

МГТУ имени Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2008. № 4. – С. 105–115.

5. Старосотников, Н.О. Оценка точности определения координат энергетического центра тяжести тест-

объекта коллиматора в схемах контроля опτικο-электронных приборов с матричными фотоприемниками / Н.О. Старосотников, Р.В. Фёдорцев // Наука и техника. 2015. № 5. – С. 71–76.

УДК 621.375

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОПРИЕМНИКОВ В СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНОСТИ ФАЗ МЕЖДУ ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМИ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

Шейников А.А.¹, Суходолов Ю.В.²

¹Военная академия Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Основной функцией любого фотоприемника является преобразование оптического излучения (оптического сигнала) в какую-то другую форму, более удобную для последующей регистрации. Чаще всего фотоприемники преобразуют оптическое излучение в форму электрических сигналов, методы регистрации которых на сегодняшний день наиболее хорошо отработаны. Полезной информацией об оптическом сигнале при его регистрации обычно являются какие-то его энергетические характеристики, т. е. полная энергия либо средняя по определенному интервалу времени мощность падающего в апертуру фотоприемника и поглощаемого последним потоком фотонов. Практически ни один фотоприемник не способен без применения каких-либо дополнительных оптических элементов (устройств) осуществлять регистрацию каких-то других характеристик светового излучения (его несущей частоты или длины волны, поляризации, локальной интенсивности и т. д.). Для этого в измерительную схему обычно включаются оптические фильтры, призмы, дифракционные решетки, пространственные диафрагмы, что усложняет и удорожает конструкцию.

При разработке оптоэлектронных систем часто встает вопрос о выборе фотоприемника, обеспечивающего соответствие параметров электрических сигналов на его выходе характеру модуляции входного оптического излучения. Успешное решение этой задачи зависит от соотношения быстродействия фотоприемника и длительности входного светового импульса. Принцип действия многих оптоэлектронных измерительных систем и систем связи основан на использовании световых импульсов малой длительности (в том числе периодических). Так, в конструкции импульсного оптического рефлектометра применяются полупроводниковые лазеры, генерирующие импульсы длительностью от 1 нс до 10 мкс [1]. Длительность импульсов излучения задающего лазера твердотельного лазерного гироскопа составляет 0,5 мкс [2]. В волоконно-оптических интерферометрических датчиках поверхностно-излучающий лазер генерирует импульсы длительностью 1 нс и периодом следования 1 мкс [3].

Инерционность фотоприемников характеризуется постоянными фронта нарастания и спада фототовета при импульсной засветке. Так, промежуток времени от начала облучения до момента, когда выходная величина достигает 63% от установившегося значения при длительном облучении, называется постоянной фронта нарастания. Постоянная времени спада определяется как интервал времени после прекращения воздействия излучения, по истечении которого спадающий по экспоненте фотосигнал уменьшается до 37%. К примеру, длительность фронта нарастания оптического излучения комплекта аппаратуры для информационного обмена ОМТД-01м составляет 10 нс [4], такое же значение имеет постоянная времени кремниевого фотодиода ФД-256 [5].

Таким образом, современный технологический уровень обеспечивает возможность преобразования фотоприемником модулированного оптического излучения в соответствующую этому световому сигналу периодическую последовательность электрических трапециевидных импульсов длительностью не менее 30 нс (3·10 нс) с фронтом не менее 10 нс и периодом следования не менее 1 мкс.

В [6] представлен подход к измерению разности фаз между двумя периодическими последовательностями трапециевидных электрических импульсов, позволяющий оценивать рассматриваемый параметр используя значения характерных гармонических составляющих спектра суммы этих сигналов. Суть разработанного метода заключается в замене непосредственной регистрации разности фаз между периодическими последовательностями импульсов, регистрацией параметров характерных гармонических составляющих спектра результирующей суммы рассматриваемых сигналов. При этом в рассмотрение принимаются только те гармонические составляющие, которые обладают максимальной чувствительностью к отклонениям фазы и минимальной чувствительностью к некоррелированным изменениям параметров сигналов, обусловленным нестабильностью работы отдельных элементов измерительной аппаратуры. Последнее способствует повышению точности

измерений. В качестве «нестабильного работающего» источников электрических сигналов могут выступать два фотоприемника облучаемых модулированным световым потоком. При этом инструментальную погрешность можно компенсировать за счет обоснованного выбора параметров модуляции оптического излучения.

Модуляция света – это модуляция колебаний электромагнитного излучения оптического диапазона (видимого света, ультрафиолетового и инфракрасного излучений). При модуляции света изменяются амплитуда, фаза, частота или поляризация световых колебаний. В любом из этих случаев в конечном счёте меняется совокупность частот, характеризующая излучение, – его гармонический состав. Модуляция света позволяет «нагружать» световой поток информацией, которая переносится светом и может быть затем извлечена и использована. В принципе количество информации, которое можно передать, модулируя колебания какого-либо вида, тем более велико, чем выше частота этих колебаний (в частности, потому, что с возрастанием несущей частоты появляется возможность увеличить ширину полосы частот модулирующих сигналов). Частоты видимого света 10^{15} - 10^{16} Гц, а всего диапазона оптического излучения – от 10^{12} до 10^{20} Гц, т. е. значительно выше, чем у других колебаний, модулируемых с целью передачи информации. Это обуславливает важность и перспективность модуляции света. Во многих технических применениях частота модулирующего сигнала на столько мала по сравнению с частотой используемого оптического излучения, что изменение его гармонического состава пренебрежимо мало, и под модуляцией света понимают периодическое или непериодическое изменение лишь интенсивности излучения. Простейшим, известным с древности примером такой модуляции света является световая сигнализация с прерыванием светового потока. В современной технике при подобной модуляции света часто важна форма оптических сигналов, которую выбирают наиболее удобной для выполнения конкретной задачи. Это могут быть кратковременные импульсы света, сигналы, близкие к прямоугольным, гармоническим и т. д. Простейшими модуляторами света являются механические устройства, позволяющие прерывать на некоторые заданные интервалы времени световой поток. К ним относятся вращающиеся диски с отверстиями (обтюраторы), растры, колеблющиеся или вращающиеся заслонки, зеркала, призмы, а также устройства, в которых происходит управляемое модулирующим сигналом нарушение оптического контакта. Другой класс приборов, используемых для внешней амплитудной модуляции света, составляют модуляторы, действие которых основано на управлении поглощением света в полупроводниках. Это поглощение зависит от концентрации и

подвижности свободных носителей заряда в полупроводнике и может управляться изменением в нём напряжения или тока. Для создания модуляторов света перспективны также прозрачные ферриты и антиферромагнетики. Наиболее часто для модуляции света используют эффекты, приводящие к изменению преломления показателя оптической среды под действием внешнего поля, – электрооптические (эффект Керра, эффект Погкельса), магнитооптический (эффект Фарадея) и акустооптический. В модуляторах, работающих на этих эффектах, происходит фазовая модуляция света поэтому их называют также фазовыми ячейками. Частоты модулирующих сигналов в большинстве оптических сред, заполняющих фазовые ячейки, могут достигать 10^{11} Гц.

Управление параметрами модуляции целесообразно осуществлять за счет метода предложенного в [7]. Рассматриваемый метод высокоэффективной модуляции оптического излучения на базе поперечного электрооптического эффекта, отличается высокой стабильностью светомодуляционных характеристик. Амплитудно-поляризационная модуляция плоско поляризованного излучения осуществляется за счет расщепления плоско поляризованного светового пучка на два ортогонально поляризованных, их фазовой модуляции и последующего суммирования. Кроме этого в [7] предложен метод амплитудной модуляции плоско поляризованного излучения, который осуществляется за счет расщепления светового пучка при помощи объемной голограммы, представляющей собой две брэгговские решетки с параллельными штрихами, на два поляризованных в одной плоскости, их фазовой модуляции и последующего их суммирования.

Таким образом, результаты проведенного анализа показывают возможность точной оценки разности фаз между последовательностями оптических импульсов малой длительности и коротким периодом следования после их преобразования быстродействующими фотоприемниками. Предложенный подход обеспечивает возможность создания достаточно простых и дешевых цифровых средств измерений в рассматриваемой области.

Литература

1. Листвин, А.В. Рефлектометрия оптических волокон / А.В. Листвин, В.Н. Листвин. – М.: ЛЕСАРП, 2005. – 208 с.
2. Твердотельный лазерный гироскоп: пат. 90895 РФ, МПК G01C19/72 / В.К. Сахаров, В.П. Дураев; заявитель ЗАО «Центр волоконно-оптических систем передачи информации». – № 2009141547/22; заявл. 12.11.2009; опубл. 20.06.2011.
3. Киреевков, А.Ю. Волоконно-оптические интерферометрические методы для построения измерительных систем на основе поверхностно-излучающего лазера: диссертация ... к-та техн. наук: 05.11.01 / А.Ю. Киреевков. – СПб., 2017. – 155 л.

4. Варава, Н. Активные компоненты волоконной оптики в системах управления технологическими процессами / Н. Варава, М. Никоноров, С. Пронин // Электроника. – 2013. – № 7. – С. 86–93.

5. Коновалов, Г.Г. Создание и исследование высокоэффективных быстродействующих фотодиодов для средней ИК-области спектра на основе узкозонных гетероструктур: дис. ... к-та физ.-мат. наук: 01.04.10 / Г.Г. Коновалов. – СПб., 2014. – 168 л.

6. Спектральный метод измерения изменений временных интервалов между периодическими последовательностями импульсов / А.А. Шейников, А.В. Исаев, В.В. Зеленко, Ю.В. Суходолов // Приборы и методы измерений. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 42–51.

7. Методы и средства электрооптической модуляции излучения ИК области спектра / В.А. Пилипович, А.И. Конойко, А.М. Поликанин // Проблемы физики, математики и техники. – 2011. – № 4(9). – С. 54–59.

УДК 53.06+62-1/-9

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПОСТАНОВКИ ЗРИТЕЛЬНЫХ ПОМЕХ Терехова М.С., Рудиков С.И., Свобович И.В., Шабета Ю.М., Шкадаревич А.П.

*Научно-технический центр «ЛЭМТ» БелОМО
Минск, Республика Беларусь*

Введение. Специфика современной политической обстановки и текущий уровень развития техники и технологий привели к актуализации проблемы разработки оружия нелетального действия (ОНД). Воздействие ОНД отличается гуманностью (отсутствие стремления нанести непоправимый урон, совместимый с потерей жизни), адекватностью и достаточностью. Одним из направлений развития ОНД является разработка оружия, основанного на временном ослеплении живой силы противника. Использование указанного типа ОНД объясняется существованием осознанного или неосознанного страха зрячего человека ослепнуть, что позволяет проводить эффективное задержание нарушителя [1]. При этом выбирается длина волны излучения, соответствующая максимуму относительной спектральной чувствительности человеческого глаза в ночное и дневное время (507 нм–555 нм) [2]. Если энергия излучения превышает некоторую пороговую величину, необходимую для нормального протекания фотохимических реакций, происходящих с хромофромом фоторецепторных клеток сетчатки, может произойти ряд негативных последствий: фотоакустическое, фототермическое и фотохимическое повреждение хрусталика, роговицы и сетчатки, проявляющиеся в различных заболеваниях глаза и слепоте [3]. В связи с этим разработка оружия временно ослепляющего действия, а именно лазерного оружия (ЛО) находится под контролем протокола IV 1995 г. конвенции ООН 1980 г. [4].

В настоящее время на рынке представлен ряд устройств, вызывающих временное ослепление – продукты компаний В. Е. Meyers Advanced Photonics (GLARE MOUNT и его модификации), Laser Energetics (Dazer Laser в различных вариантах исполнения), Thales Group (GLOW) и др. [5]. Также система комплексного нелетального воздействия, включающая в себя ЛО, находится на вооружении Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации [6].

В Республике Беларусь разрабатывается комплекс, обеспечивающий постановку помех посредством воздействия на зрительную систему

человека. В связи с этим целью работы является определение критериев оценки эффективности действия системы постановки помех.

Материалы и методы. Разработка «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО» представляет собой устройство, работающее в трех каналах с длинами волн $\lambda = 525$ нм, 640 нм, 808 нм. Заявленная выходная мощность для каждого канала составляет 3 Вт. Расходимость излучения варьируется в зависимости от канала (от 0,58 до 7,2 мрад). Постановка зрительных помех нарушителю и/или оптическим системам осуществляется в каналах $\lambda = 525$ нм и $\lambda = 640$ нм. Канал $\lambda = 808$ нм предназначен для обнаружения замаскированных и открытых оптических приборов нарушителя. Само устройство устанавливается на опорно-поворотную платформу и дает возможность регулирования эффективности воздействия за счет предварительного наведения на цель, определения расстояния до нее с помощью дальномера и автоматической подстройки мощности излучения.

Результаты и обсуждение. Эффективность действия устройств временного ослепления можно оценить с помощью ряда критериев. Одним из способов является сравнение значений характеристик с существующими предельно допустимыми уровнями, указанными в стандартах. Однако такой способ не дает возможности более точного описания эффективности работы устройств на заданном расстоянии. Мы предлагаем выделить дополнительные энергетические зоны с использованием граничных значений, указанных в ГОСТ 60825-1-2013/СТБ 60825-1-2011 и ICAO (Doc 9815-AN/447, 2003).

Класс опасности лазера позволяет определить максимальный уровень интенсивности лазерного излучения (ЛИ), при увеличении интенсивности до которого происходит дестабилизация зрения, а также возрастает риск необратимого повреждения особенно при длительном наблюдении. Предельные плотности мощности ЛИ для лазеров классов опасности 3R и 3B для длин волн $\lambda = 400$ –700 нм и длительностью длительности излучения, соответствующей мигательному рефлексу 0,25 с