

**В. А. АЛЕКСЕЕВ, В. А. БЕЛОМЕСТНЫХ, В. Н. ВЬЮХИН,
В. И. ПРОКОПЕНКО, А. Н. КАСПЕРОВИЧ, Н. В. ЛИТВИНОВ,
В. И. СОЛОНЕНКО, Ю. В. ШАЛАГИНОВ, В. П. ЮНОШЕВ**

(Новосибирск)

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИСТЕМА ВВОДА В ЭВМ ОДНОМЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В современном научном эксперименте значительное место занимает получение данных об одномерных оптических изображениях. Особые трудности при этом возникают в тех случаях, когда исследуемое изображение (чаще всего спектр) $A(\lambda, t)$ быстро меняется во времени. Перспективный путь решения этой задачи — создание автоматических систем сбора и хранения изображений (спектров), в состав которых входят универсальные мини-ЭВМ [1].

Для оперативного измерения интенсивностей спектров, изменяющихся во времени (без промежуточной регистрации на фотопленку), есть два пути. Один из них заключается в том, что для каждой линии спектра используется отдельный измерительный прибор-фотоприемник и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Главные достоинства этого способа — возможность одновременного получения всех линий, незначительные требования по быстродействию к аналого-цифровым преобразователям даже при относительно быстром изменении спектров. Очевидный недостаток способа — большой объем оборудования (последний можно несколько сократить, используя вместо набора АЦП набор фотоприемников с фиксаторами уровня сигнала и коммутатором).

Другой путь — применение метода сканирования, позволяющего использовать только одно измерительное устройство для последовательного измерения всех линий спектра. Недостаток второго способа в том, что интенсивность линий разных участков спектра будет относиться к разным моментам времени и интервал между спектрами не может быть сделан меньше времени сканирования. Хотя этот метод и позволяет сократить объем измерительного оборудования, для его осуществления необходимо иметь дополнительное устройство, сканирующее спектр. Такое сканирование осуществляется щелевым диссектором типа ЛИ602 [2, 3]. Этот диссектор отличается высоким быстродействием. К числу недостатков относится ограниченная и переменная по полю разрешающая способность.

Цель настоящей работы — описание измерительной системы «Скиф», составной частью которой является мини-ЭВМ. Система с помощью диссектора собирает данные о распределении интенсивности одномерного оптического изображения с максимальным практически достижимым быстродействием.

В системе «Скиф» используется мини-ЭВМ «Электроника-100» (Э-100). Машина позволяет передавать зарегистрированные данные во внешнюю долговременную память на дисках и лентах без каких-либо специальных согласующих устройств, выводить результаты измерений на стандартные дисплеи ЭВМ, ЦПМ «Консул», перфоленту. Кроме того, ЭВМ может улучшать метрологические характеристики системы, например, за счет учета неравномерной чувствительности фотокатода диссектора. Применение ЭВМ в системе придает ей универсальность.

Обычно для отклонения луча диссектора используют напряжение пилообразной или синусоидальной формы. В описываемой измерительной системе сканирующее напряжение ступенчатой формы. Ступенчатая развертка с цифровым управлением применена потому, что она придает

гибкость системе, позволяя осуществлять заданную в определенном порядке выборку линий, легко синхронизировать работу различных узлов системы и изменять скорость сканирования.

Для сокращения объема информации, записываемой в память ЭВМ, в системе предусматривается устройство адаптивного сжатия данных.

Прежде чем переходить к описанию режимов работы и узлов системы, выскажем несколько общих соображений о свойствах АЦП и системы сканирования на примере ввода в ЭВМ данных об оптических спектрах.

В результате цифровой развертки осуществляется дискретизация спектра, и измерение производится на определенной длине волны спектра. Поэтому число ступеней развертывающего напряжения (а следовательно, и число отсчетов в каждом спектре), вообще говоря, необходимо выбрать исходя из характера изменения интенсивности $A(\lambda, t)$ по спектру так, чтобы восстанавливать значение интенсивности между отсчетами с заданной погрешностью. Поскольку разрешающая способность диссектора r ограничена, а исследуемые сигналы, как правило, широкополосны, то число отсчетов можно выбирать $n \approx r$. Из-за разного разрешения по полю диссектора отсчеты по спектру должны следовать неравномерно (т. е. ступенчатая развертка должна быть нелинейной). Однако применение нелинейной развертки существенно усложнило бы привязку интенсивности к длине волн спектра.

Интервал времени между спектрами необходимо выбирать так, чтобы процесс изменения интенсивности любой линии спектра можно было бы восстановить во времени. Скорость сканирования должна быть достаточно большой, чтобы интенсивность линий начала и конца спектра соответствовала одному моменту времени с заданной погрешностью.

Время сканирования $T_{ск}$ практически определяется техническими возможностями аппаратуры — быстродействием АЦП и цифровой сканирующей системы, а также временем записи каждого отсчета в память ЭВМ или в сверхоперативное запоминающее устройство (СОЗУ).

Общее число регистрируемых спектров определяется объемом памяти машины. В одну 12-разрядную ячейку памяти машины Э-100 записывается 8-разрядный код результата измерений интенсивности линии. Применять упаковку трех результатов в две ячейки из-за малой экономии и возможности ошибок при сбоях, как показал опыт, практически мало целесообразно.

Система (рис. 1) работает следующим образом: исследуемый спектр, проецируемый на рабочее поле диссектора, сканируется с помощью ступенчатого напряжения, подаваемого на отклоняющие пластины диссектора от высоковольтного цифроаналогового преобразователя (ВВЦАП). Выходной сигнал диссектора измеряется быстродействующим АЦП. Результаты измерения каждого спектра заносятся непосредственно в память ЭВМ или с целью уменьшения времени записи — сначала в СОЗУ [4], а из него переписываются в ЭВМ. Результат измерений может быть оперативно просмотрен на мониторе (М) либо выведен через ЦПМ «Консул». Синхронизация системы осуществляется устройством управления (УУ).

Обмен данными между системой и ЭВМ выполняется двумя способами: путем программной передачи данных (через интерфейс ИПП) и путем прямого доступа (через интерфейс ИПД). Подробно связи между системой и ЭВМ раскрыты на рис. 2.

Режимы работы системы. В системе предусмотрены два основных режима работы: автономный и программный. Это связано с тем, что в программном режиме трудно получить предельную скорость (время цикла обращения к внешним устройствам при программной передаче данных равно 4 мкс), хотя требуемый объем оборудования значительно меньше.

В автономном режиме система обладает максимальным быстродействием. Цифровая развертка, запуск АЦП и запись в СОЗУ осуществляются от собственного УУ, которое обеспечивает последовательный перебор 256, 128, 64 и 32 равноотстоящих линий. Система может работать в трех вариантах: «Автоном — МОЗУ», «Автоном — СОЗУ», а также «Автоном — СОЗУ — БСД».

Прежде чем начать цикл измерений в любом из этих вариантов, необходимо через интерфейс ИПП установить начальный адрес массива результатов измерений, можно ввести в ЭВМ служебное слово, содержа-

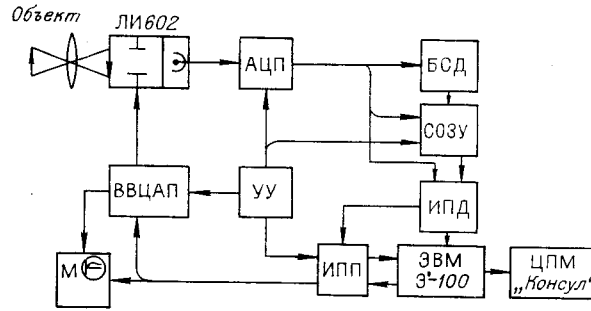


Рис. 1.

щее информацию о положении переключателей, задающих режим работы системы, задать номер начальной линии спектра.

Режим «Автоном — МОЗУ». В этом режиме регистрация данных осуществляется непосредственно в МОЗУ ЭВМ в темпе работы ЭВМ. Система полностью синхронизируется от ЭВМ. Команда «Пуск» может быть получена от ЭВМ через интерфейс ИПП, от кнопки «Пуск» или от внешнего генератора. Ввод массива производится через ИПД.

Режим «Автоном — СОЗУ». Позволяет реализовать максимальную скорость сбора данных об оптических изображениях. Измерительный цикл состоит из двух тактов. В первом такте производится смена линий, аналого-цифровое преобразование и занесение массива данных в СОЗУ в темпе работы, определяемом АЦП и СОЗУ. Во втором — полученная информация считывается из СОЗУ и записывается в МОЗУ

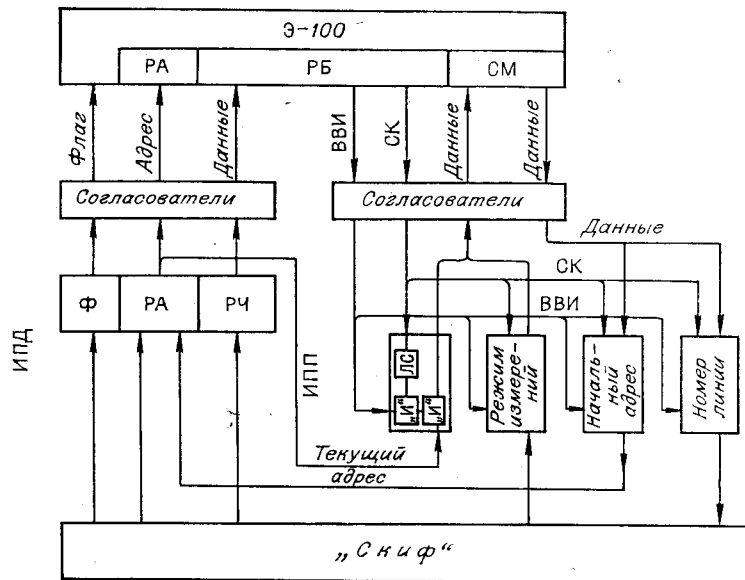


Рис. 2.

ЭВМ. В первом такте работа системы синхронизируется внутренним генератором, имеющим собственную частоту колебаний 2 МГц. Перепись информации в ЭВМ выполняется в режиме разрыва данными, поэтому управляющими являются синхронизирующие импульсы ЭВМ. Скорость переписи информации 2 мкс на байт.

После того, как начальная информация об изображении получена, может оказаться, что циклический перебор линий нецелесообразен для оптического сигнала данного вида. В этом случае исследователь имеет возможность перейти к более медленному, но обеспечивающему меньшую избыточность программному режиму работы системы.

Существует режим, при котором смена линий не производится. Этот режим необходим для изучения динамики одной произвольно выбранной линии спектра.

Режим «Автоном — СОЗУ — БСД». В этом режиме для исключения избыточных цифровых отсчетов используется блок сжатия данных (БСД). Основное отличие работы системы «Скиф» заключается в том, что в этом случае необходимо заносить в ЭВМ коды временных интервалов между регистрируемыми цифровыми отсчетами и коды адресов конечных либо начальных линий спектров. Временной интервал соответствует числу пропущенных цифровых отсчетов и представляется четырехрядным двоичным кодом. Код временного интервала заносится в четные ячейки памяти СОЗУ, а код интенсивности линии спектра (ординаты) — в нечетные. Код адреса конечной линии спектра заносится в МОЗУ через интерфейс ИПП.

При переписи информации из СОЗУ в МОЗУ производится упаковка 8-разрядного кода ординаты и 4-разрядного кода временного интервала в 12-разрядное машинное слово. Память ЭВМ используется более эффективно.

Программный режим «ЭВМ — МОЗУ». В программном режиме работы системы развертка осуществляется по командам ЭВМ. Предварительно занесенные в память ЭВМ коды номеров линий по мере выполнения программы переписываются в регистр цифровой развертки. Поскольку скорость выдачи кодов номеров линий ЭВМ относительно невелика, использование СОЗУ в этом режиме неоправданно.

Для увеличения темпа измерения работа системы организуется так, что вывод адресов и управление системой выполняются ЭВМ через интерфейс ИПП, а ввод результатов — через интерфейс ИПД.

Если программа составлена так, что за первым кодом номера линии заносятся коды следующих номеров, то информация об интенсивности соответствующих линий будет расположена в МОЗУ в последовательных ячейках, начиная с первого адреса, установленного в режиме подготовки.

Основные узлы системы. Высоковольтный ЦАП. Для нормальной работы диссектора необходимо, чтобы на его отклоняющие пластины подавалось напряжение ± 600 В. Обеспечить напряжение ступенчатой формы в таком диапазоне оказалось возможным при использовании схемы с низковольтным цифроаналоговым преобразователем и высоковольтным усилителем [5]. Парафазное выходное напряжение получается на двух высоковольтных усилителях.

Согласующий усилитель. Сигнал, снимаемый с нагрузочного резистора фотоумножителя, поступает на вход АЦП по кабелю длиной до 30 м. Вследствие несогласованности высокого выходного сопротивления фотоумножителя и малого характеристического сопротивления кабеля необходим согласующий усилитель. Для уменьшения выходного сопротивления и увеличения отдаваемой в линию связи мощности на выходе усилителя установлен эмиттерный повторитель на транзисторах различного типа проводимостей. Погрешность нелинейности усилителя при сопротивлении согласующего резистора, включенного на выходном конце кабеля, 50 Ом не превышает 0,02%. Усилитель обеспе-

чивает передачу фронта импульса любой полярности с крутизной не менее 5 В/мкс.

Фиксатор и АЦП. Фиксатор основан на применении двухтактной разомкнутой схемы выборки и запоминания [6]. Эксперименты показали, что возможно создание фиксатора с погрешностью 0,3%, постоянной заряда около 80 нс и апертурным временем в несколько наносекунд. АЦП построен по методу поразрядного совпадения [7]. Число разрядов 8. Время измерения 400 нс.

СОЗУ представляет собой запоминающее устройство с произвольной выборкой [4]. Емкость СОЗУ 128 8-разрядных слов. Время записи в СОЗУ одного слова 200 нс.

БСД. Устройство адаптивного сжатия данных исключает избыточные цифровые отсчеты, обеспечивая восстановление сигнала методом линейной интерполяции с заданной погрешностью.

В основу работы БСД положен принцип аппроксимации функций спектра полиномами первой степени. Здесь применена экстраполяционная процедура поиска избыточных отсчетов. Положение аппроксимирующих прямых на каждом участке адаптивной дискретизации уточняется по мере поступления новых отсчетов спектра и окончательно определяется в конце интервала адаптивной дискретизации. В качестве критерия определения избыточности отсчетов применена величина максимально допустимой ошибки аппроксимации. БСД реализован в виде гибридного цифроаналогового вычислительного блока, построенного на микросхемах и дискретных элементах. Применение специализированного устройства сжатия данных в темпе работы АЦП обладает неоспоримым преимуществом перед использованием ЭВМ для целей сжатия, которое в силу недостаточного быстродействия ЭВМ привело бы к резкому увеличению интервала времени между спектрами.

Для синусоидальных сигналов сжатие осуществляется на частотах от 0 до 50 кГц. На частотах 3 кГц и ниже число регистрируемых отсчетов в 8—15 раз меньше отсчетов, выдаваемых АЦП.

Узлы связи системы и ЭВМ. *Интерфейсы программной передачи данных.* Линии связи этого интерфейса выполнены следующим образом. От разъемов ЭВМ отходят три группы линий: линии ввода данных, линии выдачи данных на внешнее устройство (ВУ), адресные линии (код селекции СК) и синхронизирующие импульсы (ВВИ). Линии вывода данных присоединены в ЭВМ к блоку линейных возбуждателей сумматора. Сигналы кода селекции снимаются с линейных возбуждателей буферного регистра (БР). Уровни сигналов ЭВМ приводятся к уровням системы с помощью согласователей уровня.

Внешние устройства присоединяются к перечисленным линиям через интерфейсные платы. Интерфейсная плата программной передачи данных (ИПП на рис. 2) содержит шестивходовую схему совпадения (ЛС) для выделения кода селекции данной платы, логические схемы передачи данных и формирования служебных импульсов. Значение кода селекции устанавливается с помощью переключателя П на наборном поле (от 1 до 77₈ или 64₁₀). Если плата предназначена для передачи данных от ЭВМ к ВУ, то ее входы присоединены к согласователям через заднюю стенку стойки и связаны с выходом сумматора (СМ) ЭВМ, а выходы — к установочным входам триггеров регистра ВУ. Если через плату необходимо передавать данные от ВУ к ЭВМ, то ее входы соединяются через кабель и разъем на передней стенке стойки с выходами триггера регистра ВУ.

Интерфейс прямого доступа используется для присоединения одного быстродействующего внешнего устройства и обмена информацией с ним в режиме «Разрыв данными» при непосредственном доступе к памяти. В системе использован одноцикловый режим работы ЭВМ, в котором обмен информацией происходит с максимально возможным для ЭВМ темпом — 1 12-разрядное слово за 2 мкс. Основная особенность процесса

ввода и вывода в режиме одноциклового разрыва состоит в необходимости формирования адреса ячеек МОЗУ, куда (или откуда) данные посылаются. Поэтому интерфейсные платы, обеспечивающие режим разрыва данными (ИПД на рис. 2), содержат регистр-счетчик адресов (РА), регистр чисел (РЧ) и соответствующие согласователи. Прежде чем начать обмен с ЭВМ через интерфейс прямого доступа, необходимо подготовить начальный адрес массива записываемых данных. Можно раз и навсегда выделить в МОЗУ определенный участок для этих данных, разрешая только определенные состояния счетчику адресов. Для ввода данных в режиме разрыва достаточно появления команды на разрыв данными (запроса). После появления запроса в ЭВМ выполняется текущая команда и наступает состояние разрыва данными. Каждым очередным тактовым импульсом содержимое регистра данных переписывается в МОЗУ по адресу, заданному регистром адресов.

Следует отметить, что для прекращения состояния разрыва необходима подача внешней команды, сбрасывающей триггер флага.

Интерфейс обмена данными системы с ЭВМ в режиме прямого доступа к памяти содержит регистр числа, регистр адреса, триггер запроса разрыва (Ф), триггер направления передачи. Поскольку в системе «Скиф» обмен данными в режиме разрыва происходит только в направлении ввода информации в ЭВМ, триггер направления передачи установлен в фиксированное положение.

Регистр числа ИПД состоит из триггеров, имеющих установочные входы и общую для всех триггеров шину очистки. Информация в регистр заносится с выходов сборки кодов от АЦП или СОЗУ. Регистр адреса ИПД представляет собой счетчик с последовательным переносом и возможностью установки кода начального адреса.

Для согласования уровня сигналов ЭВМ с уровнями сигналов системы выбран каскад по схеме с общей базой. Согласователь, выполненный по этой схеме, имеет хорошее быстродействие, небольшое число элементов.

Устройство управления системой. Устройство управления (УУ на рис. 1) предназначено для формирования сигналов, управляющих работой всех блоков системы. УУ содержит генератор, задающий темп работы системы в режиме автономных измерений и записи информации в СОЗУ, и узлы, позволяющие синхронизировать систему импульсами ЭВМ при занесении информации непосредственно в МОЗУ ЭВМ. Устройство управления формирует кодовые комбинации номера линии спектра, импульсы занесения этих кодов в регистр ЦАП канала цифрового отклонения луча, вырабатывает импульсы выборки, управляющие фиксатором, и импульсы запуска АЦП. Кроме того, в УУ формируются импульсы управления процессом записи и считывания информации в СОЗУ, а также в МОЗУ ЭВМ через канал прямого доступа к памяти.

УУ содержит кнопочные переключатели, позволяющие выбирать режим работы системы («Автоном», «ЭВМ»), скорость смены линий, число линий в спектре в режиме «Автоном», осуществлять включение СОЗУ, а также вручную производить смену линии от кнопки «Линия».

Конструкция системы. Конструктивно система выполнена в виде двух стоек — собственно системы и СОЗУ с БСД. Диссектор устанавливается вместе со спектральными приборами на оптической скамье. С целью минимизации емкости кабеля высоковольтные операционные усилители установлены на корпусе диссектора. Узлы блоков смонтированы на платах из стеклотекстолита размером 190×340 с выполнением монтажа фотопечатным способом.

Параметры системы: погрешность измерения интенсивности 1%; число линий спектра 256; минимальное время измерения одного спектра 128 мкс (при 256 линиях); число регистрируемых спектров 30.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Беломестных и др. Структура системы сбора данных для быстродействующего спектрофотометра.— Конференция по автоматизации научных исследований на основе применения ЭВМ. Тезисы. Системы сбора и обработки данных с помощью ЭВМ и их элементы. Новосибирск, 1972.
2. Э. П. Кругляков, Ю. Е. Нестерихин. Электронный прибор для регистрации оптических спектров и контуров спектральных линий во времени.— Теплофизика высоких температур, 1965, т. 3, № 4.
3. Р. Д. Баглай и др. Регистратор «Спектр» как элемент автоматизации спектральных исследований.— Автометрия, 1971, № 6.
4. В. М. Белов и др. Быстродействующее ОЗУ на интегральных микросхемах.— Автометрия, 1973, № 3.
5. А. Н. Касперович, В. И. Солоненко. Высоковольтный цифроаналоговый преобразователь.— Автометрия, 1973, № 6.
6. А. Н. Касперович, Н. В. Литвинов. О возможности использования двухтактного фиксатора уровня.— Автометрия, 1973, № 3.
7. В. Н. Вьюхин. Наносекундный аналого-цифровой преобразователь.— Автометрия, 1973, № 3.

Поступила в редакцию 12 ноября 1973 г.

УДК 681.208+681.325,5

А. Н. КАСПЕРОВИЧ, Ю. В. ШАЛАГИНОВ

(Новосибирск)

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО СЖАТИЯ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОЙ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

Одним из методов сокращения объема измерительной информации, регистрируемой в запоминающих устройствах при проведении научного эксперимента, является адаптивная дискретизация измеряемых сигналов. Сущность адаптивной дискретизации заключается в том, что измеряемые сигналы заменяются некоторым набором аппроксимирующих функций, которые позволяют впоследствии воспроизвести исходные сигналы с заданной точностью.

Адаптивное сжатие данных может производиться как универсальной ЭВМ (программным путем), так и специализированным счетно-решающим устройством (аппаратным путем). Как правило, сжатие с помощью аппроксимирующих полиномов первого и более высоких порядков осуществляется программным путем [1], а с помощью полиномов нулевого порядка — чаще специализированными счетно-решающими приборами. В то же время, как видно из сравнительных оценок различных алгоритмов сжатия [1, 2], алгоритмы с аппроксимирующими полиномами нулевого порядка имеют большую эффективность при допустимых погрешностях восстановления исходных сигналов в 5—10%, а алгоритмы, использующие аппроксимирующие полиномы первого порядка, имеют лучшие характеристики при погрешностях 1—3%.

Развитие экспериментальной техники требует создания систем сбора информации с быстродействием более 1 млн цифровых отсчетов в секунду при погрешности преобразования порядка 1—3% (см. например, [3]). Естественно, в таких системах сжатие данных может производиться только специализированными счетно-решающими устройствами, поскольку универсальные ЭВМ не могут обрабатывать информацию, поступающую с такой скоростью. При погрешности 1—3% целесообразно