

АКУСТООПТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

А.Р. ГАСАНОВ

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

Обобщаются результаты научных исследований, направленных на решение ряда радиотехнических задач с использованием особенностей эффекта акустооптического взаимодействия. Приведены структурные схемы, поясняющие акустооптические способы коррекции временных искажений сигналов, следящего приема частотно-модулированных сигналов и преобразования временного масштаба сигналов.

Введение

Современные системы обработки сигналов, отличаясь высокой сложностью, базируются, в основном, на достижениях радиоэлектроники. Однако, порой, обработка больших массивов данных существующими электронными средствами становится невыполнимой задачей. Именно поэтому исследованию, направленному на решение различных проблем обработки данных с привлечением достижений других областей науки, в том числе акустооптики (область науки, изучающая взаимодействие акустических и оптических волн в фотоупругих средах), имеют высокую научную ценность.

Целью данной работы является обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований, направленных на решение ряда радиотехнических задач, на основе использования особенностей эффекта акустооптического взаимодействия в фотоупругих средах.

В настоящее время известно большое количество стеклообразных и кристаллических фотоупругих материалов. Однако поиск и исследование материалов с наилучшими фотоупругими свойствами продолжается. Уже сейчас, на базе известных материалов, разработаны акустооптические модуляторы (АОМ), требующие на электрическом входе всего несколько десятков мВт для обеспечения эффективного акустооптического взаимодействия [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 - на пространственном аналоге, поданного к электродам ЭАП, электрического сигнала. Интенсивность, частота и направление распространения продифрагировавшего светового пучка являются функциями соответствующих параметров входного электрического сигнала. Кроме того, реакция фотодетектора, установленного на пути продифрагировавшего порядка, отстает от воздействия на входе ЭАП на время $\tau = x/V$, где x - расстояние от ЭАП до точки акустооптического взаимодействия; V - скорость распространения упругого волнового пакета в светозвукопроводе.

Особенности взаимодействия оптических и упругих волн в акустооптических ячейках позволяют использовать последние в качестве запоминающих устройств (ЗУ), реализовать на их основе узкополосный линейный фильтр с регулируемой средней частотой, временной мо-

дулятор непрерывного действия и т.п. Эти устройства могут быть использованы для эффективного решения ряда радиоэлектронных задач, таких как: коррекция временных искажений сигналов, следящий прием частотно-модулированных сигналов, преобразование временного масштаба сигналов, обнаружение и измерение параметров неизвестных радиоизлучений и т.п.

1. Коррекция временных искажений сигналов

В любой аппаратуре магнитной записи, в процессах записи и воспроизведения, в результате непостоянства скорости взаимного перемещения магнитного носителя и головки, нарушается периодичность записываемого на магнитную ленту сигнала. Эти нарушения называются временными искажениями, или искажениями временного масштаба. Временные искажения возникают, также, при распространении электрических сигналов на дальние, и сверхдальние расстояния. Для устранения этих искажений в современных системах обработки данных применяются электронно-аналоговые системы коррекции временных искажений сигналов [2,3]. Узкий диапазон коррекции (не превышает 0,4-0,7 мкс) является характерной чертой современных электронно-аналоговых систем коррекции временных искажений сигналов. Важнейшая проблема здесь состоит в создании электронно-управляемых временных модуляторов непрерывного действия с широким диапазоном управляемой задержки. Современные акустооптические временные модуляторы непрерывного действия обеспечивают временную задержку сигналов в пределах 0-80 мкс, что позволяет говорить о возможности эффективного решения указанной проблемы на более высоком уровне.

Идея, заложенная в основу акустооптического способа коррекции временных искажений сигналов, заключается в следующем. Имеющиеся в входном сигнале временные искажения выделяются (рис.1) и формируются блоком выделения и формирования сигнала ошибки (БВиФСО) 2, путем сравнения фаз сигнала опорного (управляемого) генератора 1 и входного сигнала $u(\tau)$. Необходимая величина «запаздывания» или «опережения» на пути обрабатываемого сигнала, соответствующая имеющейся в нем временной ошибке, устанавливается выходным напряжением сумматора 5. Для обнаружения и выделения остаточной временной ошибки в выходном сигнале акустооптического временного модулятора 4 используется БВиФСО 3. Создание обратной связи по сигналу ошибки (сравнение выходного и опорного сигнала)

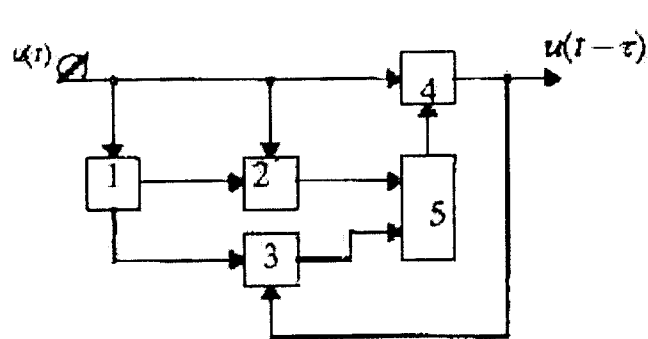


Рис. 1.

лов) позволяет осуществить коррекцию временных искажений сигналов с высокой точностью, посредством одного акустооптического временного модулятора. В этих условиях время задержки выходного сигнала составит:

$$\tau = T \pm c \int_0^T \delta t dt \quad (1)$$

где T - период корректируемого сигнала; c - постоянная величина, определяемая параметрами системы и оценивающая её эффективность; δt - мгновенное значение временной ошибки.

Несколько вариантов реализации электронно-управляемого акустооптического временного модулятора рассмотрены в работах [4,5,6].

2. Следящий прием частотно-модулированных сигналов.

Преимущества частотной модуляции (ЧМ) перед амплитудной модуляцией (энергетический выигрыш, помехоустойчивость) особенно существенны при работе с большим индексом модуляции. Последний приводит к расширению спектра ЧМ сигнала. В обычных некогерентных приемниках ширина полосы пропускания высокочастотного тракта принимается равной ширине спектра принимаемого ЧМ сигнала. Поэтому, увеличение индекса модуляции приводит к увеличению мощности шумов, поступающих на вход демодулятора некогерентного приемника.

Установлено, что основная энергия ЧМ сигнала сосредоточена в окрестностях несущей частоты, в полосе частот равной удвоенному значению максимальной модулирующей частоты. Следовательно, если установить в линейном тракте приемника устройство типа узкополосного линейного фильтра с регулируемой средней частотой, следящего за мгновенной частотой принимаемого ЧМ сигнала, то можно значительно уменьшить мощность поступающих на вход демодулятора шумов. В современных радиоприемниках для решения этой задачи применяют следящие фильтр или гетеродин, частоты которых автоматически подстраиваются по цепи обратной связи выходным сигналом соответствующего тракта [7]. Устройствам данного класса присущи следующие недостатки: а) техническая трудность в построении цепи управления, к которой предъявляются противоречивые требования неискаженной передачи сигналов управления и обес-

печения фильтрации шумов; б) техническая трудность обеспечения устойчивости в замкнутой петле управления; в) узкий диапазон рабочих частот; г) изменение параметров следящего фильтра с изменением частоты настройки.

В работе [8] показано, что акустооптическая линия задержки (АОЛЗ) гетеродинного типа может быть использована в качестве узкополосного линейного фильтра с регулируемой средней частотой, на базе которого можно построить следящий приемник ЧМ сигналов с лучшими, по отношению к существующим аналогам, параметрами.

В АОЛЗ гетеродинного типа изменением частоты света в продифрагировавшем порядке пользуются для восстановления обрабатываемого радиосигнала, путем оптического гетеродинирования [9]. Установлено, что полоса пропускания АОЛЗ гетеродинного типа определяется выражением:

$$\Pi \approx 2,729 V / (\pi d) \quad (2)$$

где d - апертура падающего светового пучка.

Из (2) следует, что ширина полосы пропускания АОЛЗ гетеродинного типа не зависит от частоты её настройки. К тому же, её амплитудно-частотная характеристика может быть реализована с любым коэффициентом прямоугольности, благодаря её конструктивным особенностям. Отсутствие гальванической связи между входом и выходом АОЛЗ обеспечивает высокую устойчивость, а её высокая пространственная избирательность эффективно ослабляет шумы.

Акустооптический способ следящего приема ЧМ сигналов и осуществляющие его устройства детально проанализированы в [8,10,11]. Идею, заложенную в их основу можно резюмировать следующим образом. Излучение источника когерентного света 1, обладающего достаточными пространственной и временной когерентностями (рис.2), расщепляют формирующим каскадом 2 на два

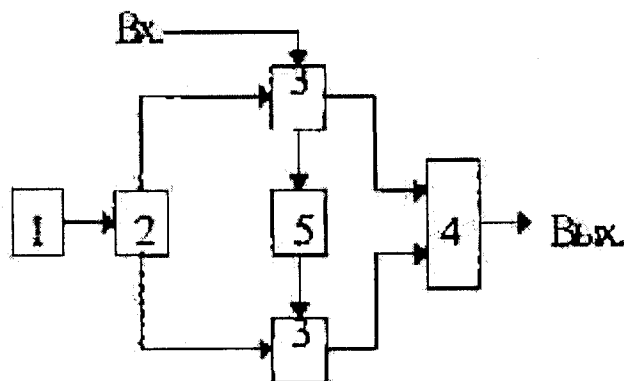


Рис. 2.

пучка, один из которых используется для формирования сигнального, а другой - гетеродинного пучка при помощи АОМ 3. Затем сигнальный и гетеродинный пучки направляют на светочувствительную поверхность фотоприемного устройства 4 так, что обеспечивается эффект оптического гетеродинирования между ними. В результате, на выходе фотоприемного устройства формируется ЧМ сигнал с девиацией частоты

$$\Delta\omega'(t) = \Delta\omega(t) / K_{АП}, \quad (3)$$

где $\Delta\omega(t)$ - девиация частоты принимаемого ЧМ сигнала; $K_{АП}$ - коэффициент автоматической подстройки частоты и направления гетеродинного поля, который определяется параметрами узлов блока управления 5, обеспечивающего выделение информации о частоте принимаемого сигнала и формирование сигнала управления.

3. Преобразование временного масштаба сигналов.

В процессе наблюдения и анализа широкополосных сверхвысокочастотных сигналов традиционными средствами возникает необходимость в специальных устройствах растяжения временного масштаба сигнала с одновременным сужением его спектра, а для обработки гео- и гидроакустических низкочастотных сигналов требуется предварительное сжатие масштаба времени.

Следует особо отметить применение методики экспандирования временного масштаба и соответственно сужения спектра передаваемых сигналов в технике дальней космической связи и телевидения, а методики компрессирования временного масштаба для формирования сверхвысокочастотных сигналов [12,13].

Современные ПВМ сигналов отличаются способами записи и считывания, а также типом ЗУ. Различают: электромеханические, электронные, цифровые и акустооптические ПВМ. Акустооптические ПВМ, в которых ЗУ реализуется на базе фотоупругой ячейки, обладают наилучшими потенциальными возможностями. Их основными достоинствами являются: 1) скорость считывания, а, следовательно, и коэффициент трансформации, могут быть изменены в широких пределах; 2) возможна обработка сигналов с большой базой (1000÷2000) в реальном масштабе времени.

В акустооптическом ПВМ (рис.3) скорость записи равна скорости распространения упругих волн в светозвукопроводе. Считывание сигнала осуществляется лучом лазера 1, сканируемым в апертуре АОМ 4 дефлектором 2. Скорость считывания - скорость сканирования

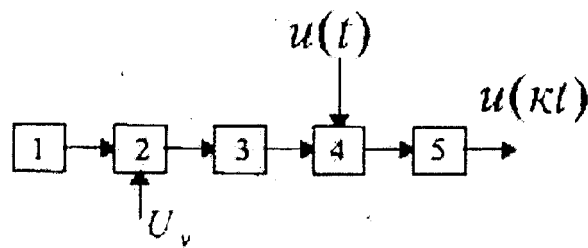


Рис.3.

считывающего луча $V_{СК}$ задается управляющим напряжением U_y . Формирующий каскад 3 обеспечивает необходимую геометрию акустооптического взаимодействия в АОМ 4. Возникающий в задней фокальной плоскости АОМ 4, оптический сигнал детектируется фотоприемным устройством 5. Коэффициент масштабирования данного устройства [14] определяется выражением:

$$K = 1 + RV_{СК}/V, \quad (4)$$

где R - знакопридающий коэффициент, который может принимать два значения: при сканировании света противоположно направлению распространения упругих волн, $R=1$, а - по направлению, $R=-1$. Варианты реализации акустооптических ПВМ рассмотрены в работах [15,16].

Заключение

Область применения акустооптических устройств и подсистем построенных на их основе расширяется с каждым годом. Этому способствуют поиск новых фотоупругих материалов с лучшими показателями, разработка эффективных методов крепления электроакустического преобразователя к акустооптической ячейке, успехи в области разработки источников когерентного света и фотодетекторов. Сегодня можно с уверенностью сказать, что уже в ближайшие десятилетия акустооптические устройства, предназначенные для решения сложнейших задач, будут изготовлены в виде микросборок, не требующих специальной настройки.

- [1] Дж.Н. Ли, Э. Вандерлугт. ТИИЭР, 1989, т.77, № 10, с.158-192.
- [2] М.Г. Коренблюм. Коррекция временных искажений в видеоманитофоне, М.: Типография ГКТР, 1982.
- [3] П.В. Гончаров и др. Техника магнитной видеозаписи, М.: Энергия, 1978, с. 234.
- [4] А.Р. Гасанов и др. Устройство коррекции временных искажений сигналов. Авт. свид. № 1452432 от 15.09.1989.
- [5] А.М. Пашаев, А.Р. Гасанов, А.А. Мамедов. Приборы и системы управления, 1996, № 10, с. 39-40.
- [6] А.М. Пашаев, А.Р. Гасанов, А.А. Мамедов, Х.И. Гасанов. Приборы и системы управления, 1997, № 6, с.46.
- [7] А.С. Виницкий. Автономные радиосистемы, М.: Радио и связь, 1986.
- [8] А.М.Пашаев, А.Р. Гасанов. Радиотехника, 1996, № 8, с. 28-31.
- [9] А.М.Пашаев, А.Р. Гасанов. Радиотехника, 1997, №7, с.31-34.
- [10] А.Р. Гасанов. Устройство слеящего приема радиосигналов. Авт.свид. № 1690527 от 08.07.1991.
- [11] А.М. Пашаев, А.Р. Гасанов. "Радиотехника", 1997, № 11, с. 26-28.
- [12] С.В. Кулаков. Акустооптические устройства спектрального и корреляционного анализа сигналов, Л.: Наука, 1978.
- [13] В.М. Черницер, Б.Г. Кадук. Преобразователи временного масштаба, М.: Советское радио, 1972.
- [14] А.М.Пашаев, А.Р. Гасанов. Радиотехника и электроника, 1997, т. 42, № 5, с.606-608.
- [15] А.Р.Гасанов и др. Устройство временного преобразования сигналов.Авт. свид. №1831236, от 13.10.1992.
- [16] А.Р. Гасанов. Приборы и системы управления, 1998, № 2, с.31.

A.P. ГАСАНОВ

A.R. Həsənov

SİQNALLARIN İŞLƏNMƏSİNİN AKUSTOOPTİK ÜSULLARI

Bir sıra radiotexniki məsələlərin, akustooptiki qarşılıqlı tə'sirin xüsusiyyətlərinin istifadəsi ilə, həllinə istiqamətlənmiş elmi tədqiqatların nəticələri ümümləşdirilir. Siqnalların zaman təhriflərinin korreksiyasının, tezlik modulyasiyalı siqnalların izləyici qəbulunun və siqnalların zaman miqyasının çevrilməsinin akustooptik üsullarını izah edən struktur sxemlər verilir.

A.R. Gassanov

ACUSTO-OPTICAL MODES OF HANDLING OF SIGNALS

The outcomes of scientific researches directed on a solution of a series of the radio engineering tasks with use of singularities of effect of acusto-optical interaction are generalized. The block diagrams explaining acusto-optical modes of a correction of temporal aliasings of signals are reduced of tracking reception is frequency - modulate of signals and transformation of a temporal scale of signals.

Дата поступления: 01.09.99

Редактор: Ч.О. Каджар