

Н. А. ЕСЕПКИНА, Б. А. КОТОВ, Ю. А. КОТОВ, А. В. МИХАЙЛОВ,  
В. Ю. ПЕТРУНЬКИН, С. В. ПРУСС-ЖУКОВСКИЙ

(Ленинград)

## ГИБРИДНАЯ ОПТИКО-ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА РАДИОСИГНАЛОВ

Высокая скорость обработки информации в оптических системах достигается за счет большой пропускной способности оптических систем. Оптические процессоры являются аналоговыми устройствами с параллельным принципом действия и хорошо приспособлены для выполнения различного вида интегральных преобразований. Использование ЭВМ существенно расширяет возможности оптических систем обработки [1].

Эффективность использования ЭВМ совместно с оптическим процессором определяется быстродействием устройств ввода информации в ЭВМ, которые пока являются узким местом, ограничивающим реализацию задач обработки информации в реальном времени в гибридных оптико-цифровых системах.

Эффективность гибридных оптико-цифровых систем можно существенно повысить даже при существующих устройствах ввода информации в ЭВМ, если использовать появившиеся в последнее время устройства на приборах с зарядовой связью — ПЗС линейки и матрицы [2].

ПЗС устройства представляют собой многофункциональные приборы в интегральном исполнении с высокой степенью интеграции. Наряду с функциями преобразования оптического сигнала в электрический, эти устройства способны выполнять функции хранения, накопления (интегрирования) и передачи зарядовой информации. Осуществляя пространственное квантование оптического сигнала, эти устройства сохраняют аналоговый характер информации при изменении ее во времени.

Указанные выше особенности ПЗС структур позволяют использовать их в качестве буферного устройства сопряжения оптических и цифровых систем, обеспечивающего минимум потерь информации, а в ряде режимов и полное устранение таковых из-за различных скоростей обработки и, в частности, из-за низкого быстродействия устройств ввода.

Организация ПЗС структур, предусматривающая отдельные секции накопления, хранения и передачи информации, осуществляя интегрирование поступающей информации на входе в отдельной секции накопления, позволяет не терять информации за время выдачи ее в медленнодействующие устройства ввода из секции передачи. Функции управления режимами работы ПЗС устройства можно возложить на ту же ЭВМ, которая выполняет и задачи первичной обработки поступающей информации.

В настоящей работе приводятся результаты исследования гибридной оптико-цифровой системы обработки для спектрального анализа радиосигналов, блок-схема которой представлена на рис. 1. Система состоит из акустооптического спектроанализатора — оптического процессора, линейки ПЗС — буферного устройства преобразования оптической информации в электрический сигнал и ЭВМ «Электроника-100», осуществляющей программное управление всеми режимами работы системы и отдельных устройств, а также выполняющей функции математической обработки поступающей информации и выдачи результатов обработки в необходимой форме.

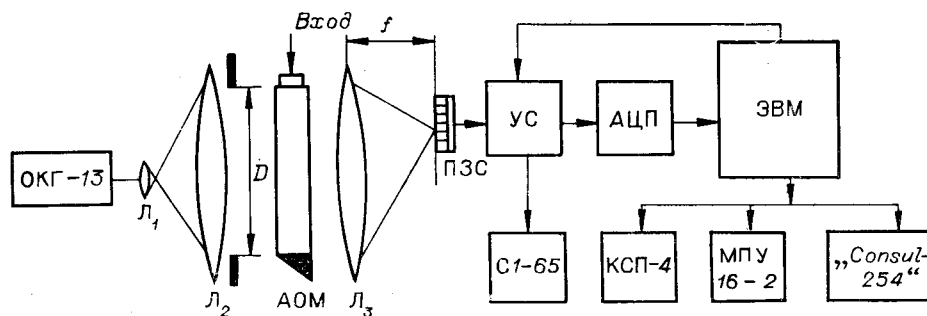


Рис. 1. Блок-схема гибридной оптико-цифровой системы для спектрального анализа радиосигналов:

ПЗС — линейка приборов с зарядовой связью, УС — устройство сопряжения, АЦП — аналого-цифровой преобразователь, С1-65 — контрольный осциллограф, КСП-4 — самописец, МПУ 16-2 — цифровое печатающее устройство, «Consul-254» — буквопечатающее устройство.

1. Акустооптический спектроанализатор, схема которого приведена на рис. 1, выполнен на основе одноканального жидкостного ультразвукового модулятора (АОМ). Принцип действия анализатора основан на использовании явления дифракции света на упругой волне, распространяющейся в прозрачном звукопроводе. Под воздействием входного электрического сигнала в модуляторе возбуждается бегущая ультразвуковая волна, которая для падающего на модулятор света представляет дифракционную решетку. Период решетки, а следовательно, и положение дифрагированного светового пятна в фокальной плоскости линзы  $L_3$  определяются частотой входного сигнала.

При возбуждении ультразвукового модулятора широкополосным сигналом каждой его составляющей соответствует свое световое пятно. Следовательно, распределение интенсивности света в выходной фокальной плоскости соответствует спектру входного сигнала и может быть зарегистрировано с помощью многоэлементного фотоприемника, каковым и является линейка ПЗС элементов.

Число разрешимых точек  $N$ , соответствующее числу частотных каналов спектроанализатора, определяется соотношением

$$N = \Delta F / \Delta F_{\min},$$

где  $\Delta F$  — полоса пропускания ультразвукового модулятора, а  $\Delta F_{\min} = V/D$  — разрешение, которое зависит от длины модулятора  $D$  и скорости звука в звукопроводе  $V$ . В использованном нами модуляторе средняя частота составляла  $F_0 = 15$  МГц, полоса пропускания  $\Delta F \approx 1,5$  МГц, разрешение  $\Delta F_{\min} \approx 30$  кГц. Число разрешимых точек равнялось  $N = 50$ . В макете использовался ОКГ ЛГ-36 с выходной мощностью  $\approx 5$  мВт.

2. Линейка ПЗС элементов представляет собой единую гибридную интегральную микросхему, функциональная схема которой приведена на рис. 2.

В каждом из светочувствительных элементов секции накопления происходит рост электрического заряда пропорционально интенсивности света, приходящего на этот элемент. Накопленные за время измерения заряды одновременно импульсом съема переносятся в два сдвиговых регистра. В нашем случае время переноса составляло 0,1 мкс. Далее через буферный регистр, в котором восстанавливается последовательность элементов секции накопления, и выходной усилитель (преобразователь «заряд-напряжение») сигналы поступают на вход АЦП через согласующий усилитель (СУ).

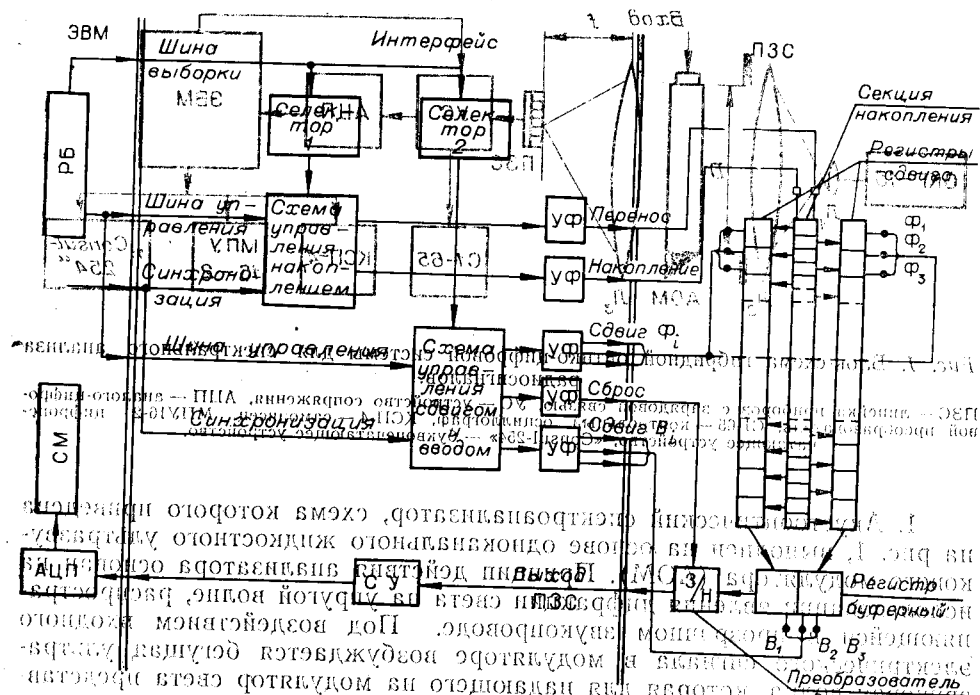


Рис. 2. Функциональная схема интерфейса ПЗС с устройством сопряжения с ЭВМ.

СУ — согласующий усилитель; УФ — усилитель-формирователь импульсов управления; СД — сдвиг; В<sub>1</sub> — управляющие импульсы сдвигового и буферного регистров ПЗС; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; СМ и РБ — сумматор и буферный регистр ЭВМ.

В макете использовался АЦП в ЭВМ «Электроника-100», время преобразования одного сигнала в котором равно  $\approx 0,1$  мс. Это время определяет верхнюю частоту сдвига информации в регистрах ПЗС, которая в нашем случае составляла  $\approx 10$  кГц. С учетом количества элементов линейки  $N$  полное время ввода информации в ЭВМ составляет  $0,1N$  мс. При использовании быстродействующего внешнего АЦП, например АЦПМ-1, это время ввода может быть сокращено в пять раз. Минимальное время ввода определяется быстродействием МОЗУ, которое в ЭВМ «Электроника-100» соответствует 1 мкс на одно слово. Во время ввода информации в ЭВМ накопительная секция осуществляет интегрирование сигнала, поступающего с акустооптического анализатора спектра, соответствующее следующему циклу измерений.

Динамический диапазон аналогового сигнала, снимаемого с ПЗС линейки с учетом разрядности АЦП «Электроника-100», составляет 60 дБ, что соответствует погрешности каждого измерения 0,1%.

Используемая нами линейная структура ПЗС имела 100 светочувствительных элементов размерами  $20 \text{ мкм} \times 1 \text{ мм}$  каждый, т. е. мы использовали 2 элемента линейки на разрешаемую точку. Расстояние между элементами — 5 мкм.

Время интегрирования сигнала в секции накопления может изменяться независимо от времени ввода информации в ЭВМ, и в используемых нами линейных ПЗС может изменяться от 1 мкс до 100 мс. При этом максимально возможное время накопления определяется характеристиками ПЗС линейки и условиями ее работы. Следует иметь в виду, что только при условии, когда время ввода в ЭВМ меньше или равно времени накопления информации в линейке ПЗС, происходит обработка первичной информации без потерь, в противном

случае потери информации пропорциональны разности времен ввода в ЭВМ и накопления в линейке ПЗС.

3. ЭВМ «Электроника-100» выполняет все функции управления процессом измерения и обработки информации в системе: синхронизирует процессы накопления, сдвига и преобразования сигнала в ПЗС линейке, производит накопление информации в МОЗУ, вносит поправки в результаты на дефекты линейки и частотную характеристику системы, а также выполняет необходимые функции обработки сигнала. Эти функции определяются системой, в которой используется спектроанализатор. Так, например, если акустический спектроанализатор является частью радиотехнического спектрографа [3], то ЭВМ должна выполнять операции синхронного детектирования, накопления, управления модулятором приемника.

Результаты обработки выводятся из ЭВМ: на осциллограф и самописец для визуального наблюдения, на печать в виде графика на пишущей машинке «Consul-254» и в виде таблиц на МПУ 16-2.

Программная реализация всех функций управления позволяет оперативно менять режимы измерений в зависимости от характера исследований, а также вид функций обработки результатов измерений.

4. Для программного обмена информацией между ЭВМ «Электроника-100» и линейкой ПЗС осуществляющей согласование ЭВМ с оптическим процессором, разработано устройство сопряжения интерфейса функциональная схема которого приведена на рис. 2, позволяющее устройству сопряжения управлять в одном канале селектором, отвечающее ему устройством управления, которое обеспечивает выработку управляющих сигналов в секцию накопления ПЗС, селектор и его устройство управления, обеспечивающее режимы работы функции сканирования и выходного усилителя преобразователя линейки ПЗС. Синхронизация работы всех узлов осуществляется от генератора тактовых импульсов ЭВМ. Весь интерфейс собран на двух двойных стандартных платах ЭВМ «Электроника-100» и используется в микросхем серии К-133.

5. Математическое обеспечение ЭВМ «Электроника-100», разработанное для задач спектральных исследований, в описанной системе состоит из следующих программ:

Программа 1 настраивает режим работы линейки ПЗС по максимуму отношения сигнала к фону и производит юстировку оптической части системы.

Программа 2 обеспечивает ввод информации с линейки ПЗС в МОЗУ ЭВМ и необходимые операции по первичной обработке.

Программы 3 и 4 позволяют выводить результаты анализа спектра из ЭВМ на печать в виде графика на пишущей машинке «Consul-254» или в виде таблицы на МПУ 16-2.

Кроме того, разработаны программы, с помощью которых осуществляется контроль за режимами работы линейки ПЗС в процессе измерений и регистрации параметров этих режимов до и после измерения.

6. Результаты анализа сигнала, содержащего 3 частоты (14, 49; 15, 10; 15, 75 МГц), приведены на рис. 3. На рис. 3а (показан выходной сигнал ПЗС линейки на входе согласующего усилителя), а на рис. 3б — график, полученный путем вывода информации из памяти ЭВМ на самописец КСП-4 с помощью цифроаналогового преобразователя. По оси абсцисс отложены порядковые номера элементов ПЗС линейки, частотный масштаб — 10 кГц на один элемент, а по оси ординат — уровень сигнала в относительных единицах соответствующих разрядности используемого АЦП.

Таким образом, проведенные исследования показывают возможность создания гибридных оптико-цифровых систем для обработки ра-

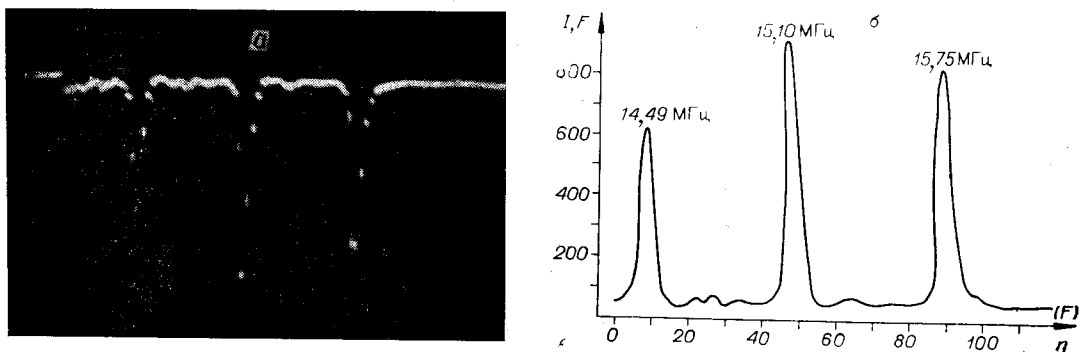


Рис. 3. Выходной сигнал системы (14, 49; 15, 10; 15, 75 МГц).

диосигналов с использованием ПЗС структур и мини-ЭВМ «Электроника-100». Основные характеристики спектроанализатора определяются характеристиками акустооптического модулятора. ПЗС линейка и ЭВМ не вносят дополнительных искажений в снимаемую информацию, но позволяют при использовании известных методов оперативно менять программу обработки.

Наконец, необходимо отметить, что, используя пространственно-многоканальные ультразвуковые модуляторы [3] и матрицы ПЗС элементов в разработанной оптико-цифровой системе, можно проводить спектральный анализ совокупности сигналов. Структура разработанного интерфейса для программного управления режимами работы ПЗС линейки позволяет использовать его для различных линеек (на 128, 256, 512 и 1024 элементов) и матриц без каких-либо изменений. Изменяется только программа ЭВМ в соответствии с числом элементов линейки или матрицы и их структурной организацией.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Cole T. W. Electrooptical signal processing in radioastronomy.— "Optica Acta", 1975, vol. 22, N 2, p. 83—92.
2. Носов Ю. Р., Шилин В. А. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью. М., «Сов. радио», 1976.
3. Есепкина Н. А., Петрунькин В. Ю., Бухарин Н. А., Котов Б. А., Котов Ю. А., Прусс-Жуковский С. В. Акустические анализаторы спектра для радиоастрономии.— «Изв. высш. учеб. заведений. Радиофизика», 1976, т. XIX, № 12, с. 1732—1739.

Поступила в редакцию 19 июля 1977 г.;  
окончательный вариант — 11 ноября 1977 г.

УДК 681.325 : 621.378.9

Л. А. ОРЛОВ, К. К. СВИДЗИНСКИЙ

(Москва)

### ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ СУММАТОР ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

В работе [1] была рассмотрена задача построения оптического арифметического устройства на электрически управляемых транспарантах (ЭУТ). С точки зрения вычислительной техники ЭУТ представляет собой пассивный элемент, в который управляющая информация вводится по строкам или столбцам [2].

Функционально более гибким логическим элементом для дискретной вычислительной техники является активный, оптически управляемый