

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Всесоюз. конф. «Анализ и представление информации». — Иванов, 1989. — Ч. III.
4. А. с. 1280386 СССР. Цифровой коррелятор/А. Н. Андреевагин.— Оpubл. 30.12.86, Бюл. № 48.
  5. Козлов А. И., Кляус Х. И., Черепов Е. И. и др. Устройства свертки сигналов на приборах с зарядовой связью.— Новосибирск, 1989.— (Препр./СО АН СССР. ИФП; № 43).
  6. Положительное решение на заявку № 4445471/24-24. Устройство для корреляционной обработки/П. А. Бакут, И. Э. Ворновицкий, А. И. Козлов и др.— Принято 28.12.89.
  7. А. с. 913563 СССР. Программируемый трансверсальный фильтр/Х. И. Кляус, И. И. Ли, В. В. Филиппова, Е. И. Черепов.— Оpubл. 15.03.82, Бюл. № 10.
  8. Козлов А. И., Кляус Х. И., Черепов Е. И. 128-точечный аналоговый свертыватель на приборах с зарядовой связью // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Опτικο-электронные измерительные устройства и системы» (окт. 1989 г.).— Томск.: Радио и связь, 1989.— Ч. 1.
  9. Приборы с зарядовой связью/Под ред. М. Хоувза, Д. Моргана; Пер. с англ.— М.: Энергоиздат, 1981.
  10. Gradl D. A. CCD sampling of high-frequency broad-band signals // IEEE J. of Sol.-St. Circ.— 1982.— SC-17, N 3.— P. 619.

*Поступило в редакцию 2 августа 1990 г.*

УДК 621.391 : 535.241.13 : 534

М. Г. ВЫСОЦКИЙ, В. П. КААСИК, С. А. РОГОВ

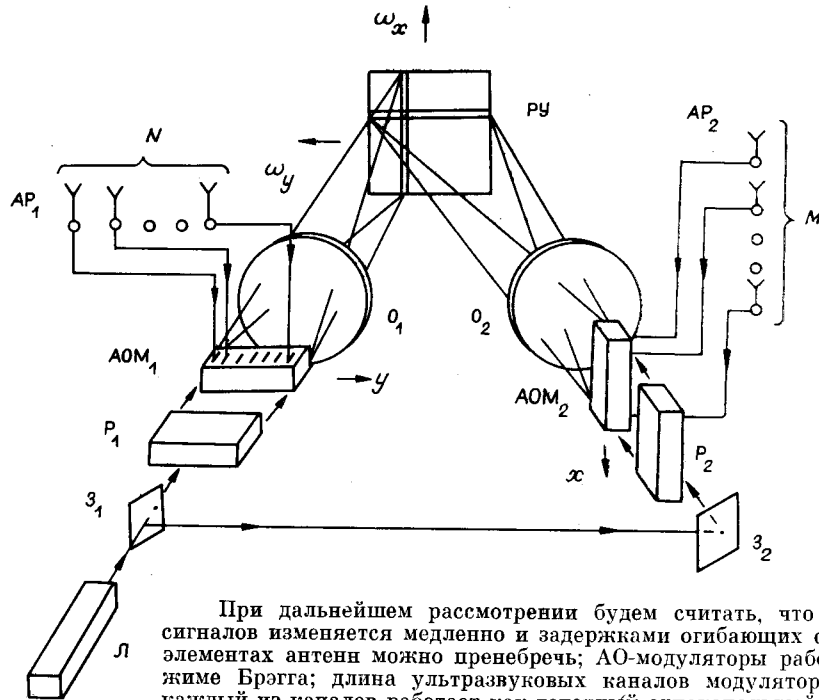
(Ленинград)

### МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АКУСТООПТИЧЕСКИЙ КОРРЕЛЯТОР С ИНТЕГРИРОВАНИЕМ ВО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Создание и применение акустооптических (АО) систем для обработки сигналов антенных решеток (АР) — одно из перспективных направлений развития современной техники [1]. К настоящему времени предложено и исследовано значительное число таких устройств, вместе с тем недостаточное внимание уделялось многоканальным системам с интегрированием во времени [2, 3]. В данной работе рассматривается многоканальный коррелятор с интегрированием во времени, предназначенный для обработки сигналов от двух ортогональных линейных АР. Система обработки позволяет производить параллельный обзор пространства, определяя в реальном масштабе времени две угловые координаты источников сигналов.

Схема коррелятора (рисунок) выполнена в виде интерферометра и состоит из двух оптических трактов, каждый из которых включает в себя расширитель лазерного пучка, многоканальный АО-модулятор, астигматическую систему объективов. Многоканальные модуляторы ориентированы перпендикулярно друг другу в соответствии с ортогональным расположением антенн. В выходной плоскости находится регистрирующее устройство, в качестве которого используется матричный ПЗС-фотоприемник.

Система работает следующим образом. Радиосигналы с элементов антенн  $AP_1$  и  $AP_2$  поступают на входы модуляторов  $AOM_1$  и  $AOM_2$ . Когерентный луч от лазера (Л), разделенный на два пучка полупрозрачным зеркалом  $Z_1$ , расширяется двумя расширителями  $P_1$  и  $P_2$ , которые ориентированы перпендикулярно осям каналов соответствующих модуляторов. Астигматические системы  $O_1$  и  $O_2$ , установленные за модуляторами, преобразуют распределения света первого дифракционного порядка. При этом в плоскости фотоприемника вдоль координат, перпендикулярных осям каналов модуляторов, формируются фурье-образы распределений света, а вдоль ортогональных координат световые пучки расширяются до размеров, равных апертуре ПЗС-матрицы. Регистрируемая фотоприемником РУ интерференционная картина содержит информацию о двух угловых координатах источников сигналов, которые могут быть определены в результате интегрирования во времени и последдетекторной обработки сигналов с выхода ПЗС-матрицы.



При дальнейшем рассмотрении будем считать, что амплитуда сигналов изменяется медленно и задержками огибающих сигналов на элементах антенн можно пренебречь; АО-модуляторы работают в режиме Брэгга; длина ультразвуковых каналов модуляторов мала, и каждый из каналов работает как точечный одноканальный модулятор. В этом случае при наличии одиночного сигнала распределения световых полей за модуляторами описываются следующими выражениями:

$$E_1(y, t) \sim s(t) \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} \exp(-j\Omega_0 n\tau_1) P_W(y - nl);$$

$$E_2(x, t) \sim s(t) \sum_{m=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} \exp(-j\Omega_0 m\tau_2) P_W(x - ml),$$

где  $s(t)$  — экспоненциально представленный сигнал, поступающий на центральные каналы модуляторов (с номерами  $n = m = 0$ );  $\Omega_0$  — несущая круговая частота;  $\Omega_0\tau_1$  и  $\Omega_0\tau_2$  — фазовые задержки между элементами первой и второй АР соответственно, связанные с угловыми координатами источника сигнала;  $N, M$  — число элементов в первой и второй АР, равное числу задействованных каналов в первом и втором модуляторах;  $x, y$  — ортогональные координаты в плоскостях модуляторов;  $t$  — время;  $P_W$  — функция зрачка.

В результате преобразования оптических полей астигматическими системами  $O_1$  и  $O_2$  распределения света в плоскости фотоприемника будут иметь вид

$$E_{\Phi 1}(\omega_y, t) \sim s(t) \Phi_1(\omega_y);$$

$$E_{\Phi 2}(\omega_x, t) \sim s(t) \Phi_2(\omega_x) \exp(jC\omega_y),$$

где  $\omega_x, \omega_y$  — ортогональные координаты в плоскости фотоприемника;  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  — распределения, соответствующие диаграммам направленности антенных решеток:

$$\Phi_1(\omega_y) = W \frac{\sin[(W/2)\omega_y]}{(W/2)\omega_y} \frac{\sin[(N/2)(\omega_y l + \Omega_0\tau_1)]}{\sin[(1/2)(\omega_y l + \Omega_0\tau_1)]},$$

$$\Phi_2(\omega_x) = W \frac{\sin[(W/2)\omega_x]}{(W/2)\omega_x} \frac{\sin[(M/2)(\omega_x l + \Omega_0\tau_2)]}{\sin[(1/2)(\omega_x l + \Omega_0\tau_2)]}^*$$

$l$  — шаг каналов модуляторов;  $W$  — ширина каналов модуляторов (считаем, что параметры модуляторов одинаковы);  $\exp(jC\omega_y)$  — фазовый множитель, соответствующий наклону оптической оси второго тракта к плоскости фотоприемника (ось первого тракта перпендикулярна плоскости фотоприемника);  $C$  — постоянная, зависящая от угла наклона оси второго оптического тракта. Расположение максимумов  $\Phi_1(\omega_y)$  и  $\Phi_2(\omega_x)$  связано с координатами источника сигнала [4].

В результате сложения двух оптических сигналов в плоскости фотоприемника

и последующего интегрирования во времени получаем выходной сигнал, равный

$$U(\omega_x, \omega_y) \sim \int_0^T |E_{\Phi_1} + E_{\Phi_2}|^2 dt = \\ = \{ |\Phi_1(\omega_y)|^2 + |\Phi_2(\omega_x)|^2 + 2 \operatorname{Re} [\Phi_1(\omega_y) \Phi_2^*(\omega_x) \exp(jC\omega_y)] \} \int_0^T |s(t)|^2 dt,$$

где  $T$  — время накопления сигнала. За счет вторичной обработки можно выделить последний член суммы

$$U_3(\omega_x, \omega_y) \sim 2 \operatorname{Re} [\Phi_1(\omega_y) \Phi_2^*(\omega_x) \exp(jC\omega_y)] \int_0^T |s(t)|^2 dt.$$

Положение максимума двумерного распределения  $U_3(\omega_x, \omega_y)$  соответствует положению источника сигнала в зоне обзора, две угловые координаты которого могут быть определены.

При наличии нескольких источников сигналов в выходной плоскости имеется несколько максимумов распределения  $U_3(\omega_x, \omega_y)$ , что позволяет, используя соответствующую вычислительную технику, в реальном масштабе времени определять координаты этих источников.

Следует отметить, что при этом появляются дополнительные, ложные максимумы, находящиеся на пересечении диаграмм направленности двух антенн от разных источников сигналов. Однако величина этих максимумов, пропорциональная кросс-корреляции сигналов, существенно меньше величины основных максимумов, пропорциональных автокорреляциям сигналов.

Нами проводилось теоретическое исследование таких параметров устройства, как динамический диапазон и отношение сигнал/шум. Было показано, что динамический диапазон данной схемы выше, чем у известных схем с интегрированием во времени из-за локализации на поверхности фотоприемника максимумов, соответствующих разным сигналам. Увеличивается также и отношение сигнал/шум по сравнению с одноканальными схемами, что связано с когерентным сложением сигналов от всех каналов модуляторов при некогерентном сложении шумов.

Таким образом, рассмотренная система может быть использована для обработки сигналов ортогональных антенных решеток, позволяя осуществлять в реальном масштабе времени обзор пространства по двум координатам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воскресенский Д. И., Гринев А. Ю., Воронин Е. Н. Радиооптические антенные решетки. — М.: Радио и связь, 1986.
2. Катков Б. Г., Синегубов Н. Н. Отношение сигнал/шум на выходе акустооптоэлектронного корреляционного процессора обработки сигналов многоэлементных антенных решеток // Радиоэлектроника. — 1990. — № 1.
3. Высоцкий М. Г., Каасик В. П., Рогов С. А. Многоэлементные акустооптоэлектронные устройства с пространственно-временным интегрированием для обработки сигналов антенных решеток // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Опτικο-электронные измерительные устройства и системы». — Томск: Радио и связь, 1989. — Ч. II.
4. Ламберт, Арм, Аймет. Электронно-оптическая обработка сигналов в фазированных антенных решетках // Зарубеж. радиоэлектрон. — 1968. — № 8.

Поступило в редакцию 17 августа 1990 г.

УДК 534.282

В. К. СЕМЕНЫЧЕВ, А. Н. ТЫРСИН

(Куйбышев)

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ

При анализе дефектов линейных и линеаризуемых динамических, в частности механических, систем широко используют испытательный гармонический сигнал [1—3]. Измеряя отношение амплитуд и фазовый сдвиг сигналов отклика и воздействия в анализируемом диапазоне частот, оценивают амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную (ФЧХ) характеристики систем.

Определение параметров сигналов известными аппаратными и программными средствами недостаточно эффективно по точности и быстродействию [1—5]. Так,