

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

УСТРОЙСТВА
ПРОСТРАНСТВЕННО - ВРЕМЕННОЙ
ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Методические указания к выполнению
лабораторных работ № 3, 4

Санкт-Петербург
2006

Составители: доктор технических наук, профессор П. Н. Петров, А. В. Сенин.

Рецензенты: кафедра электроники и оптической связи,
кандидат технических наук, доцент *Л. Н. Пресленев*

Методические указания содержат основные теоретические положения, краткое описание и руководство к выполнению лабораторных работ по курсам «Устройства пространственно - временной обработки сигналов» и «Аналоговые методы пространственной и временной обработки сигналов». Предназначены для студентов, обучающихся по специальностям «Радиоэлектронные системы» и «Радиотехника» дневного отделения факультета радиотехники, электроники и связи.

Подготовлены к публикации кафедрой электронных и телевизионных систем. Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Редактор *В. П. Зуева*
Верстальщик *С. Б. Мацанура*

Сдано в набор 03.10.06. Подписано к печати 08.11.06.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2, 34.
Уч. -изд. л. 2,43. Тираж 100 экз. Заказ №

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67

© ГУАП, 2006

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время имеется ряд проблем, связанных с быстрой и эффективной обработкой сигналов антенных решеток (АР). Создание новых диаграммообразующих схем (ДОС) или устройств формирования диаграмм направленности позволяет расширять возможности обработки сигналов различных АР.

Помимо традиционных цифровых и аналоговых ДОС весьма перспективным представляется создание устройств на базе акустоэлектронных компонент.

Акустоэлектронные (АЭ) устройства обладают высоким быстродействием, низким энергопотреблением, низкой стоимостью, малыми массогабаритными показателями, имеют возможность параллельной обработки данных и отличаются простотой конструкции.

Акустоэлектронные устройства позволяют обрабатывать сигналы линейных, криволинейных, конформных, плоских и других видов фазированных антенных решеток. Простота и быстрота обработки данных позволяет использовать данные схемы в бортовых и наземных радиолокационных, связных системах и системах самонавигации.

Задача создания устройств пространственной обработки сигналов антенных решеток (АР) или диаграммообразующих схем (ДОС) с высокими техническими параметрами, предназначенных для радиотехнических и гидроакустических систем, может решаться различными способами, как с использованием цифровых, так и аналоговых принципов построения.

Цифровые устройства получили широкое распространение благодаря созданию хорошей унифицированной элементной базы и гибкости в перестройке их параметров. Однако применение этих устройств сдерживается быстродействием аналого-цифровых преобразователей, значительным энергопотреблением, существенными габаритами и массой.

Аналоговые устройства, основанные на новых физических принципах функционирования, являются вполне конкурентоспособными и обладают высоким быстродействием, малым энергопотреблением, относительно низкой стоимостью и часто позволяют решать задачи комплексной микроминиатюризации.

Явление распространения поверхностных акустических волн (ПАВ) было открыто еще в 1885 году, однако широкое применение ПАВ нашли лишь в 1965 году в электронных фильтрах и для аналоговой обработки сигналов, когда были созданы встречно-штыревые преобразователи (ВШП), представляющие собой пьезоэлектрическую подложку, на которую нанесена металлическая пленка. Впоследствии устройства на ПАВ стали применяться в бытовой электронике в качестве фильтров промежуточных частот, в военной аппаратуре, как линейно-частотно-модулированные фильтры (ЛЧМ-фильтры) для обработки радиолокационных сигналов и в целом ряде других устройств.

Широкому применению устройств на ПАВ способствует их малая масса и габариты, механическая прочность, а также возможность их применения для обработки сигналов в диапазоне от 10 МГц до 10 ГГц. В настоящее время устройства на ПАВ применяются как:

- линии задержки – в компенсаторах задержек, датчиках температуры и давления, в динамических запоминающих устройствах и перестраиваемых генераторах;

- линии задержки с нерегулируемыми отводами – в РЛС со сжатием импульсов и при модулировании отраженных радиолокационных сигналов;

- гребенчатые фильтры – в мультиплексорах и счетчиках;

- фильтры с малыми потерями – в антенных переключателях, во входных фильтрах в диапазоне СВЧ и УВЧ;

- ЛЧМ-фильтры – в РЛС со сжатием импульса, в широкополосных фильтрах с линейной фазовой характеристикой, в устройствах сжатия на отражательных решетках, в линиях регулируемой задержки и подавления сигналов многолучевого распространения;

- резонаторы – в прецизионных фильтрах и генераторах с фиксированной частотой;

- оптоэлектронные устройства на ПАВ – в брэгговских модуляторах, спектроанализаторах, широкополосных корреляторах;

- фильтры со средним уровнем потерь (без дисперсии) – фильтрация на промежуточной частоте (ПЧ), восстановление тактовой синхронизации, в фильтрах Найквиста;

– программируемые трансверсальные фильтры – адаптивная фильтрация для широкополосной связи, коррекция каналов, согласованная фильтрация и моделирование сигналов РЛС;

– трех- и четырехплечный конвольвер – согласованная фильтрация широкополосной связи, корреляционная обработка длинных кодов и пакетная радиосвязь.

И это далеко не весь список устройств. Таким образом, видно, что техника на ПАВ нашла применение в многочисленных областях техники, связи и электроники, оказав при этом существенное влияние на архитектуру и компоновку устройств, в которых она применяется. Это привело к снижению габаритов, массы и стоимости устройств, что особенно заметно на передвижных и переносных устройствах. Теперь техника ПАВ используется для сложной обработки сигналов, как в аналоговых, так и в цифровых системах связи, стало возможно создание ПАВ-фильтров практически с любыми необходимыми амплитудной и фазовой характеристиками.

Появилась возможность производить обработку сигналов на промежуточных частотах в области более высоких частот, чем позволяли это сделать традиционные методы, что позволило расширить полосу и уменьшить паразитные сигналы смесителя на промежуточных частотах.

1. АКУСТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

Наряду с традиционными акустоэлектронными устройствами временной и спектральной обработки сигналов в конце шестидесятих годов были предложены новые принципы построения устройств пространственной обработки сигналов линейных АР. Акустоэлектронные устройства пространственной обработки сигналов строятся на основе многоканальных акустических компонент (процессоров), в которых используется переизлучение ансамбля принятых сигналов в виде упругих колебаний, распространяющихся в среде задержки (звукопроводе, подложке) с определенной топологией размещения переизлучающих и считывающих преобразователей.

Совместно с АР различных типов акустоэлектронные устройства позволяют определять в реальном времени направление прихода когерентных волн, в частности, электромагнитных или акустических.

В настоящее время известно несколько разновидностей акустоэлектронных устройств пространственной и пространственно-временной обработки сигналов, различающихся конструкцией, топологией и особенностями функционального применения.

По области взаимодействия колебаний в акустическом процессе различают устройства с непересекающимися и пересекающимися пучками переизлученных волн. К первому типу относятся хорошо известные устройства внутриимпульсного электронного сканирования, в которых применяются многоотводные ЛЗ [1–3], а также пространственно многоканальные устройства на ПАВ со ступенчатым соединением считывающих преобразователей [3–5]. Характерной чертой этих устройств является использование переизлучающих преобразователей с осевым направлением излучения, в ближней зоне которых при малой дифракционной расходимости волновых пучков располагаются считывающие преобразователи.

Ко второму типу относятся устройства, которые мы будем называть устройствами с масштабной переизлучающей решеткой (МПР) [6–8]. Благодаря специальной топологии и применению ненаправленных или слабонаправленных преобразователей в акустоэлектронном процессоре используются пересекающиеся пучки переизлученных волн.

По способу преобразования сигналов различают устройства пространственной обработки на несущей частоте, с преобразованием частоты сигналов, с преобразованием временного масштаба. Применение многоканального преобразования спектра сигналов ведет к усложнению устройства и сужению динамического и частотного диапа-

зона, однако, в большинстве случаев оно необходимо для обеспечения согласования характеристик сигналов с параметрами акустического процессора.

Все перечисленные разновидности устройств пространственной обработки сигналов реализуются с применением известных принципов и технологий акустоэлектронной техники. Наибольшее развитие в настоящее время получили приборы на ПАВ, для которых легче решается проблема подавления сигналов тройного прохода [3–5]. Специфика акустических процессоров, используемых в устройствах пространственной обработки, связана в основном с топологией и конструктивными особенностями используемых преобразователей.

В любом устройстве с масштабной переизлучающей решеткой осуществляется моделирование (в уменьшенном масштабе) внешних электромагнитных или акустических полей в среде обработки (аналоговом процессоре). Для того чтобы аналоговый процессор обладал приемлемо малыми размерами, масштаб уменьшения должен быть достаточно высоким. Изменение масштаба достигается переходом к меньшим длинам волн в аналоговом процессоре по сравнению с длинами волн во внешней среде.

Существенным параметром устройств МПР является коэффициент масштабирования $m_\lambda = k/k' = \lambda'/\lambda$, где $k = \omega/v$ и $k' = \omega'/v'$ – волновые числа; ω – круговая частота; v – скорость распространения колебаний, знак () относится к характеристикам среды обработки; λ' – длина волны в акустическом процессоре. Для достижения малых габаритов процессора необходимо выполнение условия $m_\lambda \ll 1$, что может быть получено различными способами.

При масштабировании по скорости используется разница скоростей распространения колебаний в аналоговом процессоре и во внешней среде $v' \ll v$ [6–8]. Масштабирование по частоте $\omega' \gg \omega$ осуществляется за счет гетеродинирования с использованием одной боковой полосы преобразования или путем преобразования временного масштаба сигналов [6]. Чаще всего используется масштабирование, как по частоте, так и по скорости.

В качестве иллюстрации рассмотрим принцип действия этого устройства МПР. Волна (акустическая или электромагнитная) от объекта приходит на элементы приемной антенной решетки 1 (рис. 1.1). Электрические сигналы с элементов приемной антенной решетки усиливаются и преобразуются по частоте в многоканальном преобразователе частоты 2 (частота повышается в гидролокации и понижается в радиолокации). В отличие от классического голографического метода частота сигнала гетеродина выбирается не равной частоте волны, облучающей объект. Преобразованные сигналы содержат в об-

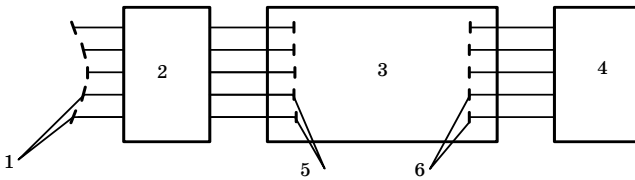


Рис. 1.1. Устройство МПП

щем случае три составляющие: верхнюю, нижнюю боковые полосы и гармонику с частотой гетеродина.

Если, например, частота гетеродина выше частоты сигнала, то в верхней боковой полосе сохраняются относительные фазы и амплитуды сигналов, снятых с элементов приемной антенной решетки, а в нижней боковой полосе знак фазы в каналах меняется на обратный. Эти сигналы поступают на элементы переизлучающей решетки 5 аналогового процессора 3. Поверхностные акустические волны, возбуждаемые элементами переизлучающей решетки, представляют собой восстановленные (в уменьшенном масштабе) волны: прямую, рассеянную объектом, и сопряженную с ней.

По аналогии с классической голографией прямая волна является расходящейся и дает мнимое акустическое изображение, а сопряженная волна – сходящейся и дает действительное акустическое изображение. В месте формирования акустического изображения располагается считывающая решетка преобразователей 6, которая регистрирует сечение действительного изображения. Поскольку волны, формирующие прямое и сопряженное изображение, различаются по частоте, они легко разделяются с помощью полосового фильтра.

Вследствие дискретизации процесса считывания данный метод обработки сигналов АР фактически позволяет формировать многолучевую диаграмму направленности. Сигнал, снимаемый с каждого из элементов считывающей решетки, соответствует определенному пространственному каналу или парциальной диаграмме направленности (ДН) в статическом веере. Степень перекрытия парциальных диаграмм зависит от расположения считывающих преобразователей.

Отображение распределения электрических сигналов по элементам считывающей решетки может осуществляться на индикаторе 4 либо параллельного типа (например, на матричной газоразрядной панели), либо на индикаторе телевизионного типа после коммутационного устройства. Данное устройство позволяет параллельно со всех направлений в реальном времени получать информацию об угловых координатах объектов в рабочем секторе.

В настоящее время описано несколько разновидностей устройств МПР, предназначенных для обработки сигналов АР различных типов – линейных, кольцевых, плоских, цилиндрических, конформных [6]. На рис. 1.2 представлена схема основных функциональных признаков, используемых для классификации таких устройств.

Считывание акустического поля в устройствах МПР может производиться с использованием фокусировки переизлученной волны или без нее. При отсутствии фокусировки переизлучающая решетка преобразователей формирует плоскую волну, регистрируемую считывающими преобразователями, располагаемыми с некоторым шагом в дальней зоне или с определенной угловой ориентацией в ближней (прожекторной) зоне решетки.

Фокусировка акустической волны осуществляется с помощью линз или специальной конфигурации переизлучающей решетки. В устройствах с преобразованием частоты, кроме того, могут использоваться электронные схемы для создания сферического (сходящегося) фронта излучаемой волны; разновидностью этого способа является обращение волнового фронта [7] путем переворота фазы узкополосных сигналов при гетеродинировании.

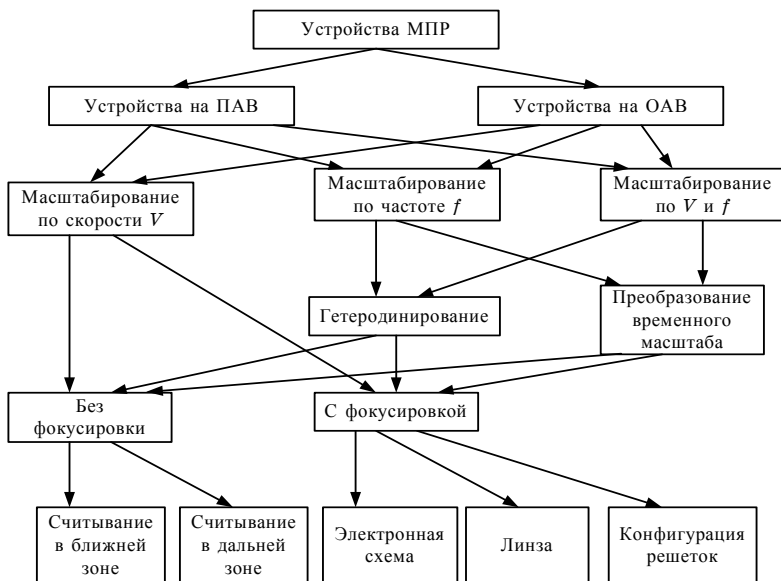


Рис. 1.2. Схема основных функциональных признаков, используемых для классификации устройств МПР

Как видно, в процессе пространственной обработки сигналов АР осуществляется два преобразования вида колебаний (приемной АР и переизлучающей решеткой), а также иногда гетеродинирование сигналов, снимаемых с элементов приемной антенной решетки. Распространение волн во внешней среде и среде обработки описывается линейными дифференциальными уравнениями, т. е. преобразование видов колебаний представляет собой линейный процесс. При гетеродинировании сохраняются амплитудно-фазовые соотношения (т. е. справедливо свойство линейности по отношению к комплексной амплитуде сигнала), следовательно, устройства МПР в совокупности с внешней средой представляют собой линейные системы, осуществляющие пространственную фильтрацию сигналов АР.

2. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ УСТРОЙСТВАМИ МПР

Как известно, оптимизация пространственно-временной обработки сводится к задачам линейной фильтрации, являющимся частью общего алгоритма обнаружения, измерения, классификации и обработки изображений, включающего и нелинейные операции. Излучающую антенну, среду распространения электромагнитных (или акустических) волн, приемную АР и устройство МПР можно представить как совокупность последовательно включенных линейных фильтров [7], осуществляющих ряд операций над сформированным излучающей антенной пространственно-временным сигналом.

Универсальной характеристикой, определяющей основные показатели устройства обработки, в частности – пространственные, является пространственная импульсная характеристика (ПИХ) $H(\bar{r}, \alpha, \beta, \alpha', \beta')$, где α, β и α', β' – углы места и азимута в пространстве объектов и, соответственно, в пространстве изображений (в среде обработки аналогового процессора, рис. 2.1); ПИХ является откликом на монохроматический источник, расположенный в дальней зоне АР, и определяется с точностью до несущественного множителя как [6]

$$\tilde{H}(k, \alpha_0, \beta_0, \alpha'_0, \beta'_0) = C \int_{\bar{r}} P(k, \bar{r}) V(k, \alpha_0, \beta_0, \bar{r}) W(k, \alpha'_0, \beta'_0, \bar{r}) d\bar{r},$$

где $P(k, \bar{r})$ – функция раскрытия; $V(k, \alpha, \beta, \bar{r})$ – функция, определяющая распределение комплексных амплитуд принимаемых сигналов;

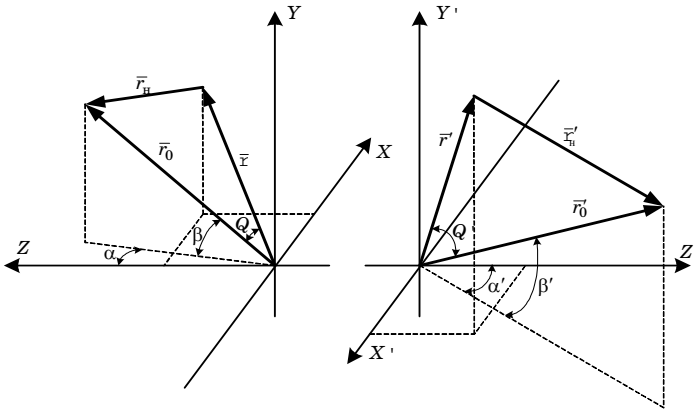


Рис. 2.1. Системы координат в пространстве и в аналоговом процессоре

$W(k, \alpha', \beta', \bar{r})$ – опорная функция акустоэлектронного устройства; \bar{r} – радиус-вектор точки на раскрыве АР. Как известно, при реализации алгоритма согласованной пространственной обработки сигналов опорная функция должна выбираться равной комплексно-сопряженной функции распределения комплексных амплитуд по приемной антенне в полосе частот принимаемых сигналов, т. е.

$$W(k, \alpha, \beta, \bar{r}) = V^*(k, \alpha, \beta, \bar{r}). \quad (2.1)$$

В однородной изотропной среде распределение комплексных амплитуд по раскрыву приемной антенны для δ -источника, излучающего монохроматический сигнал, с точностью до амплитудного множителя описывается выражением [6] (см. рис. 2.1)

$$+ \frac{r^p}{r_0^{p-1}} \sum_{q=E\left(\frac{p+1}{2}\right)}^p \frac{\left(\frac{3}{2}-1\right)\left(\frac{3}{2}-2\right)\dots\left(\frac{3}{2}-q\right)}{q!} \cdot C_q^{2q-p} (-2\cos Q)^{2q-p} + \dots \Bigg\}, \quad (2.2)$$

где Q – угол, образуемый векторами \bar{r}_0 и \bar{r} ; E – функция «целая часть числа»; $p=1, 2, 3, \dots$. При выполнении условия $r_0 \gg r^2 \sin^2 Q / \lambda$ из (2.2) следует известное приближение дальней зоны

$$V(k, \bar{r}_0, \bar{r}) = \exp(-jkr \cdot \cos Q) = \exp[-jk \times (x \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta + y \cdot \sin \beta + z \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta)]. \quad (2.3)$$

В приближении дальней зоны пространственная импульсная характеристика описывается как

$$h(k, \alpha, \beta, \alpha_0, \beta_0) = \iint_{(x,y) \in Z} P_{1,2}(k, x, y) \cdot W(k, x, y, \alpha_0, \beta_0) \times \exp[-jk(x \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta + y \cdot \sin \beta + z \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta)] dx dy. \quad (2.4)$$

Выражение (2.4), нормированное к значению $h(k, \alpha = \alpha_0, \beta = \beta_0)$ служит характеристикой направленности антенны.

При исследовании характеристик акустоэлектронных устройств используют различные математические и физические модели (систем излучателей и приемников) различной степени сложности. В связи с дуализмом акустоэлектронных устройств имеется два различных подхода к описанию их свойств. С одной стороны, к ним относятся

как к элементам электрической цепи и используют модели в виде эквивалентных электрических схем. Для их описания применяют матричный подход, используя матрицы проводимостей или матрицы рассеивания. С другой – это волновые устройства и для их описания годятся волновые методы, аналогичные тем, которые применяют в оптике, акустике, электродинамике и теории антенн.

3. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ЛИНЕЙНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Пусть приемная антенна представляет собой линейную эквидистантную АР с функцией раскрыва $P(x)$, $y=0$, $z=0$ (см. рис. 2.1).

Будем считать, что источник монохроматического излучения находится в плоскости XZ под углом $\alpha=\alpha_0$ к оси Z . В этом случае опорная функция устройства согласованной пространственной фильтрации в соответствии с (2.2) должна иметь вид

$$. (3.1)$$

Пространственная импульсная характеристика описывается выражением (2.4) и в случае нахождения источника излучения в дальней зоне АР сводится к Фурье-преобразованию функции раскрыва

$$h(k, \alpha, \alpha_0) = \int_{-D}^D P(x) \exp[-jkx(\sin \alpha_0 - \sin \alpha)] dx. \quad (3.2)$$

При равномерном и синфазном апертурном распределении

пространственная импульсная характеристика равна

$$h(k, \alpha, \alpha_0) = \sin c \left[\frac{D}{\lambda} (\sin \alpha_0 - \sin \alpha) \right]. \quad (3.3)$$

Устройства такого типа могут использоваться для обработки сигналов приемных АР с малыми волновыми размерами или при расположении наблюдаемых объектов в ближней зоне АР. При несоблюдении этих условий применяются акустоэлектронные процессоры с фокусировкой переизлучающей волны либо со считыванием в ближней зоне переизлучающей решетки.

Рассмотрим устройство пространственной обработки сигналов на основе акустоэлектронного процессора с линейной переизлучающей решеткой (рис. 3.1). Для считывающего преобразователя с координатами r_0' , $\alpha'=\alpha_0'$, $\beta=0$ (см. рис. 2.1) по аналогии с (2.2) опорная функция имеет вид

$$W'(k', x') = \exp \left\{ -jk' \left[x' \sin \alpha_0' - \frac{(x')^2}{2r_0'} \cos^2 \alpha_0' - \frac{(x')^3}{2(r_0')^2} \sin \alpha_0' \cos^2 \alpha_0' + \dots \right] \right\}. \quad (3.4)$$

Введем коэффициент углового масштаба $\mu = \frac{\sin \alpha'_0}{\sin \alpha_0}$. С учетом вза-

имно однозначного соответствия между элементами приемной АР и переизлучающей решетки преобразователей получаем

$$W(k, x) = \exp \left\{ -j \frac{k}{m_\lambda} \left[x \frac{D'}{D} \mu \sin \alpha_0 + \frac{x^2}{2r'_0} \left(\frac{D'}{D} \right)^2 (1 - \mu^2 \sin^2 \alpha_0) + \dots \right] \right\}, \quad (3.5)$$

где D' – апертура переизлучающей решетки преобразователей.

Из сравнения (3.1) и (3.5) следует, что для реализации устройства с требуемой опорной функцией необходимо выбрать параметры $\mu = -1$, $D' = m_\lambda D$, $r'_0 = m_\lambda r_0$ и выполнить операцию сопряжения спектра при частотном преобразовании сигналов. Последнее обеспечивается выбором промежуточной частоты $\omega' = \omega_\Gamma - \omega$ при гетеродинировании для узкополосных сигналов или временной инверсией при преобразовании временного масштаба. Для линейных АР переизлучение сигналов со спектром, сопряженным исходному, позволяет получить обращенный (сходящийся) волновой фронт.

Считывание в ближней зоне используется в процессорах на ПАВ, содержащих набор веерообразно расположенных линейных считывающих преобразователей, апертура которых полностью перекрывает акустический пучок в ближней зоне переизлучающей решетки (рис. 3.2) [6].

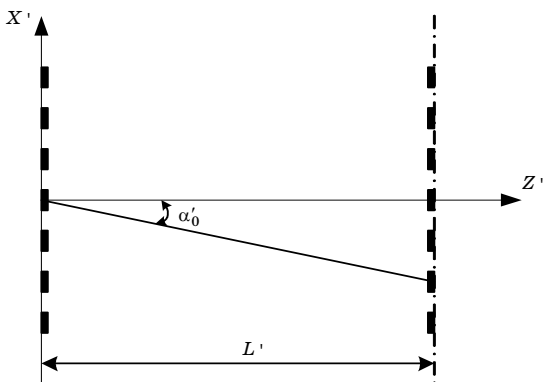


Рис. 3.1. Расположение элементов в устройстве с линейными переизлучающей и считывающей решетками

Для определения опорной функции такого устройства рассмотрим случай падения на АР монохроматической волны с плоским волновым фронтом. При этом распределение комплексных амплитуд по элементам приемной АР имеет вид С учетом
 функции раскрыва $P(x)$ распределение сигналов по апертуре линейной переизлучающей решетки равно

$$V_1'(x') = P'(x') \exp(jk'x' \sin \alpha'_0), \quad (3.6)$$

где $\sin \alpha'_0 = \mu \sin \alpha_0 = m \frac{D}{D'} \sin \alpha_0$; $P'(x') = P\left(\frac{D}{D'}x'\right)$.

Нетрудно показать, что в плоскости, параллельной переизлучающей решетке и удаленной от нее на расстояние L' , распределение комплексных амплитуд приближенно равно [6]

$$V_2'(x') \cong P'(x' + L'tg\alpha'_0) \exp[jk'(x' \sin \alpha'_0 - L' \cos \alpha'_0)]. \quad (3.7)$$

Реализация устройств со считыванием акустической волны в ближней зоне может быть затруднена необходимостью размещения достаточного числа считывающих преобразователей в ограниченной области вблизи переизлучающей решетки, в которой волновой фронт можно считать плоским. Это же обстоятельство препятствует использованию весовой обработки для уменьшения уровня боковых лепестков.

Большими возможностями в данном отношении обладают устройства с фокусировкой акустической волны.

Один из способов фокусировки – применение акустической линзы, размещаемой между переизлучающей и считывающей решетками

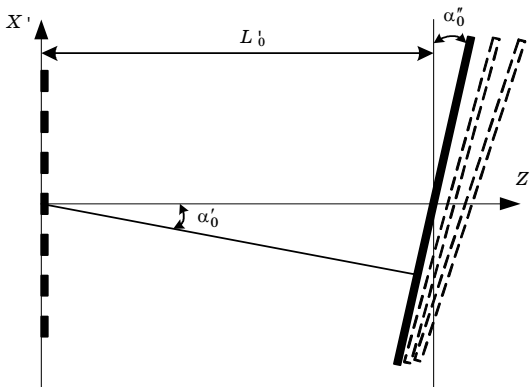


Рис. 3.2. Верное размещение считывающих преобразователей

ми. В процессорах на ПАВ линза может быть образована путем нанесения на поверхность подложки покрытия требуемой конфигурации из материала, обеспечивающего отличие фазовой скорости волны на покрытом участке от скорости на свободной поверхности.

Для фокусировки переизлученной волны вместо линзы можно использовать квадратичный фазовый транспарант, формируемый в электронных цепях, например в многоканальном преобразователе частоты. Число формируемых опорных сигналов в устройстве с «электронной линзой» может быть существенно меньше числа элементов АР, если фазовое распределение реализуется в виде функции со ступенчатым изменением фазы, а результирующее уклонение аргумента функции передачи от идеальной не превосходит допустимой величины $|\varphi|$.

Эффект фокусировки может быть получен также за счет применения дуговой переизлучающей решетки с определенным законом расположения преобразователей (рис. 3.3).

В соответствии с (2.2) найдем точное выражение для опорной функции устройства с фокусирующей решеткой:

$$\begin{aligned}
 W(x') = \exp \left\{ \left\{ -jk' \left\{ (\rho')^2 \cos^4 \alpha' - 2\rho' \cos^2 \alpha' + 2\rho' \cos^2 \alpha' \times \right. \right. \right. \\
 \times \left[(\rho')^2 - (x')^2 \right]^{1/2} + 2(\rho')^2 - 2\rho' \left[(\rho')^2 - (x')^2 \right]^{1/2} + \\
 \left. \left. \left. + (\rho')^2 \sin \alpha' \cos^2 \alpha' + 2x'\rho' \sin \alpha' \cos \alpha' \right\}^{1/2} \right\} \right\}. \quad (3.8)
 \end{aligned}$$

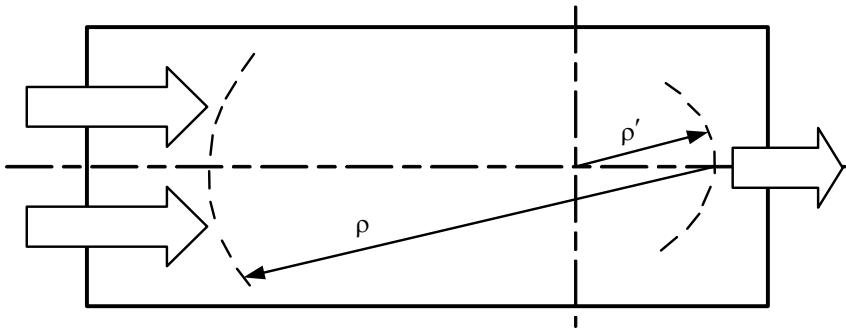


Рис. 3.3. Расположение элементов с дуговыми переизлучающей и считывающей решетками

Представив в виде степенного ряда слагаемые в квадратных скобках, запишем опорную функцию в виде

$$2(\rho')^2 \sin^2 \alpha' \sum_{p=2}^{\infty} \frac{(-1)^p}{P!} \left(\frac{x'}{\rho'} \right)^{2P} \left[\prod_{j=1}^P \left(\frac{3}{2} - j \right) \right]^{1/2}. \quad (3.9)$$

Из выражения (3.9) следует, что опорная функция равна приближенно

$$W(x') \cong \exp[-jk'(\rho' \cos \alpha' + x' \sin \alpha')], \quad (3.10)$$

что соответствует искомой форме, причем погрешность такого представления, вносимая первым отбрасываемым членом разложения, не превосходит $|Dj|$ радиан при выполнении условия

$$\rho' \geq \left[\frac{\pi}{|\Delta\phi|} \frac{(D')^4}{64\lambda'} \sin \alpha' \operatorname{tg} \alpha' \right]^{1/3}. \quad (3.11)$$

Рассмотрим существующие устройства обработки сигналов АР. Сначала рассмотрим устройства МПР на поверхностных акустических волнах. В настоящее время имеется отработанная технология изготовления устройств на ПАВ с высокими техническими параметрами на базе различных подложек. В приборах на ПАВ сравнительно легко подавляется сигнал тройного прохода, поэтому приборы на ПАВ весьма перспективны.

Процессоры (рис. 3.4, а, б и 3.5, а, б.) состоят из подложки, на рабочей поверхности которой методом фотолитографии нанесены

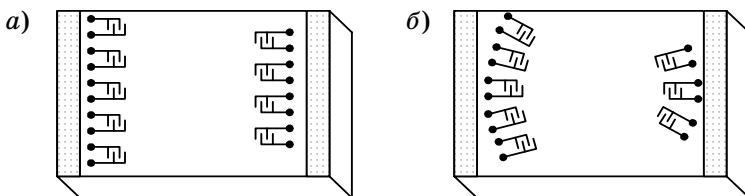


Рис. 3.4, а, б. Процессоры на ПАВ для обработки сигналов АР

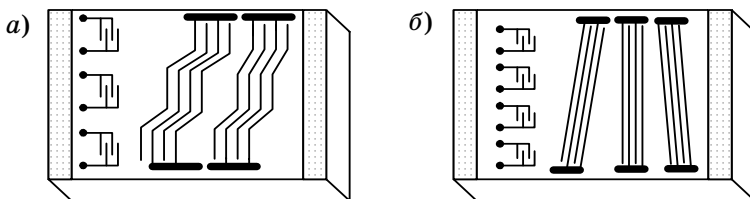


Рис. 3.5, а, б. Процессоры на ПАВ для обработки сигналов АР

линейные эквидистантные переизлучающая и считывающая решетки встречно-штыревых преобразователей ПАВ.

Края подложки покрыты акустическим поглотителем. На рис. 3.4, а преобразователи ПАВ считывающей решетки расположены в дальней зоне переизлучающей решетки. При работе устройства в широком угловом секторе элементы переизлучающей и считывающей решеток могут располагаться по дуге окружности (рис. 3.4, б).

На рис. 3.5, а преобразователи ПАВ считывающей решетки имеют веерное размещение и расположены в ближней зоне переизлучающей решетки. Переизлучающие преобразователи создают непрерывающийся параллельный пучок ПАВ. Считывающие преобразователи, расположенные в этих пучках на наклонных сечениях, производят суммирование сигналов с определенных направлений, образуя веер ДН. Процессор представляет собой набор из независимых многоотводных линий задержки. Для увеличения зоны непрерывающихся пучков необходимо увеличить апертуры переизлучающих ВШП, что уменьшает их число при ограниченных размерах подложки.

На рис. 3.5, б показан процессор на ПАВ с веерным размещением считывающих преобразователей в ближней зоне переизлучающей решетки. В данном случае считывающие ВШП равны апертуре переизлучающей решетки, развернуты один относительно другого на угол, равный разрешению по углу приемной антенной решетки, и размещены в ближней зоне переизлучающей решетки. Однако из-за ограниченных размеров подложек число переизлучающих ВШП может составлять не более 40...60.

Большинство процессоров на ПАВ реализовано как на пьезоактивных, так и на непьезоактивных подложках. Главным достоинством процессоров на ПАВ, изготовленных на непьезоактивных подложках с пьезопреобразователями в виде тонких пленок с нанесенными ВШП, является возможность обрабатывать сигналы антенных решеток с числом элементов до нескольких сотен. Другим достоин-

ством является большая (более 40 дБ) акустическая развязка между соседними преобразователями ПАВ.

В то же время аналоговые процессоры с пьезоэлектрическими подложками, достаточно просто изготовить методами фотолитографии с любой конфигурацией переизлучающих и считывающих решеток, меньшим уровнем вносимых потерь (порядка 25...30 дБ при работе с одного элемента переизлучающей решетки на один элемент считывающей решетки), большим коэффициентом электромеханической связи.

Поскольку считывающая решетка размещается в дальней зоне переизлучающей решетки, то это может потребовать создания процессора слишком больших размеров, а также ухудшения разрешающей способности системы, связанного с ограниченным количеством числа считывающих преобразователей, с помощью которых можно однозначно разрешать объекты. Для уменьшения размеров используется соответствующий выбор коэффициента масштабирования $m=k/k' < 1$, но и это может не всегда уменьшить размеры устройства в достаточной степени.

В работе [6] для решения данной проблемы предложена многогранная среда задержки, показанная на рис. 3.6.

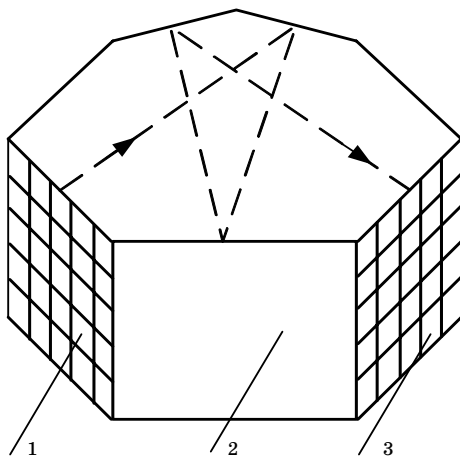


Рис. 3.6. Акустоэлектронное устройство обработки сигналов плоской АР:

1 – переизлучающая решетка; 2 – звукопровод; 3 – считывающая решетка

В этом случае в многогранном звукопроводе, с однократным отражением от грани, переизлучающая и считывающая решетки повернуты относительно середины исходных граней правильной n -гранной призмы на угол $\varphi=90^\circ/n$. С нулевого направления АР акустический пучок, полученный переизлучающей решеткой, перпендикулярен этим 2 граням, а на другие грани этот пучок падает под углом φ . Траектории акустического пучка состоят из ходов равной длины, их число $(n-1)$, приблизительно во столько же раз уменьшая длины звукопровода.

Достоинство данной многогранной структуры состоит в том, что легко решается проблема с переотражением сигналов от торцов, на которых расположены переизлучающая и считывающая решетки. Здесь наносится поглощающее покрытие на те грани, от которых не должен отражаться основной сигнал.

Также уменьшить размеры звукопровода можно за счет фокусировки переизлученной акустической волны на элементы считывающей решетки. Это получится, если использовать акустическую линзу из ниобата лития или сапфира, или за счет разности пути прохождения сигнала (длины кабелей) от элементов АР до элементов переизлучающей решетки (электромагнитная линза).

Кроме того, фокусировка достигается размещением решеток на сферических торцах объемного процессора, но это может встретить некоторые технологические трудности.

Процессор (рис. 3.7) обладает и фокусировкой акустических колебаний, и многократным путем распространения объемных акустических волн.

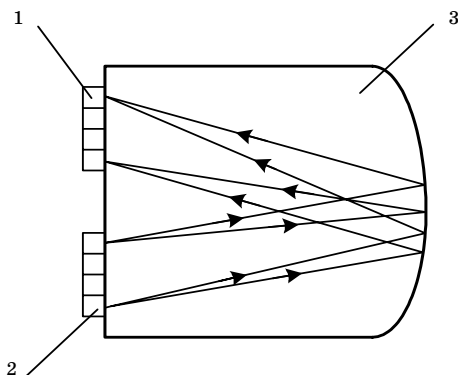


Рис. 3.7. Акустическое устройство обработки сигналов АР:

1 – считывающие преобразователи; 2 – переизлучающие преобразователи; 3 – среда обработки

Хотя топологии, показанные на рис. 3.6 и 3.7, обладают малыми габаритами, но имеют достаточно большое затухание полезных сигналов, а также потери, связанные с отражением от граней.

Основными достоинствами рассмотренных акустоэлектронных устройств являются сравнительно простая процедура обработки сигналов, малые габариты и масса, низкая стоимость и высокое быстродействие, поэтому данные устройства являются вполне конкурентоспособными всем перечисленным устройствам формирования диаграмм направленности.

4. УСТРОЙСТВА МПР ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

В работе [6] рассматривалось влияние пространственной дисперсии переизлученной волны в аналоговом процессоре на выходной сигнал устройства МПР. Этот эффект для сигналов, удовлетворяющих условию пространственно-временной узкополосности, может быть использован для пространственной обработки сигналов в спектральной области [8].

Пространственные импульсные характеристики устройств МПР с аналоговым процессором на изотропной и, соответственно, анизотропной подложках могут быть записаны в виде

$$h_T(\omega', \alpha, \alpha') = C \frac{\sin \left\{ (N + 0,5) \left[m_\omega \frac{d}{v} \sin \alpha - \frac{d'}{v'} \sin \alpha' \right] \omega' \right\}}{\sin \left\{ 0,5 \left[m_\omega \frac{d}{v} \sin \alpha - \frac{d'}{v'} \sin \alpha' \right] \omega' \right\}} \times \exp \left[j\omega' \left(\frac{r'_0}{v'} - m_\omega \frac{r_0}{v} \right) \right], \quad (4.1)$$

$$h_T(\omega', \alpha, \alpha') = C \frac{\sin \left\{ (N + 0,5) \left[m_\omega \frac{d}{v} \sin \alpha - \frac{d'}{v'_0 v_{И}(\alpha_k)} \sin(\alpha' - \Gamma) \right] \omega' \right\}}{\sin \left\{ 0,5 \left[m_\omega \frac{d}{v} \sin \alpha - \frac{d'}{v'_0 v_{И}(\alpha_k)} \sin(\alpha' - \Gamma) \right] \omega' \right\}} \times \exp \left[j\omega' \left(\frac{r'_0}{v'(\alpha_k)} - m_\omega \frac{r_0}{v} \right) \right], \quad (4.2)$$

где $m_\omega = \frac{\omega}{\omega'}$, $k'(\alpha_k) = \frac{\omega'}{v'(\alpha_k)} = \frac{\omega'}{v'_0 v_{И}(\alpha_k)}$.

Нетрудно заметить, что выражение (4.1) переходит в выражение (4.2) при $\Gamma=0$, $k'(\alpha_k) = k'$, и поэтому в дальнейшем будем пользоваться только выражением, учитывающим анизотропию подложки.

Как уже отмечалось, изменение частоты входного сигнала на элементах АР устройства МПР приводит к отклонению переизлученной

волны в аналоговом процессоре за счет изменения фазовых соотношений по элементам переизлучающей решетки.

Аналогичные изменения фазовых соотношений сигналов на элементах переизлучающей решетки можно получить, используя многоэлементные линии задержки (ЛЗ), как это показано на рис. 4.1 и рис. 4.2. В устройстве МПР (рис. 4.1) осуществляется так называемое фазовое сканирование, поскольку изменение частоты в ЛЗ превращается в изменение фазовых соотношений сигналов на элементах МПР при фиксированной рабочей частоте ω'_0 аналогового процессора. В этом случае, учитывая выражение (4.2), можно записать

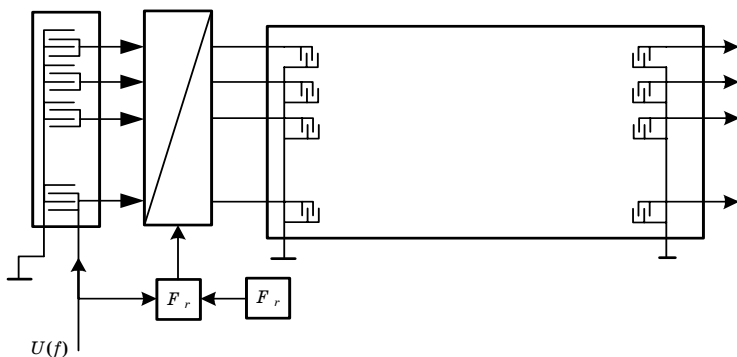


Рис. 4.1. Устройство МПР на многоэлементной линии задержки с фазовым сканированием

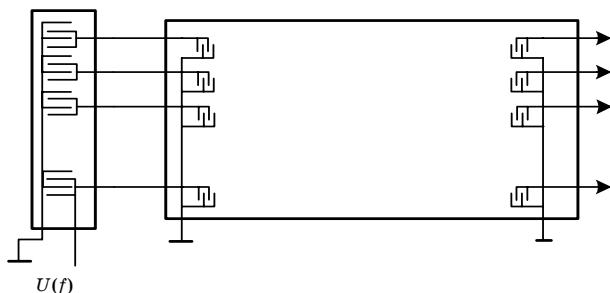


Рис. 4.2. Устройство МПР на многоэлементной линии задержки с фазовым сканированием

$$|h_T(\alpha)| = \left| \frac{\sin \left\{ (N + 0,5) \left[m_\omega \frac{\Delta R}{v} - \frac{d'}{v'(\alpha_k)} \sin(\alpha' - \Gamma) \right] \omega'_0 \right\}}{\sin \left\{ 0,5 \left[m_\omega \frac{\Delta R}{v} - \frac{d'}{v'(\alpha_k)} \sin(\alpha' - \Gamma) \right] \omega'_0 \right\}} \right|, \quad (4.3)$$

где ΔR – расстояние между штрихами ЛЗ; v – скорость волны в ЛЗ. Максимальное значение функции $|h_T(\alpha)|$ находится из условия

$$\left[m_\omega \frac{\Delta R}{v} - \frac{d'}{v'(\alpha_k)} \sin(\alpha' - \Gamma) \right] \omega'_0 = 2p\pi, \quad (4.4)$$

из которого для угла $\alpha_k = \alpha' - \Gamma = 0$ можно определить

$$\Delta R = \frac{p}{m_\omega} \lambda'_0 = p\lambda_0, \quad (4.5)$$

где p – целое число, а λ_0 – длина волны на центральной частоте ω_0 в ЛЗ.

Из выражения (4.4) с учетом (4.5) получим зависимость углового положения функции $h_T(\alpha)$ от частоты ω в ЛЗ

$$\sin(\alpha' - \Gamma) = \frac{p\lambda'_0 v_H(\alpha_k)}{d'} \left(1 - \frac{\omega}{\omega_0} \right). \quad (4.6)$$

Продифференцировав (4.6) и переходя к приращениям, можно записать, что максимальная разрешающая способность устройства равна

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{(2N + 1)p} \quad (4.7)$$

и является величиной, обратно пропорциональной числу элементов в переизлучающей решетке.

Устройство МПР для обработки сигналов в спектральной области может быть существенно упрощено, если перейти от фазового к частотному сканированию, как это показано на рис. 4.2. В данном случае частоты ЛЗ и аналогового процессора одни и те же, что кроме всего прочего допускает не только пространственную, но еще и частотную фильтрацию в считывающих преобразователях.

Нетрудно показать, что выражения (4.3...4.7) справедливы и для этого устройства при $m_w = 1$. Рассматриваемые устройства МПР ис-

пользуют нулевой порядок дифракции переизлученной в аналоговый процессор акустической волны. Наличие добавочных дифракционных максимумов при $d' > \lambda'/2$, сравнимых с основным и имеющих положение, определяемое из (4.2), как

$$\sin(\alpha' - \Gamma) = \mp \frac{\lambda'(\alpha_k)}{d'} m_{\text{Д}} + \mu_{\text{И}}(\alpha_k) \sin \alpha, \quad (4.8)$$

где μ – коэффициент углового масштаба; $m_{\text{Д}}$ – порядок дифракции, позволяет предложить другие варианты устройств МПР (рис. 4.3, 4.4). В этих устройствах, согласно выражению (4.8), используется зависимость положения дифракционных максимумов $h_{\text{T}}(\alpha)$ ненуле-

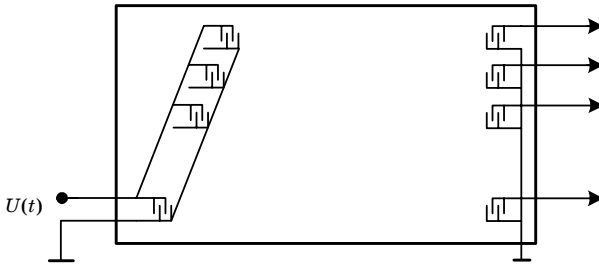


Рис. 4.3. Устройство МПР с масштабированием по скорости и с фокусировкой переизлученной волны на считывающие элементы

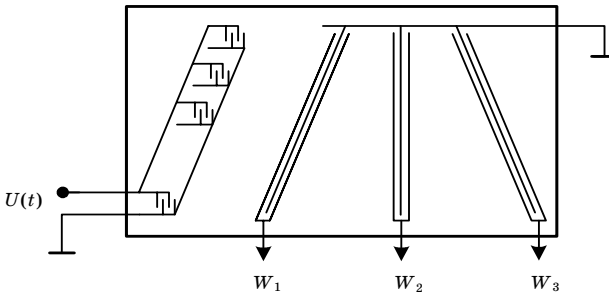


Рис. 4.4. Устройство МПР с масштабированием по скорости и с веерными считывающими элементами

вого порядка, т. е. $m_D \neq 0$, от частоты. В зависимости от используемого порядка дифракционного максимума ось переизлучающей решетки с объединенными элементами повернута относительно оси считывающей решетки на угол, равный

$$\sin(\alpha' - \Gamma) = \sin \alpha'_D = \frac{\lambda'_0 v_{II}(\alpha_k)}{d'} m_D, \quad (4.9)$$

где λ'_0 – длина волны в аналоговом процессоре на центральной частоте ω'_0 полосы анализируемых частот. Для уменьшения уровня вносимых потерь преобразователи переизлучающей решетки развернуты в направлении считывающей решетки. В рассматриваемых устройствах не используется имитация каким-либо способом распределения сигналов по элементам АР, как это осуществлялось в устройствах, показанных на рис. 4.1 и 4.2, т. е. $\mu v_{II}(\alpha_k) \sin \alpha = 0$. Во всем остальном они аналогичны устройствам МПР с фокусировкой (рис. 3.4, б) и без фокусировки (рис. 3.5, б) переизлученной волны на считывающие преобразователи.

Аналогично тому, как это было получено ранее, можно показать, что максимальная разрешающая способность по частоте этих устройств равна

$$\frac{\Delta \omega'}{\omega'_0} = \frac{1}{(2N+1)m_D}, \quad (4.10)$$

не зависит от анизотропии подложки и является величиной, обратно пропорциональной числу преобразователей в переизлучающей решетке и порядку используемого дифракционного максимума.

Как правило, для устройств спектрального анализа желательна большая полоса анализа. Максимальная теоретическая ширина полосы для дифракции первого порядка, без перекрытия в соседних порядках, определяется из уравнения (4.9). Нетрудно показать, что при этом условии полоса анализа равна $2\Delta\omega_{\max} = \omega_0$, т. е. наибольшая полоса частот, которая может быть использована при дифракции первого порядка, составляет $\pm 50\%$ относительно центральной частоты и не зависит от анизотропии подложки. Для дифракции высших порядков полоса анализируемых частот, соответственно, меньше ($\approx \pm 25\%$, $\approx \pm 13\%$ и т. д.), но также не зависит от анизотропии подложки.

Ширину дифракционного лепестка первого порядка, т. е. минимальное расстояние между считывающими преобразователями по критерию Релея, можно определить из равенства

$$\sin(\alpha_k \pm \Delta\alpha) - \sin \alpha_k = \frac{\Delta\varphi}{k'(\alpha_k)d'}, \quad (4.11)$$

где $\Delta\varphi$ – максимально допустимый фазовый набег между соседними элементами переизлучающей решетки. Ширина дифракционного лепестка при $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{(2N+1)}$ равна

$$\sin \Delta\alpha_k \approx \Delta\alpha_k = \frac{\lambda'_0 \nabla_{\Pi}(\alpha_k)}{D' \cos(\alpha' - \Gamma)}, \quad (4.12)$$

и зависит от анизотропных свойств аналогового процессора. Следует заметить, что устройство МПР с масштабированием по скорости и с фокусировкой переизлученной волны на считывающие элементы (рис. 4.3) имеет ограничение по сектору сканирования (полосе анализа) из-за фазовых ошибок и анизотропии подложки.

Отметим преимущества данных устройств перед набором фильтров ПАВ, собранных на одной подложке, и дисперсионных анализаторов спектра, являющихся в настоящее время наиболее перспективными.

В предложенных устройствах спектральная обработка осуществляется не только в частотной области, но и в пространственной, что позволяет уменьшить на 10...20 дБ уровень ложных сигналов. Использование однотипных малоапертурных преобразователей позволяет в 2...3 раза увеличить число частотных каналов, собранных на одной подложке. По сравнению с дисперсионными анализаторами спектра описываемые устройства инвариантны ко времени прихода анализируемого сигнала.

Устройства МПР для обработки сигналов в спектральной области могут быть использованы, в частности, для формирования дискретной сетки частот, спектрального анализа сигналов, в качестве частотного демультиплексора, блока согласованных фильтров для коррекции частотно-модулированных сигналов радиолокационных отражений с различными доплеровскими сдвигами, для функций уплотнения / разуплотнения и т. д.

5. Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТОЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Цель работы: Ознакомление с методами измерения параметров акустоэлектронного устройства пространственной обработки сигналов линейной АР.

5.1. Описание лабораторной установки

Лабораторный стенд включает в себя: 15-элементную приемную антенную решетку, один излучающий элемент, осциллограф С1-72, газоразрядный индикатор, блок питания Б5-8, устройство МПР, включающее в себя: многоканальный преобразователь частоты, акустический процессор, коммутатор, генератор синусоидальных сигналов, синхронизатор.

Схема лабораторной установки для исследования параметров акустоэлектронного устройства МПР для пространственной обработки сигналов линейной АР показана на рис. 5.1.

Лабораторная установка функционирует следующим образом. На излучающий элемент 1 МУП (микрофон ультразвуковой пьезоэлектрический) подаются сигналы от генератора синусоидальных сигналов 6 частотой 42 кГц. Полученный акустический сигнал принимается приемной антенной решеткой 2 (МУП), преобразуется по частоте в многоканальном преобразователе частоты 3 ($f_T=18,5$ МГц) и по-

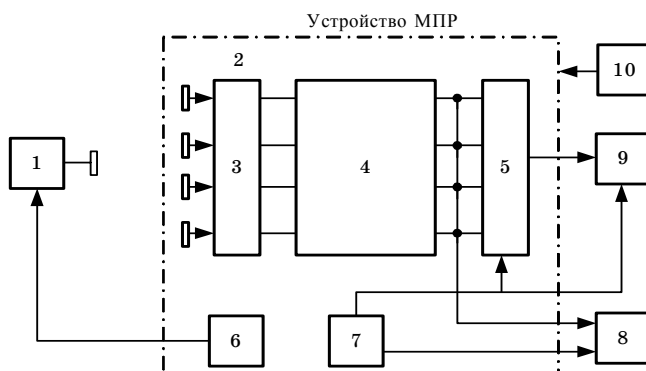


Рис 5.1. Схема лабораторной установки для исследования устройства МПР пространственной обработки сигналов линейной АР

ступает на входы акустического процессора 4. Акустический процессор формирует парциальные ДН, а с его выходов сигналы подаются на индикатор 8 параллельного типа, собранный на матричной газоразрядной панели ГИП-100, и через коммутатор 5 (полосовые фильтры и детектор) на осциллограф 9. Синхронизатор 7 устройства МПР синхронизирует работу осциллографа, газоразрядного индикатора и коммутатора. Питание ДАС осуществляется от блока питания 10 (Б5-8) напряжением + 6В.

5.2. Требования безопасности

В лабораторной работе исследуются характеристики электрических цепей и акустических устройств, поэтому при работе на установках следует руководствоваться ГОСТ 12.3.019-80 «Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности».

Запрещается:

- приступать к выполнению лабораторной работы без инструктажа по вопросам безопасности и разрешения преподавателя;
- включать силовые рубильники;
- оставлять без наблюдения включенную установку.

5.3. Порядок выполнения работы

Перед включением лабораторной установки ознакомится с требованиями безопасности, методикой исследований и лабораторной установкой.

Задание 1. Измерение диаграммы направленности устройства МПР пространственной обработки сигналов линейной АР.

Собрать схему (рис. 5.1):

- подсоединить излучающий микрофон МУП к «Вых» генератора устройства МПР;
- подсоединить «Вых» устройства МПР к «Вх» осциллографа;
- подсоединить «Выходы» устройства МПР к «Вх» газоразрядного индикатора;
- включить питание (Б5-8) устройства МПР.

Установить:

- на одной линии приемную АР и передающий микрофоны, напротив друг друга на расстоянии приблизительно $L=2\text{м}$;
- положение передающего микрофона, при котором амплитуда сигнала с центрального «Выхода» устройства МПР максимальна.

Измерить по экрану осциллографа амплитуды сигналов с «Выходов» устройства МПР.

Измерить по экрану осциллографа амплитуды сигналов с центрального «Выхода» устройства МПР, перемещая излучающий микрофон относительно оси линейной АР или поворачивая антенну. Микрофон перемещать от 0° до 10° с шагом 1° . Заполнить табл. 1.

Таблица 1

Q°	0	1	...	9	10
U, B					
U/U_{\max}					

Рассчитать:

1. Апертуру АР, исходя из измеренной ширины диаграммы направленности, по формуле

$$\Delta Q \approx 1,02 \frac{\lambda}{D} \approx 59^\circ \frac{\lambda}{D},$$

где D – апертура АР.

2. Коэффициент осевой концентрации W по формуле.

$$\Omega = 2\sqrt{\pi} \cdot \frac{D}{\lambda}.$$

Задание 2. Определение числа парциальных диаграмм направленности.

При измерениях использовать схему, собранную в задании 1 (рис. 5.1).

Установить:

- на одной линии приемную АР и передающий микрофоны напротив друг друга на расстоянии приблизительно $L=2\text{м}$;
- положение передающего микрофона, при котором амплитуда сигнала с центрального «Выхода» устройства МПР максимальна.

Измерить по экрану осциллографа амплитуды максимальных сигналов с «Выхода» устройства МПР, перемещая излучающий микрофон относительно оси линейной АР или поворачивая антенну. Микрофон перемещать непрерывно от 0° до $\pm 50^\circ$.

Задание 3. Измерение сектора обзора устройства МПР.

При измерениях использовать схему, собранную в задании 1 (рис. 5.1).

Установить:

- на одной линии приемную АР и передающий микрофон напротив друг друга на расстоянии приблизительно $L=2\text{м}$;
- положение передающего микрофона, при котором амплитуда сигнала с центрального «Выхода» устройства МПР максимальна.

Установить по экрану осциллографа максимальные амплитуды сигналов с «Выхода» устройства МПР на крайних выходах, перемещая излучающий микрофон относительно оси линейной АР или поворачивая антенну. Микрофон перемещать непрерывно до получения максимальных амплитуд сигналов. Определить при этом крайние угловые положения излучающего элемента.

Задание 4. Снятие распределения сигналов на выходах устройства МПР при расположении излучающего элемента в ближней зоне АР.

При измерениях использовать схему, собранную в задании 1 (рис. 5.1).

Установить:

- на одной линии приемную АР и передающий микрофон напротив друг друга на расстоянии приблизительно $L=2\text{м}$;
- положение передающего микрофона, при котором амплитуда сигнала с центрального «Выхода» устройства МПР максимальна.

Зарисовать с экрана осциллографа амплитуды сигналов с «Выходов» устройства МПР при изменении расстояния между приемной АР и передающим микрофоном с 2м до $0,5\text{м}$, через $0,5\text{м}$.

Задание 5. Рассчитать параметры аналогового процессора и угловое разрешение устройства МПР.

Расчет произвести при следующих значениях величин в аналоговом процессоре, имеющем топологию показанную на рис. 3.5, б: скорости ПАВ – $v' = 3,5\text{ мм/мкс}$, $d' = 3\lambda'$.

Для расчетов необходимо замерить расстояние d между элементом приемной АР.

Содержание отчета

В отчете должны быть представлены методики измерений, схемы измерительных установок, результаты измерений и расчетов, выполненных по заданиям 1...5.

- результаты измерений, выполненных по заданиям 1...4;
- расчетные соотношения, используемые при вычислениях и сами расчеты;
- осциллограммы сигналов с выхода устройства МПР;
- расчет параметров акустического процессора;

- предполагаемая структурная схема устройства МПР;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы устройств МПР. Области их применения.
2. Расскажите об основных топологиях акустических процессоров, предназначенных для обработки сигналов линейных АР.
3. Опишите методы измерения параметров акустических процессоров.
4. Чем определяется разрешение устройства МПР по углу.
5. От чего зависит уровень боковых лепестков отклика акустического процессора.
6. Объясните, как взаимосвязаны параметры АР и переизлучающих решеток.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ФИЛЬТРА

Цель работы: Ознакомление с методами измерения параметров анализатора спектра (АС) на основе пространственного фильтра (устройства МПР).

6.1. Описание лабораторной установки

Лабораторный стенд включает в себя: генераторы высокочастотных сигналов Г4-102 и Г4-106, осциллограф С1-48Б, блок питания БТ-2, анализатор спектра на основе пространственного фильтра: включающего в себя: многоканальную линию задержки на ПАВ, многоканальный преобразователь частоты, акустический процессор, коммутатор, синхронизатор.

Схема лабораторной установки для исследования управляемой линии задержки показана на рис. 6.1.

Лабораторная установка функционирует следующим образом. На многоканальную линию задержки на ПАВ 1 подаются сигналы от генератора 2 сигналов высокой частоты Г4-102. Полученные непрерывные радиосигналы (частотой $\cong 3$ МГц, с линейно изменяющейся начальной фазой от канала к каналу) с выходов линии задержки преобразуются по частоте в многоканальном преобразователе частоты 3 ($f' = 4,5$ МГц) и поступают на входы акустического процессора 4. Акустический процессор формирует сигналы соответствующие парциаль-

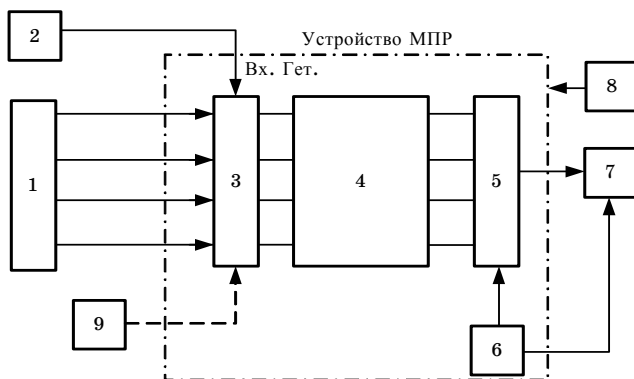


Рис 6.1. Схема лабораторной установки для исследования параметров анализатора спектра на основе пространственного фильтра

ным ДН, а с его выходов сигналы подаются через коммутатор 5 (полосовые фильтры и детектор) на осциллограф 7. Синхронизатор 6 анализатора спектра на основе пространственного фильтра синхронизирует работу осциллографа 7 и коммутатора 5. Питание ДАС осуществляется от блока питания 8 (БТ-2) напряжением $-6В$ и $\pm 12В$. Генератор 9 сигналов высокой частоты Г4-106 при подключении к многоканальному преобразователю частоты 3 заменяет в нем местный гетеродин и формирует в акустическом процессоре 4 сигналы не на суммарной, а на разностной частоте.

6.2. Требования безопасности

В лабораторной работе исследуются характеристики электрических цепей и акустических устройств, поэтому при работе на установках следует руководствоваться ГОСТ 12.3.019-80 «Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности».

Запрещается:

- приступать к выполнению лабораторной работы без инструктажа по вопросам безопасности и разрешения преподавателя;
- включать силовые рубильники;
- оставлять без наблюдения включенную установку.

6.3. Порядок выполнения работы

Перед включением лабораторной установки ознакомится с требованиями безопасности, методикой исследований и лабораторной установкой.

Задание 1. Определение диапазона входных частот АС и числа выходов акустического процессора.

Подать на вход АС (вход линии задержки) непрерывный сигнал частотой 3,0 МГц, амплитудой 0,5В. На осциллографе наблюдается спектр выборки этого сигнала, который необходимо зарисовать и определить по количеству составляющих спектра число выходов акустического процессора. Перестраивая частоту генератора Г4-102 влево и вправо от выбранного значения до пропадания выходного сигнала АС, определить диапазон входных частот АС.

Задание 2. Определение полосы анализа анализатора спектра.

Определить частоты f_{\min} и f_{\max} сигнала, подающегося на вход линии задержки, при этом необходимо учесть то, что средняя частота равна 3,0 МГц. Для этого следует изменять частоту генератора Г4-102, наблюдая за соответствующим сигналом на экране осциллографа. Записать значение f_{\min} и f_{\max} при уровне сигнала на экране осцил-

лографа, равном 0,7 от максимального значения. Полоса анализа равна $\Delta f_1 = |f_{\min} - f_{\max}|$.

Задание 3. Определение аппаратной функции и разрешающей способности анализатора спектра.

Подать на вход АС (вход линии задержки) непрерывный сигнал частотой 3,0 МГц, амплитудой 1В. Перестраивая частоту генератора Г4-102 влево и вправо от выбранного значения в диапазоне входных частот, записать значения выходного сигнала АС с центрального выхода аналогового процессора. Зарисовать полученную аппаратную функцию АС. Определить разрешающую способность анализатора спектра при уровне сигнала на экране осциллографа, равном 0,7 от максимального значения, т. е. определить f_1 и f_2 . Разрешающую способность определить как $\delta f = |f_1 - f_2|$.

Задание 4. Проверка отклика АС на суммарной и разностной частотах в акустическом процессоре.

Подать на вход АС непрерывный сигнал частотой, не равной 3,0 МГц в полосе анализа. На осциллографе наблюдается спектр выборки этого сигнала, который необходимо зарисовать. Отключить местный гетеродин от многоканального преобразователя частоты (генератор Г4-102 от входа «Гет») и подать непрерывный сигнал частотой 7,3 МГц, амплитудой 1В с генератора Г4-106 на вход «Гет МПЧ». На осциллографе наблюдается спектр того же сигнала, который необходимо зарисовать. Объясните полученный результат.

Задание 5. Рассчитать теоретическую разрешающую способность АС.

Расчет произвести при следующих значениях величин в многоотводной линии задержки, имеющей топологию, показанную на рис. 4.1: скорость ПАВ – $v=3,24$ мм/мкс; $d=3\lambda$; число отводов – 22. Параметры акустического процессора: скорость ПАВ – $v'=3,41$ мм/мкс; $f'=4,5$ МГц; $d'=1,27$ мм.

Сравнить полученные результаты с экспериментальными. Если есть расхождения – объяснить.

Содержание отчета

В отчете должны быть представлены методики измерений, схемы измерительных установок, результаты измерений и расчетов, выполненных по заданиям 1...5.

- результаты измерений, выполненных по заданиям 1...4;
- расчетные соотношения, используемые при вычислениях и сами расчеты;
- осциллограммы сигналов с выходов анализатора спектра на основе пространственного фильтра;

- предполагаемая топологическая схема аналогового процессора;
- выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы АС на основе пространственных фильтров. Области их применения.
2. Опишите методы измерения параметров АС.
3. Чем определяется разрешение АС.
4. В чем преимущества данных устройств перед другими АС.
5. Объясните, как взаимосвязаны параметры ЛЗ и аналогового процессора.

Библиографический список

1. Проблемы антенной техники /Под ред. *Л. Д. Бахраха, Д. И. Воскресенского*. М.: Радио и связь, 1989. 386 с.
2. *Воскресенский Д. И., Гринев А. Ю., Воронин Е. Н.* Радиооптические антенные решетки. М.: Радио и связь, 1986. 240 с.
3. *Речицкий В. И.* Акустоэлектронные радиокомпоненты. М.: Радио и связь, 1987. 192 с.
4. *Морган Д.* Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1990. 416 с.
5. *Кайно Г.* Акустические волны: Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов: Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 656 с.
6. Акустоэлектронные устройства обработки гидроакустических сигналов / *В. И. Рогачев, П. Н. Петров, В. С. Кравец, С. В. Кулаков*. СПб.: Судостроение, 1993. 184 с.
7. *Петров П. Н., Сенин А. В.* Пространственно-временная обработка сигналов акусто-электронными устройствами с масштабными переизлучающими решетками // Информационно-управляющие системы. № 3. 2006. С. 5–11.
8. *Петров П. Н., Воронина В. М., Рожков А. В.* Устройства МПР для обработки сигналов в спектральной области // VI международная научная конференция «Волновая электроника и ее применение в информационных и телекоммуникационных системах». СПб., 2003.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. АКУСТОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ	6
2. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ УСТРОЙСТВАМИ МПР	11
3. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ЛИНЕЙНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК	14
4. УСТРОЙСТВА МПР ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ	23
5. Лабораторная работа №3. ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТОЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ПРОСТРАНСТВЕН- НОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ	29
5.1. Описание лабораторной установки	29
5.2. Требования безопасности	30
5.3. Порядок выполнения работы	30
6. Лабораторная работа №4. ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ФИЛЬТРА	34
6.1. Описание лабораторной установки	34
6.2. Требования безопасности	35
6.3. Порядок выполнения работы	35
Библиографический список	37

