Предисловие

Решение современных и перспективных радиотехнических задач в области радиоизмерений, радиолокации, радионавигации, радиосистем передачи информации, радиоконтроля, радиоуправления и др. обуславливает необходимость поиска, исследования и разработки новых все более эффективных методов обработки радиосигналов, обеспечивающих наряду с высокой метрологичностью, помехоустойчивостью, быстродействием и широкополосностью улучшение таких показателей, как возможность обработки и измерения параметров сложных радиосигналов, многофункциональность, малогабаритность, автоматизация процесса обработки и измерения, реализация структурно-однородных устройств и систем при использовании модульного принципа построения и функционально-программных методов проектирования. Следует заметить, что повышение метрологических характеристик, помехоустойчивости, быстродействия и широкополосности являются задачами, которые приобретают все большую актуальность.

В данной монографии изложены методы акустооптической обработки радиосигналов для решения упомянутых радиотехнических задач, базирующиеся на использовании акустооптической схемы Ламберта, которая в силу ее простоты, достаточно полного исследования, наиболее широкого практического использования и других факторов представляет существенный интерес при разработке современных радиотехнических систем и комплексов.

В основу содержания книги, главным образом, положены авторские работы по исследованию и разработке акустооптических алгоритмов обработки радиосигналов в интересах создания радиотехнических систем и комплексов, и поэтому, естественно, ни в коей мере не претендует на полноту.

Введение

В настоящее время существует большое многообразие методов обработки радиосигналов: функциональной электроники, цифровые, традиционной радиоэлектроники и другие.

Указанные методы находятся в процессе своего дальнейшего совершенствования и развиваются в определенной мере параллельно и независимо, что обусловлено их специфическими особенностями, областью применения, потенциальными возможностями и т.д.

Несомненно, что в процессе своего развития они будут конкурировать и дополнять друг друга, обуславливая возможность реализации гибридных систем, способных обеспечить повышение эффективности решаемых задач.

Среди методов функциональной электроники все больший интерес приобретают методы акустооптической обработки сигналов. Количество публикаций (отечественных и зарубежных) по результатам различных исследований в области акустооптики непрерывно растет. Столь широкий интерес обусловлен их исключительно высокими потенциальными возможностями (ссылка на литературные источники с 1 по 7):

огромной информационной емкостью светового потока, как носителя информации;

сравнительной простотой осуществления целого ряда интегральных преобразований (Фурье, Френеля, Мелина, свертки и т.д.);

широкополосностью;

громадным быстродействием процессов обработки;

малогабаритностью создаваемых устройств (акустооптика – одно из направлений комплексной миниатюризации) и т.д.

Одним из первых практических приложений акустооптики в решении радиотехнических задач являются анализаторы спектра, панорамные приемники (ссылка на литературные источники 1, 3, 7, 8). Появление акустооптических анализаторов спектра и панорамных радиоприемников было обусловлено освоением дециметрового и сантиметрового диапазонов волн при необходимости обеспечения высокой разрешающей способности и одновременного анализа в широкой полосе частот. При этом наиболее эффективно использование основной акустооптической схемы при применении прямого фотодетектирования. Позднее стали разрабатываться гетеродинные акустооптические панорамные приемники (ссылка на литературный источник 9).

Следует заметить, что акустооптические анализаторы спектра могут быть достаточно просто реализованы с использованием других ортогональных базисных функций.

Практически одновременно с устройствами спектрального анализа разрабатываются акустооптические устройства корреляционного анализа, демодуляции сигналов, согласованной фильтрации (ссылка на литературные источники 2, 3, 10, 11).

Применение в ультразвуковых модуляторах света (УЗМС) звукопроводов большой длины проблематично из-за больших затуханий ультразвука, технологических трудностей изготовления и необходимости использования уникальной оптики.

Ограничение длительности апертуры УЗМС в свою очередь ограничивает длительность обрабатываемых сигналов, а следовательно ухудшает разрешающую способность по частоте и другие характеристики устройства обработки сигналов.

В настоящее время эта проблема (увеличения длительности обрабатываемых сигналов) принципиально может быть решена использованием следующих методов (ссылка на литературные источники 2, 3, 5, 8):

временного интегрирования;

двухмерного временного интегрирования;

двухмерного пространственного интегрирования;

пространственно-временного интегрирования и его модификаций.

Первый метод позволяет реализовать спектральный и корреляционный анализ сигналов произвольной длительности, однако имеет ограничение по полосе анализируемых частот и требует фотоприемников, обладающих большим динамическим диапазоном уровней световых сигналов.

Остальные методы обуславливают необходимость реализации сложных оптических схем с использованием нескольких УЗМС (или многоканальных УЗМС), ЛЧМ генераторов с широким диапазоном рабочих частот, высокой линейностью и т.д.

При двумерном пространственном интегрировании, применительно к спектральному анализу, с исходным одномерным сигналом сопоставляется (формируется) двухмерный пространственный сигнал (осуществляется его растровое представление). После двухмерного Фурье-преобразования растровой записи сигнала, получают спектр сигнала также в виде растра.

Корреляционная обработка осуществляется также над сигналом, представленным в растровой форме с использованием относительного сдвига входного и опорного сигналов вдоль траектории строк растра.

Этот способ корреляционной обработки требует использования достаточно сложных УЗМС. Серьезным недостатком практической реализации является сравнительная узкополосность и невозможность реализации большого числа строк при реальных размерах апертуры.

При пространственно-временном методе интегрирования (различных его модификаций) осуществляется как пространственное, так и временное интегрирование. При реализации данного метода временное интегрирование выполняется не над самим входным пространственным сигналом, а над его пространственно-временным спектром, полученным с помощью пространственного интегрирования.

Однако решение данной проблемы не дается даром, система оказывается сложной во всех отношениях (сложна оптическая схема, необходимо использование четырех идентичных УЗМС, ЛЧМ-генераторов и т.д.).

В связи с отмеченными проблемами практического использования упомянутых методов акустооптической обработки сигналов большой длительности, в книге излагаются алгоритмы и структуры построения устройств обработки сигналов в интересах построения радиотехнических устройств и систем на основе использования основной акустической схемы обработки сигналов, как наиболее простой, технологичной и достаточно широко используемой на практике. Предлагаемые алгоритмы и структуры построения акустооптических устройств обработки сигналов используют как обычное (прямое), так и избирательное фотодетектирование. Несомненно, что упомянутые методы акустооптической обработки сигналов большой длительности в дальнейшем будут находить более широкое практическое применение по мере совершенствования и развития технологии и уровня акустооптической элементной базы.

В связи с огромным быстродействием устройств акустооптической обработки радиосигналов рассматриваемые в книге алгоритмы ориентированы на реализацию многофункциональных гибридных структурно-однородных аналого-цифровых информационно-измерительных устройств и систем.

В основе аналоговой части используется акустооптический модуль (или несколько модулей), реализованный по основной акустооптической схеме и решающие задачи первичной обработки радиосигналов. Цифровая часть системы должна решать задачи вторичной обработки информации в соответствии с определенными алгоритмами и выдачу данных потребителям (одному или нескольким) в требуемом объеме и темпе.

Структурная однородность рассматриваемых устройств и систем обуславливает возможность реализации модульного принципа их построения, максимальной унификации элементной базы и основных функциональных устройств, а также программного обеспечения цифрового устройства обработки информации, что является актуальным и имеет народнохозяйственное значение.

Глава 1. Элементы теории волновой оптики и общие сведения об акустооптических методах обработки сигналов

1.1. Световое излучение и понятие когерентности

Материалы данного раздела излагаются на основе монографий [21], [23] и цитируемой в них литературы для понимания и анализа предлагаемых акустооптических алгоритмов обработки сигналов в интересах решения ряда радиотехнических задач.

Световое излучение, как переносчик информации, имеет электромагнитную волновую природу в диапазоне 0,1 – 1 мкм.

Колебательно-волновой процесс светового излучения можно описать уравнением: где s – некоторая скалярная физическая величина, например напряженность электрического поля, зависящая от времени t и пространственной координаты z, но не y и x. Оси x, y, z образуют декартову систему координат.

Данное уравнение означает, что в каждый момент времени t величина s имеет одинаковое значение во всех точках любой плоскости z = const.

Во времени t значение s в точках различных плоскостей zconst меняется, такой процесс является плоской волной, т.е. имеет плоский фронт, в отличие от сферической.

Частным случаем плоской волны является процесс, когда z и t в выражение f(t,z) входят через линейную комбинацию, а функция f(t,z) синусоидальна

. (1.1)

Данное уравнение имеет двойной периодический характер от z и t. Е является амплитудой волны. Величина называется фазой колебаний. Коэффициент пропорциональности k между фазой волны и расстоянием z называется волновым числом.

Длиной волны или пространственным периодом называется такое расстояние , при котором выполняется условие

.

При этом и k связаны соотношением

,

или

.

Из данных выражений определяется скорость распространения волны

,

где - период колебаний, - круговая частота.

Используя данные соотношения, выражение (1) можно представить в виде

. (1.2)

Временные и пространственные процессы можно разделить.

При z = 0 , при t = 0  
, т.е. уравнения колебания и волны имеют одну и ту же форму, а аргументы х и t различаются в с раз

, или .

Две точки уравнения (1.2), расположенные на некотором расстоянии одна от другой, характеризуются одновременно разностью фаз колебаний и разностью фаз волны , которые связаны между собой уравнением:

- называется разностью хода волны (колебания), поэтому:

,

откуда имеем:

.

Важнейшими оптическими процессами (эффектами), имеющими громадное практическое значение при разработке оптических устройств обработки являются интерференция и дифракция.

Интерференция света заключается в том, что два пучка света (оптических сигналов) при пересечении взаимно усиливаются или ослабляются. При этом области усиления и ослабления чередуются во времени и пространстве по определенному закону.

Если в некоторой точке пространства в определенный момент времени векторы электрического поля двух пучков света совпадают по направлению, то интенсивность света увеличивается. И, наоборот, если их направления противоположны, то происходит ослабление поля. Рассмотрим это более подробно с ориентацией на анализ предлагаемых алгоритмов акустооптической обработки в последующих разделах книги.

Две волны, имеющие постоянную разность хода при постоянном периоде колебаний (или одной и той же длине волны) называются когерентными. При наложении такие волны интерферируют, т.е. их амплитуды суммируются, при этом пространственное распределение света называется интерференционной картиной.

Графический образ описанной дифракционной решетки показан на рисунке 1 (*вставить с правильным оформлением рисунок ris1.png*).

На решетку падает параллельный пучок света под некоторым углом . Согласно принципу Гюйгенса – Френеля решетка является источником вторичных волн. Так как ширина элементов мала, то разность фаз между вторичными волнами, приходящими в определенную точку от одного и того же элемента, тоже очень мала и волны, исходящие от различных точек решетки, взаимокогерентны, т.е. относительная разность фаз между волнами остается постоянной. Пусть расстояние между штрихами (элементами) решетки равно 2D и общее число штрихов N.

1.2. Общие сведения об акустооптических методах обработки радиосигналов. Основные теоретические закономерности и формулы

Акустооптические методы обработки радиосигналов, как отмечалось выше, являются одним из важных направлений (разновидностей) оптических методов и представляют существенный, все более возрастающий как теоретический, так и практический интерес.

Акустооптические устройства обработки относятся к классу когерентных, являются более гибкими и позволяют решать более широкий круг задач.

Наиболее сложной проблемой при реализации оптических систем является ввод информации (радиосигнала) в световой поток и вывод информации после его обработки по определенному (требуемому) алгоритму.

Наиболее широкое применение для ввода радиосигналов в оптическую систему находят ультразвуковые модуляторы света. Такие оптические системы обработки информации и получили название акустооптические.

Работа акустооптического модулятора основана на взаимодействии звуковых (гиперзвуковых) волн и когерентного светового потока. Звуковые или упругие волны могут быть объемными или поверхностными. Ультразвуковой модулятор на объемных упругих волнах представляет собой устройство, состоящее из прозрачного кристаллического или стеклообразного материала (или кюветы с жидкостью), в котором с помощью пьезопреобразователя радиосигнал с частотой преобразуется в ультразвуковой (акустический) сигнал той же частоты .

(*ниже представленный текст преобразовать в 4-х колоночную таблицу и оформить в соответствии с правилами оформления таблиц; кроме этого в табличных данных заменить символ «дефис» на «минус», «\*» на знак умножения; расставить правильно степени числа 10, три точки заменить на символ «…»)*  
*---начало текста---*

Таблица 1 Диапазоны частот упругих колебаний

Название колебаний и волн

Качественное определение

Физический диапазон, Гц

Условный диапазон, Гц

Инфразвук

Ниже границы слышимости

Ниже 16-25

Ниже 20

Звук

Диапазон слышимости

От 16-25 до (15-20)\*10^3

20...20\*10^3

Ультразвук

Выше границы слышимости

От (15-20)\*10^3 до 10^9

20\*10^3...1\*10^9

Гиперзвук

Длина волны меньше длины свободного пробега молекул воздуха

Выше 10^9

Выше 10^9

*---окончание текста---*

Работа УЗМС в несколько упрощенном виде заключается во взаимодействии светового потока с акустической волной, распространяемой в кристалле (звукопроводе), т.е. осуществлении дифракции света на ультразвуке, в результате которой в дифрагированный пучок света переносится информация, содержащая как в падающей световой волне, так и в акустической.

Суть дифракции заключается в том, что распространяющаяся в звукопроводе акустическая волна вызывает изменение плотности среды распространения, что влечет за собой изменение показателя преломления (осуществляется пространственная модуляция кристаллической решетки кристалла звукопровода по закону анализируемого сигнала). Пространственное изменение показателя преломления кристалла образует дифракционную решетку (амплитудно-фазовую или фазовую в зависимости от вида дифракции), на которой и дифрагирует световой пучок.

Литература

Л.Н.Магдич, В.Я.Молчанов Акустооптические устройства и их применение. М.: Сов. радио, 1978. 112 с.

Оптическая обработка радиосигналов в реальном времени. О.В. Гусев, С.В. Кулаков, В.П. Разживин, Д.В. Тигин./ Под ред. Кулакова С.В. М.: Радио и связь, 1989. 135 с.

С.В.Кулаков Акустооптические устройства спектрального и корреляционного анализа. Л.: Наука, 1978. 178 с.

Л.В.Тарасов, В.А.Ежов Когерентная оптическая обработка радиосигналов. // Зарубежная радиоэлектроника. 1980, №2. С.3-10.

В.А.Ежов, Л.В.Тарасов Акустооптическая обработка радиосигналов. // Зарубежная радиоэлектроника. 1982, №7. С.3-33.

А.П.Белошицкий, В.М.Комаров, Б.П.Крекотень Акустооптические анализаторы спектра радиосигналов. // Зарубежная радиоэлектроника. 1981, №3. С. 51-70.

Паркс Д.К. Акустооптический приемник-спектро-анализатор дециметрового диапазона. // Зарубежная радиоэлектроника. 1970, №12. С. 14-39.

Мартынов В.А., Селихов Ю.И. Панорамные приемники и анализаторы спектра. М.: Сов. радио, 1980. 352 с.

Панорамные приемники-частотомеры Н.С. Вернигоров, А.Я. Демидов, А.В. Пуговкин, Л.Я. Серебрянников // Обработка радиосигналов акустоэлектронными устройствами. Л.: Наука, 1983. С. 35-40.

Бондаренко В.С., Зоренко В.П., Чкалова В.В. Акустооптические модуляторы света. М.: Радио и связь, 1988. 136с.

Егоров Ю.В., Наумов К.П., Ушаков В.Н. Акустооптические процессоры. М.: Радио и связь, 1991. 160 с.

Егоров Ю.В., Наумов К.П. Акустооптический демодулятор частотно-модулированных сигналов. // Вопросы анализа и синтеза радиосигналов и их обработка 1976. С. 96-100.