ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Сборник трудов
1965 г. Института математики СО АН СССР Выпуск 16

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА ПОРОГОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

В.А. Скоробогатов

Общее определение вычислительной среды и исследование её основных свойств дано в работах [1],[2].

В данной работе исследуются особенности построения вычислительной среды на пороговых элементах в обычном (не микроминиатюрном) исполнении и приводится модель, которая является частным случаем двумерной вычислительной среды с фиксированной настройкой; показывается возможность реализации различных схем вычислительных машин при относительно небольших затратах элементов, используемых для связи.

1°. Определение элемента вычислительной среды

Назовем переменные $x_i \in \{0,1\}$, $i = 1,2,3,4$, информационными входными переменными; переменные $z_i \in \{0,1\}$, $i=1,2,3,4$, информационными выходными переменными; $y_{ij} \in \{0,1\}$, $i=1,2,3,4$, $j=1,2$, — управляющими входными переменными и $y_{ij} \in \{0,1\}$, $i=1,2,3,4$, $j=3,4$, — управляющими выходными переменными.

Пусть элементы, выполняющие функции конъюнкции $(\&)$, дизъюнкции $(\vee)$ и отрицания $(\bar{\ })$, а также пороговый элемент $P_2(u)$ с порогом 2 от восьми переменных, функция которого определяется следующим образом:

$$P_2[u_{ij}(t+\delta)] = Sn\,T = Sn\left[\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2} u_{ij}(t) - 2\right]. \qquad \text{(I)}$$

(δ - задержка);

$$Sn\,T = \begin{cases} 1 & \text{при } T \geqslant 0, \\ 0 & \text{при } T < 0, \end{cases} \qquad (2)$$

(t принимает дискретные значения 0,I,2,...). Обозначим через $E_{k\ell}$ элемент двумерной вычислительной среды (k,ℓ - координаты элемента).Тогда этот элемент описывается системой уравнений:

$$\begin{gathered} u_{ij}(t) = x_i(t) \,\&\, y_{ij}(t), \\ P_2[u_{ij}(t+\delta)] = Sn\left[\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2} u_{ij}(t) - 2\right], \\ W_1(t) = P_2[u_{ij}(t)], \\ W_2(t) = \overline{P}_2[u_{ij}(t)], \\ z_i(t) = [W_1(t) \,\&\, y_{i3}(t)] \vee [W_2(t) \,\&\, y_{i4}(t)], \end{gathered} \qquad (3)$$

где $i = 1,2,3,4,\quad j = 1,2$.
Логическая схема элемента среды приведена на рис. I.

2°. Свойства элемента $E_{k\ell}$.

Из определения элемента $E_{k\ell}$ среды вытекают следующие его свойства:

I. Если некоторое количество переменных u_{ij}, равных тождественно нулю, равно числу τ и если $8-\tau<2$, то

$$P_2(u_{ij}) \equiv 0. \qquad (4)$$

2. Если любая из переменных u_{ij} тождественно равна единице, то

$$P_2(u_{ij}) = P_1(u_{ij}). \qquad (5)$$

ПРИМЕР: $P_2(u_{11}, 1, u_{21}, \ldots, u_{42}) = P_1(u_{11}, u_{21}, \ldots, u_{42})$.

3. Если некоторое количество переменных u_{ij} тождественно равных единице, равно числу τ и если $\tau \geqslant 2$, то

$$P_2(u_{ij}) \equiv 1. \qquad (6)$$

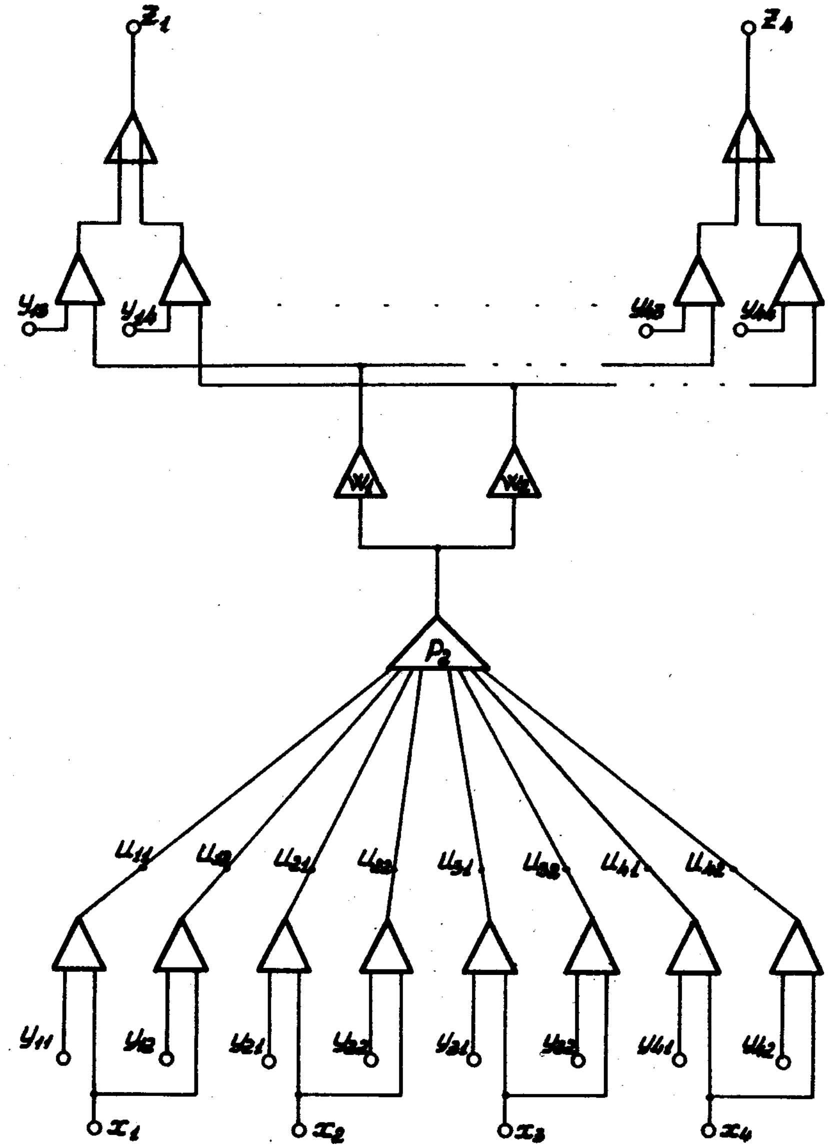


Рис. 1. Логическая схема элемента среды.

4. U_{ij} может принимать значения либо 0, либо x_i.

5. Z_i может принимать значения $0, 1, P_2, \bar{P}_2$.

6. В элементе среды $E_{k\ell}$ реализуется полная система элементарных автоматов.

Действительно, пусть

$$Y_{11}=Y_{12}=Y_{34}=1 \quad \text{или}$$
$$Y_{21}=Y_{22}=Y_{44}=1.$$

Тогда соответственно

$$\left.\begin{array}{r} z_3(t+\delta)=\bar{x}_1(t) \\ \text{или} \quad z_4(t+\delta)=\bar{x}_2(t) \end{array}\right\} \qquad (7)$$

Пусть $Y_{11}=Y_{21}=Y_{34}=Y_{44}=1$, тогда

$$z_3(t+\delta)=z_4(t+\delta)=x_1(t)\,\&\,x_2(t). \qquad (8)$$

Таким образом, в элементе среды выполняется набор функций конъюнкции, отрицания, задержки, удовлетворяющий требованию автоматной полноты.

7. В элементе среды $E_{k\ell}$ реализуются соединительные симметрические четырехполюсные элементы P, O.

Действительно, пусть паре переменных x_i, z_i соответствует полюс $a_i, i=1,2,3,4$, тогда легко заметить, что в элементе $E_{k\ell}$ реализуется соединительный элемент P с матрицей смежности

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{cccc} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \end{array} \\ \begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{array} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

и элемент O с матрицей смежности

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{cccc} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \end{array} \\ \begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{array} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

8. В элементе $E_{k\ell}$ не может быть реализован соединительный симметрический четырехполюсный элемент D с матрицей смежности

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{cccc} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \end{array} \\ \begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{array} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

Из свойств 7,8 следует, что элемент среды $E_{k\ell}$ не удовлетворяет требованию полноты соединительных элементов.

Введем понятие регулярных и нерегулярных связей.

Под регулярной связью в вычислительной среде будем понимать путь между Z_i выходом (x_i входом) элемента E_{cd} и входом x_i (выходом Z_i) элемента $E_{k\ell}$, составленный из элементов среды, выполняющих функции соединительных элементов.

Под нерегулярной связью будем понимать путь между Z_i выходом элемента E_{cd} и Z_j выходом элемента $E_{k\ell}$, полученный путем прямого отождествления выходных полюсов Z_i и Z_j, при этом определенные выходы Z_i одного из этих элементов должны быть отключены (то есть $y_{ij}=0$, $i=1,2,3,4$, $j=3,4$).

9. Элементы среды при нерегулярных связях удовлетворяют требованию полноты соединительных элементов.

3°. Вычислительная среда на пороговых элементах

Под вычислительной средой на пороговых элементах с фиксированной настройкой будем понимать двумерную решетку, в которой

1) узлами являются элементы $E_{k\ell}$;

2) входы x_i и выходы Z_i элемента $E_{k\ell}$ отождествляются соответственно с выходами Z_j и входами x_j соседних элементов в данной системе координат;

3) значения Y_{ij} элемента $E_{k\ell}$ остаются неизменными в процессе решения задачи;

4) допускается применение нерегулярных связей.

Схема вычислительной среды приведена на рис. 2.

Чтобы определить программу среды, введем матрицу настройки $Y_{k\ell}$ элемента $E_{k\ell}$, образованную управляющими входными и выходными переменными:

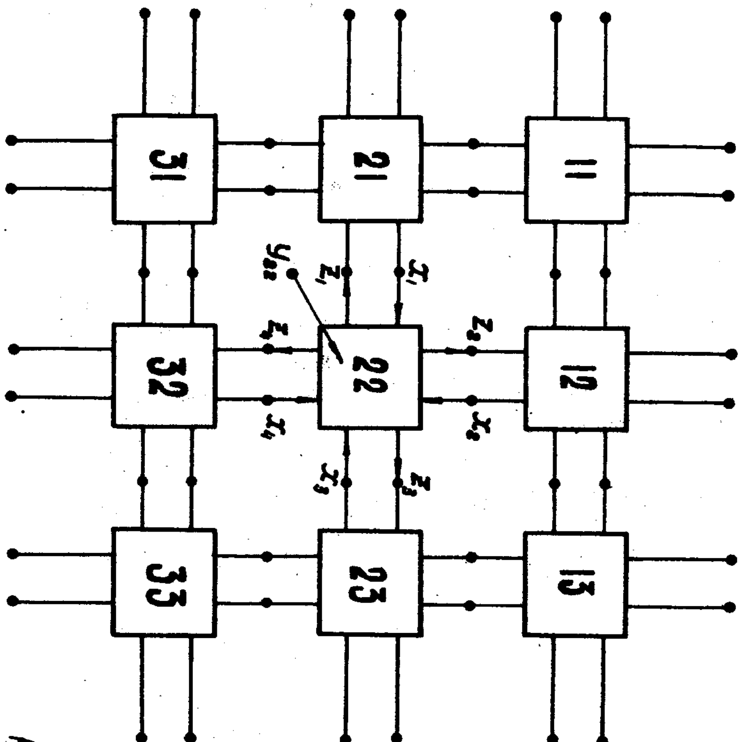


Рис. 2
Блок-схема вычислительной среды с фиксированной настройкой.

$$Y_{k\ell} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & y_{34} \\ y_{41} & y_{42} & y_{43} & y_{44} \end{pmatrix} \qquad (9)$$

Матрицу, составленную из матриц $Y_{k\ell}$, назовем программой настройки вычислительной среды

$$Q = \begin{pmatrix} Y_{11}, & Y_{12}, & \dots, & Y_{1N} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ Y_{N1}, & Y_{N2}, & \dots, & Y_{NN} \end{pmatrix} \qquad (10)$$

Обозначим через S список нерегулярных связей, в котором связь между выходами z_i и z_j соответственно элементов $E_{k\ell}$ и E_{pq} запишем через

$$k\ell(z_i) — pq(z_j).$$

Нетрудно видеть, что для того, чтобы задать некоторую схему вычислительной машины в среде с фиксированной настройкой, достаточно задать программу настройки Q и список нерегулярных связей S.

4°. Примеры реализации схем вычислительных машин в вычислительной среде с фиксированной настройкой

ПРИМЕР I. Настройка триггера.

Участок среды, настроенный на работу триггера с двумя вентильными входами показан на рис. 3, функциональная схема триггера – на рис. 4.

ПРИМЕР 2. Настройка регистра.

Логическая схема регистра приведена на рис. 5; схема реализации в среде – на рис. 6; программа настройки среды и список нерегулярных связей – на рис. 7.

Функциональная схема разряда сумматора приведена на рис. 8.

ПРИМЕР 3. Настройка среды на работу двоичного параллельного сумматора функционального типа с каскадным переносом.

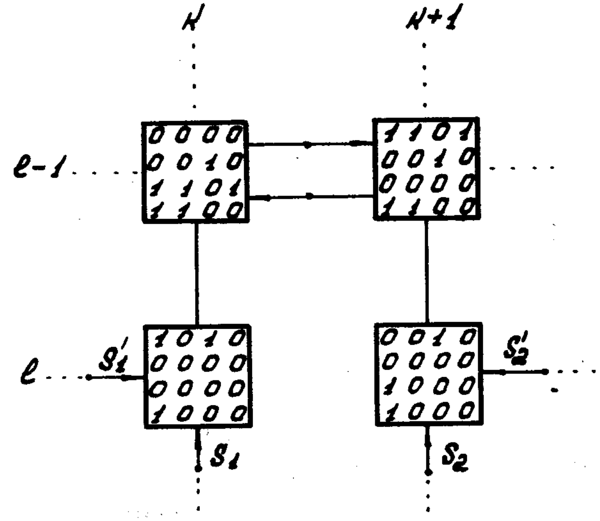


Рис. 3. Участок среды, настроенный на работу триггера.

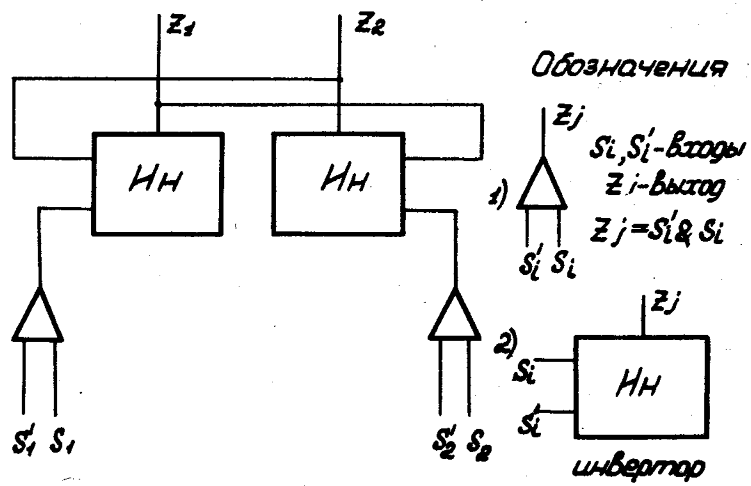


Рис. 4. Функциональная схема триггера

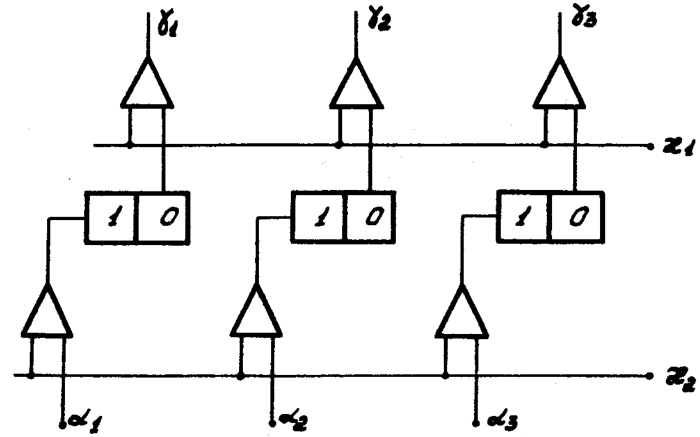


Рис. 5. Функциональная (логическая) схема регистра. $\{\alpha_1\alpha_2\alpha_3\}$-число, $\{\gamma_1\gamma_2\gamma_3\}$-содержимое регистра в обратном коде. X_1-сигнал разрешения выдачи содержимого регистра, X_2-сигнал разрешения приема на регистр.

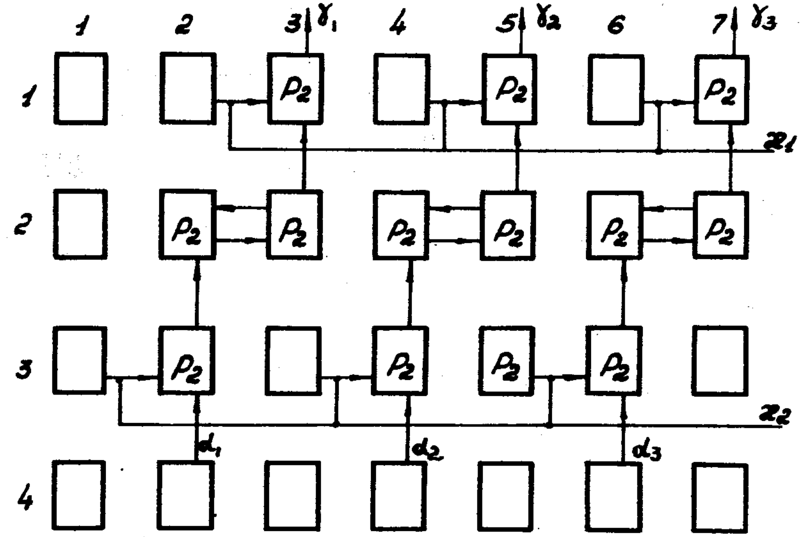
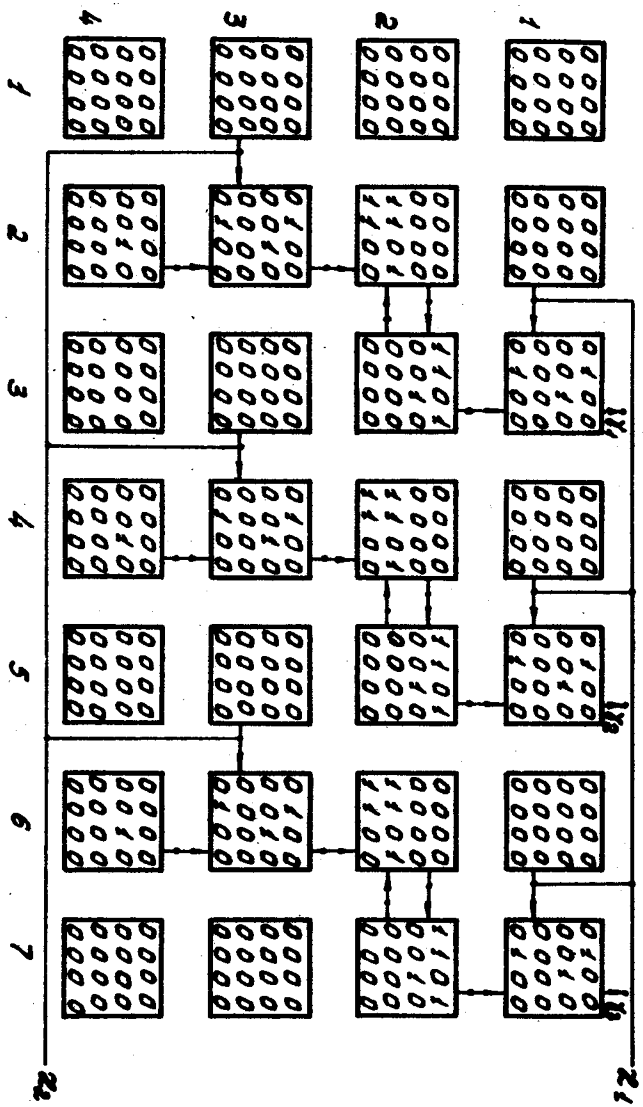
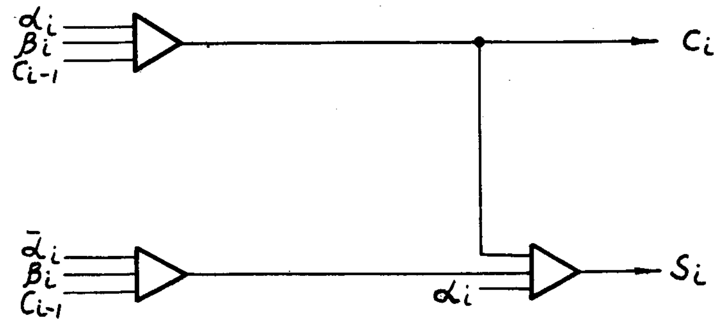


Рис. 6 Функциональная схема регистра, расположенная в среде.



Список нерегулярных связей	
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]

Рис. 7. Программа настройки регистра.



$\alpha_i \in A = \{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n\}$
$\beta_i \in B = \{\beta_1, \beta_2, \ldots \beta_n\}$ слагаемые

C_i - перенос из i-го разряда

$C_i = P_2(\alpha_i, \beta_i, C_{i-1})$

S_i - сумма в i-ом разряде.

$S_i = P_2(C_i, \alpha_i, P_2(\bar{\alpha}_i, \beta_i, C_{i-1}))$

Рис. 8

Схемы реализации сумматоров в среде и программа настройки среды приведены соответственно на рис. 9 и 10.

ПРИМЕР 4. Настройка дешифратора (ДШ 3х8), имеющего три входа и восемь выходов. Логическая схема дешифратора приведена на рис. 11; схема реализации дешифратора в среде – на рис. 12; программа настройки среды – на рис. 13; список нерегулярных связей приводится ниже:

11 (z_3) – 53 (z_1)
15 (z_1) – 54 (z_3)
23 (z_1) – 56 (z_1)
23 (z_1) – 82 (z_2)
24 (z_3) – 51 (z_3)
24 (z_3) – 85 (z_2)
31 (z_3) – 74 (z_3)
36 (z_1) – 73 (z_1)
43 (z_4) – 84 (z_2)
44 (z_4) – 83 (z_2)

Итак, примеры показывают, что при реализации схем вычислительных машин в вычислительной среде с фиксированной настройкой не происходит существенного увеличения оборудования за счет соединительных элементов. Если один логический элемент схемы реализуется одним элементом среды, то число избыточных элементов будет

$$\leqslant K \cdot S,$$

где K – число входов элемента среды,
S – число элементов в логической схеме, которая подлежит реализации.

Литература

1. Евреинов Э.В. О микроструктуре элементарных машин вычислительной системы. Сб. Вычислительные системы, вып.4, 1962 г., Новосибирск Изд-во Института математики СО АН СССР.
2. Евреинов Э.В. Теоретические основы построения универсальных вычислительных сред. (Данный сборник).

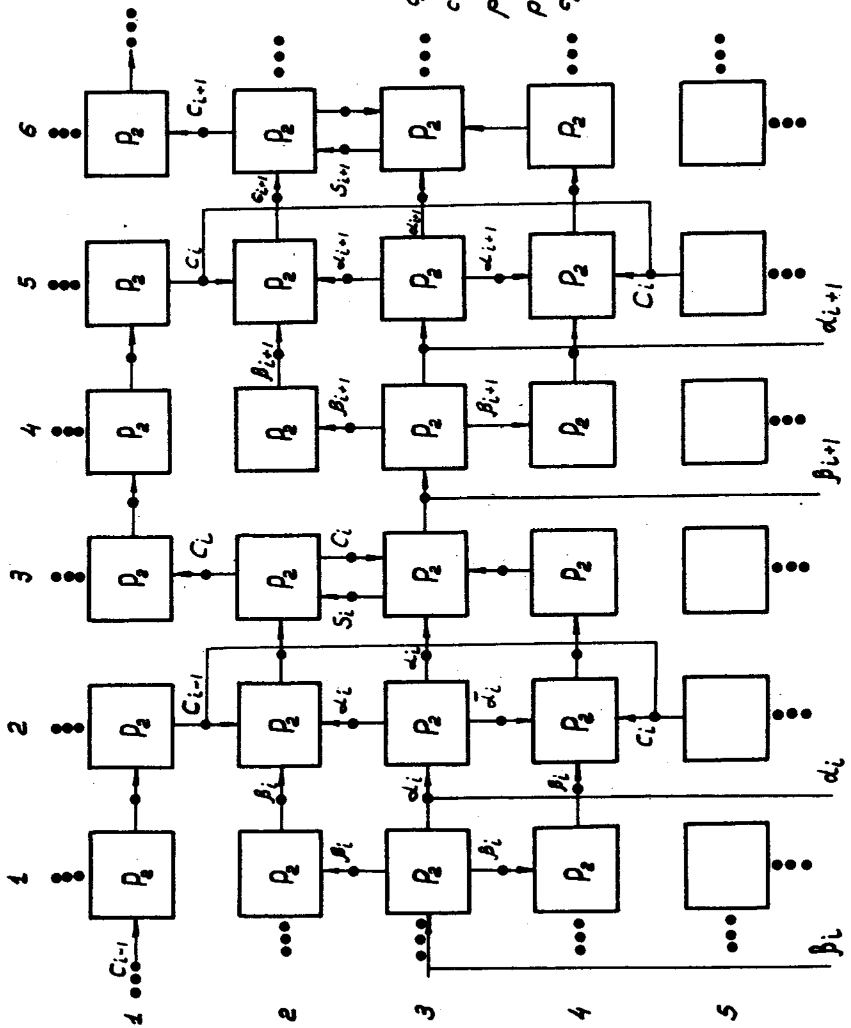


Рис.9 Функциональная схема 2х разрядов сумматора (реализация в среде)

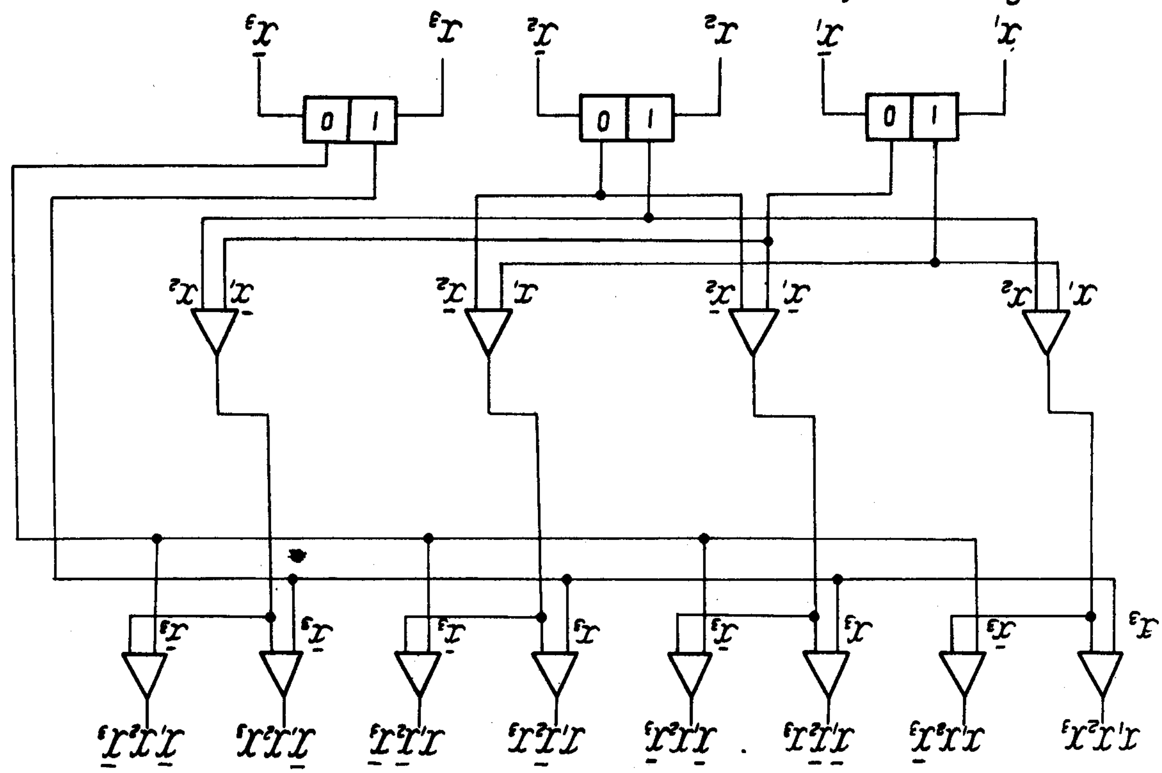


Рис. 11 Логическая схема дешифратора ДШ 3×8

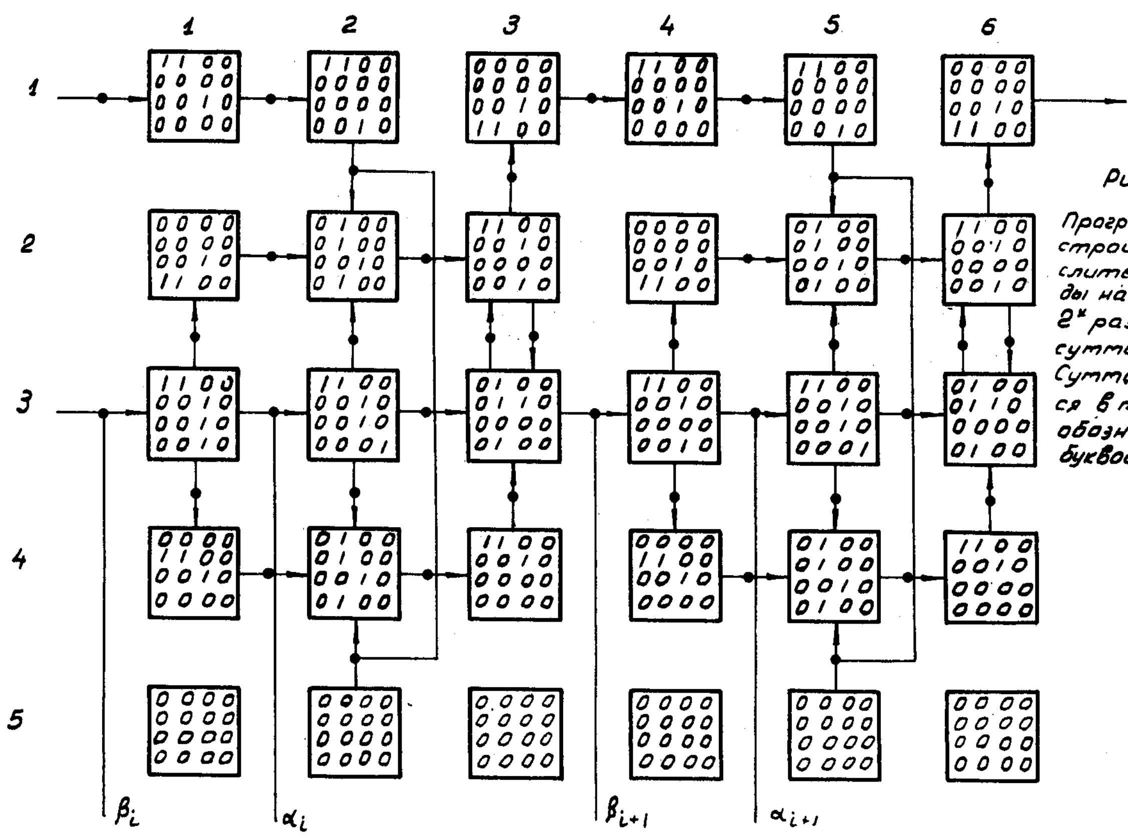


Рис. 10

Программа настройки вычислительной среды на работу 2ᵡ разрядов сумматора. Сумма получается в точках, обозначенных буквой S_i и S_{i+1}.

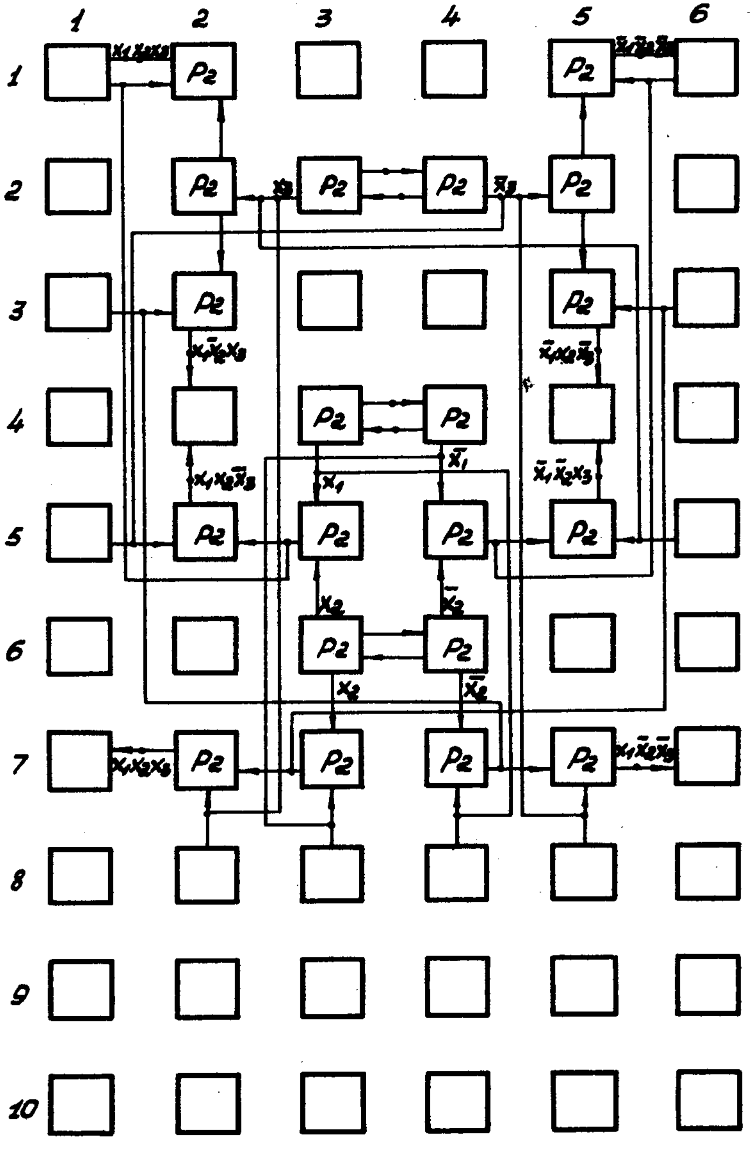


Рис. 12. Схема реализации дешифратора ДШ 3×8

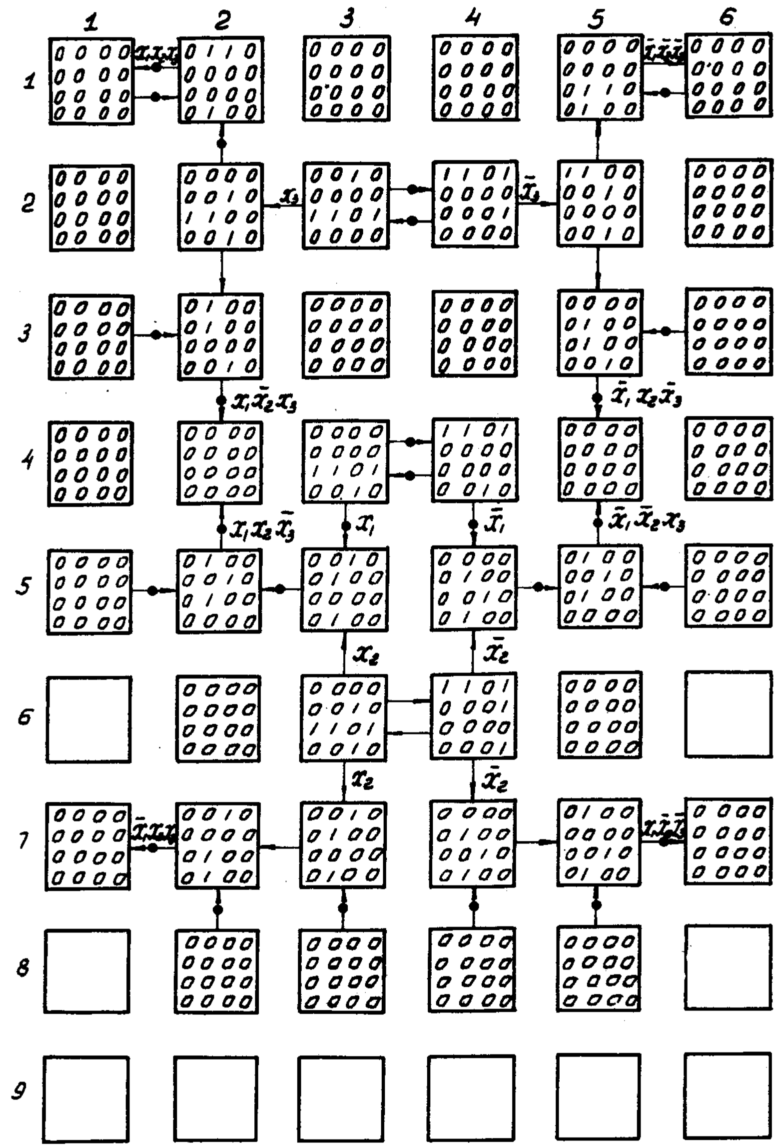


Рис. 13 Программа настройки дешифратора ДШ 3×8