

## АСИНХРОННЫЕ ЭКВИСТОРНЫЕ СТРУКТУРЫ

В.В. Игнатушенко

(Москва)

Условимся, что определяющим свойством дискретных однородных универсальных структур с коллективным поведением ячеек является зависимость состояния ячейки  $a$  и функции  $\Phi_a$ , реализуемой этой ячейкой, не только от сигналов настройки извне ( $X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{rn}$ ), но и от сигналов с других ячеек:  $b, c, \dots, m$ , т.е.

$$\Phi_a = f(\Phi, X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{rn}, \Phi_b, \Phi_c, \dots, \Phi_m),$$

в отличие от структур с индивидуальным поведением ячеек, где

$$\Phi_a = f(\Phi, X_{1n}, X_{2n}, \dots, X_{rn}).$$

(Здесь  $\Phi$  — множество функций полного набора и соединительных функций, реализуемых функциональным элементом структуры).

Эквисторные структуры будем определять как класс однородных универсальных структур с коллективным поведением ячеек, в которых ячейка  $a$  может быть настроена сигналами с других ячеек на выполнение только соединительных функций  $\Phi_s$ .

В отличие от известных структур того же класса [1,2], рассматриваемые структуры являются асинхронными, т.е. передача сигнала через ячейку осуществляется практически мгновенно.

Характерной особенностью рассматриваемого класса структур является зависимость числа функционально различных состояний ячейки (а следовательно, и объема ее памяти) лишь от числа логических функций, реализуемых ячейкой; таким образом, исключается необходимость введения в ячейку дополнительного объема памяти для настройки на реализацию соединительных функций  $\Phi_s$  (как следует из [3], для ВС с количеством  $N = 4$  направлений передачи сигнала число функций  $\Phi_s$  равно 16).

Исследования структур данного класса позволили определить минимальные формы реализации в них следующих основных свойств однородных универсальных структур (вычислительных сред).

Соединительная полнота. Каналы передачи сигнала через ячейку  $(i, j)$  развязаны с помощью подэлементов  $a, b, c$  и  $d$  (рис. 1). Здесь  $N = 4$ . Каждый подэлемент имеет два состояния - возбужденное ( $Y$ ) и исходное (невозбужденное). Передача сигнала через подэлемент осуществляется в случае его возбуждения сигналами с других подэлементов (ячеек) структуры. Доказана минимальность следующей формы реализации ячейкой требования соединительной полноты, и, следовательно, минимальность длины связей между ячейками данного класса структур (рис. 2):

$$\begin{aligned} Y_{a\ i,j} &= Y_{d\ i,j-1} Y_{d\ i,j-2} + Y_{b\ i+1,j} Y_{b\ i+2,j} \\ Y_{b\ i,j} &= Y_{a\ i,j} Y_{a\ i+1,j} + Y_{c\ i,j} Y_{c\ i,j+1} \\ Y_{c\ i,j} &= Y_{b\ i,j+1} Y_{b\ i,j+2} + Y_{d\ i-1,j} Y_{d\ i-2,j} \\ Y_{d\ i,j} &= Y_{c\ i,j} Y_{c\ i-1,j} + Y_{a\ i,j} Y_{a\ i,j-1} \end{aligned} \quad (I)$$

Из выражения (I) очевидна выполнимость функций передачи сигнала в заданном направлении и взаимного проникновения потоков информации. Функция ответвления сигнала на направление, отличное от заданного, выполняется с помощью возбуждения извне подэлементов, соседних с теми подэлементами, по которым передается поток информации. Функциональная схема участка структуры приводится на рис. 3.

Доказана минимальность числа подэлементов ячейки (четыре) для  $N = 4$  и независимость его от числа  $N$  при  $N > 4$ .

(Отметим, что согласно [4], эффективность использования структур существенно возрастает с увеличением  $N$ ).

Требование функциональной полноты ячейки выполняется с помощью реализации в ячейке базиса "запрет, константа I". Функция "константа I" реализуется возбуждением подэлементов ячейки извне (с помощью настроечной памяти), а для выполнения функции "запрет" в структуру вводятся дополнительные ("запрещающие") связи между подэлементами таким образом, что

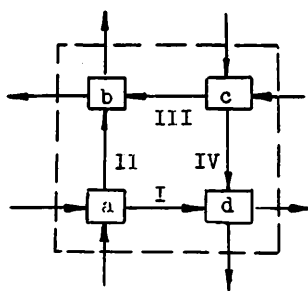


Рис. 1.

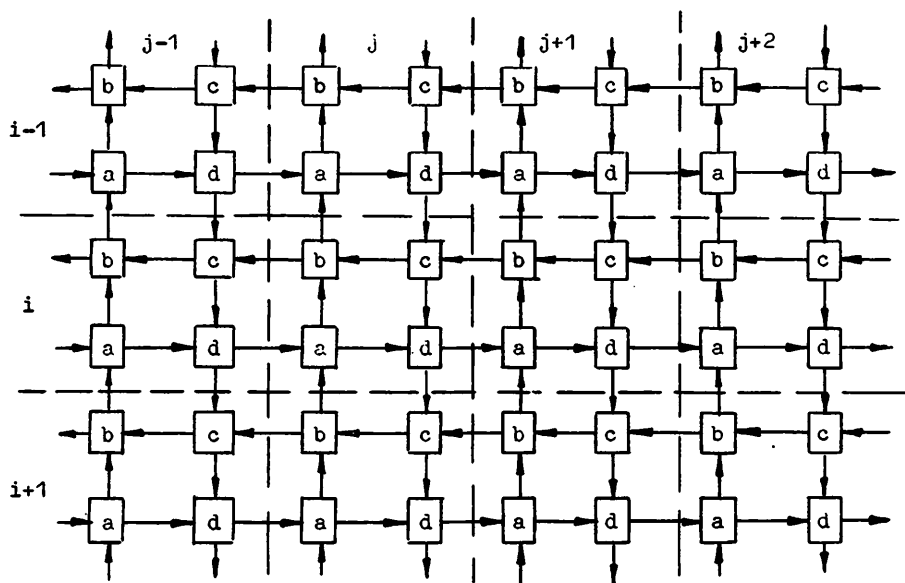


Рис. 2.

данный подэлемент при возбуждении запирает входы тех подэлементов, с которыми он имеет запрещающие связи.

Определены правила отыскания минимальной длины запрещающих связей с учётом физической реализации схемы ячейки, а также с учётом гибкости реализации логических и временных функций в структуре с данными свойствами.

Сказанное выше не означает, что реализация логических сетей в рассматриваемых структурах может быть осуществлена только суперпозицией функций "запрет" и "константа 1". В самом деле, выражение (1) предполагает возможность возбуждения любого из подэлементов одновременно с нескольких направлений, т.е. подэлемент может реализовать функцию "ИЛИ", а зависимость состояния подэлемента от конъюнктивных комбинаций сигналов с других подэлементов позволяет реализовать на ячейке функцию "И"; кроме того, функция "запрет" может быть легко трансформирована в инверсию ("НЕ"). Таким образом, в эквисторных структурах весьма эффективно может быть реализован наиболее часто используемый функционально полный набор из функций "И", "ИЛИ" и "НЕ".

На рис. 4 приводится пример реализации схем двух соседних подэлементов на обычных дискретных компонентах; запрещающие связи не приводятся; отметим лишь, что каждая запрещающая связь требует введения в указанную схему одного диода.

Объём памяти ячейки для хранения настроечной информации является минимально допустимым — 1 бит, т.е. все подэлементы ячейки объединены одним элементом памяти (см. рис. 3, ячейка  $[i, j]$ ). Доказано, что указанный объём памяти также не возрастает с увеличением числа  $N$ .

Характерная особенность эквисторных структур — зависимость поведения данной ячейки (подэлемента) от состояний окружающих ячеек — предполагает некоторые ограничения на топологию ячеек, обрабатывающих в данный момент различные функции, с целью исключения влияния их друг на друга. Очевидно, что чем менее существенны указанные ограничения, тем компактнее размещение логической сети в структуре.

В синтезированных эквисторных структурах с минимальными формами допускается передача потоков информации через ячейки одной и той же строки (столбца) одновременно даже в противоположных направлениях; единственное ограничение сводится к нежелательности одновременной передачи сигналов по соседним

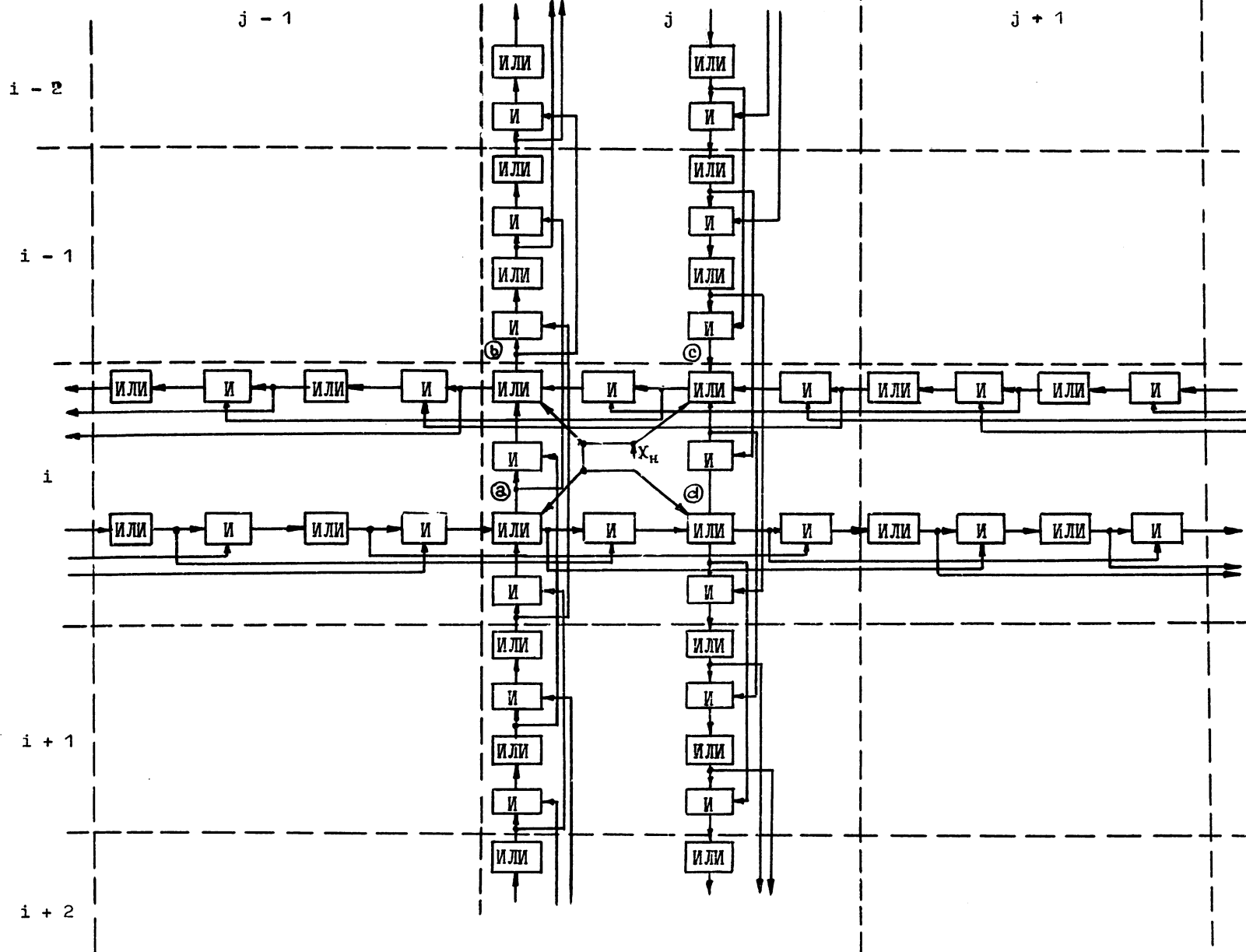


Рис. 3

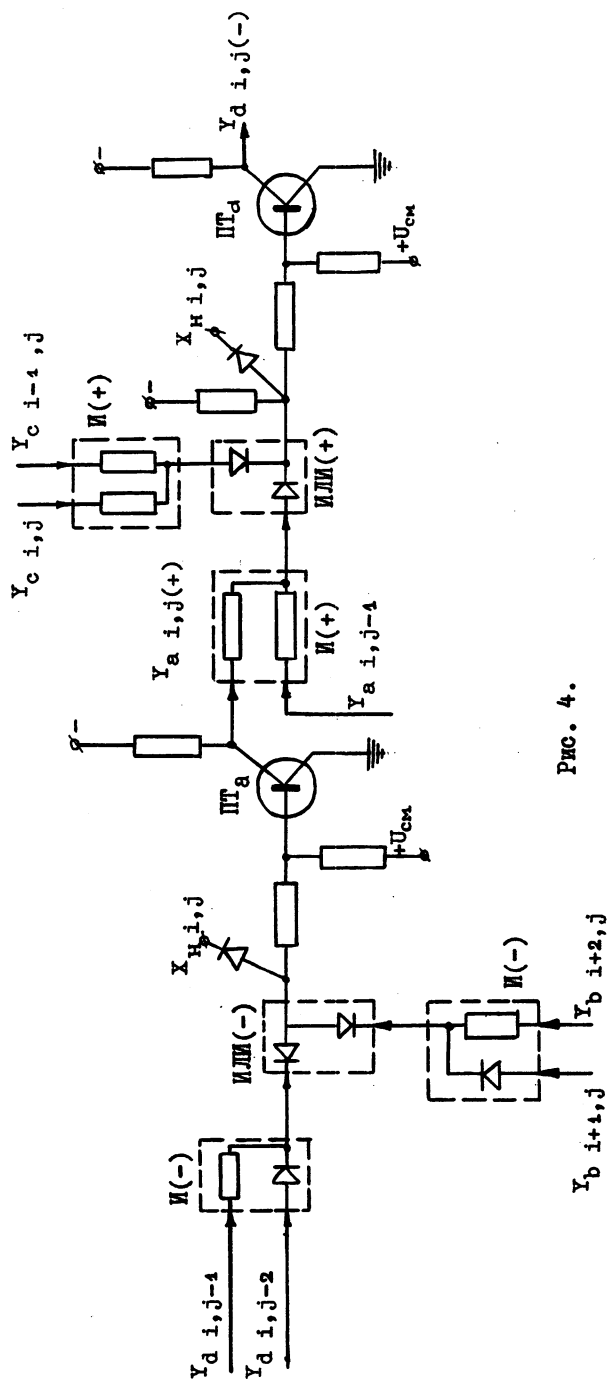


Рис. 4.

строкам (столбцам) ячеек в одном и том же направлении. Однако в любых структурах с минимальным объемом памяти ячейки реализация даже сравнительно несложных функций требует большего числа ячеек, чем в структурах того же класса, но с большим объемом памяти, так как некоторое число ячеек целиком используются не для отработки функций заданной логической сети, а для управления пространственными параметрами потоков информации.

Структуры рассматриваемого класса обладают рядом принципиальных преимуществ по сравнению со структурами с индивидуальным поведением ячеек:

1. Некритичность к отказам внешних выводов. Отметим, что подавляющее большинство отказов интегральных схем, в которых предполагается реализация однородных структур, приходится на отказы их внешних выводов.

В структурах с индивидуальным поведением ячеек отказ одного управляющего вывода (шины) равносителен отказу всех ячеек, настраиваемых через эту шину, ибо ни одна из указанных ячеек не может быть настроена на реализацию логических или соединительных функций (кроме функции, обрабатываемой на выходе ячейки при исходном состоянии ее памяти).

В эквисторных структурах отказ одного или нескольких управляющих внешних выводов требует лишь такого размещения реализуемой логической сети, при котором ячейки, связанные с отказавшим выводом, выполняют соединительные функции, т.е. настраиваются не извне, а сигналами с других ячеек.

2. Уменьшение числа управляющих внешних выводов без усложнения ячейки. Разработан способ настройки эквисторных структур, основанный на запоминании ячейкой настроечных сигналов с других ячеек; для управления структурой, таким образом, требуется лишь наличие внешних выводов для подачи входных переменных. Допускается комбинирование указанного способа настройки с координатным управлением структурой; и в этом случае число внешних выводов существенно уменьшается по сравнению с координатной выборкой ячеек для записи в них кода настройки.

3. Наряду с использованием широко известных способов повышения надежности, в эквисторных структурах эффективно реализуются принципы функциональной и временной избыточности сигналов и элементов, основанные на взаимодействии элементов структуры; поскольку эти принципы имеют дело с использованием

влияния поведения одних элементов на поведение других, то они отвечают только специфике структур с коллективным поведением.

Указанные достоинства эквисторных структур обуславливают целесообразность использования минимальных форм эквисторных структур для построения однородных структур с весьма развитой логикой ячеек, являющихся самостоятельными узлами дискретных устройств.

## Л и т е р а т у р а

1. И.В. Прангшвили, В.В. Игнатушенко, Е.В. Бабичева. Способ построения функциональных однородных сред. Авт. свид-во № I72I29, приоритет от I2/П-1964 г. Бюлл. изобрет., № I2, 1965.
2. 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, № IO.
3. Э.В. Евреинов. О микроструктуре элементарных машин вычислительной системы. - Вычислительные системы, Новосибирск, 1962, вып. 4, стр. 5-28.
4. W.F.King and A.Jiusti. Can Logic Array Be Kept Flexible? - Electronic Design, vol.13, N 11.