

[8] Л и х а р е в К.К. Введение в динамику джоуэфсоновских переходов, М.: Наука, 1985. 320 с.

Физический институт
им. П.И. Лебедева
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
12 марта 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 11

12 июня 1988 г.

ОПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ТИПА С КАЧАЮЩИМСЯ ЗЕРКАЛОМ

Н.А. Е с е п к и н а, С.Ю. Б о н д а р ц е в,
А.П. Л а в р о в, К.В. М о р о з о в,
А.В. Н и к а н д р о в, М.Р. Ш у б и ч

Для спектрального анализа сигналов с высоким частотным разрешением в оптике предложено большое число методов и устройств, причем в последнее время большое внимание исследователей привлекают акустооптические анализаторы спектра с временным интегрированием [1, 2].

В данной статье рассматривается оптический анализатор спектра (ОАС) с временным интегрированием интерференционного типа, в котором для создания сетки опорных временных частот используется не частный сдвиг дифрагированного на акустооптическом модуляторе светового пучка, а линейный фазовый сдвиг, создаваемый сканирующим дефлектором, в качестве которого используется подвижное зеркало [3]. Очевидными преимуществами рассматриваемого ОАС являются компактность и простота оптической схемы и управляющих электронных блоков.

Структурная схема рассматриваемого ОАС представлена на рис. 1. В этой схеме коллимированный световой пучок полупроводникового лазера (ПЛ), формируемый с помощью формирователя (Ф), делится на два пучка делителем (Д). Один из этих пучков используется для контроля интенсивности излучения ПЛ (линза L_1 и фотодиод ФД), а второй — для реализации собственно спектроанализатора. Этот пучок отражается от подвижного (качающегося вокруг оси O) зеркала дефлектора (ПЗ) и попадает на жесткий интерферометр (И), состоящий из делительного кубика, прямоугольной призмы и неподвижного зеркала. Линза L_2 формирует в выходной плоскости (ВП) спектроанализатора изображение апертуры подвижного зеркала с коэффициентом увеличения β .

Пусть дефлектор управляется таким образом, что $\sin \theta = \alpha t$ в течение некоторого интервала времени $[0, T]$. Здесь θ — угол отражения от подвижного зеркала по отношению к падающему пучку.

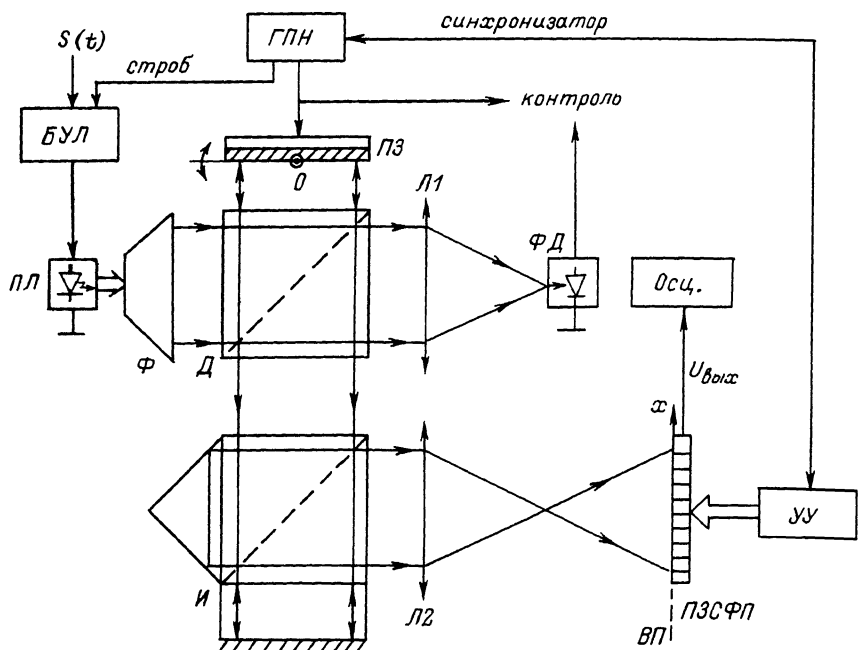


Рис. 1.

Тогда в плоскости ВП, где интерферируют два пучка, прошедшие по двум плечам интерферометра И, формируется интерференционная картина в виде

$$I(x, t) \cong I_0(t) + I_0(t) \cos(2\alpha kxt + \varphi).$$

Здесь x - координата в плоскости ВП, k - волновое число, φ - относительный фазовый сдвиг в двух плечах интерферометра при $\theta = 0$, $I_0(t)$ - интенсивность падающего на дефлектор пучка, $A = 1$. Таким образом, в выходной плоскости возникает модуляция интенсивности света с временной частотой, зависящей от координаты x светового пучка. Физически она связана с возникновением при наклоне плоских пучков изменяющегося во времени фазового сдвига.

При модуляции интенсивности излучения ПЛ сигналом $S(t)$ установленный в ВП линейный многоэлементный интегрирующий ПЗС фотоприемник (ПЗСФП) за промежуток T зарегистрирует распределение

$$u(x) \cong u_0 + \int_0^T S(t) \cdot \cos(2\alpha ktx + \varphi) dt = u_0 + u_S(x).$$

При $\varphi = 0$ получаем косинус преобразование сигнала $S(t)$, при $\varphi = \pi/2$ - синус преобразование. Зарегистрированное распределение выводится из ПЗСФП с помощью устройства управления (УУ). Блок управления лазером (БУЛ) производит модуляцию интенсивности излучения ПЛ анализируемым сигналом $S(t)$ и стробирует излучение на время обратного хода ПЗ дефлектора. Очевидно, что диапазон анализируемых частот рассматриваемого ОАС составляет $[0, f_{\max}]$, где

$$f_{\max} = \frac{\sin \theta_{\max} \cdot D \cdot k}{2\pi \cdot T} = \frac{\alpha \cdot D \cdot k}{2\pi},$$

а D - апертура светового пучка. При этом разрешение по частоте составляет $\delta f = 1/T$. В данном ОАС для времени интегрирования T в десятки миллисекунд можно реализовать частотное разрешение δf в десятки герц, при этом диапазон анализируемых частот определяется угловой скоростью вращения α ПЗ.

В экспериментально исследованном макете ОАС (см. рис. 1) использовался выпускаемый промышленностью импульсный полупроводниковый лазер со следующими параметрами: длина волны излучения $\lambda = 681$ нм, ширина линии излучения $\Delta\lambda = 0.1$ нм, средняя мощность в импульсе $P \approx 10$ мВт, длительность импульсов тока накачки 100 нс, скважность $Q = 100$. При выравнивании оптических путей светового пучка в плечах интерферометра длина когерентности излучения использованного лазера была достаточна для работы ОАС. В экспериментах осуществлялась линейаризация амплитудной модуляционной характеристики ПЛ с помощью блока управления БУЛ, формировавшего импульсы тока накачки и имевшего регулируемую нелинейность, компенсирующую нелинейность ватт-амперной характеристики ПЛ. Апертура светового пучка D была равна 7 мм, коэффициент увеличения $\beta = 3$.

В экспериментах использовался промышленный пьезодефлектор типа ПД-1 с апертурой зеркала 15 мм и углом качания зеркала $[-5^\circ, +5^\circ]$, а также 500-элементный ПЗСФП типа ФПЗС-1Л. Управляющее напряжение на дефлектор подавалось от генератора пилообразного напряжения (ГПН). Время интегрирования ПЗСФП задавалось с помощью устройства управления и изменялось в пределах 50-100 мс.

Для выделения информативной составляющей $U_s(x)$ в выходном распределении $U(x)$ ПЗСФП нами производилась его аналоговая обработка, которая осуществлялась в самом ПЗСФП с помощью разработанного УУ [4] и заключалась в вычитании результатов двух последующих периодов интегрирования. При этом постоянные от периода к периоду составляющие выходного распределения компенсировались, а изменяющаяся информативная составляющая удваивалась.

На фотографиях рис. 2 представлены выходные сигналы ОАС. На рис. 2,а нижний луч представляет выходное распределение ПЗСФП без обработки при подаче на вход ОАС двух гармонических сигналов равной амплитуды с частотами $f_1 = 310$ Гц и $f_2 = 1220$ Гц

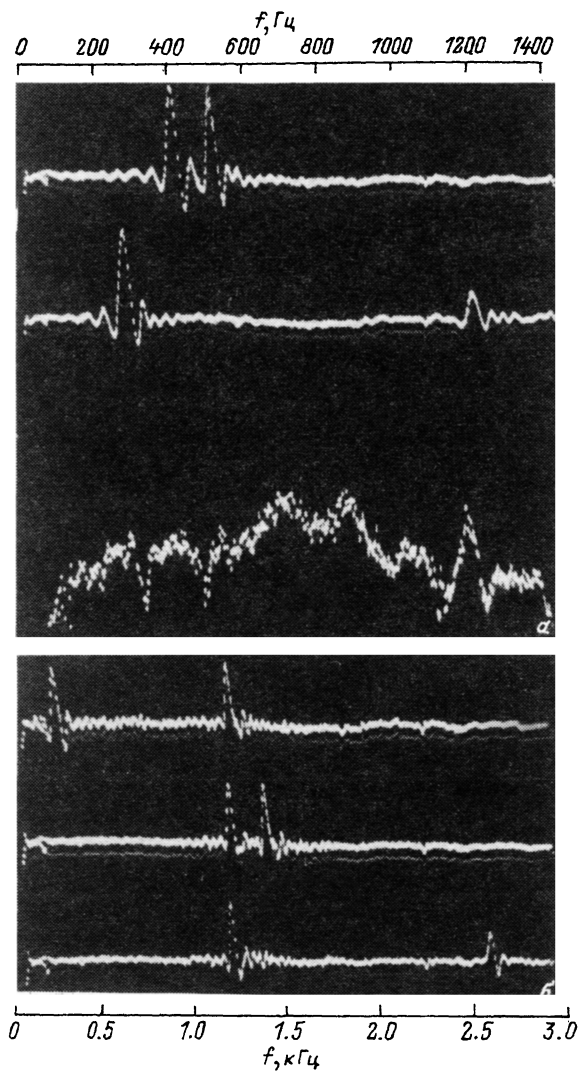


Рис. 2.

при угле качания ПЗ дефлектора $\theta_{max} = 2^\circ$. На среднем луче представлен этот же сигнал после обработки. Верхний луч (рис. 2,а) представляет выходной сигнал ОАС после обработки при подаче на его вход двух сигналов с частотами $f_3 = 440$ Гц и $f_4 = 540$ Гц. Обработка полученных осциллограмм показывает, что частотное разрешение составляет величину $\delta f = 18$ Гц (расчетное значение $\delta f = 17.5$ Гц), а диапазон анализируемых частот $\Delta f = 1250$ Гц.

На рис. 2,б представлены выходные сигналы ОАС после обработки при угле качания ПЗ дефлекторе $\theta_{max} = 4^\circ$ и при подаче на вход ОАС двух гармонических сигналов равной амплитуды с частотами: верхний луч - 310 и 1220 Гц; средний луч - 1220 и 1410 Гц; нижний луч - 1220 и 2600 Гц. Анализ полученных осциллограмм показывает, что диапазон анализируемых частот составляет $\Delta f = 2500$ Гц, а частотное разрешение меняется от 22 Гц в средней части до 24 Гц в верхней части диапазона анализируемых частот. Расширение отклика на гармонический входной сигнал, его ослабление и изменение формы в верхней части диапазона происходит вследствие влияния нелинейности закона изменения синуса угла поворота во времени и уменьшения видности интерференционных полос на краю апертуры светового пучка. Общее число разрешимых точек ОАС составляет в этом случае величину около 100.

Таким образом, проведенное экспериментальное исследование показало, что рассматриваемый анализатор спектра, отличаясь своей простотой, компактностью и малым энергопотреблением, может осуществлять при использовании современной промышленно выпускаемой элементной базы параллельный спектральный анализ с высоким частотным разрешением (десятки герц) и большим числом разрешимых точек (несколько сотен герц). При этом рассмотренный ОАС может быть использован как самостоятельно, так и в составе более сложных двумерных оптических процессоров.

Л и т е р а т у р а

- [1] Т е р п и н Т.М. Спектральный анализ сигналов оптическими методами. - ТИИЭР, 1981, т. 69, № 1, с. 92-108.
- [2] S h i n - C h u n Lin. - Appl. Optics, 1982, v. 21, N 18, p. 3227.
- [3] T u r p i n Т.М. US Patent № 4225938 от 30.04.80.
- [4] А р у т ю н о в В.А., Е с е п к и н а Н.А., К о т о в Б.А. и др. В кн.: Оптико-электронные методы обработки изображений, Л.: Наука, 1982, с. 147-165.

Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию
5 апреля 1988 г.