

5. Беляев Ю. Н. и др. Возникновение турбулентности во вращающихся жидкостях.— Письма в ЖЭТФ, 1979, т. 29, вып. 6.
6. Кузнецов Е. А., и др. О проблеме перехода к турбулентности в течении Куэтта.— Письма в ЖЭТФ, 1979, т. 30, вып. 4.
7. L'vov V. S., Predtechenskii A. A. On Landau and Stochastic Attractor Pictures in the Problem of Transition to Turbulence.— Physica 2D, 1981, p. 38—51.
8. Львов В. С., Предтеченский А. А. Поэтапный переход к турбулентности в течении Куэтта.— В кн.: Нелинейные волны. Горький: ИПФ АН СССР, 1980.
9. Львов В. С., Предтеченский А. А., Черных А. И. Бифуркации и хаос в системе вихрей Тейлора: натурный и численный эксперимент.— ЖЭТФ, 1981, т. 80, № 3.
10. Donnelly R. J. Experiments on the Stability of Viscous Flow between Rotating Cylinders. IV. The Ion Technique.— Proc. Roy. Soc. A, 1965, vol. 283, p. 509—519.
11. Кутателадзе С. С. и др. Экспериментальное исследование пристенных турбулентных течений.— Новосибирск: Наука, 1975.
12. Томсонс Я. Я., Горбачев В. М., Малков В. А. Аппаратурное обеспечение эксперимента при электродиффузионной диагностике турбулентных потоков.— В кн.: Электродиффузионная диагностика турбулентных потоков: Сб. науч. тр. Новосибирск: ИТ СО АН СССР, 1973.
13. Журавель Ф. А., Кругляк З. Б. Аппаратные средства управления однокрейтовой системой КАМАК от ЭВМ ЕС или УВК М-4030.— Автометрия, 1980, № 4.
14. Журавель Ф. А., Кругляк З. Б. Математическое обеспечение терминального комплекса для УВК М-4030.— Автометрия, 1980, № 4.
15. Черных А. И. Численное моделирование цепочки вихрей Тейлора.— Новосибирск: ИАиЭ СО АН СССР, 1981. (Препринт АН СССР, Сиб. отд-ние, ИАиЭ; № 147).

Поступила в редакцию 23 сентября 1981 г.

УДК 621.373.826.032.265

**В. П. БЕССМЕЛЬЦЕВ, В. Н. БУРНАШОВ, Л. С. ВЕРТОПРАХОВА,
Д. А. ГРИЦЕНКО, И. С. ДЕГТЯРЕВ, А. И. ЖИЛЕВСКИЙ,
Ф. И. КОКОУЛИН, Г. А. ЛЕНКОВА, А. И. ЛОХМАТОВ**

(Новосибирск)

ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩИЙ ЛАЗЕРНЫЙ СКАНЕР С ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИМ КОНТРОЛЕМ

В Институте автоматки и электрометрии СО АН СССР ведутся работы по созданию новых устройств ввода/вывода информации ЭВМ, основанных на современных достижениях электроники и лазерной технологии. Разрабатываемые устройства могут применяться для быстродействующего прецизионного сканирования объектов, считывания и регистрации черно-белого и цветного, графического или полутонного изображения.

Основным узлом разрабатываемых устройств является сканер, построенный на основе зеркального резонансного вибратора, угловые положения которого контролируются лазерным интерферометром. Такая конструкция обеспечивает более чем 10^4 разрешаемых элементов в строке с высокой точностью позиционирования при относительно низкой стоимости изготовления [1]. Применение зеркала в качестве отклоняющего элемента позволяет использовать источники света с широким диапазоном мощностей и длин волн.

Электронные узлы управления и контроля сканера выполнены в стандарте КАМАК, что значительно упрощает подключение устройства к различным типам ЭВМ и обеспечивает видоизменение его структуры.

Сканер (рис. 1) состоит из трех основных частей: зеркального дефлектора, лазерного интерферометра и электронной системы управления. Зеркало дефлектора установлено на оси электромагнитного вибратора 1 и освещается лазерным пучком, сформированным оптической системой, не входящей в состав сканера. На обратной стороне зеркала расположены уголкового призматические отражатели 2, 3, образующие плечи интерферометра.

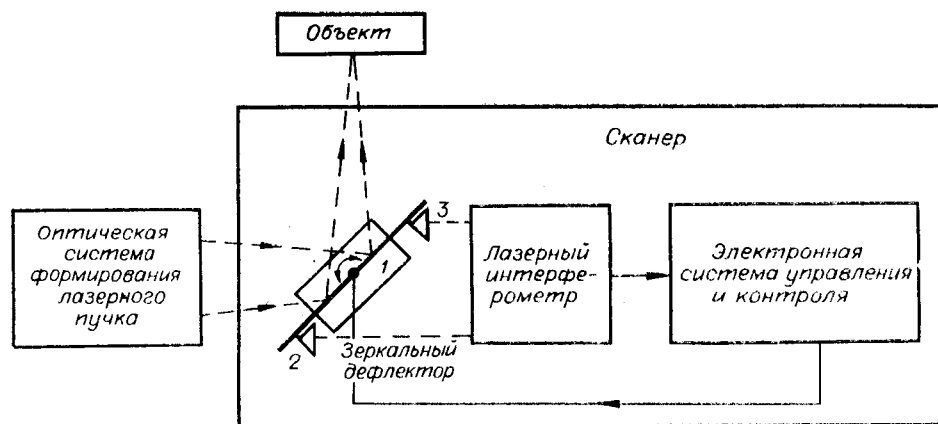


Рис. 1.

При повороте зеркала сфокусированное пятно лазерного пучка перемещается вдоль строки, и таким образом осуществляется однокоординатная развертка изображения. Поскольку уголкового отражателя перемещаются совместно с зеркалом, то изменяется разность хода лучей в интерферометре. Сигналы интерферометра несут информацию о величине угла поворота зеркала, а следовательно, о положении сканируемого пятна.

Электромагнитный вибратор состоит из ротора, изготовленного из мягкого железа, и четырехполюсного статора, собранного из пластин трансформаторной стали (рис. 2). Ротор устанавливается в статоре на двух подшипниках и образует четыре воздушных зазора с соответствующими полюсными наконечниками. Сбалансированный магнитный поток смещения в каждом зазоре создается парой постоянных магнитов.

Для повышения резонансной частоты ротора и уменьшения зазора в подшипниках один его конец дополнительно соединен со статором через пружинящий стержень — торсион. Изменяя длину и сечение торсиона, можно варьировать резонансную частоту развертки. Общий вид вибратора с зеркалом показан на рис. 3.

Особое внимание уделялось стабилизации оси поворота зеркала, так как смещения сфокусированного пятна в направлении, перпендикулярном строчной развертке, значительно снижают качество изображения. Экспериментально было установлено, что эти смещения носят резонансный ха-

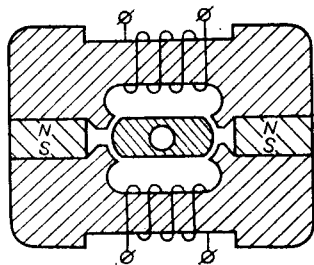


Рис. 2.

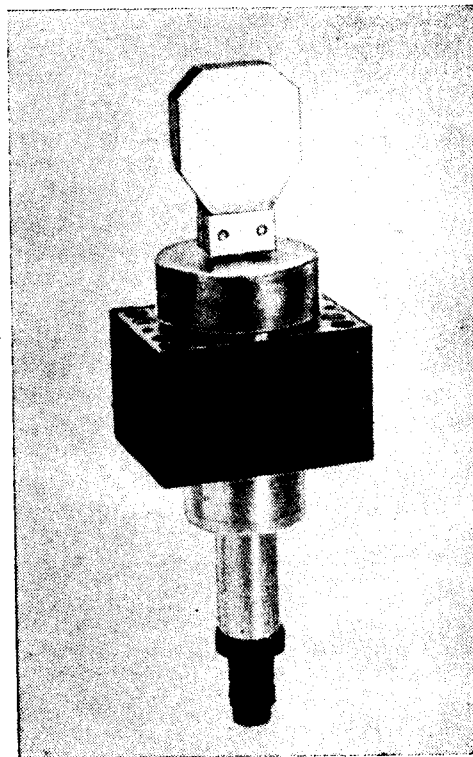


Рис. 3.

рактически. Максимальные колебания строки наблюдаются в тех случаях, когда зависимость угла поворота зеркала от времени имеет гармоническую составляющую, частота которой совпадает с резонансной частотой колебаний зеркала в вертикальной плоскости. Для зеркала размером $50 \times 50 \times 10$ мм эта частота равна ~ 350 Гц. Поперечные смещения пятна увеличиваются также при удалении зеркала от точек опоры ротора. Изменение резонансной частоты развертки и выбор места закрепления зеркала снижают нестабильность оси поворота зеркала до $0,5''$.

Интерферометр. Для измерения углов развертки применен интерферометр с несимметричным ходом лучей относительно оси поворота зеркала (рис. 4). Как показано в работе [2], в этом случае наблюдается минимальное взаимное смещение интерферирующих лучей. При углах поворота зеркала $\alpha = \pm 4^\circ$ и расстоянии между вершинами угловых отражателей $h = 30$ мм это смещение не превышает $0,15$ мм.

Показание интерферометра l и величина смещения пятна L на экране связаны с углом поворота зеркала соотношениями $l = h \sin \alpha$ и $L = f \operatorname{tg} 2\alpha$, если экран плоский и расположен на расстоянии f от зеркала, или $L = 2f\alpha$, если экран имеет радиус кривизны, равный f . Из этих формул в первом приближении следует линейная зависимость между L и l :

$$L = (2f/h)l. \quad (1)$$

Например, для $f = 750$ мм и $h = 30$ мм при изменении разности хода интерферирующих лучей на одну длину волны λ (т. е. $\delta l = \lambda/2 = 0,317$ мкм) пятно смещается на $\delta L = 16$ мкм (луч поворачивается на $4''$) независимо от полного угла поворота зеркала α .

Если пользоваться приближением (1) при больших углах развертки, то появляется погрешность в оценке смещения пятна, относительная величина которой для изогнутого и плоского экрана соответственно равна

$$\Delta L/L = [(\sin \alpha)/\alpha] - 1,$$

$$\Delta L/L = [(2 \sin \alpha)/\operatorname{tg} 2\alpha] - 1.$$

Отклонение от линейной зависимости при $\alpha = \pm 4^\circ$ составляет для этих двух случаев $0,1$ и $0,73\%$.

Испытание интерферометра проводилось в схеме со сканирующим зеркалом, расположенным перед фокусирующим объективом. В такой схеме устраняется расфокусировка пятна на плоском экране при больших углах поворота. Для контроля точности положения применялся интерферометр ДИП-2 с двухчастотным He-Ne-лазером в качестве источника [3] при расстоянии между отражателями $h = 65$ мм. В поле сканирования (в фокальной плоскости объектива с $f = 750$ мм) устанавливалась штриховая шкала, погрешность делений которой не превышала 2 мкм. На рис. 5 представлены экспериментальный и теоретический (расчетный) графики абсолютного отклонения ΔL от линейной зависимости (1). Как видно из графиков, теоретическое отклонение ΔL_T больше измеренного ΔL_3 . Вероятно, в нашем случае измеренное отклонение частично компенсировалось дисторсией объектива.

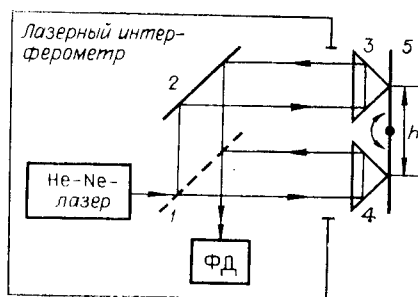


Рис. 4.

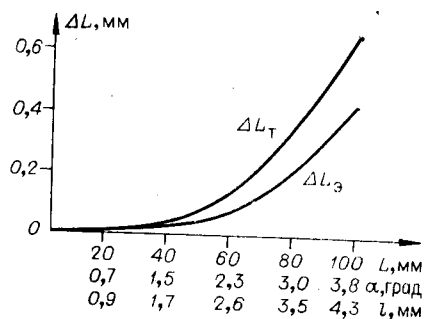


Рис. 5.

Зеркало сканера. Для оптических систем с лазерными источниками критерием разрешения, эквивалентным критерию Рэля, является условие, согласно которому два пятна считаются разрешимыми, если модуляция интенсивности в суммарной картине составляет 11%. В режиме полуплоскостной регистрации глубина модуляции должна быть не менее 85%.

Угловое расстояние r разрешимых пятен связано с диаметром объектива D равенством

$$r = \kappa \lambda / D. \quad (2)$$

Здесь λ — длина волны излучения; κ — коэффициент пропорциональности, зависящий от глубины модуляции и соотношения $\rho = D/D_0$, где D — диаметр фокусирующего объектива, D_0 — диаметр входного лазерного пучка на уровне падения интенсивности в e^2 раз. В работе [4] показано, что значения ρ в пределах $1 \div 1,7$ являются оптимальными в отношении размера сфокусированного пятна и энергетических потерь, которые составляют соответственно $13,5 \div 0,4\%$. Значения коэффициентов κ для выбранного соотношения ρ и заданной глубины модуляции можно получить из графиков, приведенных в [5].

Из формулы (2) следует, что при известном значении κ разрешение определяется размером диаметра объектива. Например, для регистрации аэрокосмических изображений требуется разрешение 5700 элементов [6]. Это значит, что при $\alpha = \pm 4^\circ$, т. е. при развертке луча на $\pm 8^\circ$, необходимо иметь $r = 4,89 \cdot 10^{-5}$ ($10,1''$). Учитывая это требование и значения коэффициентов κ из [5], равные $\sim 1,9 \div 2,6$ для $\rho = 1 \div 1,7$ и глубины модуляции 85%, получаем из (2), что значения D должны лежать в пределах $25 \div 34$ мм. Если зеркало дефлектора расположено под углом 30° к падающему пучку, то его рабочая поверхность должна иметь вид эллипса, короткая ось которого составляет $25 \div 34$ мм, а длинная — $29 \div 39$ мм. Эти расчеты были основой для выбора размера поверхности зеркала.

Другие характеристики зеркала определялись исходя из требований его температурной и механической стабильности. Первое требование вызвано тем, что точность показаний лазерного интерферометра зависит от постоянства расстояния между угловыми отражателями, опорой для которых служит зеркало; второе — тем, что деформация поверхности зеркала приводит к искажению формы и размера сфокусированного пятна, а следовательно, к снижению разрешающей способности.

Известно [7], что при больших угловых ускорениях зеркало подвергается S -образному изгибу, максимальная величина которого связана с параметрами зеркала следующим соотношением:

$$\delta = 2,8 \cdot 10^{-2} (D^5/h^2) (\ddot{\alpha} \rho / E), \quad (3)$$

где D и h — ширина и толщина зеркала, $\ddot{\alpha}$ — угловое ускорение, ρ и E — плотность и модуль Юнга материала зеркала.

Для выполнения требований температурной и механической стабильности в качестве материала зеркала был выбран кварц, имеющий низкий коэффициент теплового расширения (10^{-6}) и достаточно малое значение ρ/E ($2,9 \cdot 10^{-12}$ $\text{с}^2/\text{см}^2$).

На основе (3) определялась толщина зеркала. Экспериментально было установлено, что в статическом положении зеркала искажения формы пятна становятся заметными при неплоскостности в $0,3 \div 0,4$ интерференционной полосы, что соответствует деформации поверхности $\delta = 0,2 \div 0,3$ мкм. При $\alpha = \pm 4^\circ$, $D = 50$ мм и частоте развертки 150 Гц динамические деформации такого порядка наблюдаются, если толщина зеркала меньше чем $8 \div 10$ мм.

Электронная система управления и контроля. При создании сканера ставилась задача обеспечить независимость структуры его аппаратной части от конкретного применения в комплексах обработки изображений. Это достигнуто за счет реализации электронной системы управления ска-

пером в стандарте КАМАК с использованием «интеллектуального» контроллера, на который возложены функции адаптации сканера к конкретной системе обработки изображений.

На рис. 6 представлена типовая структура системы, предназначенной для записи изображений лазерным лучом. Управление частотой, фазой и амплитудой колебаний зеркала электромагнитного дефлектора (ЭМД) осуществляется блоком управления, состоящим из модуля стабилизации амплитуды (МСА), фазового генератора (ФГ) и драйвера сканера (ДС). Данные об угловом положении зеркала поступают в блок от модуля контроля координат (МКК).

МКК осуществляет привязку внешних данных об оптической плотности элементов изображения к координатам сканирующего пятна в плоскости экрана по сигналам лазерного интерферометра (ЛИ). Информация от источника внешних данных (ИВД) поступает на модулятор (М) через буферную память (БП) и драйвер модулятора (ДМ). Назначение БП — согласование темпа ввода данных от внешних устройств с темпом их записи на носитель и направлением движения записывающего луча.

Управление и контроль лазерного сканера осуществляются «интеллектуальным» контроллером, представляющим собой универсальный крейт-контроллер К-16 (КК), сопряженный с типовой микро-ЭВМ («Электроника-60»). Микро-ЭВМ также обеспечивает диалоговый режим с оператором через терминал (Т) и обмен данными с ИВД (ЭВМ, накопители на магнитных лентах, дисках и т. п.).

Для передачи данных от ИВД со скоростью, превышающей скорость обмена данными через магистраль КАМАК, используется отдельная шина данных, подключаемая к БП через внешний разъем. Если при этом ИВД работает в автономном режиме (например, при синхронном приеме данных с бортовых комплексов спутника для наблюдения Земли), частота и фаза колебаний зеркала ЭМД подстраиваются фазовым генератором в соответствии с темпом работы ИВД.

Поясним более подробно функционирование специализированных модулей сканера. На рис. 7 приведена блок-схема модуля контроля координат. Сигналы интерферометра И поступают на входы трех формирователей: опорных импульсов (ФОИ), строки (ФСТ) и синхроимпульсов (ФСИ). ФОИ преобразует сигналы И в опорные импульсы (ОИ), несущие информацию о координате луча. ФСТ выдает сигнал НД о направлении движения луча и строб СТР, соответствующий нахождению луча в зоне кадра, если вывод данных разрешен. При наличии строга ФСИ по опорным импульсам генерируют синхроимпульсы (СИ), служащие для привязки записываемого элемента изображения к координате лазерного луча. Для исправления геометрических искажений, вызванных нелинейностью показаний интерферометра, положение СИ корректируется относительно ОИ. Функция коррекции хранится в ФСИ в табличной форме.

Режимы работы ФСТ и ФСИ, а также функция коррекции для ФСИ задаются программно через магистраль КАМАК. Сигналы НД и СТР поступают на две сквозные шины $P1$ и $P2$ магистрали и могут быть непосредственно использованы другими модулями.

Функциональная схема блока управления дефлектором представлена на рис. 8.

Модуль драйвера сканера задает ток катушек электромагнитного дефлектора. Модуль управляется аналоговым сигналом Φ с фазового генератора. Вид функции развертки ЭМД — амплитудно-временных характеристик сигнала Φ — запрограммирован в модуле фазового генератора. При синхронном приеме для совмещения операций вывода блока данных (строки изображения) и приема новых данных фаза сигнала Φ подстраивается таким образом, чтобы согласовать начало строга СТР с внешним импульсом (ВИ) начала блока данных от ИВД.

Амплитудой тока катушек ЭМД управляет сигнал $(U_0 - \Delta U_0)$, поступающий от модуля стабилизации. Этот сигнал формируется на осно-

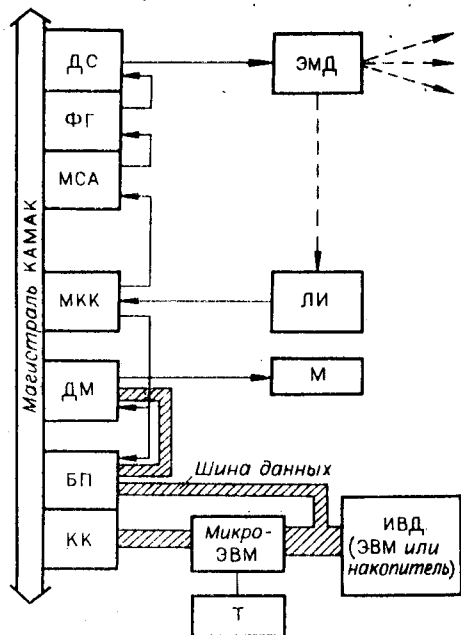


Рис. 6.

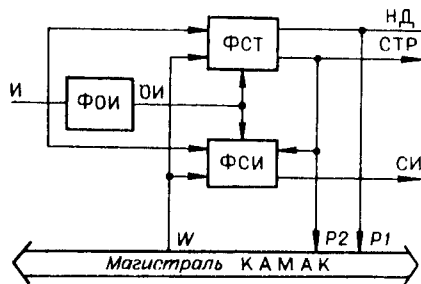


Рис. 7.

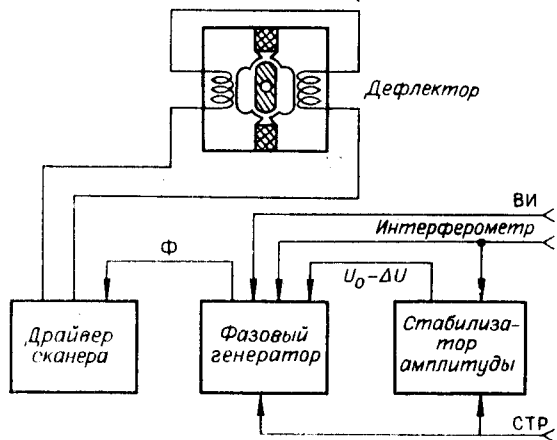


Рис. 8.

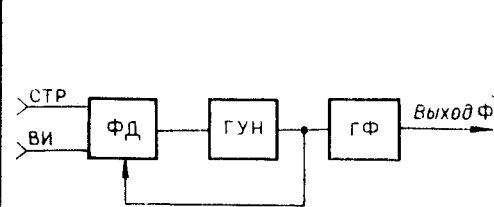


Рис. 9.

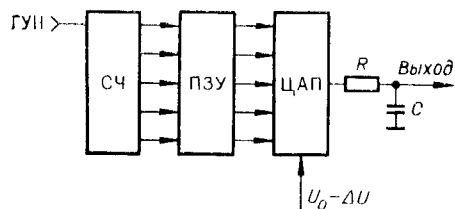


Рис. 10.

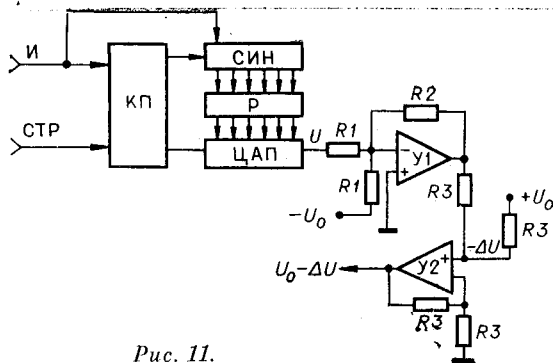


Рис. 11.

ваний данных об угле поворота зеркала дефлектора, получаемых от модуля контроля координат.

Модуль фазового генератора (рис. 9) состоит из фазового детектора (ФД), генератора, управляемого напряжением (ГУН), и генератора функций развертки (ГФ). На один вход фазового детектора подается строб СТР, а на другой — сигнал ВИ.

Работа фазового детектора основана на выделении RS -триггером интервала между началом СТР и ВИ и заполнении его импульсами высокой частоты с ГУН. Импульсы с ГУН, заполнившие интервал, подсчитываются счетчиком и запоминаются в регистре. С приходом сигнала ВИ происходит перезапись данных с выхода регистра в цифроаналоговый преобразователь (ЦАП). Таким образом на выходе ЦАП образуется напряжение U_1 , пропорциональное разности фаз между СТР и ВИ.

ГУН построен по схеме RC -генератора с сопротивлением обратной связи, меняющимся от входного напряжения U_1 . Сопротивлением обратной связи служит фотодиод, входящий в оптронную пару.

Генератор функций развертки с программируемой формой выходного сигнала выполнен по схеме, представленной на рис. 10. Сигнал с ГУН подается на счетный вход 8-разрядного двоичного счетчика (СЧ), выходы которого соединены с адресными входами постоянного запоминающего устройства ПЗУ, задающего вид функции. Сигналы с выходов ПЗУ поступают на входы ЦАП, преобразующего цифровой сигнал в аналоговый. Генератор, построенный по этой схеме, позволяет не только менять вид функции развертки сигнала, но и работать в широком диапазоне частот, отслеживая с высокой точностью фазовые изменения выходного сигнала без изменения его амплитуды.

Модуль стабилизации амплитуды. При работе в режиме с переключением скоростей развертки или в синхронном режиме, где частота сканирования может меняться в широком диапазоне, требуется стабилизация амплитуды колебаний зеркала сканера. Измерение амплитуды колебаний производится подсчетом числа импульсов интерферометра между двумя положениями зеркала, при которых происходит изменение знака его скорости. Структурная схема модуля приведена на рис. 11.

Модуль состоит из схемы определения крайних положений зеркала (КП), счетчика интервала (СИН), регистра (Р) и ЦАП. Блок КП работает по принципу выделения максимального временного интервала между импульсами интерферометра. Цифровые данные с выхода СИН, пропорциональные амплитуде угловых поворотов зеркала α , запоминаются регистром Р и сохраняются до следующего цикла измерения. Выходы регистра соединены со входами ЦАП. Сигнал U с выхода ЦАП поступает на схему, выделяющую разность ΔU между ним и опорным напряжением U_0 . Следующий каскад представляет собой суммирующий неинвертирующий усилитель.

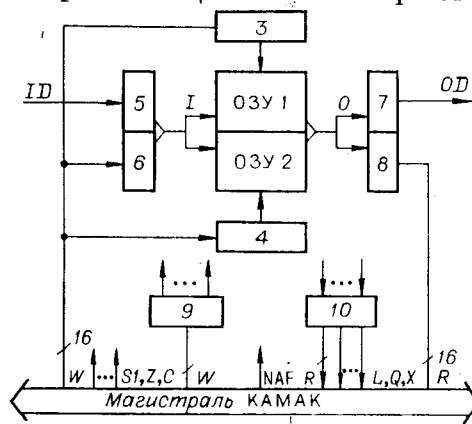


Рис. 12.

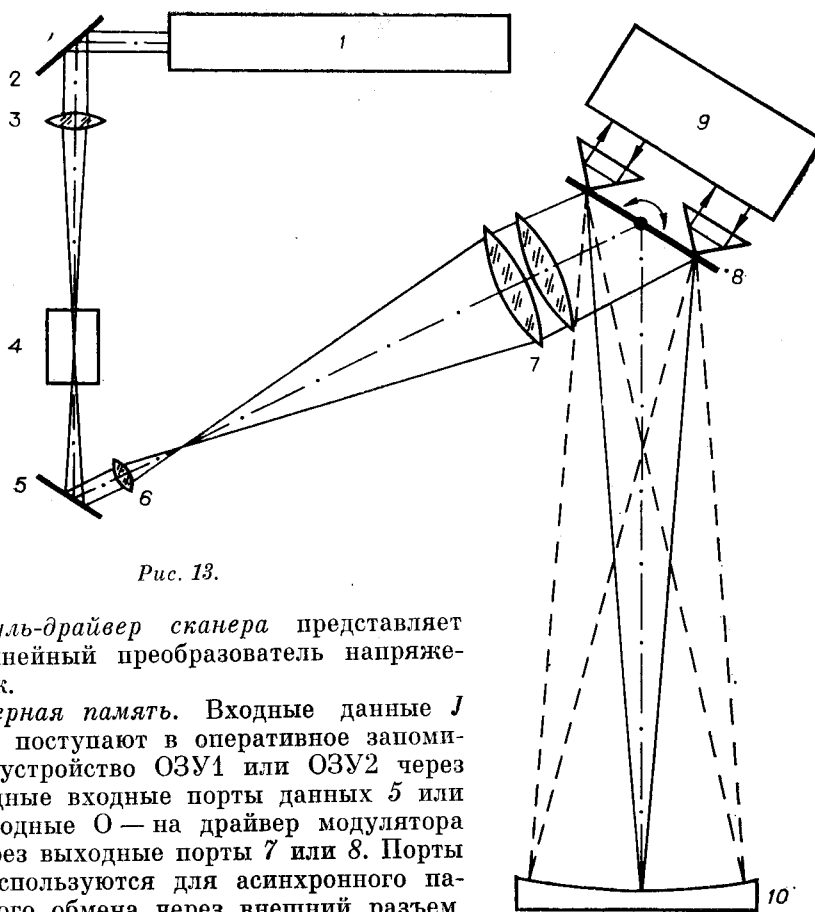


Рис. 13.

Модуль-драйвер сканера представляет собой линейный преобразователь напряжения в ток.

Буферная память. Входные данные J (рис. 12) поступают в оперативное запоминающее устройство ОЗУ1 или ОЗУ2 через 16-разрядные входные порты данных 5 или 6, а выходные O — на драйвер модулятора (ДМ) через выходные порты 7 или 8. Порты 5 и 7 используются для асинхронного параллельного обмена через внешний разъем, а 6 и 8 — с магистралью КАМАК. Адрес ОЗУ1 и ОЗУ2 задается соответственно регистрами адреса 3 и 4 с возможностью автоматически изменять свое содержимое на ± 1 после каждого цикла обмена данными порта с ОЗУ (режим последовательного доступа).

Регистр управления 9 определяет режим работы каждого ОЗУ (источник или приемник данных), используемые при обмене данными входные и выходные порты, направление адресации (+1 или -1) для каждого из регистров 3 и 4. Регистр 10 отображает состояние модуля, а также выдает сообщение об обнаружении ошибок при обмене данными. Данные на регистры 3, 4 и 9 поступают от магистрали КАМАК.

Благодаря разбиению ОЗУ на два блока с самостоятельной адресацией модуль может совмещать ввод данных в один из блоков ОЗУ с выводом из другого с учетом направления развертки записываемого луча. Доступ к ячейкам памяти через внешние порты данных последовательный с максимальной скоростью $2 \cdot 10^6$ 16-разрядных слов в секунду, а через магистраль КАМАК произвольный. Емкость каждого ОЗУ 8 Кбайт, что достаточно для информации об одной строке изображения в полутоновом виде (18 192 точки при 256 градациях яркости).

Драйвер модулятора формирует импульс напряжения, амплитуда которого определяется входными данными, поступающими в модуль либо через передний разъем, либо через магистраль КАМАК в зависимости от выбранного режима работы. Момент его подачи на модулятор определяется синхроимпульсом СИ.

Испытание разработанного сканера проводилось на макете лазерного регистратора изображений, оптическая схема которого представлена на рис. 13: 1 — He-Ne-лазер; 2, 5 — поворотные зеркала; 3 — линза, прое-

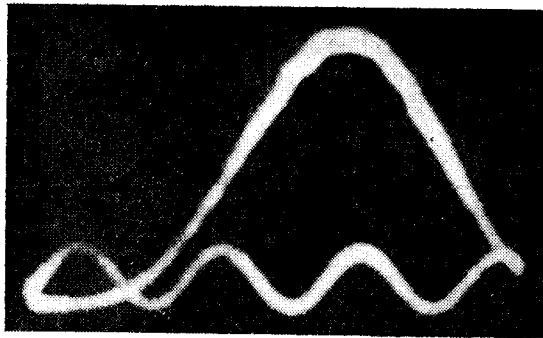


Рис. 14.

цирующая перетяжку лазерного излучения в рабочую область модулятора; 4 — модулятор; 6 — конденсор, фокальное расстояние которого выбирается так, чтобы $\rho = 1$ для фокусирующего объектива 7; 7 — объектив, образованный двумя коллимирующими объективами с фокусными расстояниями $f_1 = 400$ и $f_2 = 800$ мм; 8 — зеркальный дефлектор; 9 — лазерный интерферометр ($h = 34$ мм); 10 — кассета с

радиусом кривизны, равным расстоянию между зеркалом и поверхностью фокусировки (750 мм). Развертка изображения в вертикальной плоскости осуществляется перемещением кассеты с помощью шагового двигателя.

Управление режимами электронных блоков сканера, шаговой протяжкой и модулятором обеспечивалось микро-ЭВМ Э-60, связанной с макетом регистратора через контроллер К-16. Программная поддержка осуществлялась ЭВМ NORD-10, соединенной с Э-60 последовательным интерфейсом. Для взаимодействия оператора с Э-60 применялся терминал УТ-340.

Тестовое изображение записывалось на фотоленку шириной 210 мм. Размер сфокусированного пятна на уровне падения интенсивности в e^2 раз составлял 30 мкм при диаметре пучка 28 мм.

На рис. 14 приводится функция распределения интенсивности в сфокусированном пятне с одновременной регистрацией сигналов с лазерного интерферометра. В диаметр пятна, равный 43 мкм по нулевому уровню, вписываются три интерференционные полосы, каждая из которых соответствует перемещению пятна на 14 мкм.

На рис. 15 показаны: а — фрагмент развертки сфокусированных пятен, интервалы между которыми задаются модулятором (увеличение в 27 раз, расстояние между строками 320 мкм); б, в — форма пятна при частоте сканирования 150 Гц соответственно в центре и на краю строки (увеличение в 100 раз); г, д, е — фрагменты теста и его увеличенного изображения соответственно в 8 и 25 раз.

Испытания сканера показали, что он имеет следующие технические характеристики: число элементов в строке, разрешимых по критерию Рэля, 10 700, при глубине модуляции 85% — 6500, угловое расстояние разрешимых элементов соответственно 5" и 9"; угол поворота зеркала $\pm 4^\circ$; число адресуемых позиций в строке 60 000; максимальная скорость обмена данных 2 Мбайт/с; частота развертки 50 ÷ 180 Гц; максимальная частота электромагнитного вибратора (без зеркала) 500 Гц; мощность, потребляемая вибратором, 1 Вт; нелинейность угла поворота от входного тока катушки 1%, девиация частоты при синхронном приеме данных $\pm 10\%$; максимальный размер зеркала 50 × 50 × 10 мм³.

Высокая скорость и точность, возможность синхронного и асинхронного обмена данными, удобное сопряжение с другими устройствами свидетельствуют о том, что сканер удовлетворяет требованиям, предъявляемым к современным устройствам приема, обработки, ввода и вывода изображений. Сканер может найти широкое применение в высокоскоростных лазерных дисплеях и регистраторах, в устройствах для измерения размеров объектов, при обработке аэрокосмических снимков и т. д.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность В. П. Коронкевичу и В. С. Соболеву за обсуждение статьи и постоянную помощь в работе.

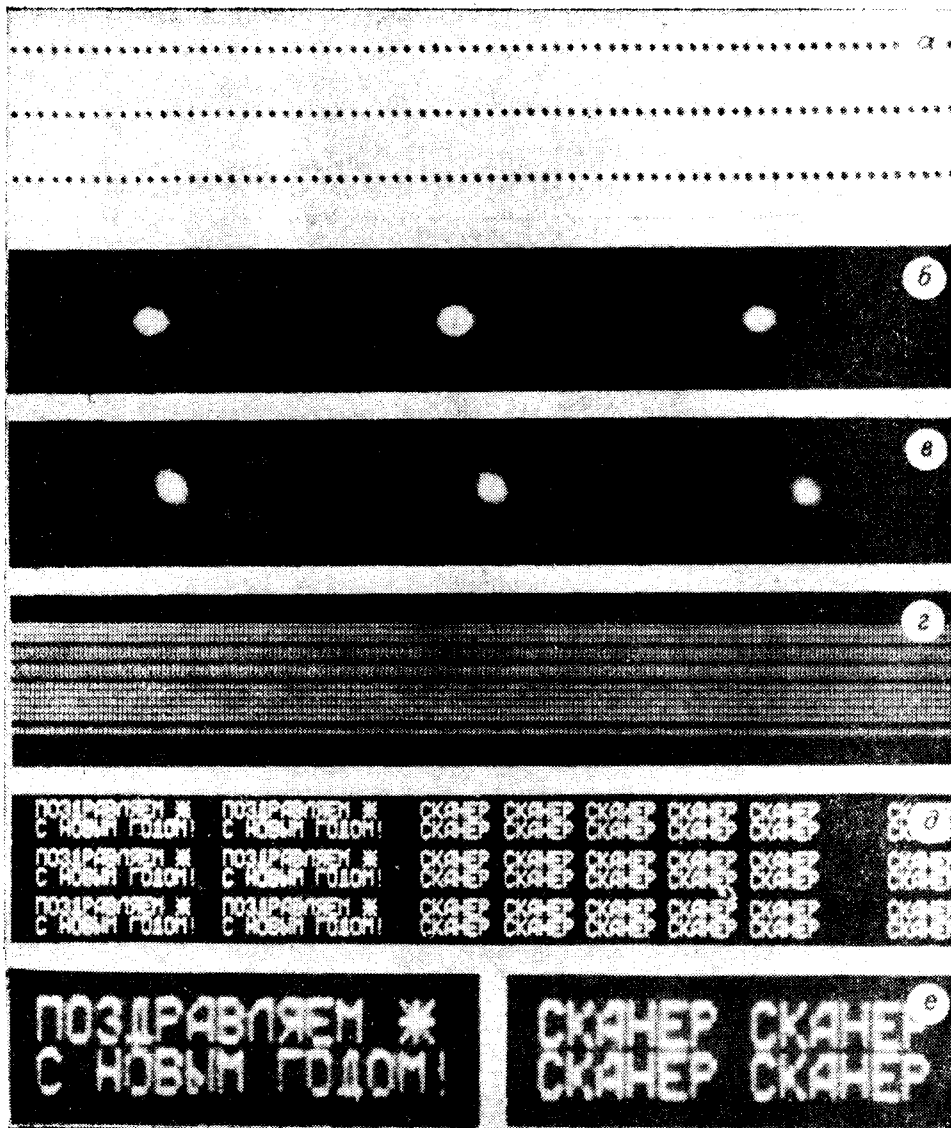


Рис. 15.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерительные сканирующие приборы/Под ред. д. т. н. Б. С. Розова.— М.: Машиностроение, 1980.
2. Ленкова Г. А. Анализ и сравнение угловых сканирующих интерферометров.— Автометрия, 1981, № 1.
3. Агутов С. Н. и др. Измеритель угловых и линейных перемещений на основе двух-частотного лазера.— Автометрия, 1975, № 5.
4. Вологдин Э. И., Коченов В. И., Шишкина Е. В. Оптические схемы воспроизведения записи с видеогрампластинки сфокусированным лучом лазера.— Техника средств связи. Сер. ТРПА, 1978, вып. 2.
5. Randolph J., Morrison J. Rayleigh — Equivalent Resolution of Acoustooptic Deflection Cells.— Appl. Opt., 1971, vol. 10, N 6, p. 1453—1454.
6. Селиванов А. С., Тучин Ю. М. Радиотелевизионный комплекс спутников «Метеор» для исследования природных ресурсов Земли.— Исследование Земли из космоса, 1981, № 5.
7. Zook D. Light Beam Deflector Performance: A Comparative Analysis.— Appl. Opt., 1974, vol. 13, p. 875—887.

Поступила в редакцию 23 ноября 1982 г.