

ОБ ЭЛЕМЕНТАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

А.И. Мишин

(Новосибирск)

Требования высокой производительности вычислительных машин при решении различных задач и простоты технологии изготовления приводят к необходимости создания машин со структурой, изменяющейся в зависимости от решаемых задач, и отличающихся высокой однородностью [1]. Показано, что таким требованиям наилучшим образом удовлетворяет вычислительная среда.

В первой части работы рассматриваются схемы элемента вычислительной среды, во второй части - описывается вычислительная система, состоящая из вычислительной среды, цифровой вычислительной машины и устройства согласования машины со средой.

Элементы вычислительной среды

Схему элемента вычислительной среды можно представить в виде трех блоков (рис. 1):

- 1) функционального блока F , реализующего логические функции и задержку;
- 2) блока памяти P , выполняющего функции хранения настроенной информации;
- 3) адресного блока A , назначение которого заключается

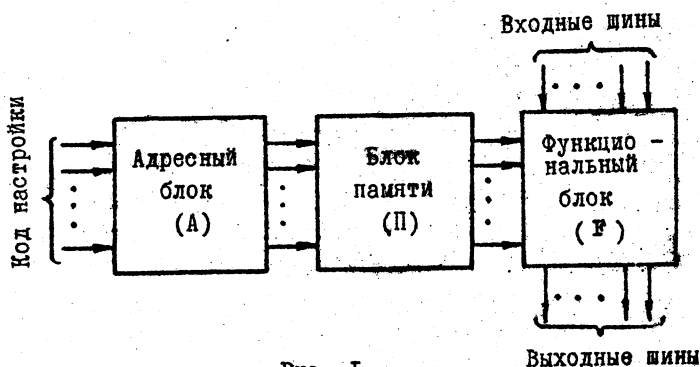


Рис. I

в передаче информации, содержащейся в программе, в ячейки блока памяти.

Здесь будут рассмотрены схемы элемента вычислительной среды, выполненные на двоичных элементах памяти и логических элементах, реализующих переключательные функции основной функционально полной системы. Двоичные сигналы "нуль" и "единица" представляются соответственно низким и высоким потенциалами. Соединение компонент в элементе, а также соединение элементов в решетке осуществляется пассивными соединительными каналами (проводниками), соединение элементов в логическую схему осуществляется посредством активного канала (переключательного канала), который образуется в вычислительной среде в процессе её настройки на логическую схему.

Полнота структуры вычислительной среды определяется как формой подложки, на которой размещается схема элемента среды, так и набором логических функций, на которые может быть произведена настройка элемента. Например, если схема размещена на подложке прямоугольной формы и элемент выполняет функцию НЕ ИЛИ (НЕ И), то для того, чтобы структура вычислительной среды удовлетворяла требованиям полноты, необходимо, чтобы граф, поставленный в соответствие структуре среды

(граф-среды)^{x)} содержал циклы нечетной длины, или, другими словами, хроматическое число графа должно быть не менее 3. Необходимость существования циклов нечетной длины непосредственно следует из разложения произвольной функции алгебры логики по переменной x_1 .

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_1, x_{i+1}, \dots, x_n) = \\ = x_1 f_1(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_n) \vee \\ \vee \bar{x}_1 f_2(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n), \end{aligned}$$

а это можно трактовать следующим образом: от каждого входного полюса логической схемы, реализованной в вычислительной среде, до полюса, с которого снимается результат выполнения функции, должны существовать пути, позволяющие подводить к выходному полюсу (полюсам) как переменные x_1 , так и их отрицания \bar{x}_1 . Пример структуры вычислительной среды приведен ниже при описании вычислительной системы среда-машина.

Известно также [2], что любая переключательная функция может быть реализована планарной монтажной схемой, состоящей из логических элементов НЕ ИЛИ (НЕ И).

Из вышесказанного следует, что любые переключательные функции могут быть реализованы планарным графом среды, если он содержит циклы нечетной длины^{xx)}. Например, если элемент вычислительной среды размещен на подложке шестиугольной формы, то структура вычислительной среды является функционально полной.

Нетрудно также убедиться, что любая принципиальная электрическая схема элемента среды является неплоской. Это означает, что при размещении схемы элемента на подложке требуется соединительный элемент, реализующий электрическое перекрестное соединение (элемент типа D [1]). Таким образом, независимо от того, какой случай имеет место, соединительный элемент типа D всегда содержится в логической схеме. В первом примере этот элемент имеется как в схеме элемента среды, так и в структуре вычислительной среды; во втором примере соедини-

x) Для рассматриваемого случая вершинам графа среды соответствуют логические элементы НЕ ИЛИ, а ребрам - элементы, реализующие: либо замкнутый релейный контакт, если элемент находится в возбужденном состоянии, либо разомкнутый контакт, если элемент находится в невозбужденном состоянии.

xx) Если элемент может передавать сигналы как с инверсией, так и без инверсии, то граф среды может быть бихроматическим.

тельный элемент D содержится только в схеме элемента среды, т.е. на подложке.

С точки зрения физической реализации элемента среды желательно, чтобы число элементов D и число физических приборов (сопротивлений, диодов, транзисторов и т.д.), требуемых для построения элемента, были минимальными. В наибольшей степени этим требованиям, в случае полупроводниковых схем, удовлетворяют элементы, образованные на базе функциональных приборов, сопротивлений и транзисторах.

Два типа логических модулей представлены на рис.2а,б.

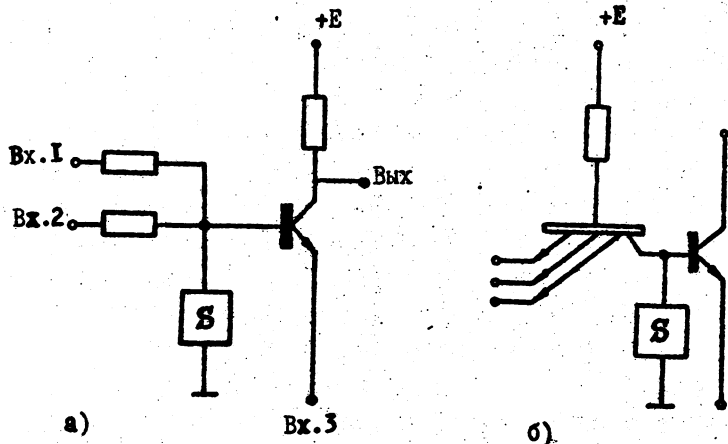


Рис. 2.

Двухполюсные приборы, обозначенные индексами S, имеют S-образную вольтамперную характеристику. Логический модуль (управляемый инвертор) может быть описан следующей системой уравнений:

$$z(t + \delta) = \overline{x(t) \cdot q(t)},$$

$$q(t + 1) = q(t) \vee y_1(t) \cdot y_2(t) \vee x(t) \cdot y_2(t),$$

где x - логическая переменная, подаваемая на вход I,
 q - состояние, характеризующее прибор с характеристикой S - типа; y_1 и y_2 - управляющие переменные, по-

даваемые на входы 2,3; Z - выходная логическая переменная; δ - задержка, обусловленная свойствами физических приборов. Положению рабочей точки S - прибора в области проводимости соответствует состояние "единица", а положению рабочей точки S - прибора в непроводящей области соответствует состояние "нуль". Установка S - прибора в состояние "нуль" осуществляется путем подачи импульса отрицательной полярности на вход 2. Режим работы логического модуля иллюстрирует рис. 3, где I - вольт-амперная характеристика транзистора, 3 и 4 - нагрузочные линии, соответственно для единичного (E^1) и нулевого (E^0) уровней входных сигналов.

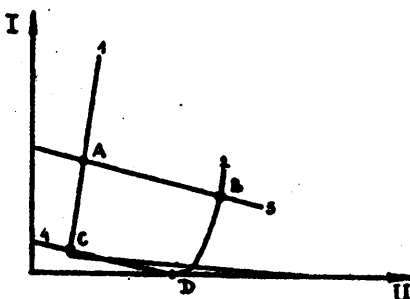


Рис. 3.

Если S - прибор находится в проводящем состоянии, то под действием входных сигналов его рабочая точка будет соответствовать точкам A или C : точке A , если на вход схемы подан единичный уровень напряжения, и точке C , если на вход схемы подан нулевой уровень напряжения. Транзистор в обоих случаях закрыт. Если S - прибор находится в непроводящем состоянии, то при подаче входных сигналов транзистор будет находиться в открытом или закрытом состоянии в зависимости от того, где находится его рабочая точка. Точка B соответствует открытому состоянию транзистора, а точка D - закрытому.

На базе каждого логического модуля могут быть построены самые разнообразные элементы вычислительной среды. В качестве примера рассмотрим 4-х полюсный симметрический элемент с двухкоординатной выборкой и двухкоординатным заданием кода настройки. Схема элемента представлена на рис. 4. Элемент описы-

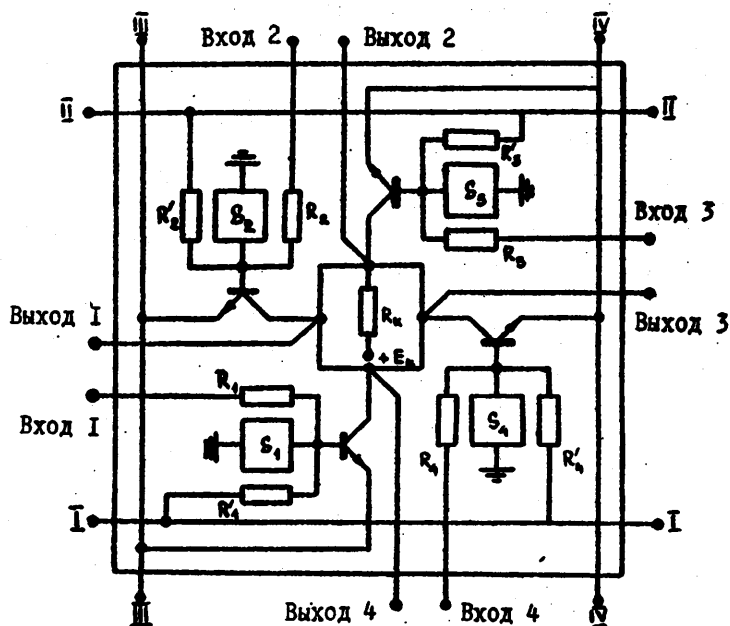


Рис. 4

дается следующей системой уравнений:

$$Z_1(t + \delta) = \overline{x_1(t) \cdot q_1(t) \vee x_2(t) \cdot q_2(t) \vee x_3(t) \cdot q_3(t) \vee x_4(t) \cdot q_4(t)}, \quad (I)$$

$$(i = 1, 2, 3, 4);$$

$$\begin{aligned} q_1(t+1) &= q_1(t) \vee x_1(t) \cdot y_3(t) \vee y_1(t) \cdot y_3(t), \\ q_2(t+1) &= q_2(t) \vee x_2(t) \cdot y_3(t) \vee y_2(t) \cdot y_3(t), \\ q_3(t+1) &= q_3(t) \vee x_3(t) \cdot y_4(t) \vee y_3(t) \cdot y_4(t), \\ q_4(t+1) &= q_4(t) \vee x_4(t) \cdot y_4(t) \vee y_4(t) \cdot y_4(t); \end{aligned} \quad (2)$$

где x_i - входные логические переменные, которые подаются на входы I-4, y_i - управляющие переменные, которые подаются на шины I-I, II-II, III-III, IV-IV, q_i - состояние, характеризующее i -ый элемент памяти, z_i - выходные логические переменные, которые снимаются с выходов I-4.

Уравнение (1) описывает работу функционального элемента, уравнение (2) описывает процесс установки элементов памяти в состояние "единица". Установка элементов памяти в состояние "нуль" осуществляется путем подачи импульсов отрицательной полярности на шины Y_1, Y_2 .

Можно показать, что для того, чтобы схему элемента с объемом памяти четыре дв.ед. (16 состояний реализаций) разместить на подложке прямоугольной формы, потребуется не менее тридцати соединительных элементов типа D. Это непосредственно следует из рис. 5, где элементы D, находящиеся в квадрате, показанном пунктиром, являются необязательными, т.е. легко устраняются при размещении компонент и соединительных линий. Вариант размещения схемы с минимальным числом элементов D представлен на рис. 6.^{x)}

Расчет элемента вычислительной среды показывает, что для обеспечения работоспособности элемента при мощности потребления $P \leq 10$ мвт и при использовании микротранзистора 2Т319 на параметры S-прибора накладываются следующие ограничения. Дифференциальное положительное сопротивление прибора, находящегося в проводящем состоянии, должно быть не более $0,5 \cdot 10^3 \Omega$; ток удержания - не более $50 \cdot 10^{-6}$ а; напряжение включения - не менее 0,8 в и не более 2 в; напряжение выключения - не более 0,3 в; ток утечки непроводящего прибора - не более $10 \cdot 10^{-6}$ а.

В некоторой степени этим условиям удовлетворяет тонкопленочный переключательный элемент со структурой металл - селен-металл [3]. Прибор обладает следующими характеристиками: ток утечки - не более 10^{-7} а, ток удержания - не более $4 \cdot 10^{-5}$ а, напряжение выключения - $(0,2 + 0,25)$ в, напряжение включения - $(0,8 + 3)$ в, дифференциальное положительное сопротивление - $(10^2 + 10^3) \Omega$, статическая емкость 100 пф. Время переключе-

x) Если контакты питания расположить только на двух сторонах подложки, то число соединительных элементов D составит 20.

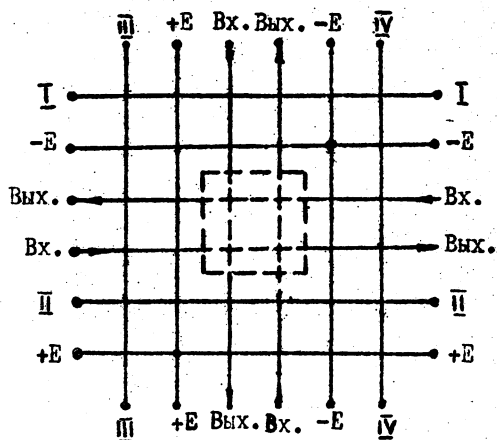


Рис. 5

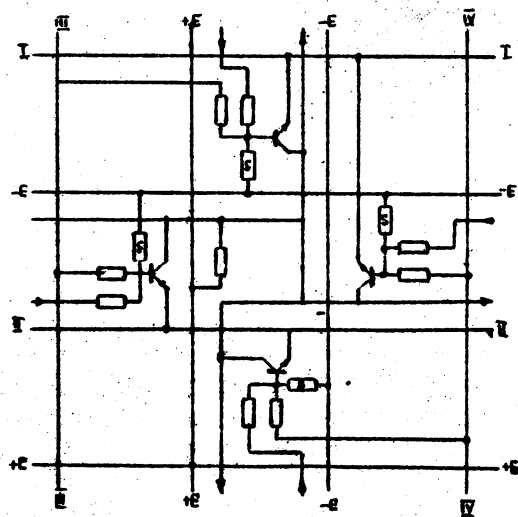
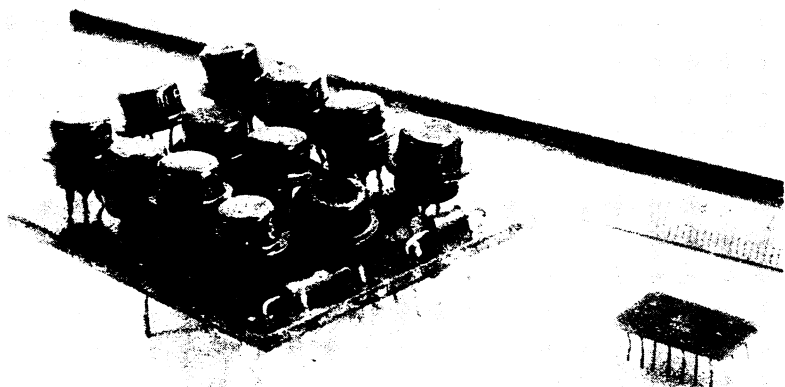


Рис. 6.

ния прибора из непроводящего состояния в проводящее, как правило, не хуже 10^{-7} сек. Время переключения из проводящего состояния в непроводящее зависит от амплитуды выключающего импульса, при амплитуде 3в время выключения составляет $\sim 10^{-5}$ сек.

В Институте математики СО АН СССР были изготовлены тонкопленочные микросхемы элемента вычислительной среды, в которых в качестве активных приборов использовались микротранзисторы 2ТЗ19, а в качестве S - приборов - переключающие элементы Me - Se - Me .

На рис. 7 приведена фотография микро модуля элемента сре-



ды и его макет, выполненный на p-n-p и n-p-n транзисторах, в котором функции S - прибора реализует p-n-p-n структура, образованная соответствующим соединением полюсов двух транзисторов. Экспериментальные исследования микросхемы элемента среды показывают, что элемент удовлетворительно работает на частоте 10^6 гц при потребляемой мощности $10 \cdot 10^{-3}$ вт; при мощности потребления $3 \cdot 10^{-3}$ вт частота переключения составляет $3 \cdot 10^5$ гц. Скоростные характеристики элемента в основном определяются статической емкостью S -прибора. Добротность схемы $Q = P_{\text{вх}} t_{\text{пер}} \approx 2 \cdot 10^{-10}$ дж.

На рис. 8 представлена схема элемента вычислительной среды, которая может быть использована также в логических и арифметических узлах вычислительных машин в качестве регистра параллельного действия, регистра сдвига, запоминающей ячейки

Логическое обозначение

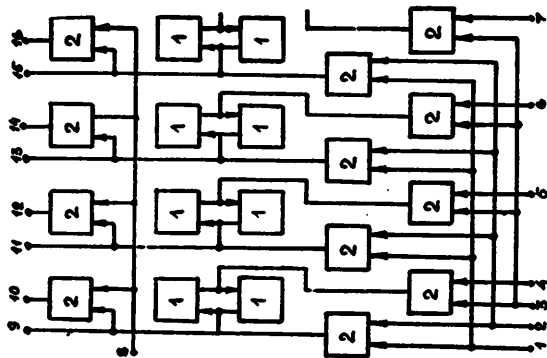
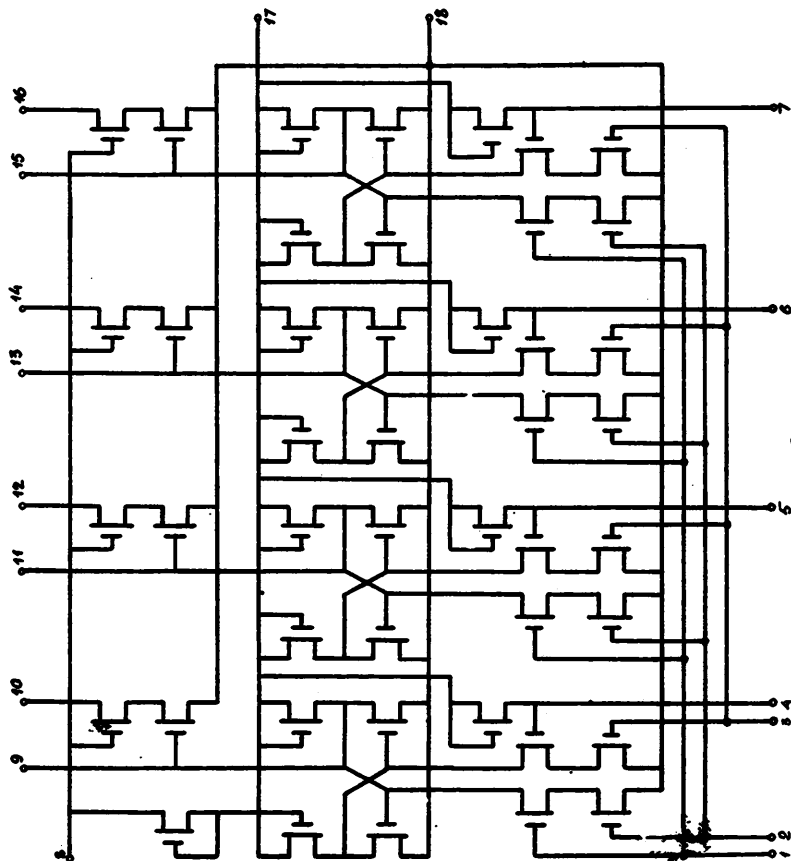


Рис. 8.

оперативного ЗУ, а также и качестве логического элемента.

Общим недостатком рассмотренных схем является их невысокая надежность. При выходе из строя элементов среды вычислительная среда может частично или полностью потерять работоспособность. Например, обрыв шины настройки приводит к тому, что становится невозможным управлять состояниями целого ряда элементов, подсоединенных к этой шине.

На рис. 9 представлен один из вариантов схемы элемента вычислительной среды с переменной структурой (где цифрой 1 обозначен инвертор, а цифрой 2 элемент "НЕ-И"), которая позволяет локализовать неисправности соседних элементов среды.

Основными блоками элемента являются: регистр сдвига, регистр параллельного действия и функциональный блок. Регистр сдвига выполняет функцию запоминания настроечной информации и совместно с регистром параллельного действия - функцию выбора направления, указывающую, какому (каким) из четырех соседних элементов должна быть передана настроечная информация. Регистр параллельного действия выполняет функцию запоминания информации о выборе направления. Функциональный блок реализует логические функции и задержку.

Входы 1-4 - настроечные входы элемента, на которые поступают сигналы с настроечных выходов соседних элементов среды или извне; выходы 5-8 - настроечные выходы элемента, на которые поступает настроечная информация для соседних элементов; входы 9-12 - логические входы элемента, на которые поступает информация с логических выходов соседних элементов или извне; выходы 13-16 - логические выходы элемента; входы 17-22 - управляющие входы элемента, по которым осуществляется управление регистра сдвига (входы 17, 20) и регистра параллельного действия (входы 21, 22). Расположение выводов на сторонах элемента показано на рис. 10.

Вычислительная среда, выполненная на базе этого элемента, позволяет изменять конфигурацию путей передачи информации и локализовать любую неисправность в элементе или группы элементов.

Следует отметить, что сложность элемента среды с переменной структурой в 2-3 раза больше сложности элемента с координатным способом выборки. Однако если учесть, что стоимость интегральных схем зависит от уровня интеграции (оказывается, что

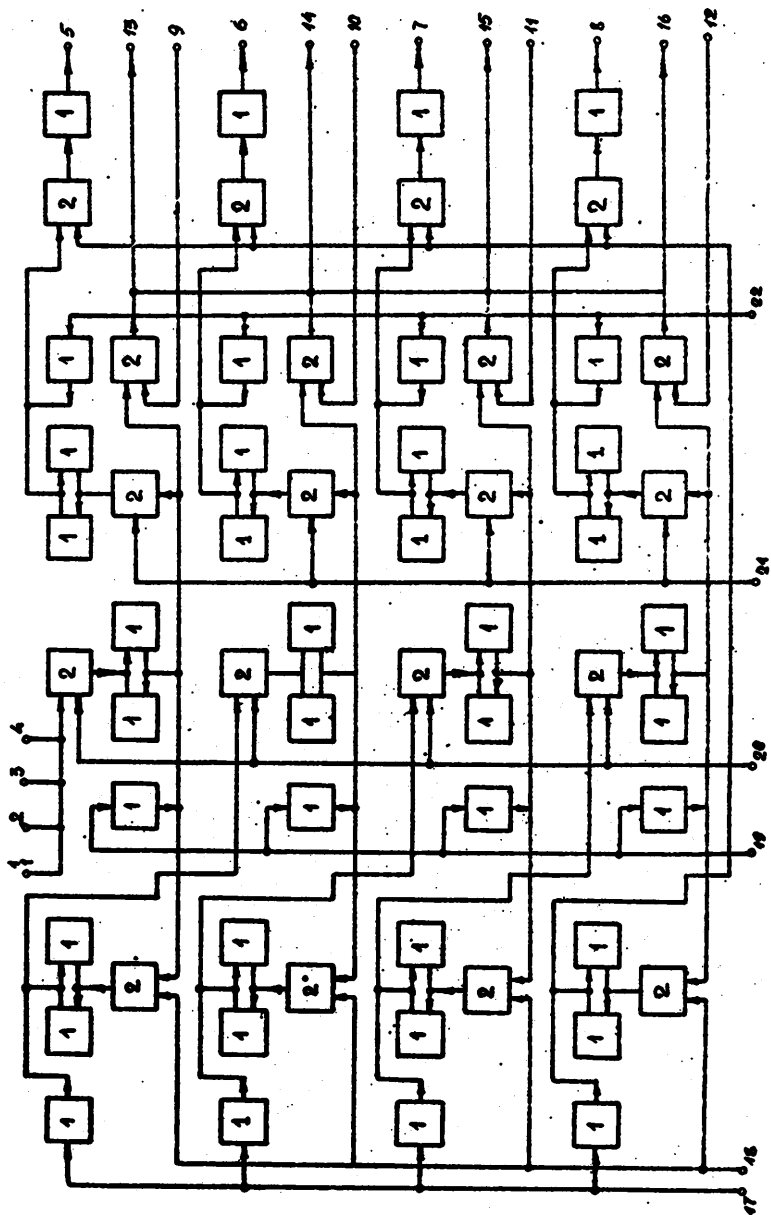


Рис. 9.

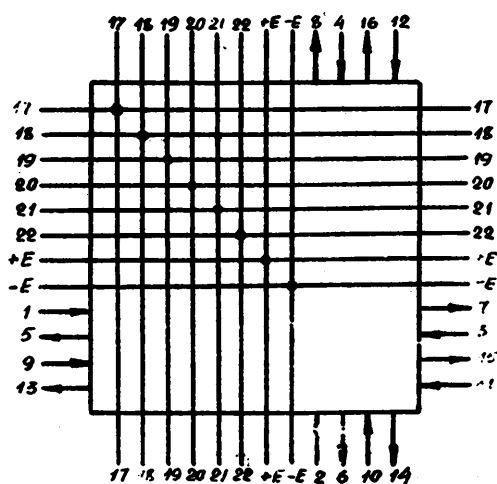


Рис. 10

к 1975 году оптимальные по стоимости размеры кристалла будут соответствовать 10^4 компонентам), то основным критерием при выборе типа элемента среды может стать критерий потенциальной надежности кристалла.

Л и т е р а т у р а

1. Э.В. Евреиннов, Ю.Г. Косарев. Однородные вычислительные системы высокой производительности. Изд-во "Наука", Новосибирск, 1966.
2. Л. Спендорер, А.Тоник. Планарные логические схемы. Микроэлектроника и большие системы, Изд-во "МИР", Москва, 1967.
3. С.И. Коняев, А.И. Мишин. Тонкопленочный переключающий элемент с S-образной вольтамперной характеристикой. Вычислительные системы, Новосибирск, 1967, в. 26.