

УДК 629.735.33

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРА ДИНАМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

М. А. Ваганов,

ассистент, младший научный сотрудник

О. Д. Москалец,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассматривается измерение энергетических спектров оптических сигналов спектральным прибором нового типа. Разрешающей системой этого анализатора спектра является многоканальная селективная система, включающая в себя набор узкополосных оптических фильтров и группу оптических волокон, служащую линией передачи анализируемых сигналов. Дается теоретический анализ параллельного метода анализа спектра. Приводятся описание лабораторного макета параллельного анализатора спектра оптических сигналов и результаты экспериментальных измерений.

Ключевые слова — многоканальная селективная система, параллельный анализ спектра, комплексный спектр, оценка энергетического спектра, матричная аппаратная функция, оптический фильтр, оптическое волокно.

Введение

Анализ спектра (гармонического) относится к числу важнейших физических измерений. Разнообразие задач, решаемых спектроскопическими методами, приводит к необходимости создания широкой номенклатуры спектральных приборов. Параллельно развиваются как традиционные методы (благодаря внутреннему совершенствованию и оптимизации использования возможности спектральной аппаратуры), так и новые, находящие все более широкое применение.

Данная статья посвящена исследованию возможности внедрять методы параллельного анализа спектров, известных в радиодиапазоне, в теорию и практику оптической спектрометрии. Это потребовало разработки единого подхода, в рамках которого могут быть описаны спектральные приборы как радио-, так и оптического диапазонов. Единый подход разработан в рамках теории линейных систем и устанавливает связь между математическим описанием спектра и аппаратным, т. е. физическим спектром.

Выдающаяся роль спектральных измерений в физике и технике стимулирует дальнейшее совершенствование известных методов анализа спектра и разработку новых принципов построения спектральной аппаратуры.

Спектральные измерения в радио- и оптическом диапазонах

При выполнении спектральных измерений решается задача получения информации о временных изменениях, т. е. о динамике функций источников, или временных частотных спектрах колебаний $s(t)$, а не о пространственных характеристиках сигнала.

В радиодиапазоне в качестве анализируемых сигналов предполагаются колебательные явления (колебания электрического тока или напряжения), чьей моделью является функция $s(t)$. В оптическом диапазоне все сигналы — переносчики информации существуют исключительно в виде излучений. Следовательно, постановке вопроса спектральных измерений соответствует модель анализируемого оптического сигнала в форме однородной плоской усеченной волны (волнового пучка с плоским фронтом):

$$\hat{V}s(t) = F_{xy} \int_{-\infty}^{\infty} s(t') \delta\left(t - \frac{z}{c} - t'\right) dt = F_{xy} s\left(t - \frac{z}{c}\right), \quad (1)$$

где \hat{V} — линейный оператор перехода от колебательного процесса источника $s(t)$ к усеченной однородной плоской волне; F_{xy} — апертурная диафрагма, выполняющая пространственное усечение однородной плоской волны в плоскости, нор-

мальной ее распространению; $\delta(\cdot)$ — дельта-функция; z — расстояние, пройденное волной [1].

В основе действия спектральных приборов, выполняющих анализ спектра аналоговыми методами, лежит одно из следующих физических явлений: интерференция, преломление при наличии дисперсии, резонанс [2], а также дисперсия фазовой скорости в замедляющих системах [3]. Первые два явления используются для создания основного парка спектральных приборов оптического диапазона, тогда как явление резонанса пока применяется довольно редко. На основе этого явления работают перестраиваемые интерферометры Фабри — Перо, выполняющие последовательный анализ спектра оптического излучения [4]. Явление резонанса чаще всего используется для создания аналоговых анализаторов спектра радиодиапазона — последовательных и параллельных (одновременных) [5]. Использование дисперсии фазовой скорости в замедляющих системах, успешно применявшейся для создания спектральных приборов радиодиапазона [3], в оптическом диапазоне не отмечено.

Спектральный прибор, выполняющий параллельный анализ спектра оптических сигналов, действие которого основано на явлении резонанса, впервые предложен авторами настоящей статьи [6].

Анализ спектра в оптическом диапазоне характеризуется измерением энергетических спектров, причем аргументом спектральных функций является длина волны, исключение составляют фурье-спектрометры, где аргументами спектральных функций служат волновые числа. В радиодиапазоне измеряются как комплексные (или амплитудные) спектры, так и энергетические. Для радиодиапазона характерно представление результатов спектральных измерений как функций частоты. Причем основным исходным для радиоспектрометрии соотношением является преобразование Фурье

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-i\omega t} dt, \quad (2)$$

где $S(\omega)$ — комплексный спектр; $s(t)$ — анализируемый динамический сигнал, представленный в натуральном (временном) пространстве; ω — временная спектральная угловая частота.

Применение преобразования Фурье к последнему выражению цепи (1) дает выражение, которое пропорционально спектру колебаний источника:

$$\hat{F}\hat{V}s(t) = F_{xy} \int_{-\infty}^{\infty} s\left(t - \frac{z}{c}\right) e^{-i\omega t} dt = F_{xy} S(\omega) e^{-i\omega \frac{z}{c}}. \quad (3)$$

Важнейшей задачей теории спектральных измерений является установление связи между ма-

тематическим и физическим понятием спектра [7], т. е. связи вход-выход спектрального прибора.

Понятие математического спектра дается в рамках теории рядов и интегралов Фурье, где в качестве аргумента спектральной функции используется частота. Изложения этой теории с привлечением понятия длины волны, а не частоты, не существует. Поэтому дальнейшее изложение опирается на частотные представления спектров, а установление связи между математическим и физическим спектром дается с общих позиций теории линейных систем, причем разрешающая система спектрального прибора рассматривается как линейная система, входом которой является комплексный спектр $S(\omega)$, определенный соотношением (2).

В данной работе комплексные спектры рассматриваются как первичные, а энергетические — как вторичные, полученные в результате дальнейшей обработки комплексных спектров.

Все это подразумевает радиооптический подход к решению поставленной задачи и его дальнейшее развитие. Термином «радиооптика» характеризуется определенный подход к решению весьма широкого класса задач, объединяющий хорошо разработанный в радиотехнике аппарат преобразования сигналов и спектрального анализа с традиционными оптическими приложениями и, наоборот, позволяющий перенести известные в оптике схемы и принципы в другие частотные диапазоны, а также на случай волновых полей другой природы, например акустических [8].

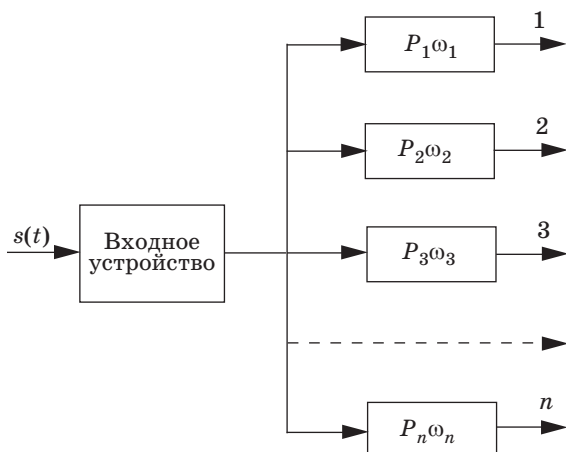
Методология радиооптического подхода применяется авторами для анализа действия параллельных анализаторов спектров.

Параллельный анализ спектра

В радиодиапазоне многоканальная селективная система является набором резонаторов с сосредоточенными параметрами. В оптическом диапазоне такая система образуется совокупностью резонаторов с распределенными параметрами.

Всякую распределенную систему можно рассматривать как сосредоточенную с достаточно большим числом степеней свободы. В отношении частотного спектра любая распределенная колебательная система эквивалентна бесконечному набору сосредоточенных колебательных систем с одной степенью свободы, каждая из которых имеет собственную частоту, совпадающую с одной из собственных частот распределенной системы [9]. Это позволяет описать в рамках единого подхода параллельный анализ спектра в радио- и оптическом диапазонах.

Структурная схема системы, выполняющей параллельный анализ спектра, показана на рис. 1.



■ *Рис. 1. Структурная схема системы, выполняющей параллельный анализ спектра*

Набор резонаторов является разрешающей системой спектрального прибора. При одновременном воздействии исследуемого сигнала на все резонаторы каждый из них будет откликаться на воздействие совокупности спектральных компонент, находящихся в пределах его полосы пропускания. По числу и расположению по оси частот возбужденных резонаторов можно судить о структуре исследуемого спектра.

По сравнению с последовательным анализом спектра, где измерение спектра производится с помощью одного узкополосного фильтра при последовательной перестройке анализатора по всему диапазону анализируемых частот, параллельный анализ имеет намного более высокую скорость анализа и может использоваться при анализе редко повторяющихся и одиночных импульсов.

Преимущества параллельного анализа стимулируют изыскания возможности переноса метода параллельного анализа из радиодиапазона в оптический диапазон. Такой подход следует называть радиооптическим.

Параллельный анализатор спектра как многомерная линейная система

Основной проблемой теории линейных систем является проблема передачи системой сигнала и в связи с этим определение и применение такой характеристики, которая бы наиболее просто и вместе с тем полно устанавливала связь между входом и выходом системы [10]. Под исчерпывающей характеристикой линейной системы в данной работе понимается аппаратная функция, которая является ядром линейного оператора, устанавливающего соотношения вход-выход линейной системы [11]:

$$y(\xi) = \hat{L}x(\xi) = \int_{\Xi} A(\xi, \xi') \cdot x(\xi') d\xi', \quad (4)$$

где $x(\xi)$ — вход линейной системы; $y(\xi)$ — выход линейной системы; \hat{L} — линейный оператор, описывающий преобразование входа $x(\xi)$ в выход $y(\xi)$; (ξ, ξ') — независимые переменные, которые могут быть пространственными, временными и частотными; $A(\xi, \xi')$ — аппаратная функция.

Математический смысл аппаратной функции может быть выражен в форме действия линейного оператора \hat{L} на δ -воздействие:

$$A(\xi, \xi') = \hat{L}\delta(\xi - \xi'). \quad (5)$$

Физически это означает, что аппаратная функция рассматривается как реакция линейной системы на соответствующее δ -воздействие.

Вопрос о действии линейного оператора на δ -функцию рассмотрен в работе [12], там же математически корректно установлена основная интегральная связь теории линейных систем (4).

В общем случае линейной системы в зависимости от определения ее входа и выхода аппаратная функция может иметь разный физический смысл [11]. В данной статье входом и выходом спектрального прибора является комплексный или энергетический спектр анализируемого сигнала, а его выходом — физический (аппаратурный) комплексный спектр $S_a(\omega, t)$, переменный во времени, либо энергетический спектр, зафиксированный за время обработки. Временная зависимость $S_a(\omega, t)$ определяется спецификой действия спектрального прибора, что, в конечном счете, определяется свойствами аппаратной функции.

Под аппаратной функцией оптического спектрального прибора понимается отклик прибора при воздействии на его оптический вход однородной плоской монохроматической волны частоты ω' :

$$s(\vartheta t - x) = \exp[i(\omega' t - k' z)], \quad (6)$$

где k' — волновое число света.

В дальнейшем рассматривается гармоническое колебание в следующей форме:

$$\exp[i(\omega' t)] = \hat{F}^{-1} \delta(\omega - \omega'), \quad (7)$$

где \hat{F}^{-1} — оператор обратного преобразования Фурье.

В случае спектральных измерений оператор \hat{L} в соотношении (4) с учетом соотношения (2):

$$\hat{L} = \hat{S} \hat{V} \hat{F}^{-1}, \quad (8)$$

где \hat{S} — линейный оператор, описывающий действие собственного спектрального прибора.

Таким образом, аппаратная функция, описывающая однократное измерение спектра, определяется как

$$A(\omega, \omega') = \hat{S}\hat{V}\hat{F}^{-1}\delta(\omega - \omega'), \quad (9)$$

откуда виден смысл аппаратной функции спектрального прибора как реакции на δ -воздействие.

Как отмечалось, при реальных измерениях аппаратные спектры являются переменными во времени, и связь вход-выход спектрального прибора записывается в форме

$$S_a(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} A(\omega, \omega', t) \cdot S(\omega') d\omega', \quad (10)$$

где $S_a(\cdot)$ — комплексный аппаратный (физический) спектр; $A(\omega, \omega', t)$ — комплексная аппаратная функция, зависящая еще и от времени как от параметра; $S(\cdot)$ — комплексный спектр сигнала на входе анализатора, т. е. математический спектр.

Соотношение (4) и вытекающее из него соотношение (10) описывают преобразование входного сигнала одномерной линейной системой. В случае параллельного анализатора спектра разрешающая система является многомерной линейной системой. Следовательно, для описания действия параллельного спектрального прибора требуется ввести новое понятие комплексной матричной аппаратной функции (матрица-столбец). Матричная аппаратная функция обусловлена совокупностью узкополосных фильтров и является адекватной при рассмотрении метода параллельного анализа спектра сигналов [13]:

$$\|A(\omega, \omega', t)\| = \begin{pmatrix} A_1(\omega_1, \omega', t) \\ A_2(\omega_2, \omega', t) \\ \text{-----} \\ A_k(\omega_k, \omega', t) \\ \text{-----} \\ A_n(\omega_n, \omega', t) \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где $A_1(\omega_1, \omega', t)$, $A_2(\omega_2, \omega', t)$, ..., $A_k(\omega_k, \omega', t)$, ..., $A_n(\omega_n, \omega', t)$ — «парциальные аппаратные» функции для первого, второго, k -го и n -го каналов анализа спектра сигналов соответственно.

В выражении (11) аппаратная функция k -го канала

$$A_k(\omega_k, \omega', t) = K_k(\omega') e^{i\omega' t}, \quad (12)$$

где $K_k(\omega')$ — передаточная функция k -го канала анализатора спектра.

Подстановка выражения (11) в (10) дает матрицу выходов, которая описывает алгоритм действия разрешающей системы параллельного анализатора спектра:

$$\|S_a(\omega, t)\| = \int_{-\infty}^{\infty} \|A(\omega, \omega', t)\| \cdot S(\omega') d\omega'. \quad (13)$$

Для определения комплексной аппаратной функции всей системы достаточно рассмотреть

обработку сигнала в одном канале, так как принцип действия всех каналов разрешающей системы параллельного анализатора одинаков.

Комплексный аппаратный (физический) спектр, получаемый на выходе k -го канала разрешающей системы параллельного анализатора спектра сигналов, дается соотношением

$$S_{ak}(\omega_k, t) = \int_{-\infty}^{\infty} A_k(\omega, \omega', t) \cdot S(\omega') d\omega'. \quad (14)$$

Подставив соотношение (14) в (13), получим

$$S_{ak}(\omega_k, t) = \int_{-\infty}^{\infty} K_k(\omega') \cdot S(\omega') e^{i\omega' t} d\omega'. \quad (15)$$

Применение теоремы о спектре произведения двух функций к соотношению (15) дает

$$S_{ak}(\omega_k, t) = 2\pi \int_0^t h_k(t - \tau) \cdot s(\tau) d\tau, \quad (16)$$

где $h_k(t)$ — импульсная реакция k -го канала (резонатора).

Резонатор является узкополосным, поэтому его импульсная реакция

$$h_k(t) = H_k(t) e^{i\omega_k t}, \quad (17)$$

где $H_k(t)$ — весовая функция.

В таком случае

$$\begin{aligned} S_{ak}(\omega_k, t) &= \int_{t_0}^t s(\tau) \cdot H_k(t - \tau) \cdot e^{i\omega_k(t - \tau)} d\tau = \\ &= e^{i\omega_k t} \int_{t_0}^t s(\tau) \cdot H_k(t - \tau) \cdot e^{-i\omega_k \tau} d\tau. \end{aligned} \quad (18)$$

Последнее выражение в цепи (18) представляет комплексный текущий спектр с весовой функцией и совпадает с аналогичным выражением, полученным в работе А. А. Харкевича [2]. Следует отметить, что физически текущий спектр проявляется в форме модуляции несущего колебания $\exp(i\omega_k t)$.

Разложим весовую функцию $H_k(t)$ в ряд Тейлора:

$$H_k(t) = H_k(0) + \frac{H_k'(0) \cdot t}{1!} + \frac{H_k''(0) \cdot t^2}{2!} + \dots \quad (19)$$

В нулевом приближении весовой функции $H_k(t)$ соотношение (18) принимает вид

$$S_{ak}(\omega_k, t) = e^{i\omega_k t} H_k(0) \int_{t_0}^t s(\tau) \cdot e^{-i\omega_k \tau} d\tau. \quad (20)$$

Соотношение (20) совпадает с определением текущего спектра, предложенным А. А. Харкевичем [2].

Разложение (19) дает возможность оценить погрешности измерения текущего спектра с реальными резонаторами.

**Спектральные измерения
в оптическом диапазоне**

При оптических спектральных измерениях, как отмечалось выше, оперируют с энергетическими спектрами, поскольку все детекторы в оптическом диапазоне являются квадратичными. Кроме того, при регистрации спектра оптического излучения нужно учесть значительную инерционность фотоприемника. Поэтому процесс определения энергетического спектра можно задать функциональной схемой (рис. 2).

Математическая форма последовательности операций, представленных на рис. 2, имеет вид

$$G_k = \int_{-\frac{T_R}{2}}^{\frac{T_R}{2}} |S_{ak}(\omega, t)|^2 dt = \int_{-\frac{T_R}{2}}^{\frac{T_R}{2}} S_{ak}(\omega, t) S_{ak}^*(\omega, t) dt, \quad (21)$$

где T_R — время интегрирования; $-\frac{T_R}{2} = t_0$.

Подстановка соотношения (15) в (21) дает

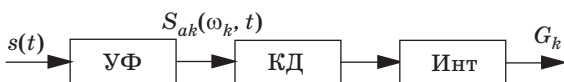
$$\begin{aligned} G_k &= \int_{-\frac{T_R}{2}}^{\frac{T_R}{2}} dt \int_{-\Delta\omega_k}^{\Delta\omega_k} S_0(\omega') K_k(\omega') e^{i\omega' t} d\omega' \times \\ &\times \int_{-\Delta\omega_k}^{\Delta\omega_k} S_0^*(\omega'') K_k^*(\omega'') e^{-i\omega'' t} d\omega'' = \\ &= \int_{-\frac{T_R}{2}}^{\frac{T_R}{2}} dt \int_{-\Delta\omega_k}^{\Delta\omega_k} \int_{-\Delta\omega_k}^{\Delta\omega_k} S_0(\omega') S_0^*(\omega'') K_k(\omega') \times \\ &\times K_k^*(\omega'') e^{it(\omega' - \omega'')t} d\omega' d\omega'', \quad (22) \end{aligned}$$

где $\Delta\omega_k$ — полоса пропускания k -го резонатора.

Интегрирование по времени в выражении (22) дает

$$\int_{-\frac{T_R}{2}}^{\frac{T_R}{2}} e^{it(\omega' - \omega'')t} dt = \frac{2 \sin \frac{T_R}{2} (\omega' - \omega'')}{(\omega' - \omega'')}. \quad (23)$$

С учетом соотношения (22) соотношение (21) примет вид



■ **Рис. 2.** Функциональная схема вычисления энергетического спектра: УФ — узкополосный фильтр; КД — квадратичный детектор; Инт — интегратор

$$\begin{aligned} G_k &= \int_{-\Delta\omega_k}^{\Delta\omega_k} \int_{-\Delta\omega_k}^{\Delta\omega_k} S_0(\omega') S_0^*(\omega'') K_k(\omega') K_k^*(\omega'') \times \\ &\times \frac{2 \sin \frac{T_R}{2} (\omega' - \omega'')}{(\omega' - \omega'')} d\omega' d\omega''. \quad (24) \end{aligned}$$

Дальнейшие выкладки опираются на теорию вытянутых волновых сфероидальных функций, которые являются собственными функциями усеченного преобразования Фурье [11, 14].

Следуя [11, 14], введем безразмерные переменные: $\xi' = \omega'/\Delta\omega_k$, $\xi'' = \omega''/\Delta\omega_k$, тогда соотношение (22) примет вид

$$\begin{aligned} G_k &= \int_{-1}^1 S_0(\xi') K_k(\xi') d\xi' \times \\ &\times \int_{-1}^1 S_0^*(\xi'') K_k^*(\xi'') \frac{2 \sin c(\xi' - \xi'')}{(\xi' - \xi'')} d\xi'', \quad (25) \end{aligned}$$

где $c = 0,5T_R\Delta\omega_k$.

Представим $S_0^*(\xi'') K_k^*(\xi'')$ в виде суммы мнимой и вещественной частей и разложим в усеченный ряд по системе вытянутых волновых сфероидальных функций [14]:

$$\begin{aligned} S_0^*(\xi'') K_k^*(\xi'') &= P(\xi'') + iQ(\xi'') = \\ &= \sum_{P=0}^N a_P \Psi_P(\xi'') + i \sum_{Q=0}^N b_Q \Psi_Q(\xi''), \quad (26) \end{aligned}$$

где $\{\Psi_i(\xi)\}$ — ортогональная система вытянутых волновых сфероидальных функций.

Выбирая N , можно получить нужную степень приближения.

Подставим полученное уравнение (26) в (25), преобразуем отдельно один из интегралов соотношения (25)

$$\begin{aligned} &\int_{-1}^1 S_0^*(\xi'') K_k^*(\xi'') \frac{2 \sin c(\xi' - \xi'')}{(\xi' - \xi'')} d\xi'' = \\ &= \int_{-1}^1 \left[\sum_{P=0}^N a_P \Psi_P(\xi'') + i \sum_{Q=0}^N b_Q \Psi_Q(\xi'') \right] \frac{2 \sin c(\xi' - \xi'')}{(\xi' - \xi'')} d\xi'' = \\ &= \int_{-1}^1 \sum_{P=0}^N a_P \Psi_P(\xi'') \frac{2 \sin c(\xi' - \xi'')}{(\xi' - \xi'')} d\xi'' + \\ &+ i \int_{-1}^1 \sum_{Q=0}^N b_Q \Psi_Q(\xi'') \frac{2 \sin c(\xi' - \xi'')}{(\xi' - \xi'')} d\xi''. \quad (27) \end{aligned}$$

Согласно теории вытянутых волновых сфероидальных функций, имеет место равенство [11, 14]

$$\int_{-1}^1 \Psi(\xi'') \frac{2 \sin c(\xi' - \xi'')}{(\xi' - \xi'')} d\xi'' = \frac{1}{\lambda_n} \Psi(\xi'). \quad (28)$$

При спектральных измерениях в оптическом диапазоне всегда выполняется условие $c \gg 1$, тогда $\lambda_n(c) \approx 1$ и соотношение (27) можно переписать в виде [11, 14]

$$\int_{-1}^1 S_0^*(\xi'') K_k^*(\xi'') \frac{2 \sin c(\xi' - \xi'')}{(\xi' - \xi'')} d\xi'' = \sum_{P=0}^N a_P \psi_P(\xi') + i \sum_{Q=0}^N b_Q \psi_Q(\xi') = P(\xi') + iQ(\xi') = S_0^*(\xi') K_k^*(\xi'). \quad (29)$$

Тогда соотношение (27) примет вид

$$\int_{-1}^1 S_0^*(\xi'') K_k^*(\xi'') \frac{2 \sin c(\xi' - \xi'')}{(\xi' - \xi'')} d\xi'' \cong S_0^*(\xi') K_k^*(\xi'). \quad (30)$$

Подстановка соотношения (30) в (25) дает

$$G_k = \int_{-1}^1 |S_0(\xi')|^2 |K_k(\xi')|^2 d\xi'. \quad (31)$$

При обратном переходе от безразмерных переменных ξ' к натуральным ω' получаем

$$G_k = \int_{-\Delta\omega_k}^{\Delta\omega_k} |S_0(\omega')|^2 |K_k(\omega')|^2 d\omega' = \int_{-\Delta\omega_k}^{\Delta\omega_k} G_0(\omega') W_k(\omega') d\omega', \quad (32)$$

где G_k — энергетический спектр на выходе k -го канала параллельного анализатора спектра; $G_0(\omega')$ — энергетический спектр анализируемого колебания (математический спектр); $W_k(\omega') = |K_k(\omega')|^2$.

Соотношение (32) отражает результат измерения спектра оптических сигналов и позволяет описывать действие параллельного анализатора спектра оптических сигналов в матричной форме:

$$\|G_{ak}(\omega, t)\| = \int_{-\infty}^{\infty} \|W_k(\omega')\| G_0(\omega') d\omega'. \quad (33)$$

В выражении (33) $\|W_k(\omega')\|$ является матричной энергетической аппаратной функцией параллельного анализатора оптических сигналов. С учетом соотношения (12) элемент матричной энергетической аппаратной функции $W_k(\omega') = |A_k(\omega_k, \omega', t)|^2$.

Функциональная схема (см. рис. 2), в соответствии с которой выполнены выкладки (21)–(33), является основой для решения одной из важнейших задач теории статистических измерений [15] — получения оценки энергетического спектра оптических излучений с помощью многоканальной резонаторной системы.

Параллельный анализатор спектра оптических сигналов

В лаборатории акустооптических устройств Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения разработан лабораторный макет оптического анализатора спектра параллельного типа (рис. 3, а), реализующий идеи патента РФ [6].

Группа оптических волокон предназначена для передачи анализируемого оптического излучения

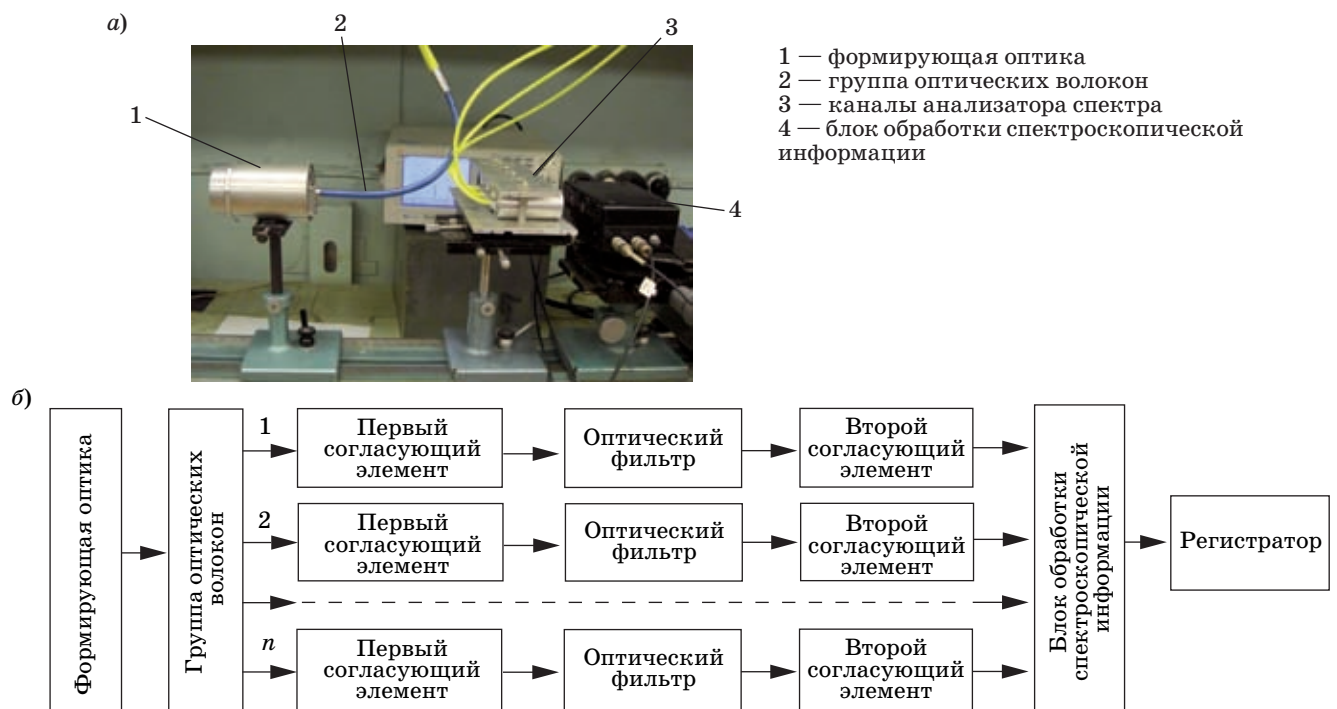
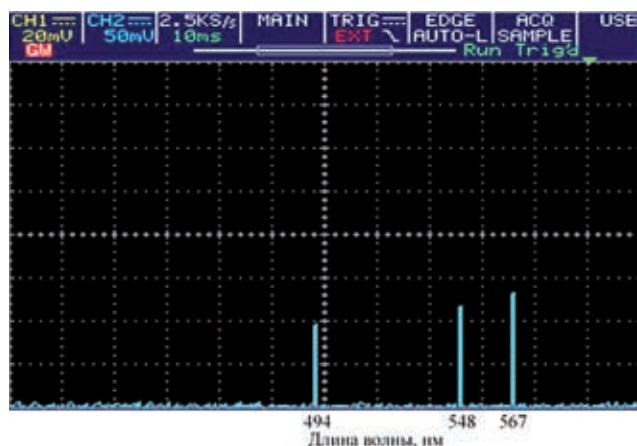


Рис. 3. Лабораторный макет (а) и структурная схема (б) оптического анализатора спектра параллельного типа



■ Рис. 4. Спектральная диаграмма металлогалогенной лампы

на заданное расстояние, безопасное для спектральной аппаратуры. В качестве согласующих элементов используются коллимирующие линзы. Задача блока обработки спектроскопической информации состоит в считывании уровней сигнала, поступающих с каждого канала анализатора спектра, и отображении спектроскопической информации на регистраторе (осциллографе).

В рамках получения предварительных результатов разработки были реализованы формирующая оптика, группа оптических волокон, три канала анализа спектра сигнала и блок обработки спектроскопической информации (рис. 3, б).

При проведении экспериментальных исследований в качестве источника оптического излучения использовалась металлогалогенная лампа мощностью 150 Вт Philips Master Colour CDM-T 150W/942. Полученная спектральная диаграмма представлена на рис. 4.

Заключение

Проведенные исследования показали возможность измерения энергетических спектров опти-

ческих излучений с помощью многоканальной селективной системы. Вопрос спектральной обработки оптического сигнала в данной системе рассмотрен в терминах общей теории линейных систем. Причем исследование вопроса базируется на нетрадиционных для оптики понятиях комплексных спектральных функций оптических колебаний и комплексных аппаратных функций. Для выполненных исследований характерна тесная связь с математическим аппаратом теории интегралов Фурье, где спектры колебательных явлений представляются функциями частот, а не длин волн, как принято в теории оптических спектральных приборов, что является дальнейшим развитием методов радиооптики.

Все теоретические выкладки одинаково пригодны для описания действия параллельных анализаторов спектра, работающих как в радио-, так и в оптическом диапазонах, поскольку общая методология, опирающаяся на теорию линейных систем, пригодна для описания действия любых спектральных приборов.

Приведенные выкладки показали, что анализатор энергетических спектров может быть охарактеризован двумя матричными аппаратными функциями — комплексной и энергетической.

Предложенные аналитические выкладки являются теоретической базой для описания действия разработанного экспериментального макета параллельного анализатора спектра оптических сигналов, реализованного по материалам патента [6]. Проведенные экспериментальные исследования дали обнадеживающие результаты и могут служить основой при разработке спектральных приборов этого нового класса для внедрения их в практику оптических спектральных измерений.

Авторы благодарят Е. Н. Котликова за предоставленные оптические фильтры для проведения экспериментальных исследований.

Литература

1. Москалец О. Д. Теоретическое исследование некоторых вопросов анализа комплексного и энергетического спектров акустооптическим устройством // Методы и устройства радио- и акустической голографии: сб. науч. ст. — Л.: Наука, 1983. С. 102–109.
2. Харкевич А. А. Спектры и анализ. Изд. 4-е. — М.: ГИФМЛ, 1962. — 236 с.
3. Тверской В. И. Дисперсионно-временные методы измерений спектров радиосигналов. — М.: Сов. радио, 1974. — 240 с.
4. Тарасов К. И. Спектральные приборы. 2-е изд., доп. и перераб. — Л.: Машиностроение, 1977. — 368 с.
5. Мартынов В. А., Селихов Ю. И. Панорамные приемники и анализаторы спектра. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Сов. радио, 1980. — 352 с.
6. Пат. 86734 РФ, МПК⁸ G 01 J 3/26. Параллельный анализатор спектра сигналов оптического диапазона / И. Н. Архипов, М. А. Ваганов, С. В. Кулаков, Е. Н. Котликов, О. Д. Москалец, Л. Н. Пресленев,

- В. Н. Прокашев (РФ). № 2009116195/22 // Изобретения и полезные модели. 2009. № 25. С. 2.
7. Горелик Г. С. Колебания и волны. Изд. 2-е. — М.: ГИФМЛ, 1959. — 650 с.
 8. Зверев В. А., Степанов Н. С. Предисловие редакторов // Экспериментальная радиооптика: сб. науч. ст. — М.: Наука, 1979. — 255 с.
 9. Ланда П. С. Автоколебания в распределенных системах. Изд. 2-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — 320 с.
 10. Солодов А. В., Петров Ф. С. Линейные автоматические системы с переменными параметрами. — М.: Наука, 1971. — 325 с.
 11. Хургин Я. И., Яковлев В. П. Фinitные функции в физике и технике. — М.: Наука, 1971. — 408 с.
 12. Moskaletz O. D. Physical signal theory as a part of quantum laser theory // Proc. of SPIE. 2002. Vol. 5066. P. 213–224.
 13. Vaganov M. A., Moskaletz O. D. Parallel measurement method of spectrum of signal // Wave electronics and Its Applications in the Information and Tel. Systems: Proc. of XII Intern. conf. for young researchers. St. Petersburg, 2009. P. 26.
 14. Размахнин М. К., Яковлев В. П. Функции с двойной ортогональностью в радиоэлектронике и оптике. пер. и науч. обр. — М.: Сов. радио, 1971. — 256 с.
 15. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 540 с.

**V ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ»- МЭС-2012**

8–12 октября 2012 г.

Место проведения: Подмоскowie

Организатор

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН

Соорганизатор

Московское Научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи (МНТОРЭС) им. А. С. Попова

Направления работы

Теоретические аспекты проектирования микро- и нанoeлектронных систем (МЭС)

Методы и средства автоматизации проектирования микро- и нанoeлектронных схем и систем МЭС (САПР СБИС)

Опыт разработки цифровых, аналоговых, цифро-аналоговых, радиотехнических функциональных блоков СБИС

Особенности проектирования СБИС для нанометровых технологий

Системы на кристалле перспективной РЭА

Выставка и презентация коммерческих продуктов

Тематика

Схемы и системы нанометровых технологий

Системы на кристалле

Проектирование цифровых СБИС

Проектирование аналоговых и радиотехнических функциональных блоков СБИС

Проектирование СБИС со смешанными сигналами

Методы структурного синтеза аналоговых, цифровых и смешанных СБИС и СФ блоков

Микромеханические системы

Специализированные (стойкие к спецвоздействиям, фоточувствительные и т. п.) СБИС

Фоточувствительные СБИС

Методы цифровой обработки информации

Методы высокоуровневого моделирования

Методы логического синтеза и логического моделирования в САПР СБИС

Методы электрического моделирования в САПР СБИС

Методы аналогового и смешанного поведенческого моделирования

Методы моделирования радиотехнических СБИС

Методы генерации моделей для САПР СБИС

Методы автоматического топологического проектирования в САПР СБИС

Методы приборно-технологического моделирования

Методы моделирования межсоединений

Методы проектирования и моделирования новых приборных структур и схем нанoeлектроники

Язык конференции

Рабочим языком конференции является русский язык

Оргвзнос

Целевой взнос включает расходы на подготовку и издание информационных материалов и трудов конференции, аренду помещений и оргтехники, транспортные расходы (приезд 8 октября 2012 г., отъезд 12 октября 2012 г.), прием Оргкомитета.

Докладчик (автор или любой соавтор) в случае принятия доклада обязан оплатить целевой взнос до 1 июля 2012 г., в противном случае доклад будет снят с программы конференции.

Подробная информация на сайте конференции:

<http://www.mes-conference.ru>

Публикация трудов

Все доклады, принятые на конференцию, будут опубликованы в трудах конференции.

Сборник трудов конференции МЭС включен в Перечень ВАК российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Контрольные сроки

Регистрация и представление докладов — до 31 января 2012 г. на сайте конференции.

Извещение авторов о решении программного комитета — до 15 апреля 2012 г.

Прием финальной версии доклада — до 1 июня 2012 г.

Дополнительная информация и справки

124365 Москва, Зеленоград, ул. Советская, д. 3

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Оргкомитет МЭС-2012

Ученый секретарь Оргкомитета МЭС-2012 Борискин Вячеслав Степанович

Тел.: 8 (499) 729-95-69

Факс: 7 (499) 729-92-08

Эл. адрес: boriskin@ippm.ru

Сайт: <http://www.mes-conference.ru>