

пропускания τ в заданной ЭВМ точке. При этом в вычислительную машину выдается 7-разрядный код τ .

Основные технические характеристики ЭСУ: быстродействие в режиме поиска 10^5 точек/с; минимальный размер светового пятна на выходе оптической системы 3–5 мкм; размер рабочего поля сканирования переменный (зависит от используемого объектива); число адресуемых точек 4096×4096 ; количество уровней квантования коэффициента пропускания 128; нестабильность сканирующего растра 0,1%.

На рис. 5 приведена увеличенная фотография изображения, построенного на фотопластинке с высоким разрешением по программе от ЭВМ на ЭСУ. Размер изображения на фотопластинке $1,0 \times 0,8$ мм². Ширина линии 3–5 мкм.

Поступила в редакцию 31 декабря 1976 г.

УДК 621.3.087 : 681.3

М. И. АЛЬКАЕВ, В. М. ВЕДЕРНИКОВ, А. М. ШЕРБАЧЕНКО
(Новосибирск)

ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЕ МОДУЛИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОГО АВТОМАТА «ЗЕНИТ»

В фотограмметрическом автомате «Зенит» [1], структурная схема которого изображена на рис. 1, используется сочетание механической системы перемещения плоского фотоносителя и электронно-оптической системы с электронно-лучевой трубкой. Датчиками перемещений служат два лазерных интерферометра. Измерение координат каретки, управление ее движением, положением луча электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), измерение оптической плотности в выбранной точке, а также управление интенсивностью засветки фотоматериала осуществляют программно-управляемые модули по командам, поступающим из ЭВМ «Минск-22» через специально разработанный контроллер. В статье рассмотрены принципы построения программно-управляемых модулей, предназначенных для работы с лазерными интерферометрами, и специализированного контроллера к ЭВМ «Минск-22».

Обмен цифровыми данными между ЭВМ и контроллером производится по байтам. В табл. 1 приведены обозначения линий связи между

Таблица 1

Обозначение линий для передачи/приема данных от ЭВМ	Число линий	Передаваемые сигналы
D_W/D_R	8	Данные, команды, адреса
Q_W/Q_R	1	Признак готовности ЭВМ/фотограмметрического автомата
S_W/S_R	1	Синхроимпульсы
L_W/L_R	1	Конец вывода/ввода данных

ЭВМ «Минск-22» и контроллером, их число и передаваемые по ним сигналы. Для передачи команд, служебной информации и для обмена данными между контроллером и программно-управляемыми модулями используются магистральные линии связи, обозначения которых приведены на рис. 1. Для передачи цифровых данных используется 26 шин (W) записи данных, 24 шины (R)

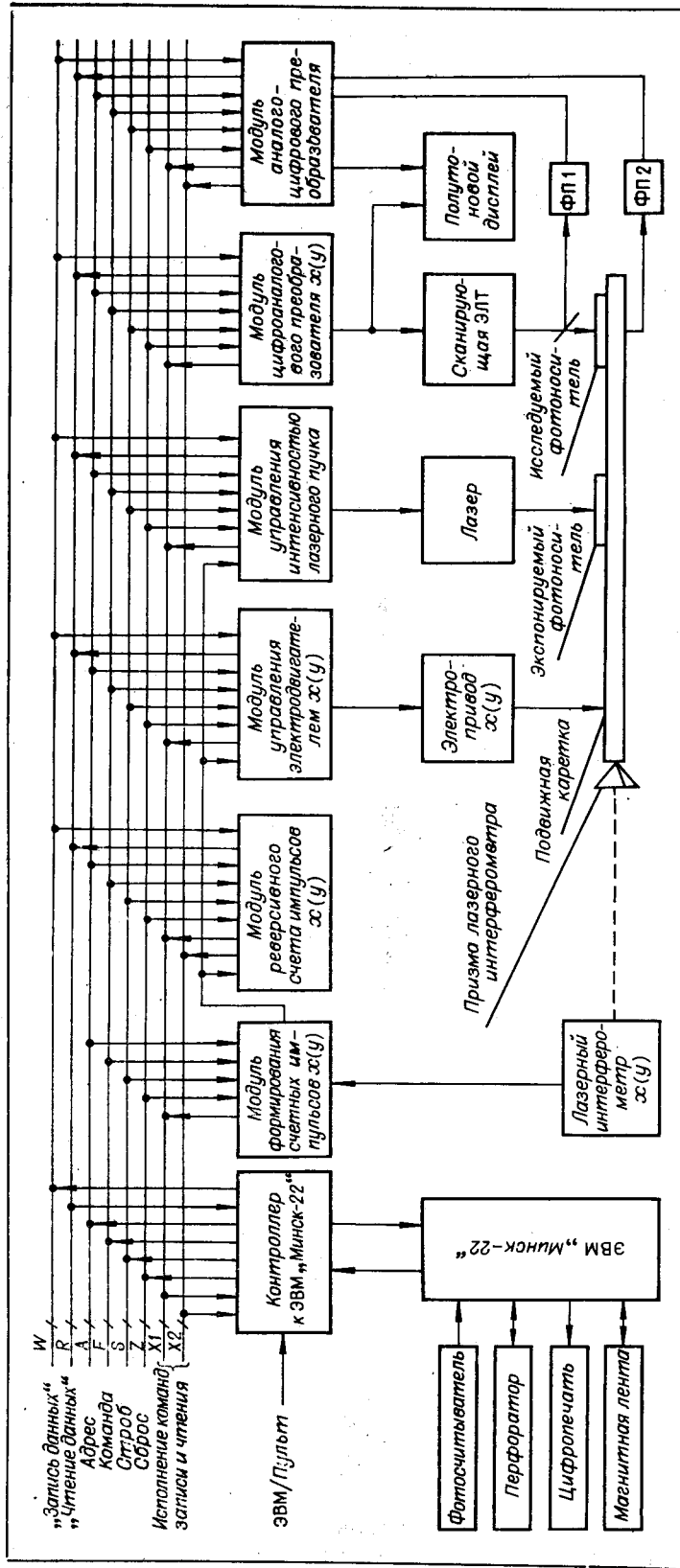


Рис. 1.

Таблица 2

Наименование модуля	Выходы дешифратора команд	Команда	Представление команды в восьмеричном коде
Модуль формирования счетных импульсов $x(y)$	1	Дискретность перемещения $\lambda/8$	2015(2115)
	2	Дискретность перемещения $\lambda/2$	2025(2125)
Модуль реверсивного счета импульсов $x(y)$	1	Запись данных в счетчик параллельным кодом	2005(2105)
	2	Сброс счетчика	0005(0105)
	3	Чтение данных	6405(6505)
Модуль управления электродвигателем $x(y)$	1	Пуск	0105
	2	Стоп	0005
	3	Позиционирование	0115(0215)
	4	Постоянная скорость	2115(2215)
	5	Сброс счетчика CR1	0205(0305)
	6	Сброс счетчика CR2	0215(0315)
	7	Запись данных в CR1	2205(2305)
	8	Запись данных в CR2	2215(2315)
Модуль управления модулятором аргонового лазера	1	Импульсный режим	2765
	2	Потенциальный режим	0765
	3	Включение модуля	2445
	4	Выключение модуля	0445
	5	Сброс счетчика CR	0775
	6	Запись кода в регистр DR1	2745
	7	Запись кода в регистр DR2	2775

для чтения данных из модулей. Восемь шин (A) отведено для адресов отдельных устройств в модулях, две шины (F) — для команд записи/чтения данных в модули фотограмметрического автомата и из них. По одной шине используется для передачи синхронизирующего сигнала S , сигнала «Общий сброс» Z , а также сигналов исполнения команд записи $X1$ и чтения $X2$ данных.

Команды управления модулями и их представление в восьмеричном коде приведены в табл. 2.

Контроллер. Структурная схема контроллера представлена на рис. 2. При разработке контроллера использовались микросхемы серии 155. Все сигналы, осуществляющие обмен информацией между ЭВМ и контроллером, приводятся к требуемым уровням в преобразователе уровней сигналов.

По команде ЭВМ-64 $A1 A2$ содержимое ячейки с адресом $A1$ заносится в регистр $R1$, на шине Q_w выставляется сигнал «Готов ЭВМ» и содержимое регистра $R1$ по байтам записывается в приемный регистр контроллера $DR1$. Каждый байт сопровождается синхроимпульсом «СИ вывода». Синхроимпульсы через логическую схему Э2 поступают в счетчик импульсов и после дешифрации управляют записью каждого байта слова, начиная со старшего, в соответствующие разряды регистра $DR1$. Таким образом, к концу пятого синхроимпульса на шинах магистрали A, F, W устанавливаются сигналы, соответствующие кодам адреса, команды и данных. Все команды модулей автомата «Зенит» разбиты на две группы: команды управления и записи данных в модули и чтения данных из модулей. Дешифрация команд в модулях происходит по синхроимпульсу «Конец вывода». Получив команду, модуль исполняет ее и в зависимости от типа команд формирует на одной из шин $X1$ или $X2$ сигнал исполнения команды.

Если в модуль поступает управляющая команда или команда записи данных, последний формирует сигнал исполнения команды $X1$, который

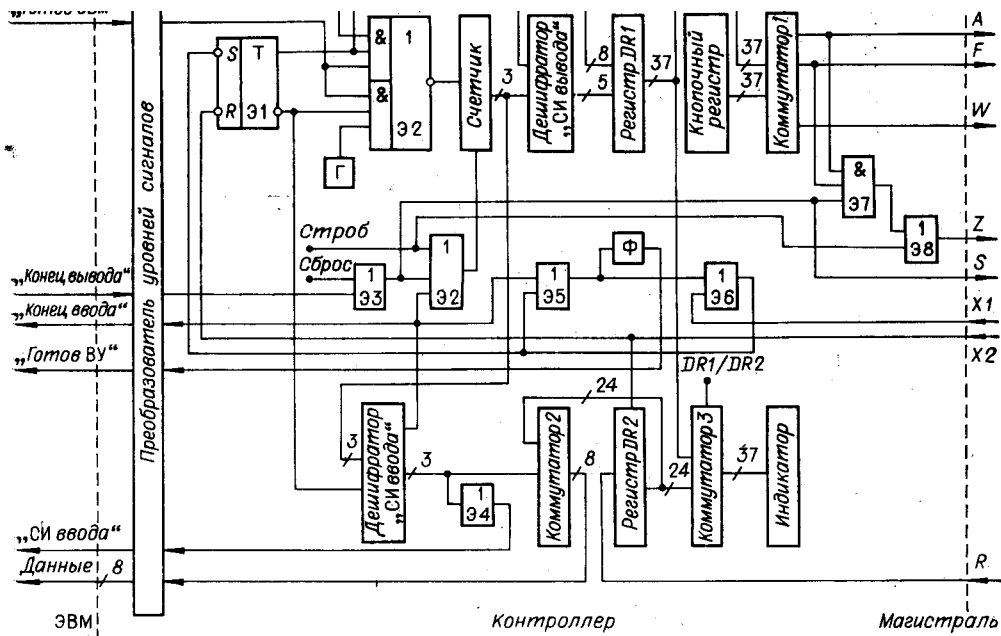


Рис. 2.

в контроллере поступает через логический элемент Э6 на S-вход триггера Т ввода/вывода данных, подтверждая состояние этого триггера, а также через элемент Э5 на формирователь Ф, формирующий сигнал «Готов ВУ». ЭВМ воспринимает этот сигнал и разрешает новый цикл обмена информацией с модулями фотограмметрического автомата.

Если в модуль поступает команда «Чтение данных», то после ее исполнения в модуле формируется сигнал X2, который записывает данные модуля в регистр DR2 и поступает на R-вход триггера Т. Выходной сигнал триггера Т разрешает поступление на счетчик импульсов генератора Г тактовой частоты, которые после дешифрации управляют работой коммутатора 2, обеспечивая ввод данных с регистра DR2 в регистр R2 ЭВМ. Передача данных в ЭВМ происходит за три такта. Четвертый импульс, поступивший от генератора Г в счетчик, дешифрируется как синхриимпульс «Конец ввода данных» и используется для установки триггера Т и счетчика в исходное состояние, а также для формирования сигнала готовности («Готов ВУ» фотограмметрического автомата) к новому циклу обмена с ЭВМ.

Контроллер содержит также дешифратор команды «Общий сброс», формирующий сигнал на шине Z для установки всех устройств в модулях в исходное состояние. Для автономной работы контроллера предусмотрен 37-разрядный кнопочный регистр, с которого через коммутатор 1 на шинах магистрали могут быть выставлены коды адреса, команды и данных. По синхриимпульсу «Строб» происходит дешифрация команды, поступающей в модуль. Исходная установка всех устройств контроллера происходит по сигналу «Сброс». Состояния триггеров регистров DR1 и DR2 могут быть прочитаны на индикаторе магистрали, подключаемом к ним через 37-разрядный коммутатор 3.

Модуль формирования счетных импульсов (рис. 3) предназначен для усиления сигналов фотоприемников лазерного интерферометра, пре-

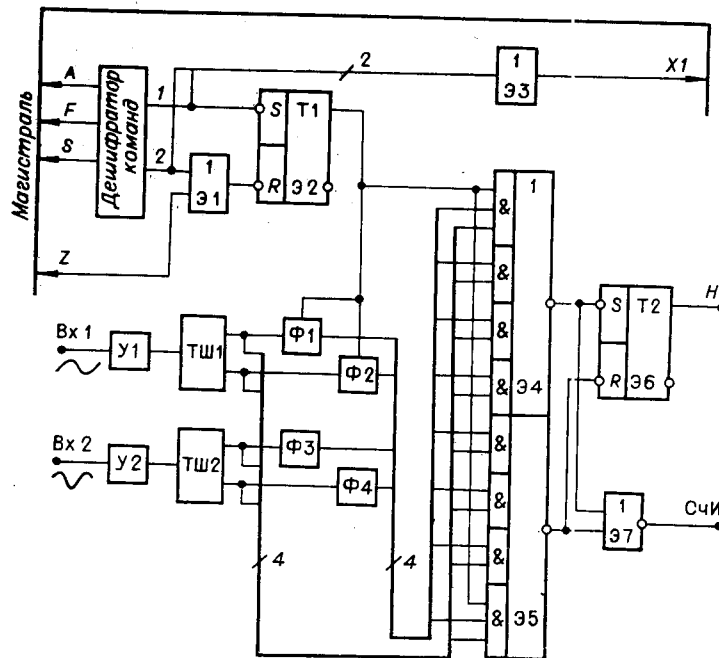


Рис. 3.

образования их в последовательность прямоугольных импульсов и формирования сигналов направления движения каретки. При движении подвижной призмы лазерного интерферометра вдоль оси x (y) на выходе фотоприемников формируются два гармонических сигнала, сдвинутые по фазе на 90° . Эти сигналы предварительно усиливаются усилителями $У1$ и $У2$ и поступают на триггеры Шмитта $ТШ1$ и $ТШ2$. Из положительных и отрицательных фронтов выходных сигналов этих триггеров устройствами $\Phi1 - \Phi4$ формируются счетные импульсы (СЧИ). После логического суммирования счетных импульсов с потенциальными выходами триггеров $ТШ1$ и $ТШ2$ на выходах элементов $\mathcal{E}4$ и $\mathcal{E}5$ образуются две последовательности импульсов, каждая из которых соответствует одному из направлений движения каретки [3]. Импульсы указанных последовательностей поступают на установочные входы триггера $T2$, выходной сигнал H которого определяет направление движения каретки, а также на входы логического элемента $\mathcal{E}7$. Появление каждого выходного импульса элемента $\mathcal{E}7$ соответствует перемещению каретки на $0,32$ или $0,08$ мкм. Выбор требуемого шага дискретности перемещения осуществляется управляющим сигналом триггера $T1$. Модуль обеспечивает формирование счетных импульсов длительностью 200 нс в диапазоне частот выходного сигнала фотопреобразователей $0-3$ МГц.

Модуль реверсивного счетчика (рис. 4) предназначен для преобразования величины перемещения каретки в 24-разрядный двоичный код и хранения текущего значения координаты каретки. Модуль содержит реверсивный счетчик CR , регистр данных DR , вентили для записи и чтения данных соответственно в счетчик CR и из регистра DR , дешифратор команд модуля и схему формирования сигналов исполнения команд записи $X1$ и чтения $X2$ данных. Счетчик CR осуществляет реверсивный счет импульсов, формируемых в рассмотренном выше модуле. При установке каретки в исходное положение по команде «Сброс» производится установка триггеров счетчика в состояние «0»; таким образом, при любых перемещениях каретки число в счетчике будет соответствовать теку-

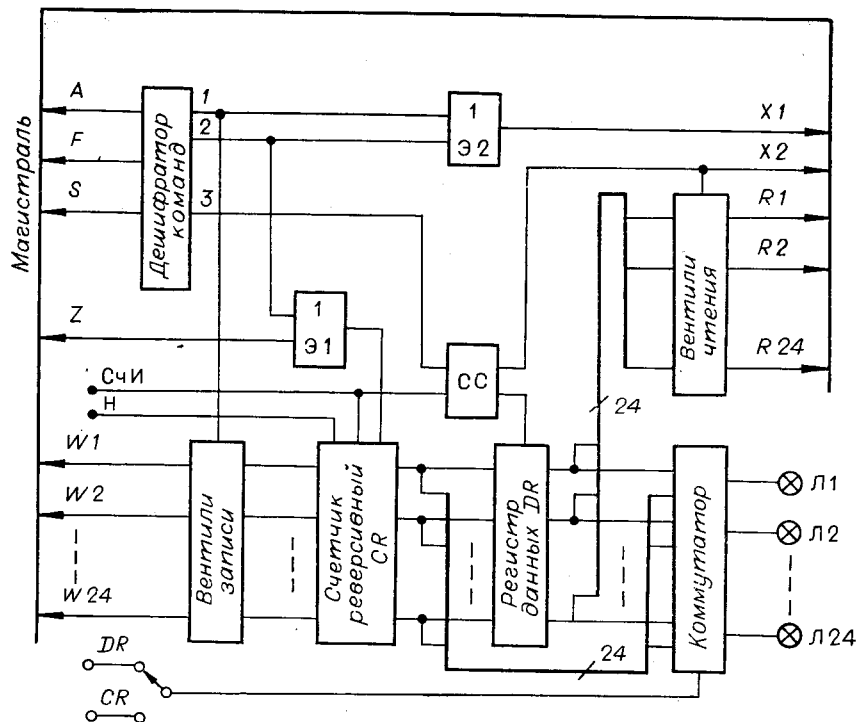


Рис. 4.

щему значению координаты. Реверсивный счетчик, как в этом модуле, так и в модулях, рассматриваемых ниже, выполнен по схеме [4], обеспечивающей реверсивный счет импульсов в прямом коде, независимо от направления движения каретки относительно исходной точки, выбранной за начало координат. Опрос содержимого разрядов счетчика (максимально возможная частота опроса счетчика составляет 10 кГц) производится по команде «Чтение», причем импульс опроса синхронизируется схемой СС со счетным импульсом и задерживается до установления кода в счетчике CR. В зависимости от положения переключателя CR/DR, управляющего работой коммутатора, состояния триггеров счетчика CR или регистра данных DR могут быть проконтролированы с помощью светодиодов Л1 — Л24. Максимальная частота счета импульсов составляет 5 МГц.

Модуль управления электродвигателем (рис. 5) предназначен для формирования сигналов управления электродвигателем в режимах «Позиционирование каретки» и «Движение каретки с постоянной скоростью». В отличие от [5] в рассматриваемом модуле принцип пропорционального управления реализуется с помощью цифрового регулятора. Модуль, структурная схема которого изображена на рис. 5, содержит дешифратор команд, схему формирования сигнала исполнения команд X1, реверсивные счетчики CR1 и CR2 с вентилями записи данных, широтно-импульсный модулятор ШИМ, двоичный умножитель, состоящий из генератора Г, счетчика импульсов CR, импульсно-потенциальных вентилях Э10 и логического элемента Э13 и преобразующий код числа счетчика CR1 в последовательность импульсов, частота которых прямо пропорциональна числу, записанному в счетчике CR1. Кроме перечисленных узлов, в состав модуля входят число-импульсный сумматор, дискретный фильтр, дискриминатор частот ДЧ и логическая схема ЛС.

В режиме «Позиционирование каретки» после занесения в счетчики CR1 и CR2 значений приращения координаты и ошибки рассогласования

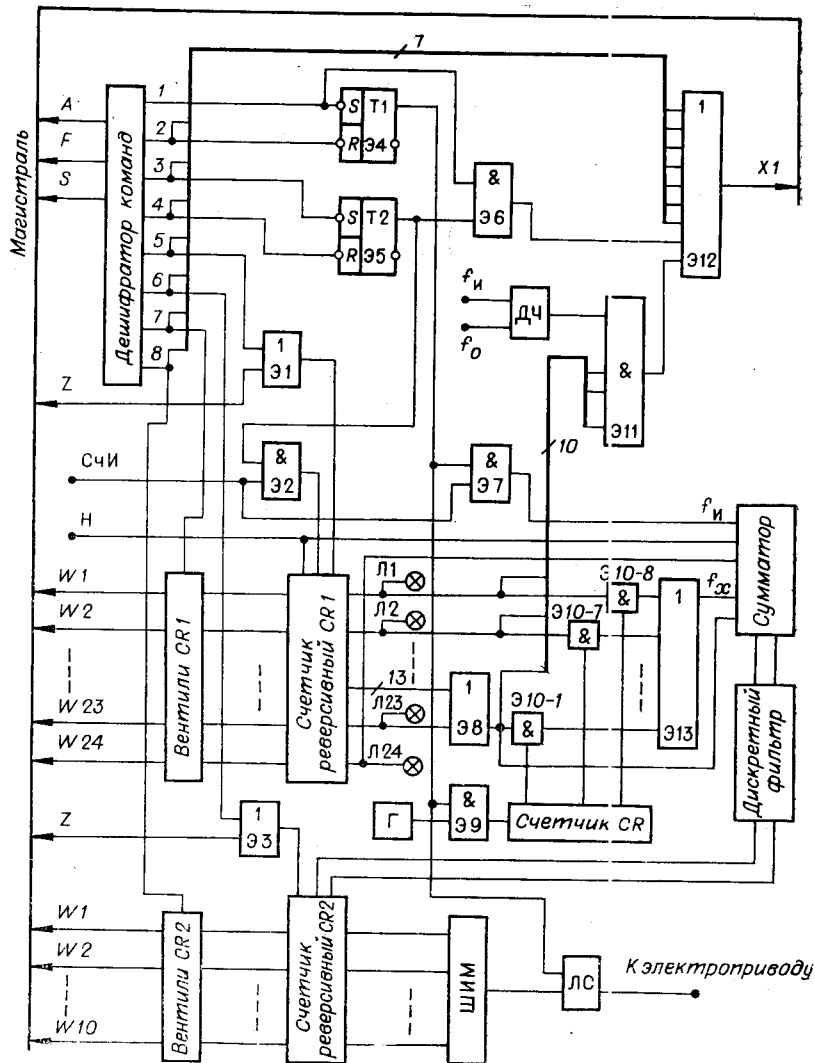


Рис. 5.

и после получения команды «Пуск» широтно-импульсный модулятор вырабатывает сигнал управления электродвигателем, который будет стремиться переместить каретку в заданную точку. При этом на числоимпульсный сумматор начнут поступать две последовательности импульсов, одна из которых f_n прямо пропорциональна скорости движения каретки, а другая f_x — ошибке рассогласования. Кроме указанных импульсных последовательностей, на входы сумматора поступают сигналы, соответствующие знакам направления перемещения каретки и величине рассогласования. После алгебраического суммирования импульсных последовательностей они поступают через дискретный фильтр в счетчик CR2. Таким образом, общее регулирующее воздействие, поступающее на широтно-импульсный модулятор, равно сумме трех составляющих

$$y = N - \int_0^t f_n dt + k \int_0^t f_x dt,$$

где N — число, пропорциональное ошибке рассогласования, заносимое

перед командой «Пуск» в счетчик $CR2$; $\int_0^t f_n dt$ — число импульсов модуля формирования счетных импульсов; $k \int_0^t f_x dt$ — число импульсов, пропорциональное ошибке рассогласования; k — коэффициент пропорциональности. Разность $N - \int_0^t f_n dt$ представляет собой составляющую, пропорциональную величине рассогласования в период переходного процесса; следовательно, регулирующее воздействие, поступающее на ШИМ, пропорционально сумме величины рассогласования и интеграла этой величины.

В момент, когда значения рассогласования и скорости движения каретки становятся меньше заданных, логический элемент Э11 формирует сигнал, сообщающий о том, что каретка вышла в точку с заданными координатами.

В режиме «Движение каретки с постоянной скоростью» после получения из контроллера команд записи кода числа в счетчик $CR1$ и команды «Пуск» каретка начинает двигаться в заданном направлении, определяемом знаком числа в счетчике $CR1$. При этом импульсы, поступающие с модуля формирования счетных импульсов, не проходят на вход реверсивного счетчика $CR1$. Импульсы, получаемые с выхода элемента Э13 двоичного умножителя и модуля формирования счетных импульсов, через число-импульсный алгебраический сумматор и дискретный фильтр поступают в реверсивный счетчик $CR2$. Реверсивный счетчик определяет разность числа импульсов, поступивших с указанных устройств. Число, записанное в счетчике $CR2$, преобразуется в широтно-импульсный сигнал, который через ЛС управляет силовым приводом электродвигателя.

Разработанный модуль обеспечивает максимальную скорость перемещения каретки от 20 мкм/с до 1 см/с. Вывод каретки в заданное положение производится с погрешностью 0,08 или 0,32 мкм.

Модуль управления модулятором аргонового лазера (рис. 6) предназначен для формирования импульсного или потенциального сигнала управления модулятором интенсивности лазерного пучка. Модуль содержит дешифратор команд, схему формирования Э6 сигнала исполнения команд модулем, триггеры Т1 режима работы и Т2 управления модулем, регистр $DR1$ для записи и хранения кодов, соответствующих интенсивности излучения лазера, вентили регистра $DR1$ и цифроаналоговый преобразователь ЦАП. Кроме указанных устройств, модуль содержит схему формирования импульса заданной длительности в моменты, когда каретка перемещается на заданную величину. Она состоит из регистра данных $DR2$, реверсивного счетчика CR , компаратора кодов, включающего формирователь импульса заданной длительности. Уровень выходного сигнала цифроаналогового преобразователя задается кодом, записываемым по команде контроллера в регистр $DR1$.

В импульсном режиме работы модуля в момент сравнения кодов регистра данных $DR2$ с кодом реверсивного счетчика CR , регистрирующим величину перемещения каретки, происходит формирование импульсного сигнала, в течение которого на выходе цифроаналогового преобразователя существует импульсный сигнал отрицательной полярности. По переднему фронту импульса, поступающего с компаратора кодов, производится установка триггеров счетчика CR в исходное «нулевое» состояние. В потенциальном режиме выходной сигнал триггера Т1 запрещает поступление счетных импульсов на вход элемента Э4. Этот же сигнал поддерживает на выходе Э4 сигнал постоянного уровня, который открывает по управляющему входу вентили регистра $DR1$, обеспечивая на

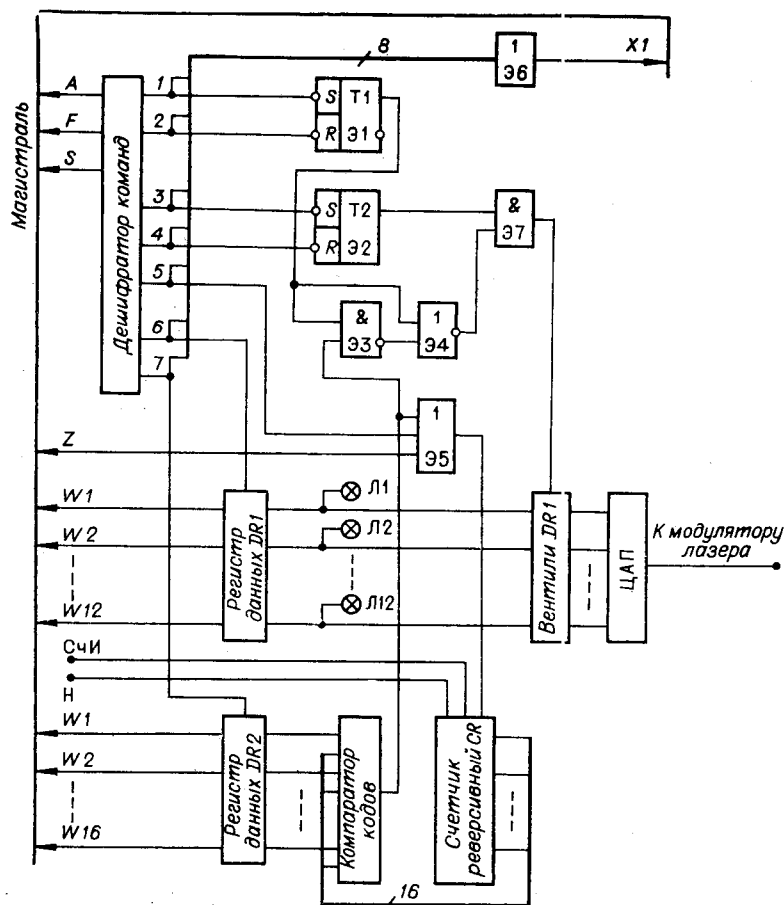


Рис. 6.

выходе цифроаналогового преобразователя неизменный уровень выходного напряжения, пропорциональный числу, записанному в регистре DR1.

Разработанный модуль позволяет управлять интенсивностью излучения лазерного пучка с максимальной частотой включения 500 Гц при максимальной длительности импульсного сигнала 1 мс. Амплитуда выходного сигнала цифроаналогового преобразователя 1024 мВ, число разрядов 10.

Рассмотренные в статье модули использовались в фотограмметрическом автомате «Зенит» при изготовлении на светочувствительных материалах простейших киноформных элементов [6], при измерении координат изображений, зарегистрированных на фотоносителе. На рис. 7 приведено изображение фотомаски из 114×114 элементов, изготовленной с помощью описанных выше блоков. Максимальная погрешность нанесения точек диаметром 0,5 мм в узлы решетки с шагом 1 мм не превышала 1,2 мкм. Время изготовления фотомаски составило 30 минут.

Заключение. Испытания контроллера и модулей в составе прецизионного фотограмметрического автомата «Зенит» показали их высокую надежность в работе. Описанные в статье модули могут использоваться в прецизионных координатно-измерительных устройствах и фотопостроителях, в станках с программным управлением, системах автоматического регулирования технологических процессов. Широкому использованию

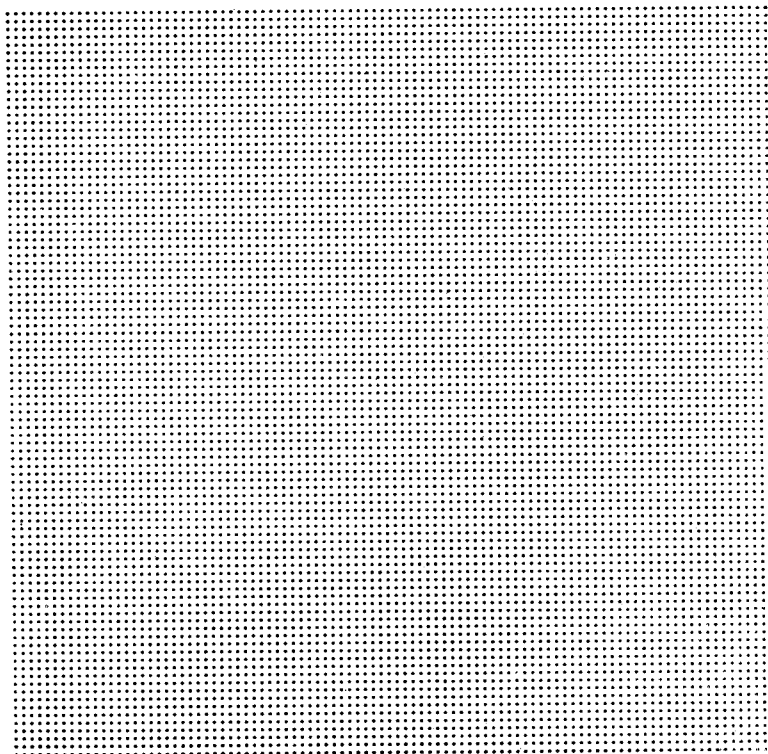


Рис. 7.

этих модулей в перечисленных и других случаях будет способствовать разработке их в соответствии с одним из стандартов, обеспечивающим конструктивную, электрическую и логическую совместимости модулей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурый Л. В., Коронкевич В. П., Нестерихин Ю. Е., Нестеров А. А., Пушной Б. М., Ткач С. Е., Щербаченко А. М. Прецизионный фотограмметрический автомат.— «Автометрия», 1974, № 4, с. 83—89.
2. Калачев О. М., Якубович М. М. Программирование для ЭЦВМ «Минск-2» и «Минск-22». М., «Сов. радио», 1971.
3. Кирьянов В. П., Клисторин И. Ф., Щербаченко А. М. Электронное устройство счета и регистрации для лазерного измерителя перемещений.— «Автометрия», 1971, № 1, с. 21—36.
4. Алькаев М. И., Ведерников В. М., Щербаченко А. М. Устройство для реверсивного счета импульсов.— «ПТЭ», 1976, № 2, с. 67—69.
5. Бурый Л. В., Кузнецов С. А., Луговой Л. Г., Нестеров А. А., Пушной Б. М. Электромеханическая система позиционирования фотограмметрического автомата «Зенит».— «Автометрия», 1977, № 3, с. 12—19.
6. Коронкевич В. П., Меерсон А. Е., Ремесник В. Г., Чейдо Г. П., Щербаченко А. М. Синтез киноформов в реальном масштабе времени.— «Автометрия», 1977, № 2, с. 29—38.

Поступила в редакцию 13 января 1977 г.