

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА**

**В.Д. СМОЛИН**

**УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ  
УЧПУ «РАЗМЕР- 4»**

*Учебное пособие к курсовой работе*

**САМАРА 2002**

УДК 621.9.-06

**Устройство и принцип действия УЧПУ «Размер-4»:** Учебное пособие к курсовой работе по станкам с числовым программным управлением /Самарского государственного аэрокосмического университета; Составитель Смолин В.Д.. Самара, 2001, с.

Учебное пособие к курсовой работе знакомит студентов с типовым устройством числового программного управления (УЧПУ) «Размер-4», установленным на многоцелевом станке МС12-250М1 с автоматической сменой инструмента. В методическом пособии рассматриваются вопросы, связанные с работой УЧПУ и выполняемыми им функциями. Описывается конструкция и функции основных блоков УЧПУ.

Учебное пособие предназначено для студентов дневного и вечернего отделения СГАУ, выполняющих курсовую и лабораторные работы по станкам с ЧПУ. Подготовлено на кафедре «Механической обработки материалов».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева.

Рецензент: А.В.Тарасов

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящее и будущее машиностроительного производства связано с использованием станков с ЧПУ, являющихся сложным комплексом, включающим в себя лучшие достижения электроники, компьютерной техники и механики. Основным функциональным блоком этого комплекса является устройство числового программного управления (УЧПУ), которое есть специализированная ЭВМ. Функция технолога, планирующего изготовление изделия на этом станке (комплексе), схожи с функциями программиста, отлаживающего написанную программу для обычной ЭВМ с каким-либо периферийным устройством (в нашем случае этим устройством является металлорежущий станок). Для решения этой задачи необходимо обладать достаточно глубокими общетехническими и специальными знаниями и умениями. Следует подчеркнуть, что в обозримом будущем этап отладки управляющей программы (УП) для изготовления детали на рабочем месте будет обязательно присутствовать, не смотря на бурное развитие технологической революции.

## 1. УЧПУ «РАЗМЕР 4»

УЧПУ станка MC12 обеспечивает согласованное перемещение механизмов станка по криволинейной или прямолинейной траектории при обработке контура детали, позиционирование механизмов в заданное положение, управление вспомогательными механизмами станка.

УЧПУ выполнена на базе встроенной малой ЭВМ с заданием алгоритма работы в ПЗУ. Объем буферной памяти один кадр программы. Формат кадра:

%6. N4. G2. XL+043. YL+043. ZL+043. A(W)L+043.RL+043. CL+043. F041. S041. E043. H043. P+043. T4. M2. LF.

Ввод программы может осуществляться с перфоленты (ПЛ), вручную и от ЭВМ. Кодирование информации в коде ИСО-7бит. Задание геометрической информации реализуется в абсолютных или относительных размерах. Программирование безэквидистантное.

### 1.1. Реализуемые функции.

*F* – подача в мм/мин или мм/об (до 20 м/мин).

*S* – скорость главного привода в об/мин ( до 5000 об/мин).

*T* – номер программируемого инструмента (до 99 инструментов), по этому же адресу программируется коррекция.

*G* – подготовительные функции (9 групп).

*M* – вспомогательные функции (9 групп).

*H* – выполнение повторяющейся подпрограммы.

*E* – выдержка времени от 0 до 9999 с.

*P* – резервная функция.

УЧПУ может выполнять: ввод программы обработки детали и отображение ее на экране индикатора; обеспечение редактирования программы с последующей выдачей на перфоратор или ЭВМ; управление главным приводом; коррекцию скорости главного привода и подачи; ориентацию шпинделя; смену инструмента с автоматическим поиском инструмента в магазине; линейную, круговую и винтовую интерполяцию; автоматический разгон и торможение; позиционирование; нарезание резьбы; контроль вводимой информации на четность и запрещенные комбинации; индикацию ошибок и неисправностей УЧПУ; коррекцию программы (смещение нуля отсчета и учет размеров инструмента); управление механизмами станка при выполнении постоянных циклов; управление вспомогательными операциями.

### Основные технические данные УЧПУ «Размер-4-0601»\*.

Структура устройства – на базе малой ЭВМ с заданием алгоритма работы в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ).

Объем буферной памяти – один кадр программы. Количество каналов управления – 8. Задание геометрической информации в абсолютных и относительных размерах.

Дискретность задания геометрической информации:

- по линейным координатам – 0,001 мм;
- по круговым координатам – 0,001 мм;
- поворот шпинделя (С) – 0,0005 оборота;
- поворот магазина инструментов – 1 ячейка.

Дискретность задания частоты вращения шпинделя – 0,1 об/мин.

Наибольшая величина программируемого перемещения:

- по линейным координатам – 9999,999мм;
- по круговым координатам – 360°;
- поворот шпинделя – 4999,999 оборота;
- поворот магазина инструментов – 1 оборот.

Наибольшая величина подачи – до 20000 мм/мин;

- дискретность задания подачи – 0,1 оборот.

Программируемая выдержка времени – до 9999,99 с.

Кодирование функций G и M по ГОСТ 20999-75,

**G** – функций – 9 групп,

**M** – функций – 9 групп.

Считывание с ПЛ – 300 строк/с с перемоткой,

- наибольшая длина ПЛ – 200м.

Количество программируемых инструментов – до 99;

- количество коррекций размеров инструмента по длине и радиусу – до 42.

Элементная база – ИМС серии К155 и К141;

- устройство ПЗУ на магнитных сердечниках.

## **1.2. Структура, функции и роль УЧПУ в работе СЧПУ.**

Принцип действия СЧПУ был кратко рассмотрен в методических указаниях [1], являющихся началом рассмотрения всей СЧПУ. Кратко напомним. На вход УЧПУ (рис.1,[1]) поступает сигнал с измерительного преобразователя (датчика положения) соответствующей координаты. Измерительные преобразователи: индуктосины, сельсины, ВТ. Этот сигнал преобразуется в цифровую форму и сравнивается с цифровым заданием положения, выработанным внутри УЧПУ на основе программы обработки (УП). Разность заданного и фактического положений (рассогласование по положению) преобразуется в аналоговую форму и поступает на выход УЧПУ.

УЧПУ в соответствии с программой вырабатывает сигналы управления вспомогательными функциями станка (включение и отключение зажимов, охлаждения, смена инструмента и т.д.).

Электропривод (ЭП) предназначен для управления электродвигателями координат станка. Скорость движения задается программой и преобразуется УЧПУ в управляющее воздействие. На вход ЭП поступает также сигнал обратной связи по скорости от тахогенератора (ТГ).

На станцию управления (СУ) поступают сигналы исполнения от вспомогательных механизмов, которые она преобразует в приемлемую для УЧПУ форму.

Датчики положения предназначены для выработки сигналов, пропорциональных абсолютному значению координаты.

Таким образом, УЧПУ является основной составной частью СЧПУ, непосредственно реализующей основные функции ПУ – осуществление перемещения инструмента относительно детали в заданное положение и по заданной траектории и управление вспомогательными механизмами.

УЧПУ можно условно разбить на три группы устройств (рис.2,[1]): процессор; периферийные устройства и устройства обслуживания.

Под **процессором** понимается часть УЧПУ, непосредственно осуществляющая процесс обработки данных в цифровой форме, поступающих от программы и от

датчиков положения *РО*, и управляющая самим процессом изготовления детали. В состав процессора входят:

- ОП* – оперативная память (*ОЗУ*);
- АЛУ* – арифметико-логическое устройство;
- ПЗУ* – постоянное запоминающее устройство команд;
- УУП* – устройство управления процессора.

**Периферийные устройства** осуществляют ввод и вывод информации, необходимой для работы процессора, управления станком и отображения внутреннего состояния УЧПУ.

В состав периферийных устройств входят:

- УВД* – устройство ввода данных;
- УИП* – устройство измерения положения;
- ПИ 1 – ПИ 7* – измерительные преобразователи координат;
- ЦАП* – цифро-аналоговый преобразователь управления приводами;
- УВФ* – устройство управления вспомогательными функциями станка;
- УИ* – устройство буквенно-цифровой и контрольной индикации;
- УВП* – устройство вывода на перфоратор и ЭВМ.

**Устройства обслуживания** выполняют общие функции, обеспечивающие работу УЧПУ в целом (задание режимов работы, синхронизация, контроль, питание и т.п.). К ним относятся:

- УС* – устройство синхронизации;
- УПЦ* – устройство формирования постоянных циклов обработки;
- УУ* – устройство управления;
- УК* – устройство контроля;
- ИП* – источник питания.

### **1.3. Назначение блоков УЧПУ.**

Процессор УЧПУ представлен собой специализированную малую ЭВМ. Программа работы процессора хранится в ПЗУ. (рис.2 [1]). Выполнение программы заключается в поочередной выборке команд и их выполнении процессором. Команда предписывает операцию и указывает (путем задания адреса) операнд\*, участвующий в операции. Управление выборкой команд осуществляется УУП. Выбранная команда хранится в регистре команд, откуда выдается на АЛУ, а адрес операнда – на общие шины. УУП управляет вводом в ОП и выводом на индикацию по сигналам запроса ввода или индикации. В АЛУ производится выполнение предусмотренных операций над операндами. В ОП хранятся информация, вводимая с периферийных устройств, промежуточные и конечные результаты вычислений.

Характеристики процессора:

- система счисления – десятичная;
- представление чисел с фиксированной запятой;
- код – двоично-десятичный «8421»;
- длина машинного слова – 4 байта (7 десятичных разрядов со знаком);
- длительность машинного такта – 6,25 мкс;
- максимальный объем программы – 4096 команд.

Блоки, входящие в состав процессора, в свою очередь состоят из ряда устройств (рис.3.). В состав *ОП* входят:

*РА* – регистр адреса (9); ПЗУ установок (контакт) (10); память условий (однобитовая) (11); буферная память (12); рабочая память (13) и магазинная память (стек) (14).

В состав АЛУ входят:

*РОП* – регистр операций (15); схемы выполнения операций (16); синхронизирующий регистр (17); регистр накопитель (18); регистр множитель (19).

В состав УУП входят: регистр команд, состоящий из регистра операций (20) и регистра адреса (21); регистр индекса (22); адресный сумматор (23); логические схемы управления процессором (24); счетчик команд (25); счетчик индикации (26); схема управления вводом и индикацией (27); регистр начального шага (28).

**УВД** обеспечивает по кадровый ввод программы обработки детали с перфоленки или пульта ручного ввода, а также ввод геометрических коррекций программы-смещения нуля отсчета и размеров инструмента. В состав УВД входят: ФСУ – фотосчитывающее устройство (3); пульт ввода (ПУ, ПО) (4); устройство связи с ЭВМ (приема данных) (5); устройство ввода коррекций (6); контроль ввода (7); предварительная память (8).

**УИП** преобразует аналоговые выходные сигналы с ПИ1... ПИ7 в цифровой код. В состав УИП входят: выходные регистры (29); ПНК – преобразователь напряжение – код (30); ПФК – преобразователь фаза – код (31); ПДН – преобразователь длительность импульса - напряжение (32); логические схемы управления (33); коммутатор (34); устройство питания измерительных преобразователей (35); Ф - формирователи (36).

**ЦАП** преобразует полученный в результате вычислений код рассогласования в аналоговые сигналы управления приводами координат. В состав ЦАП входят: входной регистр (38); ЦАП код – ток (39); логические схемы управления ЦАП (40); коммутатор (41); формирователи эталона скорости (42).

**УВФ** содержит память команд группы М, выдает их на станцию управления (СУ) (рис. 1), а также получает со станции управления ЭХО – сигналы об исполнении. В состав УВФ входят: память функций М (55); логические схемы управления вспомогательными функциями М (56); память резервной функции (57); память номера инструмента (58).

**УИ** обеспечивает вывод на индикатор информации, необходимой для обслуживания УЧПУ, по выбору оператора. В состав УИ входят: память на одну строку (47); логические схемы управления лучом ЭЛТ (48); усилители отклонения луча (49); электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) (50); логические схемы управления записью (51).

**УВП** обеспечивает вывод на ЭВМ или перфоратор состояния буферной памяти при редактировании программы. Кроме этого УВП производит согласование характеристик **выходов** устройства вывода и **входов** перфоратора и ЭВМ. В состав УВП входят: память на одно слово (43); логические схемы управления записью считыванием (44); устройство связи с перфоратором ленточным (ПЛ) (45); устройство связи с ЭВМ (вывода данных) (46).

**УС** обеспечивает синхронизацию всех частей УЧПУ путем выдачи сигналов ряда частот от 800 кГц до 50 Гц, получаемых путем деления исходной частоты задающего кварцевого генератора 4МГц. В состав УС входят: схема формирования подтактов и стробов (52); генератор (54) и счетчик (53).

**УПЦ** управляет выполнением постоянных (стандартных) циклов (ПЦ) обработки согласно ИСО. УПЦ включает в себя: логические схемы управления ПЦ (59); память G80...G89 (60); счетчик частей ПЦ (61).

**УУ** управляет режимами работы УЧПУ, связью с ЭВМ и перфоратором, пуском отработки программы. В состав УУ (ПУ, ПО) входят: пульт управления (1); логические схемы управления (2).

**УК** осуществляет контроль информации, передаваемой по общим шинам, анализ ошибок, индикацию кода ошибки. УК включает в себя регистр кода ошибки (РКО). УК реагирует на отсутствие контроля информации, поступающей из ОП, АЛУ, УУП, УИП.

**ИП** обеспечивает все оборудование УЧПУ стабилизированными и выпрямленными напряжениями. ИП поддерживает величину стабилизированных напряжений в пределах допуска и защищает УЧПУ от коротких замыканий.

Основной обмен информацией между частями устройства происходит по магистральной двунаправленной связи – **общим кодовым шинам**. Адресная и числовая информация передается с разделением по времени. Регистрам периферийных устройств присвоены адреса, аналогично ячейкам ОП, благодаря чему обращение процессора к памяти периферийных устройств не отличается от обращения к ОП.

#### **1.4. О некоторых функциях УЧПУ.**

##### ***Ввод программы и индикация.***

Ввод программы можно производить от пульта ручного ввода (УУ), от фотосчитывающего устройства (ФСУ) (3) и от ЭВМ (46). Вся введенная в память УЧПУ управляющая информация отображается на экране индикатора (ЭЛТ) (48), где может разместиться в 20 строках по 20 знако-мест в каждой. Размечают следующие режимы индикации: буквенно-цифровая индикация; цифровая индикация и индикация уровней цифровых сигналов с разверткой их во времени на экране ЭЛТ. Буквенно-цифровая (рабочая) индикация является основным режимом, позволяющим оператору в полном объеме контролировать процесс ввода и отработки программы.

##### ***Позиционирование***

*Позиционирование* – это установочное перемещение РО станка в заданную точку на максимальной скорости с последующим снижением ее до нуля в точке позиционирования. Предусмотрен режим подхода к точке позиционирования только с одной стороны, при этом исключается влияние люфтов и перекосов. Позиционирование возможно и по всем управляющим координатам одновременно.

##### ***Интерполяция.***

На станке МС12 возможны различные виды интерполяции. *Линейная интерполяция* – это согласованное движение РО одновременно по двум и более осям с заданными скоростями по каждой из осей, при этом контурная скорость равна заданной в программе. Линейная интерполяция позволяет выполнять объемную обработку.

*Круговая интерполяция* – это согласованное движение, в результате которого образуется дуга окружности в одной из координатных плоскостей (XY, XZ, YZ). В одном кадре программы может быть запрограммирована дуга величиной  $\leq 360^\circ$ .

*Винтовая интерполяция* – это круговая интерполяция в заданной плоскости одновременно с линейной интерполяцией по третьей координате. Винтовая интерполяция позволяет нарезать на станке резьбу с помощью резьбовой фрезы.

*Четырехкоординатная интерполяция* – это винтовая интерполяция с одновременной ориентацией шпинделя таким образом, чтобы режущая кромка инструмента была всегда направлена по нормали к обрабатываемой поверхности. Это позволяет нарезать резьбу или винтовую канавку с помощью резцовой оправки. Таким образом, процессор выполняет функции интерполятора (так он и понимается в станках с ЧПУ первого и второго поколений).

##### ***Управление главным приводом***



Для реализации программной скорости вращения шпинделя УЧПУ рассчитывает необходимую механическую ступень коробки скоростей и реализует ее. Направление вращения и останов задаются вспомогательными командами. Возможна коррекция заданной скорости вращения шпинделя.

Главный привод может работать и как обычная координата в режиме слежения. Информация о положении снимается с датчика, установленного на шпинделе.

#### ***Коррекция скорости подачи.***

Коррекция заданной скорости перемещения РО осуществляется корректором, установленным на пульте управления станком (1). В станке предусмотрена возможность использования информационных каналов корректоров главного привода и приводов подач для адаптивного управления.

#### ***Управление магазином инструмента.***

Магазин станка может содержать 100 инструментов. Поиск нужной инструментальной ячейки осуществляется во время предыдущего перехода. Смена инструмента осуществляется соответствующей вспомогательной командой. Программа смены инструмента, определяющая последовательность действий механизмов станка, хранится в ПЗУ.

#### ***Вспомогательные функции M.***

Все вспомогательные команды разбиты на 9 групп. К первой группе (1) относятся: программируемый останов (MOO), останов с подтверждением (MO1), конец программы (MO2), конец подпрограммы (M29), конец ленты (M30). Эта группа команд используется для управления в УЧПУ и на станок не выдается.

Команды *групп* со второй по седьмую выдаются на станок в расшифрованном виде и управляют той или иной вспомогательной операцией:

2. вращение шпинделя по часовой стрелке (MO3);  
вращение шпинделя против часовой стрелки (MO4);  
останов шпинделя (MO5);
3. смена инструмента (MO6);
4. включение охлаждения №2 (MO7);  
включение охлаждения №1 (MO8);  
отключение охлаждения (MO9);
5. зажим механизма и отключение привода (M20);  
разжим механизма и отключение привода (M21);  
разжим механизма, включение привода (M22);
6. сброс M25, M26 (M24);  
останов шпинделя в конце постоянного цикла (M25);  
запрет коррекций скорости (M26);
7. раздельное управление координатами C и S (M46);  
сброс M46 (M47).

Расширение числа вспомогательных операций, производимых на станке, можно осуществить с помощью команд восьмой (M50-M89) и девятой (M90-M99) групп. При управлении отдельными механизмами станка в ответ на отдельные сигналы “Включить” или “Отключить” в УЧПУ поступают сигналы об исполнении этих команд. Только после подтверждения исполнения предыдущей команды (или групп команд) разрешается выполнение последующих действий по сигналу готовности. При возникновении в СЧПУ неисправности (например, отказа одного из приводов) или нежелательной ситуации (например, наезд на конечный выключатель) сигнал готовности снимается и дальнейшее выполнение УП прекращается. Таким образом,

в УЧПУ производится непрерывный контроль (УК) состояния отдельных элементов СЧПУ, признанных важными для выполнения программы.

***Постоянные циклы.***

УЧПУ обеспечивает выполнение всех постоянных циклов обработки, предусмотренных стандартами ИСО и ГОСТ 20999-75 в группе G81 – G89. Это позволяет упростить процесс программирования и обработки детали.

***Учет размеров инструмента.***

УЧПУ обеспечивает безэквидистантное программирование. Для этого в память необходимо ввести данные о линейных и диаметральных размерах инструмента. Для этого на лицевой панели устройства расположены переключатели, на которых набираются соответствующие размеры инструмента. Возможна коррекция размеров инструмента относительно запрограммированных. Набранные на переключателях значения считываются в память устройства либо по номеру инструмента, либо по номеру коррекции. Коррекция размеров инструмента позволяет, например, производить черновую и чистовую обработку по одной программе.

***Редактирование программы***

УЧПУ обеспечивает возможность редактирование программы в процессе обработки первой детали, т.к.

вся информация, введенная в данном кадре, хранится в буферной памяти и выводится на индикацию;

вся информация, которая вводится с ФСУ или ЭВМ, может быть введена также с пульта ручного ввода (УУ);

все содержимое буферной памяти может быть выведено на перфоратор или в память ЭВМ.

Т.о. с пульта ручного ввода можно редактировать программу и измененный вариант запомнить или вывести на перфоратор.

***Программная реализация функций***

УЧПУ «Размер-4» устанавливается на различные станки. Для того, чтобы обеспечить управление этими станками, УЧПУ построено как специализированный управляющий вычислительный комплекс, в котором функции управления реализуются программным путем. Алгоритмы переработки информации задаются ПЗУ команд, содержимое которого может быть изменено.

В состав УЧПУ входят мультиплексные (последовательные) преобразователи информации на входе и выходе. На входе установлен аналого-цифровой преобразователь (АЦП) сигналов датчиков положения в цифровую форму, на выходе-цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) величины рассогласования по положению в аналоговой сигнал управления приводами. Знак этого рассогласования определяет направление, а величина – скорость перемещения по данной координате. В качестве измерительных преобразователей (ПИ) используются индуктосины, сельсины и вращающиеся трансформаторы. Т.о. на входе программа и сигналы с ДЭС, на выходе результат сравнения. Предназначение сигнала выхода устранить расхождение между действительным состоянием объекта и его состоянием, заданным программой. Т.о. УЧПУ работает по замкнутой схеме.

**1.5. Взаимодействие блоков УЧПУ.**

***Работа процессора*** заключается в последовательном выполнении команд, хранящихся в ПЗУ. (Рис.3.). Адрес очередной команды определяется состоянием счетчика команд (УУП, 25), содержимое которого увеличивается на единицу после

выборки предыдущей команды. Для выполнения процедур прерывания (по запросу или на подпрограмму) в процессоре предусмотрена память магазинного типа (*ОП*) или стек (14). При прерывании в стек заносятся текущие состояния счетчика команд (*УУП*, 25) и регистра индекса (*УУП*, 22).

Команда, выбираемая из *ПЗУ*, содержит код операции и адрес операнда. Этот адрес может относиться к оперативной памяти, памяти установок, стеку, к регистрам самого процессора или регистрам периферийных устройств.

Операции процессора являются узкоспециализированными. Арифметические операции, операции сдвига, а также другие операции, необходимые для выполнения арифметических действий, выполняются в *АЛУ*; остальные операции (операции управления, часть логических операций и часть операций пересылок) выполняются в *УУП*.

Ввод нового кадра *УП* должен производиться во время обработки детали (т.е. во время выполнения процессов интерполяции и осуществления обратной связи) таким образом, чтобы не оказывать никакого влияния на текущую работу *УЧПУ*. В процессоре же проводятся вычисления, необходимые для подготовки исходных данных для интерполяции или позиционирования в следующем кадре программы. Примером таких вычислений является расчет эквидистантной траектории движения центра инструмента (по данным контура детали и радиусу инструмента).

Таким образом, процессор должен обеспечить выполнение трех независимых параллельных вычислительных процессов (интерполяции, *обратной связи* и предварительных вычислений) и ввода-вывода информации. При этом процессы интерполяции и обратной связи должны происходить в реальном масштабе времени, под которым понимается текущее время, в ходе которого в вычислительной системе инициируются, выполняются и завершаются процессы.

Работа процессора в реальном масштабе времени обеспечивается прерыванием (с постоянной частотой) по запросам, источником которых является устройство синхронизации (*УС*). Частота запросов прерывания по времени выбрана таким образом, что импульс очередного запроса совпадает с моментом окончания преобразования выходного сигнала очередного датчика положения в код. При частоте питания датчиков  $2 \text{ кГц}$ , частота запросов  $1 \text{ кГц}$ , что позволяет обрабатывать за один период повторения вычислений до 10 входов обратной связи.

По каждому запросу происходит прерывание текущей программы и переход на программу обратной связи (*ОС*) по соответствующей координате. Координата определяется программой обработки прерываний путем анализа текущего состояния счетчика подциклов (*УС*, 53). С помощью запросов и кода подциклов обеспечивается взаимодействие процессора и *УИП* таким образом, что в регистрах этого устройства к моменту запроса находится код положения соответствующей координаты. По окончании программы *ОС* происходит возврат процессора к прерванной программе.

Код подциклов циклически повторяется (с частотой  $100 \text{ Гц}$ ), происходит циклическое «обегание» всех координат, и частота повторения программ *ОС* по каждой координате составляет  $100 \text{ Гц}$ . Программа интерполяции повторяется с той же частотой. Благодаря этому *контур ОС* по положению *замыкается* с частотой  $100 \text{ Гц}$ . В промежутках между этими «импульсами» сохраняется старое значение рассогласования по положению (в памяти *ЦАП*).

Период повторения указанных *циклических вычислений (ЦВ)*, равный 10 мс, называется циклом. Для задания этого периода один из запросов прерывания, который соответствует началу подцикла, например кодом *В18* выделяется особо. Этому запросу не соответствует ни одна координата. При поступлении этого запроса про-

исходит прерывание *предварительных вычислений (ПВ)* для выполнения не программы *ОС*, а *программы ЦВ задания*, т.е. выполняется *перезапись* текущих значений по координатам, вычисленных в предыдущем цикле, в отдельные ячейки памяти. Перезапись текущих заданий необходима для синхронизации процессов интерполяции и обратной связи, для получения однозначных по отношению ко всем координатам результатов. Интерполятор как бы накапливает задания, которые вычисляются в различные моменты цикла. Затем эти задания *разом* переписываются в другие ячейки памяти и используются программами *ОС* в следующем цикле. Освобожденная память заполняется результатами вычисления нового цикла интерполяции. Выход из прерывания *ПВ* не делается, а происходит переход к собственно программе циклических вычислений задания (*ЦВ*). Эта программа либо находится в состоянии ожидания (что соответствует отсутствию движения по координатам), либо производит интерполяцию (позиционирование) по заданным координатам. По окончании программы *ЦВ* производится выход из прерывания (возврат к *ПВ*).

Величина текущего задания, например по координате  $X$ , изменяется в каждом цикле на величину  $\Delta X$ , которая определяется необходимой скоростью движения по координате и периодом времени 10мс (0,01с). Например, при заданной скорости движения 100 мм/с величина приращения равна  $\Delta X = 1$ мм. Так обеспечиваются вычисления в реальном времени.

Предварительные вычисления (*ПВ*) представляют собой наиболее медленную программу, постоянно выполняемую процессором, на фоне которой (путем ее прерывания) выполняются программы циклических вычислений (*ЦВ*). Выход из прерывания по окончании *ЦВ* является входом в *ПВ*, а прерывание по запросу *V18* является прерыванием *ПВ*.

Ввод процессора в состояние выполнения программы *ПВ* производится при включении питания или нажатии кнопки «Общий сброс» на пульте управления *УЧПУ*.

Кроме вычислительных операций, процессор обеспечивает операции ввода и индикации. Для этого соответствующие устройства в *УВД* (ввода данных) и в *УИ* (индикации) выдают в *УУП* запросы на выполнение этих операций. Т.о., в процессор поступают по отдельным каналам три вида запросов – на прерывание по времени (24), ввод и индикацию (27). Запросы прерывания по времени и индикации не конкурируют между собой, т.к. они жестко синхронизированы и разделены между собой во времени (рис.14,а). Запрос на ввод может приходиться в произвольный момент времени, и тем самым может совпадать с любым из первых двух запросов, т.е. конкурировать с ними. При одновременном поступлении запросов первым удовлетворяется в *УУП* запрос ввода (рис.14,б), при неодновременном - приоритет имеет текущая операция (возникающее при этом ожидание невелико). Таким же образом организовано взаимодействие запросов ввода и прерывания по времени.

Удовлетворение всех видов запросов зависит от характера операции, выполняемой в данный момент процессором. *Ввод и индикация* выполняются с помощью отдельных аппаратных средств (упрощенного канала ввода – вывода в виде счетчика индикации (26) и других элементов) и не нарушают текущего состояния процессора (состояния счетчика команд (25) и регистра индекса (22) и др.). При этом происходит лишь приостановка выполнения очередной операции процессора (приостановка выполнения программы) и передача общей шины в распоряжение аппаратуры ввода и индикации.

В отличие от этого, *прерывание по времени* выполняется программным путем и, следовательно, связано с нарушением текущего состояния процессора. Ввиду это-

го удовлетворение запроса на прерывание по времени происходит только после завершения определенного участка вычислительной программы, когда результат соответствующих вычислений уже введен в оперативную память (*ОП*), т.е. прерывание разрешается после выполнения команд, содержащих строго определенные операции («разрешение прерывания», «вывод слова из младших разрядов накопителя», «сброс ячейки памяти» и др.).

Время работы процессора по основным группам вычислений (обратная связь, *ЦВ* задания и *ПВ*) определенным образом распределяется. Каждой из этих групп программ соответствует определенный уровень прерывания, т.е. определенное состояние магазинной памяти (стека), хранящей состояние процессора к моменту прерывания, что позволяет произвести последующий возврат к прерванной программе. Стек работает по принципу «последним пришел – первым вышел». Под состоянием процессора понимается состояние счетчика команд (25) и регистра индекса (*УУП*, 22). Прерывание заключается в запоминании этих данных и их последующем восстановлении. Таким образом, при многопрограммной работе обеспечивается нормальное выполнение как единого целого, так и каждой отдельно взятой программы.

Каждая из основных программ может содержать подпрограммы, переход и возврат из которых выполняются аналогично прерыванию по времени с использованием стека. Подпрограмма, в свою очередь, может иметь внутреннюю подпрограмму и т.д. Общее количество уровней прерывания по времени и для перехода на подпрограмму ограничивается объемом стека (семь уровней).

Программа обработки детали может быть задана несколькими способами. Ручное задание программы производится органами преднабора, расположенными на пульте устройства. Этот способ задания используется в основном при работах по отладке и редактировании программы, установке детали и других вспомогательных работах. Ручной ввод программы требует высокой квалификации оператора. Ввод программы с *ПЛ* и от ЭВМ (*УВД*) является основными способами ввода программы.

Независимо от способа ввода, программа кодируется в коде *ИСО* и поступает на входные шины устройства ввода данных побайтно (рис.3). Каждый байт (строка *ПЛ*) подвергается контролю на четность. Затем код поступает в предварительную память (*ПП*,8). Наличие промежуточной предварительной памяти (*ПП*), которая накапливает всю информацию, поступающую с программносителя под одним буквенным символом *ИСО* (т.е. собственно символ и число со знаком), позволяет более экономично вводить эту информацию (целиком, а не по частям) в оперативную память (*ОП*). В предварительной памяти (*ПП*) производится анализ поступающего кода. *ПП* содержит регистр буквенного символа (адреса *ИСО*) и регистр числа, т.е. может хранить одно программное *слово кода ИСО*. При поступлении на вход *ПП*(8) кодовой комбинации, обозначающей букву или служебный символ, содержимое *ПП* выводится в оперативную память (*ОП*). Для этого из *ПП* выдается сигнал «Запрос ввода», который поступает в *УУП* (27). По завершении текущей операции процессора, *УУП* приостанавливается выполнение очередной операции и освобождает общие кодовые шины УЧПУ. В *ПП* (8) подается сигнал «Разрешение ввода», по которому содержимое ее выдается на общие шины. При этом в начале (в первом такте) выдается код буквы, который *УУП* с помощью *ПЗУ* перешифровывает в адрес ячейки оперативной памяти (*ОП*), а затем (во втором такте) выдается числовое содержимое слова. По окончании этого процесса сигнал «Запрос ввода» снимается. По заданному адресу производится ввод этого числа в оперативную память (*ОП*), для чего *УУП* выдает сигнал «Запись» т.е. связь между *ПП* и *УУП* асинхронная (по типу «Запрос-ответ»), что позволяет сделать работу процессора независимой от скорости ввода

программы. Ввод с программоносителя в ПП имеет следующие особенности. К моменту ввода очередной строки необходимо закончить ввод в ПП предыдущей строки. Для этой цели ПП формирует сигнал вызова очередной строки (*ВОС*).

**Коррекция программы** обработки детали производится с помощью переключателей смещения нулей отсчета и задания размеров инструмента, устанавливаемых в необходимое положение до начала выполнения программы. В устройстве ввода коррекций (*УВК,6*) вырабатывается временная последовательность импульсов считывания, которое поступает на выбранные (в соответствии с номером инструмента) переключатели, и состояние последних (число в коде *ИСО*) поступает на входные шины УВД. Ввод коррекций выполняется по окончании ввода каждого кадра программы (после символа *LF*).

**Индикация** позволяет оператору визуально контролировать данные вводимой программы, облегчает процесс ее отладки и поиск неисправностей в УЧПУ. Различают рабочую (буквенно-цифровую) и наладочную (цифровую) индикацию. Рабочая индикация управляется от программ, заложенных в ПЗУ. Эти программы определяют количество и порядок расположения информации, выводимой из памяти УЧПУ.

В устройстве индикации (*УИ*) производится развертка изображения на экране ЭЛТ по горизонтали (строчная развертка) и вертикали (кадровая развертка). Количество строк на экране – 20. Во время развертки строки луч рисует на экране изображения символов (букв и цифр), поступающих из памяти *УИ* (47). По окончании развертки очередной строки, во время обратного хода луча, *УИ*(51) посылает в процессор сигнал «Запрос индикации». В процессоре находится счетчик индикации (26), состояние которого определяет адрес ячейки ПЗУ при обращении к программам индикации. Из ПЗУ считываются адреса ячеек оперативной памяти (*ОП*), подлежащих индикации в следующей строке. Всего на каждую строку в память *УИ* записывается информация для двух ячеек (код символа и число). Синхронность действий *УИ* и процессора обеспечивается их счетчиками тактов, запускаемыми в начале сигнала «Запись индикации». Сигнал «Запись индикации» выдается процессором только по окончании текущей операции и при отсутствии запросов на прерывание. В противном случае *УИ* находится в состоянии ожидания. Регенерация изображения на экране ЭЛТ происходит с частотой  $50\Gamma\text{ц}$  путем считывания информации, подлежащей отображению в каждой строке, непосредственно из *ОП*. В *УИ* при этом содержится память только на два числа на время развертки одной строки.

Вычислительные процессы можно разбить на две группы. Процесс выполнения программ обратной связи относится к первой группе. Для этой группы характерна постоянная структура программ, независимо от конкретных действий, выполняемых УЧПУ. Это объясняется тем, что входом этих программ является одни и те же величины – текущее задание и код положения. При любых видах обработки задача программ обратной связи (*ОС*) – определить рассогласование между этими величинами и выдать его на выход. Эти программы реализуют **замыкание контура по положению**.

Программы второй группы *ПВ* и *ЦВ* имеют переменную структуру. Изменение структуры объясняется большим разнообразием задач, решаемых устройством (основные функции УЧПУ реализуются программным путем). Сказанное в первую очередь следует отнести к подготовительным функциям *G*. Например, *G00* означает, что УЧПУ должно производить управление движением выбранных координат станка в режиме позиционирования, т.е. подготовительные функции как бы настраивают УЧПУ на определенный режим работы.

*УЧПУ* является устройством программного управления станком, и в то же время его основная часть - процессор представляет собой *ЭВМ*, также работающую по принципу программного управления. Поэтому следует различать термины, относящиеся к каждой из этих двух областей.

В *УЧПУ* вводится *УП* (программа обработки детали или программа управления станком), определяющая работу *УЧПУ* в целом при управлении станком. *УП* кодируется в коде *ИСО* (преимущественно), т.е. составлена на *машинно-ориентированном языке* систем *ЧПУ*, накладывающем свой смысл на соответствующие термины (программирование, команда, адрес и т.д.). *УП* – это как бы «внешняя» программа.

Для реализации предписанной «внешней» программы *УЧПУ* выполняет свою «внутреннюю» программу. Это программа работы процессора или вычислительная программа. «Внутренняя» программа – это запись алгоритма работы процессора *на машинном языке* данной *ЭВМ*. Она хранится в *ПЗУ*.

Процесс составления этой программы, выполняемый один раз при разработке *данного исполнения УЧПУ* называется программированием алгоритма *УЧПУ*. Схемы и описания этой программы называют программным (математическим) обеспечением *УЧПУ*, а перечень соответствующих соединений в *ПЗУ*, обеспечивающих аппаратную реализацию данной программы, - «*таблицей прошивки ПЗУ*». Термины «команда» и «адрес» имеют здесь тот же смысл, что и в обычных *ЭВМ*. Программа работы процессора рассчитана на все возможные варианты «внешней» программы и не изменяется в процессе эксплуатации *СЧПУ* (т.е. она «жесткая»). Для большей «сохранности» она хранится в отдельной постоянной памяти (*ПЗУ* команд, см.рис.3), поэтому адрес числовых данных – номер ячейки *ОП*, адрес команды – номер ячейки *ПЗУ* («номер шага программы»).

Связь между «внешней» и «внутренней» программами заключается в том, что данные, вводимые *УП*, представляют собой числовые данные для вычислительной программы процессора, а функции *УП* (например, *G* или *M*) определяют вариант использования «внутренней» программы.

### **Организация работы УЧПУ.**

Обмен информацией между составными частями *УЧПУ* производится с помощью двунаправленной магистральной связи – *общих шин*. Отдельно взятая общая шина представляет собой линию связи, выполненную в виде согласованной витой пары проходящей через все конструктивные узлы устройства. На входе каждого узла находится схема развязки общей шины, представляющая собой двунаправленный ключ, способный передавать сигнал в двух направлениях. Эти направления зависят от сигнала разрешения, подаваемого на входы схемы развязки. Различают два вида линий связи. В обычных однонаправленных линиях связи имеется один передатчик и один или несколько приемников. В двунаправленных линиях связи имеется несколько работающих по очереди передатчиков и несколько приемников. Двунаправленными выполнены линии связи кода числа и адреса (общие кодовые шины).

Передача информации по общим шинам *требует синхронизации* работы всех устройств, использующих общие шины. В качестве основной временной единицы, используемой в *УЧПУ*, принят такт – интервал времени длительностью 6,25 мкс (рис. 14,б.) В течении *одного такта* по шинам может быть передано (последовательно) одно семиразрядное десятичное число со знаком. Кроме того, необходим *адрес*, определяющий источник или приемник данного числа. Таким образом, для пе-

передачи одного числа требуются пять временных интервалов, называемых **подтактами**, длительностью  $1,25 \text{ мкс}$ . Они обозначаются  $E0, E1, E2, E3, E4$  (рис.14.б.). Для передачи числовой информации используется 8 общих шин, для передачи информации с адресом все 10 шин. *Последовательная* передача адреса и числовой информации существенно уменьшает число составляющих *УЧПУ*.

Внутри каждого подката сформированы дополнительные синхронизирующие импульсы – **стробы**. Этим импульсов три:  $C0, C1, C2$  (рис.14.в). Их длительность  $0,25 \text{ мкс}$ . Импульс  $C0$  используется для синхронизации различных сигналов (при вводе в элементы памяти), т.к. передний фронт этого импульса совмещен с передним фронтом подтакта. Это уменьшает влияние помех. Запись информации с общих шин в память различных устройств производится стробом  $C2$ . Расстояние (по времени) между передними фронтами подтакта и строба  $C2$  выбрано таким, чтобы с достаточным запасом превысить все возможные задержки прохождения сигнала по общим шинам и с учетом времени затухания переходных процессов на фронтах подтактов. Применение этих мер позволяет передавать информацию по общим шинам с большой надежностью и с высоким быстродействием. Скорость передачи информации по общим шинам составляет  $800 \text{ Кбайт/с}$ . Строб  $C1$  используется в специальных случаях.

Одна адресуемая ячейка оперативной памяти (*ОП*) может хранить одно семиразрядное десятичное число со знаком. Кроме того, хранимое в ячейке число содержит *контрольный разряд*, дополняющий количество единиц в коде числа до нечетного. Один двоичный разряд отводится для обозначения того, занята ячейка или находится в сброшенном состоянии (*признак наличия числа*). Контрольный разряд формируется при записи числа в *ОП* и проверяется при его считывании.

Два двоичных разряда числа отводятся для представления знака.

Кроме числовой информации в процессоре *УЧПУ* обрабатывается логическая информация. Так как логические вычисления служат для подготовки к выполнению в процессоре операции «*Условный переход*», то единица логической информации носит название «*Условие*». Для хранения условий предусмотрена «*Однобитовая*» память или память условий (*ОП, 11*) объемом 256 адресов, в которой адресуемая ячейка содержит один информационный бит. В периферийных устройствах хранение условий производится на отдельных триггерах. Логическая информация передается и принимается также за один машинный такт ( $6,25 \text{ мкс}$ ). Адрес условия передается по общим шинам, а само условие – по отдельной шине, называемой «*шиной условия*» (*ШУ*). Так как адрес условия передается по тем же шинам, что и адрес числа, то для их отличия адрес условия передается в другое время (подтакты  $E1, E2$ ) и сопровождается сигналом «*Вызов условия*», передаваемым по отдельному проводу (24, 25).

Вся информация (числовая и логическая), подлежащая записи в *ОП* или в память периферийных устройств, сопровождается сигналом «*Запись в память*» (*ЗнП*). Сигнал записи формируется процессором. Адреса представлены в *УЧПУ* двоичным девятиразрядным кодом с контрольным разрядом (дополнение до четности).

В процессоре *УЧПУ* предусмотрены модификации адресов. Модификация заключается в суммирование базового адреса (заданного в программе) с индексом, который хранится в индексном регистре (*УУП, 22*). Полученная сумма используется в качестве исполнительного адреса. Это позволяет записывать в *ПЗУ* команд программу *только для одной* координаты. Для остальных координат программа повторяется, при этом содержимое индексного регистра (22) увеличивается каждый раз на единицу. Процессор *УЧПУ* содержит отдельный *двоичный* адресный сумматор (23), который стоит непосредственно на выходе *ПЗУ* команд. Операция суммирования базово-



вого адреса с содержимым индексного регистра (22) происходит в адресном сумматоре (УУП, 23).

В общем случае информация на общих шинах распределена следующим образом. В подтакте *ЕО* по общим шинам  $\alpha 1 - \alpha 9$  передается двоичный код адреса с весами «1», «2», «4», «8», «16», «32», «64», «128», «256» соответственно. В подтакте *Е1* по шине  $\alpha 1$  передается контрольный разряд числа, соответствующего данному адресу, по шинам  $\alpha 2, \alpha 3$  – знак числа, по шине  $\alpha 4$  – признак наличия числа в данной ячейке памяти, по шинам  $\alpha 5 - \alpha 8$  двоично-десятичный код разряда числа. В подтактах *Е2 - Е4* передается двоично-десятичный код разрядов  $10^1, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6$  . числа. При передаче десятичных разрядов числа шинам  $\alpha 1, \alpha 2, \alpha 3, \alpha 4$  и  $\alpha 5, \alpha 6, \alpha 7, \alpha 8$  соответствуют веса «1», «2», «4», «8» двоично-десятичного кода.

Кроме связей через общие шины, обмен информацией между составными частями УЧПУ осуществляется посредством ряда отдельных линий связи, по которым передаются одиночные сигналы.

В УЧПУ используются два основных представления информации - десятичное для числовых данных и двоичное для адресов и содержимого различных управляющих счетчиков и регистров (счетчики команд и индикации, регистры кода операции и адреса и др.).

Десятичная информация выражена в двоично-десятичном коде 8-4-2-1, а двоичная-существует в чистом виде лишь для адреса на общих шинах в соответствующем подтакте. Во всех остальных случаях двоичная информация представлена в восьмеричном виде. Триады восьмеричного кода передаются по общим шинам на правах тетрад двоично-десятичного кода (при этом разряд с весом “8” равен нулю.

Для максимального использования времени работы процессора в УЧПУ применено совмещение работы отдельных устройств с работой процессора во времени (асинхронный принцип связи). Например, асинхронная связь между процессором и устройствами ввода и индикации. Подобным же образом осуществляется вывод информации в ЭВМ и на перфоратор. Внутри процессора совмещение работы отдельных частей достигается за счет их синхронизации таким образом, что циклы работы этих частей сдвигаются относительно друг друга.

Работа всех периферийных устройств происходит параллельно с работой процессора, т.е. синхронно. Допускается асинхронность, т.е. ожидание разрешения (от УУП процессора) приема или выдачи информации лишь в пределах указанного промежутка времени (УИП и ЦАП).

Асинхронные устройства имеют неограниченное время ожидания без потери информации. К таким устройствам относятся устройство ввода данных (УВД), устройство вывода на перфоратор и ЭВМ (УВП).

### **Контроль работы УЧПУ.**

Основными методами автоматического контроля УЧПУ являются аппаратный контроль и программный контроль.

Аппаратный контроль производится в течении всего времени работы УЧПУ и позволяет с помощью встроенных схем контроля определить неисправности (выходы из строя или сбои) большинства функциональных узлов в процессе выполнения программы.

Программный контроль осуществляется с помощью специальных тест-программ, вводимых с программоносителя (с перфоленты или от ЭВМ). Тесты пред-

назначены для проверки правильности функционирования как отдельных устройств, так и *УЧПУ* в целом.

Кроме автоматического, предусмотрен ручной контроль работы и поиска места неисправности.

Регистрация ошибок, возникающих в процессе обработки информации, производится в устройстве контроля (*УК*). Индикация ошибок упрощает поиск неисправностей в *УЧПУ*. Код ошибки однозначно определяет какая схема контроля зафиксировала ошибку. Адрес вызываемой ячейки при этом помогает в ..... места неисправности.

На пульте управления *УЧПУ* предусмотрены две лампочки, сигнализирующие о наличии ошибок в *УЧПУ*:

- одна – о превышении температурой в шкафу допустимого предела;
- другая – о наличии ошибок, вызвавших останов программы.

## 2. СЛЕДЯЩИЙ ПРИВОД.

Точная отработка заданных перемещений механизмов станка производится следящим приводом. Структура его (рис.1) для одной координаты станка включает в себя двигатель *ДПТ*, соединенный кинематическими цепями с механизмом *РО*; регулятор скорости вращения двигателя (*РС*, *РЧ*) (включающий в себя силовой преобразователь), использующий обратную связь от тахогенератора *ТГ*, измеритель рассогласования *ИР*, включающий аналого-цифровой преобразователь *АЦП* информации (*УИП*, рис.3), поступающей от измерительного преобразователя перемещений механизма (*ДОС*) (*ПИ*), вычислительное устройство *ВУ* (*ИР*) и цифроаналоговый преобразователь (*ЦАП*, рис.3).

Функции измерения рассогласования реализуются в *УЧПУ*, которое, таким образом, является звеном, замыкающим обратную связь по положению. Заданием для следящего привода является *величина пути*. Задание определенной скорости осуществляется при этом за счет выдачи из *ВУ* (*ИР*) определенного изменения (приращения) указанного пути в единицу времени. Текущее значение заданного положения механизма, вырабатываемое в *ВУ* по заданной программе движения, сравнивается этим же *ВУ* с фактическим положением, поступающим от аналогового *ПИ* (*ДОС*) и преобразуемым в цифровой код в *АЦП* (рис.1.). Полученное рассогласование преобразуется с помощью *ЦАП* в сигнал *постоянного тока* и подается в качестве регулирующего воздействия, на вход *ЭП* (электропривода). Поскольку при установившейся скорости этот сигнал должен быть примерно равен сигналу фактической скорости, поступающему от тахогенератора (*ТГ*), то *рассогласование по пути* является величиной, пропорциональной заданному значению скорости движения механизма. Увеличение заданной скорости приводит к пропорциональному увеличению рассогласования. При нулевой скорости (остановленном механизме) рассогласование близко к нулю.

Точность задания скорости весьма велика, т.к. определяется лишь погрешностью кварцевого генератора *УЧПУ*. Привод является *а статическим* по скорости, т.е. заданная в цифровом виде скорость обрабатывается без погрешности, т.к. последняя немедленно привела бы к появлению нарастающего рассогласования по пути (интеграла от погрешности скорости), которое скомпенсировало бы эту погрешность. Это относится к среднему значению скорости при установившемся ее значении. Мгно-

венное значение скорости, а также в переходных процессах (разгон, торможение) может отличаться от заданного.

Коэффициент пропорциональности  $K = \frac{V}{\Delta S}$  характеризующий отношение скорости  $V$  к рассогласованию  $\Delta S$ , называют *добротностью* следящего привода по скорости. Чем выше добротность по скорости  $K$ , тем выше качество следящего привода. Размерность добротности  $\frac{мм/с}{мм} = 1/с$ , характеризует величину рассогласования (отставания привода от задания) при данной скорости. Добротность- это коэффициент усиления (коэффициент передачи) в *разомкнутом* контуре пути привода. Его максимальное значение  $K$  выбирается, исходя из реакции следующего привода на скачок заданного пути. Переходный процесс в результате воздействия скачка не должен сопровождаться перерегулированием.

Добротность привода может быть тем больше, чем меньше инерционность регулятора скорости, характеризуемая эквивалентной постоянной времени  $T$ . Из условия апериодичности переходного процесса добротность не должна превышать величины  $K=1/4T$ . Эквивалентная постоянная времени  $T \leq 0,01с$  (в пределах всего диапазона регулирования скорости). Применение тиристорных преобразователей с естественной коммутацией позволяет получить  $T=0,01с$  и выбрать  $K \leq 25 \frac{1}{с}$ . Данная добротность означает, что например, при постоянной скорости  $25 \frac{мм}{с}$  привод будет идти с рассогласованием  $1мм$ . Требуемая точность (поле погрешности)  $\Delta$  отработки задания пути приводом обеспечивается лишь в том случае, если  $PC$  способен, обрабатывать минимальную скорость  $V_{min} = K \cdot \frac{\Delta}{2}$  (иначе привод при позиционировании, например, остановится на расстоянии от заданной точки, большем чем  $\frac{\Delta}{2}$ ), что при  $\Delta=1$  мкм и  $K=25 \frac{1}{с}$  дает  $V_{min} = 25 \cdot 0,001/2 = 0,0125 мм/с$ .

$PC$  должен обладать необходимым диапазоном регулирования  $D=V_{max}/V_{min}$ . Измеритель рассогласования ( $ИР$ ) должен соответствовать этому  $D$ . При  $V_{max}=10$  м/мин  $\approx 167 мм/с$ ,  $\Delta = 1$  мкм,  $K=25 \frac{1}{с}$  ( $V_{min}=0,0125$  мм/с).

$$D=167/0,0125 \approx 13\ 000.$$

Независимо от режима работы следящего привода (позиционирование или непрерывное слежение при контурной обработке) измеритель рассогласования ( $ИР$ ) формирует сигнал на регулятор скорости, изменяющийся линейно в функции рассогласования. Необходимый режим задается законом изменения входного сигнала (*задания*) измерителя рассогласования ( $ИР$ ) и параметрами этого закона (максимальной скоростью, ускорением и др.).

Позиционирование осуществляется путем разгона привода, движением на постоянной скорости (в большинстве случаев она максимальна) и торможения. Разгон и торможение производится при постоянном ускорении. Заданная скорость при позиционировании на участках разгона и торможения формируется *линейной* во времени, а в функции от пути имеет вид *параболы*. Разгон привода заканчивается по достижении максимальной скорости. Момент начала торможения вычисляется автоматически в  $ВУ$  по величинам скорости и установки ускорения.

Контурная обработка осуществляется взаимосвязанной работой двух приводов. Закон изменения заданной контурной скорости при этом тот же, что и при позиционировании (линейные во времени разгон и торможение), но с меньшим ускоре-

нием для уменьшения динамических ошибок. Закон изменения входного сигнала каждого привода формируется *интерполятором* по заданному в программе контуру обработки или отдельным его участкам. При этом любой возможный контур аппроксимируется отрезками прямых и дуг окружности (линейная и круговая интерполяция).

В случае линейной интерполяции движение каждого привода происходит с постоянной скоростью, а соотношение скоростей определяет наклон контура к осям координат. Ошибка обработки контура из-за неидеальности приводов пропорциональна, в первую очередь, добротности, а коэффициент пропорциональности тем больше, чем меньше добротность. Таким образом, для уменьшения ошибок на контуре (при данной скорости обработки) необходима предельно возможная добротность приводов и идентичность их характеристик. Последнее обеспечивается равенством номинальных значений параметров всех звеньев следящего привода и линейностью их характеристик.

Величина добротности может иметь нестабильность от изменения внешних условий и времени, поскольку зависит от параметров *ТГ* (тахогенератора), *РС* (регулятора скорости) и *ЦАП*.

В переходных процессах (разгоне, торможение) может возникать также погрешность от нестабильности и неидентичности фактических значений *эквивалентной постоянной времени* регуляторов скорости, но она меньшего порядка, чем погрешность от разброса добротности.

УЧПУ обеспечивает возможность проверки фактического значения выбранной величины добротности и идентичности характеристик следящего привода путем измерения рассогласования (по цифровой индикации) при движении с постоянной скоростью, при различных значениях последней.

Алгоритм автоматического разгона и торможения, выполняемый в режимах позиционирования и контурной обработки, не содержит скачков в задании пути и скорости. Имеет место лишь скачок заданного ускорения в начале и конце пути. Однако, вследствие *квантования* по времени, при разгоне и торможении имеют место скачки скорости величиной  $\Delta V = a \cdot T_k$ , где  $a$  – ускорение;  $T_k$  – период квантования ( $T_k = 0,01c = 10мс$ , т.к. частота повторения кода подциклов  $100Гц$ ).

Например, при позиционировании с изменением заданной скорости от  $V_{max} = 10м/мин \approx 167мм/с$  до нуля за время  $t_{тз} = 0,2с$  (заданное время торможения) и  $T_k = 0,01с$

$$a = 167/0,2 \approx 830 \text{ мм/с}^2; \quad \Delta V = a \cdot T_k = 830 \cdot 0,01 = 8,3 \text{ мм/с.}$$

При этом в течение торможения будет иметь место  $t_{тз}/T_k = 0,2/0,01 = 20$  ступеней скорости. При контурной обработке ускорения меньше, чем при позиционировании, поэтому и скачки скорости  $\Delta V$  будут меньше. Например, если  $a = 100 \text{ мм/с}^2$ , то  $\Delta V = 100 \cdot 0,01 = 1 \text{ мм/с}$ .

Удовлетворительное качество *СП* (следящего привода) может быть получено при следующих характеристиках регулятора скорости и станка. Характеристики регулятора скорости:

- а) эквивалентная постоянная времени  $T \leq 0,01с$ ;
- б) относительный коэффициент затухания  $\xi \geq 0,6$  (что соответствует перерегулированию не более 7-10% при скачке скорости);
- в) линейная характеристика не хуже 0,5-1% (от максимального значения скорости подачи);
- г) минимальная скорость – в соответствии с соотношением

$$V_{\min} = K \cdot \frac{\Delta}{2}, \text{ где } \Delta - \text{требуемая точность (поле погрешности, } \Delta = 1 \text{ мкм)}. \text{ При}$$

$$25 \frac{1}{с}, \quad V_{\min} = 25 \cdot \frac{0,001}{2} = 0,0125 \text{ м/с.}$$

Характеристика станка:

а) нижняя частота механического резонанса кинематики привода

$$f_M \geq 30 \text{ Гц} \quad (T_M = 1/\omega_M = 1/(2\pi f_M));$$

б) суммарный люфт между двигателем и механизмом (с учетом «накручивания» кинематики) – не более 0,05 мм.

Таким образом, замкнутый привод сглаживает все скачки задания. Это позволяет ему удовлетворительно работать при квантовании всех величин (задания, фактического положения, рассогласования) по времени, в случае достаточной частоты квантования (100 Гц). При разгоне и торможении благодаря этому сглаживаются скачки заданной скорости, которые существуют из-за того, что в УЧПУ формируется не главная, а ступенчатая характеристика  $V_3=f(t)$  при разгоне и торможении. Аналогично сглаживаются скачки заданного пути, возможные из-за неравенства приращений задания в соседних периодах квантования при разгоне и торможении.

При установившейся постоянной скорости эти приращения одинаковы и рассогласование по пути постоянно, т.е. не имеет скачков в соседних периодах квантования.

## 2.1. Измеритель рассогласования

Качество СП достигается совокупностью характеристик всех его звеньев, поэтому каждое звено может ограничивать основные параметры привода. Основными ограничительными факторами являются характеристики регулятора скорости (РС). Необходимо, чтобы быстродействие, линейность и диапазон изменения выходного сигнала ИП должны быть выше аналогичных параметров РС. Структура измерителя рассогласования (ИР) приведена на рис.3. Питание измерительных преобразователей перемещений (ПИ) осуществляется от УЧПУ (35) системой двухфазных или трехфазных синусоидальных напряжений.

В ИР фактическое перемещение  $S_\phi$  вводится двумя величинами:

- кодом  $S_{\phi K}$ , полученным с помощью преобразователя фаза – код ПФК (31) с дискретностью 1/200 шага датчика точного отсчета (дискретность ПФК по фазе выходного сигнала ПИ равна 1,8 электрических градуса, что может соответствовать 10 мкм для линейных координат станка);
- составляющей  $S_{\phi A}$ , представленной аналоговым сигналом (АС), изменяющимся непрерывно внутри дискеты ПФК (рис.5). АС получается путем деления «широтного» импульса  $\tau$ , длительность которого пропорциональна доле дискеты ПФК, и преобразования этой длительности в напряжение.

Кодовый эквивалент  $S_{\phi A}$  в ИР не используется, применяется только для индикации и формирования дискретных сигналов.

Сумма этих двух величин  $S_\phi = S_{\phi K} + S_{\phi A}$  (рис.5) дает полную величину фактического положения. Однако, такая сумма может рассматриваться только условно, потому что непосредственно суммировать две величины, одна из которых представлена кодом, а другая – аналогом невозможно. Рассмотренное аналого-цифровое представление фактического положения называется гибридным кодом.

Рассогласование, т.е. алгебраическая разность между заданным и фактическим положением (код промежуточного рассогласования), определяется в  $BV$ , где из кода полной величины заданного положения  $S_3$  вычитается код первой части фактического положения  $S_{фк}$ .

$$\Delta S_{п} = S_3 - S_{фк}.$$

Затем преобразователь код – напряжение  $ПКН$  формирует (из кода промежуточного рассогласования) напряжение, которое алгебраически складывается со второй частью фактического положения, в результате чего получается полная величина рассогласования  $\Delta S = \Delta S_{п} - S_{фА} = S_3 - (S_{фк} + S_{фА})$ .

Рассмотренное построение измерителя рассогласования обеспечивает возможность обработки основного объема информации в цифровой форме.

$BV$ , преобразователи  $ПФК$ ,  $ПКН$  и преобразователь напряжения  $АС$  в код  $ПНК$  производят операции с соответствующими входными сигналами последовательно во времени. Для одной координаты регулирующие воздействие на  $РС$  формируется в три следующих друг за другом временных интервала длительностью  $1 мс$  каждый: в первом из них определяются  $S_{фк}$  и  $S_{фА}$ , во втором вычисляется код  $\Delta S_{п}$  и в третьем формируется воздействие на  $РС$ . Сформированное воздействие сохраняется неизменным в течении  $9 мс$ , затем корректируется в соответствии с вновь вычисленным значением  $\Delta S_{п}$ .

Как динамическое звено, измеритель рассогласования представляет собой фиксирующую цепь нулевого порядка, запоминающую величину рассогласования на время одного периода квантования, с периодом квантования  $10 мс$  и запаздыванием  $3 мс$ , что эквивалентно увеличению периода квантования на  $6 мс$  ( $T_{кэ}$ ).

Цифровой измеритель рассогласования вносит в контур регулирования дополнительное запаздывание (из-за квантования по времени и запаздываний) по сравнению с непрерывным измерителем. Это ухудшает условия устойчивости, ввиду чего апериодический переходный процесс при этом может быть обеспечен лишь при уменьшении теоретически допустимой (для непрерывного измерителя рассогласования) добротности  $K_n = 1/4T$  в отношении  $m \approx 1 - 0,25T_{кэ}/T$ . В этом случае допустимая добротность будет равна

$$K = K_n(1 - 0,25T_{кэ}/T) = 25(1 - 0,25 \cdot 16/10) = 0,6 \cdot 25 = 15, \text{ где}$$

$$T = 10 мс, T_{кэ} = 16 мс, K_n = 1/4T = 25 1/с.$$

При этом все переходные процессы и запаздывания соответственно увеличиваются в отношении  $K_n/K = 25/15 \approx 1,7$  раза; в той же степени уменьшается требуемая величина минимальной скорости, увеличиваются необходимый диапазон регулирования скорости и погрешности на контуре (последние могут быть снижены путем обработки на меньшей скорости).

Регуляторы скорости ( $РС$ ) унифицированы по входным сигналам, т.е. независимо от максимального значения скорости механизма, максимальная величина входного сигнала  $РС$  постоянна и формируется из нормированного максимального значения кода  $9000$  на входе  $ЦАП$  (рис.3.). это обеспечивает также постоянство максимального выходного сигнала и коэффициента передачи  $ЦАП$ , т.е. унифицирует параметры последнего для всех координат. Предельное возможное значение кода на входе  $ЦАП$  равно  $9999$  и ограничено разрядностью этого кода и входного регистра  $ЦАП$ . Использование максимального значения кода, равного  $9000$ , обеспечивает запас на возможное увеличение рассогласования вследствие изменения добротности и других причин.

Контур пути следящего привода, представленный в виде отдельных звеньев с коэффициентом передачи  $K_i$ , приведен на рис.б., где обозначено:

$S_3$  – код задания;

$\Delta S$  – код рассогласования;

$\Delta S_n$  – нормированное значение кода  $\Delta S$  во входном регистре ЦАП  
( $\Delta S_{nmax}=9000$ );

$I_{вых}$  – выходной ток ЦАП;

$\omega$  – круговая частота вращения вала двигателя;

$V$  – скорость движения механизма;

$S_\phi$  – фактическое перемещение механизма;

$\phi$  – фаза выходного сигнала ПИ;

$K_1, K_2$  – дополнительные коэффициенты для приведения кода  $\Delta S$   
к коду  $\Delta S_n$ ;

$K_{ЦАП}$  – коэффициент передачи ЦАП;

$K_{pc} = \frac{\omega}{I_{вых}}$  – коэффициент передачи регулятора скорости (РС);

$K_p = V/\omega$  – коэффициент редукции в кинематической цепи  
сочления двигателя с механизмом;

$K_q = \phi/S_\phi$  – коэффициент передачи ПИ.

В общем случае неизменными являются только коэффициенты передачи  $K_{ЦАП}$  и  $K_{АЦП}$ . Остальные коэффициенты могут быть переменными.

Добротность следящего привода определяется как общий коэффициент в контуре пути.

$$K \cong K_1 \cdot K_2 \cdot K_{ЦАП} \cdot K_{pc} \cdot K_p \cdot K_q \cdot K_{АЦП}$$

Размерность добротности [1/с] величина  $\Delta S$  – безразмерная. Величина  $v_{max}$  берется в единицах пути за 1с. Для линейных координат размерность  $v_{max}$  [мм/с], размерность коэффициента  $K_2$  [с/мм]. Например, при  $v_{max}=10\text{м/мин} \approx 167\text{ мм/с}$ ,  $K=25\text{ }^1/\text{с}$ :  $K_1=25\text{ }^1/\text{с}$ ;  $K_2=\Delta S_n\text{ max} / v_{max}=9000 / 167 = 54\text{ с/мм}$ .

При этом  $\Delta S_{max} = v_{max}/K = 167/25 = 6,67\text{мм}$ .

Проверка  $\Delta S_{max} \cdot K_1 \cdot K_2 = 6,67 \cdot 25 \cdot 54 = 9000 = \Delta S_n\text{ max}$ .

В отличие от рассмотренных приводов основных координат, следящий привод главного движения (вращения шпинделя) имеет особенности, связанные с изменением редукции в кинематической цепи от двигателя к шпинделю при переключении механических ступеней редуктора, вследствие чего меняется коэффициент редукции  $K1$  в контуре пути. Для сохранения постоянства добротности необходимо поэтому компенсировать указанное изменение соответствующим изменением коэффициента  $K2$ . Для удобства учета механической ступени, в ИР этой координаты введен еще один коэффициент  $K3$ , равный непосредственно передаточному отношению редуктора  $K3 = n_{\text{дв}}/n_{\text{шп}}$ , где  $n_{\text{дв}}$  и  $n_{\text{шп}}$  – угловые скорости вращения двигателя и шпинделя.

Например, при  $n_{\text{шп max}}=500\text{ об/мин}$ ,  $n_{\text{дв max}}=3000\text{ об/мин}$  (передаточное отношение на данной механической ступени 6:1).  $K=25\text{ }^1/\text{с}$ ;  $K3=6$ ;

$$K2 = \frac{9000}{n_{\text{дв max}}} \cdot 60 = \frac{9000}{3000} \cdot 60 = 180\text{ с/об}$$

При этом  $\Delta S_{max} = n_{un\ max} / K = 500 / 25 \cdot 60 = 0,33$  об.

Проверка:  $\Delta S_{max} \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 = 0,33 \cdot 25 \cdot 180 \cdot 6 = 9000$ .

Основной режим работы привода главного движения при обработке детали – не следящий, а с заданием скорости вращения, т.е. с регулированием скорости. При этом основные структурные звенья прямой цепи контура привода (в частности, ЦАП и РС) остаются теми же. ЦАП при этом выполняет цифро-аналоговое преобразование не рассогласования, а непосредственно задаваемой из ВУ (вместо  $\Delta S$ ) величины заданной скорости вращения шпинделя ( $n_{un}$  в об/мин). При работе в следящем режиме  $n_{un}$  [об/с].

$$\text{Поэтому } K2 = \frac{\Delta S_{n\ max}}{n_{d\ max}} = \frac{9000}{n_{d\ max}} \left[ \frac{\text{мин}}{\text{об}} \right].$$

Например, при  $n_{un\ max} = 500$  об/мин,  $n_{d\ max} = 3000$  об/мин,  $K3 = 6$ .

$$K'_2 = \frac{9000}{n_{d\ max}} = \frac{9000}{3000} = 3 \text{ мин/об.}$$

Проверка:  $n_{un\ max} \cdot K'_2 \cdot K3 = 500 \cdot 3 \cdot 6 = 9000$ .

Запас в величине  $\Delta S_n = 9000$  (которая здесь является нормированной величиной максимальной скорости шпинделя) относительно максимального значения 9999 служит при этом для возможности работы при отклонениях и нестабильности фактической скорости вращения шпинделя.

## 2.2. Элементная база и типовые схемы

Принципиальные электрические схемы блоков, входящих в УЧПУ, разработаны на основе интегральных микросхем (ИС) и дискретных элементов.

В цифровых логических и запоминающих схемах УЧПУ используются микросхемы серии К155 и запоминающая матрица К141РМ1.

В аналоговых и специальных цифровых схемах используется интегральный дифференциальный усилитель постоянного тока К1УТ221В, операционные усилители К1УТ401, К1УТ402, гибридный аналоговый переключатель 701МЛ37А и дискретные элементы различных типов (транзисторы, диоды и др.).

## 2.3. Компоновка УЧПУ.

УЧПУ размещается в шкафу сборный конструкции (рис.9.а.). Шкаф имеет две двери, запираемые на ключ, боковые стенки двойные. Передняя дверь имеет прозрачную шторку, которая опускается вниз и открывает доступ к органам управления и ФСУ. Шторка имеет замок и в поднятом состоянии закрывается на ключ.

УЧПУ содержит 11 блоков на печатных платах. Блоки объединяются в узел общей панелью соединений (узловой платой). Блоки в шкафу расположены вертикально в четыре этажа по два узла в каждом этаже. Блок является элементарной схемно-конструктивной единицей УЧПУ, допускающей быструю замену. Между этажами расположены радиаторы, которые служат одновременно направляющими для печатных блоков. Узел питания расположен внизу шкафа и состоит из блока стабилизаторов и блока трансформаторов, смонтированных на отдельных основаниях.

Блоки органов управления, ФСУ и индикатор расположены на передней двери шкафа.



С увеличением степени интеграции элементов возрастает количество выделяемого ими тепла в единице объема, что приводит к необходимости интенсивного отвода тепла из шкафа. Кроме того необходима защита от загрязненности воздуха металлической пылью, парами масла и эмульсии.

### 3. СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ.

#### 3.1. Виды сигналов в УЧПУ.

Работа процессора и других устройств УЧПУ в пределах машинного такта (6,25 мкс) и подтакта (1,25 мкс) происходит по синхронному принципу. При этом выдача информации и запись ее в память производится в строго определенные (синхронизированные или тактированные) моменты времени по сигналам общего задающего генератора.

Основной единицей времени при последовательной передаче информации (периодом смены информации на общих кодовых шинах устройства) является подтакт. В течение его информация выдается из какого-либо источника информации и преобразуется (обрабатывается) в комбинационных логических схемах, а результат обработки записывается в элементы памяти, для использования в последующих подтактах или тактах.

В соответствии с этим в УЧПУ можно различать три основные группы сигналов:

- а) информационные сигналы, содержащие передаваемую информацию;
- б) сигналы временной тактирующей сетки, определяющие моменты выдачи информационных сигналов (такты, подтакты и др.).

Сюда же относятся сигналы временной развертки, представляющие собой сигналы ряда частот (от 800 КГц до 50 Гц, блок УС, рис.3) с выходом счетчиков блока тактирования (53), используемые как опорные для АЦП, для работы процессора в реальном масштабе времени и т.п.;

в) собственно синхронизирующие сигналы, выполняющие запись информации в память. Здесь можно выделить два вида сигналов:

- исходные стробирующие сигналы (стробы) – последовательности (серии) коротких сигналов максимальной частоты повторения, сдвинутых по времени относительно друг друга и используемые непосредственно или по совпадению с другими более широкими (разрешающими) сигналами;
- синхронизирующие импульсы (синхроимпульсы);
- сигналы, поступающие непосредственно на установочные и синхронизирующие входы элементов памяти. Они получают по совпадению стробов и сигналов разрешения синхронизации.

Для организации синхронной работы УЧПУ используются три строба  $C0$ ,  $C1$ ,  $C2$  (рис.4.в), сдвинутых по времени относительно друг друга. Длительность строба равна 250нс ( $n$ (нано)  $-10^{-9}c$ ) и определяется с некоторым запасом максимальным временем установления информации в элементах памяти, а также возможным уменьшением длительности стробов при прохождении последних через цепочку логических элементов. Период повторения стробов – 1,25 мкс ( $mk -10^{-6}c$ ) и определяется длительностью подтакта (рис.4.в.).

Стробирующие сигналы  $C0$  и  $C2$  используются для записи информации в память, а также в качестве синхронизирующих импульсов сдвигающих регистров и двухтактных счетчиков. Строб  $C1$  – вспомогательный, он используется для предва-

рительного сброса элементов памяти, запись в которые выполняется по одному входу. Иногда используется для формирования отдельных вспомогательных высокочастотных сигналов.

Передача информации (рис.7) заключается в выдаче (считывании) информации из памяти  $P$  узла – источника информации ( $УИИ$ ) и приеме (записи) ее в аналогичную память другого узла – приемника информации ( $УПИ$ ).

Каждый узел состоит из основных информационных блоков (рядовых блоков)  $PБ$  и блока развязки по нагрузке (буферного блока)  $ББ$ . Информация передается из одного

рядового блока  $УИИ$  в другой рядовой блок  $УПИ$ . Передача происходит синхронно, в течение одного подтакта  $Ei$  (рис.4) длительностью 1,25 мкс.

Считывание информации из  $PБ$   $УИИ$  начинается с поступлением в него сигнала  $E$ , и заключается в выдаче из памяти этого блока (путем включения выходных коммутаторов памяти или т.п.) кода числа на общие шины  $\alpha$ . В  $PБ$   $УПИ$  этот код записывается в память стробирующим сигналом  $C_2$  (примерно в середине интервала  $E$ ). Сигналы  $E$  и  $C$ , определяющие длительность передачи и момент записи информации, вырабатываются соответствующими элементами блока общего тактирования ( $ТБ$ , рис.7).

Рис.7 поясняет как передается код числа из одних блоков памяти в другие (например, в  $АЛУ$ ). Аналогично передается код адреса из  $ПЗУ$  команд в блоки памяти. На схеме не показаны сигналы управления (разрешения) записью в память и др.

Информационные ( $\alpha$ ) и времязадающие ( $E$ ,  $C$ ) сигналы проходят по линиям связи между узлами устройства (шины  $Ш1$ ) и между блоками одного узла (шины  $Ш2$ ), а также через элементы развязки по нагрузке (усилители сигналов) в буферных блоках. Требуемая длительность подтакта ( $Ei$ ) и частота смены информации на общих шинах (величина, обратная длительности подтакта), а тем самым и *быстродействие УЧПУ*, определяется суммарной задержкой сигнала при прохождении его через логические элементы блоков и линии связи между блоками и узлами.

Задержки в линиях связи, представляющие собой в основном длительность переходных процессов (отражение сигналов) в длинной линии, для линий связи между узлами невелики из-за применения *согласования*. В линиях связи между блоками *внутри* узла задержки больше, так как здесь отсутствует согласование. Длина *этих* линий может быть значительной. Полная длительность переходных процессов в последовательной цепи передачи сигналов  $E$  и  $\alpha$  может достигать 200-250 нс. Основная задержка сигнала определяется задержкой последовательно включенных логических элементов в памяти (вместе со схемами развязки, управления и коммутации) и может составлять (20-25)  $\tau$ , где  $\tau$  - задержка одного логического элемента. Для логического элемента серии К155  $\tau \approx 14$  нс.

При большом количестве последовательно включенных логических элементов могут иметь место задержки, превышающие допустимые. В этих случаях задержанные сигналы не используются в данном подтакте, а синхронизируются следующим подтактом («переставляются» на начало этого подтакта). Это характерно для  $АЛУ$  (рис.3), где в схеме выполнения вычислений может быть включено последовательно 35-40 логических элементов. Это дает фактическую задержку порядка 500 нс. Поэтому на входе  $АЛУ$  предусмотрен синхронизирующий регистр (17) объемом 1 байт, а при записи в память  $АЛУ$  (регистр-накопитель (18) и отдельные триггеры).

Электрические сигналы распространяются по линиям связи с конечной скоростью. Время пробега сигнала в линии пропорционально длине последней. В линиях

связи *УЧПУ* сигнал проходит расстояние в один метр за 6-7 нс. Если время пробега сигнала в линии равно или больше времени нарастания фронта сигнала (5-10 нс), то такая линия называется длинной.

При передаче цифровых (импульсных) сигналов по длинным линиям связи возможны искажения сигнала по следующим причинам:

- *отражения* в одиночной длинной линии;
- *перекрестные наводки* между длинными линиями. Отражения сигналов возникают из-за **несогласованности** волнового сопротивления линии и сопротивления нагрузки.

При работе микросхем *K155* на длинную линию всегда имеет место частичное отражение импульса от конца линии. Этот частично отраженный сигнал многократно пробегает по линии, каждый раз отражаясь от концов последней. Он алгебраически суммируется с основным сигналом и тем самым искажает его форму. Это искажение формы сигнала может влиять на нормальную работу *УЧПУ*.

Проходящие рядом две длинные линии могут иметь паразитную емкость и индуктивную связь между собой. При этом импульсный сигнал, распространяющийся в одной линии, может наводить (через указанную емкостную и индуктивную связь) в другой линии напряжение помехи. Амплитуда и длительность упомянутой помехи зависят от длины проходящих рядом линий, величины емкостной и индуктивной связи, а также от амплитуды импульсных сигналов. Перекрестные наводки между линиями связи *УЧПУ* устраняются следующими мерами:

- применением *витых* пар в качестве линий связи;
- применением *микрорисковок* линий связи (плоский сигнальный печатный проводник на одной стороне печатной платы и расположенный непосредственно под ним аналогичный земляной печатный проводник или сплошной земляной слой на обратной стороне платы);
- удалением линий связи на достаточное расстояние друг от друга.

Линии связи между узлами *УЧПУ* с целью уменьшения перекрестных наводок выполнены витыми парами. При этом один из проводов витой пары является прямым (сигнальным), другой обратным (заземленным с обоих концов). Все линии связи между узлами *УЧПУ* объединяются в три жгута: центральный и два боковых. По центральному жгуту в *УЧПУ* проходят общие (массовые) связи – синхронизирующие и информационные. По боковым жгутам проходят индивидуальные связи между отдельными узлами *УЧПУ*.

Все электрические соединения между блоками узла выполнены в виде печатных линий связи на узловой плате. При этом все соединения линий связи узловой платы с блоками разъемные.

Печать узловой платы односторонняя, на второй стороне оставлен сплошной металлизированный слой, за исключением тех мест, где расположены металлизированные отверстия для пайки выводов ответной части разъемов.

Металлизированный слой служит обратным проводом линий связи узловой платы. При этом печатная линия связи и металлизированный слой образуют *микрорисковку* линию передачи сигнала, в которой ток в обратном проводе каждого сигнала автоматически выбирает такой путь, чтобы создаваемая парой «сигнальный – обратный проводник» ЭДС самоиндукции была минимально возможной.

### 3.2. Устройство синхронизации.

Устройство синхронизации (УС, рис.3.) предназначено для получения общих синхронизирующих и время задающих сигналов УЧПУ. УС выдает следующие группы сигналов:

- а) основные сигналы синхронизации: - стробы ( $C0, C1, C2$ ),
- подтакты ( $E0, E1, E2, E3, E4$ );
- б) сигналы временной развертки: - сигналы кодовой развертки ( $h1, h2, h4, h8, h10, h20, h40, h80, h100, d1$ );
- код подциклов ( $v1, v2, v4, v5$ );
- код циклов ( $a1, a2$ );
- в) сигналы для управления индикацией: - сигнал обратного хода кадра ( $ДХК$ ); - сигнал обратного восемнадцатой строки ( $ОХС_{18}$ ); - импульс запуска строк с длительностью  $1 \text{ мкс}$  и периодом повторения  $1 \text{ мс}$  ( $ИЗС$ ); - код элементов раstra ( $f1, f2, f4, f8$ ); - сигнал подэлементов раstra  $f_0$ ; сигнал модуляции засветки нулевого уровня ( $f_{0A}$ ); - сигнал записи контролируемой информации ( $СЗп$ );
- г) вспомогательные сигналы: - сигнал запроса прерывания ( $ЗсП$ ); - строб, служащий для укорочения подтактов в устройствах памяти ( $00$ ).

Задающий генератор  $\Gamma$  (54, рис.3.) формирует симметричное прямоугольное напряжение с частотой следования  $4\text{МГц}$ , которое подается на тактовые входы (входы синхронизации) счетчика 5:1 и формирователя стробов (ширина строба  $1/4\text{МГц}=0,25\text{мкс}$ ). Сигнал  $U$  ( $800 \text{ КГц}$ ), полученный на выходе счетчика 5:1, одновременно поступает на тактовые входы всех счетчиков (кроме счетчика раstra): 2:1, 10:1, 20:1, счетчик подциклов 10:1, счетчик циклов 4:1. Кроме этого он поступает на формирователи: подтактов,  $ИЗС$ , стробов и установки нуля. На счетчик раstra поступает тактовый сигнал  $E4$ . Благодаря этому обеспечивается синхронность работы всех этих узлов, т.е. изменение их выходных сигналов происходит в один и тот же момент времени относительно тактирующего сигнала. При этом между всеми времязадающими сигналами соблюдается кратность, т.е. в периоде повторения или длительности любого предыдущего сигнала укладывается целое число периодов повторения или длительностей всех последующих сигналов.

## 4. О РАБОТЕ ПРОЦЕССОРА

В состав процессора входят (рис.3.) модули оперативной памяти ( $ОП$ ), арифметико-логическое устройство ( $АЛУ$ ), постоянное запоминающее устройство ( $ПЗУ$ ) и устройство управления процессором ( $УУП$ ).

### 4.1. Оперативная память ( $ОП$ ).

Предназначена для приема, хранения и выдачи данных, необходимых для работы процессора, с размещением каждого элемента информации (*слово*) в определенном месте (*ячейка памяти*), имеющем определенный адрес.  $ОП$  принимает и выдает информацию в темпе работы процессора; по этому признаку к  $ОП$  отнесена постоянная память ( $ПЗУ$ ) установок (10), работающая лишь в режиме считывания. Кроме нее в  $ОП$  входят: память чисел (12, 13), стек-блок (14) и память условий (11).

В УЧПУ применяются слова двух форматов:

- полноразрядные многобитные слова (длина слова 32 бита, или четыре байта);
- однобитные слова. Соответственно различают память многобитовую ( $МП$ ) и однобитовую.  $МП$  включает в себя:
- оперативную память числовых данных ( $ОПЧ$ );

- память состояний прерванной программы – стек;
- ПЗУ установок;
- память регистров (входных и выходных) периферийных устройств (РПУ);
- память регистра общего назначения (регистра множителя);
- память регистра-накопителя АЛУ (РМ АЛУ иРН АЛУ);
- память регистров УУП (РУ).

К однобитовой памяти относится оперативная память условий переходов программы (ОПУ). Часть однобитных памятей не является оперативными. Например, память сигналов и аппаратно формируемых условий. Однако, эти памяти имеют общие с ОП адресацию и частично принципы работы.

Время обращения к многобитной ОП – 6,25 мкс (такт), к однобитной ОП – 2,5 мкс (2 подтакта  $Ei$ ). Все ячейки ОП являются непосредственно адресуемыми. Задание адреса в двоичном коде по общим кодовым шинам  $\alpha_1 - \alpha_9$  в подтакте  $E0$  для многобитной ОП и в подтактах  $E1, E2$  – для однобитной ОП.

Общий объем хранимой в ОП приведен в табл. 1. 464 числа (около 1,9 Кбайт) для МП и 256 условий (256 бит) для однобитной памяти. Многобитная информация – это, как правило, числовые данные. Числа передаются четырьмя последовательными байтами в подтактах  $E1 - E4$  по общим шинам  $\alpha_1 - \alpha_8$ . (табл.2). Каждый байт состоит из двух тетрад (декад): младшей, передаваемой шинами  $\alpha_1 - \alpha_4$ , и старшей (шины  $\alpha_5 - \alpha_8$ ). Младшая декада парного байта (подтакт  $E1$ ) называется знаковой и используется для передачи следующей информации:

$\alpha_4$  – признак наличия числа по данному адресу (  $P$  );

$\alpha_2, \alpha_3$  – знак числа (для «+»  $\alpha_3=0, \alpha_2 = 1$ ; для «-»  $\alpha_3=1; \alpha_2 = 0$ );

$\alpha_1$  – контрольный разряд числа (дополнение количества единиц двоично-десятичного кода числа до нечетности).

Остальные семь декад числа - цифровые, при этом старшая декада первого байта (подтакт  $E1$ ) является младшей декадой числа, а старшая декада четвертого байта (подтакт  $E4$ ) – старшей декадой числа.

Указанная последовательность выдачи числа на шины (знаком и младшими разрядами вперед) объясняется требованиями АЛУ, в котором арифметические действия (в частности алгебраическое сложение) выполняются, начиная с его младших десятичных разрядов.

Режим записи и считывания в ОП определяется сигналом записи в памяти по адресу ЗпП, сформированным в УУП. Если этот сигнал отсутствует, то информация считывается на общие шины из выбранной ячейки. При наличии сигнала ЗпП информация записывается с общих шин в выбранную ячейку.

Вся записываемая и считываемая из МП информация контролируется в устройстве контроля (УК, рис.3) УЧПУ на нечетность и на отсутствие «переполнения» в коде числа.

Для передачи двоичного кода адреса (для ОПУ – однобитной памяти условий) используются общие шины  $\alpha_1 - \alpha_9$  и шина условий (ШУ). Код адреса для вызова ячейки памяти в этом случае передается в подтактах  $E1$  и  $E2$ . В УУП при этом формируется сигнал вызова условия ВЗУ. При наличии сигнала ЗпП информация, сформированная логическими схемами УУП, через ШУ записывается в выбранную ячейку ОПУ.

Таблица 1.

## Общий объем хранимой в ОП информации

Наименование функциональной части ОП		Адреса	Адресуемый формат информации	Количество ячеек памяти	Количество байтов	Количество бит
МП	ОПЧ	000-477	4 байт	320	1280	10240
	ПЗУ	500-677	4 байт	128	512	4096
	Стек	733-735	4 байт	2×8	64	512
	Всего для ОМП	000-677 733-735	4 байт	464	1856	14848
Однобитная ОП		000у-377у	1 бит	256	-	256
Всего		-	-	780	-	15104

Индекс «у» - условие, для отличия адресов однобитной памяти от адресов МП.

*Оперативная память чисел (12, 13) (ОПЧ)* предназначена для хранения обрабатываемой в УЧПУ числовой информации: входных величин, результатов вычислений и т.д.. Задание адреса реализуется в двоичном коде в подтакте *ЕО* по общим шинам. Формат чисел – полный, 4 байта (7 декад цифровых и одна знаковая).

Адрес в подтакте *ЕО* поступает с общих шин  $\alpha 1-\alpha 9$  и запоминается в регистре адреса *РА* (9, рис.3) на весь такт обращения к памяти. Выбор ячейки памяти производится управляющим дешифратором на выходе *РА* (входит в состав буферной памяти (12, рис.3).

Блок рабочей памяти (13) состоит из десяти блоков хранения информации *i* ПИЧ, содержащих по 32 ячейки памяти. Блок ПИЧ выполнен на микросхемах памяти средней степени интеграции *K155PV2*, собранных в универсальные модели. Буферный блок *ПБ2* (12, рис.3) управляет работой рабочей памяти ПИЧ (13).

В каждой микросхеме модуля хранятся одноименные декады 16 чисел, т.е. 8 декад числа (см.табл.2.) хранятся в 8 микросхемах памяти.

Одновременно в модуле выбирается одна декада. Для выбора байта требуется параллельная работа *двух* модулей, управляемых одними и теми же сигналами. Запись новой информации производится по сигналам *ЗпИ* и *ЗпИК* стробом *С2* (см.рис.4).

Для исключения одновременного выбора нескольких декад в модуле из-за неблагоприятного сочетания задержек, влияния фронтов сигналов выбора и т.п. введено стробирование подтактов стробом *СО* (\* - означает, что используется строб *СО* с в два раза укороченной длительностью).

Таблица 2

## Передача чисел и адресов по общим шинам

Шины	Числа по байтам									
	Адрес		Байт 1		Байт 2		Байт 3		Байт 4	
	<i>E 0</i>		<i>E 1</i>		<i>E 2</i>		<i>E 3</i>		<i>E 4</i>	
	Инф.	Вес	Инф.	Вес	Инф.	Вес	Инф.	Вес	Инф.	Вес
$\alpha 10$	Двоич- ный код адреса ячейки и памя- ти	<i>KA</i>		-		-		-		-
$\alpha 9$		$4 \cdot 8^2$		-		-		-		-
$\alpha 8$		$2 \cdot 8^2$	Дека- да 1	$8 \cdot 10^0$	Дека- да 3	$8 \cdot 10^2$	Дека- да 5	$8 \cdot 10^4$	Дека- да 7	$8 \cdot 10^6$
$\alpha 7$		$1 \cdot 8^2$		$4 \cdot 10^0$		$4 \cdot 10^2$		$4 \cdot 10^4$		$4 \cdot 10^6$
$\alpha 6$		$4 \cdot 8^1$		$2 \cdot 10^0$		$2 \cdot 10^2$		$2 \cdot 10^4$		$2 \cdot 10^6$
$\alpha 5$		$2 \cdot 8^1$		$1 \cdot 10^0$		$1 \cdot 10^2$		$1 \cdot 10^4$		$1 \cdot 10^6$
$\alpha 4$		$1 \cdot 8^1$	<i>П</i>		Дека- да 2	$8 \cdot 10^1$	Дека- да 4	$8 \cdot 10^3$	Дека- да 6	$8 \cdot 10^5$
$\alpha 3$		$4 \cdot 8^0$	-	$4 \cdot 10^1$		$4 \cdot 10^3$		$4 \cdot 10^5$		
$\alpha 2$		$2 \cdot 8^0$	+	$2 \cdot 10^1$		$2 \cdot 10^3$		$2 \cdot 10^5$		
$\alpha 1$		$1 \cdot 8^0$	<i>KA</i>	$1 \cdot 10^1$		$1 \cdot 10^3$		$1 \cdot 10^5$		

*KA* – контрольный разряд адреса; *KЧ* – контрольный разряд числа;

*П* – признак наличия числа.

При передаче информации контролируется сумма двоичных разрядов записываемого числа (*СЧ*). Сумма *СЧ* определяется после прихода последнего байта числа, т.е. после окончания такта записи. Поэтому запись контрольного разряда (*KA*) возможна лишь в следующем такте, в подтакте *EO*, до того, как начнется запись или считывание следующего числа. Так как микросхемы предусматривают одновременную запись всех четырех разрядов выбранной декады, то, следовательно, вся знаковая декада (см.табл.2.), поступающая на вход памяти в подтакте *E1* должна записываться в память в подтакте *EO* следующего такта. Для этой задержки используется специальный регистр, встроенный в усилители сигналов с шин системы. Контроль числа обеспечивает определение как сбоя при хранении информации, так и отказа микросхем.

#### 4.2. Магази́нная память (стек).

*Стек* – память, предназначенная для хранения текущего состояния прерываемой программы (14, рис.3).

Основные характеристики:

- количество запоминаемых состояний 7, для семи рабочих уровней прерывания (всего памятей 8);
- объем информации для каждого уровня – два полноразрядных четырехбайтовых числа (шаг программы и индекс модификации адреса);
- общий объем памяти 64 байта ( $8 \times 2 \times 4 = 64$  байта).

Текущая состояние программы на каждом уровне прерывания запоминается в соответствующем этому уровню *регистре стека* (их восемь) и считывается в нужный момент в *УУП* при выходе из прерывания для продолжения выполнения прерванной программы.

Схемой, обеспечивающей выбор одного из восьми регистров стека, является *счетчик состояний стека (СЧСС)*. Он представляет собой реверсивный счетчик, который обеспечивает последовательную запись состояний программы и считывание

этой информации в обратном порядке, так как последний уровень при входе в прерывание является первым при выходе из прерывания. То есть информационные регистры стека не являются сдвиговыми, а сдвиг информации *имитируется* реверсивным счетом прерываний на управляющем счетчике.

При прерывании программы (вход в прерывание) сначала производится запись соответствующей информации в стек, затем «продвижение» ее внутрь стека (точнее выбор регистра, предназначенного для запоминания информации следующего уровня прерывания). При возврате к последней прерванной программе (выходе из прерывания) последовательность действий обратная - сначала «выдвижение» информации из стека (выбор предыдущего регистра), затем считывание информации из стека. Состояние счетчика СчСС может быть выведено на индикацию.

Регистры стека выполнены на микросхемах памяти, объединенных в 2 модуля: модуль старших и модуль младших декад байта (см. табл.2.). Информация считывается на общие шины через выходной коммутатор по подтактам ( $Ei$ ).

**Оперативная память условий (ОПУ)** (11, рис.3.).

Предназначена для хранения логических условий переходов (ветвлений) программы. Ее объем 256 ячеек памяти; адресация ячеек – непосредственная; задание адреса в двоичном коде по общим шинам  $\alpha_1$ - $\alpha_9$  в подтактах  $E1$ ,  $E2$ ; формат информации – 1 бит; задание информации по шине условий (ШУ) параллельно с адресом. В выбранную ячейку ОПУ (объемом два бита) может быть записана (при сигнале ЗпП) или считана информация (при отсутствии сигнала ЗпП). При записи в выбранную ячейку записываются два разряда: информационный с ШУ и контрольный.

#### **4.3. Постоянное запоминающее устройство уставок (констант).**

ПЗУ предназначено для хранения постоянной информации и оперативного считывания ее при опросе по адресу уставки. Указанная информация включает в себя постоянные расчетные коэффициенты и математические константы, а также переменные величины, вводящие характеристики станка и др. (уставки скоростей, ускорений, параметров регулирования и т.п.) в данном исполнении УЧПУ.

Основные технические данные ПЗУ уставок: время обращения к ПЗУ 1 раз за такт (6,25 мкс); разрядность уставки 7 десятичных разрядов в двоично-десятичном коде 8421 (29 бит, включая контрольный разряд); количество хранимых уставок 128; знак уставки не задается (уставка является всегда положительной); контроль работы – по нечетности, с использованием одного контрольного разряда в уставке.

Основным требованием к ПЗУ является возможность занесения и надежного считывания значительного объема постоянной информации. Это наиболее экономично обеспечивается при построении устройства по диодно-трансформаторной схеме на транзисторных запоминающих ячейках, выполненных на кольцевых ферритовых сердечниках.

Запись информации выполняется путем прошивки сердечников трансформаторов одновитковой первичной обмоткой. При этом сердечник является элементом памяти для одного двоичного разряда всех чисел, а провод (вместе с прошитыми им сердечниками) – элементом памяти всех разрядов одного числа. Прошивочные провода в определенном порядке проходят через трансформаторы ячеек Я1 – Я29. Если прошивочный провод проходит через кольцо сердечника трансформатора, то это означает, что в него записана единица. Если прошивочный провод проходит мимо со-



ответствующего трансформатора, то это означает, что в него записан нуль. Выбор числа при считывании обеспечивается путем дешифрации требуемого провода с двух сторон с помощью соответствующих формирователя тока и ключа, с развязкой провода последовательным диодом; считывание выполняется импульсом тока. Требуемое количество сердечников в ПЗУ(29) определяется разрядностью уставки, а проводников и диодов (по 128) – количеством хранимых уставок. Одним проводом прошивается одна уставка (всего 128 уставок). В уставке прошивается один контрольный разряд и 28 двоично-десятичных разрядов, разбитых на 7 декад. Каждая декада представляет собой десятичную цифру. При использовании замкнутого кольцевого сердечника считывание выполняется при малом первичном токе (порядка 60 мА) и обеспечивает достаточную длительность импульса выходного сигнала, позволяющую выполнить временное стробирование последнего при записи в память. Для уяснения схемы работы ячейки и облегчения поиска возможных неисправностей, физический процесс в ячейке рассмотрен в *Приложении 1*.

ПЗУ уставок содержит следующие основные функциональные части:

- регистр адреса уставки;
- двухступенчатый дешифратор;
- схема управления считыванием уставок;
- шифратор уставок – основная часть ПЗУ, выполняющая хранение уставок;
- выходной регистр;
- выходной коммутатор.

Основной принцип работы шифратора заключается в том, что при поступлении кода адреса уставки на ступени I и II дешифратора выбирается один формирователь тока и один контакт выбора ряда. Этим самым из всех 128 прошитых проводов выбирается один, по которому протекает первичный ток.

В *таблице 3* представлено содержимое уставки (оно заносится прошивкой в запоминающие ячейки) и рассмотрен пример прошивки уставки 8555720. Разряды “П”, знак “+” и знак “–” не прошиваются и их запоминающие ячейки отсутствуют (эти разряды всегда выходят в виде единиц).

При опросе одного провода на выходах запоминающих ячеек (в течение действия импульса тока  $I_1$ ) появляется код уставки и контрольный разряд, которые поступают на выходной регистр.

Выходной регистр предназначен для хранения записанной в регистр информации до окончания последовательной выдачи ее (по байтам) на общие шины. Информация в регистр заносится в момент поступления на него строба – сигнала Зп.

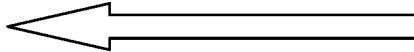
Выходной коммутатор предназначен для поочередного вывода разрядов уставки с регистра на шины узла. Вывод всех 29 разрядов осуществляется за четыре подтакта:  $E1 [(K), (+), (-), (П), 10^0]$ ;  $E2 (10^1, 10^2)$ ;  $E3 (10^3, 10^4)$ ,  $E4(10^5, 10^6)$ . Информация с коммутатора подается на шины узла только при наличии сигнала разрешения считывания.

Таблица 3

## Содержимое уставки

Декады	$10^6$				$10^5$				$10^4$				$10^3$				$10^2$				$10^1$				$10^0$				знаковая							
Двоичные весы	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	-	+	П	К
Номер за- поминаю- щей ячейки Я	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	8	7	6	5	4	3	2	-	-	-	1				
Двоично- десятичный разряды (пример)	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Десятичные разряды (пример)	8				5				5				5				7				2				0											

Направление прошивки двоично-десятичных разрядов уставки 855720



#### 4.4. Арифметико – логическое устройство (АЛУ).

АЛУ предназначено для выполнения арифметических операций в процессоре, а также ряда логических операций, непосредственно связанных с арифметическими (необходимых для выполнения законченных арифметических действий). Кроме того, через регистры АЛУ выполняется обмен данными между ячейками ОП.

Основные технические данные:

- а) представление данных: - система счисления – десятичная;
  - код – двоично – десятичный 8421; - представление чисел;
  - с запятой, фиксированной справа от младшей десятичной цифры числа (т.е. все числа считаются целыми); адресуемая единица – слово (число со знаком); - длина слова (разрядность числа) – 4 байта (7 десятичных разрядов и знак); - результат умножения представлен с двойным количеством разрядов (14 разрядов);
- б) выполняемые операции: арифметические, логические, сдвига и пересылок;
- в) временные характеристики: - обработка чисел – последовательно-параллельная (параллельная в пределах байта, последовательная по байтам и числам); одновременно (параллельно) обрабатываются два десятичных разряда числа (1 байт);
  - время обработки одного байта, или машинный *подтакт* – 1,25 мкс (т.е. частота смены информации на общих адресно-числовых шинах – 800 кГц); - время обработки одного числа, или машинный такт – 6,25 мкс (частота повторения 160 кГц);
  - большинство операций (ввод в АЛУ из ОП, вывод из АЛУ в ОП, сложение числа с содержимым накопителя, сдвиг) являются одноктактными, длительностью 6,25 мкс (т.е. быстродействие 160 000 операций /с);
  - время сложения (вычитания, сравнения) двух чисел с вводом и выводом из АЛУ – 3 такта или 18,75 мкс (53 000 операций /с);
  - операции умножения – многотактные; за один такт выполняется умножение семиразрядного десятичного числа (множимого) на одну десятичную цифру *множителя*; количество тактов умножения равно количеству значащих цифр множителя (считая и младшие нули) плюс один; - время умножения двух семиразрядных десятичных чисел – 8 тактов; вместе с вводом множителя в АЛУ и выводом произведения из АЛУ – 10 тактов, или 62,5 мкс (16 000 операций в с).

В состав АЛУ входят следующие блоки узла арифметики: блок преобразования кода (АПИ); два блока вычислений (АВ1); блок множителя (АМ1); блок накопителя (АН1); блок логики управления накопителем АЛ1.

В УЧПУ все числа при их вводе и хранении представлены в двоично-десятичном коде 8421. АЛУ рассчитано на побайтовую обработку данных во всех операциях. В каждом байте (см. табл.2) располагаются две десятичные цифры (декады) числа, каждая из которых представлена четырехразрядным двоичным числом (тетрадой). Знак числа находится рядом с младшим десятичным разрядом числа. Распределение информации числа по байтам показано на рис.8. Обрабатываемые АЛУ числа имеют единый формат – 4 байта, т.е. 7 десятичных разрядов со знаком. Эта единица информации (число со знаком и некоторыми другими признаками) называется *словом*. Все исходные данные хранятся в оперативной памяти (ОП) в виде слов. В байте двоичные разряды нумеруются от 0 до 7, в слове – от 0 до 31 справа налево ( в порядке возрастания двоичных и десятичных весов).

В знаковой тетраде располагаются знак числа («+» или «-»), контрольный разряд (дополнение суммы двоично-десятичного кода числа до нечетности  $KЧ$  и признак наличия числа ( $П$ ). Признаки числа имеют следующие веса: « $П$ » – «8», «-» – «4», «+» – «2», « $KЧ$ » – «1» (см.рис.8.).

Число поступает с общих шин в  $АЛУ$  и выдается на шины в порядке возрастания номера байта. Число выдается «младшими разрядами вперед», так как именно в таком порядке выполняются арифметические операции в  $АЛУ$  (алгебраическое сложение и умножение). Числа (*операнды*) хранятся в памяти в *прямом* коде, а операции алгебраического сложения в  $АЛУ$  выполняются в *дополнительном* коде. Знак числа выдается в первую очередь для возможности преобразования прямого кода отрицательного числа в дополнительный в процессе поступления числа с шин.

В процессе выполнения операций байты операндов обрабатываются последовательно справа налево (от младших десятичных разрядов к старшим). Знаки операндов обрабатываются отдельно от цифровой части числа.

Полная длительность процесса обработки информации при выполнении всех операций (*кроме умножения*) не зависит от количества цифр в слове и каждая операция выполняется за фиксированный интервал времени (*такт*). Каждый байт в слове обрабатывается за один подтакт (см.рис.4). Таким образом, управление выполнением всех операций организовано по синхронному принципу.

Выполнение же операций умножения организовано по асинхронному принципу, т.е. выполнение следующей операции начинается лишь по окончании умножения. При этом  $АЛУ$  выдает в  $УУП$  (см. рис.3) *сигнал* выполнения многотактной операции ( $МО$ ). Внутри самой многотактной операции работа  $АЛУ$  организована по синхронному принципу, т.е. такт за тактом без каких либо дополнительных сигналов управления.

В процессе выполнения операций результат в  $АЛУ$  может получиться в виде слова или двойного слова. Например, при умножении двух семиразрядных чисел результат может достигать 14 десятичных разрядов. В этом случае результат представляется в виде двойного слова и хранится в разных ячейках памяти.

#### *Формы представления чисел*

Форма представления чисел в  $АЛУ$  – естественная (с фиксированным положением запятой справа от младшего десятичного разряда). При таком представлении числа участвуют в операциях выравненными по младшим разрядам.

Положительные и отрицательные числа хранятся в  $ОП$  в *прямом* коде. В операциях сложения и вычитания положительные числа участвуют в прямом коде, отрицательные – в дополнительном. Операции умножения выполняются с числами в прямом коде.

*Дополнительным* кодом ( $A\ доп$ ) целого отрицательного числа ( $A\ пр$ ) является дополнение последнего до  $10^n$ ,  $A\ доп = 10^n - A\ пр$ , где  $n$  – разрядность формата. Например, при  $n = 7$  для  $A\ пр = -13254$ ;  $A\ доп = 10^7 - 13254 = 9986746$ .

Использование дополнительного кода позволяет операции «сложение», «вычитание» и «сравнение» свести во всех случаях к обычному сложению. Если рассматривать десятичные цифры числа в отдельности, то при этом лишь младшая из них представлена в дополнительном коде (дополнение до 10), а все остальные цифры в *обратном* коде – дополнение до 9. Дополнительный код числа (как и отдельной цифры) больше обратного на единицу младшего разряда.

В вычислениях (при выполнении машинных программ) встречается и *нормализованное* представление чисел, т.е. со сдвигом их влево до предела. Это исключает старшие нули (незначащие цифры), что позволяет повысить точность вычислений

при ограниченной разрядной сетке АЛУ. Нормализованные числа и денормализованные (восстановленные в естественном виде) результаты получаются в АЛУ с помощью логических операций и сдвига.

### Работа АЛУ

Входные регистры (буферный регистр и регистр множителя) предназначены для приема и хранения операндов (или их части), над которыми должны производиться действия при выполнении очередной операции (см.рис.3). В операционной части (16) осуществляется преобразования операндов согласно машинным алгоритмам арифметических и логических операций. В управляющей части АЛУ (на схеме не показана) вырабатываются сигналы, координирующие взаимодействие всех блоков АЛУ между собой и с другими устройствами процессора. В управляющую часть входят блоки АЛ1, АП1, АМ1.

Входной буферный регистр (РБ) предназначен для приема одного байта числа или двух тетрад (рис.3 и 8).

Регистр для хранения множителя объемом 32 бита или 8 тетрад служит для приема 7 разрядного десятичного числа со знаком. Операционную часть АЛУ составляют: входной преобразователь кода (ПК) (№16, АВ1); множителемно – суммирующее устройство (МСУ), объемом в две декады (№16, АВ1); регистр – накопитель старших и младших разрядов результата (Нсп и Нмп) (№18, АН1) и выходной ПК (АП1). Регистр – накопитель (18) предназначен для хранения 14 десятичных разрядов результата. Накопитель разбит на два регистра (Нсп и Нмп) по 8 десятичных разрядов в каждом из них.

Множителемно – суммирующее устройство является основным в операционной части и выполняет действия над операндами согласно формуле  $S = a \cdot v + m$ , где  $a$  – число, поступающее из ОП;  $v$  – число из РМ;  $m$  – число, поступающее из регистра-накопителя Нсп;  $S$  – результат на выходе МСУ. По этой формуле выполняется не только умножение, но и остальные операции (сложение, ввод в накопитель и др.).

При выполнении всех операций (кроме умножения) входной ПК преобразует прямой код поступающего числа в обратный (если знак операнда должен быть отрицательный). В МСУ к младшей цифре преобразованного числа прибавляется единица, за счет чего обратный код числа превращается в дополнительный.

При выводе результата из АЛУ выходной ПК преобразует дополнительный код отрицательного числа в прямой код.

Таким образом, память всего числа предусмотрена в АЛУ лишь для множителя (РМ, 19) и результата вычислений (накопитель).

Входной буферный регистр РБ осуществляет запоминание лишь части операнда (слагаемого множителемно и др.), поступающих с общей шины в одном подтакте ( $E_i$ ) работы АЛУ, т.е. одного байта числа. Основное назначение РБ – снятие задержек поступающей информации путем запоминания ее и подачи на МСУ в начале следующего подтакта.

АЛУ выполняет 23 операции. Арифметические операции: сложение (СЛ)  $A + (Нсп) \rightarrow Нсп$ ; вычитание (ВЧ)  $(Нсп) - A \rightarrow Нсп$ ; сравнение (СР)  $|Нсп| - |A| \rightarrow Нсп$ ; умножение  $A \cdot (РМ)n \rightarrow Н$ ; умножение со сдвигом  $A \cdot (РМ)n \rightarrow Н$  (сдвиг  $7-n$ ); умножение с суммированием и сдвигом

$$A \cdot (РМ)n + (Нсп) \rightarrow Н \text{ (сдвиг } 7-n \text{)}.$$

Здесь  $A$  – операнд поступающий на вход АЛУ из ОП или ячейки памяти;  $(Нсп)$  – содержимое старших регистров накопителя;  $РМ$  – регистр множителя;  $n$  –

количество значащих цифр множителя;  $H$  – регистр – накопитель ;  $\rightarrow$  - показывает, куда заносится результат.

*Логические операции:* определение количества значащих цифр (ЗНЦ) числа (ОЗНЦ).

Операции *сдвига*: сдвиг логический 1 (СДЛ1) – сдвиг вправо ( $Hcp$ ) и ( $Hmp$ ) на количество ЗНЦ; сдвиг логической 2 (СДЛ2) – сдвиг вправо ( $Hcp$ ) и ( $Hmp$ ) на количество  $7 - \text{ЗНЦ}$ ; сдвиг 1 (СДВ1) – сдвиг ( $Hcp$ ) и ( $Hmp$ ) на  $i$  десятичных разряда вправо (здесь  $i$  принимает значения от 1 до 7).

Операции *пересылок*: ввод слова в  $Hcp$  ( $BBHC$ )  $A+0 \rightarrow Hcp$ ; ввод слова в  $PM$  ( $BBPM$ )  $A \rightarrow PM$ ; вывод слова из  $Hcp$  ( $BHC$ ) ( $Hcp$ )  $\rightarrow A$ ; вывод слова из  $Hmp$  ( $BHM1$ ,  $BHM2$ ) ( $Hmp$ )  $\rightarrow A$ ; вывод слова из  $PM$  ( $BPM1$ ,  $BPM2$ ) ( $PM$ )  $\rightarrow A$ .

В операциях типа «сложения» общим является то, что операнд и результат ограничен сеткой в 7 десятичных разрядов и результат располагается в пределах старших разрядов регистра-накопителя ( $Hcp$ ). При операции обычного умножения (умножение и умножение со сдвигом) получаемое произведение содержит количество десятичных разрядов от 7 до 14 и располагается в виде двойного слова в старших и младших разрядах накопителя (18, Рис.3.). В качестве результата берется требуемое количество старших разрядов произведения. Умножение выполняется, начиная с младших разрядов (множимого и множителя) со сдвигом суммы частных произведений (промежуточных произведений множимого на последовательные цифры множителя, начиная с младших) вправо на один разряд после умножения на каждую цифру множителя. Поэтому старшая часть произведения всегда находится в регистре старших разрядов накопителя, независимо от количества цифр множителя.

По окончании собственно умножения, выполняется *автоматический дополнительный сдвиг* результата *вправо* на количество разрядов, равное количеству незначащих цифр множителя ( $7 - n$ ). Благодаря этому произведение располагается в накопителе в соответствии с фактической разрядностью множителя, т.е. заполняет все младшие разряды последнего и столько старших, сколько имеется значащих цифр в множителе или на одну меньше. Операция «Сдвиг логический 1» обеспечивает нормализацию чисел для получения максимальной относительной точности вычислений (7 разрядов) в пределах разрядной сетки АЛУ. Операция «Сдвиг логический 2» обеспечивает восстановление истинного порядка результата вычислений, т.е. денормализацию числа. Указанные операции СДЛ 1 и СДЛ 2 обеспечивает сдвиг числа в накопителе на величину, неизвестную заранее.

Таким образом, АЛУ обеспечивает вычисления (умножение) с постоянной относительной точностью путем нормализации сомножителей, что позволяет обеспечить программную реализацию вычислений *с плавающей запятой*. Произведение получается с максимально возможной точностью, необходимое количество сохраняемых старших разрядов его выбирается путем программирования. Округление произведения не предусмотрено.

*Все отсутствующие* более сложные вычислительные операции реализуются программным путем (например, операция деления).

### ***Последовательность выполнения операций***

Арифметические операции «Сложение», «Вычитание» и «Сравнение» выполняется в следующей последовательности. Операнд (первый) *по команде* «Ввод слова в  $Hcp$ » заносится в регистр  $Hcp$ . Второй операнд *по команде* одной из арифметических операций подается на вход « $a$ » МСУ. Одновременно на вход МСУ « $t$ » подается *первый* операнд из регистра  $Hcp$ . При необходимости знаки операндов изменяют-

ся согласно выполняемой операции. В МСУ происходит сложение чисел в *дополнительном* коде и результат записывается на место первого операнда, т.е. в регистр *Нср*. Вывод результата в ОП делается по команде «Вывод слова из *Нср*». Таким образом, полное исполнение операций «Сложение», «Вычитание» и «Сравнение», с выводом результата в память, выполняется за три такта, т.е. с помощью трех последовательных операций.

При этом «6» в формуле  $S = a \cdot v + m$  устанавливается  $v = 1$ , тогда операцию «Сложение» можно записать

$$a \cdot 1 + m \rightarrow H_{cp}.$$

**Пример 1.** Сложить числа +15 (0001 0101) и +38 (0011 1000) (двоично-десятичный код).

(+38)	0011	1000	Вход «а»
(+15)	0001	0101	Вход «т»
	0101	1101	Нескорректированный результат
		↑ n	
(+06)	0000	0110	Десятичная коррекция результата
(+53)	0101	0011	Результат в прямом коде.
		↑	
	перенос не		
	учитывается		

Сложение операндов в двоично-десятичном коде в пределах тетрады выполняется как в обычном двоичном коде с учетом переноса из предыдущего двоичного разряда. Межтетрадный перенос формируется и учитывается при получении результата в тетраде, равного или большего десяти. Затем в этой тетраде производится коррекция для получения правильного десятичного результата, для чего к тетраде прибавляется число 6 ( $2^4 - 10 = 6$ ). Полученный при коррекции межтетрадный перенос не учитывается. Результат операции записывается в регистр *Нср*. Знак результата формируется в отдельной схеме, исходя из знаков операндов (с учетом выполняемой операции) и переноса из старшего байта. Положительный знак результата  $Z_{нS}$  можно записать формулой

$$Z_{нS} = Z_{нA} \cdot Z_{нM} \cdot \overline{П} + Z_{нA} \cdot \overline{Z_{нM}} \cdot П + \overline{Z_{нA}} \cdot Z_{нM} \cdot П$$

где  $Z_{нA}$  – положительный знак числа, поступающего на вход «а»;

$Z_{нM}$  – положительный знак числа, поступающего на вход «т»;

$П$  – перенос из старшего байта.

Если после выполнения операций «Сложение», «Вычитание», «Сравнение» знак результата получится положительный, то это означает, что результат находится в регистре *Нср* в *прямом* коде. Если знак отрицательный, то результат в *дополнительном* коде.

**Пример 2.** Сложить число +38 и –15. Дополнение 15 до  $10^2$  равно 85.

(+38)	0011	1000	Вход «а»
(+85)	1000	0101	Вход «т»
	1100	1101	Нескорректированный результат
		↑ n	
	межбайт.		
	перенос		

(+66)	<u>0110</u>	0110	Коррекция результата
(+23)	0010	0011	Результат

Знак результата положительный и определяется формулой

**Пример 3.** Сложить числа  $-38$  и  $-15$ . Дополнительные коды этих чисел соответственно 62 и 85.

(+62)	0110	0010	Вход «а»
(+85)	<u>1000</u>	0101	Вход «т»
	1110	0111	Нескорректированный результат в дополнител. коде

межбайт.  $\leftarrow$   $\left. \begin{array}{|c|} \hline n \\ \hline \end{array} \right\}$

перенос

(+60)	<u>0110</u>	0000	Коррекция результата
(+47)	0100	0111	Результат в дополнительном коде

Результат получился в *дополнительном* коде, т.к. знак результата отрицательный. При выводе такого результата из регистра *Нср* через выходной *ПК* в *ОП* число будет преобразовано в *прямой* код.

**Пример 4.** Вычесть из числа  $+26$  число  $+45$ , т.е. найти разность  $(26-45)$ . Дополнительный код 45 равен 55.

(+55)	0101	0101	Вход «а»
(+26)	<u>0010</u>	0110	Вход «т»
	1000	1011	Нескоррект. результат в дополнительном коде

$\left. \begin{array}{|c|} \hline n \\ \hline \end{array} \right\} \uparrow$

(+06)	<u>0000</u>	0110	Коррекция результата
(+81)	1000	0001	Результат в дополнительном коде.

**Пример 5.** Сравнить числа  $-10$  и  $+9$  по модулю. Введем в накопитель число  $-10$  и выполним операцию «Сравнение»  $|-10| - | +9|$ . Дополнение 9 до  $10^2$  равно 91.

(+91)	1001	0001	Вход «а»
(+10)	<u>0001</u>	0000	Вход «т»
	1010	0001	Нескорректированный результат

межбайтовый  $\leftarrow$   $\left. \begin{array}{|c|} \hline \\ \hline \end{array} \right\}$

перенос

(+60)	<u>0110</u>	0000	Коррекция результата
(+1)	0000	0001	Результат

Знак результат положительный  $ZnS = \overline{ZnA} \cdot ZnM \cdot \Pi$ .

Положительный знак результата после выполнения этой операции говорит о том, что первый операнд, введенный в накопитель, по модулю больше второго или равен ему. В случае, если в результате операции типа «Сложение» результат оказывается равным нулю, он всегда имеет знак «+».

### Операции умножения

Операции «Умножение» и «Умножение со сдвигом» выполняются в следующем порядке. По команде «Ввод слова в *PM*» число (множитель) из *ОП* заносится в *регистр* множителя (*PM*). Затем множимое непосредственно из *ОП* подается а *АЛУ* столько раз,



сколько тактов умножения будет в данной операции. Количество тактов умножения равно количеству значащих цифр у множителя плюс один дополнительный такт, который необходим для размещения результата умножения в регистрах накопителя в *нормальном* положении.

За каждый такт производится умножение *множимого* на одну цифру множителя и сложение полученного частного произведения с предыдущей суммой частных произведений. Весь процесс нахождения произведения целых десятичных чисел реализуется примерно так, как это делается при умножении *вручную* (столбиком).

Сомножители участвуют в операциях умножения всегда в прямом коде, результат также получается в прямом коде. Умножение начинается с младших цифр множителя. Сомножители подаются в *МСУ* (16, рис.3.) на входы “*a*” и “*b*”, текущая сумма частных произведений поступает на вход “*m*” из регистра *Нср*. Результат умножения записывается в регистры *Нср* и *Нмр*, причем в регистр *Нмр* последовательно записывается младшая цифра каждой суммы частных произведений. Этим самым осуществляется сдвиг на один разряд текущей суммы частных произведений перед подачей ее на *МСУ*, т.к. на вход «*m*» число может подаваться только из регистра *Нср*. Таким образом, после каждого такта умножения в регистре *Нмр* остается сумма младшей цифры данного частного произведения с соответствующим разрядом предыдущей суммы частных произведений. В конце умножения (после выполнения операции «Умножение») в регистре *Нмр* будет столько младших цифр произведения, сколько значащих разрядов у множителя. Результат умножения получается в *АЛУ* в виде двойного слова и выводится в *ОП* двумя отдельными словами из регистров *Нср* и *Нмр*. При необходимости результат умножения с помощью логических операций нормализуется и выводится из регистра *Нмр* одним словом.

Знак произведения (*ЗнПр*) формируется в отдельной схеме знака, исходя из знаков сомножителей. Положительный знак произведения выражается формулой.

$$ЗнПр = ЗнА \cdot ЗнВ + \overline{ЗнА} \cdot \overline{ЗнВ}.$$

Умножение на ноль в результате всегда дает ноль.

**Пример 6.** Выполнить операцию «Умножение».

Множимое  $a = -12345$ , множитель  $b = +2357$ .

$$\begin{array}{r} 12345 \quad \text{Вход «a»} \\ \underline{2357} \quad \text{Вход «b»} \end{array}$$

<i>Нср</i>	0000000	Вход « <i>m</i> » Исходная сумма частных произведений.
	+	
-	0086415	Произведение множимого на 1-й разряд множителя.
<b>1 такт <i>Нср</i></b>	00086415000000	<i>Нмр</i> 1-я сумма частных произведений.
	+	
<b>2 такт</b>	00070366500000	Произведение множимого на 2-й разряд множителя.
	+	
<b>3 такт</b>	00044071650000	Произведение множимого на 3-й разряд множителя.
	+	
<b>4 и 5 такт</b>	00029097165000	Произведение множимого на 4-й разряд множителя. Результат умножения.

Результат имеет отрицательный знак.

В пятом дополнительном такте операции «Умножение» никаких действий в АЛУ не производится и он является холостым. Результат операции после четвертого такта остается неизменным до конца умножения.

**Пример 7.** Выполнить операцию «Умножение».

$$a = +9999999, \quad b = +8888888$$

	9999999	Вход «a».
	x 8888888	Вход «b».
	<u>0000000</u>	Вход «m». Исходная сумма частных произведений.
	+ 79999992	Произведение множимого на 1-й разряд множителя.
1 такт	<u>79999992000000</u>	1-я сумма частных произведений
	+ 79999992	Произведение множимого на 2-й разряд множителя.
2 такт	<u>87999991200000</u>	2-я сумма.
	79999992	
3 такт	<u>88799991120000</u>	3-я сумма.
	+ 79999992	
4 такт	<u>88879991112000</u>	4-я сумма.
	+ 79999992	
5 такт	<u>88887991111200</u>	5-я сумма.
	+ 79999992	
6 такт	<u>88888791111120</u>	6-я сумма.
	+ 79999992	
7 и 8 такты	<u>88888871111112</u>	Результат умножения.

Произведение имеет знак плюс.

Операция «Умножение со сдвигом» отличается от предыдущей (пример 6, 7) тем, что в последнем (дополнительном) такте производится сдвиг вправо результата в регистрах  $H_{ср}$  и  $H_{мр}$  на  $(7-n)$  десятичных разрядов, где  $n$  – количество значащих разрядов у множителя. После сдвига результат располагается в регистрах  $H_{ср}$  и  $H_{мр}$  так, что самая младшая цифра произведения занимает крайнюю правую тетраду в регистре  $H_{мр}$ . Так в примере 6 результат сдвинется вправо на  $3=7-4$  разряда и будет

00000029097165

Операция «Умножение с суммированием и сдвигом» является наиболее сложной из всех операций, выполняемых АЛУ. Операция производит алгебраическое сложение произведения двух чисел «a» и «b» с числом «m», заранее введенным в регистр  $H_{ср}$ . Суммирование выполняется в процессе умножения чисел «a» и «b». Формула операции  $a \cdot b + m$ . Сложность операции заключается в том, что знаки произведения «a·b» и числа «m» могут быть разные. Если «m» отрицательное, то оно представляется в дополнительном коде. Процесс умножения осуществляется так, как было рассмотрено в примерах 6 и 7. Разница в том, что в качестве исходной суммы частных произведений, берется «m», находящееся в регистре  $H_{ср}$ .

Знак результата формируется отдельной схемой знака, исходя из результата алгебраического сложения произведения «a·b» «m».

Положительный знак результата ( $Zn \text{ Рез}$ ) в общем случае после каждого такта умножения определяется по формуле

$$Зн Рез = ЗнS \cdot ЗнПр + \overline{ЗнS} \cdot \overline{ЗнПр}, \text{ где}$$

$ЗнПр$  – знак произведения;

$ЗнS$  – знак суммы частных произведений.

**Пример 8.**  $a = -12345$ ;  $v = +2357$ ;  $m = +5836$ .

Произведение « $a \cdot v$ » – отрицательное, число « $m$ » – положительное.

$|a \cdot v| > |m|$ ; Для того, чтобы произвести алгебраическое сложение произведения « $a \cdot v$ » и числа « $m$ », в дополнительный код преобразуется число « $m$ » при подаче его на вход « $m$ ». Дополнение числа 5836 до  $10^7$  равно 9994164.

	12345	Вход « $a$ ».
	2357	Вход « $v$ ».
	<u>9994164</u>	Вход « $m$ », число « $m$ » в дополнительном коде.
	+ 0086415	Произведение « $a$ » на 1-й разряд множителя.
1 такт	← <sup>n</sup> <u>00080579000000</u>	1-я сумма.
	+ 0061725	Произведение « $a$ » на 2-й разряд множителя.
2 такт	<u>00069782900000</u>	2-я сумма.
	0037035	Произведение « $a$ » на 3-й разряд множителя.
3 такт	<u>00044013290000</u>	3-я сумма.
	0024690	Произведение « $a$ » на 4-й разряд множителя.
4 такт	<u>00029091329000</u>	4-я сумма.
	сдвиг на 3	
5 такт	<u>00000029091329</u>	Результат в прямом коде.

Результат получился в прямом коде со знаком минус в соответствии с формулой для  $Зн Рез$ .

Основной *сдвиговой* операцией является сдвиг результата в регистрах  $Нср$  и  $Нмр$  вправо на определенное количество десятичных разрядов. Операции сдвига выполняются как с положительными числами, так и с отрицательными. При выполнении операции «Определение значащих цифр числа» специальной схемой в устройстве управления производится подсчет и запоминание количества значащих цифр числа. По результату этой операции выполняется одна из операций «Сдвиг логический 1» или «Сдвиг логический 2». С помощью операции «Сдвиг логический 1» производится нормализация числа (сдвиг влево до упора). Выполнение сдвига в операции фиксированного сдвига «Сдвиг 1» – «Сдвиг 7» такое же (кроме количества сдвигов).

При сдвиге отрицательных чисел, представленных в дополнительном коде, на месте старших незначащих разрядов формируются девятки.

**Пример 9.** Нормализовать произведение двух чисел после выполнения операции «Умножение со сдвигом»

$$a = +154783; \quad v = -38425; \quad a \cdot v = 5947536775.$$

Вначале выполняется операция «Определение значащих цифр числа» (числа, находящегося в регистре  $Нср$ ; количество значащих цифр в данном случае равно трем). Затем выполняется операция «Сдвиг логический 1» на определенное выше количество разрядов.

*Нсп* – 00005947536775 *Нмр* Производство  
 Сдвиг логический 1  
 – 00000005947536 Результат операции.

Нормализованное число находится в регистре *Нмр*. Машинная реализация изложенных алгоритмов арифметических операций достаточно сложна и выходит за рамки данного пособия.

#### 4.5. ПЗУ команд

Постоянное запоминающее устройство команд (*ПЗУ*, см.рис.3.) предназначено для хранения команд программы работы процессора и оперативного считывания ее при опросе по номеру ячейки *ПЗУ* (шагу программы).

Основные технические данные:

- разрядность команды (вместе с контрольным разрядом) – 18 бит;
- количество команд (шагов программы) – 4096 (4 блока постоянной памяти по 1024 команды в каждом);
- общий объем в битах – 73728;
- кодирование команды в соответствии с форматом; в основном формате – кодирование основных частей кода команды двоичное (код операции – 6 разрядов и код адреса операнда – 9 разрядов);
- кодирование номера ячейки *ПЗУ* (шага программы) – двоичное, 14 разрядов;
- контроль работы – по нечетности суммы единиц кода команды;
- частота опроса – 1 раз за такт (6,25 мкс);
- элементы памяти – кольцевые магнитные (ферритовые) сердечники;
- принцип записи информации – прошивка сердечника проводом. При наличии «1» в соответствующем разряде кода команды и проведение провода мимо сердечника при «0».

Блоки постоянной памяти (УП14) не отличаются друг от друга по схеме, но содержат различные части программы процессора. Они устанавливаются на различные места (1-4) в узле и после «зашивки» программы являются невзаимозаменяемыми.

Основные принципы построения устройства и работы запоминающей ячейки те же, что и в *ПЗУ* установок, если вместо числа установок рассматривать слово (команду). Объем *ПЗУ* команд в 20 раз больше, чем объем *ПЗУ* установок (рис. 3, 10).

Основной принцип дешифрации (выбора) слов и построения *ПЗУ* также аналогичен. Но ввиду большого объема информации имеется четыре ступени дешифрации вместо двух. Кроме дешифраторов выбора формирователей тока и ключей предусмотрены дешифраторы групп запоминающих ячеек и блоков памяти. На вход всех дешифраторов поступает двоичный код номера ячейки *ПЗУ* (шага программы).

Один блок памяти при этом содержит по 256 проводов и разделительных диодов при 72 сердечниках, что обеспечивает хранение 1024 18-ти разрядных слов.

Регистр кода команды (в виде отдельных регистров кода операции, адреса и др.) находится в устройстве управления процессора (УУП).

*ПЗУ* команд содержит следующие основные функции – анальные части: - четырехступенчатый дешифратор (ступень I – выбор группы; ступеньII – выбор формирователя; ступеньIII – выбор ключа; ступень IV – выбор блока); - шифратор; -

коммутатор. Шифратор, ступень III дешифратора и коммутатор входят в состав каждого из четырех блоков памяти.

Формирователь тока предназначен для формирования импульса тока амплитудой 60мА и длительностью 1,25мкс.

Дешифратор ступени III предназначен для выбора ключа и ряда проводов и коммутации тока, протекающего по одному из проводов от формирователя тока и через ключ на шину ОВ.

Принцип работы шифратора заключается в том, что при поступлении кода шага программы на II и III ступени дешифратора в выбранном блоке памяти ( $s_i=1$ , где  $s_i$  – номер блока памяти) выбирается один формирователь тока ( $\Phi$ ) и один контакт схемы выбора ряда. Этим самым из 256 прошитых проводов выбирается один, по которому протекает первичный ток. Одним проводом прошивается сразу четыре слова (всего  $256 \times 4 = 1024$  слова в одном блоке памяти). При опросе одного провода на выходах четырех групп запоминающих ячеек (в течение действия импульса тока) появляются разряды одновременно четырех слов, которые поступают на коммутатор.

Считывание из ПЗУ команд производится по адресу (номеру) ячейки ПЗУ или шагу программы (ШП). ШП поступает на устройство двоичным двенадцатиразрядным кодом ШП1 – ШП12 (в восьмеричной записи – шаги от 0000 до 7777, т.е. 4096 команд).

Двоичный код шага программы ШП1...ШП12 поступает на дешифратор, разбитый на 4 ступени I...IV. Поступление кода реализовано в начале подтакта Е1 или Е3, но не чаще одного раза за такт. Разряды шага ШП1, ШП2 поступают на первую (I), ШП3 – ШП6 на вторую (II), ШП7 – ШП10 на третью (III) и ШП11, ШП12 – на четвертую (IV) ступени дешифратора. Ступени пронумерованы в порядке повышения весов разрядов кода, т.е. понижения частоты работы.

Дешифратор первой ступени (I) выдает параллельно на четыре блока памяти сигналы ( $P_0-P_3$ ) выбора группы слов. Дешифратор старшей ступени (IV) подает на командный блок памяти (с 1 по 4) индивидуальный сигнал ( $S_1 - S_4$ ) выбора этого блока.

В каждом блоке памяти имеется дешифратор (ступень III), шифратор и коммутатор. Выходы II и III ступеней дешифратора подаются на шифратор. Каждому сочетанию состояний ступеней дешифратора (II, III, IV) соответствует четыре слова, считываемых с шифратора одного из блоков памяти. Выход ступени I дешифратора подается на коммутатор (сигналы  $P_0 - P_3$ ), с выхода которого считывается только одно из четырех слов.

Количество слов (команд), которое может храниться в одном блоке памяти, определяется числом состояний III, II, I ступеней дешифратора и равно  $16 \times 16 \times 4 = 1024$  слова. В четырех блоках – 4096 слов.

Таким образом, при поступлении на ПЗУ команд двоичного кода шага программы (разряды ШП1...ШП12) происходит следующее:

выбирается один из четырех блоков памяти сигналами  $S_1...S_4$  (с выхода дешифратора IV);

в выбранном блоке памяти по состоянию соответствующих ступеней дешифратора (II и III) считываются с шифратора и подаются на коммутатор четыре восемнадцатиразрядных слова;

сигналами  $P_0 - P_3$  из четырех поданных на коммутатора слов выбирается одно и подается на выход блока памяти.

#### 4.6 Устройство управления процессора

УУП (рис.3)предназначено:

- для управления процессором выполнения программы;
- для управления вводом в оперативную память;
- для управления выводом информации на индикацию;
- для установки исходного состояния (общего сброса) памяти;
- для обеспечения наладочных режимов.

Процесс выполнения первых трех функций заключается в выборке из ПЗУ команд и последующего их выполнения. Выборка команд из ПЗУ осуществляется адресами команд. При выполнении программы источником адресов команд является счетчик программы (СчП, 25, рис.3). Код счетчика поступает на ПЗУ. Ввод в ОП осуществляется по сигналу «Запрос ввода» (ЗсВв).

При выводе информации на индикацию (по сигналу «Запрос индикации», ЗсИ) источником адресов команд является счетчик индикации (СчИ, 16). Код этого счетчика поступает на ПЗУ.

Считываемые из ПЗУ команды запоминаются в регистре команд (20, 21). Регистр команд состоит из регистра операций (РОП, 20) и регистра адреса (РА,21). Содержимое регистров РОП и РА зависит от формата команд. В общем случае код регистра РОП выдается на АЛУ, а код регистра РА на общие шины для вывоза ячеек памяти УЧПУ.

При выполнении программы текущим адресом команды, выбираемой из постоянной памяти, является состояние счетчика СчП. СчП выполнен в виде двенадцатиразрядного двоичного двухтактного счетчика, выходной код которого синхронизирован стробом СО. Код счетчика СЧП по шинам ШП1-ШП12 поступает на вход ПЗУ.

Выборка команд из ПЗУ производится сигналом ЗпРК (запись в регистр команд), по которому формируется сигнал опроса («строб считывания») ПЗУ и сигналы записи в регистры РОП и РА. Сигнал ЗпРК формируется согласно логической формулы. В одном такте двух считываний из ПЗУ быть не может. Считывание из ПЗУ разряды команд по шинам (двоичные разряды выхода постоянной памяти ПЗУ) поступают в регистр команд.

В общем случае команда состоит из кода операции и адреса операнда. Код операции выдается с регистра РОП. Адрес операнда на общие шины выдается с регистра РА (рис.3, 21). Управление этими процессами осуществляется через ряд «ключей», управляющие сигналы, на которые формируются согласно логических формул. Выдача адреса с регистра РА, при переходах и обращении к однобитовой памяти, производится в подтактах  $E_1$  и  $E_2$ , в остальных случаях адрес выдается в подтакте  $E_0$ . Запрет выдачи адреса производится при вводе, индикации, общем сбросе и ряде других операций.

Выполняется команда, начиная с момента выдачи состояния регистра РА на общие шины. Таким образом, в текущем такте, которая была выбрана из постоянной памяти в предыдущем такте, и одновременно производится выборка следующей команды.

Модификация адресов выполняется, когда по одной программе выполняется несколько аналогичных алгоритмов вычислений. При модификации адрес команды (базовый адрес) изменяется на величину, определяемую индексом, с помощью двоичного адресного сумматора (23, рис.3). Источником индекса является регистр индекса (РИ, 22), который может быть выведен на индикацию. Сигнал «Запрет индек-

са» формируется согласно логической формуле и подается на управляющий «ключ». При отсутствии признака модификации или при наличии сигнала «Запрет индикации» на входе сумматора (23) индекс равен нулю и базовый адрес на вход регистра команд проходит без изменений.

Изменение естественного порядка выполнения и ветвление программ (выбор одного из двух направлений алгоритмов вычислений) осуществляется операциями безусловного и условного переходов. Выполнение операций переходов сводится к занесению в счетчик программы нового адреса команды, указанного в команде с операцией перехода. Безусловный переход выполняется однозначно. Выполнение условного перехода зависит от ряда условий, которые предварительно заносятся в триггер условия. Переход выполняется по сигналу «разрешение перехода». Условия в триггер условия заносятся при выполнении алгоритмов вычислений с помощью операции анализа состояния памяти.

Связь с подпрограммами осуществляется с помощью операций «передача состояния счетчика программы в память» (K46) и «возврат» (K47). Обе операции выполняются в два такта. Такты формируются счетчиком тактов команд, который запускается данными командами (операциями).

Выполнение операции K46 сводится к запоминанию в памяти адреса команды с безусловным переходом к подпрограмме. Выполнение операции K47 сводится к переносу в счетчик команд (25) адреса команды, который был перенесен в память при прерывании. При возврате из прерывания производится восстановление адреса команды и затем производится пропуск команды, соответствующей восстановленному адресу. Затем происходит выборка из ПЗУ следующей по порядку команды.

Операция прерывания по времени возбуждается не командой, а сигналом «запрос прерывания» (ЗсП). Это сигнал с частотой 1кГц, поступающий из блока тактирования (УС, рис.3). Операция прерывания состоит в выполнении следующих действий: прекращение отработки текущей программы и запоминание состояния этой программы на момент прерывания; передача управления программе, обрабатывающей информацию датчика положения (ДОС, рис.1) Прерывание по времени выполняется только в момент окончания выполнения процессором ряда операций:

- сброс (установка) ячейки многобитной памяти (12,13);
- запись единицы в однобитную память (11);
- запись нуля в однобитную память;
- разрешение прерывания;
- вывод старших разрядов накопителя (вывод целой части);
- вывод младших разрядов накопителя (вывод дробной части);
- вывод из регистра множителя.

После этих операций память АЛУ оказывается свободной и можно выполнять другие программы. Кроме того, прерывание по времени запрещается, когда идет ввод или вывод на индикацию. Установка при включении питания, многотактная операция, опрос датчиков и в наладочных режимах.

Операция прерывания выполняется в два такта по достаточно сложному алгоритму.

При выполнении многотактных арифметических операций в АЛУ формируется сигнал «многотактная операция» (МО). По сигналу МО в УУП производится запрет смены адреса команды и запрет выборки команды из ПЗУ. Сигнал МО исчезает за один такт до окончания выполнения операции, что позволяет произвести выборку следующей команды без потери времени.

К установочным операциям относятся:

сброс ячейки многобитной памяти (N12,13, рис.3);  
 запись в однобитную память (N11);  
 запись нуля в однобитную память.

Общий сброс памяти, т.е. установка исходного состояния памяти (нерабочего кода в многобитной памяти и нуля в однобитной памяти) выполняется путем ввода соответствующих величин ячейки памяти по адресу (т.е. не схемно с помощью специального сигнала). Источником адреса является при этом счетчик индикации (26), который выполняет при общем сбросе два полных цикла счета. За первый цикл счета производится установка многобитной памяти, за второй – однобитной.

Установка в отдельных ячейках начального состояния отличающегося от указанного исходного, выполняется после общего сброса с помощью программы установки рабочей памяти.

Общий сброс начинается по сигналу «Включение питания» (ВП), по которому в схеме формирования сигналов установки формируется ряд дополнительных сигналов установки, т.к. алгоритм выполнения общего сброса достаточно сложен. При общем сбросе запрещается выполнение программы, индикация и ввод.

Ввод в ОП производится в два такта. Выполнение программы во время ввода останавливается и возобновляется по окончании ввода. В соответствии с режимами ввода и индикации в УЧПУ различаются буквенно-цифровой ввод многобитную память и цифровой ввод в многобитную и однобитную память.

При буквенно-цифровом вводе вводимые символы перекодируются в адрес памяти по программе с помощью команд ПЗУ. Символ в первом такте (Т1) поступает на вход ПЗУ и является адресом команды, а команда содержит адрес ячейки памяти для хранения информации по данному символу. Символ передается в подтактах  $E_2+E_3$ . Выборка команд из ПЗУ осуществляется вторым стробом считывания. Выбранная из ПЗУ команда выполняется во втором такте ввода (Т2). При этом из регистра РА выдается на общие шины адрес памяти, в блоке индикации (26, 27, рис.3) формируется сигнал записи, а из предварительной памяти на общие шины выдается число, которое записывается в вызванную адресом ячейку памяти (ОП).

При цифровом вводе адрес памяти и число выдаются из предварительной памяти. В УУП при этом формируется разрешение ввода, останов программы, запрет выхода адреса на общие шины и сигнал записи в память.

### ***Вывод информации на индикацию.***

Вывод информации на индикацию осуществляется по запросу (ЗсИ), который поступает из устройства индикации (УИ, рис.3). В блоке индикации (26, 27) формируется сигнал разрешения индикации («запись в память устройства индикации», ЗпИ).

Вывод на индикацию может производиться в два, четыре или восемь тактов, в зависимости от количества чисел в одной строке индикации. Вывод на индикацию одного числа производится в два такта. Счетчик тактов отсчитывает такты Т1 и Т2 пока есть сигнал ЗсИ. При обратном ходе кадровой развертки счетчика тактов не запускается. В это время индицируется предварительная память. Сброс сигнала ЗпИ производится при исчезновении сигнала ЗсИ, который снимается, когда узел индикации (УИ) получит всю информацию для индикации одной строки. Выполнение программы возобновляется по окончании вывода на индикацию. В части управления различают три вида вывода на индикацию: вывод при буквенно-цифровой индика-



ции, вывод при цифровой индикации многобитной памяти (12,13), вывод при цифровой индикации однобитной памяти.

Кроме перечисленных функций УУП имеет достаточно большое число дополнительных функций, которые включают в себя, например, функции контроля.

## 5. ПЕРИФЕРИЙНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

### 5.1 Устройства ввода данных

Устройства ввода данных (УВД) служат для покадрового ввода программы управления станком (УП) с перфоленты (ПЛ), от ЭВМ или с пульта ручного ввода, а также для ввода данных геометрических коррекций УП – смещений начала отсчета по координатам и размеров (коррекций размеров) инструментов. Кроме того УВД дает возможность вводить в наладочном режиме (режиме цифрового ввода) со всех источников информации необходимые данные в ячейку ОП или в регистры периферийных устройств.

В состав УВД (рис.3) входят:

а) устройство ввода программы, включающие в себя пульт ручного ввода данных (4), устройство считывания с ПЛ ФСУ (3), устройство связи с ФСУ и пультом ввода;

б) устройство связи с ЭВМ (приема данных от ЭВМ) (5);

в) устройство ввода коррекций УП (пульт набора коррекций и устройство связи с ним) (6);

г) предварительная память (ПП) вводимых данных (8).

Пульты ввода данных, набора коррекций и ФСУ расположены на передней двери шкафа УЧПУ, остальные устройства – у узле ввода УЧПУ.

Через устройство связи с ЭВМ может вводиться как УП, так и ее коррекции. Предварительная память обеспечивает промежуточное хранение одного слова (до 9 байтов) вводимой информации для удобства его контроля и последующего вывода из УВД на шины УЧПУ за минимальное время. УВД имеет внутренние информационные шины (шины кода ИСО), куда поступает информация от всех ее источников перед вводом в ПП. Управление вводом информации на соответствующие шины осуществляется от УУП. Данные УП через устройство связи с ФСУ (например) выдаются на шины ИСО, с которых записываются в ПП. ПП накапливает всю информацию слова (адрес ИСО, знак и до семи десятичных разрядов числа), после чего следует вывод из нее на шины УЧПУ, ввод следующего слова и т.д.

Последовательность ввода информации от разных источников в ПП обеспечивается сигналами, формируемыми в устройстве управления УЧПУ (1,2, рис.3), а вывод из ПП – сигналом от УУП. Выбор источника ввода (ручной ввод, ПЛ или ЭВМ) производится с пульта управления УЧПУ, а выбор требуемой информации о смещении начала отсчета и размерах инструмента – соответственно по сигналам подготовительных команд (G54-G57) и номеру инструмента, находящегося в шпинделе (Тш). Во время ввода информации на шины УЧПУ прекращаются все операции процессора.

На всех этапах процесса ввода на шины ИСО и УЧПУ осуществляется контроль количества единиц каждого байта (шины ИСО) или каждого слова (шины УЧПУ) вводимой информации (четность или нечетность). Дополнительно на шинах ИСО контролируется скорость (частота) ввода.

Пульт ввода (4) предназначен для ручного ввода в память УЧПУ: кадров УП; исходной информации состояния механизмов автоматической смены инструмента; любой необходимой информации по адресу соответствующей ячейки памяти. Первые две операции выполняются в режиме буквенно-цифровой, третья – в режиме цифровой индикации.

Пульт ввода (4) состоит из клавиатуры (рис.9б) и шифратора, кодирующего состояние кнопок в коде ИСО и обеспечивающего тем самым унификацию последующего ввода информации. Клавиатура содержит 49 кнопок. На ней имеются кнопка установки памяти УЧПУ в исходное состояние – «общий сброс» («Ручная установка памяти» РУП); кнопка сброса по адресу (СБА), с помощью которой можно выборочно установить в исходное состояние соответствующую ячейку памяти; кнопка ввода адреса искомого кадра, с помощью которой вводится номер кадра, на котором необходимо остановить движение ПЛ или ввод от ЭВМ, а также прервать автоматическую обработку УП; кнопки номера инструмента в носителе и шпинделе; кнопка ввода по номеру ячейки.

Работа с клавиатурой пульта возможна только в режиме ручного ввода (преднабора ПН). Ввод адреса ИСО, номера искомого кадра и адресов состояния механизмов автоматической смены инструмента возможна только в режиме буквенно-цифровой индикации (БЦИ), а общий сброс – когда УЧПУ отключено от станка (Уоткл).

В клавиатуре пульта применены герконовые кнопки. Шифратор кода ИСО выполнен по многоступенчатой диодной схеме.

*Устройство считывания с перфоленты (3) типа ФСУ-Р4. Основные данные устройства:*

перфолента бумажная 8-дорожечная, шириной 25,4 мм;

считывание – фотоэлектрическое, со скоростью 300 строк/с, реверсируемое (с перемоткой), емкость кассет – 200 м;

режим работы – непрерывный и покадровый.

*Устройство связи с ФСУ и пультом ввода (на рис.3 оно не показано) входит в состав блоков 3 и 4. Оно выполняет функцию связи источников входной информации (ФСУ и пульта ввода) с шинами ИСО блока УВД и обеспечивает: помехозащищенную передачу сигналов от источников входной информации; преобразование формы и уровней входных сигналов в стандартные для микросхем серии К155; формирование тактового сигнала, необходимого для считывания на шины ИСО поступающей кодовой комбинации; контроль кодовой комбинации на соответствие разрешенным кодовым комбинациям ИСО и четность; передачу на ФСУ сигналов управления движением ПЛ.*

Ввод от ЭВМ (режим ЭВМ) и ввод коррекций по сигналу (ЗКор), запрещающему ввод УП при вводе коррекций, являются дополнительными режимами для УВД. Поэтому на этих режимах выдача информации производится непосредственно на шины ИСО. Ввод УП с ПЛ (режим Лн) производится на ФСУ. Пробивки, расположенные в линию поперек ПЛ, образуют *строку*. Разные отверстия в одной строке имеют разные веса (1,2,4,8,16,32,64,К), которые определяют различные информационные *разряды* двоичного кода символов или контрольный разряд дополнения до четности (К). Пробивки одного веса из разных строк образуют *«дорожку»*.

В процессе считывания УП происходит преобразование информации, нанесенной в виде кодовых комбинаций пробивок ПЛ, в электрические сигналы. Ввод с ПЛ имеет *много* недостатков. Так считывание УП с ПЛ производится по тактовым пробивкам, диаметр которых в 1,6 раза меньше, чем кодовых. Это приводит к силь-

ной зависимости параметров тактовых сигналов от состояния ПЛ по сравнению с кодовыми сигналами и, как следствие, к низкой достоверности информации строки. В связи с недостатками ФСУ в блоке УВД предприняты меры по улучшению помехозащищенности каналов связи от фотоприемников до блока вывода. Блок «Контроль ввода» (7, рис.3) включает в себя: схему контроля достоверности строки; схему контроля четности; формирователь ошибки ввода.

В режимах Лн и Пн информация на входе блока ввода подается в форме, не пригодной по своим параметрам для управления цифровыми микросхемами (рис.10а). Необходимо из монотонных сигналов ФСУ или преднабора сформировать прямоугольники напряжения (рис.10б) с параметрами, необходимыми для работы микросхем. Эта задача решается с помощью формирователей ФСУ. Схема формирователя выполнена на дискретных компонентах. Т.О. Электрические сигналы от ФСУ или пульта ввода преобразуются в прямоугольники напряжения и записываются в регистр кода ИСО. Из регистра кода ИСО информация поступает на шины кода ИСО ( $\beta 1 - \beta 8$ ) через коммутатор кода ИСО. Затем по тактовому сигналу производится дальнейшая запись информации в предварительную память (ПП, 8) УВД. Перечисленные процедуры осуществляются по сигналам, которые формируются в соответствии с логическими формулами.

Устройство ввода коррекции (УВК, 6, рис.3, рис. 9а, рис. 9в) предназначено для набора и выдачи в ПП геометрических коррекций УП - смещение нуля отсчета по координатам станка и размеров по длине и радиусу (или их коррекций) инструмента, находящегося в шпинделе. Основные технические данные УВК:

а) возможно смещение нуля отсчета по шести координатам. Каждое из смещений нуля по координатам X, Y, Z, A, B, C представлено в УВК в виде буквенного символа (строчная буква латинского алфавита) и семи десятичных цифр (значение смещения от 0 до 9999,999 мм). Количество переключателей набора начала отсчета для координат X, Y, Z – четыре, для координат A(W), B, C – один;

б) значения размеров (или величина коррекции) инструмента по длине представлены в виде символа D и пяти десятичных цифр (или четырех десятичных цифр и знака), а размеры инструмента по радиусу – в виде символа «U» и пяти десятичных цифр. Количество переключателей набора размера (коррекции) инструмента – 42, из них по длине 30, по радиусу 12;

в) объем считываемой информации – восемь чисел (шесть смещений нуля, длина и радиус инструмента);

г) время (частота) считывания одного десятичного разряда – 250 мкс (4кГц), одного числа (слова) – 2,5 мс (400 Гц), всей считываемой информации (восемь слов) – 20-40 мс;

д) тактовый сигнал считывания имеет период повторения – 250 мс и длительность 100 мкс.

Пульт набора коррекций расположен на передней двери шкафа УЧПУ (рис.9а). Ввод информации о геометрических коррекциях осуществляется путем считывания этой информации с декадных переключателей пульта набора коррекций, выполняющих функцию *внешней* памяти.

Информация разбита на слова, состоящие из буквенного символа (адреса) и семиразрядного десятичного числа. Считывание выполняется каждый раз после ввода очередного кадра программы. Для этого по сигналу LF(ПС) формируется сигнал (импульс) «разрешения ввода коррекций» РВК.

Полный объем информации, которая может быть записана на пульте (рис.9а) составляет 57 чисел. Из них 15 смещений нуля, 30 длин и 12 радиусов инструмента.

При каждом считывании необходимо выбрать только восемь из них (шесть смещений нуля, одну длину и один радиус) в зависимости от требований УП. Для выбора смещений нуля служат команды G54-G57. Для выбора длины и радиуса - номер коррекции, который может совпадать с номером инструмента.

Выбор соответствующих переключателей выполняется матричным (координатным) способом. Для этого пульт условно разбит на столбцы и строки. Выбор соответствующего переключателя осуществляется сигналами выбора столбцов Вр1 – Вр6 и строк Гр1 – Гр10.

Основными элементами структуры УВК являются регистры памяти команд G54-G57 и номера коррекции с соответствующими дешифраторами. На основе выходов указанных дешифраторов формируются сигналы Вр и Гр, обеспечивающие считывание выбранных 8 чисел в определенной временной последовательности.

Схема формирования сигналов выбора построена на реализации соответствующих логических выражений. Сигналы выбора последовательно во времени подключают к работе переключатели наборного поля НН1 и НР1.

Считанная с отдельных секций переключателей информация (число и знак) в виде десятичного кода поступает на шифратор для преобразования в код ИСО.

Размеры по радиусу могут набираться только для нечетных инструментов (от 1 до 23).

Синхронизация работы УВК (формирование сигналов записи в регистры, считывания из регистров и т.п.) осуществляется с помощью сигналов подтактов Е0-Е3 и стробов С0, С2.

Выдача на шины ИСО контрольного разряда (создается формирователем ФКР) *позволяет* контролировать информацию на четность и *обнаруживать* всевозможные обрывы или замыкания на шинах, передающих информацию от переключателей наборного поля до шин ИСО.

Предварительная память вводимой информации (ПП, 8, рис.3) предназначена для приема информации с шин ИСО последовательно по словам, накопления адреса и числовой информации слова и считывания накопленной информации в ОП. Основные характеристики ПП:

а) прием информации по шинам ИСО (в коде ИСО) последовательно по символам (побайтно); разрядность кода – семь двоичных разрядов кода символа и один контрольный разряд, сопровождаемый сигналом разрешения ввода такта ИСО (ТИСО); требуемая длительность кода на шинах ИСО не менее 20 мкс после начала сигнала такта; максимальная разрядность числовой информации – семь десятичных разрядов и знак;

б) передача выходной информации в память по общим шинам УЧПУ; выход на общие шины в основном режиме буквенно-цифровой индикации БЦИ в двух тактах. В первом такте - адрес ИСО, во втором – число последовательно по байтам;

в) связь с ЭВМ – по сигналу вызова очередной строки (ВОС); длительность паузы между очередными сигналами ВОС – не менее 6,25 мкс;

г) максимально допустимая частота ввода информации: для цифровых символов 32 кГц; для буквенных символов 13 кГц (кбайт/с); для слов максимальной длины (буква, знак и семь десятичных цифр) – 3,2 кГц.

В состав ПП входят: буферный блок (ВБ1), в который входит устройство управления ПП; блок памяти адреса ВА1; блок памяти числовой информации (ВИ1).

В соответствии со своим назначением ПП содержит память на одно слово (адрес ИСО, знак и число). Поскольку длина слова непостоянная (в пределах девяти байтов), моментом окончания ввода слова является поступление следующего адреса.

Поэтому ПП содержит два регистра буквенных адресов – для хранения старого и нового адресов. В режимах цифрового ввода (ЦИ1 и ЦИ2) для хранения двоичного кода цифрового адреса ячейки ОП используется отдельный регистр адреса.

Ввод в ПП осуществляется сигналом такта, сопровождающим любой символ ИСО, при наличии сигнала разрешения ввода в ПП из УУ. Вывод из ПП в ОП (ввод в ОП) осуществляется по принципу «Запрос – ответ» по сигналам запроса ввода и разрешения ввода из УУП.

Ввод каждого байта информации в ПП требует выполнения ряда последовательных внутренних передач информации (запись, сдвиг и т.п.) и формирования управляющих сигналов, т.е. является многотактным, то *входной* такт ИСО «размножается», т.е. из него формируется серия последовательных сигналов – тактов ввода ( $T_1, \dots, T_5$ ), каждый из которых равен одному такту УЧПУ (6,25мкс). При этом внутри тактов ввода используются также сигналы подтактов (1,25мкс). Указанные последовательности сигналов используются также для вывода информации из ПП.

Поступающая по шинам ИСО информация на входе ПП анализируется (в УУ) с выделением признаков входной информации (буква, знак, цифра) и, в зависимости от признака) запоминается в соответствующем регистре. Поступающая информация предварительно накапливается в ПП и только после этого выводится в ОП. Вывод информации из ПП производится по общим шинам, который в момент выдачи информации должны быть свободными. С этой целью в момент окончания накопления информации ПП выдает в УУП сигнал ЗсВв (запрос ввода). УУП, учитывая приоритет ввода, останавливает программу и формирует для ПП сигнал РВв (разрешение ввода в ОП). Поэтому сигналу ПП считывает информацию на общие шины.

Для взаимодействия при вводе с ФСУ и ЭВМ, ПП формирует сигнал ВОС (сигнал готовности ПП к приему следующего символа).

Режим буквенно-цифрового ввода и индикации (БЦИ) предполагает ввод информации в буферную память (БП, 12, рис.3). При этом адрес, заданный при вводе в ПП по шинам ИСО в виде буквенного символа, при выдаче информации из ПП в БП определяет адрес ячейки БП, предназначенной для ввода числа по этому адресу из ПП.

Ввод в ПП с шин ИСО для адресов «G» и «M» ничем не отличается от ввода для любого другого адреса, однако, выдача в БП происходит иначе. Это вызвано тем, что под одним адресом G и M может последовательно поступать несколько чисел (до девяти, по максимальному количеству вводимых в одном кадре групп команд G и M). Для хранения каждой группы выделяется отдельная ячейка БП.

Объем и последовательность ввода информации определяют необходимое время и максимальную частоту ввода. При этом к количеству тактов ввода ( $T_1 \dots T_5$ ) следует добавить один такт затрачиваемый в начале ввода для синхронизации ввода с шин ИСО, а для буквенных символов – дополнительно такты ожидания сигнала РВв (от двух до семи тактов), что определяется программой работы процессора. Так максимальная длительность ввода цифры 31,25мкс, буквы (кроме LF) 75мкс, LF – 81,25мкс, слово максимальной длины 325мкс. Максимальная длительность ввода кадра УП может быть определена как сумма времени ввода отдельных слов, ввода коррекций (20-40мс) и длительности программ установки БП (12) по символу (~300мкс). Из приведенных данных следует, что *при вводе с ФСУ* (с частотой 300 строк/с, т.е. с периодом повторения строк ~3мс) существует достаточный *запас времени* для ввода каждой строки УП.

Последовательность ввода в ОП и считывания из ПП обеспечивается тактами ввода Т1-Т5 при наличии сигнала «разрешение ввода в ПП (РВ в ПО). Такты Т1-Т5 формируются схемой синхронизации.

Контроль работы ПП производится устройством контроля (7) по общим для УЧПУ принципам.

## **5.2 Устройство измерения положения**

УИП (см. рис 2 и 3) предназначено для питания индуктивных измерительных преобразователей ПИ (датчиков положения) и преобразования фазы их выходных сигналов в двоично-десятичный код положения рабочих органов станка (АЦП). Кроме того, УИП выдает аналоговые сигналы (напряжение), соответствующие младшему десятичному разряду кодового эквивалента фазы непосредственно на ЦАП (код-ток) управления приводами. Преобразователь напряжение-код (30) УИП используется в схеме ручной коррекции скоростей подачи F и главного привода S.

Общие технические данные:

- а) количество контролируемых перемещений – 7;
- б) максимальная величина положения и перемещения представляется семи-разрядным числом. Минимальная дискретность информации о положении составляет  $1/2000$  величины шага измерительного преобразователя точного отсчета;
- в) УИП допускает обработку выходных сигналов шести многоотсчетных ИП и одного одноотсчетного (координата С);
- г) максимальное количество отсчетов ИП – пять;
- д) редукция между отсчетами равна 10.

УИП состоит из двух основных устройств: устройства питания ИП и АЦП фазы в код. АЦП состоит из многотсчетного преобразователя фаза-код (ПФК, 31, рис.3) и формирователя младшего десятичного разряда кодового эквивалента фазы (ФМРК). Эти основные устройства УИП располагаются в узле датчиков.

Для ввода в УЧПУ информации о рабочих органах станка используются измерительные преобразователи (ПИ) линейных или круговых перемещений *в режиме фазовращателя* с круговым полем, которые совместно с АЦП образуют систему измерений положения (СИП). В качестве фазовращателей могут быть использованы линейные и круговые индуктосины, синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы СКВТ или сельсины. При питании эти ИП системой двух или трехфазных напряжений выходной сигнал содержит информацию о положении связанной с механизмом подвижной части ПИ *в виде фазы* синусоидального напряжения. Принцип действия ДОС (фазовращателей) изложен в Приложении 2.

Величину перемещения, вызывающую изменение фазы от 0 до  $2\pi$ , принято называть *шагом ПИ*. В пределах шага существует однозначное соответствие между приращениями при перемещении и фазой выходного сигнала ПИ. Величина погрешности измерения зависит от величины шага ПИ в точном отсчете и от дискретности АЦП.

Измерение перемещений, больших шага ПИ, обеспечивается за счет установки одного или нескольких дополнительных ПИ (грубых) с большими величинами шага. Так, например, выбором величины шагов из ряда 2,20,200,2000,20000 мм с помощью пятиотсчетного ПИ будет любое перемещение от 0 до 20 м.

Таким образом, возможны два основных способа измерения больших перемещений с высокой точностью:

а) многоотсчетная система, содержащая ПИ точного (младшего) отсчета (ТО) и грубых (старших) отсчетов, в которой шаг старшего отсчета кратен шагу более младших отсчетов;

б) одноотсчетная система, содержащая только один ПИ.

Точность измерения при этом определяется только ПИ и АЦП точного отсчета.

В одноотсчетной системе требуемый диапазон измерения обеспечивается запоминанием количества шагов ПИ ТО в памяти УЧПУ (по программе работы процессора).

В станке МС12 системы измерения положения по всем координатам являются многоотсчетными, за исключением СИП координаты «С», которая выполнена по одноотсчетной схеме.

*Преобразование фазы в ее кодовый эквивалент* (код) может быть выполнено компенсационным способом либо прямым измерением. В УЧПУ система измерения положения выполнена с использованием способа прямого измерения фазы. Этот вариант может быть реализован двумя способами.

В первом случае фазовый сдвиг между опорным напряжением и выходным напряжением ПИ преобразуют в –импульсы, длительность которых равна временному сдвигу между сравниваемыми напряжениями, а период повторения равен периоду опорного напряжения. Далее эти импульсы преобразуют в постоянное напряжение (ток), величина которого пропорциональна длительности импульса. Далее с помощью АЦП напряжение – код получают кодовый эквивалент фазы.

Второй способ реализуется в преобразователях по методу считывания (рис. 11). Опорное напряжение для питания ПИ получают от высокочастотного генератора Г (с частотой  $f_g$  и периодом  $T_g$ ) с помощью триггерного делителя частоты ДЧ и фазорасщепителей ФР. На рис. 1 для упрощения показаны только два промежуточных выхода делителя частоты  $f_1$  и  $f_2$  и выходной сигнал  $f_3$ , соответствующий старшему разряду кода и определяющий частоту питающего напряжения ПИ и частоту его выходного синусоидального сигнала «g». Последний формируется формирователем Ф в сигнал прямоугольной формы  $\square$ , из которого на выходе квантователя  $K_v$  получается сигнал «m», который может повлиять лишь в строго определенные моменты времени «n». Это моменты формирования положительного фронта сигнала «m» при непрерывном измерении фазы  $\varphi_x$  сигнала «g» от 0 до  $2\pi$ .

Выход ДЧ образуют циклическую кодовую развертку интервала времени, равного периоду опорного напряжения  $T_0$  с дискретностью  $T_q$ , равной периоду генератора Г. Система питающих напряжений с выхода ФР создает в ПИ вращающееся круговое поле с круговой частотой

$$\omega = 2\pi/T_0.$$

Если результирующий магнитный поток представить вращающимся радиус-вектором, то фаза этого вектора пропорциональна коду на выходах ДЧ. Следовательно, фаза  $\varphi_x$  выходного сигнала создана этим полем, пропорциональна этому же коду. Фиксируя этот код в регистре «Р» импульсом, сформированным из выходного сигнала ПИ формирователем Ф и квантователем  $K_v$ , получим кодовый эквивалент фазы с дискретностью по фазе

$$\Delta\varphi = 2\pi T_q/T_0.$$

При этом, для получения двоично-десятичного кода, ДЧ выполнен двоично-десятичным.

Квантователь  $K_B$  необходим для исключения неопределенности в считывании кода, если совпадают моменты переключения триггеров ДЧ (моменты изменения кодовой развертки) и появления положительного фронта импульса на выходе «Ф». Поэтому моменты формирования квантователем положительного фронта сигнала «т» сдвинуты относительно фронтов сигналов  $f_1$ - $f_3$  таким образом, чтобы исключалась возможность считывания произвольной, комбинации сигналов  $f_1$ - $f_3$  в моменты, аналогичные  $t_1$ ,  $t_2$  и т.п. Вследствие этого между импульсами на выходах «Ф» и « $K_B$ » всегда существует некоторая разность фаз, изменяющаяся внутри  $\Delta\varphi$ .

Так как дискретность  $\Delta\varphi$  пропорциональна отношению частот выходного сигнала ПИ и генератора «Г», то стремление уменьшить величину дискретности приводит к увеличению частоты генератора «Г». Использование ПИ для контроля перемещений рабочих органов станка при скорости движения механизма свыше 5 м/мин вызывает необходимость съема информации с частотой 500 Гц и выше. Однако, ПИ – типа индуктосин из-за сильной зависимости уровня выходного сигнала от частоты питания могут эффективно использоваться при  $\omega > 6000$  рад/с (частота питания не менее 1 кГц). Поэтому при дискретности преобразования, равной  $1/2000$  от величины шага ПИ, частота генератора «Г» должна быть более 2 МГц. Использование таких частот усложняет преобразователь, ужесточает требования к каналу связи. Поэтому АЦП фаза-код ПИ точного отсчета выполняется двухступенчатым (двухканальным). Сначала по методу считывания получают код с дискретностью  $\Delta\varphi_1$  равной  $1/200$  от величины шага, затем минимальную дискретность  $\Delta\varphi_2$  на уровне  $1/200$  получают, преобразуя разность фаз на выходах Ф и  $K_B$  по алгоритму «разность фаз – интервал времени – постоянное напряжение – код».

Суммируя с соответствующим весом значения кодовых эквивалентов с выходов обоих каналов, получим результирующий кодовый эквивалент фазы в диапазоне  $0 - 2\pi$  с дискретностью  $1/2000$  шага П точного отсчета.

В грубых отсчетах дискретность преобразования составляет  $1/20$  от величины шага поэтому применен только канал, реализующий метод считывания.

УИП состоит из формирователя опорных и вспомогательных сигналов (входит в состав ПФК), устройства питания измерительных преобразователей (35, рис.3), двухканального АЦП, один канал которого образован преобразователем фаза-код ПФК по методу считывания, а второй – формирователем младшего разряда кодового эквивалента фазы (ФМРК).

Многоотсчетный преобразователь фаза-код ПФК с непосредственным преобразованием используется в системе измерения положения РО по всем координатам (кроме одной – «С»). Используются *пятиотсчетные* последовательные («мультиплексные») преобразователи фазы в код. Под понятием «отсчет» понимается комплект устройств, относящихся к соответствующему шагу ПИ. Для отсчета 1, например, это измерительный преобразователь, формирователь синусоидального напряжения в прямоугольное, квантователь фазы с гистрезисом, коммутатор, входной и выходной регистры, выходной коммутатор. ПИ отсчетов соединяются между собой с помощью механической редукции с коэффициентом 10:1. Измеряемой величиной является положение механизма (с соответствующей дискретностью) в пределах шага измерительного преобразователя; для отсчета 1 – в пределах 2 мм с дискретностью 0,01 мм. Более старший отсчет в соответствии с коэффициентом редукции включает десять интервалов более младшего отсчета. Так, отсчет 2 обеспечивает предел измерения до 20 мм.



ПФК служит для преобразования по семи координатам. Поскольку информацию о ПИ каждой координаты требуется выдавать с частотой 100 Гц, а сигналы от ПИ поступают с частотой 2кГц, есть возможность использования значительной части оборудования последовательно во времени, в том числе последовательного выполнения собственно преобразования фаза в код.

Цикл работы ПФК в целом, равный 10 мс, разбит на десять временных интервалов («расширенных подциклов», каждый из которых равен двум периодам питающего напряжения ПИ) длительностью 1мс, следующих друг за другом. С помощью этих сигналов коммутируются выходы квантователей фазы с гистерезисом в отсчете 1 и формирователей в отсчетах 2-5. (Рис.12). На выходах коммутаторов всех отсчетов получают, последовательно по подциклам, сигналы фазового сдвига от ПИ соответствующей координаты. Вносимый ими во входные регистры код хранится в последних до конца подциклах. В начале следующего подцикла этот код переписывается в выходные регистры, а во входные регистры записывается код другой координаты.

Выходные регистры отсчетов 2-5 отличны от выходных регистров отсчета 1, поскольку, кроме хранения кода, переписанного из входных регистров, *они должны суммировать* этот код с поправкой для согласования отсчетов между собой.

После добавления поправки, равной «1» или «0», в выходных регистрах отсчетов 2-5 содержится правильный код, который хранится в них до конца этого подцикла. Перезапись кода из входных регистров в выходные и суммирование с поправкой происходит за время, равное 5,75 мкс, в начале подцикла.

Из выходных регистров код поступает на выходной коммутатор, с выхода которого считывается на кодовые шины  $\alpha 1-\alpha 8$  в течение одного такта работы УЧПУ, в подтактах E2–E4, соответствующих требуемому времени выдачи разрядов  $10^1-10^6$  ПФК.

Выходной код ПФК содержит шесть десятичных разрядов (шесть декад). Две младшие декады выдаются отсчетом 1, четыре остальные декады -отсчетами 2-5. Диапазон изменения фазы в пределах шага отсчета 1 разбивается на 200 дискрет с ценой 1,8 электрического градуса.

Номера дискрет от 0-199 представляются двоично-десятичным кодом и получают из сигналов входной временной развертки кода с весами 100-80-40-20-10-8-4-2-1 (сигналы h100-h1).

Диапазон изменения фазы в пределах отсчетов 2-4 разбивается на 20 дискрет с ценой 18 электрических градусов. Номера дискрет от 0 до 19 получают из сигналов временной развертки кода с весами 100-80-40-20-10 (сигналы h100-h10).

Отсчет 5 используется не полностью – на 180 электрических градусов (что соответствует измерению линейного перемещения до 10м вместо возможных в данном отсчете 20м), поэтому количество дискрет этого отсчета равно 10 и в нем используются сигналы временной развертки с весами 80-40-20-10 (h80-h10).

При сопоставлении величин перемещений и соответствующих им сдвигов фазы ПИ ТО (в электрических градусах) и временных интервалов удобно использовать следующие соотношения между ними (для линейных координат станка):.

- а) шаг и период питания ПИ: 2мм;  $360^0$ ; 500мкс;
- б) дискрета ПФК ТО: 10мкм;  $1,8^0$ ; 2,5мкс;
- в) дискрета АЦП в целом: 1мкм;  $0,18^0$ ; 0,25мкс.

Величины фазовых сдвигов измеряются в электрических градусах; *при круговых ПИ* им соответствует такой же угол поворота в угловых градусах.

Для круговых координат станка численные значения шагов и дискрет те же, но выражаются не миллиметрах, а в угловых градусах; для координаты «С» – в соответствующих долях оборота шпинделя (при этом одному обороту шпинделя и шагу ПИ ТО соответствует 2000 единиц или дискрет АЦП).

Использование указанных одинаковых численных соотношений обеспечивает унификацию АЦП для всех координат станка.

Для грубых отсчетов одному и тому же сдвигу фазы  $360^\circ$  и периоду питания 500мкс соответствует увеличенный шаг ПИ – 20, 200, 2000 и 20000мм (соответственно для второго и пятого отсчетов; диапазон изменения при пяти отсчетах при этом ограничен величиной 10000мм).

*Формирователи прямоугольных сигналов* из синусоидальных предназначены для преобразования выходного напряжения ПИ из синусоидальной формы в прямоугольную той же частоты. Это необходимо для точного определения фазового сдвига выходного сигнала ПИ относительно опорного (по моменту перехода синусоиды через нуль).

В формирователях используется схема усилителя – ограничителя на базе операционного усилителя, имеющего большой коэффициент усиления. Схема охвачена положительной обратной связью (ПОС) с выхода на вход (по типу триггера Шмитта). ПОС повышает помехоустойчивость и крутизну фронта выходного сигнала формирователя, однако при этом всегда создается гистерезис выходного сигнала охватываемого ею элемента. Это смещает уровни срабатывания формирователя (относительно точек перехода входного сигнала последнего через нуль), что приводит к зависимости момента срабатывания формирователя от амплитуды синусоиды, т.е. к дополнительной погрешности преобразования.

Для обеспечения срабатывания формирователей при переходе синусоиды через нуль (из минуса в плюс, рабочая точка «А» на рис. 13) ПОС выполнена через цепь с односторонней проводимостью. При этом нерабочий (отрицательный) фронт выходного сигнала формирователя (точка «В») сдвинут относительно точки перехода синусоиды из плюса в минус за счет ПОС на некоторый интервал времени (12мкс для отсчета 1 и 25мкс для отсчетов 2-5), что не имеет существенного значения.

Сигналы с выхода формирователей прямоугольных сигналов точного отсчета поступают на формирователи разрядных импульсов (ФРИ), необходимые для функционирования формирователя младшего разряда эквивалента фазы. Сигнал с выхода формирователя прямоугольных сигналов (U1) дважды задерживается в схеме ФРИ. Затем дважды задержан сигнал (U4) и сигнал U1 поступают на схему совпадения для формирования разрядного импульса (РИ<sub>i</sub>), шириной 0,9 – 1мкс.

Таким образом на вход формирователя импульса «непрерывной» фазы (ФФН) поступают прямоугольные сигналы, положительный фронт которых сдвинут относительно момента срабатывания формирователя прямоугольных сигналов на время 0,9-1мкс, равное длительности разрядного импульса. В ФФН в момент появления положительного фронта формируется (на двух цепях задержки и инверторах, выполненных аналогично задержкам во ФРИ) короткий импульс длительностью примерно 0,6мкс. Этот импульс, передний фронт которого несет информацию о фазе измерительного преобразователя, в дальнейшем будет называться импульсом непрерывной фазы.

Применение двойных задержек в целях формирователей ФРИ и ФФН обеспечивает стабильность момента начала (а также длительности) сигнала непрерывной фазы, что необходимо для точности дальнейшего преобразования фазы в код.

В блоке Кв (рис.12) происходит квантование фазы точного отсчета и формирование широтного импульса. Поскольку фаза выходного сигнала ПИ является непрерывной аналоговой величиной, то возможно формирование положительного фронта сигнала непрерывной фазы (ФН) (рис.14) в момент переключения нескольких триггеров в делителе частоты, что приводит к ошибкам при считывании кода временной (циклической) развертки для записи его в регистр ПФК. Для исключения этих ошибок внутри интервала времени (дискретности) выбраны дискретные моменты времени, в которые допускается формирование положительного фронта импульсов ввода в регистры ПФК. Импульс, начало которого совпадает с этим моментом, называется импульсом «дискретной» фазы (ФД) (рис.14). Положительный фронт этого импульса всегда задержан относительно положительного фронта сигнала ФН.

Формирование импульса дискретной фазы (ФД) в отсчете 1 осуществляет схема квантователя фазы (1КФ) с использованием стробирующих сигналов С5,С6 (рис.14), расположенных внутри нечетных и четных дискрет временной развертки.

Но, даже, при этом в случае положения фазы ПИ, соответствующего переходу дискретного значения фазы к другому, из-за флюктуации фазы возможно изменение (постоянные колебания) кода на одну дискрету, что затруднит визуальный контроль за положением механизма и будет дополнительной помехой в канале управления электроприводом. Для устранения этого явления вводится гистерезис по фазе. Благодаря демпфированию импульса ФД (рис.14) с гистерезисом, при главном медленном движении непрерывной фазы (ФН) в какую-либо строку, после первого появления нового импульса дискретной фазы (ФД) возврат к выдаче старого (соседнего) импульса ФД возможен лишь после смещения ФН на определенную величину (равную фазовому гистерезису) в обратную сторону. Гистерезис обеспечивается за счет использования стробов С3 и С4 (рис.14), его величина составляет примерно 1,4мкс (1 электрический градус).

Квантователь фазы состоит из триггера с гистерезисом (ТГ), триггера-синхронизатора (ТС) и двух ключей (рис.14).

ТГ устанавливается в одно из состояний каждый раз при совпадении импульсов непрерывной фазы, при ее движении, с одним из стробов С3 или С4. При совпадении ФН со стробом С3 ТГ устанавливается по выходу в нулевое состояние. При совпадении со стробом С4 – в единичное состояние.

При движении ФН вправо выход триггера принимает состояние «0» или «1» соответственно, начиная с момента совпадения ФН с передним фронтом стробов С3 или С4. При движении непрерывной фазы влево выход триггера принимает значение «0» и «1» при других значениях фазы, начиная с момента совпадения ФН с задним фронтом стробов С3 и С4. Таким образом, в зависимости от направления движения ФН триггер может на одних и тех же интервалах значений ФН иметь разное состояние, единичное или нулевое, т.е. преобразование фазы в код выполняется с гистерезисом. Величина кода (рис.14) однозначна (не зависит от направления прихода непрерывной фазы в данную точку), когда импульс ФН совпадает, любой своей частью, со стробами С3 или С4 (поскольку при этом существует потенциальный сигнал ввода в триггер ТГ, выполненный в виде RS-триггера). Эта зона однозначности в пределах каждой дискретности фазы ( $2,5\text{мкс}$  или  $1,8^\circ$ ) равна суммарной длительности импульса ФН и одного из указанных стробов, т.е. равна  $0,6+0,5=1,1\text{мкс}$ , или  $0,8^\circ$ .

Остальная часть дискретности, т.е. длительность дискретности за вычетом длительности импульса ФН и строба, равная  $1,4\text{мкс}$  или  $1^\circ$ , представляет собой зону гистерезиса. Величина ее зависит от длительности импульса ФН, равной  $0,6\text{мкс} \pm(5-10)\%$ , что не имеет существенного значения.

При медленном движении непрерывной фазы в одну сторону (вправо или влево) триггер с гистерезисом перебрасывается из одного состояния в другое каждый раз, когда значение непрерывной фазы получает приращение  $\pm 1,8$  эл.градуса.

При быстром движении ФН может оказаться, что в течение нескольких периодов частоты 2кГц импульс ФН не совпадает ни с одним из импульсов С3 или С4, и ТГ будет оставаться в одном и том же состоянии. При этом выходной код преобразователя может принимать только четные или нечетные значения.

Триггер-синхронизатор (ТС) перебрасывается в единичное состояние импульсом ФН, а возвращается в нулевое ближайшим импульсом С3 и С4 в зависимости от состояния триггера ТГ. Когда триггер ТГ находится в нулевом состоянии, ключом на вход триггера ТС пропускается строб С4, когда ТГ в единичном состоянии – строб С3.

Таким образом, ТС формирует широтный импульс ШИ с переменной длительностью. Передний фронт импульса ШИ совпадает с передним фронтом ближайшего сигнала С3 или С4.

Импульс дискретной фазы (ФД) формируется ключом при наличии импульса триггера ТС и в зависимости от состояния триггера ТГ. Если триггер ТГ находится в единичном состоянии, то на выход ключа проходит один из импульсов С5, который совпадает по времени с импульсом триггера ТС. Если же ТГ находится в нулевом состоянии, то на выход ключа проходит один из импульсов С6, совпадающий во времени с импульсом триггера ТС. На рис.14 показан пример формирования импульса дискретной фазы ФД.

Учитывая линейную зависимость между фазой и временем (в пределах одного периода изменения фазы), фазовые и временные диаграммы построены в одной сетке, что позволяет в необходимых случаях устанавливать связь между ними. При этом аргументом фазовых диаграмм является положение переднего фронта сигнала ФН.

Широтный импульс ШИ на выходе триггера ТС в квантователе 1КФ характеризует разность фаз между импульсами дискретной и непрерывной фаз и используется для формирования младшего разряда кодового эквивалента. На фазовых диаграммах квантователя показано изменение длительности ШИ в зависимости от величины непрерывной фазы. При движении фазы вправо длительность импульса ШИ изменяется от 3,1 до 0,6мкс, при обратном движении от 2 до 4,5мкс. Если непрерывная фаза изменяется в пределах двух соседних дискрет, но ее фронты не совпадают со стробами С3,С4 (не доходят до них), то длительность ШИ изменяется при этом в максимально возможных пределах (от 0,6 до 4,5мкс).

Таким образом, ввиду наличия гистерезиса изменение широтного импульса (преобразуемого в последствии в код младшего десятичного разряда АЦП, а также используемого непосредственно для непрерывного управления приводом), происходит в пределах, превышающих расчетную величину дискреты ПФК ( $\Delta t=2,5$ мкс или  $\Delta \varphi=1,8^\circ$ ), однако это не оказывает влияния на точность работы АЦП, так как соответственно учитывается в величине суммарного выходного сигнала (кода АЦП) или непрерывного сигнала управления приводом, которые сохраняют при этом правильное значение.

Синхронизирующие сигналы С3-С6, необходимые для работы квантователя, получаются с помощью формирователя стробов. Формирователь представляет собой сдвиговой регистр на Д-триггерах, из набора выходных сигналов которого элементами И-НЕ формируются стробы С3-С6.

В многоотсчетных преобразователях по методу считывания возникают ошибки неоднозначности за счет неточного взаимного расположения сигналов считывания, возникающие даже при незначительной неточности начальной выставки фаз ПИ разных отсчетов. Для устранения ошибок неоднозначности *используются специальные методы* согласования отсчетов с определенной начальной выставкой считывающих устройств и логикой считывания. При использовании таких методов ошибки неоднозначности уменьшаются до дискреты самого младшего отсчета.

При рассмотренном методе согласование отсчетов выполняется путем анализа одноименных (имеющих одинаковый вес) двоичных разрядов соседних отсчетов (старшего разряда младшего отсчета и младшего разряда старшего отсчета). Для этого в старший отсчет добавляется дополнительный триггер по сравнению с обычной схемой. Каждый грубый отсчет содержит ввиду этого 20 дискрет вместо минимально необходимых 10 (т.е. имеет дискретность  $18^0$  вместо  $36^0$ ), что не вносит каких-либо затруднений в преобразование в этих отсчетах (ввиду большого запаса по разрешающей способности по сравнению с точным отсчетом). При этом каждая декада кода получается целиком от одного грубого отсчета (так как старший триггер предыдущего отсчета, с весом 100, используется лишь для выработки поправки в данном отсчете), что *упрощает поиск неисправностей* в преобразователе.

Последовательное во времени преобразование в ПФК по семи координатам при условии, что использование выходного кода может потребоваться в момент времени, не определенный строго заранее, требует двух устройств памяти (регистров, 29). В одних и них (входной) запись кода производится в произвольный момент времени импульсом дискретной фазы, скоммутированной подциклами. Перезапись этого кода в выходной регистр производится в определенное время, в начале следующего подцикла.

*Формирователь (ФМПК)* осуществляет преобразование в код разности фаз в диапазоне  $2\pi/200 - 2\pi/2000$ . Эта разность фаз существует между импульсами не выходов формирователя (Ф) и квантователя (Кв) (см. рис. 12 и рис. 13) ПИ точного отсчета. Разность фаз преобразуется в код с помощью формирователей разрядного и широтного импульсов, преобразователей длительности импульса в напряжение (32) и напряжения в код (30).

Преобразователь длительности импульса в напряжении (ПДН) построен на использовании линейной зависимости напряжения на конденсаторе от времени при постоянном токе заряда. Эта зависимость позволяет выполнить преобразование длительности широтного импульса (ШИ) в напряжение (рис. 15). ПДН имеет в своем составе генератор постоянного тока, ключевые элементы, выполненные на логической схеме «НЕ»; конденсатор для хранения заряда между широтными импульсами; операционный усилитель и другие элементы.

Цикл работы ПДН следующий. В момент перехода фазы ПИ данной координаты через нуль, в ПФК (31) формируется разрядный импульс (РИ) для сброса старого значения напряжения на конденсаторе ПДН (полного разряда конденсатора, заряжаемого однополярным генератором тока). Разрядный импульс РИ через ключ устанавливает напряжение  $U_{с1}$  (рис. 15), равное нулю. Затем широтным импульсом в момент  $t_1$  ток генератора переключается на заряд конденсатора. В момент  $t_2$  заряд конденсатора прекращается и конденсатор хранит заряд до начала следующего разрядного импульса. Напряжение на конденсаторе пропорционально длительности широтного импульса ( $\tau_1$ ,  $\tau_2$  и т.д.); масштаб его может регулироваться путем изменения величины зарядного тока.

За время хранения величина зарядного конденсатора несколько уменьшается за счет его разряда. Это вызывает небольшие пульсации напряжения на конденсаторе.

Операционный усилитель обеспечивает преобразование однополярного напряжения  $U_{c1}$  в двухполярное выходное напряжение ( $U_{вых}$ ). При этом значения напряжения  $U_{c1}$ , меньшие среднего уровня ( $U_{ср}$ ), преобразуются в выходное напряжение  $U_{вых}$  отрицательной полярности, а большие – положительной. При  $U_{c1}=0В$  устанавливается  $U_{вых}=-3,5В$ .

Преобразователь напряжения в код (ПНК, 30) относится к преобразователям компенсационного типа. С помощью преобразователя код-ток (ПКТ) из сигналов циклической развертки  $h10-h100$  (рис.12) формируется эталонное значение тока ( $I_{эт}$ ), которое сравнивается на выходе нуля-органа с выходным током  $I_{вх}$ , пропорциональным величине напряжения ( $U$ ) аналогового сигнала ( $АС$ ), кодовый эквивалент которого необходимо получить. Импульсом, сформированным нуль-органом в момент сравнения, кодовая комбинация сигналов  $h10-h100$  переносится в регистр ( $P$ ). Это предварительный регистр кодов. Схема ПНК содержит коммутатор знака. Если на ПНК последовательно во времени подавать с частотой, кратной  $h100$ , аналоговые сигналы, то в регистре  $P$  будет формироваться последовательно во времени их кодовые эквиваленты.

Кодовый эквивалент состоит из кода числа и знака. Код числа представлен в регистре  $P$  инверсным двоично-десятичным кодом с весами разрядов 1, 2, 4, 8, 10 ( $h10-h100$ ). Знак числа ( $ЗнК$ ), соответствующего положительной полярности  $АС$  (знак кода «-»), представлен в регистре логической «1». При отрицательной полярности (знак кода «+») – логическим «0». На выходе коммутатора сигнал  $ЗнК=1$  преобразуется в двоично-десятичный код 0100, а сигнал  $ЗнК=0$  – в код 0010 (знак «+»).

Цикл преобразования определяется периодом сигнала  $d1$  (1кГц). За это время в регистр  $P$  один раз (в первом полупериоде сигнала) вносится кодовый эквивалент  $АС$ . В конце периода  $d1$  формируется управляющий импульс, которым кодовый эквивалент переносится из регистра  $P_{12}$  в выходной регистр. На шины УЧПУ  $\alpha_1-\alpha_8$  (рис. 12) кодовый эквивалент выдается через коммутатор. Выдача кода ПФК и ПНК на кодовые шины производится по сигналам вызова.

Измерение углового положения шпинделя необходимо в режимах ориентации или совместного управления координатой «С» с другими координатами. Это достигается с помощью абсолютно-циклической СИП с накопителем.

Шаг ПИ выбран с учетом максимальной скорости вращения шпинделя и требуемой точности измерения углового положения. Ограничения по скорости обусловлены алгоритмами управления записью в накопитель и заключается в том, что за время 10мс перемещение не должно превышать 0,5 шага ПИ старшего отсчета. При выборе шага ПИ в 1 оборот шпинделя и дискретности измерения 1/2000 оборота допустима максимальная скорость шпинделя 3000 об/мин минус 10%. При дискретности меньше 1/2000 оборота или более высоких скоростях вращения необходимо установить дополнительный ПИ.

### 5.3 Цифро-аналоговый преобразователь код-ток управления приводами (ЦАП)

ЦАП код-ток предназначен для линейного преобразования входного кода, пропорционального требуемой скорости привода, в токовый сигнал («эталон скорости») для управления приводом.

Основные технические данные:

а) количество каналов управления (управляемых приводов) – 8;

б) характеристики входных сигналов:

величина скорости задается четырехразрядным двоично-десятичным кодом с весами разрядов 8-4-2-1;

код вводится последовательно во времени; частота ввода кода по одной управляемой координате станка (каналу управления) – 100Гц;

движению в положительном направлении соответствует знак кода «+» (сигнал «1» на общей шине  $\alpha_2$ ), в отрицательном направлении – знак «-»;

в) выходной сигнал эталона скорости представлен двухполярным сигналом постоянного тока;

г) максимальному значению скорости соответствует код 9000 на входе ЦАП и ток 5мА на каждом выходе;

д) ступенчатая характеристика выходного сигнала, собственно ЦАП, превращается в линейную непрерывную (во всем диапазоне изменения характеристики эталона скорости), путем суммирования с аналоговым сигналом, поступающим из устройства измерения положения.

ЦАП имеет встроенное устройство контроля динамических параметров и возможность вывода на индикацию кода из регистра ЦАП.

В состав ЦАП входят блоки: буферный, регистры рассогласования, преобразования кода в напряжение, управления приводами.

Замыкание контура пути следящего привода (СП) выполняется в УЧПУ с помощью измерителя рассогласования (Р4, рис.1), входным устройством которого является ЦАП код-ток (рис.16).

В УЧПУ фактическое положение представлено двумя величинами, получаемыми в устройстве измерения положения:

двоично-десятичным кодом разрядов  $10^1 - 10^6$  на выходе преобразователя фаза-код ПФК;

напряжением аналогового сигнала АС, пропорциональным значению разряда  $10^0$  и его долям, на выходе преобразователя длительности широтного импульса в напряжение ПДН.

Поэтому рассогласование  $\Delta S$ , т.е. алгебраическая разность кодов текущего заданного  $S_z$  (диапазон  $10^0 - 10^6$ ) и фактического  $S_f$  положений, достоверно определяется только в разрядах  $10^1 - 10^6$ . Младший разряд кода заданного текущего положения проходит через вычислительное устройство ВУ без изменения, преобразуется в ЦАП в пропорциональное ему значение напряжения и затем тока, и компенсируется только на выходе измерителя рассогласования (ИР, рис.1) током, получаемым от напряжения АС и пропорциональным значению разряда  $10^0$  фактического перемещения.

Такое построение измерителя рассогласования (ИР) обеспечивает возможность обработки основного объема информации в цифровой форме без внесения при этом в контур пути следящего привода (СП) квантования по уровню, свойственного

цифровому представлению информации. Результирующая характеристика выходного тока (в функции входного кода) является при этом линеаризированной за счет непрерывного (плавного) изменения напряжения и тока, пропорционального разряду  $10^0$ . Благодаря этому создается возможность изменения выходного сигнала в сколь угодно широком диапазоне, с изменением знака и переходом через нуль, что важно для достижения высокой точности позиционирования, а также работы СП в режиме электрического «зажима».

Обеспечение большого диапазона выходного сигнала ЦАП достигается также за счет разбиения всего диапазона (10000:1) на две равные части (по 100:1) с использованием в качестве выходной величины не напряжения, а тока (поскольку возможный практически диапазон точного изменения и передачи напряжения значительно более ограничен). При этом в каждом из этих двух диапазонов используется изменение напряжения в ПКН (рис. 16) в максимально возможных пределах (100:1). Результирующий диапазон выходного тока достигается применением в формирователе выходного тока (эталона скорости) ФЭС регистров с величиной сопротивления  $R$  и  $100R$ .

ЦАП имеет постоянный коэффициент передачи со входа на выход и постоянную величину максимального выходного сигнала. Рассогласование в СП пропорционально скорости движения механизма. Поэтому, с целью обеспечения управления от одного ЦАП при неодинаковых максимальных скоростях движения различных механизмов, код рассогласования  $\Delta S$  приводится к нормированной величине  $\Delta S_n$ , подаваемой на входной регистр «Р» ЦАП. Нормирование выполняется путем умножения рассогласования по каждой координате на соответствующих коэффициентах  $K_{ni}$  в ВУ УЧПУ. Максимальное значение кода  $\Delta S_n$  при этом одинаково для приводов всех координат и выбрано равным 9000 (с некоторым запасом по отношению к объему регистра, равному 10000).

ЦАП выполняет преобразование кода в токовый сигнал управления скоростью привода. Прямое преобразование кода  $\Delta S_n$  в ток в диапазоне около  $10^4$  выполнить затруднительно из-за влияния смещения нуля и дрейфа усилительных элементов. Поэтому код  $\Delta S_n$  разбит на две группы по два соседних десятичных разряда в каждой; код каждой группы преобразуется в напряжение с помощью индивидуального преобразователя кода в напряжение ПКН.

Ток  $I_s$ , пропорциональный коду  $\Delta S_n$ , получают в формирователе выходного тока (эталона скорости) ФЭС суммированием, через весовые регистры  $R$  и  $100R$ , напряжений ПКН. Эти напряжения предварительно усиливаются с коэффициентом  $K_u$  (рис. 16). Влияние смещения нуля исключается путем отключения с помощью реле выхода усилителя ФЭС в канале преобразования разрядов  $10^3$ ,  $10^2$ , когда их значение равно нулю. При этом сохранение постоянства величин и выходного сопротивления достигается подключением дополнительного резистора величиной  $R$  между выходом ФЭС и шиной ОВ.

Линейность и идентичность выходных характеристик ФЭС по всем каналам обеспечивается равенством масштабов ПКН, коэффициента усиления  $K_u$ , выбором точных величин сопротивлений резисторов  $R$  и  $100R$ . Кроме этого, преобразование кода  $\Delta S_n$ , относящегося к различным координатам, выполняется одним и тем же ПКН.

Синхронизирующее устройство (СУ) ЦАП обеспечивает с помощью бесконтактного коммутатора напряжения (КН) последовательное по времени подключение ПКН (обоих одновременно) к соответствующим емкостным фиксаторам напряжения



каждого канала. Эти фиксаторы состоят из конденсатора  $C_1$  ( $C_2$ ) и операционного усилителя (рис. 16). Время подключения выходов ПКН к фиксаторам  $C_1$  и  $C_2$  около  $1\text{ мс}$ , частота повторения  $100\text{ Гц}$ . За время подключения происходит выравнивание напряжений  $U_A$  и  $U_{C_1}$ ,  $U_B$  и  $U_{C_2}$ . Ток заряда конденсаторов становится равным нулю, поэтому величина емкости и переходное сопротивление ключа не опаздывают на точность передачи напряжений ПКН.

Направление движения механизма в СП определяется полярностью сигнала эталона скорости, поэтому а ПКН сигналом знака кода  $\Delta S_n$  изменяется полярность входных напряжений.

В выходной цепи каждого из ФЭС по координатам 1-7 имеется возможность выполнять на выходе фильтра  $R_\phi C_\phi$  настройку масштаба тока аналогового сигнала АС, поступающего из устройства измерения положения (для согласования с масштабом основной части выходного токового сигнала, поступающего с фильтров напряжения). В формирователе ФЭС8, используемом для управления приводом с обратной связью, (не по положению, а по скорости) эта регулировка не используется.

Ввиду инерционности элементов ПКН, КН и ФЭС требуемое время преобразования по одной координате близко  $1\text{ мс}$ . Поэтому регистр «Р» содержит соответственно входной регистр, куда заносится входной код по программе вычислений, и регистр преобразователя ПКН. Перезапись кода из первого регистра во второй выполняется при этом в определенный момент времени в начале соответствующего интервала, за один такт вычислений ( $6,25\text{ мкс}$ ).

В течение одного интервала заканчивается переходный процесс отключения ключей в коммутаторе КН, вводится новое значение кода  $\Delta S_n$  в регистр преобразователя и устанавливается новое значение выходных напряжений ПКН и  $U_A$  и  $U_B$ , включается новая группа ключей в коммутаторе КН и корректируется напряжение на конденсаторах фиксаторов в соответствии с новыми значениями  $U_A$  и  $U_B$ , вводится во входной регистр код  $\Delta S_n$  для следующей по времени координаты.

К ФЭС предъявляется ряд требований, без выполнения которых нельзя обеспечить требуемые выходные характеристики ФЭС и ЦАП в целом, выходным элементом которого является ФЭС.

Основным из этих требований является линейность выходной характеристики. ЦАП обеспечивает линейность в большом диапазоне изменения входного сигнала. Это в свою очередь ведет к исключению или уменьшению (путем автоматической компенсации или ручной настройки) влияния смещения нулевых уровней операционных усилителей. Необходимо также отсутствие скачка на границе двух диапазонов работы ФЭС, т.е. на границе старших и младших разрядов кода.

В ЦАП необходимо обеспечить согласование масштабов дискретной (цифровой) и непрерывной (аналоговой) частей рассогласования, что позволяет получить непрерывную линейную характеристику вместо ступенчатой. Для этого необходимо обеспечить равенство масштабов (коэффициентов передачи) этих составляющих рассогласования также и при изменении масштаба цифровой части рассогласования в ВУ. В последнем это выполняется цифровым способом путем умножения на выбранный коэффициент, задаваемый в виде уставки. Поэтому в ФЭС для стыка цифровой и аналоговой частей рассогласования *необходимо иметь соответствующую регулировку* одной из этих частей (практически аналоговой части).

При приведении в ВУ кода рассогласования  $\Delta S$  к нормированному значению (коду  $\Delta S_n$  на входе ПКН) происходит изменение веса разряда 10. Поэтому и масштаб аналоговой части сигнала рассогласования, поступающей от преобразователя ПДН

устройства измерения положения, *следует при этом изменять* (т.е. *следует установить его* пропорциональным отношению  $\Delta S_n / \Delta S$ , выбранному в ВУ). Требуемое согласование масштабов составляющих тока  $I$ вых от дискретной и аналоговой частей рассогласования достигается с помощью регулируемого резистора (см. рис 16) и подбором величины сопротивления в цепи движка регулируемого резистора.

Требуется обеспечение линейности характеристики не только в статике, но и в динамике (при изменении рассогласования), что требует согласования не только масштабов, но и постоянных времени соответствующих частей схемы ФЭС и составляющих выходного сигнала (обеспечение равенства полных коэффициентов передачи этих элементов схемы ФЭС). При этом имеют место также некоторые особенности в учете аналоговой части рассогласования ввиду того, что она поступает по каждой координате значительно более часто, чем цифровая часть. В каждом периоде питания датчика положения данной координаты частота 2кГц, а период вычислений 1/100Гц.

Требования к динамическим характеристикам формирователя эталона скорости определяются значениями максимальной скорости и ускорения, а также добротностью СП. Очевидно, что относительные величины приращений в старших разрядах входного кода ЦАП (за один период работы) всегда меньше, чем в младших, поэтому различен и возможный диапазон приращений выходных напряжений ПКН в старшей и младшей группах разрядов, а, следовательно, напряжений на конденсаторах фиксаторов ФЭС.

Вследствии большей величины приращений напряжения на фиксаторе  $C_2$  (рис.16) младших разрядов кода, при ограниченном выходном токе ПКН и одинаковом допустимом времени установления напряжений на фиксаторах (1мс), для обеспечения указанного времени установления (ускорения заряда емкости) величина емкости  $C_2$  выбрана меньшей, чем  $C_1$ . С этой же целью напряжение на фиксаторах младших разрядов подается через два параллельно соединенных ключа вместо одного.

Код  $\Delta S_n$  по каждой координате вводится и, следовательно, может измениться лишь один раз за период 10мс (частота 100Гц). Аналоговый сигнал (АС) от преобразователя ПДН (32, рис.3) устройства измерения положения непрерывно отслеживает изменение положения в пределах разряда  $10^0$ . Поэтому в простейшем случае работы УЧПУ при изменении задания и фактического положения с одинаковой скоростью (установившееся движение) и при постоянной величине рассогласования, более редкая выборка данных цифровой части рассогласования по сравнению с аналоговой приводит к появлению пилообразных пульсаций в выходном сигнале ФЭС в пределах разряда  $10^0$ . Частота пульсаций зависит от скорости перемещения, но полностью компенсирующихся в момент ввода нового значения цифровой части рассогласования, т.е. за время не более 10мс. Для сглаживания этих пульсаций в цепи АС установлен фильтр с постоянной времени 5мс, которая выбрана равной той эквивалентной задержке (половине периода повторений вычислений в УЧПУ). Эту задержку вносит в контур регулирования СП квантование рассогласования по времени с частотой 100Гц. Равенство задержек обеспечивает одинаковую передачу цифровой и аналоговой частей рассогласования в динамике (при изменении рассогласования).

Контроль переходных процессов заключается при этом в визуальном просмотре по осциллографу отличия фактических выходных сигналов ПКН и ФЭС от идеальных.

#### **5.4 Устройство управления вспомогательными функциями станка, память номера инструмента и резервной функции**

Устройство УВФ (рис.3) предназначено для хранения и выдачи в электроавтоматику (ЭА) станка функций (команд) «М», а также для формирования ряда сигналов управления УЧПУ и станком. Кроме того, УВФ выполняет функции хранения запрограммированного номера инструмента и резервной функции.

Вся память, используемая для хранения указанных функций, является рабочей, т.е. непосредственно используется в текущем кадре УП (управляющей программы).

В состав устройства входят: блок готовности (КГ1); блок вспомогательных команд (КМ5); блок выходных сигналов (КВ1); блок адресов координат (КА1); блок резервной функции (КР2); блок инструмента (КИ1); блок буферный (КБ2).

Для управления вспомогательными технологическими процессами на станке используются вспомогательные команды М. По своему функциональному назначению команды М разделены на девять групп, т.е. в одном кадре УП может быть записано до 9 различных команд М.

В группу команд 1М входят: М00, М01, М02, М29, М30. В 2М: М03, М04, М05. В 3М М06. В 4М: М07, М08, М09. В 5М: М20, М21, М22. В 6М: М24, М25, М26. В 7М: М46, М47. В группу 8М: М50...М89. В группу 9М входят команды с кодом М90...М99.

Команды группы 1М, М06, М05...М89 действуют только в одном кадре УП. Команды группы 2М, 3М, 4М начинают действовать до начала перемещения. Команды группы 1М и 9М начинают действовать после окончания перемещения. Команды группы 5М программируются совместно с соответствующей координатой.

Все команды, кроме группы 5М-7М непосредственно выдаются в электроавтоматику станка. Команды группы 6М, 7М и М29 используются в УЧПУ для организации условий переходов или подпрограмм. Группа 5М используется для формирования сигналов состояния механизмов и приводов по координатам станка, выдаваемых в электроавтоматику станка (ЭА).

Принцип записи, хранения и выдачи команд М для всех групп одинаков. Адрес расшифровывается дешифратором адресов групп команд и запоминается (на такт) в регистре адресов групп команд. Запись в *регистр команд М* (55, рис.3) производится с кодовых шин узла ( $\alpha_1-\alpha_8$ ) специальным сигналом (ЗпП). Выходной код регистра команд М через коммутатор кода команд выдается в УЧПУ для контроля и индикации. Считывание разрешается сигналом ЗпП.

Выходной код регистра М поступает также на *дешифратор команд М*, где команды группы расшифровываются в соответствии со своими функциями. Расшифрованные команды через блоки реле выдаются на электроавтоматику станка.

По технологическим соображениям команды должны выполняться на станке до или после выполнения перемещений по координатам, поэтому при записи команд в память устройства всегда формируются общие сигналы «До» и «После», означающие наличие соответствующих групп команд в текущем кадре программы. Эти сигналы выдаются в электроавтоматику станка и используются в ней УЧПУ следующим образом:

формируются импульсные сигналы отработки команд до перемещения (ДП) и после (ПП), выдаваемые в электроавтоматику станка;

расшифрованные (декодированные) команды выдаются в электроавтоматику станка в требуемое время (до или после отработки перемещений), независимо от выдачи сигналов ДП и ПП;

кодированные команды резервных групп 8М и 9М выдаются в электроавтоматику станка непосредственно после ввода нового кадра УП, а сигналы ДП и ПП определяют очередность их отработки;

сигналы ДП и ПП сопровождаются импульсным сигналом достоверности информации (ДВТ), начало и конец которого сдвинуты относительно сигналов ДП и ПП на 20мс.;

на основании сигналов записи «До» и «После» и сигнала исполнения команд на станке (ЭХО) вырабатываются сигналы «Готово до» (ДПБ) и «Готово после» (ППБ), означающие конец отработки соответствующих групп команд; эти сигналы поступают в УУП УЧПУ для формирования сигнала общего «Готово».

Регистр кода команд «М» является полным (57, рис.3), т.е. представляет собой две декады десятично-двоичного кода, только для групп 8М и 9М. Эти команды выдаются на электроавтоматику кодом. Объем регистра для остальных групп зависит от состава команд в данной группе. Кроме памяти вспомогательных команд М в блоке УВФ имеется регистр для хранения и выдачи в электроавтоматику станка номера (1-4) механической ступени шпинделя.

В блоке КИ1 (58) хранится номер инструмента, заданный в УП, который выдается в станцию управления двумя декадами двоично-десятичного кода.

Выходные коммутируемые сигналы поступают из УВФ в станцию управления через блоки реле (КВ1). В цепях обмотки и контактов реле имеются элементы защиты управляющих интегральных схем (56) от перенапряжений из-за индивидуальной нагрузки.

Хранение адресов координат и конечных состояний приводов и механизмов станка (Разжат, Зажат, Включен, Отключен) осуществляется блоком КА1. Выбранные адреса координат станка хранятся в течение кадра.

При обработке детали на станке часто требуется механизмы и приводы (двигателей) после отработки очередного кадра оставлять в перечисленных выше состояниях. Для обеспечения данных условий используются команды группы 5М.

Так как адреса координат и команды группы 5М хранятся в течение кадра, а условия должны храниться до замены, то для записи условий по каждой отдельной координате используются два дополнительных триггера. Состояние триггеров состояний выведено на индикацию.

Для записи координаты «Т» используются два триггера. На одном адрес Т храниться на кадр и этот триггер используется для записи состояний по «Т». На другом триггере адрес «Т» храниться до прихода со станка сигнала «Съем инструмента окончен». Адрес «Т» выдается на ЭА станка.

### **5.5 Устройство буквенно-цифровой и контрольной индикации**

УИ служит для отображения на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) буквенной и цифровой информации заданной УП, результатов отработки ее на станке, внутреннего состояния УЧПУ, а также отображения временной развертки цифровых сигналов с одновременным контролем их уровня.

Основные технические данные: Тип ЭЛТ – телевизионный кинескоп 16ЛК1Б; размеры экрана 125x110мм; частота регенерации изображения (кадровой развертки)

–50Гц; развертка изображения в кадре – построчная слева на право и сверху вниз; количество строк изображения 20; время развертки одной строки изображения (вместе с обратным ходом луча) 1мс; способ формирования буквенно-цифровых и контрольных символов – линейный растр; время формирования растра – 31,25мкс; дополнительный выносной индикатор на расстояние до 50м.

Режим буквенно-цифровой индикации: размеры изображения 100x75мм; формат изображения 20x20 символов (букв, цифр и др.); количество типов символов 49; размеры растра символа 3,4x2,2мм; количество типов растров – 5; количество элементов растра – 10; время формирования одного элемента растра 3,125мкс.

Устройство реализует *способ измерения временной развертки уровней* контролируемого цифрового сигнала. Это контроль в ряде выбранных дискретных моментов времени в пределах периода кодовой развертки индикатора с отображением многократно повторяемого контрольного символа (растра).

В состав устройства индикации входит индикатор, расположенный на передней двери шкафа.

В соответствии со своим назначением УИ содержит каналы отображения буквенно-цифровой и контрольной информации.

Канал отображения буквенно-цифровой информации состоит из устройства памяти, знакогенератора и индикатора. Запись информации в память в виде кода символов осуществляется в темпе работы УЧПУ, а ее считывание в более медленном темпе, требуемом для отображения символов на экране.

Знакогенератор преобразует код символов, считанный из памяти, в сигналы управления отклонением по горизонтали (X) и вертикали (Y), управляющие непрерывным движением луча по контурам линейных регистров. Одновременно формируется сигнал модуляции яркости «Засветка» (управление координатой «Z» ЭЛТ).

Под растром понимается геометрическая фигура (контур), из которой формируются различные символы путем засветки соответствующих элементов ее. Под элементом растра понимается прямолинейный участок растра, рисуемый за определенное постоянное время.

Сигналы управления отклонением и засветкой, преобразованные соответствующим образом, подаются на индикатор с ЭЛТ, на экране которой воспроизводится видимое изображение в виде букв, цифр и ряда других символов, записанных для этого в устройство памяти.

Канал отображения временной развертки уровней исследуемого сигнала состоит из *устройства измерения уровней*, знакогенератора и индикатора. При этом знакогенератор формирует сигналы отклонения по горизонтали и по вертикали, осуществляя движение луча по повторяющемуся контуру (растру) специального контрольного символа, а устройство измерения уровней сигнала, в соответствии с результатами измерения, выполняет засветку соответствующих элементов растра. Хранение уровней контролируемого сигнала на время отображения выполняется в небольшом запоминающем устройстве (два регистра), входящем в состав устройства измерения уровней.

Индикация по телевизионной ЭЛТ обеспечивает высокую яркость, контрастность и четкость изображения, компактность индикатора и возможность выполнения его автономного выносного варианта.

Режим буквенно-цифровой индикации (БЦН) обеспечивает рабочую индикацию основного объема кодированной буквенной (соответственно буквы и другие адресные символы кода ИСО - %, : и др.) и цифровой (цифры и знаки «+» и «-») информации при работе УЧПУ. Режим цифровой индикации обеспечивает вспомога-

тельную («наладочную») индикацию содержимого всех ячеек памяти УЧПУ. В обоих режимах информация опрашивается по адресу ячейки памяти: в БЦИ – в порядке, определяемом специальной программой, в ЦИ – для последовательного массива ячеек в порядке следования их адресов. Опрос производится один или два раза за одну строку индикации, но без строгой привязки ко времени в пределах длительности этой строки. В отличие от этого, в контрольном режиме («Н») отображается не кодированная информация, а одиночный цифровой сигнал (1бит) с указанием значений нескольких его уровней (имеющих место при применении интегральных микросхем), но строго регулярно во времени, т.е. выполняется временная развертка сигнала (режим «многострочного цифрового осциллографа»). Это позволяет при необходимости определить временную диаграмму изменения любого регулярного сигнала УЧПУ, частота повторения которого кратна периоду кадровой развертки индикатора (50Гц).

Возможен также контрольно-цифровой режим индикации («НА») – сочетание режимов ЦИ (или БЦИ) и контрольного, в котором отображается вся кодированная информация режима ЦИ и, дополнительно к этому, отображаются уровни выбранного одиночного сигнала, имеющие место во время такта опроса данной ячейки памяти. Это позволяет последовательно проконтролировать величину любого сигнала во времени обращения к данной ячейке памяти (в том числе и любого двоичного разряда ее кода, отображаемого в это же время в цифровом виде). При этом сочетание контрольного режима с режимом ЦИ более универсально, чем с БЦИ.

Режимы индикации БЦИ и ЦИ устанавливаются с помощью соответствующих переключателей режимов, а контрольный и контрольно-цифровой – с использованием также контрольного *щупа, подключаемого к выходу* измеряемого сигнала.

Режимы БЦИ и ЦИ используются для обычного просмотра информации при работе по программе, контрольный режим - для контроля регулярных временных сигналов. Контрольно-цифровой режим является основным при контроле работы и поиске неисправностей УЧПУ, поскольку обеспечивает контроль сигналов синхронно с опросом ячеек памяти («Контроль по адресу ячейки памяти»).

Устройство индикации рассчитано на одновременное отображение 400 буквенно-цифровых символов. При этом луч двигается из верхнего левого угла экрана вправо от символа к символу строки, затем возвращается к началу новой строки и так для каждой следующей строки сверху вниз. Движение луча осуществляется непрерывно со скоростью, необходимой для формирования конкретного раstra.

Время отображения 20 строк 20мс (частота регенерации 50Гц), что выбрано из условия синхронизации УИ с УЧПУ и получения изображения на экране ЭЛТ без мерцания. Время отображения одной строки равно 1мс, что соответствует частоте сигналов подциклов УЧПУ. За 1мс осуществляется отображение 20 символов строки и возврат луча к исходной точке начала следующей строки. Время возврата луча от последней знакопозиции строки к началу новой строки называется обратным ходом строки (ОХС). Скорость движения при ОХС равна скорости при воспроизведении символа.

Синхронизация УИ с работой УЧПУ осуществляется с помощью сигналов запроса информации для индикации (ЗсИ) из УИ и ответного сигнала ЗпИ для записи этой информации (в промежуточную память УИ) из УУП, а также фиксированных времязадающих сигналов из УС (см. рис3).

Генерация отображаемых символов (формирование их изображения на экране индикатора) осуществляется знакогенератором (48). Отображение символов на экране ЭЛТ осуществляется путем отдельного и согласованного во времени управления

лучом по координатам  $X$  и  $Y$  с синхронной модуляцией яркости луча. Принцип формирования контура символа функциональный, по которому контур описывается двумя параметрическими функциями

$$U_x = f(t) \text{ и } U_y = f(t),$$

где  $U_x$  и  $U_y$  напряжения управления лучом по координатам  $X$  и  $Y$ ;  $t$  – время развертки луча.

Электронный луч движется по определенному контуру (линейному растру), программа которого хранится в знакогенераторе, а сигнал модуляции яркости засвечивает только те элементы растра, которые соответствуют символу. Для отображения информации используется 49 различных символов, форма которых аппроксимирована отрезками прямых линий (рис. 17). Напряжения  $U_x$  и  $U_y$  для символов с такой формой будет представлять собой функции, линейно изменяющиеся во времени. Каждый растр состоит из десяти отрезков прямых линий, называемых элементами растра. Каждое направление движения луча образуется за счет определенного направления и скорости движения луча по координатам  $X$  и  $Y$ . Движение вдоль координаты  $X$  может происходить с двумя фиксированными значениями скорости: нормальной и медленной, уменьшенной по сравнению с номинальной в два раза ( $\pm X$  и  $\pm X_m$ , начало координат в центре цифры “0”). Движение вдоль координаты  $Y$  происходит только с номинальной скоростью (просто  $+Y$  или  $-Y$ ).

Каждый элемент растра воспроизводится за постоянное время 3,125 мкс, называемое подтактом индикации. За счет принятых двух значений скорости движения по координате  $X$  получают элементы растра различных длин и углов наклона.

Выбор в знакогенераторе одного из пяти растров с соответствующей засветкой луча производится кодом символа, поступающим с выхода устройства памяти (47) в течении всего времени отображения символа на экране (такта индикации). Такт индикации состоит из 10 подтактов индикации F0 – F9. Подтактами F0 – F8 осуществляется считывание программы выбранного растра с формированием число-импульсного (унитарного) кода, т.е. количества импульсов программы движения луча по каждой координате. При этом

импульсы (сигналы управления отклонением) по координатам в каждом подтакте полностью определяют программу воспроизведения каждого элемента растра. Подтакт F9 используется для перехода к исходной точке изображения следующего растра.

Таким образом, в знакогенераторе заложены программы движения (по координатам  $X$ ,  $Y$ ) и засветки луча. Количество программ движения определяется количеством растров, а программ засветки – количеством символов. Код символа, подлежащего отображению, производит выбор соответствующих программ движения (отклонения луча) и засветки. В результате этого выдается, для одного элемента символа, сигнал управления отклонением (импульс) по одному из возможных направлений для каждой координаты, а также сигнал засветки для них.

Число-импульсный код, который определяет движение луча отдельно по направлениям  $+X$ ,  $-X$ ,  $+X_m$ ,  $-X_m$ ,  $+Y$ ,  $-Y$  в каждом из подтактов индикации F0 – F9, преобразуется в линейно изменяющиеся напряжения отклонения по горизонтали  $X$  и вертикали  $Y$  (см.рис. 18). Преобразование количества импульсов в напряжение выполняется путем включения каждым импульсом, на время одного подтакта индикации, соответствующего генератора постоянного тока (ГПТ<sub>г</sub>). Напряжение  $U_x$  на конденсаторе, накопленное в процессе заряда (разряда) последнего указанным током, определяет положение луча на экране. Напряжение источников питания  $\pm 18В$ . На

рис. 18 показано считывание программы раstra сигналами подтактов F0 - F8 («половинные» подтакты используются только в сигнале засветки).

В схеме преобразования число-импульсного кода движения по координате  $X$  в напряжение  $U_x$  каждый импульс унитарного тока изменяет напряжение на конденсаторе на определенную величину, зависящую только от направления тока ГПТ и его величины, поскольку длительности всех импульсов одинаковы и постоянны. Изменения напряжения на конденсаторе от каждого импульса, поступившего по шине  $+X_M$ , в два раза меньше, чем от импульса по шине  $+X$ .

На рис. 18 приведен контур одного из растров, использующие этот растр символы (код которых выбирает это растр) и временные диаграммы сигналов отклонения по данному растру. Показан число-импульсный код (импульсы) направлений в каждом подтакте и напряжения отклонений  $U_x$  и  $U_y$  при считывании программы этого раstra сигналами подтактов F0 – F8.

Символы получают путем засветки элементов раstra, соответствующих выбранному символу. На рисунке показаны для примера сигналы засветки раstra для цифры «7» и для буквы «К».

Во время податкта F9 импульс действует в каждом такте индикации по ширине  $-X_M$  и осуществляет отклонение луча на половину ширины символа, что составляет расстояние между символами строки.

Таким образом, формирование напряжения  $U_x$  осуществляется в каждом такте индикации T0 – T20 число-импульсным кодом. При этом напряжение  $U_x$  в каждом такте возрастает и будет максимальным при отображении символа последней записи строки. После этого следует обратный ход строки и возврат луча в исходную точку строки.

Напряжение  $U_y$  обращается в нуль после отображения каждого раstra и по окончании отображения строки равно напряжению в начале строки. Напряжение  $U_y$  получает приращение в конце обратного хода строки для перевода луча в направлении « $-Y$ » в начало следующей строки. Во время обратного хода двадцатой строки осуществляется возврат луча в исходную точку первой строки.

Длительность развертки строки равна 1мс; время обратного хода строки равно 343,75мкс. Время обратного хода строки используется для ввода (в устройство памяти) информации, отображаемой на следующей строке.

### **5.6 Устройство ввода данных на перфоратор «ЭВМ (УВП)»**

УВП (рис.3) предназначено для упорядоченной выборки (из буферной памяти УЧПУ) буквенно-цифровой информации очередного кадра УП и последующего вывода ее на внешнее устройство – перфоратор (ПЛ) или ЭВМ.

Основные технические данные:

а) выборка (поиск) из буферной памяти (12,13) УЧПУ информации, подлежащей выводу – по словам объемом до 9 байтов (буква, знак и 7 цифр);

б) вывод информации – в код ИСО, побайтовый, асинхронный (по принципу «Запрос – ответ»);

в) время поиска в УЧПУ (время ожидания для ПЛ и ЭВМ) очередного слова перед выводом – 20-40мс;

г) при объеме буферной памяти в 41 слово – общее время поиска слов кадра – 0,8-1,6с;



д) время вывода одного байта (строки) максимально-возможное 50мкс; фактическое определяется длительностью работы перфоратора или задержкой ЭВМ; для перфоратора ПЛ150 это время 1/150с;

е) время вывода кадра максимального объема (41 слово при максимальной длине каждого слова в 9 строк): на перфораторе ПЛ 150-2,5с; на ЭВМ – 18,5мс;

ж) общее время поиска и вывода кадра на ПЛ 150-0,8-4,1с; на ЭВМ не менее 0,8с.

УВП состоит из двух блоков: блока формирования сигналов записи и блока вывода. Источником информации для УВП является буферная память УЧПУ, содержащая всю информацию очередного кадра УП. Устройство выполняет выборку указанной информации с общих шин УЧПУ в процессе выдачи ее на индикацию. Для промежуточного хранения этой информации УВП имеет память на одно слово (буква, знак и число). Запись информации в память УВП выполняется по словам, выдача из памяти на ПЛ или ЭВМ – побайтно в коде ИСО, в соответствии с порядком выдачи информации в этом коде - буква, знак, число (старшим разрядами вперед).

Работа УВП в принципе не зависит от вида внешнего устройства, т.е. сказанные применительно к ПЛ справедливо для ЭВМ.

Выборка информации с общих шин производится с помощью тех же сигналов управления, что и индикация, и происходит параллельно с процессом индикации. Команду начала вывода дает оператор нажатием кнопки, после чего процесс перфорации (или записи на ЭВМ) всего кадра происходит автоматически (рис.19).

Запись информации. Работа УВП во время записи полностью определяется работой УИ (см. рис.3). Информация, записываемая в память УВП, выбирается с общих шин УЧПУ во время действия сигнала ЗпИ, который указывает, что на шинах в этот момент времени находится информация, предназначенная для индикации. Объем и порядок поступления этой информации на шины определяется программой буквенно-цифровой информации содержимого буферной памяти, заложенной в ПЗУ команд.

Поскольку порядок вывода информации из буферной памяти жестко задан программой индикации, при записи нет необходимости анализировать символ каждого слова, а достаточно подсчитывать количество записанных (и выданных после этого на ПЛ) слов. После выдачи на ПЛ очередного слова счетчик отперфорированных слов СЧ1 (см.рис.19) переходит в состояние, соответствующее номеру следующего слова (содержимое счетчика увеличивается на 1). В УВП имеется счетчик индицируемых слов СЧ2, который подсчитывает количество слов, выходящих на индикацию. Совпадение состояний счетчиков говорит о том, что на шинах находится искомое очередное слово, подлежащее записи. При этом запись в память устройства производится непрерывно до момента совпадения состояний счетчиков, а последнее записанное слово, являющееся искомым, остается в памяти. СЧ1 устанавливается в исходное состояние сигналом «Пуск перфорации» и подсчитывает количество отперфорированных слов с начала перфорации. СЧ2 устанавливается в «0» по окончании перфорации очередного слова сигналом обратного хода кадровой развертки ОХК, а изменение состояния этого счетчика происходит по сигналу ЗпИ, который выдается во время обратного хода строчной развертки. За счет этого работа СЧ2 синхронизирована с разверткой изображения на экране индикатора, ввиду чего время поиска слова определяется периодом кадровой развертки.

Развертка луча на экране индикатора производится слева направо и сверху вниз по строкам. Устройство индикации (УИ) содержит память на два слова, инди-

катируемые в одной строке. В этом же порядке во времени (построчно) выполняется выдача на общие шины УЧПУ информации, подлежащей индикации. В то же время порядок вывода информации кадра (в соответствии с рекомендациями ИСО) другой: сначала должны выводиться все слова (сверху вниз), отображаемые на левой половине экрана, а затем на правой, т.е. вывод на перфорацию должен выполняться не по строкам, а по полустрокам. Ввиду этого при выборке информации необходимо определять принадлежность каждого слова левой или правой половинам экрана. Вначале перфорируются все слова левой половины экрана под управлением специального триггера Тг (рис.19), который перед началом перфорации кадра устанавливается в нуль и изменяет свое состояние (через дешифратор (Дш) после того, как СЧ1 фиксирует окончание перфорации слов левой половины экрана. Во время выборки информации с левой половины экрана СЧ2 работает от сигналов признака левой половины, который сопровождает информацию, поступающую на индикацию, т.е. СЧ2 ведет пересчет только слов левой половины экрана. Слова правой половины при этом не учитываются.

После переключения триггера (Тг) на выбор информации правой половины экрана СЧ1 вновь устанавливается в исходное состояние, а СЧ2 работает от сигналов признака правой половины.

Перфорации подлежит не вся информация, индикатируемая согласно программе индикации буферной памяти. Поэтому производится установка определенного начального (исходного) состояния СЧ1, которая позволяет исключить не подлежащую выводу информацию необходимого количества верхних строк. Установка конечного состояния СЧ1 (момента переключения триггера Тг) позволяет исключить перфорацию необходимого количества нижних строк левой половины экрана. Отделение ненужной информации нижней части правой половины экрана выполняется символом LF, при появлении которого перфорация прекращается.

Таким образом, управляющий триггер Тг выполняет фактически функцию старшего разряда счетчика СЧ1, обеспечивая при этом (совместно с дешифратором) возможность выбора момента окончания счета для слов левой половины экрана.

поскольку поиск слов при записи, т.е. изменение состояния СЧ2 производится на каждой строке сигналами (признаками) левой и правой половины экрана, постоянно заложенными в каждом слове в программе индикации, то выполняется просмотр и запись информации всех ячеек буферной памяти, независимо от их содержимого, т.е. от фактического наличия каждого слова в данном коде. Поэтому на поиск информации слова всегда затрачивается одинаковое время, равное 1-2 периодам кадровой развертки, т.е. 26-40мс (один из этих периодов развертки затрачивается в неблагоприятном случае на ожидание очередного сигнала ОХК, т.е. на синхронизацию начала поиска), а на поиск информации всего кадра в процессе перфорации – также постоянное суммарное время, соответствующее заложенному в программе индикации максимальному объему кадра (41 слово). При этом отдельными словами являются также каждая из 9 групп команд G и M (по три группы в одной строке), числовая информация которых всегда сопровождается (на общих шинах) символом буквы.

**Вывод информации.** Записанная в память УВП информация должна выводиться побайтно по запросу перфоратора. Код буквы из памяти считывается в готовом виде, а коды цифр, знака требуют дополнения до их представления в код ИСО, для чего формируются их признаки (старшие двоичные разряды) и контрольный разряд.

Порядок выдачи байтов слова определяется счетчиком отперфарированных строк СчЗ, состояние которого является адресом байта слова в памяти устройства и управляет формированием признаков цифр и знака. СчЗ устанавливается в исходное (нулевое) состояние по окончании записи очередного слова. Смена состояния счетчика происходит при появлении сигнала запроса. Первый запрос переводит счетчик в состояние 1, которое выбирает из памяти код буквы. Затем, с выдержкой времени (50мкс), равной периоду используемого для синхронизации сигнала частотой 20кГц, формируется сигнал достоверности (рис.19), по которому устройство связи с перфоратором выполняет перфорацию выданного кода, после чего снимает сигнал запроса. По новому запросу счетчик переходит в следующее состояние и т.д. Выдача информации при этом происходит в порядке: знак, затем цифры, начиная со старших разрядов.

Имеется схема анализа содержимого строки (на рис.19 не показана), которая исключает перфорацию «пустых» строк – незначащих цифр числа (код 15 на общих шинах или отсутствующего знака). На пустых строках не выдается сигнал достоверности, но ведется ускоренный подсчет строк (изменяется состояние СчЗ) с частотой 20кГц.

По окончании перфорации всех строк по состоянию СчЗ выдается сигнал «Перфорация слова окончена», по которому происходит изменение состояния СЧ1 и начинается цикл записи и перфорация нового слова. Если в память было записано слово, не содержащее информации, («Пустое» слово), это обнаруживается до начала перфорации путем анализа признака наличия числа в слове. При этом перфорация не производится, а сразу выдается сигнал «Перфорация слова окончена». Окончание перфорации кадра обеспечивается сигналом LF, который сам перфорируется, после чего выдается сигнал «Перфорация кадра окончена». В качестве содержимого слова LF на ПЛ выдается код «Пусто» на одну или две строки, для компенсации выбега ленты при работе ФСУ.

Таким образом, на каждую пустую строку слова при выводе затрачивается небольшое время (50мкс), и даже при наличии лишь одной строки в слове (буквы), общее время анализа пустых строк составляет не более 0,4мс, благодаря чему оно укладывается в цикл пробивки этой рабочей строки на перфораторе ПЛ150 (6,7мс), не задерживая перфорацию. На последовательно расположенные пустые слова не требуется затрата времени на синхронизацию поиска, и на поиск каждого из них при этом требуется лишь один период кадровой развертки (20мс).

Общее время поиска и вывода информации на ПЛ и практическая скорость перфорации определяются, в основном, временем поиска (для кадра объемом 30-40 строк время поиска составляет около 0,9с, а время вывода 0,25с).

Вывод информации на ПЛ и ЭВМ различаются с помощью сигнала РВИ, который выполняет коммутацию сигналов достоверности и запроса по каналам перфоратора и ЭВМ. В остальном работа не зависит от вида внешнего устройства.

В состав УВП входит устройство связи с ПЛ (45). Оно предназначено для непосредственного управления перфоратором при выводе данных из УЧПУ на перфоратор (при перфорации ленты, редактировании программы и т.п.). Устройство ориентированно на тип перфоратора ПЛ150.

Устройство связи с ЭВМ (46, рис.3) представляет собой интерфейс ЭВМ, расположенный в УЧПУ. Оно состоит из двух частей – устройства приема данных от ЭВМ (блок ВМ1 в узле ввода (5) и устройства передачи данных в ЭВМ (блок ИМ1 в узле индикации). Первое входит функционально в состав УВД, второе – в состав УВМ (рис.3).

Связь УЧПУ с ЭВМ обеспечивает следующие основные возможности:

- а) редактирование программы обработки детали в режиме диалога (с вводом и выводом данных) с использованием памяти ЭВМ);
- б) непосредственное управление УЧПУ от ЭВМ, т.е. использование УЧПУ в составе автоматических участков и линий, управляемых от ЭВМ.

Необходимый состав оборудования устройства связи с ЭВМ определяется алгоритмами связи с конкретной ЭВМ. Поэтому конкретная принципиальная схема блоков связи выполняется пользователем УЧПУ в соответствии с особенностями применяемой ЭВМ.

Связь УЧПУ с ЭВМ осуществляется по асинхронному принципу «запрос-ответ». Обмен информацией выполняется побайтно в коде ИСО с контролем четности информации в каждом байте.

Между устройствами приема и передачи внутри УЧПУ предусмотрена дополнительная связь (9проводов для передачи кода ИСО и тактового сигнала), которая позволяет проверить каналы передачи данных вместе с интерфейсами, независимо от работы УЧПУ.

В интерфейсах должны быть предусмотрены, кроме собственно схем управления, обеспечивающих алгоритм связи, также схемы согласования входных и выходных сигналов УЧПУ по уровням и нагрузочной способности.

Устройство приема данных от ЭВМ (5) предназначено для ввода кодовой информации из ЭВМ и выдачи ее на шины кода ИСО устройства ввода данных (УВД).

Сигналы блока для связи с остальными частями УЧПУ:

- а) входные – режим ЭВМ - постоянный сигнал, указывающий на выбор режима ввода и вывода данных от ЭВМ;
  - лента вперед (ЛВН) – сигнал вызова (разрешения ввода) очередного кадра от ЭВМ;
  - вызов очередной строки (ВОС) – сигнал запроса очередного байта от ЭВМ;
  - ошибка (ОШ) – сигнал ошибки четности полученного байта; может использоваться в качестве запроса повторного ввода кадра (повторного пуска);
  - б) выходные: - готовность ЭВМ (ГЭВМ) – постоянный сигнал, указывающий на готовность ЭВМ к работе с данным УЧПУ;
  - код  $\beta_1 - \beta_8$ ;
  - сигнал достоверности кода (такт ТИСО).
- Принцип работы устройства в данном пособии не рассматривается.

### **5.7 Устройство формирования постоянных циклов обработки**

УПЦ (см. рис.3) предназначено для хранения(рабочей памяти) подготовительных функций группы G8 (функции G81–G89), формирования условий вычислительной программы постоянных циклов данной группы и отдельных управляющих сигналов, а также для хранения вспомогательных команд группы 6M (M24-M26). кроме того, устройство формирует условие перехода для вычислительной программы цикла обработки излома контура G27. УПЦ представляет собой аппаратную реализацию части алгоритма работы УЧПУ (который в остальном почти полностью реализуется рабочими программами процессора).

В УЧПУ предусмотрено девять постоянных циклов (ПЦ). Каждый цикл состоит из отдельных частей. Смена частей цикла (в двухтактном счетчике 61, рис.3) производится передним фронтом сигнала первого цикла вычисления (1ЦВП), который

формируется после окончания перезаписи информации из буферной памяти в рабочую. На время отработки частей цикла считывание кадра с ленты запрещено (за счет снятия сигнала «Разрешение выполнения программы» РВП). После отработки очередной части цикла разрешается переписывать из буферной (12) в рабочую память (13) информацию для последующей части. Это выполняется аналогично случаю обычной смены кадра без ПЦ, с использованием сигналов «Готово» перемещений и общего. При этом сигналы очередности отработки команд («До» и «После» перемещений) не формируются для исключения перерывов в обработке детали между частями цикла.

При цикле глубокого сверления (G83) в кадре, кроме прочей индикации, задается и глубина единичного прохода (под адресом V). При этом в УЧПУ производится сравнение

$$K3-(R+nV)\leq V \text{ (см.рис. 20),}$$

а результат сравнения (e) используется для разрешения счета счетчика в определенной последовательности.

При рассогласовании между заданием K3 и фактическим положением инструмента  $R+nV$  большим, чем единичное приращение V, счетчик считает в следующей последовательности: 0, 1, 2, 3, 4 – 1, 2, 3, 4 – 2, 3, 4 и т.д. При достижении рассогласования  $R_{K3}\leq V$  (e) счетчик после четвертой части меняет свое состояние на пятую-конец цикла.

Формирование схем постоянных циклов производится программным способом. На шины узла выдается код постоянного цикла и код части цикла, искусственно формируется контрольный разряд.

Для организации вычислений из устройства формирования ПЦ (59) выдается ряд условий, обеспечивающих формирование требуемой диаграммы ПЦ (рис.20).

## 5.8. Устройство управления

Устройство управления (УУ) предназначено для управления последовательностью выполнения операций УЧПУ, обеспечивающих его функционирование в требуемых режимах, *задаваемых оператором* с пульта управления УЧПУ (ПУ).

В состав УУ входят пульт управления ОУ2, плата переключателей режимов индикации ОП1 и ряда других блоков. Часть схем этих блоков входит в состав других устройств (УВФ и УВД, рис.3)

Основные функции УУ:

- а) управление устройствами ввода и вывода данных;
- б) задание режимов и последовательности работы УЧПУ;

Реализация этих функций в УУ заключается в формировании начальных условий для устройства ввода и вывода (пуск этих устройств) и начальных условий выполнения *управляющей* и *отдельных рабочих* программ процессора для каждого кадра программы обработки детали, а также в снятии этих условий по окончании соответствующих этапов работы или программ.

Для осуществления этих функций устройство содержит пульт управления для задания режимов работы УЧПУ, получает сигналы о содержании вводимой информации, окончании операций ввода и вывода кадра и сигналы окончания ряда программ работы процессора, а также содержит необходимые схемы для логического анализа входных сигналов и формирования указанных условий в рабочих и аварийных режимах.

Таким образом, основная часть УУ (собственно блоки управления) представляет собой аппаратную реализацию, с помощью параллельной логики, части алгоритма управления УЧПУ (основная часть которого реализуется управляющей программой процессора).

В УУ можно выделить следующие основные части:

- а) пульт управления УЧПУ (ПУ)
- б) устройство связи (интерфейс) с ПУ УЧПУ и станцией управления станком (рис. 1, «СУ»); содержит входные и выходные формирователи для приема и выдачи соответствующих сигналов;
- в) устройство управления вводом данных из ФСУ, пульта ввода, пульта коррекций и ЭВМ;
- г) устройство управления вводом данных на перфоратор и ЭВМ;
- д) устройство формирования условий переходов программ процессора и связи с шиной условий (рис. 21); обеспечивает выдачу в процессор начальных условий выполнения соответствующих программ и прием результатов их выполнения;
- е) устройство выработки основных сигналов управления, включающее в себя:
  - формирователь сигнала включения управления;
  - формирователь сигнала включения цикла обработки детали;
  - формирователь сигналов окончания перезаписи и предварительных вычислений;
  - формирователь сигналов готовности;
- ж) устройство вспомогательных сигналов управления, включающее в себя:
  - формирователь сигнала установки начального состояния памяти УЧПУ (при включении питания и общем сбросе с ПУ);
  - формирователь ошибок ввода; воздействует на управление вводом и отработкой программы, а также группирует ошибки для их индикации.

Каждый из перечисленных формирователей вырабатывает ряд сигналов, имеющих свое обозначение или номер условия. Так, например, формирователь связи с шиной условий вырабатывает 9 сигналов. Один из них ИБП (индикация буферной памяти). Он имеет номер условия «430».

УУ имеет следующие виды связей с внешними устройствами (станция управления станком) и другими устройствами УЧПУ:

- а) контактные, для связи с ПУ и станцией управления;
- б) по ширине условий, для связи с процессором;
- в) по вспомогательным шинам с временным распределением сигналов (для экономии связей) – некоторые связи с устройствами контроля, ввода данных и управления вспомогательными функциями станка;
- г) одиночными (расшифрованными) сигналами, для связи с другими устройствами УЧПУ.

Все входные контактные сигналы от пульта и станции управления (СУ) поступают в логическую часть УУ (2) только через блок устройства связи с пультом. Эти контактные сигналы имеют уровень напряжения минус 18В и запитываются от источника питания УЧПУ. Начало и конец всех сигналов синхронизированы моментом времени ЕО.СО.

Связь УУ с процессором осуществляется по шине условий. Сигналы связи с процессором (условия переходов программ процессора) можно разделить на три группы:

- а) длительные сигналы управления (режимы и др.), передаваемые из УУ в процессор;

б) условия разрешения перехода к выполнению программ; передается из УУ в процессор и сбрасываются (после выполнения соответствующей программы) ответственными сигналами процессора;

в) параметры некоторых программ процессора – признаки, сигналы текущего состояния (определенное состояние или момент окончания программы) или результат выполнения; передается из процессора в УУ.

По вспомогательным шинам сигналы передаются циклически по подтактам. Длительность цикла повторения – один такт (6,25мкс). Количество шин – 3; количество сигналов, передаваемых по одной шине – 5. Оперативное управление УЧПУ осуществляется с пульта управления (ОУ2) (см. рис.22).

На пульте расположены органы управления (кнопки) S1...S21 и сигнализации (сигнальные лампочки) Н1...23.

Органы пуска или останова S11, S13...S16, S19...S21 не имеют фиксации включенного положения остальные являются выключателями или переключателями с фиксацией положения.

Назначение органов:

S1 «Контроль программы» (КПр) – выбор разрешения действия величины скорости перемещения механизмов, введенной в режиме ручного ввода, для контроля и отладки программы управления станком;

S2 – «Пуск кадра» (Вб) – выбор пропуска кадра; при нажатой кнопке обрабатываются кадры, содержащие адрес «/»;

S3 – «Зеркально X» (ЗрX) – выбор зеркальной отработки по координате «X»;

S4 – «Зеркально Y» (ЗрY) – выбор зеркальной отработки по координате «Y»;

S5 – «Запрет пуска подачи» (ЗтПП) – запрещает пуск перемещения; обеспечивает возможность отработки только первой части информации кадра (команд «До»); позволяет проверить результаты предварительных вычислений перед их отработкой;

S6 – «Технологический останов» (ВбМ01) – выбор технологического останова по желанию оператора;

S7 – «Останов по :» (Вб:) - выбор останова на главном кадре; действует при перематке перфоленты в любом направлении и при отработке программы на станке;

S8 – «Останов на N» (ВбN) – выбор останова по заданному номеру кадра; действует при перематке перфоленты вперед и при отработке программы на станке;

S9 – «Полуавтоматический групповой» (ПАГ) – выбор полуавтоматического режима с остановом в конце того кадра, в котором записана одна из команд, предусматривающих торможение – G00, G04 или G09 (режим работы по группе кадров). При контурной обработке останов при этом происходит в конце контура, при позиционировании – в конце каждого кадра, при выполнении постоянных циклов отработки G81 – G89 – в конце отработки всего цикла (последней части цикла);

S10 - «Полуавтоматический одиночный (ПАО) – выбор полуавтоматического режима с остановкой на каждом кадре или на каждой части постоянного цикла (режим работы по одиночному кадру);

S11 – «Пуск вывода информации» (ПВИ) – определяет начало вывода информации на перфоратор или ЭВМ;

S12 – «Выбор вывода информации» (ВбВн) – нажатая кнопка выбора разрешает вывод на перфоратор, отжатая – на ЭВМ;

S13 – «Пуск ленты назад» (ПЛнН) – включает движение перфоленты фотосчитывающего устройства УЧПУ назад;

S14 – «Сбои ленты» (ЛнС) – немедленно останавливает движение перфоленты и прекращает ввод кадров от ЭВМ;

- S15 – «Пуск ленты вперед» (ПЛнВ) – включает движение перфоленты вперед и определяет начало ввода кадров от ЭВМ;
- S16.1 – «Включение УЧПУ» (ВклЭ) – включение источника электропитания;
- S16.2 – «Отключение УЧПУ» (Откл Э) – отключение источника электропитания УЧПУ;
- S17.1 – «Преднабор» (Пн) – выбор режима ручного ввода данных программы управления станком;
- S17.2 – «Лената» (Лн) – выбор режима ввода с перфоленты;
- S17.3 – «ЭВМ» – режим ввода и вывода от ЭВМ;
- S18.1 – «Наладка» (Нл) – выбор режима работы, разрешающего использование условий, задаваемых органами управления S1...S15;
- S18.2 – «Работа» (Рб) – выбор автоматического режима работы; блокирует действия органов S1...S15;
- S19.1 – «Пуск цикла» (ПЦО) – включение цикла обработки детали (программы управления станком);
- S19.2 – «Стом цикла» (СЦО) – отключение цикла обработки детали;
- S20 – «Пуск управления» (Пупр) – подключение УЧПУ к станку;
- S21 – «Стоп управления» (Супр) – отключение УЧПУ от станка.
- Органы сигнализации:
- H1 – «Начало программы» (%) – сигнализация ввода кадра, содержащего адрес %;
- H2 – «Технологический останов» (ТхО) – сигнализация окончания отработки кадра, содержащего команду технологического останова;
- H3 – «Конец программы» (КнП) – сигнализация окончания отработки программы управления станком;
- H4 – «Превышение» (контроль) температуры (КТр) – сигнализация перегрева источника питания УЧПУ;
- H5 – «Ошибка» (Ош) – сигнализация об ошибке ввода данных или неисправности УЧПУ;
- H6...H17 – сигнализация включение кнопок S1...S12;
- H18 – «УЧПУ включено» – сигнализация включения источника электропитания УЧПУ;
- H19 – «Сеть» – сигнализация наличия сетевого напряжения на первичной стороне источника питания УЧПУ до включения последнего;
- H20 – «Цикл включен» (ЦОВкл) – сигнализация включения цикла обработки детали;
- H21 – «Готово общее» (ГО) – сигнализация окончания отработки кадра;
- H22 – «Управление включено» (Увкл) – сигнализация подключения УЧПУ к станку;
- H23 – «Готовность станка» (ГСт) – сигнализация готовности станка к работе с УЧПУ.

Органы управления (рис 22) разделены на две группы. На одну из них (первая часть пульта) вынесены органы, необходимые для обеспечения простейшего и наиболее часто используемого автоматического режима работы без всяких условий. Этот режим рассчитан на обслуживание УЧПУ оператором любой (в том числе и невысокой) квалификации и выбирается установкой переключателя S18 в положение «Работа», которое полностью блокирует все органы управления левой части пульта, обеспечивая защиту от неправильных действий оператора.



В другую группу (левая часть пульта) входят органы управления подготовительными операциями (ввод и вывод данных и др.) и установка различных условий и особенностей работы (виды останова программы и др.). Использование органов этой группы возможно лишь в положении переключателя S18 «Наладка» и рассчитано на обслуживание квалифицированным оператором.

На пульте (рис.22) можно выделить по функциональному признаку следующие группы элементов:

а) сигнальные лампы Н1...Н5 – сигнализация причины остановки отработки УП;

б) кнопки S1...S10 с сигнальными лампами Н6...Н15 – выбор ограниченный в прохождении программы (S5...S10) и условий изменения программы (S1...S4);

в) кнопки S11...S15 с сигнальными лампами Н16, Н17 – органы оперативного управления устройствами ввода и вывода;

г) кнопки S16...S21 и сигнальные лампы Н18...Н23 – органы управления, действующие в любых режимах отработки УП станком.

С помощью кнопки S2...S4 выбирается автоматический режим работы с условиями зеркальности и пропуска кадров. Кнопки S6...S10 задают один из полуавтоматических режимов работы. Возможен набор любой комбинации режимов. При этом условия зеркальности и пропуска кадров действует независимо друг от друга, а условия останова программы в полуавтоматических режимах – по ближайшему выбранному ограничению («упору»). В процессе отработки программы возможен переход из более автоматизированного в менее автоматизированный режим и наоборот.

Автоматический режим работы может быть выбран при включении кнопки «Наладка» (S18.1), если не нажата ни одна из кнопок S1...S10, или при включении кнопки «Работа» (S18.2).

Переход из полуавтоматического режима в автоматический при отработке программы на станке начинает действовать немедленно (в текущем кадре программы). Переход из автоматического режима в полуавтоматический обеспечивается в текущем кадре лишь при наличии необходимого условия для этого – возможности осуществления нормального торможения в конце заданного в этом кадре перемещения, т.е. в одном из следующих случаев:

привод еще не находится в зоне торможения (остаток пути больше требуемого для торможения);

в кадре запрограммирована команда торможения (т.е. переход не мешает нормальному торможению);

привод стоит (в кадре не было запрограммировано перемещение или оно уже закончилось).

При отключенном цикле обработки детали возможен поиск кадра (перемотка) с помощью кнопок S6...S10, S13...S15.

Ускоренная проверка программы производится в режиме «Наладка» при ручном вводе величины скорости перемещения (F), увеличенной по сравнению со скоростью, записанной на перфоленте или задаваемой от ЭВМ и выбора действия этой скорости (нажата кнопка S1). При этом возможна также аналогичная проверка программы в замедленном темпе (например при позиционировании) при вводе соответствующего значения скорости.

В режиме «Наладка» возможна проверка программы с остановками перед перемещением механизмов, для чего служит кнопка «Запрет пуска подачи» (S5).

**Режим индикации.** В УЧПУ имеется плата режимов индикации (ОП1), расположенная на передней двери шкафа и содержащая два переключателя для выбора

режимов индикации. Переключатель S1 расположен с внутренней стороны двери и обеспечивает выбор режима рабочей (буквенно-цифровой БЦИ) или наладочной (цифровой ЦИ) индикации. При этом в режиме наладочной индикации возможен выбор индикации чисел (режим ЦИ1) или условий (ЦИ2). Переключатель S2 расположен с лицевой стороны двери и обеспечивает выбор варианта рабочей индикации БЦИ (индикации буферной памяти, рабочей памяти или фактического положения механизмов).

Нормальная работа УЧПУ при управлении станком (ввода данных и др.) возможна только в режиме БЦИ.

**Исходные сигналы оперативного управления.** В УЧПУ существуют две основные операции и стадии управления, исходные сигналы для которых поступают с ПУ. Первая из них состоит в подключении УЧПУ к станку путем формирования в УУ сигнала «Управление включено». Вторая (пусковая) операция заключается в пуске УП с помощью сигнала «Цикл обработки включен».

УУ формирует сигнал «Управление включено» (УВкл), который коммутирует выходные сигналы УУ вспомогательными функциями станка. Сигнал «Увкл» формируется от кнопки «Пуск управления» (S20, рис. 22) при готовности станка к работе с УЧПУ (наличии сигнала ГСт). Отключение сигнала «Увкл» выполняется кнопкой «Стоп управление» (S21), а также автоматически при снятии сигнала готовности или поступлении сигнала останова программы процессора (ОстП) от устройства контроля. Это приводит (в станции управления, куда поступает сигнал «Увкл») к выдаче сигналов автоматического торможения приводов с максимальным ускорением.

Цикл обработки детали при вводе УП с ПЛ или от ЭВМ состоит из последовательности действий УЧПУ, требуемых для полной обработки детали согласно программе (УП). Устройство УЧПУ формирует сигнал «Цикл обработки включен» (ЦОВкл). Включение цикла обработки производится кнопкой «Пуск цикла» (S19.1), а отключение автоматически после отработки последнего кадра программы, содержащего команды M02 или M30. Включение цикла возможно только при наличии памяти начала программы %, которая взводится путем записи этого символа с перфоленты (ПЛ) или от ЭВМ и сохраняется до конца отработки последнего кадра программы.

В режиме ввода программы с пульта ручного ввода включение цикла производится вручную без условия наличия памяти начала программы, а отключение – автоматически после отработки каждого введенного кадра.

Кнопка «Пуск цикла» служит также для включения отработки кадров в полуавтоматических режимах работы УЧПУ.

В процессе отработки программы возможно ручное отключение цикла обработки с помощью кнопки «Стоп цикла» (S19.2). Если в момент отключения цикла происходило перемещение механизмов, то УУ сначала формирует сигнал немедленного (экстренного) торможения по контуру «Стоп с торможением» (СТ), а после окончания торможения – отключает память цикла.

Аварийное отключение цикла производится при появлении ошибки ввода УП или при исчезновении сигнала исполнения команд на станке (ЭХО) во время перемещения механизмов станка. В первом случае происходит доработка текущего кадра с торможением механизмов в конце кадра (вырабатывается сигнал «Разрешение торможения» (РТ), во втором – экстренное торможение по контуру (по сигналу СТ).

Кроме того, отключение цикла с экстренным торможением выполняется в автоматическом режиме в кадре без команды торможения (т.е. в кадре, в котором не

запрограммированы команды торможения G00, G04 и G09) при задержке сигнала окончания предварительных вычислений (КПВ) более чем на 0,5с от момента конца перезаписи данных из буферной памяти в рабочую (что свидетельствует о неисправности в устройстве ввода или процессоре). Этот случай фиксируется только сигнальной лампочкой «Ошибка» на пульте управления (ПУ). Если при этом задержка не превысила 0,5с, то отключение цикла и торможение не производятся, а сам факт наличия ошибки регистрируется в памяти программы процессора с индикацией номера кадра, в котором это имело место.

### **5.9 Алгоритм управления УЧПУ**

На рис.23 приведена структура алгоритма работы УЧПУ в одном кадре программы. В алгоритм включены основные операции, последовательность выполнения которых определяет УУ. Как видно из схемы, можно выделить две основные группы операций. В первую группу (подготовительных операций) входят ввод кадра программы управления станком, ввод коррекций и предварительные вычисления (ПВ). Во вторую – (рабочие операции) перезапись прошедших обработку в процессоре (предварительные вычисления) данных буферной памяти в рабочую и их отработка на станке (отработка заданных в кадре команд и перемещений).

При включении цикла обработки детали идет последовательная отработка операций обеих групп полностью, кроме случаев задания постоянных циклов или подпрограмм из одного кадра. В этих случаях ввод кадра происходит один раз, а все остальные операции повторяются столько раз, сколько частей содержит постоянный цикл или сколько раз необходимо отработать подпрограмму. В общем случае, выполнение подготовительных операций для последующего кадра может начаться, если произведена перезапись данных текущего кадра. Выполнение рабочих операций последующего кадра начинается, если отработаны команды и перемещения, заданные для текущего кадра, а также закончились предварительные вычисления для последующего кадра.

Последовательность выполнения групп операций при включенном цикле обработки определяет формирователь сигналов окончания перезаписи и предварительных вычислений (в блоке ВС1), содержащий RS-триггер, на противоположные входы которого поступают сигналы конца первого цикла вычислений (К1ЦВ) в новом кадре (указывающего на окончание перезаписи) и конца предварительных вычислений (КПВ) (указывающего на окончание предварительных операций). Выходной сигнал этого формирователя – «Перезапись произведена» (ПП). Сигнал К1ЦВ формируется в УУ из сигнала (первого после перезаписи цикла вычислений), который поступает из УУП. Сигнал КПВ поступает из программы предварительных вычислений по шине условий. Таким образом, каждое из двух состояний указанного управляющего триггера разрешает выполнение соответственно операций перезаписи данных текущего кадра (рабочие операции) или ввода данных последующего кадра (подготовительные операции); окончание одной из них разрешает выполнение другой (и наоборот).

При отключенном цикле (режим перемотки перфоленты) перезапись и, следовательно, отработка кадра запрещается. Во время движения перфоленты производятся только операции ввода кадра, а ввод коррекций и предварительные вычисления выполняется только в момент останова ленты (после выдачи сигнала на останов).

**Ввод кадра** от перфоленты (ПЛ) или ЭВМ состоит из следующих операций: а) пуск перфоленты;

- б) ввод информации кадра в буферную память;
- в) установка буферной памяти;
- г) выполнение процессором программы поиска кадра;
- д) стоп перфоленты.

В режиме ручного ввода операции управления ПЛ, (пуск-стоп) отсутствуют, а операции установки буферной памяти и поиска кадра, которые запускаются вводом адреса начала кадра %, :, N в предварительную память (8, рис.3), не выполняются, если пропущен соответствующий адрес начала кадра.

остановка перфоленты при движении вперед происходит при считывании адреса LF, а назад по N, % или :. Адрес КН останавливает ПЛ в любом направлении.

Адреса круглых скобок, используемые для записи (в программе обработки детали) поясняющего текста, формируют запрет ввода информации находящейся между ними.

Адрес косой черты («/») указывает на возможность пропуска кадра с данным символом (технологический останов по желанию оператора). При выборе пропуска ввод кадра не производится и ПЛ на конце этого кадра не останавливается.

Адрес «N» указывает на начало подпрограммы, а число под этим адресом – количество повторений отработки подпрограммы.

Особенностью окончания движения назад является автоматический последующий пуск перфоленты вперед на один кадр, благодаря чему в буферную память по окончании перемотки ввода кадр, на котором произошла остановка при движении назад. Аварийный стоп, осуществленный кнопкой «Стоп ленты» (ЛНС) или адресом КН, не вызывает движения перфоленты вперед.

В движении перфоленты вперед введены блокировки от программ процессора по установке исходного состояния буферной памяти и поиску кадра (выполняемых в каждом кадре). Перерыв в движении ПЛ в первом случае производится, если к моменту считывания с ПЛ адреса, следующего за номером кадра, не закончилась программа установки, а во втором – если к моменту считывания адреса конца кадра (LF) не закончена программа поиска кадра. Окончание программы вызывает продолжение движения ПЛ.

Ручной пуск ПЛ назад возможен только при отключенном цикле обработки. Автоматический ход назад при включенном цикле производится по сигналам возврата ПЛ к началу программы (M30БП), возврата к началу подпрограммы (M29БП) или при повторном считывании (ПСч), если обнаружена ошибка ввода. Сигнал стопа ПЛ назад формируется на основе решения логического уравнения.

**Ввод коррекций.** Разрешение ввода геометрических коррекций программы (величин смещения начала отсчета и размеров инструмента) формируется с помощью следующих сигналов:

- а) в режиме ручного ввода – сигналом вызова очередной, после считывания каждого адреса LF, строки (ВОС);
- б) в режиме ввода с ПЛ или от ЭВМ – также сигналом вызова, но при считывании адреса LF только в момент остановки ПЛ после хода вперед (ВКЛМ);
- в) независимо от режима ввода: при отработке постоянных циклов или при наличии в программе управления станком подпрограммы, состоящей из одного кадра – сигналом конца цикла вычислений (К1ЦВ);
- г) задним фронтом сигнала установки при включении питания и общем сбросе (Уст).

Для обеспечения операции ввода информации кадров и ввода коррекций, УУ формирует и передает в УВД сигнал разрешения ввода в предварительную память (РВ в ПП). Этот сигнал формируется на основе решения логического уравнения. Ввод в предварительную память запрещается:

при считывании с ПЛ поясняющего текста, расположенного внутри круглых скобок;

при считывании кадра, содержащего адрес косой черты («/») – при выборе пропуска этого кадра;

на время движения ПЛ назад;

на время вывода информации кадра на перфоратор или ЭВМ;

при возникновении ошибок ввода;

при остановке считывателя для завершения программ установки буферной памяти и поиска кадра. Остановка может быть вызвана несоответствием скорости ввода и общего времени прохождения этих программ при кадрах малой длины (менее четырех строк).

#### **Управление рабочими операциями в кадре:**

Разрешение перезаписи данных из буферной памяти в рабочую реализует формирователь разрешения перезаписи, вырабатывающий сигнал «А». Этот сигнал формируется на основе решения логического уравнения и запоминается до окончания ввода;

Разрешение установки исходного состояния рабочей памяти по «%» и «:» ;

Обработка заданных в кадре команд и перемещений (Рис.23);

Формирование сигнала окончания обработки кадра;

Окончание обработки УП станком.

**Организация подпрограмм в УП.** УП может содержать подпрограммы состоящие из одного или нескольких кадров. Подпрограмма (ПП), состоящая из нескольких кадров, обрабатывается в режиме ввода с ПЛ или от ЭВМ. Начальный кадр программы содержит адрес «Н», конечный - команду М29. Число, стоящее под адресом «Н», указывает на количество требуемых повторений ПП, т.е. повторений обработки заданной последовательности кадров – от кадра, содержащего адрес Н, до кадра с М29.

ПП из одного кадра не требует перемотки и может обрабатываться в любом режиме ввода; этот кадр содержит как адрес Н, так и команду М29.

Формирователь сигналов управления ПП вырабатывает следующие сигналы:

а) сигнал наличия ПП из одного кадра (ПпОК);

б) сигнал результата счете количества обработанных ПП (ΔН);

в) сигнал счета ПП (СчПп), который служит для увеличения на «1» количества обработанных ПП.

Сигнал результата счета ПП ((ΔН) управляет обратной перемоткой ПЛ, если ПП состоит из нескольких кадров.

В режиме редактирования УП, для изготовления дубликата ПЛ или изменения ее в процессе редактирования, предусматривается вывод информации кадров УП на перфоратор.

Режим вывода информации на ЭВМ обеспечивает редактирование соответствующей УП, хранимой в памяти ЭВМ.

Формирователь сигналов управления выводом информации выдает в устройство вывода сигналы выбора вида работы (с ЭВМ – сигнал Р<sub>3</sub>ВМ, инверсия сигнала Р<sub>3</sub>ВМ – вывод на перфоратор) и разрешение (пуска) вывода информации (РВИ). Сигнал выбора коммутирует направление передачи информации (на перфоратор или

ЭВМ), а сигнал разрешения определяет начало вывода. Сигнал P<sub>3</sub>ВМ формируется на основе решения логического управления, из которого следует, что вывод на перфоратор возможен:

в режиме ручного ввода – при нажатии кнопки ВВИ;

при отключенном цикле обработки – независимо от режимов ввода и работы УЧПУ (режим реперфорации);

при включенном цикле и любом режиме ввода – только в полуавтоматическом режиме работы с остановками на каждом кадре.

**Установка исходного состояния** памяти УЧПУ и основных устройств происходит при включении питания, а также оператором – при нажатии кнопки общего сброса. Установка большинства этих элементов необходима для обеспечения нормальной работы УЧПУ, а остальных – для возможности повторного точного воспроизведения процесса работы всех цифровых устройств и УЧПУ в целом из того же начального состояния, что облегчает контроль работы и поиск неисправностей.

Элементы памяти на которые не распространяется указанная установка, устанавливаются в начальное состояние автоматически в процессе последующей нормальной работы - с помощью постоянно действующих внутренних сигналов УЧПУ (временной развертки и др.)

Установка в начальное состояние памяти УЧПУ производится с помощью сигналов формирователя установки. Формирователь вырабатывает сигналы:

сигнал установки оперативной памяти УЧПУ (ВП);

сигнал установки памяти устройства управления (Уст).

Оба сигнала формируются: - при включении источника питания УЧПУ; - при нажатии на кнопку общего сброса «Разрешение установки от пульта» (РУП).

### **5.10. Устройство контроля**

Устройство контроля (УК, рис.3) предназначено для контроля работы УЧПУ путем проверки информации на общих шинах и формирования сигнала останова программы (на основе указанных ошибок, а также ошибок, формируемых отдельными устройствами УЧПУ). Кроме того, УК выполняет хранение и выдачу на индикацию *всех* регистрируемых ошибок.

Основными частями устройства являются:

схема контроля чисел и адресов на общих шинах;

регистр ошибок РО;

регистр текущего адреса РА;

регистр адреса, в такте выдачи которого зафиксирована ошибка РАО (регистр адреса ошибки);

выходной коммутатор.

Все ошибки, регистрируемые в УК, можно разделить на следующие виды.


Ошибки, определяемые в самом УК (ошибки на общих шинах): - ошибка предварительной памяти (импульсная) ОшППимп; - ошибка адреса многобитовой памяти ОшАМП; - ошибки числа многобитовой памяти ОшЧМП; - ошибки адреса памяти условий ОшА ПУ. Ошибки, определяемые в других устройствах УЧПУ, функционирование которых при этом проверяется: - ошибка памяти условий ОшПУ; - ошибка стека ОшСт; - ошибка АЛУ(ОшАЛУ); - ошибки управления (ошибка ПЗУ ОшПЗУ, ошибка прерывания ОшПрер, тестовая ошибка ОшТ); - ошибки ввода (ошибка в ко-

де ИСО ОшИСО, ошибка частоты ввода Ошf, ошибки предварительной памяти ОшПП).

Ошибки, определяемые в других устройствах УЧПУ, поступают на вход УК отдельными сигналами.

В каждом такте работы УЧПУ в регистре адреса РА запоминается текущий адрес ячейки памяти. Одновременно схема контроля общих шин проверяет информацию на общих шинах следующим образом: адрес – на четность, число – на нечетность. В случае появления ошибки на выходе схемы контроля УК или из других функциональных устройств этот сигнал запоминается в соответствующем разряде регистра ошибки РО, а содержимое регистра РА переносится в регистр адреса ошибки РАО. Таким образом, в регистре РО запоминается вид ошибки, а в регистре РАО – адрес, в такте выдачи которого зафиксирована ошибка.

Ошибки ввода запоминаются в регистре РО на время их действия, с подтверждением в каждом такте.

Содержимое регистров РО и РАО выведено на экран индикатора в буквенном режиме – в нижних строках левой и правой половины экрана, в сопровождении символа ошибки . В цифровом режиме – в двух нижних строках по адресам 740 и 741. При нормальной работе ошибки отсутствуют, и на экране индикатора в этих строках пустое место (код 15 во всех декадах чисел). Кодирование ошибок на индикацию выполнено уплотненным. Это позволяет индицировать ошибки одной группы в виде одной цифры (от 0 до 7) и дает возможность однозначно фиксировать любое сочетание ошибок.

Все ошибки, кроме ошибок ввода, формируют статистический сигнал останова программы.

УК формирует сигналы ошибок с помощью интегральных микросхем, реализующих различные логические уравнения. В блоке УК имеется кнопка сброса ошибки, сбрасывающая содержимое регистров РО и РАО. Этой кнопкой удобно пользоваться при отладке и проверке программ работы процессора, чтобы получить полное представление о количестве и видах возникающих ошибок.

### **5.11. Источник питания**

Источник питания (см.рис.3) предназначен для питания УЧПУ выпрямленными (нестабилизированными) и стабилизированными напряжениями постоянного тока и напряжением переменного тока 3~50Гц, 380В, требуемого для питания вентилятора.

#### **Основные технические данные источника питания:**

напряжение на входе 380В, 3~50Гц;

напряжение на выходе стабилизированные:

45В ( $I_{\text{вых}}=55\text{А}$ ); +3,1В ( $I_{\text{вых}}=8,8\text{А}$ );  $\pm 18\text{В}$  ( $I_{\text{вых}}=5\text{А}$ );

выпрямление  $\pm 27\text{В}$  ( $I_{\text{вых}}=5\text{А}$ );

переменное 380В, 3~50Гц ( $I_{\text{вых}}=0,3\text{А}$ ).

Мощность, потребляемая от сети: 1000Вт, 1900ВА.

Точность поддержания стабилизированных напряжений – не хуже  $\pm 5\%$ .

Конструктивно источник питания состоит из блока трансформаторов, блока стабилизаторов и блока распределения электропитания (ЭР1). Выходные напряжения через блок ЭР1 поступают на шины питания УЧПУ.

### Принцип работы запоминающей ячейки

Схема и параметры запоминающей ячейки «Я» приведены на рис.1П. Ячейка опрашивается прямоугольным импульсом тока  $I_1$  определенной длительности (рис.1П.б). Импульс поступает от генератора тока через разделительный диод  $V_1$  и управляющий ключ на интегральной микросхеме ЛА6. В прошитом (запись «1») сердечнике, т.е. при наличии тока в данной ячейке первичной обмотки  $W_1$ , возникает в цепи вторичной обмотки  $W_2$  вторичный ток  $I_2$ , который открывает транзистор  $V_2$  и создает выходной сигнал  $U_k$ . Запоминающая ячейка работает в режиме трансформатора тока на постоянное вторичное напряжение  $U_{\text{бэ}}$  эмиттерного перехода транзистора.

Процесс намагничивания сердечника трансформатора и величина основного выходного параметра схемы  $\Delta t$  ( $\Delta t$  – длительность выходного сигнала) определяются зависимостями для баланса ампервитков и ЭДС индукции:

$$J_1 W_1 = J_2 W_2 + \Delta H l; U_2 = U_{\text{бэ}} = W_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

где  $\Delta H = \Delta B / \mu$  - изменение напряженности магнитного поля в сердечнике за время  $\Delta t$ ;

$\Delta B$  - соответствующее изменение индукции;

$\mu$  - магнитная проницаемость;

$l$  – средняя длина магнитной силовой линии сердечника;

$U_2$  – вторичное напряжение;

$W_2$  – количество витков вторичной обмотки трансформатора;

$\Delta \Phi - \Delta B S$  – изменение магнитного потока;

$S$  – площадь сечения сердечника.

При подаче в момент  $t_0$  импульса тока в сердечнике создаются (скачком) постоянные ампервитки  $I_1 \cdot W_1$  (магнитодвижущая сила или м.д.с.), которые затрачиваются на создание вторичных ампервитков  $I_2 \cdot W_2$  и приращение намагничивающей силы в сердечнике  $\Delta H \cdot l$ . В начальный момент  $\Delta H = 0$ , поэтому в начале импульса вторичный ток максимален и равен

$$J_2 = J_1 \frac{W_1}{W_2} = J_1 / W_2 \quad (\text{т.к. } W_1 = 1).$$

Вторичный ток обеспечивает базовый ток и ток через нагрузочное сопротивление  $R_1$ :  $I_2 = I_{\text{бэ}} + I_{R_1}$ .

Так как  $U_2 = U_{\text{бэ}} \approx \text{const}$ , то магнитный поток ( $\Phi$ ), индукция ( $B$ ) и напряжение ( $H$ ) растут с постоянной скоростью во времени. Линейное возрастание величины  $\Delta H / l$  в процессе намагничивания сердечника приводит соответственно к линейному уменьшению вторичных ампервитков  $J_2 \cdot W_2$  и вторичного тока  $J_2$ . В момент времени  $t_1$ , когда величина  $H \cdot l$  достигает величины  $J_1 \cdot W_1$  (после чего прекращается нарастание напряженности и индукции) вторичный ток прекратится, транзистор закроется, и выходной сигнал  $U_k$  также прекратится. Это и определяет в данном случае длительность выходного сигнала  $\Delta t$  (рис.1П.2).



С учетом тока  $I_{R1}$  и минимально требуемого для насыщения транзистора  $V_2$  (который работает на микросхему выходного регистра ПЗУ) базового тока  $J_{\text{бк}} = \frac{J_k}{\beta}$ ,

где

-  $I_k$  – коллекторный ток транзистора (с учетом тока логического нуля выходной микросхемы);

-  $\beta$  – коэффициент усиления по току;

длительность выходного сигнала будет равна несколько меньше и равна  $t_1$ .

Однако, параметры ячейки выбраны таким образом, что сумма указанных токов невелика по сравнению с максимальной (начальной) величины вторичного тока и не влияет поэтому существенно на длительность выходного импульса, которая создается избыточной частью базового тока

$$I_{\text{б,изб}} = I_{\text{б}} - I_{\text{бк}}$$

Максимальную длительность выходного сигнала можно определить из соотношения для вторичного напряжения при

$$\Delta H \cdot l = I_1 W_1. \quad U_2 = U_{\text{бз}} = W_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t_{\text{max}}} = W_2 \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t_{\text{max}}};$$

$$U_2 = W_2 \frac{\Delta H \cdot \mu \cdot S}{\Delta t_{\text{max}}} = \frac{W_2 \cdot J_1 \cdot W_1 \cdot \mu \cdot S}{\Delta t_{\text{max}} \ell}; \quad \Delta t_{\text{max}} = \frac{J_1 \cdot W_1 \cdot W_2 \cdot \mu \cdot S}{U_{\text{бз}} \cdot \ell}.$$

Так как  $\mu = \mu_6 \cdot \mu_0$ , где

$\mu_6$  – магнитная проницаемость вакуума;

$\mu_0$  – относительная магнитная проницаемость материала сердечника;

$$\text{То } \Delta t_{\text{max}} = \frac{J_1 \cdot W_1 \cdot W_2 \cdot \mu_6 \cdot \mu_0 \cdot S}{U_{\text{бз}} \cdot \ell}.$$

В запоминающей ячейке (рис. 1Па):

$$I_1 = 60 \text{ мА} = 60 \cdot 10^{-3} \text{ А};$$

$$W_1 = 1; \quad W_2 = 50;$$

$$\mu_0 = 2000;$$

$$U_{\text{бз}} \approx 0,7 \text{ В};$$

$$S = b \cdot h \text{ – ширина кольца } \times \text{ глубину сердечника} = 2 \cdot 3 = 0,06 \text{ см}^2;$$

$$\ell = \pi d_{\text{ср}} = \pi \cdot 8 \approx 2,5 \text{ см (см. рис. 1П.а)};$$

$$\mu_6 = 4\pi \cdot 10^{-9} \frac{\text{ГН}}{\text{см}} \approx 12,5 \cdot 10^9 \frac{\text{ГН}}{\text{см}}.$$

отсюда

$$\Delta t_{\text{max}} = \frac{60 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 50 \cdot 12,5 \cdot 10^9 \cdot 2000 \cdot 0,06}{0,7 \cdot 2,5} \approx 2,5 \cdot 10^{-6} = 2,5 \text{ мкс}.$$

Если длительность импульса первичного тока  $\Delta t_{\text{max}}$  (например, импульс заканчивается в момент времени  $t_1$ ), то выходной импульс заканчивается одновременно со входным (см. рис. 1П, б, г).

Таким образом, намагничивание сердечника трансформатора происходит за счет работы с постоянным вторичным напряжением. В сердечнике происходит нарастание напряженности (Н), индукции (В) и магнитного потока (Ф) с постоянной скоростью, определяемой величиной  $U_{\text{бз}}$ . Процесс, а соответственно и выходной сигнал ячейки, заканчивается в момент, когда магнитное состояние сердечника (напряженность) будет соответствовать величине приложенного первичного тока (явление насыщения и перемагничивания сердечника нет). Поэтому возможная длительность

ность выходного импульса пропорциональна  $I_1$ , обратно пропорциональна величине  $U_{бэ}$  и зависит от характеристик и размеров сердечника. Все эти зависимости могут сказываться лишь при соответствующих неисправностях элементов и нарушениях условий работы схемы, так как длительность выходного импульса стабилизирована путем выбора длительности импульса первичного тока. Эта длительность ( $t_1$ ) выбирается меньше той ( $t_1''$ ), которая соответствует окончанию процесса намагничивания для данной величины тока ( $I_1$ ).

Ячейка работает от однополярных импульсов тока при нулевой начальной индукции в сердечнике и возвращается в это же исходное состояние после окончания импульса первичного тока.

Возникающая при намагничивании сердечника первичная ЭДС невелика (в  $W_2$  раз меньше вторичной, т.е. при  $U_2=0,7В$  и  $W_2=50$  равна 14мВ), так что суммарная ЭДС максимально возможного количества (примерно 21шт) последовательно прошитых сердечников (примерно 0,3в) не влияет на режим работы (величину тока) первичной цепи.

Параметры схемы выбраны таким образом, что длительность импульса первичного тока  $I_1$  (1,25мкс) примерно в два раза меньше длительности перемагничивания  $\Delta t_{max}$ .

Так как транзистор запоминающей ячейки работает на микросхему, то для обеспечения на входе этой микросхемы уровня логического нуля параметры схемы выбраны так, что в открытом состоянии транзистор  $V_2$  находится в режиме насыщения.

В момент  $t_1$  окончания действия первичного тока  $I_1$  транзистор  $V_2$  закрывается и сердечник трансформатора возвращается в первоначальное состояние. Выбор уменьшенной длительности импульса первичного тока ускоряет возврат. Переходный процесс возврата сердечника носит апериодический характер (на рис. 1П.2 он не показан), близкий к критическому. Устранение колебательности и выполнение условия апериодичности достигнуто введением сопротивления  $R1$ . Сопротивление  $R1$  обеспечивает время возврата схемы в исходное состояние, близкое к оптимальному (его величина выбрана с запасом на разброс параметров схемы). Отрицательный выброс  $U_{бэ}$  на уровне  $1\div 3В$ .

Обеспечение помехозащищенности достигается стробированием считываемого с ячеек импульса  $U_k$ . Импульс строга "С" (0,25мкс) по времени находится внутри интервала  $t_0 - t_1$ , равного длительности подтакта (1,25мкс). Передним фронтом строга С (отстоит от «0» на 0,75мкс) информация, считываемая с ячейки, записывается в регистр. Стробирование исключает влияние помех в ячейках с непрошитыми сердечниками, возможных в момент начала и окончания импульса тока.

## УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

- УП – управляющая программа;  
 ПЗУ – постоянное запоминающее устройство;  
 F, S, T, G, M, H, E, P – адреса в УП;  
 ПЛ – перфолента;  
 ИМС – интегральная микросхема;  
 ЭП – электропривод (СП – следящий привод);  
 ТГ – тахогенератор;  
 СУ – станция управления (Рис.1);  
 ПУ – программное управление; пульт управления (1, рис 3);  
 РО – рабочий орган (рис 1);  
 ОП – оперативная память (ОЗУ) (рис 3);  
 АЛУ – арифметико-логическое устройство (Рис.3);  
 УУП – устройство управления процессора;  
 ВТ – вращающийся трансформатор;  
 УВД – устройство ввода данных;  
 УИП – устройство измерения положения;  
 ПИ1...7 – измерительные преобразователи координат (37);  
 ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;  
 УВФ – устройство управления вспомогательными функциями станка;  
 УИ – устройство буквенно-цифровой и контрольной индикации;  
 УВП – устройство вывода на перфоратор и ЭВМ;  
 УС – устройство синхронизации;  
 УПЦ – устройство формирования постоянных циклов обработки;  
 УУ – устройство управления (ПУ, ПО);  
 УК – устройство контроля;  
 ИП – источник питания (Рис.2, Рис.3);  
 РА – регистр адреса (9); (21);  
 РОП – регистр операций (15), (20);  
 ФСУ – фотосчитывающее устройство (3);  
 ПНК – преобразователь напряжение-код (30);  
 ПФК – преобразователь фаза-код (31);  
 ПДН – преобразователь длительность импульса-напряжение (32);  
 Ф – формирователи (36);  
 ISO-7bit – стандартный международный символьный код обмена информацией, в котором каждый символ кодируется семью битами;  
 ЭЛТ – электронно-лучевая трубка (50);  
 РКО – регистр кода ошибки;  
 АЦП – аналого-цифровой преобразователь;  
 ОС – обратная связь;  
 ЦВ – циклические вычисления;  
 ПВ – предварительные вычисления;  
 ПП – предварительная память (8);  
 ВОС – вызов очередной строки;  
 УВК – устройство ввода коррекцией;  
 ШУ – шина условий;  
 ЗпП – запись в память;

С0, С1, С2 – стробы;  
 Еі (Е0...Е4) – подтакты;  
 $\alpha_1, \dots, \alpha_9$  – общие шины;  
 ДПТ – двигатель постоянного тока;  
 РС – регулятор скорости;  
 ИР – измеритель рассогласования;  
 ВУ – вычислительное устройство;  
 $\Delta S$  – рассогласование между заданным положением РО и текущим;  
 К – добротность следящего привода;  
 Т – эквивалентная постоянная времени;  
 СП – следящий привод;  
 $\tau$  - «широтный» импульс; задержка одного логического элемента;  
 $S_3$  – код полной величины заданного положения;  
 $S_\phi$  – фактическое перемещение механизма;  
 $S_{\text{фк}}$  – код перемещения на выходе ПФК (31);  
 $S_{\text{фл}}$  – аналоговый сигнал, изменяющийся непрерывно внутри дискреты ПФК;  
 $T_k$  – период квантования;  
 $\Delta S_n$  – нормированное значение кода  $\Delta S$  во входном регистре ЦАП  
 ( $\Delta S_{\text{Hmax}}=9000$ );  
 $K_1, K_2$  – дополнительные коэффициенты для приведения кода  $\Delta S$  к коду  $\Delta S_n$ ;  
 $K_{\text{цап}}$  – коэффициент передачи ЦАП;  
 $K_{\text{рс}}=\omega/I_{\text{вых}}$  – коэффициент передачи регулятора скорости (РС);  
 $K_p=V/\omega$  - коэффициент редукции в кинематической цепи сочленения двигателя с механизмом;  
 $K_q=\phi/S_\phi$  коэффициент передачи ПИ;  
 $I_{\text{вых}}$  – выходной ток ЦАП;  
 $\omega$  - круговая частота вращения вала двигателя;  
 $V$  – скорость движения механизма;  
 $\phi$  - фаза выходного сигнала ПИ;  
 П – память узла; -признак наличия числа; -перенос из старшего байта;  
 РБ – основной информационный блок (рядовой блок); -входной буферный регистр;  
 ББ – блок развязки по нагрузке (буферный блок);  
 Е – сигнал;  
 ТБ – блок общего тактирования;  
 $h_1, h_2, h_4, h_8, h_{10}, h_{20}, h_{40}, h_{80}, h_{100}, d_1$  – сигналы кодовой развертки;  
 $v_1, v_2, v_4, v_5$  – код подциклов;  
 $a_1, a_2$  - код циклов;  
 $f_1, f_2, f_4, f_8$  – код элементов раstra;  
 Г – задающий генератор;  
 МП – многобитовая память;  
 ОПУ – однобитовая память условий переходов программы;  
 $m$  – вход МСУ, куда подается первый операнд из регистра  $N_{\text{ср}}$  при выполнении арифметических операций  
 $a$  –вход МСУ, куда подается второй операнд при выполнении арифметических операций;  
 $v$  - число из РМ в формуле  $S= a v+m$ ;  
 РБ – выходной буферный регистр в АЛУ;

ПК – входной и выходной преобразователь кода в АЛУ;  
МСУ – множительно-суммирующее устройство (16);  
 $N_{cp}$ ,  $N_{mp}$  – регистры накопителя старших и младших разрядов результата (18);  
PM – регистр множителя (19);  
ШП – шаг программы;  
ПРВ – пульт ручного ввода;  
ПНК – пульт набора коррекций;  
ПОС – положительная обратная связь;  
ФРИ – формирователь разрядных импульсов;  
ФФН – формирователь импульса «непрерывной» фазы (ФН);  
К  $\epsilon$  – квантователь;  
ФД – импульс «дискретной» фазы;  
ПДН – преобразователь широтного импульса ШИ в напряжение;  
РНШ – регистр начального шага (28);  
ВР – входные регистры (29); (38)  
Г – генератор (54);  
ОШ – общие шины  
ФЭС – формирователь эталона скорости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение системы числового программного управления станка модели MC12-250M1: метод. указания к лабораторной работе. Часть 1...4/СГАУ. – Смолин В.Д., Самара, 1998.-31с.
2. Документация на станок MC12 –250M1.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>1. УЧПУ «РАЗМЕР 4»</b>	<b>4</b>
1.1. Реализуемые функции	4
1.2. Структура, функции и роль УЧПУ в работе СЧПУ	5
1.3. Назначение блоков УЧПУ	6
1.4. О некоторых функциях УЧПУ	8
1.5. Взаимодействие блоков УЧПУ	10
Организация работы УЧПУ	15
Контроль работы УЧПУ	17
<b>2. СЛЕДЯЩИЙ ПРИВОД</b>	<b>18</b>
2.1. Измеритель рассогласования	21
2.2. Элементная база и типовые схемы	24
2.3.Компоновка УЧПУ	24
<b>3. СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ</b>	<b>25</b>
3.1. Виды сигналов в УЧПУ	25
3.2. Устройство синхронизации	28
<b>4. О РАБОТЕ ПРОЦЕССОРА</b>	<b>28</b>
4.1. Оперативная память (ОП)	28
4.2. Магазинная память (стек)	31
4.3. Постоянное запоминающее устройство уставок (констант)	32
4.4. Арифметико – логическое устройство (АЛУ)	35
4.5. ПЗУ команд	44
4.6 Устройство управления процессора	46
<b>5.ПЕРИФЕРИЙНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА</b>	<b>49</b>
5.1 Устройства ввода данных	49
5.2 Устройство измерения положения	54
5.3 Цифро-аналоговый преобразователь код-ток управления приводами (ЦАП)	63
5.4 Устройство управления вспомогательными функциями станка, память номера инструмента и резервной функции	67
5.5 Устройство буквенно-цифровой и контрольной индикации	68
5.6 Устройство ввода данных на перфоратор «ЭВМ (УВП)	72
5.7 Устройство формирования постоянных циклов обработки	76
5.8. Устройство управления	77
5.9 Алгоритм управления УЧПУ	83
5.10. Устройство контроля	86
5.11. Источник питания	87
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1</b>	<b>88</b>
Принцип работы запоминающей ячейки	88
<b>УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ</b>	<b>91</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>93</b>
<b>ОГЛАВЛЕНИЕ</b>	<b>94</b>