

## АСИНХРОННЫЕ ОДНОРОДНЫЕ СТРУКТУРЫ С ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ПОВЕДЕНИЕМ НА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

И.П. Егоров, М.А. Ускач, И.В.Прангшвили

(Москва)

Однородными универсальными перестраиваемыми структурами будем называть структуры, обладающие следующими свойствами.

1. Структура состоит из различных, но регулярно повторяющихся логических элементов и различных, но регулярно повторяющихся конфигураций связей между ними, т.е. представляет собой итеративную решетку. В частном случае элементы или конфигурации связей (или те и другие) могут быть одинаковыми.

Структура технологически однородна относительно ячеек - минимальных участков, - простым повторением которых воспроизводится вся структура.

2. Структура обладает функциональной (логической) полнотой, т.е. элементы её обеспечивают принципиальную возможность реализации любого конечного автомата, и полнотой связей, позволяющей реализовать эту возможность в топологически ограниченной структуре.

3. Структура настраивается с помощью управляющих сигналов на выполнение конкретной функции.

Введение в структуру элементов памяти позволяет производить её настройку пользуясь минимальным количеством внешних выводов.

Из перечисленных свойств следует, что в однородной структуре после соответствующей настройки можно реализовать любые комбинационные и последовательностные схемы.

В данной работе рассмотрено несколько вариантов асинхронных структур с относительно простыми логическими элементами,

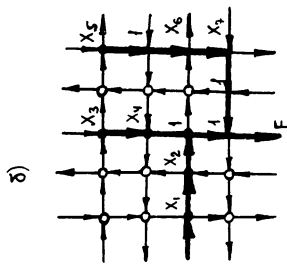
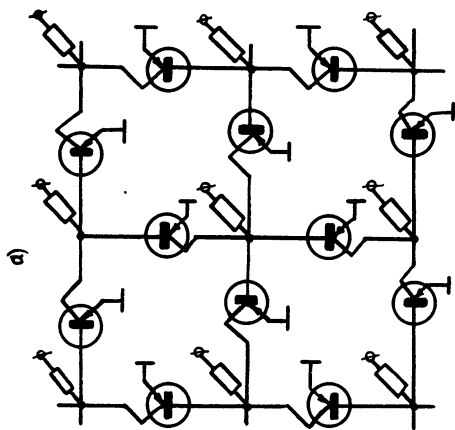
реализующими функции "запрет плюс единица" или "стрелка Пирса". (ИЛИ-НЕ).

Логические элементы в однородных структурах могут быть связаны между собой самыми различными способами, образуя решетчатую структуру. Решетку связей удобно рассматривать как ориентированный граф, вершинами которого являются узловые элементы, т.е. такие, которые соединены более чем с двумя соседями, а ребрами - связи между узловыми элементами. Ребра-связи могут быть неуправляемыми и управляемыми. Степень такого графа есть число связей  $n$  узлового элемента (вершины) с другими узловыми элементами. В общем случае  $3 \leq n \leq N$ , где  $N$  - число элементов в структуре. Очевидно, что с увеличением  $n$  растет гибкость структуры, однако одновременно повышается её сложность.

Можно показать, что в структурах с элементами, реализующими функции "НЕ-ИЛИ" (И-НЕ) либо "запрет" (импликацию), полнота связей определяется возможностью построения между любыми двумя вершинами и прямого и инверсного каналов связи.

При реализации в структурах функций, не представляемых в виде дерева, возникает необходимость в проникновении - прохождении сигналов по пересекающимся связям без взаимодействия. Наиболее просто проникновение осуществляется в случае, если решетка есть не плоский граф, т.е. путем электрического разделения перекрещивающихся связей. В решетках типа плоского графа проникновение осуществляется путем разделения сигналов по признакам (например, по времени). Возможно в таких решетках осуществить функциональное проникновение, когда над сигналами  $X_1$  и  $X_2$  выполняется операция  $f$ , результат которой обеспечивает эффект проникновения.

Рассмотрим структуры из одинаковых реостатно-транзисторных элементов. Такие элементы являются функционально полными в базисе "запрет плюс единичная функция". При подаче на входы элемента переменных  $X_1$  и  $X_2$  имеем на выходе  $\overline{X_1} \cdot X_2$ . Единичная и нулевая функции осуществляются соответственно включением или отключением постоянного напряжения питания -  $E_n$ . На цепочке, составленной из  $n$  реостатно - транзисторных элементов, выполняется функция  $f = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \dots \cdot \overline{x_{n-1}} \cdot x_n$ , где  $x_1$  - двоичная переменная, подаваемая на коллекторный вход 1 -го элемента. Если  $x_1 = x_2 = \dots = x_n = 1$ , цепочка превращается в канал связи - прямой при  $n$  - нечетном и инверсный при  $n$  - чет-



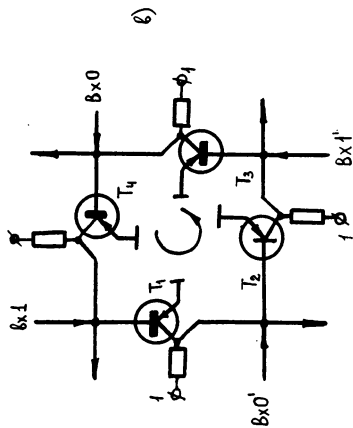
$$F = (\bar{x}_5 + \bar{x}_6)(\bar{x}_5 x_4 + \bar{x}_4 x_2) x_7$$

Рис. 1.

а) Участок структуры

б) Реализация композиционной функции

в) Реализация триггера



ном. Транзистор, на коллекторе которого не подано питание, играет роль элемента развязки. Таким образом, одни и те же элементы цепочки в зависимости от комбинации входных сигналов служат в качестве логических или соединительных элементов.

Цепочки элементов с непосредственными связями могут быть выполнены на поверхностно-барьерных транзисторах, полевых триодах и т.д.

На рис. 1 представлена структура из пересекающихся горизонтальных и вертикальных цепочек, в которой с целью сокращения числа входов попарно объединены коллекторные сопротивления в каждом узле. Структуре соответствует плоский антисимметричный граф степени  $n = 4$ . В узлах решетки реализуется функция  $f = (\bar{x}_1 + x_2) x_y$ , где  $x_y$  — сигнал, подаваемый на коллекторный вход узла. На рис. 2 показан неплоский антисимметричный

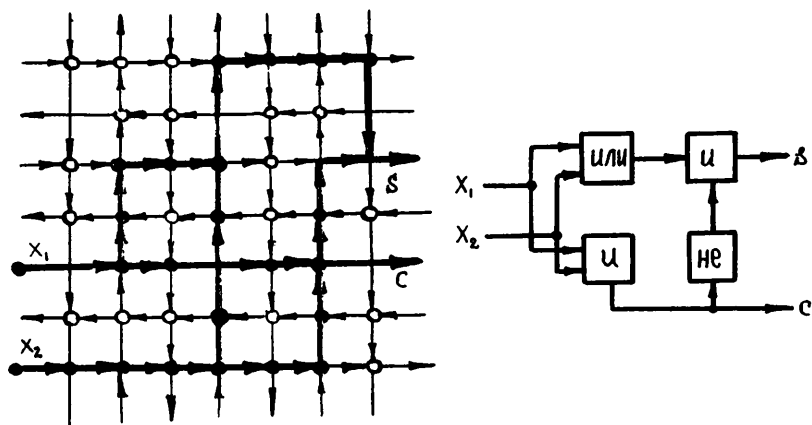


Рис. 2.

граф степени  $n = 4$ , соответствующий универсальной однородной структуре, которая получена из предыдущей путем замены определенных логических элементов электрически изолированными перекрещивающимися связями. Эта структура обладает соединительной полнотой, на ней возможны циклы из четного и нечетного числа ребер. На рис. 2 приведен пример выполнения на структуре одно-разрядного сумматора на два входа.

Рассмотрим однородные структуры с чередованием логических элементов двух типов: транзисторов, управляемых по базе и по коллектору. При подаче на вход транзистора, управляемого по базе, сигнала  $x_{вх}$ , на выходе реализуется функция  $f = x_{вх} \cdot x_y$

Следовательно, эти элементы могут быть использованы для выполнения логических функций и для управления связями. Наличие управляемых связей дает возможность создать решетку типа симметрического графа. На рис.3 в качестве примера приведен сим-

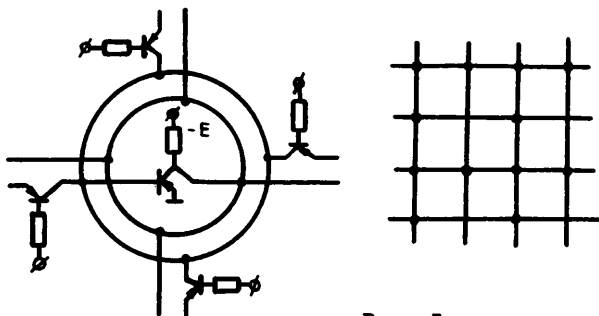


Рис. 3.

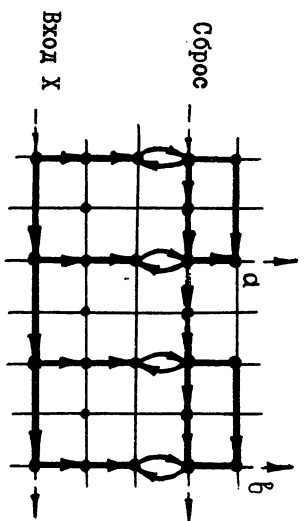
метрический граф степени  $n = 4$  и схема ячейки структуры из чередующихся элементов. Проникновение в структуре осуществляется на перекрещивающихся связях. С целью сокращения числа элементов настройки в узловые точки подано постоянное питание  $-E_k$ , в результате чего реализуемая в них функция принимает вид (ИЛИ-НЕ на четыре входа):  $f = \bigvee x_{kx_i}$ .

На рис.4 приведены примеры реализации на структуре сдвигового регистра и счетчика. Еще большей гибкостью обладают структуры со степенью вершин  $n = 5, 6, 7, 8$  и более. Однако высокая гибкость таких структур обеспечивается за счет усложнения ячейки и увеличения количества информации, необходимой для её настройки. Структуры с высокой степенью вершин оказываются мало эффективными при реализации на них сравнительно простых функций и каналов связи, когда из общего числа входов используются только 1-2.

Поскольку однородные структуры содержат большое число элементов при ограниченном числе внешних выводов, то одной из основных проблем является проблема управления структурой. Под управлением однородной структурой будем понимать её настройку с помощью управляющих сигналов для выполнения конкретной задачи, т.е. ввод входных переменных, построение каналов связи для прохождения сигналов и назначение логических операций между сигналами.

Управление будем называть активным, если имеется возмож-

а) Сдвиговой регистр



б) Двоичный счетчик

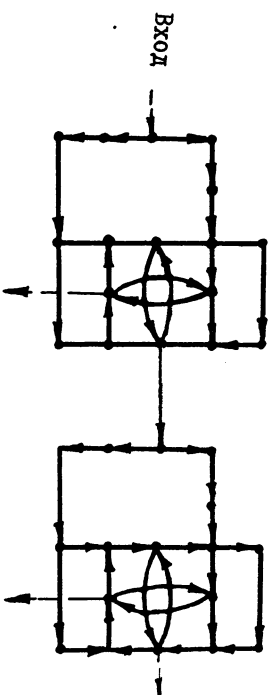


Рис. 4.

ность вводить переменную в любой элемент структуры, и пассивным, если переменную можно вводить только с краев поля структуры. При реализации функций на рис. 1 и 2 использованы соответственно активное и пассивное управления.

Для записи в память структуры информации о её настройке, можно использовать методы, применяемые при записи информации в ЭЦ цифровых вычислительных машин.

Однако управление однородными структурами имеет свою специфику.

Рассмотрим в качестве примера последовательно-параллельный координатный пассивный метод управления.

Информация о настройке структуры, записанная в программном устройстве, строка за строкой последовательно переписывается в память структуры, содержимое же строки переписывается параллельно. Для уменьшения ошибок, происходящих вследствие самопроизвольного включения и отключения триггеров памяти ячеек, перепись информации производится непрерывно цикл за циклом. Программное устройство может быть выполнено в виде матрицы из фотодиодов, засвечиваемой через оптическую маску.

Однородные структуры позволяют использовать для повышения надежности функционирования все известные способы, однако такие свойства структур как универсальность, перестраиваемость, изотропность открывают более широкие перспективы для создания высоконадежных устройств. Например, возможна реализация логической функции с обходом неисправного участка структуры.

Способ повышения надежности, использующий временную избыточность сигналов, описан в [1]. При этом способе структура функционирует исправно при выходе из строя нескольких рядом расположенных ячеек. Метод "плавающей функции" использует безразличие структуры к виду реализуемой функции. "Перемещая" функцию по структуре и усредняя выход по времени, можно получить правильный результат при наличии дефектных участков. При этом методе не требуются детальные сведения о количестве и местонахождении неисправных ячеек.

Простота элементов и связей определяет технологичность однородных структур, а вместе с этим и высокую надежность. Вследствие простоты ячеек и связей однородные структуры полностью проверяются простыми универсальными тестами.

Рассмотренные выше простейшие однородные структуры, изготовленные методами интегральной технологии, могут быть использованы для построения разнообразных логических и вычислитель-

ных устройств повышенной надежности.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- Г. И.В. Прангшвили, Е.В. Бабичева, В.В. Игнатушенко. Новые принципы реализации логических и вычислительных устройств на основе однородных микроэлектронных структур. - Автоматика и телемеханика, 1965, том XXVI, № 10.