010. – С. 15–19.

НАНОТЕХ ООО "Нанотех"
г. Минск, ул. Седых 12А, пом. 2Н

- **Монтаж печатных плат**
(автоматический и ручной)
- **Печатные платы**
(одно-, двухсторонние, многослойные, на алюминии)
- **Трафареты для пасты**
(лазерной резкой из нержавеющей стали)
- **Паяльные пасты**
(безотмывочные, канифольные, водосмываемые, и др.)

pcb@pcb.by тел: +375 17 237 29 34
www.pcb.by тел: +375 17 237 29 35
тел/факс: +375 17 237 29 36
тел/факс: +375 17 281 35 36

ДЕКОДИРОВАНИЕ РЕЧИ НА ОСНОВЕ ТРИГГЕРНОЙ СЕТИ СПУТЫВАНИЯ

УДК 004.934.1

А.В. Ткачя, БГУ, г. Минск

Аннотация

Рассматривается алгоритм декодирования речи на основе сети спутывания. Решается задача выбора триггерных пар и оценка апостериорной вероятности триггерной лингвистической модели. Предлагается метод уточнения апостериорной вероятности гипотезы о распознанном слове на основе триггерной сети спутывания. Приведены функциональная блок-схема генерации триггерной сети спутывания и полученные результаты улучшения эффективности распознавания эмоциональной речи.

Введение

В естественном языке существует много предпочтительных взаимосвязей между словами, и реакция человека на тесно связанную пару слов всегда быстрее и сильнее, чем на слабо связанную пару слов. Полезную информацию о контекстных взаимосвязях можно получить посредством анализа транскрипции обучающих данных или специализированных лингвистических баз данных.

На данный момент, в распознавании речи преобладают n -граммные модели языка, которые могут задавать контекстную зависимость в пределах окна из n слов. На текущий момент наиболее используемое n для естественного языка равно 2. Это, так называемые, биграммные модели языка, которые задают только близкую контекстную зависимость. Тем не менее, многие из предпочтительных взаимосвязей естественного языка встречаются за пределами окна из 3 слов (триграммная лингвистическая модель).

При этом, создание n -граммной модели языка в пределах окна из 10 слов влечет за собой большие вычислительные затраты и приводит к созданию громоздких лингвистических моделей, которые занимают много места и значительно замедляют процесс декодирования речи. Основываясь на вышесказанном, в качестве основной концепции для извлечения контекстных взаимосвязей из связанных пар слов на малых и больших дистанциях для декодирования речи было предложено использовать модель триггеров [1] (рисунок 1), которая, обладая преимуществами n -граммных моделей языка, лишена их недостатков.

Если слово A_0 тесно связано с другим словом B , тогда $(A_0 \rightarrow B)$ рассматривается как «триггер», где A_0 является инициирующим, а B – инициируемым словом. Когда A_0 встречается в последовательности распознанных слов, оно инициирует B , вызывая переоценку вероятности его появления. Слова A_0 и B могут быть расширены до последовательности слов.

Тем не менее, даже если ограничиться рассмотрением

парных триггеров, то количество таких контекстно-зависимых пар слов может оказаться очень большим. Это приведет не только к значительному замедлению процесса декодирования речи и к созданию громоздких лингвистических моделей, но и к снижению эффективности полученной системы, так как начинают учитываться случайные пары слов. Поэтому для моделирования языка на основе триггеров необходимо выбирать наиболее значимые контекстно-зависимые пары слов, для этого необходимо ограничить размер окна для поиска предпочтительных взаимосвязей между словами и задать порог минимальной взаимосвязи между словами, тем самым, ограничив общее число полученных триггерных пар.

Зависимость показателя взаимосвязи от расстояния между словами d была исследована в работе [2]. Показатель взаимосвязи имеет самое низкое значение при $d = 1$ и значительно возрастает при $d = 2, 3, 4, 5, 6$. Для $d > 6$ он возрастает незначительно, что позволяет сделать вывод о том, что оптимальный размер окна, в котором можно наблюдать появление пары связанных слов, равен 6. Полученный результат хорошо согласуется с фактом, установленным П. Линдсеем и Д. Норманном [3] в результате психоакустических и других экспериментов, согласно которым человек обладает кратковременной (оперативной) памятью, емкостью приблизительно 7 ± 2 единиц (слов).

Метод выбора триггерных пар слов

Определить величину коэффициента средней взаимосвязи $K_{AMT}(A_0, B)$ между двумя словами можно по формуле [1]:

$$K_{AMT}(A_0, B) = P(A_0, B) \log \frac{P(A_0, B)}{P(A_0)P(B)} + P(A_0, \bar{B}) \log \frac{P(A_0, \bar{B})}{P(A_0)P(\bar{B})} + P(\bar{A}_0, B) \log \frac{P(\bar{A}_0, B)}{P(\bar{A}_0)P(B)} + P(\bar{A}_0, \bar{B}) \log \frac{P(\bar{A}_0, \bar{B})}{P(\bar{A}_0)P(\bar{B})}, \quad (1)$$

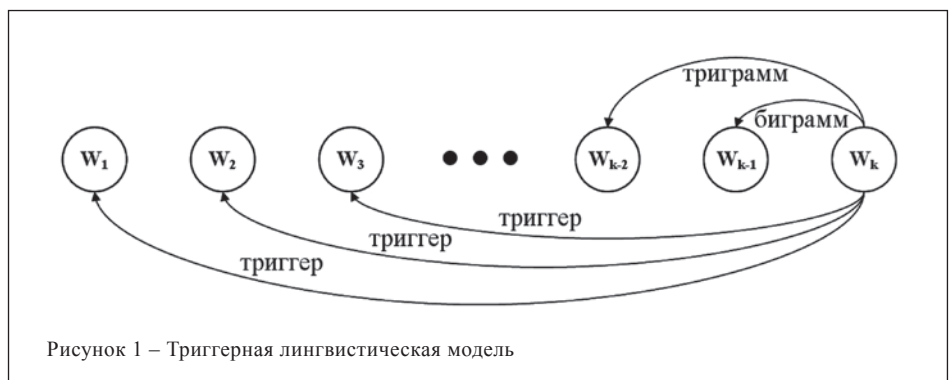


Рисунок 1 – Триггерная лингвистическая модель

где $P(A_0, B)$ – это вероятность появления в анализируемой речи пары слов A_0 и B , $P(A_0)$ и $P(B)$ – вероятность появления слов A_0 и B соответственно, \bar{A}_0 и \bar{B} – любое слово, кроме A_0 и B соответственно. Тогда задавая порог минимальной взаимосвязи между словами, можно будет изменять общее число полученных триггерных пар.

Чем выше коэффициент средней взаимосвязи между двумя словами, тем чаще будет встречаться такая триггерная пара. Таким образом, на основе $K_{AM}(A_0, B)$ можно выбрать наиболее предпочтительные триггерные пары. Тем не менее, эффективность триггерной пары определяется возрастанием вероятности появления слова B , которую можно оценить при помощи коэффициента корреляции между словами A_0 и B [4]:

$$K_C(A_0, B) = \frac{P(A_0, B)P(\bar{A}_0, \bar{B})}{P(\bar{A}_0, B)P(A_0, \bar{B})}. \quad (2)$$

Таким образом, процесс создания репрезентативного набора триггерных пар состоит из следующих шагов:

- задать размер окна для поиска предпочтительных взаимосвязей между словами, в котором можно наблюдать появление триггерной пары;
- задать порог минимального коэффициента средней взаимосвязи между словами $K_{AM}(A_0, B)$, тем самым, получить набор часто встречаемых триггерных пар;
- из полученного набора, на основе коэффициента корреляции $K_C(A_0, B)$ выбрать необходимое количество триггерных пар с максимальным возрастанием вероятности появления слова B при наличии слова A_0 .

Помимо этого, триггерные модели могут быть зависимыми и независимыми от расстояния между словами. Для независимых от расстояния триггерных пар, инициируемое слово B может находиться на любом расстоянии от инициирующего слова A_0 , в пределах заданного окна поиска. А для зависимых от расстояния триггерных пар, слово B должно находиться на заданном расстоянии от A_0 . В работе [1] было показано, что использование зависимых от расстояния между словами триггерных пар дает больший прирост эффективности декодирования речи.

Оценка апостериорной вероятности триггерной сети спутывания

Сначала определим сеть спутывания [5] как последовательность из N множеств спутывания, каждое из которых состоит из M конкурирующих гипотез о распознанном слове: $[w_1^M; \tau_1, t_1]^N = [w_1^{M_1}; \tau_1, t_1], \dots, [w_i^{M_i}; \tau_i, t_i], \dots, [w_j^{M_j}; \tau_j, t_j], \dots, [w_N^{M_N}; \tau_N, t_N]$.

Тогда с учетом расстояния между словами, величина уточнения вероятности появления слова w_j для триггерной пары $(w_i \rightarrow w_j)$ равна:

$$K_{MI}(w_i \rightarrow w_j, j-i) = \log \frac{P(w_i, w_j | n=j-i)}{P(w_i)P(w_j)}, \quad (3)$$

где $w_i=A_0$ является инициирующим, $w_j=B$ – инициируемым словом, а $n=j-i$ – расстояние между словами w_i и w_j .

Теперь с учетом выражения (3) можно получить апостериорную вероятность триггерной лингвистической модели для гипотезы о распознанном слове, как:

$$P_T(w_k^B | O) = \frac{P_A(w_k^B | O_k) \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{\substack{(A_0 \rightarrow B) \\ \exists w_i^{M_i} \in A_0 \\ w_i^B = B}} P_A(w_i^m | O_i) K_{MI}(w_i^{A_0} \rightarrow w_k^B, k-i)}{\sum_{i=1}^{k-1} \sum_{\substack{(A_0 \rightarrow B) \\ \exists w_i^{M_i} \in A_0 \\ w_i^B = B}} P_A(w_i^m | O_i)}, \quad (4)$$

где w_i^m – m -ая конкурирующая гипотеза о распознанном слове ($m=1, 2, \dots, M_i$) в i -ом множестве спутывания $w_i^{M_i}$, которая является инициирующим словом A_0 для слова $w_k^B = B$ триггерной пары $(A_0 \rightarrow B)$; $P_A(w|O)$ – апостериорная вероятность слова w для акустической модели. Сумма апостериорных вероятностей акустической модели в делителе выражения необходима для нормировки на акустическую вероятность.

Вычислив, согласно выражению (4), апостериорные вероятности триггерной лингвистической модели для всех конкурирующих гипотез о распознанном слове в k -ом множестве спутывания $w_k^{M_k}$, можно уточнить апостериорную вероятность каждого из слов w_k следующим образом:

$$\hat{P}_{CN}(w_k^m | O) = P_A(w_k^m | O) + P_T(w_k^m | O). \quad (5)$$

Таким образом, апостериорная вероятность для слова в сети спутывания с триггерной лингвистической моделью равна сумме акустической и триггерной апостериорной вероятности соответственно. Это обусловлено тем, что $P_T(w_k | O)$, рассчитанная в соответствии с выражением (3), определяет только лишь изменение вероятности появления слова w_k .

Так как апостериорная вероятность всех слов в k -ом множестве спутывания $w_k^{M_k}$ в сумме должна равняться единице, необходимо провести нормирование полученной в (5) величины:

$$P_{CN}(w_k^m | O) = \frac{\hat{P}_{CN}(w_k^m | O)}{\sum_{i=1}^{M_k} \hat{P}_{CN}(w_k^i | O)}. \quad (6)$$

Переоценив, таким образом, слева направо все апостериорные вероятности слов в сети спутывания, чтобы получить распознанную последовательность слов необходимо из каждого множества спутывания выбрать гипотезу о распознанном слове с максимальной апостериорной вероятностью.

Исследования показывают [6], что использование триггерной модели языка позволяет повысить эффективность декодирования речи на основе сети спутывания.

Декодирование эмоциональной речи на основе триггерной сети спутывания

Получить высокую эффективность распознавания эмоциональной речи только лишь за счет акустического моделирования не удастся. В связи с этим, было предложено улучшить эффективность системы распознавания эмоциональной речи за счет использования этапа декодирования на основе сети спутывания. Блок-схема алгоритма генерации сети спутывания, полученной из графа слов [7] на основе алгоритма выравнивания по

опорным точкам Тура [8], в которую была интегрирована триггерная лингвистическая модель, представлена на рисунке 2.

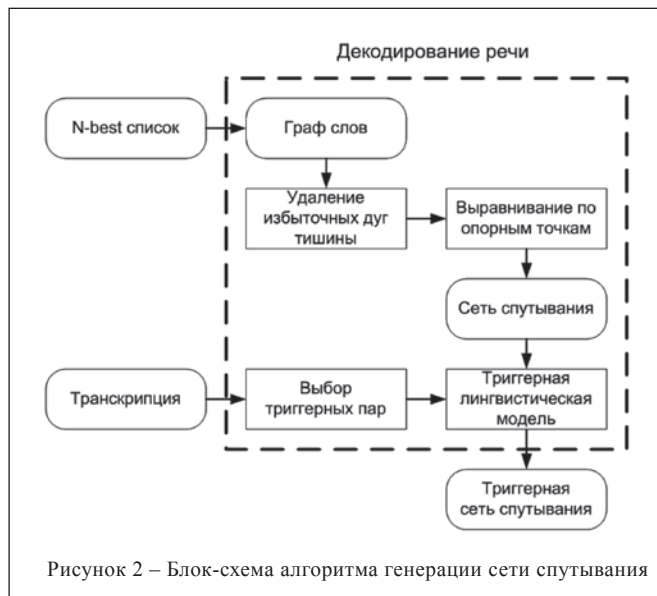


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма генерации сети спутывания

Стоит отметить, что выбор триггерных пар осуществляется один раз на этапе обучения скрытых марковских моделей (СММ) на основе транскрипций обучающих данных или специализированных лингвистических баз данных. Таким образом, система распознавания эмоциональной речи на основе СММ, может быть дополнена предложенным выше этапом декодирования речи (рисунок 3).

База эмоциональной речи и эффективность распознавания

Распознавание эмоциональной речи и оценка эффективности работы полученной системы в целом будет осуществляться на японском просодическом корпусе MULTEXT (MULTEXT-J) [9]. Выбранная база состоит из 40 текстов (продолжительностью от 10 до 30 секунд речи), которые записаны при участии

шести человек (3-е мужчин и 3-и женщины), в возрасте от 20 до 50 лет. Каждый текст записан в двух вариантах: в нейтральном эмоциональном состоянии и с требуемой эмоцией, таким образом, размер базы составляет 480 файлов. Запись всех слов производилась с частотой дискретизации сигнала 16 000 Гц, разрядностью квантования 16 бит, форматом звуковых файлов – Waveform Audio File Format (WAV).

Обучение и тестирование проводилось на основе перекрестной проверки (*k*-fold cross validation). При помощи полученной системы (рисунок 3) был проведен ряд экспериментов по оценке зависимости эффективности распознавания речи от количества используемых в лингвистической модели триггерных пар, произведенных на базе MULTEXT-J. При этом результат распознавания получается путем выбора из каждого множества спутывания гипотезы о распознанном слове с максимальной апостериорной вероятностью.

Таблица 1 – Зависимость эффективности распознавания речи от количества триггерных пар, используемых в лингвистической модели с размером окна для поиска предпочтительных взаимосвязей между словами, равным 6

Количество триггерных пар, шт.	Эффективность распознавания речи, %
0	56
150	57
300	59
500	61
750	63
1000	63
1500	62

Отметим, что эффективность распознавания эмоциональной речи без этапа декодирования, равная 56 % (случай отсутствия триггерных пар), получается на основе выбора из *N-best* списка последовательности слов с максимальной апостериорной вероятностью акустической модели.

Заключение

На основе изложенной в статье теории была создана система распознавания эмоциональной речи, дополненная блоком декодирования речи на основе триггерной сети спутывания. Как видно из таблицы 1, максимальная эффективность распознавания речи, равная 63 %, достигается при лингвистической модели, состоящей из 750 триггерных пар.

Это свидетельствует о том, что существует предельное значение количества триггеров, превышение которого приводит к незначительному росту, а порой и к снижению эффективности полученной системы, так как начинают учитываться случайные пары слов.

Таким образом, предложенный дополнительный этап декодирования речи на основе триггерной сети спутывания позволил повысить эффективность распознавания эмоциональной речи на 7 %.

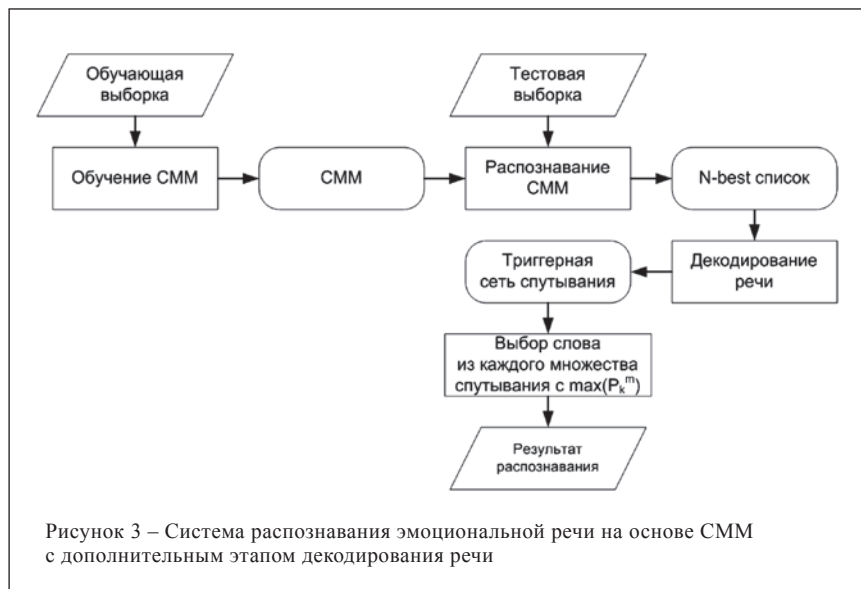


Рисунок 3 – Система распознавания эмоциональной речи на основе СММ с дополнительным этапом декодирования речи

Литература:

1. Interpolation of n-gram and mutual-information based trigger pair language models for Mandarin speech recognition / Guo Dong Zhou, Kim Teng Lua // Computer Speech and Language. – 1999. – № 13(1). – P. 125–141.
2. Extended multi-word trigger pair language model using data mining technique / Y. Chen, K.-P. Chan // Proceedings of IEEE International conference on systems, man and cybernetics, Washington, 5–8 Oct. 2003. – 2003. – № 1. – P. 262–267.
3. Линдсей, П. Переработка информации у человека / П. Линдсей, Д. Норманн ; пер. с англ. под ред. А.Л. Лурия. – М. : Мир, 1974. – 550 с.
4. Gokhale, D.V. The Information in Contingency Tables / D.V. Gokhale, S. Kullback. – Marcel Dekker Inc., New York, 1978. – 384 p.
5. Finding consensus in speech recognition: word error minimization and other applications of confusion networks / L. Mangu, E. Brill, A. Stolcke // Computer Speech a Language. – 2000. – № 19(4). – P. 373–400.
6. Использование триггерного моделирования для улучшения качества поиска ключевых слов в сети спутывания / Цзинбинь Янь, Алиев Р.М. // Информационные системы и технологии IST'2009. сб. тр. V междунар. конф.-форума. Minsk, 16–17 ноября 2009 г. // редкол.: Н.И. Листопад [и др.]. – Минск, 2009. – С. 194–196.
7. A comparison of time conditioned and word conditioned search techniques for large vocabulary speech recognition / S. Ortmanns, H. Ney, F. Seide, I. Lindam // in Proc. IEEE Int. Conf. Spoken Language Processing 1996, Philadelphia, PA. – 1996. – P. 2091–2094.

8. A general algorithm for word graph matrix decomposition / D.H. Tur, G. Riccardi // IEEE International conference on acoustics, speech and signal processing, ICASSP 2003, Hong Kong. – 2003. – № 1. – P. 596–599.

9. MULTEXT-J // Japanese MULTEXT Prosodic Corpus. – Режим доступа : <http://research.nii.ac.jp/src/en/MULTEXT-J.html>. – Дата доступа : 30.09.2013.

Abstract

An algorithm for speech decoding based on confusion network is presented. Solve the problem of trigger pairs selection and evaluation of trigger pair language model posteriori probability. Propose a method for estimating a posteriori probability of word hypothesis based on trigger pair confusion network. Also provides a functional block diagram of trigger pair confusion network generation and obtained results, which improve the efficiency of emotional speech recognition.

Поступила в редакцию 16.06.2014 г.

ТТСС ЗАО «Промтехсервиснаб»

г. Минск, ул. Богдановича, 120 Б, ном. 6, **Тел.: 266-23-94; 266-23-92,**
 e-mail: uslugi@zapservis.by, **моб.: (029) 676-02-56,**
www.zapservis.by **моб.: (044) 773-72-04,**
факс: 266-23-94.

Контрактное производство РЭА:

- ✓ Автоматизированный монтаж SMD-компонентов любой сложности.
- ✓ Комбинированный монтаж с использованием компонентов DIP (выводных), а также SMD (планарных).
- ✓ Сборка корпусных деталей и узлов.
- ✓ Ультразвуковая отмывка печатных плат и узлов высококачественными импортными растворами.
- ✓ Нанесение влагозащитных покрытий.

**Высокотехническое импортное оборудование обеспечивает высокое качество производимой продукции.*

Продажа неликвидов ПКИ для РЭА:

- ✓ Резисторы, конденсаторы, транзисторы, микросхемы и т.д.

ДПП Качество и компетентность в мире печатных плат

ОАО «Минский часовой завод»

ВАШ НАДЕЖНЫЙ ИЗГОТОВИТЕЛЬ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

220085, г. Минск, пр. Независимости, 95, т.ф. +375 (17) 280-49-55, моб. +375 (29) 750-45-50, bogdashlich@mail.ru

Срок изготовления от 2 дней до двух недель

Типы плат

- ДПП, МПП (до 24 слоев) любого класса точности
- Гибкие печатные платы
- Платы для ВЧ/СВЧ
- Платы на алюминиевой подложке
- Платы для смарт-карт

Возможности

- Проектирование плат
- Технологическая поддержка
- Покрытия: HASL, иммерсионное золото, иммерсионное серебро, ПОС, Ni-B
- Формирование контура любой формы
- Материалы: FR-4, Rogers, Duroid, алюминий, лавсан

Качество

- Сертификат соответствия ВУ/ТИЗ 05.01.0030030

ООО «БАРС-ЭЛЕКТРОНИКС»

г. Минск, ул. Притыцкого, 62/2-1035, тел.: +375 17 254-72-11, моб.: +375 29 647-53-76, +375 29 705-04-15, e-mail: info@elbars.com, pcb@elbars.com, web: www.elbars.com

1. Трафареты для поверхностного монтажа печатных плат.

2. Электрополировка. Срок изготовления 3 дня.

3. Разработка и поставка печатных плат.

4. Монтаж печатных плат.

5. Поставка электронных компонентов.

6. Светодиодное оформление витрин, фасадов зданий.

7. Изготовление LED прожекторов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИРМЫ SYNOPSIS

УДК 621.793.6:004.42(047)(476)

Н.Л. Лагунович, В.М. Борздов, А.С. Турцевич, г. Минск

Аннотация

Моделирование полупроводниковых структур играет важную роль при разработке и оптимизации технологического процесса изготовления и электрофизических свойств новых изделий твердотельной электроники. В данной работе рассматриваются два модельных приближения для описания процесса диффузионного легирования полупроводниковой области: с помощью одной команды и с помощью двух команд программы Taurus TSUPREM-4, входящей в состав программного комплекса фирмы Synopsys. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования с использованием указанных методов на примере пластины-спутника с удельным сопротивлением $\rho_V=10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и структуры кремниевого стабилитрона, изготавливаемого на подложке с $\rho_V=0,01 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. В результате расчетов были получены профили распределения примесей, значения глубин залегания p - n -переходов, поверхностных сопротивлений областей n -типа и напряжений стабилизации. Установлено, что величины глубин залегания p - n -переходов, поверхностных сопротивлений областей n -типа, напряжения стабилизации, полученные при моделировании структуры стабилитрона с применением двух различных модельных подходов описания процесса диффузионного легирования, имеют незначительную разницу. Сделан вывод о том, что модельное приближение с применением одной программной команды может быть весьма эффективным при моделировании некоторых полупроводниковых структур.

Введение

Разработка современных изделий микро- и нанoeлектроники на сегодняшний день невозможна без моделирования технологии изготовления как отдельно взятого прибора, так и интегральной схемы (ИС) в целом [1]. В данной работе представлены результаты моделирования технологической операции диффузионного легирования фосфором кремниевой подложки p -типа проводимости, проведенного с применением двух различных способов модельного описания процесса диффузии в рамках программы Taurus TSUPREM-4, входящей в состав программного комплекса фирмы Synopsys [2].

Процесс диффузии фосфора – одна из наиболее часто встречающихся операций в технологии изготовления дискретных приборов и ИС на основе кремния, и в условиях производства может осуществляться двумя различными методами – диффузией из неограниченного источника фосфора в определенную область кремниевой пластины или же в две стадии – осаждением фосфоросиликатного стекла на поверхность кремниевой пластины и последующей разгонкой фосфора из осажденного стекла.

Программные методы описания процесса диффузионного легирования

Как известно, программа Taurus TSUPREM-4 содержит команду для описания процесса диффузии из неограни-

ченного источника в твердое тело [2]. Основной целью данной работы была проверка предположения о том, что с помощью данной команды с необходимой степенью точности и достаточно адекватно можно описать процесс диффузионного легирования фосфором кремниевой подложки p -типа, который используется при изготовлении кремниевого стабилитрона. При этом результаты применения этой команды сравнивались с результатами применения двух команд, одна из которых описывает осаждение фосфоросиликатного стекла на поверхность кремниевой пластины, а вторая – разгонку примеси из осажденного стекла вглубь пластины в среде азота и кислорода.

Исследование было проведено на примере подложки p -типа, легированной бором, используемой в производстве в качестве спутника, имеющей удельное сопротивление $\rho_V=10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ (КДБ10), и на примере подложки с удельным сопротивлением $\rho_V=0,01 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ (КДБ0,01). Удельные сопротивления обеих подложек, время диффузии фосфора, концентрация примеси фосфора на поверхности кремниевой пластины, а также температура, при которой проводилось диффузионное легирование для двух сравниваемых модельных приближений, совпадали. По результатам расчетов, глубина залегания p - n -перехода в подложке с $\rho_V=10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ для метода, в котором использовалась одна команда программы Taurus TSUPREM-4, составила 0,57 мкм, а поверхностное сопротивление R_s области n -типа оказалось равным 8,6 Ом/□. Для метода, в котором диффузия выполнялась в два этапа, глубина залегания p - n -перехода составила 0,56 мкм, а поверхностное сопротивление R_s – 9,0 Ом/□. Такая незначительная разница



Рисунок 1 – Распределение концентрации примесей в кремниевой подложке p -типа с удельным сопротивлением 10 Ом·см, полученные в результате моделирования диффузионного легирования фосфором

в полученных результатах может быть объяснена тем, что концентрация легирующей примеси (фосфора) на поверхности кремния оставалась постоянной.

Полученные в результате моделирования профили распределения примесей практически совпали, они приведены на рисунке 1. После исследований, выполненных для пластины-спутника, был проведен анализ на примере конкретного прибора, которым является стабилитрон, изготавливаемый на подложке с $\rho V=0,01 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

Результаты моделирования, полученные для случая применения сильнолегированных подложек

Ниже проведено сравнение результатов моделирования процесса диффузии с помощью двух модельных приближений, описывающих технологический процесс получения $p-n$ -перехода стабилитрона [3–6], изготавливаемого на подложке с удельным сопротивлением $\rho V=0,01 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Структура самого стабилитрона показана на рисунке 2, где отмечен моделируемый участок длиной 1 мкм. Для определения напряжения стабилизации рассматриваемого прибора $U_{ст}$ достаточно рассчитать профили распределения примесей на этом небольшом, по сравнению со всей структурой, участке, поскольку заранее предполагается, что по всей площади $p-n$ -перехода, находящегося внутри охранного кольца $n+$ -типа, распределение легирующей примеси является одинаковым (таким, как показано на рисунках 4 а и 6 а).

Конструкция стабилитрона, приведенная на рисунке 2, предполагает диффузионное легирование фосфором кремниевой подложки p -типа. По периметру $p-n$ -перехода перед его созданием сначала формируют охранное кольцо $n+$ -типа с помощью диффузионного легирования фосфором подложки и последующей разгонки в течение достаточно длительного промежутка времени (порядка 100 минут) в стандартной среде, используемой в производстве. Наличие охранного кольца обеспечивает пробой структуры в области $p-n$ -перехода, а не по его периметру. После того, как охранное кольцо уже сформировано, в его внутренней части путем еще одной операции диффузионного легирования фосфором формируют область n -типа с целью получения $p-n$ -перехода стабилитрона (рисунк 2).

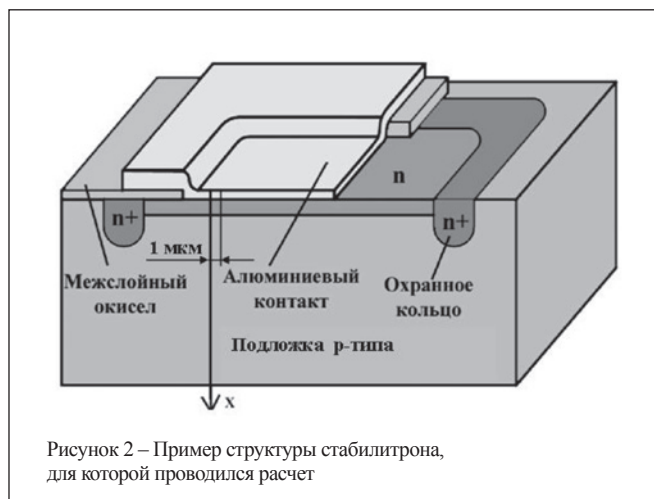


Рисунок 2 – Пример структуры стабилитрона, для которой проводился расчет

Весь технологический маршрут формирования структуры исследуемого кремниевого стабилитрона включает следующие операции: 1) формирование охранных колец $n+$ -типа посредством диффузионного легирования фосфором подложки p -типа и его последующей разгонки; 2) формирование $p-n$ -перехода посредством диффузионного легирования фосфором подложки p -типа; 3) формирование межслойного окисла и вытравливание в нем контактных окон; 4) напыление металла с целью формирования контактов к областям n -типа. Операция диффузионного легирования была выбрана вместо операций ионного легирования и последующей разгонки примеси, прежде всего, исходя из экономических соображений. В качестве металла для формирования контакта к области n -типа стабилитрона был взят алюминий, который является наиболее дешевым и широко используемым в технологии электроники металлом и обладает хорошими электро- и теплопроводностью.

Применение одной и той же команды для моделирования двух, отличающихся друг от друга процессов диффузионного легирования, используемых в процессе производства, позволило в данном случае значительно упростить и ускорить процедуру моделирования. Для подтверждения этого предположения необходимо сравнить результаты моделирования, приведенные ниже на рисунках 3–6.

На рисунке 3 показана часть кремниевой подложки p -типа длиной 1 мкм, в область которой проводилась диффузия фосфора в две стадии. Вначале на поверхность пластины осаждалось фосфоросиликатное стекло с высокой концентрацией примеси (порядка 10^{23} см^{-3}), после чего выполнялась разгонка фосфора вглубь пластины в течение 25 минут при температуре $950 \text{ }^\circ\text{C}$. В результате моделирования была получена структура, часть которой изображена на рисунке 3.

Одномерное распределение примесей в направлении X в продольном сечении структуры, показанной на рисунке 3, изображено на рисунке 4 а. По результатам расчетов, глубина залегания $p-n$ -перехода по модели, в которой ис-

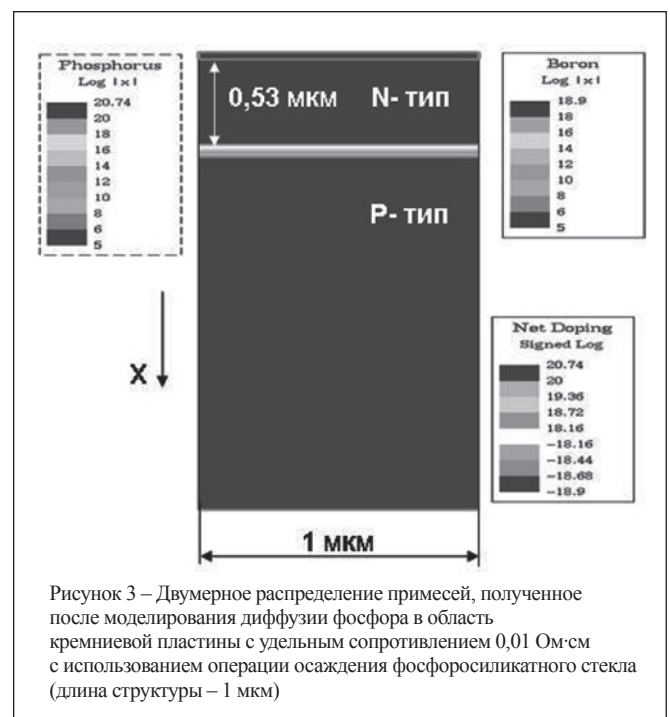


Рисунок 3 – Двумерное распределение примесей, полученное после моделирования диффузии фосфора в область кремниевой пластины с удельным сопротивлением $0,01 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ с использованием операции осаждения фосфоросиликатного стекла (длина структуры – 1 мкм)

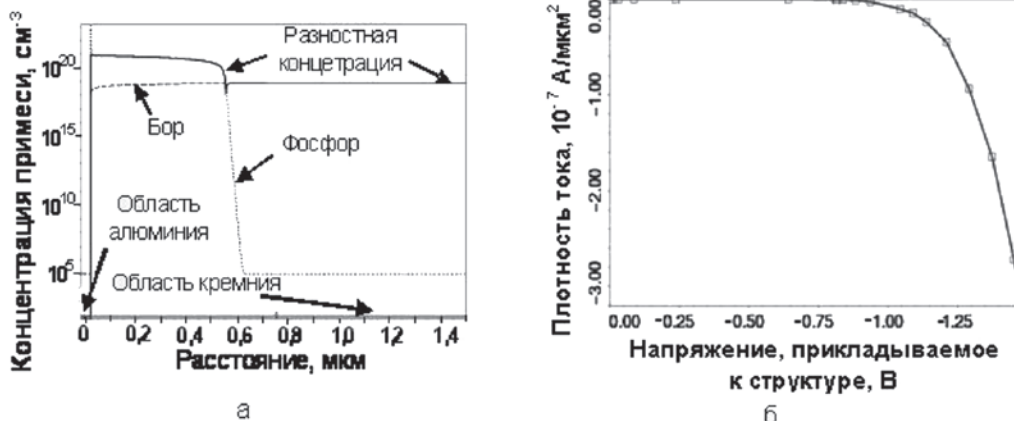


Рисунок 4 – Одномерное распределение концентрации примесей, полученное после диффузии фосфора в область кремниевой пластины с удельным сопротивлением 0,01 Ом·см (а) с предварительным осаждением фосфоросиликатного стекла, и вольт-амперная характеристика полученной структуры (б)

пользовались две команды программы Taurus TSUPREM-4, составила 0,53 мкм (рисунки 3 и 4 а), а поверхностное сопротивление R_s области n -типа составило 8,8 Ом/□. На рисунке 4 б представлена вольт-амперная характеристика p - n -перехода, изображенного на рисунке 3. При плотности тока $3,2 \times 10^{-7}$ А/мкм² через такой p - n -переход напряжение его пробоя составило 1,5 В (рисунок 4 б).

Величина плотности тока $3,2 \times 10^{-7}$ А/мкм², при которой измеряется напряжение стабилизации в рассматриваемом случае, была рассчитана следующим образом. Значение тока стабилитрона, при которой измеряется напряжение стабилизации $U_{ст}$, составляет 5 мА, общая площадь p - n -перехода

стабилитрона, через которую протекает ток 5 мА, составляет 125×125 мкм. Таким образом, плотность тока, при которой выполняется измерение $U_{ст}$, равная отношению тока через всю площадь активной структуры прибора к площади этой структуры, будет составлять 5×10^{-3} А/(125×125 мкм) $\approx 3,2 \times 10^{-7}$ А/мкм².

Для сравнения двух исследуемых в статье модельных приближений процесса диффузии фосфора в кремниевую подложку необходимо также проанализировать расчетные данные для p - n -перехода, полученного методом диффузии из неограниченного источника. Данные расчета для метода моделирования диффузии с помощью одной команды приведены на рисунках 5, 6 а и 6 б. Как видно из рисунков 5 и 6 а, глубина залегания p - n -перехода, полученного методом диффузии, моделирование которого выполнялось с использованием одной команды, составляет 0,52 мкм, что на 1,9 % меньше глубины залегания перехода, полученного методом диффузии в два этапа. Поверхностное сопротивление R_s области n -типа составило 9,3 Ом/□, что на 5,4 % больше, чем для p - n -перехода, полученного при моделировании с помощью двух команд. Как видно из результатов расчета, при получении структуры p - n -перехода оба метода моделирования дают почти одинаковый результат.

Далее можно сравнить, насколько близки расчетные значения пробивного напряжения полученных структур. Пробивное напряжение p - n -перехода, полученного методом диффузии с использованием одной команды, составило 1,4 В при плотности тока $3,2 \times 10^{-7}$ А/мкм². Это примерно на 6,7 % меньше пробивного напряжения перехода, изображенного на рисунках 3 и 4 а, что также свидетельствует о достаточно хорошем совпадении результатов моделирования.

Выше уже было сказано, что удельное сопротивление подложки, время диффузии фосфора, концентрация примеси фосфора на поверхности кремниевой пластины и температура, при которой проводилось диффузионное легирование при получении структур, изображенных на рисунках 3 и 5, практически полностью совпадали. При этом различными являлись только способы моделирования структур. Оценки показали, что оба метода дают близкий по значениям результат, но все

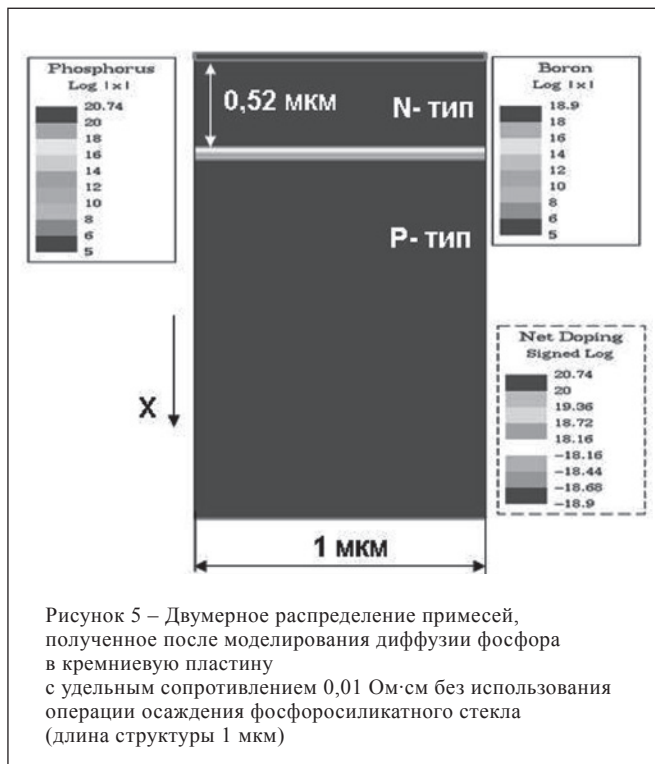


Рисунок 5 – Двумерное распределение примесей, полученное после моделирования диффузии фосфора в кремниевую пластину с удельным сопротивлением 0,01 Ом·см без использования операции осаждения фосфоросиликатного стекла (длина структуры 1 мкм)

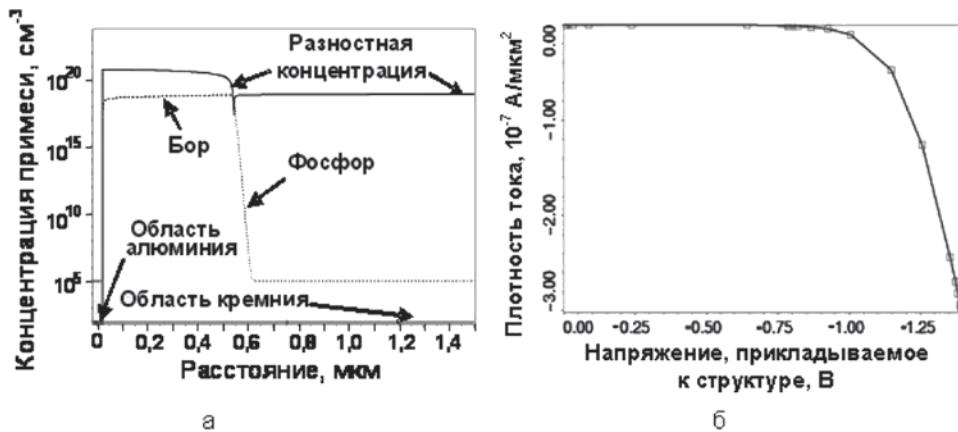


Рисунок 6 – Одномерное распределение концентрации примесей, полученное после диффузии фосфора в кремниевую пластину с удельным сопротивлением 0,01 Ом·см (а) без операции осаждения фосфоросиликатного стекла, и вольт-амперная характеристика полученной структуры (б)

же имеют место определенные различия. Наибольшая разница (0,1 В) в исследованном примере получена на конечном этапе после получения вольт-амперной характеристики. Для случая $p-n$ -переходов с пробивными напряжениями 1÷2 В эта разница не очень велика и укладывается в пределы погрешности расчетов и, тем более, в пределы погрешности измерений, проводимых на экспериментальных образцах. Следовательно, во многих случаях такой разницей можно пренебречь, если не требуется особенно высокая точность и воспроизводимость электрических характеристик полупроводниковой структуры.

Таким образом, применение модельного приближения, описывающего процесс диффузии из неограниченного источника с помощью одной команды, позволяет в некоторых случаях упростить процесс моделирования, а также ускорить процедуру проверки выбранного описания технологического процесса до проведения самих расчетов. Однако заранее определить количество сэкономленного времени при моделировании весьма проблематично, так как оно будет зависеть от сложности задачи, от количества операций диффузии в технологическом процессе и ряда других показателей. В то же время, для рассмотренного примера моделирования технологии изготовления и электрических характеристик структуры стабилитрона эффективность процесса расчетов по нашим оценкам может достигать до 50 %, поскольку основной операцией при формировании прибора является операция диффузионного легирования.

Заключение

Анализ результатов моделирования технологии формирования и электрических параметров кремниевого стабилитрона [2–6] показал, что в случаях, когда точность вычислений $\pm 10\%$ является достаточной, различные процессы диффузионного легирования, используемые в производстве, можно моделировать с применением наиболее простой команды программы Taurus TSUPREM-4 [2], описывающей диффузию примесей из источника с постоянной концентрацией на поверхности полупроводника. Такое описание технологических режимов диффузии позволяет в некоторых случаях значительно упростить и ускорить процедуру моделирования. Эффективность указанного способа в каждом конкретном случае может быть разной и будет зависеть от количества операций диффузии,

количества узлов сетки, на которые разбивается структура при моделировании, от сложности самой структуры и ряда других факторов.

Литература:

1. МОП-СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов./ П. Антонетти [и др.] ; под общ. ред. П. Антонетти. – М. : Радио и связь, 1988.
2. <http://www.synopsys.com>.
3. Полупроводниковые приборы: учебн. для вузов / Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков ; под ред. В.А. Лабунцова. – М. : Энергоатомиздат, 1990.
4. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов: в 2 т. / С. Зи. – М. : Мир, 1984.
5. Sah, C.T. Fundamentals of solid-state electronics / C.T. Sah. – World Scientific, 1991. – 1011 p.
6. Streetman, B.G. Solid state electronic devices / B.G. Streetman, S. Banerjee. – New Jersey: Prentice Hall, 2000. – 558 p.

Abstract

The semiconductor structures simulation play important role during the manufacture technology development and optimization of new solidstate electronics products. Two model approximations for description of semiconductor region diffusion doping process were considered in this work: by means of one command and of two commands of Taurus TSUPREM-4 programme constituent the Synopsys Company software package. The simulation results comparative analysis was realized with using indicated methods on example of wafer-satellite with the resistivity of 10 Ohm·cm and silicon stabiltron structure produced on wafer with the resistivity of 0.01 Ohm·cm. Dopant profiles, junction depths, n-region sheet resistances, stabilizing voltage values were obtained as a result of calculations. It was determined that junction depths, n-region sheet resistances, stabilizing voltage values obtained during stabiltron structure modeling using two distinct description methods have negligible difference. Conclusion was made that model approximation using only one programme command can be very effective for some semiconductor structures simulation.

Поступила в редакцию 27.06.2014 г.

ОПТИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ СИГНАЛОВ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ ДИНАМИЧЕСКОМ ЗАПОМИНАЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

УДК 517.972.5

А.В. Поляков, Н.Р. Хлебородов, БГУ, г. Минск

Аннотация

Разработана структурная схема волоконно-оптической динамической памяти регенеративного типа, осуществляющей хранение и периодическую 2R-регенерацию последовательности оптических импульсов с помощью нелинейного оптического кольцевого зеркала. С использованием предложенного математического аппарата на базе обобщенного нелинейного уравнения Шредингера проведены расчеты динамики восстановления импульса в оптоволоконной системе и сформулированы рекомендации для последующего структурного синтеза архитектура оптопроцессора.

Введение

При высокоскоростной передаче информации для космического, а особенно для наземного сегмента спутниковых систем связи, необходимо использовать специализированные быстродействующие буферные запоминающие устройства, позволяющие избежать потерь оптической информации при ее доставке конечному потребителю. Одним из перспективных направлений решения подобных задач является использование волоконно-оптических динамических запоминающих устройств (ВОДЗУ). Достоинством ВОДЗУ является то, что запись информационного потока в них осуществляется в реальном масштабе времени, а хранение данных в цифровой и аналоговой форме возможно в течение времени, необходимого

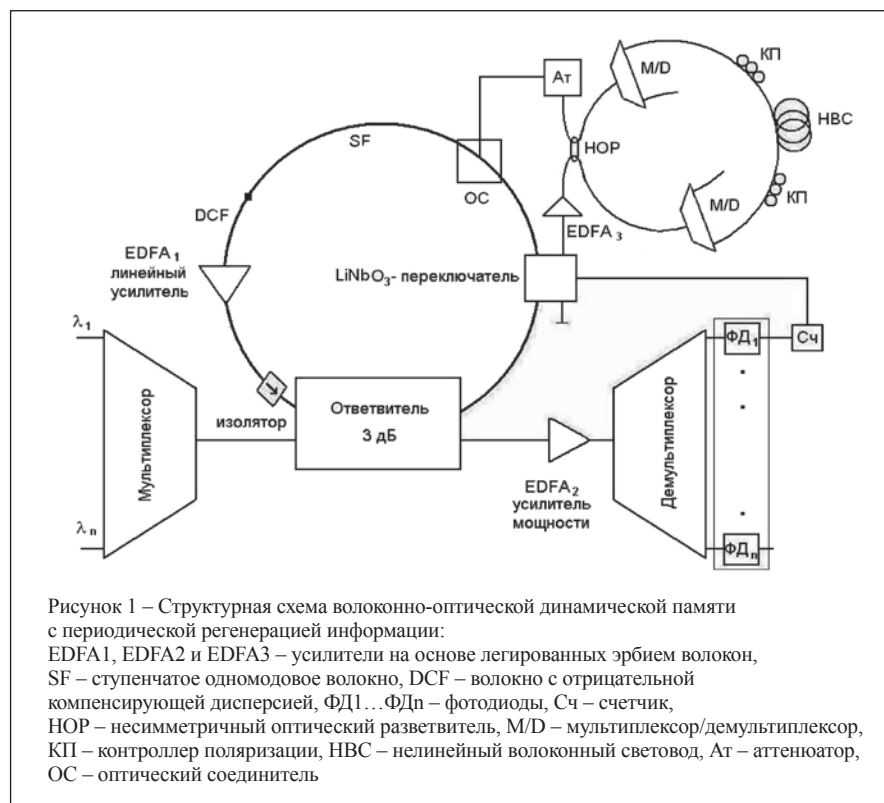
для их последующей обработки. Кроме того, в таких оптоволоконных системах существует возможность организации по одному световоду одновременно нескольких информационных каналов, используя DWDM-технологии.

В высокоскоростной динамической оптической памяти в результате дисперсионных эффектов в оптоволоконной линии задержки, наличия временного джиттера и межсимвольных помех происходят искажения циркулирующих импульсов и, как следствие, хранящихся данных. Для увеличения времени хранения информации в процессе циркуляции в замкнутом волоконно-оптическом контуре необходимо принимать меры по периодической регенерации сигналов. Существующие волоконно-оптические запоминающие устройства [1–3] без оптоэлектронного преобразования ориентированы, как правило, на восстановление только амплитудных характеристик сигнала (1R-регенерация). Таким образом, разработка способов восстановления информационных импульсов по форме, амплитуде и длительности в оптическом диапазоне для улучшения информационных характеристик ВОДЗУ является актуальной задачей.

Структура волоконно-оптической динамической памяти с периодической 2R-регенерацией информации

Нами разработана архитектура цифровой волоконно-оптической динамической памяти со спектральным уплотнением информационных каналов, позволяющая значительно расширить информационные характеристики оптопроцессорных систем [4]. Предложено в оптическом диапазоне реализовать восстановление циркулирующих импульсных сигналов как по амплитуде, так и по форме и длительности, или так называемую 2R-регенерацию (reamplification+reshaping). Это позволяет заметно увеличить время хранения информации в ВОДЗУ.

Структура экспериментальной модели ВОДЗУ с 2R-регенерацией информации представлена на рисунке 1. Информационная последовательность оптических импульсов на различных длинах волн, через оптический мультиплексор и первый вход оптического разветвителя поступает в волоконно-оптическую линию задержки (SF), последовательно с которой соединен отрезок волоконного световода с отрицательной компенсирующей дисперсией (DCF). Далее оптические импульсы усиливаются волоконно-оптическим



эрбиевым усилителем и через оптический изолятор и второй вход оптического разветвителя поступают на следующий цикл циркуляции. Оптический изолятор исключает ввод входных оптических сигналов от оптического разветвителя в волоконно-оптическую линию задержки через выход волоконно-оптической линии. Со второго выхода разветвителя оптические сигналы поступают на выходной волоконно-оптический эрбиевый усилитель мощности, демультиплексор и преобразуются набором фотоприемников в сигналы для считывания.

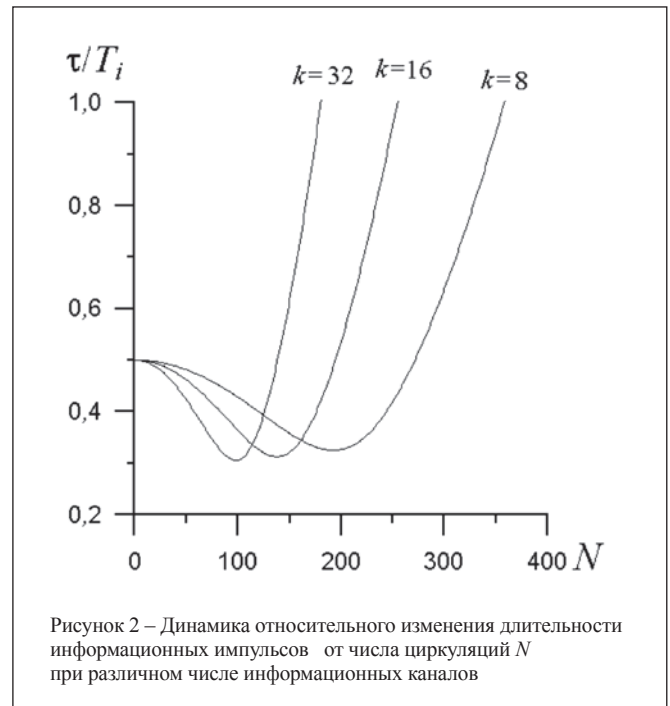
Данная структура обладает следующими отличительными особенностями. Во-первых, применение комбинации стандартного одномодового волокна и волокна с отрицательной дисперсией позволяет уменьшить результирующую хроматическую дисперсию более чем на два порядка. Во-вторых, использование двух волоконно-оптических эрбиевых усилителей (EDFA – erbium-doped fiber amplifier), один из которых EDFA₁ является линейным усилителем и компенсирует потери в петле рециркуляции, а второй EDFA₂ представляет собой выходной усилитель мощности, позволяющий исключить использование электронных усилителей на выходе каждого фотоприемника. Кроме того, регенерация циркуляционных информационных сигналов осуществляется в оптическом диапазоне, что позволяет работать с гигагерцовыми скоростями записи информационного потока и не осуществлять промежуточное периодическое преобразование сигналов из оптического диапазона в электрический и обратно.

Поскольку спектральная полоса усиления EDFA достигает 35 нм в окрестности длины волны $\lambda=1550$ нм, а используемый интервал между спектральными каналами составляет 0,8 нм, в результате общее число каналов может превышать 40, при этом 32 канала являются информационными, а остальные вспомогательными служебными.

В предлагаемой схеме ВОДЗУ применяется DWDM-технология с $k=8, 16, 32$ информационными каналами, имеющими межканальный интервал 100 ГГц. В качестве линии задержки используется комбинированный световод с коррекцией хроматической дисперсии, состоящий из 20 км стандартного одномодового волокна (дисперсия 17 пс/нм·км на $\lambda=1550$ нм) и 5,13 км компенсирующего волокна (дисперсия минус 66 пс/нм·км на $\lambda=1550$ нм), в результате чего средняя хроматическая дисперсия на всем участке ВС составляет $D_{sp} = 0,05$ пс/нм·км [5]. Поляризационная модовая дисперсия равняется $D_{PMD} = 0,1$ пс/км^{1/2}, потери – $\alpha = 0,25$ дБ/км.

Один из сигналов считывания поступает на счетчик импульсов (СЧ). В [6] показано, что при использовании технологии спектрального мультиплексирования в результате действия фазовой автомодуляции длительность циркулирующих импульсов вначале сильно уменьшается, а затем резко увеличивается. Существенное уширение импульсов наблюдается только после 150–350 циклов рециркуляции в зависимости от числа информационных каналов (от 8 до 32) для скорости информационного потока $B=10$ Гбит/с (рисунок 2). В результате, нет необходимости восстанавливать длительность импульсов на каждом цикле рециркуляции. В соответствии с требуемыми параметрами динамической памяти счетчик импульсов программируется на соответствующее число циркуляций, после окончания которых счетчик импульсов формирует электрический импульс, длитель-

ность которого составляет не менее двух периодов обхода импульсов по волоконно-оптическому контуру памяти, и поступает на управляющий вход направленного переключателя. В отсутствие данного импульса информационный поток, поступающий на первый вход направленного переключателя, поступает на его первый выход, а при наличии управляющего импульса информационный поток перенаправляется на второй выход, соединенный с нелинейным оптическим кольцевым зеркалом (НОКЗ).



НОКЗ работает как интерферометр. Оптический информационный поток, усиленный волоконно-оптическим усилителем мощности EDFA₃ и поданный на вход такого устройства, разделяется на несимметричном оптическом X-образном разветвителе (НОР) с коэффициентом деления 80:20 на сигналы, бегущие по кольцу из сильно нелинейного волоконного световода (НВС) с аномальной дисперсией групповой скорости в противоположных направлениях, которые затем интерферируют на выходе из кольца. Сигнал, бегущий по часовой стрелке и имеющий большую мощность, испытывает сильное нелинейное преломление, в то время как сигнал, распространяющийся в противоположном направлении, испытывает меньшее нелинейное преломление. В результате образуется ненулевой относительный набег разности фаз, пропорциональный мощности сигнала. При этом поляризация оптического излучения, распространяющегося в обоих направлениях, контролируется контроллерами поляризаторами (КП). Уменьшение эффективной площади взаимодействия в нелинейном световоде приводит к усилению нелинейных эффектов: в частности, фазовая самомодуляция в среде с аномальной дисперсией приводит к формированию солитоноподобных импульсов. Амплитуда и фаза импульса на выходе зеркала нелинейным образом зависит от входной мощности. Двухнаправленные мультиплексоры/демультимплексоры (M/D) не только пространственно раз-

деляют/объединяют спектральные каналы, но и служат оптическими фильтрами с шириной полосы пропускания 100–120 ГГц. Результатом действия НОКЗ является то, что длительность информационных импульсов уменьшается до первоначального значения, т.е. происходит восстановление импульсной последовательности по форме и длительности. На выходе из оптического регенератора для того, чтобы избежать паразитных нелинейных эффектов в волоконно-оптической линии задержки, средняя мощность сигналов уменьшается до требуемых значений 0,1–0,15 мВт с помощью линейного устройства, называемого аттенуатором (Ат), и через Y-образный оптический соединитель (ОС) вводится обратно в волоконно-оптическую петлю памяти. Таким образом, процесс 2R-регенерации завершается.

Моделирование процесса восстановления оптических импульсов в ВОДЗУ

В работах [7, 8] показано, что благодаря нелинейной передаточной характеристике НОКЗ, являющиеся оптоволоконным аналогом интерферометра Саньяка, может восстанавливать форму сигнала. Принцип действия НОКЗ положен в основу 2R-регенерации в оптическом диапазоне информационной импульсной последовательности в ВОДЗУ. Для определения конкретной конфигурации и параметров оптического регенератора проведено математическое моделирование и численное исследование динамики распространения оптического импульса в НОКЗ.

Математический аппарат, используемый для расчета динамики изменения формы импульса в оптоволоконной системе, базируется на обобщенном нелинейном уравнении Шредингера (НУШ). В частности, оно описывает распространение сигнала по оптическому волокну [9] в следующем виде:

$$i \frac{\partial A}{\partial z} - \frac{B_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} - i \frac{B_3}{6} \frac{\partial^3 A}{\partial t^3} + \gamma |A|^2 A = -i\alpha A, \quad (1)$$

где A – огибающая электрического поля импульса; z – координата вдоль волокна; t – «запаздывающее» время, связанное с физическим временем t_{phis} соотношением: $t = t_{phis} - z / v_{group}$; v_{group} – групповая скорость пакета; $B_2 = d(1/v_{group})/d\lambda$ – дисперсия групповой скорости; $B_3 = dB_2/d\omega$; $\omega = 2\pi c/\lambda$ – частота; α – коэффициент затухания; $\gamma = 2\pi n_2 \lambda A_{eff}$ – коэффициент нелинейности; A_{eff} – эффективная площадь моды; n_2 – нелинейный показатель преломления волокна.

Оптоволокно рассматривалось трех типов: стандартное одномодовое ступенчатое волокно и волокно, компенсирующее дисперсию (имеющее отрицательный показатель дисперсии групповой скорости волнового пакета), сильно нелинейное волокно (использующееся в НОКЗ). Решение НУШ (1) с разными наборами коэффициентов B_2, B_3, γ, α дает описание динамики распространения сигнала в различных типах волокна. Уравнение (1) решалось численно путем сведения к системе обыкновенных дифференциальных уравнений разделением на мнимую и действительную часть с последующей заменой частных производных конечными разностями [10].

Решение можно представить в виде $A(z, t) = v(z, t) + iw(z, t)$, $v(z, t)$ и $w(z, t)$ – реальная и мнимая части электрического поля. Подставляя его в (1) и приравнявая коэффициенты при различных степенях i , получим систему дифференциальных уравнений относительно переменной z :

$$\frac{\partial v}{\partial z} = -\alpha v - \gamma |A|^2 w + \frac{B_2}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \frac{B_3}{6} \frac{\partial^3 v}{\partial t^3}. \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial z} = -\alpha w + \gamma |A|^2 v - \frac{B_2}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \frac{B_3}{6} \frac{\partial^3 w}{\partial t^3}. \quad (3)$$

Область моделирования – прямоугольник $0 \leq z \leq L, 0 \leq t \leq T$, покрытый равномерной прямоугольной сеткой $z_n = nk (n = 0, 1, 2, \dots, N) k = N/L, t_m = mh (m = 0, 1, 2, \dots, M) h = T/M$.

Заменим в (2) и (3) частные производные функций $v(z, t)$ и $w(z, t)$ по времени t на конечные разности [11]:

$$\frac{\partial v(m)}{\partial z} = -\alpha v(m) - \gamma |A(m)|^2 w(m) + \frac{B_2}{2} w_{tt}(m) + \frac{B_3}{6} v_{ttt}(m). \quad (4)$$

$$\frac{\partial w(m)}{\partial z} = -\alpha w(m) + \gamma |A(m)|^2 v(m) - \frac{B_2}{2} v_{tt}(m) + \frac{B_3}{6} w_{ttt}(m), \quad (5)$$

где

$$v_{tt}(m) = \left(\frac{1}{12h^2} \right) \begin{cases} \begin{bmatrix} 45v(1) - 154v(2) + 241v(3) \\ -156v(4) + 61v(5) - 10v(6) \end{bmatrix}; m=1, \\ \begin{bmatrix} 45v(M) - 154v(M-1) + 241v(M-2) \\ -156v(M-3) + 61v(M-4) - 10v(M-5) \end{bmatrix}; m=M, \\ \begin{bmatrix} 10v(1) - 15v(2) - 4v(3) \\ +14v(4) - 6v(5) + v(6) \end{bmatrix}; m=2, \\ \begin{bmatrix} 10v(M) - 15v(M-1) - 4v(M-2) \\ +14v(M-3) - 6v(M-4) + v(M-5) \end{bmatrix}; m=M-1, \\ \begin{bmatrix} -v(m-2) + 16v(m-1) - 30v(m) \\ +16v(m+1) - v(m+2) \end{bmatrix}; m=3, 4, \dots, M-2 \end{cases} \quad (6)$$

есть аппроксимация четвертого порядка второй производной с условиями Дирихле на левой и правой границах, а

$$v_{ttt}(m) = \left(\frac{1}{8h^3} \right) \begin{cases} 0; m=1, 2, 3, M-2, M-1, M, \\ \begin{bmatrix} v(m-3) - 8v(m-2) + 13v(m-1) \\ -13v(m+1) + 8v(m+2) - v(m+3) \end{bmatrix}; m=3, 4, \dots, M-3 \end{cases} \quad (7)$$

является семиточечной центрированной конечно-разностной аппроксимацией третьей производной. На концах интервалов по переменной t ($m = 1, 2, 3, M-2, M-1, M$) значения $v_{tt}(m)$ и $w_{ttt}(m)$ полагаются равными нулю, т.к. переменная t теоретически изменяется в бесконечном интервале ($-\infty < t < \infty$), а изменения решения происходят только на конечном интервале ($-T/2 \leq t \leq T/2$), где T – тактовый интервал. Вторые и третьи производные функции w вычисляются так же, как для v в соответствии с формулами (5)–(7). При этом $|A|^2 = \sqrt{(v^2 - w^2)^2 + (2vw)^2}$. Система (5)–(6) решалась методом Рунге Кутты четвертого порядка точности [12]:

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial z} = \varphi(v, w), v(z_0) = v_0 \\ \frac{\partial w}{\partial z} = \psi(v, w), w(z_0) = w_0. \end{cases}$$

Итерационная схема метода Рунге Кутта четвертого порядка точности с шагом k по координате z , имеет вид:

$$\begin{aligned} k_1 &= \varphi(v_i, w_i) \quad l_1 = \psi(v_i, w_i) \\ k_2 &= \varphi(v_i + kk_1/2, w_i + kl_1/2) \quad l_2 = \psi(v_i + kk_1/2, w_i + kl_1/2) \\ k_3 &= \varphi(v_i + kk_2/2, w_i + kl_2/2) \quad l_3 = \psi(v_i + kk_2/2, w_i + kl_2/2) \\ k_4 &= \varphi(v_i + kk_3, w_i + kl_3) \quad l_4 = \psi(v_i + kk_3, w_i + kl_3). \end{aligned} \quad (8)$$

Коэффициент затухания α имеет размерность дБ/км, но в уравнениях мощность импульса представлена в ваттах, поэтому (и с учетом дальнейшего способа численного решения системы вместо значения α следует использовать величину $1-1/10^{\alpha k/10}$). Здесь k – величина шага по координате z . Коэффициенты B_2 и B_3 для соблюдения размерности следует доумножить на $\Delta\lambda$ и $\Delta\lambda^2$ соответственно, $\Delta\lambda$ – ширина генерации лазерного источника, $\Delta\lambda = 0,16$ нм.

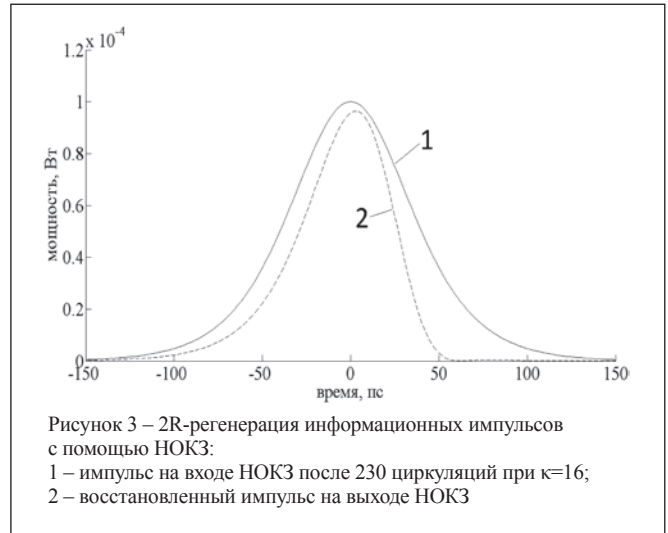
Моделирование осуществлялось следующим образом: после поступления импульса в волоконно-оптическую линию задержки его распространение описывается уравнением с соответствующими начальными условиями (форма оптического импульса на входе устройства). Сначала импульс распространяется в SF, имеющем свой набор коэффициентов B_2, B_3, γ, α . Потом импульс попадает в волокно DCF, и его распространение опять описывается уравнением (1) с начальной формой импульса такой же, как на выходе из волокна SF, и с набором коэффициентов B_2, B_3, γ, α для волокна DCF. При учете прохождения сигнала через эрбиевый усилитель его амплитуда доумножается на коэффициент усиления $G(\text{дБ}) = 10\lg(G)$.

После заданного числа циркуляций оптический импульс поступает в НОКЗ для восстановления своей формы. Сигнал, попадающий на вход НОКЗ, разделяется на оптическом соединителе на сигналы, бегущие по кольцу в противоположном направлении, при этом амплитуды сигналов делятся в отношении 80:20, а к фазе одного из сигналов добавляется $\pi/2$. Для каждого из сигналов в отдельности решается уравнение (1) с соответствующими начальными условиями, после чего учитывается интерференция этих сигналов на оптическом разветвителе. После прохождения через НОКЗ импульс приобретает форму, близкую к первоначальной.

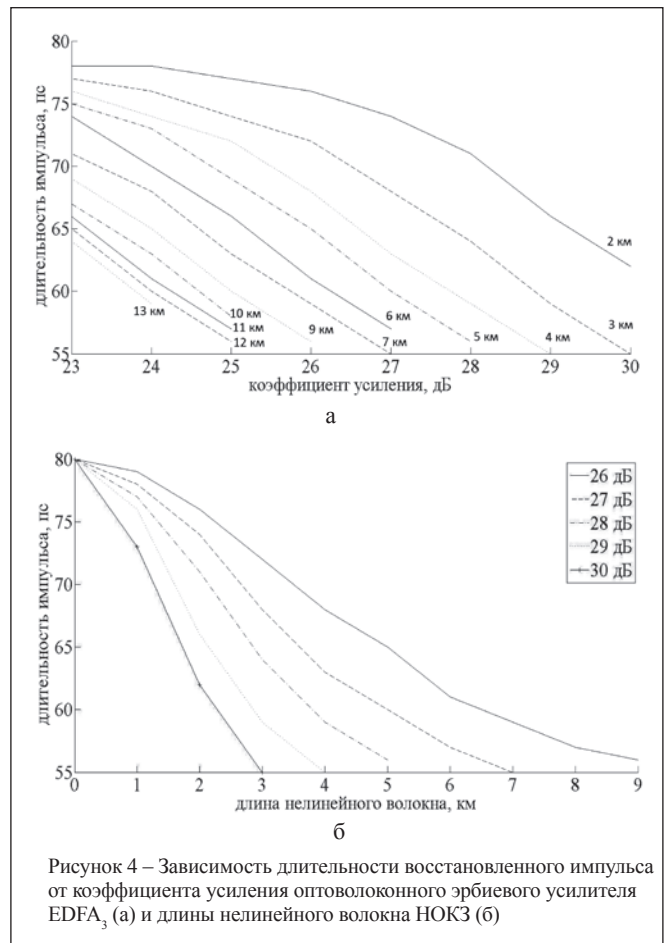
В таблице 1 приведены параметры волоконных световодов, используемые при расчетах. На рисунке 3, иллюстрирующем результат процесса регенерации, изображены формы оптических импульсов на входе и выходе НОКЗ при скорости передачи информации $B=10$ Гбит/с и начальной длительности импульсов на полувысоте $\tau_0=50$ пс ($\tau_0=T/2$) при RZ-кодировании. Расчеты проводились для длины волокна в НОКЗ – 5 км, при коэффициенте усиления EDFA₃ – 28 дБ, коэффициенте ослабления аттенуатора – 16 дБ (может быть выбран любым, в зависимости от требуемой мощности на выходе НОКЗ), коэффициенте нелинейности $-4 \text{ Вт}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$.

Таблица 1 – Типы используемых в работе волоконных световодов и их параметры

	SF	DCF	НВС
α на $\lambda=1553$ нм (дБ/км)	0,25	0,52	0,3
$A_{\text{эф}}$ (мкм ²)	80	30	27
β_2 (пс·нм ⁻¹ ·км ⁻¹)	17	-66	2,8
β_3 (пс·нм ⁻² ·км ⁻¹)	0,037	0,058	0,069
n_2 (м ² /Вт)	$2,7 \times 10^{-20}$	$2,7 \times 10^{-20}$	$2,7 \times 10^{-20}$



Результаты численного моделирования метода 2R-регенерации информационной импульсной последовательности на основе предлагаемой математической модели (1)–(8) применительно к разработанной архитектуре ВОДЗУ для различных параметров НОКЗ представлены на рисунке 4. Данные расчеты позволяют определить степень восстановления сигнала в зависимости от варьируемых параметров НОКЗ (коэффициента усиления волоконно-оптического эрбиевого усилителя и длины нелинейного оптоволокна).



С точки зрения практического использования следует учитывать, что коэффициент усиления мощных эрбиевых волоконных усилителей, как правило, не превышает 28 дБ при мощности входных сигналов до 1 мВт [13]. Кроме того, необходимо принимать во внимание возможность оплавления передающего волокна, возникающего в результате оптического разряда в волокне под действием мощного оптического излучения. Пороговая мощность для возникновения данного явления лежит в пределах 1–1,5 Вт для одномодового волокна [14]. Хотя, в принципе, волокно способно передавать гораздо большую световую мощность, в нем существуют «слабые точки», в которых может быть инициирован оптический разряд, и этого достаточно для запуска процесса разрушения, потому что, возникнув локально, оптический разряд распространяется далее вдоль волокна навстречу световому излучению со скоростью приблизительно 1 м/с. К «слабым точкам» относятся торцы волокна, сварные и механические стыки, оптические разъемы. Указанный эффект накладывает ограничения на число работающих одновременно информационных каналов. Таким образом, при использовании EDFA₃ с коэффициентом усиления 28 дБ для осуществления регенерации импульсных сигналов согласно проведенным расчетам длина нелинейного волокна НОКЗ должна быть не менее 5 км, а число одновременно функционирующих информационных каналов не должно превышать 16. С другой стороны, использование предложенного метода 2R-регенерации позволяет увеличить время хранения информации на несколько порядков.

Заключение

Разработана структура волоконно-оптического динамического запоминающего устройства с периодической 2R-регенерацией информационного потока в оптическом диапазоне на основе нелинейного оптического кольцевого зеркала. На основе предложенной математической модели распространения сигналов в НОКЗ показана принципиальная возможность осуществлять в таких структурах восстановление импульсов по форме, амплитуде и длительности, а также выявлены такие параметры НОКЗ, которые обеспечивают регенерацию сигналов до требуемых значений по длительности и мощности импульсов. Предложенный способ регенерации позволяет увеличить время хранения данных в ВОДЗУ более, чем на два порядка при условии, что величина ошибки при регистрации сигналов на входе решающего устройства не превысит значения BER=10⁻⁹.

Литература:

1. Singh, R.K. AWG and EDFA based optical packet switch using feedback shared loop buffer memory / R.K. Singh, R.Srivastava and Y.N. Singh // *Optical and Quantum Electronics*. – 2007. – Vol. 39, № 11. – P. 1153–1165.
2. Laevens, K. Queuing analysis of a single-wavelength fiber-delay-line buffer / K. Laevens, M. Maeneclae, H. Brunel // *Telecommun. Syst.* – 2006. – Vol. 31, № 3. – P. 259–287.
3. An optical resilient packet ring node with SOA-based loadable and erasable storage buffer / S. Fu [et al.] // *Appl. Phys. B*. – 2006. – Vol. 85, № 4. – P. 571–574.

4. Волоконно-оптическая динамическая память с периодической регенерацией информации: пат. № 9723 Респ. Беларусь, МПК (2006.1) G 11C 21/00 / А.В. Поляков, А.В. Жуковский, Н.Р. Хлебородов, заявитель Белорус. гос. ун-т. – № u20130420; заявл. 20.05.13; опубли. 30.12.2013 // *Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці*. – 2013. – № 6 – С. 238.

5. Murai, H. Carrier-suppressed dispersion managed soliton transmission using novel OTDM technique / H. Murai, T. Yamada, K. Fujii // *IEEE Leos Newsletter*. – 2001. – Vol. 15, № 5. – P. 24–25.

6. Поляков, А.В. Нелинейные эффекты в оптоволоконных рециркуляционных запоминающих устройствах со спектральным уплотнением информационных каналов / А.В. Поляков, А.В. Жуковский // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2012. – №2. – С. 41–49.

7. Chin, S. Complete compensation of pulse broadening in an amplifier-based slow light system using a nonlinear regeneration element / S. Chin, M. Gonzalez-Herraez, L. Thévenaz // *OPTICS EXPRESS*. – 2009. – Vol. 17, № 24. – P. 21910–21917.

8. Phase-preserving amplitude regeneration for a WDM RZ-DPSK signal using a nonlinear amplifying loop mirror / K. Cvecek, K. Sponsel, C. Stephan [et al.] // *OPTICS EXPRESS*. – 2008. – Vol. 16, № 3. – P. 1923–1923.

9. Латкин, А.И. Моделирование автосолитонных оптических импульсов при высокоскоростной передаче информации по волоконным световодам / А.И. Латкин // *Квантовая электроника*. – 2005. – Т. 35, №3. – С. 273–277.

10. Численное моделирование процесса распространения фемтосекундного оптического солитона в одномодовом волокне с учетом мнимой части Романовского отклика среды / Д.Л. Оганесян, А.О. Оганесян, Г.Д. Оганесян [и др.] // *Известия НАН Армении, Физика*. – 2010. – Т. 45, №6. – С.391–400.

11. Schiesser, W.E. A Compendium of partial differential equation models, method of lines analysis with Matlab / W.E. Schiesser, G.W. Griffiths. – Cambridge University Press, 2009.

12. Mathews, J.H. Numerical methods using Matlab. 4th edition / J.H. Mathews, K.K. Fink. – Prentice Hall, 2004.

13. Мощный эрбиевый волоконный усилитель с накачкой от рамановского волоконного конвертора на основе фосфорсиликатного стекла / А.С. Курков [и др.] // *Квантовая электроника*. – 2001. – Т. 31, №9. – С. 801–803.

14. Преодоление проблем при включении распределенных рамановских усилителей в оптических сетях / А.В. Голованов [и др.] // *Lightwave Russian Edition*. – 2007. – №3. – С. 6–8.

Abstract

The structure scheme of a fiber-optic dynamic regenerative memory, storing and performing periodic 2R-regeneration sequence of optical pulses using a nonlinear optical loop mirror, has been developed. Using the mathematical apparatus, based on the generalized nonlinear Schrodinger equation, simulations of the pulse regeneration dynamics in the fiber optic system were carried out. Also provides recommendations for further structural synthesis of an optical processor architecture.

Поступила в редакцию 05.03.2014 г.

ПРЯМАЯ ЗАДАЧА МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ

УДК 628.931

Е.В. Соболев, Е.Н. Подденежный, А.А. Бойко,
ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель

Аннотация

Разработана методика моделирования светораспределения светодиодных модулей с произвольными входными параметрами. Методика базируется на замене излучения группы светодиодов эквивалентным фотометрическим телом, получаемым в условном оптическом центре модуля посредством трассировки лучей по принципу действия гониофотометра. Предложенная методика позволяет при сохранении заданной точности сократить количество генерируемых лучей при моделировании светораспределения светодиодных модулей по отношению к классической трассировке методом Монте-Карло.

Введение

Моделирование светораспределения является одним из основных этапов разработки световых приборов. Конструктивными элементами, определяющими светораспределение светодиодных световых приборов, являются светодиодный модуль (СДМ) или светодиодный модуль и оптическая система светового прибора. Оптическая система осветительных приборов (ОП) представляет собой, как правило, типизированные решения, например, отражатели с образующими в виде конических сечений, поэтому задача моделирования светораспределения светодиодных ОП может быть сведена к моделированию распределения излучения СДМ, как источника света или самостоятельного светового прибора.

В современных светотехнических САПР решение задачи светораспределения световых приборов основано на физически адекватном моделировании распределения светового вектора во внешнем пространстве ОП на основе трассировки лучей методом Монте-Карло [1, 2]. Данный метод позволяет с высокой степенью точности рассчитать распространение светового потока в оптической системе, статистически реализуя законы преобразования оптического излучения (отражение лучей, рассеивание, диффузия, пропускание и т.д.) [2]. Трассировка лучей методом Монте-Карло является универсальным методом моделирования ОП, позволяющим решать задачи светораспределения как дальней, так и ближней зон. Этот метод строится на ряде разбиений трехмерной сцены (вокселизация пространства, пикселизация сетки отображения результатов и пр.), что в случае моделирования ОП, где телесный угол излучения может достигать 4π , приводит к необходимости генерации огромного количества лучей (трассировочный файл с характеристиками светодиодного источника света может содержать информацию о многих миллионах лучей и занимать объем более 250 Мбайт [3]). Таким образом, трассировка лучей методом Монте-Карло при моделировании ОП является достаточно громоздкой и требует значительных вычислительных ресурсов, при этом решение задачи светораспределения часто сводится к поиску оптимального соотношения между числом генерируемых лучей и плотностью дискретизации сетки отображения результатов [4].

Существует ряд современных работ в области моделирования светораспределения СДМ [5, 6], однако, в исследованиях вводится ограничение на форму модуля и (или) форму фотометрического тела используемых светодиодов.

Целью работы является разработка методики решения прямой задачи моделирования светораспределения светодиодных модулей с произвольными входными параметрами.

Методика моделирования светораспределения светодиодных модулей

Прямой задачей моделирования светораспределения СДМ является: по известным характеристикам светодиодов и конструкции модуля определение распределения силы света или освещенности по заданной поверхности [7].

В основе методики моделирования распределения силы света СДМ произвольной формы лежит идея замещения распределения излучения группы элементарных излучателей СДМ (здесь и далее под элементарным излучателем СДМ понимается светодиод (СД) или система «СД – вторичная оптика») эквивалентным фотометрическим телом в условном оптическом центре (ОЦ) O (рисунок 1) модуля. Для определения эквивалентного фотометрического тела модуль помещается в условную сферу с радиусом H_p , центр сферы совпадает с ОЦ СДМ. Поверхность сферы разбивается на пиксели $P(C_p, \gamma_p)$, в направлении каждого из которых рассчитывается сила света эквивалентного фотометрического тела I_{op} , определяемая для точечного излучателя модулем суммы векторов $I(\vec{s}_{ip})$ сил света всех элементарных излучателей в направлении пикселя $P(C_p, \gamma_p)$. Приведенный подход в общем виде имитирует принцип действия гониофотометра, что позволяет сделать предсказуемым количество генерируемых лучей, определяемое количеством n светодиодов в модуле и количеством расчетных пикселей P условной сферы.

Под исходными данными для моделирования будем понимать наличие в произвольном координатном фрейме $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}, O')$ координат и углов ориентации в пространстве (базисов $(\vec{i}^{(i)}, \vec{j}^{(i)}, \vec{k}^{(i)})$) всех n элементарных излучателей рассчитываемого СДМ, а также фотометрические данные элементарных излучателей модуля, представленные в виде файлов фотометрических данных [8]. Базис $(\vec{i}^{(i)}, \vec{j}^{(i)}, \vec{k}^{(i)})$ элементарного излучателя связан с направлениями его главных осей: продольной $\vec{i}^{(i)}$, поперечной $\vec{j}^{(i)}$ и оптической $\vec{k}^{(i)}$. Принимается допущение точности элементарного излучателя модуля, что предполагает выполнение закона квадратов расстояний (ЗКР) для элементарного излучателя СДМ. Это предположение основано на том, что линейные размеры светящей поверхности элементарного излучателя СДМ на несколько порядков меньше линейных размеров светящей поверхности модуля, и исходя из принципа действия гониофотометра при выборе расстояния фотометрирования (радиуса H_p условной сферы), обеспечивающего выполнение ЗКР для СДМ, автоматически обеспечивается выполнение ЗКР для элементарного излучателя модуля.

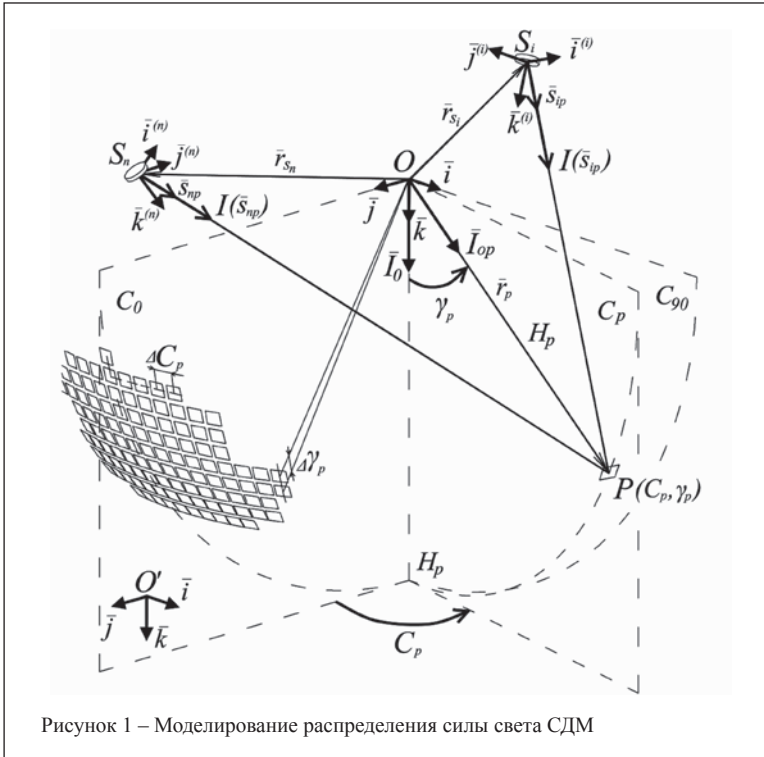


Рисунок 1 – Моделирование распределения силы света СДМ

Условный ОЦ СДМ определяется как центр тяжести системы масс, в качестве которых выступают световые потоки отдельных СД [9]. Координаты $O(X_0, Y_0, Z_0)$ ОЦ СДМ в координатном фрейме $(\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}, O')$ определяются как средневзвешенные по световому потоку координаты отдельных СД:

$$X_0 = \frac{\sum \Phi_i \cdot x_i}{\sum \Phi_i}; Y_0 = \frac{\sum \Phi_i \cdot y_i}{\sum \Phi_i}; Z_0 = \frac{\sum \Phi_i \cdot z_i}{\sum \Phi_i}, \quad (1)$$

где x_i, y_i – координаты i -го СД, м; Φ_i – световой поток i -го СД, лм.

ОЦ определяется как некоторая постоянная точка при заданной форме СДМ. В ОЦ СДМ принимается координатный фрейм СДМ $(\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}, O)$, получаемый переносом фрейма $(\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}, O')$ в ОЦ O модуля, после чего координаты всех n элементарных излучателей выражаются в системе координат СДМ:

$$S_i = M_i \cdot S'_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X_0 \\ 0 & 1 & 0 & -Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -Z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где S_i – однородные координаты точки установки i -го элементарного излучателя в системе координат СДМ; S'_i – однородные координаты точки установки i -го элементарного излучателя в координатном фрейме $(\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}, O')$; M_i – матрица переноса.

Радиус H_p условной сферы определяется зависимостью осевой силы света СДМ I_0 от расстояния до освещаемой площадки ($I_0 = f(h)$). За радиус H_p принимается расстояние, начиная с которого осевая сила света СДМ I_0 остается постоянной в пределах погрешности 1% [10]. Разбиение

поверхности сферы на пиксели $P(C_p, \gamma_p)$ определяется требованиями к сетке углов измерения при фотометрических измерениях [10]. Для системы фотометрирования (C, γ) шаг меридиональных углов $\Delta\gamma_p$ не должен превышать 5° , а экваториальных углов $\Delta C_p - 10^\circ$.

Значение силы света $I(\bar{s}_{ip})$ определяется фотометрическим телом элементарного излучателя и ориентацией его базиса относительно базиса ОЦ СДМ. Чтобы найти это значение, необходимо определить орт \bar{s}_{ip} в системе координат соответствующего i -го элементарного излучателя. В общем виде для произвольно ориентированного элементарного излучателя, расположенного в точке S_p , координируемой относительно ОЦ СДМ вектором \bar{r}_{si} , и произвольного пикселя $P(C_p, \gamma_p)$ условной сферы, координируемого относительно ОЦ СДМ вектором \bar{r}_p , орт \bar{s}_{ip} , определяющий направление силы света $I(\bar{s}_{ip})$ i -го элементарного излучателя в направлении пикселя $P(C_p, \gamma_p)$, определяется в базисе СДМ по формуле:

$$\bar{s} = \frac{\bar{r}_p - \bar{r}_{si}}{|\bar{r}_p - \bar{r}_{si}|}. \quad (3)$$

Зная направляющие косинусы орта \bar{s}_{ip} в базисе СДМ – $R^{(0)}$, направляющие косинусы данного орта в базисе i -го элементарного излучателя $(\bar{i}^{(i)}, \bar{j}^{(i)}, \bar{k}^{(i)}) - R^{(i)}$ будут определяться следующим образом:

$$R^{(i)} = M_r^{(i)} \cdot R^{(0)}, \quad (4)$$

где $M_r^{(i)}$ – матрица направляющих косинусов, преобразующая координаты вектора из базиса СДМ в базис i -го элементарного излучателя.

Ориентация базиса элементарного излучателя относительно базиса СДМ может быть осуществлена при помощи трех последовательных поворотов (рисунок 2): относительно оптической оси элементарного излучателя $\bar{k}^{(i)}$ на угол C_p ; относительно продольной оси элементарного излучателя $\bar{i}^{(i)}$ на угол γ_r и при необходимости дополнительного поворота относительно оптической оси элементарного излучателя $\bar{k}^{(i)}$ на угол θ_r . Два первых поворота определяют ориентацию оптической оси элементарного излучателя, а третий дополнительный поворот – ориентацию продольной и поперечной осей.

Матрица поворота, преобразующая координаты вектора из базиса СДМ в базис i -го элементарного излучателя, примет вид:

$$M_r^{(i)} = \begin{bmatrix} c\theta_r \cdot cC_r + s\theta_r \cdot c\gamma_r \cdot sC_r & & & \\ -s\theta_r \cdot cC_r + c\theta_r \cdot c\gamma_r \cdot sC_r & & & \\ & s\gamma_r \cdot sC_r & & \\ -c\theta_r \cdot sC_r + s\theta_r \cdot c\gamma_r \cdot cC_r & -s\theta_r \cdot s\gamma_r & & \\ s\theta_r \cdot sC_r + c\theta_r \cdot c\gamma_r \cdot cC_r & -c\theta_r \cdot s\gamma_r & & \\ s\gamma_r \cdot cC_r & & c\gamma_r & \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $c\theta_r, s\theta_r$ – косинус и синус угла θ_r (подобным образом обозначены синусы и косинусы других углов поворота).

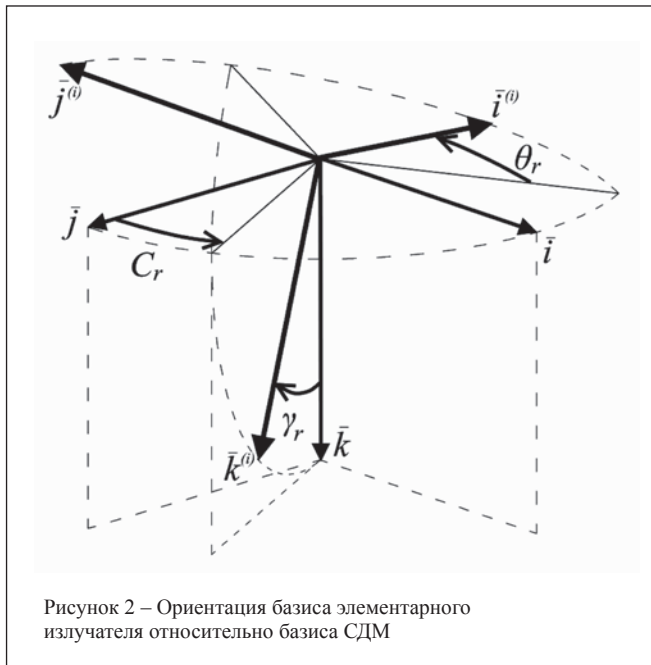


Рисунок 2 – Ориентация базиса элементарного излучателя относительно базиса СДМ

Зная направляющие косинусы орта \bar{s}_{ip} в базисе i -го элементарного излучателя – $R^{(i)}$, в зависимости от принятой системы фотометрирования определяются координирующие орт \bar{s}_{ip} углы [11]. Для найденных углов путем интерполяции фотометрических данных i -го элементарного излучателя модуля определяется сила света $I(\bar{s}_{ip})$. Как отмечалось выше, искомая сила света I_{op} эквивалентного фотометрического тела СДМ, координируемая углами C_p и γ_p определяется для точечного излучателя суммой векторов сил света всех элементарных излучателей в направлении пикселя $P(C_p, \gamma_p)$:

$$\bar{I}_{op} = \sum_{i=1}^n I(\bar{s}_{ip}). \quad (6)$$

Результатом моделирования является полное описание геометрии проектируемого СДМ с координатами и углами ориентации в пространстве всех элементарных излучателей относительно ОЦ СДМ, а также фотометрическое тело СДМ. Расчет распределения освещенности по заданной поверхности дальней зоны осуществляется при помощи ЗКР на основе результатов моделирования распределения силы света.

Верификация методики моделирования методом прямой трассировки лучей

Проверка адекватности разработанной методики моделирования светораспределения СДМ с произвольными входными параметрами была проведена на основе имитационной модели при помощи прямой трассировки лучей методом Монте-Карло. В рамках верификации предлагаемой методики необходимо:

- создать трехмерную параметрическую модель СДМ;
- определить распределение силы света СДМ предлагаемым методом и методом прямой трассировки лучей Монте-Карло;
- проверить значимость полученных результатов моделирования и сравнить их с полученными в результате трассировки лучей Монте-Карло.

На первом этапе была создана трехмерная параметрическая модель СДМ, состоящая из четырех развернутых наружу на 60 градусов СД. Суммарный световой поток СД в модуле 80 лм. Моделирование методом Монте-Карло осуществлялось для $4 \times 1\,000\,000$ лучей, варьируемым параметром выступал коэффициент сглаживания сетки отображения результатов. Моделирование предлагаемым методом осуществлялось для 4×1332 лучей. Результаты моделирования распределения силы света модуля для главной поперечной плоскости предлагаемым способом (Im) и наиболее вероятное светораспределение при моделировании методом Монте-Карло (Iav) представлены на рисунке 3.

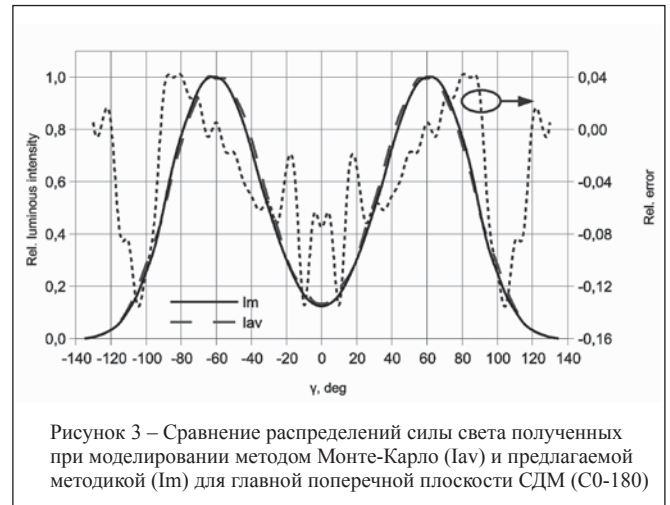


Рисунок 3 – Сравнение распределений силы света полученных при моделировании методом Монте-Карло (Iav) и предлагаемой методикой (Im) для главной поперечной плоскости СДМ (C0-180)

Для оценки погрешности формы распределения силы света, полученной в результате моделирования, был произведен расчет светового потока СДМ путем определения зональных световых потоков с целью отбрасывания зон, для которых вклад светового потока в общий световой поток СДМ не превышает 5%. Динамика относительной погрешности формы распределения силы света, полученной в результате моделирования, представлена на рисунке 3, из которого видно, что погрешность модели светораспределения для всех углов не превышает 13%, для всех значащих зональных углов – 10%. Также были рассчитаны показатели качества для сравнения пространственных распределений силы света [12]: «степень соответствия» двух наборов, описывающих распределение силы света ($f_{\text{luminaire, fit}} = 98,2\%$), и отношение световых потоков ($f_{\text{luminaire, flux}} = 0,991$).

Результаты верификации разработанного способа моделирования подтвердили, что предложенный способ позволяет адекватно проводить расчеты светораспределения светодиодных модулей с произвольными входными параметрами.

Заключение

На основе метода трассировки лучей разработана методика решения прямой задачи моделирования светораспределения светодиодных модулей с произвольными входными параметрами. Предложенная методика в общем виде имитирует принцип действия гониофотометра. Это позволяет сократить количество генерируемых лучей по отношению к классической трассировке методом Монте-Карло при сохранении универсальности метода для рассматриваемого класса задач. Проведена

верификация предложенной методики моделирования, в рамках которой подтверждена адекватность разработанного способа моделирования.

Литература:

1. Макаров, Д.Н. Методы компьютерного моделирования осветительных установок : дис. канд. техн. наук : 05.09.07 / Д.Н. Макаров. – Москва, 2007. – 146 л.
2. Шибайкин, С.Д. Разработка трехмерной триангуляционной модели осветительных приборов : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.07 / С.Д. Шибайкин. – Саранск, 2010. – 24 с.
3. Цзян-чжун Цзяо. Стандарты трассировочных файлов для проектирования светодиодных источников света / Цзян-чжун Цзяо // Современная светотехника. – 2013. – №5. – С. 100–101.
4. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский [и др.] – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
5. Дэн, С.С. Исследование кривых силы света светодиодов для общего освещения / С.С. Дэн, Ц.М. Чань // Светотехника. – 2009. – № 5. – С. 30–36.
6. Гутцайт, Э.М. Исследования освещенностей от светодиодных модулей, расположенных на больших расстояниях от освещаемых объектов / Э.М. Гутцайт // Радиотехника и электроника. – 2009. – № 1. – С. 113–124.
7. Приборы и комплексы осветительные. Термины и определения : ГОСТ Р 55392-2012. – Введ. 01.07.13. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 43 с.

8. ANSI/IESNA Standard File Format for the Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information : ANSI/IESNA LM-63-02. – Appr. 09.12.02. – New York : Illuminating Engineering Society of North America, 2002. – 17 p.

9. Соболев, Е.В. Моделирование светотехнических характеристик светодиодных модулей / Е.В. Соболев, Е.Н. Подденежный // Светотехника и электроэнергетика. – 2011 – №2 (26) – С. 13–18.

10. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний : ГОСТ Р 54350-2011. – Введ. 01.07.12. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 37 с.

11. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг [и др.] ; под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и дополн. – М. : Знак, 2006. – 972 с.

12. Берген, А. Практический метод сравнения пространственных распределений силы света / А. Берген // Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 52–57.

Abstract

The procedure of modeling light distribution of LED modules with arbitrary input parameters is developed. The procedure bases on replacing the emission of LED group with equivalent photometric body, it's obtained in the conditional optical center of module by the principle of goniophotometer raytracing method. The proposed procedure allows with saving a given accuracy to reduce the number of generated rays for the light distribution of LED modules simulation in comparison with the classical Monte-Carlo raytracing.

Поступила в редакцию 02.06.2014 г.

VECTOR OF TECHNOLOGIES

АКЦИЯ
на YASKAWA
V1000



Это серия компактных, высокоэффективных частотных преобразователей, с низким уровнем шума, высокой точностью поддержания скорости и большим пусковым моментом, со скалярным и векторным управлением без обратной связи, подходящий для управления как асинхронных, так и синхронных двигателей, мощностью от 0,2 до 18,5 кВт со встроенным контроллером.

Наши специалисты с радостью помогут решить ваши задачи.
 Tel: +375-17-265-60-15, fax: +375-17-265-60-16, mob: +375-29-685-60-15.
 info@vec-tech.by, web: http://www.vec-tech.by

АЛГОРИТМ ПЕРЕСТРОЙКИ СЕЛЕКТИВНОСТИ ДАТЧИКА В РЕЖИМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ХАОСА К ПЕРИОДИЧЕСКОМУ СИГНАЛУ, СКРЫТОМУ В ШУМАХ

УДК 003.26

В.П. Короткий, В.Н. Ильин, В.А. Селянтьев,
Институт физики НАН Беларуси, г. Минск

Аннотация

В статье проведен анализ схемы измерительного преобразователя, работающего в режиме динамического хаоса, и изложен разработанный алгоритм перестройки избирательности данной схемы в виде неавтономного генератора хаоса к гармоническому сигналу, скрытому в шумах. Показано, что схему можно применить для обнаружения в шумах световых, магнитных или же механических колебаний, если ввести в контур преобразователя внутреннее сопротивление соответствующего датчика.

Введение

Вопросы, связанные с конструктивной и деструктивной ролью хаоса, затрагивают и измерительную технику, где также как и во всех информационных технологиях, имеется некий датчик (первичный преобразователь), посредством которого информация преобразовывается в электрический сигнал, который передается и обрабатывается. Считается, что основным параметром датчика является его передаточная характеристика – зависимость между входным и выходным сигналом. Она должна быть однозначной и линейной в области вблизи нуля в полосе рабочих частот, в то время как поведение характеристики вне рабочей области может быть в принципе любым. Однако этот тезис утрачивает свою значимость в связи с совершенствованием вычислительной техники и как следствие лавинообразного интереса к нелинейным процессам во всех научных областях. Сегодня можно утверждать, что область нелинейной динамики в равной мере стала близка не только фундаментальной науке, но и различного рода приложениям, где детерминированные и случайные сигналы, ранее считающиеся единственно приемлемыми, дополняются хаотическими сигналами. Широко демонстрируются возможности его конструктивной роли, как при анализе сложных колебаний в простых радиотехнических цепях, так и в информационных технологиях [1–4].

В измерительных технологиях детерминированный хаос может представлять интерес, прежде всего, в связи с применением активных первичных преобразователей в виде нелинейных колебательных контуров, активированных источниками возбуждения.

Здесь проблема возникновения динамического хаоса существовала всегда и была нежелательна. Хаотических режимов избегали подбором параметров контура, амплитуды и частоты его возбуждения. Сейчас стало возможным вписать обилие уникальных реакций нелинейных колебательных датчиков на внешнее воздействие и разнообразие режимов их работы в среду измерения и рассматривать, как аналоговую обработку этих воздействий самим датчиком. Следовательно, нагрузку на внешний процессор можно уменьшить, а в некоторых случаях от него и отказаться вообще, предоставив обработку, например, фильтрацию сигнала датчику.

В общем случае можно выделить три направления исследований, связанные с:

- созданием активных датчиков (с накачкой) индифферентных к динамическому хаосу в случае его возникновения;
- использованием конструктивной роли детерминированного хаоса в датчиках специального назначения, например, для обнаружения периодических колебаний в зашумленной среде;
- моделированием скрытых каналов связи.

В [5] сообщается, что если в схему (рисунок 1) наряду с источником возбуждения включить источник гармонического сигнала и источник шумов, то она способна реагировать на зашумленный гармонический сигнал. Приводятся результаты эксперимента, при котором эффект устойчиво проявлялся при соотношении сигнал-шум, равном – 14 дБ, и состоял в том, что присутствие в шумах гармонического сигнала сопровождалось появлением пакетов в осциллограмме напряжения на нелинейном сопротивлении, попеременно заполненных хаотическим и периодическим колебаниями.



Появление такой картинки позволяет судить о присутствии гармонического сигнала. Схема могла бы найти практическое применение в качестве индикатора гармонических сигналов, если бы был предложен алгоритм ее перестройки по частотному диапазону. Рассмотрим, как его получить, ставя перед собой цель создания индикатора в широком диапазоне частот избирательного к скрытым в шумах периодическим колебаниям.

Следует отметить, что схему можно применить для обнаружения в шумах световых или же механических колебаний, если представить R в виде соответствующего датчика (его внутреннего сопротивления), L может быть индукционным датчиком для обнаружения в пространстве электромагнитного поля.

Алгоритм получим путем анализа приведенной на рисунке 1 схемы. Пусть $e_p = E_p \cos(\omega t)$ – напряжение ге-

нератора накачки, внутреннее сопротивление которого r , а $h_e = H_e \cos((\omega + \Delta\omega)t)$. Наряду с сигналом h_e действует и помеха. Обозначим ее $h_n(t)$. Сигнал и помеха наводят на индуктивности э.д.с. Соответственно $e_s = E_s \cos((\omega + \Delta\omega)t)$ и $e_n(t)$. Ток через нелинейное сопротивление R_n обозначим i_n , ток индуктивности $-i_L$, емкостной ток $-i_C$.

Для контура запишем уравнение

$$i_C = i_L - i_n, \tag{1}$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -i_L R - i_L r - V_C + e_p + e_s + e_n,$$

где V_C – напряжение на емкости.

Вводя обозначения $\tau = \frac{t}{RC}$; $\omega_0 = \frac{1}{RC}$; $t = \frac{\tau}{\omega_0}$ и принимая зависимость тока от напряжения на нелинейном элементе в виде

$$i_n = \left(\eta V_C + \frac{1}{2} (\kappa - \eta) \cdot (|V_C + 1| - |V_C - 1|) \right)$$

и учитывая, что

$$C \omega_0 \frac{dV_C}{d\tau} = i_L - i_n \text{ или } \frac{1}{R} \frac{dV_C}{d\tau} = i_L - i_n,$$

систему (1) запишем в безразмерном времени

$$\frac{dV_C}{d\tau} = i_L R - \left(\eta V_C + \frac{1}{2} (\kappa - \eta) \cdot (|V_C + 1| - |V_C - 1|) \right) R, \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \frac{di_L}{d\tau} = & -\frac{i_L}{L\omega_0} R - \frac{i_L r}{L\omega_0} - \frac{V_C}{L\omega_0} + \\ & + \frac{E_p \cos(p\tau)}{L\omega_0} + \frac{E_s \cos((p + \Delta p)\tau)}{L\omega_0} + \frac{e_n(\tau)}{L\omega_0}. \end{aligned}$$

Обозначив далее $i_L R = V_R$ получим систему (3)

$$\begin{aligned} \frac{dV_R}{d\tau} = & -\frac{V_R}{L\omega_0} R - \frac{V_R r}{L\omega_0} - \frac{V_C R}{L\omega_0} + \frac{R E_p \cos(p\tau)}{L\omega_0} + \\ & + \frac{R E_s \cos((p + \Delta p)\tau)}{L\omega_0} + \frac{R \cdot e_n(\tau)}{L\omega_0}, \end{aligned} \tag{3}$$

$$\frac{dV_C}{d\tau} = V_R - \left(\eta V_C + \frac{1}{2} (\kappa - \eta) \cdot (|V_C + 1| - |V_C - 1|) \right) R.$$

Вводя коэффициенты $\beta = \frac{R}{L\omega_0}$, $\gamma = \frac{r}{L\omega_0} = \frac{r}{R} \beta = \xi \beta$, $p = \frac{\omega}{\omega_0}$, $b = \eta R$, $a = \kappa R$, $f = \beta E_p$, $d = \beta E_s$ и поделив каждый член системы на единицу измерения напряжения V_0 , запишем окончательно систему в безразмерном виде (3), удобном для численного интегрирования.

$$\frac{dV_C}{d\tau} = V_R - \left(b V_C + \frac{1}{2} (a - b) \cdot (|V_C + 1| - |V_C - 1|) \right), \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \frac{dV_R}{d\tau} = & -V_R \beta - V_R \gamma - V_C \beta + \beta E_p \cos(p\tau) + \\ & + \beta E_s \cos((p + \Delta p)\tau) + \beta e_n. \end{aligned}$$

Для получения уравнения перестройки введем дополнительные обозначения и проведем дальнейшие преобразования, руководствуясь уравнением, приведенным в [4]:

$$\frac{d^2(n\phi)}{dt^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{d(n \cdot \phi)}{dt} + I = I_m \cos(\omega \cdot t),$$

тогда

$$z = \varepsilon \tau, \quad V_C = \varepsilon u_C V_R = \varepsilon u_R,$$

$$\varepsilon^2 \frac{du_C}{dz} = \varepsilon u_R - \left(b \varepsilon u_C + \frac{1}{2} (a - b) \cdot (|\varepsilon u_C + 1| - |\varepsilon u_C - 1|) \right), \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 \frac{du_R}{dz} = & -u_R \varepsilon \beta - u_R \xi \beta \varepsilon - u_C \beta \varepsilon + f \cos(p \frac{z}{\varepsilon}) + \\ & + d \cos\left((p + \Delta p) \frac{z}{\varepsilon} \right) + \beta e_N(z). \end{aligned}$$

В результате получим:

$$\frac{du_C}{dz} = \frac{1}{\varepsilon} u_R - \left(b \varepsilon u_C + \frac{1}{2} (a - b) \right)$$

$$\frac{du_R}{dz} = -u_R \beta \frac{1}{\varepsilon} - u_R \xi \beta \frac{1}{\varepsilon} - u_C \beta \frac{1}{\varepsilon} +$$

$$\left. \left(\varepsilon u_C + 1 - |\varepsilon u_C - 1| \right) \frac{1}{\varepsilon^2} + \frac{f}{\varepsilon^2} \cos\left(p \frac{z}{\varepsilon} \right) + \frac{d}{\varepsilon^2} \left((p + \Delta p) \frac{z}{\varepsilon} \right) + \frac{\beta}{\varepsilon^2} e_N(z) \right\} \tag{6}$$

Принимая в (4) рекомендованные значения: $\beta = 1, \gamma = 0.015, a = -1.02, b = -0.55, p = 0.75, \beta E_p = f = 0.18$, при которых удалось уверенно обнаружить гармонический сигнал при $\frac{\Delta p}{p} = \frac{1}{300}$

с отношением сигнал шум -14дБ [5], можно продолжить его поиск на других частотах, руководствуясь системой (6), и убедиться, например, в программе МATHCAD, что разработанный алгоритм обеспечивает обнаружение гармонических сигналов разных частот. Для примера, меняя в (6), ε от 0,1 до 2, подставляя в (4) $\beta E_s = d = 0,05$ и $\beta e_N = 0,25$, получим перестройку по частоте порядка 20.

Результаты моделирования, приведенные на спектрограммах (рисунки 2 и 3), полученные в результате Фурье анализа (Fu_C) напряжения u_C , соответствуют $\varepsilon = 1$, демонстрируя принцип обнаружения схемой гармонического сигнала. Видно (рисунки 2 и 3), что хаос, расположенный на оси частот слева от частоты возбуждения 0,75, представленный во времени на рисунке 1 ($d = 0, \beta e_N = 0$), сменился на периодический сигнал, представленный на оси частот на рисунке 3, а во времени – на рисунке 4 слева.

В присутствии гармонического сигнала в контуре в полосе $\pm \Delta\omega$, возле центральной частоты ω , происходит упорядочивание спектра рисунка 2, выражающегося в выделении на спектрограмме двух ярко выраженных

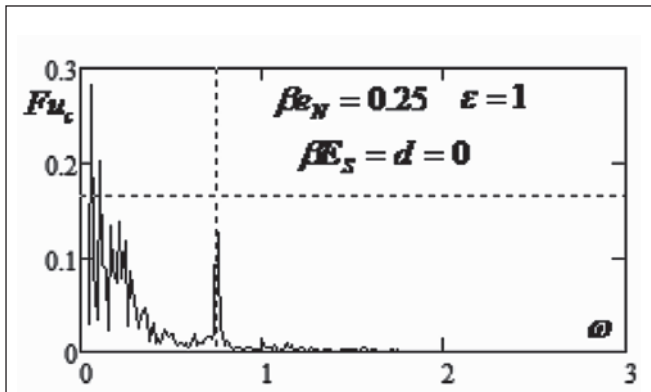


Рисунок 2 – Спектрограмма напряжения на нелинейном сопротивлении, $\omega = 0,75$ соответствует частоте возбуждения контура, слева от нее сплошной спектр с хаотическими выбросами

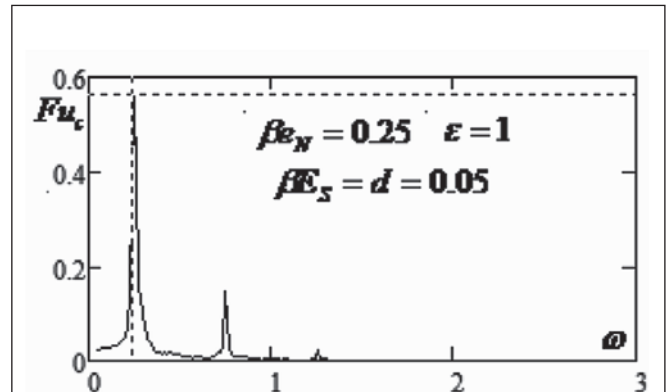


Рисунок 3 – Периодический сигнал на оси частот в виде двух выраженных пиков

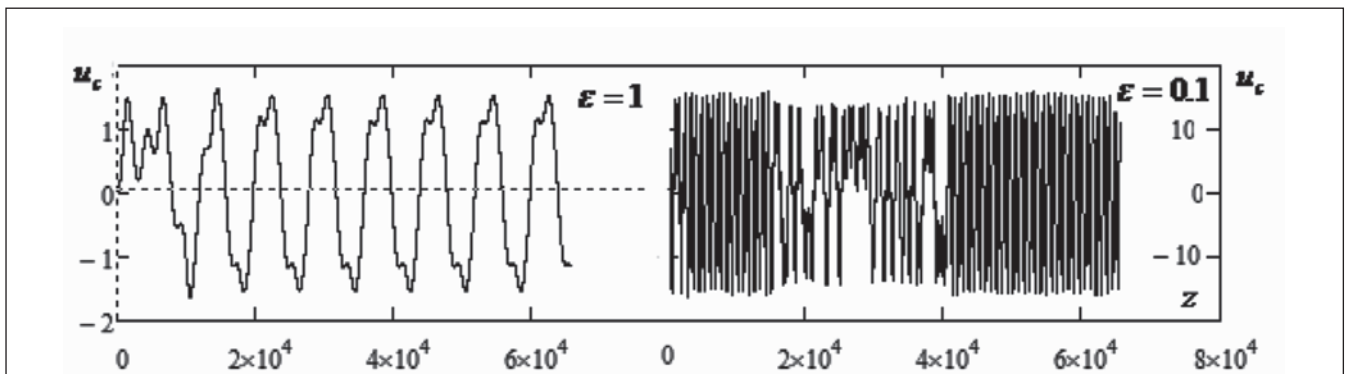


Рисунок 4 – Сигналы в пакетах осциллограмм при действии на нелинейный контур гармонического сигнала: а) осциллограмма слева соответствует $\epsilon = 1 (\omega = 0,75)$; б) осциллограмма справа соответствует $\epsilon = 0,1 (\omega = 7,5)$

пиков. Частоты пика слева от частоты возбуждения 0,75 заполняют пакеты с периодическим колебанием (рисунок 4).

Это происходит при значениях $d = 0,05$, $\beta e_N = 0,25$. Осциллограмма – справа на рисунке 4, содержащая два пакета с периодическим заполнением и один с хаотическим, соответствует обнаружению периодического сигнала с $\epsilon = 0,1$, т.е. с частотой 7,5. Приблизительно отношение частоты возбуждения к частоте заполнения пакетов во всех случаях равно 3. Ограничиваясь этими краткими и качественными пояснениями, отметим, что для более детального представления происходящих в схеме явлений требуются ее дальнейшие исследования.

Выводы

Получен алгоритм перестройки избирательности индикатора в виде неавтономного генератора хаоса к гармоническому сигналу, скрытому в шумах. Приборная реализация может найти применение в информационно-измерительных технологиях.

Литература:

1. Афанасьев, Ю.В. Феррозондовые приборы. – Л. : Энергоатомиздат, 1986.

2. Мун, Ф. Хаотические колебания / Ф. Мун. – М. : Мир, 1990.

3. Кузнецов, С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов. – М. : Наука, 2000.

4. Короткий, В.П. Детерминированный хаос в модели колебательного контура с нелинейной индуктивностью / В.П. Короткий // Нелинейный мир. – 2010. – №12. – С. 35–39.

5. Патрушева, Т.В. Исследование механизма чувствительности измерительных преобразователей, основанных на использовании неавтономных генераторов хаоса / Т.В. Патрушева, Е.М. Патрушев // Материалы 12-й международной научно-технической конференции «ИКИ-2011» Барнаул, 2011. – С. 139–143.

Abstract

The article gives an analysis of the scheme of the measuring transducer operating in the regime of dynamic chaos, and sets out the algorithm developed for selective adjustment of this scheme in the form of non-autonomous chaos generator to harmonic signals buried in noise. It is shown that the scheme can be used to detect light, magnetic or mechanical oscillations in the noise, if you input internal resistance of the respective sensor in the transmitter circuit.

Поступила в редакцию 21.05.2014 г.

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА КОМПОНЕНТОВ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

**Брайан Чаплицкий (Brian Czaplicki),
директор отдела технического маркетинга, Air-Vac Engineering Co**

Какие проблемы понадобятся решать при пайке матричных корпусов и других компонентов поверхностного монтажа следующего поколения? В этой статье обсуждаются направления модернизации существующих технологий монтажа, определенные ассоциацией iNEMI, и связанные с ними технические и технологические проблемы.

Введение

Системы восстановления BGA-компонентов допускают интеграцию дополнительных устройств для реализации новых технологий, например, пайки методом погружения и бесконтактной очистки посадочных мест, что повышает контроль над техпроцессом.

Какие проблемы понадобятся решать при монтаже матричных корпусов и восстановлении SMT-компонентов следующего поколения? Международная ассоциация производителей электроники (International Electronics Manufacturing Initiative, iNEMI) недавно опубликовала 2013 Technology Roadmap – стратегический план развития технологий в электронной промышленности, часть которого специально посвящена вопросам восстановления и ремонта. Особый интерес и практическое значение в этом плане представляет собой анализ недостатков существующих технологий монтажа, который определяет перспективные направления их модернизации с учетом таких факторов как правительственные постановления, передовые методы и новые требования к продукции.

Мы рассмотрим следующие пять ключевых перспективных направлений модернизации технологий ремонта новых компонентов, определенных iNEMI, и связанные с ними проблемы:

- 1) разработка технологии восстановления очень больших матричных компонентов следующего поколения, размещаемых на крупных монтажных платах с большой тепловой массой;
- 2) разработка технологии ручного ремонта компонентов 01005;
- 3) разработка промышленной технологии восстановления PoP-компонентов (package-on-package – корпус на корпусе; технология монтажа микросхем, при котором компоненты с матричным расположением выводов устанавливаются друг на друга);

4) разработка промышленной технологии восстановления QFN-компонентов (quad flat, no lead – квадратный плоский безвыводной корпус);

5) разработка технологии выравнивания посадочных мест, предотвращающей появление приподнятых контактных площадок, повреждение паяльной маски и растворение меди [1].

Мы рассмотрим также ключевые технические и технологические проблемы, проанализируем меры, направленные на их решение, а также обсудим, что необходимо для полного устранения этих проблем.

Ремонт больших матричных компонентов следующего поколения

В настоящее время используются несколько типов больших матричных компонентов, в т.ч. компоненты CCGA (Ceramic Column Grid Array – керамические корпуса с матрицей столбиковых выводов), а также BGA-разъемы (Ball Grid Array – компоненты с шариковыми выводами), у которых размер массива выводов достигает 50 мм. По прогнозам организации iNEMI, размеры компонентов вскоре увеличатся до 60–75 мм. Именно по этой причине в настоящее время начались работы по проектированию паяльных станций для монтажа компонентов размерами около 80–90 мм.

Монтаж больших матричных компонентов следующего поколения, например, металлических BGA-разъемов, связан с такими проблемами, как большая тепловая масса. Это обстоятельство усложняется еще и тем, что такие компоненты, как правило, монтируются на крупные печатные платы с большой тепловой массой.

Таким образом, задача iNEMI заключается в поиске способов монтажа больших компонентов на печатных платах с большой тепловой массой, при котором не нарушаются действующие требования, перечисленные в таблице 1.

Таблица 1 – Пайка больших матричных компонентов [1]

Процесс пайки	Параметр	Единицы измерения	2011	2013	2015	2017	2023
Без свинца	Максимальные размеры стороны корпуса	мм	50	50	55	60	75
	Максимальная температура корпуса (зависит от размеров корпуса компонента)	°C	245–260				
	Предельная температура паяльного соединения	°C	235				
	Предельная разность температур на паяльных соединениях	°C	<10				
	Время выдержки после оплавления (TAL)	с	60–90				

**Профиль нагрева при пайке
больших матричных компонентов**

Чтобы получить профиль нагрева квадратного BGA-компонента со стороны корпуса 114 мм и с 10 000 входами/выходами (рисунки 1, 2), тестовая установка была оснащена семью термопарами. Шесть термопар измеряли температуры соединений, а одна измеряла температуру корпуса. Поскольку печатная плата имела тот же размер, что и компонент, нагрев соединений до 150°C соответствовал температуре предварительного нагрева платы.

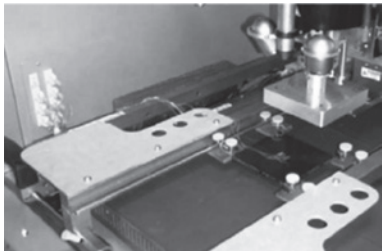


Рисунок 1 – Установленный в паяльную станцию BGA-компонент со стороны корпуса 114 мм

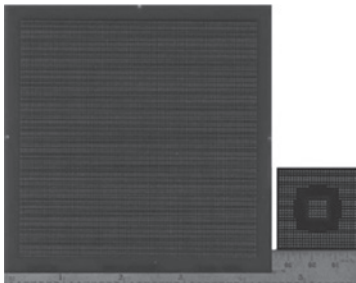


Рисунок 2 – BGA-компонент со стороной корпуса 114 мм (с 10 000 входами/выходами) в сравнении со стандартным BGA-компонентом, у которого сторона корпуса равна 35 мм

Немало усилий было приложено для оптимизации распределения тепла из сопла нагревателя, что очень важно для компонента такого большого размера. Для пайки этого компонента требуется значительное количество тепловой энергии в течение продолжительного времени. Печатная плата была предварительно прогрета до 150°C с помощью расположенного под ней инфракрасного нагревателя большой мощности. Затем включился фен, который сверху нагревал компонент потоком воздуха с температурой 495°C, подаваемого со скоростью 2,5 куб. фут/мин в течение 150 с. Такая температура существенно выше типовых значений для BGA-компонентов (300–325°C), что было связано с размерами компонента и сопла. После оплавления использовалась дополнительная система охлаждения платы. При этом было необходимо обеспечить заданное время выдержки после оплавления (TAL). Полученные результаты представлены в таблице 2.

Как видно из нее, все заданные значения были достигнуты, кроме времени выдержки после оплавления в двух случаях. Два значения времени (52 и 55 с) оказались меньше указанных в спецификациях. Чтобы исправить эту ситуацию, можно уменьшить расход воздуха, охлаждающего компоненты. Однако из-за того, что максимальная температура корпуса составила 260°C, практически не осталось какого-либо запаса на ошибку.

Модернизация паяльной станции позволила существенно увеличить интенсивность теплового потока. Поскольку передача тепловой энергии компоненту зависит не только от температуры, но и от интенсивности теплового потока, чем выше его скорость, тем меньше может быть температура.

Комбинация низкая температура/высокая скорость теплового потока, как правило, позволяет уменьшить температуру корпуса. При этом, однако, показатель разности температур (ΔT) соединений ухудшается, если скорость потока слишком велика. Поэтому для каждого приложения необходимо подбирать оптимальное соотношение между температурой и скоростью теплового потока.

Увеличение расхода газа с 2,5 куб. фут/мин (текущий максимум) до 3 куб. фут/мин (увеличение на 25 %) позволило снизить температуру нагревателя сопла с 495 до 350°C (30 % снижение), в результате чего произошли изменения как температуры, так и теплового потока (таблица 3).

Таблица 2 – BGA-компонент со стороной корпуса 114 мм (предварительный нагрев 150°C, 495°C @ 2,5 куб. фут/мин, 150 с)

Термопара №	Расположение	Максимальная температура, °C		ΔT, °C		TAL, с	
		фактическая	заданная	фактическая	заданная	фактическая	заданная
1	верхняя часть корпуса	260	260		-	-	-
2	соединение (угол)	235	235	6	<10	52	60-90
3	соединение (угол)	235				55	
4	соединение (угол)	239				72	
5	соединение (угол)	238				68	
6	соединение (угол)	237				69	
7	соединение (угол)	241				75	

Таблица 3 – BGA-компонент со стороной корпуса 114 мм (предварительный нагрев 150°C, 350°C при 3 куб. фут/мин, 167 с)

Термопара №	Расположение	Максимальная температура, °C		ΔT, °C		TAL, с	
		фактическая	заданная	фактическая	заданная	фактическая	заданная
1	верхняя часть корпуса	250	260		-	-	-
2	соединение (угол)	240	235	6	<10	75	60–90
3	соединение (угол)	240				78	
4	соединение (угол)	241				92	
5	соединение (угол)	241				88	
6	соединение (угол)	235				76	
7	соединение (угол)	239				86	

Такой подход (снижение температуры/повышение расхода газа) позволил снизить максимальную температуру корпуса с 260 до 250°C, что существенно ниже предельных заданных значений, и не оказал отрицательного влияния на показатель ΔT соединений. В данном случае, все соединения кроме одного отвечают заданным требованиям по показателю TAL (60–90 с).

Следует заметить, что в ходе тестирования BGA-компонент со стороной корпуса 114 мм был прикреплен к тестовой плате со стороной того же размера. Требования по тепловым потокам, которые предъявляются к пайке компонента такого размера, установленного на плату с большей тепловой массой, значительно выше. В паяльных станциях для ремонта больших компонентов следующего поколения, устанавливаемых на платы с большой тепловой массой, очень важно правильно подбирать следующие параметры: температуру сопла; скорость потока газа и нагрев платы; охлаждение; удерживающую способность для плат и компонентов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Печатная плата с большой тепловой массой размерами 22×24 мм, установленная на модернизированной паяльной станции

Монтаж больших компонентов следующего поколения на больших платах сопряжен с необходимостью решить дополнительные задачи помимо тех, которые перечислены организацией iNEMI. К ним относятся выравнивание, коробление, подготовка компонентов и посадочных мест,

обеспечение требуемой удерживающей способности как для компонентов, так и плат. По прогнозам специалистов, установка систем технического зрения в паяльные станции будущего поколения позволит выравнивать компоненты, размеры сторон которых превысят 100 мм (рисунок 4).



Рисунок 4 – Изображение угловой части 114 мм BGA-компонента в системе технического зрения

Проблемы коробления/копланарности станут основными проблемами монтажа больших компонентов следующего поколения, что усугубляется постоянным уменьшением шага между выводами. Технология бесконтактной очистки посадочных мест требует использования насадок большого размера, обеспечивающих безопасную, эффективную и быструю очистку от остатков припоя. И, наконец, удерживающая способность вакуумного держателя должна быть достаточной не только для удержания больших компонентов на местах, но и для их подъема и удаления из расплавленного припоя.

Одним из основных препятствий на пути разработки эффективной технологии замены и пайки больших компонентов следующего поколения на платах с большой тепловой массой является обеспечение низкой стоимости не только компонентов, но и плат. Для решения всех перечисленных проблем необходимы совместные усилия OEM- и контрактных производителей, а также поставщиков ремонтных станций.

Ремонт компонентов типоразмера 01005

Практически невидимые человеческому глазу компоненты 01005 настолько малы, что способны пройти через игольное

ушко, поскольку их размеры во много раз меньше крупинок молотого перца (рисунок 5). Монтаж и замена таких микроскопических компонентов вызывают серьезные проблемы.

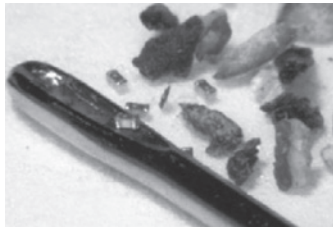


Рисунок 5 – Сравнительные размеры компонентов 01005, ушка иглы и крупинок молотого перца

Компоненты 01005 до сих пор еще не получили широкого распространения в серийных изделиях из-за проблем с их заменой, но считается, что при необходимости возможна их перепайка вручную. Однако это спорное утверждение, поскольку большинство специалистов в данной области уверено, что компоненты 01005 замене не подлежат.

С другой стороны, производители ручных инструментов и станций для ремонта BGA-компонентов заявляют, что их оборудование способно работать с компонентами 01005. На веб-сайтах некоторых поставщиков ручных инструментов утверждается пригодность их оборудования для ремонта компонентов 01005, но эти заявления не подтверждаются ни одним видеороликом. Несколько видеофайлов демонстрируют возможность пайки компонентов 01005 с помощью BGA-станций, но многие из них имеют ограничения, связанные с высокой стоимостью капитальных затрат, низкой производительностью, сложностью использования и невозможностью ремонта компонентов 01005, расположенных друг от друга на расстоянии менее 0,2 мм.

Другая проблема заключается в том, что большинство автоматизированных станций не справляется с задачей повторного использования остатков припоя на посадочных местах из-за частого брака трафаретной печати (например, из-за недостаточного количества припоя). На долю этого брака приходится почти половина дефектов (рисунок 6). Некоторые станции позволяют дозировать паяльную пасту, но на практике очень сложно осуществлять эффективную подачу микроскопических доз в точки, расположенные со строгой периодичностью.

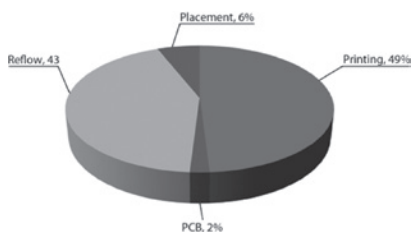


Рисунок 6 – Основные причины возникновения дефектов: Printing – дефекты трафаретной печати; Placement – дефекты размещения; Reflow – дефекты пайки; PCB – дефекты печатной платы

Один из альтернативных вариантов ремонта компонентов 01005 заключается в создании человеко-машинного интерфейса путем объединения преимуществ ручной пайки и BGA-станций (рисунок 7). При таком подходе оператор вручную регулирует все процессы, происходящие непосредственно на уровне печатной платы, что позволяет отказаться от более медленных и дорогих, а зачастую и очень сложных светоделительных систем позиционирования. Кроме того, такой подход в управлении процессом пайки на уровне платы устраняет проблемы обеспечения точности позиционирования по оси Z, характерной для большинства светоделительных систем. Известно, что если светоделитель плохо откалиброван или не обеспечен соответствующий контакт между соплом и компонентом 01005, при позиционировании могут появиться ошибки.



Рисунок 7 – Человеко-машинный интерфейс «оператор – паяльная станция для компонентов 01005»

Следует также заметить, что некоторые станции для ремонта BGA-компонентов не обладают точностью, необходимой для позиционирования микрокомпонентов, что не зависит от частоты калибровки системы технического зрения. Человеко-машинный интерфейс представляет оператору множество дополнительных аппаратных возможностей, включая применение оптического микроскопа высокого разрешения и использование технологий верхнего и нижнего нагрева. При этом устраняется необходимость в прецизионных ручных манипуляциях, характерных для пайки вручную. Замена компонентов 01005 путем комбинирования ручных и автоматических операций происходит во много раз быстрее, чем с помощью светоделительных систем, и так же быстро, как в случае с ручными инструментами.

Процесс замены компонентов 01005 существенно упрощается, если имеется возможность повторно использовать остаточный припой на контактных площадках. Стереомикроскоп с большим увеличением позволяет оператору извлекать замещающий компонент из ленточной кассеты, не прибегая к ручным операциям.

На посадочное место с помощью микрошприца-дозатора наносится флюс. Таким образом, его количество минимизируется, что является ключевым моментом подхода iNEMI. В качестве этого флюса используется Indium 30B без галогенидов, т.к. он не содержит ионных соединений, способных при неправильной тепловой активации привести к росту проводящих дендритных структур, которые могут вызвать электрический пробой. В отличие от ручной пайки, при совместной работе оператора и автоматов обеспечива-

ется предварительный нагрев всей платы, что исключает любые проблемы с активацией флюса. Как бы то ни было, рекомендуется использовать безгалогенный флюс, что является дополнительной мерой безопасности.

Выравнивание на уровне платы легко выполняется с помощью стереомикроскопа высокого разрешения, у которого объектив имеет большое увеличение, а предметный стол – точную настройку по осям x/y и регулировку поворота. Еще одним преимуществом интерфейса «человек-машина» является возможность удаления неправильно установленного компонента 01005, а также его замена или выравнивание всего за одну операцию. Перечислим основные параметры процесса удаления компонентов 01005 при комбинированном нагреве (кондуктивном/конвективном):

- время контакта наконечника: 7 с;
- скорость нагрева: 13°/с;
- максимальная температура компонента 01005: 242°С;
- цикл нагрева: 7 с.

Процесс замены компонента 01005 намного усложняется в отсутствие возможности использовать остаточный припой. Во-первых, оставшийся на контактных площадках припой приходится нагревать и удалять с помощью сопла для очистки посадочных мест микроскопического размера. Затем активируется система охлаждения платы и сопла холодным воздухом. Процесс охлаждения продолжается до тех пор, пока температура платы не снизится до 70°С. Основные параметры процесса замены компонентов 01005 (только конвективный нагрев):

- время контакта наконечника: 0 с;
- скорость нагрева: 2°/с;
- скорость охлаждения: –5°/с;
- максимальная температура компонента 01005: 242°С;
- цикл нагрева/охлаждения: 60 с.

Поскольку используется довольно-таки мощная система охлаждения платы, а плата для монтажа компонентов 01005 обладает малой тепловой массой, процесс охлаждения осуществляется быстро. Для нанесения паяльной пасты на контактные площадки применяется запатентованное микроустройство (рисунки 8, 9). Стереомикроскоп с большим увеличением позволяет оператору контролировать процесс нанесения паяльной пасты и проверять результат до начала последующих операций. Процесс замены компонентов 01005 можно ускорить. Для этого сначала удаляются все дефектные компоненты, и очищаются посадочные места (рисунок 10), после чего на все контактные площадки наносится паяльная паста, и производится поочередная пайка новых компонентов 01005.

Сопло слегка прогревается, а компонент-заменитель извлекается из кассеты. Статическое электричество и бумажная пыль – две проблемы кассетного хранения компонентов. Компонент-заменитель выравнивается относительно контактных площадок с нанесенной пастой, устанавливается и запаивается. Во время ручной установки компонента оператор по цепи обратной связи получает информацию о приложенных усилиях. Это очень важно, поскольку в ходе тестирования было установлено, что превышение усилий на 2 Н (200 г) может привести к разрушению компонента.

Другим преимуществом человеко-машинного интерфейса по сравнению с ремонтным оборудованием для BGA-компонентов и системами ручной пайки является то, что после размещения компонента-заменителя на контактных площадках с нанесенной пастой оператор может приподнять сопло и выполнить пайку с помощью конвективного нагрева.

При этом происходит самовыравнивание компонента 01005, что невозможно, когда он удерживается в определенном месте с помощью подводящего тепло наконечника. Использование нижнего ИК-нагревателя в сочетании с соплом с конвективным нагревом обеспечивает постепенное повышение температуры, что желательно при замене керамических конденсаторов. Этот эффект не достигается при использовании наконечника.

Конвективную пайку рекомендуется проводить в среде азота, которая улучшает смачивание и снижает окисление небольших частиц припоя.

Необходимо обеспечить чистоту микронаконечника, поскольку от нее зависит его способность удалять микроскопические компоненты. Оператор периодически использует специальное приспособление с ультратонкой иглой, позволяющее провести очистку всасывающего микронаконечника.

Ремонт PoP-компонентов

PoP-компонент состоит из двух или более одинаковых корпусов с малым шагом между выводами, установленных друг на друга для экономии места на плате. Нижний корпус, как правило, принадлежит быстродействующему логическому устройству, а верхний – устройству памяти большого объема.

Деформация нижнего корпуса, возникающая из-за несоответствия коэффициентов теплового расширения кристалла, полимерного материала и подложки, безусловно, является основной проблемой этой технологии. Деформация является ключевой проблемой PoP-компонентов из-за того, что корпуса, входящих в них, устройств имеют

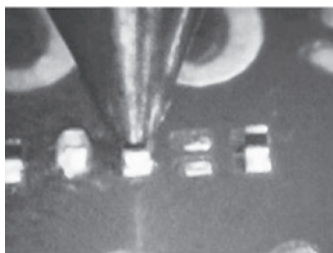


Рисунок 8 – Сопло с микронаконечником для пайки компонентов 01005



Рисунок 9 – Нанесение пасты на контактные площадки под компонент 01005



Рисунок 10 – Замена компонента 01005 (слева) и очистка контактных площадок на посадочном месте (справа)

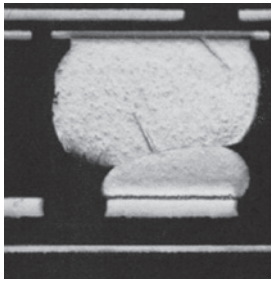


Рисунок 11 – Дефект «голова на подушке» [2]

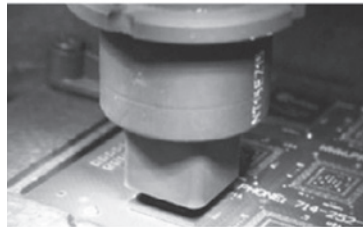


Рисунок 12 – Стандартное сопло удаляет за один раз один корпус

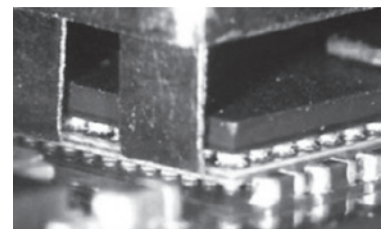


Рисунок 13 – Микропинцет удаляет одновременно оба корпуса

очень малую толщину и шаг между выводами. Деформация RoP-компонента, как правило, проявляется в виде дефекта «голова на подушке» (head-in-pillow, HiP), что выражается в отсутствии полного контакта между шариковым выводом RoP-компонента и нанесенной паяльной пастой (рисунок 11). Другими причинами появления этого дефекта являются: истощение флюса, плохое смачивание и несоответствующий химический состав паяльной пасты.

Ремонт RoP-компонентов схож с операциями, выполняемыми с помощью стандартной паяльной BGA-станции. RoP-устройства удаляются либо по отдельности с помощью стандартного сопла в отсутствие зазора между корпусами (рисунок 12), либо все вместе с помощью микропинцета, управляемого вакуумным клапаном. При этом требуется определенный зазор между корпусами (рисунок 13).

Некоторые производители соединяют два корпуса с помощью клея, чтобы иметь возможность удалить их в один прием с помощью стандартного сопла. Во время удаления RoP-компонентов сопло не должно оказывать на них какого-либо давления книзу, чтобы шарики припоя не переместились к соседним компонентам. Удаление компонентов с помощью отсасывающих устройств, оснащенных датчиком вакуума, является вполне удачным решением этой задачи.

После удаления компонентов необходимо очистить посадочные места от остатков припоя. Практику их удаления с помощью паяльника и плетеной ленты, являющуюся наследием «каменного века», следует заменить бесконтактными методами, которые позволяют устранить потенциальную опасность подъема контактных площадок и повреждения паяльной маски.

К числу недостатков использования плетеной ленты для удаления припоя относятся большая зависимость ручного выравнивания от квалификации оператора; возможность возникновения повреждений при недостаточно качественной обработке площадок; скорость впитывания припоя лентой, являющаяся критичным параметром и т.д. Однако повышение температуры пайки при использовании бессвинцовых методов монтажа и постоянное уменьшение шага между выводами компонентов неминуемо положат конец ручной очистке с помощью плетеной ленты, которая, по оценкам iNEMI, в настоящее время занимает 80 % от времени подготовки посадочных мест.

Каждый оператор может определить поврежденную контактную площадку и исправить этот дефект. Однако определение повреждений паяльной маски в процессе ручной очистки от остатков припоя является гораздо более сложной задачей.

Некоторые производители оборудования для ремонта BGA-компонентов заявляют, что оно оснащено системой бесконтактной очистки посадочных мест. Однако фактически с этой целью используется нагретое сопло с металлическим отсасывающим наконечником, которое перемещается над посадочными местами; при этом координаты перемещения x, y и z задаются вручную. Высокоэффективное устройство для бесконтактной очистки посадочных мест оснащено встроенным датчиком вакуума, автоматически задающим высоту подъема отсасывающего наконечника в непрерывном режиме.

Многие разработчики современных систем очистки пошли дальше, заменив металлический наконечник наконечником из композитного материала, выдерживающим высокие температуры. Это позволило полностью исключить возможность контакта нагретого металлического наконечника с платой или контактной площадкой (рисунок 14).

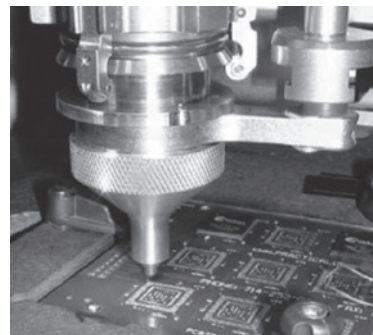


Рисунок 14 – Бесконтактная система очистки посадочных мест

Чтобы полностью отказаться от ручных методов очистки посадочных мест, необходимо повысить быстродействие бесконтактных систем. Некоторые производители паяльных станций для ремонта BGA-компонентов пошли по пути изготовления больших чистящих устройств, выполняющих очистку посадочных мест в один прием (рисунок 15).

Замена RoP-компонентов является более сложным процессом по сравнению с BGA-компонентами. Во-первых, для обеспечения воспроизводимости нижний корпус захватывается и погружается в заданный объем флюса или паяльной пасты с помощью устройства, контролирующего приложенные усилия (рисунок 16). В идеальном случае обеспечивается возможность задавать глубину погружения,

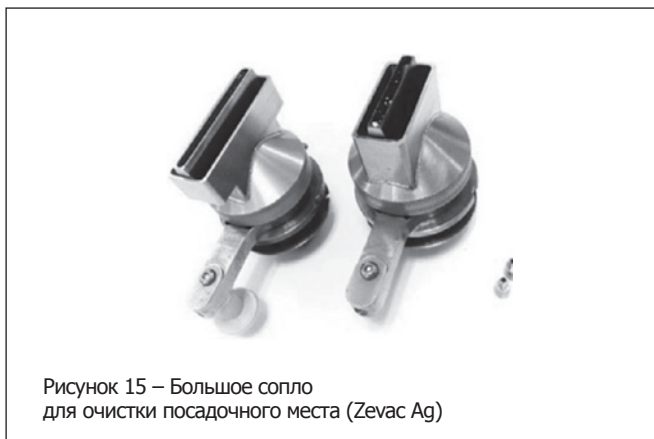


Рисунок 15 – Большое сопло для очистки посадочного места (Zevac Ag)

что исключает необходимость в подготовке ванны с флюсом (или пастой) после каждой процедуры его нанесения (рисунок 17).

Погружение нижнего корпуса в паяльную пасту позволяет исключить дефект «голова на подушке» и деформацию. Использование паяльной пасты, химический состав которой обеспечивает активацию при более высоких температурах, уменьшает истощение флюса и улучшает смачивание. Если светоделитель имеет независимое верхнее и нижнее освещение, а также обеспечено масштабирование изображения камеры и возможность направлять ее в интересующие зоны компонента, при его выравнивании с помощью системы технического зрения можно контролировать нанесение паяльной пасты на сферические контакты (рисунок 18). В результате у оператора появляется возможность остановить процесс при появлении перемычек из пасты или в том случае, если она не покрывает некоторые сферические контакты.

Верхний корпус может погружаться либо в паяльную пасту, либо в клейкий флюс, если необходимо уменьшить рассогласование по коэффициентам теплового расширения и угрозу деформации. Погружение верхнего корпуса в паяльную пасту также контролируется с помощью системы технического зрения. Если верхний корпус погружается во флюс, проконтролировать этот процесс системой технического зрения невозможно. Однако можно проинспектировать отпечатки сферических контактов, оставшиеся в ванне с флюсом, чтобы убедиться в его нанесении на каждый из контактов. Для упрощения такой проверки некоторые производители вводят в состав флюсов красящее вещество.

Верхний корпус выравнивается относительно верхней стороны нижнего корпуса и помещается на него. После

контроля усилий (1–2 Н) проводится пайка двух корпусов одновременно. Некоторые производители оборудования для ремонта BGA-компонентов рекомендуют паять корпуса по отдельности. Однако такая рекомендация не вполне понятна, поскольку она ведет к добавлению полного цикла пайки для нижнего корпуса и печатной платы. Для улучшения смачивания и уменьшения окисления небольших частиц припоя рекомендуется проводить процедуру пайки в среде азота.

PoP-компоненты со сквозными отверстиями (through-hole via, TMV) (рисунок 19) от компании Amkor представляют собой компоненты следующего поколения в 3D-корпусах. Для изготовления таких корпусов применяется технология лазерной абляции, позволяющая формировать отверстия внутри диэлектрического материала. Эта технология существенно отличается от современных фотолитографических методов, формирующих сигнальные пути на поверхности диэлектрика [3]. TMV PoP-компоненты имеют сбалансированные, полностью отлитые корпуса, что упрощает контроль над их деформацией и уменьшает толщину нижнего корпуса. Результаты исследований деформаций методом изучения теневых муаровых картин при температурной нагрузке (thermal shadow moire testing) показали существенное уменьшение деформаций в корпусах TMV PoP-компонентов по сравнению с традиционными PoP-корпусами (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты исследований теневых муаровых картин при температурной нагрузке

Корпус/подложка	TMV/0,30	FC PoP/0,30
Максимальная деформация, мкм	-51,8	-136,8

Тестирование TMV PoP-компонентов на паяемость

Для проведения тестирования на способность к пайке использовались TMV PoP-компоненты со стороной 14 мм и тестовая плата размерами 77×132 мм (8 слоев; толщина – 1 мм) (рисунок 20). Шаг между выводами у нижнего корпуса – 0,65 мм; число входов/выходов – 620. Шаг между выводами у верхнего корпуса – 0,5 мм; число входов/выходов – 200. Один TMV PoP-компонент прошел стандартные операции пайки, состоящей из предварительного нагрева, выдержки, дальнейшего нагрева по линейному закону, оплавления и охлаждения, с помощью оборудования для ремонта BGA-компонентов.

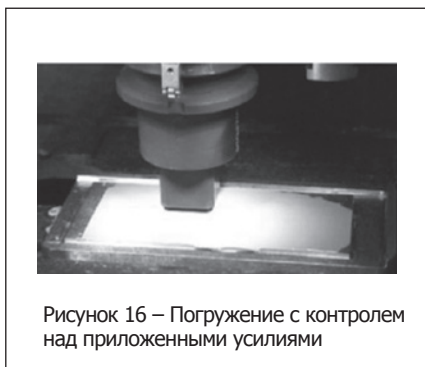


Рисунок 16 – Погружение с контролем над приложенными усилиями



Рисунок 17 – Отпечатки после погружения в паяльную пасту



Рисунок 18 – Контроль над нанесением пасты на сферические контакты с помощью системы технического зрения



Рисунок 19 – TMV PoP-компоненты от компании Amkor



Рисунок 20 – Устройство для тестирования компонентов TMV PoP

При тестировании температурные режимы пайки не менялись – изменялся только способ подготовки компонента, посадочного места и материал (таблица 5).

Целью данного исследования было изучить влияние методов подготовки компонента, посадочного места и используемых материалов на возникновение в TMV PoP-компонентах дефектов типа искривления, «голова на подушке» и т.д.

Тестирование TMV PoP-компонентов на паяемость

Тестирование TMV PoP-компонентов на способность к пайке показало, что на качество формируемых соединений наибольшее влияние оказывает способ нанесения флюса. Наилучшие результаты как для верхних, так и нижних соединений были получены, когда флюс наносился кисточкой не только на посадочное место, но и на верхнюю поверхность боковой контактной площадки на нижнем PoP-корпусе.

Погружение во флюс показало приемлемые результаты, но сформированные при этом соединения часто уступали по качеству соединениям, полученным при нанесении флюса с помощью кисточки (рисунок 21).

Погружение в паяльную пасту (рисунок 22) показало наихудшие результаты (в некоторых случаях наблюдались непропаи из-за плохого смачивания контактных площадок шариками припоя). Тестирование также продемонстрировало положительный эффект от применения азота по

сравнению с воздухом. В некоторых критических случаях качество пайки можно улучшить с помощью азота.

У таких результатов тестирования есть только одно объяснение – малые размеры сферических контактов из припоя PoP-компонентов, ограничивающие объем флюса или паяльной пасты, которая остается на них после погружения. Малый объем флюса или паяльной пасты является недостаточным для формирования хороших паяных соединений, что и ухудшило результаты тестирования. Однако поскольку при его проведении выборка была сравнительно малой, результаты подлежат уточнению.

Ремонт корпусов QFN/MLF

Этот тип корпусов компания Amkor называет MLF (micro lead-frame – корпуса с рамкой микровыводов), тогда как многие другие производители именуют их QFN-корпусами (quad flat, no leads – плоские квадратные корпуса без выводов), а IPC – корпусами BTC (bottom terminated components – компоненты с нижним расположением выводов) (рисунок 23).

MLF-компоненты имеют пластиковые герметичные корпуса с подложкой в виде медной рамки с выводами. В таких корпусах используется площадка, расположенная по периметру их нижней части, которая обеспечивает электрический контакт с печатной платой. Корпус также имеет большую центральную площадку в нижней части для эффективного отвода тепла в сторону печатной платы.

Таблица 5 – Условия тестирования TMV PoP-компонентов

Размещение п/п	Нижний корпус				Верхний корпус		
	Погружение в пасту	Погружение во флюс	Участок с флюсом	Флюс на верхней части корпуса	Погружение в пасту	Погружение во флюс	Азот
1-2		✓				✓	
3-4			✓	✓			
5-6			✓			✓	
7-8	✓				✓		
9-10	✓		✓	✓	✓		
11-12			✓		✓		
13-14		✓				✓	✓
15-16	✓				✓		✓
17-18			✓	✓			✓

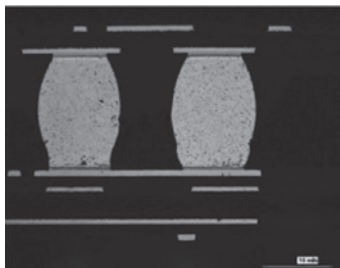


Рисунок 21 – Поперечный разрез, демонстрирующий хорошие результаты пайки (при нанесении флюса с помощью кисточки)



Рисунок 22 – Поперечный разрез, свидетельствующий о сравнительно плохих результатах пайки (при погружении в паяльную пасту)

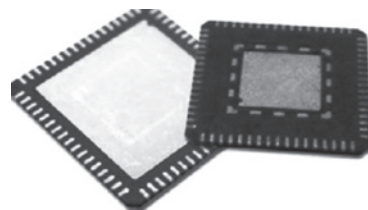


Рисунок 23 – Компоненты QFN/MLF

QFN-технология имеет две основные проблемы – образование пустот в межсоединениях под корпусами и выход летучих газов в процессе оплавления, из-за которых возникают шарики припоя и их разбрызгивание (рисунок 24). Обе проблемы связаны с флюсом, скапливающимся под низкопрофильным компонентом. Стандарт IPC-A-610 позволяет уменьшить уровень пустот до 25 %.

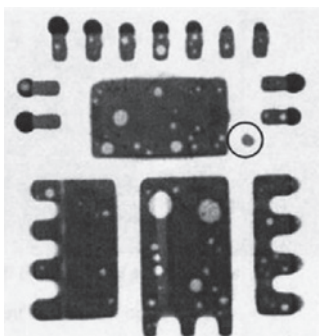


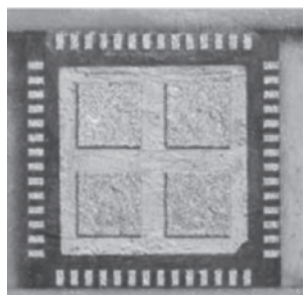
Рисунок 24 – Пример формирования пустот и шариков припоя под QFN корпусом [4]

Пайка QFN/MLF-компонентов напоминает описанное выше восстановление RoP-компонентов за исключением того, что из-за плоской формы QFN-корпуса его невозможно

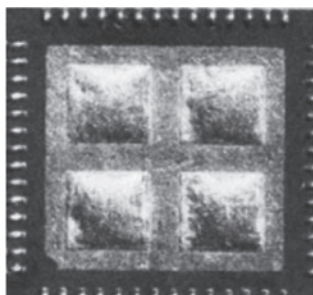
погрузить в паяльную пасту. Паяльную пасту необходимо наносить либо на сам компонент, либо на контактные площадки до его размещения на плату. Существует несколько способов нанесения паяльной пасты: с помощью преформы из припоя, полиимидных или металлических шаблонов посадочных мест, полиимидных или металлических шаблонов компонентов, а также с помощью несъемных трафаретов и трафаретов на несколько компонентов.

В случае применения несъемного трафарета сначала на компонент накладывается клейкий полиимидный трафарет (рисунок 25 а), затем наносится паяльная паста, избыток которой удаляется с помощью ракедельного ножа. Далее компонент подвергается процедуре оплавления. После удаления трафарета на компоненте остается выпуклый рельеф (рисунок 25 б). Затем на контактные площадки накладывается еще один трафарет, и снова наносится паста или флюс (рисунок 25 в). Рельефный QFN/MLF-компонент устанавливается над трафаретом на свое посадочное место и оплавляется. Трафарет, наложенный на посадочное место, остается на плате навсегда. Тестирование на надежность, проведенное NASA/DOD, показало, что применение несъемных трафаретов ничем не уступает традиционному методу трафаретной печати для нанесения паяльной пасты на плату.

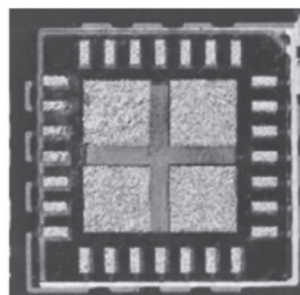
Другой способ нанесения паяльной пасты заключается в использовании вместо трафарета на один компонент металлического трафарета на несколько компонентов (рисунок 26). Этот трафарет, как правило, рассчитан на 20 компонентов. После его наложения на выбранные компоненты и нанесения пасты включается вакуумный стол,



а)



б)



в)

Рисунок 25 – а) QFN-компонент с трафаретом и слоем паяльной пасты [5]; б) QFN-компонент после процедуры оплавления и удаления трафаретов [5]; в) несъемный трафарет, оставшийся на посадочном месте [5]



Рисунок 26 – Система для применения трафаретов на несколько компонентов

позволяющий удерживать компоненты на местах при подъеме трафарета. Далее компоненты подвергаются оплавлению, чтобы получить выпуклый рельеф. В таком виде они и хранятся до последующего использования. Перед их размещением на плату на посадочные места наносится липкий флюс.

В минимизации образования пустот и выхода летучих газов важную роль играет конструкция трафарета для нанесения паяльной пасты на контактные площадки, расположенные внизу QFN-корпусов. Компания Amkor рекомендует для нанесения паяльной пасты использовать трафареты с множеством небольших отверстий вместо трафаретов с одним большим отверстием, занимающим 50–80 % от всей его площади. Рекомендуемая толщина трафарета при шаге между выводами 0,4 и 0,5 мм составляет 0,125 и 0,15–0,2 мм – для более крупного шага [6].

Паяемость QFN-компонентов

Для проведения тестирования на способность к пайке использовались квадратные MLF-компоненты со стороной 10 мм и с шагом между выводами 0,5 мм, а также тестовая установка размером 203×140 мм и толщиной 1,57 мм.

Проверялись два температурных профиля: короткий цикл – выдержка/линейный нагрев и длительный цикл –

выдержка/линейный нагрев. Проверялись три типа металлических трафаретов для нанесения на компонент паяльной пасты с разной формой площадок, расположенных в центре, и разной площадью покрытия пастой (рисунок 27). Все трафареты имели толщину 0,127 мм.

Кроме того, тестировалась описанная выше система с трафаретом на несколько корпусов (трафарет с центральной контактной площадкой №2). Накладывание трафаретов на MLF-компоненты и их оплавление проводилось до тестирования. Для всех трафаретов применялась несмываемая паяльная паста Indium 9.0A.

Тестирование на способность к пайке определило, применение какого трафарета позволяет свести к минимуму площадь пустот в центральной зоне нижних контактных площадок. Кроме того, необходимо было установить, не ухудшает ли качество пайки применение трафаретов на несколько QFN-компонентов по сравнению с трафаретом той же конструкции, но на один QFN-компонент.

Результаты

В таблице 6 приведены результаты исследования того, как применение трафаретов с разной формой центральной зоны влияет на формирование пустот. В таблице также отражено влияние короткого и длинного циклов выдержки/линейного нагрева.

Процент пустот во всех рассматриваемых случаях не превысил 25 %, удовлетворяя требованиям IPC. Более продолжительная выдержка уменьшала образование пустот при использовании всех трех форм трафаретов. Наилучшие результаты были получены при продолжительной выдержке и применении шаблона, обеспечивающего наименьший процент покрытия паяльной пастой. И, наконец, компоненты QFN, которые были предварительно подготовлены с помощью трафарета на несколько компонентов, показали те же результаты, что и компоненты, запаянные по стандартной технологии.

Таблица 6 – Результаты тестирования на способность к пайке QFN-компонентов

Трафарет	Расположение	% перекрытия	Профиль нагрева	Пустоты (под центральными площадками)	
				общее количество, %	наибольший единичный размер, %
36 кругов	1A	50	короткий цикл выдержки/ линейного нагрева	11,5	1,6
36 кругов	1B	50	длинный цикл выдержки/ линейного нагрева	6,5	0,6
4 окна	2A	60	короткий цикл выдержки/ линейного нагрева	17,9	2,0
4 окна	2B	60	длинный цикл выдержки/ линейного нагрева	10,5	1,9
25 окон	3A	81	короткий цикл выдержки/ линейного нагрева	13,4	2,4
25 окон	3B	81	длинный цикл выдержки/ линейного нагрева	11,3	1,8
4 окна*	4A	60	короткий цикл выдержки/ линейного нагрева	13,3	1,1
4 окна*	4B	60	длинный цикл выдержки/ линейного нагрева	16,1	1,4

*Применение трафарета на несколько корпусов, предварительное оплавление, нанесение флюса на посадочные места.



Рисунок 27 – а) круглые отверстия диаметром 1,00 мм и шагом 1,2 мм – покрытие на 50 % [6];
 б) квадратные отверстия со стороной 3,10 мм и шагом 3,95 мм – покрытие на 60 % [6];
 в) квадратные отверстия со стороной 1,35 мм и шагом 1,5 мм – покрытие на 81 % [6]

Выводы

Монтаж больших матричных компонентов (со стороной более 50 мм) на крупных печатных платах с большой тепловой массой связан с рядом серьезных проблем. Например, усложняется выполнение строгих требований к температурам пайки и корпусов, установленных для BGA-компонентов гораздо меньшего размера. Проблемы монтажа также связаны с выравниванием, деформацией, удержанием компонентов и самих больших плат, а также с обеспечением безопасной, быстрой и эффективной очистки посадочных мест. Для монтажа на крупных печатных платах большой тепловой массы больших матричных компонентов следующего поколения необходимо разработать эффективные способы их пайки.

Кроме того, необходимо найти экономичные, практичные и высокопроизводительные способы замены на платах микроскопических компонентов 01005. В этом отношении необходимо обеспечить надлежащую очистку посадочных мест и их подготовку к нанесению паяльной пасты, поскольку 50 % дефектов компонентов 01005 возникают при нанесении паяльной пасты методом трафаретной печати. Одним из возможных решений является использование человеко-машинного интерфейса для ремонтных работ.

Новые типы корпусов, например, TMV PoP-корпуса компании Amkor, позволяют обойти проблему возникновения дефекта «голова на подушке», характерных для применения типовой PoP-технологии. Изучение способности к пайке PoP-компонентов показало, что нанесение флюса вручную и применение азота способствуют получению наилучших результатов.

Мы рассмотрели несколько методов нанесения паяльной пасты при пайке MLF/QFN-компонентов, включая два инновационных: с помощью несъемных трафаретов и трафаретов на несколько компонентов. При монтаже компонентов MLF/QFN важную роль также играет форма центральной зоны трафарета, поскольку от нее зависит образование пустот, связанное с удержанием флюса низкопрофильными корпусами.

Для ремонта SMT-компонентов следующего поколения следует не только модифицировать существующие паяльные BGA-станции, но и создать новое оборудование и технологии, способные справиться с возникающими проблемами.

Литература:

1. iNEMI 2013 Technology Roadmap, Rework and Repair Section.
2. Scalzo, Indium. Addressing the Challenge of Head-in-Pillow Defects in Electronic Assemblies.
3. Zwenger, et al. Next-generation PoP Platform with TMV Interconnection Technology.
4. International Rectifier. Application Note AN-1137. June 2008.
5. BEST, Inc Web Site Stencil Mate Leadless Device Rework Stencils.
6. Amkor Technology. Application Notes for Surface Mount Assembly of Amkor’s MLF Packages, September, 2008. Rev G.

Журнал «Производство электроники» № 1, 2014

Программаторы для любых микросхем

SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM
 EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM
 EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM
 FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH
 PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC
 MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU
 PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL

+375 (17) 266-32-09 www.chipstar.ru

HORN
TRADE
 ООО "ГорнТрейд"

поставка электронных компонентов

контрактное производство

тел.: **+375 17 290 0082**
 факс: **+375 17 290 0084**
 e-mail: **info@horntrade.net**

ДАТЧИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ: КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ. ЧАСТЬ 1. ДАТЧИКИ ХОЛЛА

Светлана Сысоева
Dr.Gold@sysoeva.com

В статье представлен обзор состояния основных сегментов и перспектив рынка датчиков магнитного поля, основным применением для которых в течение многих лет является автомобильная промышленность. В данном сегменте абсолютно лидируют датчики Холла, для которых в автомобиле существует свыше 30 применений. Ведущие производители заполняют продуктовые зазоры в данной рыночной нише новыми предложениями простых, недорогих и высокоинтегрированных датчиков Холла в параллели с более передовыми версиями 3D-энкодеров.

Введение

Датчики и преобразователи магнитного поля представляют собой устройства, которые измеряют магнитное поле (напряженность/магнитную индукцию) в скалярном и/или векторном формате и нашли широкое применение в современной электронике и различных технических областях для контроля движения, положения, скорости, направления, тока, уровня и других параметров. Основное назначение датчиков магнитного поля – определение скоростей вращения и углового абсолютного или иного (линейного, триггерного, относительного) положения в различных механизмах, машинах, устройствах. Датчики магнитного поля также используются для выполнения простых ON/OFF функций переключателей, измерения тока и как компасы. Технические области применения датчиков магнитного поля объединяют автомобильные, потребительские, промышленные, медицинские и другие.

По данным IHS iSuppli, данные сферы применения датчиков магнитного поля сформировали рыночный сегмент с доходностью без малого 2 млрд долл. США, в котором доминирует пятерка топ-поставщиков [1, 2]. Согласно исследованию IHS, опубликованному в октябре 2013 года, сегмент датчиков магнитного поля сейчас показывает 7 % рост – от отметки в 1,62 млрд долл. США в 2012 году до примерно 1,73 млрд долл. США в конце 2013 года и 1,85 млрд долл. США в 2014 году. В последующие годы ожидаемый рост рынка будет варьироваться в пределах 4–8 %, и ожидаемая IHS отметка доходности данного сегмента в 2017 году составляет 2,2 млрд долл. США.

Согласно тому же источнику, 52 % доходности рынка датчиков магнитного поля приходится на долю автомобильной промышленности (рисунок 1). Автомобильная отрасль для этих устройств также является ведущей и в технологическом плане. В течение долгого периода времени датчики Холла специального назначения – ASIC- и ASSP-модули – разрабатывались специально для датчиков скорости автомобиля, частоты вращения колес, коленчатого и распределительного валов, положения дроссельной заслонки, угла рулевого колеса и др. [3].

В прошлом датчики магнитного поля получили большое развитие благодаря их ключевой роли в автомобильной отрасли, что поддерживалось не только со стороны автомобильного рынка, но и законодательными регуляциями. Например, распространение датчиков угла рулевого колеса обязано системам динамической стабилизации (ESC/ESP), в которых также используются четыре датчика скорости вращения колес. Законодательные требования в отношении ESC усилили распространенность датчиков магнитного поля в автомобильном сегменте рынка в Канаде, Евросоюзе, Австралии, Южной Корее и Японии. Требования меньшей эмиссии (Euro 5, Euro 6) диктуют необходимость «озеленения» транспорта. Ужесточение контроля выхлопов является предпосылкой для более широкого распространения гибридных и электрических автомобилей и формирует рыночную нишу для высоковольтных батарей большой емкости и датчиков контроля тока/расхода мощности батарей.

Впрочем, датчики магнитного поля «у руля» не только в автомобильной промышленности, но и в других отраслях. Весьма существенную долю – порядка 37 % – составляют мобильный и потребительский сегменты, где магнитные датчики применяются в качестве датчиков камер (автофокусировка и стабилизация изображений – контроль положения актуаторов) и дисплеев (ON/OFF), а также в электронных компасах. Остальной объем продаж приходится на аэрокосмическую и морскую промышленность, энергетику, медицину и другие малые сегменты рынка. Измерения посредством датчиков магнитного поля в этих сферах представляют собой контроль промышленных двигателей и тока.

IHS iSuppli также представила рейтинг промышленной доходности поставщиков датчиков магнитного поля, согласно которому 87 % доходности от общего рыночного объема в сумме дает первая десятка.

Возглавляет данный список японская компания Asahi Kasei Microsystems (AKM) – лидирующий поставщик компасов на основе эффекта Холла для мобильных телефонов и планшетов, также предлагающий клиентам обширное и инновационное портфолио автомобильных датчиков. Далее следует компания Allegro Microsystems (шт. Массачусетс, США). Третье место в рейтинге – у компании Infineon Technologies из Германии, четвертое – у Micronas (Швейцария), пятое – у бельгийской компании Melexis [1, 2, 3–8].

Другие важнейшие поставщики датчиков магнитного поля – NXP (Нидерланды), японские Yamaha и Alps Electric, американско-австрийский производитель датчиков ams и компания Diodes Inc. из Техаса.

Известно много различных типов датчиков для измерения магнитного поля и использования этих данных для непосредственных или косвенных измерений различных параметров. Коммерческие технологии (в историческом порядке и по уровню технического развития) включают: датчики Холла [2, 3], XMR (анизотропные магнито-

Автомобильные датчики Холла

Ключевыми применениями технологий эффекта Холла остаются автомобильные датчики положения и скорости, для которых за последние 20 лет было предложено большое число ASIC-продуктов из категории инновационных [3, 11–14]. Примером может послужить датчик положения дроссельной заслонки, а классическим примером датчика скорости является датчик спидометра (выходного вала коробки передач). Для датчика положения дроссельной заслонки компания Micronas в конце XX в. разработала первую программируемую CMOS-микросхему датчика Холла, а компании Infineon и Allegro в тех же временных рамках ранее других представили передовые CMOS-микросхемы и модули Холла специально для датчиков скорости автомобиля, частоты вращения колес, коленчатого и распределительного валов.

Последнее десятилетие ознаменовалось выдающимися инновациями, воплотившимися в новый метод измерения угла в диапазоне

360° поворота малого дипольного магнита посредством магнитного углового энкодера Холла, но не в стандартной для датчиков Холла, а в конфигурации магнитной системы, типичной для АМР и ГМР-датчиков [12]. Особые заслуги в предложении разработчикам специализированных компонентов принадлежали компаниям ams и Melexis. Дальнейшие разработки ИС энкодеров Холла для данной конфигурации продемонстрировали новые возможности использования интегральных магнитных датчиков для переключения бесколлекторных двигателей постоянного тока, измерения тока. Следом за магнитными угловыми энкодерами ответвилось новое поколение линейных магнитных энкодеров – датчиков линейных перемещений, подходящих как для малых дипольных, так и для больших многополюсных магнитов. Линейные энкодеры нового поколения одинаково хорошо подходят для детектирования как линейных, так и угловых перемещений многополюсных магнитов, что позволило использовать магнитные угловые энкодеры как датчики угла поворота руля с отверстием под рулевую колонку. Ранее более простые микросхемы энкодеров применялись в автомобиле в качестве датчиков скорости (частоты вращения) или импульсных переключателей многополюсных магнитных роторов [11].

Новое поколение энкодеров фактически формализовало границы между датчиками положения и скорости, как, впро-

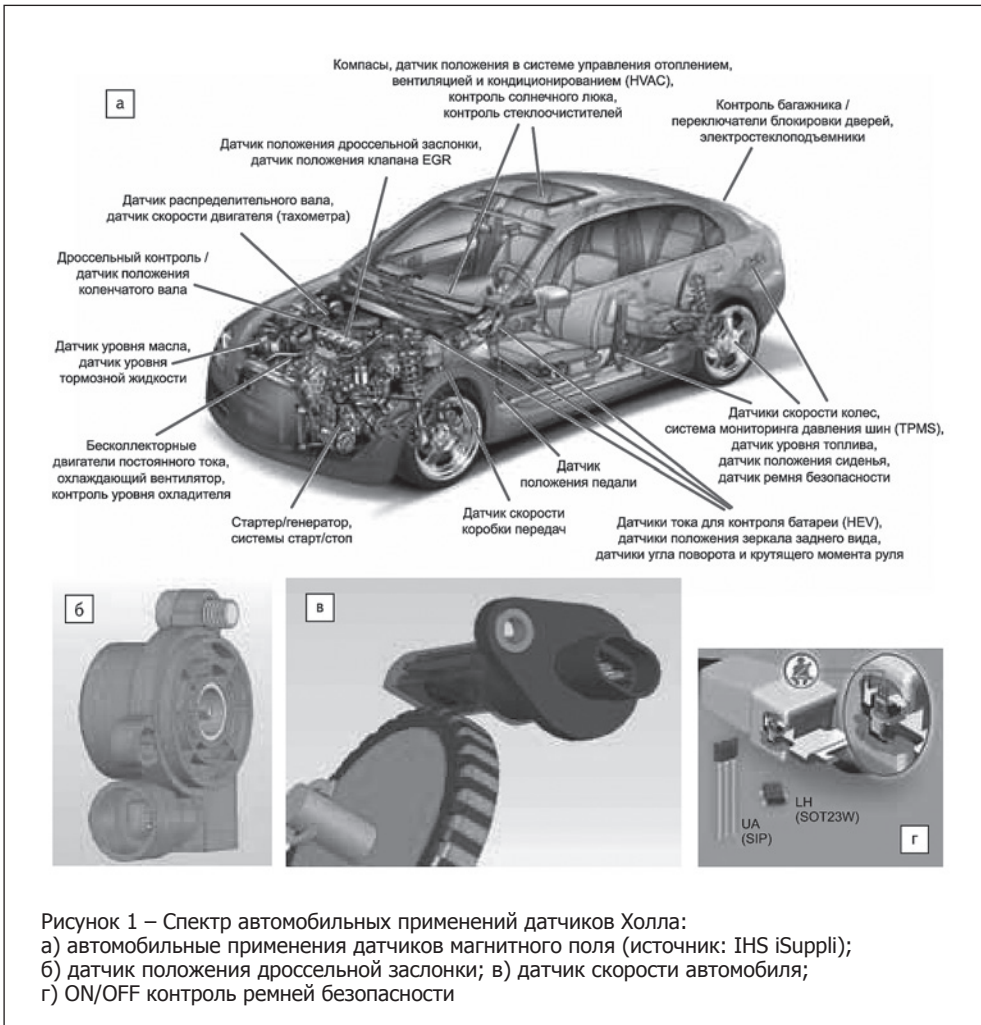


Рисунок 1 – Спектр автомобильных применений датчиков Холла: а) автомобильные применения датчиков магнитного поля (источник: IHS iSuppli); б) датчик положения дроссельной заслонки; в) датчик скорости автомобиля; г) ON/OFF контроль ремней безопасности

резистивные, АМР), гигантские магнито-резисторы (ГМР) и новые датчики на основе туннельного магниторезистивного (ТМР) эффекта [9, 10].

Компании AKM, Allegro, Infineon, Micronas, Melexis и ams – рыночные и технологические лидеры, специализирующиеся на датчиках Холла. Интегрированные схемы датчиков Холла и переключатели, по данным iSuppli, в 2012 году заняли 89 % от объема рынка.

Впрочем, другие типы датчиков, включая АМР, ГМР и ТМР, также показывают рост и входят на автомобильный рынок, поскольку показывают лучшие характеристики, чем АМР и датчики Холла. NXP известна своими передовыми разработками АМР-датчиков, а Infineon воплотила в жизнь передовую технологию ГМР-датчиков [9]. ТМР-эффект в настоящее время стремительно продвигает китайская компания MDT [10]. Впрочем, аналитики считают, что массовое замещение коммерческих технологий современности следует ожидать не ранее 2017 года.

В настоящее время технологические изменения, в частности, смешение технологий в компасах или новые технологии датчиков магнитного поля, диктуются новыми потребностями и развиваются благодаря потребительской электронике. Как подтверждает дальнейший обзор обновлений рыночного сегмента, автомобильный рынок остается весьма консервативным и не спешит встречать инновационные разработки.

чем, и различия между эффектами Холла, АМР и ГМР в плане их практического применения [12, 15–16]. Независимо от типа используемого эффекта, применение микросхем энкодеров становится унифицированным и сводится к набору одних и тех же стандартных конфигураций, изначально разработанных для эффектов АМР и ГМР, а теперь подходящих и для энкодеров Холла. Все новые методы энкодеров для эффекта Холла основаны на измерении магнитного поля, параллельного поверхности корпуса микросхем, вместе с сохранением чувствительности элементов Холла к перпендикулярному полю. Чтобы отличать от обычных новое поколение подобных энкодеров Холла, будем называть их 3D-датчиками Холла.

Теперь 3D-энкодеры Холла обладают максимальным набором инновационных признаков и составляют на данный момент технологическую верхушку датчиков магнитного поля. Микросхемы Холла создали стандарт де-факто благодаря уровню исполнения, интеграции с ASIC, доступным опциям интерфейса, избыточности и избытию предложений, которому стремятся соответствовать АМР и ГМР, а также TMP-датчики. ХМР-эффекты более чувствительны к магнитным полям, чем эффект Холла, но для успешной конкуренции датчиков необходимо обеспечить тот же или более высокий уровень характеристик и интеграции и меньшие размер, потребление мощности, цену.

Энкодеры Холла позволяют работать с малыми магнитами, и для замещения их ХМР-датчиками магниты должны быть либо слабее по величине остаточной намагниченности, либо большими по размеру – чтобы обеспечивать больший рабочий воздушный зазор. В обоих случаях особое внимание требуется уделять согласованию точности. АМР/ГМР/TMP-датчики догоняют ASIC Холла в плане обеспечения ими уровня интеграции, размера и цены, но конкурировать с развитой технологией эффекта Холла им сложно, особенно в тех применениях, где использование датчиков возможно только при условии их низкой цены.

На фоне выдающихся технологических достижений начала XXI в. весьма показательным является тот факт, что ведущие производители датчиков магнитного поля не забывают и о переключателях. Даже самые простые (по назначению) переключатели в новом формате представляющей собой высокоинтегрированные сенсорные магнитоуправляемые микросистемы, заслуживающие не меньшего внимания к деталям своего исполнения, чем передовые специализированные энкодеры. Infineon, например, для контроля переключения бесколлекторных двигателей постоянного тока (BLDC) предлагает клиентам на выбор и те, и другие. Те же самые переключатели Холла Infineon рекомендует для других автомобильных применений, особенно в области автомобильной безопасности.

Allegro Microsystems в текущем году представила пять совершенно обычных линейных датчиков (не энкодеров) для контроля углового положения. А в начале текущего года данная компания выпустила еще три простых датчика, включая стандартный двухканальный энкодер (не 3D), программируемый ключ и миниатюризированный датчик тока. Технологией 3D Allegro пока что вообще не располагает, хотя готовится войти в данный сегмент [18].

Новые предложения Melexis для автомобильного рынка демонстрируют внимание компании к таким тенденциям в автомобильном сегменте, как снижение потребления

энергии и цены компонентов, удобство и гибкость клиентского использования, повышение уровня характеристик, избыточность. В 2013 г. компания обновила свое портфолио стандартных датчиков предложением нового семейства из двух простых цифровых ключей – биполярной защелки для контроля многополюсных магнитных роторов и униполярного ключа для датчиков близости, а также ввела программируемый переключатель, гибко адаптируемый для различных применений и рабочих условий. Новые предложения от Melexis «продвинутых» 3D-датчиков углового положения на основе технологии Triaxis отражают следование одной из актуальных тенденций автомобильного рынка по отношению к так называемой функциональной безопасности (в самом простом понимании, надежности или избыточности) [19].

Micronas в течение 2013 года пополнила свою обширную линейку датчиков Холла рядом предложений компонентов, которые все без исключения предназначены для измерения положения, причем каждое из них представляет собой дальнейшее расширение семейств, успешно зарекомендовавших себя на рынке.

Фирма ams в течение 2013 года официально объявила только о выпуске новых микросхем для переключения двигателей [20]. Самые заметные инновации компаний ams (технологического лидера по датчикам Холла) и NXP (лидера в производстве АМР-компонентов) пришлось на 2012 год и относятся к обеспечению автомобильной функциональной безопасности. Компания AKM, прежде известная, как абсолютный лидер в сегменте компасов на основе эффекта Холла для мобильных телефонов, теперь является также и технологическим лидером и представляет полную линейку предложений датчиков Холла для автомобильного сегмента, включая ключи, чувствительные в двух направлениях, программируемые датчики тока и высокоинтегрированные 3D-энкодеры Холла [2, 4].

В фокусе – обычные ключи: от стандартных до программируемых, от одноэлементных до 3D

Новые автомобильные ключи Холла для переключения BLDC и общего назначения от Infineon
Компания Infineon весной 2013 года выпустила серию датчиков магнитного поля TLE496x в корпусах SOT23 (рисунком 2) – обычных переключателей, характеризующихся высокой точностью и эффективностью [21].

Датчики серии TLE496x отличаются самыми малыми в мире размерами корпусов (SOT23) 2,9×1,3×1 мм (на 30 % меньше, чем у других аналогичных продуктов). Притом, что ток потребления составляет менее 1,6 мА, датчики способны работать на напряжении 3–32 В от неконтролируемого источника питания и противостоят напряжениям до 42 В, не требуя при этом дополнительного внешнего резистора. Диапазон рабочих температур составляет –40...+170°C. Дополнительные признаки продуктов семейства TLE496x – передовые характеристики включения (turn-on), сброса и выключения (turn-off) в сравнении с предыдущим поколением. Расширенные защитные функции гарантируют улучшенное качество, надежность и контроль.

На момент подготовки статьи семейство TLE496x состоит из трех серий: TLE4961, TLE4964 и TLE4968. TLE4961 – это защелка, TLE4964 – униполярный ключ, а TLE4968 – биполярный высокочувствительный датчик. Пороги переключе-

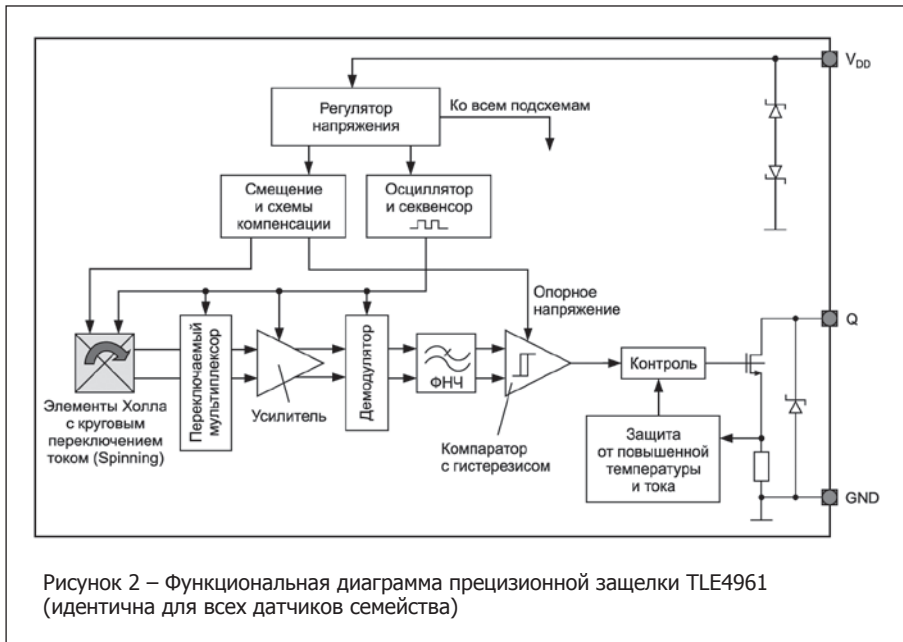


Рисунок 2 – Функциональная диаграмма прецизионной защелки TLE4961 (идентична для всех датчиков семейства)

Выходы защищены от превышения токов и температуры и повышено устойчивы в отношении электростатических разрядов (± 7 кВ в модели человеческого тела HBM). Корпус SOT-23 занимает менее чем 22 % области на печатной плате в сравнении с обычным корпусом SC-59. Кроме безвыводных корпусов SOT-23, переключатели также доступны в трехвыводных корпусах SSO-3.

Новые автомобильные ключи для работы на малом напряжении от Melexis

Новое семейство цифровых CMOS-датчиков Холла автомобильного уровня исполнения по конкурентоспособной цене, которое Melexis анонсировала в 2013 году, состоит из двух переключателей MLX92212, которые работают на малом напряжении и потребляют значительно

меньший рабочий ток, чем конкурирующие устройства. меньший рабочий ток, чем конкурирующие устройства.

Типичные применения семейства TLE496x представляют собой измерения положения, переключение бесколлекторных двигателей, индексный подсчет. Униполярные и биполярные ключи и защелки семейства TLE496x используются в стеклоподъемниках, солнечных крышах, блокираторах колес, стеклоочистителях, ремнях безопасности, распределителях, переключателях передач и широком диапазоне BLDC.

Infineon особо рекомендует биполярные защелки TLE4961 и датчики TLE4968 из нового семейства переключателей для переключения бесколлекторных двигателей. Данные переключатели компания впервые представила еще в 2012 году, вместе с инновационными ГМР-энкодерами для непосредственного переключения BLDC в качестве более современной альтернативы.

Несмотря на наличие более инновационных предложений, многие приводы, которые требуют традиционного поблочного переключения, выиграют от применения семейства переключателей Холла TLE496x в энергосбережении, точности и компактном дизайне. При потреблении тока в 1,6 мА датчики TLE496x могут сокращать потребление энергии до 50 % в сравнении со сходными продуктами, представленными на рынке.

ИС датчиков обеспечивают высокие уровни чувствительности и стабильности в отношении магнитных точек переключения ($V_{op} = \pm 1$ и ± 2 мТл) и экстремально устойчивы к механическим напряжениям благодаря интегрированной компенсации ошибок. Малый магнитный гистерезис семейства TLE496x допускает высокую точность переключения, а интегрированные схемы компенсируют магнитный дрейф и обеспечивают стабильность характеристик при изменении температуры и в течение срока службы. Джиттер на типичных скоростях вращения составляет порядка 0,35 мкс.

Методы активного переключения элемента Холла компенсируют смещения сигнала и влияние механических напряжений на нем.

Биполярная защелка MLX92212LSE-AAA с низким гистерезисом и униполярный переключатель с высоким гистерезисом MLX92212LSE-ABA оптимизированы для работы во встроенных системах на напряжении 2,5–5,5 В в паре со многими маломощными микроконтроллерами. И датчик, и специфицированный микроконтроллер могут использовать ту же самую шину питания. Выходы датчика с открытым коллектором позволяют простую соединяемость с логикой TTL/CMOS. Новые датчики Холла демонстрируют минимальный дрейф точек переключения в рабочем температурном диапазоне (до +150 °C) и могут противостоять электростатическому разряду до 8 кВ.

Биполярный ключ MLX92212LSE-AAA разработан для использования с многополюсными кольцевыми магнитами или переменными магнитными полями и рекомендован для переключения BLDC, измерения скорости, магнитных энкодеров. Типичные автомобильные применения включают контроль подъема окна, автоматические двери/системы люка и автоматическое позиционирование электрически (электронно) управляемого сиденья.

Униполярный ключ MLX92212LSE-ABA позволяет использовать универсальные/слабые магниты или большие воздушные зазоры и рекомендован для простых датчиков близости магнитного источника, блокировки крышек/люков или датчиков, прерываемых ферромагнитным ротором, а также используемых при определении точного положения для переключения и таймирования (синхронизации).

Оба новых ключа MLX92212 используют усилители, стабилизируемые переключением, вместе с переключаемыми конденсаторами для подавления смещения на элементах Холла и усилителях. Технология CMOS, положенная в основу данных цифровых устройств, характеризуется снижением потребления тока и размера кристалла (важный фактор для сведения к минимуму эффекта механического напряжения). Сочетание всех факторов приводит к более стабильным магнитным характеристикам и допускает большую точность модулей датчиков.

Первый программируемый цифровой ключ Melexis

Позже в 2013 году Melexis ввела еще один, но программируемый цифровой датчик Холла с улучшенными функциональностью и характеристиками. MLX92232 характеризуется памятью EEPROM, допускающей перепрограммирование магнитных переключающих порогов с гистерезисом. Датчик может легко программироваться для соответствия любой спецификации ключа или защелки, что имеет целью непосредственное замещение датчиков Холла предшествующего поколения или от конкурентов.

MLX92232 является первым датчиком поля в семействе устройств высокой точности, программируемых клиентом. Гибкие возможности программирования с использованием технологии Melexis PTC (программирование через разъем) допускают включение стадии калибровки готовых модулей в конце производственной линии. Метод программирования позволяет компенсировать механосборочные допуски, вариации материала и магнита от компонента к компоненту.

Программируемый переключатель гибко адаптируем для различных применений и рабочих условий, что в общем виде проиллюстрировано его использованием без дополнительных компонентов и запаивания на плате (рисунок 3 а).

Программируемая архитектура допускает высокую точность переключающих порогов, датчик также интегрирует запрограммированные при производстве параметры термокомпенсации. Все это упрощает производство прецизионных, температурно-стабильных сенсорных модулей с использованием магнитных материалов низкой стоимости без сложных, дорогих температурных испытаний.

Датчик допускает рабочее напряжение 2,7–24 В и может работать в диапазоне рабочих температур –40...+150°C. Контролируемый предел выходного тока, блокировка пониженного напряжения и температурный выключатель обеспечивают надежность, снижая общую стоимость необходимых материалов (рисунок 3 б).

Способность работы MLX92232 на низком напряжении выгодно отличает его от других решений на рынке переключателей на основе эффекта Холла, допуская интерфейс с микроконтроллерами и другими цифровыми ИС на шине питания от напряжения <3 В.

Это повышает универсальность датчика и позволяет ему быть включенным в системные конструкции, для которых нет альтернативных решений.

Встроенная функция защиты от обратного напряжения означает отсутствие необходимости для включения последовательного резистора или диода на линии питания, так, что даже удаленные датчики могут быть специфицированы для работы на низком напряжении вплоть до 2,7 В, будучи устойчивыми к обратному напряжению.

Среди целевых применений MLX92232 – переключение бесколлекторных двигателей постоянного тока, системы позиционирования сиденья, датчики сцепления и датчики стоп-огней (рисунок 3 в).

Программируемые переключатели появились намного позже, чем программируемые в EEPROM линейные датчики Холла, пионером по выпуску которых стала компания Micronas. Программируемые линейные датчики Холла после появления целого поколения 3D-энкодеров уже нельзя отнести к инновациям. Вероятно, тот же вывод можно сделать и в отношении программируемых ключей. Данная разработка является инновационной в рамках круга разработок компании Melexis, а для клиентов, выбор которых благодаря данному предложению еще расширился, могут быть интересны опции – например, работа на низком напряжении.

Недорогие автомобильные компоненты для типичных задач от Allegro Microsystems: программируемый ключ и двухканальный энкодер

В основном, предложения датчиков Холла от Allegro представляют собой, по существу, новые версии прежних разработок, адаптированные под динамически изменяющийся спрос на подобные микросхемы в автомобильном сегменте [5]. Обновления последнего времени от Allegro включают простые ключи и защелки, стандартные линейные датчики, обычные (не 3D) энкодеры и датчики тока.

Устройство A1128, выпущенное в 2012 году, представляет собой новый программируемый униполярный переключатель Холла, разработанный для высокотемпературных применений. Датчик использует метод переключаемой стабилизации

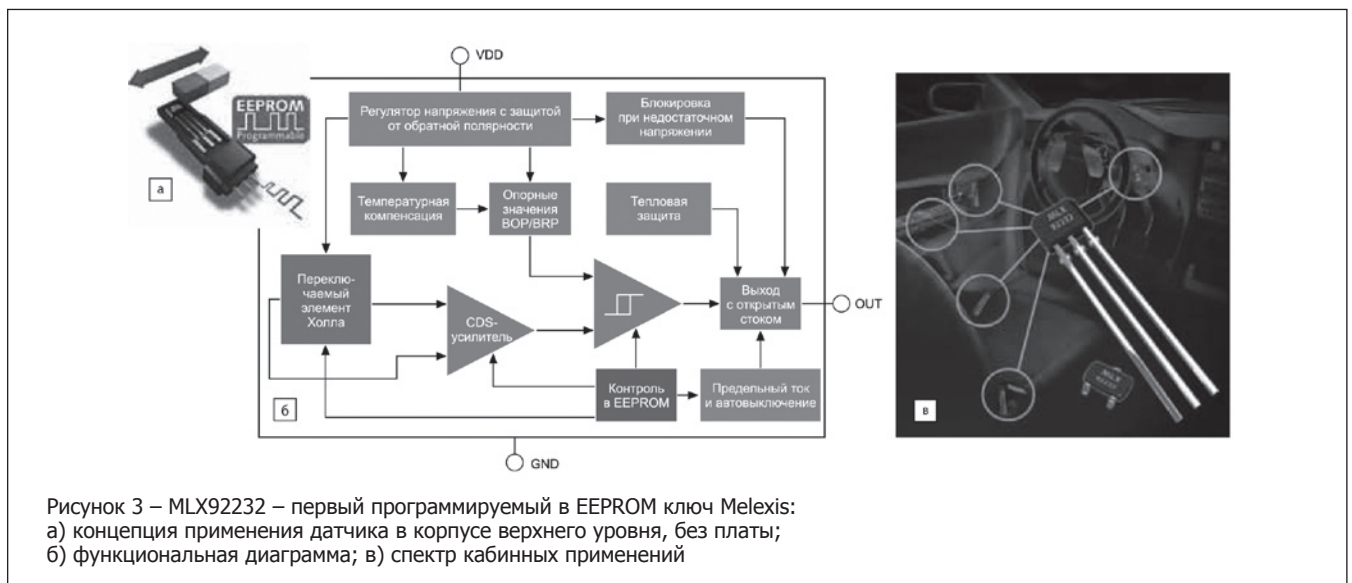


Рисунок 3 – MLX92232 – первый программируемый в EEPROM ключ Melexis: а) концепция применения датчика в корпусе верхнего уровня, без платы; б) функциональная диаграмма; в) спектр кабинных применений

и передовые алгоритмы программирования точек переключения при фиксированном гистерезисе, что позволяет упростить конечную клиентскую сборку. Характеризуя данное передовое предложение новых программируемых датчиков от Allegro, необходимо отметить наличие набора частных преимущественных признаков, включая расширенные допуски механического размещения в конечном производственном окружении, встроенное ВЧ-тактирование, уменьшение смещения и температурного влияния на точность датчика.

Теперь в линейке Allegro уже пять программируемых униполярных ключей, а всего – примерно по 20 униполярных и биполярных одноэлементных ключей.

Двухэлементные переключатели представляют собой микросхемы с двумя независимыми выходами элементов Холла. Они могут использоваться как датчики положения (инкрементальные энкодеры), датчики скорости (частоты вращения) и направления вращения, как правило, магнитного многополюсного ротора.

A1233 Allegro (рисунок 4) – это еще одна двухканальная ИС Холла, представляющая собой обычный энкодер для контроля скорости и направления вращения многополюсного магнитного ротора с высокочувствительными и стабильными точками переключения в автомобильном и промышленном температурном диапазоне. На данный момент, в семействе двухэлементных переключателей Allegro представлено три микросхемы:

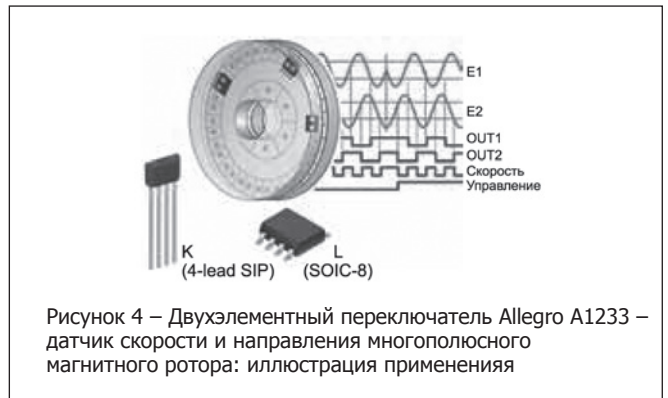


Рисунок 4 – Двухэлементный переключатель Allegro A1233 – датчик скорости и направления многополюсного магнитного ротора: иллюстрация применения

АКМ распространены в Японии, а теперь, с получением сертификации TS, имеют глобальные перспективы применения в различных сферах.

В рассматриваемую категорию входит широкая линейка бесконтактных автомобильных ключей. АКМ поставляет ИС цифровых датчиков положения, которые требуют меньше внешних компонентов. Серия АК87xx представляет собой однокристалльное решение для детектирования направления и счета импульсов магнитного ротора без внимания к его намагниченности или числа пар полюсов (рисунок 5). Эти однокристалльные энкодеры обеспечивают недорогую сборку.

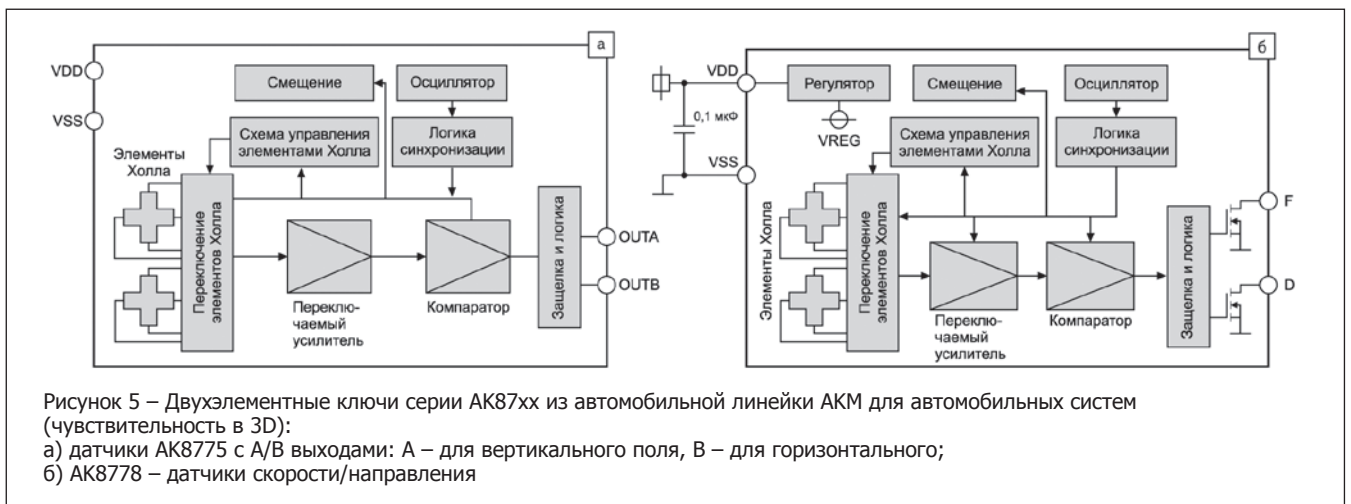


Рисунок 5 – Двухэлементные ключи серии АК87xx из автомобильной линейки АКМ для автомобильных систем (чувствительность в 3D):

а) датчики АК8775 с А/В выходами: А – для вертикального поля, В – для горизонтального;
 б) АК8778 – датчики скорости/направления

- А1230 — ключ с двухканальным квадратурным А/В выходом;
- А1233 — датчик скорости и направления;
- А3423 — датчик скорости и направления, подлежащий замещению А1233.

Таким образом, в линейке ключей Allegro можно наблюдать только незначительные обновления, но это все еще не повлияло на прочное положение данного производителя под номером два в рейтинге ведущих поставщиков.

Двухэлементные ключи из линейки АКМ для автомобильных систем: чувствительность в 3D

Asahi Kasei Microdevices с середины 90-х годов поставляет для автомобильных клиентов CMOS-микросхемы и датчики Холла, демонстрируя для них все более высокие уровни интеграции. Решения на основе автомобильных микросхем

АКМ акцентирует внимание на чувствительности своих двухэлементных ключей одновременно в вертикальном и горизонтальном направлении. Например, ИС АК8775 (рисунок 5 а) представляет собой двухэлементную защелку, чувствительную к полю, параллельному и перпендикулярному маркированной стороне корпуса, и рекомендована для использования в системах углового детектирования в качестве инкрементальных энкодеров. Другое назначение подобных микросхем – применение в качестве датчиков скорости (АК8777, АК8778 (рисунок 5 б)).

АК7401 – еще один пример автомобильного датчика АКМ с автомобильной квалификацией, который определяет угловое положение магнитного поля, параллельного поверхности микросхемы.

Продолжение в следующем номере

SAP ERP ПОДДЕРЖИТ БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ «ФЭК» – ОДНОГО ИЗ КРУПНЕЙШИХ ПОСТАВЩИКОВ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И СТРАН СНГ

Компания SAP СНГ, один из лидеров рынка корпоративных приложений, и компания «ФЭК», крупнейший белорусский поставщик продукции для разработки, производства и ремонта промышленной, автомобильной и бытовой электроники промышленным предприятиям в Республике Беларусь и странах СНГ, объявляют о старте проекта по внедрению комплексного решения на базе SAP ERP, включающего в себя также функциональности для управления отношениями с клиентами (SAP CRM).

Компания «ФЭК» на протяжении 21 года поставляет клиентам в Республике Беларусь и странах СНГ более 300 тысяч наименований электронных компонентов для устройств связи, бытовой техники, автоэлектроники, встроенных систем автоматического управления, сбора и обработки данных, и другого высокоточного оборудования. В рамках крупных контрактов на поставку электронной продукции для промышленной, автомобильной и бытовой электроники «ФЭК» сотрудничает с крупнейшими промышленными предприятиями Республики Беларусь, РФ и стран СНГ. Помимо поставок, в спектр услуг «ФЭК» входит консультационная поддержка заказчиков. В компании создан уникальный по своей номенклатуре склад компонентов зарубежного производства. До недавнего времени бизнес-процессы компании поддерживались информационной системой собственной разработки, созданной 4 года назад. Однако ее возможности перестали отвечать требованиям динамично развивающегося бизнеса компании, в результате чего было принято решение о переходе на SAP ERP.

«SAP ERP – это многолетний опыт SAP в автоматизации бизнес-процессов крупнейших глобальных компаний, на уровень которых хотели бы равняться и мы. От проекта внедрения мы ожидаем, прежде всего, роста эффективности бизнеса, способности компании адаптироваться к быстро меняющимся требованиям рынка, повышения управляемости, отдачи на вложенный капитал и повышения качества обслуживания клиентов. Нестабильная экономическая ситуация требует использования надежных, зарекомендовавших себя инструментов управления, и SAP ERP дает нам такую возможность», – отметил Николай Фомин, владелец и генеральный директор компании «ФЭК».

В числе особо важных для заказчика преимуществ SAP, как вендора, – наличие собственного представительства и многолетнего опыта работы в Республике Беларусь, глубокое понимание отраслевой специфики дистрибуции.

«Мы рады, что компании среднего бизнеса Республики Беларусь доверяют нам поддержку своих бизнес-процессов. Решение SAP ERP, вобравшее в себя лучший опыт по автоматизации в оптовой торговле и учитывающее специфику белорусского рынка, станет

новым конкурентным преимуществом компании ФЭК и обеспечит ее руководству новый уровень управляемости и прозрачности», – считает Андрей Горяинов, директор представительства SAP в Республике Беларусь.

Результатами проекта должны стать новые конкурентные преимущества компании «ФЭК»: оптимизация цен для конечного клиента, предоставление заказчику возможности самостоятельно отслеживать статусы выполнения своих заявок, снижение сроков поставки конечному клиенту. С технической точки зрения, успеху проекта будет способствовать интеграция с системами заказчика как возможность оптимизировать сквозные процессы планирования, закупок, поставок.

Информация о компании SAP

Один из мировых лидеров на рынке корпоративных приложений, компания SAP помогает организациям любого размера и специализации эффективнее управлять своим бизнесом. Будь то вспомогательные службы или совет директоров, склад или магазин, настольные или мобильные приложения – решения SAP позволяют повысить эффективность взаимодействия отдельных сотрудников и организаций в целом, сформировать глубокое понимание бизнеса и создать конкурентное преимущество. Решениями и сервисами SAP пользуются более 232 000 клиентов (включая клиентов SuccessFactors), передовые технологии компании гарантируют высокую рентабельность, способствуют непрерывной адаптации и устойчивому росту.

В 1992 году был открыт офис SAP AG в Москве. Также за прошедшие 20 лет открылись представительства SAP в Екатеринбурге, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Ростове-на-Дону, Алматы, Минске и Киеве, а численность сотрудников превысила 1050 человек. SAP: коротко о главном! http://www.twitter.com/sap_cis

О компании «ФЭК»

Начав свою деятельность в 1993 году с поставок деталей для сервисного обслуживания бытовой техники, за прошедшее время компания «ФЭК» сумела занять лидирующие позиции на рынке электронных компонентов и сегодня осуществляет крупные плановые поставки продукции для разработки, производства и ремонта промышленной, автомобильной и бытовой электроники промышленным предприятиям в Республике Беларусь и странах СНГ. «ФЭК» сегодня – крупнейший поставщик электронных компонентов на территории Республики Беларусь.

Продукция, поставляемая «ФЭК», пользуется широким спросом у различных потребителей. Мы сотрудничаем с такими крупнейшими заводами Беларуси, как «МАЗ», «БелАЗ», «МТЗ», «Белкоммунмаш», «Гомсельмаш», «МЗКТ», «Атлант», «МПОВТ», «Минский завод «Калибр», «Мостовская сельхозтехника», «Клецкий мехзавод», «Щучинский завод «Автопровод», «Виток», «Корэкс», «Павеж», «Масиспром», «Измеритель», «Экран», «Витебский завод электроизмерительных приборов», «Белоруснефть».

Более подробная информация о компании: <http://www.fek.by/ru/>

МОБИЛЬНЫЕ ТЕПЛОВИЗОРЫ FLUKE: ПРОСТО И БЕЗ ПРОСТОЕВ

В 2014 году компания Fluke, один из лидеров на рынке контрольно-измерительных приборов, представила новинку – тепловизор с автоматической фокусировкой LaserSharp и возможностью беспроводного подключения. Новый модельный ряд Ti200, Ti300, Ti400 обеспечивает высокую производительность работы специалистов в полевых условиях и предоставляет максимальную точность измерений.



Тепловизионными исследованиями занимаются работники ЖКХ, специалисты по обслуживанию и реконструкции зданий, техники, осуществляющие монтаж и обслуживание промышленного оборудования, а также автомобильные компании, предприятия энергетической и нефтегазовой сферы. Подобные обследования выявляют дефекты здания, зоны, где происходит теплопотеря и имеются проблемы с вентиляцией и отоплением.

Результаты обследования изображаются в виде цветной картинки. «Горячие зоны» указывают на перегрев поверхности или оборудования, а также на отсутствие изоляционных панелей в воздушных каналах отопления. «Холодные зоны» могут указывать на недостаточную теплоизоляцию, наличие влаги, неисправности в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Приборы Fluke компактны и просты в использовании: все что нужно – это навести прибор на объект, сфокусироваться на нем и сделать снимок. С автоматической фокусировкой LaserSharp тепловизор всегда выдает идеально сфокусированное тепловое изображение, а благодаря запатентованной технологии IR-Fusion совмещает визуальное и инфракрасное изображения в режиме «кадр в кадре». В результате, специалисты могут легко обнаружить и диагностировать проблемные области.

Тепловизоры могут измерять температуры в широком диапазоне от -20 до +650 градусов Цельсия. Верхний предел температур для отдельных моделей составляет 1200 граду-

сов. Высокотемпературные измерения проводятся, например, для проверки инженерных систем в условиях металлургического цеха. Экстремальным условиям отвечает и наличие сенсорной и кнопочной навигации: если специалист вынужден носить спецодежду и ему неудобно пользоваться сенсорным экраном, на помощь придут привычные кнопки.

Тепловизоры Ti200, Ti300, Ti400 поддерживают Bluetooth и Wi-Fi: данные переносятся на портативные устройства (iPhone, iPad, персональный компьютер), где с помощью специального мобильного приложения SmartView Mobile можно оперативно подготовить аналитический отчет по результатам обследования. Кроме того, приборы поддерживают потоковое видео, оснащены функциями GPS-позиционирования и записи, а также системой аннотирования термографических изображений.

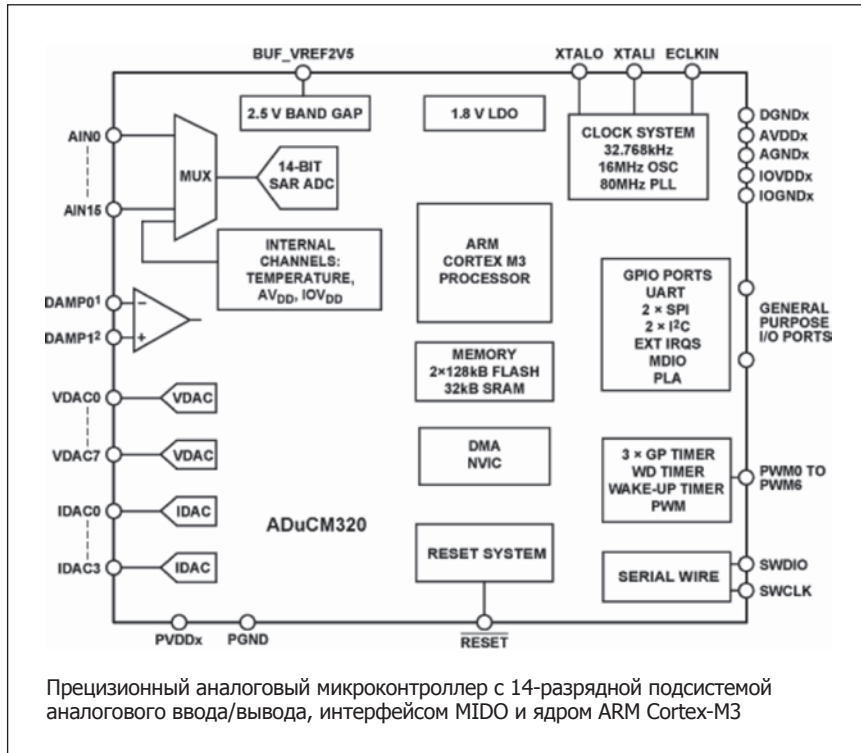


Если речь идет о тепловизионном обследовании домов, то своевременная диагностика способна не только сэкономить средства жилищно-строительных организаций, но и не допустить причинение вреда здоровью жильцов от повышенной влажности и образования грибка. Использование тепловизора в проверке промышленного оборудования необходимо для обнаружения и предотвращения потенциально опасных неисправностей дорогостоящих машин без отключения самого оборудования и, соответственно, без простоев в работе.



Профессиональные сетевые системы

АНАЛОГОВЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ

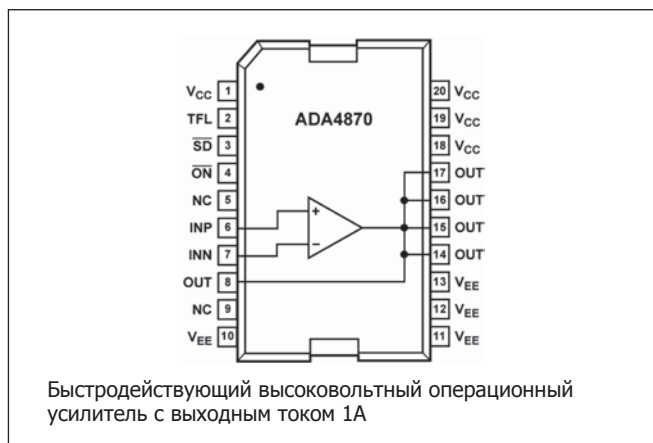


ADuCM320 сочетает в себе высокопроизводительные аналоговые и цифровые периферийные модули, процессор ARM Cortex-M3 с тактовой частотой 80 МГц и флэш-память. Интегрированный 14-разрядный АЦП с быстродействием 1 MSPS принимает на вход до шестнадцати несимметричных или дифференциальных входных сигналов и способен измерять напряжение на выходах IDAC, температуру кристалла и напряжение питания. Пользователь может запрограммировать последовательность, в которой каналы будут автоматически подключаться к преобразователю без последующего программного вмешательства. Компонент содержит до восьми ЦАП с выходом напряжения в диа-

пазоне от 0 до 2,5 В или от 0 до AVDD, которые сохраняют состояние выходного напряжения при программном сбросе или сбросе от сторожевого таймера, и четыре ЦАП с выходом тока в диапазоне от 0 мА до 150 мА. Набор аналоговых периферийных модулей также включает в себя компаратор напряжения и источник опорного напряжения на запрещенной зоне с малым дрейфом. Малопотребляющее ядро процессора ARM Cortex-M3 с 32-разрядной архитектурой RISC обеспечивает пиковую производительность 100 MIPS. Два блока флэш-памяти объемом 128 Кбайт поддерживают одновременное выполнение команд и запись/стирание, что делает компонент идеальным выбором для применения в оптических сетях 10G, 40G и 100G. Компонент работает с интегрированным генератором или внешним кварцевым резонатором и схемой ФАПЧ. Частота тактового сигнала, формируемого схемой ФАПЧ, может быть поделена в целое число раз для уменьшения потребляемого тока. Интерфейс MDIO может работать с частотой до 4 МГц.

Набор интегрированных цифровых периферийных модулей включает в себя память SRAM объемом 32 Кбайт, интерфейс UART, два порта I2C, два порта SPI, порт ввода/вывода общего назначения (GPIO), 32-элементную программируемую логическую матрицу (PLA), три универсальных таймера, таймер пробуждения и 16-разрядный генератор ШИМ с семью выходными каналами. Обширная экосистема поддержки процессора упрощает разработку продуктов. ADuCM320 работает от одного напряжения питания в диапазоне от 2,9 В до 3,6 В. Компонент выпускается в корпусе CSP-BGA с 96 шариковыми контактами, рабочий температурный диапазон составляет от -40°C до +85°C.

УСИЛИТЕЛИ И КОМПАРАТОРЫ



Стабильный при единичном усилении, быстродействующий усилитель с обратной связью по току ADA4870 способен обеспечивать выходной ток до 1 А и поддерживать скорость нарастания 2500 В/мкс при работе от напряжения питания 40 В. Инновационная архитектура компонента позволяет поддерживать высокую выходную мощность и высокое быстродействие в схемах с низкоимпедансной нагрузкой, что делает его идеальным выбором для работы с высоковольтными силовыми полевыми транзисторами, пьезодатчиками, pin-диодами и панелями ПЗС. ADA4870 работает с напряжениями питания от ±5 В до ±20 В, потребляя 32,5 мА в нормальном режиме и 0,75 мА в режиме отключения. Компонент выпускается в 20-выводном корпусе SOIC, рабочий температурный диапазон составляет от -40°C до +85°C.

Альфачип ЛТД

НОВОЕ СЕМЕЙСТВО USB POWER DELIVERY КОНТРОЛЛЕРОВ ОТ MICROCHIP

Ключевые особенности:

- микросхема UPD100X с функциями управления питанием и заряда аккумулятора промышленного стандарта;
- позволяет подавать питание мощностью до 100 Вт по USB во время обмена данными;
- каждая микросхема семейства поддерживает 30 UPD профилей;
- интегрированные четыре банка однократно программируемой памяти позволяют хранить конфигурацию без использования внешних микросхем памяти.

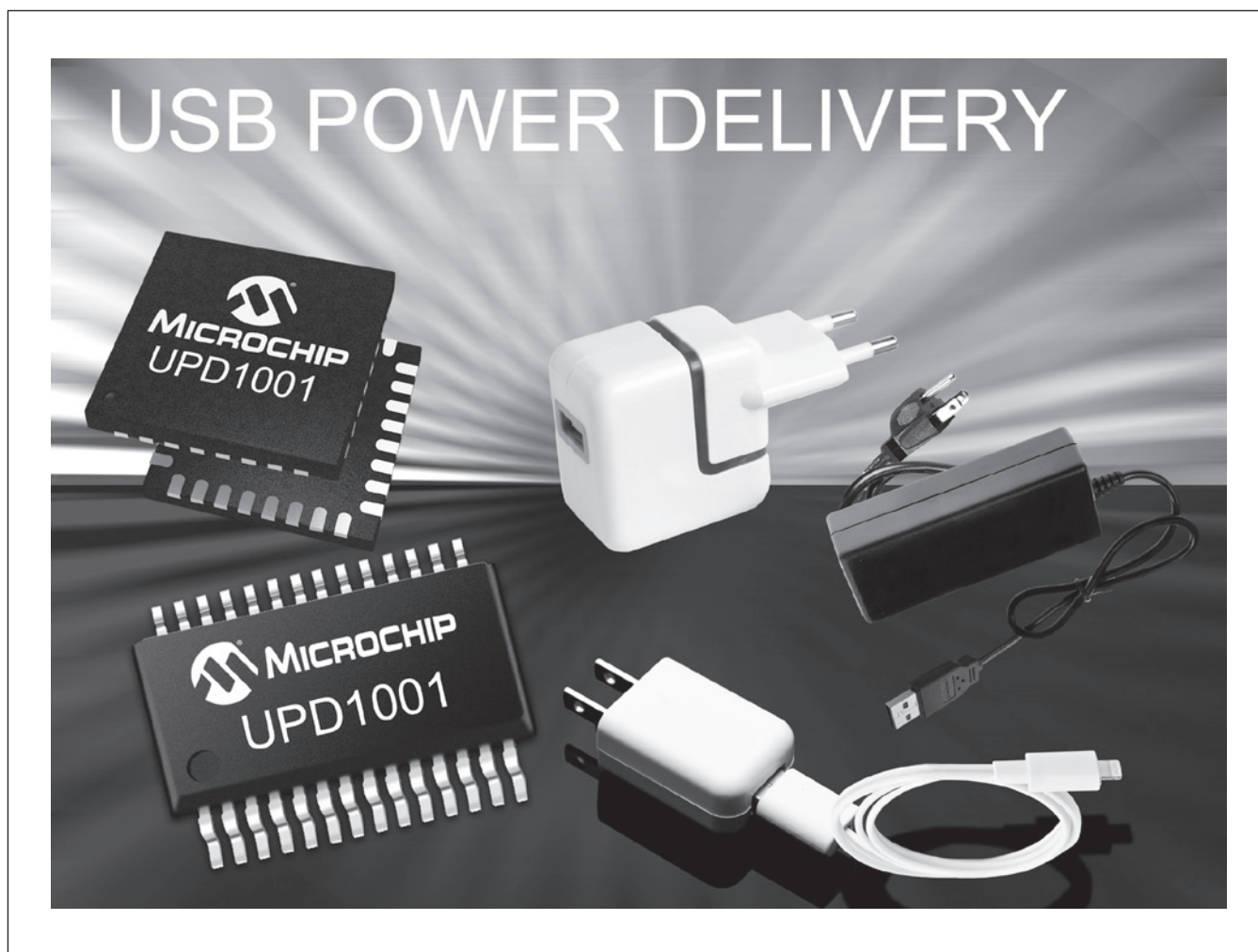
Компания Microchip представила новое семейство USB Power Delivery (UPD) контроллеров – UPD100X с функцией управления питанием и зарядом аккумулятора в соответствии с промышленными стандартами. Такие микросхемы позволяют использовать USB шину для передачи данных и питания устройства мощностью до 100 Вт одновременно. Мощностной ресурс в 100 Вт разработчики могут использовать для быстрой и динамичной зарядки аккумулятора или питания системы.

UPD1001 – гибкое решение, поддерживающее пять UPD профилей питания стандарта USB-IF, а также 25 UPD-совместимых профиля дополнительно, таким образом? одна микросхема поддерживает 30 профилей питания. Такой широкий выбор возможных конфигураций позволяет инженерам подобрать оптимальный профиль питания в соответствии со спецификой требований их приложения. Благодаря двум задающим выводам процесс конфигурации сильно упрощается, а интегрированные четыре банка one-time programmable памяти позволяют персонализировать систему без внешней памяти.

Семейство UPD100X предназначено для многих устройств: ноутбуки и промышленные компьютеры, мобильные телефоны, планшеты, принтеры, зарядные устройства и пр. аксессуары.

Для изучения UPD1001 Microchip выпустила отладочную плату UPD1001 Evaluation Kit (EVB-UPD1001), ее можно приобрести уже сегодня.

Микросхемы можно заказать в качестве образцов в QFN32 и TSSOP28 корпусах.



КОМПЛЕКС ВОДОПОДГОТОВКИ, ПРИГОТОВЛЕНИЯ И РОЗЛИВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

(Данный комплекс является готовым проектом для новых предприятий, а также является основой для модернизации действующих предприятий, успешно работает на предприятии ОАО «Амазон Колорит», торговый бренд «202»).

Комплекс выполняет автоматическую подготовку воды, приготовление воды, розлив воды (реализация различных рецептов воды), дезинфекцию емкостей.

Практически все артезианские воды в Беларуси имеют повышенное содержание железа (норма – 0,3 мг/л). Поэтому на участке водоподготовки, работающем в автоматическом режиме, удаляются излишки железа из воды с помощью установок обезжелезивания воды. Вода проходит также процесс умягчения (удаление излишней жесткости – установка умягчения воды) и на системах мембранной очистки очищается от вредных примесей – обратнoосмотическая установка.

Пройдя очистку, вода наполняется в накопительную емкость (в 1 из 10 объемом 13 500 л) с добавлением минеральных добавок, содержащих йод, фтор, селен. Дополнительно в емкость подается заданное количество воды после установки умягчения или заданное количество воды установки обезжелезивания (для каждой воды – своя рецептура). При завершении добавления добавок происходит перемешивание воды в емкости, и производится проверка наполненных емкостей химической лабораторией.

После одобрения качества воды лабораторией, вода поступает в емкость озонирования (объем – 2000 л), где происходит насыщение воды озоном. Проходя емкость озонирования, вода поступает на разливочную машину.

Раз в неделю производится дезинфекция емкостей. В емкости с водой для дезинфекции подается концентрат дезинфицирующего раствора и осуществляется циркуляция дезинфицирующего состава определенное время. По окончании дезинфекции производится ополаскивание емкостей «умягченной» водой.

Комплекс включает в себя: емкостной парк (10 емкостей), установки обезжелезивания воды, установки умягчения воды и обратнoосмотическую установку, автоматизированную систему управления.

В автоматизированную систему управления входят:

- шкаф управления (может быть выполнен на базе ПЛК фирм FATEK, VIPA, SIEMENS);

- пульта управления (включают в себя коммутационное и сигнальное оборудования производства фирмы WEG);

- пневмооборудование (клапана фирмы Kieselmann под управлением пневматики фирмы FESTO);

- насосы (стабильная работа насосов осуществляется с помощью современных частотных преобразователей производства фирмы YASKAWA);

- датчики (датчики фирм SICK, DATALOGIC позволяют точно и надежно обеспечить работу системы);

- персональный компьютер и программное обеспечение (персональный настольный компьютер под управлением операционной системой Windows, программный пакет WinCC).

Управление технологическим процессом осуществляется с помощью SCADA системы, рисунок 1.

SCADA система позволяет осуществлять удаленное управление технологическим процессом и исполнительными

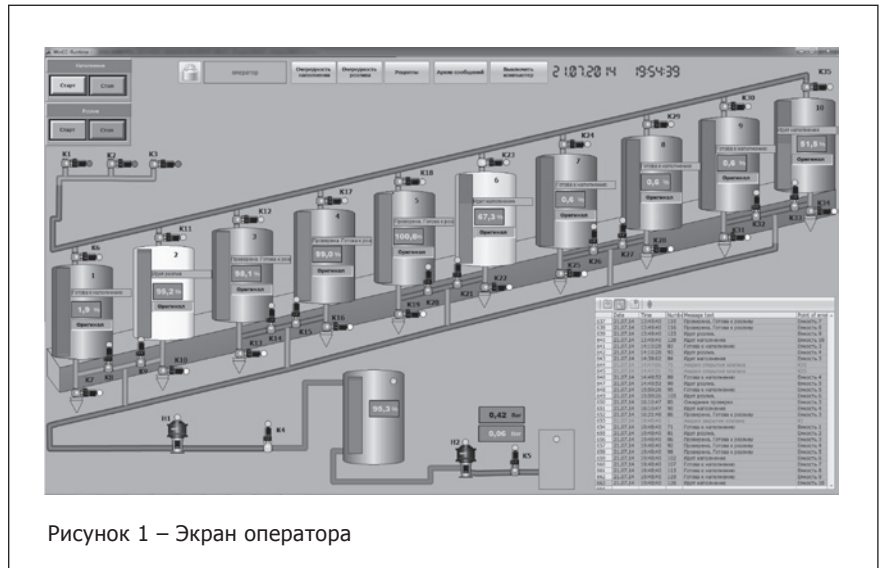


Рисунок 1 – Экран оператора



Рисунок 2 – Окно задания рецепта воды для каждой емкости

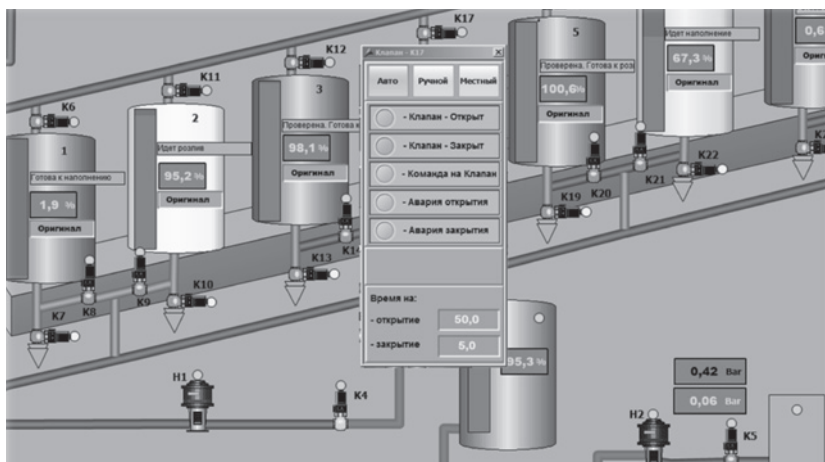


Рисунок 3 – Окно состояния и управления клапаном

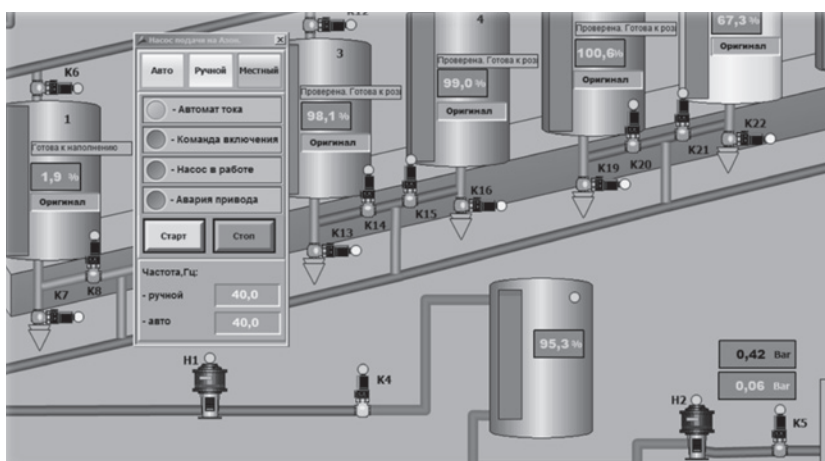


Рисунок 4 – Окно управления насосом



Рисунок 5 – Очередь наполнения и розлива емкостей

механизмами, что не требует присутствия большого количества персонала, а лишь одного оператора, наблюдающего за ходом процесса.

Благодаря использованию современного оборудования обеспечивается:

- точное приготовление рецепта воды;
- одновременное выполнение различных рецептов воды в нескольких емкостях, рисунок 2;
- контроль всех параметров;
- самодиагностика работоспособности комплекса в целом и отдельных его составляющих;
- обратная связь с оператором и сигнализация;
- возможность удаленного управления либо контроля процесса работы оборудования и техпроцесса.

На дисплей компьютера оператора выводится информация:

- об уровне воды в емкостях (визуальная шкала наполнения и наполнение в процентах);
 - о состоянии емкостей (наполнение емкости, розлив емкости, проверка емкости, дезинфекция емкости, готовность к наполнению, остановка процесса);
 - о времени начала и окончания цикла;
 - о состоянии клапанов (готовность, авария клапана, клапан открыт, клапан закрыт), рисунок 3;
 - о состоянии насосов (насос включен, насос выключен, а также с какой мощностью работают насосы в процентах), рисунок 4;
 - об уровне воды в емкости озонирования;
 - о последовательности емкостей для наполнения;
 - о возникновении аварии;
 - о движении воды в трубопроводе;
 - о рецепте приготовления воды в каждой емкости;
 - о завершении проверки качества воды лабораторией.
- Основные функции и возможности системы по водоподготовке:
- возможность внесения изменений в процесс работы емкостей (наполнение емкости, розлив емкости, проверка емкости, дезинфекция емкости, готовность к наполнению, остановка процесса);

- возможность добавления определенного количества (количество определяет оператор) воды после установок умягчения и обезжелезивания в емкости для приготовления;
- возможность перемешивания воды в определенной емкости;
- добавление минеральной добавки;
- точный контроль параметров технологического процесса, состояния исполнительных механизмов;
- возможность управления процессом в автоматическом, ручном режиме и местном режиме;
- функция пуска и останова (аварийного останова)

- всей системы водоподготовки;
- возможность указания поочередности наполнения и розлива емкостей, рисунок 5;
- возможность управления технологическим процессом различными операторами с определенными правами доступа к управлению;
- формирование отчета (электронного и бумажного) о времени работы емкостей (наполнение емкости, розлив емкости, проверка емкости, дезинфекция емкости, готовность к наполнению, остановка процесса).

Фотоотчет по проекту



Рисунок 6 – Первый этап. Запуск пяти первых емкостей

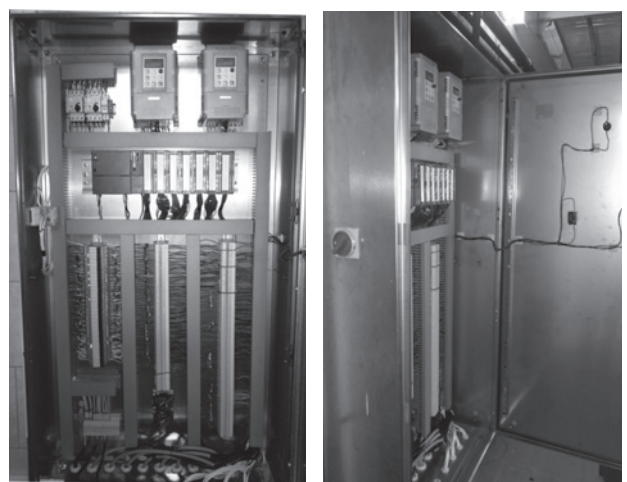


Рисунок 7 – Шкаф управления



Рисунок 8 – Вид емкостного парка сверху

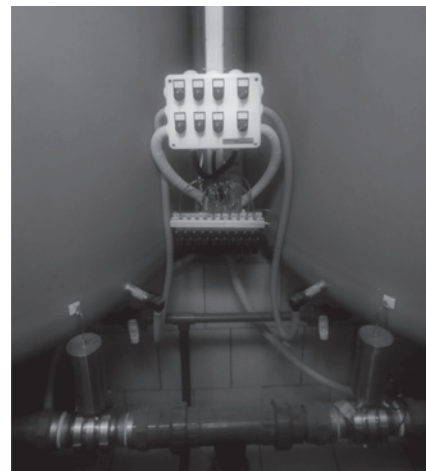


Рисунок 9 – Пульт управления двумя емкостями

НАИМЕНОВАНИЕ ТОВАРА	ЦЕНА	НАЗВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ	АДРЕС, ТЕЛЕФОН
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ			
Индукционные лампы Saturn 40, 80, 120, 150, 290, 300W. В комплекте электронный балласт	80-380 у.е.	ООО «ФЭК»	г. Минск. Тел./ф.: 200-34-23, тел.: 200-04-96. E-mail: lighting@fek.by
Индукционные лампы Smart Dragon 40, 80, 120, 150, 200, 300W.	80-380 у.е.		
Дроссели, ЭПРА, ИЗУ, пусковые конденсаторы, патроны и ламподержатели для люминесцентных ламп	Договор	ООО «АльфаЛидер групп»	г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by
Мощные светодиоды (EMITTER, STAR), сборки и модули мощных светодиодов, линзы ARLIGHT	Договор	ООО «СветЛед решения»	г. Минск. Тел./ф.: 214-73-27, 214-73-55. E-mail: info@belaist.by www.belaist.by
Управление светом: RGB-контроллеры, усилители, диммеры и декодеры			
Источники тока AC/DC для мощных светодиодов (350/700/100-1400 mA) мощностью от 1W до 100W ARLIGHT			
Источники тока DC/DC для мощных светодиодов (вход 12-24V) ARLIGHT			
Источники напряжения AC/DC (5-12-24-48V/ от 5 до 300W) в металлическом кожухе, пластиковом, герметичном корпусе ARLIGHT, HAITAIK			
Светодиодные ленты, линейки открытые и герметичные, ленты бокового свечения, светодиоды выводные ARLIGHT			
Светодиодные лампы E27, E14, GU 5.3, GU 10 и др.			
Светодиодные светильники, прожектора, алюминиевый профиль для светодиодных изделий			
КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ, ГЕНЕРАТОРЫ, ФИЛЬТРЫ, ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ			
Любые кварцевые резонаторы, генераторы, фильтры (отечественные и импортные)	от 0,10 у.е.	УП «Алнар»	г. Минск. Тел./ф.: 209-69-97, тел. (029) 644-44-09. E-mail: alnar@alnar.net www.alnar.net
Кварцевые резонаторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	от 0,10 у.е.		
Кварцевые генераторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	от 0,50 у.е.		
Термокомпенсированные кварцевые генераторы	от 2,20 у.е.		
Резонаторы и фильтры на ПАВ			
Пьезокерамические резонаторы, фильтры, звонки, сирены	от 0,04 у.е.		
СПЕЦПРЕДЛОЖЕНИЕ			
Большой выбор электронных компонентов со склада и под заказ	Договор	ЧТУП «Чип электроникс»	г. Минск. Тел./ф.: 269-92-36. E-mail: chipelectronics@mail.ru www.chipelectronics.by
Широчайший выбор электронных компонентов (микросхемы, диоды, тиристоры, конденсаторы, резисторы, разъемы в ассортименте и др.)	Договор	ООО «АльфаЛидер групп»	г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by
Мультиметры, осциллографы, вольтметры, клещи, частотомеры, генераторы отечественные и АКИП, APPA, GW, LeCroy, Tektronix, Agilent	1-й поставщик	ООО «Приборостроительная компания»	г. Минск. Тел./ф.: 284-11-18, тел.: 284-11-16. E-mail: 4805@tut.by

ECOLIGHT

КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ, ИННОВАЦИИ

Компания «ЭКОЛАЙТ» — крупнейший производитель светодиодных светильников и ламп в России и СНГ.

ООО «Новый энергетический партнер» УНП 191454606

ECOLIGHT тщательно контролирует качество продукции (на производстве и в светотехнической лаборатории), осуществляет комплексную программу повышения энергоэффективности предприятий, обеспечивает высокую дисциплину поставок, проводит научные разработки.

Компания «ЭКОЛАЙТ» со своими партнерами в Беларуси представляет новейшие решения в области светодиодного освещения – это уличное и магистральное освещение, промышленное освещение, офисно-административное освещение, освещение в сфере ЖКХ.

Преимущества светильников ECOLIGHT:

- световая эффективность светильников достигла 100 лм/Вт;
- выгодное соотношение цена/качество на рынке светодиодного освещения и светильников;
- продуманная складская программа позволяет обеспечить нашим клиентам постоянное наличие востребованных моделей светильников в большом объеме;
- система крепления обеспечивает простоту монтажа светильников;
- наличие клеммной коробки (IP65) обеспечивает простоту подключения (для светильников серий EL-ДКУ, EL-ДБУ, прожекторов серии EL-ДО);
- качественные источники питания собственного производства;
- защита цепочки светодиодов диодами Зенера гарантирует бесперебойную работу светильника даже при перегорании любого из светодиодов;
- инновационное решение – клапан выравнивания давления (для светильников серий EL-ДКУ, EL-ДБУ, EL-ДО). Клапан предназначен для компенсации избыточного давления, обеспечивает вентиляцию внутреннего объема и защиту от образования конденсата с одновременным сохранением высокой степени защиты (IP), что существенно продлевает срок эксплуатации светильника.

Мы не продаем светильники – Мы продаем ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ!
Наш результат – Ваша экономия!

Представитель
компании «ЭКОЛАЙТ»
в Беларуси



220030, г. Минск,
пр-т Независимости,
д. 12, пом. 4-Н

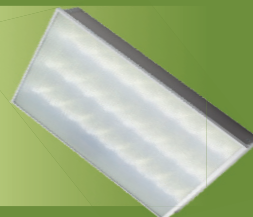
www.nep.by
www.nep.deal.by
e-mail: info@nep.by
тел./факс:
+375 17 327 19 36
тел:
+375 17 380-24-25

Готовые решения компании в области светодиодного освещения.
Уличное, магистральное освещение.
Светодиодные консольные светильники EL-ДКУ серии ECOWAY (мощность от 40 Вт до 210 Вт; КСС типа «Д», «Ш»)



Промышленное освещение.
Светодиодные светильники EL-ДБУ серии ECOPRO (мощность от 20 Вт до 180 Вт; КСС типа «Д», «Ш» и «Г»)

Офисно-административное освещение.
Светодиодные светильники EL-ДПО и EL-ДВО серии ECOSPACE (мощность 30 Вт, 40 Вт, 80 Вт)

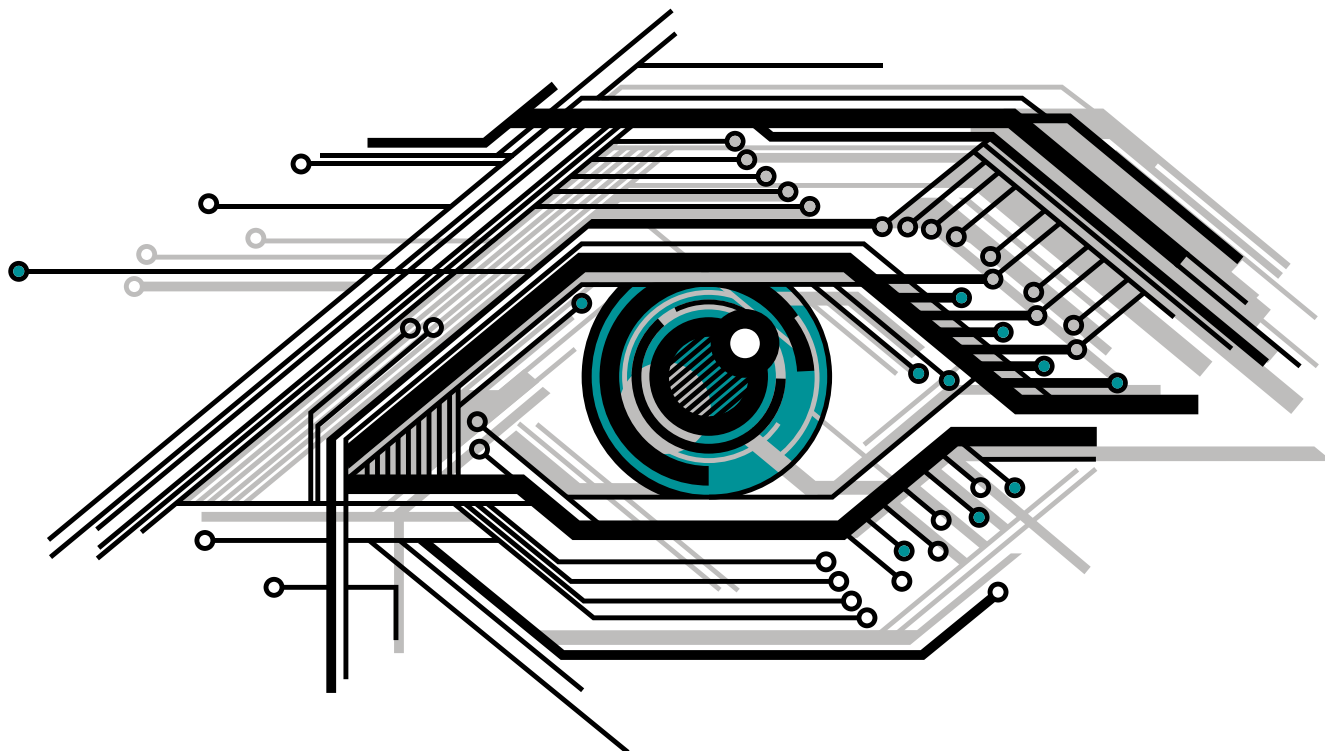


Освещение в сфере ЖКХ.
Светодиодные светильники EL-ДБО серии ECONOME (мощность 7-8 Вт)

Светодиодные прожекторы EL-ДО серии ECODESING (мощность от 20 Вт до 180 Вт; КСС тип «К» с углами фокусировки светового потока 8° и 14°)



Светодиодные лампы EL-ДЛ серии ECOLAMP (цоколь G13, E27)



- Светодиоды Cree и Philips Lumileds для систем освещения
- Сертифицированные GSM модули и модемы
- Электронные компоненты мировых производителей
- Помощь в проектировании систем освещения и передачи данных
- Производство электронных плат на современном оборудовании

г. Минск, ул. Плеханова, 72, офис 22
тел. +375 (17) 220 76 92
факс +375 (17) 248 88 12
chip@rainbow.by

www.rainbow.by
www.rtcs.ru
www.ibutton.ru
www.light.rtcs.ru
www.mbo.ru