

УДК 628.9

А.В. Аладов ¹, В.П. Валухов ², А.Л. Закгейм ¹,
А.Е. Черняков ¹, А.Ф. Цацульников ³

¹ Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН

² Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

³ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

ДИНАМИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА ДЛЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОСВЕЩЕНИЯ

Рассмотрены вопросы создания светодиодных источников света на принципе RGB-смешения, допускающих динамическое управление по спектру (цвету) излучения. Приведены результаты разработки конструкции и технологии изготовления энергоэффективных, динамически управляемых светодиодных источников освещения, которые обеспечивают оптимальную световую среду для жизнедеятельности человека.

СВЕТОДИОДЫ, СПЕКТРАЛЬНО-ЦВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, RGB-СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ, ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ ZigBee, КОНФИГУРАЦИЯ СЕТИ.

Введение

Светодиоды (СД) наилучшим образом удовлетворяют высоким требованиям, предъявляемым к современным источникам света (ИС), благодаря сочетанию целого ряда преимуществ. В первую очередь к ним относится их характеристика энергопотребления: световая отдача серийных приборов составляет около 150 лм/Вт, а лабораторных образцов – 300 лм/Вт [1, 2]; это позволяет, ввиду экономии электроэнергии, рассчитывать на значительное улучшение экологической обстановки. Не менее важна способность СД повышать качественные показатели освещения за счет возможности динамического управления спектрально-цветовыми параметрами (интеллектуальный свет на принципе RGB-смешения). Последнее преимущество особенно актуально в связи со следующими обстоятельствами:

люди проводят большую часть суток, включая дневное время, при искусственном освещении, что обусловлено расширя-

ющимся использованием безоконных производственных помещений;

использование белых СД на основе принципа цветосмешения (RGB) впервые в практике освещения позволяет реализовать динамичное управление спектром (цветом) излучения (так называемый «интеллектуальный» свет) с новыми возможностями влияния на биологические процессы в организме человека (животных, растений). Это обстоятельство позволяет обойти неблагоприятные особенности наиболее распространенных сейчас белых люминофорных СД, которые имеют в спектре испускания сильную голубую полосу с пиковой длиной волны $\lambda_{peak} \approx 450 - 460$ нм и дефицит излучения в красной области (630 – 750 нм);

появление светодиодных источников света с управляемыми характеристиками совпало по времени с обнаружением неизвестного ранее типа глазных рецепторов, синхронизирующих функционирование организма с состоянием световой среды – ка-

нал биологических часов [3, 4]. Это открывает широкие возможности использовать освещение как безмедикаментозный способ воздействия на психофизиологическое и эмоциональное состояния человека.

Качественные показатели генерируемого света, в первую очередь, характеризуются возможностью реализации широкого диапазона цветовых температур – (2700 – 6500) К, при обеспечении высоких значений индексов цветопередачи [5]. Общий индекс цветопередачи R_a должен быть не менее 95, а специальные индексы цветопередачи для насыщенных цветов $R_8 - R_{14}$ должны превышать значение 85. Другим важнейшим качеством освещения является управляемость, т. е. возможность изменения в процессе эксплуатации спектрально-цветовых параметров; это кардинально расширяет функциональные возможности источников света и меняет подходы к решению многих светотехнических задач. Общеизвестно, что наиболее интересные перспективы «интеллектуального» света связаны с медициной, особенно с хирургией, а также с агротехникой, музейным освещением, архитектурно-декоративной подсветкой. Кроме того, обнаружена возможность светового воздействия оказывать положительное влияние на психофизическое и общее физическое здоровье человека, то есть создавать оптимальную варьируемую эргономичную световую среду. К положительным свойствам СД следует также отнести отсутствие опасных ИК- и УФ-компонент излучения, электромагнитную совместимость, длительный ресурс с минимальными эксплуатационными расходами, миниатюрность, конструктивную гибкость, безвредную утилизацию СД, по сравнению с ртутьсодержащими лампами.

Технологии получения белого света

Вопросы оптимизации при смешении цветов для получения белого света с заданной цветовой температурой и приемлемым компромиссом в соотношении «световая отдача – индекс цветопередачи» применительно к СД исследовались в работах [6, 7]. Во всех вариантах комбинирования цветов оптимальное сочетание не должно исключать

глубокий зеленый диапазон 540 – 560 нм, пока труднодоступный для СД.

Для экспериментальной оценки возможностей синтеза белого света с помощью промышленно выпускаемых мульткристаллических (полихромных) СД, исследовалось несколько вариантов сложения: RGB, RGBA, $RGBW_c$ и $RGBW_n$, где обозначению R (красный цвет) соответствует спектральный диапазон 620 – 640 нм, G (зеленый) – 510 – 530 нм, B (синий) – 450 – 470 нм, A (желтый) – 590 – 595 нм, W_c и W_n – люминофорные СД холодного-белого ($T_c \approx 6500$ К) и нейтрально-белого ($T_c \approx 4000$ К) света. Анализ всех индексов передачи показывает, что трехцветная (RGB) версия на практике мало приемлема для получения полноценного белого света. Вполне удовлетворительные результаты обеспечивают четырехцветные версии RGBA и $RGBW$.

На основе имеющихся к настоящему времени теоретических и экспериментальных результатов можно сделать заключение: чтобы получить белый свет с высоким значением общего индекса цветопередачи $R_a > 95$ при типичной полуширине спектров полупроводниковых излучателей $\Delta\lambda_{0,5} \approx 15 - 40$ нм, необходимо сложить излучение четырех-пяти полупроводниковых излучателей с пиковыми длинами волн λ_{peak} , которые относительно равномерно распределены в видимом диапазоне. Дальнейшее, более плотное, заполнение спектра излучения абсолютно черного тела за счет увеличения числа СД мало влияет на значение R_a , но ведет к заметным потерям световой отдачи и усложнению системы. В то же время, даже небольшое отклонение пиковой длины волны λ_{peak} отдельных СД от оптимальных значений может приводить к резкому падению отдельных индексов цветопередачи, особенно $R_8 - R_{14}$, относящихся к насыщенным цветам. Использование для цветосмешения люминофорных СД с более широким спектром, $\Delta\lambda_{0,5} \approx 70 - 100$ нм, естественно, облегчает проблему.

Экспериментальные исследования в совокупности с моделированием при широком охвате исходных спектров по λ_{peak} и $\Delta\lambda_{0,5}$ показывают, что для синтеза высококачественного белого света в широком диа-

пазоне $T_c = 2\ 500 - 10\ 000$ К оптимальным является набор из шести спектральных полос полупроводниковых СД. При этом для каждой конкретной цветовой температуры T_c достаточно сложение четырех полос. Выбор шестицветного светодиодного модуля обусловлен стремлением повысить его универсальность за счет перекрытия широкого диапазона T_c и акцентирования некоторых цветов для специальных условий освещения (микроскопия, помещения для хирургии и музеев) [8].

Технические характеристики энергоэффективных, динамически управляемых светодиодных источников освещения

Энергоэффективный, динамически управляемый светодиодный источник освещения (ЭДУСИО) должен обеспечивать оптимальную световую среду для жизнедеятельности человека в жилых и производственных помещениях. Создание такой среды требует решения следующих задач:

имитацию внутри помещений, лишенных окон, естественного, отвечающего биологическим циклам, освещения с плавным изменением цветовой температуры в течение дня, особенно при дефиците естественного света в зимний период;

обеспечение специальных условий освещения для повышения работоспособности и концентрации внимания персонала, работающего при больших психофизических нагрузках (авиадиспетчеры, операторы центров управления, экипажи автономных объектов, например подводных лодок, космических кораблей и др.);

та же задача для релаксации и снятия нервного напряжения у перечисленного выше персонала, а также людей, испытавших стрессовые нагрузки (военные, служащие МЧС и др.);

обеспечение музейного освещения с целью наилучшего воспроизведения всей цветовой палитры живописи и создания комфортной световой среды для восприятия предметов искусства;

ЭДУСИО обеспечивают излучение белого света со спектрально-цветовыми и яркостными характеристиками, которые до-

пускают изменение во времени по заданной программе. Управление параметрами излучения можно осуществлять дистанционно по радиоканалу от пульта дистанционного управления (ПДУ) или персонального компьютера (ПК). При этом обеспечиваются три режима работы.

1. «Выключено»; в этом случае сетевое напряжение 220 В отключено.

2. Дежурный режим (спящий); при этом питание 220 В включено, но свет выключен;

3. Рабочий режим; это работа, когда выполняются заданные требования к цветовым (калориметрическим) и световым (фотометрическим) характеристикам.

Преобразование постоянного напряжения от источника напряжения в ток светодиодов производится драйверами с регулированием светового потока широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) по программе микроконтроллера. Диапазон регулирования скважности ШИМ – от 0 до 100 %, с шагом 0,1 %. Микроконтроллер обеспечивает прием команд управления от ПДУ или ПК, управление световыми характеристиками, а также контроль температуры платы светодиодов (не более 50 °С).

Мощность потребления ЭДУСИО от источника питания не превышает 40 Вт в рабочем режиме. Это позволяет не предусматривать включения в схему корректора коэффициента мощности. В дежурном режиме мощность рассеяния не превышает 0,5 Вт.

Пульт дистанционного управления ЭДУСИО обеспечивает целый ряд функций; это хранение во внутренней памяти режимов работы светодиодного источника, выбор программы и времени работы пользователем с помощью кнопок ПДУ, управление работой ЭДУСИО, синхронизацию работы нескольких ЭДУСИО, привязку режима работы к реальному времени (времени суток), управление этим ЭДУСИО (плавное изменение спектра излучения в течение суток с возможностью последующего повторения цикла) по радиоканалу на расстоянии до 35 м.

Разветвленная сеть ЭДУСИО относится к устройствам локальных радиосетей мало-

го радиуса действия, которые используют для замены физических кабелей в локальных сетях передачи данных в пределах здания (помещения).

Беспроводные самоорганизующиеся сети (*ad hoc* сети, беспроводные динамические сети) – это децентрализованные сети без проводов, не имеющие постоянной структуры; их характерное отличие от аналогичных сетей состоит в том, что задача управления потоками данных не выполняется через точки доступа.

Технологии беспроводных сетей

Перечислим наиболее часто используемые технологии при построении беспроводных саморегулирующихся сетей:

Wi-Fi (IEEE 802.11);

Bluetooth (IEEE 802.15.1);

ZigBee (IEEE 802.15.4).

В окончательном исполнении беспроводное устройство, изготовленное по альтернативной технологии, должно основываться на применении трансивера (приемопередатчика), к которому предъявляются следующие требования:

устойчивая надежная двухсторонняя связь;

дальность работы на одном кристалле – от 10 м и более;

низкая цена;

низкое энергопотребление.

Wi-Fi. Это технология высокоскоростной беспроводной персональной сети торговой марки Wi-Fi Alliance. На частоте 2,4 ГГц, где она должна функционировать, работает множество устройств, что ухудшает ее электромагнитную совместимость с другими системами; вследствие этого высоки служебные «накладные расходы». Кроме того, серьезным недостатком является требование регистрации всех сетей Wi-Fi, работающих в России и Белоруссии вне помещений (либо требуется регистрация Wi-Fi-оператора).

Bluetooth. Эта производственная спецификация беспроводных персональных сетей на частоте 2,4 ГГц широко распространена на практике, однако по интегральному сочетанию стоимости, функциональных воз-

можностей и габаритных размеров имеются применения, где данная технология крайне невыгодна.

ZigBee. Это спецификация сетевых протоколов верхнего уровня (уровня приложения API и сетевого уровня NWK), использующих серверы нижних уровней, а именно управления доступом к среде MAC и физического уровня PHY регламентированным стандартом IEEE 802.15.4. (часть 15.4.: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) – беспроводные среды управления доступом (MAC) и спецификации физического слоя (уровня) (PHY) для низкоскоростных беспроводных персональных сетей) [9, 10]. Спецификация ZigBee ориентирована на приложения, требующие гарантированной безопасной передачи данных при относительно небольших скоростях и возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания. Технология ZigBee позволяет при малом энергопотреблении поддерживать не только простые топологии сети («точка-точка», «дерево» и «звезда»), но и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую (mesh) топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Ценовая эффективность технологии ZigBee объясняется не только организационными мероприятиями альянса компаний ZigBee, но главным образом ее конкурентоспособностью благодаря использованию в основе технологии стандарта IEEE 802.15.4., которая обеспечивает оптимальные технические характеристики серверов нижних уровней MAC и PHY.

PHY-слой обеспечивает следующие функции:

активацию и деактивацию радиотрансивера;

детектирование энергии (ED) в текущем канале;

индикацию качества связи (LQI) для получения пакетов;

оценку занятости канала CCA (Clear Channel Assessment) для механизма доступа (CSMA-CA);

выбор частоты канала;

прием и передачу данных.

MAC-уровень руководит всем доступом к физическому радиоканалу и выполняет следующие задачи:

- генерацию сети маяков, если устройство является координатором;
- синхронизацию сети маяков;
- поддержку PAN соединений и разъединений;
- поддержку безопасности устройства;
- использование алгоритма CSMA-CA для доступа к каналу с исключением столкновений;
- поддержку и управление GTS механизмом гарантированного временного домена;
- обеспечение надежной связи между двумя точками MAC-объектов.

Стандарт ZigBee и IEEE 802.15.4 предписывает беспроводным устройствам иметь рабочий цикл Duty cycle не более 1 % от всего времени работы, что позволяет продлить время автономной работы датчика от нескольких месяцев до нескольких лет.

Достоинством стандарта ZigBee является возможность беспроводного изменения основных параметров новых устройств, вводимых в уже готовую сеть. Механизм удаленного управления позволяет значительно расширить энергосберегающие функции, в том числе за счет возможности динамически изменять конфигурации параметров сети.

Приборы стандарта IEEE 802.15.4 работают с малой передаваемой мощностью,

так как достижение значения передаваемой мощности более чем в 10 дБм в низкостоимостных системах на кристалле будет экономически невыгодным. Согласно европейским нормативам (ETS EN 800328), передача с мощностью свыше 10 дБм затруднена без дополнительной фильтрации из-за излучений вне полосы передатчика. Устройства IEEE 802.15.4 PHY спецификации, как правило, имеют уровень передаваемой мощности в пределах от -3 до 0 дБм, что позволяет минимизировать интерференцию.

Для полосы частот 2400,0 – 2483,5 МГц стандарт IEEE 802.15.4 использует технологию расширения спектра DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) с модуляцией O-QPSK, что позволяет получить существенный выигрыш по коэффициенту полезного действия усилителя мощности радиопередатчика (энергетическая выгода модуляции). Модуляция O-QPSK позволяет достичь низких значений отношений сигнал/шум (SNR) и сигнал/интерференция (SIR). Типовое выполнение низкостоимостного детектора при вероятности ошибки PER в 1 % требует значения SNR всего лишь от 5 до 6 дБ.

Устройства ZigBee обладают одним из самых маломощных передатчиков в сочетании с самым чувствительным из всех конкурентоспособных приемников. Такая комбинация дает очевидный положитель-

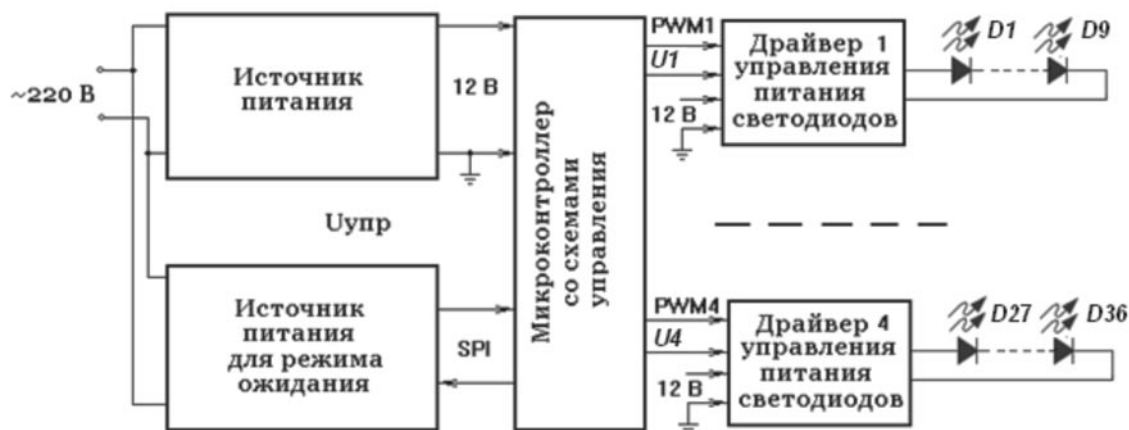


Рис. 1. Структурная схема ЭДУСИО:

PWM1 – PWM4 – широтно-импульсные модуляторы; D1 – D36 – светодиоды

ный эффект – значительно меньшую дозу облучения людей, находящихся в зоне работы сети. Это особенно актуально для ЭДУСИО, если учитывать основное назначение устройства – обеспечение оптимальной световой среды для жизнедеятельности персонала там, где необходимо его присутствие. В этом случае технология ZigBee наилучшим образом будет отвечать условиям безопасности и экологичности окружающей среды из всего набора беспроводных стандартов.

За основной вариант технологии построения ЭДУСИО выбрана технология ZigBee с практической реализацией стандарта IEEE 802.15.4, использующего серверы нижних уровней (MAC и PHY). Поэтому при разработке структурной схемы ЭДУСИО для электронных блоков управления использовались микроконтроллеры, которые поддерживают выбранный стандарт.

Разработанная нами структурная схема представлена на рис. 1. В ждущем режиме к сети подключен только источник питания в режиме ожидания. Периодически он выходит в активный режим и прослушивает радиоэфир для получения команды изменения режима. При этом потребление энергии должно составлять менее 0,5 Вт. Это обусловлено тем, что при возможном массовом применении ламп ЭДУСИО актуальна проблема резкого снижения их энергопотребления в режиме standby (рекомендации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации и Международной электротехнической комиссии IEC по потреблению аппаратуры в режиме ожидания, ГОСТ Р МЭК 62301-2011, IEC 62801-2005).

Проблема решалась разработкой блока питания для радиопередатчика с микроконтроллером, который в режиме приема может потреблять (60 – 80) мВт, а в режиме standby – (1 – 5) мкВт. При переводе микроконтроллера с радиопередатчиком в режим standby между сеансами связи, основным потребляющим звеном является преобразователь AC/DC, не требующий ЕМС-фильтра. Для этой цели был использован драйвер семейства Link Zero-AX LNK 574 на 3,3 В, представляющий собой

быстродействующий интегрированный Off-Line Switcher, который автоматически вводит режим нулевой входной мощности при отключении нагрузки.

Получив команду на включение ЭДУСИО, он включает основной источник питания и по интерфейсу SPI передает команду управляющему микроконтроллеру, который через драйверы светодиодов устанавливает режим свечения четырех линеек из девяти последовательно включенных светодиодов. Команда на включение ЭДУСИО в активный режим поступает с ПДУ по радиоканалу ПДУ-ЭДУСИО. Для ПДУ блок питания standby AC-DC LNK 574 будет основным. Блок питания ЭДУСИО разделен на два блока питания по 20 Вт (всего 40 Вт). Это обусловлено конструктивными особенностями корпуса ЭДУСИО, что позволяет значительно сэкономить объем, занимаемый основным блоком питания.

Ключевым элементом источника является полихромный светодиодный модуль. Современная СД-промышленность (зарубежная) предлагает широкую номенклатуру трех-четырёхцветных эффективных и мощных СД в качестве элементной базы для полихромных источников. Среди лучших следует отметить Cree Inc. (XLamp XM-L Color, XLamp MC-E Color), LedEngin (LZ4-00MA10, LZ4-04MDCA), Luminus (СВМ-380); они применялись нами в предыдущих разработках [11]. К их главным достоинствам следует отнести максимальные на сегодняшний день энергетические характеристики. Что же касается ограничений, то это их неполная цветовая гамма. Это либо RGBA-, либо RGBW-излучатели, где R, G, B, A – монохромные красные (630 нм), зеленые (520 нм), синие (460 нм) и желтые (590 нм) СД, а W – люминофорные СД холодного ($T_c \sim 6500$ К) или нейтрального ($T_c \sim 4000$ К) белого света.

Для преодоления указанного ограничения и создания эффективных излучателей на «дефицитные» длины волн, в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН совместно с НТЦ микроэлектроники РАН активно ведутся исследования по совершенствованию ростовых технологий излучающих гетероструктур в системе AlInGaN. Были выращены гете-

роструктуры типа «двойной синий – синезеленый» (460 – 490 нм) или «синий + глубокий зеленый» (460 – 560 нм) и другие, т. е. варианты СД, необходимые для достижения высоких индексов цветопередачи, но отсутствующие на рынке [12]. Опытные образцы таких излучающих кристаллов используются в нашем шестицветном модуле. Всего в источнике задействовано девять последовательно включенных шестицветных модуля, что требует обеспечение регулирования напряжения на линейках драйверами в диапазоне от 16 до 34 В.

Для управления СД выбран импульсный повышающий драйвер MAX16834, причем изменение светового потока производится применением ШИМ с током до 1000 мА. Для обеспечения заданных спектральных характеристик предусмотрена возможность изменения амплитуды тока СД в диапазоне от 50 до 1000 мА. Амплитудное изменение тока СД необходимо для изменения спектральных составляющих интегрированного кристалла. Драйвер MAX16834 имеет широкий диапазон PWM и аналогового регулирования. Частота регулирования PWMDIM равна 187,5 Гц и устанавливается программируемым микроконтроллером.

В ПДУ и ЭДУСИО для организации линии связи и управления характеристиками светильника используется модуль ATZV-S1-256-3-0-C ZigBit, 2,4 ГГц, IEEE802.15.4/

ZigBee OEM фирмы Atmel с микропроцессором ATMEGA256RFR2 и AVR 8-Bit микроконтроллером. Радиотрансивер обеспечивает скорость передачи данных от 250 кбит/с до 2,0 Мбит/с, число каналов – 16, с шагом в 5 МГц. Чувствительность приемника при вероятности ошибок PER = 1% составляет 97 дБм, выходная мощность передатчика регулируется от +3,79 до –16,26 дБм. Потребление энергии в различных режимах составляет: 9,6 мА в RX-; 16,4 мА в TX-; 0,6 мкА в standby [13].

В каждой сети должен быть только один координатор сети, выполняющий функции ее создания и организации обмена хотя бы с одним оконечным устройством. Оптимальной конфигурацией сети ЭДУСИО является «звезда» (рис. 2).

Координатором 1 сети является компьютер или ПДУ, а оконечными устройствами 2 – ЭДУСИО.

В сети ЭДУСИО возможны три варианта компоновки:

Вариант 1 включает компьютер в качестве координатора сети и ПДУ в качестве оконечного устройства. Данная сеть полезна для настройки, тестирования и загрузки в ПДУ программ управления ЭДУСИО.

Вариант 2 выполняется с компьютером в качестве координатора сети (вместо ПДУ) и светодиодных источников ЭДУСИО в качестве оконечных устройств. Такая сеть предназначена для настройки, тестирования ЭДУСИО, а также управления освещением, когда не требуется длительного (круглосуточного) цикла. Преимуществом этого варианта является простота изменения режимов работы ЭДУСИО; к его недостаткам следует отнести повышенное энергопотребление, сложность создания режима standby, сложность автоматической перезагрузки компьютера в аварийных ситуациях (плюс повышенное время перезагрузки операционной системы и программы).

Вариант 3 является основным при эксплуатации и имеет ПДУ в качестве координатора сети, в которой ЭДУСИО являются оконечными устройствами. Данный вариант предназначен для управления освещением с коротким и длительным (кругло-

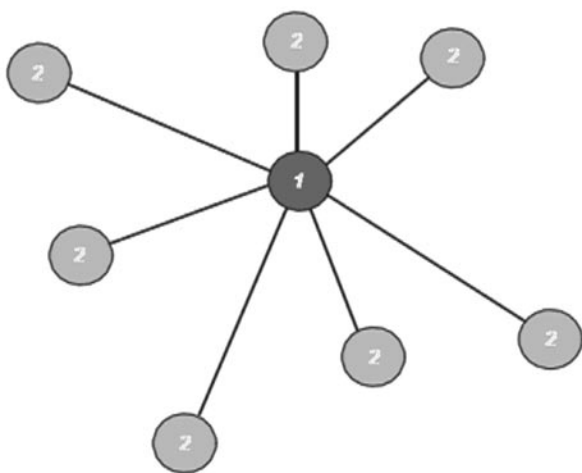


Рис. 2. Оптимальная конфигурация сети ЭДУСИО – «звезда»:

1 – координатор сети, 2 – оконечные устройства

суточным) циклом. Недостатком варианта 3 следует считать более сложный ввод программы управления освещением. К преимуществам относятся возможность работы в круглосуточном режиме, минимальное потребление энергии всей системой в ждущем режиме (когда выключено освещение), предельная быстрота восстановления освещения в аварийных ситуациях.

Заключение

В статье приведены результаты работ по комплексной проработке и оптимизации

разветвленной беспроводной сети энергоэффективных динамически управляемых светодиодных источников освещения (ЭДУСИО) на основе новых технологий освещения и элементной светодиодной и микроэлектронной базы. Показано, что наибольшими преимуществами обладает вариант технологии построения ЭДУСИО — ZigBee с практической реализацией стандарта IEEE 802.15.4, использующего серверы нижних уровней (MAC и PHY).

Исследования выполнены в рамках проекта Минобрнауки (Контракт №02.G2531.0014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cree: First to Break 300 Lumens-Per-Watt Barrier. Режим доступа: <http://cree.com/News-and-Events/Cree-News/PresReleases/2014/March/300LPW-LED-barrier>
2. Cree's MK-R LED Offers up to 200 Lumen-Per-Watt. LED professional Review, 2013. 35. 6. Режим доступа: http://www.led-professional.com/downloads/LpR35_034254.pdf
3. **Berson D.M., Dunn F.A., Takao M.** Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*. 2002. Vol. 295, pp. 1070-1073.
4. **Brainard G., Hanifi J., Greeson J., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M.** Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian. Photoreceptor. *Journal of Neuroscience*. 2001. Vol. 21. No. 16, pp. 6405-6412.
5. **Закгейм А.Л.** Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья человека // Светотехника. 2012. Вып. 6. С. 12–20.
6. **Zukauskas A., Vaicekuskas R., Ivanauskas F., Gaska R., Shur M.S.** Optimization of white polychromatic semiconductor lamps. *Appl. Phys. Lett.* 2002. Vol. 80, pp. 234-236.
7. **Chhajed S. Xi Y., Li Y.-L., Gessmann Th., Schubert E.F.** Influence of junction temperature on chromaticity and color-rendering properties of trichromatic white-light sources based on light-emitting diodes. *J. Appl. Phys.* 2005. Vol. 97, pp. 054506-1 - 054506-8.
8. **Аладов А.В., Аладов В.Н., Валюхов В.П., Закгейм А.Л., Цацульников А.Ф.** Светозащита и новые технологии освещения // Архитектура и строительные науки. 2014. Вып. 1, 2 (18, 19). С. 2–5.
9. 4.1.8.7 Беспроводные сети ZigBee и IEEE 802.15.4. Yu. Semenov (ИТЕР-МИПТ). Режим доступа: <http://book.itep.ru/4/41/zigbee.htm>
10. ZigBee Specification. Document 053474r20. Режим доступа: http://www.zigbee.org/en/members_area/documents/ZigBeeSpecifications/1.ZigBee%20Specification/docs-05-3474-20-0csg-zigbee-specification.pdf
11. **Аладов А.В., Васильева Е.Д., Закгейм А.Л., Иткинсон Г.В., Лундин В.В., Мизеров М.Н., Устинов В.М., Цацульников А.Ф.** О современных мощных светодиодах и их светотехническом применении // Светотехника. 2010. Вып. 3. С. 8–16.
12. **Цацульников А.Ф., Лундин В.В., Сахаров А.В., Заварин Е.Е., Усов С.О., Николаев А.Е., Крыжановская Н.В., Синицын М.А., Сизов В.С., Закгейм А.Л., Мизеров М.Н.** Монолитный белый светодиод с активной областью на основе квантовых ям InGaN, разделенных короткопериодными InGaN/GaN-сверхрешетками // Физика и техника полупроводников. 2010. Т. 44. Вып. 6. С. 837–840.
13. Atmel ZigBit 2.4.GHz Single chip wireless module ATZB-S1-256-3-0C [Datasheet]. Режим доступа: http://www.atmel.com/images/atmel-42191-wireless-zigbit-atzb-s1-256-3-0-c_datasheet.pdf

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АЛАДОВ Андрей Вальменович — старший научный сотрудник Научно-технологического центра микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН.
194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26
aaladov@mail.ioffe.ru

ВАЛЮХОВ Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры радиофизики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
Valyukhov@yandex.ru

ЗАКГЕЙМ Александр Львович – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе Научно-технологического центра микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН.

194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26
zakgeim@mail.ioffe.ru

ЧЕРНЯКОВ Антон Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-технологического центра микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН.

194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26
chernyakov@mail.ioffe.ru

ЦАЦУЛЬНИКОВ Андрей Федорович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН.

194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26
andrew@beam.ioffe.ru

Aladov A.V., Valyukhov V.P., Zakgeim A.L., Chernyakov A.E., Tsatsulnikov A.F.
TYPE LED DYNAMICALLY CONTROLLED LIGHT SOURCES FOR NOVEL LIGHTING TECHNOLOGY.

The article deals with the creation of the LED light sources on the principle of RGB mixing. The design of the high-power (up to ~ 3000 lm) dynamically controlled semiconductor light source based on the matrix of multicolor emitting crystals has been developed. This lighting instrument comprises an emitting module with a control processor, power drivers, and a controlling part with appropriate software and radio-communication channel for information exchange with an emitting module. An analysis in every detail was made, and a network configuration was worked out on the basis of the ZigBee technology for various network coordinators. A circuit for blocking-out the power LED drivers was set up for heavy current (1.5 A). The polychromatic LED matrix including a monolithic white crystal was designed. As a whole the product developed is a finished system of dynamic lighting that maintains the optimal light environment for human life.

LEDs, SPECTRAL-COLOUR CHARACTERISTICS, RGB COLOUR MIXING, DYNAMIC CONTROL, ZIGBEE TECHNOLOGY, NETWORK CONFIGURATION.

REFERENCES

1. Cree: First to Break 300 Lumens-Per-Watt Barrier. Available at: <http://cree.com/News-and-Events/Cree-News/PresReleases/2014/March/300LPW-LED-barrier>
2. Cree's MK-R LED Offers up to 200 Lumen-Per-Watt. LED professional Review, 2013, 35, 6. http://www.led-professional.com/downloads/LpR35_034254.pdf
3. **Berson D.M., Dunn F.A., Takao M.** Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. *Science*, 2002, Vol. 295, pp. 1070-1073.
4. **Brainard G., Hanifi J., Greeson J., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M.** Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian. Photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 2001, Vol. 21, No. 16, pp. 6405-6412.
5. **Zakgeym A.L.** Svetodiodnye sistemy osveshcheniya: energoeffektivnost' zritel'noe vospriyatie, bezopasnost' dlya zdorov'ya cheloveka. *Svetotekhnika*, 2012, Iss. 6, pp. 12-20. (rus)
6. **Zukauskas A., Vaicekauskas R., Ivanauskas F., Gaska R., Shur M.S.** Optimization of white polychromatic semiconductor lamps. *Appl. Phys. Lett.*, 2002, Vol. 80, pp. 234-236.
7. **Chhajed S. Xi Y., Li Y.-L., Gessmann Th., Schubert E.F.** Influence of junction temperature on chromaticity and color-rendering properties of trichromatic white-light sources based on light-emitting diodes. *J. Appl. Phys.*, 2005, Vol. 97, pp. 054506-1 - 054506-8.
8. **Aladov A.V., Aladov V.N., Valyukhov V.P., Zakgeim A.L., Tsatsul'nikov A.F.** Svetoekologiya i novye tekhnologii osveshcheniya. *Arkhitektura I*

stroitel'nye nauki, 2014. Iss. 1, 2 (18, 19), pp. 2-5.

9. 4.1.8.7 Besprovodnye seti ZigBee i IEEE 802.15.4 (<http://book.itep.ru/4/41/zigbee.htm>)

10. ZigBee Specification. Document 053474r20. (http://www.zigbee.org/en/members_area/documents/ZigBeeSpecifications/1.ZigBee%20Specification/docs-05-3474-20-0csg-zigbee-specification.pdf)

11. Aladov A.V., Vasil'eva E.D., Zakgejm A.L., Itkinson G.V., Lundin V.V., Mizerov M.N., Ustinov V.M., Tsatsul'nikov A.F. O sovremennykh moshchnykh svetodiodakh i ikh svetotekhnicheskome primeneni. *Svetotekhnika*, 2010, Iss. 3, pp. 8-16. (rus)

12. Tsatsul'nikov A.F., Lundin V.V., Sakharov A.V., Zavarin E.E., Usov S.O., Nikolaev A.E., Kryzhanovskaya N.V., Sinitsyn M.A., Sizov V.S., Zakgejm A.L., Mizerov M.N. Monolitnyj belyj svetodiod s aktivnoj oblast'yu na osnove kvantovykh yam InGaN, razdelennykh korotkoperiodnymi InGaN/GaN-sverkhreshetkami. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*, 2010, Vol. 44, Iss. 6, pp. 837-840. (rus)

13. Atmel ZigBit 2.4.GHz Single chip wireless module ATZB-S1-256-3-0C [Datasheet]. (http://www.atmel.com/images/atmel-42191-wireless-zig-bit-atzb-s1-256-3-0-c_datasheet.pdf)

THE AUTHORS

ALADOV Andrei V.

Submicron Heterostructures for Microelectronics Research and Engineering Center of the RAS.

26 Politekhnicheskaya St., St. Petersburg, 194021, Russia

aaladov@mail.ioffe.ru

VALYUKHOV Vladimir P.

St. Petersburg Polytechnic University

29 Politekhnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Valyukhov@yandex.ru

ZAKGEIM Alexander L.

Submicron Heterostructures for Microelectronics Research and Engineering Center of the RAS

26 Politekhnicheskaya St., St. Petersburg, 194021, Russia

zakgeim@mail.ioffe.ru

CHERNYAKOV Anton E.

Submicron Heterostructures for Microelectronics Research and Engineering Center of the RAS

26 Politekhnicheskaya St., St. Petersburg, 194021, Russia

chernyakov@mail.ioffe.ru

TSATSUL'NIKOV Andrei F.

Ioffe Physical-Technical Institute

26 Politekhnicheskaya St., St. Petersburg, 194021, Russia

andrew@beam.ioffe.ru