

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра технической эксплуатации радиоэлектронного
оборудования воздушного транспорта**

В. И. Петров, К.Н. Матюхин

**ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ И ИХ ПРОГРАММНОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Учебное пособие

Утверждено Редакционно-
издательским советом МГТУ ГА
в качестве учебного пособия

Москва
2019

УДК ТЭРЭО ВТ 681.32 (075.8)

ББК 0580.2

ПЗ1

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Московского государственного технического университета ГА

Рецензенты:

Болелов Э.А. (МГТУ ГА) – канд. техн. наук, доцент;

Васильев О.В. (ОАО «Бортовые аэронавигационные системы»)

– д-р техн. наук, профессор

Петров В.И.

ПЗ1 Цифровые вычислительные системы и их программное обеспечение: учебное пособие. / В.И. Петров, К.Н. Матюхин. — Воронеж: ООО «МИР», 2019. — 84 с.

ISBN 978-5-6042751-2-2

Данное учебное пособие издается в соответствии с рабочей программой дисциплины «Цифровые вычислительные системы и их программное обеспечение» для студентов IV курса специальностям 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования», 10.05.02 «Информационная безопасность ТКС» всех форм обучения.

В учебном пособии излагаются принципы построения цифровых вычислительных систем воздушного транспорта. Особенностью учебного пособия является актуальность учебного материала, связанная с активным внедрением в гражданскую авиацию вычислительных систем. В центре внимания учебного пособия находится программное обеспечение цифровых вычислительных систем воздушного транспорта. Показаны способы организации вычислительного процесса и алгоритмы контроля вычислительных систем.

Материал учебного пособия может быть также полезен студентам, обучающимся по другим направлениям специальностей, связанных с радиотехникой.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 30.08.2018 г. и методического совета 12.09.2018 г.

ББК 0580.2

Св. тем. план 2018 г.

поз. 24

ПЕТРОВ Виктор Иванович, МАТЮХИН Константин Николаевич

**ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
И ИХ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**
Учебное пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 02.11.2018 г.

Формат 60x80/16 Печ. л. 5,25 Усл. печ. л. 4,88

Заказ 390/090434 Тираж 35 экз.

Московский государственный технический университет ГА

125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Издательский дом Академии имени Н.Е. Жуковского

125167 Москва, 8-го Марта 4-ая ул., д. 6А

© Московский государственный
технический университет ГА, 2019

Содержание

Введение	4
1. Запоминающие устройства БЦВМ	8
1.1. Назначение и характеристики запоминающих устройств	8
1.2. Структуры запоминающих устройств	10
1.3. Структуры модулей памяти	12
1.4. Элементы памяти магнитных оперативных запоминающих устройств	14
1.5. Оперативное запоминающее устройство БЦВМ	16
1.6. Постоянное запоминающее устройство БЦВМ	24
2. Арифметико-логическое устройство БЦВМ	27
2.1. Назначение и характеристики арифметико-логического устройства	27
2.2. Структура арифметико-логического устройства	29
2.3. Выполнение арифметических и логических операций	31
3. Устройство управления БЦВМ	35
3.1. Основные функции, выполняемые устройством управления	35
3.2. Формы представления команд	38
3.3. Методы формирования адресов	39
3.4. Модификация команд	41
3.5. Устройство управления БЦВМ	41
3.6. Система команд БЦВМ «Орбита»	46
4. Устройства ввода-вывода БЦВМ	51
4.1. Структура устройства ввода-вывода	51
4.2. Ввод и вывод информации в БЦВМ	54
5. Программное обеспечение БЦВМ	56
5.1. Программное обеспечение БЦВМ, его функциональное назначение	56
5.2. Состав математического обеспечения БЦВМ	57
5.3. Программно-математическое обеспечение контроля БЦВМ	59
5.4. Организация вычислительного процесса в БЦВМ	64
5.4.1. Асинхронный принцип организации вычислительного процесса	66
5.4.2. Синхронный принцип организации вычислительного процесса	68
5.4.3. Синхронно-асинхронная организация вычислительного процесса	72
5.5. Программирование вычислительных процессов	74
6. Организация эксплуатации БЦВМ	76
Литература	83

ВВЕДЕНИЕ

Вычислительная техника в авиации стала применяться для решения задач навигации, управления различными системами. Широкое внедрение средств вычислительной техники на борт ЛА позволило освободить экипажи от трудоемких вычислительных операций и дать возможность автоматизировать решение ряда сложных задач. Дальнейшее развитие авиационной техники потребовало быстрого решения сложных задач с высокой точностью, что вызвало необходимость совершенствования имеющихся и создания принципиально новых вычислительных средств, отвечающих требованиям современной авиационной техники. В итоге, в настоящее время используются в авиации не отдельные вычислительные устройства, а сложные вычислительные системы, основой которых являются вычислительные машины.

Бортовые цифровые вычислительные устройства (БЦВМ) и системы (БЦВС) предназначены для решения навигационно-пилотажных задач, обеспечения работы радиолокационных средств, задач по организации связи, контроля бортовых систем, отображения информации, автоматического управления ЛА и ряд других задач. Развитие авиации и непрерывное увеличение разнообразной по своему характеру и структуре информации потребовало для обработки этой информации на борту ЛА универсальной вычислительной техники.

Прогресс технологии микроминиатюрных и интегральных элементов, создание микропроцессорных наборов позволили перейти в авиационных системах управления на применение цифровых вычислительных машин, систем и сетей. За последнее время БЦВМ стали основным элементом комплекса электронной аппаратуры летательного аппарата. С появлением универсальных БЦВМ на борту ЛА понятие комплекса оборудования приобрело новый смысл, так как оно объединило в одно целое средства навигации, органы управления, индикации, устройства обнаружения отказов и ряд других средств. Применение на борту ЛА БЦВМ позволило повысить эффективность современных ЛА. По некоторым зарубежным источникам стоимость комплекса бортовой электронной аппаратуры составляет 35...40% стоимости разработки ЛА. Эта стоимость зависит, главным образом, от стоимости БЦВС.

На ЛА впервые ВМ стали использоваться в навигационных комплексах (НК). Дальнейшее развитие технологии изготовления БЦВМ позволит заменить на летательных аппаратах аналоговые вычислительные устройства, оставив им вспомогательную роль в виде дублирующих вычислителей, либо в качестве терминальных устройств, работающих в некоторых подсистемах комплекса.

Таким образом, структура авиационного комплекса содержит сложный состав оборудования, тесно взаимодействующего между собой при выполнении поставленных перед ним задач. БЦВМ является элементом этого комплекса. Она предназначена для обработки входной информации по заранее составленной программе и формирования сигналов автоматического

управления ЛА, осуществления контроля бортовых систем, отображения информации экипажу и для решения ряда других задач.

Характерными особенностями работы БЦВМ в контуре управления ЛА являются:

- сопряжение БЦВМ с аппаратурой иного физического характера;
- многократное повторение алгоритма;
- реальный масштаб времени;
- ограничение реализации алгоритмов во времени;
- повышенная надежность.

Первая особенность состоит в том, что измеряемые датчиками физические величины скорость, высота, углы тангажа, скольжения, сноса по своей природе являются непрерывными величинами, вследствие чего для ввода их в БЦВМ необходимо преобразование в цифровую форму. Такое преобразование может осуществляться непосредственно датчиками или преобразователями (рис. 1).

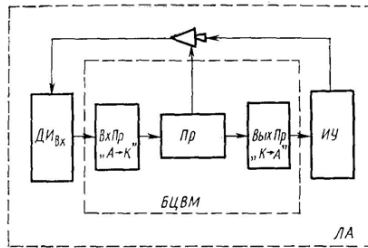


Рис. 1. Преобразование входных и выходных параметров

Дискретные результаты из БЦВМ должны быть преобразованы в аналоговые величины для последующего их использования. Различный физический характер информации приводит к значительному усложнению всей системы, увеличению ее массы, габаритов и стоимости. Кроме того, создание преобразователей, обладающей высокой точностью, представляет определенную проблему.

Вторая особенность работы БЦВМ в самолетном контуре заключается в том, что алгоритмы решаемых задач, описанные на машинном языке, хранятся в постоянном запоминающем устройстве и не изменяются в процессе всего периода эксплуатации ЛА. Исполнение любого алгоритма происходит путем многократного его повторения. При каждом повторении алгоритма меняются лишь исходные данные. В дальнейшем однократное выполнение алгоритма будем называть *циклом управления*. Частота повторения того или иного алгоритма зависит от скорости изменения исходных данных, допустимой дискретности выдачи результатов в соответствующие подсистемы и условий применения.

Третья особенность состоит в реализации реального масштаба времени. Эта особенность заключается в том, что необходимо обеспечить при дискретном характере выходной информации непрерывность управления подсистемами при сохранении требуемой точности решения задачи.

Четвертая особенность, заключающаяся в представлении требуемого интервала времени для реализации каждого алгоритма, и определяет цикл работы БЦВМ и системы. Ограничение по времени осуществляется из соображения точности решения задач и непрерывности управления.

Пятая особенность подчеркивает важность такой характеристики, как надежность. В данном случае понимается не только техническая надежность, определяемая надежностью элементов и технологией изготовления БЦВМ, но и надежность программного обеспечения, которая определяется большой совокупностью факторов - выбором устойчивых методов решения задач, эффективностью программной защиты алгоритмов, степенью развития программных методов контроля правильности реализации алгоритмов.

Перечисленные особенности работы БЦВМ при реализации алгоритмов предъявляют специфические требования к основным характеристикам БЦВМ и системы в целом. Это приводит к значительной специализации БЦВМ.

БЦВМ включает (рис.2) следующие устройства:

- оперативное запоминающее устройство (ОЗУ);
- постоянное запоминающее устройство (ПЗУ);
- арифметико-логическое устройство (АЛУ) и устройство управления (УУ);
- устройство ввода и вывода (УВВ).

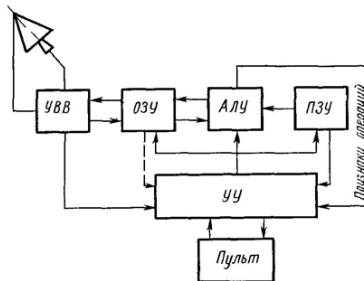


Рис.2. Устройство БЦВМ

Оперативное запоминающее устройство - часть памяти БЦВМ, которая в процессе переработки информации непосредственно взаимодействует с АЛУ. В ОЗУ производится как запись информации, так и считывание из него. Оно предназначено для хранения информации, поступающей от датчиков, а также промежуточных и конечных результатов вычислений.

Постоянное запоминающее устройство - специфическая часть памяти БЦВМ. Особенность конструктивного его исполнения заключается в том, что информация записывается в ПЗУ на заводе при его изготовлении и не подлежит

изменению в условиях эксплуатации. Таким образом, в процессе функционирования БЦВМ из ПЗУ информация может лишь считываться. ПЗУ предназначено для хранения неизменной в процессе эксплуатации информации. К такой информации относятся все программы работы БЦВМ, используемые константы при реализации алгоритмов.

Арифметико-логическое устройство предназначено для выполнения арифметических и логических операций над числами, представленными с фиксированной или плавающей точкой (запятой). Логические операции выполняются над числовыми наборами n -разрядной длины.

Устройство ввода-вывода служит для связи машины с объектом управления. Главной функцией устройства ввода-вывода является преобразование входной информации из аналоговой формы в цифровую и выходной информации из цифровой формы в аналоговую. При проектировании устройств ввода важными характеристиками следует считать количество входных величин, подлежащих преобразованию, рабочие диапазоны, точность измерения входных величин, форму выходного сигнала с датчиков информации, ограничения съема данных по дискретности, скорость изменения измеряемой величины. Для входных датчиков должен быть выбран способ преобразования информации, а также определен масштаб представления соответствующих величин в машине.

В учебном пособии излагаются принципы построения цифровых вычислительных систем воздушного транспорта. Особенностью учебного пособия является систематизация материала по организации вычислительного процесса и алгоритмам контроля вычислительных систем воздушного транспорта.

Авторы выражают благодарность профессорско-преподавательскому составу ВВИА им. Н.Е. Жуковского, внесшего большой вклад в развитие данного учебно-научного направления авиационной техники.

1. Запоминающие устройства БЦВМ

1.1. Назначение и характеристики запоминающих устройств

Запоминающие устройства (ЗУ) выполняют в БЦВМ запись, хранение и чтение цифровой информации. ЗУ (рис.1.1) представляет собой *массив ячеек*, в каждой из которых хранится несколько двоичных цифр, образующих *машинное слово*.

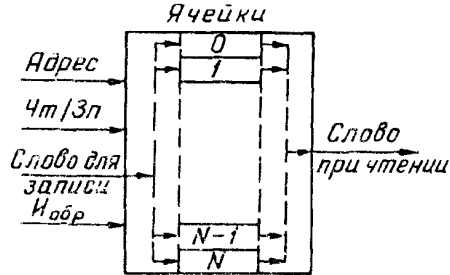


Рис.1.1. Структура ЗУ

Операции чтения и записи выполняются обычно над машинными словами. Чтобы использовать слово, хранящееся в какой-либо ячейке, необходимо обратиться к этой ячейке и прочесть его. При выполнении этой операции слово из ячейки передается на выход ЗУ. Для запоминания слова необходимо обратиться к какой-либо ячейке и выполнить операцию записи. При этом слово с входа ЗУ передается в ячейку памяти и запоминается в ней, а старое слово стирается. В общем случае при обращении в ЗУ сообщается следующая информация:

- номер ячейки, называемый *адресом*;
- характер выполняемой информации (чтение/запись);
- запоминаемое слово (при записи).

Момент обращения в ЗУ определяется синхронизирующим импульсом $I_{обр}$ (рис.1.1). Функции, выполняемые ЗУ различного типа, будут далее уточнены.

Основными характеристиками ЗУ являются:

- емкость и организация;
- быстродействие;
- характер связи с процессором;
- выполняемые функции;
- способ доступа к ячейкам памяти;
- способ адресации;
- тип элементов памяти (носителя информации).

Первые две характеристики имеют количественную меру, а остальные являются качественными.

Емкость ЗУ (С) определяется количеством двоичных цифр (бит), которое оно способно хранить. Например, ЗУ, которое хранит 4096 двоичных цифр, имеет емкость 4096 бит:

$$C = 4096 \text{ бит.}$$

Организация ЗУ определяет его емкость, а также указывает количество ячеек памяти в ЗУ и количество цифр (разрядов) в ячейке:

$$C = 256 \times 16 \text{ бит.}$$

Первый множитель в такой записи означает количество ячеек в ЗУ, а второй - количество разрядов в ячейке. Для измерения емкости больших ЗУ используются единицы, более крупные, чем бит: 1 байт = 2^3 бит, 1 Кбит = 2^{10} бит, 1 Мбит = 2^{10} Кбит, 1 Кбайт = 2^{10} байт, 1 Мбайт = 2^{10} Кбайт.

Быстродействие ЗУ определяется максимально допустимой частотой обращения или обратной величиной - минимально допустимым периодом обращения, который называется также временем обращения. Например, ЗУ БЦВМ допускают обращение с частотой 125 ... 200 КГц.

Классификация ЗУ. По *характеру связи с процессором* различают внутренние и внешние ЗУ. Обращение к внутренним ЗУ обычно осуществляется с помощью команд, обеспечивающих пересылку информации между ЗУ и процессором. Как правило, в БЦВМ предусматривается специальная быстродействующая магистраль для такого обмена.

В зависимости от *функций, выполняемых ЗУ* в составе БЦВМ, *внутренние ЗУ* подразделяются на оперативные (ОЗУ), постоянные (ПЗУ) и полупостоянные (ППЗУ). Все перечисленные типы ЗУ осуществляют хранение и чтение информации по командам БЦВМ. В оперативные ЗУ БЦВМ, кроме того, осуществляет запись информации, в то время как в ПЗУ и ППЗУ запись информации БЦВМ в процессе работы невозможна. В ПЗУ запись выполняется один раз, при его изготовлении. В ППЗУ изменение информации выполняется с помощью специальной КПА.

Внешние ЗУ выполняют запись и чтение информации и в этом смысле сходные с оперативными, однако информацию их этих ЗУ процессор непосредственно не использует. При записи информация проходит путь процессор - ОЗУ - УВВ - внешнее ЗУ, а при чтении - внешнее ЗУ - УВВ - ОЗУ - процессор.

Различают *три основных способа доступа* к ячейкам памяти в ЗУ: последовательный, периодический и произвольный. При последовательном способе к ячейкам можно обращаться только друг за другом, начиная с нулевой: 0, 1 ... N. Примером ЗУ такого типа является магнитно-ленточное ЗУ.

При периодическом доступе массив ячеек просматривается циклически: 0, 1 ... N и снова 0, 1 ... N. Примером такого ЗУ является магнитный барабан. ЗУ с произвольным доступом обеспечивают в каждом цикле работы обращение к любой ячейке памяти. В современных ЭВМ последовательный и периодический доступ применяется во внешних ЗУ. Внутренние ЗУ БЦВМ

выполняются с произвольным доступом, поскольку другие типы ЗУ имеют существенно меньшее быстродействие.

Различают *два способа определения* ячейки, к которой выполняется обращение: адресный и безадресный. Способ обращения к адресному ЗУ и информация, необходимая для его реализации, описаны выше, в начале раздела. В наиболее известных безадресных ЗУ порядок чтения информации полностью определяется порядком ее записи. Так, в стековых ЗУ запись поступающих в него слов производится в 0, 1, 2 и т.д. ячейки. При чтении слова выдаются в обратном порядке, и при этом освобождается ячейка, из которой выдается слово. Если после этого последует запись, то слово занимает последнюю освободившуюся ячейку. Таким образом, в стековых ЗУ обращение всегда идет к *вершине* стека. Возможны и другие формы безадресного обращения к ЗУ. Смысл такой организации памяти состоит в упрощении связей между устройствами БЦВМ и памятью, поскольку отпадает необходимость в передаче адреса.

В ЗУ используются следующие наиболее известные *типы носителей информации*:

- магнитные (магнитные диски, магнитные сердечники, пластины);
- полупроводниковые;
- оптико-электронные.

Наиболее распространенными носителями являются магнитные и полупроводниковые.

1.2. Структуры запоминающих устройств

Состав ЗУ и порядок взаимодействия его узлов (структура ЗУ) главным образом зависят от способа доступа к ячейкам памяти.

Структура ЗУ с последовательным доступом. Примером такого рода устройства является магнитоленточное ЗУ (МЛЗУ). Оно состоит (рис.1.2) из лентопротяжного механизма (ЛПМ), трех блоков магнитных головок (стирания - 1, записи - 2, чтения - 3), формирователей токов стирания (ФС) и записи (ФЗ), усилителей чтения (УС) и трех регистров (режима - РР, записи - РЗ, чтения - РЧ). Вместо отдельных головок записи и чтения часто применяют универсальные, выполняющие обе эти операции. Ячейками памяти в данном ЗУ являются узкие ($\sim 10^{-2}$ мм) полоски магнитной ленты (4).

Запись и чтение информации в данном ЗУ осуществляется в процессе *механического перемещения* ячеек памяти относительно головок записи и чтения. В процессе записи каждый формирователь через головку записи намагничивает участок ленты в одном из двух возможных направлений (5). Эти намагниченные участки наводят в головках чтения э.д.с. e_1 или e_0 , благодаря чему осуществляется чтение записанной информации.

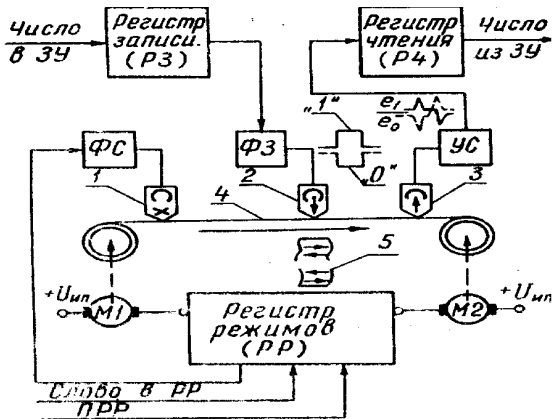


Рис.1.2. ЗУ с последовательным доступом

Поток слов для записи формирует БЦВМ и последовательно выводит их на регистр записи. Для облегчения последующего поиска и использования записанной информации этот поток разбивают на блоки со словами и блоками записывают их номера. По этим номерам ЭВМ находит необходимые данные при чтении. Аналогичным образом организованы ЗУ с периодическим доступом.

Структура ЗУ с произвольным доступом. ЗУ с произвольным доступом обычно используются как внутренние и делятся на оперативные (ОЗУ), постоянные (ПЗУ) и полупостоянные (ППЗУ). ОЗУ с произвольным доступом (рис.1.3) состоит из адреса ОЗУ (РАО), дешифратора адреса, модуля памяти, усилителей чтения, регистра числа ОЗУ (РО) и формирователей записи. В ПЗУ и ППЗУ формирователи записи отсутствуют, поскольку БЦВМ в эти устройства запись не производит. Во всем остальном ПЗУ и ППЗУ повторяют структуру ОЗУ. Рассмотрим, как работает ОЗУ с произвольным доступом.

В большинстве ОЗУ при каждом обращении выполняются две операции: сначала чтение информации, а затем ее запись. Если целью обращения является чтение, то при записи в ячейку повторно записывается старое слово. Если же целью обращения является запоминание числа из процессора, то вместо старого записывается новое слово. Для обращения к ОЗУ из устройства управления БЦВМ на регистр адреса передается адрес и фиксируется там до конца обращения. Момент обращения определяется сигналом обращения ($I_{обр}$). По этому сигналу дешифратор адреса на одном из своих выходов формирует сигнал чтения, а затем записи (рис.1.3. а). К каждому выходу дешифратора подсоединена ячейка памяти. По сигналу чтения элементы памяти выбранной ячейки передают на выход модуля памяти сигналы 1/0, которые через усилители попадают на выходы регистра числа.

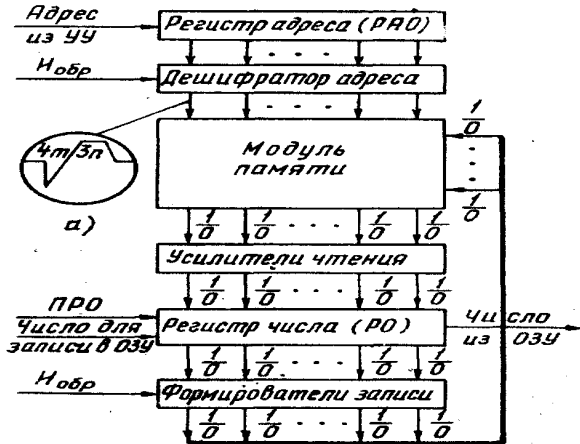


Рис.1.3. ЗУ с произвольным доступом

Регистр числа управляется сигналом приема в регистр ОЗУ ($ПРО \in \{0,1\}$). При $ПРО = 1$ принимается слово из модуля памяти (чтение), а при $ПРО = 0$ - из процессора (запись). В итоге к моменту записи в РО оказывается то слово, которое следует записать. Запись, выполняется за счет совместного действия на элементы памяти сигнала записи от дешифратора и сигналов 1/0 от формирователей записи. Дешифратор определяет элементы, которые должны записывать информацию (ячейку), а каждый из формирователей - записываемую цифру. Характер взаимодействия сигналов дешифратора и формирователей записи определяется структурой модуля памяти.

1.3. Структуры модулей памяти

Структуры модулей памяти классифицируются по количеству сигналов, управляющих элементом памяти при записи информации. Если запись осуществляется под действием двух сигналов, то структура называется двумерной и условно обозначается 2D. Если для записи необходимо взаимодействие трех сигналов, то структура называется трехмерной, обозначается 3D.

В структуре 2D (рис.1.4,а) используются элементы, имеющие один адресный вход (А) и один разрядный вход (З).

Чтение информации в таком ЗУ осуществляется по сигналу чтения от дешифратора (А), а запись - в результате взаимодействия сигнала записи от дешифратора (А) и сигнала 1/0 от формирователя записи (З). ОЗУ имеет организацию

$$C = N \times (m + 1),$$

где N - количество ячеек;

$m + 1$ - количество разрядов в ячейке.

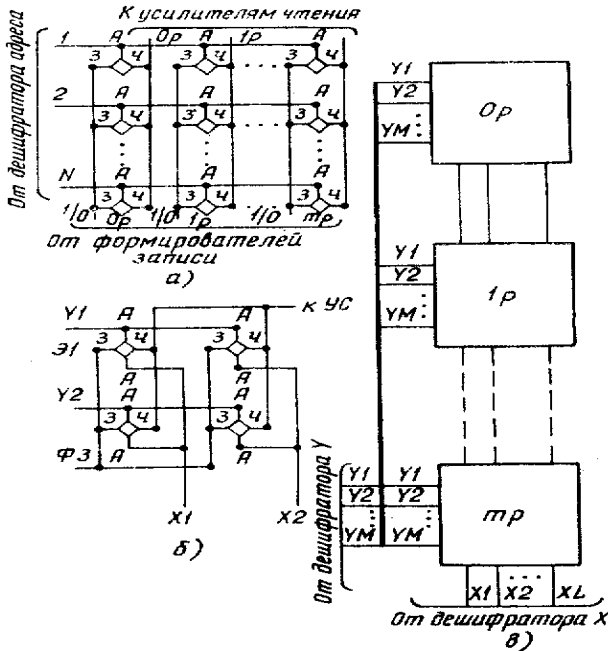


Рис.1.4. Структуры модулей памяти

В структуре 3D (рис.1.4,б и 1.4,в) используются элементы, имеющие два адресных входа (А) и один разрядный. Чтение выполняют те элементы, которые получают сигналы чтения на оба адресных входа одновременно, а запись - элементы, получившие на оба адресных входа одновременно сигналы записи. Элементы, для которых условие обращения не выполнено, хранят информацию. Например, в одноразрядном ОЗУ, показанном на рис.1.4,б, для обращения к элементу Э1 необходимо сформировать сигналы обращения на шинах X1 и Y1. Элементы памяти ОЗУ типа 3D соединяются с шинами управления по правилу матрицы (рис.1.4,б). Поэтому условие обращения выполняется только для одного элемента. Для получения многоразрядного модуля памяти (рис.1.4,в) одноименные адресные шины одноразрядных модулей (матриц) соединяют друг с другом. Таким образом, количество адресных шин, как и в ОЗУ типа 2D, не зависит от количества разрядов, а зависит только от количества ячеек.

Для управления ОЗУ типа 3D адрес разбивают на две, по возможности равные, части, и каждая из этих частей управляет своим дешифратором

(рис.1.4,в, дешифраторы X и Y). При выполнении названного выше условия количество шин управления модулем памяти минимально.

Модули 2D и 3D различаются количеством шин адреса, управляющих элементами памяти:

$$N_{2D} = 2^r, \tag{1.1}$$

$$N_{3D} = 2 \cdot 2^{r/2}$$

где N_{2D} - количество адресных шин в модуле 2D,

N_{3D} - количество адресных шин в модуле 3D,

r - количество разрядов в регистре адреса.

Выражения (1.1) получены в предположении, что r - четно и полное количество разрядов адреса поделено поровну между частями X и Y.

Из (1.1) видно, что модуль 3D имеет существенно меньшее количество шин управления, что обеспечивает для такого ОЗУ меньшие размеры и меньшую сложность дешифратора. Еще больший выигрыш в этом отношении достигается в структурах типа 4D, 5D и т.д., однако многомерные структуры имеют и недостаток, заключающийся в снижении надежности при повышении размерности управления. Например, элемент структуры 5D должен различать, получил он четыре адресных сигнала или только три. Такая операция менее надежна, чем обнаружение единственного сигнала для структуры 2D, различение 1 и 2 сигналов для 3D и т.д.

Особенность сигналов, управляющих модулем памяти, является их троичный характер. Действительно, сигнал дешифратора имеет три возможных значения: чтение, запись, хранение (отсутствие обращения). Точно так же три значения имеет сигнал формирователя записи: запись единицы, запись 0, отсутствие записи. Для передачи такого рода сигналов используются либо троичный биполярный алфавит (+, -, 0) либо передают эти сигналы двоичным алфавитом (0, 1), но двумя проводами каждый.

1.4. Элементы памяти магнитных оперативных запоминающих устройств.

В качестве элементов памяти в магнитных ОЗУ используются замкнутые, например кольцеобразные (рис.1.5,а), магнитопроводы с системой обмоток.

Замкнутая форма сердечника обеспечивает практическую независимость его магнитного состояния от внешних магнитных полей. Пропуская электрический ток по одной или нескольким обмоткам, можно изменять магнитное состояние сердечника. Зависимость намагниченности (индукции, В) сердечника от напряженности магнитного поля (Н) для магнитных материалов называется петлей гистерезиса (рис.1.5,б).

Для использования в качестве элементов памяти ОЗУ пригодны магнитные материалы, петля гистерезиса которых возможно меньше отличается от прямоугольной.

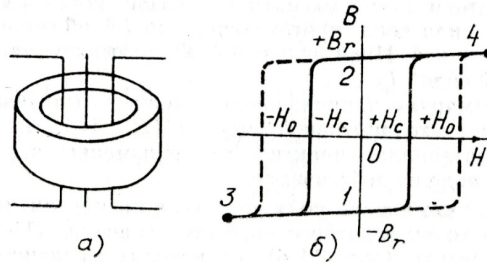


Рис. 7.8

Рис.1.5. Элементы памяти в магнитных ОЗУ

Петлю гистерезиса, достаточно близкую к прямоугольной, имеют - ферриты - мелкодисперсные смеси окислов ряда металлов. Изделия из таких смесей получают методами порошковой металлургии, а элементы памяти называют ферритовыми.

Прямоугольная петля гистерезиса имеет характерные точки:

- $B(0) = \pm B_r$ - остаточная индукция, то есть индукция, остающаяся в материале после снятия намагничивающего поля;

- $H(0) = \pm H_c$ - коэрцитивная сила, то есть минимальная напряженность магнитного поля, с помощью которой можно намагниченный материал перемагнитить в противоположном направлении.

Основные принципы, на которых основывается действие магнитных элементов памяти, формулируются ниже.

1. В качестве элементов памяти (ЭП) магнитных ОЗУ используются ферритовые сердечники с системой обмоток. Для хранения одного бита информации используется один сердечник или более.

2. Сердечник ЭП в ЗУ намагничивается до насыщения и при отсутствии внешнего магнитного поля ($H = 0$) или в слабом магнитном поле ($H < H_0$) находится в одном из двух магнитных состояний, одно из которых соответствует хранению единицы ($+B_r$), а второе - хранению 0 ($-B_r$).

3. Хранение информации на магнитных ЭП, как правило, осуществляется при $H = 0$ (при отсутствии токов в обмотках управления) и, следовательно, не требует затрат энергии. По этой же причине информация в магнитных ЗУ сохраняется при выключении питания.

4. Запись информации на магнитные ЭП осуществляется токами, протекающими по обмоткам управления. Для записи единицы суммарная напряженность поля, создаваемая всеми обмотками, должна быть более поля старта (H_0). Для записи 0 необходимо выполнить условие:

$$H < -H_0.$$

5. Чтение информации, записанной на магнитных ЭП, осуществляется посредством записи 0 на ЭП, с которых необходимо прочитать информацию. Процесс записи 0, выполняемой для чтения, сопровождается анализом э. д. п., наводимой на одной из обмоток элемента. Если при чтении на обмотке наводится значительная э. д. с., то это означает, что до чтения ЭП находился в состоянии единицы. Если э. д. с. чтения незначительна, сердечник до чтения хранил 0.

Описанный способ чтения информации переводит ЭП, с которых считывается информация, в состояние 0, разрушая, таким образом, информацию, которая на этих элементах была записана до чтения. После такого разрушающего чтения выполняется запись либо старой информации (для ее восстановления) либо новой.

1.5. Оперативное запоминающее устройство БЦВМ

Оперативные ЗУ БЦВМ выполняются из нескольких блоков, каждый из которых представляет собой функционально и конструктивно законченное запоминающее устройство ограниченной емкости. В качестве примера рассмотрим функциональную схему блока оперативной памяти БЦВМ БО-10 (рис. 1.6).

Блок БО-10 предназначается для запоминания 256 слов по 16 двоичных разрядов каждое (256×16). Он выполнен на ферритовых ЭП по структуре типа 2D и содержит функциональные узлы, характерные для данной структуры (модуль памяти, регистр адреса, дешифратор адреса, усилители чтения, регистр числа и формирователи разрядных токов записи). Цикл обращения к ОЗУ (длительность цикла - 8 мкс) состоит, как это показано на рис. 1.7, в, из двух частей: чтение информации и запись. Рассмотрим особенности конструкции и работу основных функциональных узлов ОЗУ.

В каждом углублении вафельной поверхности расположено по два сквозных отверстия. Вся поверхность МФП, в том числе поверхность отверстий, покрывается металлизацией, а затем на выступающих ребрах металлизация удаляется шлифовкой. В результате получается многоотверстная пластина, имеющая 256 рабочих отверстий, через которые последовательно проходит обмотка, нанесенная методом металлизации (траектория этой обмотки показана штриховой линией). Крайние отверстия в каждой строке используются как технологические для перехода со строки на строку. Магнитный материал такой пластины, непосредственно прилегающий к каждому отверстию, работает аналогично магнитному сердечнику. Описанная конструкция называется разрядной МФП, поскольку она предназначается для хранения цифр одного разряда. Подобным же образом изготавливаются числовые МФП. Числовая МФП, в отличие от разрядной, хранит все разряды одного числа. В разрядной МФП печатная обмотка используется как разрядная, в числовой - как адресная.

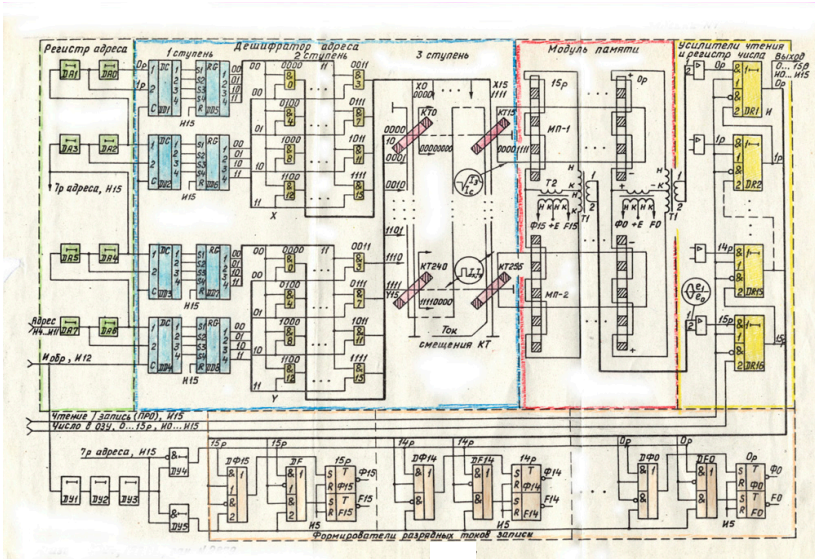


Рис.1.6. Функциональная схема блока оперативной памяти БЦВМ

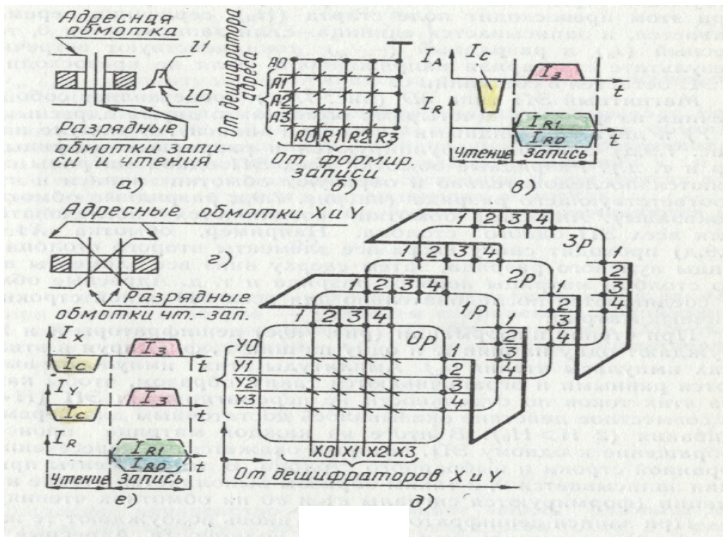


Рис. 1.7. Цикл обращения к ОЗУ

Наиболее сложным из перечисленных выше узлов является модуль памяти.

В блоке БО-10 используется модуль памяти, выполненный не из отдельных сердечников, а из многоотверстных ферритовых пластин (МФП). МФП представляет собой (рис.1.8) монолитную конструкцию, поверхность которой подобна вафле.

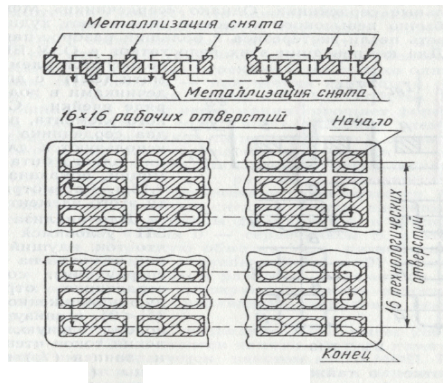


Рис. 1.8. Многоотверстная ферритовая пластина

Многоотверстная ферритовая пластина более технологична, чем отдельные сердечники. Однако “сердечники” МФП получают обычно невысокого качества: они имеют худшую прямоугольность петли гистерезиса и большой разброс параметров I_0 и V_r . Для компенсации этих недостатков в ОЗУ БЦВМ используются элементы памяти (ЭП) с двумя сердечниками в одном разряде ячейки. Схема такого элемента, в котором два сердечника (А и Б) используются для хранения одного бита информации, показана на рис.1.9,а. Рассмотрим работу этого элемента.

Для анализа работы ЭП условимся считать, что ток, идущий по любой обмотке на рисунке сверху вниз, создает в сердечнике отрицательную напряженность поля ($H < 0$), снизу вверх - положительную. Направление токов чтения (I_c) и записи (I_3) в адресной обмотке, а также записи единицы ($+I_R$) и 0 ($-I_R$) в разрядной обмотке показаны на рисунке стрелками.

Исходя из изложенного, получим, что в результате чтения информации током I_c сердечники А и Б приводятся в состояния, показанные точками на рис.1.9,б, сердечник А - в состояние $-V_r$, а сердечник Б - в состояние $+V_r$.

При записи единицы токи I_3 и $+I_R$ действуют на сердечник А согласно, а на сердечник Б - встречно. В результате сердечник А переключается, а сердечник Б остается в исходном состоянии (рис.1.9,в). Полярность э. д. с., которую наводит на разрядной обмотке переключающийся при чтении единицы сердечник А, указана на рис.1.9,а около этого сердечника.

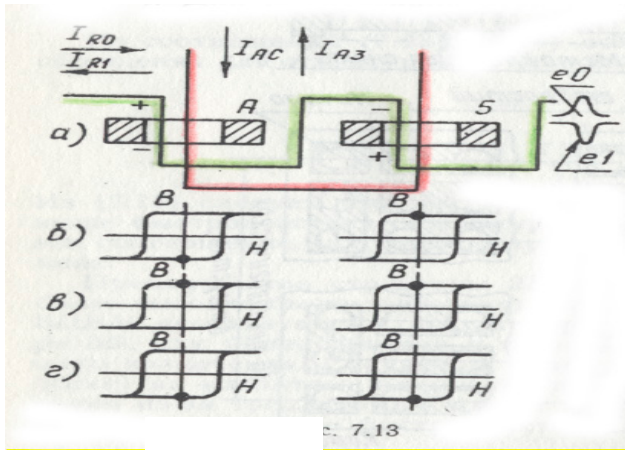


Рис.1.9. Элементы памяти БЦВМ с двумя сердечниками

Полярность э. д. с. определяется по правилу Ленца, в соответствии с которым эта э. д. с. должна создавать в разрядной обмотке при ее замыкании ток, направленный согласно току записи единицы ($+I_R$), стремясь сохранить магнитное состояние сердечника.

При записи 0 токи I_3 и $-I_R$ действуют на сердечник Б согласно, а на сердечник А - встречно. В результате сердечник Б переключается, а сердечник А остается в исходном состоянии (рис.1.9,г). Переключающийся при чтении 0 сердечник Б наводит на разрядной обмотке э. д. с., полярность которой указана на рис.1.9,а около этого сердечника.

Из изложенного следует, что запись информации в рассматриваемом элементе сопровождается переходом сердечников из состояния "б" в состояние "в" или "г", а чтение, наоборот, из состояния "в" или "г" в состояние "б". Легко убедиться в том, что в каждом из этих актов переключается только один из двух сердечников, сердечник А - при чтении единицы и ее записи, сердечник Б - при чтении и записи 0. Это свойство ЭП с двумя сердечниками на 1 бит информации упрощает формирование импульсов тока в цепях, содержащих подобные элементы, поскольку сопротивление такой цепи (импеданс) оказывается не зависящим от кода, хранимого элементами памяти.

При записи единицы и 0 на разрядную обмотку наводятся э. д. с. различной полярности, которая зависит от того, какой из сердечников переключается. Точно так же различаются полярностью сигналы чтения единицы и 0, поскольку сигнал чтения формируется, в основном, сердечником А, сигнал чтения 0 - сердечником Б, а эти сердечники наводят на разрядную обмотку э. д. с. разной полярности. Различие сигналов чтения единицы и 0 ($e1$ и $e0$) по полярности сохраняется при значительном разбросе параметров сердечников А

и Б обеспечивает высокую надежность работы данного элемента при изменении управляющих сигналов и внешних условий их работы.

Как указывалось выше, разрядная МФП имеет 256 рабочих отверстий, то есть 128 элементов памяти. Модуль памяти на 128 16-разрядных чисел образуется пакетом из 16 МФП. Печатная обмотка используется в качестве разрядной, а адресные обмотки проходят через одноименные отверстия всех пластин пакета. Чтобы обеспечить необходимое включение адресной и разрядной обмоток в паре сердечников, относящихся к одному ЭП (согласное в одном и встречное в другом), адресные обмотки прокладываются в пластинах не через соседние отверстия, а пропуская одно (рис.1.9). Пропущенные отверстия используют для ЭП, входящих в другую ячейку. В конструкции модуля памяти БО-10 используются два пакета МФП на 128 чисел каждый, которые называются МП1 и МП2.

Помимо двух пакетов пластин в состав модуля памяти ОЗУ входят (рис.1.6) по два трансформатора (Т1 и Т2) в каждом разряде. Две разрядные полуобмотки и два трансформатора Т1 и Т2 в каждом разряде образуют разрядную цепь. Эта цепь через трансформатор Т1 обеспечивает передачу сигналов чтения ($1/0$) на вход усилителя, а с помощью трансформатора Т2 в разрядных обмотках формируются импульсы тока ($+I_R$, $-I_R$) необходимой полярности. Схема разрядной цепи рассчитана на подавление сигналов, которые возникают на входе усилителя при записи. Эта задача решается за счет встречного включения полуобмоток трансформатора Т1. При симметричной схеме э. д. с. обеих полуобмоток, наводимые трансформатором Т2 на вторичной обмотке Т1 компенсируются полностью, а на практике достигается значительное ослабление сигнала записи. При чтении элемент памяти переключается только в одном из модулей (МП1 или МП2). Такие сигналы разрядная цепь передает на усилитель чтения без ослабления. Данное свойство схемы облегчает конструирование усилителя чтения, который рассчитывается только на усиление полезных сигналов чтения e_1 и e_0 . Описанная схема, как это видно, позволяет использовать одну разрядную обмотку для чтения и записи информации, что упрощает конструкцию модуля памяти.

Регистр адреса (DA0...DA7) представляет собой последовательный сдвигающий регистр, выполненный на элементах 221ЛР1. При обращении к ОЗУ в регистр в течение 8 тактов (И4...И11) передается 8-разрядный адрес. В такте И12 все разряды адреса появляются на выходах соответствующих динамических элементов, и выполняется дешифрирование.

Дешифратор адреса представляет собой сложную схему, имеющую 8 входов (от регистра адреса) и 256 выходов. Выходными элементами дешифратора являются 256 трансформаторов (КТ0...КТ255). При обращении к ОЗУ один из этих трансформаторов (его номер соответствует адресу ячейки) формирует в своей выходной обмотке двухполярный импульс тока. Первая полуволна I_c выполняет чтение информации в выбранной ячейке, а вторая I_3 - запись. Дешифрирование адреса и формирование адресных сигналов

осуществляется трехступенчатым дешифратором. Первую ступень образуют 4 электронных дешифратора (DD1...DD4), которые выполнены на схемах И статических триггеров 221ТР1. Дешифраторы первой ступени дешифрируют по 2 разряда адреса каждый. Так DD1 дешифрирует 0-й, 1-й разряды, а DD4 - 6-й, 7-й разряды. Дешифрирование выполняется в такте И12, а для формирования необходимой длительности выходных сигналов первой ступени (1,75 мкс) результат дешифрирования фиксируется на статических триггерах регистров DD5 ... DD8. Необходимая длительность сигналов первой ступени обеспечивается сбросом регистров в такте И15, то есть спустя 1,75 мкс после записи.

Дешифраторы DD1 и DD2 через регистры DD5 и DD6 управляют матричным дешифратором X второй ступени, который состоит из 16 схем И, соединенные с выходными шинами DD5 и DD6 по правилу матрицы. При таком соединении каждое обращение формирует сигнал логической единицы на выходе только одной из 16 схем И, находящейся на пересечении выбранной строки и столбца. Пронумеровав схемы И второй ступени так, как это принято при нумерации элементов матриц, то есть с помощью индексов строки и столбца (рис.1.6), получим для каждой схемы И кодовую комбинацию регистра адреса, при которой она возбуждается. Из рис.1.6 видно, что эти кодовые комбинации образуют полный набор 4-разрядных двоичных чисел от 0000 до 1111. Таким образом, дешифраторы DD1 и DD2 первой ступени и дешифратор X второй ступени выполняют полное дешифрирование 4 младших разрядов адреса. Аналогичным образом дешифраторы DD3 и DD4 первой ступени и дешифратор Y второй ступени выполняют полное дешифрирование четырех старших разрядов адреса.

Выходные сигналы дешифраторов X и Y представляют собой однополярные импульсы тока длительностью примерно 1,75 мкс, формируемые дешифраторами одновременно. Они управляют матрицей координатных трансформаторов (КТ0...КТ255), имеющей размерность 16×16 . Номер строки, в которую входит выбранный КТ, определяется дешифратором Y, номер столбца - дешифратором X.

Координатный трансформатор (рис.1.10) представляет собой сердечник ППГ с четырьмя обмотками: Обмотка смещения, обмотки X и Y, выходная обмотка.

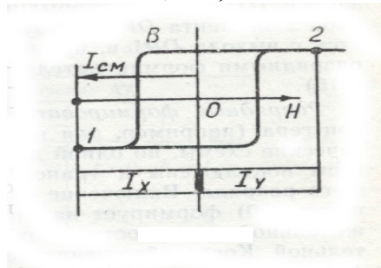


Рис. 1.10. Координатный трансформатор

Обмотки смещения всех 256 КТ соединены последовательно и через них пропускается ток смещения, намагничивающий сердечники до насыщения. Токи I_X и I_Y действуют встречно току смещения. Их амплитуды выбираются так, чтобы сердечник КТ перемагничивался лишь при совместном действии токов I_X и I_Y . При переключении координатного трансформатора под действием координатных токов и тока смещения его сердечник переходит в состояние 2, а выходной обмотке генерируется импульс тока чтения (I_C). После окончания координатных токов сердечник КТ под действием тока смещения переключается из состояния 2 в состояние 1, а в выходной обмотке КТ генерируется импульс тока обратной полярности - импульс тока записи (I_3). Изменяя величину тока смещения, можно регулировать скорость перемагничивания сердечника этим током, следовательно, амплитуду тока I_3 , а изменяя координатные токи I_X и I_Y , можно регулировать амплитуду тока чтения I_C .

Под действием полуволны чтения происходит переключение ЭП в выбранной ячейке, подсоединенной к выбранному КТ. Считанные сигналы (импульсы положительной или отрицательной полярности) через трансформаторы Т1 попадают (см. рис.1.6) на вход усилителей чтения и с выхода усилителей импульсом ПРО (прием в регистр ОЗУ) записываются в регистр числа. При приеме в регистр числа принято считать импульсы одной полярности на вторичной обмотке Т1 соответствующими единице, а импульсы противоположной полярности - 0. Таким образом, значение считанной цифры, попадающей в итоге в регистр числа, определяется по полярности сигнала на входе усилителя чтения.

Регистр числа (DR1...DR16, рис.1.6) представляет собой 16-разрядный сдвигающий регистр на элементах 221ЛР1 и 221ЛП1. При чтении сигнал управления регистром (ПРО = 1) принимает информацию параллельно из модуля памяти, а при записи (ПРО = 0) информация вводится последовательно через вход 2 элемента DR16. Результат чтения последовательно выдается с выхода DR1 и, кроме того, используется для управления разрядными формирователями токов записи (F0...F15 и Ф0...Ф15).

Разрядный формирователь записи представляет собой два триггера (например, для нулевого разряда Ф0 и F0) и две логические схемы, по одной для включения каждого из них. Триггеры подключены к трансформатору записи Т2 соответствующего разряда. Включение одного из триггеров (для определенности, Ф0) формирует на вторичной обмотке Т2 импульс положительной полярности, а включение второго (F0) - отрицательной. Когда обращения нет, оба триггера выключены. Таким образом, с помощью двух триггеров и трансформатора Т2 в разрядной обмотке можно сформировать импульс тока необходимой полярности. Полярность разрядного импульса в итоге определяет полярность сигнала, который получится с ЭП при чтении

информации, то есть цифру, которая будет получена в регистре числа при чтении.

Однако в рассматриваемой схеме полярность сигнала при чтении зависит не только от полярности сигнала при чтении зависит не только от полярности разрядного сигнала записи, но и от того, в какую половину модуля памяти (МП1 или МП2) выполняется запись. На рис.1.6 в нулевом разряде показана полярность сигнала записи (на вторичной обмотке Т2) и соответствующие ей полярности сигналов чтения из МП1 и МП2, определенные по правилу Ленца. Видно, что при чтении из МП1 и МП2, вследствие использования дифференциального трансформатора Т1, полярность сигналов на вторичной обмотке окажется различной, хотя запись выполнена разрядным сигналом одной полярности.

Для того чтобы установить зависимость полярности сигналов чтения от номера МП, число при записи в одну из половин модуля памяти (в МП2) предварительно инвертируют. Тем самым компенсируется инвертирование, которое выполняет Т1 при чтении, и полярность считанного сигнала будет зависеть только от записываемой цифры, а от модуля памяти зависеть не будет, что и требуется.

Для осуществления сформулированного правила записи все ячейки памяти, имеющие номера от 0000 0000 до 0111 1111, сосредоточены в МП1 (посредством соответствующей разводки выходных обмоток КТ), а ячейки памяти, имеющие номера от 1 000 0000 до 1111 1111, - в МП2. В результате такого распределения адресов получен простой формальный признак - значение цифры 7-го разряда адреса (А7) - по которому можно определить, к какому из модулей идет обращение. Принятый в ОЗУ алгоритм формирования разрядных токов записи представлен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Записываемая цифра	Значение А7	
	0	1
0	F = 1, Φ = 0	F = 0, Φ = 1
1	F = 0, Φ = 1	F = 1, Φ = 0

Из таблицы видно, что одна и та же цифра записывается в разные МП сигналами разной полярности, что с учетом инвертирования информации одним из модулей при чтении обеспечивает одинаковые сигналы при воспроизведении этих цифр.

Алгоритм управления формирователями токов записи реализуется схемой ДУ1...ДУ5, которая в такте И0 формирует одиночный импульс управления формирователями либо на выходе ДУ4 (при А7 = 0) либо на выходе ДУ5 (при А7 = 1). Эти импульсы (через схемы ДФ0...ДФ15 и ДФ0...ДФ15) формируют импульсы запуска триггеров в каждом разряде в соответствии с таблицей 7.1. Таковы физические процессы, сопровождающие запись и чтение информации в

ОЗУ. Порядок работы отдельных узлов ОЗУ при обращении показан на временной диаграмме (рис.1.15).

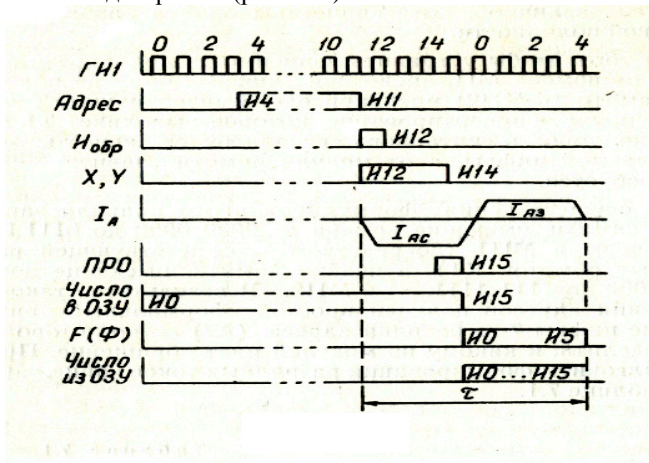


Рис.1.11. Работа магнитных элементов ОЗУ

Из диаграммы (рис.1.11), в частности, видно, что магнитные элементы ОЗУ работают в течение времени τ , которое составляет немногим более половины цикла обращения. Остальное время расходуется на переходные процессы в цепях управления модулем памяти и усилителях чтения.

1.6. Постоянное запоминающее устройство БЦВМ

В качестве примера рассмотрим блок постоянной памяти БЦВМ, БПП-20. Блок БПП-20 (рис.1.12) рассчитан на хранение 8192 16-разрядных чисел (8192×16). Предельная частота обращения - 200 кГц. Блок является конструктивно и функционально законченным устройством. Он содержит следующие функциональные узлы: модуль памяти, регистр адреса, дешифратор адреса, усилители чтения, регистр числа.

Модуль памяти блока выполнен на запоминающих элементах трансформаторного типа. Каждый элемент представляет собой трансформатор, имеющий одну вторичную обмотку и большое количество первичных (в данном модуле - до 1024). Запись информации на элемент памяти осуществляется при прокладке первичной обмотки: если обмотка проходит внутрь сердечника, то записана единица (например, на трансформаторе Т1-0). Если обмотка проходит вне сердечника (например, трансформатор Т1-15), то на элементе записан 0. Отметим, что в других ПЗУ подобного типа применяется также способ записи единицы и 0, реализуемый путем прокладки первичных обмоток в противоположных направлениях. Ячейка памяти образуется из нескольких трансформаторов (их число равно количеству разрядов в модуле памяти) посредством последовательного соединения первичных обмоток.

магнитные элементы ОЗУ магнитные элементы ОЗУ

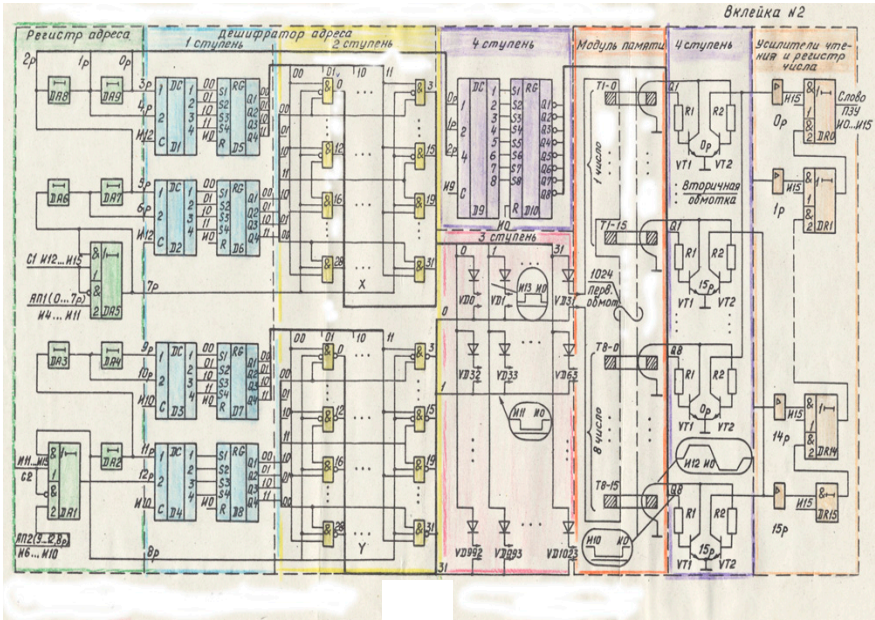


Рис. 1.12. Блок постоянной памяти БПП-20

Рассматриваемый модуль памяти имеет организацию 1024×128 , то есть, рассчитан на хранение 1024 чисел, каждое из которых имеет 128 разрядов. Считывание любого из 1024 чисел выполняется путем пропускания импульса тока по соответствующей первичной обмотке. Сигналами чтения являются э.д.с., наводимые на вторичных обмотках трансформаторов модуля памяти ($e_0 \approx 0, e_1 \gg 0$). При каждом обращении из МП считывается 128-разрядное число, то есть 8 16-разрядных слов. Рассмотрим, как организуется обращение к БПП-20.

Считывание информации из БПП-20 осуществляется в каждом цикле работы БЦВМ. Для этого в каждом цикле в ПЗУ передается адрес той ячейки, в которую осуществляется обращение. Адрес ПЗУ состоит из 13 двоичных разрядов ($2^{13} = 8192$) и физически определяет номер первичной обмотки в МП, по которой необходимо при обращении пропустить импульс тока, и номер одного из 8 чисел (номер ячейки), считываемых из МП при обращении. Номер линейки записывается в 0...2 разрядах адреса, а номер первичной обмотки - в 3...12 разрядах.

Адрес ПЗУ поступает в регистр адреса (DA1...DA9), выполненный на элементах 112ТМ1, последовательно по двум каналам - АП1 и АП2, 7-й и 8-й разряды адреса на время обращения запоминаются на динамических триггерах DA5 и DA1 соответственно. Дешифрирование адреса и формирование

необходимого числа на регистре осуществляется 4-ступенчатым дешифратором.

Первая ступень дешифратора состоит из четырех дешифраторов (D1...D4) на 2 разряда каждый, которые выполнены на элементах 112ЛП1. Для формирования необходимой длительности сигналы дешифраторов первой ступени фиксируются на регистрах (D5...D8) до окончания обращения.

Вторую ступень дешифратора образуют матричные дешифраторы X и Y, каждый из которых состоит из 32 схем И (112ЛП1), имеющих 3 входа каждая. Дешифраторы X и Y состоят из двух матриц с размерностью 4×4 каждая. Третий вход схем И дешифратора X управляется 7-м разрядом адреса, а третий вход схем И дешифратора Y - 8-м разрядом. Дешифратор X второй ступени вместе с дешифраторами D1 и D2 первой ступени образуют полный дешифратор 5-разрядного кода (3...7 разряды адреса). Аналогично дешифратор Y второй ступени и дешифраторы D3, D4 первой ступени обеспечивают полное дешифрирование пяти старших разрядов адреса (8...12).

Третья ступень дешифратора представляет собой диодную матрицу с размерностью 32×32 . Номер выбираемой строки этой матрицы определяет дешифратор Y, который при обращении формирует на одном из своих 32 выходов сигнал логического 0. Номер выбираемого столбца определяет дешифратор X, который при обращении формирует на одном из своих выходов сигнал логической единицы. Таким образом, при обращении на шине выбранного столбца формируется положительный импульс, а на шине выбранной строки - отрицательный. Тем самым выбирается один из 1024 элементов матрицы. Физически каждый элемент матрицы представляет собой диод, с которым последовательно включена одна из первичных обмоток модуля памяти (например, диод VD31 и включенная последовательно с ним обмотка).

При обращении к соответствующему адресу через диод и первичную обмотку проходит импульс тока, который формируется схемой И дешифратора X, а замыкается на корпус через выбранную схему И дешифратора Y. В результате из МП считывается 128 разрядов, или 8 16-разрядных чисел.

Выделение из 8 считанных чисел одного осуществляется дешифратором четвертой ступени (D9 и D10). При обращении на одном из 8 выходов регистра D10 формируется сигнал логического 0, на остальных выходах сохраняются сигналы логической единицы. В результате 16 транзисторов VT1 четвертой ступени дешифратора, подсоединенные к выходу, формирующему сигнал логического 0, перейдут в состояние отсечки и не будут шунтировать сигналы чтения, возникающие на вторичных обмотках соответствующих трансформаторов. Эти незашунтированные сигналы через транзисторы VT2 проходят на усилители чтения. Остальные 112 транзисторов VT1 насыщены сигналами управления D10 и шунтируют вторичные обмотки соответствующих трансформаторов. В результате из 128 транзисторов VT2 112 транзисторов (7 чисел) отключаются и не влияют на работу разрядных усилителей, а влияют только 16 транзисторов VT2 выбранного числа. Сигнал единицы на входе

усилителя чтения отличается от сигнала 0 состоянием транзистора VT2: при чтении единицы транзистор VT2 насыщается, а при чтении 0 - закрывается.

Усилители чтения формируют на своих выходах сигналы, амплитуда которых достаточная для управления логическими элементами. В такте И15 сигналы разрядных усилителей принимаются на регистр числа ПЗУ, который преобразует считанное слово в последовательный код и выдает его в другие устройства БЦВМ. Порядок передачи разрядов - 0...15 в тактах И0...И15. Помимо этого в регистре числа ПЗУ имеется сборка, не показанная на рис. 7.16, которая обеспечивает передачу слова ПЗУ в другом порядке: 15, 9 ... 15 разряды передаются в тактах И0...Т7. Этот канал передачи информации используется в УУ.

В табл.1.2 приведены примерные удельные (на 1 бит) параметры магнитных ОЗУ и ПЗУ БЦВМ.

Таблица 1.2

Удельные параметры	ОЗУ	ПЗУ
объем, см ³ /бит	0,8 ... 1	0,02 ... 0,05
масса, г/бит	0,5 ... 1	0,02 ... 0,05
потребляемая мощность, мВт/бит	2 ... 5	0,05 ... 0,01

Из таблицы видно, что постоянные ЗУ имеют существенно лучшие удельные характеристики, хранение информации в них требует меньших габаритов, массы и энергии.

Это обстоятельство, а также более высокая надежность определяют широкое использование ПЗУ в бортовых вычислительных машинах.

2. Назначение и характеристики арифметико-логического устройства. Структура арифметико-логического устройства.

2.1. Назначение и характеристики арифметико-логического устройства

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) выполняет арифметические и логические операции, преобразуя исходные данные в результат операции. Исходные данные АЛУ может получать из ЗУ или УВВ (рис.2.1). При необходимости в эти устройства пересылаются результаты решения задачи.

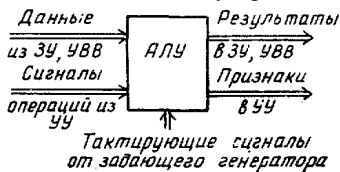


Рис. 2.1. Структура АЛУ

Пересылка данных и выполнение операций в АЛУ программируется управляющими сигналами от УУ. Для организации исполнения команд, связанных с разветвлением вычислительного процесса, из АЛУ в УУ передаются признаки результата, например, признаки отрицательности (ω), переполнения разрядной сетки (ϕ), нулевого результата (z). Синхронизацию работы АЛУ осуществляет задающий генератор.

Основными характеристиками АЛУ являются:

- список выполняемых операций;
- способ представления чисел;
- способ кодирования чисел;
- способ выполнения операций;
- количество разрядов операндов и результата;
- быстродействие.

Помимо перечисленных специальных характеристик используются также общетехнические: масса, габариты, надежность.

Список выполняемых операций. Набор операций АЛУ составляется таким образом, чтобы можно было реализовать требуемый вычислительный процесс, то есть вычислить любое арифметическое выражение и произвольную переключаемую функцию: $F=S+R$, $F=R-S$, $F=S \vee R$, $F=S \wedge R$.

Помимо указанных операций, АЛУ выполняет пересылки информации и сдвиги чисел влево и вправо. При умножении и делении необходимо составить программы, сведя их по известным алгоритмам к операциям сложения, вычитания и сдвига.

Более развитые АЛУ выполняют до нескольких сотен различных операций, что позволяет, в определенной мере за счет аппаратного усложнения, упростить программы решения различных задач и уменьшить время их решения.

Способ кодирования чисел. В современных АЛУ используется, главным образом, *дополнительный код*, который одинаково удобен для параллельных и последовательных арифметико-логических устройств.

Способ выполнения операций. Различают три способа выполнения основных арифметических (сложение и вычитание) и логических операций: *параллельный, последовательный и параллельно-последовательный*. При первом способе для формирования результата используются все разряды операндов одновременно, при втором - последовательно, а при третьем - группы разрядов операндов.

Для более сложных операций (умножение и деление) применяются рекуррентный и конвейерный способы. При рекуррентном способе результат формируется путем многократного повторения какой-либо процедуры, а конвейерный способ предполагает одновременное выполнение нескольких однотипных или разнотипных операций.

Количество разрядов операндов и результата. Количество разрядов в конечном итоге определяет погрешность решения задачи на БЦВМ. Ошибка решения Δz может быть представлена в виде

$$\Delta z = \Delta z_1 + \Delta z_2 + \Delta z_3 + \Delta z_4,$$

где $\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta z_4$, - ошибки результата, вызванные приближенностью метода решения, погрешностями измерения исходных данных, погрешностями квантования (замены непрерывной величины цифровой) и погрешностями округления соответственно. Погрешности округления возникают при усечении числа разрядов результата, как это имеет место при делении и умножении.

Современные АЛУ используют 8-разрядные, 16-разрядные и 32-разрядные операнды. При необходимости можно использовать операнды большей длины, но операции с ними выполняются по специальным программам и требуют большего времени.

Быстродействие. Быстродействие АЛУ определяется количеством операций, выполняемых устройством в единицу времени. В табл. 2.1 приведены показатели быстродействия АЛУ БЦВМ.

Таблица 2.1

Тип операции	Тип БЦВМ	
	“Орбита - 10”	“Орбита -20”
Сложение, оп/с	125000	200000
Умножение, оп/с	62500	100000
Деление, оп/с	6250	10000

Обычно более быстродействующие АЛУ все операции выполняются быстрее медленнодействующих, однако это соотношение выполняется не всегда. Поэтому для сравнительной оценки различных АЛУ используют среднее быстродействие, которое определяется для тестовой задачи, имеющей определенное соотношение для операций различного типа:

$$V_{cp} = \frac{N}{n}, \text{ оп/с,}$$

$$\sum_{i=1} m_i \cdot \tau_i$$

где N - полное число операций тестовой задачи;

m_i - число операций, имеющих время исполнения, равное τ_i ;

n - число операций, имеющих различное время исполнения;

V_{cp} - среднее быстродействие.

2.2. Структура арифметико-логического устройства

Простейшее АЛУ состоит из следующих (рис.2.2) функциональных узлов:

- регистры для запоминания операндов и результата (P1, P2);
- мультиплексоры операндов (M1, M2);
- комбинационная схема формирования результата (Ф);
- комбинационная схема формирования признаков (Г);
- регистр запоминания признаков (P3).

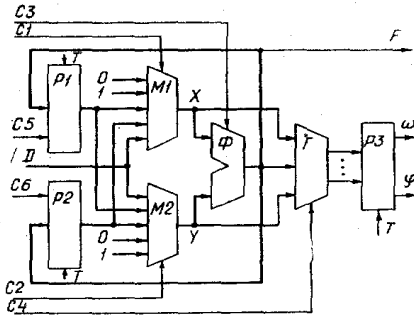


Рис. 2.2. Функциональные узлы АЛУ

В АЛУ поступают данные по шине D и управляющие сигналы, которые разбиты на группы C1...C6. АЛУ формирует результат операции F и признаки. Рассматриваемая структура обеспечивает последовательное выполнение операций без совмещения их во времени.

Рассмотрим порядок выполнения операции в данном АЛУ. Выполнение любой операции начинается с формирования операндов, которое реализуется мультиплексорами M1 и M2 в соответствии с соотношениями:

$$X = \sum_{i=1}^l X_i \cdot C_{1i} ,$$

$$Y = \sum_{j=1}^r Y_j \cdot C_{2j} ,$$

где X_i, Y_j - возможные варианты операндов;

C_{1i}, C_{2j} - сигналы выбора операндов.

При каждой операции только один из сигналов C_{1i} и один из набора C_{2j} равен единице, а остальные равны нулю.

В рассматриваемой схеме для каждого из операндов предусмотрено 5 вариантов: числа с регистров P1 и P2, число с шины D (из ЗУ) и две константы - 0 и 1. Принципиально число возможных вариантов операндов может быть увеличено за счет увеличения числа регистров и констант. В зависимости от используемых операндов операции, выполняемые АЛУ, делятся на два класса: регистр-регистр (RR) и регистр-память (RX). Второй класс обычно отличается большей длительностью исполнения.

Результат любой операции (F) является переключательной функцией операндов (X, Y). Поэтому работу переключательной схемы Ф можно описать следующей дизъюнктивной формой:

$$F = \sum_{i=1}^m F_i(X, Y) \cdot C_{3i} ,$$

где $F_i(X, Y)$ - переключательная функция i-й операции;

$C_{3i} \in \{0, 1\}$ - управляющий сигнал, настраивающий АЛУ на выполнение i -й операции.

При выполнении любой операции лишь один сигнал из набора C_{3i} равен единице, а остальные равны 0. Поэтому результат любой операции формируется только частью переключательной схемы Ф. При изучении функциональной схемы АЛУ для каждой операции можно оставлять лишь одну часть схемы, которая определяет результат, отбрасывая все остальные. Такой подход упрощает изучение схем.

Признаки результата, называемые также флагами, формируются переключательной схемой Г по зависимостям, аналогичным ранее рассмотренным:

$$\theta = \sum_{i=1}^q \omega_i(X, Y, F) C_{4i},$$

$$\varphi = \sum_{j=1}^r \phi_j(X, Y, F) C_{4j},$$

где ω_i, ϕ_j - переключательные функции, по которым формируется признак результата соответствующей операции;

C_{4i}, C_{4j} - сигналы выбора переключательной функции.

Результат операции запоминается на регистрах Р1 или Р2, а флаги - на регистре признаков Р3. Момент записи определяется тактирующими сигналами, период следования которых должен быть не менее времени переходного процесса формирования результата и флагов.

По приведенной схеме построены АЛУ, выпускаемые в виде готовых ИС, а также АЛУ некоторых БЦВМ. Интегральные схемы АЛУ выпускаются в виде секций на 4, 8, 16 разрядов из которых можно составить АЛУ на любое требуемое число разрядов. Такие АЛУ называются секционными.

2.3. Выполнение арифметических и логических операций

БЦВМ “Орбита-10” и “Орбита-20” имеют АЛУ универсального типа. Арифметические операции выполняются над числами с фиксированной точкой. Операнды S, R и результат операции F представляются в дополнительном коде. Список основных операций АЛУ, а также количество разрядов операндов и результатов операций приведены в табл.2.2.

Таблица 2.2

№ № п. п.	Вычисляемое выражение	Количество разрядов S	Количество разрядов R	Количество разрядов F
1	$F = S + R$	16 (31)	16 (31)	16 (31)
2	$F = S - R$	16 (31)	16 (31)	16(31)
3	$F = S - R $	16	16	16
4	$F = S \times R$	16 (31)	16	16 (31)

5	$F = S : R$	16	16	16
6	$F = S \vee R$	16 (1)	16 (1)	16 (1)
7	$F = S \wedge R$	16 (1)	16 (1)	16 (1)
8	$F = S \oplus R$	16 (1)	16 (1)	16 (1)

Все операции относятся к типу регистр - память и выполняются, за исключением умножения и деления, последовательно. Для вычисления дополнительного кода произведения используется конвейерный последовательно-параллельный способ. Операция деления выполняется по рекуррентному алгоритму, известному под названием деления без восстановления остатка.

Основная часть операций выполняется схемой, показанной на рис.2.3. В соответствии с рассмотренной ранее структурой АЛУ в составе входят следующие функциональные узлы:

- два регистра (РА и РН);
- два мультиплексора (Ч1 и Ч2), формирующие операнды;
- переключательная схема, формирующая результат Ч3, - сумматор АЛУ;
- схемы формирования признаков ω и ϕ (DR1 и DR2).

Кроме того, на схеме показаны мультиплексоры D1, DR3 и DR4, обеспечивающие пересылку операндов из памяти в АЛУ (D1) и из АЛУ в ОЗУ и УВВ (DR3 и DR4). По схеме, приведенной на рис.8.3, рассматривается выполнение основных операций АЛУ. Выполнение умножения и деления рассматривается по отдельным схемам.

Выполнение арифметических операций. Рассматривается на примере операций сложения и вычитания.

Сложение (+) и вычитание (-) 16-разрядных чисел выполняется по схеме:

$$\Pi \pm РН \Rightarrow РН, РА,$$

то есть один из операндов выбирается из памяти, а второй из регистра Н АЛУ. При выполнении операции вычисляется дополнительный код суммы или разности по формулам:

$$|X + Y|_{\text{доп}} = ([X]_{\text{доп}} + [Y]_{\text{доп}} + 0 \cdot 2^{-m}) \bmod 2, \quad (2.1)$$

$$|X - Y|_{\text{доп}} = ([X]_{\text{доп}} + [Y]_{\text{доп}} + 1 \cdot 2^{-m}) \bmod 2, \quad (2.2)$$

где $[X]_{\text{доп}}$ - дополнительный код первого операнда;

$[Y]_{\text{доп}}$ - дополнительный код второго операнда.

Схемы алгоритмов последовательного вычисления разрядов дополнительного кода суммы и разности показаны на рис.2.4,а и 2.4,б, где использованы следующие обозначения:

i - номер определяемого разряда результата;

x_i, y_i, S_i - i -е разряды операндов и результата;

S, P - переключательные функции суммы и переноса.

Переключательные функции суммы и переноса вычисляются по формулам:

$$S_i(x_i, y_i, p_i) = \bar{x}_i \bar{y}_i p_i \vee \bar{x}_i y_i \bar{p}_i \vee x_i \bar{y}_i \bar{p}_i \vee x_i y_i p_i;$$

$$p_{i+1}(x_i, y_i, p_i) = x_i y_i \vee x_i p_i \vee y_i p_i.$$

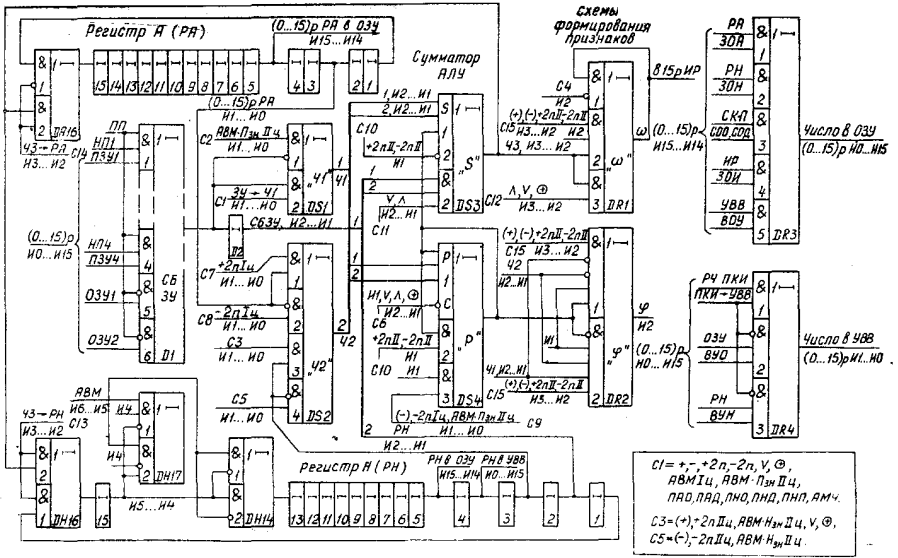


Рис.2.3. Функциональная схема АЛУ

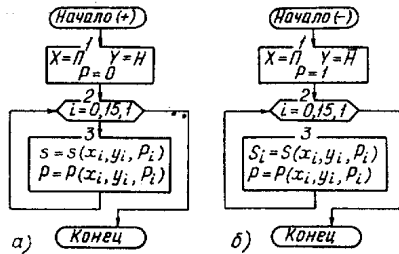


Рис.2.4

Операнд X поступает в АЛУ из постоянного или оперативного ЗУ через сборку ЗУ (D1). Выбор блока ЗУ, из которого АЛУ принимает операнд, осуществляется с помощью сигналов управления ПП (признак вида памяти) и НП (номер блока ПЗУ). На выходе сборки ЗУ операнд из памяти всегда проходит в тактах И1...И0. Разряды операнда следуют в таком порядке: 0-й, 1-й, ... , 15-й (знаковый). Далее операнд X через вход 2 сборки Ч1 (DS1), открытый сигналом C1, проходит на вход 1 сумматора АЛУ (DS3 и DS4).

Операнд Y поступает на вход 2 сумматора АЛУ из регистра РН через сборку Ч2 (далее мы покажем, как осуществляется при необходимости пересылка в

этот регистр из памяти). При операции сложения из всех сигналов, управляющих мультиплексором Ч2, только С3 равен единице. Поэтому второй операнд проходит сборку Ч2 через вход 3. При операции вычитания $C5 = 1$, а остальные сигналы, управляющие сборкой Ч2, равны 0, и второй операнд проходит сборку Ч2 через вход 4 с инверсией.

Таким образом, на первый вход сумматора в обоих случаях поступает $[X]_{\text{доп}}$, а на второй $[Y]_{\text{доп}}$, либо $[\bar{Y}]_{\text{доп}}$, в зависимости от выполняемой операции. Одноименные разряды операндов поступают на вход сумматора одновременно: нулевые разряды - в такте И2, первые - в такте И3 и т.д. Последние, знаковые, разряды поступают на вход сумматора АЛУ в такте И1.

Сумматор АЛУ последовательно, разряд за разрядом, вычисляет дополнительный код результата. Сигнал С6, С9 и С10, управляющие входами 1 и 3 элемента переноса (DS4), формируют начальные условия для рекуррентных формул вычисления суммы и переноса. Если выполняется сложение, то $C6 = 1$ в такте И1, $C9 = 0$, $C = 0$. В результате в такте И1 входы элемента DS4 закрываются, а в такте И2, то есть в момент сложения младших разрядов, обеспечивается значение переноса, равное 0. При выполнении операции вычитания $C6 = 1$ в такте И1, $C9 = 1$, $C10 = 0$, и в такте И2 на выходе DS4. Формируется, в соответствии с алгоритмом, сигнал логической единицы, которая прибавляется в младший разряд. В соответствии с алгоритмами сложение начинается при $P = 0$, а вычитание - при $P = 1$.

Элемент DS3, у которого при выполнении операции сложения работает только вход 1 ($C11 = 0$), формирует в тактах И3...И2 цифры дополнительного кода результата Ч3. Результат операции с выхода элемента DS3 одновременно поступает на входы регистров А и Н (элементы DA16 и DH16). Сигналы управления этими входами (С13 и С14) в тактах И3...И2 равны единице. В итоге результат операции последовательно записывается сразу в два регистра А и Н. При этом одноименные разряды результата операции и второго операнда приходят на входы 1 и 2 элемента DH16 одновременно. Таким образом, разряд результата в регистре Н заменяет соответствующий разряд второго операнда. В такте И2 сигналы С13 и С14 заканчиваются (если следующая операция не изменяет содержимого регистров А и Н), и результат операции запоминается в РН и РА.

В конце обеих операций элементы DR1 и DR2 формируют признаки ω и ϕ . Формирование признака ω обеспечивается сигналами С4 и С15. Первый из них разрывает цепь закольцовки динамического триггера DR2, а второй в этом же такте записывает в триггер знак результата.

Признак ϕ равен единице, если при сложении операндов с одинаковыми знаками получается результат со знаком, противоположным знаку операндов. Этот факт обнаруживается входами 1 и 2 элемента DR2 посредством анализа знаков операндов и цифры переноса в знаковый разряд.

Выполнение логических операций. При выполнении логических операций вырабатываются комбинации сигналов управления, которые обеспечивают в

рассматриваемой схеме выполнение операций сложения и вычитания, описанных выше, а также пересылок числа из памяти в регистры ($\Pi \rightarrow \text{PH}$, $\Pi \rightarrow \text{PA}$), сложения по модулю 2 (\oplus), логического умножения (\wedge) и сложения (\vee), сложения двойных слов ($+2n$) и вычитания ($-2n$), а также вычитания модулей (АВМ).

Поясним порядок исполнения операций АЛУ. Операции пересылки числа из памяти в РН имеют набор сигналов управления сборками Ч1, Ч2, элементами переноса Р и суммы Ч3, аналогичный набору сигналов операции сложения. Эти операции отличаются от операции сложения лишь значением сигнала С3. В результате второе слагаемое (Ч2) при этих операциях равно 0, а в РН или РА (в зависимости от сигналов С13 и С14) записывается число из памяти.

Операция сложения по модулю 2 отличается от сложения значением сигнала С6, который блокирует образование переноса. Из формулы следует, что при $P = 0$ вход 1 элемента DS3 вычисляет сумму по модулю 2.

При выполнении логического умножения блокируются обе сборки операндов ($\text{Ч1} = 0$, $\text{Ч2} = 0$) и элемент переноса. Поэтому вход 1 элемента DS3 формирует сумму, равную 0. При выполнении данной операции операнды передаются элементами D2 и DH2. Результат операции формируется схемой логического умножения на входе 2 элемента DS3. При логическом сложении вход 1 элемента DS3 формирует сумму по модулю 2 (так как набор сигналов соответствует этой операции), а вход 2 - логическое произведение (так как $\text{С11} = 1$). Сумма этих результатов дает логическую сумму операндов.

Операнды и результат операции сложения двойных слов ($+2n$) и вычитания ($-2n$) имеют удвоенное число разрядов. В АЛУ они занимают два регистра, а в ЗУ - две ячейки памяти (рис.8.5). Особенностью формата является наличие одного неиспользованного разряда, в который записывается 0. Каждая из упомянутых операций выполняется за два цикла. Первые циклы операций ($+2n$, $-2n$) выполняются так же, как операции сложения и вычитания, однако второй операнд для них используется из РА ($\text{С7} = 1$ или $\text{С5} = 1$). В этот же регистр записывается получаемый результат. Второй цикл имеет особенность. В такте И1 блокируется вход 1 элемента DS3 ($\text{С10} = 1$) и после 14-го разряда суммы записывается 0. Этот же сигнал С10 принимает перенос из 14-го разряда в 15-й на вход 2 элемента DS4. После задержки на такт в такте И2 перенос попадает вновь на вход сумматора в 15-й разряд. Далее результат формируется без особенностей.

3. Устройство управления БЦВМ

3.1. Назначение и основные функции, выполняемые устройством управления.

Устройство управления (УУ) обеспечивает автоматическое выполнение заданных программ в БЦВМ. Программы формируются в соответствии с задачами, решение которых должно выполняться с помощью БЦВМ.

Сформированные программы перед решением записываются в запоминающее устройство машины.

Всякая программа, записанная на внутреннем языке БЦВМ, представляет собой совокупность команд, выполнение которых в определенной последовательности приводит к решению задачи. Организация требуемого порядка выполнения команд программы осуществляется устройством управления.

Команда представляет собой код, определяющий тип операции, которую должна выполнить БЦВМ. Устройство управления расшифровывает команду и вырабатывает управляющие сигналы, которые выдаются в устройства БЦВМ (АУ, ОЗУ, ПЗУ, УВВ), обеспечивая выполнение требуемой операции.

Среди команд наиболее характерными являются команды, обеспечивающие выполнение арифметических и логических операций с отдельными разрядами чисел, операций пересылки чисел из одного устройства машины в другое, операций ввода в БЦВМ информации от датчиков и вывода результатов исполнения программ на индикаторные устройства. Кроме того, отдельная группа команд позволяет изменить ход выполнения программы, переводить машину на исполнение другой программы, организовывать прерывание программ и возврат к прерванной программе.

Выполнение каждой из перечисленных операций в БЦВМ сводится к последовательности элементарных преобразований информации в узлах и логических элементах устройства под воздействием управляющих сигналов, формируемых в УУ БЦВМ. Элементарные преобразования информации, не раскладываемые на более простые и выполняемые за время одного тактового сигнала, называются микрооперациями.

В зависимости от способа формирования всей совокупности управляющих сигналов, обеспечивающих выполнение заданной операции, устройства управления могут быть с жесткой (командной) и микропрограммной логикой управления.

В УУ с жесткой логикой управления каждой операции (команде) соответствует строго определенный состав управляющих сигналов, которые вырабатываются с помощью особой для каждой операции схемы. В БЦВМ с жесткой логикой управления программы хранятся в ПЗУ.

В УУ микропрограммного типа каждой микрооперации ставится в соответствии микрокоманда, которая расшифровывается схемно. Последовательность микрокоманд, обеспечивающих выполнение требуемой операции (команды), образует микропрограмму. УУ с микрокомандным способом управления называются также устройствами с гибкой логикой управления.

БЦВМ с микропрограммным управлением могут иметь в своем составе ПЗУ команд и ПЗУ микрокоманд. С помощью команд записываются исполняемые машиной программы. ПЗУ микрокоманд содержит микропрограммы, обеспечивающие реализацию команд различных типов.

Некоторые типы БЦВМ могут выполнить определенный набор различных команд. В УУ с жесткой логикой управления набор команд реализован схемно и поэтому его изменить нельзя, так как это требует внесения схемных изменений в устройства машины. В УУ с гибкой логикой управления состав команд определяется набором микропрограмм. Меняя набор микропрограмм, можно менять состав реализуемых команд, наилучшим образом ориентируя БЦВМ для решения требуемого класса задач.

Совокупность команд, которые может выполнить БЦВМ, называется системой команд. БЦВМ общего назначения могут иметь систему команд, насчитывающую несколько сотен команд. Система команд БЦВМ из-за ограничений на весовые и габаритные характеристики машины обычно ограничивается минимальным составом, обеспечивающим решение комплекса задач. Так, например, система команд БЦВМ “Орбита”, имеющая УУ с жесткой логикой управления, содержит 65 различных команд.

Для выполнения программы УУ организует последовательное считывание из ЗУ команд, входящих в состав программы. После исполнения каждой команды в УУ формируется адрес следующей команды. Обычно команды, составляющие программу, записываются в ячейки ЗУ с последовательно возрастающими адресами. В этом случае после выполнения данной команды, расположенной в ячейке N, выполняется команда из следующей N+1 ячейки. Такой порядок выборки команд называется естественным. При естественной выборке команд формирование адреса следующей команды выполняется с помощью счетчика, содержимое которого после исполнения команды увеличивается на единицу.

Естественный порядок исполнения команд может быть нарушен с помощью специальных команд управления, которые обеспечивают формирование адреса следующей команды.

Общее время, затрачиваемое БЦВМ на выполнение операции, задается в циклах или тактах. Под циклом работы машины понимается время выполнения операций типа сложение двух чисел.

Подводя итог, отметим основные функции, выполняемые УУ:

- формирование адреса очередной команды;
- считывание очередной команды из ЗУ;
- расшифровывание команды;
- организация исполнения команды.

В УУ с микропрограммным управлением исполнение команды, в свою очередь, выполняется в следующей последовательности:

- формирование адреса очередной микрокоманды;
- считывание микрокоманды из ПЗУ микрокоманд;
- расшифровка микрокоманды;
- организация исполнения микрокоманды.

Таким образом, при выполнении любой команды можно выделить **подготовительную и исполнительную** стадии. В подготовительной стадии

организуется считывание команды. В исполнительной стадии обеспечивается выполнение команды.

3.2. *Формы представления команд*

Формы представления команд могут быть различными, так как они определяются принципами построения БЦВМ, ее назначением и характеристиками. При любой форме представления команда определяет:

- операцию, подлежащую выполнению;
- числа (операнды), над которыми выполняется операция;
- адрес, где должен быть зафиксирован результат операции или их адреса;
- порядок формирования адреса следующей команды.

В соответствии с перечисленными функциями в общем случае команда содержит:

- поле кода операции;
- поле данных или их адресов;
- поле меток и признаков.

Поле команд определяет тип операции. Количество двоичных разрядов, выделяемых в команде для кода операции, выбирается таким, чтобы можно было однозначно определить все типы выполняемых операций. В БЦВМ код операции команды обычно не превосходит 9-и разрядов, что позволяет определить 2⁹, то есть 512 различных команд.

Поле данных, называемое также адресной частью команды, в общем случае, указывает адреса операндов, участвующих в операции, адрес, по которому должен быть направлен результат. Поле данных может также содержать непосредственно операнды, используемые в операции.

Поле меток и признаков содержит информацию о признаках, по которым может выбираться адрес следующей команды.

Так как в БЦВМ в операции могут одновременно участвовать только два числа, то адресная часть в общем случае должна указывать адреса этих операндов и адрес, по которому должен быть направлен результат. Команды такого типа называются трехадресными. С целью упрощения схем УУ в БЦВМ используются также двух- и одноадресные команды. На рис.3.1 показаны структуры трех-, двух- и одноадресных команд.

В трехадресных командах (рис.3.1,а) первый (A1) и второй (A2) адреса указывают откуда должны быть получены первое и второе числа, участвующие в операции. Третий адрес определяет, куда должен быть направлен результат.

В двухадресных командах (рис.3.1,б) первый (A1) и второй (A2) адреса определяют, где должны быть взяты операнды, с которыми выполняется операция. Результат операции обычно отсылается по первому адресу.

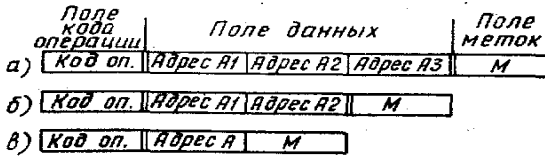


Рис.3.1. Многоадресные и одноадресные команды

В одноадресных командах (рис.3.1,в) адрес указывает, откуда берутся операнд или куда посылается результат операции. При выполнении, например, арифметических операций в командах такого типа задается адрес одного операнда, а второй при этом должен находиться в АУ. Таким образом, для сложения двух чисел с записью результата, например в ОЗУ, достаточно одной трехадресной команды. При использовании одноадресных команд для выполнения этой же операции требуется две или три команды. Три команды используются в том случае, если с помощью первой команды один из операндов отсылается в АУ. Вторая команда обеспечивает получение второго операнда и выполнение операции сложения. Третья команда управляет пересылкой результата в заданную ячейку ОЗУ.

В БЦВМ типа “Орбита” все команды являются 16-разрядными одноадресными. Количество разрядов, которое необходимо иметь в адресе, определяется емкостью памяти. Емкость ЗУ БЦВМ достигает нескольких десятков тысяч ячеек. В этом случае для представления кода адреса потребуется 14. .17 двоичных разрядов. Если учесть еще 10. .16 двоичных разрядов, отводимых для кода операции и меток (признаков), то одноадресные команды должны иметь 24. .32 разряда.

С целью уменьшения количества разрядов в команде и, следовательно, уменьшения габаритов ПЗУ используются специальные методы формирования адресов операндов. В БЦВМ “Орбита” операнды и команды представляются 16-разрядными двоичными кодами. В этом случае команды и константы можно хранить в едином ПЗУ. Следует, однако, иметь в виду, что использование единого ПЗУ снижает эффективное быстродействие БЦВМ. Определяется это тем, что при обращении к ПЗУ за константой считывание следующей команды не может производиться, то есть совмещение операций не представляется возможным.

3.3. Методы формирования адресов

Адрес, по которому производится обращение к конкретной ячейке ЗУ, называется исполнительным. Следовательно, исполнительный адрес должен содержать такое количество разрядов, чтобы номер ячейки ЗУ был определен однозначно. Для того чтобы сформировать исполнительный адрес, адрес, содержащийся в команде и имеющий меньшее количество разрядов, преобразуется в соответствии с выбранным в машине методом адресации.

Наиболее характерными методами формирования адреса являются *прямая, относительная, непосредственная и косвенная адресации*.

При *прямой адресации* исполнительный адрес совпадает с адресной частью команды. Прямая адресация используется в тех случаях, когда емкость ОЗУ небольшая. Так, например, в БЦВМ типа “Орбита” адресная часть команды имеет 9 разрядов, что позволяет указать 512 различных адресов.

В тех случаях, когда емкость ЗУ превышает возможности адресной части команды, задание в команде исполнительного адреса путем прямой адресации становится невозможным.

При *относительной адресации* (рис.3.2) исполнительный адрес (АИ) формируется путем прибавления к адресной части команды (АЧ), которую также именуют смещением (С), некоторого числа, называемого базовым адресом (АБ):

$$AI = AC + AB$$

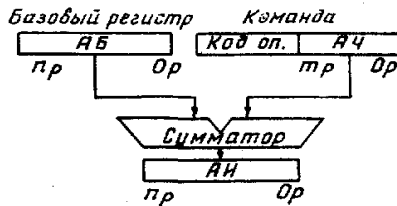


Рис.3.2. Относительная адресация

При этом в зависимости от разрядности базового адреса, исполнительный адрес должен иметь большее число разрядов, чем адресная часть команды. В этом случае можно однозначно указать адрес ячейки в ЗУ, имеющей большую емкость, чем это определено адресной частью команды.

Базовые адреса хранятся в специальных регистрах. Формирование исполнительного адреса путем суммирования связано с потерей машинного времени. Поэтому исполнительный адрес может образовываться путем присоединения к адресной части базового адреса (рис.3.3).

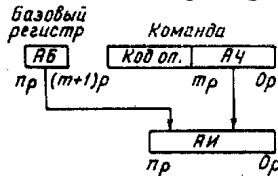


Рис.3.3. Формирование исполнительного адреса путем суммирования

В этом случае базовый адрес определяет старшие, а адресная часть команды - младшие разряды исполнительного адреса. Подобная форма адресации называется также *страничной*. При страничной адресации адресная часть

команды указывает адрес в пределах страницы, а базовый адрес определяет номер страницы. В БЦВМ “Орбита” страницы называют “*квадратами*”.

Таким образом, относительная адресация позволяет использовать команды с меньшим числом разрядов, что упрощает конструкцию ЗУ.

При *непосредственной адресации* в адресной части команды содержится не адрес операнда, а сам операнд, участвующий в операции.

При *косвенной адресации* адресная часть команды (АЧ) указывает адрес ячейки памяти, в которой находится адрес операнда. Косвенная адресация используется совместно с другими формами адресации.

3.4. Модификация команд

Модификация команды означает изменение значения поля данных. Модификация осуществляется путем суммирования адресной части команды с заданным числом. Если в результате сложения возникает перенос за пределы разрядной сетки адресной части, то этот перенос отбрасывается. Следовательно, суммирование ведется по модулю 2^t , где t - разрядность адресной части команды. Образующаяся сумма, участвует далее в формировании исполнительного адреса. Заметим, что модификация адресной части команды является частным случаем относительной адресации.

Модификация команд позволяет сократить длину программы при решении некоторых задач за счет организации циклов.

3.5. Устройство управления БЦВМ

БЦВМ третьего поколения чаще всего имеют УУ с жесткой логикой управления. Команды этих машин обычно являются одноадресными, содержащими код операции, адресную часть, один или несколько признаков модификации и адресации. Формирование исполнительного адреса может выполняться методами прямой, относительной, непосредственной и косвенной адресации. Устройство управления, обеспечивая последовательное исполнение команд программы, выполняет:

- формирование адреса очередной команды;
- считывание команды;
- модификацию команды;
- управление работой функциональных узлов машины в процессе исполнения команды.

Первые три функции входят в состав *подготовительной стадии* выполнения команды и являются одинаковыми для всех типов команд. Последняя функция составляет *исполнительную стадию*, зависящую от типа команды. Рассмотрим работу УУ с жесткой логикой управления типовой БЦВМ третьего поколения. На рис. 3.4 приведена структура команд таких машин.



Рис. 3.4 Структура команд БЦВМ

Команды состоят из кода операции, признака модификации, адресной части и имеют одинаковое количество разрядов - 16. Общее количество команд - 65. Код операции у большинства команд имеет 6 разрядов. Однако для некоторых типов команд код операции определяется девятью разрядами, отмеченными пунктиром. Адресная часть команды (АЧ) представляется девятью разрядами, что позволяет указать 512 различных адресов, составляющих один квадрат (страницу). Пятнадцатый разряд отводится под признак модификации (ПМ). Если этот разряд имеет единичное значение, то производится модификация адресной части (АЧ) команды в соответствии с выражением:

$$AM = (AЧ + МК \cdot ПМ) \bmod 29,$$

где МК - константа, называемая модификатором команды;

АМ - модифицированный (исполнительный) адрес.

Рассмотрим работу УУ при *подготовительной и исполнительной* стадии применительно к схеме типовой БЦВМ третьего поколения, приведенной на рис. 3.5. На этой схеме кроме узлов, входящих в УУ, показаны также устройства - АЛУ, ПЗУ (ППЗУ), ОЗУ и УВВ.

Подготовительная стадия выполнения команды заключается в следующем. Программы, представляющие собой последовательность команд, хранятся в ПЗУ. Для считывания очередной команды в счетчике команд полном (СКП) формируется адрес этой команды. СКП имеет 16 разрядов. Младшие 9 разрядов СКП представляют собой собственно счетчик команд (СК). Содержимое СК определяет адрес команды в пределах одного квадрата (страницы) ПЗУ емкостью в 512 ячеек. К этой части СКП можно обращаться путем непосредственной (без использования адреса) адресации. Номер квадрата (страницы) указывается следующими шестью разрядами СКП, выполняющими роль переключателя квадратов (ПК). Очевидно, максимальное число квадратов может быть равно 64. При этом первые 16 квадратов образуют ПЗУ 1, следующие 16 квадратов - ПЗУ2 и т. д.

Разряды СК и ПК образуют единый 15-разрядный счетчик. Это означает, что при единичном значении всех разрядов СК увеличение его содержимого на единицу приводит к увеличению на единицу значения ПК, как это показано в примере:

ПК	СК
000001	11111111
	1
000010	00000000

Шестнадцатый разряд СКП представляет собой признак номера ОЗУ (НО). Если этот разряд имеет нулевое значение, то обращение идет к ОЗУ1, а при единичном - к ОЗУ2. Этими режимами управляет схема номера ОЗУ.

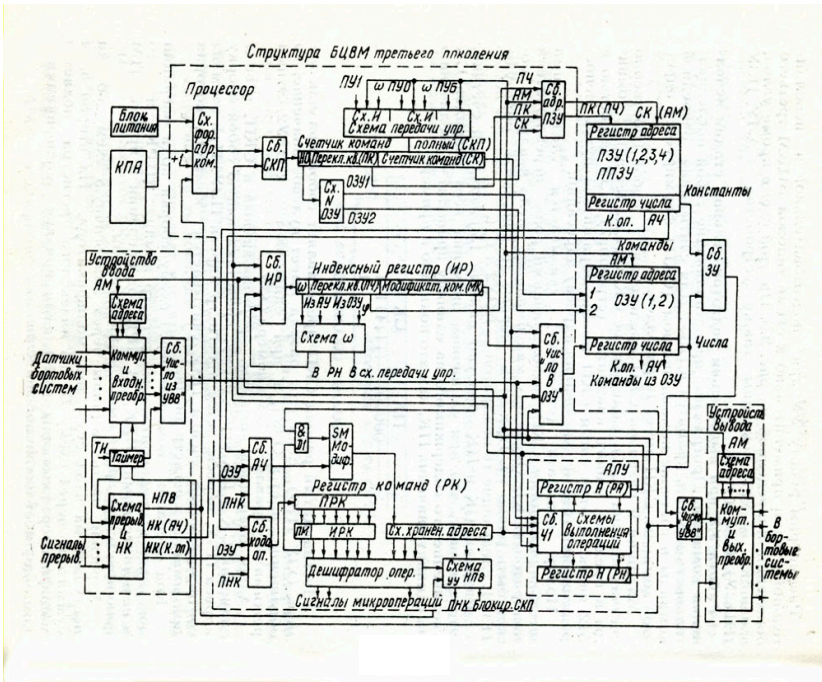


Рис. 3.5. Структура БЦВМ третьего поколения

Адрес очередной команды, сформированный в СКП, в виде значений СК и ПК через схему, представляющую собой сборку адреса ПЗУ, пересылается в регистр адреса ПЗУ. При этом из соответствующей ячейки ПЗУ считывается команда, которая принимается в регистр числа.

Код операции команды через схему сборки кода операции поступает в предварительный регистр команд (ПРК), из него в исполнительный (ИРК). В ИРК код операции и признак ПМ фиксируется на время выполнения операции.

Адресная часть команды через аналогичную схему сборки поступает на вход сумматора-модификатора. На второй вход сумматора через схему D1 из индексного регистра подается модификатор команды (МК), если признак модификации в команде имеет единичное значение.

На выходе сумматора образуется модифицированная адресная часть (АМ) команды, которая фиксируется в схеме хранения адреса до окончания операции. ИРК и схема хранения адреса образуют единый регистр команд (РК).

В регистр команд могут также приниматься команды из ОЗУ и непрограммируемые команды (НК), формируемые схемно в УВВ.

На этом заканчивается подготовительная стадия выполнения команды и начинается исполнительная. После исполнения команды содержимое СКП увеличивается на единицу. При этом образуется адрес следующей команды, которая аналогичным образом считывается и исполняется. Такой порядок выполнения команд называется естественным.

Естественный порядок выполнения команд может быть изменен с помощью команд управления, которые позволяют изменять содержимое счетчика команд или целиком СКП. В соответствии с новым установленным значением СК или СКП из ПЗУ считывается и исполняется требуемая команда. После этого новое значение СКП, как обычно, увеличивается на единицу, если вновь не следует команда передачи управления.

Исполнительная стадия начинается с пересылки кода операции команды в схему формирования сигналов микроопераций. На выходе этой схемы появляются сигналы, управляющие процессом выполнения команды. Такой схемой, приведенной на рис. 3.5, является дешифратор операций.

Адресная часть команды (АМ), в зависимости от типа исполняемой команды, участвует далее в формировании исполнительного адреса с помощью соответствующей адресации. Сформированный ИА используется для обращения к ПЗУ, ОЗУ, УУ и УВВ.

Если применяется прямая адресация, то значение АМ соответствует 9-разрядному исполнительному адресу, позволяющему указать 512 различных адресов. Такая форма ИА используется при обращении к узлам УВВ.

Относительная адресация используется при обращении к ПЗУ и ОЗУ. В этом случае к значению АМ добавляется базовый адрес, хранящийся в отдельном регистре. Так, при обращении к ПЗУ базовый адрес, содержащий информацию о номере квадрата (страницы), поступает из индексного регистра, где для него отводится 6 разрядов. Получаемый при этом исполнительный адрес имеет 15 разрядов, что позволяет иметь емкость ПЗУ констант в $2^{15} = 32768$ или 32К. При обращении к ОЗУ базовый адрес представляется одним разрядом СКП, обозначающим номер ОЗУ (НО). Исполнительный адрес в этом случае является 10-разрядным. Максимальная емкость ОЗУ при этом составляет 1024 ячейки или 1К. В некоторых ЦВМ при обращении к ОЗУ используются дополнительные базовые регистры, позволяющие существенно увеличить емкость ОЗУ.

При непосредственной адресации операнд задается значением АМ и, следовательно, его разрядность не может превышать 9-и разрядов. Такой тип адресации используется для изменения содержимого базового адреса ПЧ, счетчика команд СК и модификатора команд МК.

При косвенной адресации значение АМ суммируется с базовым адресом и по полученному адресу из ОЗУ считывается число, которое является

исполнительным адресом команды. Однако в рассматриваемой схеме типовой БЦВМ такая форма адресации не реализуется.

Если исполняемая команда связана со считыванием информации из ОЗУ, то считанное число может выдаваться:

- в АЛУ для выполнения операции или подготовки к последующей операции;
- в индексный регистр для смены всего его содержимого или отдельных частей (МК, ПК);
- в УВВ для выдачи информации на индикаторные и исполнительные устройства, а также в узлы УВВ;
- в СКП при выполнении команд передачи управления;
- в регистр команд при исполнении команд, записанных в ОЗУ.

При наличии в УУ базовых регистров, используемых при формировании исполнительных адресов, считанное из ОЗУ число может пересылаться в эти регистры для смены их содержимого.

Если выполняемая команда связана с записью информации в ОЗУ, то в ячейку, определяемую исполнительным адресом, может быть записана следующая информация:

- число из АЛУ, представляющее собой результат данной или предыдущей операции;
- содержимое индексного и базовых регистров, если они есть в составе УУ;
- число из УВВ, несущее информацию от датчика или узла УВВ, например, счетчика времени;
- содержимое счетчика команд.

В некоторых ЭВМ, и особенно в микроЭВМ, АЛУ имеют в своем составе регистры общего назначения (РОН), выполняющие роль сверхоперативных ЗУ. Такие регистры позволяют хранить промежуточные результаты, не обращаясь к ОЗУ. Для указания адреса РОН, количество которых не превышает нескольких десятков, не требуется большого количества разрядов. Поэтому обращение к ним может быть выполнено по трехадресной схеме при одноадресной структуре УУ. Это означает, что в одной команде можно указать адреса РОН операндов и адрес РОН, куда требуется записать результат. Такая форма обращения сокращает длину программы и увеличивает эффективное быстродействие ЭВМ, а операции такого типа называются операциями «регистр-регистр». Если исполняемая команда связана с обращением к ПЗУ, то считанная константа, в зависимости от типа операции, может быть отослана в АЛУ, в индексный и, если он есть, в базовый регистр и в СКП. Обращение к ПЗУ выполняется через адресную схему ПЗУ, так как ПЗУ занимает часть адресов ПЗУ и в нем хранятся константы, представляющие данные, вводимые на полет. Если выполняется команда, обеспечивающая ввод или вывод информации, то исполнительный адрес команды определяет номер входного или выходного канала, а также адрес ячейки ОЗУ, если информация считывается из ОЗУ или туда записывается.

Очевидно, в одноадресных командах адреса каналов УВВ совпадают с адресами ячеек ОЗУ.

3.6. Система команд БЦВМ «Орбита»

Рассмотрим работу УУ (рис. 3.5) БЦВМ типа «Орбита» при выполнении наиболее характерных команд. Система команд БЦВМ этого типа приведена на рис. 3.6.

Все команды подразделяются на группы, обеспечивающие выполнение:

- арифметических операций;
- логических операций;
- операций сдвига;
- битовых (одноразрядных) операций;
- операций посылки информации в узлы БЦВМ;
- операций запоминания в ОЗУ содержимого соответствующих регистров;
- операций управления последовательностью исполняемых команд;
- операций ввода—вывода;
- специальных операций.

Выполнение арифметических операций. Первая команда этой группы (АСО) обеспечивает сложение двух 16-разрядных чисел, первое из которых перед началом операции находится в ОЗУ (О) по адресу (АО), а второе в регистре РН (Н) арифметического устройства. Результаты операции фиксируются в регистрах РН и РА (Н, А).

Код операции команды подается в дешифратор операций. Адресная часть команды (АО) пересылается в регистр адреса ОЗУ, одновременно в ОЗУ из дешифратора операций поступают сигналы, управляющие процессом считывания. В результате из ОЗУ считывается первое число (О), которое через сборку ЗУ передается в АЛУ, где поступает на вход сумматора. При этом второе число (Н) подается на другой вход сумматора.

Образующаяся сумма фиксируется в регистрах РН и РА АЛУ. По результату операции формируется признак ω . Для данной операции $\omega = 1$, если $z < 0$.

Выполнение команды занимает один машинный цикл. Если результат операции выходит за диапазон машинных чисел $-1 \dots +1$, то формируется признак переполнения $\varphi = 1$.

Команда АСД обеспечивает выполнение аналогичной операции. Отличие состоит лишь в том, что первое слагаемое (Д) считывается из ПЗУ по адресу, определяемому значениями АД команды и переключателем квадратов (ПЧ), находящимся в индексном регистре.

Время выполнения операции занимает два машинных цикла. Определяется это тем, что первый операнд считывается из ПЗУ и поэтому выборка очередной команды из ПЗУ задерживается на один цикл. Поэтому общее время выполнения команды становится эквивалентным двум машинным циклам.

Тип	Код оп.	АМ	Обоз.	Услов. пр.	Выполняемая операция	±	Выл.	Пр.	
Арифметические операции	40	АО	АСО	$\neq 0$	$0 + N \Rightarrow N, A$	±	Г	1	
	41	АД	АДД	$\neq 0$	$Δ + N \Rightarrow N, A$	±	Г	1	
	42	АО	АСТ	$\neq 0$		2±	Г	23,4	
	60	АО	АВО	≥ 0	$0 - N \Rightarrow N, A$	±	Г	1	
	61	АД	АВД	≥ 0		2±	Г	1	
	62	АО	АВТ	≥ 0		2±	Г	23,4	
	22	АО	АМЧ	$\neq 0$	$0 + 2^{-15} \Rightarrow 0$	±	Г	1	
	14	АД	АДО	Сокр	$N : D \Rightarrow A$	20±	Г	1	
	15	АД	АДД	Сокр	$N : D \Rightarrow A$	20±	Г	1	
	12	АД	АДО	$\neq 0$	$(D \cdot A \cdot (N + 4) \cdot 2^{-15}) \Rightarrow A, N, H, G, A, X$	3±	Г	23,4	
	13	АД	АДО	$\neq 0$	$(D \cdot A \cdot (N + 4) \cdot 2^{-15}) \Rightarrow A, N, H, G, A, X$	3±	Г	2,4	
	02	АД	АДО	$\neq 0$	$(D \cdot X) \text{окр} \Rightarrow N, A, \text{нокр.г.}, A, X$	2±	Г	4,5	
	03	АД	АДО	$\neq 0$	$(D \cdot X) \text{окр} \Rightarrow N, A, \text{нокр.г.}, A, X$	2±	Г	4,5	
	63	АД	АВМ	$\neq 0$	$01 - N \Rightarrow N$	±	Г	1	
	50	АД	ЛНО	$\neq 0$	$0 \wedge N \Rightarrow N, A$	±	Г		
Логические операции	51	АД	ЛНА	$\neq 0$	$0 \wedge N \Rightarrow N, A$	±	Г		
	44	АД	ЛСО	$\neq 0$	$0 \vee N \Rightarrow N, A$	±	Г		
	43	АД	ЛДА	$\neq 0$	$0 \vee N \Rightarrow N, A$	±	Г		
	54	АД	ЛНО	$\neq 0$	$0 \neq N \Rightarrow N, A \quad \Sigma \text{mod } 2$	±	Г		
	55	АД	ЛНА	$\neq 0$	$Δ \wedge N \Rightarrow N, A \quad \Sigma \text{mod } 2$	±	Г		
	57	т, П	ЛОС	Уст.	$i \neq n \neq t \Rightarrow \omega \text{ из рег.г.} \quad \Sigma \text{mod } 2$	2±	Г	6	
	Операции сдвига	10	Г	СЛ	$\neq 0$	$\bar{A} \Rightarrow N, A \quad H, G, A, X \quad i - (0..5)$	2±	Г	3
		10	Г	СЛ	$\neq 0$	$\bar{A} \Rightarrow N, A \quad H, G, A, X \quad i - (0..5)$	2±	Г	3
		10	Г	СЛ	$\neq 0$	$\bar{A} \Rightarrow N, A \quad i - (0..5)$	2±	Г	
		10	Г	СЛ	$\neq 0$	$\bar{A} \Rightarrow N, A \quad i - (0..5)$	2±	Г	
11		Г	СЛ	$\neq 0$	$\bar{A} \Rightarrow N, A \quad i - (0..5)$	2±	Г		
11		Г	СЛ	$\neq 0$	$\omega \Rightarrow Ni \quad i - (0..5)$	2±	Г		
11		Г	СЛ	$\neq 0$	$Ni \Rightarrow \omega \quad i - (0..5)$	2±	Г		
11		Г	СЛ	$\neq 0$	$Ni \Rightarrow \omega \quad i - (0..5)$	2±	Г		
11		Г	СЛ	$\neq 0$	$Ni \neq \omega \Rightarrow \omega \quad \Sigma \text{mod } 2 \quad i - (0..5)$	2±	Г		
22		0	00	ПЛ	Уст.	$\Psi \Rightarrow \omega$	±	Г	
Специальные операции	84	АД	ЛНО	$\neq 0$	$0 \Rightarrow N$	±	Г		
	65	АД	ЛНА	$\neq 0$	$Δ \Rightarrow N$	±	Г		
	32	АД	ЛНО	$\neq 0$	$0 \wedge N \Rightarrow N \quad \text{НО-инв. ном. ОЗУ}$	±	Г		
	36	АД	ЛНО	$\neq 0$	$0 \Rightarrow A$	±	Г		
	37	АД	ЛНА	$\neq 0$	$Δ \Rightarrow A$	±	Г		
	34	к, ПЧ	ЛНА	Сокр	$(0...5) \text{р.АМ} \Rightarrow \text{ПЧ}$	±	Г		
	06	АД	ЛСО	Сокр	$0 \Rightarrow \text{СКП} (\text{СК, ПЧ, НО})$	±	Г		
	07	АД	ЛСО	Сокр	$Δ \Rightarrow \text{СКП} (\text{СК, ПЧ, НО})$	±	Г		
	71	МК	ЛМА	МК	$\text{АМ} \Rightarrow \text{МК} \quad \begin{matrix} \text{1. ПЧ} \\ \text{2. ПЧ} \\ \text{МК} \end{matrix} \Rightarrow \text{МК}$	±	Г		
	70	000	ЛМН	МК	$(0...5) \text{р.Н} \Rightarrow \text{МК}$	±	Г		
	70	АД	ЛМО	МК	$(0...5) \text{р.О} \Rightarrow \text{МК}$	±	Г		
	72	АД	ЛНО	Уст.	$0 \Rightarrow \text{ИР} (\text{МК, ПЧ, } \omega)$	±	Г		
	73	АД	ЗОН	Сокр	$\text{ИР} (\text{МК, ПЧ, } \omega) \Rightarrow 0$	±	Г		
	66	АД	ЗОН	$\neq 0$	$N \Rightarrow N, A \quad \text{Нуль} \Rightarrow 0$	±	Г		
	67	АД	ЗОН	$\neq 0$	$N \Rightarrow 0, N, A$	±	Г		
	33	АД	ЗОН	$\neq 0$	$N \Rightarrow 0, N, A \quad \text{НО-инв. номер ОЗУ}$	±	Г		
	26	АД	ЗОН	$\neq 0$	$A \Rightarrow 0, A$	±	Г		
	27	АД	ЗОН	$\neq 0$	$\text{ЦВМ резервн.} \Rightarrow 0$	±	Г		
	000	СК	ПУБ	Сокр	$\text{АМ} \Rightarrow \text{СК} \quad \text{ПК сохраняется}$	±	Г	8	
	000	СК	ЛНО	Сокр	$\text{При } \omega = \text{нулю} \quad \text{АМ} \Rightarrow \text{СК} \quad \text{ПК сохраняется}$	±	Г	8	
	000	СК	ПУ	Сокр	$\text{При } \omega = 1 \quad \text{АМ} \Rightarrow \text{СК} \quad \text{ПК сохраняется}$	±	Г	8	
	16	АД	СОД	Сокр	$\text{СКП} \Rightarrow 0, 0 \Rightarrow \text{СКП}$	±	Г	7	
	17	АД	СОД	Сокр	$\text{СКП} \Rightarrow 0, Δ \Rightarrow \text{СКП}$	±	Г	7	
	23	АД	САД	Сокр	$\text{СКП} \Rightarrow A \Rightarrow \text{СКП}$	±	Г	7	
	76	т, П	ВЧ	Сокр	$\text{УВВ} \Rightarrow 0 \quad \text{К-номер канала}$	±	Г		
77	К	ВЧ	$\neq 0$	$\text{УВВ} \Rightarrow N, A \quad \text{К-номер канала}$	±	Г			
74	К	ВЧ	Сокр	$N \Rightarrow \text{УВВ} \quad \text{К-номер канала}$	±	Г			
75	К	ВЧ	Сокр	$0 \Rightarrow \text{УВВ} \quad \text{К-номер канала}$	±	Г			
04	АД	ЛКО	Сокр	$\text{Используется команда из ОЗУ}$	±	Г			
01	АД	КРО	Сокр	$0 \Rightarrow \text{КЗ}$	±	Г			
35	ВРП	Уст.	1	$\Rightarrow \omega \text{ при ВРП ЦВМ резервн.}$	±	Г			
00	000	Сокр	Пустой оператор		±	Г			

Рис. 3.6. Система команд БЦВМ

Команда АСТ позволяет сложить два числа с удвоенным числом разрядов. Первое число считывается из двух соседних ячеек ОЗУ с адресами АО и АО+1, где АО - четный адрес. Второе число перед началом операции располагается в регистрах РН и РА. Результат операции, представляющий собой 32-разрядное число, фиксируется в регистрах РН и РА. При этом младшие 15 разрядов результата располагаются в регистре РА. В старшем разряде РА при этом фиксируется нуль.

Команды АВО, АВД, АВТ позволяют выполнить операцию вычитания по такой же схеме, как и команды АСО, АСД, АСТ.

Команда АМЧ обеспечивает прибавление единицы младшего разряда к содержимому ячейки ОЗУ, адрес второй определен значением АО.

Две следующие команды АДО, АДД управляют операцией деления. При этом делимое перед началом операции должно находиться в регистре РН. Операция начинается со считывания делителя из ОЗУ или ПЗУ.

Если делитель считывается из ПЗУ, то команда определяет адрес в пределах квадрата (страницы), а номер квадрата (ПЧ) берется из индексного регистра.

Результат операции фиксируется в регистре РА. При выполнении этих команд признак не формируется, то есть он сохраняется от предыдущей операции.

Команды АОО, АОД обеспечивают выполнение операций умножения с округлением. Округленный 16-разрядный результат фиксируется в регистре РН. В регистре РА остаются 16 младших разрядов отбрасываемой части произведения, которые практически не используются.

Выполнение логических операций. Все команды, обеспечивающие реализацию логических операций, выполняются по одинаковой схеме. Исключение составляет лишь команда ЛОС. Один из операндов считывается из ОЗУ или ПЗУ, а второй поступает из регистра РН.

Команда ЛОС позволяет выполнить операцию логического сравнения (поразрядное сложение по mod 2) j младших разрядов регистра РН с числом m , указанным в (3. . 8) p адресной части команды.

Выполнение операций сдвига. Все команды этой группы имеют код операции 10. Конкретный тип операции определяется значением трех старших разрядов адресной части команды. Шесть младших разрядов АМ определяют, на какое количество разрядов производится сдвиг. Сдвигаемый 16-ти разрядный операнд перед началом операции располагается в регистре РА.

По команде СПЛ выполняется сдвиг вправо логический на i разрядов. Результат, представляющий собой 32-разрядный операнд, фиксируется в регистрах РН и РА. При логическом сдвиге все разряды сдвигаются на равных основаниях.

По команде СПА аналогичным образом выполняется сдвиг вправо арифметический на i разрядов.

При арифметическом сдвиге вправо знаковый разряд повторяется в освобождающихся разрядах слева.

Команда СЛЛ позволяет сделать сдвиг влево логический, а команда СЛА - арифметический. Результат исполнения этих двух команд представляет 16-разрядный операнд, который фиксируется в регистрах РН и РА. При арифметическом сдвиге влево знаковый разряд кода не сдвигается.

Выполнение битовых операций. Команды битовых операций, кроме команды БПП, имеют код операции 11. Конкретный тип операции определяется тремя старшими разрядами адресной части команды. Младшие шесть разрядов АМ определяют номер разряда регистра РН, с которым выполняется битовая операция или в который записывается результат.

По команде БЗП значение ω , сформированное в предыдущей операции, записывается в i разряд РН.

По команде БПН значение i разряда регистра РН присваивается признаку ω .

Команды БЗ0 и БЗ1 позволяют в i разряд регистра РН записать нуль или единицу.

Команды БЛС, БЛУ, БЛН обеспечивают выполнение логических операций i разряда регистра РН со значением признака ω , сформированным в предыдущих операциях. Результат логической операции присваивается признаку ω .

По команде БПП значение признака переполнения ϕ , сформированное в предыдущих операциях, присваивается значению ω . По этому признаку может быть организован переход к программе анализа причины переполнения.

Выполнение операций посылки. Первые три команды ПНО, ПНД, ПНП позволяют занести информацию в регистр РН. По команде ПНО информация пересылается из ОЗУ, а по команде ПНД - из ПЗУ. Команда ПНП обеспечивает засылку операнда в регистр РН из ОЗУ. При этом номер (НО), установленный в СКП, инвертируется. Следовательно, если в СКП признак НО имеет нулевое значение, то считывание операнда произойдет из ОЗУ, которому соответствует признак НО с единичным значением.

Команды ПАО, ПАД обеспечивают посылку информации в регистр РА соответственно из ОЗУ или ПЗУ.

Команда ППК позволяет изменить значение переключателя чисел ПЧ в индексном регистре. Требуемое значение ПЧ указывается шестью младшими разрядами адресной части команды (АМ), находящейся в схеме хранения адреса регистра команд. При исполнении данной команды реализуется непосредственная адресация, так как операнд задается непосредственно в команде.

Две команды ПСО и ПСД позволяют изменить содержимое СКП путем посылки в этот узел констант соответственно из ОЗУ или ПЗУ. Тем самым нарушается естественный порядок исполнения команд, и машина переходит к считыванию и исполнению команды, адрес которой установлен в СКП в пределах всей емкости ПЗУ.

Команды ПМА, ПМН, ПМО обеспечивают установку требуемого значения модификатора команд (МК) в индексном регистре. Первая из этих команд (ПМА), используя непосредственную адресацию, позволяет записать в МК модифицированную адресную часть команды из схемы хранения адреса. Если в этой команде признак модификации (ПМ) установить равным единице, то при значении команды: 1.71.001, то содержимое МК в индексном регистре увеличивается на единицу. Если команда имеет значение: 1.71.777, то содержимое МК в индексном регистре уменьшается на единицу.

Две другие команды этой группы позволяют пересылать в МК содержимое (0...8) разрядов РН или ячейки ОЗУ с адресом АО.

Команда ПИО обеспечивает посылку в ИП 16-разрядного операнда из ячейки ОЗУ и предназначена в основном для восстановления содержимого ИП после выхода из подпрограммы.

Выполнение операций запоминания в ОЗУ. С помощью команд этой группы в ячейки ОЗУ, адрес которых определяется значением АО и номером ОЗУ (НО), находящимся в СКП, записывается информация из соответствующих узлов.

По команде ЗОИ в ячейку ОЗУ записывается содержимое индексного регистра.

По команде ЗОО в ячейку ОЗУ записывается нуль, и одновременно содержимое регистра РН переписывается в регистр РА и снова в РН. Заметим, что с помощью этой команды, имеющей нулевую адресную часть, содержимое РН пересылается в РА. При этом запись в ячейку ОЗУ с нулевым адресом не производится, так как в ней всегда содержится нуль.

Команда ЗОН позволяет запомнить в ОЗУ содержимое регистра РН. При этом содержимое РН одновременно пересылается в РА и снова в РН.

Команда ЗПН обеспечивает запоминание содержимого регистра РН в ячейке ОЗУ с противоположным значением НО.

По команде ЗОА в ячейке ОЗУ запоминается содержимое регистра РА, значение которого в РА сохраняется.

Команда ЗОР позволяет принять в ОЗУ информацию из другой БЦВМ комплекса.

Выполнение операций управления. Команды этой группы позволяют изменить содержимое счетчика команд (СК) или содержимое СКП.

Первая из этих команд (ПУБ) выполняет безусловную передачу управления к другому участку программы путем записи значения АМ в СК. Так как при этом значение ПК не меняется, то, следовательно, безусловная передача управления может быть выполнена только в пределах данного квадрата (страницы).

Команды ПУО и ПУ1 (передача условная) выполняют аналогичные операции при условии, что признак ω , сформированный в предыдущей операции, имеет соответствующее значение. Так при $\omega = 0$ команда ПУО обеспечивает посылку значения АМ в счетчик команд (СК). Если же признак имеет значение, отличное от указанного в команде, то передача управления не происходит, а содержимое СК увеличивается на единицу и при этом указывается сформированный адрес следующей команды.

Команды СОО, СОД и САД позволяют сделать передачу управления команде, находящейся в любой ячейке ПЗУ. При этом одновременно значение СКП, подготовленное для выполнения следующей операции, запоминается, либо в ячейке ОЗУ, либо в регистре РА.

Так, например, по команде СОД из ПЗУ, по адресу АД и номеру квадрата (ПЧ), находящемуся в индексном регистре, считывается константа, которая пересылается в СКП. Одновременно значение СКП, увеличенное на единицу, пересылается для запоминания в ячейку ОЗУ с адресом АО. В результате организуется передача управления на другую программу, например, подпрограмму. Однако место, где прервана программа, запоминается в ОЗУ и, следовательно, можно выполнить возврат на это место с помощью команды ПСО.

Заметим, что каждая команда СОД требует соответствующей ячейки ОЗУ. Применение команды СОД позволяет иметь одну общую ячейку ОЗУ, в которую переписывается содержимое СКП из регистра РА.

Выполнение операций ввода - вывода информации. В эту группу входят две команды ввода (ВОУ, ВНУ) и две команды вывода (ВУН, ВУО).

По команде ВОУ информация принимается по каналу (К) УВВ, записывается в ячейку ОЗУ по адресу АО. При этом номер канала и адрес ячейки являются одинаковыми, так как команды являются одноадресными. Команда ВНУ исполняется так же, но информация из УВВ принимается в регистры РН и РА.

По команде ВУН содержимое регистра РН пересылается в УВВ, где выдается по каналу К. Значение К задается в адресной части команды.

Команда ВУО обеспечивает считывание информации из ячейки ОЗУ с адресом АО и выдачу этой информации через УВВ по каналу К. При этом К и АО имеют одинаковое значение. Схемно номер канала может изменяться на константу.

Выполнение специальных операций. Команда ПКО (посылка команды из ОЗУ) этой группы, называемая также “Выполни число”, позволяет считать информацию из ячейки ОЗУ по адресу АО, переслать ее в регистр команд и исполнить команду, соответствующую этому числу.

По команде КРО содержимое ячейки ОЗУ с адресом АО пересылается в контрольно-записывающую аппаратуру.

Команда ВРП используется при совместной работе двух БЦВМ. По этой команде признаку присваивается единица, если во второй БЦВМ исполнена команда ВРП.

Команда ООО представляет собой пустой оператор. Содержимое всех узлов машины, кроме СКП, не меняется. Содержимое СКП увеличивается на единицу. Заметим, что первой командой в каждом квадрате ПЗУ является команда ООО, что связано с увеличенным временем формирования нового значения квадрата (ПК) в СКП.

Рассмотренная система команд обладает широкими возможностями. Она позволяет реализовывать программы навигационных, юстировочных и контрольных задач.

4. Устройства ввода-вывода БЦВМ

4.1. Структура устройства ввода-вывода

БЦВМ современного типа выполняет широкий обмен информацией. Обмен информацией выполняется с помощью каналов связи.

Канал, называемый интерфейсом, представляет собой систему унифицированных информационных и управляющих шин с соответствующими управляющими устройствами.

БЦВМ, входящие в состав авиационных комплексов, выполняют решение задач, связанных главным образом с управлением бортовыми системами. БЦВМ получает информацию от различного рода датчиков, а результаты решения выдает на исполнительные и индикаторные устройства комплекса. При этом ввод информации, решение задач и выдача результатов решения выполняются с такой частотой, чтобы экипаж самолета и бортовые системы

воспринимали эти результаты как непрерывный процесс управления с допустимыми динамическими ошибками.

Связь БЦВМ с датчиками, исполнительными и индикаторными устройствами комплекса осуществляется с помощью каналов передачи информации, управляемых специализированными устройствами ввода-вывода (УВВ).

В общем случае в состав УВВ БЦВМ входят:

- каналы ввода информации с входными преобразователями;
- каналы вывода информации с выходными преобразователями;
- устройство управления.

С помощью **входных каналов** и их преобразователей выполняется подключение датчиков и преобразование информации, поступающей от них, в коды БЦВМ.

Выходные каналы и их преобразователи производят преобразование кодов, получаемых в БЦВМ в результате решения задач, в информацию, обеспечивающую управление исполнительными и индикаторными устройствами комплекса.

Формы представления входной и выходной информации достаточно разнообразны. Это накладывает определенные требования на схемную реализацию преобразователей.

Так как число датчиков информации, исполнительных и индикаторных устройств может достигать десятков и даже сотен, то большинство входных и выходных преобразователей выполняется **многоканальными**. Такой преобразователь последовательно подключается к нескольким датчикам или исполнительным и индикаторным устройствам, обеспечивая поочередный ввод или вывод информации.

Устройство управления организует, в соответствии с принятым приоритетом, подключение входных или выходных каналов к БЦВМ для ввода или вывода информации, распределяет ячейки памяти ОЗУ машины, используемые при приеме и выдаче кодов, обеспечивает настройку преобразователей на требуемый режим работы, а также организует режим контроля работы УВВ. Кроме того, устройство управления УВВ обеспечивает прием и расшифровку сигналов прерывания, поступающих от систем. Каждый такой сигнал требует прерывания выполняемой в данный момент программы и перевода машины на исполнение программы, затребованной данной системой.

Устройство управления УВВ содержит также **счетчик времени** (таймер), выдающий сигналы точного времени. Обычно такие сигналы следуют с частотой до сотен герц. Эта информация используется машиной для организации вычислительного процесса. По этому сигналу машина исполняет специальную программу, называемую **диспетчером**.

Рассмотрим один из вариантов структурной схемы УВВ БЦВМ третьего поколения, приведенный на рис.4.1.

В состав УВВ входят входные и выходные каналы, в которых представлены наиболее характерные преобразователи и устройство управления (УУ УВВ).

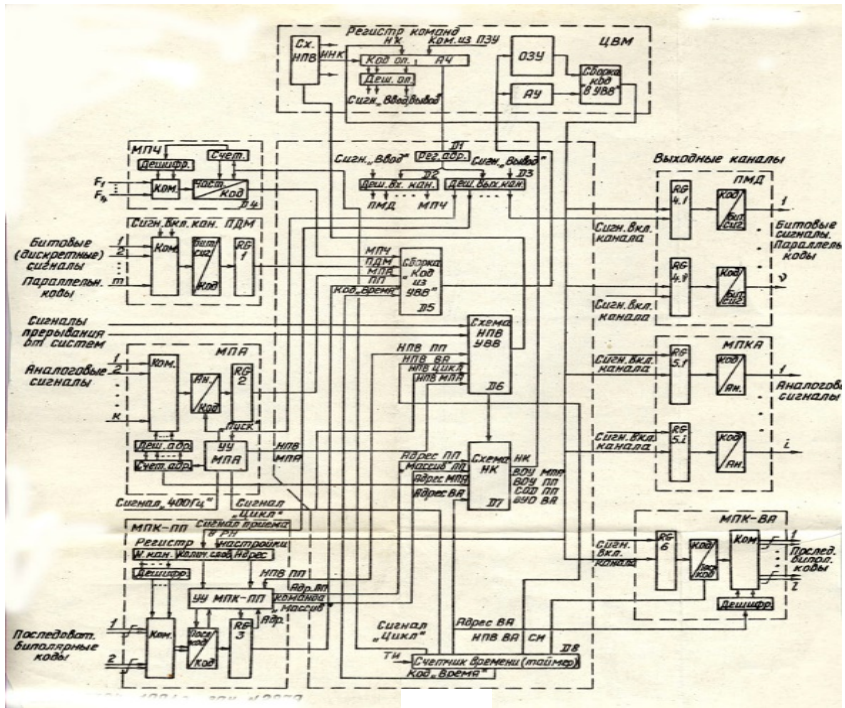


Рис.4.1. Структурная схема УВВ БСВМ

Во **входных каналах** представлены:

- многоканальный преобразователь битовых (дискретных) сигналов в код БСВМ (ПДМ);
- многоканальный преобразователь аналоговых сигналов в код БСВМ (МПА);
- многоканальный преобразователь информации, задаваемой частотой, в код (МПЧ);
- многоканальный преобразователь последовательных кодов в код БСВМ с пассивным приемом (МПК-ПП).

В **выходных каналах** показаны:

- многоканальный преобразователь машинных кодов в битовые (дискретные) сигналы (ПМД);
- многоканальный преобразователь кодов БСВМ в аналоговые сигналы (МПКА);
- многоканальный преобразователь машинных кодов в последовательные коды с активным выводом (МПК-ВА).

На схеме приведены также основные узлы и устройства БЦВМ, с которыми взаимодействует УВВ.

Работа УВВ характеризуется *тремя основными режимами*.

В *первом режиме* ввод и вывод информации осуществляется с помощью команд ввода-вывода, входящих в состав исполняемой программы и поэтому формируемых в процессоре БЦВМ. Этот режим используется в тех случаях, когда время обращения к каналу не превышает нескольких циклов работы БЦВМ, то есть соответствует времени выполнения большинства команд машины.

Во *втором режиме* ввод и вывод информации выполняется с помощью аналогичных команд ввода-вывода, но формируемых в УВВ и называемых непрограммированными, так как в программах их нет. Выполнение этих команд требует организации прерывания исполнения текущей программы. Данный режим применяется в тех случаях, когда время преобразования информации значительно превышает время цикла работы БЦВМ. Поэтому обращение к каналам с преобразователями такого типа с помощью команд, помещенных в программу, требует длительной остановки машины для ожидания окончания преобразования. Такая организация ввода-вывода привела бы к значительному снижению эффективного быстродействия БЦВМ.

В *третьем режиме* производится прерывание исполняемой в данный момент программы и перевод БЦВМ на исполнение другой программы или подпрограммы. Требования прерывания в виде соответствующих сигналов формируются в бортовых системах или в устройствах БЦВМ.

Сигналы прерывания поступают в УВВ, где выполняется их анализ. По результатам этого анализа схемно вырабатывается непрограммированная команда типа СОД, с помощью которой БЦВМ переводится на исполнение затребованной программы.

Так как БЦВМ третьего поколения являются в основном одноадресными, то команды ввода-вывода в своей адресной части указывают номер (адрес) канала, к которому подключен датчик или исполнительное (индикаторное) устройство или номер ячейки ОЗУ, в которую информация принимается или из которой выдается. Следовательно, в таких БЦВМ ячейки ОЗУ должны быть закреплены за каналами связи. При обмене информацией с АУ в команде указывается лишь номер канала.

4.2. Ввод и вывод информации в БЦВМ

Ввод информации в таком режиме осуществляется с помощью преобразователей ПДМ и МПЧ. Вывод информации через преобразователи ПМД и МПКА. Кроме того, с помощью команд ввода и вывода осуществляется обмен информацией между процессором и узлами УВВ. Таким узлом является, например, счетчик времени.

В процессе исполнения программы считанная из ПЗУ команда ввода или вывода пересылается в регистр команд БЦВМ (рис.4.1). По коду операции

формируются сигналы управления вводом и выводом. Адресная часть команды пересылается в регистр адреса (D1) устройства управления УВВ.

В зависимости от типа команды адрес поступает в дешифратор либо входных, либо выходных каналов.

Для ввода информации от датчиков, выдающих битовые сигналы или параллельные коды, в БЦВМ используются команды ввода типа ВОУ и ВНУ. При этом соответствующая группа датчиков по значению адреса команды через коммутатор подключается к преобразователю ПДМ.

В результате преобразования в регистре RG1 образуется код, который через сборку “Код из УВВ” пересылается либо в ячейку ОЗУ по адресу, соответствующему адресной части команды, либо в АУ.

В УВВ имеется счетчик времени (таймер) управляемый тактовыми импульсами (ТИ). Код, формируемый счетчиком, пропорционален текущему времени. Этот код может быть записан в ОЗУ с помощью команды ввода, адресная часть которой обеспечивает пересылку его через сборку “Код из УВВ”.

При исполнении команды вывода число считывается из ОЗУ или выбирается из АУ и через сборку “Код в УВВ” передается в УВВ, где, в зависимости от адреса (номера канала), принимается в соответствующий регистр одного из преобразователей выходных каналов. Если, например, код выдан в регистр RG1 ПМД, то в результате его преобразования формируются битовые сигналы или параллельный код, которые выдаются в бортовые системы. Число этих сигналов определяется разрядностью регистров RG.

Вывод информации через преобразователь МПКА выполняется аналогичным образом. В зависимости от адреса команды вывода код из БЦВМ принимается в один из регистров этого преобразователя (RG5.1...RG5.i), где сохраняется до следующего обращения БЦВМ к этому каналу. Код, принятый в регистр, преобразуется в аналоговый сигнал, например, в напряжение, который поступает в соответствующую систему комплекса.

Ввод информации от многоканального преобразователя частота-код (МПЧ) также выполняется с помощью команд типа ВОУ. На вход преобразователя от датчиков поступает информация в виде сигналов соответствующей частоты. Преобразователь содержит счетчик, который считает поступающие импульсы в течение строго определенного промежутка времени, задаваемого счетчиком времени. В результате счета в счетчике формируется код, пропорциональный входной информации.

С помощью команды ввода информация, полученная в счетчике, через сборку “Число из УВВ” пересылается в ОЗУ. Очевидно, ввод информации из МПЧ должен выполняться не в любой момент времени, а по истечении определенного времени, задаваемого счетчиком времени, например, после каждого сигнала “Цикл”. Одновременно по сигналу “Цикл” (или, например, через два таких сигнала) содержимое счетчика номеров каналов увеличивается

на единицу и начинается аналогичный процесс преобразования информации, поступающей от следующего канала.

После ввода информации по всем каналам снова к преобразователю подключается первый канал.

5. Программное обеспечение БЦВМ

5.1. Программное обеспечение БЦВМ, его функциональное назначение

Эффективность использования современных БЦВМ существенным образом зависит от их оснащения средствами математического (программного) обеспечения. В связи с этим, остро встает проблема разработки и использования математического обеспечения БЦВМ, и особенно БЦВМ, разработка которых существенно превышает трудозатраты на проектирование самих вычислительных машин.

Математическое обеспечение - это совокупность программных средств, обеспечивающих решение комплекса задач с высокой эффективностью использования вычислительной машины или системы, облегчающих ее эксплуатацию и повышающих надежность работы.

Состав математического обеспечения (МО) с позиций его предназначения можно разделить на следующие две группы:

- систему МО, непосредственно осуществляющего вычислительный процесс в БЦВМ и называемого для краткости внутренним;
- систему программирования, которую часто называют системой автоматизации программирования, или внешним МО.

Первая группа МО имеет в своем составе следующие части:

- программы организации вычислительного процесса;
- программы алгоритмов решаемых задач;
- программы управления вводом и выводом информации;
- программы функционального контроля.

Первая часть этой группы представляет собой, совокупность программ управляющих вычислительным процессом машины. Эта часть входит в состав операционной системы.

Операционная система в общем случае содержит:

- программы начального пуска БЦВМ, осуществляющие настройку операционной системы на заданный режим работы;
- программы диспетчеризации вычислений, выполняющие управление последовательностью решения задач;
- программы диспетчеризации обмена информацией с внешними устройствами, пультами операторов, например, летчика;
- программы взаимодействия комплексированных БЦВМ.

Вторая часть, представляющая программы алгоритмов решаемых задач, обеспечивает непосредственное решение задач.

Третья часть содержит программы, управляющие вводом информации от датчиков и обеспечивающие вывод результатов решения основных и

контрольных задач на индикаторные, исполнительные и другие внешние устройства.

Четвертая часть - программы функционального контроля, предназначенные для проверки исправности БЦВМ и систем, взаимодействующих с ней.

Вторая группа МО – система автоматизации программирования. Она обеспечивает формирование рабочих программ решаемых задач на внутреннем языке БЦВМ. Система подготовки программ содержит:

- алгоритмические языки;
- трансляторы, обеспечивающие автоматический перевод с алгоритмического языка на внутренний язык БЦВМ;
- библиотеки стандартных программ;
- системные обслуживающие программы, организующие компоновку программ из нескольких отдельно транслированных программных модулей, перепись информации с одних носителей на другие, сортировку.

Внешнее математическое обеспечение содержит специальные программы, позволяющие создавать математические и полунатурные модели БЦВМ. С помощью таких моделей выполняется выбор и обоснование требуемой архитектуры и характеристик БЦВМ, производится отработка технических программ (внутреннего МО), которые затем записываются (прошиваются) в ПЗУ. Математические модели БЦВМ обычно реализуются на БЦВМ общего назначения. При этом программы модели, записанные на алгоритмическом языке высокого уровня, интерпретируют операторы этого языка с помощью команд БЦВМ.

5.2. Состав математического обеспечения БЦВМ

Основной функцией операционной системы является организация вычислительного процесса, удовлетворяющего требованиям работы комплекса в натуральном (реальном) масштабе времени.

Программы, входящие в группу наивысшей частоты, исполняются в каждом цикле (Тц) работы машины, который задается счетчиком времени. В этом случае все другие программы исполняются с меньшей частотой и могут прерываться на время выполнения программ более высокочастотной группы. Организация таких прерываний инициируется счетчиком времени (таймером) и выполняется операционной системой.

В процессе выполнения программ любой частотной группы в машину могут поступать сигналы прерывания от бортовых систем, требующие перевода БЦВМ на исполнение соответствующих специальных программ. При этом прерванная программа продолжает исполняться после окончания выполнения программы, затребованной сигналом прерывания. Организация вычислительного процесса в режимах прерывания, перевод машины на продолжение исполнения прерванной программы осуществляется операционной системой.

Для бортовых управляющих машин важным является выдача результатов решения задач на индикаторные и исполнительные устройства с требуемой частотой. Кроме того, необходимо контролировать правильность выполняемых вычислений. Организация режимов контроля как самой БЦВМ, так и бортовых систем возлагается на операционную систему.

В случае появления сбоев в вычислениях или отказов устройств операционная система организует обработку информации о сбоях и восстановление работоспособности системы, если такая возможность имеется.

Наличие операционной системы позволяет существенным образом разгрузить основные программы решаемых задач от функций, связанных с организацией вычислительного процесса. Операционная система является машинно-ориентированной. Однако ей присуща, в известной мере, и универсальность.

Возможности операционной системы определяются не только совокупностью программных средств, но также и аппаратными (схемными) средствами. В аппаратные средства входят схемы приема сигналов прерывания, схемы масок, счетчики времени, схемы переключения режимов работы БЦВМ и т.д.

К операционной системе БЦВМ предъявляются следующие требования:

- адаптируемость к конфигурации вычислительной системы определенной архитектуры;
- обеспечение минимального времени вывода машины на заданный режим работы комплекса;
- экономичность по занимаемой памяти;
- возможность изменения состава и структуры задач, решаемых комплексом, без существенного перепрограммирования всей системы;
- обеспечение максимального использования вычислительных возможностей БЦВМ или БЦВС.

Разрешение этих требований, которые являются противоречивыми, достигается за счет рационального построения программ операционной системы и эффективного использования аппаратных средств. Программы операционной системы составляют первую часть МО.

Программы второй части МО, в которую входят программы алгоритмов основных задач, занимают наибольшую часть емкости памяти и основную долю машинного времени. По результатам исполнения программ этой части формируется информация, которая выдается на исполнительные, индикаторные и другие устройства с помощью программ третьей части МО.

С помощью программ второй части МО реализуются алгоритмы задач режимов работы комплекса.

При этом длина каждой программы, характеризуемая количеством используемых команд и констант, существенно зависит от численных методов, выбранных для решения задач данного режима.

Так как программы режимов работы комплекса имеют однотипные части, то с целью сокращения памяти, используемой для их хранения. Все типовые части программ оформляются в виде частных блоков (модулей). Примером такого частного модуля может быть, например, программа управления индикатором

Выбор требуемого состава частных блоков и организация их исполнения в соответствующей последовательности выполняется диспетчером операционной системы на основании информации, получаемой от пультов управления и бортовых систем комплекса.

Четвертая часть МО – программы функционального контроля. Предназначены для проверки исправности как самой БЦВМ, так и систем, взаимодействующих с ней. Система функционального контроля БЦВМ обеспечивает возможность проверки состояния машины перед полетом, контроль исправности и функционирования БЦВМ в процессе ее работы в составе бортового комплекса в полете, выполнение диагностических процедур при обнаружении отказов при выполнении регламентных работ.

5.3. Программно-математическое обеспечение контроля БЦВМ

Программный контроль осуществляется с помощью специальных программ-тестов, имеющих обычно в комплексе программ технического обслуживания, входящем в состав математического обеспечения БЦВМ. Тесты предназначаются для проверки правильности функционирования, как отдельных устройств, так и машин в целом при их наладке и контроле в процессе профилактики, а также при поиске причин возникновения ошибок в ходе выполнения программ решаемых задач. В связи с этим различают тесты ***наладочные, проверочные и диагностические***.

Программы технического обслуживания позволяют быстро реагировать на все обнаруживаемые ошибки и сигналы прерываний от систем аппаратного контроля.

Среди методов программного контроля наибольшее распространение получили:

- метод двойного-тройного теста;
- контроль по приращениям и экстремальным значениям;
- тестовый контроль.

Метод ***двойного-тройного счета*** требует выполнения вычислений по одному и тому же алгоритму два раза с последующим сравнением результатов. При получении различных результатов выполняется третий счет. Метод существенно снижает производительность БЦВМ и не позволяет обнаруживать устойчивые связи.

Контроль по приращениям и экстремальным значениям используется, главным образом, в управляющих БЦВМ, например БЦВМ, которые выполняют решения одних и тех же задач с определенной частотой. Можно из физических соображений определить пределы, в которых должны лежать рассматриваемые параметры, и, контролируя их выход за пределы,

обнаруживать факты неправильной работы БЦВМ. Например, задача навигации решается с частотой 10 - 50 раз в секунду. Результаты решения выдаются на индикаторы в виде перемещения меток, указателей, отклонения стрелок. При такой частоте перемещение воспринимается летчиком как непрерывное. Из ТТТ можно задать максимальные пределы скорости перемещения тех или иных информационных символов от решения к решению. Если скорость перемещения превысила допустимые значения, то это свидетельствует о нарушениях в работе БЦВМ или бортовых систем.

БЦВМ также имеют развитый *программный контроль*, обеспечивающий проверку работоспособности машины как при работе в составе бортовой системы, так и при работе в автономном режиме.

Контроль работы БЦВМ в составе бортовой системы выполняется с помощью *теста встроенного контроля* (ТВК). Программа ТВК размещается в ПЗУ машины вместе с рабочей программой.

При автономной проверке БЦВМ используется тест встроенного контроля, а также *тест автономного контроля* (АТК). Программа АТК обычно размещается в ПЗУ, входящем в состав контрольно-проверочной аппаратуры (КПА). Следовательно, АТК используется только при подключении КПА к БЦВМ. Программы АТК обеспечивают проверку работы БЦВМ с существенно большей достоверностью, чем ТВК.

Программные средства контроля БЦВМ достаточно разнообразны, так как на них накладывают свой отпечаток назначение, структура и характеристики машины, ее система команд, а в машинах с микропрограммным управлением и система микрокоманд. Поэтому, из всего многообразия программных средств, далее рассмотрены принципы построения ТВК и организация его исполнения применительно к БЦВМ третьего поколения.

Программы теста встроенного контроля исполняются во всех режимах работы БЦВМ. Обращение к ТВК при работе БЦВМ в составе бортовой системы, например в полете, осуществляется программой диспетчера по сигналам прерывания от счетчика времени. Тест встроенного контроля обычно состоит из четырех ветвей. Первая из этих ветвей проверяет УАУ (устройство арифметическое и управляющее), вторая – ПЗУ (постоянное запоминающее устройство), третья – ОЗУ (оперативное запоминающее устройство), четвертая – УВВ (устройство ввода-вывода).

Исполнение всех программ ТВК обычно требует большого машинного времени, которое выделить в режимах решения основных задач не представляется возможным. Поэтому весь ТВК алгоритмически разбивается на части, исполнение каждой из которых занимает небольшое машинное время, например, несколько миллисекунд. В этом случае наряду с периодическим исполнением программ боевых задач диспетчер периодически переводит БЦВМ на исполнение ТВК.

Ветви УАУ и УВВ осуществляют полную проверку устройств за одно обращение к ним и поэтому на более мелкие части не разбиваются. Ветвь ПЗУ

проверяет устройство при его полной комплектации за 68 обращений и, следовательно, образует 68 частей, а ветвь ОЗУ проверяет устройство за 16 обращений (16 частей). Ветви ПЗУ и ОЗУ имеют в своем составе диспетчеры, обеспечивающие при повторных обращениях к ним продолжение проверки до ее завершения.

Порядком обращения к ветвям ТВК управляет счетчик по mod4. После исполнения ветви содержимое счетчика увеличивается на единицу, если результат контроля оказался положительным. Ветвь УАУ имеет номер 00, ветвь ПЗУ – 01, ветвь ОЗУ – 10 и ветвь УВВ – 11. Очевидно, что после исполнения ветви УВВ содержимое счетчика ветвей снова принимает значение 00 и при очередном обращении к ТВК начинает очередной раз исполняться ветвь УАУ и т. д.

На рис.5.1 приведен один из вариантов временных диаграмм, поясняющих очередность исполнения рабочей программы и программы ТВК.

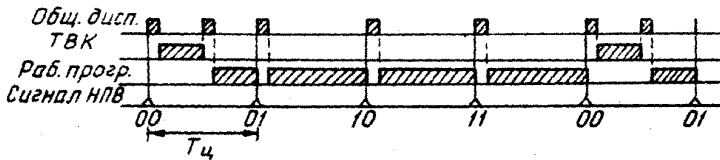


Рис.5.1 Временная диаграмма БЦВМ

Как следует из диаграммы, работа БЦВМ периодически прерывается сигналами непрограммированного прерывания вычислений (НПВ), формируемыми счетчиком времени. Общий диспетчер содержит счетчик сигналов НПВ. Два младших разряда этого счетчика определяют номер цикла (00, 01, 10, 00, ...). При каждом прерывании начинается исполнение программы общего диспетчера, именуемая далее диспетчером.

В цикле 00 диспетчер передает управление программе ТВК, в которой исполняется очередная часть. При этом на исполнение части ТВК затрачивается время, существенно меньшее времени цикла ($T_{ц}$). После исполнения части ТВК его собственный диспетчер передает управление диспетчеру, который организует исполнение основной рабочей программы режима работы бортовой системы.

Рабочая программа прерывается сигналом НПВ с номером 01. При этом начинается исполнение диспетчера, который, выполнив анализ номера цикла, снова передает управление рабочей программе. Аналогичные процессы происходят в циклах 10 и 11.

После цикла 11 следует сигнал НПВ и начинается цикл с номером 00. В этом цикле диспетчер вновь передает управление программе ТВК, в которой исполняется следующая его часть и т. д. Таким образом, обращение к

программе ТВК происходит один раз за четыре цикла и это не приводит к заметному снижению производительности БЦВМ при решении навигационных задач.

На рис.5.2 приведена схема алгоритма организации вычислительного процесса машины в соответствии с временными диаграммами, изображенными на рис.5.1.

При каждом сигнале прерывания (НПВ) счетчика времени в УВВ формируется непрограммированная команда (НК), которая переводит БЦВМ на исполнение программы диспетчера (оператор 2). Третий оператор диспетчера образует счетчик сигналов НПВ, содержимое которого анализируется четвертым оператором.

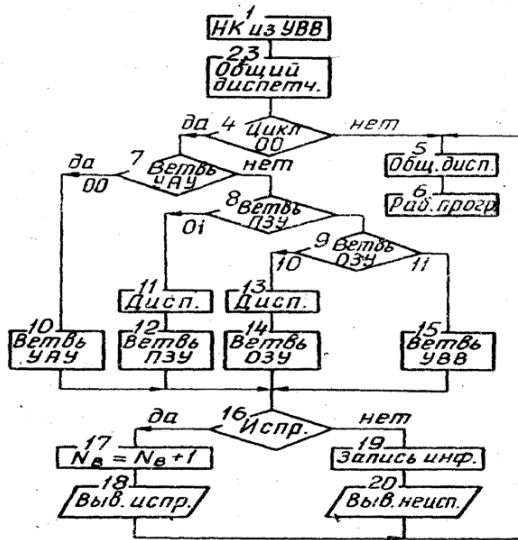


Рис.5.2. Алгоритм ТВК

Если номер цикла имеет значение 00, то управление передается программе ТВК, которая начинается с оператора 7.

Если цикл имеет номер, отличный от 00, то оператор 4 передает управление продолжению программы общего диспетчера (оператор 5), который, выполнив анализ типа включенного режима, организует исполнение соответствующей рабочей программы (оператор 6).

В цикле 00 операторы 7, 8, 9 выполняют анализ содержимого счетчика ветвей (оператор 17).

Если содержимое счетчика ветвей имеет значение 00, то начинает исполняться ветвь контроля УАУ (оператор 10). При значении 01 управление передается операторам 11 и 12, организующим выполнение ветви контроля ПЗУ. При этом диспетчер ветви (оператор 11) управляет процессом исполнения

соответствующей части этой ветви. Оператор 9 передает управление ветви контроля ОЗУ, если содержимое счетчика ветвей имеет значение 10, или ветви контроля УВВ при значении этого счетчика 11.

После исполнения соответствующей ветви оператор 16 анализирует признак правильного выполнения данной ветви. Если ветвь выполнена правильно, то оператор 17 увеличивает содержимое счетчика ветвей на единицу и при этом оказывается сформированным номер следующей ветви, которая начнет исполняться при очередном цикле 00. Оператор 18 производит вывод информации на индикацию результатов контроля. Далее исполняется общий диспетчер (оператор 5) и соответствующая рабочая программа.

Заметим, что ветви ПЗУ и ОЗУ выполняются по частям в каждом цикле НПВ 00. Для того чтобы оператор 17 не изменил номер проверяемой ветви до полной ее проверки диспетчер ветви (операторы 11 или 13) при каждом обращении к ним уменьшает содержимое номера ветвей на единицу. Поэтому оператор 17 при каждом исполнении лишь восстанавливает номер проверяемой ветви. Когда же вся ветвь исполнена, уменьшение содержимого счетчика ветвей не производится и поэтому с помощью оператора 17 происходит переключение ветвей.

Если в результате исполнения какой-либо ветви обнаружена ошибка, то оператор 16 передает управление оператору 19, который производит запись информации о сбое в соответствующую ячейку ОЗУ, а оператор 20 организует индикацию. Далее управление также передается операторам 5 и 6. Заметим, что в этом случае переключение проверяемых ветвей не происходит, и в следующем цикле обращения к ТВК снова будет исполняться эта же ветвь контроля.

Познакомимся теперь с содержанием ветвей ТВК.

Ветвь УАУ. Ветвь контроля УАУ представляет собой набор примеров с известными ответами. Программа примеров, а также ответы на них записаны в ПЗУ. В процессе контроля, последовательно, один за другим исполняются все примеры теста, при этом проверяется правильность функционирования УАУ при выполнении всех команд, предусмотренных системой команд машины.

Ветвь ПЗУ. Контроль ПЗУ предусматривает проверку работы дешифраторов адреса и разрядных цепей ПЗУ путем считывания информации из фиксированных ячеек и сравнения считанных чисел с константами, формируемыми по определенному алгоритму. В этой же ветви выполняется контрольное суммирование массивов информации, хранимой в ПЗУ. Сформированные при этом контрольные суммы позволяют судить о правильности работы ПЗУ. Для упрощения алгоритма проверки контрольные суммы каждого квадрата (страницы) с помощью специально дополнительно записанных констант нормируются так, чтобы они оказались одинаковыми или заданными.

Накопление контрольной суммы одного квадрата и ее сравнение со стандартной обычно выполняется за одно обращение к ветви ТВК. Переход от контроля одного квадрата к другому управляется диспетчером ветви.

Ветвь ОЗУ. Контроль ОЗУ также предусматривает проверку работы адресных схем путем записи и последующего считывания различающихся между собой чисел в различных ячейках памяти. Номера ячеек подбираются так, чтобы проверить все адресные цепи. В процессе проверки информация в ячейках не разрушается. Кроме того, проверяется правильность хранения информации в самих ячейках.

Во втором случае выполняется считывание числа из контролируемой ячейки. Считанное число запоминается, а в контролируемую ячейку записывается инверсия считанного числа. Если в результате поразрядного логического умножения считанного числа и записанного с инверсией этого же числа получится код 00 ... 0, то это означает, что каждый разряд ячейки может хранить единицу и 0. После проверки информация в ячейке восстанавливается и поэтому не влияет на процесс исполнения рабочих программ БЦВМ.

Ветвь УВВ. Проверка УВВ предусматривает ввод или вывод в БЦВМ информации через так называемые контрольные каналы. Несколько таких каналов предусматривается для проверки каждого многоканального преобразователя.

Для проверки входных контрольных каналов к ним подключаются имитаторы датчиков. Информация, формируемая датчиками-имитаторами, является известной. Поэтому контроль выполняется путем сравнения введенной информации с эталонной, хранящейся в ПЗУ машины.

Для проверки выходных контрольных каналов в БЦВМ формируется контрольный код, который выдается через выбранный контрольный канал. Выход контрольного канала подключается к одному из входных контрольных каналов. В результате в машину поступает сформированный код, переданный через контрольные каналы. Сравнение исходного кода с полученным позволяет судить об исправности каналов и о точности их работы.

5.4. Организация вычислительного процесса в БЦВМ

Организация вычислительного процесса ЭВМ существенным образом определяется их назначением. В ЭВМ общего назначения вычислительный процесс может выполняться как в однопрограммном, так и в мультипрограммном режимах. Однопрограммный режим используется в ЭВМ небольшой мощности, например, в ЭВМ персонального типа. В мощных ЭВМ вычислительных центров реализуются, главным образом, мультипрограммные режимы работы с пакетной обработкой и разделением времени.

Режим пакетной обработки характерен тем, что программы задач, подлежащих решению, формируются в пакет, который вводится в память ЭВМ. После этого пакет программ исполняется в мультипрограммном режиме. Порядок исполнения программ, входящих в пакет, организуется управляющей

программой (диспетчером) операционной системы. Диспетчер выбирает программы или их части из пакета и передает на обработку в соответствии с реализованной в ЭВМ дисциплиной обслуживания. Дисциплина обслуживания определяет порядок учета приоритетов, присвоенных программам. Приоритеты определяются степенью важности задач и их связанностью. В первую очередь выполняются программы с высшим приоритетом. Операционная система так организует работу ЭВМ, чтобы суммарное время решения задач пакета было минимальным. После исполнения программ пакета результаты выдаются пользователям. При реализации режима пакетной обработки пользователи не имеют возможности оперативно вмешиваться в процесс выполнения своих программ, изменять, например, параметры. Этот недостаток устраняется при реализации мультипрограммного режима с разделением времени.

Режим мультипрограммной обработки с разделением времени обеспечивает последовательное (или по специальному закону) переключение ЭВМ на исполнение какой-либо программы или ее части. При каждом переходе ЭВМ к исполнению данной программы пользователь имеет возможность изменять параметры или условия задачи.

Если в течении времени, выделенного операционной системой для работы с данным пользователем, выполнение программы не заканчивается, то программа прерывается и становится в очередь программ в соответствии с установленным для нее приоритетом и дисциплиной обслуживания.

Очевидно, поток заявок на решение задач от пользователей или от систем, подключенных к ЭВМ, является случайным. При этом образуется очередь на обслуживание заявок. Исполнение заявок организуется операционной системой. Таким образом, режим разделения времени позволяет нескольким пользователям или системам одновременно взаимодействовать с ЭВМ.

БЦВМ относятся к классу управляющих ЭВМ. Для них характерно циклическое исполнение ряда программ. При этом набор исполняемых программ и частота их исполнения определяются режимами работы бортового комплекса.

В БЦВМ для каждого режима набор (пакет) исполняемых программ определен. Определены также очередность и частота исполнения программ. В БЦВМ реализуется режим разделения времени для неслучайного набора (пакета) программ.

Реализация пакета программ в БЦВМ может быть организована по:

- асинхронному принципу;
- синхронному принципу;
- синхронно-асинхронному принципу.

При асинхронном принципе организации вычислительного процесса частота решения задач не остается постоянной. Она определяется как параметрами самой задачи, так и составом решаемых задач.

При синхронном принципе частота решения задач остается постоянной.

При синхронно-асинхронном принципе часть задач решается с постоянной частотой, а часть задач решается с темпом, определяемым характеристиками задачи в асинхронном режиме.

Рассмотрим основные способы организации вычислительного процесса в БЦВМ.

5.4.1. Асинхронный принцип организации вычислительного процесса

Организация вычислительного процесса асинхронным способом предполагает последовательное исполнение всех программ данного режима работы бортового комплекса. На рис.5.3 приведен пример временной диаграммы вычислительного процесса в асинхронном режиме.

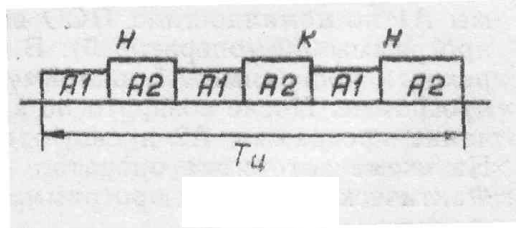


Рис.5.3. Временная диаграмма асинхронного вычислительного процесса

В течение времени цикла $T_{ц}$ i последовательно выполняются программы A1, A2, A3. После этого начинается новый цикл их исполнения в течение времени $T_{ц}$ $i + 1$. В общем случае $T_{ц}$ $i \neq T_{ц} i + 1$ и, следовательно, частота решения задачи является переменной. Это может определяться, например, наличием в программах разветвляющихся участков с различным числом команд, циклических процессов с неизвестным числом циклов.

На рис.5.4 приведена схема алгоритма управляющей программы асинхронного вычислительного процесса, соответствующего временной диаграмме, изображенной на рис.5.3.

При включении блока питания (БП) в счетчик команд (СКП) схемно записывается адрес первой команды программы начального включения (оператор 1). Эта программа подготавливает БЦВМ к работе и передает управление оператору 2., который представляет собой программу опроса пультов и щитков управления вооружением самолета (ПУ).

Принятая от пультов информация, характеризующая режим А, режим Б и т. д., анализируется операторами 3 и 4.

Пусть временная диаграмма 5.3 соответствует режиму А. Если включен режим А, то оператор 3 передает управление программе A1 (оператор 5), после исполнения которой выполняется программа A2 (оператор 6) и далее программа A3 (оператор 7). Пусть программа A3 представляет собой программу теста встроенного контроля (ТВК) БЦВМ. В результате ее

исполнения проверяется исправность БЦВМ. Если БЦВМ исправна, то в соответствующий разряд определенной ячейки ОЗУ записывается единица.

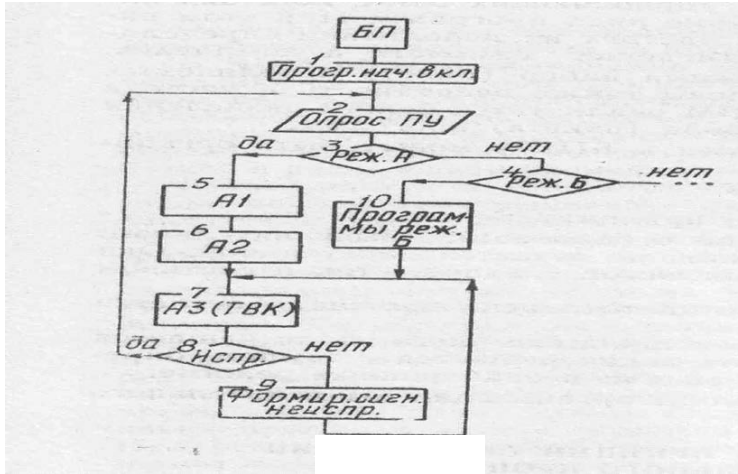


Рис.5.4 Алгоритм управляющей программы асинхронного процесса

Оператор 8 анализирует значение этого разряда. При единичном его значении управление передается на начало оператора 2, и цикл исполнения программ данного режима повторяется.

Если признак исправности оказывается равным нулю, то управление передается на оператор 9, который организует формирование сигнала неисправности. После оператора 9 снова начинает исполняться программа ТВК (оператор 7) и т.д. до тех пор, пока не появится сигнал исправности БЦВМ.

При изменении режима после очередного исполнения операторов 2 и 3 управление будет передано оператору 4. Если при этом установлен режим Б, то начинают в аналогичном порядке исполняться программы этого режима (оператор 10), которые также заканчиваются переходом к программе ТВК (оператор 7).

Заметим, что в данной схеме операторы 3, 4 и 8 исполняют роль простейшего диспетчера, организующего вычислительный процесс. В рассмотренном вычислительном процессе частота решения задач определяется длиной (количеством исполняемых команд) программ и типом режима.

Асинхронный вычислительный процесс может быть организован и с прерыванием программы, требующей для своего исполнения большого времени. При этом предполагается программное прерывание текущей программы. В этом случае частота исполнения программ данного режима может быть сделана разной.

На рис.5.5 приведена схема алгоритма вычислительного процесса, соответствующего временной диаграмме, изображенной на рис.5.3.

Назначение операторов 1, 2, 3 и 4 в этой схеме такое же, как и в предыдущей.

Пусть временная диаграмма соответствует режиму А. Если включен режим А, то оператор 3 передает управление А1 (оператор 9). После исполнения программы А1 по команде типа ПСО выполняется переход на начало программы А2 (оператор 6). В программе А2 организуется переход к программе А1, например: по команде СОД, как к подпрограмме. После возврата по команде ПСО выполняется окончание программы А2 и еще одно обращение к программе А1. На схеме алгоритма оператор А1 условно показан три раза. Фактически это одна программа, к которой организовано обращение.

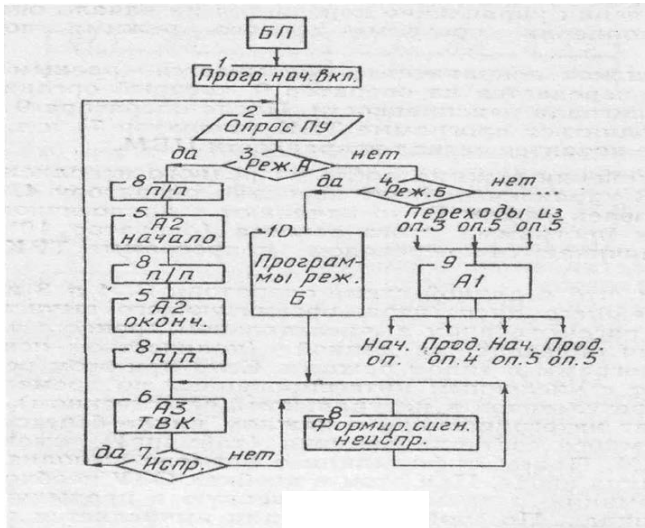


Рис.5.5 Алгоритм вычислительного процесса

В рассмотренных схемах организации вычислительного процесса перевод БЦВМ на решение задач другого режима возможен только после того, как будет завершено исполнение тех программ, которые в данный момент выполняет машина. Асинхронный принцип организации вычислительного процесса в БЦВМ реализуется, как правило, лишь для некоторых режимов.

5.4.2. Синхронный принцип организации вычислительного процесса

Синхронный принцип организации вычислительного процесса характерен тем, что длительность циклов в нем и частота решения задач постоянны. Начало каждого нового цикла в синхронном вычислительном процессе задается сигналами точного времени, поступающими от счетчика времени (таймера). Счетчик времени формирует код, пропорциональный текущему времени.

При синхронном вычислительном процессе программы, которые должны исполняться с максимальной частотой, выполняются в каждом цикле, если возможности БЦВМ по быстродействию позволяют это сделать. Программы, частота которых может быть меньшей или по возможностям машины за один цикл решение не может быть выполнено, исполняются один раз в два, три и большее циклов. Такая организация позволяет рационально использовать вычислительные возможности машины.

Каждый цикл начинается с выполнения управляющей программы - общего диспетчера, организующего вычислительный процесс в цикле.

Перевод машины на исполнение программы диспетчера связан с прерыванием программ, выполнявшихся и не оконченных в предыдущем цикле. В зависимости от заданной временной диаграммы окончание прерванной программы может быть организовано в последующих циклах.

При реализации режима прерывания организуется запоминание содержимого счетчика команд и регистров. Такой процесс называется запоминанием состояния машины (ЗСМ). Для продолжения исполнения прерванной программы запомненная информация возвращается в регистры и счетчик команд. Этот процесс называется восстановлением состояния машины (ВСМ).

Применительно к схеме БЦВМ третьего поколения процесс запоминания состояния машины сводится к последовательному исполнению команд, с помощью которых в ячейках ОЗУ запоминается содержимое счетчика команд (СКП), индексного регистра (ИР), регистров арифметического устройства РА и РН и регистра масок РМ. Восстановление состояния машины выполняется в обратной последовательности, то есть из соответствующих ячеек ОЗУ возвращается информация в РМ, РН, РА, ИР и СКП. При этом содержимое СКП возвращается увеличенным на единицу.

Рассмотрим подробно организацию вычислительного процесса синхронным способом применительно к временным диаграммам, приведенным на рис.5.6.

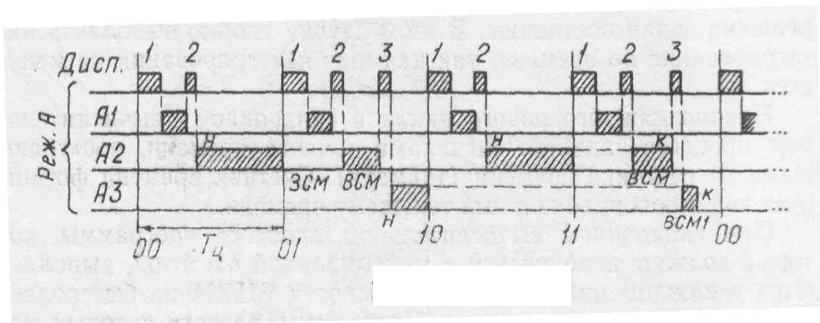


Рис.5.6. Организация вычислительного процесса синхронным способом

Предполагается, что данная временная диаграмма соответствует режиму А, в котором с заданной частотой исполняются программы А1, А2 и А3. Временные диаграммы других режимов аналогичны и отличаются составом исполняемых программ. Для конкретности в дальнейшем используется система команд и схемная реализация БЦВМ третьего поколения.

Вычислительный процесс режима А состоит из четырех циклов, каждый из которых имеет свой номер: 11, 01, 10 и 11, после чего циклы повторяются в такой же последовательности.

Частота решения задач, исходя из ТТТ на режим, выбрана следующей:

- программа А1 в каждом цикле;
- программа А2 один раз в два цикла;
- программа А3 один раз в четыре цикла.

В начале каждого цикла начинается программа диспетчера, в функции которой входит организация вычислительного процесса в соответствии с заданной временной диаграммой данного цикла.

Первая часть диспетчера в каждом цикле организует запоминание состояния машины на момент прерывания, выполняет счет числа циклов по НПВ Т, опрашивает пульт управления комплексом и выполняет анализ типа установленного режима. Счетчик циклов организуется в ячейке ОЗУ. Два машинный разряда этой ячейки дают номер цикла.

Если включен режим А, то первая часть диспетчера передает управление программе А1.

После исполнения программы А1 в цикле 00 и 10 вторая часть диспетчера передает управление на начало программы А2, которая исполняется в течение всего времени цикла 00 или 10. Выполнение программы А2 в цикле 00 продолжается до начала следующего (01) цикла. По сигналу счетчика времени выполнение программы А2 прерывается и начинается исполнение программы диспетчера, который организует запоминание места прерывания программы А2. После исполнения в цикле 01 программы А1 вторая часть диспетчера восстанавливает состояние машины, при этом организуется продолжение исполнения программы А2, по окончании которой управление передается на начало программы А3. Исполнение программы А3 прерывается циклом 10.

В цикле 10 сначала выполняется программа А1, после которой управление передается на исполнение программы А2, которая прерывается циклом 11. Заметим, что в начале цикла 11 оказываются прерванными две программы А2 и А3. Поэтому запоминание места прерывания этих программ необходимо выполнять в двух областях ОЗУ.

В цикле 11 после исполнения программы А1 вначале организуется продолжение выполнения программы А2, а после ее окончания производится восстановление состояния машины (ВСМ1) из области ОЗУ, в которой хранилась информация о месте прерывания программы А3.

После окончания программы АЗ в машине организуется динамический останов до следующего цикла 00. По очередному сигналу счетчика времени начинается цикл 00, и рассмотренный вычислительный процесс повторяется.

На рис.5.7 приведена схема алгоритма синхронного вычислительного процесса, соответствующего временным диаграммам на рис.5.6.

По сигналу счетчика времени формируется сигнал непрограммированного прерывания вычислений (НПВ), который поступает в устройство управления машины, блокируя исполнение очередной команды. Одновременно схемно формируется непрограммированная команда (НК) типа СОД, обеспечивающая запоминание в ОЗУ содержимого счетчика команд, определяющего место прерывания. По этой же команде из ПЗУ в СКП пересылается адрес первой команды диспетчера, который начинается с оператора 1.

В первом операторе организуется запоминание содержимого регистров ИР, РА, РН, РМ, то есть происходит запоминание состояния машины (ЗСМ).

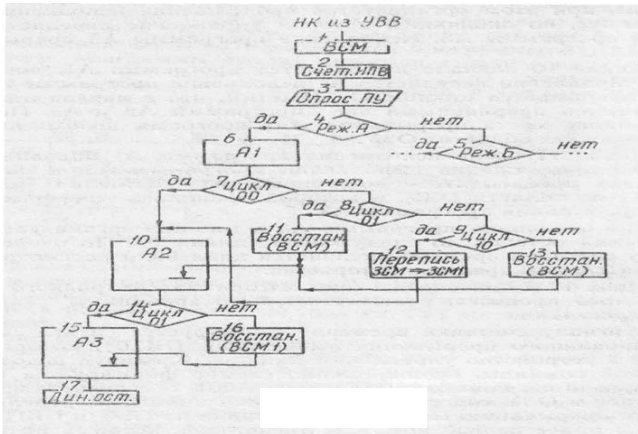


Рис.5.7. Алгоритм синхронного вычислительного процесса

В операторе 2 выполняется команда АМЧ, обеспечивающая прибавление единицы к содержимому определенной ячейки ОЗУ. Следовательно, этот оператор представляет собой программный счетчик числа циклов. Два младших разряда ячейки ОЗУ определяют номер цикла (00, 01, 10, 11). Все содержимое ячейки дает полное время работы машины (Т) с дискретностью в T_c , определяемое соотношением:

$$T = (2n - 1) \cdot T_c,$$

где n – количество разрядов в ячейке ОЗУ.

Обычно время цикла T_c не превышает 0,1 с, что позволяет организовать решение задач с частотой до 10 раз в секунду.

Третий оператор выполняет опрос информации пульта управления режимами, которая анализируется операторами 4 и 5, входящими в состав первой части диспетчера.

Если включен режим А, то управление передается программе А1 (оператор 6), после исполнения которой выполняется оператор второй части диспетчера.

В цикле 00 оператор 7 передает управление на начало программы А2, которая исполняется до следующего прерывания. При этом исполняется оператор 1, организующий запоминание места прерывания программы А2. По команде АМЧ второго оператора устанавливается номер цикла 01. Далее последовательно выполняются операторы 4, 6, 7 и 8. Так как цикл имеет номер 01, то оператор 11 производит восстановление состояния машины, и исполнение программы А2 продолжается.

После окончания программы А2 оператор 14 третьей части диспетчера в цикле 01 передает управление на начало программы А3.

Если выполняется цикл 10, то оператор 9 передает управление оператору 12, который организует перепись информации, определяющей место прерывания программы А3, в другую область ОЗУ (ЗСМ1). После этого начинается исполнение программы А2 до прерывания циклом 11.

В цикле 11 оператор 1 организует запоминание места прерывания программы А2 (ЗСМ). При этом оказываются прерванными две программы А2 и А3, что соответствует двухуровневому прерыванию. Место прерывания обеих этих программ запомнено в соответствующих областях ОЗУ. В первой области с помощью оператора 1 (ЗСМ) запомнено место прерывания программы А2. Во второй области с помощью оператора 12 (ЗСМ1) запомнено место прерывания программы А3. После выполнения операторов 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 управление передается оператору 13, который организует продолжение исполнения программы А2. по окончании программы А2 оператор 14 диспетчера передает управление оператору 16, который восстанавливает состояние машины из второй области ОЗУ (ВСМ1), обеспечивая продолжение выполнения программы А3. После окончания программы А3 оператор 17 выполняет динамический останов, который реализуется с помощью команды ПУБ.

В рассмотренном примере временная диаграмма представляется четырьмя повторяющимися циклами. Однако количество таких циклов может быть и большим.

5.4.3. Синхронно-асинхронный принцип организации вычислительного процесса

При таком методе организации вычислительного процесса часть задач решается в синхронном режиме, а часть в асинхронном. При этом в синхронном режиме исполняются, в основном, те программы, частота выполнения которых не должна значительно отличаться от частоты циклов. Чаще всего программы исполняются один раз за цикл, один раз за два, четыре и реже за восемь или шестнадцать циклов.

В асинхронном режиме выполняются, в основном, те программы, время исполнения которых составляет многие десятки и даже сотни циклов.

На рис.5.8 приведены примеры временных диаграмм синхронно-асинхронного вычислительного процесса для двух режимов А и Н.

В синхронном режиме выполняются программы А1, А2, А3, Н1 и Н2. При этом программы А1 и Н1 исполняются в каждом цикле и, следовательно, с максимальной частотой. Программы А2 и Н2 выполняются один раз за два цикла. Программа А3 исполняется один раз за четыре цикла.

В асинхронном режиме выполняется программа К. Начинается эта программа в цикле 01, а закончиться может в любом. Поэтому отметка конца этой программы отсутствует.

На рис.5.9 приведена схема алгоритма, обеспечивающая вычислительный процесс в соответствии с изображенными временными диаграммами.

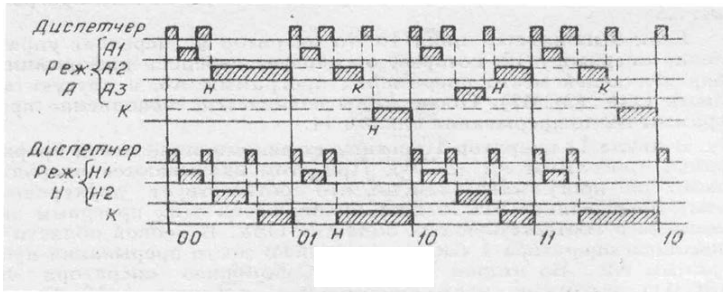


Рис.5.8. Синхронно-асинхронный вычислительный процесс

По сигналу счетчика времени формируется непрограммированная команда (НК). Типа СОД, после чего, как и в предыдущей схеме алгоритма, исполняются операторы 1, 2, 3, 4, входящие в состав диспетчера.

Если включен режим А, то в каждом цикле исполняется программа А1 (оператор 6). Следующие три оператора 7, 8 и 9, входящие в состав диспетчера, выполняют анализ номера цикла.

Если цикл имеет номер 00, то оператор 10 выполняет пересылку места прерывания программы К из первой области ОЗУ (ЗСМ) во вторую (ЗСМ1). Далее управление передается программе А2, исполнение которой прерывается циклом 01. при этом последовательно исполняются операторы 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12. Последний оператор организует продолжение исполнения программы А2, которая заканчивается в этом цикле. Следующим исполняется оператор 15, анализирующий номер цикла. Так как номер цикла 01, то оператор 16 выполняет анализ признака начала исполнения программы К. Если программа К еще не исполнялась, то признак $K = 0$. Поэтому управление передается на начало программы К, где признак К устанавливается равным единице. Если же программа К уже исполнялась ($K = 1$), то после оператора 16 исполняется

оператор 17, анализирующий тип режима. Так как включен режим А, то оператор 19 организует продолжение исполнения программы К, используя информацию из второй области ОЗУ.

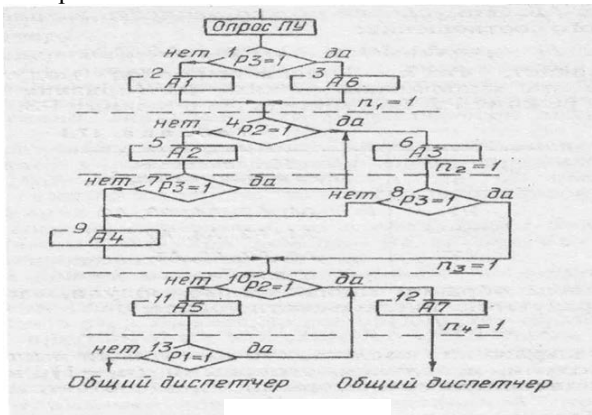


Рис.5.9. Алгоритм синхронно-асинхронного вычислительного процесса

Если выполнение программы К в цикле 01 не заканчивается, то она прерывается циклом 10. При этом выполняются операторы 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9. Далее исполняется программа А3, и после оператора 10 начинается исполнение программы А2 до цикла 11. В цикле 14 организует продолжение исполнения программы А2, после исполнения которой операторы 15, 17, 19 передают управление на продолжение программы К. Если программа К закончилась, то управление передается на ее начало в соответствии с асинхронным вычислительным процессом.

При включении режима Н в очередном цикле диспетчер аналогичным образом организует выполнение программ Н1, Н2 и К в соответствии с заданной временной диаграммой. Заметим, что оператор 22 анализирует четность номера цикла по значению младшего разряда.

Рассмотренный синхронно-асинхронный вычислительный процесс свидетельствует о том, что при такой организации вычислительные возможности БЦВМ используются наиболее рационально.

5.5. Программирование вычислительных процессов

В программе *прямого вычислительного процесса* последовательно и однократно выполняются все без исключения операторы. В этих программах организуется естественный порядок выполнения команд. После выполнения очередной команды содержимое счетчика команд увеличивается на единицу и при этом формируется адрес следующей команды.

В соответствии со схемой алгоритма составляется программа, каждая команда программы размещается в отдельной ячейке ПЗУ (применительно к

БЦВМ), имеющей свой адрес. Все команды прямого алгоритма размещаются в ячейках памяти, адреса которых увеличиваются на единицу. Процесс программирования заключается в выборе последовательности команд, выполнение которых приводит к решению задачи.

Для составления программы удобно пользоваться таблицей, в которую записываются адреса команд, условные обозначения команд (мнемокоды), команды в восьмеричной системе счисления, время выполнения операций и пояснения. Перед составлением программы производится распределение памяти.

Алгоритмы и соответствующие им программы, в которых состав операций и порядок их исполнения определяются полученными ранее условиями, называются *разветвляющимися*. Для организации разветвления в БЦВМ предусмотрена группа команд передачи управления.

Организация разветвления требует нарушения естественного порядка выполнения команд. Для этого необходимо изменить содержимое счетчика команд на другое значение, соответствующее адресу первой команды другой ветви программы. В БЦВМ третьего поколения организация разветвления осуществляется с помощью команд ПУ1 и ПУО.

Организация разветвляющихся вычислительных процессов может выполняться:

- по значению результата операций;
- по результатам анализа содержимого модификатора команд;
- по результатам анализа разрядов кода;
- по результатам анализа многоразрядного кода;
- по значению логических зависимостей.

Выполнение большинства команд заканчивается формированием признака ω . Если этот признак равен единице, то управление передается одной ветви, если признак имеет нулевое значение, то другой.

По значению модификатора команд (МК) признак формируется по правилу:

если $МК \neq 0$, то $\omega = 1$;

если $МК=0$, то $\omega = 0$.

Изменение содержимого МК чаще всего выполняется с помощью команды ПМА. Эта же команда позволяет увеличивать содержимое МК на единицу (1 71 001) или уменьшать (1 71 777) на единицу.

Полученное новое значение МК может оказаться равным или не равным нулю. Поэтому после соответствующей команды ПМА выполняется команда условного перехода ПУ1 или ПУО. Данный тип переходов используется для организации циклических вычислительных процессов.

В БЦВМ широко используются коды, в которых каждый разряд несет информацию о состоянии тех или иных органов управления комплексом, о работе бортовых систем. Например, если какой-либо тумблер на пульте

управления бортовой системой включен, то в соответствующий разряд кода схемно заносится единица. Если этот тумблер выключен, то в этот же разряд записывается ноль. В зависимости от положения органов управления БЦВМ выполняет либо одну, либо другую программу. Таким образом по результатам анализа разрядов кода организуется разветвление вычислительного процесса.

Анализ выполняется с помощью команды БПН. По этой команде значение i разряда регистра H отсылается в схему ω . После этого с помощью команд ПУ1 или ПУО организуется разветвление.

С помощью логических зависимостей удобно определять режимы работы комплекса, если этим режимам соответствует ряд комбинаций положения органов управления системы или сигналов датчиков.

6. Организация эксплуатации БЦВМ

Эксплуатация БЦВМ представляет собой сложный процесс, связанный с многосторонней деятельностью обслуживающего персонала. Основное время работы машины тратится на решение различного типа задач. Меньшая часть времени затрачивается на проведение профилактических работ. Эксплуатация БЦВМ неизбежно связана с поиском и устранением неисправностей.

Эксплуатация БЦВМ существенным образом отличается от эксплуатации ЭВМ общего назначения, которые чаще всего работают в стационарных условиях.

Основными этапами эксплуатации БЦВМ являются:

- эксплуатация в составе бортового комплекса в полете;
- эксплуатация БЦВМ на земле при выполнении на самолете всех видов подготовок и работ.

Наиболее ответственным этапом эксплуатации БЦВМ является ее работа в составе бортового оборудования в полете. На этом этапе БЦВМ работает как управляющая машина, обеспечивая решение задач в реальном масштабе времени.

В БЦВМ широко развиты различные методы контроля, позволяющие своевременно обнаружить появление неисправностей в БЦВМ и дать возможность экипажу самолета изменить режимы полета.

Контроль работы БЦВМ выполняется на всех этапах эксплуатации. Если в БЦВМ возникла неисправность, которая обнаружена, например, с помощью программы тестового контроля (ТВК), то на соответствующие пульта пилотажно-навигационного комплекса выдается сигнал “Отказ ЦВМ”. При этом выполнение программы ТВК циклически продолжается.

В случае самоустранения в БЦВМ неисправности сигнал “Отказ ЦВМ” снимается, и машина продолжает выполнение программ задач при новых начальных условиях.

Система формирования сигнала “Отказ ЦВМ” обычно реализуется так, что даже в случае невозможности выполнения программы тестового контроля из-за выхода из строя каких-либо узлов БЦВМ сигнал об отказе все же будет

выдан. Для этого после каждого цикла правильного выполнения программы ТВК схемно выдается сигнал, запрещающий индикацию сообщения “Отказ ЦВМ”. Следовательно, все время пока программа ТВК выполняется правильно, сигнал “Отказ ЦВМ” не выдается. При появлении неисправностей в БЦВМ программа ТВК либо обнаруживает факт неисправности, либо по каким-то причинам перестает исполняться. При этом формирование сигнала запрета не производится, и схема индикации выдает на информационное табло надпись “Отказ ЦВМ”.

С целью обеспечения работоспособности БЦВМ на всех этапах эксплуатации выполняется комплекс мероприятий при подготовке к полетам, при проведении регламентных работ и во время хранения.

Основные виды работ, выполняемые на БЦВМ при подготовке к полетам. Подготовка БЦВМ к полетам организуется в соответствии с регламентом технического обслуживания самолета. Регламент устанавливает порядок подготовки всех систем к работе во время полета самолета.

Все виды подготовок выполняются на БЦВМ, установленной на самолете. При этом контрольно-проверочная аппаратура (КПА) БЦВМ не используется. Контроль работы БЦВМ при всех видах подготовок выполняется с помощью тестовых (контрольных) программ, хранящихся в ПЗУ машины. Результаты выполнения тестовых программ, исполняемых циклически с определенной частотой, отображаются с помощью сигнальных ламп на блоках машины и на пультах управления комплексом.

Для каждого вида работ, выполняемых в период подготовок к полетам, составляются технологические карты в соответствии с инструкцией по эксплуатации БЦВМ и систем. В технологических картах приводится перечень работ и их последовательность, указывается характер индикации в проверяемых режимах, а также требования к датчикам информации и реакция исполнительных и индикаторных устройств.

После проверки работоспособности БЦВМ выполняются соответствующие проверки бортовых систем комплекса, с которыми взаимодействует машина.

Регламентные работы выполняются с целью сохранения характеристик узлов и устройств БЦВМ в допустимых пределах и обеспечения надежности и безотказной работы машины в межрегламентный период эксплуатации.

Регламентные работы выполняются в соответствии с технологическими картами. При этом БЦВМ может сниматься с самолета и проверяться в специальных стендах при подключенной контрольно-проверочной аппаратуре (КПА).

В процессе выполнения регламентных работ узлы БЦВМ проверяются как программно, так и схемными способами с помощью КПА во всех режимах. При этом проверяется правильность выполнения всех команд, работа запоминающих устройств в режимах записи и считывания контрольных кодов, точность преобразования информации в устройствах ввода-вывода. Кроме

проверки функционирования выполняются профилактические замены узлов и элементов БЦВМ, промывка электрических разъемов, ремонт металлизации, восстановление лакокрасочных покрытий. После выполнения всех видов работ БЦВМ устанавливается на самолет.

Следующим этапом выполнения регламентных работ является сопряжение (стыковка) бортовых систем с БЦВМ и друг с другом, а после этого решение контрольных задач.

Сопряжение БЦВМ с бортовыми системами выполняется последовательно с каждым из блоков. Последовательность выполняемых операций указывается в соответствующих технологических картах.

Стыковка БЦВМ с бортовыми системами осуществляется с помощью специальной программы, называемой стыковочным тестом. Перевод БЦВМ на исполнение программы стыковочного теста выполняется с пультов управления режимами машины. На этих же пультах указывается адрес (тип) системы, с которой производится стыковка.

Если стыковка производится с датчиком, то на нем устанавливается требуемое значение параметра, например значение высоты полета самолета. БЦВМ в процессе выполнения стыковочного теста программным способом опрашивает информацию, выдаваемую датчиком, и после ее преобразования в УВВ записывает в соответствующую ячейку ОЗУ. Принятая в ОЗУ информация выдается далее на специальные контрольные индикаторы пультов управления, где отображается в виде десятичных цифр. Если устанавливаемое на датчике контрольное значение совпадает в пределах заданного допуска со значением, отображаемым на пульте, то стыковка в данной точке выполнена. После этого стыковка производится в других точках для данного датчика и аналогичным образом последовательно для других датчиков. Прохождение информации от датчика ОЗУ БЦВМ и далее к пультам индикации может контролироваться с помощью КПА БЦВМ.

Если стыковка БЦВМ производится с индикаторными или исполнительными устройствами бортовой системы, то в машине программным путем формируются необходимые контрольные значения кодов, которые через стандартные каналы УВВ пересылаются в блок, с которым выполняется стыковка. При этом на соответствующем индикаторе контролируется значение выданной информации.

Прохождение битовых сигналов при стыковке контролируется с помощью сигнальных лампочек индикаторов или пультов проверяемых систем.

Проверка совместной работы всех бортовых систем, взаимодействующих с БЦВМ, путем решения контрольных задач выполняется на завершающем этапе регламентных работ. Решение контрольных задач выполняется с помощью программ, хранящихся в ПЗУ БЦВМ. При этом тип контрольной задачи задается на пульте управления режимами контроля комплекса.

Исходные данные для решаемых задач задаются путем имитации работы датчиков в полете. При этом значения исходных данных (скорость, высота

полета и т. п.) указываются в соответствующих технологических картах. Каждая контрольная задача соответствует определенному режиму работы системы.

Результаты решения контрольных задач проверяются с помощью штатных индикаторов и исполнительных устройств самолета.

Сложность современных бортовых комплексов требует проведения ряда мер, обеспечивающих их надежную работу на всех этапах эксплуатации. Одним из путей повышения эксплуатационной надежности комплексов является использование эффективных методов контроля.

Функции контроля могут быть возложены на автономные внешние системы, подключаемые на время контроля к комплексу, и встроенные, то есть входящие в состав комплекса.

Использование автономных внешних систем контроля требует доработки контролируемых объектов, а транспортировка и подключение их к бортовому оборудованию требует дополнительного времени. Встроенные системы контроля основаны на использовании бортового оборудования комплекса, главным образом БЦВМ с ее УВВ, штатных пультов управления и индикаторов. Использование встроенных систем контроля обеспечивает возможность выполнения проверок на всех этапах эксплуатации, накопления результатов контроля для прогнозирования работы комплекса в процессе эксплуатации.

Встроенная система контроля может базироваться на БЦВМ комплекса либо иметь свою БЦВМ, которая обменивается информацией с основной машиной. Во втором случае основная БЦВМ освобождается от выполнения программ контроля, но при этом общая структура комплекса усложняется.

Контролируемые подсистемы представляют собой датчики, исполнительные и индикаторные устройства. Эти подсистемы могут иметь собственные схемы контроля, формирующие контрольную информацию. Эта информация, а также информация, выдаваемая подсистемой, используется при контроле всей системы. Согласующие устройства обеспечивают связь подсистем с УВВ БЦВМ.

Схема формирования стимулирующих сигналов вырабатывает сигнал с заданными параметрами, которые по командам из БЦВМ поступают в контролируемые подсистемы. При этом в подсистемах встроенные схемы контроля переходят в режим контроля, выдавая сигналы, которые через УВВ вводятся в БЦВМ для анализа.

Результаты контроля БЦВМ индицируются на устройствах управления системой.

Контрольно-записывающая аппаратура (КЗА) используется для записи информации, обрабатываемой в БЦВМ главным образом в полете, что позволяет выполнять ее последующий анализ в наземных условиях.

Режимы контроля комплекса при наземной эксплуатации и в полете различны. Рассмотрим эти режимы.

Принципы контроля бортовых систем при выполнении подготовок к полетам. Контроль бортовых систем комплекса, называемый также функциональным контролем, выполняется по специальным программам, хранящимся в ПЗУ БЦВМ.

При включении режима функционального контроля БЦВМ переводится на периодическое выполнение соответствующей программы. По этой программе производится формирование сигналов, которые через УВВ выдаются в проверяемые подсистемы, переводя их в режим контроля.

Через определенное время проверяемые подсистемы начинают выдавать контрольные параметры, которые по программе БЦВМ вводятся в машину и сравниваются с эталонными или рассчитанными. Если отклонение проверяемого параметра не превышает установленного допуска, хранящегося в ПЗУ машины, то работа контролируемой подсистемы по данному каналу считается правильной. Аналогичным образом проверяются все другие каналы.

По результатам проверки подсистем в БЦВМ формируется итоговая информация, которая отображается на соответствующих индикаторах системы. Если все подсистемы оказались исправными, то в БЦВМ формируется общий сигнал исправности системы.

После получения сигнала об исправности бортовых систем с помощью БЦВМ может быть выполнено решение задач, соответствующих основным режимам. Например, в ускоренном масштабе времени может быть решена задача полета по маршруту. При этом контролируется правильность выдачи навигационной информации.

Автоматизированный контроль системы в полете имеет свои особенности, заключающиеся в том, что контролируемые подсистемы выполняют свои основные функции, что не всегда позволяет перевод их в контрольные режимы.

Контроль работоспособности системы в полете может выполняться путем оценки работы его в основных режимах путем анализа информации, поступающей по рабочим каналам.

Таким образом, в полете контроль не должен прерывать решения основной в данный момент задачи. Отмеченные особенности проведения контроля в полете потребовали специальных методов, среди которых наиболее широко используются:

- информационная избыточность;
- дублирование подсистем;
- сравнение параметров по косвенным данным;
- анализ данных, выдаваемых встроенным контролем отдельных подсистем;
- допусковая оценка текущих значений рабочих сигналов.

Первый из перечисленных методов основан на анализе информации о параметре, получаемой от различных подсистем. Например, информацию о скорости полета можно получить от системы воздушных сигналов (СВС),

доплеровского измерителя скорости и угла сноса (ДИСС), инерциальной системы (ИС). Обработка информации, полученной таким образом, и ее анализ позволяют определить неисправный канал.

Метод дублирования подсистем предусматривает использование двух, трех и большего количества аналогичных блоков системы. Этот метод достаточно эффективен, но существенно увеличивает массу и габариты бортовых систем.

Метод сравнения параметров по косвенным данным основан на взаимной зависимости информации, выдаваемой разными подсистемами, например, между скоростью и ускорением, между креном и угловой скоростью самолета. В алгоритмах контроля, реализуемых периодически БЦВМ, производится преобразование одних данных в другие и сопоставление их.

Метод, основанный на анализе информации, выдаваемой схемами контроля подсистем, предусматривает периодическую проверку отсутствия сигналов отказа систем. При появлении сигнала отказа какой-либо подсистемы организуется, по возможности, алгоритмический обход отказавшей подсистемы. Если, например, отказал радиовысотомер, то по появлению сигнала отказа информация о высоте полета начинает вводиться от барометрического датчика.

Метод допускаемой оценки текущих значений параметров основан на анализе изменения входных данных за определенные отрезки времени. Например, если за время от одного цикла решения задачи навигации до следующего информация о скорости полета самолета изменилась на величину, которая превышает реальные (допустимые) возможности самолета, то этот факт свидетельствует о неправильной работе датчика скорости или канала, по которому эта информация поступает в БЦВМ.

Контроль БЦВМ выполняется двумя основными способами:

- аппаратным;
- программным.

В БЦВМ используются оба эти способа.

Аппаратные средства контроля основаны на введении в устройства машины дополнительных элементов, обеспечивающих проверку правильности работы дополнительных схем, а также использование кодов, содержащих избыточную информацию. Аппаратные средства позволяют контролировать правильность выполнения отдельных простейших операций типа передачи и приема кодов, дешифрирование, сложение кодов, считывание и запись информации в ЗУ.

Достоинством аппаратных методов контроля является то, что с их помощью ошибки в выполнении операций обнаруживаются в процессе работы устройства БЦВМ в темпе следования тактирующих сигналов. Поэтому скорость реакции на сигнал ошибки такова, что время распространения последней ограничивается одним - двумя тактами синхронизации. Благодаря этому имеется возможность изменить ход вычислительного процесса с учетом

отказавшего элемента или узла. Методы аппаратного контроля включают в себя:

- контроль по совпадению кодов;
- контроль по модулю;
- контроль с использованием корректирующих кодов.

Контроль по совпадению кодов позволяет обнаруживать ошибки в любых разрядах кодов, обрабатываемых в БЦВМ. Он основан на сравнении кодов в различных схемах и узлах при пересылках или при выполнении операций. Так, например, после передачи информации из одного регистра в другой правильность передачи проверяется путем поразрядного сравнения исходного и принятого кода. При контроле по совпадению не требуется формирование каких-либо дополнительных разрядов в обрабатываемой информации. Для реализации этого метода необходимо использовать дополнительные схемы, обеспечивающие выполнение операций сравнения.

Контроль по совпадению кодов является быстродействующим. Как правило, он не оказывает влияние на скорость выполнения операций проверяемых схем. Однако реализация схем контроля по совпадению требует в большинстве случаев существенного увеличения оборудования.

Контроль по модулю требует существенно меньших аппаратных затрат, но при этом ошибки обнаруживаются с определенной вероятностью.

При контроле по модулю используется избыточная информация, представляемая дополнительными разрядами в информационном слове. Количество дополнительных разрядов определяется значением модуля, по которому производится контроль.

Суть метода заключается в определении и анализе по определенным правилам контрольных кодов, представляющих собой наименьшие остатки от деления на некоторый модуль самих чисел или сумм их цифр.

Очевидно, все нечетные числа будут иметь контрольный разряд равный единице, а четные – нулю. В этом случае ошибка не будет обнаружена в том случае, если в результате искажения четное число остается четным, а нечетное – нечетным. Вероятность такого события близка к 0,5.

В пределе при контроле по модулю 16 это же число будет иметь четыре контрольных разряда, что сводится к двойной записи кода. Очевидно, чем больше значение модуля, тем меньше вероятность того, что в результате неисправности сформируется число, имеющее такие же контрольные разряды.

Сформированные коды с контрольными разрядами пересылаются по схемам, например, записываются в ЗУ. После каждой пересылки или считывания в ЗУ по значению основных разрядов числа вычисляются контрольные разряды, которые сравниваются с поступившими или считанными.

Схемные методы контроля по модулю 2 называются также контролем **по четности**. Если контрольным разрядам присваиваются инверсные значения, то контроль называется проверкой **по нечетности**. Контроль с проверкой по

нечетности (четности) имеет небольшую избыточность и не требует больших затрат оборудования для своей реализации. Этот метод широко используется в БЦВМ при передачах информации как внутри машины, так и вне ее, а также для контроля информации, считанной из ОЗУ или ПЗУ.

Контроль по модулю совмещается с выполнением основных операций. Например, при записи чисел в ОЗУ одновременно записываются и контрольные разряды. При считывании проверяется число и соответствующие ему значения контрольных разрядов. Недостатком метода является увеличение оборудования БЦВМ.

Контроль с использованием корректирующих кодов позволяет обнаружить и исправить ошибки, как правило, при пересылках информации между БЦВМ и периферийными системами. К таким кодам относятся код Хэмминга, групповые корректирующие коды, циклические коды.

Код Хэмминга состоит из информационных и контрольных разрядов. При этом контрольные разряды распределяются среди основных разрядов. Контрольные разряды Хэмминга дополняют сумму единиц, в каждой группе до четного числа. Если при передаче произошло искажение, то значение полученного контрольного кода указывает номер неверного разряда. Для организации контроля с помощью этого кода 16-разрядных чисел необходимо ввести пять дополнительных контрольных разрядов.

Рассмотренные средства аппаратного контроля позволяют вырабатывать управляющие сигналы, которые через систему прерывания машины оперативно переводят ее на новый режим работы с учетом отказавших элементов, узлов или устройств.

Предельным методом аппаратного контроля является одновременное решение одних и тех же задач на трех или более машинах с определением БЦВМ, дающей ошибки по мажоритарному принципу (по большинству). По мере того, как будут уменьшаться масса и габариты БЦВМ, этот метод будет получать все большие преимущества.

Программный контроль осуществляется с помощью специальных программ - тестов, имеющих обычно в комплексе программ технического обслуживания, входящем в состав математического обеспечения БЦВМ. Тесты предназначаются для проверки правильности функционирования, как отдельных устройств, так и машин в целом при их наладке и контроле в процессе профилактики, а также при поиске причин возникновения ошибок в ходе выполнения программ решаемых задач.

Программные средства контроля БЦВМ достаточно разнообразны, так как на них накладывают свой отпечаток назначение, структура и характеристики машины, ее система команд, а в машинах с микропрограммным управлением и система микрокоманд, режимы работы.

Литература

1. Гатчин Ю. А., Жаринов И. О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики. — М.: Машиностроение, 2010. — 224 с.
2. Парамонов П. П., Жаринов И. О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 2. С. 1–17.
3. Жаринов О. О., Видин Б. В., Шек-Иовсеянц Р. А. Принципы построения крейта бортовой многопроцессорной вычислительной системы для авионики пятого поколения // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. № 4. С. 21–27.
4. Книга Е. В., Жаринов И. О., Богданов А. В., Виноградов П. С. Принципы организации архитектуры перспективных бортовых цифровых вычислительных систем в авионике // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 2. С. 163–165.
5. Книга Е. В., Жаринов И. О. Организация внутренней структуры модулей перспективных бортовых вычислительных систем авионики // Информационная безопасность, проектирование и технология элементов и узлов компьютерных систем: сб. тр. молодых ученых, аспирантов и студентов научно-педагогической школы кафедры ПБКС. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. Вып. 1. С. 127–131.
6. Книга Е. В., Жаринов И. О. Принципы построения комбинированной топологии сети для перспективных бортовых вычислительных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 6. С. 92–98.
7. Шепета А. П., Жаринов И. О. Перспективы применения в авиации интегрированных наשלемых систем нейрофизиологического контроля // Информационно-управляющие системы. 2003. № 6. С. 58–62.
8. Парамонов П. П., Костишин М. О., Жаринов И. О., Нечаев В. А., Сударчиков С. А. Принцип формирования и отображения массива геоинформационных данных на экран средств бортовой индикации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 6. С. 136–142.
9. Костишин М. О., Жаринов И. О., Жаринов О. О., Нечаев В. А., Суслов В. Д. Оценка точности визуализации местоположения объекта в геоинформационных системах и системах индикации навигационных комплексов пилотируемых летательных аппаратов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 1. С. 87–93.
10. Учебник под редакцией В.Р. Мамошина Бортовые цифровые вычислительные машины комплексов авиационного вооружения // ВВИА им. Проф. Н.Е. Жуковского, 1991. С. 149–420.