

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ СХЕМЫ БАЛАНСНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

В статье предложена и обоснована схема баланснoй фильтрации на основе акустооптических фильтров, показана необходимость создания динамического растра, приведены результаты экспериментальных исследований дисперсионных характеристик акустооптического фильтра

оптоэлектронные системы, акустооптический фильтр, балансная фильтрация, динамический растр, оптический диапазон, брэгговская дифракция

Постановка проблемы

Для решения задач обнаружения оптических сигналов и образов очень важно отобрать минимальное число спектральных и пространственных признаков, обеспечивающих заданные показатели качества работы оптоэлектронной системы (ОЭС), не усложняя при этом ее конструкцию и не снижая надежности работы [1]. Спектральные отражательные и излучательные способности большинства объектов описываются одномодальной функцией распределения вероятностей. Спектральные оптические признаки объектов используются в большинстве случаев ограниченно – путем использования двухцветовой спектральной оптической фильтрации. Известен метод образования отношения сигналов, приходящихся на два узких спектральных диапазона – балансная спектральная фильтрация. Она основана на одновременном использовании различий в спектральных и пространственных характеристиках обнаруженного объекта и помехи [2]. Отбор подмножества спектральных признаков ведется путем выделения такого рабочего диапазона работы ОЭС, в котором энергетическое отношение сигнал/помеха максимально.

Применение баланснoй спектральной фильтрации в совокупности с пространственной и спектральной фильтрацией может заметно повысить по-

мехозащищенность ОЭС. Сущность метода баланснoй фильтрации заключается в формировании оптической системой пространственных картин в двух различных диапазонах, смещении соответствующих им модулированных сигналов по фазе на 2π и последующем взаимном вычитании этих сигналов. Границы двух диапазонов излучений, в которых формируются две пространственные картины, выбираются из условия уравнивания энергий излучения помехи в каждом диапазоне, что и предопределяет возможность компенсации сигнала помехи. Выделение сигнала цели после вычитания достигается за счет различия энергий излучения цели в каждом оптическом диапазоне. Границы диапазонов $\lambda_1 \dots \lambda_2$ и $\lambda_3 \dots \lambda_4$ выбираются из условия:

$$\tau_{a1} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{II}(\lambda) S(\lambda) \tau_0(\lambda) d\lambda = \tau_{a2} \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} M_{II}(\lambda) S(\lambda) \tau_0(\lambda) d\lambda,$$

где τ_{a1} , τ_{a2} – коэффициенты ослабления принимаемого излучения средой распространения в каждом диапазоне соответственно; $M_{II}(\lambda)$ – спектральное распределение излучения помехи; $S(\lambda)$ – спектральная чувствительность приёмника; $\tau_0(\lambda)$ – коэффициент спектрального пропускания оптической системы.

Анализ публикаций

В [3] предлагается практическая реализация спектральной балансной фильтрации. Недостатками предложенной схемы является использования таких диспергирующих устройств, как призма или дифракционная решетка, которые не позволяют осуществить перестройку спектральных характеристик системы. Кроме этого, наличие заслонок, непрозрачных экранов и т.д. для отсеки ненужных составляющих спектра, усложняют конструкцию устройства.

В [1] обоснована необходимость использования различного количества спектральных каналов обработки изображения, для решения задач дистанционного зондирования, воздушной разведки, обнаружение цели на различных фонах. Однако данных о системах, которые позволяли бы в процессе своей работы изменять количество спектральных каналов не приводится.

Постановка задачи

При реализации схем балансной фильтрации используются двухцветные растры. Однако, сложность в изготовлении самих растров, наличие механических частей, трудности в обеспечении перестройки по диапазонам в реальном масштабе времени ограничивают на практике применение схем балансной фильтрации. Одним из возможных путей практической реализации схемы балансной фильтрации является организация двухцветного растра на основе акустооптического фильтра (АОФ).

Цель статьи

Разработка схемы балансной фильтрации на основе динамических растров.

Основной материал

Перестраиваемый АОФ является новым твердотельным прибором с электрически управляемой спектральной характеристикой, возможностью

фильтрации световых пучков с широкими угловыми апертурами [4].

Основными достоинствами АОФ являются формирование требуемой спектральной характеристики электронным способом за счет возбуждения ряда частот с различными амплитудами, изменяемая полоса пропускания АОФ путем регулирования мощности электрических колебаний.

В одноосных кристаллах широкоапертурная геометрия взаимодействия реализуется, если плоскость акустооптического взаимодействия проходит через оптическую ось, а волновой вектор ультразвука составляет с перпендикуляром к оптической оси некоторый угол $\alpha \neq 0$ [5]. Это говорит о том, что при заданной частоте ультразвука f_0 и длине волны света λ условие брэгговского синхронизма $\lambda \cdot f_0 = 2v \cdot \sin \theta_B$ автоматически выполняется в некотором диапазоне углов падения оптического пучка на ультразвук θ_B , т.е. брэгговская дифракция становится малочувствительной к углу падения света.

При непрерывной перестройке частоты управляющего сигнала АОФ имеется возможность производить спектральный анализ падающего на фильтр оптического излучения. Время перестройки с одной спектральной линии на другую обычно не превышает десятков микросекунд. Для анализа спектра в диапазоне длин волн от λ_1 до λ_2 АОФ требуется время $t \approx \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\Delta \lambda} \tau$, где $\tau = \frac{L}{v_0}$, имеющее порядок долей миллисекунд. Таким образом, АОФ можно использовать для анализа излучения быстропротекающих процессов.

При подаче на пьезообразователь АОФ одновременно нескольких синусоидальных сигналов фильтр становится прозрачным для такого же числа световых волн, определяемых соотношением

$$\lambda = \frac{V}{f} \Delta n, \quad \text{где } \Delta n = n_d - n_i, \quad n_i > n_d -$$

коэффициенты преломления падающей и дифрагированной световой волны, V – скорость звука, λ –

длина световой волны в вакууме. Если на вход АОФ поочередно подавать импульсы управляющего сигнала на частотах f_1, f_2, f_3 и т.д., то в соответствующие моменты времени фильтр будет прозрачен для излучения на длинах волн $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$

При акустооптическом взаимодействии угловое положение дифракционных компонент связано с проекциями волнового вектора света на оси координат: $\kappa_1 = \kappa \cos \Theta$, $\kappa_2 = \kappa \sin \Theta$ и волновым числом ультразвуковой волны κ_0 соотношением

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{k_2 + m k_0}{k_1}, \quad (1)$$

где m – номер дифракционного порядка.

Структурная схема с использованием АОФ изображена на рис.1. Излучение от объектов и фонов поступает на вход оптической системы 1, которая формирует изображение в плоскости акустооптического взаимодействия АОФ 2. Управление работой АОФ осуществляется посредством синтезатора частоты 3, который формирует сигнал на двух частотах f_{01} и f_{02} . Это обеспечивает раздельное формирование двух спектрально разнесенных картин наблюдаемого пространства в плоскости анализа. В качестве фотоприемников используются два массива ПЗС 4-1, 4-2. Выходные устройства формирователей видеосигнала 5-1, 5-2 осуществляют фазовый сдвиг модулированных сигналов от спектральных картин. Вычитание электрических сигналов соответствующих картин производится в сумматоре 6, с выхода которого разностный сигнал поступает на устройство визуализации 7.

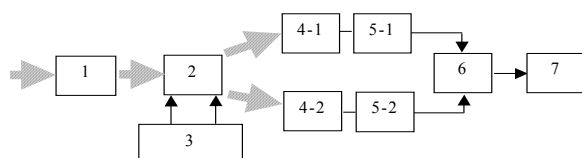


Рис. 1. Структурная схема АОФ

Отсутствие подвижных механических частей и электронная перестройка АОФ позволяют получить пространственную и спектральную информацию об

объекте в реальном масштабе времени.

АОФ формирует две спектральные картины, разнесенные в пространстве, которые могут характеризоваться углами дифракции φ_1 и φ_2 . Однако в случае, когда расстройка по частоте мала - $f_{01} \approx f_{02}$, в соответствии с (1) $\varphi_1 \approx \varphi_2$. Это приводит к необходимости использования выходных поляризаторов, которые существенно снижают уровень оптического сигнала на входе фотоприемников.

В работе [6] было предложено использовать вторые порядки брэгговской дифракции при анализе оптического излучения АО фильтрами. Показано, что угловая дисперсия и разрешающая способность акустооптических приборов, использующих вторые порядки дифракции, при равных геометрических размерах и акустооптических свойствах звукопровода будут в два раза выше, чем на первом порядке дифракции. Это позволяет в два раза увеличить пространственный разнос спектральных картин и отказаться тем самым от использования поляризаторов.

Для подтверждения достоверности этих теоретических положений были проведены экспериментальные исследования дисперсионных свойств акустооптического взаимодействия первого и второго порядков. Для проведения исследований использовался АО фильтр на основе монокристалла парателлурита TeO_2 . Пьезопреобразователь из ниобата лития возбуждал в кристалле сдвиговую акустическую моду в полосе частот ультразвука 45-74 МГц. Полоса частот преобразователя позволяла осуществлять дифракцию излучения в интервале длин волн 0,51-0,84 мкм. Схема экспериментальной установки для исследования характеристик АО фильтра представлена на рис.2. Измерение параметров фильтра (2) на фиксированных длинах волн удобно проводить с помощью источника монохроматического излучения. В качестве такого источника использовался He-Ne лазер ЛГ-72 (1) с длиной волны излучения 0,628 мкм. Приемником излучения служил Ge-фотодиод ФД-3 (6). Измерения проводились в непрерывном

режиме работы преобразователя при мощности управляющего электрического сигнала $P=0,1$ Вт, который формировался генератором Г4-158 (5) и усиливался до требуемого значения усилителем (3). Уровень сигнала на преобразователе контролировался вольтметром В7-15 (4), а на выходе фотоприемника вольтметром В7-20 (7).

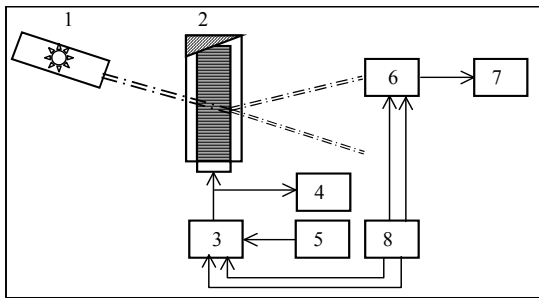


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования характеристик АО фильтра

Для определения величины угловой дисперсии $D = \frac{\partial \varphi}{\partial F}$ были построены графики зависимости угла дифракции φ от частоты ультразвука F для первого и второго брэгговского резонанса (рис.3).

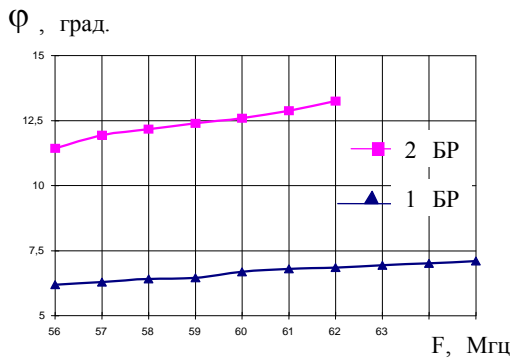


Рис. 3 Зависимости угла дифракции φ от частоты ультразвука F

Экспериментальное изучение спектральных характеристик фильтра показало, что угловая дисперсия на втором брэгговском резонансе в два раза выше, чем на первом. Сравнительные оценки величины угловой дисперсии полученные экспериментальным путем и путем моделирования находятся в пределах погрешностей измерения.

Выводы

Предложена оптоэлектронная схема балансной фильтрации на основе перестраиваемых акустооптических фильтров. Экспериментально доказана возможность использования вторых порядков брэгговской дифракции при создании динамических растров с малой расстройкой по частоте.

Перспективы

В дальнейшем усилия авторов будут направлены на разработку научно-обоснованных рекомендаций по созданию многоспектральных ОЭС распознавания на основе динамических растров.

Литература

1. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. //Многоспектральные оптоэлектронные системы.
2. Якушенков Ю.Г., Луканцев В.Н., Колосов М.П. Методы борьбы с помехами в оптоэлектрических приборах. - М.: Радио и связь, - 1981.
3. Ю.Г. Якушенков Теория и расчет оптоэлектронных приборов. - М.: Машиностроение, 1989. - 360с.
4. Епихин В.М., Визен Ф.Л., Никитин Н.В., Калинин Ю.К. // ЖТФ. 1982. Т. 52. Вып. 12. - С. 2405 - 2410.
5. И.И. Зубринов, В.К. Сапожников, Д.В. Шелопут //ЖТФ. 1997. Т. 67. Вып. 6. С. 50 - 53.
6. Купченко Л.Ф., Коробка А.Г. Акустооптические фильтры с повышенной разрешающей способностью для видеоспектрометров систем воздушной разведки и экологического контроля // Авиационно-космическая техника и технология. Сборник научных трудов. Вып. 22. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», 2001 г. - С. 353 - 357.

Поступила в редакцию 07.10.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Волосюк В.К., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского „ХАИ”, г. Харьков