

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
**А В Т О М Е Т Р И Я**

УДК 621.391 : 535.241.13 : 534

М. Г. ВЫСОЦКИЙ, В. П. КАЛСИК, С. А. РОГОВ  
(Ленинград)

**ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ  
АКУСТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ  
С ВРЕМЕННЫМ ИНТЕГРИРОВАНИЕМ  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК**

Перспективность применения акустооптических (АО) систем для обработки сигналов антенных решеток (АР) связана с высоким быстродействием таких систем возможностью осуществления параллельного обзора пространства и одновременного анализа большого числа сигналов. Однако применяемые для этой цели АО-системы с пространственным интегрированием в ряде случаев не обеспечивают требуемого разрешения по частоте, ограничиваемого временем распространения сигналов в звукопроводах АО-модулятора. Указанное ограничение отсутствует у систем с временным интегрированием, одноканальные реализации которых хорошо известны [1, 2]. В настоящей публикации приведены результаты теоретического и экспериментального исследований многоканальных схем с временным интегрированием, предназначенных для обработки сигналов линейных и кольцевых АР.

Рассмотрим схему когерентного коррелятора с временным интегрированием, в котором один из одноканальных АО-модуляторов (АОМ<sub>2</sub>) заменен на многоканальный (рис. 1). На  $N$  входов этого модулятора подаются сигналы от элементов линейной АР:

$$\tilde{s}_n(t) = s(t - n\tau) \exp[j\Omega(t - n\tau)],$$

где  $n$  — номер канала;  $t$  — время;  $\Omega$  — круговая частота;  $\tau$  — временная задержка, зависящая от направления на источник сигнала. Коэффициент пропускания АОМ<sub>2</sub> для первого порядка дифракции можно представить в виде [3]

$$T_2(x, y) = \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} \tilde{s}_n(t - x/v) P_W(y - nl),$$

где

$$P_W(y) = \begin{cases} 1 & \text{при } |y| \leq \frac{W}{2}; \\ 0 & \text{при } |y| > \frac{W}{2}; \end{cases}$$

$x, y$  — ортогональные координаты;  $W$  — ширина каналов модулятора;  $l$  — шаг каналов;  $v$  — скорость распространения ультразвука. Пренебрегая временными задержками в комплексной огибающей сигналов, запишем коэффициент пропускания следующим образом:

$$T_2(x, y) = s(t - x/v) \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} \exp(-j\Omega n\tau) P_W(y - nl),$$

где сигнал  $\tilde{s}(t - x/v)$  соответствует  $n = 0$ .

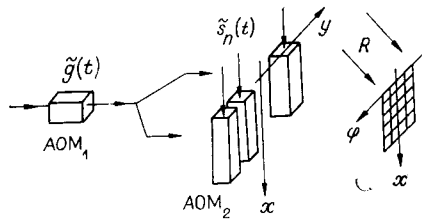


Рис. 1

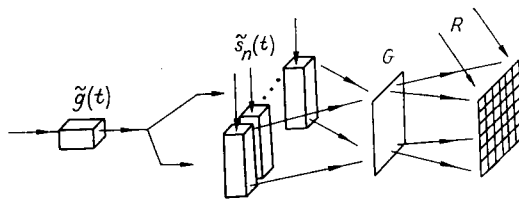


Рис. 2

На точечный модулятор АОМ<sub>1</sub> подается сигнал  $\tilde{g}(t)$ . Очевидно, что коэффициент пропускания АОМ<sub>1</sub> в  $-1$ -м порядке дифракции пропорционален величине  $\tilde{g}^*(t)$ . После прохождения через оба модулятора световое поле с помощью астигматической системы линз переносится в плоскость фотодетектора. При этом вдоль координаты  $x$  формируется изображение светового поля, а вдоль ортогональной координаты  $\varphi$  — его фурье-образ. Выходной сигнал фотодетектора образуется в результате сложения этого поля с опорным пучком и временного интегрирования суммарной интенсивности света. Полученный выходной сигнал имеет вид

$$Z(x, \varphi) = \int_0^T (|R|^2 + |\tilde{g}^*(t) s(t - x/v) \Phi(\varphi)|^2 + 2\text{Re}[R\tilde{g}^*(t) s(t - x/v) \Phi(\varphi)]) dt, \quad (1)$$

где 
$$\Phi(\varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} \exp(-j\Omega n\tau) P_W(y - nl) \exp(-j\varphi y) dy;$$

$R$  — амплитуда опорного сигнала;  $T$  — время накопления зарядов на фотодетекторе. Выражение (1) отличается от аналогичного выражения для одноканальной системы [2] наличием распределения  $\Phi(\varphi)$ , соответствующего диаграмме направленности АР с максимумом, положение которого определяется угловой координатой источника сигнала. С помощью известных методов последетекторной обработки из сигнала (1) на выходе системы формируется двумерное распределение, по одной координате соответствующее функции корреляции, а по другой — диаграмме направленности АР. Устройства с выходными сигналами такого типа находят применение при решении ряда радиолокационных задач.

Как известно, на основе коррелятора с временным интегрированием можно осуществлять спектральный анализ с высоким разрешением [2]. Аналогичным образом реализуется спектральный анализ и в рассматриваемой многоканальной системе. Для этого сигналы с элементами АР перед подачей на АОМ<sub>2</sub> следует умножить на сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ-сигналы) вида  $v(t) = \cos(\omega_0 t + at^2/2)$  и выделить суммарную частоту. Такой же ЛЧМ-сигнал подается на АОМ<sub>1</sub>. Нетрудно показать, что получаемое на выходе фотодетектора распределение напряжения содержит составляющую, описываемую выражением

$$Z(x, \varphi) = \text{Re} \left[ R\Phi(\varphi) \exp(jax^2/2v^2 - j\omega_0 x/v) \int_0^T s(t - x/v) \exp(-jact/v) dt \right], \quad (2)$$

которое по координате  $\varphi$  соответствует диаграмме направленности АР, а по координате  $x$  — спектру сигнала. Таким образом, рассматриваемая система осуществляет параллельный обзор пространства в координатах угол — частота. При этом разрешение по углу получается таким же, как в АО-системе с пространственным интегрированием, а разрешение по частоте определяется временем интегрирования на фотодетекторе и может достигать единиц герц.

Принцип временного интегрирования также реализуется в системе обработки сигналов кольцевой АР (рис. 2). В этой системе голографический фильтр ( $G$ ), как и в аналогичной схеме с пространственным

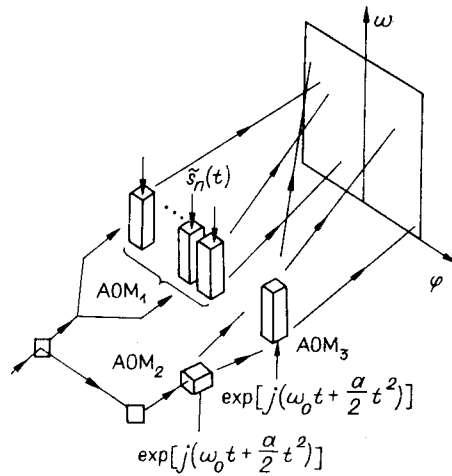


Рис. 3

ройств. Независимость обработки сигналов по пространственной координате и во времени, являющаяся достаточно хорошим приближением во многих случаях обработки сигналов АР, позволяет использовать при расчетах таких систем известные соотношения для одноканальных устройств с временным интегрированием. В качестве примера приведем систему обработки сигналов линейной АР (рис. 3), в которой сигнальный пучок образуется в плоскости фотодетектора после однократной дифракции света на модуляторе АОМ<sub>1</sub> и не требуется смешивания сигналов АР с ЛЧМ-сигналами. Опорный сигнал формируется во втором оптическом тракте с помощью модуляторов АОМ<sub>2</sub> и АОМ<sub>3</sub>. Световое поле в плоскости фотодетектора представляет собой сумму сигнального и опорного пучков:

$$A(x, \varphi, t) = \tilde{s}(t - x/v)\Phi(\varphi) + \exp(jaxt/v),$$

где обозначения имеют тот же смысл, что и в формулах (1) и (2). Сигнал на выходе фотодетектора получается в результате интегрирования во времени интенсивности этого поля. Полезная составляющая сигнала имеет вид, аналогичный выражению (2), и соответствует двумерному распределению спектр — угловая координата источника сигнала.

Экспериментальная проверка возможности реализации рассмотренных устройств проводилась на макете многоканальной системы с временным интегрированием, аналогичном представленному на рис. 1. Макет собран из стандартных оптико-механических деталей и радиоприборов. В качестве устройств ввода сигнала использовались два АО-модулятора на молибдате свинца. Число каналов многоканального модулятора равнялось 5. Для имитации сигналов АР применялся генератор звуковой частоты, который модулировал по амплитуде опорный ЛЧМ-сигнал. Имитация изменения угловой координаты производилась регулировкой фаз сигналов, подаваемых на входы многоканального АО-модулятора. Выходной оптический сигнал наблюдался через микроскоп или с помощью телекамеры.

В ходе исследования зарегистрировано, что при изменении частоты звукового генератора происходит смещение максимума светового распределения в направлении, параллельном осям каналов, а при имитации изменения угловой координаты источника сигнала максимум перемещается в перпендикулярном направлении. Это подтверждает правильность приведенного теоретического рассмотрения.

С целью выделения полезной составляющей сигнала и устранения постоянного оптического фона, характерного для АО-систем с временным интегрированием, производилась последдетекторная обработка выходных изображений. С помощью полосового фильтра осуществлена фильтрация

интегрированием [4], служит для выравнивания фазовых задержек на элементах кольцевой антенны. При узкой полосе анализируемых сигналов достаточно одного голографического фильтра [5]. В выходной плоскости системы вдоль направления, перпендикулярного осям каналов модулятора, формируется диаграмма направленности АР, а вдоль ортогональной координаты осуществляется спектральный или корреляционный анализ с временным интегрированием.

Проанализированные выше схемы могут быть дополнены другими вариантами многоканальных схем с временным интегрированием, представляющих собой аналоги соответствующих одноканальных устройств.

низкочастотных составляющих видеосигнала. На рис. 4 приведены полученные с экрана осциллографа огибающие распределений светового поля вдоль угловой и частотной координат. Вид распределения на рис. 4, *a* соответствует диаграмме направленности 5-элементной АР. По положению главного лепестка распределения в зоне обзора  $Z$  может быть определена угловая координата источника излучения. Положение максимума распределения по частотной оси (рис. 4, *b*) однозначно связано с частотой сигнала. В описанном эксперименте центральная частота ЛЧМ-сигнала равнялась 130 МГц, девиация — 20 МГц, частота звукового генератора — 250 Гц, частотное разрешение — 50 Гц.

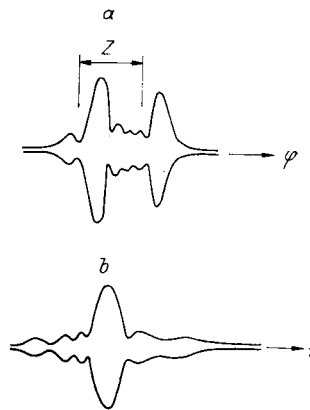


Рис. 4

Проведенное рассмотрение показывает перспективность применения многоканальных АО-схем с временным интегрированием для обработки сигналов АР. Особый интерес представляет использование таких схем в случаях, когда при анализе сигналов требуется высокое частотное разрешение, а также при работе с радиосигналами большой длительности.

В заключение авторы хотели бы отметить, что идея выполнения настоящего исследования возникла в ходе обсуждения совместных работ с Г. Е. Паппе, которой авторы выражают благодарность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родес У. Т. Акустооптическая обработка сигналов. Свертка и корреляция // ТИИЭР.— 1981.— 89, № 1.
2. Тернин Т. М. Спектральный анализ сигналов оптическими методами // Там же.
3. Ламберт, Арм, Аймет. Электронно-оптическая обработка сигналов в фазированных антенных решетках // Зарубеж. радиоэлектрон.— 1968.— № 8.
4. Левис. Оптический метод обработки сигналов для направленных антенн с круговыми решетками // Зарубеж. радиоэлектрон.— 1970.— № 11.
5. Бондарцев С. Ю., Водоватов И. А., Высоцкий М. Г., Рогов С. А. Исследование схемы оптической обработки сигналов кольцевой антенной решетки со спектральным анализом // Труды ЛПИ.— 1982.— № 387.

*Поступила в редакцию 17 апреля 1990 г.*

УДК 681.327.68

**Б. Д. АБДРИСАЕВ, А. А. КУТАНОВ, И. А. СНИМЩИКОВ**  
(Фрунзе)

#### **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА И СТАБИЛИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ФОТОТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОГО ДИСКОВОГО НОСИТЕЛЯ ПРИ ЛОКАЛЬНОЙ ЗАПИСИ МИКРОГОЛОГРАММ**

В дисковых голографических запоминающих устройствах (ГЗУ) регистрация голограмм проводится при вращении носителя с постоянной угловой скоростью [1—3]. Такие системы наиболее просто реализуемы и отработаны в конструкциях магнитных ЗУ и звукозаписывающей аппаратуры. Однако при реализации дискового ГЗУ на фототермопластических носителях (ФТПН) данный принцип неприемлем. Это связано с многоэтапностью ФТП-процесса записи, включающего зарядку, экспонирование и нагрев носителя, а также изменением параметров регистрации микроголограмм в значительных пределах при изменении линейной скорости вращения.