

УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ МАШИН

7. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ

Основные логические связи

Применение в электронных цифровых машинах двоичной, двоично–десятичной и вообще двоично–кодированных систем счисления, имеющих только две различные цифры 0 и 1, позволяет использовать для проектирования и анализа функциональных схем машин аппарат математической логики, в частности, исчисление высказываний.

В исчислении высказываний каждое высказывание рассматривается только с точки зрения его истинности; никакие другие особенности в его содержании во внимание не принимаются. При этом принято за аксиому, что каждое высказывание либо истинно, либо ложно (высказывания одновременно истинные и ложные или неистинные и неложные не существуют).

Удобно считать, что «значение истинности» некоторого высказывания равно единице, если высказывание истинно, и равно нулю, если оно ложно.

Отдельные высказывания мы будем обозначать заглавными буквами латинского алфавита A, B, C, D, \dots

Каждому конкретному высказыванию отвечает всегда одно определенное значение истинности (либо только 0, либо только 1). В тех случаях, когда мы говорим о высказывании вообще, дело обстоит иначе. Значение истинности «высказывания вообще» может изменяться в зависимости от конкретного высказывания, которое мы будем отождествлять с ним.

Значение истинности будет в этом случае переменной величиной, допускающей два значения (0 или 1). Такие переменные называются двоичными переменными.

В исчислении высказываний изучаются логические связи между высказываниями, позволяющие составлять сложные высказывания из простых.

Сложное высказывание также может иметь только одно из двух значений истинности, которое зависит от значений истинности простых высказываний, образующих это сложное высказывание. Такие функции, которые зависят от двоичных переменных и сами допускают только два значения, называются двоичными функциями.

Два сложных высказывания K и L , образованные из одних и тех же простых высказываний A, B, C называются эквивалентными, если при всякой комбинации значений истинности составляющих высказываний сложные высказывания имеют одинаковые значения истинности. Эквивалентность двух высказываний обозначается знаком равенства $K = L$ (читается K эквивалентно L).

В исчислении высказываний изучаются способы преобразования сложных высказываний и определения их истинности в зависимости от значений истинности, заданных для составляющих высказываний.

Заметим, что между математической логикой и теорией электронных цифровых машин существует тройная связь. Во-первых, математическая логика (исчисление высказываний) дает удобный аппарат для анализа и синтеза электронных вычислительных и управляющих схем; во-вторых, теория программирования решений задач на электронных цифровых машинах (см. гл. IV) представляет собой, по существу, один из новых разделов математической логики и, в-третьих, электронные цифровые машины могут широко использоваться для решения задач математической логики (см. § 18).

В связи с этим знакомство с элементарными сведениями из математической логики является необходимым для изучения основ электронных цифровых машин. Заметим, что строгое доказательство возможности применения аппарата математической логики к релейно-контактным схемам впервые дал советский ученый В. И. Шестаков в 1935 г. Теория релейно-контактных схем, которая в значительной части может быть применена к анализу и синтезу электронных цифровых вычислительных и управляющих схем, разработана М. А. Гавриловым [4].

Рассмотрим следующие четыре основных логических связи.

1. **Отрицание**. Отрицание высказывания A обозначается символом \bar{A} (читается «не A ») и означает высказывание, которое истинно, когда A ложно, и ложно, когда A истинно.

Между значениями истинности какого-нибудь высказывания и его отрицания существует зависимость

$$\begin{aligned} \bar{1} &= 0, \\ \bar{0} &= 1. \end{aligned} \quad (\text{Ш. 1})$$

2. **Логическое умножение** (называемое также конъюнкцией). Знаком этого действия служит символ \wedge (этот символ читается как союз «и»).

Высказывание $A \wedge B$ (читается « A и B ») означает высказывание, истинное только тогда, когда A и B оба истинны, и ложное во всех остальных случаях. Зависимость значения истинности сложного высказывания $A \wedge B$ от значений истинности составляющих его высказываний имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} 0 \wedge 0 &= 0, \\ 0 \wedge 1 &= 0, \\ 1 \wedge 0 &= 0, \\ 1 \wedge 1 &= 1. \end{aligned} \quad (\text{Ш. 2})$$

3. Логическое сложение (называемое также дизъюнкцией). Знаком этого действия служит символ \vee (читается «или»). Выражение $A \vee B$ (читается « A или B ») означает высказывание, ложное только тогда, когда составляющие его высказывания ложные, и истинное — во всех остальных случаях. Отсюда вытекает следующая зависимость между значением истинности $A \vee B$ и значениями истинности исходных высказываний A и B :

$$\begin{aligned} 0 \vee 0 &= 0, \\ 0 \vee 1 &= 1, \\ 1 \vee 0 &= 1, \\ 1 \vee 1 &= 1. \end{aligned} \quad (\text{III.3})$$

4. Равнозначность двух высказываний. Эта связь между высказываниями обозначается символом ∞ . Сложное высказывание $A \infty B$ (читается « A равнозначно B ») истинно, когда значения истинности составляющих его высказываний одинаковы, и ложно в противном случае.

Значения истинности высказываний A , B и $A \infty B$ связаны следующей зависимостью:

$$\begin{aligned} 0 \infty 0 &= 1, \\ 0 \infty 1 &= 0, \\ 1 \infty 0 &= 0, \\ 1 \infty 1 &= 1. \end{aligned} \quad (\text{III.4})$$

Отметим, что равнозначность двух высказываний эквивалентна некоторому высказыванию, образованному с помощью отрицания, логического сложения и логического умножения. Именно

$$A \infty B = (\bar{A} \vee B) \wedge (A \vee \bar{B}).$$

Справедливость последней эквивалентности легко проверить непосредственной подстановкой.

Действительно, если $A = 1$; $B = 0$, то

$$\begin{aligned} A \infty B &= 1 \infty 0 = 0; \\ (\bar{A} \vee B) \wedge (A \vee \bar{B}) &= (\bar{1} \vee 0) \wedge (1 \vee \bar{0}) = \\ &= (0 \vee 0) \wedge (1 \vee 1) = 0 \wedge 1 = 0. \end{aligned}$$

Точно так же проверяем нашу эквивалентность для всех остальных возможных комбинаций значений истинности высказываний A и B . В электронных цифровых машинах часто используется более сложная логическая связь двух высказываний, именно, отрицание равнозначности $\overline{A \infty B}$ (можно читать « A неравнозначно B »). Зависимость между значениями истинности высказываний A , B и $\overline{A \infty B}$ легко получается из (III.4) с помощью (III.1).

$$\left. \begin{aligned} \overline{0 \infty 0} &= 0, \\ \overline{1 \infty 0} &= 1, \\ \overline{0 \infty 1} &= 1, \\ \overline{1 \infty 1} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.5})$$

Сравнение двух чисел во многих машинах осуществляется путем поразрядного выполнения операции отрицания равнозначности в соответствии с зависимостью (III.5). При этом на основе сравниваемых чисел строится число, имеющее единицы в тех разрядах, которые у сравниваемых чисел различны, и нули в тех разрядах, которые у сравниваемых чисел одинаковы.

Рассмотрим пример на составление сложных высказываний. Пусть высказывание A означает «я слушаю музыку», а высказывание B — «я отдыхаю».

Из этих двух высказываний можно образовать формально следующие сложные высказывания, используя указанные логические связи:

- $A \wedge B$ — „я слушаю музыку" и „я отдыхаю",
- $A \vee B$ — „я слушаю музыку" или „я отдыхаю",
- $A \infty B$ — „я слушаю музыку" равнозначно тому, что „я отдыхаю".

Образование отрицаний для каждого высказывания тривиально. Видно, что полученные высказывания могут быть либо истинными, либо ложными в зависимости от того истинны или ложны образующие их простые высказывания.

В теоретической логике установлено, что любое сложное высказывание может быть получено из простых высказываний при помощи трех основных логических связей: «не», «и», «или», т. е. с помощью логических действий отрицания, умножения и сложения.

Все действия в двоичной арифметике, рассмотренные в предыдущей главе, сводятся в конечном счете к поразрядному выполнению трех указанных основных логических операций. Поэтому мы рассмотрим элементарные электронные схемы, реализующие указанные логические операции.

Представление двоичных чисел в машинах

Для представления двоичных чисел необходимо обеспечить в машинах физическую реализацию двух различных сигналов, один из которых будет соответствовать нулю, а другой — единице.

Механически эти цифры представляются, например, при помощи пробивок на перфокартах или перфолентах.

Наличие отверстия на определенной позиции означает единицу, а отсутствие отверстия — нуль.

Электрическими сигналами цифры 0 и 1 могут быть представлены двумя различными способами.

а. Статический способ. При этом способе применяются два различных уровня напряжения. Высокий уровень v_B может, например, обозначать единицу, а низкий уровень v_H — нуль.

Соответствующий уровень напряжения сохраняется в течение всего времени представления данной цифры. Если подряд будут следовать несколько одинаковых цифр (1, 1, 1 ... или 0, 0, ...), то уровень напряжения сохраняется и в промежутках между моментами их задания (рис. III.1, а).

б. Динамический способ. Цифры изображаются при помощи электрических импульсов определенной длительности. Наличие положительного импульса в определенный момент времени может соответствовать единице, а отсутствие положительного импульса или наличие отрицательного импульса — нулю.

При следовании подряд нескольких единиц напряжение в промежутках между моментами задания цифр падает до нулевого уровня (рис. III.1, б).

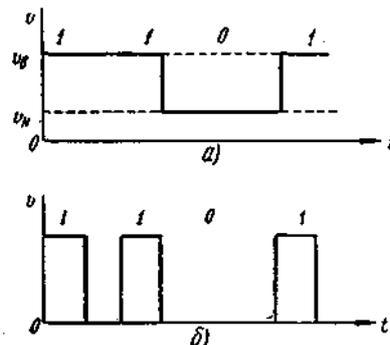


Рис. III.1.

Электронные лампы и выпрямители

Электронные лампы и выпрямители обладают способностью проводить ток только в одном направлении. Они являются нелинейными элементами, позволяющими создавать в машинах различные уровни напряжения, необходимые для представления двоичных цифр. Простейшей электронной лампой является диод (рис III.2, а). Диод имеет два электрода: анод и катод. Катод, нагретый до высокой температуры, испускает электроны, т. е. обладает термоэлектронной эмиссией.

Если к аноду приложен положительный потенциал, а к катоду отрицательный, то электроны будут двигаться от катода к аноду, т. е. через диод пойдет электрический ток от анода к катоду. (рис. III.2, б). Если же приложить положительный потенциал к катоду, а отрицательный к аноду, то ток через диод проходить не будет.

В первом случае на выходной клемме С будет высокое напряжение, почти равное потенциалу анода (так как внутреннее сопротивление диода, когда он проводит, значительно меньше нагрузочного сопротивления R), а во втором случае на клемме С будет низкий уровень напряжения.

Аналогичная картина имеет место и для полупроводниковых или кристаллических выпрямителей, у которых свойство односторонней проводимости обусловлено физической природой вещества выпрямителя (рис. III.2, е).

В ламповых и полупроводниковых диодах управление током, протекающим через диод, и полярностью выходного сигнала может осуществляться путем изменения полярности подводимого напряжения.

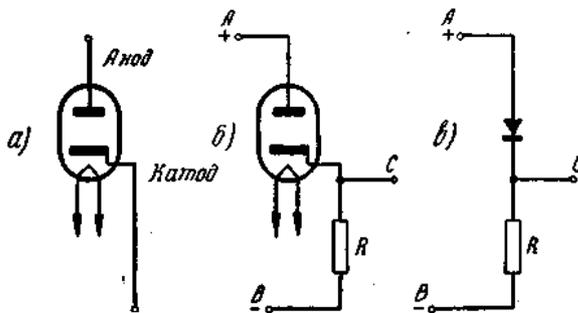
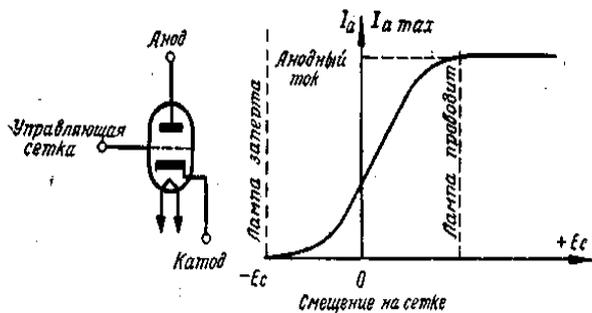


Рис. III.2.



а) Рис III. 3б)

Триод представляет собой электронную лампу, в которой между анодом и катодом расположен еще третий электрод — управляющая сетка (рис. III.3, а). Управляющая сетка служит для управления током, протекающим через триод без изменения напряжения, приложенного между анодом и катодом.

Приложенное к сетке триода отрицательное напряжение (смещение — E_c) уменьшает ток через триод и при определенной величине этого смещения ток через лампу полностью прекратится, „лампа

будет заперта“. Наоборот, при подаче на сетку положительного напряжения (смещения) ток через лампу увеличивается и при определенном значении этого смещения достигает максимума. Максимальное значение анодного тока через лампу $I_{a \max}$ соответствует тому, что почти все электроны, испускаемые катодом, попадают на анод (часть электронов попадает на сетку, образуя так называемый сеточный ток.)

На рис. III.3, б представлена типичная сеточная характеристика триода. Она имеет близкий к линейному наклонный участок и два нелинейных участка — верхний и нижний изгибы. Так как в цифровых машинах для представления двоичных чисел необходимы только два уровня напряжения, то на сеточной характеристике

лампы используются две точки, расположенные по возможности дальше друг от друга за пределами линейного участка. Таким образом, электронные лампы в цифровых машинах находятся в двух резко отличающихся состояниях: или полностью заперты, или полностью открыты. Вследствие этого на работу схем значительное изменение параметров ламп в процессе их эксплуатации не оказывает влияния.

Большое применение в электронных цифровых машинах имеют также лампы с пятью электродами — пентоды. Из трех сеток пентода одна сетка обеспечивает нормальный режим работы самого пентода, а две других могут быть использованы в качестве управляющих. Пентод будет заперт, если хотя бы на одну из двух его управляющих сеток будет подано соответствующее отрицательное смещение.

Схемы для основных логических операций

Рассмотрим простейшие электронные схемы, с помощью которых в машинах реализуются приведенные выше основные логические операции «не», «и», «или».

С х е м а и н в е р т о р а, служащая для реализации логической операции «не» (нет), приведена на рис. Ш.4,а.

Сигнал высокого уровня на выходе P будет в том случае, когда на входе C сигнал* отсутствует. При этом на сетке триода будет низкое напряжение, запирающее триод, и потенциал точки P будет равен потенциалу $+E_a$. При подаче на вход C сигнала высокого уровня триод отпирается и, благодаря падению напряжения на сопротивлении R_a , потенциал точки P падает, т. е. сигнал на выходе исчезает. На рис. Ш.4,б дано обозначение инвертора, применяемое на функциональных схемах.

С х е м а м и с о в п а д е н и я называются схемы, реализующие логическую операцию «и». Они представляют собой многополюсники, в общем случае, с n - входами и одним выходом. Сигнал на выходе схемы появляется в том и только в том случае, когда имеются

сигналы на всех входах одновременно, т. е. эта схема реализует логическое произведение $P = A \wedge B \wedge C \wedge D$.

Примеры схем совпадения приведены на рис. Ш.5. Схему совпадения для двух сигналов иногда называют клапаном или вентилем.

На рис. Ш.5,а показана схема совпадения на диодах. Сигнал на выходе P будет иметь высокий уровень напряжения в том случае, если на катоды обоих диодов, т. е. в точки A и B , подано высокое положительное напряжение.

При отсутствии хотя бы на одном входе A или B положительного сигнала высокого уровня соответствующий диод будет проводить и, благодаря падению напряжения на сопротивлении R , потенциал точки P понизится.

На рис. Ш.5,б показана схема совпадения на пентоде. Ток через пентод проходит только при наличии положительных сигналов на обеих управляющих сетках пентода. Падение напряжения на сопротивлении R обеспечивает появление сигнала высокого уровня на выходе P . На рис. Ш.5,в приведена схема совпадения на выпрямителях, имеющая четыре входа A, B, C, D . На выходе P появится сигнал высокого уровня в том случае, если на все четыре входа A, B, C, D поданы положительные сигналы. Отсутствие положительного сигнала хотя бы на одном входе вызовет ток через сопротивление R и падение потенциала точки P .

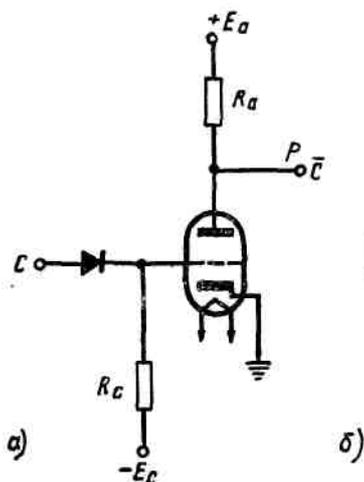


Рис.Ш.4

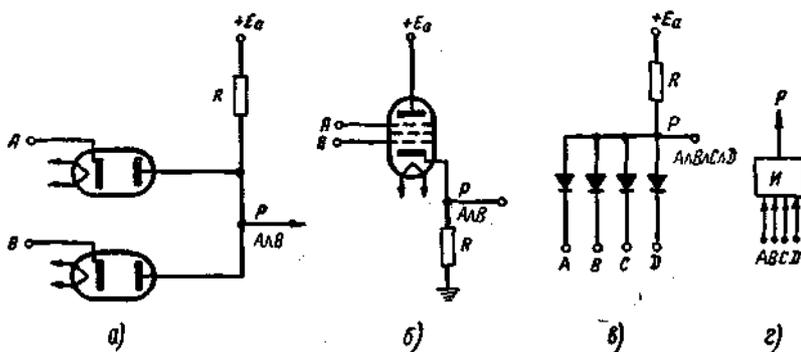


Рис.Ш.5

На рис. Ш.5,г показано обозначение схемы совпадения, применяемое на функциональных схемах.

Приведенные схемы, как нетрудно видеть, могут служить и для реализации логической операции «или», если

* В тех случаях, когда мы употребляем выражение „сигнал“, не оговаривая его уровня, следует понимать положительный сигнал высокого уровня.

пользоваться отрицательными сигналами. Собирательные схемы — схемы, реализующие операцию «или» для положительных сигналов, приведены на рис. Ш.6. Каждая собирательная схема имеет несколько входов и один выход. Сигнал высокого уровня на выходе P появляется только в том случае, если имеется сигнал хотя бы на одном входе, т. е. реализуется формула логической суммы: $P = A \vee B \vee C \vee D$.

На рис. Ш.6,а показана собирательная схема на диодах. Наличие положительного сигнала хотя бы на одном из входов A или B вызовет ток через сопротивление R и появление положительного

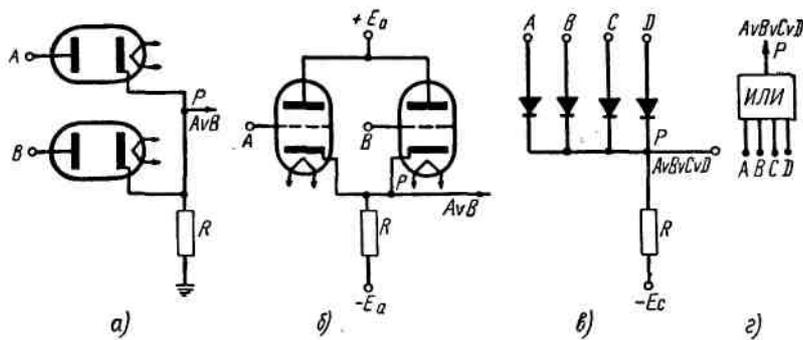


Рис. Ш.6.

сигнала на выходе P . На рис. Ш.6,б приведена собирательная схема на триодах, а на рис. Ш.6,в — собирательная схема на выпрямителях. На рис. Ш.6,г показано обозначение собирательной схемы, применяемое на функциональных схемах.

Комбинированные электронные логические схемы

Более сложные логические преобразования в вычислительных и управляющих схемах выполняются электронными схемами, составленными из рассмотренных выше элементарных схем (инверторов, схем совпадения, собирательных схем).

Схема двойного вентиля, представляющая собой многополюсник с четырьмя входами и одним выходом, приведена на рис. Ш.7,а.

На два входа A и B поступают сигналы, которые должны пройти на выход P .

В зависимости от того, на какой из управляющих входов S_1 или S_2 подан управляющий сигнал, на выход P будет пропущен либо сигнал A , либо сигнал B . Если положительный управляющий сигнал высокого уровня подан на вход S_1 а на вход S_2 подан сигнал низкого уровня, то на выход P пройдет сигнал A , а сигнал B пройдет через проводящий выпрямитель d_2 на шину S_2 . Если управляющий сигнал подан на вход S_2 , то, наоборот, на выход пройдет сигнал B , а сигнал A пройдет на шину S_1 через проводящий выпрямитель d_1 . Выпрямители d_3 и d_4 служат для того, чтобы исключить обратное влияние на работу схемы сигнала, прошедшего на выход. На рис. Ш.7,б изображена функциональная схема двойного вентиля, составленная из схем совпадения и собирательных

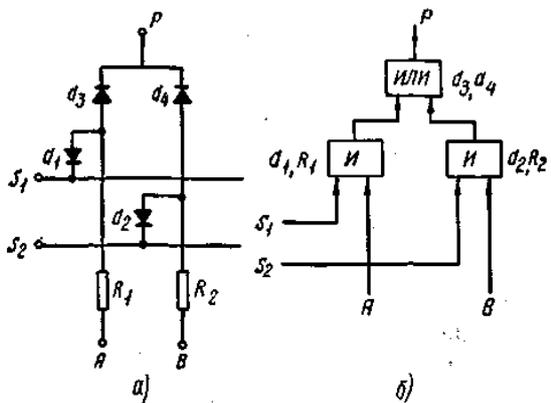


Рис.Ш.7

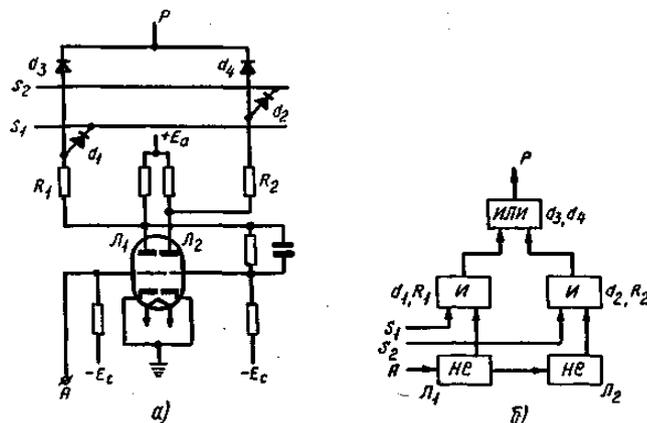


Рис.Ш.8

схем.

Одноразрядный преобразователь (рис. Ш.8,а) можно получить, соединяя схему инверторов и двойных вентилях.

Сигнал, поданный на вход L , проходит на выход P в прямом или инвертированном виде в зависимости от того, на какой из двух управляющих входов S_1 или S_2 подан управляющий сигнал. Функциональная схема одноразрядного преобразователя, составленная из инверторов, схем совпадения и собирательной схемы, показана на рис. Ш.8,б.

Избирательная схема приведена на рис. Ш.9,а. В данном случае эта схема работает таким образом, что каждой комбинации положительных сигналов, поданных на входы A и B , соответствует одна и только одна комбинация сигналов на выходах

P, Q, R, S .

Могут быть получены четыре различных комбинации входных сигналов ($A = 0$ и $B = 0$; $A = 1$ и $B = 0$; $A = 0$ и $B = 1$; $A = 1$ и $B = 1$) и для каждой из этих комбинаций выходной сигнал будет появляться только на одном из

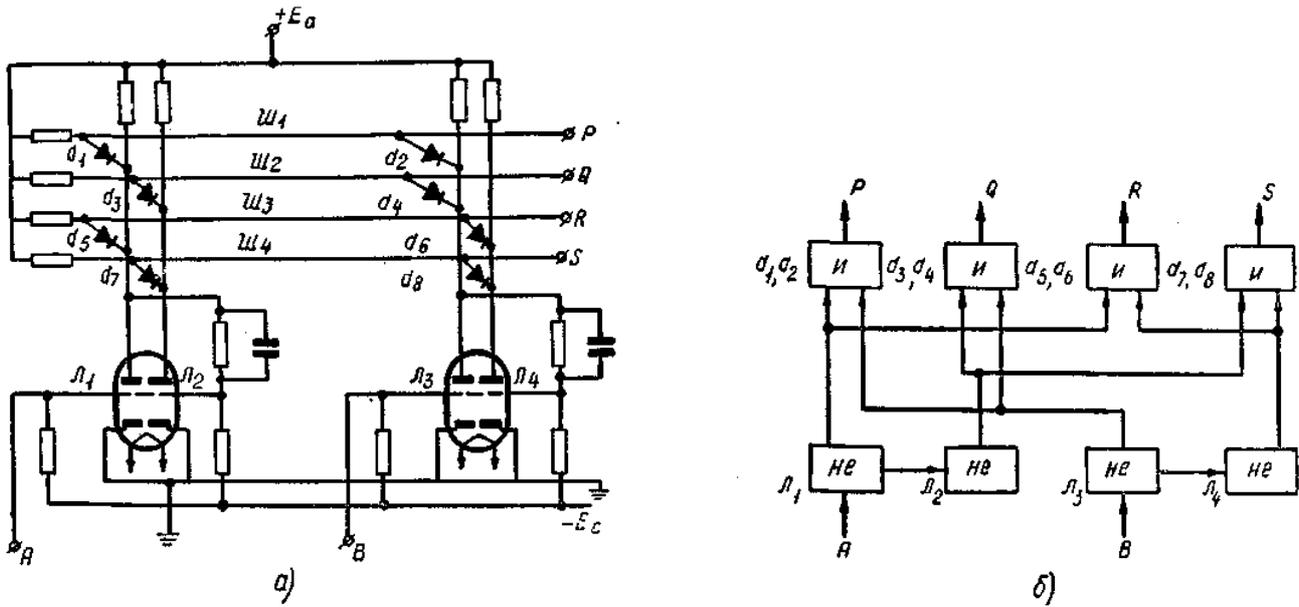


Рис. III.9.

Например, в случае комбинации входных сигналов $L=0, B=01$ лампы L_1 и L_3 будут заперты (благодаря наличию на сетках этих ламп большого отрицательного смещения, обусловленного напряжением $-E_c$). Лампы L_2 и L_4 будут, наоборот, полностью открыты и потенциал на анодах этих ламп будет низким. Через проводящие выпрямители d_3, d_6, d_7, d_8 ток от шин $Ш_2, Ш_3, Ш_4$ будет протекать к анодам ламп L_2 и L_4 , имеющим низкий потенциал, а шина $Ш_1$, соединенная через d_1 и d_2 с анодами ламп L_1 и L_3 , имеющими высокий потенциал, будет иметь также высокий потенциал. Таким образом, комбинации входных сигналов $L=0, B=0$ соответствует;

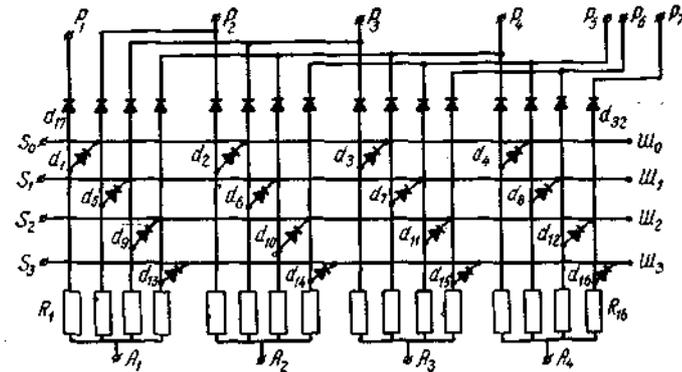


Рис. III.10.

наличие сигнала только на выходе P . Функциональная схема рассмотренной избирательной схемы показана на рис. III.9.б. Аналогичная картина имеет место и для других комбинаций входных сигналов.

Часто при выполнении операций над двоичными числами приходится производить сдвиг всех разрядов числа на определенное количество разрядов вправо или влево. Например, при выполнении операции нормализации двоичных чисел производится сдвиг мантиссы влево. Наоборот, при выравнивании порядков мантиссы меньше го числа сдвигается вправо (см. § 5).

Схема сдвигателя, предназначенная для сдвига вправо четырехразрядных двоичных чисел, приведена на рис. ШЛЮ. Сдвигаемое число подается на входы A_1, A_2, A_3, A_4 .

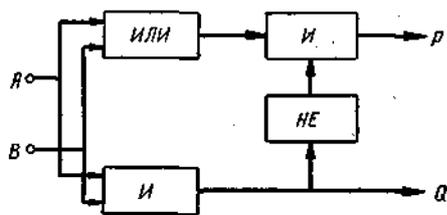
В зависимости от того, на какой из четырех управляющих входов S_0, S_1, S_2 или S_3 будет подан управляющий сигнал высокого уровня, число пройдет без сдвига или будет сдвинуто соответственно на 1, 2 или 3 разряда вправо.

На приведенной схеме сдвигатель построен целиком на выпрямителях. При отсутствии сигналов на всех управляющих входах S_0, S_1, S_2, S_3 сигналы высокого уровня, поданные на входы A_1, A_2, A_3, A_4 через проводящие выпрямители $d_1, d_2, d_3, d_4 \dots d_{16}$, пройдут на шины $Ш_0, Ш_1, Ш_2, Ш_3$ и ни на одном из выходов сдвигателя сигналов не будет. При подаче сигнала высокого уровня, например, на управляющий вход S_2 выпрямители $d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}$ проводить ток не будут и сигналы со входов A_1, A_2, A_3, A_4 пройдут на выходы P_3, P_4, P_5, P_6 , т. е. произойдет сдвиг поданного на вход S_0 числа на 2 разряда вправо (в сторону младших разрядов). Если управляющий сигнал будет подан на вход S_0 , то число пройдет без сдвига, т. е. появится на выходах P_1, P_2, P_3, P_4 .

Выпрямители $d_{17} \div d_{32}$ служат для того, чтобы исключить обратное влияние выходных сигналов на работу схемы.

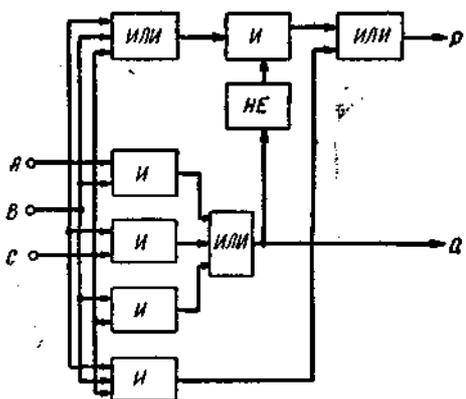
Сопротивления $R_1 \div R_{16}$ необходимы для ограничения тока через выпрямители и для поддержания достаточно высокого уровня входных сигналов, так как в противном случае все входные сигналы независимо от наличия управляющих сигналов S_0, S_1, S_2, S_3 прошли бы через открытые в данный момент выпрямители.

На рис. III.11 приведена функциональная схема одноразрядного двоичного сумматора на два входа. Справа дана таблица, определяющая порядок работы этого сумматора.



A	B	P	Q
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

Рис. III.11.



A	B	C	P	Q
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Рис III.12

На входы *A* и *B* поступают разряды складываемых двоичных цифр, выход *P* дает значение данного разряда суммы, а выход *Q* дает перенос в следующий старший разряд. Простая проверка показывает, что данная схема реализует таблицу двоичного сложения. На рис. III.12 приведена функциональная схема одноразрядного двоичного сумматора на три входа и таблица, определяющая порядок работы этого сумматора. На входы *A* и *B* поступают соответствующие разряды складываемых двоичных чисел, а на вход *C* перенос в данный разряд из младшего разряда.

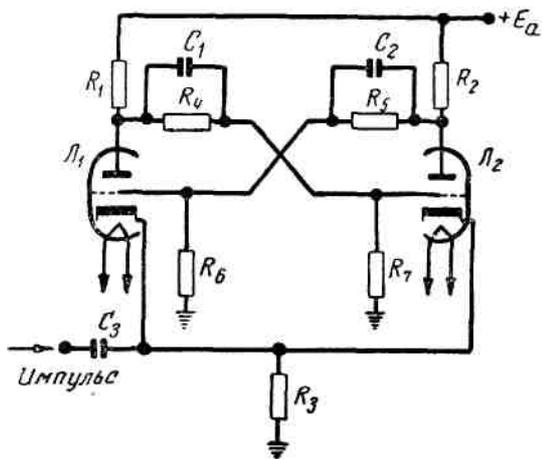
Выход *P* дает значение данного разряда суммы, а выход *Q* — значение переноса в соседний старший разряд. В правильности этой схемы можно легко убедиться путем подстановки в качестве входных величин соответствующих значений из колонок *A*, *B*, *C* таблицы и сравнения результатов с данными таблицы, помещенными в колонках *P* и *Q*. Такую проверку можно провести последовательно для всех строк таблицы (рис. III.12).

Очень важную роль играет в технике электронных цифровых машин электронная схема с двумя устойчивыми состояниями, так называемый триггер.

Триггерная схема (рис. III.13) имеет две электронные лампы и характеризуется наличием анодно-сеточных связей и общего смещения для обеих ламп. Это заставляет схему находиться в одном из двух устойчивых состояний до тех пор, пока внешний сигнал не изменит этого состояния.

В этой схеме анод первого триода L_1 через сопротивление R_4 , зашунтированное конденсатором C_1 , соединяется с сеткой второго триода L_2 , а анод второго триода через R_5 и шунтирующий конденсатор C_2 соединяется с сеткой первого. Увеличение тока, проходящего через триод, вызывает понижение потенциала анода данного триода, а, следовательно, и понижение напряжения на сетке другого триода.

Например, увеличение тока через лампу L_1 вызывает увеличение падения напряжения на сопротивлении R_1 , что снижает потенциал на сетке L_2 . По мере понижения напряжения на сетке L_2 анодный ток через эту лампу понижается, что приводит к уменьшению падения напряжения на сопротивлении R_2 и повышению потенциала анода лампы L_2 . В связи с этим повышается потенциал сетки лампы L_1 и ток через эту лампу возрастает и т. д. Этот процесс продолжается до тех пор пока лампа L_2 будет идти полностью запертой, а через лампу L_1 будет идти максимальный ток. Схема примет устойчивое положение, характеризующееся наличием высокого потенциала на одном из анодов и низкого потенциала на другом. Аноды ламп могут быть использованы в качестве выходов схемы.



Анодный ток открытой лампы дает падение напряжения как на ее собственном анодном сопротивлении, так и на общем катодном сопротивлении R_3 .

Величины сопротивлений должны выбираться такими, чтобы напряжение на катодах ламп при одной полностью закрытой лампе рис. III.13 было выше потенциала сетки запертой лампы. При этом на сетке

запертой лампы создается отрицательное смещение, которое удерживает схему в устойчивом состоянии. Для того чтобы перевести схему в другое состояние, необходимо подать внешний импульс.

Существует несколько способов подачи внешних сигналов в триггерную схему — несколько способов управления триггерами. Например, можно подавать входные импульсы одной и той же полярности на один вход (на катоды обеих ламп), как показано на схеме. При подаче каждого нового сигнала схема будет поочередно переходить из одного состояния в другое и осуществлять счет поступающих импульсов по модулю 2. В этом случае схема будет представлять собой одноразрядный двоичный счетчик.

Применяется и другой способ управления триггером, при котором управляющие сигналы подаются в две точки схемы, например, на сетки ламп. При этом в зависимости от полярности поданного сигнала схема может перейти или не перейти в другое состояние. Например, если на сетку проводящей лампы будет подан положительный сигнал, то он не изменит состояния схемы. Отрицательный же сигнал вызовет переход схемы в другое состояние.

Несколько триггерных ячеек могут соединяться последовательно таким образом, что сигнал с выхода одного триггера используется как входной сигнал для следующего триггера. Таким путем строятся регистры — запоминающие устройства для хранения одного числа.

Каждый триггер соответствует определенному разряду двоичного числа, а последовательная связь между триггерами обеспечивает переносы между разрядами при сложении двоичных чисел.

8. АРИФМЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Арифметические устройства предназначаются для выполнения арифметических и логических операций над числами и командами в машинах.

В состав арифметических устройств входят обычно несколько отдельных устройств различного функционального назначения. Основными из них являются устройства для сложения и вычитания и множительные устройства. В настоящем параграфе мы кратко рассмотрим некоторые упрощенные функциональные схемы этих устройств. Основными элементами, из которых строятся эти устройства, являются одноразрядные сумматоры, триггеры, регистры, вентили, сдвигатели. Примеры принципиальных схем этих элементов были рассмотрены в предыдущем параграфе.

Рассмотрим сначала устройства сложения и вычитания, называемые также сумматорами. Сумматоры могут быть двух типов: комбинационные и накапливающие.

Комбинационный сумматор имеет два входа, по которым одновременно подаются оба складываемых числа, представленные в виде высоких и низких уровней напряжения. Сумма появляется одновременно с вводом слагаемых (если пренебречь переходными процессами) и значение ее определяется тем состоянием электронной цифровой схемы, которое она принимает при одновременном приложении электрических сигналов, характеризующих оба числа. При снятии хотя бы одного слагаемого значения суммы исчезает.

Накапливающие сумматоры могут иметь либо два входа (по одному на каждое из слагаемых), либо один вход для обоих слагаемых. В том и в другом случае складываемые числа подаются в сумматор не одновременно и значение суммы будет определяться результатом сложения всех введенных в разное время в сумматор слагаемых.

Накапливающий сумматор сохраняет значение суммы и после исчезновения сигналов, характеризующих слагаемые. Стирание суммы производится специальным сигналом.

Накапливающий сумматор может рассматриваться как соединение комбинационного сумматора и регистра — запоминающего устройства на одно число.

Сумматор, построенный из триггеров, будет являться накапливающим и без специального запоминающего регистра, так как триггерные схемы обладают свойством сохранять свое положение.

Вводимое в накапливающий сумматор число прибавляется к числу, которое до этого находилось в сумматоре, и полученная сумма замещает прежнее число.

По характеру выполнения операций над разрядами чисел сумматоры могут быть последовательного или параллельного действия.

В сумматор последовательного действия разряды вводимого числа подаются последовательно один за другим, начиная с младшего разряда; при этом ввод n -разрядного числа требует в n раз больше времени, чем ввод одного разряда.

В параллельный сумматор все разряды какого-нибудь числа вводятся одновременно и время ввода при этом равно времени ввода одного разряда. Параллельный сумматор, обеспечивая более быстрый ввод чисел, в то же время требует больше входных каналов и аппаратуры, чем сумматор последовательного действия.

На рис. III. 14 приведена блок-схема комбинационного сумматора параллельного действия с последовательным переносом единицы. Этот сумматор обеспечивает сложение двух n -разрядных двоичных чисел. Цифры соответствующих разрядов первого и второго слагаемых и суммы обозначены через x_i , y_i , z_i .

Для управления вводом слагаемых предусмотрены две группы вентилях. Каждая из групп вентилях имеет общий управляющий вход.

Каждый одноразрядный сумматор имеет три входа и два выхода.

Для i -го одноразрядного сумматора v_i обозначает перенос в старший разряд и v_{i-1} — перенос в данный разряд из младшего разряда. Данная схема предусматривает возможность вычитания чисел, заданных в обратном коде (см. §, 5), для чего в схеме имеется линия циклического переноса из старшего разряда в младший и дополнительно должен быть введен $(n+1)$ -ый старший разряд. При сложении чисел с запятой, фиксированной перед старшим разрядом числа $(n+1)$ -ый разряд будет представлять собой разряд целых единиц — знаковый разряд.

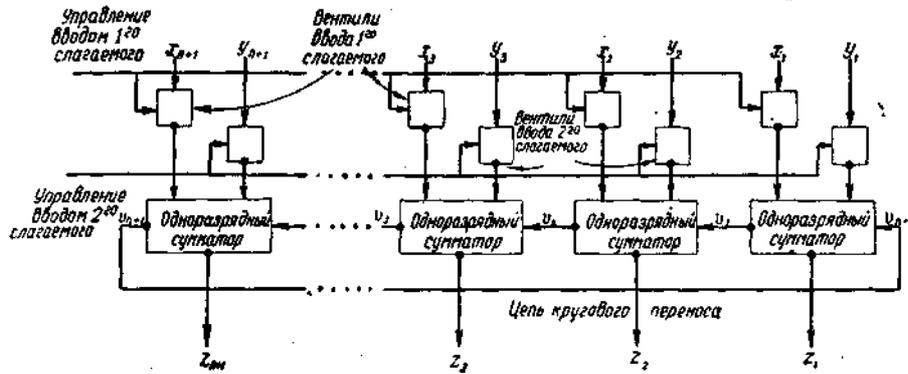


Рис. Ш.14.

Перевод отрицательных чисел в обратный код должен производиться отдельным блоком арифметического устройства.

Для хранения отрицательных чисел в машине имеются две возможности.

В одном случае отрицательные числа хранятся в запоминающем устройстве в обратном коде и тогда их можно непосредственно подавать в сумматор. При этом необходимость в специальном преобразовании чисел в обратный код возникает только при вычитании положительных чисел.

В другом случае отрицательные числа хранятся в запоминающем устройстве в прямом коде с отрицательным знаком. При этом перед подачей в сумматор все разряды отрицательного числа должны пройти через преобразователь, который заменит 1 на 0 и 0 на 1.

Время сложения двух чисел в параллельном сумматоре комбинационного типа при последовательном способе переноса единицы определяется в основном временем переноса между разрядами. Наиболее длинный перенос будет в случае, когда $x_{n+1} + y_{n+1} = 1 + 1 = 10$, а во всех остальных разрядах $x_i + y_i = 1$. Тогда единица переноса, попадающая через линию циклического переноса в младший разряд, должна пройти $n+2$ разряда.

На рис. Ш.15 показана блок-схема параллельного накапливающего сумматора с одновременным переносом. Схема предназначена для сложения n -разрядных чисел с фиксированным положением запятой, заданных в системе счисления с основанием B , не обязательно равным двум.

Сложение отрицательных чисел предусматривается в обратном коде: при помощи преобразователя, подобного рассмотренному в предыдущем параграфе, каждый разряд отрицательного числа перед подачей в сумматор должен быть преобразован в дополнение до $B-1$. В знаковом (старшем) разряде для отрицательных чисел при этом указывается цифра $B-1$ (для положительных чисел в знаковом разряде ставится ноль).

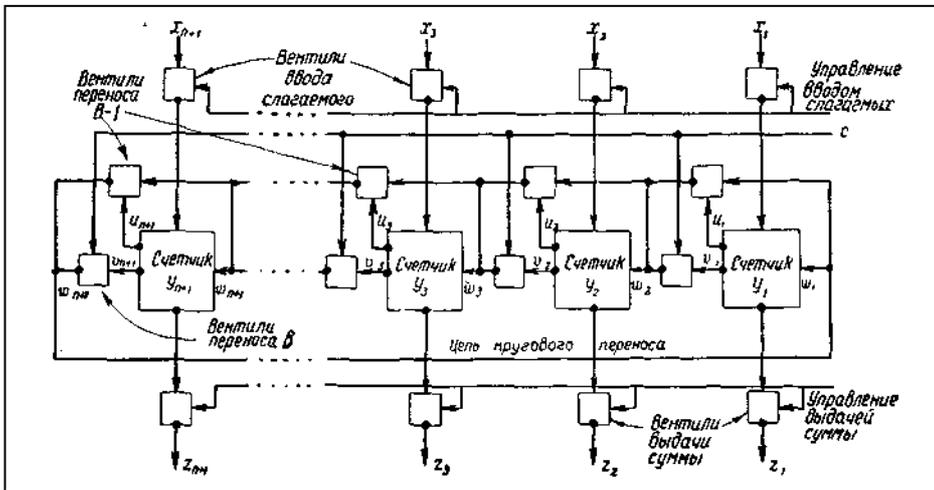


Рис. Ш.15.

Для выполнения действий над числами в обратном коде в схеме сумматора предусмотрен дополнительный $(n+1)$ -ый разряд, являющийся знаковым разрядом, для этой же цели предусмотрена и линия циклического переноса из старшего разряда (знакового) в младший. Каждый одноразрядный сумматор в данном случае является счетчиком, т. е. он обеспечивает не только суммирование цифр соответствующих разрядов, но и сохранение полученной цифры данного разряда суммы.

Одноразрядные счетчики для системы счисления с основанием B могут быть построены в виде цепочек из B триггеров. Такие счетчики должны обладать способностью принимать B устойчивых состояний.

Для ввода слагаемых в рассматриваемой схеме предусматривается один вход на каждый из разрядов x_1, x_2, \dots, x_{n+1} , по которому слагаемые вводятся в сумматор поочередно. (Может вводиться и больше двух слагаемых).

Управление вводом слагаемых осуществляется при помощи группы вентилях с общим управляющим входом, а выводом суммы — общей цепью управления для вентилях выдачи суммы z_1, z_2, \dots, z_{n+1} . Каждый одноразрядный счетчик имеет два входа x_i, w_i и три выхода u_i, v_i, z_i .

Если некоторый i -ый счетчик находится в состоянии, соответствующем цифре x_i и в него поступает цифра y_i то счетчик перейдет в состояние $p_i = x_i + y_i - v_i B$, где v_i — сигнал, соответствующий единице переноса в старший разряд и появляющийся тогда, когда $x_i + y_i \geq B$. В формуле v_i равно единице при наличии единицы переноса и

равно нулю при ее отсутствии.

В отличие от рассмотренного выше комбинационного параллельного сумматора, в котором имел место последовательный перенос между разрядами, в данной схеме предусматривается одновременный перенос между разрядами. При этом процесс поразрядного сложения и процесс переносов разделены между собой во времени. Сначала выполняется поразрядное сложение, а затем подается специальный сигнал c , поступающий на вентили переноса B , по которому осуществляются все переносы. Одновременное выполнение всех переносов между разрядами обеспечивается введением в схему, кроме вентилей переноса B , открываемых сигналами $v_i=1$, еще вентилей прямого циклического

переноса, открываемых сигналами u_i появляющимися, когда $x_i + y_i = B - 1$. Сигнал $u_i=1$ обеспечивает переход импульса переноса w_i , возникающего в младшем $(i - 1)$ -ом разряде, сразу в старший $(i + 1)$ -ый разряд. Если в i -ом разряде появилась величина $v_i=1$, то вентиль i -ого переноса будет открыт для сигнала c . Сигнал c подается после окончания процессов поразрядного сложения в счетчиках и установления всех сигналов v_i, u_i , открывающих вентили переносов B и $B-1$.

Ясно, что в каком-либо разряде не могут одновременно возникнуть оба импульса переноса $v_i = 1$ и $u_i = 1$, т. е. всегда $u_i \cdot v_i = 0$.

По сигналу c происходят переносы и схема принимает окончательное состояние, при котором значение цифры i -го разряда суммы определяется выражением

$$z_i = x_i + y_i + w_i - (v_i + u_i \cdot w_i)B.$$

Так как из двух величин v_i и u_i одна всегда равна нулю, а вторая единице, то значение цифры данного разряда суммы будет

$$z_i = x_i + y_i + w_i - B \quad \text{при } x_i + y_i + w_i \geq B;$$

$$z_i = x_i + y_i + w_i \quad \text{при } x_i + y_i + w_i < B$$

В такой схеме время, расходуемое для переносов, зависит только от времени прохождения импульсов переноса через вентили, управляемые сигналами u_i и не зависит от времени перехода счетчиков из $B-1$ в нулевое состояние.

Следует заметить, что возникшие импульсы переносов u_i и v_i должны задерживаться линиями задержки или фиксироваться при помощи триггеров, так как наличие переходных процессов во время осуществления переносов может нарушить правильность работы схемы. После окончания каждого цикла суммирования эти триггеры должны устанавливаться в исходное положение, для чего необходимы дополнительные схемы.

В данном накапливающем сумматоре отрицательные числа всегда получают и выдаются в обратном коде (т. е. в виде поразрядных дополнений до $B-1$).

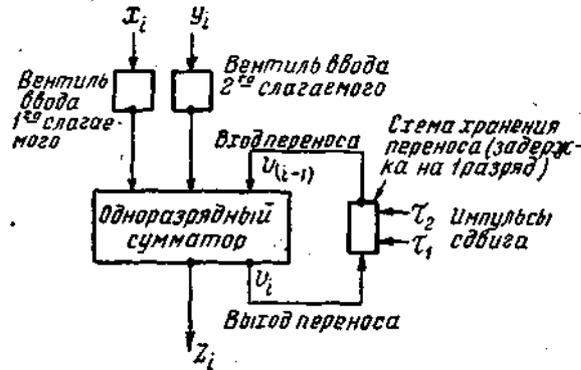


Рис. III.16.

Выдача суммы z_1, z_2, \dots, z_{n+1} осуществляется при помощи специальных вентилей выдачи и может производиться в любое время, кроме времени выполнения операций, так как в последнем случае выдаваемая сумма не будет учитывать поступающего слагаемого. Перед началом каждой новой последовательности суммирования чисел все счетчики при помощи специальных схем устанавливаются в нулевое положение.

Рассмотрим примеры сумматоров последовательного действия.

На рис. III. 16 приведена блок-схема комбинационного сумматора последовательного действия.

В этом сумматоре используется один одноразрядный сумматор и схема для задержки единицы переноса на время, равное интервалу между двумя последовательно поступающими разрядами чисел.

В случае двоичной системы счисления схема работает по правилу

$$z_i = x_i + y_i + v_{i-1} - 2v_i$$

- где z_i — значение цифры i -го разряда суммы,
- x_i и y_i — значения цифр i -ых разрядов слагаемых,
- v_{i-1} — единица переноса из младшего разряда,
- v_i — единица переноса в старший разряд.

Через τ_1 и τ_2 обозначены синхронизирующие импульсы, прикладываемые к триггерам, образующим схему задержки, для обеспечения одновременности поступления импульсов переноса v_{i-1} и входных импульсов x_i и y_i .

Так как в таком сумматоре последовательного действия невозможно осуществить циклический перенос, то он используется либо для сложения положительных чисел, либо для сложения отрицательных чисел, заданных в дополнительном коде; при этом циклическая передача не нужна и импульс v_{-1} будет равняться нулю, а импульс v_n будет отбрасываться.

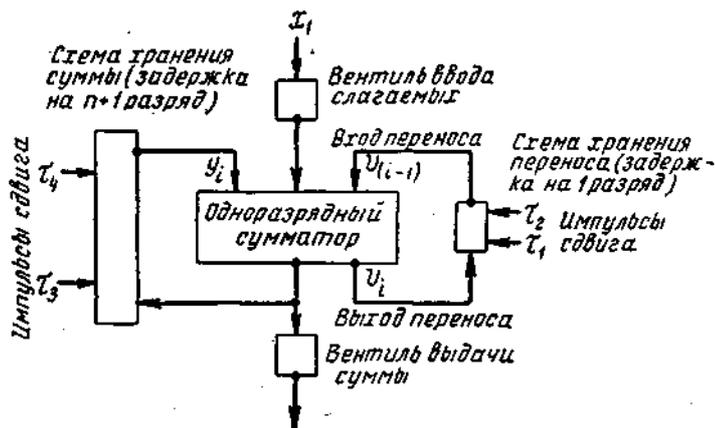


Рис. III. 17.

Сложение отрицательных чисел в обратном коде требует наличия циклической передачи единицы переноса из старшего разряда в младший, что может быть сделано только путем добавления к данному сумматору специального запоминающего устройства на одно число. Это устройство должно сохранять полученное при первом суммировании значение суммы и вновь подавать его в сумматор для повторного сложения с единицей циклического переноса.

Схема такого сумматора приведена на рис. III.17.

Наличие схемы для хранения суммы [схемы задержки на $(n + 1)$ -ый разряд] превращает, по существу, сумматор комбинационного типа в накапливающий сумматор. Этот сумматор может быть использован для сложения отрицательных чисел как в обратном, так и в дополнительном коде, в зависимости от того, каким образом учитываются импульсы переносов v_{-1} и v_n .

Если сложение ведется в обратном коде, то циклическая передача обеспечивается путем сохранения при помощи двойной триггерной схемы импульса переноса v_n и подачи его на вход сумматора уже в качестве импульса v_{-1} для повторного суммирования. При

этом выдача окончательного значения суммы возможна только на втором этапе суммирования, т. е. после прибавления единицы циклического переноса.

Выдача суммы возможна также и в любой последующий момент времени, так как эта сумма будет храниться в накапливающей схеме сумматора до стирания ее специальным сигналом.

Выдача суммы осуществляется путем сложения этой суммы с нулем.

В случае, если используется сложение в дополнительном коде, то импульс v_n отбрасывается и импульс v_{-1} приравнивается нулю.

Линия задержки на $n+1$ разряд используется в этом случае просто для хранения последовательно накапливаемых сумм. Сумма может выдаваться в любое время, включая и время ввода очередного слагаемого.

Для преобразования отрицательных чисел в обратный или дополнительный код, перед подачей их в сумматор, должны применяться специальные устройства.

Мы рассмотрели примеры блок-схем сумматоров, предназначенных для сложения и вычитания чисел с фиксированным положением запятой.

Рассмотрим теперь порядок работы устройства для сложения и вычитания чисел, заданных в нормальной форме с плавающей запятой.

На рис. III. 18 показана упрощенная блок-схема такого устройства параллельного действия.

В качестве составных частей устройства используются сумматоры с фиксированной запятой для сложения мантисс и вычитания порядков, а также вентили, преобразователи, сдвигатели и избирательные схемы. Работа устройства происходит в соответствии с правилами действий над числами в нормальной форме, рассмотренными в § 5.

В устройство из двух числовых магистралей 1ЧМ и 2ЧМ поступают два исходных числа, а из командной магистрали КМ поступает код операции (сложить или вычесть).

Рассмотрим выполнение операции сложения.

Порядки чисел поступают в схему вычитателя порядков, в которой из порядка первого * числа вычитается порядок второго числа; Если результат получится положительный, то это значит, что порядок первого числа больше порядка второго числа. В этом случае вычитателем порядков выдается сигнал, переключающий схему двойных вентилях таким образом, что она направляет мантиссу первого числа в сумматор мантисс, а мантиссу второго числа — в сдвигатель вправо. В сдвигатель вправо из вычитателя порядков поступает разность порядков, показывающая, на сколько разрядов вправо должна быть сдвинута мантисса второго числа. Мантисса второго числа после сдвига поступает в сумматор мантисс. Вычитатель порядков выдает также сигнал в схему вентилях пропуска порядка, обеспечивающий пропуск в корректор порядка большего порядка, в данном случае порядка первого числа.

* Первым числом мы будем называть число, поступившее по первой магистрали, и вторым числом — число, поступившее по второй магистрали.

Таким образом выполняется первый этап сложения — выравнивание порядков складываемых чисел. В сумматоре мантисс производится сложение мантисс по правилам сложения чисел с фиксированной запятой. В

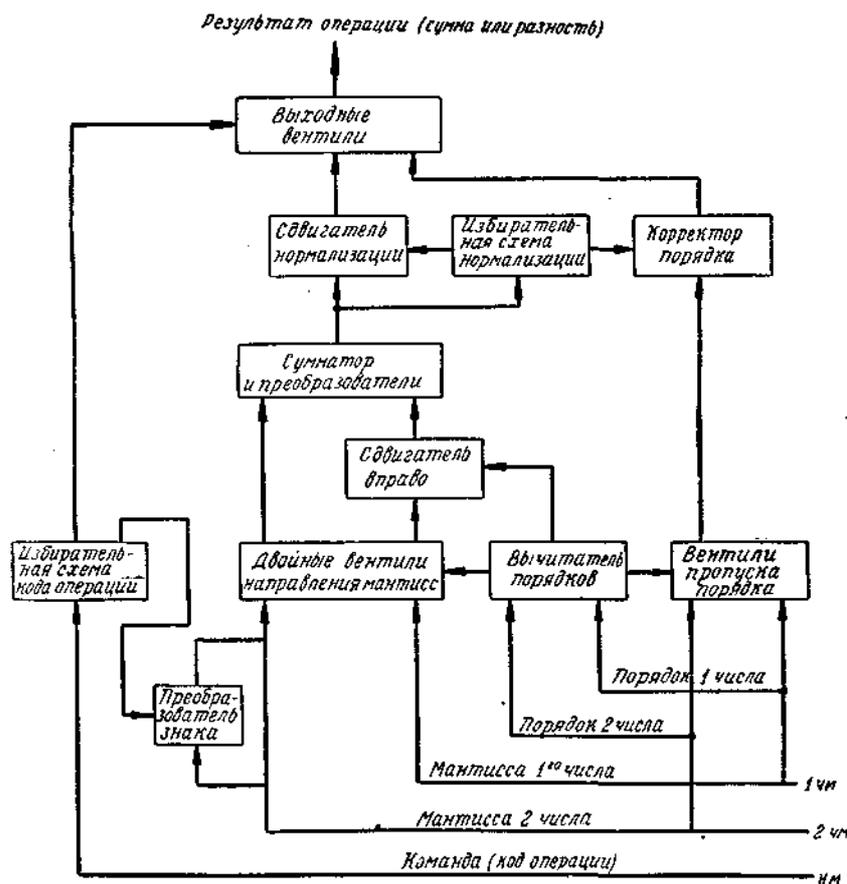


Рис. III.18.

сумматор мантисс включены также преобразователи, управляемые знаковыми разрядами, которые производят преобразование мантисс отрицательных слагаемых в обратный или Дополнительный код, и обратное преобразование мантиссы суммы, полученной в обратном или дополнительном коде, в отрицательное число, представленное в прямом коде.

Следует заметить, что вычитатель порядков содержит также схемы для преобразования отрицательных порядков в обратный или Дополнительный код.

Из сумматора выходит мантисса суммы, которая поступает в сдвигатель нормализации и на избирательную схему нормализации. В случае, если мантисса суммы является ненормализованной, то избирательная схема выдает в сдвигатель нормализации сигналы обеспечивающие необходимый для нормализации сдвиг мантиссы, и в корректор порядка — сигналы, обеспечивающие соответствующее изменение порядка результата.

Нормализованная мантисса и скорректированный порядок поступают на выходные вентили для выдачи их из устройства в качестве результата операции.

Выполнение операции вычитания отличается от выполнения операции сложения тем, что избирательная схема кода операции при вычитании изменяет знак второго числа на обратный.

В остальном устройство работает точно так же, как и при выполнении операции сложения чисел. Заметим, что при вычитании чисел вычитаемое обязательно должно подаваться в устройство по второй магистрали.

Избирательная схема кода операции управляет также выходными вентилями. Исходные числа поступают в устройство из числовых магистралей постоянно, в том числе и во время выполнения машиной других операций, не относящихся к данному устройству. Но при этом выходные вентили остаются закрытыми и из данного устройства в другие устройства машины ничего не выдается.

Избирательная схема кода операции открывает выходные вентили только во время выполнения операций, относящихся к данному устройству, и результаты только таких операций (сложение и вычитание) выдаются из данного устройства в машину. Обычно с помощью одного подобного устройства в машине выполняются и некоторые другие операции, например, сложение и вычитание модулей чисел, операции над командами и др.

Естественно, что расширение функций устройства требует введения дополнительных схем.

Из приведенного описания блок-схем различных устройств сложения и вычитания видно, что устройства, предназначенные для операций с числами в нормальной форме, являются значительно более сложными, чем устройства для операций над числами с фиксированным положением запятой.

Перейдем к рассмотрению множительных устройств. На рис. III.19 дана упрощенная блок-схема устройства для умножения двух n -разрядных двоичных чисел с фиксированным положением запятой. Множительное устройство имеет два n -разрядных регистра (регистр множителя и регистр множимого), схему для сдвига множимого, вентиль и накапливающий $2n$ -разрядный сумматор произведения. С регистром множителя соединена схема для управления сдвигом и вентилем.

Сдвигатель последовательно производит сдвиг множимого на один разряд влево при каждом сдвиге.

Вначале сдвигатель установлен таким образом, что все разряды множимого при открытом вентиле будут проходить в крайние правые n разряды накапливающего сумматора. Устройство управления в зависимости от значения цифры младшего разряда множителя (0 или 1) выдает сигнал, управляющий вентилем. Если цифра равна 1, то вентиль открывается и пропускает множимое в сумматор; если цифра равна 0, то вентиль остается закрытым и множимое в сумматор не поступает. Затем устройство управления устанавливает сдвигатель для сдвига множимого на один разряд влево, а для управления вентилем выдается следующая цифра множителя. Если эта цифра равна 1, то множимое пропускается в сумматор уже со сдвигом на один разряд влево и суммируется с содержимым сумматора.

Если очередная цифра равна нулю, то множимое в сумматор не проходит.

После этого снова производится сдвиг влево, и для управления вентилем выдается следующая цифра множителя и т. д. Процесс продолжается до тех пор пока не будут исчерпаны все цифры множителя. В результате в накапливающем сумматоре будет получено значение произведения, имеющее $2n$ разрядов. Это наиболее упрощенный вариант двоичного множительного устройства. Можно предусмотреть округление частных произведений, что позволит сократить число разрядов в сумматоре, или, с другой стороны, использовать $2n$ -разрядный регистр сумматора также и для хранения множителя.

Из рассмотрения процесса умножения видно, что в регистр правых разрядов, а левые разряды заполняются постепенно. При этом, расположив множитель в n левых разрядах регистра сумматора, можно последовательно сдвигать его влево таким образом, чтобы очередная управляющая цифра множителя находилась все время в крайнем левом разряде регистра сумматора.

В этом случае не требуется иметь специальный регистр для хранения множителя.

На рис. III.20 показана блок-схема множительного устройства для умножения двух n -разрядных чисел в десятичной системе счисления.

Эта схема иллюстрирует метод построения десятичных множительных устройств — путем многократного сложения. Устройство состоит из двух регистров (множимого и множителя), схемы сдвига, схемы, управляющей сдвигом и вычитанием «единицы», и накапливающего сумматора с регистром произведения.

Схема сдвига, связывающая регистр множимого с накапливающим сумматором, служит для умножения множителя на целые положительные или отрицательные степени десяти (10^m , где $m = 0, 1, 2, \dots (n - 1)$ или $m = 0, -1, -2, \dots -(n - 1)$). Схема управления управляет схемой сдвига, пропускающей множимое в сумматор, и осуществляет при каждом прохождении множимого в сумматор вычитание единицы из той цифры множителя, на которую производится умножение.

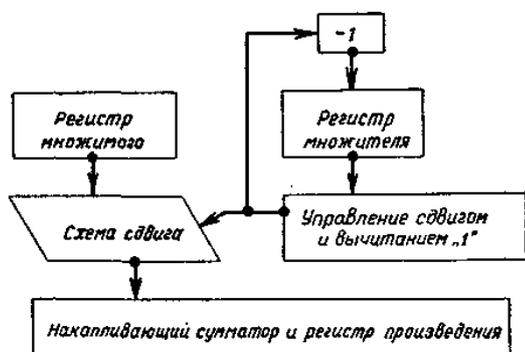


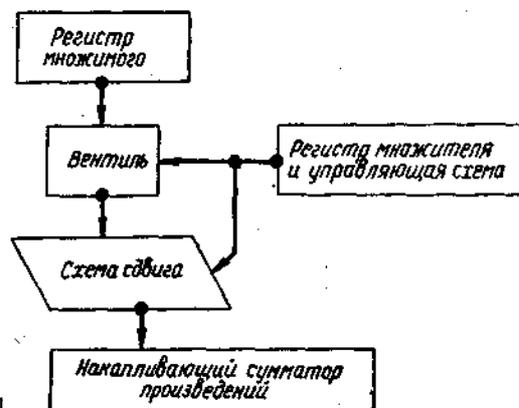
Рис. III.20

Управляющая схема регистра множителя вначале установлена на управление от младшей цифры множителя. Если эта цифра отлична от нуля, то управляющая схема пропускает множимое в крайние правые разряды накапливающего сумматора и одновременно вычитает единицу из данной цифры множителя. Множимое столько раз пропускается в сумматор и суммируется там с содержимым сумматора, сколько единиц обозначает данная цифра множителя. При получении нуля в данном разряде множителя управляющая схема переходит к следующей цифре множителя и меняет установку сдвигателя на один разряд влево. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут пройдены все цифры множителя и число, находящееся в регистре множителя, не станет равным нулю. После этого в регистре произведения будет получено значение произведения.

Устройство для умножения чисел в нормальной форме должно иметь, помимо рассмотренных частей, сумматор порядков и дополнительные схемы для нормализации результата.

Рассмотренные примеры блок-схем устройств сложения и вычитания и устройств умножения являются весьма упрощенными. Действительные варианты схем, применяемые в машинах, значительно сложнее. Однако общие принципы построения и порядок работы этих устройств в своей основе остаются теми же самыми, что и в рассмотренных нами примерах.

Рис. III.19



правых

Работа схемы управления зависит от последовательных цифр множителя, начиная с цифры младшего разряда. Когда очередная цифра множителя в результате повторных вычитаний единицы делается равной нулю, схема управления переходит к следующей цифре множителя и одновременно выдает в схему сдвига сигнал, устанавливающий эту схему в положение, обеспечивающее сдвиг множимого еще на один разряд влево. Как и в случае двоичного множительного устройства, работа начинается при установке схемы сдвига в положение, соответствующее нулевому сдвигу.

Существует чрезвычайно большое количество различных типов запоминающих устройств, отличающихся друг от друга по своим принципам действия, емкости запоминания, быстродействию, длительности сохранения информации и другим характеристикам.

В настоящем параграфе будут кратко рассмотрены основные типы устройств, получивших практическое применение в вычислительных машинах, а также некоторые типы перспективных запоминающих устройств.

Перфоленты и перфокарты

Запоминающие устройства на перфолентах и перфокартах служат для ввода исходной информации в машину и для вывода результатов решения задач из машины. Числа и команды, представленные двоичными цифрами 0 и

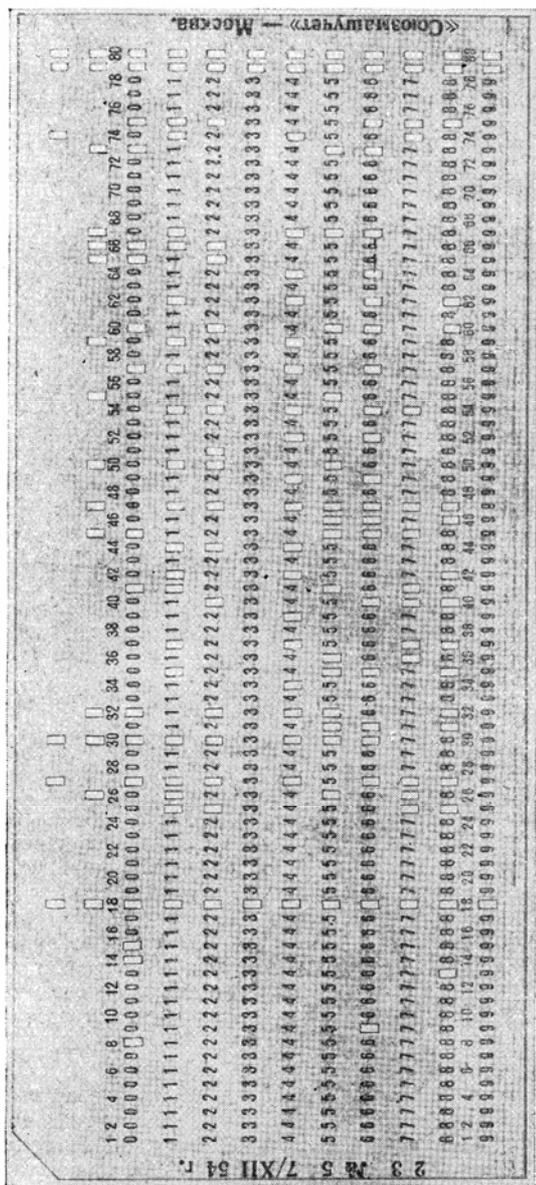


Рис. III.21.

1, изображаются при помощи системы отверстий, расположенных в определенных местах ленты или карты. Наличие отверстия на соответствующей позиции может обозначать единицу в определенном разряде, отсутствие отверстия может соответствовать изображению нуля в данном разряде. Отверстия на лентах или картах располагаются в нескольких параллельных колонках. Так, например, применяются 45 и 80-колонные перфокарты.

Перфорация данных, вводимых в машину, выполняется вручную оператором при помощи специального электромеханического прибора — перфоратора; при выводе данных из машины перфорация осуществляется автоматически. Считывание данных с перфокарт или перфолент может производиться двумя способами: механическим и фотоэлектрическим. При механическом считывании карта или лента ощупывается специальными щеточками и в зависимости от наличия или отсутствия отверстия на данном месте карты или ленты замыкается или не замыкается электрический контакт, посылающий соответствующий импульс тока.

При фотоэлектрическом считывании непрозрачная лента продвигается над щелью в диафрагме. Размеры щели таковы, что над ней может находиться только одно отверстие из каждой колонки. Лента снаружи освещается постоянным источником света. В зависимости от наличия отверстия в том месте ленты, которое находится над щелью диафрагмы, на фотоэлементы попадает или не попадает свет. Каждый раз при прохождении над щелью отверстия в данной колонке соответствующий фотоэлемент дает электрический импульс.

Запись на перфолентах или перфокартах не стирается и поэтому ленты и карты могут использоваться только как средства постоянной памяти.

Перфоленты могут использоваться в виде рулонов или в виде бесконечных петель (замкнутых лент), обеспечивающих повторный ввод данных.

Карты используются в виде массивов или колод. Достоинством карт по сравнению с лентами является возможность удобной перестановки карт, т. е. изменение порядка вводимого материала.

Недостатком перфолент и перфокарт является малая скорость ввода и вывода данных, ограничиваемая возможной скоростью механического перемещения. Особенно это относится к устройствам с механическим оштупыванием, в которых наибольшая скорость считывания может достигнуть не более 100 цифр в секунду по каждой колонке.

При фотоэлектрическом считывании скорость считывания может быть значительно повышена до нескольких тысяч чисел в секунду

На рис. III.21 показана фотография стандартной перфокарты.

Электромеханические и электронные реле

В ранних вычислительных машинах (Марк I, Марк II и др.) для построения запоминающих устройств широко использовались электромеханические реле. Недостатком таких устройств является очень ограниченная емкость и малая скорость работы. Так в машине Марк II емкость запоминающего устройства составляла всего 100 чисел. Надежное срабатывание электромеханического реле требует времени не меньше 6 мсек. Для запоминания одного разряда двоичного числа (0 или 1) требуется одно реле и, кроме того, дополнительные элементы для построения управляющих схем запоминающего устройства. Помимо малой скорости работы, к недостаткам

электромеханических реле относится также невысокая надежность этих элементов. Частицы пыли, грязи, окисление контактов могут часто выводить реле из строя.

Применение электронных ламп позволило построить быстродействующие электронные реле — триггеры, скорость работы которых в тысячи раз выше, чем у электромеханических реле.

Принцип действия триггерной ячейки был рассмотрен в § 7.

Каждая триггерная ячейка может «запомнить» только один двоичный разряд (0 или 1) и для запоминания большого количества данных требуется большое количество ламп.

Помимо ламп, образующих триггерные ячейки, требуются также лампы для построения управляющих схем запоминающего устройства, обеспечивающих выборку и запись нужных данных. I

В общем случае количество ламп, затрачиваемых на управление, оказывается не меньшим, чем количество ламп, входящих непосредственно в запоминающие триггерные ячейки. Поэтому, несмотря на большое быстродействие, запоминающие устройства большой емкости на электронных триггерных ячейках не строятся.

В машине ЭНИАК, например, имелось внутреннее запоминающее устройство на триггерах емкостью всего в 20 чисел.

Применение электронных триггеров удобно для построения регистров (запоминающих устройств на одно число), используемых в арифметических и управляющих устройствах.

Линии задержки

Принцип действия запоминающих устройств, применяющих линии задержки, заключается в том, что информация, подведенная к одному концу линии, распространяется в виде волн в среде, образующей линию, с определенной конечной скоростью и через некоторое время появляется на другом конце линии.

С конца линии та же информация может быть снова подведена к началу и таким образом создается замкнутая цепь циркуляции информации. Так как при распространении волн вдоль линии неизбежны искажения и затухания, то перед каждой повторной подачей информации в линию сигналы проходят через усилители и формирователи; таким образом обеспечивается практически сколь угодно долгое сохранение данных.

Для того чтобы не слишком увеличивать геометрические размеры линий задержки в качестве проводящей среды применяются такие вещества, в которых колебания распространяются достаточно медленно, например, ртуть. Возможно применение акустических и электромагнитных линий задержки.

Наибольшее распространение в электронных цифровых машинах получили акустические ртутные линии.

На рис. III.22 показана блок-схема запоминающего устройства на ртутной линии.

Ртутная линия задержки представляет собой металлическую трубку, наполненную ртутью и закрытую с концов кристаллами кварца. Как известно, кварц обладает пьезоэлектрическими свойствами. Под действием приложенной разности потенциалов в кристалле кварца возбуждаются механические колебания, и, наоборот, под воздействием механических колебаний (сжатие) образуются электрические сигналы. Обычно трубки имеют диаметр 1—2 см и в длину 50—100 см. Количество импульсов, которое может сохраняться в трубке, равно произведению времени прохождения ультразвуковых волн вдоль трубки на частоту повторения импульсов. Практически это число приблизительно равно 1000.

С целью обеспечения хорошего сохранения формы импульсов используется несущая частота, которая модулируется импульсами звуковой частоты. Несущая частота должна выбираться такой, чтобы она соответствовала резонансной частоте пьезокристаллов кварца, которая лежит в пределах от 5 до 30 мгц. Демодуляция производится на выходном конце трубки. Длительность импульса составляет приблизительно 1 мксек.

Ртуть в качестве среды, передающей колебания, выбрана также исходя из соображений наилучшей передачи колебаний от пьезокристаллов к передающей среде и обратно.

При переходе ультразвуковых колебаний из одной среды в другую на поверхности раздела сред часть энергии отражается обратно. При этом, так же как и в оптике, отношение прошедшей энергии и отраженной энергии зависит от коэффициента поглощения ультразвуковых колебаний в обеих средах, который, в свою очередь, зависит от упругих свойств среды. Упругие свойства ртути близко подходят к свойствам кварца и поэтому условия согласования ртутной линии с кристаллами кварца выполняются достаточно хорошо.

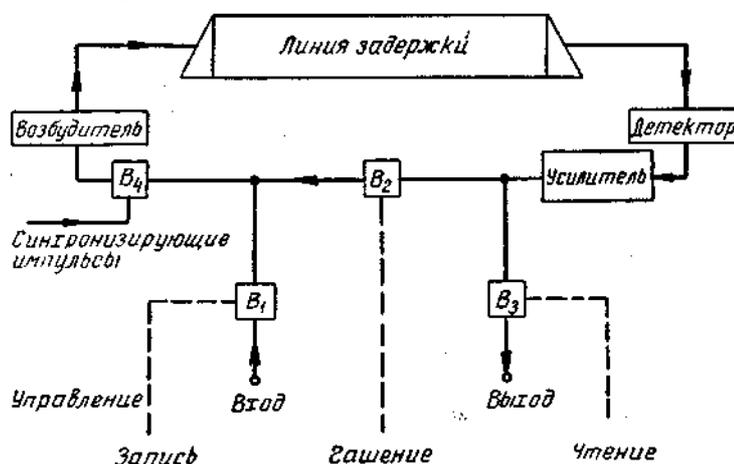


Рис. III.22.

Это значит, что энергия упругих колебаний кварца на входном конце почти полностью передается в ртуть и наоборот энергия звуковых колебаний ртути на выходном конце линии почти полностью поглощается кварцем и превращается им в электрическую энергию.

Конструкция крепления кристаллов предотвращает отражение звуковых волн в ртути. Электронные переключатели (вентили) служат для прекращения циркуляции импульсов (стирания информации) — B_2 , для записи информации — B_1 и для считывания информации — B_3 .

Ртутная линия задержки для обеспечения синхронной работы с остальными устройствами машины требует весьма точного регулирования температуры, так как скорость распространения звуковых волн в ртути зависит от температуры. Иногда для обеспечения синхронизма вместо поддержания постоянной температуры регулируют частоту основного генератора импульсов в соответствии с изменением температуры.

Например, в машине УНИВАК используется запоминающее устройство из 18 ртутных трубок, каждая из которых может сохранять 32 X 36 двоичных знаков. Регулирование температуры ртути осуществляется двумя способами: грубое регулирование производится в зависимости от сжатия или расширения ртути при изменении температуры, а точное регулирование осуществляется при помощи одной из трубок, по которой циркулируют стандартные импульсы, сравниваемые по частоте и по фазе с импульсами основного генератора. Чем длиннее трубки, тем более точное регулирование температуры требуется для этих трубок, поэтому в машинах употребляются и короткие трубки малой емкости.

Основными достоинствами ртутных линий задержки являются однородность, легкость соединения с преобразователями, отсутствие поперечных волн.

Помимо жидкостных ртутных линий задержки, применяются твердые линии задержки, к числу которых относятся магнестрикционные линии задержки (рис. III.23) и линии задержки из пьезоэлектриков (рис. III.24).

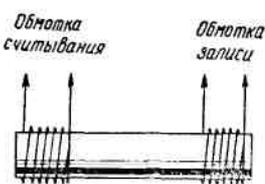


Рис. III.23.

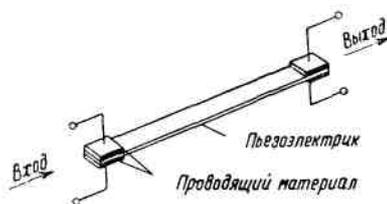


Рис. III.24.

Материалом для магнестрикционных линий задержки может служить никелевая проволока или феррит.

Твердые линии задержки обеспечивают малые габариты устройств и высокую надежность работы.

Электромагнитные линии задержки могут быть трех основных типов: волноводные линии, электрические длинные линии с распределенными параметрами и искусственные длинные линии с сосредоточенными параметрами. Электромагнитные линии задержки могут эффективно быть использованы для запоминания данных в электронных счетных машинах, если частота повторения импульсов значительно больше, чем 10^6 в 1 сек.

При частотах повторения импульсов, меньше чем 1 мГц, эти линии могут быть применены для сохранения всего нескольких импульсов. Опыт применения электромагнитных линий задержки в цифровых машинах еще мал, но использование этих линий для других целей показывает их высокую надежность.

Электромагнитные линии задержки обладают весьма большим затуханием, но у них практически отсутствует потеря энергии на входе и выходе линии.

Акустические линии, наоборот, имеют весьма малое затухание, однако в этих линиях большая часть энергии тратится при преобразованиях на концах линии.

Основным недостатком запоминающих устройств на линиях задержки является периодическая система выборки информации из устройства. Сохраняемые в устройстве данные могут быть получены лишь в моменты прохождения соответствующих сигналов через усилитель. Таким образом при считывании необходимо ждать пока информация дойдет до конца трубки. Время поиска данных в такой системе может быть равно полному времени прохождения волн вдоль линии. Например, для ультразвуковых волн в ртутной линии длиной около 1 м это время будет порядка 1 мсек.

Запоминающие устройства на линиях задержки особенно удобно применять в машинах последовательного действия, так как последовательная (порядковая) выдача данных из трубки хорошо согласуется с последовательным способом передачи данных по магистралям машины и с последовательным способом работы арифметических устройств. Однако запоминающие устройства с линиями задержки широко применяются и в машинах параллельного действия. Основным достоинством этих устройств является их высокая надежность.

Магнитные барабаны и ленты

Использование магнитной записи позволяет наиболее удобно создавать запоминающие устройства очень большой емкости. Техника магнитной записи хорошо разработана для целей звукозаписи и накопленный в этой области опыт был использован при создании запоминающих устройств вычислительных машин.

Процесс магнитной записи кратко сводится к следующему. На поверхности магнитного материала, движущегося с определенной скоростью, под действием специальных электромагнитов — записывающих головок — создаются отдельные намагниченные участки — магнитные диполи. Магнитный материал обладает свойством остаточного магнетизма, поэтому магнитные диполи сохраняются и после прекращения действия записывающих головок.

В записывающие головки подаются импульсы электрического тока, соответствующие записываемой информации и определяющие вид записанных магнитных диполей. Диполи располагаются на поверхности барабанов или лент один за другим в направлении движения, образуя магнитные дорожки. Число дорожек равно

числу записывающих головок.

При чтении магнитный материал перемещается относительно считывающих головок, которые по своей конструкции аналогичны записывающим головкам (часто для записи и чтения используют одни и те же головки). Часть магнитного потока с того участка магнитного материала, который находится в непосредственной близости от зазора, замыкается через сердечник головки. Изменение во времени этого потока при движении материала наводит э. д. с. в обмотке считывающей головки. Индуцированная э. д. с. представляет собой сигнал, характеризующий прочитанную цифру.

На рис. III.25 показана схема магнитного барабана.

Барабан с поверхностью, покрытой слоем из магнитного материала, вращается с большой скоростью (порядка 6000—7500 об/мин). Записывающие и считывающие головки расположены по образующим барабана. На поверхности барабана образуются магнитные диполи. Запись данных производится импульсами электрического тока длительностью в несколько микросекунд. Значению «1» соответствует положительный импульс, значению «0» соответствует отрицательный импульс (рис. III.25, б).

При считывании данных величина э. д. с. зависит от скорости изменения магнитного потока в сердечнике считывающей головки. Получающееся изменение напряжения на выходе считывающей головки (рис. III.25, в) после соответствующего усиления преобразуется в последовательность импульсов стандартной формы. Эти импульсы затем используются в арифметическом или других устройствах машины.

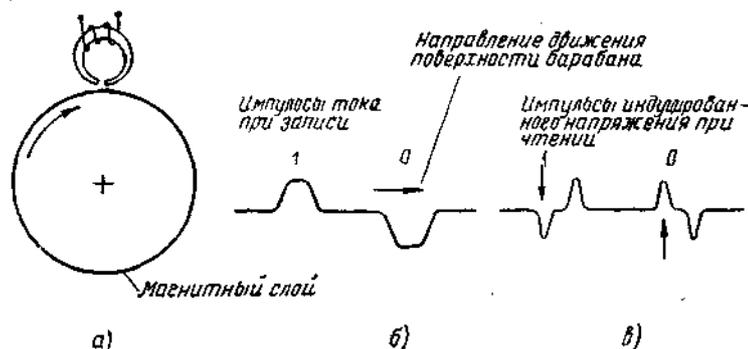


Рис. III.25.

Формирование таких стандартных импульсов на основе сигналов, получаемых от считывающих головок, может производиться несколькими методами. Так называемый метод «высечения» состоит в том, что при помощи специальных схем совпадения в заданные моменты времени определяется полярность напряжения, индуцированного проходящим магнитным диполем в считывающей головке. Это напряжение используется для управления соответствующими формирующими схемами, которые выдают стандартный импульс, соответствующий полярности считанного сигнала.

Синхронизация моментов подачи напряжений, отпирающих схемы для определения полярности диполей и моментов прохождения диполей под считывающей головкой, осуществляется при помощи синхронизирующих импульсов, получаемых от специальных «диполей времени», постоянно нанесенных на барабан вдоль одной из дорожек.

Кроме метода «высечения», для считывания данных могут применяться методы, основанные на дифференцировании или интегрировании считываемых импульсов.

Существуют две системы записи данных: запись с размагничиванием и запись с перемагничиванием.

В первом случае можно иметь три различных состояния магнитного материала (нулевое, положительное и отрицательное), но достижимая скорость записи и считывания данных оказывается небольшой.

Во втором случае осуществляется запись путем полного насыщения магнитного материала, который в этом случае может иметь только два состояния (положительное или отрицательное). Этот способ является более надежным и позволяет получить более высокие скорости работы.

При этом сигнал на барабане может быть записан только в том случае, если он имеет знак, противоположный знаку намагниченности данного места барабана. Важно, чтобы запись каждый раз производилась на одних и тех же местах, так как в противном случае может оказаться считывание невозможным.

Магнитные ленты отличаются от барабанов тем, что магнитный материал наносится не на поверхность барабана, а на поверхность гибкой и плотной ленты, которая наматывается на катушки. При работе лента, перематываясь с одной катушки на другую, движется под записывающими и считывающими головками. Запись и чтение производится при этом точно таким же образом, как и в случае барабана.

Достижимая поверхностная плотность диполей на ленте и барабане зависит от конструкции головок и колеблется от 4 до 30 диполей на сантиметр длины. Ширина дорожек, т. е. ширина диполей может быть от 3—4 мм до 1 мм.

Применяемые магнитные головки сходны с головками, используемыми в технике звукозаписи.

Частота повторения считываемых импульсов зависит от скорости вращения барабана или движения ленты и плотности записи. Емкость запоминающих устройств на магнитных барабанах и лентах зависит от их размеров и количества и доходит до сотен тысяч чисел на каждый барабан или ленту.

Достоинствами магнитных запоминающих устройств являются, помимо практически неограниченной емкости, надежность работы, простота принципа действия, отсутствие повреждения информации при считывании, а также возможность длительного сохранения информации без реставрации, даже при отключении источников питания. Последнее достоинство особенно ценно при использовании магнитных лент, которые могут храниться длительное время отдельно от машины с записанной на них информацией.

Основные недостатки магнитных запоминающих устройств (барабанов и лент) связаны с наличием в этих

устройствах существенно важных механических частей, движущихся с большими скоростями. Так, стабильность частоты выдачи и записи данных зависит от постоянства скорости движения барабана или ленты. Надежность записи и считывания зависит от точности соблюдения зазора между магнитным материалом и головками. Весьма большое значение имеет точность изготовления барабана и направляющих устройств ленты, а также механизмов движения. Например, небольшие изменения диаметра барабана для разных углов поворота могут привести к появлению ложных сигналов или, наоборот, к пропаданию записи. При большой скорости вращения барабанов возникают значительные радиальные ускорения, которые требуют особых конструктивных мер по обеспечению прочности.

Барабаны изготавливаются полностью из алюминия. Магнитная поверхность толщиной 0,01—0,03 мм наносится либо гальваническим осаждением, либо распылением суспензии окиси железа, при этом обращается особое внимание на обеспечение однородности магнитного слоя.

К числу недостатков магнитных запоминающих устройств относится невозможность произвольной выборки и записи информации и необходимость затрачивать время на ожидание поворота барабана или перемещение ленты. Это время ожидания для магнитных барабанов может достигать до 10 мсек. Особенно сильно этот недостаток проявляется в магнитных лентах, в которых для поиска нужной информации требуется перематывание ленты, на что может затрачиваться время, измеряемое секундами.

Электронно-лучевые запоминающие системы

Все электронно-лучевые или электростатические запоминающие системы отличаются большой скоростью действия. (Время для записи, считывания и восстановления считываемой информации может быть меньше 1 мксек). Емкость устройств этого типа в настоящее время составляет 1024—2048 чисел. Важной особенностью этих устройств является возможность произвольной выборки и записи данных в отличие от линий задержки и магнитных барабанов и лент, которые допускают выборку данных только в определенном порядке. В настоящее время электронно-лучевые запоминающие устройства представляют собой основной вид оперативной памяти в наиболее быстродействующих универсальных цифровых машинах.

Электронно-лучевые трубки, используемые в электронных цифровых машинах, по своему устройству и принципу действия несколько напоминают трубки, используемые в телевидении и радиолокации.

Имеется три основных типа запоминающих устройств, использующих электронно-лучевые трубки со статическим хранением зарядов:

- а) системы с «задерживающей сеткой»;
- б) системы с «поверхностным перераспределением зарядов»;
- в) устройства типа «селектрон» с «поддерживающим лучом».

Обычно каждая электронно-лучевая трубка служит для сохранения одного определенного разряда числа, а всего в запоминающем устройстве используется столько трубок, сколько имеется разрядов в двоичном числе. При этом обеспечивается возможность одновременного управления всеми трубками при помощи одной управляющей схемы.

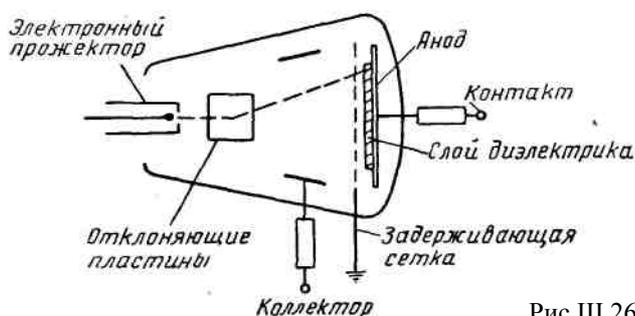


Рис. III.26

Электронно-лучевая трубка с задерживающей сеткой показана на рис. III.26.

Трубка состоит из электронного прожектора, формирующего узкий пучок электронов,двигающихся с большой скоростью к аноду, представляющему собой металлическую сигнальную пластину, покрытую тонким слоем диэлектрика, системы отклоняющих пластин, задерживающей сетки и коллектора с выходным контактом.

К сигнальной пластине при помощи контакта подводятся электрические импульсы при записи.

Принцип действия трубки состоит в том, что под действием падающих электронов в том месте экрана, куда попадает поток, выбиваются вторичные электроны. В зависимости от разности потенциалов между экраном и сеткой большее или меньшее количество вторичных электронов возвращается обратно на экран или же проходит через сетку и осаждается на коллекторе (имеющем вид обруча). Если на анод (сигнальную пластину) подан положительный заряд по отношению к сетке, то большинство вторичных электронов вернется на экран и данное место экрана получит отрицательный заряд. Если на анод в момент записи будет подан отрицательный по отношению к сетке потенциал, то большинство вторичных электронов уйдет на коллектор и в этом месте экрана образуется положительный заряд.

Так как экран сделан из диэлектрика, то образовавшиеся в разных местах экрана заряды растекаются медленно и могут сохраняться длительное время. Направляя электронный луч при помощи системы отклоняющих пластин в разные точки экрана, можно таким образом на экране записать значительное количество двоичных Цифр. Положительные заряды на экране соответствуют записи единиц, а отрицательные — записи нулей.

Таким образом, экран из диэлектрика и сигнальная пластина представляют собой две обкладки конденсатора, состоящего из большого числа отдельных элементарных конденсаторов, каждый из которых служит для запоминания одной двоичной цифры.

Считывание данных осуществляется путем направления электронного луча в заданное место экрана, где до этого была записана требуемая цифра, и приложения к сигнальной пластине некоторого постоянного потенциала.

В зависимости от того, какой заряд был накоплен в данном месте экрана, между сигнальной пластиной и коллектором возникает выходной сигнал той или другой полярности. Этот сигнал после соответствующего усиления и формирования используется в других устройствах машины.

При считывании цифра, записанная в данном месте экрана, стирается, поэтому в устройстве предусматривается автоматическая запись того же числа в данном месте экрана сразу же после считывания.

Так как накопленные заряды постепенно стекают, то для длительного сохранения записи эти заряды должны периодически восстанавливаться. С этой целью в устройствах предусматриваются специальные схемы восстановления записи, обеспечивающие последовательное считывание и одновременную запись всех данных, хранящихся в запоминающем устройстве.

На рис. III.27,а изображена блок-схема запоминающего устройства на электронно-лучевых трубках с поверхностным перераспределением зарядов. В этой системе также используется явление вторичной эмиссии электронов с поверхности диэлектрического экрана.

В зависимости от скорости падающих на экран первичных электронов с поверхности экрана вылетает большее или меньшее количество вторичных электронов. С увеличением (до определенного предела) скорости падающих первичных электронов увеличивается количество выбиваемых ими вторичных электронов и при определенном значении скорости падающего потока экран в данном месте будет приобретать положительный заряд.

Для записи двоичных чисел на поверхности экрана электронный луч должен образовывать два «рисунка» или два различных распределения зарядов. Эти рисунки должны существенно отличаться друг от друга, чтобы обеспечить достаточную величину считываемого сигнала.

Из различных типов рисунков наиболее удобным и эффективным I оказался рисунок точка — кольцо.

Образование положительного заряда в данном месте экрана в виде точки соответствует записи единицы, а образование положительного заряда в виде кольца соответствует записи нуля. На рис. III.27,б показан потенциальный рельеф (распределение зарядов), получающийся на экране трубки при записи нуля или единицы. Из рисунка видно, что потенциал заряда в случае записи единицы (точки) имеет меньшую величину, чем заряд нуля (кольцо).

Рассмотрим блок-схему, показанную на рис. III.27,а.

Запирающая цепь запирает электронный луч на то время, когда отклоняющая система срабатывает для направления луча из одной точки экрана в другую. «Генератор» круговой развертки при записи нуля или при считывании нуля или единицы осуществляет развертку луча по кругу малого радиуса вокруг той точки, куда направлен центр луча.

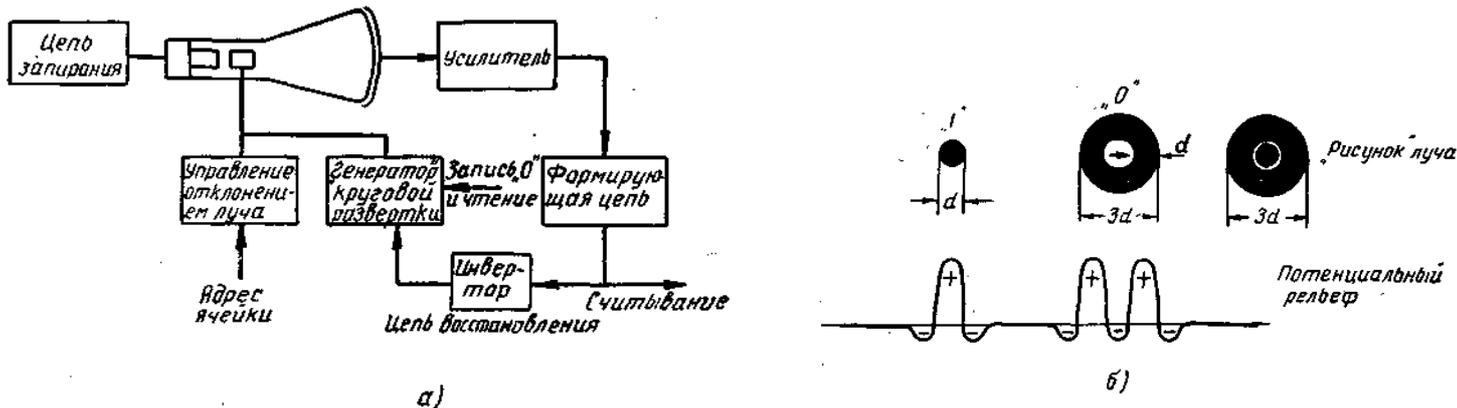


Рис. III.27.

Если при считывании луч направлен в такое место экрана, где до этого было записано кольцо, то образующийся выходной сигнал будет мал. Если же в данном месте экрана раньше была записана «точка», то на выходном электроде, расположенном сзади экрана, возникнет импульс тока, который после соответствующего усиления и формирования будет использоваться как сигнал единицы. В этой системе также необходимо периодическое восстановление записи.

Принцип действия запоминающего устройства типа селектрон основан на том, что бомбардируемый потоком электронов экран из диэлектрика может принимать два фиксированных значения потенциала: или потенциал катода, испускающего электронный поток, или потенциал анода (ускоряющего электрода). Долговременное сохранение («поддержание») потенциала на экране осуществляется с помощью специального рассеивающего электронного прожектора, испускающего широкий поток медленных электронов. Между катодом и экраном в селектроне помещается ускоряющая сетка — коллектор.

Диэлектрический экран разбит на отдельные прямоугольные участки при помощи двух взаимно перпендикулярных групп параллельных стерженьков, помещенных между катодом и коллектором. Эти стерженьки служат для выбора соответствующего участка на экране. Расстояния между стерженьками подобраны так, что электронный поток от катода может пройти к экрану только через ту клетку, которая образована четырьмя стерженьками, имеющими положительный потенциал.

Выводы от стерженьков комбинируются между собой таким образом, чтобы при минимальном числе выводов из селектрона обеспечивалась возможность выбора любой клетки. Так, для селектрона, имеющего 256 клеток, достаточно иметь 18 выводов.

Нормально все клетки в селектроне открыты и рассеянный электронный поток облучает равномерно весь экран, поддерживая сколь угодно долго записанные на экране данные.

Для записи 0 (или 1) в определенной ячейке все ячейки селектрона, кроме выбранной, запираются подачей отрицательного напряжения на соответствующие выводы стерженьков, а на сигнальную пластину, расположенную позади экрана, подается положительный (или отрицательный) импульс. После снятия этого импульса потенциалы всех ячеек возвращаются к первоначальному уровню, кроме выбранной ячейки, в которой произошло увеличение или уменьшение заряда. Это изменение заряда уравновешивается током смещения.

Считывание данных осуществляется также путем выделения определенной клетки и измерения тока смещения, возникающего между сигнальной пластиной и коллектором при подаче определенного потенциала на сигнальную пластину.

В некоторых электростатических системах с поддерживающим I лучом используются отдельные прожекторы для записи данных и для считывания.

Конструкция таких трубок весьма сложна. Основным их достоинством является отсутствие необходимости восстанавливать информацию как для ее сохранения, так и при считывании.

Недостатком электронно-лучевых запоминающих систем является ограничение числа непрерывных повторных обращений в одну и ту же точку экрана, так как при длительном воздействии электронного луча на одно и то же место экрана могут возникнуть искажения в распределении зарядов в соседних точках. Однако этот недостаток в настоящее время не является существенным. Существующие трубки обладают высокой фокусировкой электронного потока и обеспечивают практически достаточное число повторных обращений в одну и ту же точку.

Запоминающее устройство на магнитных сердечниках

Одним из наиболее перспективных типов запоминающих устройств являются системы с использованием магнитных материалов с прямоугольной петлей гистерезиса.

Из ферромагнитного материала изготавливаются кольцевые сердечники, которые обеспечивают сохранение двоичных цифр (0 и 1) в виде остаточного магнетизма сердечника той или иной полярности.

Принцип действия запоминающего устройства основан на том, что для перемагничивания сердечника из материала с прямоугольной петлей гистерезиса необходимо создать поле определенной напряженности, причем если напряженность поля будет меньше этой величины, например, в два раза, то сердечник не перемагнитится, даже при многократном приложении импульсов поля с такой напряженностью.

На рис. III.28 показана идеализированная петля гистерезиса.

Если, например, магнитное состояние сердечника характеризуется точкой P , то для перемагничивания сердечника необходимо поле напряженностью не меньше, чем $-H_M$, и наоборот, если состояние сердечника соответствует точке Q , то для его перемагничивания необходимо поле напряженностью $+H_M$.

Каждый сердечник служит для запоминания одной двоичной цифры (0 или 1). Сердечники располагаются правильными рядами, образуя плоскую или пространственную прямоугольную систему.

Каждый сердечник имеет две (при плоском расположении) или три (при пространственном расположении) первичные обмотки, служащие для записи данных и выбора нужного сердечника, и одну вторичную обмотку, служащую для считывания. На рис. III.29 показана двухмерная схема соединения сердечников, состоящая из 9 сердечников.

Горизонтальные ряды сердечников образуют отдельные регистры с количеством двоичных разрядов, равным числу сердечников в ряду. Первичные обмотки сердечников каждого ряда (по одной от каждого сердечника) соединены последовательно, образуя цепь, открывающую соответствующий регистр (y_1, y_2, y_3).

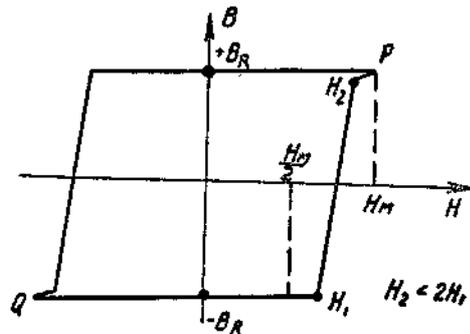


Рис. III.28

Оставшиеся вторые первичные обмотки сердечников соединены последовательно по вертикальным колонкам, образуя линии подачи соответствующих разрядов записываемых чисел (x_1, x_2, x_3). Вторичные обмотки сердечников 5 служат для выдачи считываемых двоичных цифр. Эти обмотки также соединяются последовательно для всех сердечников, образующих одну вертикальную колонку, и таким образом одинаковые разряды всех регистров соединены последовательно и имеют общий выход.

Если, например, пусть два тока величиной $\frac{I}{2}$ по цепям x_3 и y_2 , то напряженность поля достигнет величины H_M только в сердечнике F , в котором одновременно будут действовать оба тока. В сердечниках D, E, C, J напряженность будет $\frac{H_{H_1}}{2}$ и в силу прямоугольного характера петли гистерезиса не сможет перемагнитить эти сердечники.

Сердечники A, B, G, H вообще не будут испытывать действия какого-либо поля. Сердечник же F намагнитится полностью в соответствии с полярностью действующего суммарного поля.

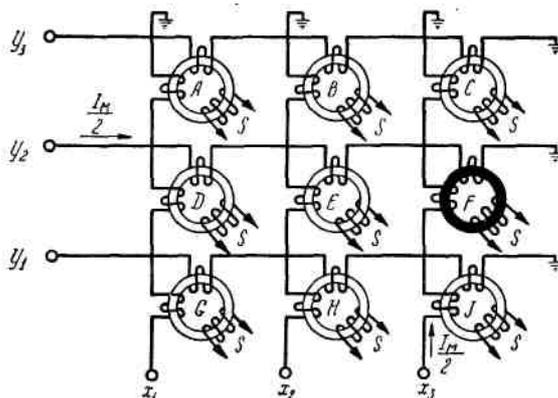


Рис. III.29

Если сердечник F предварительно был намагничен в противоположном направлении, то процесс перемагничивания его вызовет появление в обмотке S выходного сигнала большой амплитуды. На выходных обмотках других сердечников никакого сигнала не появится, независимо от того, были они раньше намагничены или нет, так как они не подвергаются перемагничиванию.

Если же направление остаточного магнетизма сердечника F совпадает с направлением перемагничивающего поля, то на выходной обмотке S сигнала не будет, так как перемагничивания не произойдет.

Построены запоминающие устройства на 10 000 и более магнитных кольцевых сердечниках, допускающие произвольную выборку записи.

В запоминающих устройствах на магнитных сердечниках время записи и считывания составляет менее 10 мксек. Кольцевые сердечники обычно не имеют специальных обмоток; вместо обмоток сердечники пронизаны тремя проводниками. Один проводник относится к вертикальной системе проводников, второй проводник относится к горизонтальной системе проводников, а третий проводник, представляющий собой обмотку считывания, последовательно пронизывает все сердечники (рис. III.30).

Основными достоинствами запоминающих устройств на магнитных сердечниках являются простота конструкции, высокая надежность действия, высокая скорость записи и считывания, возможность получения достаточно большой емкости сравнительно простыми средствами, возможность сохранять записанную информацию неограниченно долгое время без всякой затраты энергии.

Магнитные сердечники могут применяться не только в запоминающих устройствах, но и в вычислительных и управляющих схемах электронных цифровых машин.

Ферроэлектрические запоминающие устройства

Существуют так называемые «ферроэлектрические» материалы, имеющие зависимость диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля такого же вида, как и кривая намагничивания для ферромагнитных материалов. К таким веществам, например, относится титанат бария. На рис. III.31 показано запоминающее устройство с использованием ферроэлектриков.

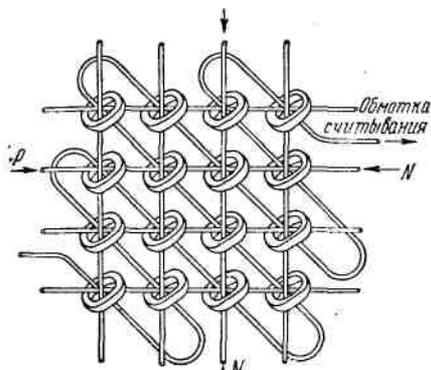


Рис. III.30

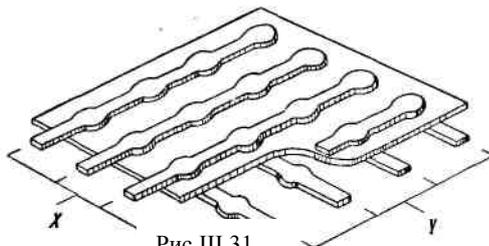


Рис. III.31

Принцип действия здесь такой же, как и в случае магнитных сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса, только вместо токов здесь используются напряжения. К одной из проводящих полосок X подводится положительный потенциал, а к одной из полосок Y подводится равный по величине отрицательный потенциал.

Элементарная площадка пластины из ферроэлектрика, находящаяся между этими обеими полосками, электризуется в направлении, соответствующем приложенному полю. Элементы пластины из ферроэлектрика, расположенные вдоль полосок X и Y , испытывают действие поля с вдвое меньшей напряженностью и, в силу

прямоугольного характера зависимости диэлектрической проницаемости от напряженности поля, останутся практически в том же состоянии, что и до приложения поля. Остальные элементы пластины из ферроэлектрика вообще не будут подвергаться действию поля. При считывании поле образуется в противоположном направлении. Импульс тока получается большой величины только в том случае, если соответствующий элемент был раньше наэлектризован в противоположном направлении.

На рис. III.32 показана схема запоминающего устройства на ферроэлектрике с использованием конденсаторов.

Запись «единицы» осуществляется приложением напряжения одной полярности, а запись «нуля» — приложением напряжения противоположной полярности. При считывании данных подается напряжение такой же полярности, как и при записи нуля. При этом, если была записана единица, то выходной импульс большой величины, если же был записан нуль, то выходной сигнал будет незначительным. Выходной ток при считывании заряжает конденсатор и по величине напряжения на конденсаторе определяется какая цифра была записана.

Основные преимущества запоминающих устройств, построенных на ферроэлектриках, состоят в следующем: для записи и хранения данных почти не требуется затраты мощности, хранение большого

количества данных производится на очень малых площадях и данные могут храниться в течение длительного времени без восстановления. Так, исследования показали, что кристаллы титаната бария способны к запоминанию на площади $3,2 \text{ см}^2$ до 250 двоичных знаков.

Кроме того, ферроэлектрики пригодны для работы при низких напряжениях (менее 10 в), что важно для создания вычислительных машин на полупроводниковых триодах.

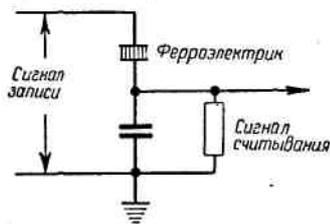
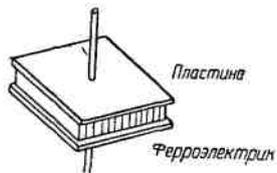


Рис. III.32

Общие тенденции развития

Электронные цифровые вычислительные машины в общем можно разделить на три группы, к каждой из которых предъявляются требования различного характера:

- а) уникальные большие машины, предназначенные для решения особо сложных математических вычислительных задач;
- б) серийные машины средних размеров, предназначенные для выполнения массовых вычислительных работ;
- в) вычислительные машины для коммерческих и деловых расчетов.

Особенностью вычислительных машин, предназначенных для коммерческих и деловых расчетов, является весьма развитая система устройств ввода и вывода и сравнительно простая конструкция арифметических устройств, так как для этих расчетов характерным является несложность вычислений при большом количестве исходных данных и результатов вычислений.

Рассмотрим подробнее тенденции развития электронных машин, предназначенных для математических вычислений.

Современная наука во многих случаях выдвигает для практического решения весьма важные математические задачи, требующие выполнения огромного объема вычислений. Например, для исследований в области ядерной физики и техники необходимо решать дифференциальные уравнения с частными производными с тремя, четырьмя и даже шестью независимыми переменными. Если, применяя метод сеток, брать для каждого переменного всего по десять значений, то получится от 10^3 до 10^6 узлов в сетке.

Для определения значения функции в каждом из узлов сетки требуется выполнить сравнительно большое количество вычислений, а объем вычислений, необходимый для решения всей задачи, характеризуется количеством операций от 10^6 до 10^{10} и даже до 10^{12} . Такой объем вычислений предъявляет очень высокие требования как к скорости работы вычислительных машин, так и к емкости запоминающих устройств. Так, при скорости в 10 000 операций в секунду на выполнение 10^{12} операций потребовалось бы свыше 4-х лет непрерывной работы машин.

В связи с этим в настоящее время разрабатываются машины с очень большими скоростями работы. Фирмой ИБМ (США) в 1955 году была построена большая уникальная машина НОРК со скоростью в 60 000 сложений и 30 000 умножений в секунду. Машина НОРК имеет 8000 электронных ламп и 25 000 диодов. Имеются сообщения о разработке фирмой Ремингтон Ранд гигантской вычислительной машины «Ларк» стоимостью 3 миллиона долларов, которая должна иметь скорость приблизительно в 120000 сложений и 60 000 умножений в секунду.

Однако, постройка машин, обладающих столь высокими скоростями работы, связана со значительным увеличением сложности конструкции и огромным составом оборудования.

В связи с этим, наряду с созданием больших уникальных машин, проводятся эксперименты по применению двух и больше машин для одновременной работы по решению на них одной сложной задачи.

Так, построенная в 1953 г. в США большая электронная вычислительная машина ДИСЕАК, помимо того, что она является передвижной, обладает еще и той особенностью, что может с помощью кабелей присоединяться к различным устройствам, выдающим в машину данные для расчетов или использующим результаты расчетов. Проводились опыты совместной работы двух машин ДИСЕАК и СЕАК по решению одной задачи, в процессе которого данные, полученные на машине СЕАК, передавались для дальнейшей обработки в машину ДИСЕАК и данные, полученные на машине ДИСЕАК, передавались в машину СЕАК.

Весьма вероятно, что путь комплексирования нескольких обычных машин для их совместной работы по решению особо сложных задач, окажется более эффективным, чем создание специальных сверхбыстродействующих машин, являющихся чрезвычайно дорогими.

Помимо сверхбыстродействующих уникальных машин, потребность в которых ощущается в особых случаях, в настоящее время явно определилась необходимость иметь в массовом количестве машины средних размеров и достаточно высокой производительности, предназначенные для обслуживания различных научно-исследовательских учреждений, конструкторских бюро и т. п. Для этих машин основными требованиями будут являться простота конструкции, уменьшение оборудования и удобство эксплуатации. Характерным примером такого рода машин является машина «Пегас» английской фирмы Ферранти.

Это универсальная машина, использующая модифицированный двухадресный код, обозначающий либо одно число, либо две команды. Арифметическое устройство имеет несколько регистров, построенных на магнитострикционных никелевых линиях задержки в каждой из которых может циркулировать один код, имеющий 39 двоичных разрядов. Семь таких регистров служат для выполнения любых арифметических и логических операций, 32 регистра предназначены только для сложения и вычитания и отдельные регистры для ввода и вывода информации.

Основным запоминающим устройством является магнитный барабан, вращающийся со скоростью 3750 об/мин, имеющий емкость в 4096 чисел. Кроме того, имеется еще 512 ячеек для хранения программы ввода данных и контроля работы машины.

Скорость работы машины характеризуется выполнением приблизительно 2000 операций в секунду.

Машина «Пегас» имеет весьма развитую систему команд и разнообразный состав операций, что значительно облегчает работу программистов. Передача данных из регистров арифметического устройства в память и обратная передача могут совершаться одновременно с выполнением арифметических операций. В машине предусмотрены 6 операций условного перехода по заданному адресу а также две операции сравнения. Особенностью машины является возможность преобразования первого адреса команды перед ее выполнением. Для этого в коде команды, кроме двух адресов и код операций, имеется несколько разрядов, указывающих адрес числа, которое будет прибавляться к первому адресу команды перед его выполнением.

Машина «Пегас», обладая значительной емкостью памяти сравнительно высокой скоростью работы,

невелика по размерам имеет значительно меньше оборудования, чем другие машины, обладающие аналогичными параметрами (например, УНИВАК). Машина имеет блочную конструкцию и состоит из двух шкафов с размерами: 2,3X0,6X2,1 м и 1,6X0,6X2,1 м. Кроме того, имеется пульт управления.

Другим примером современной цифровой вычислительной машины универсального назначения с очень малыми размерами является машина фирмы Лайбраскоп. Машина оперирует с 30 разрядными двоичными числами.

Память емкостью в 4096 чисел построена на магнитном барабане, вращающемся со скоростью 3600 об/мин. Скорость работы машины составляет около 100 операций в секунду, а скорость ввода и вывода данных — около 600 знаков в минуту.

Помимо четырех арифметических действий машина может выполнять команды условного и безусловного переходов и преобразование адресов.

Все устройства машины размещены внутри стального кожуха, в котором находятся также блок питания и установка для кондиционирования воздуха.

Машина имеет всего 100 электронных ламп и 1300 диодов и является, повидимому, наиболее компактной из всех электронных цифровых вычислительных машин универсального назначения, существующих в настоящее время.

Можно высказать следующие предположения относительно основных характеристик больших электронных цифровых машин ближайшего будущего.

1. Устройство ввода должно обеспечивать непосредственный ввод в машину 10-значных десятичных чисел и буквенных данных со скоростью до 2000 отдельных знаков в секунду; устройства вывода должны выдавать цифровой и буквенный материал с такой же скоростью.

2. Выполнение арифметических операций должно производиться со скоростью до 100.000 сложений и вычитаний в секунду и до 20.000 умножений или делений в секунду.

3. Внутреннее запоминающее устройство должно иметь емкость в 10 000 ÷ 20 000 10-значных десятичных чисел.

4. Внешнее запоминающее устройство должно иметь практически неограниченную емкость.

5. Машина должна обеспечивать высокую надежность, допуская не более одного сбоя в работе на 1 млрд. операций.

Развитие техники электронных цифровых машин в настоящее время идет по следующим основным направлениям.

Применение кристаллических полупроводниковых диодов и триодов вместо электронных ламп

Основными преимуществами полупроводниковых (главным образом, германиевых) диодов и триодов перед электронными лампами являются: меньшее (в сотни раз) потребление энергии, значительно меньшие габариты и вес, меньшая чувствительность к ударам, толчкам, вибрациям; большая надежность и длительность службы.

Замена электронных ламп, число которых в машинах достигает нескольких тысяч, полупроводниковыми элементами приводит к резкому уменьшению габаритов машин, уменьшению потребления энергии и, следовательно, устраняет необходимость в мощных охлаждающих устройствах, а также обеспечивает упрощение конструкций и повышение надежности машин.

Эти вопросы имеют исключительно важное значение для приборов военного применения.

В 1954 году в США фирмой Белл построена и пущена в эксплуатацию машина ТРАДИК целиком на полупроводниковых элементах, которая показала высокую надежность.

Машина испытывалась в течение двух месяцев при непрерывной работе 24 часа в сутки. За это время было отмечено два случая разрушения полупроводниковых триодов и ни одного случая выхода из строя конденсаторов, сопротивлений, трансформаторов или какого-либо из 13 000 диодов, имеющихся в машине.

Потребляемая машиной мощность составляет всего 100 Вт, что помимо экономии электроэнергии, играет весьма важную роль точки зрения охлаждения машины.

Применение новых элементов для построения запоминающих устройств машин

Скорость работы цифровой электронной вычислительной машины в значительной степени зависит от емкости запоминающего устройства, скорости записи и выборки из него чисел, необходимых для выполнения операций.

К новым запоминающим устройствам относятся рассмотренный выше устройства, использующие магнитные материалы с прямоугольной петлей гистерезиса — ферромагнетики (ферриты), ферроэлектрики, системы с фоточувствительными веществами, устройств матричного типа, использующие неоновые лампы, тиратроны и др.

Создание надежных, быстродействующих, емких и малогабаритных запоминающих устройств позволит значительно улучшить техникоэкономические показатели электронных цифровых машин.

Применение печатных схем

В отличие от обычных схем, в которых радиодетали соединяются между собой монтажными проводами, в печатных схемах соединение отдельных деталей, укрепленных на изолирующей плате осуществляется посредством покрытия дорожек, заменяющих провода, тонким слоем проводящего вещества (распылением через трафарет, штамповкой и др.).

Такая схема с напечатанными на плате дорожками вместо проводов называется печатной монтажной схемой. В последнее время способом печати изготавливаются не только монтажные провода, но и значительная часть радиодеталей, в том числе сопротивления, конденсаторы небольшой емкости, катушки индуктивности, потенциометры, переключатели.

Производство аппаратуры методом печати позволяет получить высокое качество всех электрических

соединений и контактов, благодаря чему данная аппаратура обладает большой надежностью и долговечностью при малых габаритах и весе.

Основным достоинством печатных схем по сравнению с обычными является возможность автоматизации процесса производства, что облегчает и ускоряет выпуск продукции и намного уменьшает ее стоимость.

Возможность массового выпуска продукции посредством автоматизации производства имеет особенно важное оборонное значение.

Помимо исследований, направленных на разработку технологии изготовления печатных схем, ведутся также работы по проектированию и строительству автоматических линий для сборки электронного оборудования, по

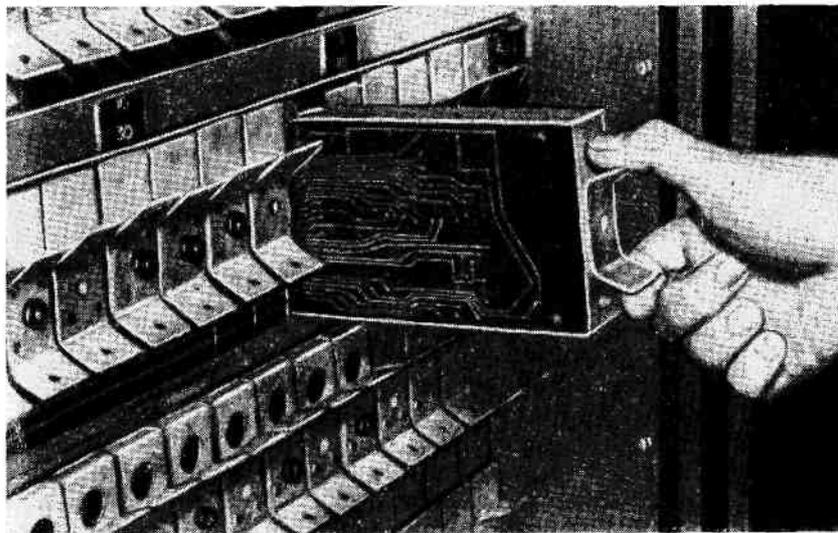


Рис. III.33.

расширению сфер применения печатных схем и т. д.

Изготовление способом печати стандартных блоков позволяет быстро собирать из них сложные вычислительные машины. Так, вычислительная машина ДИСЕАК (США), предназначенная для военных целей, построена с использованием печатных схем (рис. III.33).

Применение для сборки машин стандартных блоков

Каждая машина состоит из ограниченного числа различных по своему функциональному назначению узлов и элементарных устройств, соединенных в общую схему. Это позволяет по различным

схемам осуществлять сборку машин из стандартных блоков, включающих в себя один или несколько элементарных устройств, и стандартных узлов. Блочный способ значительно упрощает производство машин, вследствие чего резко снижается их стоимость, уменьшаются сроки ввода в действие и открываются широкие возможности для механизации и автоматизации производства. Создаются благоприятные условия для массового производства машин в разных местах страны. Стандартизация блоков и узлов исключает возможность появления ошибок в схеме при монтаже и в значительной мере облегчает эксплуатацию машин, позволяя осуществлять ее менее квалифицированным персоналом.

В США разработкой, производством и продажей стандартных блоков и узлов занимается целый ряд учреждений и фирм.

Среди выпускаемых стандартных блоков имеются усилители, триггеры, мультивибраторы, формирователи прямоугольных импульсов, линии задержки, генераторы, схемы совпадения, собирательные схемы, магнитные барабаны, устройства для ввода и вывода и др., т. е. все элементы и узлы, необходимые для строительства машин.

Применение стандартных блоков для сборки машин и внедрение техники печатных схем создают условия для полной автоматизации процесса изготовления электронных цифровых машин.

Разработка быстродействующих устройств ввода и вывода

Узким местом в конструкции современных быстродействующих машин являются устройства для ввода и вывода, так как ввод исходного материала в машину и вывод из нее результатов решения осуществляется электромеханическими устройствами, работающими со значительно меньшими скоростями, чем остальные электронные;

устройства машин. Вследствие этого задачи с большим числом исходных данных и большим числом результатов решать на быстродействующих машинах не всегда экономически выгодно, так как время, необходимое для ввода и вывода материала, значительно превышает полезное машинное время решения задачи. Проблема увеличения скорости работы устройств ввода и вывода не решена удовлетворительно до настоящего времени.

Для ввода исходного материала в машину и вывода результатов из нее используются перфокарты, перфоленты с механическим и фотоэлектрическим считыванием, магнитные ленты и магнитная проволока.

Вследствие малой скорости работы устройств ввода и вывода в некоторых случаях одновременно используется несколько видов этих устройств, что сокращает непроизводительное время на эти операции, но удорожает стоимость машины.

Например, в американской машине ИБМ-701 использование нескольких типов устройств ввода и вывода

позволяет эффективно применять ее для решения небольших задач массового характера; имеющих значительное количество исходных числовых данных и результатов решения. Такие задачи являются характерными для экономико-статистических и коммерческих расчетов.

Улучшение технических параметров устройств ввода и вывода идет по пути увеличения скорости их работы. В настоящее время разрабатываются сложные устройства для фотографического и электронного ввода и вывода данных, которые бы обеспечили возможность непосредственного чтения буквенного и цифрового печатного текста и ввод его в машину, а также непосредственно выдачу в виде печатных текстов и цифровых таблиц результатов решения задач на машинах.

Национальным бюро стандартов США разработано быстродействующее фотооптическое устройство для ввода данных в вычислительную машину, называемое ФОСДИК. Это устройство считывает данные с микроснимка документа, на котором эти данные были записаны от руки специальными знаками. Считываемые знаки преобразуются в электрические сигналы оптическим путем и записываются на магнитную ленту. Микропленка передвигается перед объективом. Пленка освещается при помощи электронно-лучевой трубки, на пластины которой подаются развертки по строке и по кадру.

За объективом помещен фотоэлемент, который образует электрические импульсы, соответствующие знакам на пленке.

Средняя скорость считывания и ввод информации в машину составляет 2000 двоичных и 250 десятичных знаков в 1 сек. В устройстве предусмотрен автоматический контроль правильности поступающей в машину информации.