

ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ НЕИЗВЕСТНЫХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ АКУСТООПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

А.Р. ГАСАНОВ

*Институт Физики АН Азербайджана,
370143, Баку, пр. Г. Джавида, 33*

Анализируется возможность использования эффекта акустооптического взаимодействия для: панорамного обзора диапазона частот, согласованной фильтрации ЛЧМ сигналов и демодуляции сигналов с угловой модуляцией.

Введение

В современной радиотехнике, особенно в системах радиопротиводействия, измерения параметров летающих объектов и т.д., вопросы обнаружения и распознавания различных радиоизлучений имеют существенное, а в некоторых случаях - решающее значение. Известно, что высокочастотный сигнал полностью определяется его амплитудно - и фазочастотными характеристиками. Поэтому, верность воспроизведения полезной информации однозначно зависит от степени соответствия - согласованности указанных характеристик сигнала и приемного устройства. Наилучшее решение этой проблемы обеспечивается применением различных панорамных приемников, согласованных фильтров и т.п.

Целью данной работы является обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований, направленных на решение проблемы обнаружения и распознавания неизвестных радиоизлучений, на базе использования особенностей эффекта взаимодействия акустических и оптических волн в фотоупругих средах.

В настоящее время применяется большое разнообразие стеклообразных и кристаллических фотоупругих материалов. Однако поиск и исследование фотоупругих материалов с наилучшими характеристиками продолжается. В настоящее время разработаны акустооптические модуляторы (АОМ) с широкой полосой пропускания, достигающей 40÷60% от центральной частоты, и обеспечивающие эффективное акустооптическое взаимодействие при мощности на электрическом входе всего в несколько десятков мВт [1]. АОМ состоит из фотоупругой ячейки, к одному торцу которой прикреплен электроакустический преобразователь (ЭАП).

При соблюдении определенной геометрии акустооптического взаимодействия падающий световой пучок дифрагирует на упругом волновом пакете, возбужденном в фотоупругой ячейке, поданным к электродам ЭАП, электрическим сигналом. Интенсивность, частота и направление распространения продифрагировавшего светового пучка являются функциями соответствующих параметров входного электрического сигнала [2]. При этом, реакция фотодетектора, установленного на пути продифрагировавшего порядка, отстает от воздействия на входе ЭАП на время $t=x/\theta$, где x - расстояние от ЭАП до точки акустооптического взаимодействия; θ - скорость распространения упругих волн в фотоупругом материале.

Перечисленные особенности взаимодействия акустических и оптических волн в АОМ используется для по-

строения приемников панорамного обзора широкого диапазона радиочастот, согласованных фильтров, демодуляторов сигналов с угловой модуляцией и т.п.

1. Акустооптические панорамные приемники.

Панорамные приемники являются панорамными поисковыми устройствами, обеспечивающими одновременный прием многих радиосигналов с различными несущими частотами. Среди известных устройств этого класса акустооптические приемники (АОП) панорамного обзора являются наиболее перспективными, что обусловлено сочетанием широкой полосы частот панорамного обзора и узкой шумовой полосы (единицы МГц) каждого канала.

В настоящее время применяют панорамные АОП прямого усиления, супергетеродинный АОП [3] и АОП гетеродинного типа [4].

В АОП прямого усиления принимаемый сигнал усиливается широкополосным усилителем и поступает на АОМ, в котором излучение лазера дифрагирует на ультразвуке и фокусируется линзой на поверхность многоканального фотоприемника. Схема супергетеродинного приемника отличается от АОП прямого усиления тем, что наряду с исследуемым сигналом, на АОМ поступают сигналы гетеродинов. Световые пучки, продифрагировавшие на сигналах гетеродинов, попадают на соответствующие элементы фотоприемника, выполняющие теперь роль смесителей, где смешиваются со световыми пучками, продифрагировавшими на принимаемых сигналах. Биения между сигналом и гетеродином, возникающие на выходе фотоприемника, выделяются электрическими полосовыми фильтрами.

Наилучшие результаты обеспечивает АОП гетеродинного типа, который отличается от известных аналогов, также, простотой технической реализации. В этом устройстве (рис.1) радиосигналы $u(t)$ усиливаются широкополосным усилителем 1, поступают на электрический вход АОМ 2 и возбуждают в нем упругие волны соответствующей частоты. Формирующий каскад 3 расщепляет излучение лазера 4 на n пучков и направляет их в апертуру АОМ 2 под различными углами так, что каждый световой пучок взаимодействует только с упругой волной одной частоты. Установленные в задней фокальной плоскости АОМ 2 парциальные дифракционные решетки 5 формируют из продифрагировавших световых пучков гетеродинные поля. Пространственные шаги парциальных дифракционных решеток различаются. Поэтому направления распространения гетеродинных пучков,

также, различны. Один из гетеродинных пучков, появившийся вследствие дифракции света на парциальной дифракционной решетке с периодом равным периоду

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) + \dots + u_n(t)$$

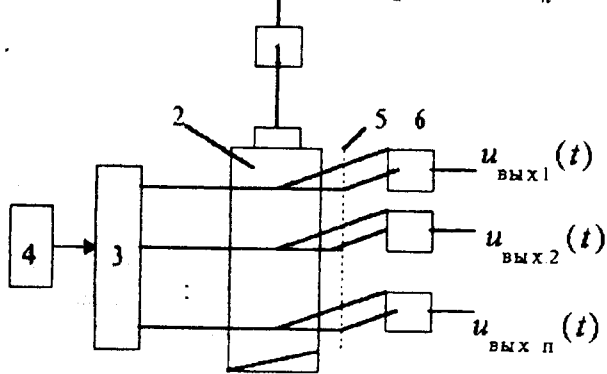


Рис. 1.

упругой волны, оказывается коллинеарным с соответствующим сигнальным пучком и гетеродинируют на светочувствительной поверхности соответствующего фотоприемника 6. Результат оптического гетеродинирования выделяется и подается на соответствующий измеритель. Сигнал на выходе n -го элемента фотоприемника 6, с точностью до постоянного множителя k , соответствует n -му входному сигналу, задержанному на время x_{0n}/θ , где x_{0n} - расстояние от ЭАП до n -го луча, т.е.

$$u_{\text{вых},n}(t) = k \cdot u_n(t - x_{0n}/\theta) \quad (1)$$

Ширина полосы пропускания каждого канала определяется соотношением:

$$\Pi \approx 2,792\theta / (\pi d), \quad (2)$$

где d - апертура падающего светового пучка.

В работе [4] приведены некоторые результаты экспериментальных работ, подтверждающих справедливость приведенных суждений.

2. Согласованная фильтрация ЛЧМ сигналов.

Сигналы с внутриимпульсной линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) получили широкое применение в радиолокации, где требуется определить положения во времени и мгновенную частоту сигнала [5]. Для осуществления фильтрации ЛЧМ сигналов используют дисперсионные линии задержки (линии задержки с линейной зависимостью времени задержки от частоты). В настоящее время используется два способа получения дисперсионной характеристики. В первом способе используется физическая дисперсия некоторых типов акустических волн (зависимость скорости распространения акустических волн от частоты), а во втором – неэквидистантные преобразователи поверхностных акустических волн [6].

Если на вход фильтра, согласованного с ЛЧМ сигналом, подать ЛЧМ сигнал, то на его выходе формируется короткий радиоимпульс большей амплитуды и с постоянной частотой высокочастотного заполнения. При этом

наилучшие результаты обеспечивает ЛЧМ импульс с большой длительностью. Однако, современные согласованные фильтры (СФ), построенные на основе дисперсионных линий задержки, позволяют обрабатывать сигналы с базой не превышающей 100 [2].

Исследования особенностей акустооптического взаимодействия показали, что на основе этого эффекта можно реализовать дисперсионную акустооптическую линию задержки, которая позволит увеличить на 1-2 порядка эффективность СФ ЛЧМ сигналов по сравнению с существующими аналогами. В этом случае, излучение лазера 1 (рис.2) расщепляется на n пучков формирующим

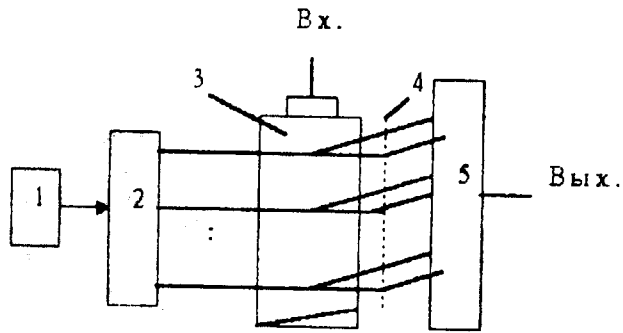


Рис. 2.

каскадом 2. Световые пучки падают в апертуру АОМ 3 под различными углами так, что каждый световой пучок может взаимодействовать с упругой волной определенной частоты. Формирование продифрагированных порядков завершает диафрагма 4 с отверстиями, расположенными под различными углами к оптической оси [7]. Фотодетектор с большой апертурой 5 осуществляет также операцию суммирования. При подаче на вход ЛЧМ импульса, на выходе формируется низкочастотный отклик, обусловленный воздействием на светочувствительную поверхность фотодетектора 5 n продифрагированных порядков, образующихся вследствие взаимодействия n световых пучков с различными участками ЛЧМ импульса. Рассмотренный метод согласованной фильтрации позволяет увеличивать отношение сигнал-шум на выходе в n раз по отношению с входом.

3. Демодуляция сигналов с угловой модуляцией.

В соответствии с видами модуляции различают частотные и фазовые демодуляторы. Частотным называют демодулятор, напряжение на выходе которого определяется отклонением мгновенной частоты входного сигнала от среднего значения. Фазовым называют демодулятор, напряжение на выходе которого линейно зависит от разности фаз двух входных сигналов равной частоты.

3.1. Частотный демодулятор.

Такие особенности АОМ как широкополосность и возможность сканирования оптического луча в плоскости регистрации используют для демодуляции частотно-модулированных сигналов [8]. В этом случае, желательно применить брегговский режим взаимодействия световых и акустических волн, при котором луч лазера 1 пада-

ет в апертуру АОМ 2 под углом Брегга (рис.3). Продифрагировавший порядок, через клинообразное отверстие

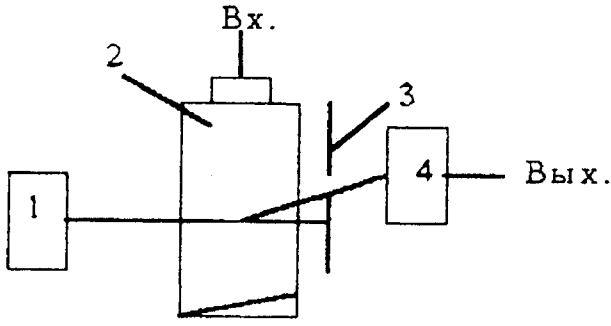


Рис.3.

диафрагмы 3, воздействует на светочувствительную поверхность фотоприемника 4. Изменение частоты воздействия на входе АОМ приводит к изменению направления продифрагировавшего порядка, что сопровождается изменением интенсивности светового пучка, падающего на светочувствительную поверхность фотоприемника 4. Установлено, что [8] легко можно получить линейную зависимость выходного напряжения акустооптического частотного демодулятора от частоты входного воздействия.

3.2. Фазовый демодулятор.

В [9,10] рассматриваются возможности использования АОМ для демодуляции фазомодулированных (ФМ) сигналов способом согласованной фильтрации, техническая реализация которого относительно сложна. Кроме того, для перестройки демодулятора на другую частоту требуется менять опорный транспарант.

Для улучшения эксплуатационно-технических показателей демодулятора можно воспользоваться особенностями оптического гетеродинирования [11].

Акустооптический метод демодуляции ФМ сигналов сводится к следующему. Излучение лазера 1 (рис.4) рас-

щепляется формирующим каскадом 2 на два пучка, которые направляются под углом Брегга в апертуры АОМ 3 и 4 для формирования сигнального и гетеродинного пучков соответственно. Упругая волна в АОМ 3 является пространственным аналогом ФМ сигнала, а упругая волна в АОМ 4 возбуждается выходным напряжением уп-

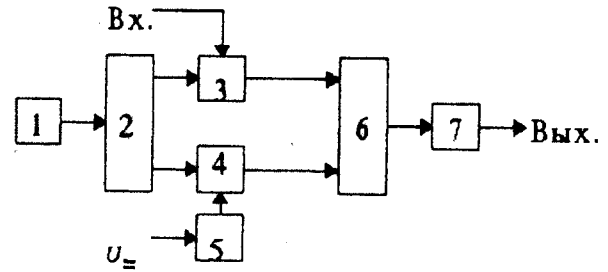


Рис.4.

равляемого генератора 5. Сигнальный и гетеродинный пучки гетеродинируют на светочувствительной поверхности фотоприемника 6. Установлено, что, в этих условиях, на выходе низкочастотного фильтра 7 выделяется напряжение пропорциональное девиации фазы ФМ сигнала. Перестройка демодулятора на другую частоту осуществляется путем подачи соответствующего напряжения $U_$ на управитель генератора 5.

Заключение

Вышеизложенное обобщение акустооптических методов обнаружения и распознавания радиосигналов раскрывает новую область применений особенностей фотоупругого эффекта, где указанные проблемы решаются на более высоком уровне относительно простыми средствами. К тому же, установлено, что решение нескольких функций, например, обнаружение и демодуляция, может быть осуществлено в одном устройстве. Это и успехи, достигнутые в разработке лазеров, фотодетекторов, акустооптических модуляторов предопределяют перспективность данного направления.

[1] Дж. Н. Ли, Э. Вандерлугт. ТИИЭР, 1989, т. 77, № 10, с. 158-192.
 [2] С.В. Кулаков. Акустооптические устройства спектрального и корреляционного анализа сигналов. Л.: Наука, 1978.
 [3] Н.С. Вернигорov и др. Панорамные акустооптические приемники-частотомеры. В сб. Обработка радиосигналов акустоэлектронными и акустооптическими устройствами. Л.: Наука, 1983, с. 35-40.
 [4] А.М. Пашаев, А.Р. Гасанов, Х.И. Гасанов. "Радиотехника", 1998, № 2, с. 47-49.
 [5] В.В. Роздобудко. "Радиоэлектроника", 1997, т. 40, №12, с. 50-56.
 [6] Радиоприемные устройства. Под ред. Л.Г.Барулина. М.: Радио и связь, 1984.

[7] А.Р. Гасанов. "Радиоэлектроника", 1998, т. 41, №12, с.37-43.
 [8] А.Р. Гасанов. "Радиоэлектроника", 1998, т. 41, № 6, с. 75-77.
 [9] Ю.В. Егоров, К.П. Наумов. Акустооптический демодулятор сложных ФМ сигналов. В кн.: Акустооптические методы обработки информации. Л.: Наука, 1976, с. 46-52.
 [10] К.П. Наумов. Исследование акустооптических методов демодуляции ФМ радиосигналов. В кн.: Акустооптические методы и техника обработки информации. Межвузовский сборник ЛЭТИ-ЛИАП, 1980, с. 41-47.
 [11] А.Р.Гасанов,Х.И.Абдуллаев, Х.И. Гасанов, Р.М.Байрамов. "Радиоэлектроника", 1999, т. 42, №1, с.46-51.

A.R. Həsənov

NAMƏ'LUM RADIŞÜALANMALARIN AKUSTOOPTİK ÜSULLARLA AŞKARLANMASI VƏ ARAŞDIRILMASI

Akustooptik qarşılıqlı tə'sir effektinin geniş tezlik diapazonunun panoram qəbulu, xətti tezlik modulyasiyalı siqnalların razılaşdırılmış süzgeclənməsi və bucaq modulyasiyalı siqnalların demodulyasiyası üçün tətbiq imkanları analiz edilir.

A.P. ГАСАНОВ

A.R. Gassanov

DETECTION AND DISCERNMENT OF UNKNOWN RADIORADIATIONS BY ACUSTO-OPTICAL METHODS

The possibility of the use of the acusto-optical interaction effect for the panoramic review of a range of frequencies, agreed filtrations linearly - frequency - modulated signals and demodulation of signals with angular modulation is analyzed.

Дата поступления: 01.09.99

Редактор: Ч.О. Каджар