

УДК 004.056.53

И. В. ПИСЛАР, В. В. БРАЙЛОВСКИЙ, М. Г. РОЖДЕСТВЕНСКАЯ, М. М. ИВАНЧУК

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА В СИСТЕМАХ СКРЫТОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

В работе рассмотрены основные аспекты использования световых импульсов видимого диапазона для скрытой передачи информации. Исследовано восприятие человеческим зрением световых импульсов видимого диапазона различной мощности и частоты следования. Установлено, что источник импульсного света становится невидимым при определенном соотношении мощности излучаемого светового потока и уровня освещенности окружающих его предметов (фонового освещения (ФО)). Например, при фоновом освещении $E = 400$ лк световые импульсы, следующие с частотой 50 Гц, невидимы при их мощности меньше 0,12 Вт. Приведена экспериментальная частотная зависимость мощности световых импульсов, не видимых для человеческого зрения при заданном уровне ФО.

С целью устранения влияния отвлекающих или маскирующих факторов (например, пульсаций ФО) в качестве оптимального источника засветки выбраны светодиодные матрицы при их питании от стабилизированного регулируемого источника постоянного тока. На основе экспериментальных данных о токовой и температурной зависимостях мощности светового потока и спектров излучения светодиодных матриц предложена методика задания уровня фонового излучения путем изменения величины тока светодиода. Получено аппроксимирующее уравнение зависимости величины светового потока от тока светодиода при условии термостатирования светодиода. Эффект саморегулирования температуры нагревателя с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) позволил вполне удовлетворительно решить вопрос стабилизации температуры светодиодного источника ФО. В случае нагревателя термостата, изготовленного из материала с положительным $TCS = 48\%K^{-1}$, изменение температуры светодиодной матрицы было практически в 7 раз меньше, чем без термостата.

Для проведения исследований в широком частотном интервале следования световых импульсов разработан и изготовлен генератор импульсов на микроконтроллере PIC18F2550 который обеспечивает возможность формирования импульсов частотой от 10^{-3} до 10^3 Гц длительностью от 10^{-7} до 1с.

Ключевые слова: световой импульс, скрытая передача информации, фоновое освещение, светодиодная матрица.

Введение

Повсеместное применение технологий Wi-Fi связи, наряду со значительными удобствами и возможностями, предоставляемыми пользователями, имеет и свои негативные аспекты. Так, растущая мощность электромагнитного излучения беспроводных Wi-Fi-систем может нарушать функционирование высокочувствительной радиоэлектронной аппаратуры, влиять на работу бортовой электронной аппаратуры самолетов, электронного оборудования операционных, манипуляционных кабинетов. С каждым годом увеличивается число людей, выражающих беспокойство по поводу вреда, наносимого Wi-Fi излучением человеческому орга-

низму. Например, опубликованные в 2016 г. в журнале Journal of Chemical Neuroanatomy результаты исследований приводят к выводу о том, что длительное электромагнитное воздействие, в том числе и излучение Wi-Fi-роутеров, вызывает повышенный уровень реактивных кислородных субстанций и снижение антиоксидантной защиты организма [1]. Это, в свою очередь, приводит к окислительным повреждениям мозга и печени.

В качестве альтернативы, исключаяющей подобное воздействие, предлагается применение светодиодных (Li-Fi) систем [2–4], в которых передача информации осуществляется с помощью видимого света. Такие системы обладают рядом преимуществ:

– сравнительная простота настройки (при юстировке можно визульно проводить контроль);

– пригодность для использования не только в воздухе, но и под водой. При передаче информации в водной среде с помощью, например, акустических волн существует большая вероятность несанкционированного съема информации с помощью гидроакустических приборов, в то время как использование световых лучей, распространяющихся в малом пространственном углу, существенно уменьшает возможность доступа к информации;

– большая защищенность, чем передача информации с помощью радиоволн (основная часть световой энергии распространяется прямолинейно и к тому же в определенной части пространства, лишь незначительная часть световой энергии может рассеиваться оптически неоднородностями среды распространения).

Скорость передачи данных с помощью Li-Fi систем при использовании белого света может достигать 1 Гбит/с [5, 6], а применение RGB-светодиодов позволяет повысить этот параметр до 3,4 Гбит/с [7]. Высокие скорости передачи данных открывают реальную возможность передачи информации не только в открытом, но и в зашифрованном тем или иным способом виде. В случае применения современных методов шифрования с использованием хаотических систем возникает необходимость решения дополнительных проблем: обеспечение синхронизации работы приемно-передающего тракта и возможность передачи ключей шифрования либо начальных условий (для генераторов хаоса) [8–10]. Данные такого рода имеют малый объем и их передача не требует высокоскоростных каналов. Однако одним из важнейших условий их надёжного функционирования является скрытность процесса передачи ключей или начальных условий. Путем задания определенных параметров информационных световых импульсов (частота следования, длительность, мощность), а также с помощью формирования фонового освещения (ФО) предлагается маскировать сам факт использования модулированного светового потока [11, 12].

Целью данной работы было установить параметры световых импульсов и сформулировать условия, при которых передачи информа-

ции сетовыми импульсами видимого диапазона не воспринимаются человеческим зрением.

Выбор источника фонового освещения

Результаты проводимых измерений в значительной степени носят субъективный характер. Поэтому применялись все возможные меры к уменьшению факторов, которые могли бы прямо или косвенно (на подсознательном уровне) влиять на результат измерений. Одним из таких факторов следует считать пульсации фонового освещения.

Плоская поверхность (несущая плоскость), на которой непосредственно находился объект распознавания, а именно светодиодная матрица, должна характеризоваться определенным уровнем освещения (фоном) и не создавать отвлекающих или маскирующих факторов таких, как например, блестящие точки, пульсации освещения и т. п. Возможность возникновения отвлекающих, маскирующих факторов минимизировалась использованием белой матовой поверхности несущей плоскости с коэффициентом отражения (отношением отраженного от поверхности к падающему на нее световому потоку) $p = 0,6$. Пульсации излучения источника света, и, соответственно, пульсации ФО, вследствие их отрицательного воздействия на биоэнергетическую активность мозга человека, могут влиять на субъективное восприятие световых импульсов, излучаемых светодиодной матрицей. Поэтому необходимо было подобрать источник ФО с как можно меньшим (лучше нулевым) уровнем пульсаций излучения. Для этого были исследованы пульсации излучения следующих источников света: а) светодиодная лампа FLE-001 T8; б) люминесцентные лампы, питание которых осуществлялось в одном случае от однофазной, а в другом – от трехфазной электрической сети; в) светодиодная матрица, питание которой осуществлялось от регулируемого стабилизированного источника постоянного тока. Стабильность ФО оценивали величиной коэффициента пульсаций с помощью специализированного измерительного прибора Экотензор-03. Прибор обеспечивает возможность измерения не только освещения, но и коэффициента пульсаций светового излучения в диапазоне от 1 до 100%.

Результаты измерений представлены в таблице. Видно, что практически нулевой уровень пульсаций излучения, а следовательно, и ФО удалось обеспечить только использованием светодиодных матриц при их питании от стабилизированного регулируемого источника постоянного тока.

Коэффициенты пульсаций источников света

Тип источника света	Модель светозлучателя и его мощность	Питание	Коэффициент пульсаций
Светодиодный светильник	FLE-001 T8, 16 W	Однофазная сеть, 220 В	12%
Люминесцентная лампа	Philips TL-D, 36 W	Однофазная сеть, 220 В	11%
Составной светильник из 3-х люминесцентных ламп	Philips TL-D, 36 W	Трехфазная сеть	2%
Светодиодная матрица	Epistar 5730, 10 W	Стабилизированный регулируемый источник постоянного тока	~ 0

Методика формирования фонового освещения и управления его уровнем

Проведение исследований по различимости световых импульсов требовало изменения уровня ФО. Традиционно величина ФО, при заданной величине светового потока источника света, задается расстоянием между источником света и освещаемым объектом. Появление мощных светодиодных матриц открывает реальную возможность управления уровнем ФО несущей плоскости путем изменения величины тока светодиодных матриц. Естественно, что при этом возникает вопрос зависимости спектра излучения светодиодных матриц от величины протекающего через них тока. Для ответа на этот вопрос были проведены следующие экспериментальные исследования:

- зависимость спектра излучения светодиодной матрицы от ее температуры при фиксированной электрической мощности, рассеиваемой на матрице;
- зависимость излучения светодиодной матрицы от протекающего тока (токовая зависимость).

Как в первом, так и во втором случаях исследовалось излучение (спектральное распределение и величина светового потока) светодиодной матрицы серии Epistar 5730 с допу-

стимой паспортной электрической мощностью 10 Вт. Измерение рассеиваемой на матрице электрической мощности осуществлялось с помощью классического метода амперметра-вольтметра с погрешностью не более 1,5%. Питание светодиодной матрицы обеспечивалось блоком питания Б5–7 с возможностью регулировки выходного напряжения. Спектр излучения светодиодной матрицы исследовался с помощью спектрофотометра СФ-4. Выходной сигнал спектрофотометра подавался на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), который превращал слабый выходной световой поток спектрофотометра в электрический сигнал. Выходной сигнал ФЭУ измерялся с помощью вольтметра М95. С целью уменьшения влияния средств измерения температура светодиодной матрицы измерялась с помощью дифференциальной медь-константановой термопары. Один спай термопары находился в сосуде Дьюара, содержащем дистиллированную воду со льдом. Термо-ЭДС термопары измерялась вольтметром В7–21А и с помощью градуировочной таблицы [13] находилась температура светодиодной матрицы. К сожалению, использование более современных приборов измерения температуры с помощью термопары, например REX C-100, не обеспечивало необходимой точности измерений при относительно низких (20–60 °С) температурах.

Для количественной оценки влияния температуры светодиодной матрицы на спектр излучаемого ею светового потока проведены соответствующие экспериментальные исследования при фиксированном уровне величины рассеиваемой на матрице электрической энергии. Величина рассеиваемой на светодиодной матрице электрической энергии выбиралась такой, чтобы изменение температуры матрицы в пределах погрешности измерения не превышало температуру окружающей среды. Экспериментально определенная по указанному критерию рассеиваемая электрическая мощность составляла 0,5 Вт, что практически в двадцать раз меньше допустимой для данной светодиодной матрицы паспортной мощности. Световой поток, излучаемый матрицей, измерялся с помощью люксметра ТЕС-0693. Измерение светового потока осуществлялось в затемненной комнате при расстоянии между люксметром и светодиодной матрицей 1 м.

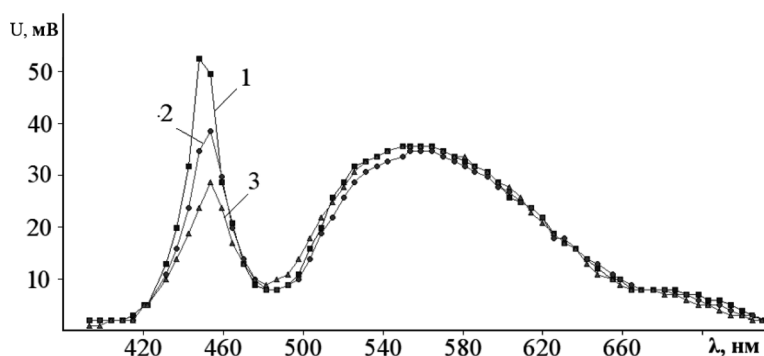


Рис. 1. Спектр излучения светодиодной матрицы при различных температурах и фиксированной ($P = 0,52$ Вт) рассеиваемой на ней электрической мощности: 1 – 20°C ; 2 – 55°C ; 3 – 91°C

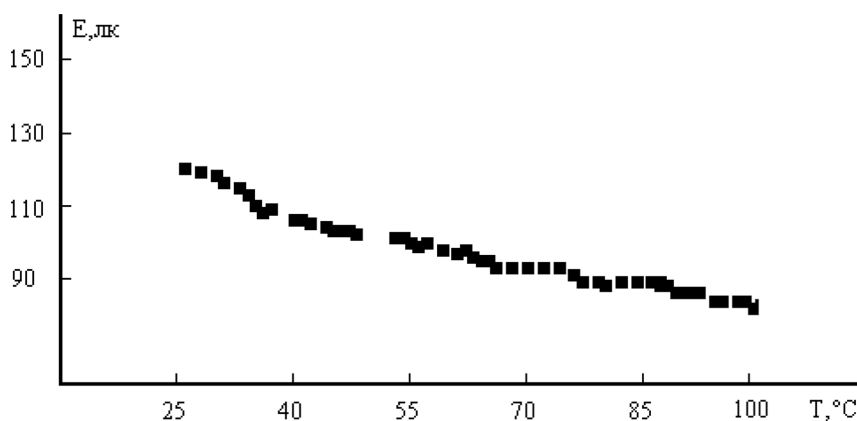


Рис. 2. Температурная зависимость величины светового потока светодиодной матрицы при неизменной рассеиваемой на ней электрической мощности $0,56$ Вт

В результате экспериментальных исследований спектра излучения светодиодной матрицы установлено, что существенных изменений спектра ее излучения при увеличении температуры не наблюдается (рис. 1).

При температуре светодиодной матрицы 20°C и рассеиваемой на ней электрической мощности $P = 0,5$ Вт спектральная характеристика излучения отражается кривой 1 рис. 1. Кривая 2 получена при температуре светодиодной матрицы 55°C и той же величине рассеиваемой электрической мощности. Увеличение температуры светодиодной матрицы до предельно допустимой температуры 91°C мало меняет спектральное распределение ее излучения (кривая 3 рис. 1). Наблюдается некоторое смещение максимума излучения ($0,09$ нм/ $^\circ\text{C}$) в область больших длин волн (область меньших энергий) и изменение ширины спектра ($0,01$ нм/ $^\circ\text{C}$), определенное на уровне $0,5$ от максимального значения. Обобщая, можно сказать, что с ростом температуры спектр излучения светодиодной матрицы становится более равномерным. Таким образом, изменяя темпе-

ратуру матрицы, можно приближать спектр ее излучения к более равномерному и близкому к спектру излучения Солнца. Полученные зависимости коррелируют с данными авторов [14].

Увеличение температуры светодиодной матрицы, при неизменной величине рассеиваемой на ней электрической энергии ($0,5$ Вт), приводит к уменьшению величины излучаемого матрицей светового потока (рис. 2). Полученная зависимость объясняется явлением температурного гашения. В основе данного явления лежит эффект уменьшения внутреннего квантового выхода, обусловленного ростом амплитуды колебаний атомов кристаллической решетки [15].

При температуре светодиодной матрицы 26°C (рис. 2) величина светового потока матрицы составляла 120 лк. С повышением температуры до 103°C величина светового потока уменьшилась до 82 лк. Таким образом, в результате роста температуры матрицы излучаемый ею световой поток уменьшился на 31% . Количественно величину температурного га-

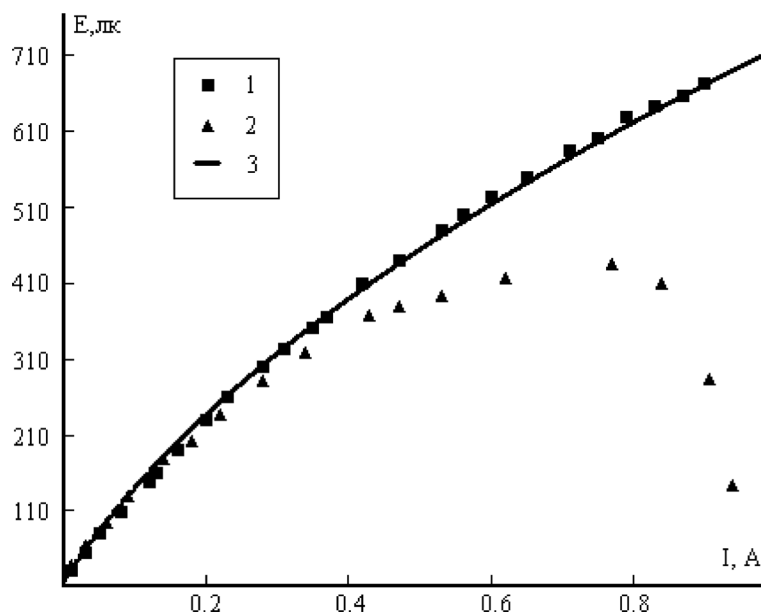


Рис. 3. Зависимость светового потока светодиодной матрицы от величины протекающего тока: кривая 1 – при наличии радиатора с водяным охлаждением; кривая 2 – без радиатора; кривая 3 – аппроксимирующая

шения оценим величиной коэффициента температурного гашения:

$$\text{КТГ} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{82 - 120}{103 - 26} = -\frac{38}{77} = -0,49 \frac{\text{лк}}{^\circ\text{C}}, \quad (1)$$

При исследовании зависимости светового потока светодиодной матрицы от величины протекающего тока (токовая зависимость; кривая 1 рис. 3) матрицу крепили к водяному радиатору. Для снижения теплового сопротивления контакта светодиодной матрицы с радиатором на плоскость их соприкосновения наносилась теплопроводная бериллиевая паста. Это обеспечивало высокую стабильность величины температуры светодиодной матрицы. При максимальном токе, протекающем через матрицу (1 А), её температура увеличилась с 21 до 23 °С. Монотонность зависимости светового потока от величины протекающего тока $E = \varphi(I)$ дает возможность представить её аппроксимирующим уравнением

$$E = 97,5\sqrt{(100I) + 10} - 300, \quad (2)$$

где E – световой поток в люксах, I – ток в амперах.

Используя данное уравнение можно определить величину тока, при котором светодиодная матрица будет излучать заданную величину светового потока.

Токовая зависимость светового потока светодиодной матрицы, находящейся в свободном пространстве, существенно отличалась (кри-

вая 2 рис. 3) от такой же зависимости для охлаждаемой матрицы (предыдущий случай). При токе 1 А температура матрицы достигала 170 °С. При этом величина излучаемой матрицей светового потока уменьшилась на 500 лк по сравнению со световым потоком этой же матрицы с водяным радиатором и протекающим током 1 А.

Таким образом, для снижения влияния температурного фактора на зависимость $E = \varphi(I)$ необходимо обеспечить стабильность температуры матрицы. С практической точки зрения более удобным и простым оказался термостат, у которого нагреватель имеет положительный температурный коэффициент сопротивления (позистор) [16]. Если температура нагревателя выше температуры окружающей среды, то при положительном температурном коэффициенте сопротивления нагревателя обеспечивается саморегуляция (термостатирование) его температуры.

Примем, что позисторный нагреватель питается от стабилизированного источника напряжением $U = \text{const}$. Если электрическую мощность, рассеиваемую на позисторном нагревателе, рассчитывать по формуле $P = U^2/R$, то при стабильной величине напряжения последняя будет обратно пропорциональна сопротивлению нагревателя.

Поскольку температурный коэффициент сопротивления позисторного нагревателя по-

ложительный, то при росте температуры его сопротивление возрастает поэтому знак прироста рассеиваемой на нагревателе мощности ΔP отрицательный. Следовательно, изменение температуры нагревателя будет меньше изменения температуры окружающей среды на величину $\Delta P/h$, где h – коэффициент теплоотдачи. Причем величина этого изменения, по сравнению с изменением температуры окружающей среды, будет тем меньше, чем больше величина положительного температурного коэффициента сопротивления позисторного нагревателя.

Экспериментально определенная величина температурного коэффициента сопротивления (ТКС) позисторного нагревателя составляла 48%. При данной величине ТКС увеличение температуры окружающей среды на $\Delta T_{OC} = 60$ °С сопровождалось изменением температуры позисторного нагревателя всего на $\Delta T_H = 8$ °С. В данном случае величина коэффициента температурной стабилизации температуры позисторного нагревателя равна

$$K_H = \frac{\Delta T_{OC}}{\Delta T_H} = 7,5 \quad (3)$$

Таким образом, при превышении позисторным нагревателем температуры окружающей среды изменение его температуры за счет явления саморегуляции оказывается более чем в семь раз меньше изменения температуры окружающей среды.

При изменении температуры позисторного нагревателя $\Delta T_H = 8$ °С величина температурного смещения максимума спектра излучения и температурное изменение ширины спектра светодиодной матрицы составляют, соответственно, 0,72 нм и 0,08 нм.

Экспериментальное определение параметров импульсов света по критерию их различимости

Эксперимент заключался в том, что при фиксированном уровне фонового освещения несущей плоскости и параметрах световых импульсов наблюдателю необходимо идентифицировать импульсный характер светового потока, излучаемого светодиодной матрицей. С целью снижения субъективной составляющей, а следовательно для повышения достоверности полученных данных последних нахо-

дились как усреднённое величин не меньше чем троих экспериментов с различными испытуемыми.

Исследование проводилось при постоянной длительности импульсов 5 мкс. При указанной длительности импульсов еще сохраняется крутой фронт и срез импульсов светового потока. Особое внимание обращалось на низкие частоты следования, которые потенциально увеличивают степень скрытности импульсного характера излучаемого света [12]. Расстояние от наблюдателя до источника световых импульсов оставалось постоянным и составляло 1 м. Проведение исследований в указанной частотной области требовало изготовления специального генератора, который был реализован на контроллере PIC18F2550 [12]. Генератор обеспечивал возможность получения прямоугольных импульсов длительностью τ от 10^{-6} до 1 с при возможности регулирования частоты следования f от 10^{-3} до 10^3 Гц. Исследование проводилось при фоновом освещении 400 лк. Указанный уровень фонового освещения выбран в соответствии с санитарными нормами освещения рабочего места для чтения текстов и выполнения работ средней точности [17].

В результате проведенных исследований определено диапазон частот и величины мощности световых импульсов, при которых излучение света не фиксируется (рис. 4).

Предварительно проведенные исследования [12] показали, что чем короче световой импульс, тем шире становится частотный интервал следования световых импульсов, в котором человеческое зрение не фиксирует светового излучения как такового.

Результаты эксперимента (рис. 4) опишем, введя понятие предельной мощности. Предельная мощность – это такая электрическая мощность, подводимая к светодиоду, превышение которой приводит к изменению восприятия зрением человека характера светового потока. Ниже линии 1, 2, 3 (рис. 4) световое излучение не воспринимается зрением человека. Выше указанной линии необходимо различать две области. Левее максимума (левее точки 2) зрение человека воспринимает световые импульсы именно как импульсы (область мельканий). Правее максимума последовательность световых импульсов воспринимается как не-

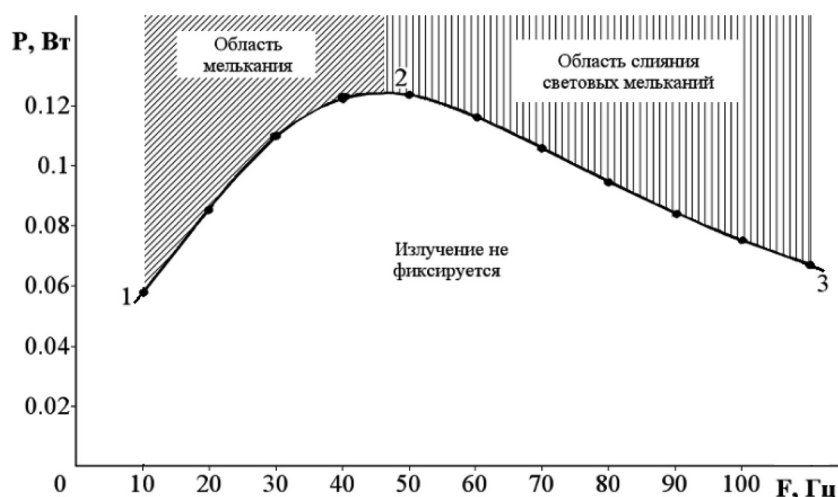


Рис. 4. Зависимость предельной мощности световых импульсов от частоты их следования при $\tau_{\text{имп.}} = 5$ мкс и фоновом освещении $E = 400$ лк

прерывный световой поток. Необходимо отметить, что использование современных средств фото- или видеофиксации не изменяет наблюдаемых закономерностей в восприятии световых импульсов.

Изменение восприятия световых импульсов объясняется физиологическими особенностями человеческого зрения. Частота следования световых импульсов, выше которой последовательность импульсов воспринимается человеческим зрением как непрерывный световой поток, принято называть критической частотой слияния мельканий. Величину критической частоты слияния мельканий $F_{\text{кчм}}$, можно рассчитать согласно закона Ферри-Портера [18]:

$$F_{\text{кчм}} = a \lg L_{\text{эф}} + b, \quad (4)$$

где $L_{\text{эф}}$ — эффективная яркость, $a = 12,5$ при колбочковом (дневном) зрении или $a = 1,5$ при палочном (ночном) зрении, $b = 37$.

При воздействии на зрение человека световых импульсов с частотой, превышающей критическую частоту $F > F_{\text{кчм}}$, импульсы сливаются в ровный немигающий свет постоянной яркости которая согласно закона Тальбота [18] равна средней яркости импульсов за период:

$$L_{\text{эф}} = Lt_1 / (t_1 + t_2), \quad (5)$$

где t_1 — длительность световых импульсов, t_2 — временной интервал между двумя смежными импульсами, L — яркость светового импульса.

Понижение предельной величины мощности световых импульсов постоянной длительности с ростом частоты их следования в значи-

тельной степени можно объяснить ростом величин средней энергии воздействующей на зрение человека. Адаптационные свойства зрения человека к различным величинам средней энергии световых импульсов обуславливают снижение темпа уменьшения предельной мощности с ростом частоты. Например, при частоте 50 Гц величина предельной мощности (рис. 4) составляет $F_{50} = 0,124$ Вт. При удвоении частоты следования световых импульсов (частота 100 Гц) ожидаемая величина предельной мощности $F_{100} = 0,062$. В то же время экспериментально определенная величина предельной мощности несколько выше и составляет 0,073.

К сожалению, на данном этапе исследования сложно предложить адекватный механизм роста величины предельной мощности при частотах ниже 50 Гц. Наиболее вероятно, что наблюдаемая зависимость обусловлена физиологическими особенностями реакции зрения человека на совокупное воздействия низкоэнергетических световых импульсов и постоянного светового потока, формируемого фоновым освещением.

Выводы

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют, что область частот 30–60 Гц является наиболее благоприятной для обеспечения скрытности передачи информации световыми импульсами видимого диапазона. Так, например, при фоновом освещении $E = 400$ лк, длительности импульса $\tau_{\text{имп.}} = 5$ мкс, частоте

их следования $F = 45$ Гц и электрической мощности в импульсе $P = 0,12$ Вт возможно обеспечить скрытую передачу информации с помощью световых импульсов. Стоит заметить, что на рис. 4 отражается предельная кривая чувствительности зрения человека (1–3), то есть случай, когда наблюдателю уже удается идентифицировать излучение световых импульсов, будь то мерцание или слабый свет. Установлено, что с увеличением мощности световых импульсов скрытность излучения импульсов света от человеческого зрения обеспечивается более высоким уровнем фонового освещения.

Естественно, что относительно низкая частота следования импульсов, при которой человеческое зрение их не воспринимает как таковые, ограничивает возможность передачи значительных информационных потоков. Поэтому данный метод передачи информации может использоваться для скрытой передачи ограниченных по объему информационных потоков, например ключа или начальных усло-

вий, необходимых для расшифровывания информации, переданной с помощью высокоскоростной Li-Fi системы.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что излучаемый светодиодной матрицей спектр практически не зависит от рассеиваемой ею электрической мощности при условии поддержания стабильной температуры, которая не превышает граничного значения, связанного с активацией процессов температурного гашения.

Установлено, что с ростом температуры светодиодной матрицы спектр её излучения становится более равномерным.

Приведенные в работе результаты могут быть использованы для моделирования и разработки скрытых Li-Fi систем, а также систем охраны периметра.

Авторы статьи выражают глубокую благодарность коллективу фирмы «Тензор» за предоставленную возможность провести светотехнические измерения разработанными на фирме приборами Экотензор-03 и ТЕС-0693.

Литература

1. **Martin L. P.** Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression / L. Pall Martin. // *Journal of Chemical Neuroanatomy*. – 2016. – № 75. – P. 43–51.
2. **Вакарев М.** Новая технология беспроводного Интернета Li-Fi / М. Вакарев, О. С. Безнос // *Современные наукоемкие технологии*. – 2014. – № 3, – с. 169.
3. **Подлесный А. О.** Li-fi – новая технология беспроводной передачи данных при помощи света / А. О. Подлесный, О. С. Полякова // *Управление инновациями: теория, методология, практика*. – 2013. – № 6, – с. 125–130.
4. **Mushreq A.** An Extensive Comparison of the Next Generation of Wireless Communication Technology: Light-Fidelity (Li-Fi) Versus Wireless-Fidelity (Wi-Fi) / Mushreq Abdhussain Shuriji. // *GSTF Journal on Media & Communications (JMC)* – December 2014. – Vol. 2 (1). – pp. 14–17.
5. **Shubham C.** Scope and Challenges in Light Fidelity(LiFi) Technology in Wireless Data Communication / Shubham Chatterjee, Shalabh Agarwal, Asoke Nath. // *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJRAE)*. – June 2015. – Issue 6, Volume 2. – pp. 1–9.
6. **Suganya U.** Li-fi (light fidelity) technology / U. Suganya, C. Subhalakshmi priya, // *international journal of research in computer applications and robotics*. – january 2015. – Vol. 3, № 1. – pp. 26–32.
7. **Cossu G.** 3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED. / G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella. // *OPTICS EXPRESS*. – 10 December 2012. – Vol. 20 (26). – pp. 501–506.
8. **Stavroulakis P.** Chaos applications in telecommunications / P. Stavroulakis // *CRC Press Professional*. – 2005. – 440 p.
9. **Галюк С. Д.** Тривалість перехідних процесів при встановленні синхронізації хаотичних систем в телекомунікаціях / С. Д. Галюк, Л. Ф. Політанський // *Проблеми телекомунікацій*. – 2014. – № 3(15). – с. 76–85.
10. **Гресь О. В.** Апаратна реалізація генератора хаотичних сигналів на основі дискретних відображень / О. В. Гресь, Г. М. Розорінов, М. М. Іванчук, Р. Л. Політанський, А. Д. Верига // *Науково-технічний журнал «Зв'язок»*. – 2015. – № 3, – с. 31–35.
11. **Брайловський В. В.** Завадостійка інформаційна система на світлових променях / В. В. Брайловський, І. В. Пислар, М. Г. Рождественська // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2013. – Вип. 3 (44). – с. 157–160.
12. **Брайловский В. В.** Физиологические аспекты проектирования систем скрытой передачи информации на оптическом излучении видимого диапазона / В. В. Брайловский, М. Г. Рождественская, І. В. Пислар, О. В. Пошак // *Технологии и конструирование в электронной аппаратуре*. – Одесса, январь-февраль 2015. – Выпуск № 1, – с. 13–16.
13. **Кикоин И. К.** Таблицы физических величин / И. К. Кикоин – М.: Атомиздат, 1976. – с. 99.
14. **Гончарова Ю. С.** Спектральный метод бесконтактного измерения температуры кристаллов полупроводниковых источников света. / Ю. С. Гончарова, М. А. Романова, С. В. Смирнов // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. – 2015. – № 2 (36). – с. 38–40.

15. **Смирнов С. В.** Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов / С. В. Смирнов, Е. В. Саврук, Ю. С. Гончарова. // Научный журнал «Доклады ТУСУРа» – 2011. – № 2 (24), – с. 55–58.
16. **Шипунов М. В.** Аналіз способу запуску автомобільних дизельних двигунів внутрішнього згорання в умовах низьких температур / М. В. Шипунов // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – 2013. – № 1 (36), т. 2, – с. 156–164.
17. **Дорошенко Г. Д.** Системи телебачення та технічного зору / Г. Д. Дорошенко, В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов – 2014. – Вінниця, ВНТУ. – 209 с.
18. **Федюкина Г. В.** Справочная книга по светотехнике / Г. В. Федюкина, Г. Н. Рохлин – 2006. – М.: Знак. – 972 с.

References

1. **Martin L. P.** Microwave frequency electromagnetic fields (EMFs) produce widespread neuropsychiatric effects including depression / L. Pall Martin. // Journal of Chemical Neuroanatomy. – 2016. – № 75, – p. 43–51.
2. **Vakarev M.** New technology of wireless Internet Li-Fi / M. Vakarev, O. S. Beznosov // Modern science-intensive technologies. – 2014 – No. 3, – p. 169.
3. **Podlesny A. O.** Li-fi a new technology for wireless data transmission with light rays / A. O. Podlesny, O. S. Polyakova // Management of Innovations: Theory, Methodology, Practice. – 2013. – № 6, – p. 125–130.
4. **Mushreq A.** An Extensive Comparison of the Next Generation of Wireless Communication Technology: Light-Fidelity (Li-Fi) Versus Wireless-Fidelity (Wi-Fi) / Mushreq Abdhussain Shuriji. // GSTF Journal on Media & Communications (JMC) – December 2014. – Vol. 2, № 1, – pp. 14–17.
5. **Shubham C.** Scope and Challenges in Light Fidelity(LiFi) Technology in Wireless Data Communication / Shubham Chatterjee, Shalabh Agarwal, Asoke Nath. // International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE) ISSN: 2349–2163. – June 2015. – Issue 6, Vol. 2. – pp. 1–9.
6. **Suganya U.** Li-fi (light fidelity) technology / U. Suganya, C. Subhalakshmi priya, // international journal of research in computer applications and robotics. – January 2015. – Vol. 3, № 1. – pp. 26–32.
7. **Cossu G.** 3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED. / G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella. // OPTICS EXPRESS. – 10 December 2012. – Vol. 20, № 26, – pp. 501–506.
8. **Stavroulakis P.** Chaos applications in telecommunications / P. Stavroulakis // CRC Press Professional. – 2005. – 440 p.
9. **Haliuk S. D.** Synchronization transient time in occurrence of chaotic systems in telecommunication / S. D. Haliuk, L. F. Politanskii // Problems of telecommunications. – 2014. – № 3(15), – pp. 76–85.
10. **Hres O. V.** Hardware implementation chaotic signal generator based on discrete mappings / O. V. Hres, G. M. Rozorynov, M. M. Ivanchuk, R. L. Politansky, A. D. Veriga // Scientific and technical journal «Zvyazok» – 2015 – № 3, – с. 31–35.
11. **Brailovsky V. V.** Noise protected information system on visible light / V. V. Brailovsky, I. V. Pyslar, M. G. Rozhdestvenska // Measuring and Computing Devices in Technological Processes. – 2013. – Vol. 3 (44), – pp. 157–160.
12. **Brailovsky V. V.** Physiologic aspects of designing of hidden information systems based on visible optical radiation / V. V. Brailovsky, M. G. Rozhdestvenska, I. V. Pyslar, O. V. Poshak // Technologies and Construction in Electronic Equipment. – Odessa, January-February 2015. – Vol. 1, – pp. 13–16.
13. **Kikoin I. K.** Tables of physical quantities / I. K. Kikoin – Moscow: Atmosezdat, 1976. – p. 99.
14. **Goncharova Yu. S.** Spectral method of non-contact measurement of temperature at crystals of semiconductor light sources. / Yu. S. Goncharova, M. A. Romanova S. V. Smirnov // Reports of Tomsk State University Control Systems and Radio Electronics. – 2015. – № 2(36), – pp. 38–40.
15. **Smirnov S. V.** Specter temperature dependence of white light-emitting diodes based on gallium nitride and solid solutions. / S. V. Smirnov, E. V. Savruk, Yu. S. Goncharova // Scientific journal «TUSUR's Reports» – 2011. – № 2(24), – pp. 55–58.
16. **Shipunov M. V.** Analysis method of launching automobile diesel engines of internal combustion in the conditions of low temperatures / M. V. Shipunov // Collection of scientific works (branch mechanical engineering, construction). – 2013. – № 1(36), Vol. 2, – pp. 156–164.
17. **Doroshenko G. D.** Television systems and technical view / G. D. Doroshenko, V. P. Kozhem'jako, S. V. Pavlov – 2014. – Vinnica, VNTU. – 209 p.
18. **Fedjukina G. V.** Lighting equipment reference book / G. V. Fedjukina, G. N. Rohlin – 2006. – М.: Знак. – 972 p.

Поступила
06.09.2017

После доработки
19.01.2018

Принята к печати
15.03.2018

I. V. Pyslar, V. V. Brailovsky, M. G. Rozhdestvenska, M. M. Ivanchuk

CAPABILITIES OF APPLYING VISIBLE LIGHT RAYS IN THE SYSTEMS OF HIDDEN INFORMATION TRANSMITTING

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine

In the paper some aspects of visible light pulses using for hidden information transmitting are considered. We have investigated perception of the human vision to visual light pulses which have different power and frequency. It is established that

pulsed light source becomes invisible at certain ratio of radiating light stream and ambient light level (background lighting (BL)). For example, in the case of background lighting $E = 400$ lx light pulses following with frequency 50 Hz are invisible when their power is less than 0.12 W. In the paper we represented experimental frequency dependence of the power of light pulses which are invisible for human eye at BL preset level.

To eliminate the influence of distracting and masking factors (for example, BL pulsations) we offer to choose LED matrixes powered by stabilized adjustable DC power supply unit as an optimal BL source. Based on experimental data about current and temperature dependences of light stream power and LED matrix radiation spectra we developed a method of assignment of BL level by changing LED current. Approximating equation for dependence of light stream quantity versus LED current in the case of thermostating is obtained. Temperature self-regulation effect of the heater, which has positive temperature coefficient of resistance, can satisfactorily solve the problem of temperature stabilization of LED background lighting source. In the case of thermostat heater made from material with positive temperature coefficient of resistance 0.48 K^{-1} the change of LED matrix temperature was 7 times less than without thermostat.

To provide research in wide frequency and duration ranges of pulse sequences (10^{-3} – 10^3 Hz and 10^{-7} –1 s) a pulse generator was developed and made using microcontroller PIC18F2550.

Keywords: light pulse, hidden transmitting of information, background lighting, LED matrix.

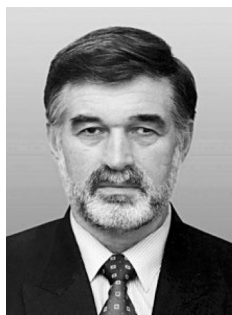


Пислар Иван Васильевич. Аспирант кафедры радиотехники и информационной безопасности Черновицкого национального университета. Окончил магистратуру Черновицкого национального университета имени Юрия Федьковича (2013). В 2015 вступил в аспирантуру.

Научные интересы: защита информации, радиотехника, светотехника.

E-mail: i.pyslar@chnu.edu.ua

Pyslar Ivan. PhD student at the department of Radio Engineering and Information Security at Yu. Fedkovych Chernivtsi National University. From 2015 PhD student at that department.



Браиловский Владимир Васильевич. Доцент кафедры радиотехники и информационной безопасности Черновицкого национального университета, к. ф.-м. наук. В 1984 защитил кандидатскую диссертацию (специальность твердотельная электроника). Научные интересы: защита информации, радиотехника, твердотельная электроника.

E-mail: brailovsky@ukr.net

Brailovsky Vladimir. PhD (physics-mathematics), lector at the department of Radio Engineering and Information Security at Yu. Fedkovych Chernivtsi National University.



Рождественская Маргарита Григорьевна. Доцент кафедры радиотехники и информационной безопасности Черновицкого национального университета, к. ф.-м. наук. В 1999 защитила кандидатскую диссертацию (специальность физика полупроводников и диэлектриков).

Научные интересы: защита информации, радиотехника.

Email: m.rozhdestvenska@chnu.edu.ua

Rozhdestvenska Magharyta. PhD (physics-mathematics), lector at the department of Radio Engineering and Information Security at Yu. Fedkovych Chernivtsi National University.



Иванчук Михаил Михайлович. Ассистент кафедры радиотехники и информационной безопасности Черновицкого национального университета, к. т. наук. В 2011 защитил кандидатскую диссертацию (специальность радиотехнические устройства и средства телекоммуникаций).

Научные интересы: защита информации, радиотехника, цифровая техника.

Email: ivanchuk.m.m@rambler.ru

Ivanchuk Mihailo. PhD (physics-mathematics), assistant of the department Radio Engineering and Information Security at Yu. Fedkovych Chernivtsi National University.