

Е. В. Булаенко, М. Д. Прокопцов, С. В. Тузенко, П. А. Фридман
(Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург)

КОРРЕЛЯЦИОННО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО СВЕТОРАССЕЯНИЯ

The article contains description of correlation and spectrum analyzers, which are dedicated for statistic analysis of scattered laser emission in the devices measuring particle size distribution. Both analyzers are made as the PC-boards using application specific integrated circuits (ASIC) and digital signal processors. These boards create the possibility of making small and reliable light-scattering devices without any other electronic kits.

Современные анализаторы микрочастиц, использующие принцип динамического светорассеяния, позволяют быстро и надежно определять распределение частиц по размерам в растворах и суспензиях [1, 2]. Они представляют собой эффективное средство исследования дисперсных систем в биологии, медицине, фармакологии, физикохимии высокомолекулярных соединений, в цементной, пищевой и лакокрасочной промышленности, в электронной технологии, порошковой металлургии и производстве керамики и т. д.

Анализаторы состоят из трех основных частей: оптико-аналитического блока с электроникой, формирующей сигнал фотоприемника, статистического анализатора корреляционного или спектрального типа и ЭВМ, выполняющей

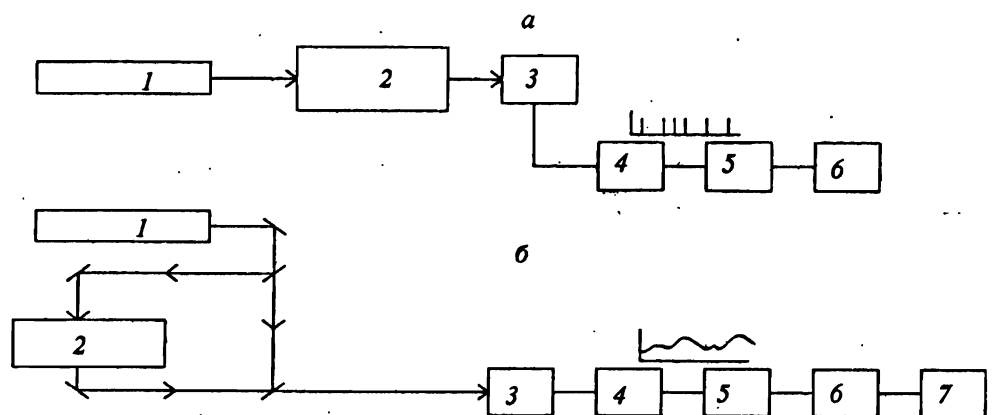


Рис. 1. Гомодинный (а) и гетеродинный (б) методы приема рассеянного излучения.
а: 1 — лазер, 2 — кювета с исследуемым препаратом, 3 — фотоприемник, 4 — формирователь импульсов, 5 — коррелятор, 6 — ЭВМ; б: 1 — лазер, 2 — кювета с исследуемым препаратом, 3 — фотоприемник, 4 — усилитель, 5 — аналого-цифровой преобразователь, 6 — спектроанализатор, 7 — ЭВМ.

вторичную обработку и представление данных (рис. 1). Сигнал от фотоприемника, в зависимости от оптической схемы анализатора рассеянного излучения — гомодинного (рис. 1, *а*) или гетеродинного (рис. 1, *б*) — формируется или в виде отдельных импульсов одинаковой амплитуды (аналогично режиму счета фотонов [3]), или в виде непрерывного ("аналогового") сигнала. В первом случае статистическая структура сигнала исследуется с помощью быстродействующего коррелятора совпадений, во втором — с помощью спектроанализатора. В данной работе приводятся описания обоих типов специализированных процессоров для анализа сигналов лазерного светорассеяния, разработанных в Институте аналитического приборостроения РАН с использованием заказных больших интегральных схем (БИС) и сигнальных процессоров. Оба типа анализаторов выполнены в виде плат в конструктиве ЭВМ IBM PC (рис. 2).

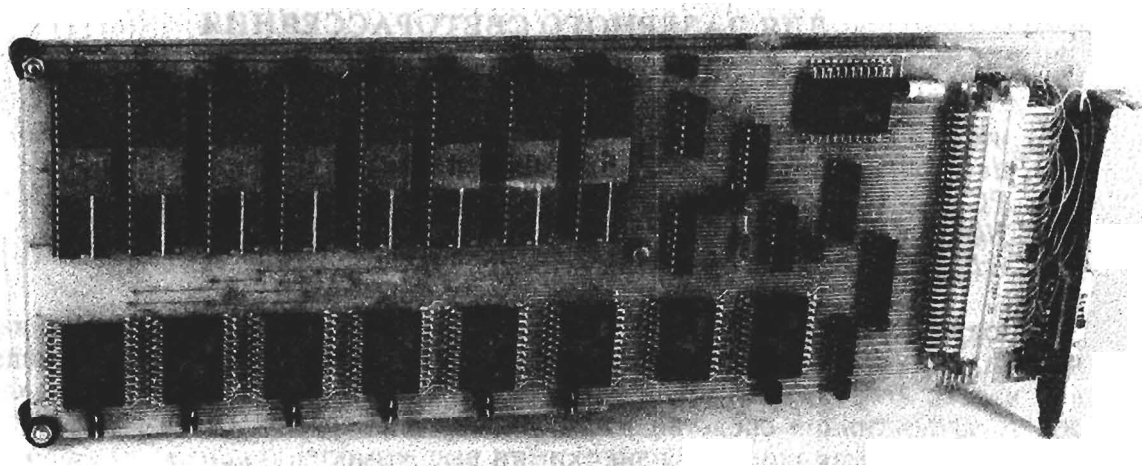
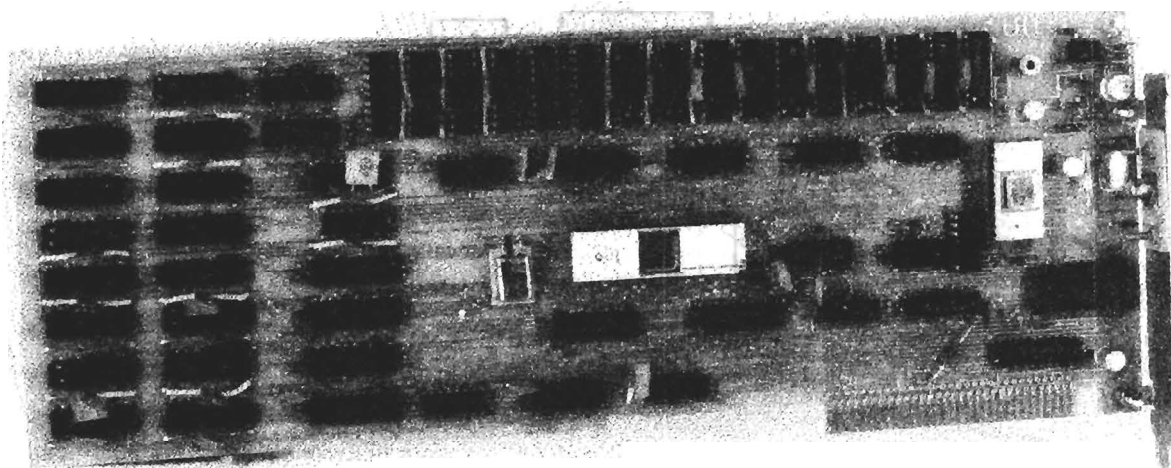
а*б*

Рис. 2. Платы специализированных процессоров.
а — коррелятор, *б* — спектроанализатор.

1. Коррелятор (К) разработан на основе БИС двух типов: собственно коррелятора совпадений (COR) и многоканального накопительного счетчика (СТ) [4]. COR состоит из восьмибитового сдвигового регистра, восьми схем совпадений и восьми 6-разрядных накопительных счетчиков. Каждый счетчик имеет соединенный с ним буферный параллельный регистр для перезаписи данных "на лету" и последующего считывания. Микросхемы COR выполнены на основе технологии LASARRAY на КМОП базовых матричных кристаллах (БМК). СТ представляет собой набор из восьми 8-битовых счетчиков с аналогичными, как в COR, параллельными регистрами, и используется для расширения возможностей накопительных счетчиков COR. СТ разработан в двух модификациях: по технологии LASARRAY и на основе БМК К1801ВП1. В платах коррелятора использована последняя.

Коррелятор состоит из управляющей и вычислительно-накопительной подсистем (рис. 3). Управляющая подсистема задает параметры коррелограмм, осуществляет временное квантование (дестохастизацию) задерживаемых и незадерживаемых потоков импульсов от фотоприемника, формирует межвыборочные импульсы, вырабатывает сигнал разрешения счета для вычислительно-накопительной подсистемы, осуществляет коммутацию сигналов для переключения К в режим вычислений коррелограмм с однобитовым и четырехбитовым квантованием и в режим тестирования. Управляющая подсистема выполнена на одной печатной плате формата IBM PC, вычислительно-накопительная подсистема расположена на двух других платах (рис. 4). Структура К перестраиваемая, т. е. позволяет программно задавать режим 256-канального однобитового или 64-канального четырехбитового коррелятора. Полная емкость накопительных счетчиков равна 2^{14} бит, что при

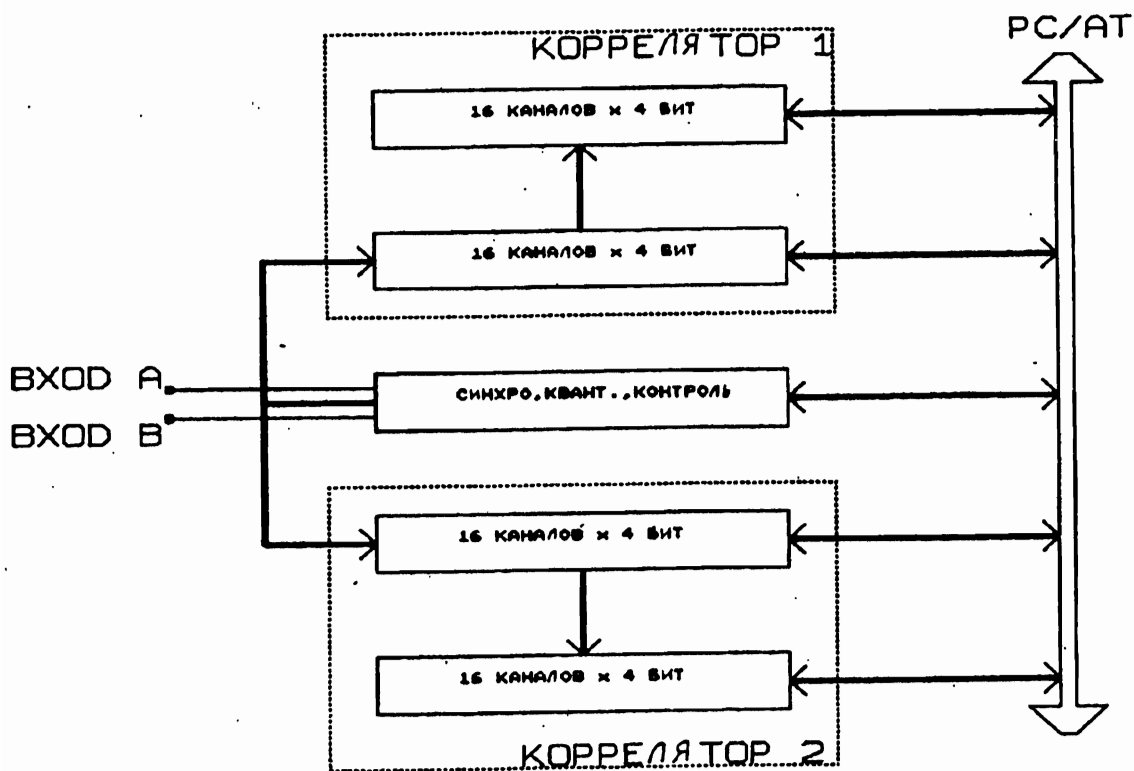


Рис. 3. Распределение основных блоков на платах коррелятора.

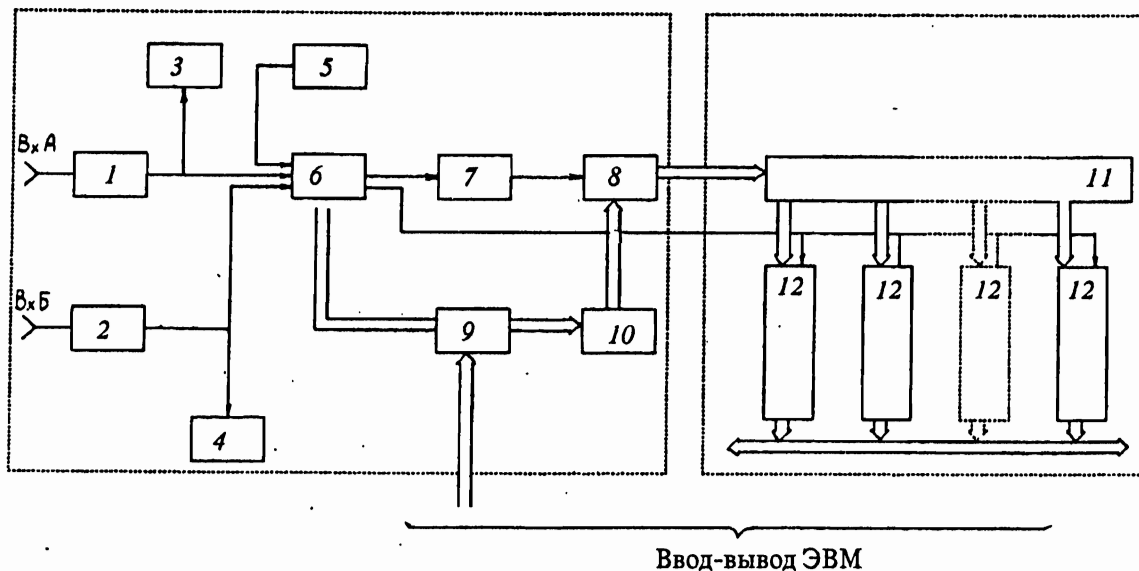


Рис. 4. Функциональная схема коррелятора.

1, 2 — дестохастизаторы, 3, 4 — мониторные счетчики, 5 — генератор тестовых сигналов, 6 — мультиплексор, 7 — прескалер (выполняет предварительное деление частоты входного потока импульсов), 8 — счетчик выборки, 9 — устройство управления, 10 — формирователь интервала выборки, 11 — сдвиговый регистр, 12 — накопительные счетчики.

максимальной тактовой частоте коррелятора 5 МГц позволяет производить остальное накопление в памяти ЭВМ. Диапазон времен выборок 0,2 мкс — 1 с.

2. Спецпроцессор, разработанный на основе сигнального процессора TMS320C10 [5], предназначен для спектрального анализа рассеянного излучения при гетеродинном оптическом смешении и непрерывном сигнале после формирователя в оптико-аналитической части (см. рис. 1, б). Блок-схема одноплатного процессора представлена на рис. 5. После аналого-цифрового преобразования сигнальные отсчеты поступают в TMS320C10, где с помощью программы быстрого преобразования Фурье (БФП) вычисляется спектр мощности входного случайного процесса. Спектр частично усредняется в сигнальном процессоре, а окончательное усреднение делается в ЭВМ, в память которой переписываются отсчеты спектра. Спектр по заданию оператора вычисляется для равномерно расположенных 64, 128 или 256 точек в диапазоне частот $0 - F_{rp}$, где $F_{rp} = 1 / 2\Delta t$, Δt — интервал временной дискретизации.

Перед вычислением спектра при необходимости может быть проведена цифровая низкочастотная фильтрация, для того чтобы уменьшить интервал частотной дискретизации. При этом после фильтрации и перед спектральным анализом данные прореживаются, т. е. производится децимация сигнала (см. [6]). Развитием этого метода является спектральный анализ с неравномерной частотной шкалой. Последовательность операций — низкочастотная фильтрация — децимация — вычисление спектра мощности — позволяют получить редкую сетку частот в высокочастотной части спектра и постепенно сгущающуюся сетку, например, по "двоичному закону", по мере перехода в низкочастотную область спектра.

Это позволяет повысить точность решения обратной задачи по восстановлению распределения микрочастиц без увеличения общего объема данных и времени эксперимента. Дальнейшая оптимизация процедуры измерений спектра может быть достигнута путем применения адаптивной методики, предложенной в [7]. При этом

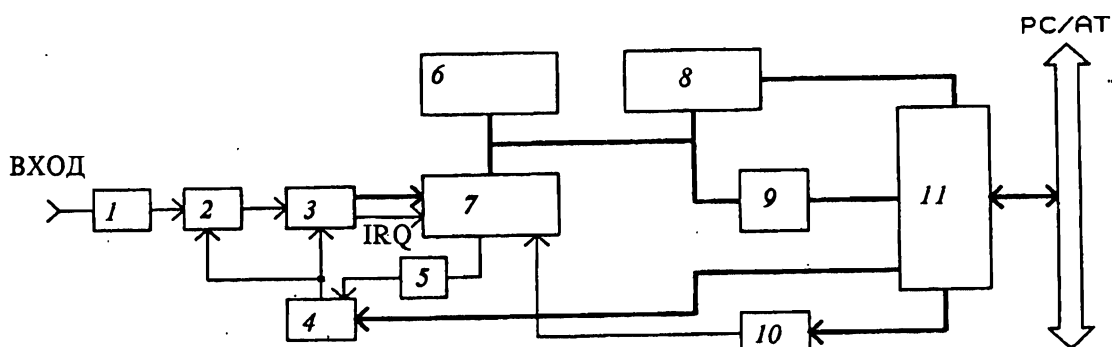


Рис.5. Функциональная схема спектроанализатора.

1 — усилитель, 2 — устройство выборки/хранения, 3 — аналого-цифровой преобразователь, 4 — таймер, 5 — делитель частоты, 6 — ОЗУ данных, 7 — сигнальный процессор, 8 — ОЗУ программ, 9 — регистр, 10 — триггер, 11 — интерфейс с ЭВМ.

цифровая фильтрация перестает быть чисто низкочастотной и необходимо осуществлять перенос отдельных частей спектра с помощью цифрового гетеродина-рования или пользоваться алгоритмом частотно-сдвинутого БПФ. Результирующая форма спектра получается при сплайновой аппроксимации по неравномерно расположенным точкам, полученным в процессе адаптивной дискретизации по частоте.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Спектроскопия оптического смещения и корреляция фотонов* / Под ред. Г. Камминса, Э. Пайка. М., 1978.
2. *Photon Correlation Technique in Fluid Mechanics* / Ed. O. Schulz-DuBois. Berlin, 1983.
3. *Гулаков И. Р., Холондырев С. В. Методы счета фотонов в оптико-физических измерениях.* Минск, 1989.
4. *Lanin E. V., Leshenko D. N., Smirnov V. A., Friedman P. A.* // Proc. of the Latvian Signal Processing Int. Conf. Riga, April 24—26. 1990. Vol. 1. P. 226—230.
5. *Lin K. S., Frantz G. A., Simar R.* // Proc. IEEE. 1987. Vol. 75, N 9. P. 1143—1159.
6. *Гольденберг Л. М., Матюшкин Б. Д., Поляк М. Н. Цифровая обработка сигналов.* М., 1985.
7. *Дианов С. Г., Мельцин А. Л., Фридман П. А.* // Журнал прикладной спектроскопии. 1989. Т. 51, N 6. С. 973—980.

Рукопись поступила 25.10.93