

**З. Л. РАБИНОВИЧ, Ю. В. БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ,
Р. Я. ЧЕРНЯК, А. Л. ГЛАДЫШ, И. Т. ПАРХОМЕНКО,
И. П. ОКУЛОВА, Л. А. МАЙБОРОДА, С. С. ЗАБАРА**

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ЭЛЕКТРОННАЯ
СЧЕТНАЯ МАШИНА
СЭСМ**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК
УКРАИНСКОЙ ССР
КИЕВ — 1961**

З. Л. РАБИНОВИЧ, Ю. В. БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ,
Р. Я. ЧЕРНЯК, А. Л. ГЛАДЫШ, И. Т. ПАРХОМЕНКО,
И. П. ОКУЛОВА, Л. А. МАЙБОРОДА, С. С. ЗАБАРА

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ЭЛЕКТРОННАЯ
СЧЕТНАЯ МАШИНА
СЭСМ

*Любимому Эвиру
от авторов.*

В книге описана специализированная электронная счетная машина СЭСМ, предназначенная для решения систем линейных алгебраических уравнений и подсчета корреляционных функций. Излагаются использованные в машине методы линейной алгебры, принципы работы в целом и отдельных ее устройств, блоков и элементов.

Предназначена для работников, занимающихся проектированием и эксплуатацией счетных машин, а также для специалистов по смежным отраслям науки, знакомых с основными понятиями вычислительной техники и вычислительной математики.

Ответственный редактор
член-корреспондент АН УССР *В. М. Глушков*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные электронные цифровые машины с программным управлением являются в основном универсальными. Они достаточно удобны для решения большинства сложных задач вычислительной математики. Однако в некоторых случаях целесообразно строить специализированные вычислительные машины, предназначенные для решения какого-нибудь одного относительно узкого класса задач.

Разумеется, это целесообразно для решения таких классов задач, которые удовлетворяют по крайней мере двум условиям: во-первых, чтобы задачи данного класса были достаточно распространенными и, во-вторых, чтобы специализированная машина для решения этих задач была бы существенно проще универсальной.

Одной из важнейших задач вычислительной математики, удовлетворяющей обоим этим условиям, является задача решения систем линейных алгебраических уравнений. В самом деле, с одной стороны, эта задача чрезвычайно распространена: хорошо известно, что решение многих математических, физических, технических и других задач сводится в конечном счете к решению систем алгебраических уравнений. С другой стороны, как показывает опыт, специализированная вычислительная (цифровая) машина для решения систем линейных алгебраических уравнений может быть существенно проще универсальной цифровой машины.

Идея создания специализированной электронной счетной машины (СЭСМ) для решения систем линейных алгебраических уравнений принадлежит академику С. А. Лебедеву, который и наметил ее основные контуры.

В дальнейшем машина была модернизирована, что позволило существенно увеличить ее возможности: она стала пригодной не только для решения систем линейных алгебраических уравнений, но и для вычисления корреляционных функций. Это особенно важно, поскольку задачу вычисления корреляционных функций ввиду большого объема ввода трудно решать на быстродействующих универсальных цифровых машинах.

Книга написана группой сотрудников Вычислительного центра под руководством З. Л. Рабиновича: разделы II, IV, VIII, IX — канд. техн. наук З. Л. Рабиновичем, раздел I — канд. физ.-мат. наук Ю. В. Благовещенским, разделы III, V, XI — канд. техн. наук Р. Я. Черняком, разделы IV, VIII, X — инж. И. Т. Пархоменко, разделы IV, IX — инж. А. Л. Гладыш, раздел VII — инж. И. П. Окуловой, раздел VI — инж. Л. А. Майбородой и С. С. Забарой.

Авторы выражают благодарность за помощь академику С. А. Лебедеву, канд. техн. наук Л. Н. Дашевскому, инженерам В. В. Крайницкому, С. Б. Погребинскому, Е. Е. Дедешко, А. З. Либману и К. В. Головко.

I. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ НА МАШИНЕ СЭСМ

Выполнение различных линейных операций и решение систем линейных алгебраических уравнений представляют важнейшие задачи современной вычислительной математики.

К выполнению подобных операций или решению линейных систем со многими неизвестными приводятся многочисленные задачи инженерных расчетов, теории планирования, математической статистики, теоретической физики и т. д.

Хотя с принципиальной точки зрения выполнение расчетов указанного типа и не встречает никаких затруднений, так как они могут быть приведены к цепи элементарных вычислений, доступных любому лицу, знакомому с арифметикой, тем не менее их фактическое осуществление встречает значительные трудности, вызванные большим объемом необходимых вычислений и необходимостью проведения вычислений с наперед установленной точностью. Укажем, например, что для решения системы n линейных уравнений с n неизвестными необходимо выполнить cn^3 операций умножения, где c — некоторое постоянное число. Это значит, что для решения системы 100 уравнений нужно выполнить на клавишной вычислительной машине порядка миллиона только операций умножения, для чего нужно затратить несколько десятков тысяч часов работы опытного вычислителя. Совершенно естественно, что решение подобных задач требует применения современной вычислительной техники.

Заметим сразу же, что для решения подобных задач ввиду большой их однотипности и значительного объема требуемых вычислений выгодно строить специализированные машины, одной из которых и является машина СЭСМ, предназначенная для выполнения линейных операций, включая подсчет корреляционных функций и решение систем линейных алгебраических уравнений со многими неизвестными. Ниже мы кратко рассмотрим основные линейные операции и методы их выполнения, а также некоторые методы решения систем линейных уравнений главным образом с точки зрения их выполнения на ЭСМ.

Основные линейные операции и их выполнение на СЭСМ

Простейшей линейной операцией, к выполнению которой в той или иной модификации приводятся все остальные, является операция составления суммы парных произведений

$$S_n = \sum_{i=1}^n x_i y_i,$$

где x_i и y_i — некоторые последовательности n чисел, содержащихся в памяти машины. Выполнение подобной операции не встречает затруднений, если машина проводит вычисления по принципу плавающей запятой; в случае же счета с фиксированной запятой, очевидно, потребуется предварительное масштабирование, чтобы сумма S_n не вышла за заданные в машине границы. В том и другом случае, если машина выполняет действия с m знаками, а получаемые произведения имеют больше знаков, приходится прибегать к округлению получаемых в результате умножения чисел, что, естественно, вносит ошибку. Если индекс суммирования n — большое число, то получаемая в результате сумма может иметь значительную погрешность, поэтому в дальнейшем мы рассмотрим методы оценки получаемой погрешности и количество верных знаков, которое будет иметь вычисляемая сумма.

Следующей важной линейной операцией является умножение квадратной $n \times n$ матрицы на n -мерный вектор. Совершенно очевидно, что эта операция является n -кратным повторением предыдущей и ее выполнение на машине, умеющей составлять суммы S_n , приводится к целесообразному кодированию последовательности нахождения S_n^i . Точно так же и нахождение произведения квадратной $n \times n$ матрицы A на $n \times n$ матрицу B сводится к последовательному нахождению аналогичных сумм S_n .

Для гармонического анализа имеет важное значение операция составления сумм парных произведений типа $S_n = \sum_{i=1}^{kn} x_i y_{ki}$

$k = 1, 2, 3, \dots, m < n$, причем последовательность y_{ki} получается из последовательности y_i отбрасыванием некоторых членов и последующим повторением оставшихся членов k раз. Очевидно, и эта операция может быть получена целесообразным кодиро-

ванием из основной операции $\sum_{i=1}^n x_i y_i$. Для статистических расче-

тов применяется также составление сумм парных произведений, в которых последовательность y_i сдвигается на некоторое число членов вперед или назад и недостающие члены заменяются нулями.

Оценки точности сумм парных произведений

Пусть имеем два ряда чисел x_1, x_2, \dots, x_n и y_1, y_2, \dots, y_n , с помощью которых образуется сумма $S_n = \sum_{i=1}^n x_i y_i$. Исследуем ошибку, которую может иметь S_n , если x_i, y_i — m -значные двоичные числа, каждое из которых имеет погрешность, не превышающую половину m -го знака; тогда, очевидно, погрешность произведения $x_i y_i$ не превышает единицы m -го знака. Найдем вероятность того, что погрешность суммы S_n не превышает h единиц m -го знака. Эта вероятность, как известно, будет [1]

$$P(h) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^H e^{-t^2} dt,$$

$$\text{где } H = \frac{\sqrt{6h}}{2 \sqrt{\rho(\rho+1)n}}.$$

Здесь ρ — ошибка каждого произведения $x_i y_i$ в единицах m -го знака. Приняв $h=32$ и $n=400$, имеем $H=1,38564$, $P(h)=0,9500$; при $h=64$, $P(64)=0,9999$; следовательно, шесть дополнительных двоичных разрядов гарантируют точность вычислений для данной операции. Поэтому, если мы желаем получить три верных десятичных знака, что эквивалентно 10 двоичным разрядам, нужно вести вычисление с 16-значными двоичными числами. Если $n=4000$, то получим $H=1,7530$ при $h=128$, что дает вероятность 0,99. Поэтому при $n=4000$ нужно иметь семь, а лучше восемь дополнительных двоичных разрядов, а чтобы иметь три верных десятичных знака, нужно вести вычисления с 18-значными двоичными числами.

Методы решения линейных алгебраических уравнений

Методы решения линейных уравнений обычно подразделяют на точные и итеративные.

К первым обычно относят различные модификации методов исключения, в которых матрицу коэффициентов последовательными преобразованиями приводят к треугольному виду, что позволяет затем найти все неизвестные одно за другим.

Ко вторым относят различные итерационные методы, в которых определяются последовательными приближениями сразу все неизвестные. Сравним теперь эти методы с точки зрения постановки их решения на ЭСМ.

Совершенно очевидно, что точные методы требуют большего объема памяти, чем итерационные, так как для них требуется запоминание двух матриц — начальной и переработанной, тогда как в итерационных методах в худшем случае требуется за-

Важной составной частью этой схемы является контроль, который осуществляется следующим образом: составляются суммы всех коэффициентов строки, включая и правую часть, над которыми выполняются те же операции, что и над строками, результат действий над любой комбинацией строк должен совпасть с результатом действий над соответственными контрольными суммами. Важным видоизменением этого способа является метод главных элементов, по которому исключение начинается с наибольшего коэффициента матрицы, однако в этом случае нужно предварительно сравнить между собой n^2 чисел, что, конечно, удлиняет счет, хотя и значительно уменьшает его погрешность.

В случае, когда в машине не предусмотрено деление, можно использовать метод перекрестного умножения, при котором коэффициенты вспомогательных систем получаются по формуле

$$a_{ijk} = a_{kkk-1} a_{ij k-1} - a_{ik k-1} a_{kj k-1},$$

где a_{ijk} — коэффициенты вспомогательной системы на k -ом шаге процесса; $a_{ij k-1}$ — коэффициенты на $k-1$ -ом шаге.

Весьма удобен для случая симметричных матриц развитый Банахевичем метод квадратного корня, по которому матрица раскладывается в произведение двух треугольных матриц $A = S^* S$, где S^* — транспонированная матрица к S [2]. Во многих случаях необходимо найти матрицу, обратную данной; она вычисляется одновременно для всей совокупности n правых частей типа $(0, 0 \dots 1, \dots 0, 0)$, так как основная матрица коэффициентов одна и та же для всей этой совокупности. При этом часто удобно, если это возможно, вести вычисления с малым числом знаков, а затем выполнить уточнение по Хотелингу [3]. Если, например, A — матрица, обратной которой матрица B определяется, и если B_0 — приближенное этой матрицы, причем значение $\|E - AB_0\| \leq k < 1$, то уточненное значение B_1 находится по формуле $B_1 = B_0(2E - AB_0)$; в свою очередь далее можно найти $B_2 = B_1(2E - AB_1)$ и т. д.; сходимость этого процесса весьма велика, так как

$$\|B_m - A_0^{-1}\| \leq \|B_0\| \frac{k^{2m}}{1-k};$$

если $k=0,1$, то три приближения дадут приблизительно восемь верных десятичных знаков.

Имея приближенную обратную матрицу, можно, и не уточняя ее, получить сколь угодно точное решение при заданной правой части. Действительно, если A — данная матрица и B_0 — приближенное значение обратной матрицы, такое что $AB_0 = E + \delta$, то легко видеть, что решение уравнения $Ax = f$ описывается формулой $x = B_0(E + \delta + \delta^2 + \dots)f$.

Бесконечный ряд в скобках сходится, если $\|\delta\| < 1$, и в этом случае дает решение уравнения.

Таким образом, имея приближенную обратную матрицу, можно либо сначала ее уточнить и затем решать нужное уравнение, либо сразу находить решение с помощью приближенной обратной матрицы. Заметим, что если приближенная обратная матрица достаточно близка к своему точному значению, то второй процесс выгоднее; в противоположном случае может оказаться более выгодным первый процесс.

Действительно, как это видно из предыдущего, для каждого этапа уточнения матрицы нужно выполнить два умножения матриц, т. е. $2n^3$ умножений, тогда как для каждого этапа нахождения решения по приближенной обратной матрице нужно умножить вектор на матрицу, т. е. выполнить n^2 умножений.

Таким образом, если n велико, а $\|\delta\|$ не слишком близка к единице, второй процесс почти всегда выгоднее.

Перейдем теперь к рассмотрению итерационных методов. Как уже упоминалось, итерационные методы имеют ряд преимуществ перед точными, однако их применение не всегда возможно, так как матрица коэффициентов не всегда удовлетворяет некоторым ограничивающим условиям.

Если мы перепишем исходное уравнение в виде, удобном для применения итерационных методов, а именно

$$x_1 = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n + f_i,$$

то эти условия сводятся к малости собственных чисел матрицы a_{ij} или матрицы, получаемой из нее различными преобразованиями. Однако подобные критерии, вообще говоря, неудобны, поэтому на практике пользуются несколько иными критериями, которые мы изложим при рассмотрении различных итеративных методов.

Простейшим итеративным методом является метод простой итерации, при котором последующие приближения вычисляются по предыдущему по формуле

$$x^{k+1} = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j^k + f_i.$$

Для сходимости этого метода достаточно, чтобы или $\max_{j=1}^n |a_{ij}|$, или $\max_{i=1}^n |a_{ij}|$ был меньше единицы.

Другим важным методом является итеративный метод Гаусса—Зейделя, по которому каждое вновь полученное неизвестное немедленно заменяет предыдущее. Основная формула при этом имеет вид

$$x_i^{k+1} = \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^{k+1} + \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j^k + f_i.$$

Для сходимости метода достаточно, чтобы матрица была положительно определенной. Этот метод налагает, вообще говоря, меньшее ограничение на исходную матрицу; кроме того, следует отметить, что матрицы такого типа весьма часто встречаются в различных прикладных задачах. Заметим также, что при такой итерации объем памяти получается несколько меньшим, чем для метода простой итерации. Эти обстоятельства, а также то, что произвольная матрица A может быть преобразована в матрицу, удовлетворяющую данному условию, путем умножения на транспонированную A^* , обуславливают целесообразность выбора для машины СЭСМ в качестве рабочего метода именно метода Гаусса—Зейделя.

Однако для некоторых задач линейной алгебры оказывается целесообразно применять и метод простой итерации; поэтому необходимо машину сконструировать так, чтобы она могла работать и в режиме простой итерации.

О точности приближенных методов решения линейных уравнений

Мы здесь рассмотрим только вопрос о точности итерационных методов с позиций его применения в машине СЭСМ.

Пусть, например, система линейных уравнений решается с помощью какого-либо итерационного метода, причем формула для нахождения какого-либо приближения имеет вид

$$x_i = f_i + \sum_{k=1}^n a_{ik} x_k,$$

причем под знаком суммы x_k могут быть получены либо из предыдущего приближения (как в методе простой итерации), либо из данного (как в методе Гаусса—Зейделя).

Тогда очевидно, что погрешность x_i будет состоять из двух частей. Во-первых, в нее будет входить погрешность итерационного процесса, теоретически уменьшающаяся от своего начального значения до произвольно малой величины при окончании процесса, во-вторых, в нее будет входить ошибка от составления сумм парных произведений, которая имеет случайный характер и не может быть уменьшена произвольно, но наибольшую величину которой можно вычислить, как это показано выше. Понятно, что на первых этапах итерации именно первая часть ошибки имеет превалирующее значение, однако при продолжении процесса величины этих двух частей должны в конце концов оказаться сравнимыми, если только процесс итерации сходится, и тогда дальнейшее уточнение не следует проводить, так как дальнейшие приближения не будут стремиться к определенной границе, а будут случайно изменяться.

Поэтому весьма важным является определение этапа

приближений, на котором следует остановиться, а также вопрос о величине ошибки, которую при этом могут иметь неизвестные.

Ответ на второй вопрос нетрудно получить: очевидно, возможная погрешность не может превышать удвоенной максимальной погрешности от составления сумм парных произведений; что же касается весьма трудного решения первой задачи, то мы выскажем по этому поводу следующие достаточно точные рекомендации. Примем, что начиная с некоторого шага последовательные приращения неизвестных Δx_i уменьшаются с каждым шагом в геометрической прогрессии (точнее, их можно найти, вычисляя, например, поправки по Люстернику). Тогда, если максимальный прирост какого-либо из неизвестных равен Δx_i , истинная величина погрешности будет $\frac{\Delta x_i}{1-q}$, где q — знаменатель геометрической прогрессии, который можно найти, например, так: если наибольший из приростов за некоторое число r итераций уменьшился в r раз, то $q = \sqrt[r]{\frac{1}{r}}$. Тогда, приравняв друг другу ошибку от составления сумм парных произведений, вычисленную, как указывалось выше, и ошибку итерационного процесса, найдем приближенное число шагов, которое нужно сделать по окончании процесса.

Пусть, например, решается система $n=400$ уравнений; тогда с вероятностью 0,9999 ошибка от составления сумм парных произведений будет меньше или равной 32 единицам последнего учитываемого знака. Но тогда, если все приросты меньше единицы и $q=0,9$, что соответствует приблизительно 130 итерациям, нужным для достижения шести верных знаков, $\Delta_{\text{итер}} \leq \frac{1}{1-0,9} = 10$ единиц последнего знака; для достижения величины 32 единиц последнего знака нужно примерно 120 итераций. Это и есть то число итераций, на котором нужно остановить процесс при данном q . Очевидно, истинная погрешность будет вдвое больше, т. е. будет 64 единицы последнего знака. Из этих соображений легко вывести нужную значность для вычислений на машине.

Пусть, например, машина предназначена для решения 400 уравнений при 10%-ном заполнении строки, тогда ошибка от составления сумм парных произведений будет с вероятностью 0,9999 меньше 10 единиц младшего знака, но ошибки будут вдвое больше, т. е. 20 единиц последнего знака или около четырех двоичных разрядов. Следовательно, если мы начали считать с шестью десятичными знаками, машина должна работать с 44 разрядными двоичными числами. Заметим одновременно, что при этом ошибка итерации процесса должна не превышать 10 единиц последнего разряда; это значит, что, например, при $q=$

$= 0,9$ нет смысла делать больше 130 итераций, при $q = 0,8$ — больше 60 итераций и т. п. Если же q больше 0,9, то нельзя достигнуть точности в шесть знаков, а нужно ограничиться меньшей точностью.

Выполнение линейных операций на машине, могущей работать в режимах итераций Зейделя и простой итерации

Помимо основной задачи — нахождения решений систем линейных уравнений — машина, могущая работать в режимах простой и зейделевой итерации, т. е. машина типа СЭСМ, имеет возможность решить еще ряд важных задач линейной алгебры, к описанию которых мы и перейдем.

Это, во-первых, задача симметризации данной системы, необходимая для возможности решения систем с произвольной матрицей. Назовем ее *задачей № 1*. Для этого, поставив машину в режим простой итерации, зададим в нее как матрицу A системы транспонированную матрицу, т. е. матрицу, у которой строки заменены столбцами, а в качестве значений неизвестных x_i примем систему из $n+1$ векторов, у которых составляющими являются столбцы данной матрицы и столбец правых частей. Результаты проведения одной итерации над этими векторами даст $(n+1) \times n$ матрицу, которая и будет нужной матрицей и ее правыми частями.

Задача № 2. Умножение матрицы на матрицу. Для выполнения этой операции достаточно задать первую матрицу как матрицу коэффициентов, а вторую — как матрицу значений неизвестных. Поставив машину в режим простой итерации и выполнив одну итерацию, получим $n \times n$ матрицу, являющуюся искомой.

Задача № 3. Преобразование частотного определителя к полиномиальному виду. Как известно, для этого нужно найти систему линейных уравнений, которым удовлетворяют коэффициенты данного полинома, имеющего простые элементарные делители. Тогда, задав как вектор неизвестных произвольный вектор и поставив машину в режим простой итерации, вычислим n итераций данного вектора. Полученная $(n+1) \times n$ матрица и будет матрицей системы уравнений, неизвестными в которой будут коэффициенты данного полинома, а свободными членами — величина Ax .

Недостатком этого способа является предполагаемая простота элементарных делителей, а также то, что для нахождения неизвестных коэффициентов нужно решать полученную линейную систему. Нетрудно, как известно, ликвидировать оба затруднения. Для этого необходимо вместо итераций вектора составить степени данной матрицы, как было указано в задаче № 2. Если A, A^2, \dots, A^n — степени данной матрицы; S_1' — след матрицы A ; S_2 — след матрицы A^2 , то коэффициенты полинома C_i

определяются из соотношений

$$C_1 = -S_1, \quad C_2 = -\frac{1}{2}(C_1 S_1 + S_2), \dots,$$
$$C_n = -\frac{1}{n}(C_{n-1} S_1 + C_{n-2} S_2 + \dots + S_n).$$

Методы улучшения сходимости итерационных процессов

Применение итерационных методов к решению конкретных систем линейных уравнений часто встречается затруднения ввиду медленной сходимости итерационного процесса. Кроме того, в процессе итераций с медленной сходимостью последовательные приближения, как это было показано Красносельским и Крейном, имеют тенденцию попадать в области с наихудшей сходимостью. Чтобы вывести полученное решение из этих областей и ускорить процесс, применяют различные методы ускорения сходимости, некоторые из которых мы ниже опишем.

Наиболее прост часто применяемый метод ускорения по Люстернику, основанный на использовании формулы $x = x^k + \frac{x^{k+1} - x^k}{1 - \lambda_1}$, где индексы обозначают номер итерации; λ_1 — наибольшее собственное число, вычисленное приближенно из отношения компонент векторов $(x^{k+1} - x^k)$ и $(x^k - x^{k-1})$.

Обычно на практике этот метод выполняют следующим образом. Сначала производится некоторое число итераций с применением метода простой итерации или итераций по Гауссу — Зейделю, затем применяется метод ускорения, далее снова несколько обычных итераций и снова метод ускорения. Некоторым недостатком метода является необходимость выполнения деления, чего обычно избегают в машинах типа СЭСМ, так как проведение итераций, вообще говоря, не требует деления, если предварительно матрица приведена к необходимому виду.

Если в результате решения задачи нам нужно получить обратную матрицу, то для ускорения процесса удобно применить метод продолжения решения по параметру, что может быть сделано и тогда, когда процесс итераций для данной матрицы и не сходится.

Пусть, например, исходная матрица A записана в виде $A = B \pm C$; вводя параметр α , по формуле $A(\alpha) = B + \alpha C$, при $\alpha = 0$ получаем $A(\alpha) = B$, а при $\alpha = 1$ получаем $A(\alpha) = A = B + C$. Разобьем весь интервал изменения α на достаточно большое число малых частей $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k$, причем $\alpha_0 = 0$ и $\alpha_k = 1$, и предположим, что матрица B легко обратима. Тогда найдя обратную ей матрицу, примем ее за приближенную обратную матрицу к $A(\alpha_1)$. Процессом, описанным выше, можно тогда найти матрицу, обратную $A(\alpha_1)$, и приняв ее за приближенное значение матрицы, обратной $A(\alpha_2)$, снова начать процесс.

При этом, конечно, предполагается, что все матрицы $A(\alpha_1)$, $A(\alpha_2)$ — неособые. Легко указать многочисленные важные случаи, когда это требование выполняется. Если, например, матрицы A , B и C положительно определенные, то матрица $A(\alpha) = B + \alpha C$ будет также положительно определенной для всех $\alpha \leq 1$.

Некоторые соображения о выборе характеристик машины и ее конструктивных особенностях

Проектирование счетной электронной машины должно начинаться с выбора метода вычислений. Хотя методы исключения, вообще говоря, являются более общими, чем итерационные, однако машина, построенная на основе метода исключения, будет гораздо более громоздкой, чем машина, основанная на методе итераций, так как объем ее памяти будет значительно увеличен.

Следует также отметить, что машины, основанные на применении метода итераций, можно конструировать с фиксированной запятой; для выполнений же действий исключения обязательна плавающая запятая. Все эти соображения позволяют заключить, что машина, предназначенная для решения большого числа линейных уравнений, должна конструироваться на основе применения в ней метода итераций, если только не считают возможным значительно увеличить ее объем. Кроме того, ввиду простоты выполняемых действий целесообразно выполнять ее как машину с фиксированной запятой. Как основной метод итераций целесообразно использовать метод Зейделя, несколько сокращающий объем памяти и значительно чаще применяемый, чем метод простой итерации, который, однако, желательно также иметь в машине, учитывая его важность при выполнении линейных операций. Наличие в машине фиксированной запятой предъявляет повышенные требования к выбору масштабов в машине; вследствие этого весьма важно в машине наличие масштабного множителя, позволяющего без новых расчетов изменять правые части уравнений. Очень важен также вопрос о выборе значности чисел в машине. Исходя из обычного в точных инженерных расчетах требования выполнения расчетов с пятью знаками, можно считать возможным проведение действий с семью десятичными знаками, оставив два запасных десятичных знака, что составит в общем 23—24 двоичных разряда.

Объем памяти и ее конструктивное выполнение определяют объемом и характером задач, которые предполагается решать на машине. Если ограничиться решением 400 уравнений с 10% -ным заполнением матрицы коэффициентов, то объем памяти составит около 16 000 чисел для запоминания матрицы; кроме того, правые части и две системы значений x^k и x^{k+1} дают еще 1200 чисел, что в сумме дает память в 17 200 чисел.

Для решения систем линейных уравнений ввод и вывод ма-

шины могут и не быть замкнутыми, однако возможности машины резко расширяются, если в машине это предусмотрено. Так, итеративный способ нахождения обратных матриц, приведение частотных определителей к полиноминому виду и многие другие задачи настоятельно требуют возможности подачи вывода на ввод. Хотя такая возможность и не предусмотрена в описываемой СЭСМ, следует считать ее весьма желательной.

Чрезвычайно важно введение в машину методов ускорения, например по Люстернику. Методы ускорения требуют использования уже выполняемых машиной операций и поэтому их введение не вызывает необходимости принципиальных изменений в конструкции. Еще одно важное усовершенствование состоит в возможности подачи данных из машины СЭСМ на универсальные машины и наоборот, что также должно быть предусмотрено при усовершенствовании действующей машины СЭСМ.

II. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЭСМ

Назначение машины. Метод решения

Специализированная электронная счетная машина СЭСМ предназначена для решения систем линейных алгебраических уравнений, а также для подсчета корреляционных функций*.

Решение систем уравнений осуществляется обычно итерационным методом Гаусса — Зайделя. Возможно также применение простых итераций, что иногда целесообразно.

Значение i -го неизвестного на k -ой итерации подсчитывается по следующей формуле:

$$-a_{i1}x_1^{(k)} - a_{i2}x_2^{(k)} - \dots - a_{i(i-1)}x_{i-1}^{(k)} - 1x_i^{(k-1)} - \\ - a_{i(i+1)}x_{i+1}^{(k-1)} - \dots - a_{in}x_n^{(k-1)} + Mb_i + 1x_i^{(k-1)} = X_i^{(k)}.$$

Сумма всех членов левой части, кроме последнего, представляет собой прирост приближения неизвестного X_i на k -ой итерации. Таким образом, сначала подсчитывается Δx_i , а затем x_i соответственно по формуле

$$\Delta x_i^{(k)} + x_i^{(k-1)} = x_i^{(k)}.$$

Такой порядок подсчета целесообразен тем, что в ходе его определяются приросты приближений неизвестных, по которым удобно контролировать сходимость итерационного процесса, а также работу машины.

* Подсчет корреляционных функций стал возможен в результате соответствующей модернизации машины.

Коэффициенты при X_i равны единице, что должно быть учтено при составлении уравнений. Если есть коэффициенты, большие единицы, то каждый из них предварительно разбивается на соответствующее количество единиц и дробную часть.

Матрица коэффициентов должна обеспечивать сходимость итерационного процесса. Для этого, при необходимости, можно с помощью машины перед решением системы уравнений привести матрицу системы к симметричному виду путем умножения ее на транспонированную матрицу. Каждый коэффициент симметризированной матрицы подсчитывается машиной по формуле

$$a_{im} = a_{1i}a_{1m} + a_{2i}a_{2m} + \dots + a_{(n-1)i}a_{(n-1)m} + a_{ni}a_{nm},$$

где i — номер строки транспонированной матрицы (i -ый столбец исходной);

m — номер столбца исходной матрицы.

Коэффициент M при свободном члене обуславливает масштаб получаемых на машине приближений неизвестных, действительная величина которых определяется умножением их на M . Значение M подбирается таким образом, чтобы приближения неизвестных не выходили за располагаемое число разрядов, т. е. были меньше единицы. При этом M должен иметь достаточную величину для использования полного (или близкого к полному) располагаемого числа разрядов, что обеспечит выполнение расчетов с возможно большей точностью. В соответствии с методом решения результат подсчета строки используется уже на данной итерации в качестве нового приближения неизвестного вместо старого, полученного на предыдущей итерации.

При определении величины приближения неизвестного может быть из-за случайного сбоя машины допущена ошибка, что обычно существенно увеличивает количество итераций. Поэтому необходим текущий контроль правильности расчетов, который удобнее всего осуществлять по величинам приростов неизвестных.

По величинам приростов, а также невязок осуществляется контроль окончания решения системы. Если все приросты — нули, система считается решенной с точностью, разрешаемой машиной. Если такой точности не требуется, то после того, как приросты неизвестных достигли достаточно малых величин, для установления окончания решения необходимо подставить полученные значения неизвестных в уравнения и проверить на машине, удовлетворяются ли они с требуемой степенью точности. Если они не удовлетворяются, следует дальше продолжать итерационный процесс. Указанный процесс подсчета невязок отличается от итерационного процесса по Гауссу — Зайделю только тем, что используются одни и те же исходные неизвестные без замены их вновь получаемыми. В качестве исходных неиз-

вестных для подсчета невязок служат значения, полученные на последней итерации.

Исходные приближения неизвестных для итерационного процесса в общем случае принимаются равными нулю.

Алгоритмической операцией данной специализированной машины является подсчет суммы парных произведений. Поэтому в принципе машина может выполнять любые расчеты, определяемые этим алгоритмом, однако удобство их выполнения зависит от характера расчетов. Поскольку машина специально предназначена для решения систем линейных алгебраических уравнений, путем простого переключения режима работы ее легко приспособить и для подсчета корреляционной функции. Корреляционная функция подсчитывается по формуле

$$\rho_N(k) \cong \frac{\sum_{i=1}^N y_i y_{i-k} - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2},$$

где N — количество ординат анализируемой кривой; k — интервал между перемножаемыми ординатами.

Каждая сумма в этой формуле представляет собой сумму парных произведений; сумма квадратов чисел выражается в виде суммы парных произведений одинаковых сомножителей, а сумма чисел — в виде суммы парных произведений, у которых один из сомножителей всегда равен единице. От аргумента k здесь зависит один только член $\sum_{i=1}^N y_i y_{i-k}$, который подсчитывается столько раз, сколько значений имеет интервал k . Остальные члены подсчитываются один раз для анализируемой кривой. На машине не может быть выполнено только деление на N и на знаменатель. Отношение при этом количества операций, проводимых вне машины, к количеству операций, осуществляемых ею, составит, например для $N = 3000$, незначительную величину порядка 0,0003.

Система счисления и основные операции

Для простоты осуществления арифметических операций в машине принята двоичная система счисления с фиксированной запятой.

Вводимые в машину числа — коэффициенты, свободные члены, ординаты кривых — являются дробными величинами. Выводимые результаты вычислений — также правильные дроби. Однако в процессе расчетов частичная сумма может оказаться значительно больше конечного результата подсчета строки. Чтобы

не приходилось уменьшать масштаб и ограничивать точность вычислений в случае получения частичной суммы большей единицы, в машине предусмотрены четыре резервных разряда перед запятой. Эти разряды могут заполняться кодом частичной суммы в процессе вычислений, конечный выводимый результат этапа вычислений должен укладываться в располагаемое число разрядов после запятой.

Исходя из некоторого опыта по решению систем линейных алгебраических уравнений, а также руководствуясь соображениями, изложенными в разделе I, число разрядов, располагаемое после запятой, выбрано равным 28.

Знак числа определяется кодом знака, расположенным перед кодом младшего разряда. Отрицательные числа представляются прямым кодом, что удобно для эксплуатации.

В соответствии с методом решения машина выполняет две арифметические операции — умножение и сложение с учетом знаков.

По мере проведения расчетов может осуществляться текущий автоматический контроль порядка величин получаемых приростов неизвестных. Для этого предусмотрена операция сравнения по модулю величин приростов с заранее установленными контрольными числами.

Исходные данные задаются в виде таблиц в десятичной системе с точностью до седьмого десятичного разряда. Исходные данные в машину вводятся с внешнего устройства фиксации перфоленты. На перфоленте числа перфорируются в двоично-десятичной системе. Для перевода двоично-десятичного кода вводимых чисел в двоичный машина выполняет специальную операцию прямого преобразования кодов.

Результаты расчетов с внутреннего устройства запоминания выдаются в десятичной системе с точностью до седьмого разряда. Для этого предусмотрена специальная операция обратного преобразования кодов, выполняющая перевод двоичного кода выводимых чисел в двоично-десятичный. Дальнейшее преобразование кода числа из двоично-десятичного в десятичный и отпечатание его в десятичной системе осуществляются операцией вывода и печати.

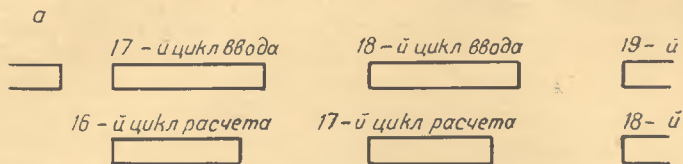
Помимо указанных операций, машина выполняет выборку и передачу кодов из одних устройств в другие.

Структурная схема и программы работы

Рассмотрим основные программы работы машины.

Расчеты проводятся во время ввода исходных данных, что целесообразно из-за их большого количества; предварительное запоминание исходных данных обусловило бы большее расширение объема внутреннего запоминающегося устройства, а также вызвало бы непроизводительный расход времени на их

ввод при решении каждой задачи. Таким образом, при проведении расчетов за один цикл работы машины в арифметическое устройство должны поступить и умножиться два числа — очередной вводимый коэффициент и соответствующее приближение неизвестного при подсчете итераций, при подсчете корреляционной функции — две ординаты, полученное произведение должно



б

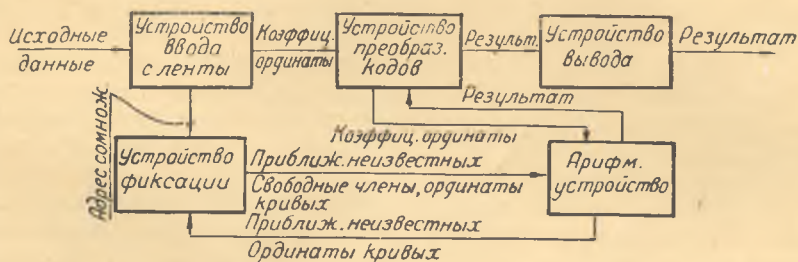


Рис. 1. Диаграмма последовательности ввода и расчетов (а), структурная схема машины СЭСМ (б).

быть прибавлено к сумме предыдущих произведений — частичной сумме.

Выбранные программы расчетов определяют структуру машины (рис. 1).

Машина состоит из пяти основных устройств, предназначенных для ввода исходных данных, преобразования кодов, внутренней фиксации чисел, арифметических операций и вывода.

Для проведения итераций коэффициенты уравнений заранее фиксируются двоично-десятичным кодом на перфоленте построчно в порядке возрастания номеров строк. Каждый коэффициент снабжается адресом неизвестного, на которое нужно его умножить. В процессе решения системы коэффициент через устройство ввода поступает на устройство преобразования, а адреса — на внутреннее устройство заломинания — магнитный барабан с управлением. Код коэффициентов по мере поступления преобразовывается в двоичный и передается на арифметическое устройство, куда также поступают соответствующие приближения неизвестных и свободные члены. В арифметическом устройстве происходят необходимые операции и накапливается сумма членов данной строки. Конечный результат подсчета

строки передается на магнитный барабан и используется при подсчете следующей строки как новое приближение неизвестного.

В процессе проведения итераций прироста неизвестных либо неизвестные могут для контроля выводиться через устройство преобразования кодов и печатываться. Кроме того, с помощью световой сигнализации может осуществляться текущий контроль порядка величин приростов.

Исходные данные — коэффициенты, адреса — поступают через входное устройство непрерывным потоком; расчет проводится во время их поступления со сдвигом на один цикл, т. е. во время поступления очередного коэффициента арифметические операции производятся с предыдущим коэффициентом. Таким образом, каждый такт работы машины состоит из двух циклов — ввода и расчета, причем в смежных тактах эти циклы происходят одновременно (см. рис. 1). Необходимая синхронизация достигается более ранним окончанием цикла расчета.

В отличие от подсчета итераций, при подсчете корреляционных функций оба ряда сомножителей должны вводиться в машину с перфоленты, на которой зафиксированы ординаты кривой. В каждом члене $y_i y_{i-k}$ сомножители представляют собой ординаты, сдвинутые между собой на интервал k , являющийся переменной величиной. Этот сдвиг достигается задержкой на магнитном барабане каждой поступившей с перфоленты ординаты y_i на k циклов расчета, после чего она уже используется в очередном цикле в качестве y_{i-k} . Таким образом, отличительной особенностью цикла расчета в рассматриваемой программе является запись в каждом цикле y_i на магнитном барабане после того, как произошло умножение y_i на y_{i-k} и сложение произведения с суммой предыдущих произведений. При этом, поскольку интервал « k » является переменным, адреса мест на магнитном барабане при числах на перфоленте не указываются, как в предыдущем случае, а автоматически определяются в соответствии с заранее устанавливаемой при подсчете каждой точки задержкой k .

Кроме двух основных программ расчетов, машина осуществляет такие вспомогательные процессы: 1) ввод чисел на магнитный барабан; 2) перезапись чисел с одних на другие дорожки магнитного барабана; 3) вывод чисел с магнитного барабана; 4) подсчет сумм парных произведений; 5) подсчет суммы квадратов чисел.

Каждой программе соответствует определенный режим работы машины, устанавливаемый при помощи переключателя. При этом структура машины остается в основном такой же, как и при проведении итераций.

Рассмотрим назначение указанных программ.

1. Перед началом расчетов по решению системы уравнений необходимо заранее ввести на магнитный барабан свободные члены и масштабный коэффициент, которые для удобства за-

мены не указываются на ленте расчетов как коэффициенты, а заранее вводятся на магнитный барабан.

Для проведения расчетов по симметризации (а также расчетов для нахождения сумм парных произведений) необходимо предварительно ввести на магнитный барабан один ряд сомножителей — в данном случае коэффициенты уравнений — в порядке, соответствующем формуле симметризации.

Для ввода чисел на магнитный барабан заготавливаются специальные перфоленты, на которых указываются коды и соответствующие адреса.

Ввод масштабного коэффициента осуществляется с помощью соответствующей ленты из набора стандартных лент, т. е. лент, используемых по необходимости для любых задач.

2. В процессе расчетов машина может дать сбой, возникающий вследствие возникновения неисправности либо случайно (например, из-за резкого изменения напряжения в сети). После принятия соответствующих мер, если сбой существенный, следует возобновить расчеты с итерации, предшествовавшей сбою, что обуславливает необходимость хранения двух ранее подсчитанных так называемых опорных итераций, так как сбой может быть замечен не на той итерации, где он произошел, а на последующей, т. е. опорная итерация может оказаться неверной. Номера опорных итераций выбираются с шагом, определенным для данной задачи.

Для записи результатов опорных итераций, а также для удобства пользования машиной предусмотрена программа перезаписи. После окончания расчетов опорной итерации машина включается в режим перезаписи и приближения неизвестных перезаписываются из расчетного отсека на резервный. Результаты следующей опорной итерации перезаписываются на другой резервный отсек. При необходимости повторения расчета, начиная с опорной итерации, резервный отсек становится расчетным, а расчетный — резервным. Осуществляется указанная программа с помощью отдельной стандартной ленты с указанием адресов на магнитном барабане.

3. Для удобства эксплуатации и для контроля правильности чисел в машине, помимо возможности печати во время расчета, предусмотрен режим вывода и печати, который управляется специальной программой вывода, реализуемой с помощью отдельной стандартной ленты с указанием адресов мест магнитного барабана.

4. Для подсчета сумм парных произведений один ряд сомножителей пробивается на перфоленте, а другой предварительно записывается на магнитном барабане. Так, для симметризации матрицы системы на перфоленте пробиваются подряд все столбцы исходной матрицы в порядке возрастания их номеров и столбец свободных членов, а на магнитном барабане записывается определенная строка транспонированной матрицы. По ме-

ре поступления в машину данных каждого столбца образуется соответствующий коэффициент строки симметризованной матрицы. Для подсчета всех строк симметричной матрицы пропускаем соответствующее количество раз единую ленту столбцов, предварительно вводя перед каждым этапом расчета данные следующей строки транспонированной матрицы.

Результаты подсчета могут либо фиксироваться на свободном отсеке магнитного барабана, либо печатываться по мере получения.

Частным случаем подсчета сумм парных произведений является определение невязок уравнений. Программа подсчета невязок реализуется с помощью той же ленты, что и программа проведения итераций (основных расчетов). Полученные при этом новые значения неизвестных в данном режиме, являемся простой итерацией, не используются, и поэтому приросты неизвестных и будут невязками уравнений, печатающимися по мере их подсчета.

При записи новых приближений неизвестных на свободный отсек магнитного барабана, используемый в данной итерации, режим подсчета сумм парных произведений, управляемый лентой расчета, представляет собой простую итерацию.

5. Сумма квадратов чисел подсчитывается при поступлении их с перфоленты обычным путем с той только разницей, что каждое число является одновременно и множимым и множителем, т. е. внутреннее устройство запоминания не используется.

Помимо рассмотренных рабочих программ, для контроля работы машины в целом и отдельных ее устройств предусмотрены специальные контрольные программы, реализуемые с помощью аппаратуры на пульте управления и стандартных лент. К этим лентам относятся ленты контрольной задачи и ряд непрерывных (кольцевых) лент, обуславливающих циклическое повторение одного и того же процесса (например, $+ab-ab++ab\dots$), что дает возможность проследить его прохождение в отдельных цепях машины.

Кроме контрольных программ, для усиления текущего контроля машины в процессе проведения вычислений на ленте режима расчетов могут предусматриваться специальные контрольные строки с известным ответом. Сами перфоленты режимов расчета могут проверяться с помощью машины путем подсчета контрольных сумм указанных на них чисел.

Основные принципы выполнения отдельных операций

В в о д

Коды чисел, адресов и команд, вводимые в машину, с помощью перфоратора пробиваются на дорожке двухдорожечной перфоленты. На другой ее дорожке пробиваются отверствия для образования синхронизирующих сигналов. 42 синхронизирующих

отверстия образуют один цикл, во время которого в режиме расчетов итераций, например, вводятся коэффициенты и адрес либо адрес и специальная команда.

Преобразование кода, состоящего из отверстий, в импульсный код происходит с помощью фотооптического транзмиттера и формирующих элементов. Отправление кодовых и управляющих импульсов по адресам осуществляется коммутатором управления в соответствии с поступлением его на счетный вход синхронизирующих импульсов с перфоленты.

Максимальная скорость ленты 3 м/сек , частота следования синхронизирующих импульсов 1000 гц . Время одного цикла — 50 мсек .

Преобразование кодов и вывод

Преобразование двоично-десятичного кода в двоичный осуществляется путем умножения его на двоичные эквиваленты десятичных разрядов. Множителем является преобразуемый код, поступающий непосредственно с перфоленты со стороны младших разрядов, множимым — двоичные эквиваленты, выбираемые с диодных запоминающих ячеек в соответствии с номером очередного преобразуемого десятичного заряда двоично-десятичного кода.

Преобразование двоичного кода в двоично-десятичный происходит по аналогичной методике с учетом специфики образования переносов из старшего в младший десятичный разряд при сдвиге вправо частичных произведений, выражаемых двоично-десятичным кодом (перенос 1 в младший десятичный разряд реализуется в виде 0101).

Сложение и сдвиги осуществляются в параллельном сумматоре эквивалентов РЭС, работающем по принципу повторной подачи прибавляемого числа с реализацией сдвига при помощи вентиляей.

Сумматор РЭС служит также необходимым промежуточным регистром для передачи кодов чисел с перфоленты на магнитный барабан и с магнитного барабана на цифропечатающую установку. Последовательный вывод числа с регистра осуществляется с частотой 50 гц .

Весь процесс преобразования кода, вводимого в машину (прямого преобразования), происходит по мере ввода и специального времени не требует. Процесс преобразования кода, выводимого на цифропечатающую установку (обратного преобразования), занимает время одного умножения — $17,5 \text{ мксек}$.

Преобразование двоично-десятичного кода в десятичный происходит в устройстве вывода с помощью релейного дешифратора. Десятичный код передается на систему толкателей и отпечатывается цифропечатающей машинкой при одном срабатывании.

Длительное хранение кодов чисел внутри машины осуществляется путем статической фиксации на так называемых рабочих дорожках магнитного барабана, требующего, как известно, сравнительно несложного электронного оборудования. При проведении расчетов свободные члены хранятся на одном определенном отсеке (РДС), а приближения неизвестных — на трех отсеках ($\text{РДН1} \div 3$), из которых один является рабочим на данной итерации, а два других служат для хранения результатов опорных итераций. Каждый отсек имеет по 15 дорожек и на каждой дорожке записывается 32 кода. Кроме того, имеется отдельная дорожка для хранения масштабного коэффициента (РДМ), который записывается на всех ее местах.

На магнитном барабане имеется также отсек динамической фиксации кодов, при которой коды хранятся путем непрерывной перезаписи с места на место по периметру магнитного барабана. Этот отсек состоит из четырех оперативных дорожек и является составной частью арифметического устройства. На магнитном барабане имеются также две дорожки для управляющих импульсов. На одной из них нанесен импульс начала отсчета, на другой — синхронизирующие импульсы. Количество синхронизирующих импульсов обеспечивает целое число кодовых мест на магнитном барабане, что необходимо для осуществления обмена кодами между рабочими и оперативными дорожками барабана без промежуточных устройств фиксации. Частота следования синхронизирующих импульсов барабана 50 кГц.

При вводе кодов на магнитный барабан и выводе кодов с него в качестве промежуточного устройства фиксации используется регистр устройства преобразования кодов. Система ввода и вывода чисел — последовательная.

Операции по обмену кодами между рабочими дорожками магнитного барабана, его оперативными дорожками и регистром осуществляется с помощью устройства управления магнитным барабаном (УМБ). УМБ включает в себя регистры адресов, счетчик кодовых мест, узлы управления, коммутатор дорожек, формирователи импульсов записи и воспроизведения. В режиме подсчета корреляционных функций регистр адреса является счетчиком циклов ввода и расчета с периодом, равным значению k . Во всех остальных режимах на регистр адреса поступают коды адресов с перфоленты.

Максимальное время выборки, определяемое временем одного оборота магнитного барабана, равно 20 мсек.

Арифметические операции

Для выполнения арифметических операций по подсчету строк в машине применяется последовательная система счета, что существенно уменьшает количество электронной аппаратуры.

Увеличение времени цикла операций при этом по сравнению с параллельной системой не замедляет работы машины, так как скорость выполнения расчетов определяется временем ввода исходных данных.

Арифметическое устройство (АУ) состоит из последовательного сумматора с инверторами кодов, четырех оперативных динамических регистров, узлов управления операциями и контроля точности.

Отрицательные числа поступают на АУ прямым кодом, который при сложении их с положительными числами преобразуется в обратный, а во всех других операциях остается прямым. Выдача с АУ отрицательных чисел осуществляется также прямым кодом. Время сложения с учетом инвертирования составляет 1,25 мсек. Умножение происходит со сдвигом вправо и сокращением суммы частичных произведений. Результат умножения округляется, что предотвращает накопление ошибок при подсчете суммы парных произведений. Время умножения равно 17,5 мсек, общее время цикла арифметических операций — 18,75 мсек, т. е. немного менее времени одного оборота магнитного барабана.

В соответствии с принятой системой фиксации кодов в машине в качестве динамических регистров служат специальные оперативные дорожки магнитного барабана, на которых с помощью двойных магнитных головок осуществляется динамическая фиксация кодов. Динамические регистры выполняют необходимые для арифметических операций функции хранения, сдвига и задержки кодов. На одной из оперативных дорожек фиксируется код множимого, на другой — множителя, на третьей — суммы частичных произведений и затем полного произведения, на четвертой накапливается сумма произведений по мере их подсчета. При итерациях конечный результат подсчета строки (новое приближение неизвестного) переводится на соответствующее место рабочего отсека магнитного барабана. Приоритеты неизвестных для сигнализации порядков их величин сравниваются с эталонной величиной путем определения наличия единиц в разрядах, старших предварительно установленного. В режиме подсчета корреляционных функций на магнитный барабан записывается код множимого после проведения цикла арифметических операций. В процессе расчетов любые результаты их этапов могут выдаваться с накапливающего динамического регистра на устройство преобразования кодов для вывода их из машины. Распределение импульсов на кодовом месте следующее: 1-й импульс всегда отсутствует, 2-й — знак числа, 3 ÷ 30-й — располагаемые разряды числа, 31 ÷ 34-й — резервные разряды для частичных сумм, больших единицы.

Непрерывность проведения арифметической операции, необходимая при выбранной системе счета, обуславливает необходимость равномерного распределения синхронизирующих им-

пульсов по периметру магнитного барабана. При наличии целого числа кодовых мест код, сохраняемый без сдвига в системе динамической фиксации кодов (например, частичная сумма), перезаписывается предварительно с одного кодового места на другое, не сдвигаясь с него.

Временные управления

В машине СЭСМ имеются две системы временных управлений — от синхронизирующих импульсов ленты (СИЛ) и от синхронизирующих импульсов барабана (СИБ). Блоки временных управлений представляют собой счетчики с коммутаторами и формирующими элементами. Первая система управляет вводом с ленты и преобразованием двоично-десятичных кодов вводимых чисел в двоичные. Счетчик коммутатора управления от ленты считает СИЛ по мере их поступления. Период его работы — один цикл ленты (42 СИЛ).

Вторая система определяет и считает кодовые места на магнитном барабане, управляет арифметическими операциями по подсчету строк и операцией преобразования двоичных кодов выводимых чисел в двоично-десятичные. Эта система состоит из трех коммутаторов. Счетчик коммутатора управления от барабана непрерывно считает СИБ с периодом, равным количеству СИБ на кодовом месте. Счетчик кодовых мест магнитного барабана непрерывно считает импульсы мест с периодом, равным количеству их на окружности барабана (32 ИМ). Счетчик коммутатора арифметических операций считает элементарные циклы операций, определяемые также импульсами мест; счет ведется во время выполнения самих операций.

Скелетная схема и временная диаграмма работы машины

Основные узлы и связи машины показаны на скелетной схеме (рис. 2). Программа любого режима ее работы состоит из стандартных операций: машина во всех режимах работает по единому временному такту. Временная диаграмма операций одного такта работы представлена на рис. 3. Такт состоит из двух циклов: цикла ленты и цикла барабана. Цикл ленты в общем случае состоит из операций ввода и преобразования числа, а также ввода адреса со специальными указаниями. Цикл барабана состоит из операций передачи числа, выборки места на магнитном барабане, записи либо воспроизведения с выбранного места на магнитном барабане, умножения, либо обратного преобразования кодов и сложения, а также записи множимого в режиме подсчета корреляционных функций. Операции следуют одна за другой таким образом, что конец одной операции опреде-

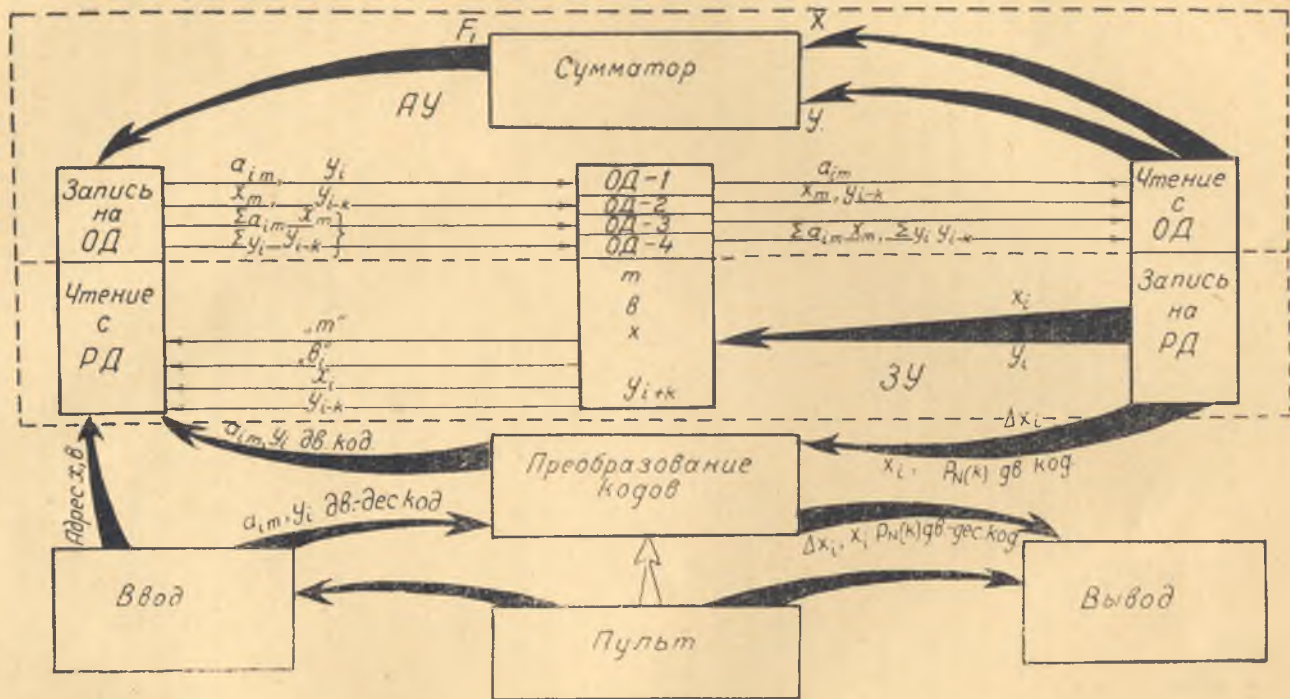


Рис. 2. Скелетная схема СЭСМ.

ляет начало следующей. Операции цикла барабана начинаются только после ввода исходных данных с ленты в результате передачи управления на магнитный барабан; заканчиваются эти операции до окончания цикла ленты следующего такта. Времена операций, показанные на временной диаграмме, соответствуют оптимальным скоростям ленты и барабана и при изменении этих скоростей также соответственно изменяются.

Рассмотрим режим итераций, наиболее полно охватывающий все цепи машины. Этот режим включает четыре вида циклов:

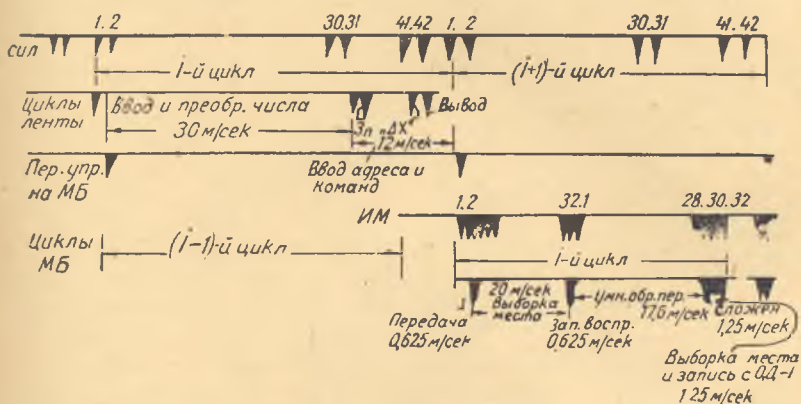


Рис. 3. Временная диаграмма работы машины.

нормальный цикл, цикл образования ΔX , цикл вывода ΔX либо X и цикл записи.

Каждый цикл выполняется по специальной программе, задаваемой лентой. В строке имеется определяемое данным уравнением количество нормальных циклов и по одному из остальных циклов.

Порядок следования кодов в циклах режима итераций, а также в циклах других режимов иллюстрируется схемами, приведенными на рис. 4.

В нормальном цикле расчета введенный с ленты и преобразованный в двоичную систему коэффициент поступает во время операции передачи с регистра-сумматора (РЭС) на оперативную дорожку ОД-1 в качестве множимого и перезаписывается до реализации. Затем происходит выборка места магнитного барабана и воспроизведение кода неизвестного, который поступает с РДН на ОД-2 в качестве множителя. Сразу после этого начинается операция умножения и на ОД-3 образуется код произведения указанных чисел. Вслед за умножением происходит сложение произведения с находящейся на ОД-4 частичной суммой и запись кода новой частичной суммы снова на ОД-4.

Цикл образования ΔX отличается от нормального цикла ре-

ΔX поступает на устройство контроля его величины, имеющее световую сигнализацию.

В цикле вывода на ленте указывается только одна специальная пробивка. После нереализуемой операции выборки код с ОД-4 передается на ОД-2, с ОД-2 код с частотой импульсов ИМ поступает на устройство преобразования, а затем на устройство вывода и печати. Интервал на ленте между циклами вывода должен соответствовать времени, несколько большему времени печати. Цикл вывода на ленте пробивается непосредственно после цикла образования той величины, которая должна быть выведена.

Следующим циклом на ленте итераций следует цикл записи X . При этом с ленты вводится соответствующий адрес, включающий указание о записи. Запись нового приближения данного неизвестного проводится с оперативной дорожки ОД-4 на соответствующую рабочую дорожку (РД) вместо предыдущего приближения его.

В других режимах машина работает аналогично. Запись кодов чисел на РД в режиме ввода осуществляется с ОД-4. При этом на ОД-4 во время операции передачи поступает код с регистра устройства преобразования (РЭС).

Цикл в режиме вывода отличается от цикла вывода в режиме расчетов только тем, что код поступает на ОД-2 с рабочей дорожки, для чего на перфоленте вывода в каждом цикле указывается соответствующий адрес.

Первый цикл режима перезаписи отличается от нормального цикла режима расчета тем, что воспроизведенный с РД код числа посылается на ОД-4. Второй цикл не отличается от цикла записи в режиме расчетов.

Нормальный цикл в режиме подсчета корреляционных функций отличается тем, что после операции сложения осуществляется ввод кода множимого с ОД-1 на место магнитного барабана, адрес которого указан в регистре адреса, т. е. на то же место, с которого воспроизведен множитель.

Длительность цикла при этом увеличивается незначительно, так как время цикла арифметических операций равно времени прохождения 30 кодовых мест, а по периметру магнитного барабана расположено 32 кодовых места.

Регистр адреса в этом режиме считает указанные циклы и через каждые k циклов сбрасывается в исходное положение; на перфоленте фиксируются только ординаты кривой без адресов. После последней ординаты следует обычный цикл вывода.

Цикл в режиме подсчета сумм квадратов отличается от нормального цикла в режиме итераций тем, что код с регистра РЭС во время операции передачи поступает одновременно на ОД-1 и на ОД-2, после чего сразу начинается умножение. Перфолента этого режима такая же, как и режима подсчета корреляционных функций.

Необходимые изменения в цепях машины для каждого из режимов устанавливаются при помощи простого переключателя. Кроме этого, предусмотрены переключатели выходов коммутатора рабочих дорожек. Выходы записываемых сигналов могут подключаться к любому из трех отсеков РДН или к отсеку РДС; выходы, управляющие воспроизведением, подключены постоянно к отсеку РДС для воспроизведения свободных членов, а также могут подключаться к одному из отсеков РДН.

В режимах проведения итераций по Гауссу — Зейделю и подсчета корреляционных функций те и другие выходы коммутатора должны быть подключены к одному из отсеков РДН, являющемуся рабочим при данном процессе вычислений. В режиме подсчета сумм парных произведений выходы управления производением и выходы записи должны оказаться подключенными обязательно к разным отсекам рабочих дорожек. По мере необходимости осуществляются также переключения выходов коммутаторов в режимах ввода, вывода и перезаписи.

Конструкция машины

Машина состоит из электронных блоков, магнитного барабана фотооптического трансммитера, цифропечатающей установки и пульта управления.

Электронные блоки смонтированы на одинаковых платах из отдельных стандартных элементов. Типизация элементов соответствует их функциям вне зависимости от того, в каких блоках они применяются. Вышедший из строя стандартный элемент в любом блоке заменяется однотипным без подгонки параметров. Элементная структура машины основана на применении потенциально-импульсных связей. К основным элементам относятся триггеры, потенциально-импульсные вентили (диодно-трансформаторные), потенциальные логические элементы (диодные), импульсные формирователи, потенциальные усилители и катодные повторители, а также усилители воспроизведения и формирователи импульсов записи на магнитном барабане. Величины импульсов разрешающего и запрещающего потенциалов стандартизованы.

Конструктивно элементы машины оформлены в виде блоков, включаемых в схемы, собранных на платах, с помощью штепсельных разъемов. Блочки выполнены двухламповыми, одноламповыми и безламповыми; последние содержат только полупроводниковые диоды и небольшое количество плоскостных триодов. Применяется, по возможности, ограниченная номенклатура сопротивлений, емкостей и индуктивностей.

Элементы по платам функциональных блоков распределены таким образом, чтобы можно было применять передачу импульсных сигналов, а не потенциальных, менее мощных, чем первые.

Всего в машине используется, включая аппаратуру управле-

ния и контроля, 440 ламп 6Н8С, 36 ламп 6ПЗ и 1650 диодов типов ДГЦ4 и Д2Д смонтированных в 518 блочках. Кроме того, в устройствах вывода и сигнализации применяется 40 реле.

Платы установлены на едином каркасе машины, собранном из двух отсеков с пультом посредине. Магнитный барабан, цифрорпечатывающая установка и оптический транзиттер смонтированы на отдельных тумбочках.

Управление машиной и контроль ее работы осуществляются с пульта, оборудованного соответствующей аппаратурой и



Рис. 5. Общий вид машины СЭСМ.

приборами. На панели пульта нанесена мнемоническая схема машины со световой сигнализацией управляющих и кодовых потенциалов. Основные цепи машины подведены к специальным переключателям импульсов и осциллографу пульта для проверки их работы на автоматическом, полуавтоматическом и ручном контрольных режимах.

На рис. 5 приведен общий вид машины.

Основные технические характеристики СЭСМ

Исходные данные вводятся в машину СЭСМ при помощи перфоленты в двоично-кодированном десятичном коде с точностью до единицы седьмого десятичного разряда со скоростью 20 чисел в секунду. Расчет осуществляется одновременно с вводом исходных данных по мере их поступления. Свободные члены вводятся заранее во внутреннее запоминающее устройство. Чис-

ло двоичных разрядов промежуточных результатов расчета 32, запятая фиксирована после четвертого разряда. Окончательные результаты этапа расчета (например, итерации) выражаются 28 двоичными разрядами после запятой, вывод результатов осуществляется с помощью цифровой печати семиразрядным десятичным кодом. Программирование задач для машины не требуется. Программы работы машины (режимы) установлены при помощи коммутации цепей. К ним относятся: 1) расчет итераций по Зейделю; 2) расчет простых итераций (сумм парных произведений); 3) симметризация матрицы; 4) определение невязок уравнений; 5) подсчет точек корреляционной функции; 6) подсчет суммы квадратов; 7) подсчет суммы чисел; 8) перезапись на магнитном барабане; 9) ввод чисел в машину; 10) вывод чисел из машины.

Машина последовательная, внутреннее запоминающее устройство смонтировано на магнитном барабане общей емкостью 1920 чисел. Элементная структура — потенциально-импульсная. Частота синхронизирующих импульсов на магнитном барабане — около 50 *кГц*, на перфоленте — около 1 *кГц*. Машина имеет разветвленную систему контроля и управления, отдельные режимы работы машины переключаются при помощи переключателей.

Всего в машине используется 440 электронных ламп и 1650 диодов, смонтированных в 518 стандартных блоках.

Общие габариты машины $4,4 \times 1,7 \times 1,9$ м, потребляемая мощность около 6 *квт*.

Машину обслуживают один инженер и один техник.

III. БЛОК-СХЕМА МАШИНЫ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ

Блок-схема машины СЭСМ (рис. 6) включает основные узлы системы ввода и вывода, запоминающего устройства, арифметического устройства и системы управления машины. На блок-схеме показаны тракты следования кодов чисел и цепи передачи управляющих импульсов и потенциалов. Временная диаграмма работы машины изображена на рис. 7.

Основные узлы машины и их назначение

УВЛ — устройство ввода с ленты. Образует в соответствии с пробивками на ленте две системы импульсов: СИЛ — синхронизирующие импульсы ленты; КИЛ — кодовые импульсы ленты (коды чисел и команд КИЛ вводятся в цепи машины).

КУЛ — коммутатор управления от ленты. Осуществляет управление цепями в первую половину такта работы машины

сации (рабочие дорожки РД) предназначено для хранения кодов неизвестных и свободных членов. Эти коды передаются на динамическое устройство фиксации и принимаются от него. Динамическое устройство фиксации (оперативные дорожки ОД-1, ОД-2, ОД-3 и ОД-4) входит в систему арифметического устройства машины. На каждой оперативной дорожке одновременно может храниться код одного числа.

РНМ — регистр номера места. Принимает от КУЛ код номера места и сохраняет его до поступления следующего кода. Передает на УСм потенциалы, соответствующие коду номера места.

СчМ — счетчик мест. Считает импульсы места (ИМ) и определяет номер кодового места магнитного барабана, находящегося в данный момент под головкой.

УСм — устройство совпадения мест. Определяет момент совпадения кодов номеров мест на СчМ и РНМ, во время которого должно осуществляться воспроизведение или запись на РД МБ.

РНД — регистр номера дорожки. Принимает от КУЛ код номера дорожки и сохраняет его до поступления следующего кода. Передает на КРД потенциалы, соответствующие коду номера дорожки.

КРД — коммутатор рабочих дорожек. Выбирает соответствующую дорожку на МБ для осуществления на ней записи либо воспроизведения.

УЗВ — управление записью и воспроизведением. Обеспечивает воспроизведение кодов записанных на РД и передачу их на ОД, а также прием кодов с ОД и запись их на РД.

КУБ — коммутатор управления от магнитного барабана.

КАО — коммутатор управления арифметическими операциями. КУБ и КАО осуществляют управление цепями во вторую половину такта работы машины (после импульса ИКЦЛ), определяют время, когда должна выполняться та или иная операция указанного полутакта. КУБ считает СИБ и выдает ИМ непрерывно. КАО считает ИМ во время производства арифметических операций.

ОМЗ — оперативная магнитная запись. Включает в себя электронные элементы записи, воспроизведения и стробирования оперативных магнитных головок (динамическое устройство фиксации).

ПС — сумматор последовательного действия. Производит суммирование кодов чисел. Снабжен инверторами кодов.

УОПС — управление операциями последовательного сумматора. Управляет выполнением арифметических операций, выполняемых ПС.

УВП — устройство вывода и печати. Получает от РЭС код ре-

зультата вычислений, преобразует код с двоично-десятичной системы в десятичную. Печатает результат на ленте.

ФИУК — формирование импульсов управления и кодирования. Формирует импульсы СИБ, МИБ, ИНО, РГИ и РГИС.

УКТ — устройство контроля точности. Сигнализирует о порядке получаемых величин ΔX . Сигнализирует в случае выхода числа из располагаемых разрядов — автоматически останавливает подачу перфоленты.

Порядок работы машины на один такт задается циклом ленты. Для режима расчета итераций предусмотрены такие циклы ленты:

- 1) «нормальный» цикл, обеспечивающий умножение $X^{(k)}$ на a_{im} и сложение этого произведения с частичной суммой;
- 2) цикл «Образование ΔX », обеспечивающий умножение b на m и сложения этого произведения с частичной суммой;
- 3) цикл печати, при помощи которого осуществляется вывод и печать $\Delta X_i^{(k)}$ либо $X_i^{(k)}$;
- 4) цикл «Образование X », обеспечивающий сложение $X_i^{(k-1)}$ с $\Delta X_i^{(k)}$;
- 5) цикл «Запись X », при помощи которого обеспечивается запись $X^{(k)}$ на дорожке МБ.

Режимы ввода исходных данных, перезаписи и вывода результатов осуществляются при помощи лент: «Ленты ввода», «Ленты перезаписи» и «Ленты вывода».

Рассмотрим порядок работы машины в различных режимах.

Порядок работы машины в режиме расчета итераций при прохождении одного нормального цикла ленты

Нормальный цикл ленты (цикл ленты — отрезок в 42 СИЛ) обеспечивает умножение очередного неизвестного $X_i^{(k)}$ на соответствующий коэффициент a_{im} и сложение этого произведения с частичной суммой, полученной ранее.

Во время прохождения ленты в УВЛ образуются две системы импульсов: СИЛ — синхронизирующие импульсы ленты и КИЛ — кодовые импульсы ленты.

С УВЛ эти импульсы поступают на КУЛ; КУЛ предварительно устанавливается импульсом ИПЗп в нулевое положение. КУЛ направляет код знака коэффициента (ИЗнЛ) и код коэффициента на УПК. Передача кода знака совершается во время действия потенциала ПЗнЛ ($2 \div 3$ СИЛ), передача кода коэффициента — во время действия потенциала ПЧ ($3 \div 30$ СИЛ).

Код адреса (КИАЛ) во время действия потенциала ПА-1 ($31 \div 41$ СИЛ) поступает с КУЛ на РНМ и РНД.

Одновременно с передачей кода коэффициента с КУЛ на УПК происходит преобразование кода из двоично-десятичной

системы в двоичную и заполнение преобразованным кодом регистра РЭС.

Потенциалы, управляющие прямым преобразованием ПЭ1 ÷ ПЭ7 (образуются в КУЛ), одновременно с кодом коэффициента поступают на РЭС.

Знак числа (ИЗнЛ) отдельным каналом поступает на триггер знака УПК.

42-м СИЛ оканчивается первый полутакт работы машины. Управление машиной в первом полутакте осуществлялось от синхронизирующих импульсов ленты СИЛ коммутатором КУЛ.

С приходом 1-го СИЛ следующего цикла ленты (импульса ИКЦЛ) начинается второй полутакт работы машины. Второй полутакт совершается при управлении от синхронизирующих импульсов барабана (СИБ). Одновременно с работой машины во втором полутакте происходит ввод следующего цикла ленты; устройства УВЛ, КУЛ, УПК, РЭС работают в первом полутакте следующего цикла ленты.

Импульс ИКЦЛ поступает на УЗВ. На УЗВ с помощью первого ИМ после ИКЦЛ образуется потенциал ППЧ — потенциал передачи числа, во время которого код коэффициента с РЭС передается на ОД-1 (и там затем перезаписывается), а код знака (ИЗн) с ТРЗн УПК подается на ТрЗнПр в УОПС и на вход ОД-4 (на ПНз) арифметического устройства.

Для этого случая КУБ, получая от УЗВ потенциал ППЧ, выдает на УПК: а) НМИБ (8 ÷ 30 МИБ) для вывода кода коэффициента из РЭС; б) ИВЗн (2-й МИБ) для выдачи кода знака, возвращая ТрЗн в нулевое положение.

Чтобы можно было ввести код следующего коэффициента на РЭС и его знак на ТрЗн, необходимо своевременно освободить РЭС и ТрЗн от предыдущего кода. Для этого отрезок времени от ИКЦЛ до КИЛ-3 должен быть больше максимального отрезка времени от ИКЦЛ до конца потенциала ППЧ (1,25 мсек) и время от ИКЦЛ до КИЛ-2 должно быть больше максимального времени от ИКЦЛ до ИВЗн (0,688 мсек). При выбранной номинальной скорости ленты 3 м/сек эти соотношения соблюдаются с двукратным запасом.

После окончания ППЧ начинается ожидание выборки неизвестного. Адрес неизвестного указан в регистрах РНМ и РНД.

К началу ожидания выборки при помощи КРД, на который воздействуют потенциалы РНД, нужная дорожка выбрана — цепь магнитной головки, номер которой указан в РНД, открыта.

В момент совпадения номера места, указанного в РНМ с порядковым номером места, отсчитываемым в СчМ (начало отсчета — импульс ИНО), образуется импульс ИНВ (импульс начала выборки) и потенциал ПЗВ (потенциал записи и воспроизведения).

Во время ПЗВ происходит выборка кода неизвестного с РНД и передача его на ОД-2 (импульсы КИВ).

Потенциал ПЗВ оканчивается импульсом конца выборки (ИКВ). ИКВ с УЗВ поступает на счетчик КАО и запускает его. КАО образует потенциалы, управляющие арифметическими операциями: ПУм — потенциал умножения (от ИКВ до 27-го ИМ), ПОУм — потенциал окончания умножения ($27 \div 28$ ИМ); ПС-1 ($28 \div 29$ ИМ), ПС-2 ($29 \div 30$ ИМ) — потенциалы сложения.

Во время потенциала ПУМ код неизвестного (множитель) на ОД-2 непрерывно перезаписывается со сдвигом и при каждом новом цикле перезаписи управляет поступлением множимого с ОД-1 на вход «Х» последовательного сумматора (ПС).

На второй вход ПС «У» одновременно подается с ОД-3 частичное произведение. В ПС множимое (с ОД-1) и сдвинутое частичное произведение (с ОД-3) суммируются и образуют новое частичное произведение, поступающее на ОД-3, и т. д.

Таким образом, происходит умножение неизвестного X на коэффициент a_{im} . Умножение происходит во время действия потенциалов ПУм и ПОУм.

Далее, во время потенциала ПС-1, полученное на ОД-3 произведение суммируется с частичной суммой, поступающей с ОД-4 на вход «Х» сумматора. С выхода ПС результат поступает на ОД-3, затем во время потенциала ПС-2 снова на вход «Х» ПС. Полученная новая частичная сумма поступает на ОД-4, где перезаписывается до следующей операции сложения. На этом оканчивается один такт работы машины при прохождении нормального цикла ленты.

Работа машины при прохождении цикла ленты «Образование ΔX »

В случае работы машины при прохождении цикла ленты «Образование ΔX » происходит умножение свободного члена b_i^2 на масштабный коэффициент m и сложение этого произведения с частичной суммой. В результате этого образуется $\Delta X^{(k)}$.

Порядок работы при цикле «Образование ΔX » отличается от работы при нормальном цикле. Цикл ленты «Образование ΔX » имеет в коде адреса дополнительную пробивку ИДКЛ (41-й КИЛ). По этой пробивке в УЗВ образуется потенциал ПЛХ, который обеспечивает: 1) во время ППЧ передачу со специальной дорожки РОМ на ОД-1 масштабного коэффициента m ; 2) во время ПЗВ выборку с РДС и передачу на ОД-2 свободного члена b_i .

В остальном машина работает так же, как при нормальном цикле ленты.

Работа машины при прохождении цикла ленты «Печать результата»

После прохождения цикла «Образование ΔX » может следовать цикл печати значения ΔX_i^k .

Цикл ленты «Печать результата» имеет пробивку ИПЛ (42-й КИЛ). В КАО образуется потенциал ПОПК — потенциал обратного преобразования кода. Машина работает как и при нормальном цикле ленты. Во время ППЧ с РЭС на ОД-1 передается код нуля. С дорожек МБ во время ПЗВ выборка не производится, так как в регистре адреса указан нулевой адрес.

Во время потенциала ПЗВ (при наличии ПОПК) происходит передача кода числа $\Delta X_i^{(k)}$ с ОД-4 на ОД-2, а также на УКТ для контроля и кода знака с ОД-4 на УПК. Во время потенциала ПУм (при наличии ПОПК) с частотой ИМ происходит передача кода $\Delta X_i^{(k)}$ с ОД-2 на УПК, преобразование двоичного кода в двоично-десятичный, заполняющий регистр РЭС. Для управлений операцией обратного преобразования на УПК поступает ПОПК, НИМ и НМИЗ. В конце потенциала ПУм (при наличии ПОПК) в КАО образуется импульс ИЦП (28-й ИМ) — импульс цифровой печати. ИЦП, поступая на УВП, запускает его, происходит печать $\Delta X_i^{(k)}$. При запуске цифрорпечатающей машинки с УВП на УПК передается импульс ИВР, который возвращает РЭС в нулевое положение.

Если требуется выводить из машины значения $X_i^{(k)}$, цикл печати следует вслед за циклом «Образование X », перед его записью либо в конце ленты расчетов подряд указываются все циклы печати K — x приближений неизвестных. Процесс вывода любого числа из машины происходит так же, как и $\Delta X_i^{(k)}$.

Работа машины при прохождении цикла ленты «Образование X »

При прохождении цикла ленты «Образование X » происходит сложение $X_i^{(k-1)}$ с $\Delta X_i^{(k)}$. Образуется новое значение неизвестного $X_i^{(k)}$. Цикл ленты «Образование X » не отличается от нормального цикла ленты за исключением значения коэффициента, который в этом цикле всегда равен единице. Порядок работы машины ничем не отличается от порядка работы при нормальном цикле ленты.

В конце такта работы машины на ОД-4 образуется и хранится код $X^{(k)}$.

Работа машины при прохождении цикла ленты «Запись X »

Цикл ленты «Запись X » — последний цикл в строке. Во время такта работы машины, соответствующего этому циклу, происходит запись нового значения неизвестного $X_i^{(k)}$ на РДН.

Цикл ленты имеет в коде адреса пробивку ИЗЛ (31-й КИЛ), которая в УЗВ образует ППЗ — потенциал подготовки записи.

Машина работает, как и при нормальном цикле. Во время ППЧ с РЭС на ОД-1 передается код нуля. Во время ПЗВ при наличии ППЗ возникает потенциал разрешения записи ПРЗ, происходит передача с ОД-4 и запись на место прежнего значения неизвестного $X_i^{(k-1)}$ нового значения неизвестного $X_i^{(k)}$. В этом случае цепь перезаписи ОД-4 разрывается и дорожка очищается от кода.

Режим расчета корреляционных функций

Режим расчета корреляционных функций обычно состоит из «нормальных» циклов расчета и одного цикла вывода и печати результата ($\sum_{i=1}^n y_i y_{i-k}$). Нормальный цикл в этом режиме обеспечивает умножение ординат кривой y_i на ординату y_{i-k} , сложение с предыдущей суммой и запись y_i на дорожке магнитного барабана.

Разница между проведением этого цикла и описанного нормального цикла в режиме расчета итераций заключается в следующем:

1. В каждом цикле ленты вместо коэффициента a_{im} указывается ордината кривой y_i с нулевым адресом. Регистр номеров мест и дорожка (РНМ и РНД) работают в режиме счетчика, на вход которого поступает импульс ИКЦЛ. Таким образом, при каждом цикле код номера места увеличивается на единицу. Если все места на 1-й дорожке перебраны, происходит увеличение на единицу кода номера дорожки. Когда число в регистре, определяющее общее количество перебранных мест, совпадает с заранее установленным на тумблерах числом K (аргумент корреляционной функции), происходит возврат РНМ в нулевое положение и РНО в положение 1. Начиная со следующего цикла перебор мест продолжается в том же порядке — с первого места первой дорожки. Если K меньше количества мест на дорожке МБ (32), то номер дорожки меняться не будет.

2. Импульс ИОС, возникающий в момент окончания сложения, определяет вновь начало ожидания места МБ, адрес которого указан в регистре, т. е. того же места, с которого в этом же цикле осуществлялось воспроизведение. Поскольку начиная от воспроизведения длительность всех операций определялась прохождением 31-го кодового места, указанное ожидание составляет время прохождения одного кодового места. После ожидания на выбранном месте обычным путем осуществляется запись кода, но уже не с ОД-4, как в режиме расчета итераций, а с ОД-1, т. е. кода y_i ; этот код через k циклов будет фигурировать в качестве y_{i-k} в получении очередного произведения $y_i \cdot y_{i-k}$.

Таким образом, отличие нормального цикла в режиме подсчета корреляционной функции от нормального цикла в режиме расчета итераций заключается в наличии записи поступающих с ленты сомножителей y на соответствующие места магнитного барабана и в последовательном переборе заданного количества его мест для воспроизведения сомножителей y_{i-k} .

Режим подсчета суммы квадратов

Режим подсчета суммы квадратов управляется такой же лентой и состоит из таких же циклов, что и предыдущий. Нормальный цикл расчета в нем осуществляется, как и в режиме подсчета итераций, с той лишь разницей, что воспроизведение с МБ не осуществляется, а код числа с РЭС во время ППЧ проходит не только на ОД-1, но и на ОД-2. После этого начинаются арифметические операции, для чего счетчик КАО запускается импульсом ИРВ (импульс разрешения выборки), возникающим при окончании потенциала передачи числа (ППЧ).

Порядок работы машины в режимах расчетов описан выше. Здесь мы приведем краткое описание порядка работы машины для других режимов. Перевод машины в каждый режим работы осуществляется при помощи переключателя «Режимы».

Режим ввода исходных данных

В режиме ввода исходных данных вводятся начальные значения неизвестных, свободных членов и масштабного коэффициента с ленты на МБ.

Переключатель «Режимы» соединяет РЭС с ОД-4. На ленте ввода пробиты коды вводимых чисел, их адреса и пробивки ИЗЛ. Во время потенциала ППЧ код вводимого числа передается с РЭС на ОД-4. Во время потенциала ПРЗ код с ОД-4 передается на УЗВ и записывается на подключенном отсеке РДС либо РДН, согласно указанному на ленте адресу.

Режим перезаписи

Режим перезаписи служит для возможности перезаписи чисел с одного отсека МБ на другой. В этом случае при помощи переключателя «Режимы» шина КИВ (кодовые импульсы воспроизведения) соединяется с входом ОД-4. Лента перезаписи состоит из чередующихся двух циклов. В первом цикле пробит только адрес места, с которого надо взять число, а во втором цикле пробит адрес места, куда надо записать число, и пробивка ИЗЛ.

Во время потенциала ПЗВ в первом такте число воспроиз-

водится с одного отсека и передается на ОД-4, во время потенциала ПРЗ во втором также происходит передача с ОД-4 и запись, согласно указанному адресу, на другом отсеке.

Режим подсчета невязок

Режим подсчета невязок отличается от режима расчетов только тем, что цепь формирователя записи в этом случае при помощи переключателя «Режимы» разрывается. Таким образом, значения неизвестных, записанные на РДН в процессе подсчетов, остаются без изменений.

Режим вывода

Режим вывода служит для вывода из машины и печати на ленте чисел, записанных на магнитном барабане.

На ленте вывода набиты только адреса и пробивки ИПЛ.

Во время потенциала ПЗВ происходит выборка выводимого числа и передача его на ОД-2, затем во время потенциала ПУМ передача с ОД-2 на УПК, обратное преобразование, заполнение РЭС и, наконец, цифровая печать.

IV. СТАНДАРТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

В машине СЭСМ использован мелкоблочный принцип построения электронных устройств. Согласно этому принципу, электронные устройства состояются из стандартных элементов, смонтированных в отдельных блоках. Блоки включаются в схемы устройств при помощи штепсельных разъемов. Такая система удобна при устранении неисправностей в электронных устройствах. Неисправный элемент, как только обнаруживается, легко заменяется запасным однотипным элементом.

Стандартные элементы машины могут быть разделены на две группы: элементы общего и специального назначения. Группа элементов общего назначения состоит из элементов девяти типов; из элементов этой группы составлено большинство электронных блоков машины. Элементы специального назначения выполняют функции образования и формирования импульсов для записи на магнитном барабане, функции усиления и формирования импульсов, воспроизводимых с магнитного барабана и с перфоленты.

В настоящем разделе рассматриваются только стандартные элементы общего назначения, определяющие в основном элементную структуру машины. Стандартные элементы специального назначения рассмотрены в разделах, посвященных устройствам, в которых они применяются.

В основу элементной структуры машины положена импульс-

но-кодовая система передач с потенциальным управлением, сокращенно — импульсно-потенциальная система. Это означает, что коды передаются импульсами через вентили, управляемые потенциалами обычных триггеров либо потенциальных логических элементов. Такая система, будучи гибкой и удобной для составления схем узлов, обеспечивает возможность передачи сигналов на большие расстояния при помощи мощных импульсов, образуемых нормально закрытыми лампами. При этом проявляются известные достоинства в отношении сохранения качества передаваемых сигналов при умеренном потреблении энергии.

Для экономии количества и сокращения номенклатуры электронных ламп во всех ламповых стандартных элементах, за исключением одного, применены двойные триоды 6Н8; элементы выполнены в основном на полупроводниковых диодах и импульсных трансформаторах.

В машине применяются следующие стандартные элементы общего назначения: триггеры (Т), устройства совпадения и разделения потенциалов (СП и РП), потенциальные усилители (У), мощные катодные повторители (П), формирователи импульсов (Ф), устройства разделения импульсов (РИ), двухвходовые вентили (С), многовходовые вентили с выходным формирователем (СФ). Помимо этого, используются некоторые конструктивные комбинации указанных элементов, а именно: сочетание РИ и С, обозначаемые РИС, и сочетание С, РИ и СФ, обозначаемые С₂Ф.

На рис. 8 показаны связи между стандартными элементами общего назначения, а также их связи с группами элементов специального назначения. Стрелки показывают направления сигнала с выхода одного элемента на вход другого.

Источниками импульсов в машине являются перфолента, с которой вводятся исходные данные, и магнитный барабан. Импульсы образуются при помощи элементов специального назначения и затем формируются стандартными формирователями. В некоторых местах машины формирователи также непосредственно образуют импульсы из сигналов типа триггерных перебросов, что представлено связями выходов Т и П со входом Ф. Управляющие потенциалы образуются триггерными счетчиками, регистрами и отдельными триггерами. Выходные потенциа-

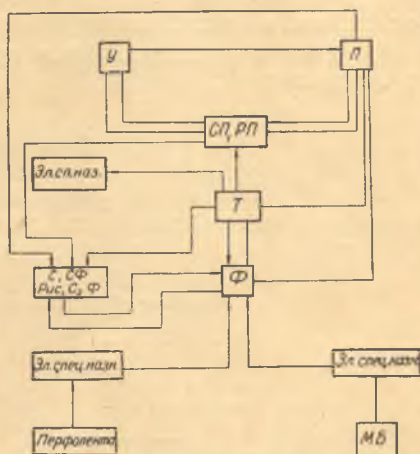


Рис. 8. Схема элементной структуры СЭСМ.

лы триггеров направляются на дешифраторы, состоящие из устройств совпадения и разделения потенциалов. Образованные таким образом потенциалы формируются усилителями и катодными повторителями. Потенциалы дешифраторов и отдельных триггеров управляют вентилями С, СФ, а также РИС, С₂Ф непосредственно или через устройства совпадения и разделения потенциалов. С выходов вентилях импульсы поступают на входы триггеров прямо или через устройства разделения импульсов и формирователи.

Обмен кодами между электронными блоками и магнитным барабаном, а также вывод чисел с выходного регистра на цифровую печать осуществляются при помощи элементов специального назначения.

Формирователь импульсов

Формирователь импульсов в машине формирует кодовые и управляющие импульсы из сигналов с магнитного барабана и фототрансмиттера, после предварительного усиления создает импульсы из прямоугольных сигналов типа триггерных перебросов, нормализует форму и усиливает мощность импульсов.

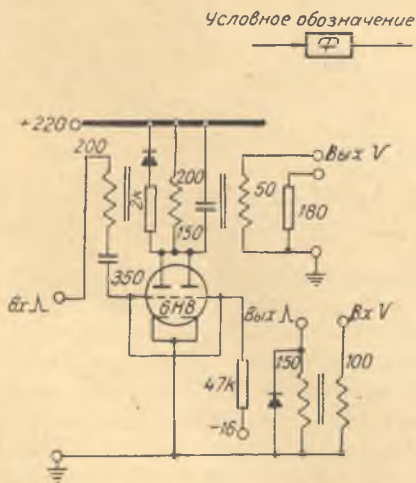


Рис. 9. Формирователь импульсов

Для повышения надежности работы элементы рассчитывают на достаточно широкий диапазон изменения амплитуды (30 ÷ 50 в) и длительности входных импульсов (0,3 ÷ 2 мксек). Номинальные параметры импульса — 40 в и 1 мксек. Указанная номинальная величина амплитуды импульса вдвое превышает минимальную величину, достаточную для срабатывания триггера. Допускается снижение амплитуды после прохождения по

цепям машины до 30 в. При большем снижении импульсы восстанавливаются формирователями.

Для обеспечения требуемых характеристик импульсы, сформированные формирователями, должны в определенных пределах мало зависеть от формы и частоты входных сигналов, а также от нагрузки на всем возможном диапазоне ее изменения. Кроме того, формирователь должен быть нечувствительным к помехам. Всем этим требованиям удовлетворяет формирователь, выполненный в виде блокинг-генератора с независимым возбуж-

дением. Блокинг-генератор смонтирован на лампе 6Н8, причем для повышения мощности выходного сигнала оба триода лампы соединены параллельно (рис. 9).

Амплитуда импульсов на выходе формирователей в зависимости от величины подключенной нагрузки изменяется от 40 до 50 в. Если нагрузка мала, на выходе подключается балластное сопротивление. При изменении нагрузки от нуля до максимума амплитуда импульса уменьшается на 10 в; максимальная эквивалентная нагрузка — активное сопротивление 100 ом либо емкость 6800 пф. На входной сигнал, не превышающий 10 в, формирователь не реагирует. При входных сигналах свыше 15 — 20 в формирователь образует стандартный импульс постоянной величины. Входной сигнал может иметь вид импульса прямоугольного фронта возрастания напряжения, синусоидального сигнала и т. п. В большинстве случаев формирователь работает от положительных сигналов. Для возможности работы от отрицательных сигналов на входе установлен инвертирующий трансформатор. Характеристики формирователя изменяются значительно в диапазоне частот входного сигнала 0—75 кГц. Максимальная частота входных сигналов формирователя в машине равна частоте синхронизирующих импульсов, т. е. 50 кГц.

К формирователю подводятся напряжения двух уровней: анодное +220 в и напряжение смещения — 17 в.

Триггер

Триггеры в машине применяются для образования управляющих и кодовых потенциалов в счетчиках, регистрах, сумматоре и узлах управления и контроля.

В машине приняты стандартные уровни управляющих потенциалов: 15 и 95 в. Величина разности между разрешающим и запрещающим потенциалами, равная 80 в, превышает в два раза номинальную величину импульсов. Существенно при этом, что указанная разность между управляющими потенциалами не превышает значения максимально допустимого обратного напряжения германиевых диодов.

Схемы и основные технические данные триггера приведены на рис. 10. Осциллограмма выходного сигнала представлена на рис. 11. Триггер выполнен на двойном триоде 6Н8; для повышения выходной мощности аноды его подключены в нагрузку через катодные повторители, являющиеся составными элементами триггерных блоков. Триггер имеет два отдельных входа и один счетный; применение отдельного счетного входа повышает надежность работы триггера в режиме счетчика.

Тип триггера выбран с автоматическим смещением, что определяет малую чувствительность его к помехам, к изменениям параметров схемы и величины напряжения питания. Параметры триггера рассчитаны из условий получения значитель-

ных величин перепада выходных потенциалов, чувствительности, быстродействия и достаточной надежности. Под надежностью здесь понимается допустимость глубоких изменений параметров схемы триггера в процессе эксплуатации (порядка $\pm 20\%$), не сопровождающихся заметными изменениями характеристик его работы.

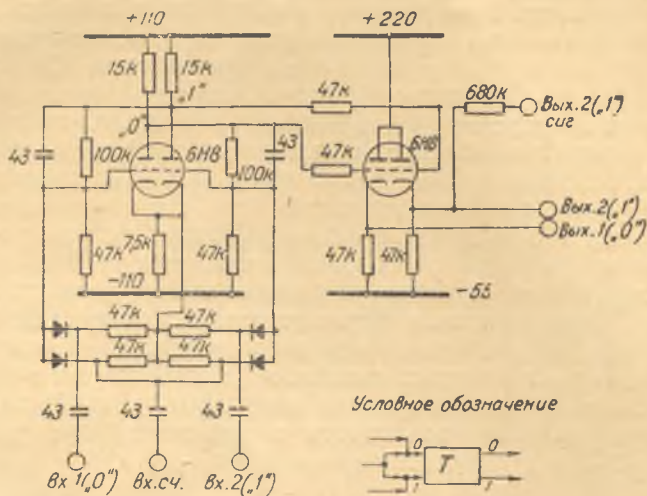


Рис. 10. Триггер со счетным и отдельными входами.

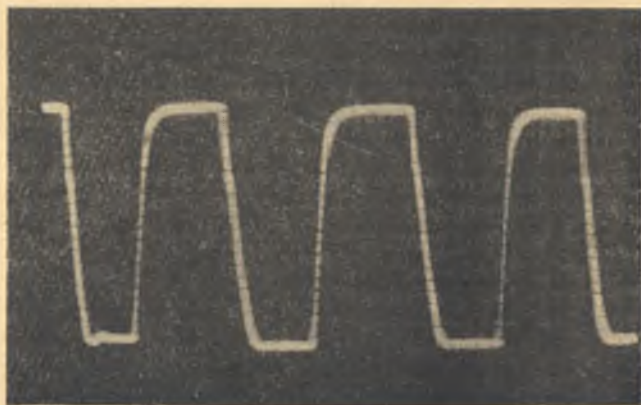


Рис. 11. Осциллограмма выходного сигнала триггера.

Перепад выходных потенциалов триггера определяет разность между управляющими потенциалами в машине. Для обеспечения требуемой разности (80 в) перепад триггера взят несколько большим (90 в) с учетом уменьшения перепада на катодном повторителе.

Чувствительность триггера (минимальный входной сигнал, необходимый для его срабатывания) — отрицательный импульс 20 в. Максимально допустимая помеха на входе — отрицательный импульс 12 в. Наибольшая частота срабатывания триггера 220 кГц (частота синхронизирующих импульсов 50 кГц).

Катодные повторители с целью снижения сеточных токов подключены к источнику более высокого напряжения питания, чем триггеры. Величина катодного сопротивления катодного повторителя выбрана из условия получения необходимого быстродействия при минимальной нагрузке.

К блоку триггера подводится анодное питание триггера +110 и —110 в, катодного повторителя +220 и —55 в. Блочек выдает стандартные потенциалы величиной 15 и 95 в.

Устройства совпадения и разделения потенциалов

Устройства совпадения и разделения потенциалов (потенциальные вентили) предназначены для образования выходных потенциалов, представляющих заданные логические функции потенциалов входных. Устройство совпадения реализует конъюнкцию входных сигналов, т. е. работает по логическому

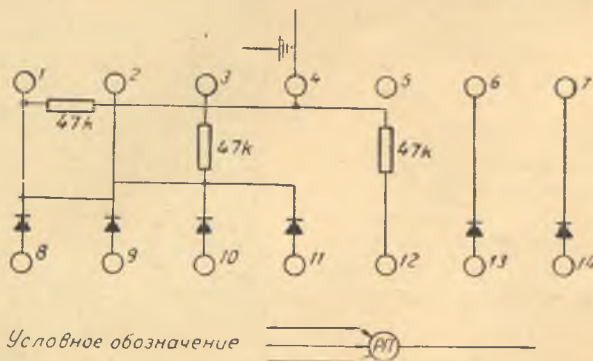


Рис. 12. Блок разделения потенциалов.

принципу «И», а устройство разделения — дизъюнкцию, осуществляя логический принцип «ИЛИ». Это означает, что на выходе устройства совпадения появится высокий разрешающий потенциал только при наличии высоких значений потенциала на всех его входах ($P_{\text{вых}} = P_1 \wedge P_2 \wedge \dots \wedge P_n$), а на выходе устройства разделения появится такой же потенциал при наличии хотя бы на одном из его входов высокого потенциала ($P_{\text{вых}} = P_1 \vee P_2 \vee \dots \vee P_n$).

Указанные логические элементы применяются преимущественно в коммутаторах управления, где образуют управляющие потенциалы из потенциалов триггеров, счетчиков и регистров.

При этом возможны также случаи работы одного элемента на другой, однако соединения, состоящие более чем из двух каскадов, без промежуточных усилителей не применяются, так как ввиду пассивной структуры элементов в них неизбежно некоторое искажение информации.

Устройство разделения потенциалов (РП) собирается на полупроводниковых диодах. В одном блочке РП (рис. 12) помещаются шесть диодов и три сопротивления. С помощью соответствующих перемычек на плате между клеммами матричной части штепсельного разъема блок можно получить различные комбинации устройств разделения, например три двухвходовых или два трехвходовых, или одно четырехвходовое и одно двухвходо-

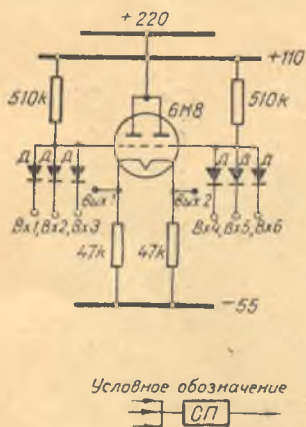


Рис. 13. Блок совпадения потенциалов с повторителем.

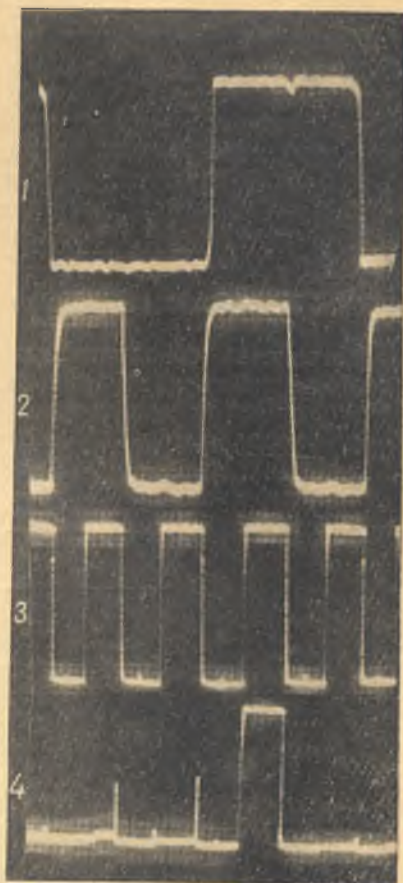


Рис. 14. Осциллограмма сигналов на входах и выходе устройства совпадения потенциалов:

1 — первый вход; 2 — второй вход; 3 — третий вход; 4 — выход.

вое устройства РП и т. д. Величина сопротивления в устройстве разделения выбрана максимальной при условии обеспечения необходимого быстрого действия переходного процесса.

Устройство совпадения потенциалов (СП) собирается на полупроводниковых диодах и снабжается выходным катодным повторителем, выполненным на одном триоде лампы 6Н8 (рис. 13). В одном блочке СП смонтированы два трехвходовых устройства совпадения с выходными катодными повторителями.

Величина сопротивления в устройствах совпадения должна быть достаточно большой, чтобы низкий уровень управляющих потенциалов не подымался выше определенного предела. Выходные катодные повторители позволяют применять в устройствах совпадения достаточно большие сопротивления; при этом переходные процессы чрезмерно не затягиваются.

Следует отметить, что по своей сущности устройство совпадения высоких потенциалов является одновременно устройством разделения низких потенциалов, как и устройство разделения высоких потенциалов является устройством совпадения низких потенциалов. Поскольку единичным потенциалом в машине принят высокий потенциал, наименование логического элемента определяется функцией, выполняемой им при наличии высокого потенциала на выходе, соответствующего ее единичному значению. Однако это не означает, что с помощью элементов разделения нельзя выполнить функции совпадения (конъюнкции) и, наоборот, с помощью элементов совпадения — функции разделения (дизъюнкции). Используя указанные свойства логических элементов, можно изменить их функции, подавая для этого на входы инвертные сигналы вместо прямых. Если при этом требуется реализация единичного выхода в виде высокого потенциала, необходимо применение потенциального инвертора (см. ниже). Указанные способы включения логических потенциальных элементов соответствуют известным соотношениям алгебры и логики $X \wedge Y = \overline{\overline{X} \vee \overline{Y}}$ и $X \vee Y = \overline{\overline{X} \wedge \overline{Y}}$, справедливым для любого числа входов. В первом случае устройство совпадения заменено устройством разделения и выходным инвертором, во втором случае — наоборот. В дешифраторах машины, где в большинстве случаев применяются инверторы, широко используется замена устройств совпадения устройствами разделения, не включающими в себя катодных повторителей, что приводит к некоторому уменьшению аппаратуры.

Устройство разделения импульсов

В машине СЭСМ применяется диодное устройство разделения отрицательных импульсов. Схема блокка с такими устройствами (рис. 15) почти аналогична схеме блокка РП, отличается она от последней направлением диодов и величиной сопротивлений. Сопротивления выбраны из условия обеспечения требуемой формы импульсов на выходе устройства. В одном блокке находится 6 диодов; с помощью перемычек на плате можно осуществить разные комбинации устройств разделения импульсов.

Потенциальный усилитель

Потенциальные усилители применяются в машине для формирования и инвертирования управляющих потенциалов, образованных потенциальными устройствами совпадения и разделения в коммутаторах управления.

В машине применяются как прямые, так и инвертные управляющие потенциалы. При единичном значении прямого потенциала, т. е. высоком уровне его, инвертный потенциал имеет ну-

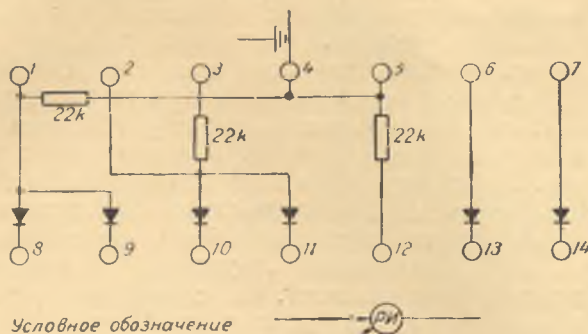


Рис. 15. Блок разделения импульсов.

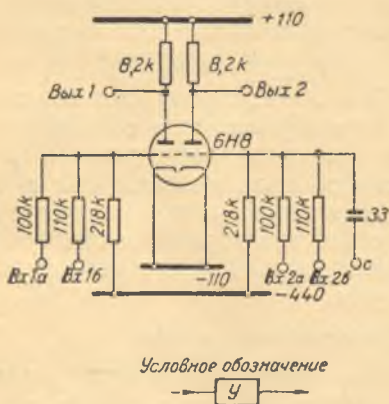


Рис. 16. Потенциальный усилитель.

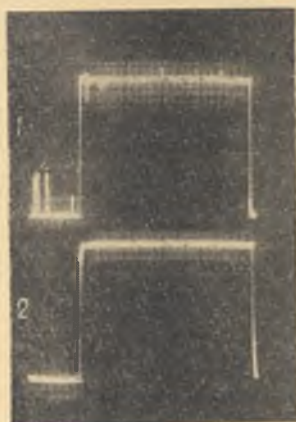


Рис. 17. Осциллограммы входного и выходного сигналов усилителя:

1 — вход; 2 — выход.

левое значение, т. е. низкий уровень. Для образования требуемых инвертных потенциалов, а также для увеличения гибкости использования потенциальных элементов (см. выше) целесообразно использовать те же усилители, которые применяются для формирования управляющих потенциалов.

Необходимость формирования потенциалов обусловливается следующими причинами: 1) уровень потенциала на выходе по-

тенсиальных устройств совпадения или разделения имеет импульсные выбросы и небольшие ступенчатые изменения; 2) устройства совпадения и разделения несколько уменьшают перепад управляющих потенциалов. Формирующие усилители доводят указанный перепад до нужной величины, выравнивают уровни управляющих потенциалов и устраняют импульсные выбросы.

Усилитель выполняется на одном триоде лампы 6Н8, в одном блочке находится два усилителя (рис. 16). При низком потенциале на входе триод заперт, при высоком триод работает в режиме сеточных токов. В обоих случаях, таким образом, происходит выравнивание уровней потенциалов на выходе. Устранению импульсных выбросов способствует также наличие входных делителей на сопротивлениях. Применение делителей и использование питающих напряжений $+110$ и -110 в поддерживают уровни выходных потенциалов так, что они мало отличаются от входных. Необходимая стабильность высокого потенциала обеспечивается достаточно стабильным уровнем отсечки лампы. Нестабильность нижнего уровня потенциала составляет $\pm 6\%$ величины перепада потенциалов и на работу управляемых устройств не влияет. Поскольку выходной потенциал логического элемента СП несколько больше, чем РП, на усилителе для их подключения сделаны разные входы: вход «а» и вход «б» соответственно. На рис. 17 приведены осциллограммы сигналов усилителя.

Перепад напряжений на выходе усилителя несколько больше стандартного перепада напряжений.

Катодный повторитель

Усилитель как источник управляющего потенциала не обладает достаточной мощностью, его выходные напряжения в значительной мере зависят от величины нагрузки. Поэтому в коммутаторах управления после усилителей ставятся катодные повторители (П), с выхода которых управляющие потенциалы направляются в цепи машины.

Катодный повторитель выполнен на лампе 6П3 (рис. 18). При нормальных входных напряжениях потенциалы на выходе катодного повторителя соответствуют стандартным уровням управляющих потенциалов. При изменении в допустимых преде-

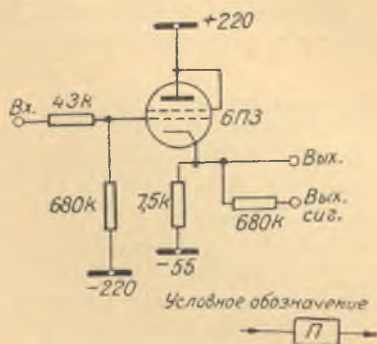


Рис. 18. Катодный повторитель.

лах нагрузки выходное напряжение П практически остается постоянным; максимальной допустимой нагрузкой является сопротивление 1,4 ком.

Двухходовой вентиль

Вентили в машине СЭСМ выполнены на кристаллических диодах и импульсных трансформаторах. Двухходовой вентиль С осуществляет функцию. $I_{\text{Вых}} = \text{П} \wedge \text{И}$, т. е. осуществляет импульсный выход лишь при совпадении импульса и разрешающего потенциала на его входах. Схема вентильного действия диода в сочетании с импульсным трансформатором. При низком уровне управляющего потенциала диод закрыт подпорным

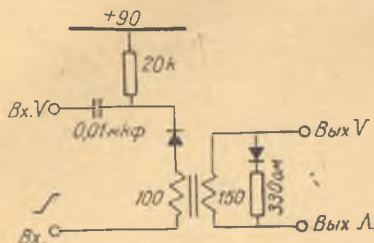
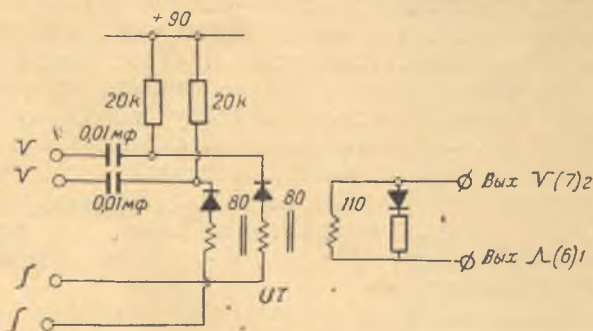


Рис. 19. Двухходовой вентиль.

напряжением настолько, что отрицательный импульс поступающий на импульсный вход, не открывает его. При высоком уров-



Условное обозначение



Логическая схема РИС



Рис. 20. Модификация вентиль с раздельными входами и общим выходом.

не управляющего потенциала (равном величине подпорного напряжения) диод открыт; поступающий отрицательный импульс вызывает в обмотке трансформатора импульс тока, а во вторич-

ной обмотке возникает импульс, являющийся выходным сигналом вентиля. Для гашения последующего колебательного процесса ко вторичной обмотке подключен диод последовательно с небольшим сопротивлением. Величины подпорного напряжения (90 в) и запрещающего потенциала (не выше 30 в) обеспечивают отсутствие потенциального и импульсного проскакивания. Выходной импульс при номинальной нагрузке 20 ком равен по амплитуде входному импульсу; мощность его при этом несколько меньше. Входное сопротивление С в момент прохождения импульса при стандартной форме последнего составляет примерно 4 ком.

На рис. 20 приведена схема модифицированного вентиля, обозначаемого РИС и представляющего собой два двухвходовых вентиля с общим выходом. Логическая функция его состоит в образовании выходного импульса при условии совпадения разрешающего потенциала и входного импульса на любом из вентилей, выражается она формулой $I_{\text{вых}} = (П_1 \wedge I_1) \vee (П_2 \wedge I_2)$.

Трансформатор РИС имеет две первичные обмотки и одну вторичную; таким образом, трансформатор попутно выполняет функцию разделения импульсов. Работа вентиля РИС понятна из описания работы С и рис. 20.

В одном блочке монтируются два вентиля С или РИС.



Рис. 21. Осциллограммы сигналов на входах и выходе многовходового вентиля:

1 — первый (потенциальный) вход;
2 — второй (импульсный) вход;
3 — выход.

Многовходовой вентиль с формирователем

Многовходовой вентиль с формирователем (СФ) представляет собой комбинацию трех рассмотренных ранее элементов: устройства совпадения потенциалов, двухвходового вентиля и формирователя импульсов. В одном блочке монтируется один элемент СФ на одной лампе 6Н8 (рис. 22). Четырехвходовое устройство совпадения через катодный повторитель, смонтированный на одном триоде, управляет вентилем. Положительный импульс (рис. 23), снимаемый с выхода вентиля, является входным сигналом формирователя, смонтированного на втором триоде лампы. Таким образом, СФ обеспечивает мощный импульсный выход при условии совпадения высоких значений потен-

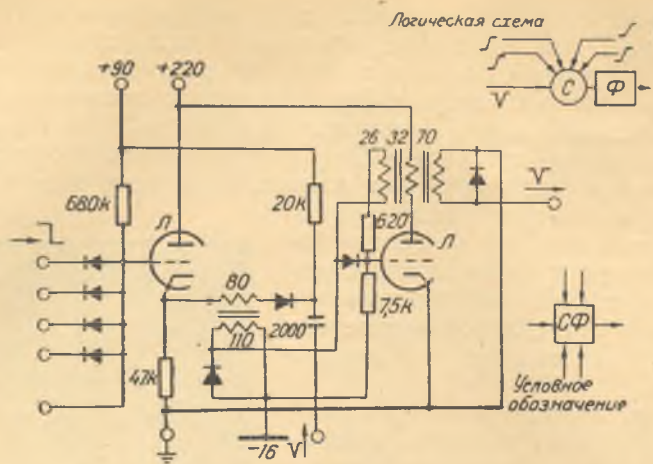


Рис. 22. Многоходовой вентиль с формирователем.

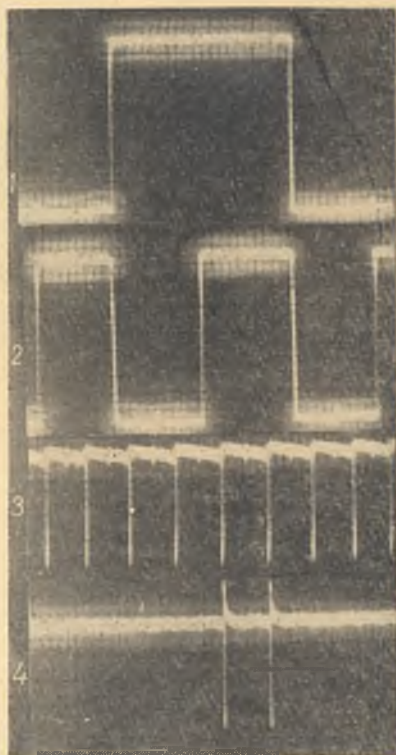


Рис. 23. Осциллограммы сигналов на входах и выходе многоходового вентиля с формирователем:

1, 2 — первый и второй потенциальные входы; 3 — третий (импульсный) вход; 4 — выход.

циалов на всех подключенных потенциальных входах и импульса на импульсном входе, что выражается формулой $I_{\text{вых}} = \neg_1 \Pi \wedge \Pi_2 \wedge \Pi_3 \wedge I$.

Для выполнения более сложных функций применяется модифицированный многоходовый вентиль с формирователем $C_2\Phi$, представляющий собой комбинацию из устройства совпа-

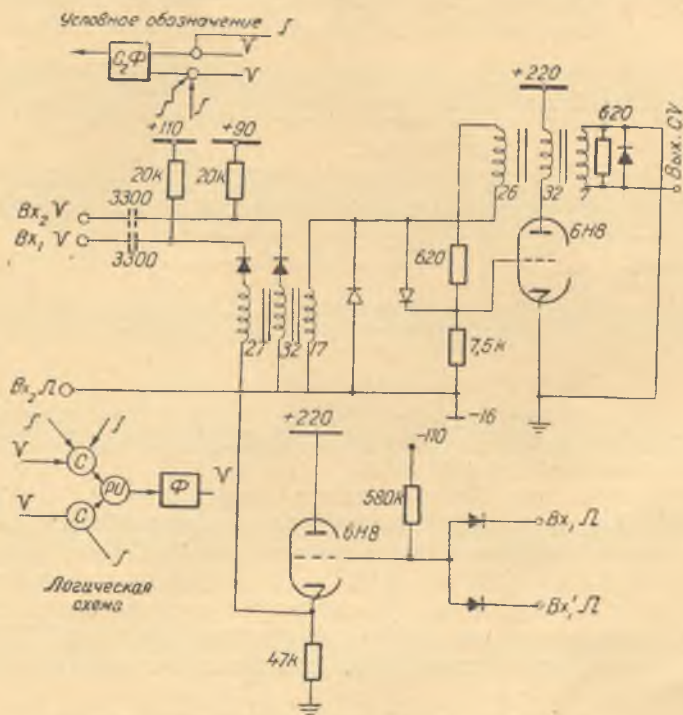


Рис. 24. Модифицированный многоходовый вентиль с отдельными входами и общим формирователем.

дения потенциалов, двух диодно-трансформаторных вентилях и формирователя (рис. 24). Один из вентилях управляется двухвходовым устройством совпадения потенциалов через катодный повторитель, а другой — непосредственно управляющим потенциалом.

Выход каждого из вентилях через общий трехобмоточный импульсный трансформатор подается на вход формирователя. Функция элемента $C_2\Phi$ выражается, таким образом, формулой

$$I_{\text{вых}} = (\Pi_1 \wedge \Pi_2 \wedge I_1) \vee (\Pi_3 \wedge I_2).$$

V. УСТРОЙСТВО ВВОДА

Ввод исходных данных и команд в СЭСМ осуществляется с перфорированной ленты. На ленте пробиваются коды коэффициентов уравнения (a_{in}), адреса неизвестных (x_{in}) или свободных членов (b_i) и соответствующие команды. Пробивка ленты осуществляется при помощи специального перфоратора. Во время работы машины устройство ввода преобразует про-

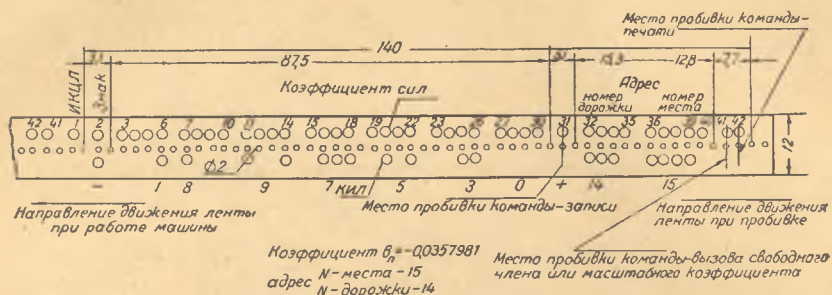


Рис. 25. Расположение пробивок перфоленты.

бивки ленты в электрические импульсы, которые подаются в соответствующие цепи машины.

Перфорированная лента имеет две дорожки отверстий (рис. 25). Отверстия одной из них соответствуют так называемым синхронизирующим импульсам ленты (СИЛ), другой — кодовым импульсам ленты (КИЛ). По длине лента разбивается на циклы; каждый цикл соответствует одному такту работы машины. Цикл ленты имеет 42 отверстия на дорожке СИЛ. Значения пробивок на дорожке КИЛ для ленты расчета итераций следующие:

КИЛ-1 — резервный (пробивка всегда отсутствует);

КИЛ-2 — обозначает знак коэффициента (отсутствие пробивки обозначает знак «+», наличие отверстия — знак «—»);

от КИЛ-3 до КИЛ-30 расположен код коэффициента (в двоично-десятичной системе);

от КИЛ-32 до КИЛ-40 расположен код адреса неизвестного или свободного члена (в двоичной системе), КИЛ-32 ÷ КИЛ-35 — номер дорожки, КИЛ-36 ÷ КИЛ-40 — номер места;

КИЛ-31, КИЛ-41, КИЛ-42 используются для команд, наличие пробивки КИЛ-31 — импульс ИЗЛ обозначает команду записи нового значения неизвестного (x_i^{k+1}); КИЛ-41 — импульс ИДХЛ — обозначает команду, управляющую образованием $\Delta X_i^{(k)}$, КИЛ-42 — импульс ИПЛ — команду печати $\Delta X_i^{(k)}$.

Кроме того, для команды используется СИЛ-1 — импульс ИКЦЛ, который осуществляет передачу управления операциями от ленты на магнитный барабан.

Лента, используемая в основном режиме работы машины — режиме расчетов, разделяется на следующие циклы (рис. 26):

1. Нормальный цикл имеет пробивки кодов коэффициента

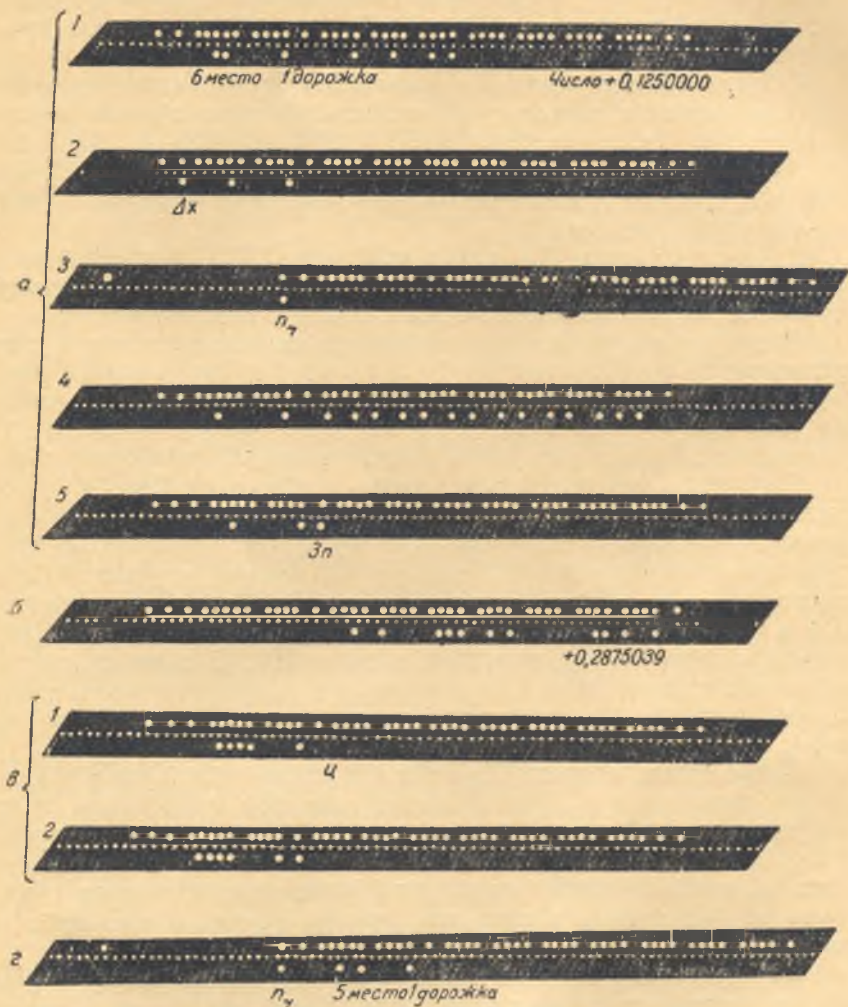


Рис. 26. Образцы перфолент:

а — лента для расчетов: 1 — нормальный цикл; 2 — цикл «Образование ΔX »; 3 — цикл «Печать ΔX »; 4 — цикл «Образование X »; 5 — цикл «Запись X »; *б* — лента для расчета корреляционных функций; *в* — лента для перезаписи с отсека на отсек: 1 — цикл воспроизведения; 2 — цикл записи; *г* — лента для вывода.

и адреса соответствующего неизвестного, пробивки КИЛ-31, КИЛ-41 и КИЛ-42 отсутствуют.

2. Цикл «Образование ΔX » имеет пробивку КИЛ-41 и пробивки кода адреса свободного члена (от КИЛ-32 до КИЛ-40),

отсутствуют пробивки кода коэффициента (от КИЛ-2 до КИЛ-30) и пробивки КИЛ-31, КИЛ-42.

3. Цикл печати имеет только одну пробивку КИЛ-42, все остальные пробивки на дорожке КИЛ в этом цикле отсутствуют. На ленте этот цикл в случае «Печати ΔX » следует за предыдущим циклом «Образование ΔX ».

4. Цикл «Образование X » отличается от нормального цикла режима расчетов только тем, что коэффициент в этом цикле равен «+1» (т. е. пробиты КИЛ-3, КИЛ-6, КИЛ-7, КИЛ-10, КИЛ-11, КИЛ-14, КИЛ-15, КИЛ-18, КИЛ-19, КИЛ-22, КИЛ-23, КИЛ-26, КИЛ-27 и КИЛ-30), что соответствует числу 0,99999999 в десятичной системе.

5. Цикл «Запись X » имеет пробивку КИЛ-31 и пробивки кода адреса неизвестного от КИЛ-32 до КИЛ-40, все остальные пробивки на дорожке КИЛ в этом цикле отсутствуют.

Число циклов на всей длине ленты режима расчетов будет равно числу коэффициентов при неизвестных (нормальные циклы) плюс число уравнений (число строк), умноженное на четыре (так как в конце каждой строки будет четыре цикла: «Образование ΔX », «Печать ΔX », «Образование X » и «Запись X »).

На ленте расчетов между двумя пробивками КИЛ-42 (импульс ИПЛ) расстояние должно быть не менее 2,25 м, что при скорости движения ленты 3 м/сек соответствует времени 0,75 сек., необходимому (с запасом) для печати одного результата. Это обстоятельство должно быть учтено при пробивке ленты расчетов в случае наличия в системе уравнений коротких строк (количество неизвестных в строке меньше 10). В отрезке ленты, соответствующем строке, минимальное количество циклов ленты равно шести. В общем случае число циклов в строке равно $n+4$, где n — число членов в строке с неизвестными.

После цикла «Печать X » на ленте должен быть интервал не менее двух циклов ленты, обеспечивающий сохранение кода на регистре РЭС до его передачи на цифропечатающее устройство. В конце каждой строки на ленте предусматривается интервал, равный одному циклу, для возможности расчета с начала любой строки. Лента для режима расчетов пробивается отдельно для каждой конкретной задачи.

На ленте расчетов корреляционных функций цикл печати обычно указывается только в конце, нормальные циклы такие же, как и в предыдущем случае, с той разницей, что код адреса при любой ординате равен нулю, т. е. КИЛ-32 ÷ КИЛ-40 всегда отсутствуют.

Лента, применяемая для работы машины в режиме ввода исходных данных, т. е. записи приближенных значений неизвестных на рабочие дорожки неизвестных (РДН) или свободных членов на рабочие дорожки свободных членов (РДС) магнитного барабана, характеризуется наличием пробивки КИЛ-31

и отсутствием пробивок КИЛ-41 и КИЛ-42. Пробивки от КИЛ-2 до КИЛ-30 соответствуют коду вводимого числа (свободного члена или приближения неизвестного), а от КИЛ-32 до КИЛ-40 — адресу вводимого числа (куда оно должно быть записано). В частном случае, если вместо приближенных значений всех неизвестных вводятся «+0», в режиме ввода может быть использована стандартная лента (общая для всех задач), на которой имеются пробивки КИЛ-31 и по порядку кодов всех адресов одного отсека КИЛ-32 ÷ КИЛ-40 (т. е. номера дорожек 1—15, номера мест 0—31). Эта стандартная лента для ввода будет иметь число циклов, равное количеству кодовых мест в одном отсеке магнитного барабана (т. е. $32 \times 15 = 480$ —32 места на одной дорожке и 15 дорожек в одном отсеке). Общая длина этой ленты 72 м, так как один цикл на ленте с интервалом занимает в среднем 0,15 м. Отдельная лента используется для ввода начальных приближений неизвестных и отдельная — для ввода свободных членов. Число циклов той и другой соответствует количеству строк системы уравнений.

Для ввода масштабного коэффициента используется лента ввода, состоящая из 32 циклов, в каждом из которых указывается код масштабного коэффициента и адрес места на рабочей дорожке в порядке очередности номеров мест (код m вводится на все места дорожки масштабного коэффициента РДМ).

Лента для режима перезаписи неизвестных с отсека на отсек состоит из двух чередующихся циклов. В первом цикле на ленте пробиваются от КИЛ-32 до КИЛ-40, обозначающие только код адреса неизвестного, а во втором цикле, кроме того же адреса неизвестного, делается пробивка КИЛ-31 (команда записи). Остальные пробивки в обоих циклах отсутствуют. Лента для режима перезаписи с отсека на отсек стандартна. На ней указаны по порядку все адреса одного отсека. Число циклов всей этой ленты равно удвоенному количеству кодовых мест одного отсека, т. е. равно 960. Общая длина ленты $0,15 \times 960 = 144$ м.

Лента для режима вывода имеет пробивки кода адреса вводимого числа от КИЛ-32 до КИЛ-40 и команду печати КИЛ-42. Между циклами на этой ленте должен быть интервал 2,25 м, необходимый для печати (время печати одного числа составляет 0,75 сек.). Лента для режима вывода также стандартна. На ней указаны по порядку все адреса одного отсека. Число циклов всей ленты 480. Длина одного цикла этой ленты вместе с интервалом равна $0,15 + 2,25 = 2,4$ м. Лента изготавливается в виде отдельных отрезков, так чтобы каждый отрезок вмещался на одну бобину и служил для вывода с пяти дорожек. Длина каждого отрезка ленты вывода, таким образом, равна $2,4 \times 160 = 384$ м (так как на пяти дорожках есть 160 кодовых мест). В случае решения задачи, данные которой занимают

не все 15 дорожек, для вывода могут служить только отдельные отрезки (бобины) ленты вывода.

Ввод исходных данных осуществляется при помощи устройства ввода, которое состоит из следующих узлов: фотооптической двухканальной головки (ФГ), двух формирователей импульсов ленты (ФИЛ) и лентопротяжного механизма. Структур-

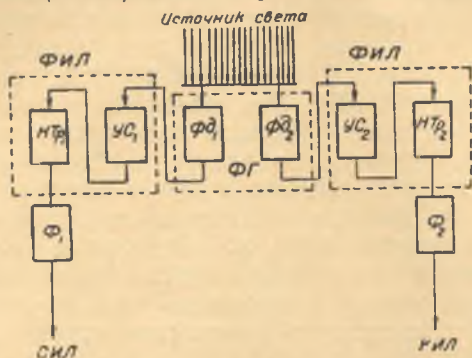


Рис. 27. Структурная схема устройства ввода.

ная схема электронной части входного устройства приведена на рис. 27.

В фотооптической головке лучи света от лампы накаливания через узкую щель диафрагмы проходят перпендикулярно на-

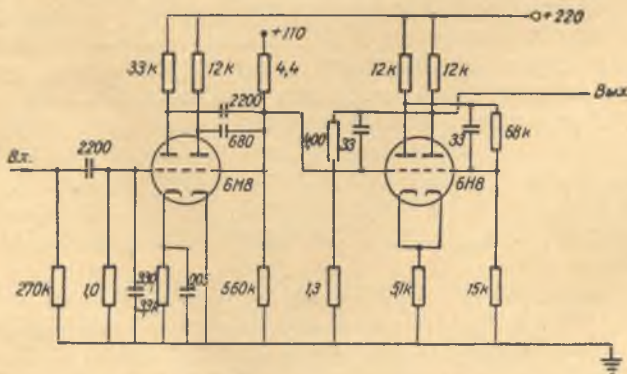


Рис. 28. Схема усилителя считывания.

правлению движения ленты и попадают на фотодиоды. Во время ввода перфорированная лента, проходя через фотооптическую головку, пересекает эти лучи. Дорожки СИЛ и КИЛ модулируют их. Полученные световые импульсы попадают на фотодиоды и вызывают в их цепях соответствующие импульсы тока. Амплитуда положительных импульсов напряжения, снимаемого с нагрузочного сопротивления R , с учетом разброса характерис-

тик фотодиодов составляет 3,5—8 в. Эти импульсы подаются на вход формирователя импульсов ленты, принципиальная схема которого показана на рис. 28.

Формирователь импульсов ленты состоит из двухкаскадного усилителя и несимметричного триггера. Первый каскад усилителя работает в режиме класса В. Положительные сигналы усиливаются, а отрицательные помехи, возникающие от склеек ленты, отсекаются. Второй усилительный каскад работает в режиме сеточных токов. Положительные импульсы, полученные на выходе второго каскада, при помощи несимметричного триггера преобразуются в прямоугольные импульсы с амплитудой 65 в. Импульсы с выхода несимметричного триггера подаются на вход формирователя, который выдает нормированные импульсы в цепи машины.

Ввод происходит одновременно с двух дорожек: дорожки СИЛ и дорожки КИЛ. Между импульсами СИЛ и КИЛ должен быть сдвиг во времени примерно на половину импульсного промежутка. Такой сдвиг достигается смещением световой щели диафрагмы канала СИЛ относительно канала КИЛ.

VI. УСТРОЙСТВО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОДОВ

Методика преобразования кодов

В машине применяются две системы кодирования: двоичная и двоично-десятичная. Для внешнего запоминающего устройства принята двоично-десятичная система, в которой кодируются все исходные числа, вводимые в машину. Для внутреннего запоминающего устройства и для производства всех арифметических и логических операций выбрана двоичная система. Такой выбор систем кодирования обеспечивает существенно меньшую подготовительную работу, связанную с вводом данных в машину.

Двоично-десятичные коды исходных данных, которые поступают в машину с перфоленты, преобразуются в устройстве преобразования кодов в двоичные коды (прямое преобразование) и в таком виде участвуют во всех машинных операциях. Двоичные коды результатов вычислений перед выводом из машины опять поступают на устройство преобразования и преобразуются в двоично-десятичные коды (обратное преобразование), которые затем уже в устройствах вывода и печати дешифрируются в десятичные.

Рассмотрим методику прямого преобразования кодов*. Еди-

* Методику прямого и обратного преобразования кодов в машине СЭСМ предложил и разработал С. Б. Погребинский.

«полных произведений». В свою очередь каждое умножение эквивалентов на коды цифр десятичных разрядов также происходит путем накопления сумм, но только «частичных произведений». Наличие двух таких процессов накопления делает алгоритм преобразования кодов, выраженный формулой (1), довольно неудобным и требующим наличия двух запоминающих регистров.

Главной идеей предлагаемого метода преобразования кодов является осуществление его как единой операции, во многом аналогичной операции умножения со сдвигом вправо частичных сумм. В этой операции множитель представлен преобразуемым кодом, а множимое — двоичными эквивалентами, модифицированными некоторым образом по сравнению с указанными в формуле (1), о чем будет сказано ниже. Отличие этой операции от операции умножения заключается в том, что при переходе преобразования от одного десятичного разряда к следующему происходит смена эквивалентов. Таким образом, преобразование кода осуществляется в едином процессе накопления частичных произведений и требует только одного накапливающего устройства.

Каждое частичное произведение равно либо соответствующему модифицированному эквиваленту, если преобразуемый разряд равен единице, либо нулю, если преобразуемый разряд равен нулю. Частичные произведения накапливаются в сумматоре, образуя частичные суммы. Каждая новая частичная сумма образуется в результате прибавления нового частичного произведения к предыдущей частичной сумме и последующего сдвига вправо на один разряд. Указанный алгоритм одного элементарного цикла операций преобразования может быть выражен следующей формулой:

$$C_i = (C_{i-1} + a_i \mathcal{E}'_{10-r}) 2^{-1}, \quad (2)$$

где C_i — новая частичная сумма; C_{i-1} — предыдущая сумма; a_i — цифра i -го двоичного разряда преобразуемого кода, считая от младших разрядов, с которых начинается преобразование; \mathcal{E}'_{10-r} — модифицированный двоичный эквивалент r -го десятичного разряда преобразуемого кода.

Умножение на 2^{-1} означает один сдвиг вправо. Отметим, что выбор методики умножения со сдвигом вправо частичной суммы обусловлен следующими обстоятельствами: во-первых, двоичные эквиваленты не могут сдвигаться, так как они постоянно закоммутированы на диодных сборках, и, во-вторых, основные операции в машине проводятся на последовательном сумматоре, передача всех кодов в машине, в том числе и поступление кодов на преобразование, происходит младшими разрядами вперед, а это в свою очередь однозначно определяет направление сдвига частичных сумм в сумматоре.

Вся операция преобразования состоит из определенного чис-

ла элементарных циклов, равного числу двоичных разрядов преобразуемого двоично-десятичного кода, т. е. $4m$, где m — число десятичных разрядов. Начинается эта операция с умножения младших разрядов преобразуемого кода на двоичный эквивалент. Полный алгоритм преобразования младшего десятичного разряда, т. е. алгоритм получения четвертой частичной суммы, выражается формулой

$$C_4 = ((a_{m1} \mathcal{E}_{10^{-m}} 2^{-1} + a_{m2} \mathcal{E}_{10^{-m}}) 2^{-1} + a_{m3} \mathcal{E}_{10^{-m}}) 2^{-1} + a_{m4} \mathcal{E}_{10^{-m}} 2^{-1}. \quad (3)$$

Как видно из этого выражения, каждый последующий результат получается из предыдущего прибавления соответствующего произведения $a_i \mathcal{E}_{10^{-m}}$ и сдвига полученной суммы на один разряд.

При преобразовании следующего десятичного разряда, например при получении пятой частичной суммы, должен быть уже использован новый двоичный эквивалент

$$C_5 = (C_4 + a_{(m-1)1} \mathcal{E}_{10^{-(m-1)}}) 2^{-1}. \quad (4)$$

Изменение эквивалента происходит после каждого промежуточного результата, номер которого кратен четырем. Окончательный результат, являющийся по счету $4m$ -ым, определяется по формуле, подобной (2), но без сдвига вправо, который всегда может быть учтен первоначальным сдвигом всех исходных данных

$$C_{4m} = C_{4m-} + a_{4m} \mathcal{E}_{10^{-1}}. \quad (5)$$

Чтобы более явно отразить зависимость конечного результата от исходных данных, раскроем в полученной формуле значение суммы C_{4m-1} . Для этого подставим значение C_4 в выражение для C_5 , значение C_5 — в выражение для C_6 и т. д. до получения C_{4m-1} . В результате этих преобразований получим следующее выражение:

$$C_{4m} = \sum_{r=1}^m (((a_{r1} \mathcal{E}_{10^{-r}} 2^{-1} + a_{r2} \mathcal{E}_{10^{-r}}) 2^{-1} + a_{r3} \mathcal{E}_{10^{-r}}) 2^{-1} + a_{r4} \mathcal{E}_{10^{-r}}) 2^{-1} 2^{-4r+5}. \quad (6)$$

Полученная таким образом формула должна быть эквивалентна формуле (1), т. е. $A_{дв} = C_{4m}$. Только в этом случае рассматриваемая методика преобразования может считаться справедливой. Для сравнения выражений (1) и (6) запишем послед-

нее в такой форме:

$$C_{4m} = \sum_{r=1}^m \mathcal{E}_{10^{-r}} 2^{-4r+1} (a_{r1} 2^0 + a_{r2} 2^1 + a_{r3} 2^2 + a_{r4} 2^3). \quad (7)$$

Выражения в скобках в формулах (1) и (7) одинаковы, следовательно, для тождественности этих формул достаточно, чтобы модифицированные эквиваленты удовлетворяли следующему условию:

$$\mathcal{E}_{10^{-r}} = \mathcal{E}_{10^{-r}} 2^{4r-1}. \quad (8)$$

Таким образом, код каждого двоичного эквивалента должен быть предварительно сдвинут влево на $4r-1$ двоичных разрядов. Однако при этом получается, что некоторые двоичные эквиваленты выходят за располагаемое число разрядов. Чтобы избежать необходимости увеличивать разрядность сумматора, воспользуемся тем обстоятельством, что результат преобразования — двоичный код — размещается в меньшем количестве двоичных разрядов, чем эквивалентный ему двоично-десятичный код. Например, в рассматриваемом случае преобразуемый семиразрядный двоично-десятичный код содержит 28 двоичных разрядов, в то время как получаемый эквивалентный ему по точности двоичный код содержит только 23 разряда. Учитывая это, весь результат преобразования сдвигается вправо на пять разрядов и помещается в младших разрядах сумматора. На такое же число разрядов должны быть смещены и эквиваленты. В результате из формул (6) и (8) окончательно получаем

$$C_{4m} = \sum_{r=1}^m (((a_{r1} \mathcal{E}'_{10^{-r}} 2^{-1} + a_{r2} \mathcal{E}'_{10^{-r}}) 2^{-1} + \\ + a_{r3} \mathcal{E}'_{10^{-r}}) 2^{-1} + a_{r4} \mathcal{E}'_{10^{-r}}) 2^{-1} 2^{-4r+10}, \quad (9)$$

где

$$\mathcal{E}'_{10^{-r}} = \mathcal{E}_{10^{-r}} 2^{4r-6}. \quad (10)$$

Перед выводом результата преобразования из сумматора осуществляется операция округления по следующему принципу: если в старшем отбрасываемом разряде содержится единица, то она прибавляется к основному коду. Для этого в сумматоре фактически есть еще 29-й разряд для запоминания значения старшего отбрасываемого разряда.

Методика обратного преобразования кодов принципиально мало отличается от методики прямого преобразования. Аналогично предыдущему случаю результат преобразования двоичного кода в двоично-десятичный равняется сумме произведений двоично-десятичных эквивалентов на коэффициенты соответ-

ствующих двоичных разрядов. Общая формула обратного преобразования имеет вид

$$A_{\text{дв-дес}} = \sum_{k=1}^n \mathcal{E}_2^{-k} a_k, \quad (11)$$

где \mathcal{E}_2^{-k} — двоично-десятичный эквивалент k -го двоичного разряда, считая от запятой; a_k — коэффициент k -го двоичного разряда; n — число разрядов.

Чтобы процесс преобразования представлял собой однородный процесс накопления частичных произведений, введем, как и в предыдущем случае, модифицированные эквиваленты и потребуем, чтобы алгоритм преобразования соответствовал формуле

$$C_i = (C_{i-1} + a_i \mathcal{E}_2^{-i}) 2^{-1}, \quad (12)$$

где \mathcal{E}_2^{-i} — модифицированный двоично-десятичный эквивалент i -го двоичного разряда, считая от младших; C_i — i -ая частичная сумма; a_i — коэффициент i -го разряда.

Таким же образом находится значение окончательного результата преобразования, который представляет собой n -ую частичную сумму,

$$C_n = C_{n-1} + a_n \mathcal{E}_2^{-n}. \quad (13)$$

Подставляя в (13) вместо C_{n-1} ее значение, получим формулу для n -ой частичной суммы, выраженную через исходные данные,

$$C_n = \sum_{k=1}^n \mathcal{E}_2^{-k} a_k 2^{1-k}. \quad (14)$$

Сравнивая (11) и (14), находим, что

$$\mathcal{E}_2^{-k} = \mathcal{E}_2^{-k} 2^{k-1}, \quad (15)$$

т. е. все двоично-десятичные эквиваленты должны быть первоначально сдвинуты влево на $k-1$ разряд.

Важно отметить, что все двоично-десятичные эквиваленты отличаются друг от друга в число раз, равное целой степени 2. Тогда, если \mathcal{E}_2^{-1} — двоично-десятичный эквивалент двоичного числа 0,1, все остальные эквиваленты могут быть выражены так:

$$\mathcal{E}_2^{-k} = \mathcal{E}_2^{-1} 2^{1-k}.$$

Подставляя это выражение в (15), получим

$$\mathcal{E}_2^{-k} = \mathcal{E}_2^{-1}. \quad (16)$$

Этот важный результат указывает на то, что все модифицированные эквиваленты, независимо от номера двоичного разряда,

которому они соответствуют, равны между собой и равны эквиваленту двоичного кода 0,1. Следовательно, при обратном преобразовании в памяти машины достаточно хранить только один эквивалент. Формула (14) приобретает теперь вид

$$C_n = \sum_{k=1}^n \mathcal{E}_{2^{-1}a_k} 2^{1-k}. \quad (17)$$

Однако сложность реализации такого алгоритма состоит в том, что при операциях с двоично-десятичными кодами деление на 2 не может быть осуществлено только сдвигами. В десятичной системе при переходе из одного десятичного разряда в другой значущая цифра меняется не в два, а в десять раз. Поэтому при реализации деления на 2 сдвигами вводится коррекция, которая преобразовывает сдвинутую в соседний десятичный разряд единицу в код пятерки этого разряда. Такая коррекция делает алгоритм обратного преобразования очень сходным с алгоритмом прямого преобразования, а это, в свою очередь, дает возможность реализовать оба процесса на одном устройстве.

Блок-схемы

Рассмотрим отдельно блок-схемы устройств прямого и обратного преобразования, заранее замечая, что ниже будет приведена схема, которая объединяет в себе оба эти устройства.

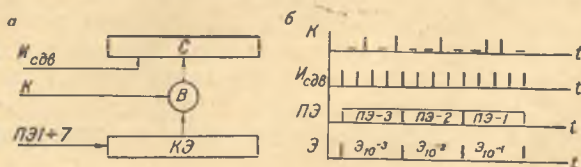


Рис. 29. Блок-схема (а) и временные диаграммы (б) прямого преобразования кодов.

Устройство прямого преобразования (рис. 29, а) состоит из двух основных узлов: коммутатора эквивалентов $KЭ$ и сумматора C . В коммутаторе эквивалентов хранятся двоичные эквиваленты десятичных разрядов, в сумматоре осуществляется их сложение в процессе преобразования.

Преобразование кодов начинается с младших разрядов по мере их поступления в устройство. Каждый двоично-десятичный разряд умножается на соответствующий ему эквивалент, и их произведения складываются в сумматоре. Умножение осуществляется по обычным правилам умножения двоичных кодов и практически сводится к двум элементарным операциям: передаче через вентили B эквивалента в сумматор в случае, если двоичный разряд преобразуемого кода равняется единице, и в

последовательному сдвигу промежуточной суммы в сумматоре вправо на один разряд.

Сразу же оговоримся, что вентиль В на рис. 29, а условно символизирует все вентили, через которые происходит передача кодов из коммутатора эквивалентов в сумматор.

После преобразования очередного десятичного разряда в коммутаторе эквивалентов устанавливается новый эквивалент, соответствующий новому десятичному разряду. Смена эквивалентов происходит каждый раз при переходе от одного десятичного разряда к другому и осуществляется потенциалами эквивалентов ПЭ. На рис. 29, б приводятся временные диаграм-

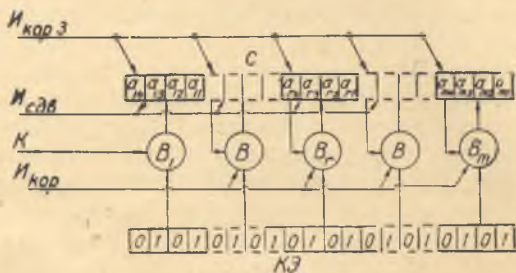


Рис. 30. Блок-схема обратного преобразования кодов.

мы, которые иллюстрируют прямое преобразование кодов на примере кода 0,0110 0010 0101 (0,625).

При обратном преобразовании в коммутаторе эквивалентов КЭ (рис. 30) хранится только эквивалент двоичного кода 0,1, который в двоично-десятичном коде записывается как 0,0101. Этот эквивалент умножается на каждый разряд преобразуемого кода K и уже в сумматоре, согласно методике преобразования, делится на 2^{k-1} раз.

Деление на 2 осуществляется двумя последовательными операциями: сдвигом вправо и коррекцией. Коррекция состоит в следующем: если при сдвиге есть перенос единицы r -го двоично-десятичного разряда в $r + 1$, то эта единица преобразуется в код 0101, который прибавляется к коду $r + 1$ разряда.

Осуществляется коррекция с помощью специальных импульсов коррекции — $I_{кор}$, которые через вентили $B_2 \div B_m$ передают корректирующие коды на сумматор. Эти вентили управляются старшими двоичными разрядами каждого двоично-десятичного разряда, т. е. теми, в которые при сдвигах попадают единицы переноса.

После прибавления корректирующих кодов единицы переносов должны быть стерты. Они стираются задержанными на один такт импульсами коррекции $I_{кор.з}$ при условии, что в разряды, в которых они записаны, не поступили импульсы переноса при прибавлении корректирующих кодов.

Общая блок-схема

Для экономии аппаратуры рационально объединить оба устройства преобразования кодов в одно. Ниже описывается такая схема в том виде, в каком она реализована в машине СЭСМ.

Общая структурная схема устройства преобразования с важнейшими взаимными связями между блоками показана на

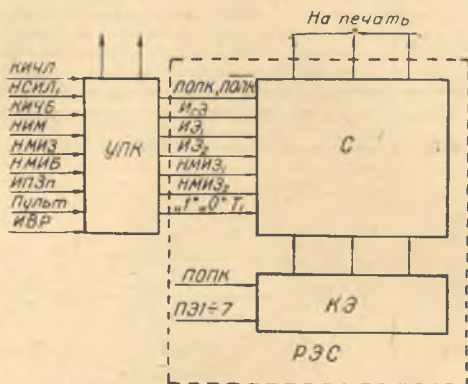


Рис. 31. Общая блок-схема преобразователя кодов.

рис. 31. Устройство состоит из трех основных блоков: блока управления преобразованием кодов (УПК), сумматора эквивалентов и регистра кодов (С) и коммутатора эквивалентов (КЭ). Два последних объединяются под общим названием РЭС — регистр, коммутатор эквивалентов, сумматор.

Конструктивно устройство преобразования выполнено на восьми отдельных платах. На семи платах собран РЭС, по одному двоично-десятичному разряду на каждой плате, и на восьмой плате — устройство УПК. Все платы РЭС идентичны, за исключением первой, соответствующей старшему десятичному разряду, которая, согласно блок-схеме обратного преобразования кодов, имеет несколько отличную структуру. Ниже приведены подробные блок-схемы старшего и одного из младших разрядов РЭС. Предварительно необходимо более подробно описать коммутатор эквивалентов КЭ.

Коммутатор эквивалентов (рис. 32) представляет собой обычную диодную сетку, коды в которой набираются соответствующей распайкой диодов. Коммутатор имеет 8 входов (по числу управляющих потенциалов) и 28 выходов соответственно разрядности преобразователя. При подаче на вход коммутатора одного из потенциалов на его выходе появляется потенциальный код соответствующего эквивалента, который подается на входные вентили сумматора С. Точки на рис. 32, а условно обо-

значают диоды, которые впаяны в схему, как показано на рис. 32, б. Значения всех эквивалентов, хранимых в коммутаторе, приведены в табл. 1.

Параллельный сумматор (С), являющийся основной частью устройства преобразования, может работать в двух режимах:

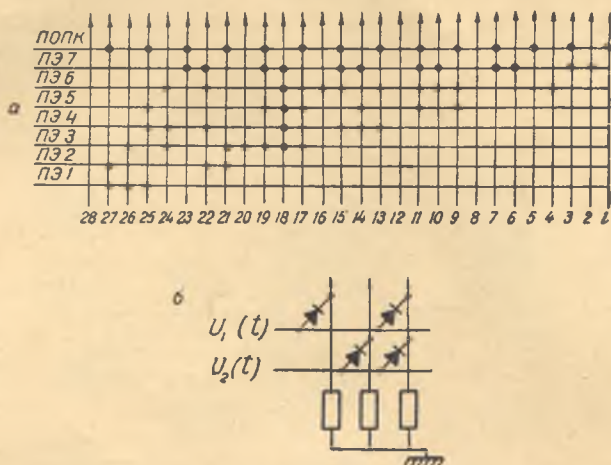


Рис. 32. Коммутатор эквивалентов:

а — расположение диодов; б — схема впайки диодов.

в режимах прямого и обратного преобразования. Переключение режимов работы осуществляется потенциалом обратного преобразования кодов ПОПК и его инверсным значением $\overline{\text{ПОПК}}$. При наличии потенциала $\overline{\text{ПОПК}}$ происходит прямое преобразование, при ПОПК — обратное. Соответственно в первом случае на сумматор поступают двоично-десятичные коды, записанные на импульсах КИЧЛ (кодовые импульсы числа ленты), а во втором случае — двоичные коды, записанные на импульсах КИЧБ (кодовые импульсы числа барабана), и импульсы НМИЗ, которые во времени совпадают с КИЧБ, но представляют собой полные «пачки» импульсов и служат для коррекции кодов. Блок-схема r -го десятичного разряда сумматора приведена на рис. 33.

Сложение эквивалентов в сумматоре происходит по принципу двойной подачи слагаемого. Первый раз слагаемое поступает на счетные входы триггеров $T_{r1} \div T_{rn}$ и образует с кодом, ранее находящимся в сумматоре, так называемую первичную сумму. Происходит поразрядное суммирование по модулю двух. Второй раз слагаемое подается на входы вентилях формирователей переносов $C_2\Phi_1 \div C_2\Phi_4$, и в сумматоре реализуются переносы, после чего сложение окончено.

Ввод кода эквивалента на сумматор происходит через вентили РИС₁ \div РИС₄ и вентили формирователей $C_2\Phi_1 \div C_2\Phi_4$. По-

На печать

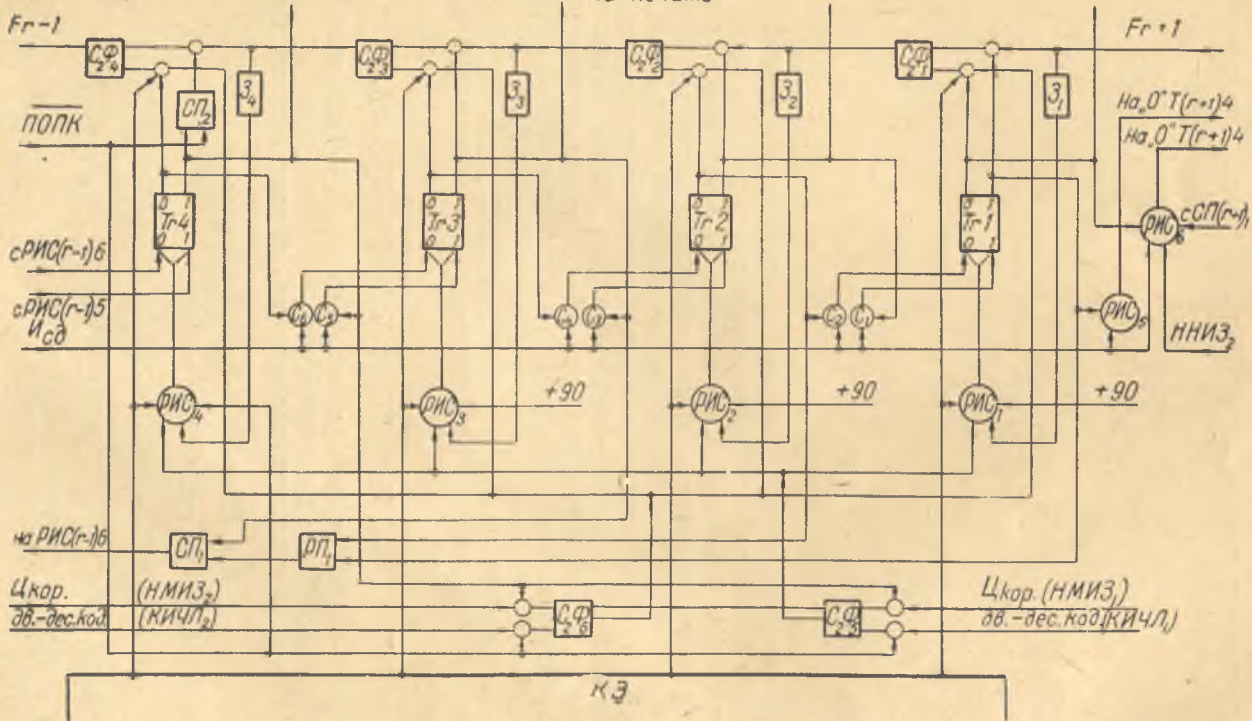


Рис. 33. Блок-схема r-го разряда РЭС.

Эквивалент	Десятичный разряд						
	1	2	3	4	5	6	7
ПОПК	5	5	5	5	5	5	5
ПЭ-1 (\mathcal{E}_{10}^{-7})	7	0	0	0	0	0	0
ПЭ-2 (\mathcal{E}_{10}^{-6})	4	3	0	0	0	0	0
ПЭ-3 (\mathcal{E}_{10}^{-5})	2	9	15	0	0	0	0
ПЭ-4 (\mathcal{E}_{10}^{-4})	1	10	3	7	0	0	0
ПЭ-5 (\mathcal{E}_{10}^{-3})	1	0	6	2	5	0	0
ПЭ-6 (\mathcal{E}_{10}^{-2})	0	10	3	13	7	0	8
ПЭ-7 (\mathcal{E}_{10}^{-1})	0	6	6	6	6	6	6

тенциальные входы этих вентилях управляются соответствующими шинами коммутатора эквивалентов, а импульсы возбуждаются формирователями $C_2\Phi_5$ и $C_2\Phi_6$, на входы которых в виде импульсных кодов поступают преобразуемые числа. Первую передачу эквивалентов осуществляет формирователь $C_2\Phi_5$, вторую, через период времени, больший длительности переходных процессов в сумматоре, — формирователь $C_2\Phi_6$. Временный сдвиг между первой и второй передачами кодов осуществляется задержкой на необходимое время импульсов КИЧЛ₂, КИЧБ₂ и НМИЗ₂ относительно соответствующих им КИЧЛ₁, КИЧБ₁ и НМИЗ₁. Происходит это в устройстве УПК.

Первичная сумма Z_i разряда сумматора может быть описана логической формулой

$$Z_i = (\bar{X}_k \wedge Y_i) \vee (X_k \wedge \bar{Y}_i \wedge \mathcal{E}_i) \vee (Y_i \wedge \bar{\mathcal{E}}_i), \quad (18)$$

где X_k — k -ый разряд преобразуемого числа; Y_i — i -ый разряд сумматора; \mathcal{E}_i — i -ый разряд эквивалента.

Условия образования переноса в i -ый разряд сумматора

$$F_i = (Z_i \wedge \mathcal{E}_i \wedge X_k) \vee F_{i+1}. \quad (19)$$

Окончателная сумма i -го разряда

$$P_i = (F_{i+1} \wedge Z_i) \vee (F_{i+1} \wedge Z_i). \quad (20)$$

Пример. Требуется сложить два числа: 0101 и 1001.

- 0101 — код на сумматоре;
- 1001 — первая подача слагаемого;
- 1100 — первичная сумма;
- 1001 — вторая подача слагаемого;
- 1 — возникновение переносов;

1010 — поступление переносов;

1100 — первичная сумма;

1110 — результат.

Управление коррекцией кодов при обратном преобразовании, о которой говорилось при рассмотрении методики преобразования, осуществляется при помощи подачи управляющего потенциала триггера T_{r4} на вентили формирователей $C_2\Phi_5$ и $C_2\Phi_6$. При этом корректирующие коды в сумматор поступят только в том случае, если триггер T_{r4} находится в единичном положении.

После прибавления корректирующего кода единица, поступившая при предыдущем сдвиге в разряд T_{r4} , стирается. Стирание ее, т. е. установка T_{r4} в нулевое положение, происходит одновременно с реализацией переносов в сумматоре и осуществляется импульсом НМИЗ₂. Однако возможны случаи, когда в это же время на триггер T_{r4} поступает импульс переноса из младших разрядов, образовавшийся при прибавлении корректирующего кода. В этом случае триггер T_{r4} должен остаться в единичном положении. Очевидно, для определенности срабатывания триггера необходимо, чтобы при наличии переноса стирающий импульс на его вход не подавался, но для этого, в свою очередь, нужно заблаговременно знать, будет ли происходить перенос в этот разряд. Оказывается, это легко предвидеть, анализируя первичную сумму, образованную в сумматоре после первой передачи корректирующего кода.

Действительно, если известно, что корректирующий код имеет значение 0101, то перенос в четвертый двоичный разряд возможен только в том случае, если первоначальный код в данном десятичном разряде сумматора был 0011 или 0100, так как он принципиально не может принимать больших значений.

Условие образования переноса в четвертый разряд, или, что то же самое, окончательное значение состояния триггера T_{r4} , описывается уравнением

$$P_{r4} = (Z_{r2} \vee Z_{r1}) \wedge Z_{r3}. \quad (21)$$

В схеме это условие реализовано при помощи устройств РП₁, СП₁ и вентиля РИС₅, относящегося к $r-1$ разряду, импульс с которого поступает на нулевой вход триггера T_{r4} .

Поскольку описанная цепь заменяет для четвертого разряда основную схему переноса, последняя при обратном преобразовании должна быть заблокирована. Это осуществляется подачей запрещающего потенциала ПОПК на вентиль РИС₄. Одновременно при помощи устройства СП₂ блокируется сквозной перенос в старший десятичный разряд. Принципиально этот перенос не должен происходить, но в данной конкретной схеме он возможен, так как триггер T_{r4} , кроме обычных функций разряда сумматора, выполняет роль запоминающего элемента для сдвинутой из соседнего разряда единицы и в момент образования сквозного переноса находится в единичном положении, чего

при отсутствии схемы блокировки достаточно для пропускания импульса переноса через вентиль $C_2\Phi_4$.

Сдвиг в сумматоре осуществляется путем подачи импульсов сдвига $I_{сд}$ на шину сдвигов. Импульсы сдвига одновременно подаются на все вентили C_i , а проходят только через те вентили, на которые поданы разрешающие потенциалы от соответствующих триггеров. Единичный вход каждого триггера управляется единичным выходом соседнего старшего разряда, нулевой вход управляется нулевым выходом. Таким образом, при подаче очередного импульса сдвига значения всех старших разрядов переносятся в соседние младшие разряды, т. е. происходит сдвиг кода на один разряд вправо.

Описываемый сумматор имеет одну характерную для такого рода схем особенность, заключающуюся в том, что импульсы через вентили $C_1 \div C_6\Phi_6$ и $C_2\Phi_1 \div C_2\Phi_4$ пропускаются одновременно с переключением потенциалов, которые управляют этими вентилями, т. е. на их фронтах. Это может вызвать ненадежность в работе вентиля и поэтому требует облегчения условий управления импульсом. В частности, в данной схеме для этой цели поставлены задержки $Z_1 \div Z_4$. Импульс переноса поступает одновременно на вход формирователя $C_2\Phi_i$ и через задержку Z_i на триггер T_{r_i} . Поскольку срабатывание триггера задерживается на время задержки Z_i , равное длительности импульса, потенциал на вентиле $C_2\Phi_i$ за время действия импульса не изменяется и надежность его работы значительно повышается.

На рис. 34 приведена схема старшего десятичного разряда РЭС. Работа этого разряда в режиме прямого и обратного преобразования совершенно одинакова, так как здесь принципиально исключена необходимость в операции коррекции и, следовательно, во всей предназначенной для этого аппаратуре. Исходя из этого, в отличие от предыдущей схемы, на этот разряд при обратном преобразовании поступают не корректирующие импульсы НМИЗ, а преобразуемые двоичные коды (КИЧБ). В остальном схема ничем не отличается от описанной выше.

Блок-схема устройства управления преобразованием кодов (УПК) приведена на рис. 35. Устройство выполняет следующие функции: ввод и вывод преобразуемых кодов, округление результатов, тактировка процесса преобразования, выдача знака результата.

В соответствии с принятой методикой суммирования методом двойной подачи слагаемого, ввод кодов на РЭС должен проводиться по двум параллельным каналам, коды в которых сдвинуты относительно друг друга на время одного такта работы сумматора. Сдвиг кодов осуществляется несимметричным триггером HT_1 , играющим в данном случае роль линии задержки, сдвиг корректирующих импульсов НМИЗ — несимметричным триггером HT_2 . Получаемые в результате этого

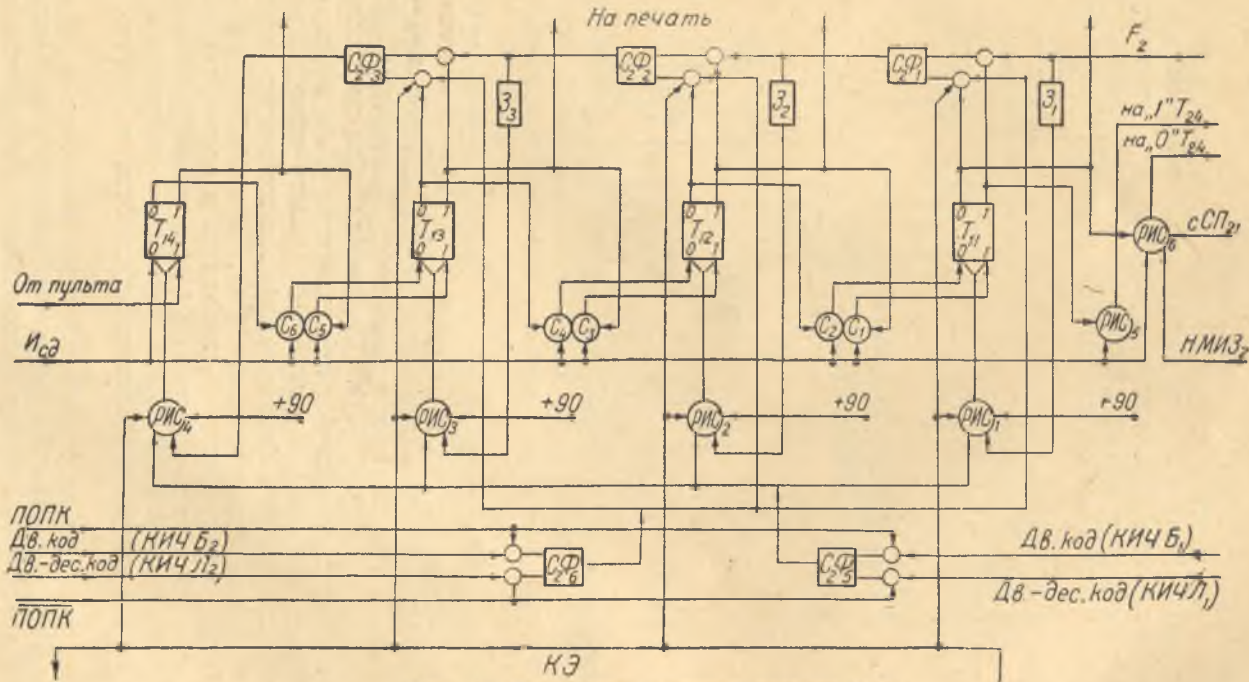


Рис. 34. Блок-схема старшего разряда РЭС.

незадержанные коды (КИЧЛ₁, КИЧБ₁, НМИЗ₁) используются в РЭС для первой передачи слагаемого, а задержанные (КИЧЛ₂, КИЧБ₂, НМИЗ₂) — для второй.

Вывод результатов с устройства преобразования может быть параллельным и последовательным. Параллельный вывод применяется после обратного преобразования, когда результат потенциальным кодом передается на устройство печати. Последовательный применяется после прямого преобразова-

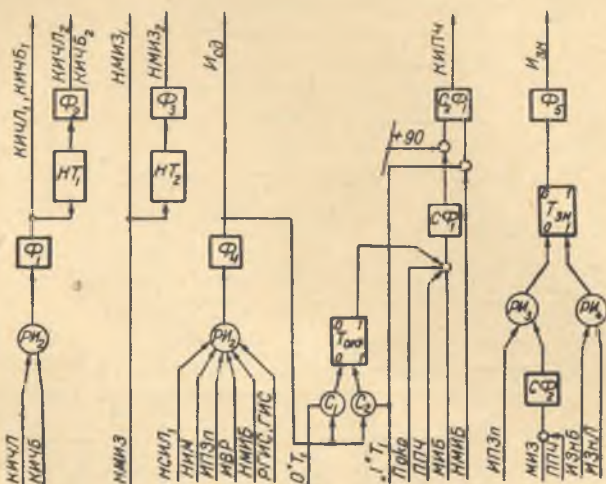


Рис. 35. Блок-схема управления преобразованием кодов.

ния при передаче кода в магнитную память машины (КИПЧ — кодовые импульсы передачи числа).

Последовательный вывод кодов осуществляется через формирователь С₂Ф₁, который управляется единичным выходом младшего разряда РЭС (Т₁). Для вывода кода достаточно подать на сдвиговую шину преобразователя «пачку» импульсов (НМИБ), по количеству разрядности выводимого кода (в данном случае 23). Одновременно эти же импульсы подаются на вентиль формирователя С₂Ф₁ и проходят через него каждый раз, когда триггер Т₁ находится в единичном положении. Так в процессе сдвигов последовательно опрашиваются все разряды выводимого кода и результаты опроса, т. е. выводимый код, в импульсной записи передаются в память машины (КИПЧ).

Перед выводом из преобразователя двоичные коды округляются. Как указывалось, округление состоит в том, что старший отбрасываемый разряд преобразуемого кода, если он равен единице, прибавляется к основному коду. При этом конструктивно удобно, чтобы все числа в памяти машины имели

одинаковое число разрядов — 28. Поэтому при округлении двоичного кода, имеющего 23 разряда, прибавление единицы заменяется приписыванием единиц во всех недостающих младших разрядах от 1 до 5.

Старший отбрасываемый разряд преобразуемого кода запоминается в триггере $T_{окр}$, который управляет клапаном $C\Phi_1$, пропускающим округляющий код. Округление происходит в том случае, если произошло совпадение трех потенциалов: единицы триггера $T_{окр}$, потенциала округления $P_{окр}$ и потенциала передачи числа ППЧ. Потенциал округления выделяет из серии импульсов МИБ «пачку» из пяти импульсов, которые и служат округляющим кодом (рис. 36). Эта «пачка» во времени вплотную примыкает к импульсам НМИБ, на которых

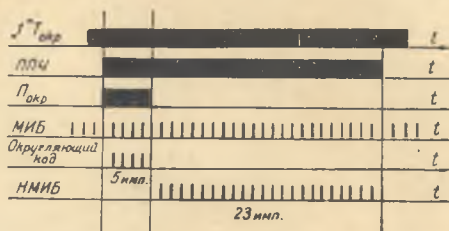


Рис. 36. Временная диаграмма вывода с РЭС.

происходит вывод основной части кода, и поэтому после формирования $C_2\Phi_1$ код будет уже округленным, с количеством разрядов 28.

Клапан $PИ_2$ и формирователь Φ_4 служат для объединения и формирования импульсов сдвига, которые в различных режимах работы устройства и всей машины могут поступать от различных узлов: входного устройства, магнитного барабана, пульта управления и т. д.

Знак преобразуемого кода запоминается на триггере $T_{зн}$. Ввод знака на преобразователь осуществляется импульсами знака от барабана ($I_{зн Б}$) или от перфоленты ($I_{зн Л}$) в зависимости от того, откуда поступает преобразуемый код. Выводится знак при опросе триггера знака импульсом МИЗ при потенциале ППЧ.

VII. ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА МАГНИТНОМ БАРАБАНЕ

Параметры магнитного барабана

Магнитный барабан (рис. 37) является основным запоминающим устройством машины. Емкость магнитного барабана, исходя из максимального возможного объема решаемых задач, должна составлять 1600 кодов чисел.

Для управляющих импульсов магнитного барабана предназначены две дорожки; на одной из них записаны синхронизирующие импульсы барабана (СИБ), на второй — импульс начала отсчета (ИНО). Синхронизирующие импульсы распре-

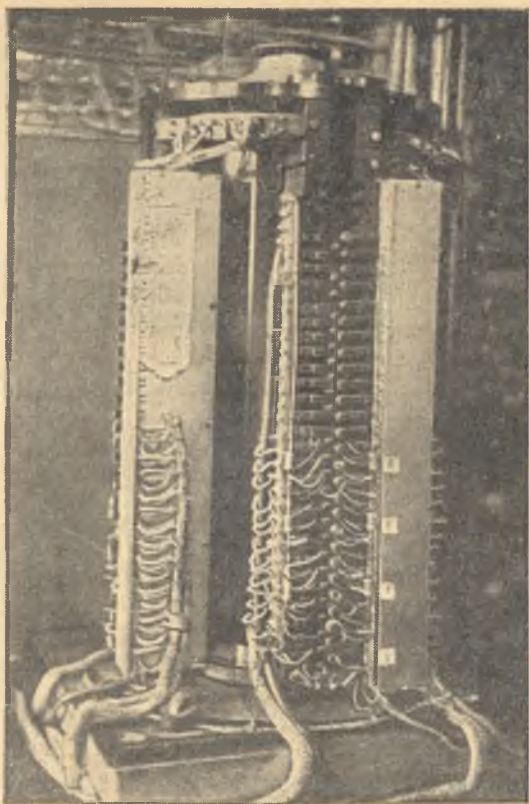


Рис. 37. Магнитный барабан.

делены на дорожке равномерно, что необходимо для динамической фиксации кодов.

Динамическая фиксация кодов применена в четырех оперативных регистрах арифметического устройства. Каждый оперативный регистр выполнен на отдельной дорожке магнитного барабана.

Параметры магнитного барабана выбираются согласно предъявляемым к нему требованиям. Расчеты в машине выполняются во время ввода исходных данных с ленты; для синхронизации этих процессов цикл расчета должен происходить за меньшее время, чем цикл ввода. Учитывая необходимый запас

времени, должно удовлетворяться следующее условие:

$$T_{\text{расч. макс}} \leq 0,9T_{\text{ввода}}. \quad (22)$$

Максимальное время цикла расчета определяется временем, затрачиваемым на выполнение отдельных входящих в цикл расчета операций, т. е.

$$T_{\text{расч. макс}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6, \quad (23)$$

где t_1 — максимальное значение времени ожидания передачи управления на магнитный барабан, равное времени прохождения под магнитной головкой одного кодового места $t_{\text{км}}$; t_2 — время передачи числа с регистра РЭС на ОД-1, равное $t_{\text{км}}$; t_3 — максимальное время ожидания нужного места на дорожке, которое равно времени одного оборота барабана $t_{\text{об}} = kt_{\text{км}}$, где k — количество кодовых мест, расположенных по периметру магнитного барабана; t_4 — время осуществления воспроизведения с одного кодового места, равное $t_{\text{км}}$; t_5 — время умножения, равное $mt_{\text{км}}$, где $m=28$ — располагаемое количество разрядов в числе; t_6 — время сложения, равное $2t_{\text{км}}$.

Подставив приведенные выше значения в выражение (23), получим

$$T_{\text{расч. макс}} = t_{\text{км}}(33 + k). \quad (24)$$

Учитывая выражение (22) и время одного цикла ввода с ленты $T_{\text{ввода}}$, равное 0,05 сек., получим соотношение, связывающее в нашем случае параметры барабана,

$$t_{\text{км}} \leq \frac{0,045}{33 + k}. \quad (25)$$

Однако в любом случае действительно выражение

$$t_{\text{км}} = \frac{1}{kn}, \quad (26)$$

где n — число оборотов барабана в секунду. Решаем совместно уравнения (25) и (26) относительно величины k и получаем

$$k > \frac{33}{0,045n - 1}. \quad (27)$$

Из конструктивных соображений по подбору привода магнитного барабана выбираем $n=50$ об/сек. Тогда $k \geq 27$. Из соображений удобства управления выборкой места принимаем количество кодовых мест на дорожке барабана $k=32$.

Остальные параметры магнитного барабана при выбранной величине плотности магнитной записи определяются одно-

значно. Диаметр магнитного барабана определяется так:

$$D = \frac{lk}{\pi\rho} = \frac{N}{\pi\rho}, \quad (28)$$

где l — количество промежутков между синхронизирующими импульсами на одном кодовом месте; ρ — плотность записи, выраженная в максимальном количестве импульсов, записываемых на 1 мм поверхности барабана; N — количество синхронизирующих импульсов, равномерно расположенных на управляющей дорожке барабана.

Принято $l=34$ импульсных промежутка. При этом $N=1088$ импульсов.

Исходя из опыта плотность записи $\rho=2,5$ имп/мм; при этом к конструкции головки и величине зазора между головками и магнитным барабаном не предъявляются особо жесткие требования.

Диаметр магнитного барабана D оказывается равным 150 мм. Окружная скорость барабана определяется по формуле

$$v = \pi D n \approx 23,5 \text{ м/сек.}$$

Частота синхронизирующих импульсов

$$f = N n \approx 54,3 \text{ кгц.}$$

Фактическое значение времени прохождения под головкой одного кодового места, подсчитанное по (26), оказывается равным $t_{\text{км}}=0,625$ мсек.

Таким образом, время $0,9 T_{\text{ввода}}$ составляет $72t_{\text{км}}$, в то время как для выполнения итерационных расчетов требуется время $(33+k)t_{\text{км}}=65 t_{\text{км}}$.

Однако для режима корреляционных расчетов время, равное $65t_{\text{км}}$, оказывается недостаточным, так как в этом режиме после выполнения арифметических операций происходит повторная выборка места и запись числа.

Поскольку число кодовых мест выбрано равным 32, выполнение арифметических операций, включая выборку множителя, происходит за время, меньшее времени одного оборота на $t_{\text{км}}$. Таким образом, время второго ожидания того же места на магнитном барабане в цикле расчета при корреляционном режиме составит постоянную величину, равную $t_{\text{км}}$; с учетом осуществления записи на этом месте время, необходимое для проведения расчетов, увеличивается в данном случае до $67 t_{\text{км}}$.

Следовательно, полученный запас по быстрдействию магнитного барабана, обусловленный выбором $k > \frac{t_4 + t_5 + t_6}{t_{\text{км}}}$, вполне достаточен для проведения несколько более длинного цикла расчетов в корреляционном режиме.

Количество рабочих дорожек магнитного барабана определяется так:

$$\frac{P}{k} = \frac{1600}{32} = 50.$$

Рабочие дорожки барабана распределены на четыре отсека, из которых два предназначены для хранения предыдущих расчетов — опорных итераций, один — для свободных членов уравнений, а на одном отсеке проводятся текущие расчеты. Одна рабочая дорожка (РДМ) выделена для хранения масштабного коэффициента.

Для обеспечения необходимого резерва и удобства управления число рабочих дорожек увеличено, и каждый отсек имеет по 15 рабочих дорожек.

Магнитные головки расположены вдоль образующей барабана на четырех траверсах, сдвинутых относительно друг друга таким образом, что каждой головке соответствует своя дорожка. Магнитные головки имеют по две встречно включенные обмотки, которые используются для записи и стирания кодов.

В качестве нулевого уровня используется состояние насыщения ферромагнитного слоя поверхности барабана. Запись кода «1» производится импульсом записи, перемагничивающим элементарный участок магнитного покрытия; запись кода «0» осуществляется импульсом стирания, который возвращает участок покрытия к первоначальному состоянию насыщения.

Считывание кодов с магнитного барабана осуществляется той обмоткой магнитной головки, которой выполняется стирание.

Назначение устройства управления магнитным барабаном

Устройство управления магнитным барабаном УМБ обеспечивает синхронизацию операций в отдельных устройствах машины в циклах работы с магнитным барабаном, к которым относятся циклы расчетов, записи, воспроизведения и вывода в различных режимах работы машины, а также выборку дорожки и места на магнитном барабане и запись и воспроизведение кодов чисел на нем.

Основные узлы УМБ: регистры номера дорожки и места РНД и РНМ, куда вводится с перфоленты и фиксируется адрес, по которому выбирается место на магнитном барабане; коммутатор рабочих дорожек КРД, при помощи которого выбирается нужная дорожка; счетчик мест СчМ, просчитывающий количество мест на одной дорожке, и устройство совпадения мест УСМ, осуществляющее выборку места на дорожке.

Как указывалось раньше, ввод и расчет в машине происходят одновременно, причем после цикла ввода исходных данных с перфоленты следует соответствующий цикл работы машины с магнитным барабаном. Таким образом, n -й цикл работы с магнитным барабаном происходит после n -го цикла ввода с перфоленты и во время $(n+1)$ -го цикла ввода исходных данных.

Управление всеми операциями над введенными числами и выполнение поступивших с перфоленты команд осуществляются в цикле работы с магнитным барабаном от синхронизирующих импульсов барабана (СИБ). Передача управления на магнитный барабан осуществляется импульсом ИКЦЛ, сигнализирующим об окончании цикла работы с перфолентой.

В устройстве управления магнитным барабаном импульс ИКЦЛ разрешает образование потенциала передачи числа, введенного с перфоленты в регистр РЭС на оперативную дорожку ОД-1, и затем потенциала разрешения выборки места на магнитном барабане. После выборки места и воспроизведения или записи кода в УМБ вырабатывается импульс конца выборки ИКВ, который в случае воспроизведения в цикле расчета разрешает проведение арифметических операций, а в цикле вывода — преобразование кода.

Вид цикла работы с магнитным барабаном определяется командой, поступившей с перфоленты. Во всех основных режимах работы машины, за исключением режима корреляционных расчетов, команда включает также код адреса места на магнитном барабане, который вводится с перфоленты в регистр адреса.

В режиме корреляционных расчетов на специальном наборе тумблеров устанавливается код интервала расчетов и схема управления обеспечивает перебор подряд всех мест на магнитном барабане в пределах данного интервала.

Образование управляющих сигналов в устройстве управления магнитным барабаном

В цикле работы с магнитным барабаном в УМБ вырабатываются импульсные и потенциальные сигналы, обеспечивающие работу отдельных устройств машины от синхронизирующих импульсов барабана. На рис. 38 представлена блок-схема УМБ.

Импульс ИКЦЛ поступает на УМБ и устанавливает в единичное положение триггеры ТП и ТРО. Первый после ИКЦЛ импульс кодового места ИМ проходит через вентили СФ₅ и С₁ и поступает на единственный вход триггера ТРП; при единичном положении ТРП образуется потенциал передачи числа в регистра РЭС на ОД-1 (ППЧ).

Второй после ИКЦЛ импульс ИМ проходит через СФ₆ (ИВР), возвращает в нулевое положение триггеры ТП и ТРП

и устанавливает в единичное положение триггер разрешения выборки ТРВ. При этом оканчивается потенциал ППЧ и возникает потенциал ПРВ. При низком уровне потенциала $\overline{\text{ПРВ}}$ разрешается выборка места на дорожке магнитного барабана. ИРВ используется также для разрешения арифметических операций в режиме подсчета суммы квадратов.

Выбор дорожки к этому времени уже осуществлен коммутатором рабочих дорожек (КРД) по коду адреса, который поступил в регистры РНД и РИМ с перфоленты до возникновения импульса ИКЦЛ. После выбора рабочей дорожки цепи магнитной головки данной дорожки подготовлены для записи или воспроизведения кодов.

Место на дорожке выбирается устройством совпадения мест (УСМ). При прохождении под магнитной головкой места, номер которого зафиксирован в регистре номера мест (РНМ), в УСМ возникает потенциал совпадения мест (ПСМ). Для удобства получения этого потенциала (см. ниже) в УСМ реализуется его инверсное значение $\overline{\text{ПСМ}}$. Потенциалы ПРВ и ПСМ поступают на ячейку разделения потенциалов РП-2, и на выходе инвертора У-1 образуется потенциал записи — воспроизведения ПЗВ, что описывается следующей зависимостью:

$$\text{ПЗВ} = \text{ПРВ} \wedge \text{ПСМ} = \text{ПРВ} \vee \overline{\text{ПСМ}}.$$

Мощность сигнала ПЗВ усиливается катодным повторителем Пз.

При возникновении и прекращении потенциала ПЗВ формирователи Φ_1 и Φ_2 формируют импульсы начала выборки (ИНВ) и конца выборки (ИКВ₁).

Импульс ИНВ используется в циклах записи и при корреляционных расчетах. В цикле записи триггер подготовки записи (ТПЗ) устанавливается в единичное положение при вводе кода в регистр адреса. Из импульса ИНВ при потенциале ППЗ образуется импульс начала записи ИНЗ, который устанавливает в единичное положение триггер записи ТЗп. Потенциал ПРЗ является разрешающим потенциалом для формирования импульсов записи и стирания.

В цикле корреляционных расчетов триггер ТПЗ устанавливается в единичное положение импульсом сложения ИОС, и дальнейшее формирование потенциала ПРЗ происходит, как и в предыдущем случае.

Импульс ИКВ₁ возвращает в нулевое положение триггеры ТПЗ и ТРВ. Из ИКВ₁ с помощью СФ₃ при единичном положении триггера ТРО вырабатывается импульс ИКВ, который поступает на коммутатор КАО и разрешает выполнение арифметических операций. После выполнения арифметических операций из блока КАО поступает импульс ИОС и устанавливает в нулевое положение триггер ТРО. Последний обеспечивает поступление на блок КАО импульса ИКВ, который возникает до

образования импульса ИОС. В корреляционном режиме предусмотрено в каждом такте работы воспроизведение кода числа с определенного места рабочей дорожки, а после выполнения арифметических операций запись на то же место кода сомножителя с оперативной дорожки ОД-1. Выборка во второй раз того же места для записи на нем осуществляется при помощи импульса ИОС, который в корреляционном режиме устанавливает в единичное положение триггеры ТРВ и ТПЗ, разрешает вторичную выборку места и формирование всех потенциалов и импульсов, необходимых для записи.

Импульс ИКВ₁, возникший после окончания второй выборки места, проходит через СФ₄ и образует импульс ИКВ₂, который в блок КАО не поступает, а служит для образования импульса гашения кода адреса (ИГ). Импульс ИГ образуется после выборки последнего места в заданном интервале корреляционных расчетов и устанавливает в нулевое положение все триггеры регистров адреса.

Выбор дорожки

Выбор дорожки по адресу, поступившему в регистр РНД с перфоленты, производится при помощи коммутатора рабочих дорожек КРД (рис. 39).

В соответствии с количеством дорожек в каждом отсеке магнитного барабана, коммутатор имеет 16 выходных цепей. Он преобразует код номера дорожки в управляющий потенциал для считывания кодов и в управляющий ток для их записи.

Коммутирующим элементом в цепи считывания магнитной головки служит диод, на который поступает разрешающий потенциал шины коммутатора, после чего обмотка считывания выбранной головки подключается к усилителю воспроизведения (УВ).

Коммутирующим элементом цепей записи и стирания магнитной головки является трансформатор на ферритовом сердечнике — так называемый трансформатор управления (ТУ).

Управление током записи осуществляется изменением коэффициента трансформации при прохождении тока через управляющую обмотку ТУ.

Применение коммутирующих магнитных элементов обусловило построение токового коммутатора, обеспечивающего насыщение всех сердечников управляющих трансформаторов за исключением трансформатора выбранной магнитной головки.

Суммарный ток такого коммутатора определяется формулой

$$i_k = i_n (2^n - 1),$$

где i_n — ток насыщения трансформатора управления; n — число разрядов регистра на входе коммутатора. Для получения

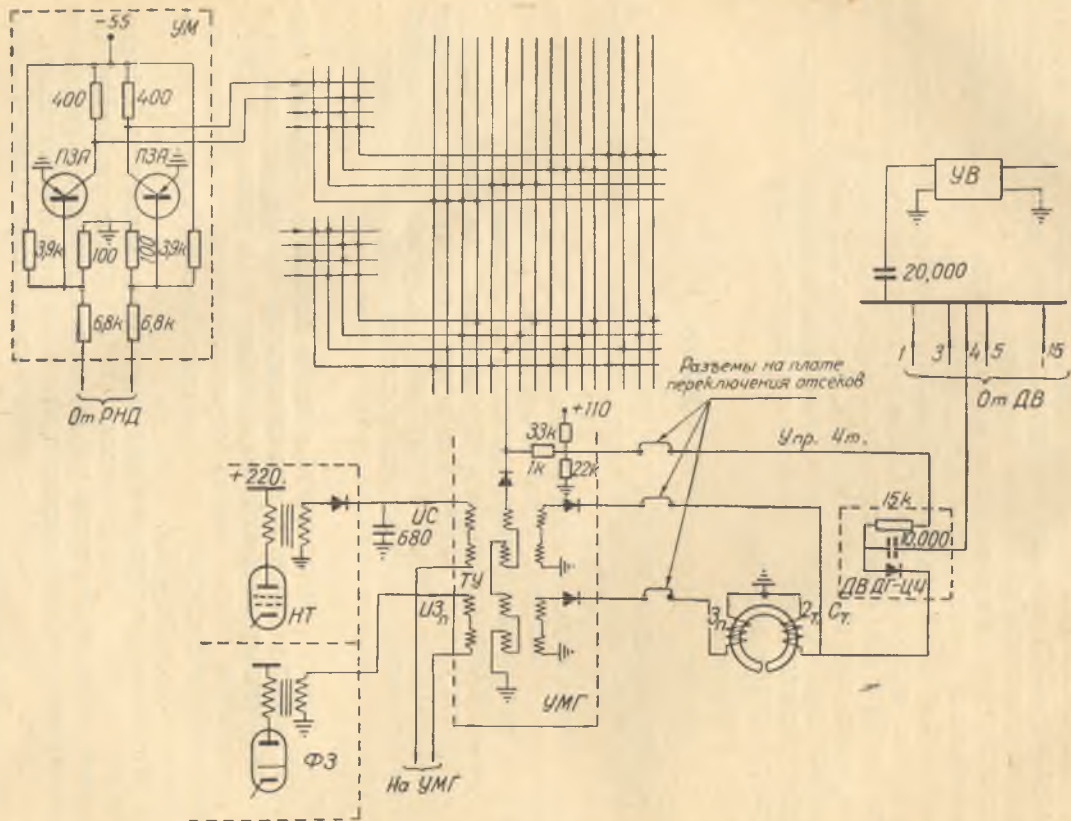


Рис. 39. Схема управления магнитными головками.

нужной мощности на входах коммутатора применены усилители. Входной усилитель (рис. 40) выполнен на полупроводниковом триоде ПЗА; рассчитан усилитель на ток $i_{yc} \geq \frac{i_k}{n}$.

Конструктивно коммутатор выполнен в виде отдельных блоков нескольких типов: блок входного усилителя УМ, блок первого каскада дешифратора и блок управления магнитной головкой (УМГ). Блок УМГ (рис. 41) состоит из двух трансформаторов ТУ для управления цепями записи и стира-

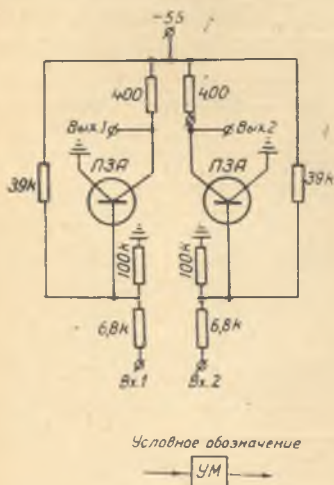


Рис. 40. Усилитель мощности (сопротивления вынесены из блока).

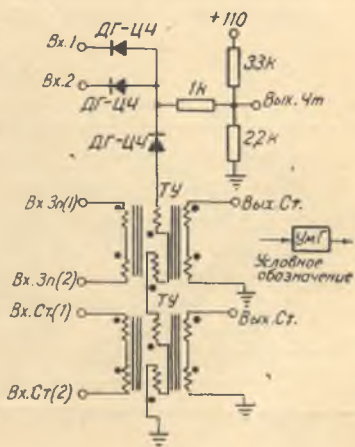


Рис. 41. Элемент управления магнитной головкой.

ния и диодов дешифратора, относящихся к данной шине. Каждый ТУ состоит из двух одинаковых трехобмоточных трансформаторов на ферритовых сердечниках.

Первичная и вторичная обмотки трансформаторов соединены согласованно, обмотки управления соединены встречно для компенсации э. д. с., наводимой в них импульсным током, протекающим в первичных обмотках.

Первичные обмотки трансформаторов ТУ, управляющих током записи, соединены последовательно; начало первичной обмотки первого трансформатора подключено к формирователю импульсов записи. Во вторичную обмотку каждого трансформатора включены обмотки записи магнитных головок.

Подобным образом включены трансформаторы, управляющие током стирания. Считывание выполняется той же обмоткой магнитной головки, что и стирание.

Считывающие обмотки подсоединены к диодным элементам воспроизведения (ДВ), на которые поступают управляющие по-

тенциалы от выходных шин коммутатора. При разрешающем потенциале воспроизводимые импульсы поступают на вход усилителя (УВ).

Выбор кодового места

Во всех режимах работы машины, за исключением корреляционных расчетов, адрес места на магнитном барабане задается на перфоленте. Код адреса последовательно вводится в регистры РНД и РНМ; при этом импульсы адреса КИАЛ поступают на единичный вход триггера ТДХ. Одновременно с адресом может быть введен код признака цикла «Образование

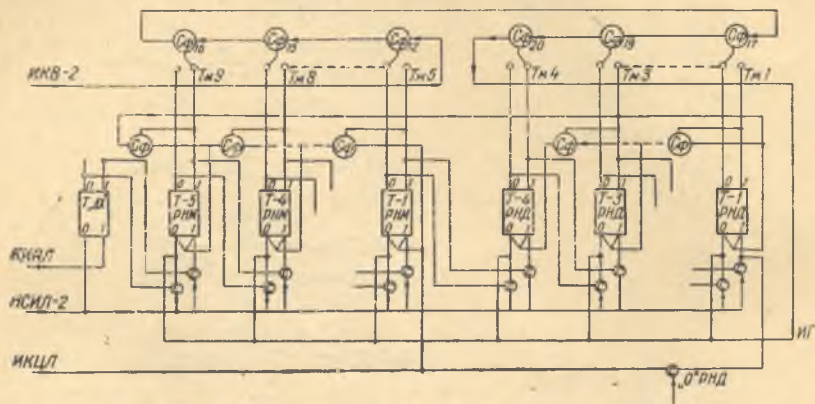


Рис. 42. Принципиальная блок-схема регистра адреса.

ДХ» (единичное положение триггера ТДХ) и код признака цикла записи (единичное положение триггера ТПЗ).

В корреляционном режиме выборка мест осуществляется начиная с первого места первой дорожки магнитного барабана. Код адреса, по который включительно следует проводить выборку, задается на тумблерах Тм-1 ÷ Тм-9 (рис. 42). В корреляционном режиме используется включение триггеров регистров РНД и РНМ в виде счетчика, на вход которого поступает импульс ИКЦЛ. Первый импульс ИКЦЛ поступает при нулевом положении всех триггеров РНД на единичный вход первого триггера РНД, после чего происходит выборка первой дорожки. Переход к следующей дорожке происходит после выборки всех подряд мест данной дорожки.

Выборка мест продолжается до образования импульса гашения (ИГ), который устанавливает в нулевое положение все триггеры регистра адреса. Импульс ИГ образуется из ИКВ-2 при наличии разрешающих потенциалов на вентилях СФ₁₂ ÷ СФ₂₀. Управляющим потенциалом каждого вентиля может быть нулевой или единичный выход соответствующего тригге-

ра регистра адреса. Выходы триггеров регистра адреса подключаются к вентилям через тумблеры Тм-1 ÷ Тм-9, на которых набран код адреса, определяющий прекращение выборки.

Импульс ИГ образуется при совпадении кода в регистре адреса с кодом, набранным на тумблерах. Если обозначить потенциальные сигналы на единичных и нулевых выходах триггеров регистра адреса соответственно через X_1, X_2, \dots, X_9 и $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_9$, а замкнутое и разомкнутое положения тумблеров через Y_1, Y_2, \dots, Y_9 и $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_9$, то условие образования импульса гашения будет выражено следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{ИГ} &= (X_1 \wedge Y_1 \vee \bar{X}_1 \wedge \bar{Y}_1) \wedge (X_2 \wedge Y_2 \vee \bar{X}_2 \wedge \bar{Y}_2) \dots \rightarrow \\ &\rightarrow (X_9 \wedge Y_9 \vee \bar{X}_9 \wedge \bar{Y}_9). \end{aligned}$$

Выбор места на дорожке по коду номера в регистре РНМ производится при помощи устройства совпадения мест (УСМ). На УСМ поступают выходные напряжения триггеров регистра РНМ и триггеров счетчика мест СчМ, просчитывающего кодовые места на дорожке на протяжении одного оборота барабана. При совпадении кодов на счетчике СчМ и в регистре РНМ в устройстве УСМ вырабатывается сигнал совпадения мест, в качестве которого принят низкий уровень потенциала совпадения ПСМ.

Если обозначить потенциальные сигналы на единичных и нулевых выходах триггеров регистра через X_1, X_2, \dots, X_5 и $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_5$, а потенциальные сигналы триггеров счетчика через Y_1, Y_2, \dots, Y_5 и $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_5$, то условие образования низкого уровня потенциала ПСМ будет

$$\begin{aligned} \overline{\text{ПСМ}} &= \overline{(X_1 \wedge Y_1 \vee \bar{X}_1 \wedge \bar{Y}_1) \wedge (X_2 \wedge Y_2 \vee \bar{X}_2 \wedge \bar{Y}_2) \dots} \\ &\quad \dots \overline{(X_5 \wedge Y_5 \vee \bar{X}_5 \wedge \bar{Y}_5)}. \end{aligned}$$

После преобразования получим минимальную форму функции $\overline{\text{ПСМ}}$

$$\overline{\text{ПСМ}} = X_1 \wedge \bar{Y}_1 \vee Y_1 \wedge \bar{X}_1 \vee X_2 \wedge \bar{Y}_2 \vee Y_2 \wedge \bar{X}_2 \dots X_5 \wedge \bar{Y}_5 \vee Y_5 \wedge \bar{X}_5.$$

В соответствии с этой формулой устройство совпадения мест построено на потенциальных элементах совпадения (СП) и разделения (РП). На каждый элемент СП-1 ÷ СП-5 поступают единичный и нулевой выходы соответствующих триггеров регистра РНМ и счетчика СчМ. Выходы всех элементов совпадения поступают на ячейку разделения потенциалов РП₁. При низких выходных напряжениях на всех ячейках СП на выходе ячейки РП образуется низкий уровень потенциала совпадения мест ПСМ.

Запись кодов чисел

Запись кодов чисел на рабочих дорожках осуществляется при вводе исходных данных для расчетов, в режиме перезаписи данных с одного отсека на другой и в режимах итерационных и корреляционных расчетов.

Во всех режимах, за исключением режима корреляционных расчетов, коды чисел для записи на рабочих дорожках поступают с оперативной дорожки ОД-4. В режиме корреляционных

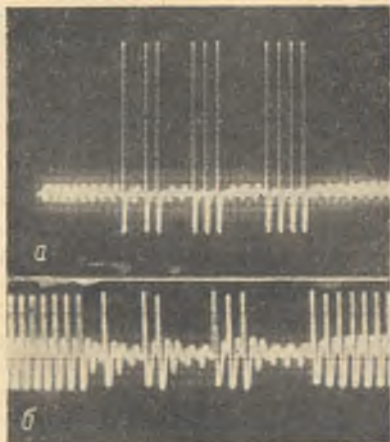


Рис. 43. Осциллограммы импульсов записи (а) и стирания (б) для кода 1011001110001111.

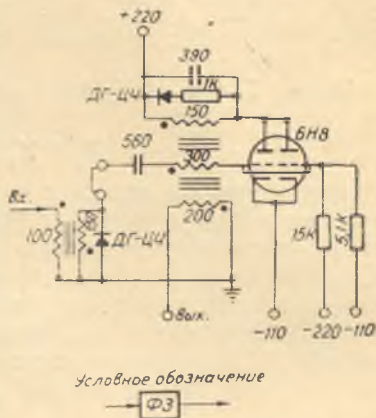


Рис. 44. Формирователь импульсов записи (ФЗ).

расчетов осуществляется запись кодов с оперативной дорожки ОД-1.

Запись кодов может осуществляться на одном из отсеков дорожек, к которому предварительно подключается с помощью штепсельных разъемов коммутатор рабочих дорожек (КРД); штепсельными разъемами к блочкам УМГ подсоединяются обмотки записи и стирания магнитных головок данного отсека (см. рис. 39).

Дорожка РДМ подключается к цепи записи отдельным тумблером.

При наличии потенциала, разрешающего запись (ПРЗ), в цепи формирования импульсов записи и импульсов стирания поступают кодовые импульсы записи (КИЗ) и импульсы стирания (ИС).

Импульсы КИЗ и ИС образуются из синхронизирующих импульсов СИБ. Запись должна проводиться на импульсах СИБ, чтобы сформированные при считывании импульсы воспроизведения примерно совпадали во времени с отстающими от СИБ

маркирующими импульсами (МИБ), на которых образуются кодовые импульсы в машине.

При записи кода одновременно происходит стирание тех импульсов старого кода, которые отсутствуют в записываемом коде. Для этого при записи в обмотку стирания поступают импульсы, инверсные записываемым. Инверсный код получается с помощью логического инвертирования кода, поступающего на запись, в цепях перезаписи оперативных дорожек ОД-4 или ОД-1. На рис. 43 приведены осциллограммы импульсных кодов в обмотках записи и стирания.

Импульсы КИЗ усиливаются формирователем импульсов записи ФЗ, который выполнен на лампе 6Н8 по схеме блокинг-генератора в заторможенном режиме с независимым возбуждением (рис. 44). Для увеличения длительности выходного импульса трансформатор имеет разрезной сердечник с прокладкой из немагнитного материала. Амплитуда выходного сигнала ненагруженного формирователя составляет 160 в, длительность выходного сигнала — около 3 мсек.

Формирование импульсов стирания осуществляется на несимметричном триггере НТС. Длительность импульсов стирания на выходе несимметричного триггера составляет 7 мсек. Принятое соотношение между длительностями импульсов записи и стирания обеспечивает высокое качество импульсного стирания.

На рис. 45 приведены осциллограммы импульсов записи и импульсов стирания в обмотках магнитной головки.

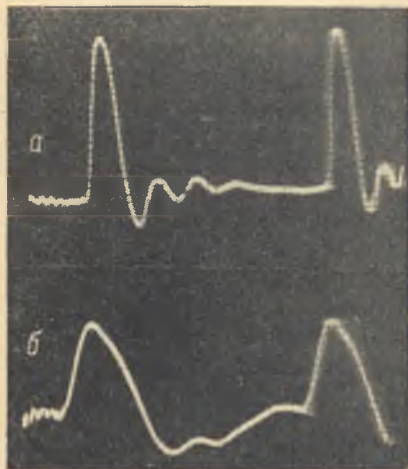


Рис. 45. Осциллограммы импульсов токов (а) и стирания (б) в обмотках магнитной головки.

Воспроизведение кодов

Воспроизведение кодов с каждого отсека рабочих дорожек осуществляется при помощи диодных элементов управления воспроизведением (ДВ) и усилителя воспроизведения (УВ). Количество элементов ДВ в каждом отсеке равно количеству магнитных головок. При поступлении на каждый элемент ДВ разрешающего потенциала от коммутатора КРД происходит подключение обмотки считывания данной магнитной головки к усилителю УВ данного отсека. Схема элемента ДВ и его подклю-

чение к обмотке считывания магнитной головки, к шине коммутатора и к усилителю воспроизведения виды из рис. 39.

Выходные шины коммутатора при помощи штепсельных разъемов подключаются к элементам ДВ одного из трех отсеков. Усилитель УВ этого отсека штепсельным разъемом включается в общую для трех отсеков цепь формирования считываемых импульсов.

В режиме итерационных расчетов коды воспроизводятся с одного из трех переключаемых отсеков неизвестных и с отсека свободных членов. Выходные шины коммутатора подсоединены к элементам ДВ отсека свободных членов непосредственно; усилитель УВ отсека свободных членов включен в цепь формирования импульсов с отсека свободных членов.

Усилитель воспроизведения (рис. 46) имеет три каскада усиления. Первый каскад для обеспечения малого входного сопро-

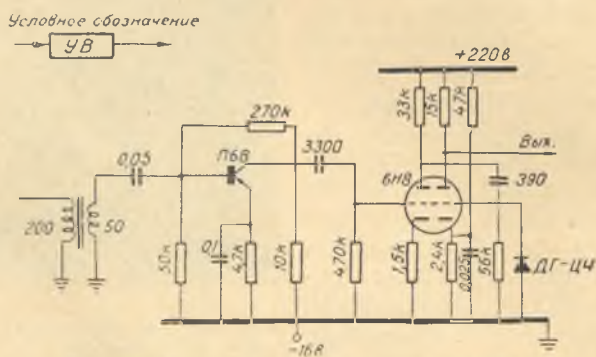


Рис. 46. Усилитель воспроизведения (УВ).

тивления усилителя и повышения помехоустойчивости выполнен на кристаллическом триоде 6Б6; второй и третий каскады — на лампе 6Н8. На выходе второго каскада с помощью диода устраняется отрицательная часть сигнала, чем ускоряется переходный процесс; для ограничения «шумов» триод третьего каскада нормально закрыт. Выходной сигнал усилителя (УВ) — отрицательный; амплитуда выходного сигнала порядка 60 в.

Блок УП (рис. 47) представляет собой усилитель и катодный повторитель, собранный на лампе 6Н8. Предназначены такие блоки для формирования из выходных импульсов усилителя УВ сигналов, близких к прямоугольным, от которых срабатывают формирователи Φ_4 , Φ_5 и $C\Phi_6$ (см. рис. 38). Полученные таким образом из импульсов воспроизведения стандартные импульсы поступают на вентили $C\Phi_1$ и $C\Phi_2$, управляемые потенциалами ПДХ и ПЛХ, ПЗВ, ПРЗ и потенциалом стробирования ПСт (см. рис. 38). Воспроизведение масштабного коэффициента происходит по отдельному каналу — УВ-5, УП₃ и $C\Phi_6$ при

потенциалах ПДХ и ППЧ. При потенциале ПДХ в режиме итерационных расчетов проходит цикл «Образование ΔX », и импульсы, воспроизведенные с отсека свободных членов и сформированные на блоках УП₁ и Φ_5 , поступают с выхода СФ₂ через ячейку импульсного разделения и формирователь Φ_7 на шину КИВ. При прохождении нормального цикла расчетов и разрешающем потенциале ПДХ на выходе СФ₁ образуются импульсы, воспроизведенные с одного из отсеков неизвестных и сформированные на УП₂ и Φ_4 . Эти импульсы через РИ и Φ_7 поступают на шину КИВ.

Потенциал ПЗВ разрешает по-

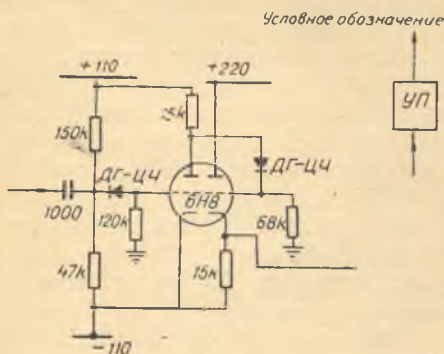


Рис. 47. Потенциальный усилитель (УП).



Рис. 48. Осциллограммы сформированных импульсов воспроизведения (а) и потенциала стробирования (б).

ступление импульсов воспроизведения только с выбранного места, потенциал ПРЗ запрещает прохождение на шину КИВ помех во время записи.

Потенциал стробирования ПСт образуется при помощи триггера ТСт, который устанавливается в единичное положение задержанным импульсом СИБ и возвращается в нулевое положение импульсом МИБ. Таким образом, потенциал ПСт является разрешающим на небольшом участке импульсного промежутка, где возникает воспроизведенный импульс, и запрещающим на остальном участке, где возможно возникновение импульсной помехи от стирания. В результате этого повышается надежность работы магнитной записи, т. е. возникновение помехи от стирания не приводит к появлению ложного сигнала на шине кодовых импульсов воспроизведения.

На рис. 48 приведена осциллограмма импульсов воспроизведения на выходе УВ и осциллограмма окончательно сформированных импульсов воспроизведения, совмещенных с потенциалом стробирования.

VIII. АРИФМЕТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО

Назначение арифметического устройства

Арифметическое устройство (АУ) производит операции по рабочим формулам расчетов, приведенным в первом разделе. Каждый элементарный цикл арифметических операций состоит из умножения двух чисел и суммирования полученного произведения с суммой предыдущих произведений, так называемой частичной суммой. Частичная сумма до накопления полной суммы хранится в АУ.

Подсчитанный результат либо выводится на цифровую печать, оставаясь при этом в накопителе арифметического устройства, либо записывается на одной из запоминающих дорожек магнитного барабана, после чего накопитель очищается. Таким образом, на цифровую печать могут выводиться не только окончательные, но и промежуточные результаты вычислений. Если после выдачи окончательного результата необходимо очистить накопитель либо если окончательный результат вычислений на данном этапе является исходной величиной для следующего этапа, происходит цикл записи. Под этапом подразумевается весь процесс накопления одной полной суммы, например в режиме итераций — подсчет одной строки.

В режиме итераций обычно выводятся из АУ на цифровую печать приращения либо приближения неизвестных на данной итерации. Приближения неизвестных как результаты этапов вычислений записываются на запоминающих дорожках магнитного барабана и служат множителями в последующих этапах. Множимыми в этом режиме, как и во всех остальных режимах, являются числа, поступающие с перфоленты. В режимах простых итераций, подсчетов невязок и вообще подсчета сумм парных произведений и обычных сумм множителями также являются числа, воспроизводимые с магнитного барабана, записанные там в процессе расчета либо введенные на магнитный барабан заранее с перфоленты. Результаты этапов вычислений в этих режимах обычно выводятся на цифровую печать. В режиме подсчета корреляционной функции как множители используются числа с магнитного барабана, вводимые туда с перфоленты в процессе самого подсчета, но с соответствующим упреждением. В этом режиме вычисление происходит в виде одного этапа, результат которого и печатается. Также в виде одного этапа реализуются вычисления в режиме подсчета суммы квадратов; в отличие от предыдущего режима здесь множимым и множителем одновременно является одно и то же число, поступившее с перфоленты.

Помимо основного алгоритма, АУ выполняет логическую операцию — определяет отсутствие единиц в установленном количестве старших разрядов приращения неизвестного, что не-

обходимо для контроля хода вычислений и сходимости итерационного процесса.

Регистры АУ также используются во вспомогательных (не вычислительных) режимах работы машины в качестве буферных запоминающих устройств для ввода и вывода.

Количество двоичных разрядов чисел равно 28, запятая фиксирована перед старшим разрядом. Отрицательные числа поступают в АУ и выдаются из него прямым кодом.

Время каждого цикла арифметических операций не должно превышать 0,02 сек., что обуславливается временем ввода с перфоленты очередных исходных данных для следующего цикла арифметических операций.

Система счета в арифметическом устройстве

В АУ применена последовательная система счета. Это обуславливает использование в устройстве последовательного сумматора в сочетании с динамическими регистрами на магнитном

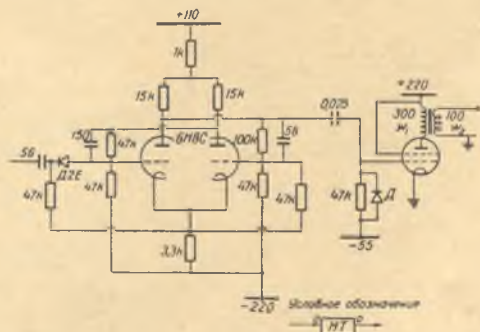


Рис. 49. Специальный триггер (несимметричный).

барабане, что позволяет значительно уменьшить объем электронной аппаратуры относительно АУ параллельного действия. Увеличение продолжительности арифметических операций при последовательной системе счета по сравнению с параллельной в данном случае не играет роли, так как каждый цикл арифметических операций в машине происходит одновременно с циклом ввода исходных данных, и пока последний не закончится, новый цикл арифметических операций начат быть не может. Времени, которое при этом отводится для цикла арифметических операций (0,02 сек.), вполне достаточно, чтобы выполнить умножение и сложение при 28 разрядных кодах сомножителей и принятой небольшой частоте синхронизирующих импульсов магнитного барабана (50 кГц).

Последовательный сумматор (ПС) включает в себя собственно суммирующее устройство, элемент запаздывания на

специальном триггере (рис. 49) для образования импульсов переноса и два инвертора кода для операций с отрицательными числами. Структурная схема, временная диаграмма и таблица его работы приведены на рис. 50.

Импульсные коды слагаемых чисел одновременно поступают на входы «X» и «Y» инверторов кодов в последовательности от младших разрядов к старшим. Если на входы инверторов

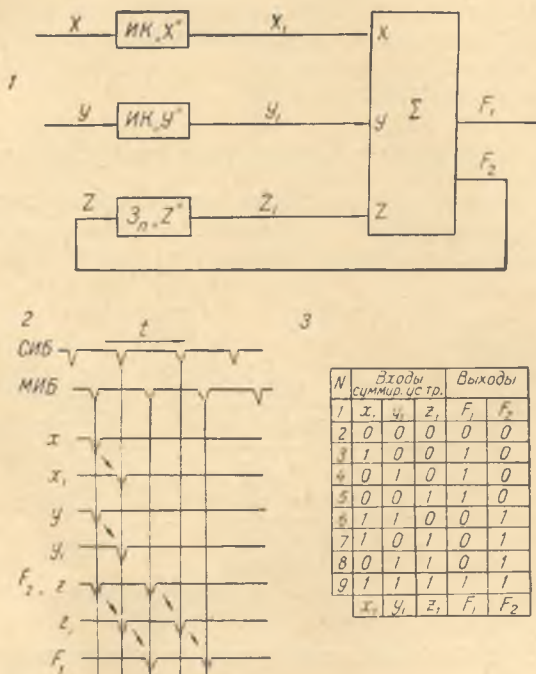


Рис. 50. Последовательный сумматор:

1 — структурная схема; 2 — временная диаграмма для случая инвертирования кодов на входах «X» и «Y»; 3 — таблица работы.

поступают разрешающие потенциалы (инвертор включен), коды преобразуются в обратные, если поступают запрещающие потенциалы (инвертор выключен), коды остаются прямыми.

Суммирующее устройство имеет три входа: «X», «Y», «Z»; последний служит для импульсов переноса. Сложение кодов происходит в соответствии с таблицей рис. 50. Код на выходе последовательного сумматора отстает от кодов на входах его на один импульсный промежуток. При этом импульсы переноса поступают на вход элемента запаздывания «Z» одновременно с импульсами следующего разряда слагаемых кодов. Как входные,

так и выходные кодовые импульсы ПС формируются на управляющих маркирующих импульсах МИБ.

На рис. 51 приведена блок-схема последовательного сумматора.

Выходной сигнал инвертора кода должен определяться следующей функцией:

$$F_n = (\Pi_{3n} \wedge \bar{X}) \vee (\bar{\Pi}_{3n} \wedge X), \quad (29)$$

где X — импульсный код числа на входе сумматора; Π_{3n} — потенциальный код знака числа. Логическое значение Π_{3n} равно единице, если число отрицательно.

Первый член дизъюнкции представляет собой выход включенного инвертора, второй член — выключенного, т. е. пропускающего на вход суммирующего устройства прямой код числа. Функция F_n в указанной форме записи непосредственно не реализуется на стандартных элементах машины, среди которых отсутствует логический импульсный элемент, инвертирующий код, т. е. выдающий импульс при отсутствии такового на входе и запрещающий выходной сигнал при наличии входного сигнала. Поэтому для возможности реализации первого члена дизъюнкции импульсный сигнал с помощью триггера $T_{ик}$ X (либо $T_{ик}$ Y) преобразуется в пару потенциальных сигналов X_n и \bar{X}_n , первый из которых снимается с единичного, а второй с нулевого кода триггера. Тогда функция работы инвертора кода, выраженная в виде

$$F_n = [(\Pi_{3n} \wedge \bar{X}_n) \vee (\bar{\Pi}_{3n} \wedge X_n)] \wedge И_{сиб}, \quad (30)$$

легко реализуется с помощью стандартных элементов (см. рис. 51). Выходные импульсы инвертора формируются на управляющих синхронизирующих импульсах СИБ, что обеспечивает наличие достаточного времени для установления потенциала, управляющего выходным импульсно-потенциальным вентилем (C_1 либо C_2). Возврат триггеров инверторов осуществляется импульсами СИБ, несколько отстающими от импульсов МИБ для повышения надежности работы инвертора.

С выходов инверторов импульсные коды поступают на входы « X » и « Y » суммирующего устройства. Последнее имеет два выхода: F_1 и F_2 . На выходе F_1 образуется код поразрядной суммы трех цифр: X , Y и Z . Как следует из таблицы, приведенной на рис. 50, функции поразрядной суммы и переносов записываются так:

$$F_1 = (X \wedge \bar{Y} \wedge \bar{Z}) \vee (\bar{X} \wedge Y \wedge \bar{Z}) \vee (\bar{X} \wedge \bar{Y} \wedge Z) \vee (X \wedge Y \wedge Z); \quad (31)$$

$$F_2 = (X \wedge Y \wedge \bar{Z}) \vee (X \wedge \bar{Y} \wedge Z) \vee (\bar{X} \wedge Y \wedge Z) \vee (X \wedge Y \wedge Z). \quad (32)$$

Группируя первые три дизъюнктивных члена F_2 с последним членом, на основании тождества

$$(X \wedge Y \wedge \bar{Z}) \vee (X \wedge Y \wedge Z) = (X \wedge Y) \wedge (Z \vee \bar{Z}) = X \wedge Y$$

получим минимизированную форму F_2

$$F_2 = (X \wedge Y) \vee (Y \wedge Z) \vee (X \wedge Z),^*$$
 (33)

где X , Y и Z — импульсные коды, которые для реализации указанных функций должны быть превращены в потенциальные ввиду отсутствия в машине импульс-импульсных вентилей. Подобно тому как в инверторе кода превращение импульсных кодов X , Y , Z в потенциальные осуществляется триггерами T_X , T_Y и T_Z , образование потенциальных сигналов F_1 и F_2 осуществляется логическими потенциальными элементами, а импульсных сигналов F_1 и F_2 — потенциально-импульсными вентилями в соответствии с логическими зависимостями.

$$F_1 = F_{1n} \wedge И_{миб} \quad \text{и} \quad F_2 = F_{2n} \wedge И_{миб}.$$

Образование выходных сигналов ПС на маркирующих импульсах МИБ удобно для сочетания последнего с динамическими регистрами. Допустимое время установления потенциалов F_{1n} и F_{2n} при этом соответствует времени между управляющими импульсами СИБ и МИБ, чего вполне достаточно. Возврат триггеров суммирующего устройства осуществляется импульсами МИБ, несколько отстающими от СИБ.

Образование импульсного кода Z из F_2 с необходимым запаздыванием происходит с помощью триггера T_{3n} и потенциально-импульсного вентиля синхронно с образованием импульсных кодов X и Y на выходах инверторов кодов, т. е. на входах суммирующего устройства.

Система фиксации чисел в арифметическом устройстве

Оперативные числа, множимое, множитель, произведение и сумма фиксируются в АУ на динамических регистрах с последовательным вводом и выводом кодов. В этих регистрах также фиксируются промежуточные результаты операций и осуществляются необходимые сдвиги и задержки кодов. Выполнены динамические регистры в виде двойных магнитных головок на так называемых оперативных дорожках магнитного барабана*.

Двойная магнитная головка представляет собой конструктивное сочетание отдельных магнитных головок записи и воспроизведения с определенным раствором между ними. Головка воспроизведения расположена впереди головки записи по направлению вращения магнитного барабана (рис. 52). Для динамической фиксации кода выходной сигнал воспроизводящей головки через систему усиления формирования и управления подается на вход записывающей головки. Таким образом создается замкнутое кольцо перезаписи, при разрешении которой один раз

* Схема и конструкция указанного динамического регистра разработаны В. В. Крайничкиным.

записанный код непрерывно циркулирует в регистре на участке между рабочими зазорами записывающей и воспроизводящей головок, т. е. в так называемом растворе двойной магнитной головки. Вне раствора код стирается постоянным магнитом, расположенным за головкой воспроизведения (по направлению

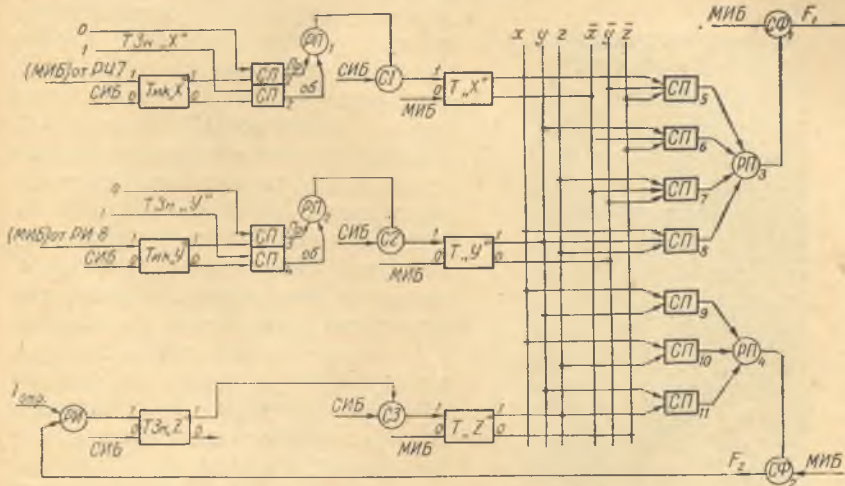


Рис. 51. Блок-схема последовательного сумматора.

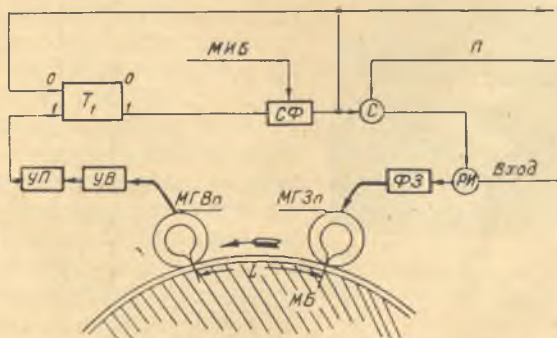


Рис. 52. Схема фиксации кода двойной магнитной головкой.

вращения магнитного барабана), единым для всех оперативных дорожек.

Показанные на схеме перезаписи (рис. 52) формирователь импульсов записи ФЗ, усилитель воспроизведенных импульсов УВ и импульсный усилитель с катодным повторителем УП описаны в предыдущем разделе. Чтобы импульсы при перезаписи записывались на определенных местах и код сохранял требуе-

мую ориентацию относительно кодовых мест на магнитном барабане (см. ниже), перезапись проводится импульсами, которые синхронизированы с помощью управляющих импульсов МИБ, получаемых со специальной дорожки магнитного барабана. Синхронизация осуществляется с помощью триггера Т и

вентиля СФ. Воспроизведенный сигнал устанавливает Т в единичное положение, клапан СФ открывается и пропускает очередной импульс МИБ, который в качестве уже синхронизированного воспроизведенного сигнала поступает в цепь перезаписи на выход динамического регистра, а также возвращает триггер в исходное положение. Указанный метод синхронизации, по которому триггер, «введенный» воспроизведенным сигналом, «ждет» прихода стробирующего импульса, обеспечивает надежное стробирование, несмотря на различные флюктуации и задержки импульсов в тракте динамического регистра, а также при некоторой неравномерности распределения синхронизирующих сигналов на управляющей дорожке МБ. На рис. 53 показана осциллограмма работы триггера Т при перезаписи импульса на оперативной дорожке (флюктуации фронта триггерного переброта вызываются указанными факторами), осциллограммы стробирующих и выходного импульсов, а также осциллограмма перезаписываемого кода.

С помощью управляющего потенциала П, воздействующего на клапан С, кольцо перезаписи может замыкаться и размыкаться. При размыкании кольца перезаписи на время одного цикла прохождения кода происходит гашение его в динамическом регистре.

От величины раствора зависит время цикла перезаписи. При величине раствора, равной длине кодового места, время цикла перезаписи равно времени его прохождения, в результате чего код в динамическом регистре при сколь угодно длительной цир-

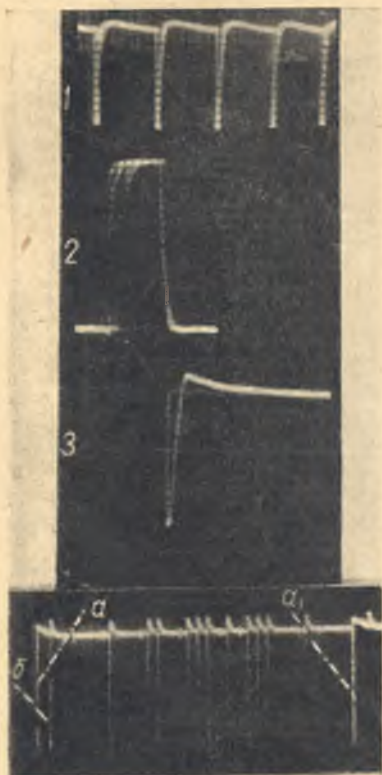


Рис. 53. Осциллограммы выходных сигналов динамического регистра:

1 — стробирующие импульсы; 2 — осциллограмма работы триггера; 3 — выход клапана СФ; 4 — перезаписываемый код; а, а₁ — отметки кодового места; б — код знака.

куляции не изменяет своей ориентации относительно кодовых мест, целое число которых расположено по окружности магнитного барабана. Если же раствор укорочен или удлинен на один или несколько импульсных промежутков, то на каждом цикле перезаписи код будет выдаваться с опережением или отставанием относительно кодового места, т. е. сдвигаться вправо или влево на соответствующее количество импульсных промежутков, что иллюстрируется временной диаграммой на рис. 54.

В арифметическом устройстве есть четыре динамических регистра на оперативных дорожках ОД-1 ÷ ОД-4. Оперативная дорожка ОД-1 служит для фиксации множимого, ОД-2 — множителя, ОД-3 — промежуточных результатов арифметических операций и произведения, ОД-4 является накопителем суммы.

Двойные магнитные головки оперативных дорожек ОД-1 и ОД-4 имеют раствор, величина которого равна длине кодового места; у головок ОД-2 и ОД-3 растворы укорочены на один и два импульсных промежутка соответственно.

Запись кодов на всех оперативных дорожках осуществляется сигналами, сформированными на импульсах МИБ. Считываемые коды, поступающие в цепи перезаписи и арифметического устройства, также формируются на импульсах МИБ. Однако коды, считываемые с дорожек ОД-1 и ОД-4, формируются, кроме того, импульсами СИБ, что достигается некоторым укорочением раствора этих головок и применением дополнительного триггера. Коды эти, используемые для записи на рабочих дорожках магнитного барабана, несколько опережают коды на МИБ, чем компенсируется отставание

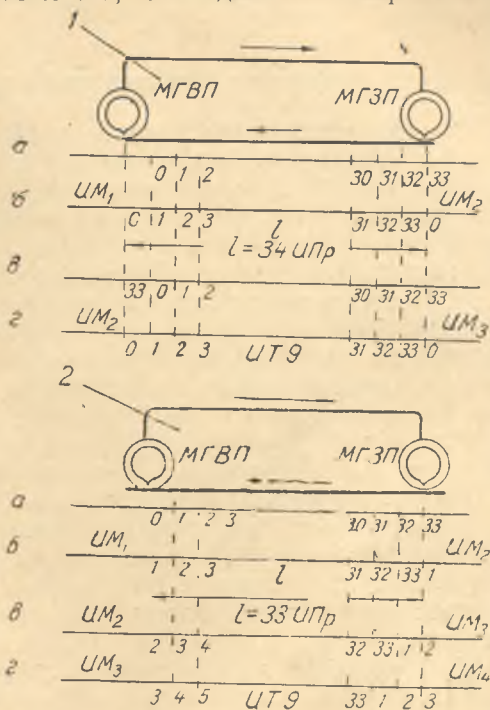


Рис. 54. Временная диаграмма динамической фиксации кодов:

1 — перезапись без сдвига: а — конец записи; б — начало первого цикла перезаписи; в — конец первого цикла перезаписи; г — начало второго цикла перезаписи; 2 — перезапись со сдвигом: а — конец записи; б — начало первого цикла перезаписи; в — начало второго цикла перезаписи; г — начало третьего цикла перезаписи.

ние кодов, воспроизводимых с рабочих дорожек, и обеспечивает возможность формирования их импульсами МИБ. Таким образом достигается необходимая синхронизация при обмене кодами рабочими и оперативными дорожками.

Кроме прямых кодов, с дорожек ОД-1 и ОД-4 выдаются инвертные коды для формирования импульсов стирания на рабочих дорожках.

Методика арифметических операций в арифметическом устройстве

С учетом алгоритма работы машины для простоты осуществления арифметических операций в ней применена двоичная система счисления с фиксированной запятой. Сведение исходных данных к числам, меньшим единицы, не представляет затруднений. Однако в процессе подсчета промежуточный результат накопления может значительно превысить конечную величину. Поэтому перед запятой предусмотрено четыре резервных разряда. Таким образом, располагаемое число разрядов при умножении равно 28, так как перемножаются только исходные данные, меньшие единицы. В сложении же участвуют 32-разрядные числа, причем у одного из слагаемых — полученного произведения — четыре старших разряда обязательно нули. Выводимые из АУ результаты вычислений должны укладываться в 28 разрядов после запятой, что автоматически контролируется.

Рассматривая методику арифметических операций, введем понятие элементарного цикла работы АУ, под которым подразумевается либо процесс поступления кода на сумматор, либо процесс прохождения одного кодового места в динамическом регистре.

Для удобства эксплуатации машины отрицательные числа вводятся в нее прямым кодом, обозначенным кодом отрицательного знака «1». Для операций сложения положительных чисел с отрицательными выбран наиболее простой метод, по которому отрицательные числа выражаются обратным кодом. Преобразование прямого кода отрицательного числа в обратный осуществляется инвертором кода в самом сумматоре во время операции сложения, причем код знака не инвертируется. Поскольку сигнал о необходимости инвертирования кода должен поступить перед числом, код знака находится перед младшим разрядом числа. Если поступает код «0», то число положительное, инвертор находится в нулевом положении и код не инвертируется. Если же поступает код «1», то число отрицательное, инвертор кода устанавливается в единичное положение и код инвертируется. В сумматоре также происходит преобразование обратного кода отрицательного результата в прямой код.

Таким образом, отрицательные числа представляются в АУ обратным кодом только в процессе проведения самой арифметической операции.

При сложении возможны следующие случаи: 1) оба числа положительны; 2) числа имеют разные знаки, положительное число по абсолютному значению больше отрицательного ($|X| > |-Y|$); 3) числа имеют разные знаки, отрицательное число по абсолютному значению больше положительного ($|X| < |-Y|$); 4) оба числа отрицательны.

В первом случае инверторы не включаются и происходит сложение прямых кодов чисел.

Во втором случае код меньшего числа инвертируется и складывается с прямым кодом большего числа. При этом в результате сложения старших разрядов обязательно образуется импульс переноса. Этот импульс выходит за располагаемое число разрядов, вследствие чего попадает на место младшего разряда в следующем после сложения элементарном цикле работы АУ. Появление этого импульса определяет необходимость добавления 2^{-n} (единицы младшего разряда числа) к результату сложения, оказавшегося в рассматриваемом случае меньшим на 2^{-n} из-за применения обратного кода вместо дополнительного. Для образования единицы младшего разряда код, представленный импульсом переноса, суммируется с кодом знака числа, специально посланным на вход сумматора в указанном цикле. Полученный при этом новый импульс переноса представляет собой код так называемой циклической единицы, которая непосредственно суммируется с результатом первого цикла сложения.

Для иллюстрации изложенного рассмотрим пример сложения двух чисел, например $+6$ и -2 , выражаемых кодами 110.0¹ и 010.1 соответственно. Для большей наглядности построим табл. 2, колонки которой будут представлять собой время первого и второго циклов суммирования (справа налево).

Таблица 2

Событие		Время	
		второго цикла	первого цикла
Первый цикл	Вход первого числа на ПС		110.0
	Вход второго числа на ПС после инвертирования		+ 101.0
	Выход суммы из ПС (импульс переноса вышел во втором цикле на месте знака)	1	011.0
Второй цикл	Код знака, подаваемый на вход ПС	+ 000.1	
	Образование циклической единицы (перенос от сложения кодов знаков)	001.0	
	Вход результата первого цикла на ПС	+ 011.0	
	Выход результата суммирования	100.0	

а строки будут выражать события, также сгруппированные по циклам.

В третьем случае инвертируется код большего числа и складывается с прямым кодом меньшего (по абсолютной величине). Результат сложения получается отрицательный, выражается обратным кодом. Поскольку код знака, как указывалось, находится перед младшим разрядом числа, необходимо в рассматриваемом случае, как и в предыдущем, в начале цикла, следующего за циклом сложения, подставить на вход сумматора перед кодом суммы код отрицательного знака. В отличие от предыдущего случая здесь импульс переноса из старшего разряда не образуется и код знака на выходе сумматора останется единичным. «1» в разряде знака, определяющая наличие отрицательного результата, должна послужить сигналом для его инвертирования, так как отрицательные числа в машине выражаются прямым кодом. Указанное инвертирование кода результата осуществляется путем пропускания его через сумматор с включенным инвертором в цикле, следующем за сложением.

В качестве примера рассмотрим сложение чисел +2 и -6; их коды соответственно 010.0 и 110.1 (табл. 3).

Таблица 3

	Событие	Время	
		второго цикла	первого цикла
Первый цикл	{ Вход первого числа на ПС Вход второго числа на ПС после инвертирования Выход суммы из ПС		010.0
			+ 001.0
			011.0
Второй цикл	{ Код знака, подаваемый на вход ПС Вход результата первого цикла на ПС после инвертирования Выход результата суммирования	000.1	
		+ 100.0	
		100.1	

Таким образом, во втором и третьем случае операция сложения полностью происходит за два цикла. В первом цикле на входы сумматора подаются коды слагаемых чисел (без знаков), причем код отрицательного числа инвертируется. Во втором цикле на один вход сумматора подается код результата первого цикла, на второй вход — код отрицательного знака. Если при этом с первого цикла во второй переходит код переноса, то на выходе сумматора код знака «0»; возникает циклическая единица, которая суммируется с результатом первого цикла. Если кода переноса нет, на выходе сумматора код знака «1», включается инвертор кода и результат первого цикла инвертируется.

В четвертом случае, когда оба числа отрицательные, наиболее простым оказывается суммирование их прямых кодов, т. е. положительных чисел, но с подстановкой кода отрицательного знака перед младшим разрядом суммы.

В первом и четвертом случае для получения окончательного результата сложения достаточно одного цикла. Однако здесь, как и в остальных случаях, результат первого цикла на выходе сумматора оказывается сдвинутым вправо из-за задержки в сумматоре. Поэтому второй цикл операции сложения используется во втором и третьем случае также для восстановления кода на кодовом месте. В первом же и четвертом случае специально для восстановления кода на кодовом месте и для идентичности операций сложения последние также осуществляются в два цикла, причем во время второго цикла код просто пропускается через сумматор без преобразования (см. ниже).

Можно было бы, применив дополнительные коды для хранения отрицательных чисел, обойтись одним циклом сложения вместо двух. При этом, однако, возникла бы необходимость в дополнительной аппаратуре для преобразования прямых кодов отрицательных чисел в дополнительные и дополнительных кодов результатов этапов подсчета в прямые при выводе их из машины. Вместо второго цикла сложения все равно должна была бы применяться задержка кодов, выходящих из сумматора, для восстановления их на кодовом месте, равная длительности указанного второго цикла операции сложения. Поскольку расчет происходит во время ввода, увеличение его времени на 3,4%, вызванное применением дополнительного цикла операции сложения, в нашем случае несколько не отражается на общем времени решения любой задачи.

Операция умножения состоит из n операций сложения и сдвигов, где n — число разрядов, располагаемых после запятой.

В машине выбран метод сокращенного умножения с подачей множителя со стороны младших разрядов и со сдвигом вправо и сокращением суммы частичных произведений. Такой выбор обусловлен тем, что на последовательный сумматор поступают коды чисел, продвигаясь вперед младшими разрядами, для чего запись кодов на магнитный барабан и соответственно воспроизведение их также осуществляются в последовательности от младших разрядов к старшим.

Алгоритм элементарного i -го цикла умножения выражается формулой

$$c_i = (c_{i-1} + b_i a) 2^{-1}, \quad (34)$$

где c_i — очередная сумма частичных произведений; b_i — очередной разряд множителя («0» или «1»); a — множимое.

В каждом элементарном цикле выполняется сложение результата предыдущего цикла с очередным частичным произве-

дением $b_i a$ и сдвиг полученной суммы вправо, т. е. умножение на 2^{-1} . В первом цикле ($i = 1$) c_{i-1} является нулем. В последнем цикле ($i = n$) c_i представляет собой код произведения. В каждом цикле выделяется очередной разряд множителя. Если этот разряд «0», то $b_i a = 0$ и c_{i-1} складывается с нулем. Как будет показано ниже, ускорение процесса умножения в результате пропуска циклов сложения c_{i-1} с нулем здесь неприменимо ввиду использования в АУ динамических регистров на магнитном барабане. Кроме того, ускорение было бы бесполезным, так как цикл ввода все равно должен быть рассчитан на наибольшее время цикла расчета, поскольку эти циклы совмещены во времени.

Сдвиг и сокращение младших разрядов суммы частичных произведений предотвращают выход влево за располагаемое число разрядов и позволяют накопить код всего произведения в одном динамическом регистре. Полученная при этом ошибка произведения, хотя и не превышает 2^{-n} , всегда отрицательна, т. е. уменьшает величину результата. Поэтому во избежание накопления большой ошибки при подсчете суммы парных произведений, произведение округляется путем прибавления единицы к старшему из сокращаемых младших разрядов во время последнего элементарного цикла операции умножения. Тогда ошибки произведения, находясь в диапазоне $-2^{-(n+1)} < \Delta 2^{-(n+1)}$, будут иметь в среднем в два раза меньшие значения и, что более существенно, разные знаки. При этом накопление ошибок умножения при подсчете суммы парных произведений практически не произойдет.

При отрицательных сомножителях используются их прямые коды. Знак произведения определяется особо путем сложения знаков сомножителей с помощью счетного триггерного каскада.

Для иллюстрации рассмотрим пример умножения двух трехразрядных чисел: 0,875 и 0,625. Множимое выражается кодом — 111.0, множитель — 101.0.

<i>I цикл</i>	
Код разряда множителя, управляющего операцией	1
Код множимого на входе «X» ПС	111
Код частичного произведения на входе «У» ПС	000
Код суммы на выходе ПС	111
Код суммы после сдвига и сокращения (первое частичное произведение)	011
<i>II цикл</i>	
Код разряда множителя, управляющего операцией	0
Код на входе «X» ПС	000
Код частичного произведения на входе «У» ПС	011
Код суммы на выходе ПС	011
Код суммы после сдвига и сокращения (второе частичное произведение)	001
<i>III цикл</i>	
Код разряда множителя, управляющего операцией	1
Код множимого на входе «X» ПС	111
Код частичного произведения на входе «У» ПС	001

Код округляющей единицы на входе «Z» ПС
 Код суммы на выходе ПС
 Код суммы сдвига и сокращения — приближенное значение
 произведения (в пределах трех разрядов)

1
 1001
 100

Принцип работы арифметического устройства

Исходными данными для цикла арифметических операций являются множимое, множитель и частичная сумма. Как указывалось, множимое и множитель поступают в АУ из других устройств машины. Чтобы настоящая сумма могла по мере на-

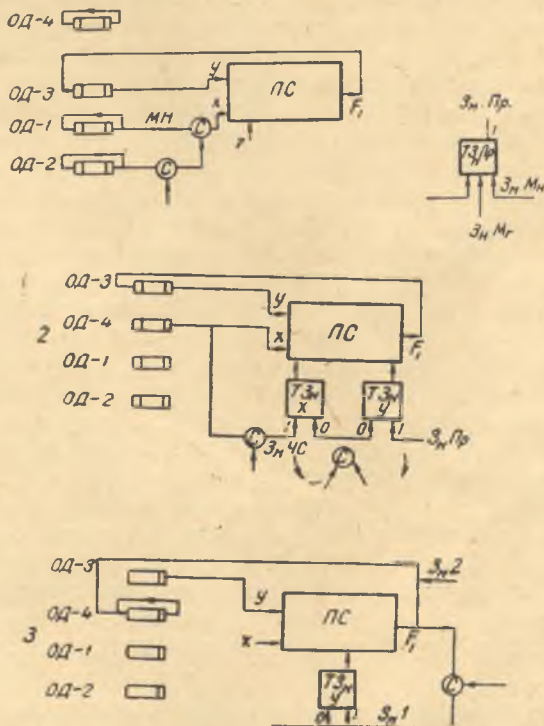


Рис. 55. Схемы коммутации динамических режимов.
 1 — умножение; 2 — первый цикл сложения; 3 — второй цикл сложения.

добности выбираться и записываться без ожидания, код ее хранится в динамическом регистре самого АУ (ОД-4), оставаясь в каждом цикле перезаписи на кодовом месте. Вновь получаемая в цикле арифметических операций частичная сумма заменяет предыдущую вплоть до окончания этапа расчетов, результат которого непосредственно с ОД-4 может быть выведен из машины или зафиксирован в запоминающем устройстве.

Основные связи в АУ при умножении и сложении и последовательность выполнения арифметических операций иллюстрируются схемой коммутации динамических регистров и временной диаграммой работы АУ (рис. 55, 57).

До начала цикла арифметических операций код множимого поступает на оперативную дорожку ОД-1 и перезаписывается на ней без сдвига относительно кодового места. Умножение начинается сразу же после поступления в АУ кода множителя. Код множителя, поступив на ОД-2, перезаписывается со сдвигом на один разряд вправо при каждом цикле перезаписи. В начале цикла перезаписи множителя отбирается следующий его старший разряд, управляющий прохождением множимого на сумматор, в качестве очередного частичного произведения. На второй вход сумматора с оперативной дорожки ОД-3 при этом поступает код предыдущей суммы частичных произведений. С выхода сумматора результат их сложения вновь поступает на ОД-3 и из-за укороченного раствора ее при воспроизведении сдвигается на два разряда вправо, т. е. в сторону опережения, чем компенсируется запаздывание в сумматоре на один импульсный промежуток и осуществляется сдвиг суммы частичных произведений вправо с отбрасыванием младшего разряда. Знак произведения образуется отдельно. Сразу же по получении произведения код его с ОД-3 поступает на сумматор, на второй вход которого одновременно приходит код частичной суммы с ОД-4. Инверторы кодов в сумматоре к моменту начала сложения устанавливаются в положение знаков слагаемых. Результат первого, основного цикла сложения с отставанием на один разряд поступает на ОД-3; отсюда со сдвигом в обратную сторону на два разряда код вновь поступает на вход сумматора. К этому моменту инвертор кода устанавливается в положение знака, образованного в первом цикле. Во время второго, вспомогательного цикла сложения код суммы, задерживаясь в сумматоре на один импульсный промежуток, восстанавливается на кодовом месте и с выхода сумматора записывается на ОД-4 в качестве результата цикла арифметических операций.

Блок-схема арифметического устройства

Блок-схема АУ изображена на рис. 56. На ней указаны только элементы управления операциями; отдельные элементы сумматора и динамических регистров на этой схеме не представлены.

Кодовое место в машине состоит из 34 импульсных промежутков ИПр ($l = 34$). На ИПр-2 фиксируется код знака, на ИПр-3 ÷ ИПр-34 — коды 32 разрядов числа (28 располагаемых разрядов и четыре резервных для случая расширения частичной суммы). ИПр-1 остается свободным и заполняется при сдвиге кода числа (включая и знак) вправо на один ИПр во втором

цикле суммирования, когда сумма поступает с ОД-3 на ПС с упреждением на один ИПр (для компенсации задержки на один импульсный промежуток в сумматере).

Для управления арифметическими операциями по подсчету строк применяются следующие управляющие потенциалы:

- 1) потенциал умножения — ПУМ, действующий во время умножения, за исключением последнего его цикла;
- 2) потенциал окончания умножения — ПОУМ, действующий во время последнего цикла умножения;
- 3) потенциал первого цикла сложения — ПСл-1;
- 4) потенциал второго цикла сложения — ПСл-2;
- 5) потенциал знака — ПЗн, действующий в течение второго импульсного промежутка (от 2-го до 3-го СИБ);
- 6) потенциал дополнения — ПД, действующий в течение первого импульсного промежутка (от 1-го до 2-го СИБ).

Для управления выводом результатов расчетов, контроля порядка величины ΔX и выхода ΔX и X из располагаемого числа разрядов применяются следующие потенциалы:

- 1) потенциал разрешения записи на рабочих дорожках магнитного барабана — ПРЗ;
- 2) потенциал обратного преобразования кодов и вывода — ПОПК (эти потенциалы действуют на протяжении одного цикла);
- 3) потенциалы контроля точности — ПКТ, действующие от 3-го, 10-го, 17-го, 24-го до 35-го СИБ (1-го СИБ следующего цикла);
- 4) потенциал выхода из разрядов — ПВР, действующий от 31-го до 35-го СИБ.

Некоторые из управляющих потенциалов используются не только в функции разрешения, но и в функции запрещения, для чего они поступают в прямом и инвертном виде. Инвертный потенциал обозначается черточкой над наименованием. Вентиль С и многовходовой вентиль с формирователем СФ пропускают импульсы лишь при наличии единичных значений (т. е. высоких уровней) всех подведенных управляющих прямых и инвертных потенциалов (единичные значения инвертные потенциалы принимают при нулевых значениях прямых потенциалов).

Кроме потенциалов, на АУ постоянно поступают такие управляющие импульсы: 1) синхронизирующие импульсы барабана — СИБ; 2) маркирующие импульсы барабана — МИБ; 3) импульсы начала мест на барабане — ИМ. Время одного элементарного цикла арифметической операции является временем между двумя смежными ИМ.

В соответствии с изложенным арифметические операции происходят следующим образом. Код множимого (без кода знака) с регистра коэффициентов на время между двумя ИМ поступает на ОД-1. Код знака множимого по цепи ИЗн поступает на единичную сетку триггера знака произведения ТЗнПр, находившего-

ся перед этим в нулевом положении. На дорожке ОД-1 код множимого перезаписывается, оставаясь на кодовом месте до тех пор, пока потенциал ПОУм не запретит перезапись.

Код множителя с определенного места рабочей дорожки магнитного барабана поступает на ОД-2. Код знака множителя проходит на счетный вход триггера ТЗнПр и устанавливает его в положение знака произведения.

Импульс, определяющий окончание выборки множителя, запуская счетчик в блоке КАО (см. раздел VIII), выдающий потенциалы ПУм, ПОУм, ПСл-1 и ПСл-2, начинает цикл арифметических операций.

На ОД-2 код множителя перезаписывается со сдвигом на один ИПр в сторону опережения; потенциал ПУМ разрешает перезапись. Вентиль C_2 на выходе ОД-2 открывается потенциалом ПЗн и пропускает в начале каждого элементарного цикла умножения во время второго МИБ код следующего старшего разряда множителя на единичный вход триггера ТМт (строки 4, 8, 12, 17 временной диаграммы рис. 57). Возврат ТМт в нулевое положение осуществляется импульсами ИМ. Съём кода с ОД-2 на ТМт начинается с младшего разряда; код знака не снимается. Триггер ТМт, находясь в единичном положении, разрешает прохождение через C_2 кода множимого с ОД-1 на вход «Х» последовательного сумматора (строки 3, 7, 11, 15 временной диаграммы рис. 57). Вход «У» ПС через C_3 постоянно подключен к выходу ОД-3. При первом цикле умножения с ОД-3 ничего не поступает (код нуля), затем в каждом из последующих элементарных циклов умножения с ОД-3 поступают коды частичных произведений, сдвинутых относительно кода множимого на один разряд в сторону опережения, т. е. вправо. Вентиль C_3 управляется потенциалами ПЗн и ПСл-2 через устройство разделения потенциалов РП-2 так, что ПЗн запрещает прохождение кода младшего разряда во время отсутствия ПСл-2; при наличии ПСл-2 запрещение не осуществляется. Таким образом, при умножении, когда ПСл-2 отсутствует, код младшего разряда частичного произведения на выходе ОД-3, совпадающий с МИБ-2 через C_3 не пропускается, т. е. отбрасывается (строки 6, 10, 14, 19 временной диаграммы рис. 57). Непосредственная перезапись на ОД-3 не производится. Выход последовательного сумматора КИС (кодвые импульсы сумматора) во время операции умножения, а также во время первого цикла операции сложения через C_5 подключен на вход ОД-3 (строки 5, 9, 13, 18 временной диаграммы рис. 57). Умножение длится 28 элементарных циклов; 27 циклов определяются потенциалом ПУм, 28-й — потенциалом ПОУм. На 28-ом элементарном цикле умножения на входы «Х» и «Z» ПС через C_6 приходит импульс МИБ-2. Импульс переноса в сумматоре от сложения этих двух импульсов представляет собой код округляющей единицы, поступающей на вход «Z» ПС одновременно с кодами младших

разрядов множимого и частичного произведения (строка 17 временной диаграммы рис. 57). По окончании операции умножения коды на ОД-1 и ОД-2 стираются (запираем вентилей СФ₂ и СФ₃).

Первый цикл операций сложения определяется потенциалом ПСл-1, поступающим на АУ вслед за ПОУм. Во время действия этого потенциала, кроме операции сложения, происходит окончание операции умножения, так как с выхода ПС на ОД-3 проходят коды двух старших разрядов произведения (строка 18 временной диаграммы рис. 57). В начале операции сложения устанавливаются в требуемое положение триггеры знаков чисел ТЗн «Х» и ТЗн «У». На единичный вход ТЗн «Х» через вентиль СФ₅ с ОД-4 приходит код знака частичной суммы; выходные потенциалы триггера управляют инвертором кода ИК «Х» (строки 9, 11, 13 временной диаграммы рис. 58). На триггер ТЗ «У», управляющий инвертором ИК «У», код знака произведения передается с триггера ТЗнПр. Передача кода отрицательного знака осуществляется импульсом СИБ-3, проходящим через вентиль при наличии разрешающего потенциала с ТЗнПр. Указанный импульс устанавливает в единичное положение ТЗн «У» и возвращает в нулевое положение ТЗнПр (строки 6, 7, 10, 12, 14 временной диаграммы рис. 58). Если оба слагаемых (частичная сумма и произведение) отрицательны, их сложение осуществляется как сложение положительных чисел, для чего ТЗн «Х» и ТЗн «У» возвращаются в нулевое положение импульсом МИБ-3, прошедшим через СФ₁₅ (строки 13, 14 временной диаграммы рис. 58). Этот же импульс устанавливает в единичное положение ТЗнПр, с помощью которого затем образуется в этом случае импульс знака (строки 7, 8 временной диаграммы рис. 58). При этом ложный сигнал на выходе ПС из-за кратковременного включения инверторов кода ИК «Х» и ИК «У» не возникает, так как сигналы на выходе инверторов формируются импульсами СИБ, следующими после выключающего инверторы импульса МИБ-3 (строки 13, 14 временной диаграммы рис. 58).

После установки инверторов на входы «Х» и «У» ПС поступают коды слагаемых: на вход «Х» — код частичной суммы с ОД-4 через С-4 и на вход «У» — код произведения с ОД-3 через С₃. Результат первого цикла операции сложения, как и в предыдущих циклах, с выхода ПС проходит на вход ОД-3 через СФ₅, причем из-за запаздывания в ПС последний разряд этого кода проходит уже при следующем цикле во время действия потенциала ПД (строки 19, 20, 21 временной диаграммы на рис. 57). Второй цикл операции сложения определяется потенциалом ПСл-2. В начале его, в случае отрицательной суммы, на выходе сумматора образуется импульс знака, совпадающий с МИБ-2.

При сложении двух отрицательных чисел для образования кода знака используется триггер ТЗнПр, который, находясь

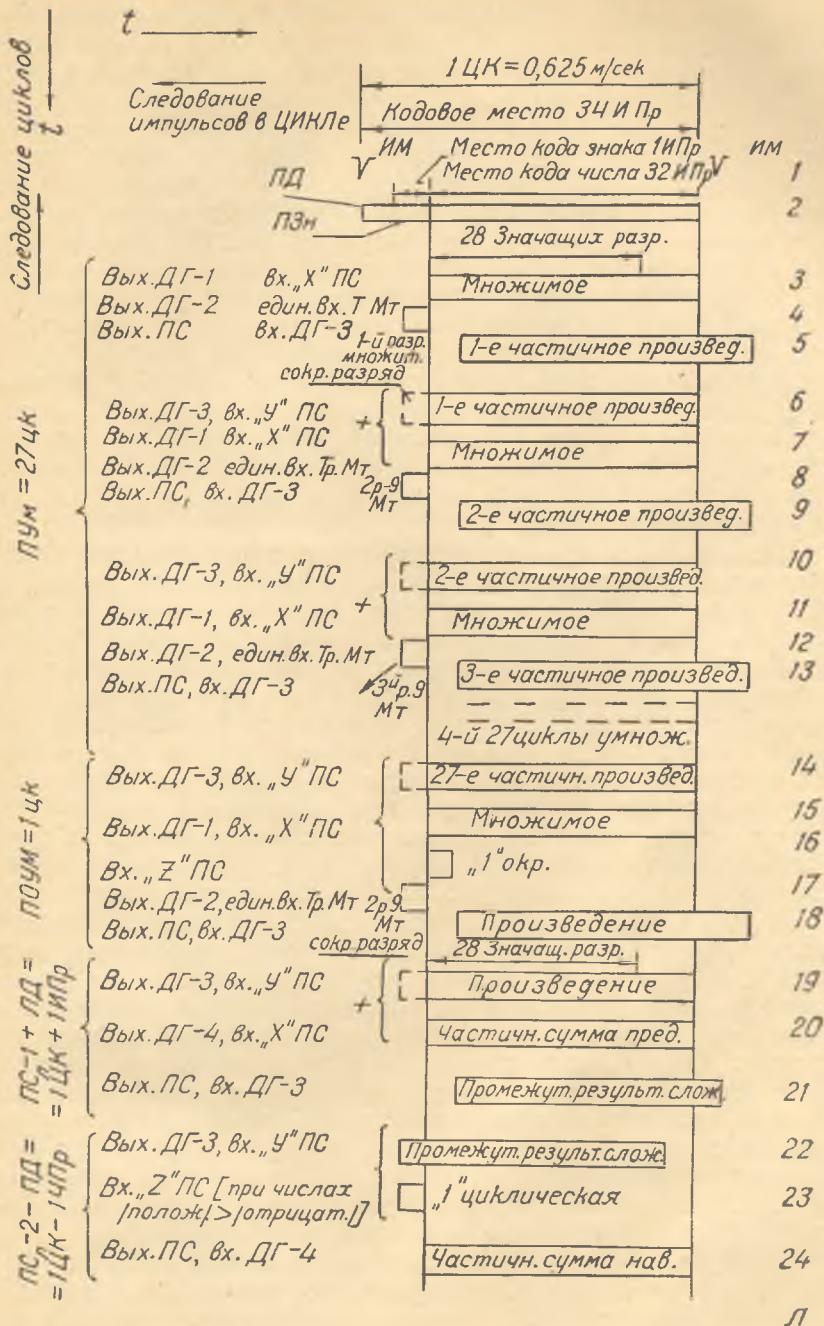


Рис. 57. Временная диаграмма работы арифметического устройства.

этом случае в единичном положении, совместно с потенциалами ПЗн и ПСл-2 разрешает прохождение импульса МИБ-2 через СФ₁₂. Указанный импульс проходит на ОД-4 и записывается там как знак отрицательной суммы, а также возвращает в нулевое положение ТЗнПр (строки 7, 8 временной диаграммы рис. 58). В случае сложения большего отрицательного числа с меньшим положительным не может быть образован импульс переноса от сложения старших разрядов, поступивших на ПС в первом цикле (строки 15, 16 диаграммы рис. 58). В этом случае, поскольку один из инверторов кода включен, на выходе ПС образуется импульс, представляющий собой код отрицательного знака полученной суммы (строки 17, 18 диаграммы рис. 58). Выключение инвертора — возврат триггера знака осуществляется импульсом СИБ-2, прошедшим через СФ₁₆ (строки 9, 10, 11, 12 диаграммы рис. 58). Импульс знака записывается на ОД-4, а также устанавливает в единичное положение ТЗн «У», что необходимо для инвертирования получающегося в рассматриваемом случае обратного кода суммы (строки 11, 12 диаграммы рис. 58).

Наконец, если суммируется большее положительное число с меньшим отрицательным, то от сложения старших разрядов, поступивших на ПС в первом цикле, образуется импульс переноса, поступающий на вход «Z» ПС во втором цикле (строки 19, 20, 21 диаграммы рис. 58). На выходе Зп «Z» импульс переноса совпадает с СИБ-2. Поскольку один из инверторов кода включен, на его выходе во втором цикле также возникает импульс, совпадающий с СИБ-2 (строки 22, 23 диаграммы рис. 58). В результате их сложения на выходе ПС образуется импульс переноса, который как код циклической единицы поступает на вход «Z» ПС одновременно с поступлением на вход «У» младшего разряда результата первого цикла сложения (строки 20, 24 диаграммы рис. 58 и 22, 23 диаграммы рис. 57).

Во время второго цикла сложения код результата первого цикла, сдвинутый на один разряд в сторону опережения, проходит с ОД-3 через С₃ на вход «У» ПС, причем ПСл-2 разрешает прохождение также кода младшего разряда. Прямой код суммы, образованный во втором цикле на выходе сумматора, проходит через СФ₆ на вход ОД-4 и записывается на кодовом месте (строка 24 диаграммы рис. 57). Если инвертор кода ИК «У» был включен (в случае сложения большего отрицательного с меньшим положительным числом), возврат триггера ТЗн «У» осуществляется импульсом ИМ во время действия ПСл-2 (строки 11, 12 диаграммы рис. 58). Записанный на ОД-4 код является результатом всего цикла арифметических операций.

АУ осуществляет контроль порядка величины прироста ΔX . Для этого, в соответствии с выбранным эталонным порядком, один из потенциалов ПКТ ручным переключателем подключается к С₂. Эталонный порядок означает номер двоичного раз-

ряда числа, начиная с младшего разряда, и может принимать значения 0 и 7. Контроль порядка величины прироста заключается в определении наличия единиц в разрядах, старших выбранного эталонного порядка. Импульсы контролируемых старших разрядов во время образования ΔX проходят через СФ₁₈ и ставят в единичное положение триггер контроля точности ТКТ, в результате чего зажигаются две неоновые лампочки. Одна из них зажигается кратковременно всякий раз при сра-

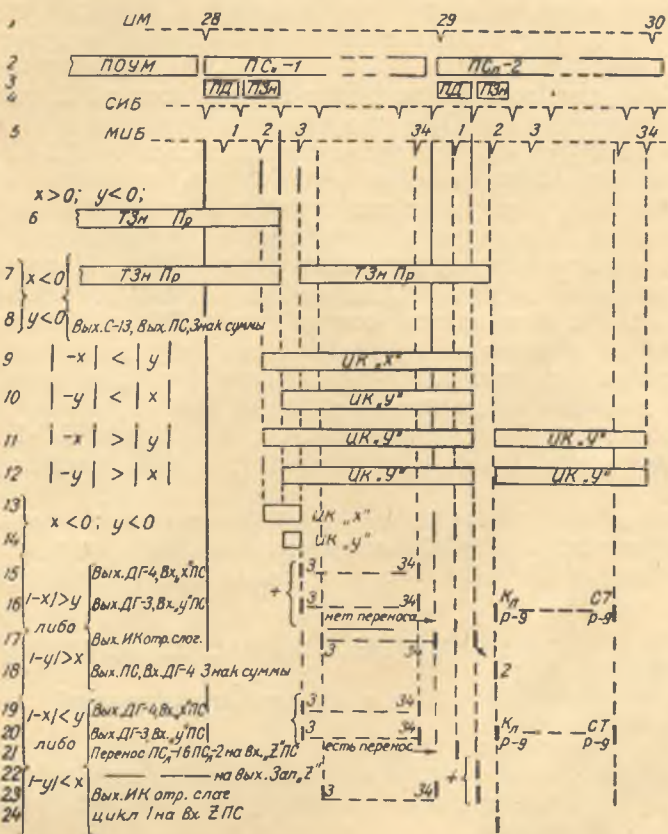


Рис. 58. Временная диаграмма инвертирования кодов, образования знака и циклической единицы.

батывании триггера, другая при первом же срабатывании зажигается постоянно через реле с блокировкой.

В АУ предусмотрен также контроль выхода за располагаемое число разрядов результатов этапов расчета, которые должны быть меньшими единицы. Контроль осуществляется во время выдачи результатов из машины путем пропуска разрядов, вышедших за располагаемое число через СФ₁₇, на еди-

ничный вход триггера ТВР, включающего соответствующую сигнализацию.

В режиме итераций результат подсчета всей строки в качестве нового приближения неизвестного переводится с ОД-4 на соответствующее место рабочего отсека памяти (РДМБ). Потенциал ПРЗ разрешает перевод кода; инвертный потенциал ПРЗ одновременно закрывает СФ₇, в результате чего код на ОД-4 стирается после перевода на РД.

В результате подсчета корреляционных функций подобным образом после окончания каждого цикла арифметических операций переводятся числа с ОД-1 на РД. В этом режиме потенциал ПРЗ, стирающий код после записи его на РД, подключен вместо потенциала ПОУм к цепи управления перезаписью на ОД-1 и отключен от управления перезаписью на ОД-4.

Результат этапа расчета может быть выведен непосредственно из АУ через устройство преобразования кодов и устройство вывода. Операция вывода кода обуславливается потенциалом обратного преобразования кода ПОПК. Код знака отбирается на ОД-4 при помощи СФ₁₀, код самого числа поступает на ОД-2 и выдается оттуда через СФ₄ с частотой ИМ, аналогично выделению очередного старшего разряда множителя при умножении. Такое разрежение кода при выводе требуется для обратного преобразования его в двоично-десятичную систему. Подобным же образом, т. е. через ОД-2, производится выдача кодов и с рабочих дорожек магнитного барабана.

Всего в арифметическом устройстве машины используется 90 электронных ламп, 425 полупроводниковых диодов и 4 полупроводниковых триода (в усилителях воспроизведения).

IX. ВРЕМЕННЫЕ УПРАВЛЕНИЯ

Назначение блоков временных управлений

Блоки временных управлений предназначены для управления последовательностью прохождения всех операций машины, а также управления последовательностью действий в пределах некоторых операций.

Временные управления состоят из трех блоков, которые вырабатывают необходимые для проведения операций потенциалы и импульсы в соответствующие моменты времени.

Коммутатор управления от ленты (КУЛ) предназначен для управления операциями ввода с ленты и преобразованием вводимых кодов из десятично-двоичной системы в двоичную.

Коммутатор управления от барабана (КУБ) формирует импульсы места (ИМ), определяющие кодовые места на магнитном барабане, некоторые потенциалы и импульсы, управляющие арифметическими операциями, нормированные импульсы

для передачи кодов с регистра устройства преобразования кодов на магнитный барабан.

Коммутатор арифметических операций (КАО) управляет арифметическими операциями по подсчету строки и операцией перевода кода выводимых чисел из двоичной системы в двоично-десятичную.

Коммутаторы КУЛ и КАО работают только во время прохождения операций, которыми они управляют.

Коммутатор КУБ работает непрерывно, выдавая управляющие сигналы, которые используются только при прохождении соответствующих операций.

Принципы построения блоков временных управлений

Блоки временных управлений состоят из триггерных счетчиков, диодных устройств совпадения (СП) и разделения (РП) потенциалов и импульсно-потенциальных разрешающих устройств совпадения — вентилей (С, СФ).

Триггерные счетчики отсчитывают количество импульсов, соответствующее циклу работы данного блока; при помощи ди-

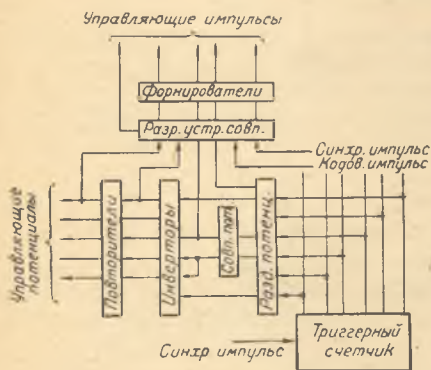


Рис. 59. Типовая структурная схема блока временных управлений.

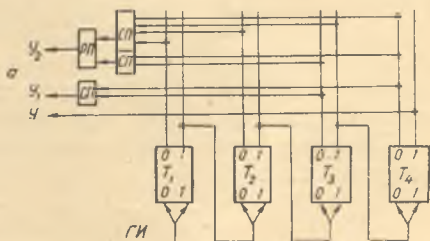


Рис. 60. Четырехразрядный счетчик: а — блок-схема; б — диаграмма работы.

одных устройств совпадения и разделения образуются потенциалы, действующие в определенном интервале времени; управляющие импульсы образуются на выходе импульсно-потенциальных устройств совпадения из серий синхронизирующих импульсов во время действия управляющего потенциала.

Управляющие потенциалы формируются усилителями и катодными повторителями, управляющие импульсы — формирователями.

Типовая структурная схема блока временных управлений изображена на рис. 59.

Методика образования необходимых управляющих потенциальных сигналов заключается в установлении минимума признаков, характеризующих данный сигнал, и выделении этих признаков при помощи логических потенциальных элементов. Под признаком подразумевается определенное состояние данного триггера.

Минимум признаков легко устанавливается по диаграмме работы счетчика-коммутатора. Например, по диаграмме работы четырехразрядного счетчика (рис. 60) для потенциала, действующего от 9-го до 1-го импульса, минимумом признаков является единичное положение четвертого триггера, $Y = X_4$ *. Для потенциала, действующего от 1-го до 5-го импульса, минимум признаков включает: нулевые состояния 3-го и 4-го триггеров, $Y_1 = \overline{X_3} \wedge \overline{X_4}$.

Если на разных участках интервала времени действия данного потенциала признаки, входящие в минимум признаков, разные, то можно минимум признаков образовывать по участкам с последующим объединением их. Например, потенциал, действующий от 1-го до 6-го импульса, представляется формулой

$$Y_2 = (\overline{X_3} \wedge \overline{X_4}) \vee (\overline{X_1} \wedge \overline{X_2} \wedge X_3 \wedge \overline{X_4}).$$

Для экономии аппаратуры в качестве дизъюнктивных и конъюнктивных членов сложных потенциалов могут быть использованы уже ранее образованные потенциалы.

Так, если есть ранее образованный потенциал Y_1 , то Y_2 образуется так:

$$Y_2 = Y_1 \vee (\overline{X_1} \wedge \overline{X_2} \wedge X_3 \wedge \overline{X_4}).$$

Иногда целесообразно получить необходимый потенциал не путем объединения менее длительных потенциалов, а путем запрещения на соответствующем участке действия более длительного потенциала, полученного при помощи малого количества аппаратуры.

Например, потенциал, действующий от 9-го до 16-го импульса может быть образован по формуле

$$Y_3 = \overline{X_4 \wedge X_1 \wedge X_2 \wedge X_3}.$$

Образование потенциала $\overline{X_1 \wedge X_2 \wedge X_3}$ требует применения потенциального инвертора. По известным правилам формула может быть преобразована к виду

$$Y_3 = X_4 \wedge (\overline{X_1} \vee \overline{X_2} \vee \overline{X_3}),$$

что исключает необходимость применения потенциального инвертора.

* Далее везде X_i — потенциал, снимаемый с единичного анода i -го триггера; $\overline{X_i}$ — потенциал на нулевом аноде i -го триггера.

Опишем методы, применяемые для реализации логических соотношений, выраженных предварительно в минимальной форме.

В общем случае каждый потенциал может быть образован двояко.

Первый путь — дизъюнкция конъюнкций. Например,

$$Y = (X_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge X_3) \vee (X_2 \wedge X_3 \wedge \bar{X}_4).$$

Образование потенциала в этом случае требует двух устройств совпадения и одного устройства разделения, причем аноды триггеров подключаются непосредственно ко входам устройств совпадения.

Частным случаем может быть наличие одного конъюнктивно-го члена, для которого достаточно одного устройства совпадения,

$$Y = X_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge X_3.$$

Второй путь для общего случая имеет две формы: 1) дизъюнкция инвертированных дизъюнкций; 2) инвертированная конъюнкция дизъюнкций.

Первая форма, например, описывается следующим образом:

$$Y = (X_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge X_3) \vee (X_2 \wedge X_3 \wedge \bar{X}_4) = \overline{\overline{X_1 \vee X_2 \vee X_3} \vee \overline{\bar{X}_2 \vee \bar{X}_3 \vee X_4}}$$

и реализуется тремя устройствами разделения и двумя инверторами.

Вторая форма, полученная из первой, представляется в виде

$$Y = \overline{\overline{\bar{X}_1 \vee X_2 \vee X_3} \vee \overline{\bar{X}_3 \vee X_2 \vee X_4}} = \overline{(X_1 \vee X_2 \vee \bar{X}_3) \wedge (X_2 \vee \bar{X}_3 \vee X_4)}$$

и реализуется двумя устройствами разделения, одним устройством совпадения и одним инвертором.

Принципиальным отличием обеих форм второго способа от первого является то, что во втором способе аноды триггеров счетчика подключаются к устройствам разделения, а в первом случае — к устройствам совпадения.

В коммутаторах применен второй способ образования потенциальных сигналов. Это объясняется тем, что для образования потенциальных сигналов приходится аноды триггеров подключать к нескольким логическим схемам. Если бы логическими схемами служили устройства совпадения высоких потенциалов (управляющим потенциалом в машине является высокий потенциал), то, исходя из принципов работы и параметров схемы (см. раздел III), нижний уровень управляющих потенциалов от триггеров существенно возрастет в результате прохождения токов потенциальных устройств совпадения (СП) через катодные сопротивления катодных повторителей триггеров.

Подключение же анодов триггеров (после катодного повторителя) к нескольким устройствам разделения высоких потенциалов (совпадение низких потенциалов) приводит только к уменьшению катодного сопротивления катодного повторителя триггера. Изменение его в допустимых пределах мало сказывается на выходном напряжении.

Кроме того, применение блоков потенциальных устройств разделения более желательно, так как они не включают катодных повторителей и имеют большее количество входов, чем блоки потенциальных устройств совпадений.

Применение второго способа образования потенциальных сигналов влечет за собой применение потенциальных инверторов. Однако, поскольку потенциальные инверторы необходимы для образования инвертных управляющих сигналов и для формирования стандартных уровней потенциала, применение второго способа образования потенциалов более целесообразно.

Выбор одной из форм второго способа определяется конкретными условиями проектируемой схемы.

Технические требования к блоку коммутатора управления от ленты

КУЛ управляет операциями ввода с перфоленты в машину кодов числа, знака, адреса и специальных команд, преобразованием кода числа из двоично-десятичной системы в двоичную, а также вырабатывает сигнал об окончании ввода, что определяет начало последующих операций с введенными данными. КУЛ работает циклично, цикл работы — 42 синхронизирующих импульса ленты (СИЛ).

В КУЛ образуются такие управляющие потенциалы и импульсы:

1) потенциалы эквивалентов ПЭ-1—ПЭ-7, которые предназначены для выбора двоичных эквивалентов при переводе кодов из двоично-десятичной системы в двоичную;

2) импульс знака числа ИЗНЛ, соответствующий второму кодовому импульсу (при наличии на ленте пробивки кода знака числа);

3) импульсы кода числа КИЧЛ от 3-го до 30-го кодового импульса (при наличии на ленте пробивок кода числа);

4) импульсы сдвига числа НСИЛ1 от 3-го до 30-го синхронизирующего импульса. Импульсы знака, кода и сдвига числа поступают на устройство преобразования кодов УПК;

5) импульсы кода адреса неизвестного или свободного числа КИАЛ от 31-го до 41-го кодового импульса (при наличии соответствующих пробивок на ленте);

6) импульсы сдвига адреса НСИЛ2 от 31-го до 41-го синхронизирующего импульса. Импульсы кода и сдвига адреса

поступают на регистры адреса — регистр номера дорожки и регистр номера места на дорожке;

7) импульс печати ИПЛ — 42-й кодовый импульс (при наличии соответствующей пробивки на ленте), предназначенный для подготовки операции обратного преобразования кодов и печати результатов;

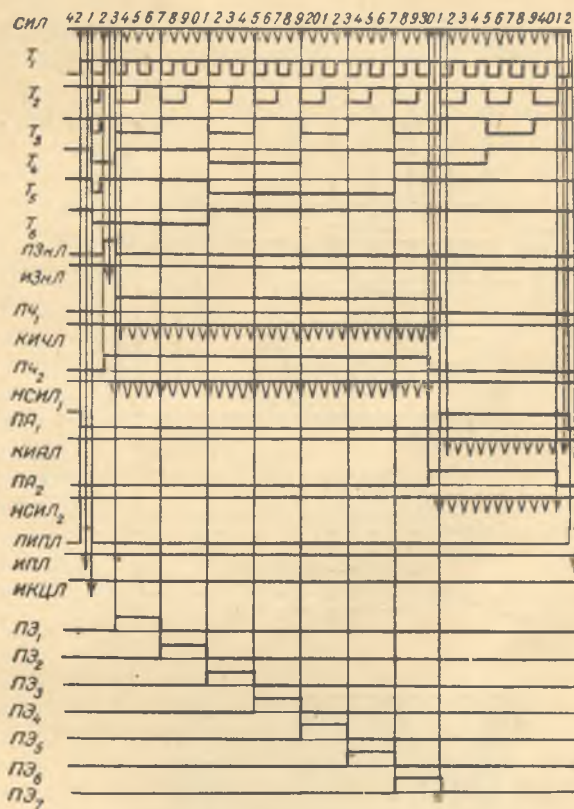


Рис. 61. Временная диаграмма коммутатора управления от ленты (КУЛ).

8) импульс конца цикла ИКЦЛ-1 — синхронизирующий импульс, определяющий окончание ввода с ленты кода предыдущего цикла и передающий управление к импульсам магнитного барабана для выполнения арифметических операций. Предусмотрена возможность работы коммутатора в режиме приверки от пульта.

Временная диаграмма работы блока дана на рис. 61.

Описание схемы и работы блока коммутатора управления от ленты

КУЛ представляет собой шестиразрядный триггерный счетчик по модулю 42, с обратной связью на 2-й, 3-й и 5-й разряды, систему диодных потенциальных устройств (разделения, инверторов и многоходовых импульсно-потенциальных вентилей (рис. 62).

Импульс подготовки запуска устанавливает счетчик в начальное положение (111111). При помощи диодного устройства

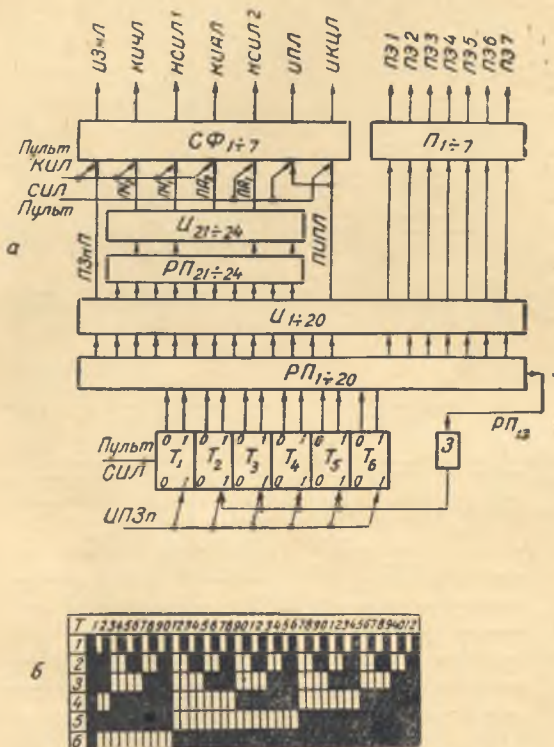


Рис. 62. Коммутатор управления от ленты (КУЛ):
а — блок-схема; б — диаграмма работы счетчика.

разделения $РП_{13}$ образуется управляющий потенциал ПИПЛ, который длится от нулевого (42-го) до первого импульса.

Первый синхронизирующий импульс, поступивший на вход счетчика, изменяет положение триггеров (00000). Положительный перепад потенциала на выходе $РП_{13}$ используется для формирования импульса обратной связи. Через некоторое время запаздывания (0,5 мксек) импульс обратной связи установит счетчик в положение (011010).

В начальное положение счетчик установится после просчета 42 синхронизирующих импульсов, определяющих цикл его работы.

Управляющие потенциалы легко образовывать, пользуясь диаграммой работы триггерного счетчика (см. рис. 62).

Объединяя аноды триггеров при помощи диодных устройств разделения и совпадения потенциалов, можно получить управляющий потенциал, действующий в нужном интервале.

Например, потенциал ПЗиЛ действует в интервале от 2-го до 3-го синхронизирующего импульса ленты.

Объединяя «0» анод 1-го триггера, «1» анод 4-го триггера и «1» анод 6-го триггера при помощи диодного устройства разделения получаем потенциал, который длится от 2-го до 3-го импульса и не повторяется в течении цикла работы счетчика.

На выходе диодных схем совпадения и разделения получаем следующие управляющие потенциалы:

$$\text{ПЗиЛ} (2 \div 3 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_1 = \overline{X_1 \vee X_4 \vee X_6};$$

$$\begin{aligned} \text{ПЧ}_1 (3 \div 30 \text{ СИЛ}) &= \overline{\text{РП}}_2 = \overline{\text{РП}}_2 \vee \overline{\text{РП}}_4 \vee \overline{\text{РП}}_5 \vee \overline{\text{РП}}_6 \vee \overline{\text{РП}}_7 = \\ &= \overline{X_4 \vee X_6 \vee X_5 \vee X_6 \vee X_2 \vee X_4 \vee X_6 \vee X_1 \vee} \\ &\quad \vee \overline{X_2 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_1 \vee X_2 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6}; \end{aligned}$$

$$\text{ПЧ}_2 (2 \div 30 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_{21} = \overline{\text{РП}}_2 \vee \overline{\text{РП}}_3 \vee \overline{\text{РП}}_4 = \overline{X_4 \vee X_6 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_5 \vee X_6};$$

$$\begin{aligned} \text{ПА1} (3 \div 42 \text{ СИЛ}) &= \overline{\text{РП}}_{24} = \overline{\text{РП}}_8 \vee \overline{\text{РП}}_9 \vee \overline{\text{РП}}_{11} = \overline{X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6 \vee} \\ &\quad \vee \overline{X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6 \vee X_1 \vee X_2 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ПА2} (30 \div 41 \text{ СИЛ}) &= \overline{\text{РП}}_{23} = \overline{\text{РП}}_8 \vee \overline{\text{РП}}_9 \vee \overline{\text{РП}}_{10} \vee \overline{\text{РП}}_{12} = \\ &= \overline{X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6 \vee} \\ &\quad \vee \overline{X_2 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6 \vee X_1 \vee X_2 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6}; \end{aligned}$$

$$\text{ПИПЛ} (42 \div 1 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_{13} = \overline{X_1 \vee X_2 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6};$$

$$\text{ПЭ1} (3 \div 7 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_{14} = \overline{X_3 \vee X_5 \vee X_6};$$

$$\text{ПЭ2} (7 \div 11 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_{15} = \overline{X_3 \vee X_6};$$

$$\text{ПЭ3} (11 \div 15 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_{16} = \overline{X_3 \vee X_4 \vee X_5};$$

$$\text{ПЭ4} (15 \div 19 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_{17} = \overline{X_3 \vee X_4 \vee X_5};$$

$$\text{ПЭ5} (19 \div 23 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_{18} = \overline{X_3 \vee X_4 \vee X_5};$$

$$\text{ПЭ6} (23 \div 27 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_{19} = \overline{X_3 \vee X_4 \vee X_5};$$

$$\text{ПЭ7} (24 \div 31 \text{ СИЛ}) = \overline{\text{РП}}_{20} = \overline{X_3 \vee X_4 \vee X_5}.$$

На выходе импульсно-потенциальных схем совпадения образуются управляющие импульсы ИЗиЛ, КИЧЛ, НСИЛ1, КИАЛ, НСИЛ2, ИКЦЛ, ИПЛ.

Технические требования к блоку коммутатора управления от барабана

В блоке коммутатора управления от барабана (КУБ) образуются импульсы ИМ, определяющие кодовые места на барабане, а также потенциалы и импульсы, управляющие арифметическими операциями и выводом из РЭС преобразованного двоичного кода вводимого числа на магнитный барабан.

Коммутатор работает циклично. Цикл работы коммутатора — 34 синхронизирующих импульса, т. е. количество импульсов, определяющих кодовое место на магнитном барабане. За каждый цикл работы в блоке КУБ образуются следующие управляющие потенциалы и импульсы:

1) потенциал дополнительный ПД (прямой и инвертный), действующий от СИБ-1 до СИБ-2;

2) потенциал знака ПЗн (прямой и инвертный), действующий от СИБ-2 до СИБ-3;

3) маркирующий импульс знака МИЗ (2МИБ), образующийся во время действия потенциала ПЗн; потенциалы ПЗн, ПД и импульсы МИЗ поступают в АУ и управляют арифметическими операциями;

4) импульс места ИМ (34 МИБ), поступающий на коммутатор арифметических операций и на управление магнитным барабаном;

5) потенциалы контроля точности ПКТ1 (СИБ-3 ÷ СИБ-35) и ПКТ2 (СИБ-10 ÷ СИБ-35); потенциал вышедших разрядов ПВР (СИБ-31 ÷ СИБ-35).

Потенциалы контроля точности и потенциал вышедших разрядов поступают на устройство контроля точности и служат для контроля порядка прироста неизвестных и для контроля выхода из числа располагаемых разрядов;

6) нормированные маркирующие импульсы барабана (МИБ-8 ÷ МИБ-30).

7) импульс округления ИОкр (МИБ-3 ÷ МИБ-8).

Нормированные импульсы НМИБ и импульсы округления ИОкр поступают на устройство преобразования кодов в качестве импульсов сдвига и округления во время вывода из РЭС преобразованного кода. Временная диаграмма работы блока приведена на рис. 63.

Описание схемы и работы блока

Коммутатор представляет собой шестиразрядный триггерный счетчик по модулю 34 с обратной связью на 2—5-й разряды, систему потенциальных устройств совпадения и разделения инверторов и импульсно-потенциальных вентилях. Блок-схема и временная диаграмма работы КУБ приведены на рис. 63, 64.

Импульсы подготовки запуска машины (с пульта управле-

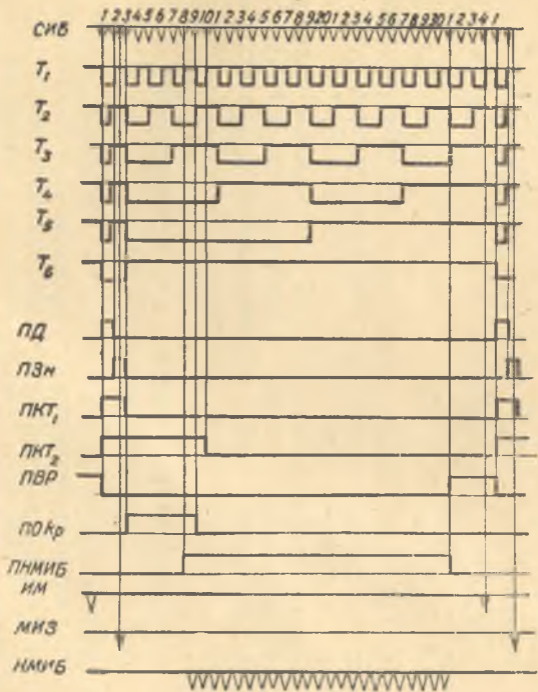


Рис. 63. Временная диаграмма коммутатора управления от барабана (КУБ).

ния при нажатии кнопки подготовка запуска) и импульс начала отсчета ИНО (один раз за оборот магнитного барабана) устанавливают триггеры в положение «1».

Первый импульс СИБ, просчитанный счетчиком, устанавливает счетчик в положение «0» и через некоторое время задержки (0,5 мксек) возвращает 2—5-й триггеры в положение «1» (начальное положение счетчика). После отсчета 34 импульсов счетчик оказывается в начальном положении.

Потенциалы ПД, ПД, ПЗн и ПЗ \bar{n} образуются при помощи двухкаскадного счетчика ТЗн1; ТЗн2. На вход счетчика с диодного устройства разделения потенциалов и формирователя Ф₂ поступает импульс, соответствующий первому СИБ. Импульсом СИБ триггеры счетчика устанавливаются в положение «0». ТЗн1 работает от 1-го СИБ до 2-го СИБ; ТЗн2 работает от 2-го СИБ до 3-го СИБ. Остальные потенциалы образуются на выходе диодных устройств совпадения и разделения потенциалов:

$$\text{ПКТ}_1 = \bar{X}_6;$$

$$\text{ПКТ}_2 = \text{СП}_5 = \text{РП}_5 \wedge \text{РП}_8 = (\bar{X}_4 \vee X_5) \wedge (\bar{X}_1 \vee \bar{X}_2 \vee \bar{X}_3 \vee X_4 \vee X_5);$$

$$\text{ПВР} = \text{СП}_6 = \bar{X}_3 \vee \bar{X}_4 \vee \bar{X}_5 \vee \bar{X}_6;$$

$$\text{ПИМ} = \text{РП}_6 \vee \text{РП}_7 = (X_4 \vee X_5 \vee X_6) \vee (X_1 \vee X_2 \vee X_3);$$

$$\text{РП}_7 = \bar{X}_1 \vee \bar{X}_2 \vee \bar{X}_3 \vee \bar{X}_4 \vee X_5 \vee X_6;$$

$$\begin{aligned} \text{ПНИМБ} = \text{РП}_9 &= \overline{\text{РП}_1} \vee \overline{\text{РП}_2} \vee \overline{\text{РП}_3} \vee \overline{\text{РП}_4} \vee \overline{\text{РП}_5} = (\bar{X}_4 \vee X_5) \vee \\ &\vee (\bar{X}_1 \vee X_2 \vee \bar{X}_3 \vee X_4 \vee X_5) \vee (\bar{X}_2 \vee \bar{X}_3 \vee X_4 \vee X_5) \vee \\ &\vee (X_3 \vee \bar{X}_4 \vee \bar{X}_5) \vee (X_4 \vee X_5); \end{aligned}$$

$$\text{ПОкр} = \text{СП}_3 = \overline{\text{РП}_9} \vee X_6 \vee \text{РП}_6.$$

Импульс ИМ(34 МИБ) образуется во время действия потенциала, сформированного при помощи диодных устройств совпадения и разделения потенциалов РП₆ и РП₇.

Нормированные импульсы НМИБ и импульсы округления ИОкр образуются на выходах многоходовых импульсно-потенциальных вентилях СФ во время действия управляющих потенциалов. Предусмотрена проверка работы КУБ от пульта.

Технические требования к блоку коммутатора арифметической операции

Блок коммутатора арифметических операций вырабатывает управляющие потенциалы и импульсы, обеспечивающие выполнение арифметических операций в необходимой последовательности. Коммутатор арифметических операций также управляет операцией преобразования кодов из двоичной системы в двоично-десятичную. Коммутатор работает циклично; цикл работы — 30 ИМ. За время одного цикла в коммутаторе

вырабатываются следующие управляющие потенциалы и импульсы:

1) потенциал умножения ПУМ (прямой и инвертный), обеспечивающий выполнение операции умножения; начинается от импульса окончания выборки числа и заканчивается 27-м импульсом места, т. е. управляет получением 27 частичных произведений за 27 циклов (см. описание выполнения арифметических операций);

2) потенциал окончания умножения ПОУМ (прямой и инвертный), действующий во время последнего, 28-го, цикла умножения. Во время этого потенциала происходит округление результата умножения. Потенциал ПОУМ длится от 27 до 28 ИМ;

3) потенциал сложения ПСл-1 (прямой и инвертный), обеспечивающий выполнение одного цикла операции сложения. Во время этого потенциала происходит также завершение операции умножения. Действует в интервале от 28 до 29 ИМ;

4) потенциал сложения ПСл-2, управляющий образованием кода знака суммы и восстановлением кода суммы на кодовом месте. Потенциалы ПУМ, ПОУМ, ПСл-1, ПСл-2 (прямые и инвертные) подаются на блок управления операциями последовательного сумматора;

5) потенциал обратного перевода кода ПОПК (прямой и инвертный), управляющий операцией преобразования кода из двоичной системы в двоично-десятичную. Действует от ИПЛ (42 КИЛ) до 28 ИМ;

6) импульс цифрпечати ИЦП (соответствует 28 ИМ при наличии потенциала обратного преобразования кода), управляющий цифрпечатающим устройством после окончания перевода кодов;

7) нормированные импульсы места НИМ — от ИПЛ до 27 ИМ, предназначенные для формирования импульсов сдвига при операции обратного преобразования кодов;

8) нормированные импульсы знака НМИЗ — от ИПЛ до 28 МИЗ, управляющие формированием переносов (являются импульсами коррекции) при операции обратного преобразования кодов.

Потенциал ПОПК и импульсы НИМ и НМИЗ поступают в устройство преобразования кодов.

Временная диаграмма работы блока приведена на рис. 65.

Описание схемы и работы блока коммутатора арифметических операций

Коммутатор арифметических операций представляет собой пятиразрядный счетчик, систему диодных потенциальных устройств разделения, инверторов и вентилях. В состав коммутатора входят два триггера, образующих потенциалы уп-

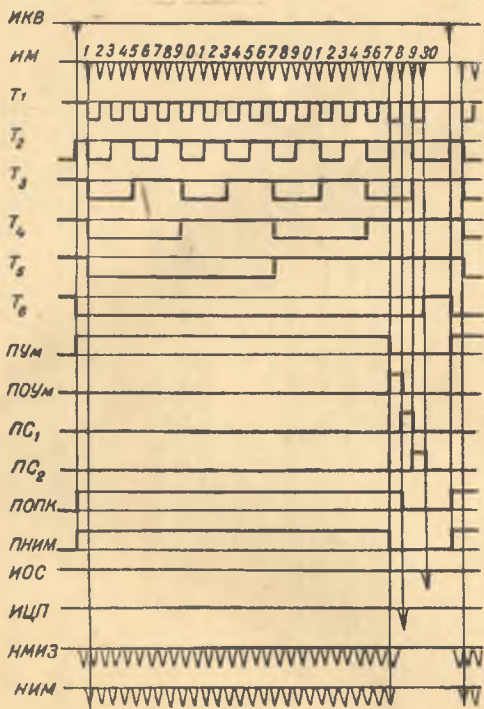


Рис 65. Временная диаграмма коммутатора арифметических операций (КАО).

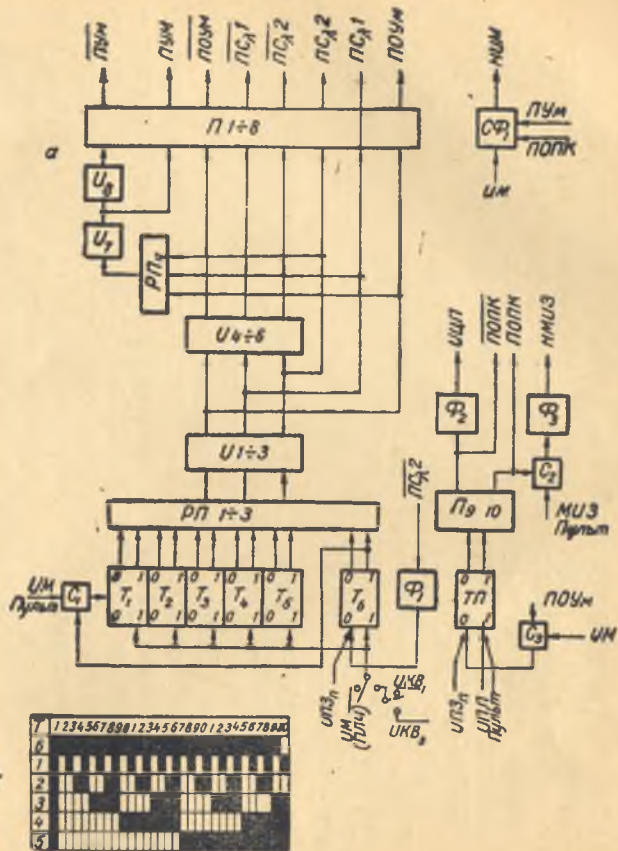


Рис. 66. Коммутатор арифметических операций (КАО).
 а — блок-схема; б — диаграмма работы счетчика.

равления T_6 и ТП. Блок-схема коммутатора приведена на рис. 66.

Коммутатор работает следующим образом. Импульс подготовки запуска машины ИПЗп устанавливает T_6 КАО в положение кода «0». Единичный анод триггера управляет устройством совпадения C_1 , которое разрешает поступление импульсов ИМ на вход счетчика. Когда T_6 находится в положении «0», C_1 закрыты и импульсы на вход счетчика не поступают.

После выборки числа с магнитного барабана импульс окончания выборки ИКВ устанавливает все триггеры счетчика в положение «1», а триггер T_6 — в положение «0», C_1 пропускают импульсы ИМ на вход счетчика. После того как счетчик отсчитывает 30 импульсов места, импульс ИМ сформированный с задержкой, устанавливает триггеры счетчика в положение «1», а триггер T_6 — в положение «0». Поступление ИМ на вход счетчика прекращается. Счетчик не будет работать до поступления следующего импульса конца выборки.

Потенциалы ПУМ, ПОУМ, ПСл-1, ПСл-2 образуются на выходе диодных устройств деления:

$$\text{ПОУМ} = \overline{\text{РП}}_1 = X_1 \vee \overline{X_2} \vee \overline{X_4} \vee \overline{X_5};$$

$$\text{ПСл}_1 = \overline{\text{РП}}_2 = \overline{X_1} \vee \overline{X_2} \vee X_3 \vee \overline{X_4} \vee \overline{X_5};$$

$$\text{ПСл}_2 = \overline{\text{РП}}_3 = X_1 \vee X_2 \vee \overline{X_3} \vee \overline{X_4} \vee \overline{X_5};$$

$$\text{ПУМ} = \overline{\text{РП}}_4 = \overline{\text{РП}}_1 \vee \overline{\text{РП}}_2 \vee \overline{\text{РП}}_3 \vee \overline{X_6}.$$

Прямые и инвертные потенциалы формируются при помощи усилителей и катодных повторителей.

Потенциал обратного преобразования кодов образуется при помощи ТП. Импульсы НИМ, НМИЗ образуются при помощи импульсно-потенциальных вентилях и формируются формирователями.

Предусмотрена работа коммутатора в режиме проверки.

Х. УСТРОЙСТВО ВЫВОДА И ПЕЧАТИ

Принцип работы и структурная схема устройства вывода и печати

Устройство вывода и печати (УВП) служит для фиксации чисел, выражающих промежуточные величины или конечные результаты расчетов.

Как известно, для подготовки к выводу числа преобразуются из двоичной системы в промежуточную — двоично-десятичную систему — и фиксируются на регистре РЭС. Устройство вывода и печати осуществляет дальнейшее преобразование чисел в десятичную систему и записывает их с помощью печатающей машинки на бумажной ленте.

На рис. 67 приведена структурная схема устройства, состоящего из трех узлов: дешифратора, цифropечатающей машинки и блока управления.

Цикл вывода начинается по сигналу импульса цифровой печати (ИЦП), возникающему в конце потенциала обратного преобразования кода (ПОПК), т. е. непосредственно после того, как на РЭС установится двоично-десятичный ход выводимого числа. При поступлении ИЦП на блок управления последний выдает на дешифратор потенциал управления, при

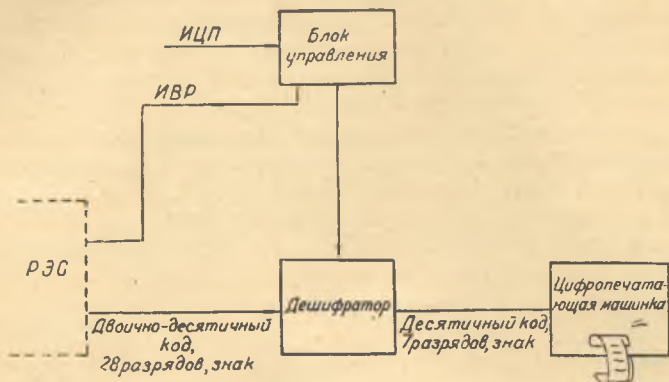


Рис. 67. Структурная схема устройства вывода и печати.

помощи которого осуществляется подсоединение дешифратора к регистру РЭС. Код числа на выходе дешифратора, выраженный уже в десятичной системе, управляет клавишами цифropечатающей машинки и отпечатывается. Одновременно с началом работы цифropечатающей машинки код в РЭС гасится импульсами возврата регистра (ИВР), выдаваемыми блоком управления.

Полный цикл работы УВП занимает 0,7 сек., из которых 0,6 сек. приходится непосредственно на процесс печати.

Управление цифropечатающей машинкой

В качестве цифropечатающего устройства в лабораторном образце машины используется счетная машинка «Континенталь» с отключенным суммирующим механизмом.

Для автоматического набора кода и управления машинкой над клавишами цифр, клавишей знака и клавишей включения двигателя установлено 65 электромагнитных толкателей. Для наилучшего использования места все толкатели собраны в одном блоке.

Общие верхнее и нижнее основания соединены стержнями, между которыми размещены катушки с нижним неподвижным и верхним подвижным сердечниками внутри (рис. 68). Через

осевое отверстие нижнего сердечника проходит тонкий латунный стержень, опирающийся на клавишу и передающий ей движение от верхнего сердечника при включении катушки.

Основания изготовлены из малоуглеродистой стали, стержни и сердечники из стали армко. Таким образом составляется магнитная цепь с воздушным зазором между неподвижным и подвижным сердечниками, равным величине хода клавиши машинки (7 мм).

Толкатели, хорошо работающие на постоянном и переменном токе, питаются обычно от сети переменного тока во избежания толчков на источники питания машины.

Дешифратор

Дешифратор преобразовывает двоичный код каждого десятичного разряда числа в десятичный код. Задача сводится к тому, чтобы каждой из десяти комбинаций значений четырех двоичных разрядов (которыми выражен каждый десятичный разряд) на входе соответствовала одна из десяти электрических цепей (выражающих цифры десятичной системы) на выходе.

Если обозначить через X_1, X_2, X_3, X_4 входные переменные (двоичных разрядов) дешифратора одного десятичного разряда, то выходные его функции $Y_0, Y_1, Y_2, \dots, Y_9$ запишутся так:

$$\begin{aligned}
 Y_0 &= \bar{X}_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge \bar{X}_4 \\
 Y_1 &= X_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge \bar{X}_4 \\
 Y_2 &= \bar{X}_1 \wedge X_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge \bar{X}_4 \\
 Y_3 &= X_1 \wedge X_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge \bar{X}_4 \\
 Y_4 &= \bar{X}_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge X_3 \wedge \bar{X}_4 \\
 Y_5 &= X_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge \bar{X}_4 \\
 Y_6 &= \bar{X}_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge \bar{X}_4 \\
 Y_7 &= X_1 \wedge X_2 \wedge X_3 \wedge \bar{X}_4 \\
 Y_8 &= \bar{X}_1 \wedge \bar{X}_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge X_4 \\
 Y_9 &= X_1 \wedge X_2 \wedge \bar{X}_3 \wedge X_4
 \end{aligned}$$

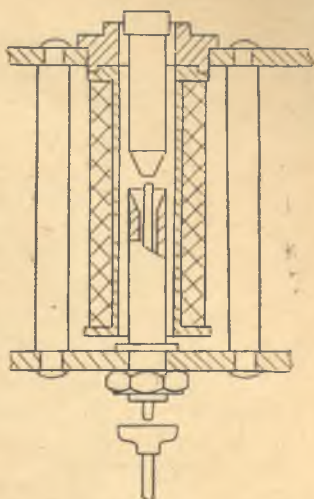


Рис. 68. Толкатель клавиши цифрорпечатывающей машинки.