

Р. Л. УРУТЯН

УСТРОЙСТВО ЦЕНТРАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Устройство центрального управления обеспечивает автоматическое формирование номера очередной команды и ее выборку из ЗУ, формирует исполнительные адреса обрабатываемых и обработанных слов, осуществляет обмен информацией между запоминающими устройствами, и, наконец, координирует действие всех автономно работающих узлов и блоков машины.

С целью повышения быстродействия устройства в УЦУ принято естественное (асинхронное) тактирование. Длительность такта зависит как от выполняемой операции, так и от используемых при этом запоминающих устройств. Блок-схема представлена на рис. 1. Ниже дано краткое описание каждого из узлов УЦУ.

Регистр команд (РК) предназначен для хранения текущей команды в течение всего времени ее выполнения. В соответствии с системой команд РК также делится на две части—операционную и адресную. В операционной части регистра РК (3—13) хранится код операции, а в адресной части (0—2, 13—42) задаются: код начального значения адресов обрабатываемых или обработанных слов, номер индексного и модификационного регистров, правило, по которому производится формирование исполнительных адресов, и тип запоминающего устройства. Часть регистра РК, где производится формирование адресов, является сумматором со специальной коммутацией цепей сквозного переноса и приема информации из индексных регистров.

Хотя код операционной части за время ее выполнения в основном не меняется, тем не менее имеется возможность при выполнении команды изменить содержимое отдельных разрядов или даже произвести обмен кодов между отдельными группами разрядов РК. Это способствует рациональному использованию оборудования.

Регистр адреса команды (РАК) предназначен для формирования и хранения номера очередной команды. Команды в программе расположены так, что адреса хранящих их ячеек образуют натуральную последовательность чисел. Это позволяет формировать номер очередной команды путем увеличения содержимого РАК на единицу. При необходимости пропуска или повторения куса программы используются операции типа «Передача управления», которые отсылают в РАК номер пер-

ства. Индексные регистры служат для формирования исполнительных адресов, а P_4 — еще и для формирования номера очередной команды. Последнее особенно экономично и делает систему команд весьма гибкой в силу того, что регистр P_4 является сумматором.

Формирователь адресов (ФА) обеспечивает формирование исполнительных адресов обрабатываемых и обработанных слов как в одноадресном, так и в двухадресном режиме работы машины. ФА выполнен в виде автомата Мура. Длина входных слов автомата зависит от правил формирования исполнительных адресов, заданных в данной команде.

Автомат УЦУ обеспечивает диспетчеризацию работы всех вышеуказанных узлов и организует обмен информации как между отдельными узлами УЦУ, так и между отдельными узлами машины в целом. Этот автомат представляет собой автомат Мили с четырьмя устойчивыми состояниями. При одном состоянии автомата производится выборка команды из ЗУ и передача ее на регистр РК. Если выполняемая команда относится ко второй группе, то при следующем состоянии (см. ниже) формируется исполнительный адрес обрабатываемого слова. После выбора этого слова из ЗУ запускается блок местного управления ОУ (для выполнения требуемой операции). Если же выполняемая операция относится к первой группе, т. е. обрабатываемые слова уже расположены по регистрам, то при этом такте запускается только устройство местного управления ОУ. При остальных двух состояниях автомата производится формирование (при необходимости в этом) исполнительного адреса обработанного слова в одноадресном или двухадресном режиме работы машины и запись этого слова в ДОЗУ.

В последующих двух параграфах описывается синтез формирователя адресов и автомата УЦУ.

§ 1. Формирователь адресов

Выборка чисел из ячеек ДОЗУ и ПЗУ производится только по исполнительному адресу, который задается в адресной части команды или формируется с помощью индексного и модификационного регистров. Правило формирования исполнительных адресов на адресном регистре записывается в следующей форме [1]:

$$AI_k = a_{k,0} A_0 + a_{k,1} P + a_{k,2} C + (-1)^{b_{k,3}} a_{k,3} M + (-1)^{b_{k,4}} a_{k,4}, \quad (1)$$

где AI_k — сформированный исполнительный адрес;
 A_0 — начальное значение исполнительного адреса;
 P — содержимое одного из индексных регистров $PI_1, PI_2, PI_3, PI_4, P_4^{0-15}$;
 C, M — содержимое счетчика СЧМС и модификационного регистра РМ соответственно;
 $a_{k,0} - a_{k,4}, b_{k,3} - b_{k,4}$ — бинарные коэффициенты, которые задаются при составлении команды.

Логическая структура сумматора, в котором производится формирование исполнительных адресов, такова, что за один такт можно произвести только одну операцию сложения или вычитания. Поэтому необходимо построить автомат, который сумеет организовать формирование исполнительных адресов путем последовательного суммирования (вычитания) к начальному (заданному) адресу содержимого различных регистров. Преобразуем выражение (1) следующим образом:

$$AI_k = (-1)^{b_{k,0}} a_{k,0} A_0 + (-1)^{b_{k,1}} a_{k,1} P + (-1)^{b_{k,2}} a_{k,2} C + \\ + (-1)^{b_{k,3}} a_{k,3} M + (-1)^{b_{k,4}} a_{k,4} L,$$

где L — регистр, в котором записан постоянный код $00 \dots 01$.

Обозначая

$$A_0 \text{ через } N_0, \quad P \rightarrow N_1, \quad C \rightarrow N_2, \quad M \rightarrow N_3, \quad L \rightarrow N_4,$$

получим

$$AI_k = \sum_{i=0}^4 (-1)^{b_{k,i}} a_{k,i} N_i.$$

Коэффициент $a_{k,i}$ показывает, используется ли ($a_{k,i} = 1$) содержимое регистра N_i при формировании данного исполнительного адреса или нет ($a_{k,i} = 0$), а коэффициент $b_{k,i}$ показывает, прибавляется ли оно ($b_{k,i} = 0$) или вычитается ($b_{k,i} = 1$). Будем называть коэффициенты $a_{k,i}$ первичными, а коэффициенты $b_{k,i}$ вторичными.

Для упрощения задачи на этапе абстрактного синтеза вторичные коэффициенты не рассматриваются и будут учтены во время структурного синтеза автомата.

Так как в машине „Гарни“ сумматор формирования адреса совмещен с адресной частью регистра РК и учтено то обстоятельство, что начальное значение A_0 адреса всегда задается в адресной части регистра РК (т. е. там, где должно производиться формирование исполнительного адреса), то нет необходимости выработки выходного сигнала u_0 , с помощью которого предусматривалось произвести передачу ($a_{k,0} = 1$) кода начального адреса A_0 из адресной части регистра РК в сумматор. В случаях $a_{k,0} = 0$ с помощью выходного сигнала u_4 автомата УЦУ (см. ниже) производится установка на нуль разрядов адресной части регистра РК. Поэтому ФА коэффициент $a_{k,0}$ не анализирует, и выражение для AI_k принимает вид:

$$AI_k = A_0 + \sum_{i=1}^4 a_{k,i} N_i, \quad (2)$$

где A_0 — содержимое адресной части регистра РК до формирования.

Перейдем к реализации этого выражения. Для каждого из случаев формирования исполнительных адресов (табл. 1), получающихся при различных значениях первичных коэффициентов, составляются микропрограммы, реализуемые четырьмя элементарными операциями. Из

$\frac{N}{N}$	Первичные коэффициенты				Микропрограмма элементарных операций
	a_{K4}	a_{K3}	a_{K2}	a_{K1}	
1	0	0	0	0	Формирование не производится
2	0	0	0	1	$A \odot P \rightarrow A^{)*}$
3	0	0	1	0	$A \odot C \rightarrow A$
4	0	0	1	1	$A \odot P \rightarrow A, A \odot C \rightarrow A$
5	0	1	0	0	$A \odot M \rightarrow A$
6	0	1	0	1	$A \odot M \rightarrow A, A \odot P \rightarrow A$
7	0	1	1	0	$A \odot C \rightarrow A, A \odot M \rightarrow A$
8	0	1	1	1	$A \odot P \rightarrow A, A \odot C \rightarrow A, A \odot M \rightarrow A$
9	1	0	0	0	$A \odot L \rightarrow A$
10	1	0	0	1	$A \odot P \rightarrow A, A \odot L \rightarrow A$
11	1	0	1	0	$A \odot C \rightarrow A, A \odot L \rightarrow A$
12	1	0	1	1	$A \odot P \rightarrow A, A \odot C \rightarrow A, A \odot L \rightarrow A$
13	1	1	0	0	$A \odot M \rightarrow A, A \odot L \rightarrow A$
14	1	1	0	1	$A \odot P \rightarrow A, A \odot M \rightarrow A, A \odot L \rightarrow A$
15	1	1	1	0	$A \odot C \rightarrow A, A \odot M \rightarrow A, A \odot L \rightarrow A$
16	1	1	1	1	$A \odot P \rightarrow A, A \odot C \rightarrow A, A \odot M \rightarrow A, A \odot L \rightarrow A$

$\odot$ знак операции

табл. 1 видно, что случаи 2, 3, 5, 9 реализуются каждый с помощью только одной элементарной операции, а все остальные случаи реализуются в виде комбинаций этих элементарных операций. Каждой элементарной операции сопоставляется по одной букве из входного $x_1, \dots, x_4$ и выходного $y_1, \dots, y_4$ алфавитов (табл. 2).

Из этой таблицы видно, что между входными и выходными буквами существует взаимно однозначное соответствие, и поэтому они могут быть соответственно отождествленными. Иными словами, выходные сигналы синтезируемого автомата являются задержанными входными

Таблица 2

Входной и выходной алфавиты автомата

Обозначение элементарной операции	Входной сиг- нал автома- та	Выходной сигнал авто- матд.
$P + A \rightarrow A$	x_1	y_1
$C + A \rightarrow A$	x_2	y_2
$M + A \rightarrow A$	x_3	y_3
$L + A \rightarrow A$	x_4	y_4

сигналами, поэтому целесообразно взять в качестве элементарных автоматов линии задержки. События, представленные в автомате выходными сигналами $y_1, \dots, y_4$, записываются в форме:

$$S_1 = \{S' \mid x_1\}_{y_1};$$

$$S_2 = \{S' \mid x_2\}_{y_2};$$

$$S_3 = \{S' \mid x_3\}_{y_3};$$

$$S_4 = \{S' \mid x_4\}_{y_4},$$

где

$$S' = (\bar{x}_1 \vee x_1)(\bar{x}_2 \vee x_2)(\bar{x}_3 \vee x_3)(\bar{x}_4 \vee x_4).$$

Разметив регулярные выражения $S_1, \dots, S_4$, можно построить отмеченную таблицу переходов синтезируемого автомата Мура, которая после упрощения представлена в табл. 3.

Таблица 3

Упрощенная таблица переходов автомата

Выходной сигнал	e	y_1	y_2	y_3	y_4
Состояние входной сигнал	0	1	2	3	4
$\bar{x}_1$	0	0	0	0	0
x_1	1	1	1	1	1
$\bar{x}_2$	0	0	0	0	0
x_2	2	2	2	2	2
$\bar{x}_3$	0	0	0	0	0
x_3	3	3	3	3	3
$\bar{x}_4$	0	0	0	0	0
x_4	4	4	4	4	4

Граф автомата, который представляет события $S_1, \dots, S_4$, приведен на рис. 2 (для простоты нулевое состояние автомата показано дважды, а сигнал $\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4$ обозначен через x_0).

Переходим к структурному синтезу автомата. Проверка многочисленных вариантов показала, что структурная схема автомата резко упростится, если будут соблюдены следующие два условия.

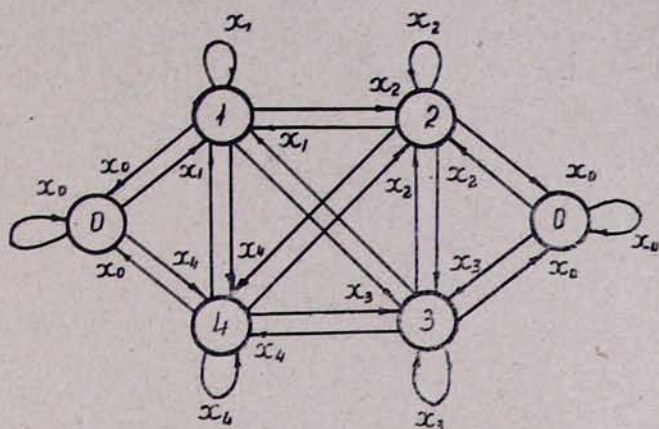


Рис. 2. Граф автомата формирователя адресов.

1. В качестве элементарных автоматов использовать (как отмечалось выше) только элемент задержки, матрица переходов которого приведена в табл. 4. Заметим, что случай переходов 1—1 в рассмотренном варианте исключается.

Таблица 4

Матрица переходов элементарного автомата задержки

Переход состояний.	Входной сигнал.
0 - 0	0
0 - 1	1
1 - 0	0
1 - 1	В рассмотренном варианте не имеет места.

2. Если имеет место $t_{\text{вх}} > \tau$, где $t_{\text{вх}}$ — интервал между входными сигналами автомата и τ — собственная задержка элементарного автомата, то переход в любое состояние (1, 2, 3, 4) происходит через нулевое состояние автомата, в которое он автоматически возвращается. На этом заканчивается синтез автомата, приведенного на рис. 3.

Входные сигналы автомата формируются путем проверки коэффициентов $a_{k,i}$, исходя из требований алгоритма; при выполнении одной команды оказалось достаточным для формирования исполнительных адресов использование любого из регистров ОУ только один раз. Поэтому для формирования исполнительного адреса достаточно последовательно проверить все коэффициенты $a_{k,1}, \dots, a_{k,4}$, и в случае, если $a_{k,i}$ не равен нулю, — прибавлять (или вычитать) содержимое регистра N_i к адресной части РК.

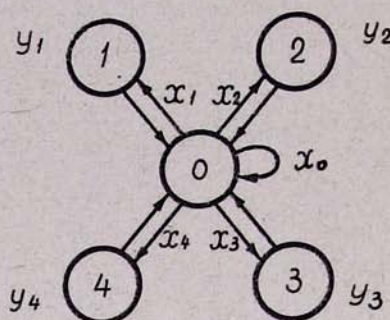


Рис. 3. Граф-схема упрощенного варианта автомата формирователя адресов.

Тогда автомат будет работать по следующей микропрограмме:

$$\begin{aligned} & \Pi(a_{k,1}=1) \downarrow \overline{P \odot A \rightarrow A} \downarrow \Pi(a_{k,2}=1) \downarrow \overline{C \odot A \rightarrow A}, \\ & \downarrow \Pi(a_{k,3}=1) \downarrow \overline{M \odot A \rightarrow A} \downarrow \Pi(a_{k,4}=1) \downarrow \overline{L \odot A \rightarrow A} \downarrow^{уц}, \end{aligned}$$

где $\Pi(a_{k,i}=1)$ — логический оператор, проверяющий условие, заключенное внутри скобок; если оно не выполнено ($a_{k,i} \neq 1$), то управление передается по стрелке.

Введем следующие обозначения:

- v_0 — сигнал, запускающий ФА;
- q_i — сигнал, запускающий i -й элементарный автомат;
- $q_{i,j}$ — сигнал, запускающий j элементарный автомат на i -м такте;
- v_s — конечный сигнал ФА;
- $q_{i,\tau}$ — выходной сигнал, который формируется при запуске i -го элементарного автомата;

и применяя

$$\delta_i = \delta_i^0, \text{ если } a_{k,i} = 0;$$

$$\delta_i = \delta_i^1, \text{ если } a_{k,i} = 1.$$

Тогда функции возбуждения элементарных автоматов и функции выходов автомата записываются следующим образом:

функция возбуждения и выхода элементарного автомата Q_1

$$q_{0,1} = \delta_1^1 v_0,$$

$$q_1 = q_{0,1} = \delta_1^1 v_0, \quad (3)$$

$$y_1 = q_1 \cdot \tau = \delta_1^1 v_0 \cdot \tau; \quad (4)$$

функция возбуждения и выхода элементарного автомата Q_2

$$q_{0,2} = \delta_1^0 \delta_2^1 v_0,$$

$$q_{1,2} = \delta_2^1 y_1 = \delta_1^1 \delta_2^1 v_0 \cdot \tau,$$

$$q_2 = q_{0,2} \vee q_{1,2} = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) \delta_2^1 v_0, \quad (5)$$

$$y_2 = q_2 \cdot \tau = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) \delta_2^1 v_0 \cdot \tau; \quad (6)$$

функция возбуждения и выхода элементарного автомата Q_3

$$q_{0,3} = \delta_1^0 \delta_2^0 \delta_3^1 v_0,$$

$$q_{1,3} = \delta_2^0 \delta_3^1 y_1 = \delta_1^1 \delta_2^0 \delta_3^1 v_0 \cdot \tau,$$

$$q_{2,3} = \delta_3^1 y_2 = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) \delta_2^1 \delta_3^1 v_0 \cdot \tau,$$

$$q_3 = q_{0,3} \vee q_{1,3} \vee q_{2,3} = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) (\delta_2^0 \vee \delta_2^1 \tau) \delta_3^1 v_0, \quad (7)$$

$$y_3 = q_3 \cdot \tau = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) (\delta_2^0 \vee \delta_2^1 \tau) \delta_3^1 v_0 \cdot \tau; \quad (8)$$

функция возбуждения и выхода элементарного автомата Q_4

$$q_{0,4} = \delta_1^0 \delta_2^0 \delta_3^0 \delta_4^1 v_0,$$

$$q_{1,4} = \delta_2^0 \delta_3^0 \delta_4^1 y_1 = \delta_1^1 \delta_2^0 \delta_3^0 \delta_4^1 v_0 \cdot \tau,$$

$$q_{2,4} = \delta_3^0 \delta_4^1 y_2 = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) \delta_2^1 \delta_3^0 \delta_4^1 v_0 \cdot \tau,$$

$$q_{3,4} = \delta_4^1 y_3 = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) (\delta_2^0 \vee \delta_2^1 \tau) \delta_3^1 \delta_4^1 v_0 \cdot \tau,$$

$$q_4 = q_{0,4} \vee q_{1,4} \vee q_{2,4} \vee q_{3,4} = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) (\delta_2^0 \vee \delta_2^1 \tau) (\delta_3^0 \vee \delta_3^1 \tau) \delta_4^1 v_0, \quad (9)$$

$$y_4 = q_4 \cdot \tau = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) (\delta_2^0 \vee \delta_2^1 \tau) (\delta_3^0 \vee \delta_3^1 \tau) \delta_4^1 v_0 \cdot \tau. \quad (10)$$

Для конечного сигнала v_s можем записать

$$v_s = \delta_1^0 \delta_2^0 \delta_3^0 \delta_4^0 v_0 \vee \delta_2^0 \delta_3^0 \delta_4^0 y_1 \vee \delta_3^0 \delta_4^0 y_2 \vee \delta_4^0 y_3 \vee y_4.$$

Подставляя значения $y_1, \dots, y_4$, получим

$$v_s = (\delta_1^0 \vee \delta_1^1 \tau) (\delta_2^0 \vee \delta_2^1 \tau) (\delta_3^0 \vee \delta_3^1 \tau) (\delta_4^0 \vee \delta_4^1 \tau) v_0. \quad (11)$$

ляет производить формирование выходных сигналов y_1 и y_2 на одном такте автомата (рис. 6). Там же учтены значения вторичных коэффициентов формирования.

Таблица 5

Формирование по индексным регистрам

Разряды РК			Наименование операции	Примечание
0/40	1/41	2/42		
0	0	0	Исполнительный адрес не формируется*	
0	0	1	Исполнительный адрес не формируется; действие происходит по A_0	$a_{k,1} = 0, a_{k,2} = 0$
0	1	0	Исполнительный адрес не формируется; действие происходит по A_0	$a_{k,1} = 0, a_{k,2} = 1$
0	1	1	Исполнительный адрес формируется путем сложения с A_0 содержимого регистра PI_1	
1	0	0	Исполнительный адрес формируется путем сложения с A_0 содержимого регистра PI_2	$a_{k,2} = 0$
1	0	1	Исполнительный адрес формируется путем сложения с A_0 содержимого регистра PI_3	
1	1	0	Исполнительный адрес формируется путем сложения с A_0 содержимого регистра PI_4	
1	1	1	Исполнительный адрес формируется путем сложения с A_0 левых четырнадцати разрядов регистра P_4	

* 1. Чтения обрабатываемых слов нет.

2. Если в разрядах 40—42 записан ноль и команда заканчивается записью результата, то запись обработанных слов производится согласно пункту 3.

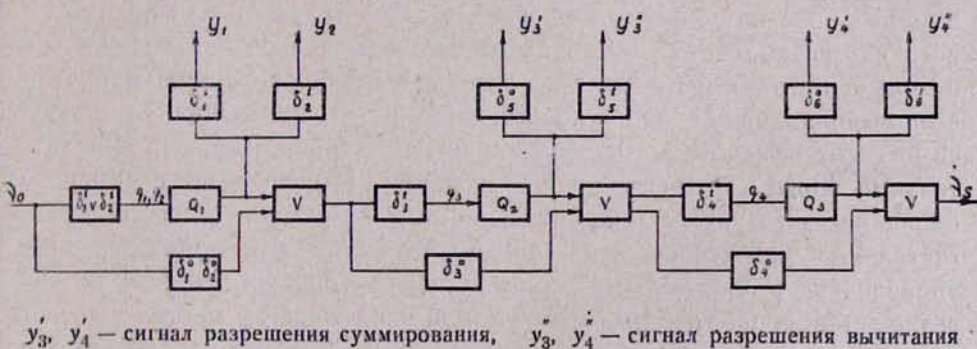


Рис. 6. Упрощенная структурная схема ФА.

§ 2. Синтез автомата УЦУ

Автомат УЦУ выполняет роль переключателя пути потока информации, которая из регистра ЗУ подается либо на регистр РК, либо на регистр P_3 или P_4 ОУ. Одновременно с выполнением этой функции автомат распределяет во времени моменты начала работы отдельных блоков и узлов машины.

Для составления алгоритма функционирования этого автомата отметим основные этапы работы УЦУ [1]. (Схема общего функционирования УЦУ приведена на рис. 7).

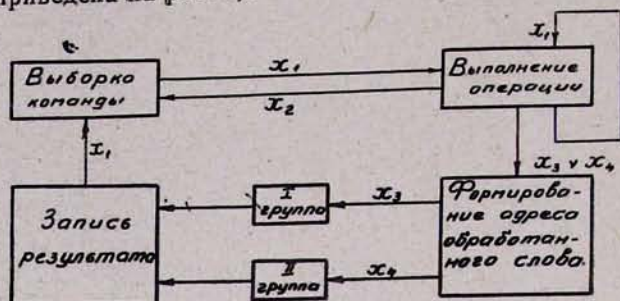


Рис. 7. Схема общего функционирования УЦУ.

1. После окончания команды из ячейки ЗУ (номер этой ячейки хранится на регистре РАК) выбирается и передается на регистр ЗУ код следующей команды. После этого сигналом «ответ ЗУ» осуществляется передача содержимого регистра ЗУ на регистр РК.

2. После выборки кода команды возможны два основных режима работы машины:

а) если операция принадлежит к первой группе команд, то при ее выполнении формируется только сигнал «начало операции», который запускает блок местного управления ОУ;

б) если операция принадлежит ко второй группе команд, то при ее выполнении с помощью ФА производится формирование исполнительного адреса обрабатываемого слова или адреса передачи управления, и только потом вырабатывается сигнал «начало операции»; при этом если выполняемая операция является операцией управления, то, в зависимости от результата этой операции, либо сформированный исполнительный адрес из адресной части регистра РК передается с помощью блока местного управления ОУ на регистр РАК, либо содержимое регистра РАК увеличивается на единицу. Если это не операция передачи управления, то по сформированному исполнительному адресу из ЗУ выбирается обрабатываемое слово и вырабатывается сигнал «ответ ЗУ», с помощью которого считанное слово из регистра ЗУ передается на регистры P_3 , P_4 или PI_4 ОУ. Одновременно запускается блок местного управления ОУ для выполнения той операции, код которой уже выдан в операционную часть регистра РК.

Следует отметить, что при выполнении операции поиска двухкомпонентной или трехкомпонентной конструкции производится последовательная выборка компонент конструкции из ДОЗУ, которые соответственно хранятся в линиях θ , $\theta + 1$ или θ , $\theta + 1$, $\theta + 2$ (где θ — сформированный исполнительный адрес). Процесс выборки управляется с помощью разрядов 12—13 регистра РК, в которых задается число компонент конструкции. Машина переходит к выполнению операции поиска конструкции, если все компоненты конструкции оказались выбранными.

3. После окончания выполняемой операции команда завершается следующим образом: либо машина переходит к выполнению команды, номер которой сформирован на регистре РАК, либо это делается после записи обработанного слова в ДОЗУ. Запись обработанного слова производится только по исполнительному адресу, который формируется в адресной части регистра РК. При этом с помощью блока местного управления ЗУ вырабатывается сигнал («ответ ЗУ») об окончании записи.

Заметим, что в зависимости от группы выполняемой команды процесс формирования исполнительного адреса обработанного слова производится по различным схемам [1].

Для синтеза автомата УЦУ введем обозначения:

x_1 — сигнал «ответ ЗУ», который формируется после обращения к ЗУ;

x_2 — сигнал «конец операции без формирования адреса записи»;

x_3, x_4 — сигнал «конец операции и переход к формированию адреса записи» для команд из первой и второй групп соответственно;

y_5 — сигнал «конец команды»;

y_1, y_2, y_3, y_4 — промежуточные выходные сигналы автомата.

Тогда алгоритм работы автомата в регулярной форме записывается в виде:

$$S_1 = x_1 \{x_1\} (x_2 \vee (x_3 \vee x_4) x_1) |_{y_5}.$$

Чтобы автомат мог работать многократно, индекс конечного места расширим на начальное место. Тогда

$$S_1 = \frac{x_1 |_1 \{x_1 |_2\} (x_2 |_3 \vee (x_3 |_4 \vee x_4 |_5) x_1) |_6}{\begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 3 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 6 \\ 6 & & & & & \end{array}}.$$

Для построения соответствующего автомата Мили составим таблицу переходов—выходов (табл. 6).

В нашем случае целесообразно выбрать такой вариант кодирования, при котором функции возбуждений и выходов будут наиболее просты.

ми. Поскольку число внутренних состояний автомата равно четырем, использованы два элементарных автомата Q_1 и Q_2 .

Таблица 6

Таблица переходов—выходов эквивалентного автомата Мили

состояние вход- ной сигнал	0	1	2	3
x_1	1 y_1	1 y_2	0 y_5	0 y_5
x_2		0 y_5		
x_3		2 y_3		
x_4		3 y_4		

При кодировании учтены следующие два обстоятельства:

а) Формирование исполнительного адреса обрабатываемого слова во всех режимах работы машины и формирование исполнительного адреса обработанного слова в одноадресном режиме производится по общей схеме. Поэтому целесообразно состояния 1 и 2 автомата кодировать одним состоянием элементарного автомата Q_1 , например, состоянием 0;

б) несмотря на то, что формирование исполнительных адресов обработанных слов для различных (первой или второй) группы выполняемой команды производится в различных состояниях 2 или 3 автомата, тем не менее с помощью ФА вырабатываются выходные сигналы, являющиеся общими для обоих случаев. Поэтому целесообразно состояния 2 и 3 автомата кодировать одним состоянием элементарного автомата Q_2 , например, состоянием 1.

Обозначая через Q_1^1 единичное состояние элементарного автомата Q_1 и через Q_1^0 — нулевое состояние для состояния 2 автомата УЦУ, получаем код $Q_2^1 Q_1^0$. С учетом вышеуказанных обстоятельств для состояний 1 и 3 автомата получаются соответственно: $Q_2^0 Q_1^1$ и $Q_2^1 Q_1^1$ (табл. 7).

Для выбора типа применяемых элементарных автоматов (триггер со счетными (q_s) или с раздельными входами (q_{01} , q_{10}), пользуясь таблицами переходов и кодирования, составим кодированную таблицу переходов (табл. 8).

Отметим, что применение здесь элементов задержек в качестве элементарных автоматов нецелесообразно (для выбранного комплекса элементов).

Таблица 7
Кодирование внутреннего состояния автомата

Состояние автомата	Элементарный автомат	
	Q_2	Q_1
0	0	1
1	0	0
2	1	0
3	1	1

Таблица 8
Кодированная таблица переходов автомата

состояние входной сигнал	01	00	10	11
x_1	00	00	01	01
x_2		01		
x_3		10		
x_4		11		

По этой таблице легко определить сигналы возбуждения элементарного автомата Q_1 :

$$q_{01} = Q_2^1 x_1 \vee x_2 \vee x_4;$$

$$q_{10} = Q_2^0 x_1;$$

$$q_s = (Q_2^0 Q_1^1 \vee Q_2^1 Q_1^0) x_1 \vee x_2 \vee x_4.$$

Для элементарного автомата Q_2 соответственно получим:

$$q_{01} = x_3 \vee x_4;$$

$$q_{10} = x_1;$$

$$q_s = Q_2^1 x_1 \vee x_3 \vee x_4.$$

Нетрудно показать, что в качестве элементарных автоматов Q_1 , Q_2 целесообразно выбрать триггеры с раздельными входами.

Перейдем к определению функций выходов автомата.

1) Сигнал y_5 , который является конечным сигналом для каждой команды:

$$y_5 = Q_2^1 x_1 \vee x_2.$$

2) Сигнал y_1 , с помощью которого производится передача содержимого регистра ЗУ на регистр РК:

$$y_1 = Q_2^0 Q_1^1 x_1.$$

3) Сигнал y_2 , с помощью которого производится передача содержимого регистра РЗУ на регистры ОУ:

$$y_2 = Q_2^0 Q_1^0 x_1.$$

4) Сигналы y_3 и y_4 , с помощью которых запускается ФА для формирования исполнительных адресов обработанных слов в командах первой или второй групп соответственно:

$$y_3 = x_3 \quad U_1 = Q_2^1 Q_1^0,$$

$$y_4 = x_4 \quad U_2 = Q_2^1 Q_1^1.$$

U_1 , U_2 являются потенциальными выходами автомата УЦУ, которые, поступая в ФА, управляют процессом формирования исполнительных адресов обработанных слов при различных режимах работы машины.

§ 3. Функционирование УЦУ

Выполнение каждой команды можно разбить на три основных этапа—подготовка, выполнение операции, завершение команды.

Второй из этих этапов—выполнение операции—осуществляется блоком местного управления ОУ и описан подробно в статье [3]. Ниже будут описаны два других этапа, осуществляемых УЦУ.

Первый этап начинается с поступления на вход автомата УЦУ сигнала y_5 , выработанного либо в конце предыдущего цикла работы УЦУ, либо кнопкой «пуск» (схема функционирования УЦУ дана на рис. 8).

С помощью сигнала y_5 автомат УЦУ переходит в начальное состояние и производится передача содержимого регистра РАК в адресный регистр ЗУ. Одновременно в ЗУ посылается сигнал о выборке очередной команды. После выдачи кода выбранной команды на регистр РЗУ в блоке местного управления ЗУ формируется сигнал «ответ ЗУ», осуществляющий передачу содержимого регистра РЗУ на регистр РК, автомат переходит в состояние $Q_2^0 Q_1^0$.

После этого, в зависимости от того, к какой группе относится выполняемая команда (см. выше), запускается либо блок местного управления ОУ (для выполнения операции), либо ФА (для формирования исполнительного адреса). Если в качестве признака первой группы команд выберем h_1^0 , а второй группы — h_1^1 , то для запускающих сигналов можем записать:

$$v_1' = h_1^0 \cdot y_1,$$

$$v_0 = h_1^1 y_1,$$

где v_1' — сигнал, запускающий блок местного управления ОУ;

v_0 — сигнал, запускающий ФА;

y_1 — выходной сигнал автомата УЦУ.

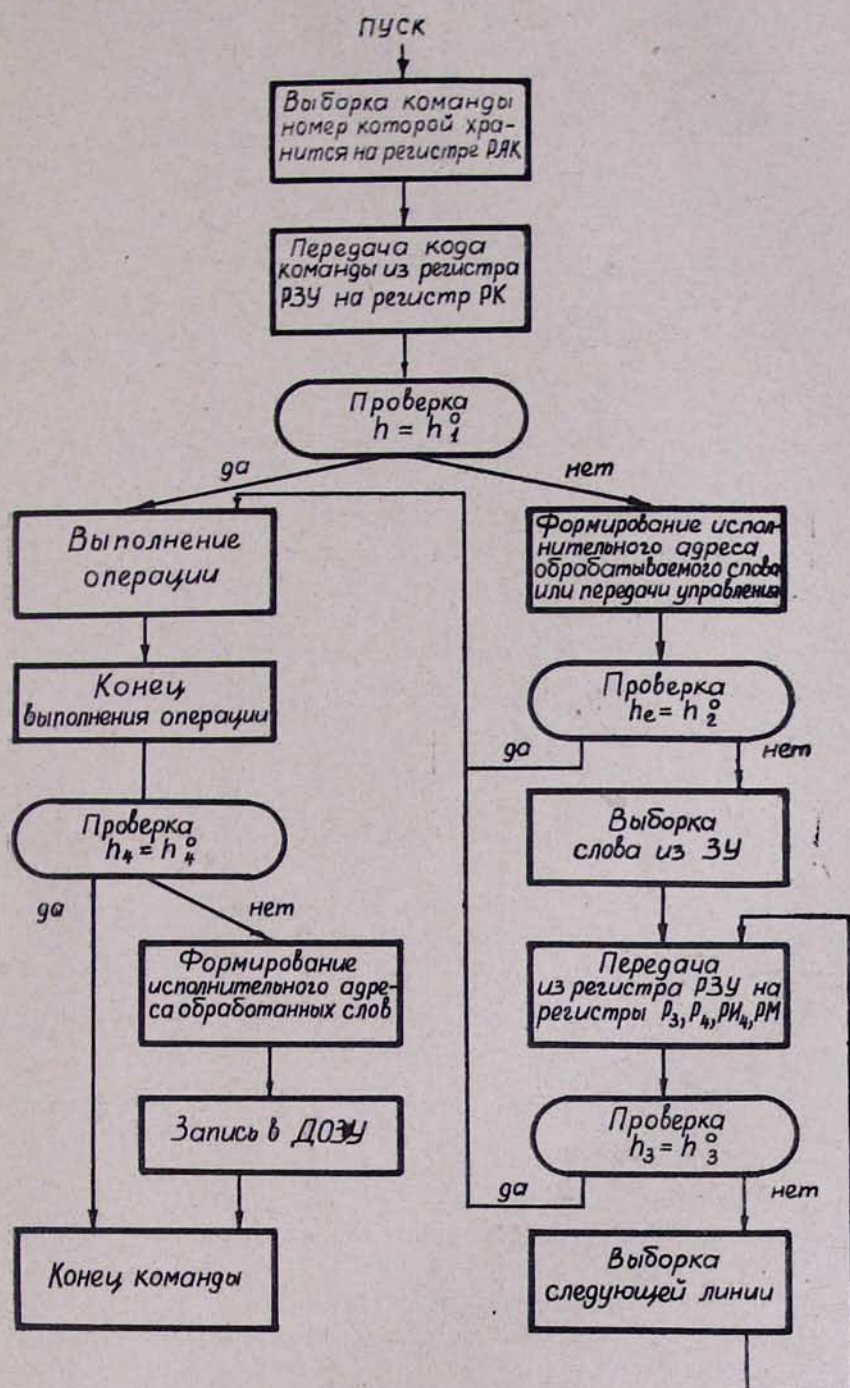


Рис. 8. Схема функционирования УЦУ.

Значения h_1^0, h_1^1 определяются с помощью разрядов 0—2 регистра РК (табл. 9) следующим образом:

$$h_1^0 = \overline{c_0 c_1 c_2},$$

$$h_1^1 = c_0 \vee c_1 \vee c_2.$$

Таблица 9

Значения h_1

h_1	Значения разрядов 0-2 регистра РК
h_1^0	000
h_1^1	в остальных значениях

В § 2^е отмечалось, что при состоянии $Q_2^0 Q_1^0$ автомата УЦУ формируются исполнительные адреса двух видов: адрес передачи управления или адрес обрабатываемого слова. После формирования адреса передачи управления запускается блок местного управления ОУ, а во втором случае выдается сигнал для выборки обрабатываемого слова. Обозначив через h_2^0 признак группы операции управления для сигналов v_1'' и v_2 , получим:

$$v_1'' = h_2^0 v_s,$$

$$v_2 = h_2^1 v_s,$$

где v_1'' — сигнал, запускающий блок местного управления ОУ;
 v_2 — сигнал, запускающий блок местного управления ЗУ;
 v_s — конечный сигнал ФА.

Значения h_2^0, h_2^1 определяются с помощью разрядов 4—7 регистра РК следующим образом:

$$h_2^0 = c_5 (c_4 \vee c_6 c_7),$$

$$h_2^1 = \overline{c_5} \vee \overline{c_4} (\overline{c_6} \vee \overline{c_7}).$$

После выборки обрабатываемого слова в блоке местного управления ЗУ вырабатывается сигнал «ответ ЗУ». По этому сигналу производится передача содержимого регистра РЗУ на регистр P_3, P_4 или PI_4 ОУ и запуск блока местного управления ОУ. Однако если выполняемая команда является ПК, то запуск блока местного управления ОУ производится после выборки последней компоненты конструкции.

Обозначив через h_3^0 условие, при котором разрешается запуск блока местного управления ОУ, для сигналов v_1''' и v_0 получим:

$$v_1''' = h_3^0 y_2,$$

$$v_0 = h_3^1 y_2,$$

где v_1''' — сигнал, запускающий блок местного управления ОУ;

v_0 — сигнал, запускающий ФА;

y_2 — выходной сигнал автомата УЦУ.

Если выполняемая команда не является командой ПК, то коэффициент h_3 равен h_3^0 :

$$h_3^0 = c_4 \vee c_5 \vee c_7 \vee c_{10} \vee \bar{c}_{12} \cdot \bar{c}_{13}.$$

Для команды ПК значения h_3 определяются по разрядам 12—13 регистра РК (табл. 10). При этом

Таблица 10

Значения h_3

Число компонент	h_3	Код в разрядах 12-13	Выполняемая элементарная операция	Преобразование кодов в разрядах 12-13
1	h_3^0	00	$P_{34} \rightarrow P_3$	Начало операции
2	h_3^1	01	$P_{34} \rightarrow P_3, P_3 \rightarrow P_2$	01 → 00
3	h_3^2	11	$P_{34} \rightarrow P_3, P_3 \rightarrow P_1$	11 → 01

$$h_3 = \begin{cases} h_3^0 & \text{— если РК (12—13) = 0 (поиск однокомпонентной конструкции).} \\ h_3^1 & \text{— если РК (12—13) \neq 0 (поиск двух- и трехкомпонентной конструкции).} \end{cases}$$

Как отмечалось выше, при выполнении команд ПК количество наборов чисел (которыми оперирует машина) равно числу компонент. Следовательно, количество требуемых циклов работы УЦУ для выборки и расположения по регистрам ОУ этих наборов также зависит от числа компонент. В машине организация этих циклов реализована следующим образом:

1. Если искомая конструкция однокомпонентная, то в разрядах 12—13 регистра РК записано число 00 ($h_3 = h_3^0$). Выбранный набор из отрезка Θ передается на регистр P_3 и запускается блок местного управления ОУ. Расположение компонент конструкции на линиях ДОЗУ представлено в табл. 11.

Таблица 11

Расположение компонент конструкции
на линиях ДОЗУ

Конструкция	Линии		
	θ	$\theta+1$	$\theta+2$
Однокомп.	I		
Двухкомп.	I	II	
Трехкомп.	I	II	III

2. Если искомая конструкция двухкомпонентная, то в разрядах 12—13 регистра РК записано число 01 ($h_3 = h_3^1$). Выбранный набор из отрезка θ через регистр P_3 передается в регистр P_2 .

Одновременно производится преобразование разрядов 12—13 РК 01—00 и формирование номера отрезка $\theta + 1$. Продолжение команды производится аналогично описанному в пункте 1.

3. Если искомая конструкция трехкомпонентная, то в разрядах 12—13 регистра РК записано число 11 ($h_3 = h_3^1$). В этом случае выбранный набор из отрезка θ через регистр P_3 передается на регистр P_1 . Одновременно производится преобразование разрядов 12—13 РК (11—01) и формирование номера отрезка $\theta + 1$. Продолжение команды производится аналогично описанному в пункте 2.

Объединенная микропрограмма работы УЦУ при подготовке выполнения операции ПК имеет следующий вид:

$$\downarrow^1 \text{ „0“} \rightarrow P_3, \text{ Чт, } P_3 \rightarrow P_2, \text{ П} (12\text{РК} \neq 0) \uparrow^1,$$

$$\text{„0“} \rightarrow P_1, P_3 \rightarrow P_1, \text{ „0“} \rightarrow 12\text{РК}, \text{ „+1“} A \uparrow^1,$$

$$\downarrow^2 \text{ П} (13\text{РК} \neq 0) \uparrow^c, \text{ „0“} P_2, P_3 \rightarrow P_2, \text{ „0“} \rightarrow 13\text{РК}, \text{ „1“} A \uparrow^1.$$

С целью упрощения логических схем блока местного управления ОУ коды в разрядах 11—13 регистра РК при выполнении операции ПК и дополнительных операций первой, второй и третьей подгруппы выбраны одинаковыми [1].

Заметим, что во всех рассмотренных выше случаях первый этап выполнения команды завершается выработкой сигнала «начало операции»:

$$v_1 = v_1' \vee v_1'' \vee v_1''' = h_1^0 y_1 \vee h_2^0 y_s \vee h_3^0 y_2.$$

После выполнения второго этапа на вход УЦУ поступает сигнал «конец операции», после чего УЦУ приступает к третьему этапу выполнения команды.

С помощью этого сигнала формируются три входных сигнала автомата x_2, x_3, x_4 :

$$x_2 = h_4^0 v_3;$$

$$x_3 = h_1^0 h_4^1 v_3;$$

$$x_4 = h_1^1 h_4^1 v_3,$$

где v_3 — сигнал „конец операции“;

h_4^0 — признак конца операции без формирования исполнительного адреса обработанных слов;

h_4^1 — признак конца операции с формированием исполнительного адреса обработанных слов.

Значения h_4^0, h_4^1 определяются с помощью разрядов 16—17 регистра РК (табл. 12).

Таблица 12
Значения h_4

h_4	Значения разрядов 16-17 регистра РК
h_4^0	00
h_4^1	в остальных случаях

При поступлении на вход автомата сигнала x_2 формируется выходной сигнал u_5 , и автомат переходит в состояние $Q_2^0 Q_1^1$.

Так как во время работы блока местного управления ОУ на регистре РАК уже сформирован номер следующей команды, то с переходом в состояние $Q_2^0 Q_1^1$ начинается первый этап ее выполнения.

Если на вход автомата поступают сигналы x_3 или x_4 , то на его выходе формируются соответственно выходные сигналы u_3 и u_4 .

Одновременно эти входные сигналы переводят автомат УЦУ соответственно в состояния $Q_2^1 Q_1^0$ и $Q_2^1 Q_1^1$. Отметим, что выходным сигналом u_4 (т. к. он формируется в двухадресном режиме машины) анализируется коэффициент $a_{k,0}$. При этом, если $a_{k,0} = 0$, формируется сигнал, с помощью которого в адресную часть регистра РК засылаются нули. Выбор коэффициентов $a_{k,1}, \dots, a_{k,4}$ управляется потенциальными выходами автомата.

ԿԵՆՏՐՈՆԱԿԱՆ ՂԵԿԱՎԱՐՄԱՆ ՍԱՐՔ

Ա մ փ ո փ ու մ

Յուրաքանչյուր հրամանի կատարման ընթացքում կենտրոնական ղեկավարման սարքն ապահովում է բոլոր մնացած սարքերի ու հանգույցների համատեղ աշխատանքը:

Այս սարքը բաղկացած է հրամանների և նրանց հասցեների ռեգիստրներից (PAK, PK), մոդիֆիկացիայի ռեգիստրից (PM), երկչափանի հիշողության գծերի հատվածների հաշվիչից (СЧМС) և երկու ավտոմատներից:

Այդ ավտոմատներից մեկը կոչված է ձևավորելու մշակվող և մշակված բառերի հասցեները մեքենայի աշխատանքի տարբեր ռեժիմների ժամանակ, իսկ մյուսը՝ սահմանելու բոլոր ինքնուրույն աշխատող սարքերի ու հանգույցների աշխատանքն սկսելու և ավարտելու ժամկետները: Հասցեների ձևավորիչը (ФА) հանդիսանում է չորստակտանի ավտոմատ, որի մուտքային բառերի երկարությունը կախված է հասցեների ձևավորման պայմաններից: Այդ պայմանները առաջադրվում են տվյալ հրամանում ծրագրավորման ժամանակ:

Կենտրոնական ղեկավարման ավտոմատն ունի չորս կայուն վիճակ: Այդ վիճակներից մեկում կատարվում է հրամանի ընդունումը հիշող սարքերից, մյուսում՝ ապահովվում է հասցեների ձևավորիչի աշխատանքը և գործողությունների կատարումը, իսկ մնացած երկուսում՝ մշակված բառերի հասցեների ձևավորումը և գրանցումը երկչափանի հիշողությունում:

Անհրաժեշտ է նշել, որ պարզ գործողությունները (գումարում, հանում) կատարվում են կենտրոնական ղեկավարման սարքի մեկ պարբերության ժամանակ, բարդ գործողությունների կատարման ժամանակ նրանց թիվը բազմապատկվում է (կառուցվածքների, հոգվածների փնտրում):

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Р. Л. Урутян. Система команд машины «Гарни». Настоящий сборник.
2. Е. Н. Вавилов и С. П. Портной. Синтез схем электронных цифровых машин, «Советское радио», 1963.
3. А. Г. Ованисян и Р. Л. Урутян. Операционное устройство. Настоящий сборник.