Г л а в а 14

Реализация булевых формул и булевых функций однородными структурами

14.1. Реализация булевых формул в базисе И, ИЛИ, НЕ каскадами Макхопадхая и пороговыми элементами

Одномерная однонаправленная структура из элементов И и ИЛИ называется к а с к а д о м М а к х о п а д х а я [1].

Исследование функциональных возможностей таких каскадов выполнено в [2]. При этом, в частности, показано, что они реализуют только бесповторные пороговые функции (формулы). Следовательно, каждый каскад Макхопадхая является пороговым элементом.

В этой работе, а также в [3] рассмотрены обобщенные каскады Макхопадхая, являющиеся древовидными схемами из каскадов Макхопадхая.

При этом показано, что такой обобщенный каскад с h входами содержит не более $[h/2]$ каскадов Макхопадхая.

Так как произвольная БФ в базисе И, ИЛИ, НЕ из h букв при равной доступности прямых и инверсных входных переменных реализуется обобщенным каскадом с h входами, то тем самым доказывается, что формулы этого класса реализуются схемами из п о р о г о в ы х элементов, число которых определяется соотношением

$$1 \leqslant \Pi \leqslant [h/2].$$

Этот результат является чрезвычайно существенным для теории синтеза схем из пороговых элементов, так как позволяет более точно предсказать сложность таких схем по сравнению с известными подходами [4].

Простейшим однородным настраиваемым каскадом Макхопадхая является каскад из трехвходовых мажоритарных элементов [3] (рис. 14.1).

Рис. 14.1

Эти каскады из $n - 1$ элементов при равной доступности прямых и инверсных входных переменных реализуют бесповторные пороговые функции n переменных.

При таких входных переменных второй тип однородных каскадов из $h - 1$ трехвходовых мажоритарных элементов (рис.14.2), которые не являются каскадами Макхопадхая, позволяет реализовать произвольные БФ в рассматриваемом базисе из h букв [5, 6].

Рис. 14.2

Метод реализации указанного класса формул этим типом каскадов описан в [7].

14.2. Реализация булевых функций каскадами Майтра

Одномерная однонаправленная структура из двухвходовых элементов И, ИЛИ, НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ называется к а с к а д о м М а й т р а [8].

Функциональные возможности таких каскадов рассмотрены в [9]. В [10] были введены обобщенные каскады Майтра, являющиеся древовидными схемами из каскадов Майтра, и исследованы их функциональные возможности при $n \leqslant 6$. Дальнейшее исследование этих каскадов выполнено в [2].

Известны также настраиваемые однородные каскады Майтра, каждая ячейка которых может быть настроена на реализацию функций указанных выше элементов [3, 11]. Существенно более простым каскадом этого типа является однородный каскад из мультиплексоров «2 в 1», в котором выход предыдущего элемента соединяется с управляющим входом последующего элемента (рис. 14.3).

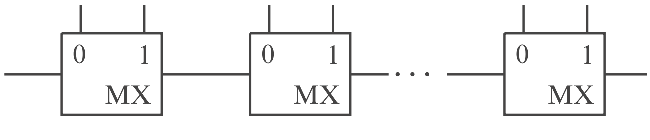

Рис. 14.3

Отметим, что каскады этого типа имеют принципиально другую структуру по сравнению со вторым типом однородных каскадов, которые также построены из мультиплексоров «2 в 1», но не являются каскадами Майтра (рис. 14.4).

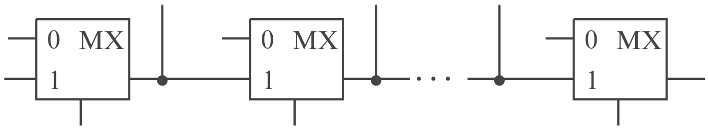

Рис. 14.4

Модификация структуры каскадов приводит к изменению их функциональных возможностей. При этом каскад второго типа из $h - 1$ мультиплексоров «2 в 1» позволяет реализовать произвольные БФ в рассматриваемом базисе из h букв (разд. 15.2) [6].

Каскады и настраиваемые каскады Майтра могут быть разделены на два класса — повторные и бесповторные. Если в повторных каскадах одна и та же переменная может подаваться на несколько элементов каскада, то в бесповторных каскадах это запрещено. При этом и в тех и в других каскадах для реализации функции НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ на входы одного элемента могут одновременно подаваться переменная и ее инверсия.

Будем называть настраиваемый каскад, реализующий заданную БФУ (БФ), настроенным.

В [12] были установлены следующие пять свойств:

если $f(x_i = 0) = 0$, то $f = x_i f(x_i = 1)$;

если $f(x_i = 1) = 0$, то $f = !x_i f(x_i = 0)$;

если $f(x_i = 0) = 1$, то $f = !x_i \vee f(x_i = 1)$;

если $f(x_i = 1) = 1$, то $f = x_i \vee f(x_i = 0)$;

если $f(x_i = 0) = !f(x_i = 0)$, то $f = x_i \oplus f(x_i = 0) = !x_i \oplus f(x_i = 1)$,

которые определяют возможность разложения заданной БФУ по переменной x_i или ее инверсии. Эти соотношения могут использоваться при построении бесповторных каскадов по заданной БФ.

При задании БФУ в виде таблицы истинности применять эти соотношения удобно, проводя разложение БФУ и всех ее остаточных функций по крайней левой входной переменной.

В [6] было установлено свойство столбца значений БФУ, реализуемой бесповторным настроенным каскадом Майтра, состоящее в том, что этот столбец должен состоять только из двух типов фрагментов длиной t, где $t = 2, 4, \ldots, 2^{n-1}$. Однако метод построения рассматриваемых каскадов по таблицам истинности, обладающим указанным свойством, был не известен.

Ниже предлагается такой метод, который может быть назван мультиплексорным методом с настраиваемым образом декомпозиции. При его применении в БФУ и всех ее остаточных функциях, заданных таблицами истинности, «выделяется» крайняя правая входная переменная и на каждом шаге составляется и решается относительно подфункции Ф уравнение

$$f = \text{MX}(Q_0, Q_1; \Phi),$$

где f — заданная функция или подфункция; Q_0 и Q_1 — фрагменты длиной два, зависящие от выделенной переменной, из которых состоит столбец значений этой функции или подфункции.

Метод строит для БФУ n переменных, обладающей указанным свойством, настроенный каскад Майтра, число элементов в котором $n - 1$.

Пример 14.1. Реализовать БФУ

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = |0111 \;\; 0101 \;\; 0101 \;\; 0111|^T.$$

Заданная ТИ обладает указанным свойством.

Полагая, что $Q_{01} = x_4$, $Q_{11} = 1$, составим и решим уравнение:

$$f = \text{MX}(x_4, 1; \Phi_1);$$

$$\text{MX}(x_4, 1, x_4, x_4, x_4, x_4, x_4, 1; x_1, x_2, x_3) = \text{MX}(x_4, 1; \Phi_1);$$

$$\Phi_1 = \text{MX}(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1; x_1, x_2, x_3).$$

Полагая, что $Q_{02} = x_3$, $Q_{12} = 0$, составим и решим уравнение:

$$\Phi_1 = \text{MX}(x_3, 0; \Phi_2);$$

$$\text{MX}(x_3, 0, 0, x_3; x_1, x_2) = \text{MX}(x_3, 0; \Phi_2);$$

$$\Phi_2 = \text{MX}(0, 1, 1, 0; x_1, x_2).$$

Полагая, что $Q_{03} = x_2$, $Q_{13} = !x_2$, составим и решим уравнение:

$$\Phi_2 = \text{MX}(x_2, !x_2; \Phi_3);$$

$$\text{MX}(x_2, !x_2; x_1) = \text{MX}(x_2, !x_2; \Phi_3);$$

$$\Phi_3 = \text{MX}(0, 1; x_1) = x_1.$$

На основе приведенных соотношений построим настроенный каскад Майтра (рис. 14.5), реализующий заданную БФУ.

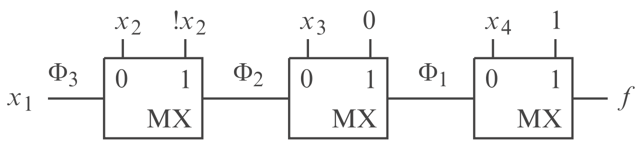

Рис. 14.5

Если столбец функции указанным свойством не обладает, то это не значит, что эта БФУ не будет обладать этим свойством при другом порядке входных переменных в таблице истинности. Вместо проведения таких перестановок, «направление» которых не известно, автором предлагается по булевой функции построить булеву формулу в базисе $\{\&, \vee, \oplus, !\}$.

Если эта БФ бесповторна, то она реализуется формульным методом бесповторным каскадом Майтра, который, в свою очередь, может быть реализован бесповторным настраиваемым каскадом Майтра.

Пример 14.2. Реализовать БФУ

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = |0111\ \ 1101\ \ 0101\ \ 0111|^T.$$

Эта таблица истинности указанным свойством не обладает, так как содержит четыре типа фрагментов длиной четыре. Используя карту Карно, построим БФ в базисе $\{\&, \vee, !\}$:

$$f = !x_1 x_3 ! x_2 \vee (x_1 \vee ! x_3) x_2 \vee x_4.$$

Эта формула может быть преобразована следующим образом:

$$f = (!x_1 x_3 \oplus x_2) \vee x_4.$$

Полученная БФ реализуется формульным методом каскадом Майтра (рис. 14.6).

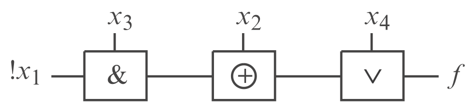

Рис. 14.6

Эта схема применяется для настройки бесповторного настраиваемого каскада Майтра (рис. 14.7).

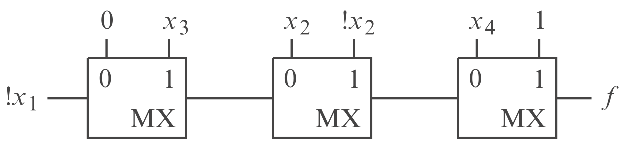

Рис. 14.7

Для построения повторных настроенных каскадов Майтра в [12] было предложено использовать разложения Рида (разд. 3.1.1). При этом шаг разложения может быть выполнен, если $f(x_i = 0)$ или $f(x_i = 1)$ является суммой по модулю два переменных, от которых она зависит, или является одной из переменных или ее инверсией.

В настоящей работе для указанной цели предлагается также применять новые преобразования булевых функций, приведенные в разд. 1.7.

Пример 14.3. Реализовать БФУ, заданную булевой формулой $f = x_1 ! x_3 \vee ! x_1 x_3 \vee x_2 x_3$ [11].

Так как $f(x_2 = 0) = x_1 \oplus x_3$, $f(x_2 = 1) = x_1 \vee x_3$, $f(x_2 = 0) \oplus \oplus f(x_2 = 1) = x_1 x_3$, то, используя первое разложение Рида, получим:

$$f = x_1 \oplus x_3 \oplus x_1 x_3 x_2 .$$

Эта БФ может быть реализована формульным методом повторным каскадом Майтра, по которому, в свою очередь, может быть построен повторный настроенный каскад Майтра, состоящий из четырех мультиплексоров «2 в 1». Так как эта булева формула может быть упрощена:

$$f = x_1(1 \oplus x_2 x_3) \oplus x_3 = (! x_2 \vee ! x_3) x_1 \oplus x_3 ,$$

то она может быть реализована формульным методом указанным каскадом Майтра, состоящим из трех мультиплексоров «2 в 1» (рис. 14.8).

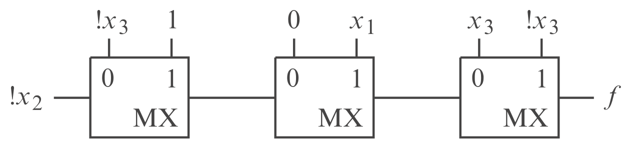

Рис. 14.8

Последняя формула может быть непосредственно получена с помощью первого преобразования Артюхова—Шалыто: $f(x_3 = 0) = x_1$, $f(x_3 = 1) = ! x_1 \vee x_2$, $! f(x_3 = 1) = x_1 ! x_2$, $f = (x_1 ! x_3 \vee x_1 ! x_2 x_3) \oplus \oplus x_3 = (! x_2 \vee ! x_3) x_1 \oplus x_3$.

Пример 14.4. Реализовать булеву функцию, заданную формулой $f = ! x_1 x_2 x_3 \vee x_1 ! x_3$.

В этом случае $f(x_1 = 0) = x_2 x_3$, $f(x_1 = 1) = ! x_3$, $f(x_1 = 0) \oplus \oplus f(x_1 = 1) = x_2 \vee ! x_3$. При этом на основании второго разложения Рида получим:

$$f = (x_2 \vee ! x_3) ! x_1 \oplus ! x_3 .$$

Эта формула реализуется каскадом, представленным на рис. 14.9.

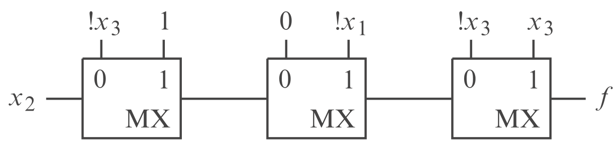

Рис. 14.9

Эта схема может быть построена также и на основе второго преобразования Артюхова—Шалыто: $f(x_3 = 0) = x_1$, $! f(x_3 = 0) = ! x_1$, $f(x_3 = 1) = ! x_1 x_2$, $f = (! x_1 ! x_3 \vee ! x_1 x_2 x_3) \oplus ! x_3 = (x_2 \vee ! x_3) ! x_1 \oplus ! x_3$.

Пример 14.5. Реализовать булеву функцию, заданную формулой

$$f = !x_1 x_2 x_3 \vee x_1(!x_2 x_3 \vee x_2 !x_3).$$

В этом случае $f(x_3 = 0) = x_1 x_2$, $f(x_3 = 1) = x_1 \oplus x_2$, $f(x_3 = 0) \oplus \oplus f(x_3 = 1) = x_1 \vee x_2$. Используя второе разложение Рида, получим:

$$f = (x_1 \vee x_2)!x_3 \oplus x_2 \oplus x_1.$$

Эта БФ реализуется каскадом, представленным на рис. 14.10.

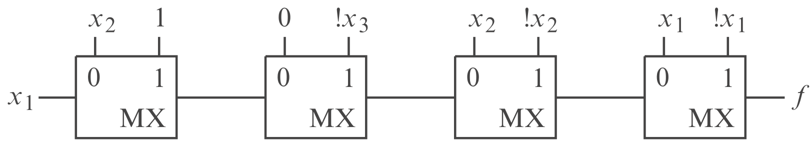

Рис. 14.10

Эта схема может быть построена также и за счет двухкратного применения первого преобразования Артюхова—Шалыто: $f(x_1 = 0) = x_2 x_3$, $f(x_1 = 1) = x_2 \oplus x_3$, $!f(x_1 = 1) = !x_2 \oplus x_3$, $f_1 = = !x_1 x_2 x_3 \vee x_1(!x_2 \oplus x_3)$, $f = f_1 \oplus x_1$, $f_1(x_2 = 0) = x_1 !x_3$, $f_1(x_2 = = 1) = x_3$, $!f_1(x_2 = 1) = !x_3$, $f_1 = (x_1 !x_2 !x_3 \vee x_2 !x_3) \oplus x_2 = (x_1 \vee \vee x_2)!x_3 \oplus x_2$.

Таким образом, $f = (x_1 \vee x_2)!x_3 \oplus x_2 \oplus x_1$.

Из приведенных примеров следует, что для класса БФУ, реализуемых повторными каскадами Майтра, разложения Рида и новые преобразования приводят к одинаковым результатам.

Формулы, которые не могут быть реализованы каскадами Майтра, реализуются схемами, построенными на основе этих каскадов.

Пример 14.6. Реализовать булеву формулу $f = x_1 x_2 \oplus x_3 x_4$.

На рис. 14.11 приведена схема из двухвходовых элементов, являющаяся обобщенным каскадом Майтра, состоящим из двух каскадов, а на рис. 14.12 приведена схема из настроенных каскадов Май-

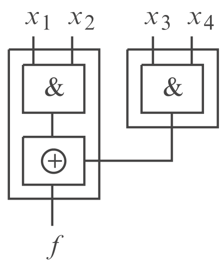

Рис. 14.11

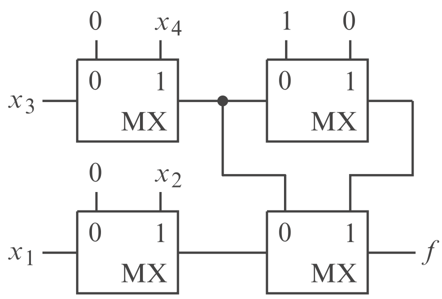

Рис. 14.12

тра, в первом из которых используется дополнительная ячейка, предназначенная для настройки ячейки второго каскада, реализующей элемент НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ, не связанный со входами схемы.

14.3. Реализация булевых формул многоканальными однородными структурами

Известны двухканальные однородные структуры из комбинационных элементов [14], называемые каскадами Шорта [12, 15]. В этих структурах каждая ячейка путем подачи констант на настроечные входы может реализовать произвольную пару БФУ трех переменных, подаваемых на информационный и боковые входы ячейки.

В этой структуре и ее модификациях [12, 15] БФ могут реализовываться в дизъюнктивной нормальной форме, в виде полиномов Жегалкина, а также на основе разложений Рида.

В [12, 15] была предложена трехканальная однородная структура из комбинационных элементов, каждая ячейка которой содержит только один внешний вход, который может использоваться в одних случаях как информационный, а в других — как настроечный вход.

Реализация БФ в этой структуре выполняется при ее представлении в виде полинома Жегалкина.

Для реализации скобочных формул ограниченной глубины в [15] были предложены двух- и трехканальные однородные структуры.

Известны также однородные структуры, состоящие из более простых ячеек [16—20]. Эти структуры, названные ленточными, обладают функциональной полнотой.

Общим недостатком всех перечисленных выше структур и методов вложения БФ в них является отсутствие линейной зависимости числа ячеек в структуре от числа букв в реализуемой БФ.

В настоящем разделе предлагаются однородные структуры, число ячеек в которых равно $h - 1$, где h — число букв в реализуемой формуле, записанной в базисе, для двухместных операций которого выполняется сочетательный закон [3, 21]. При этом число каналов в структуре равно числу уровней каскадов в древовидной схеме максимальной глубины, построенной из двухвходовых элементов этого базиса.

Таким образом, в отличие от известных подходов в однородную структуру вкладываются не «составляющие» реализуемой формулы, а элементы эквивалентной ей древовидной схемы указанного выше типа, реализующей заданную формулу.

В случае, когда доступны только прямые входные переменные, булева формула представляется в виде полинома Жегалкина или скобочной формы, построенной из этого полинома.

Предполагая, что прямые и инверсные входные переменные равнодоступны, будем записывать БФ в одном из двух базисов: $\{\&, \vee\}$ и $\{\&, \vee, \oplus\}$.

Общее правило построения предлагаемых структур состоит в том, что для каждой пары каналов, например $(i-1)$- и i-го, должны выполняться соотношения

$$\begin{cases} f_{i-1} = x; \\ f_i = y_i * y_{i-1}; \end{cases} \quad \begin{cases} f_{i-1} = y_{i-1} * x; \\ f_i = y_i, \end{cases}$$

а для всех остальных каналов — соотношение

$$f_j = y_j,$$

где $*$ — операции применяемого базиса; $j \neq i-1, i$.

При реализации в каждую ячейку структуры вкладывается один элемент схемы. При этом все элементы каскадов уровня p реализуются в одном канале с номером p. Уровни каскадов нумеруются от входов к выходу, а каналы — сверху вниз.

Это позволяет в двухканальной структуре [22] реализовать двухуровневые каскадные схемы, которым, в частности, соответствуют дизъюнктивные нормальные формы и полиномы Жегалкина, что обеспечивает универсальность предлагаемых структур.

На рис. 14.13, 14.14 в качестве примеров приведены конфигурации, реализуемые путем настройки каждой ячейкой двухканальной и трехканальной структур соответственно.

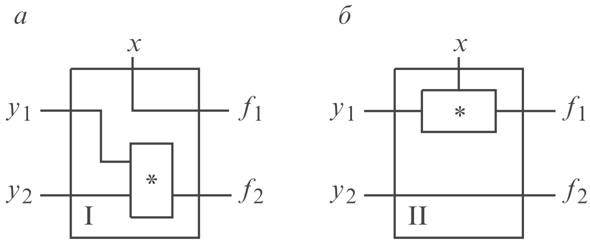

Рис. 14.13

Пример 14.7. Реализовать булеву функцию «точно два из трех», заданную полиномом Жегалкина вида:

$$f = x_1 x_2 \oplus x_1 x_3 \oplus x_2 x_3 \oplus x_1 x_2 x_3.$$

Построим древовидную схему максимальной глубины из двухвходовых элементов $\{\&, \oplus\}$ (рис. 14.15).

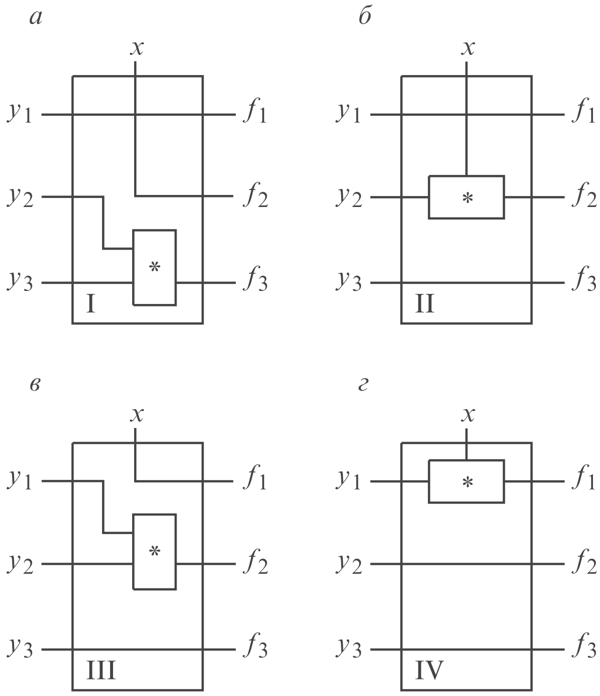

Рис. 14.14

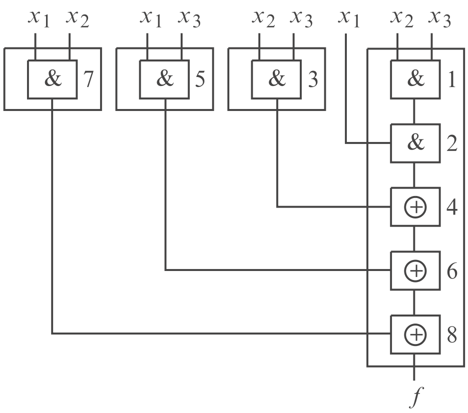

Рис. 14.15

Эта схема из восьми элементов содержит каскады двух уровней (три — первого уровня и один — второго) и реализуется двухканальной однородной структурой из восьми ячеек (рис. 14.16).

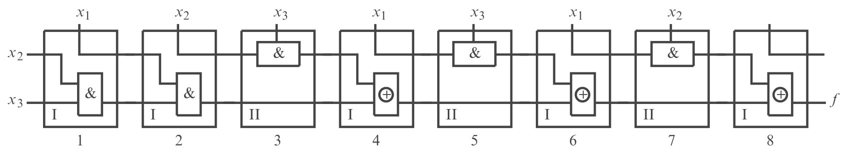

Рис. 14.16

Пример 14.8. Реализовать булеву формулу

$$f = (x_1 \vee x_2)(x_3 \vee x_4) \vee (x_5 \vee x_6)(x_7 \vee x_8).$$

Древовидная схема, реализующая эту БФ, приведена на рис. 14.17.

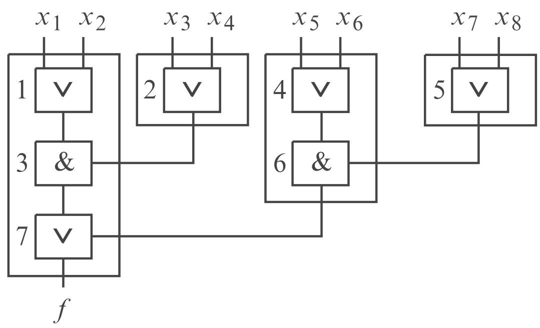

Рис. 14.17

Эта схема из семи элементов содержит каскады трех уровней (по одному — первого и третьего уровней и два каскада второго уровня) и реализуется трехканальной однородной структурой из семи ячеек (рис. 14.18).

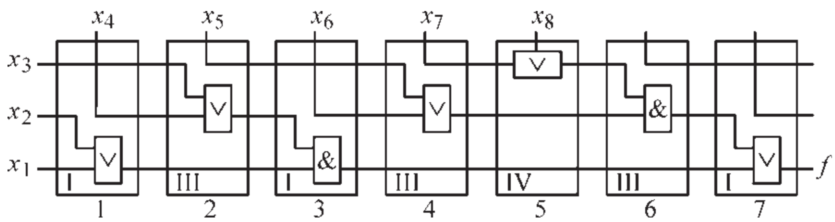

Рис. 14.18

Если в предлагаемых структурах разрешить повороты назад [3], то в k-канальной структуре может быть реализована древовидная схема, содержащая не более $k - 1$ каскадов первого уровня.

Пример 14.9. Реализовать булеву формулу, рассмотренную в предыдущем примере, в предлагаемой двухканальной однородной структуре.

Структура, реализующая эту БФ, приведена на рис. 14.19.

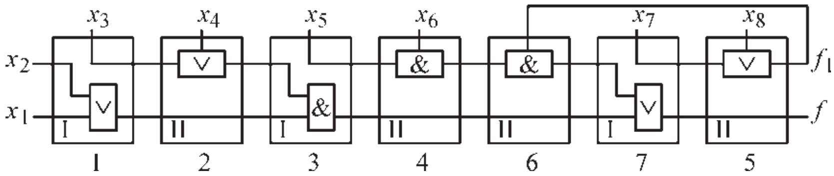

Рис. 14.19

Предложенные структуры позволяют реализовать также и системы булевых формул.

Пример 14.10. Реализовать однородной структурой с минимальным числом каналов систему булевых формул вида:

$$f_1 = (x_1 \vee x_2)\, x_3, \;\; f_2 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 .$$

Так как в данном случае древовидная схема состоит из пяти элементов и содержит три каскада (рис. 14.20), то она может быть реализована трехканальной однородной структурой из пяти ячеек (рис. 14.21).

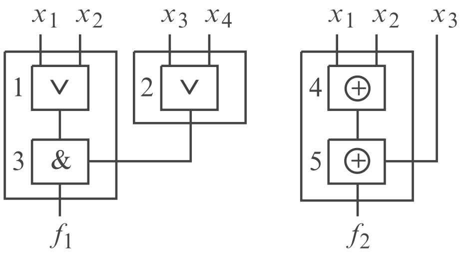

Рис. 14.20

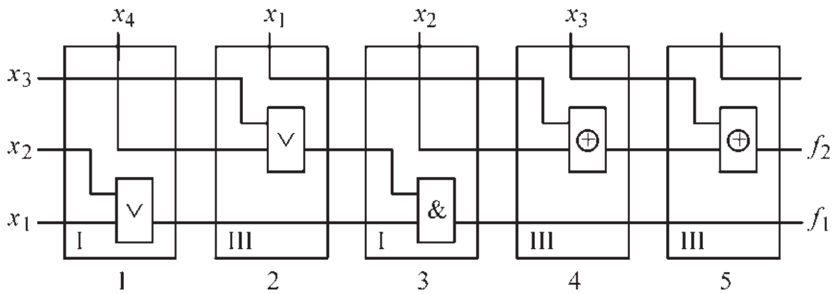

Рис. 14.21

14.4. Реализация булевых формул плоскостными однородными структурами

Известны [23—26] различные плоскостные однородные структуры. Однако такие структуры для реализации произвольных скобочных формул в выбранном базисе в литературе не рассматривались.

В [27] предложена ячейка однородной структуры, которая путем настройки может быть настроена на реализацию одной из четырех конфигураций, представленных на рис. 14.22.

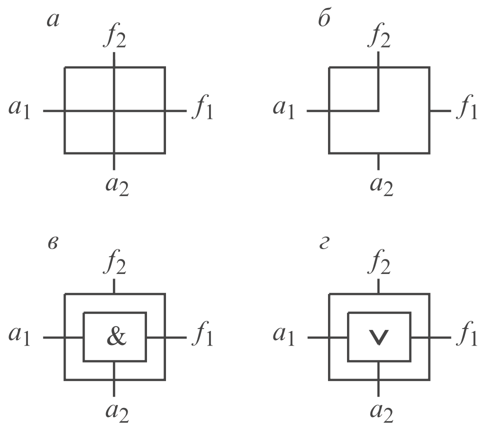

Рис. 14.22

Эта ячейка описывается следующей системой булевых формул:

$$f_1 = a_1 ! z_1 ! z_2 \vee 0 \,\&\, ! z_1 z_2 \vee a_1 a_2 z_1 ! z_2 \vee (a_1 \vee a_2) z_1 z_2;$$
$$f_2 = a_2 ! z_1 ! z_2 \vee a_1 ! z_1 z_2 \vee 0 \,\&\, z_1 ! z_2 \vee 0 \,\&\, z_1 z_2.$$

При $z_1 = 0,\ z_2 = 0$ — $f_1 = a_1, \quad f_2 = a_2$;
при $z_1 = 0,\ z_2 = 1$ — $f_1 = 0, \quad f_2 = a_1$;
при $z_1 = 1,\ z_2 = 0$ — $f_1 = a_1 a_2, \quad f_2 = 0$;
при $z_1 = 1,\ z_2 = 1$ — $f_1 = a_1 \vee a_2, \quad f_2 = 0$.

На основе этой ячейки может быть построена однородная плоскостная структура. Булева формула в базисе {&, ∨, !} при равной доступности прямых и инверсных входных переменных реализуется в этой структуре следующим образом.

Заданная булева формула из h букв реализуется древовидной схемой из h — 1 двухвходовых элементов И и ИЛИ. В этой схеме выделяются каскады, число которых определяется соотношением [3]

$$1 \leqslant K \leqslant [h/2].$$

Построенная схема преобразуется следующим образом:

— каждый выделенный каскад в схеме размещается в одной строке;

— каждый элемент схемы размещается в одном столбце.

Преобразованная схема «вкладывается» в рассматриваемую однородную структуру.

Таким образом, заданная булева формула реализуется плоскостной однородной структурой, число ячеек в которой определяется соотношением

$$h - 1 \leqslant L \leqslant (h - 1)\,[h/2].$$

Пример 14.11. Реализовать в предлагаемой однородной структуре булеву формулу $f = x_1 x_2 \vee x_3 x_4$.

На рис. 14.23 приведена древовидная схема, на рис. 14.24 — преобразованная схема, а на рис. 14.25 эта схема «вложена» в однородную структуру.

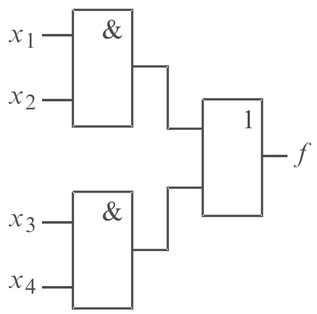

Рис. 14.23

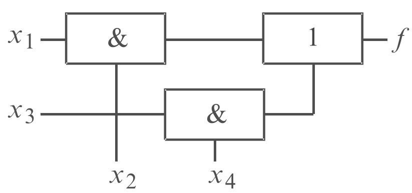

Рис. 14.24

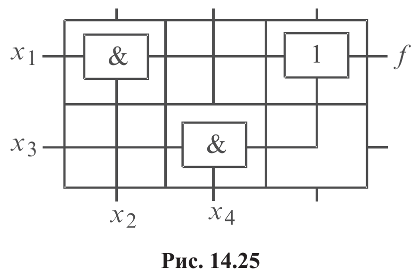

Рис. 14.25

Аналогичный подход может быть применен и для реализации булевых формул, использующих другие двухместные операции. При этом простейшей по числу настроек является ячейка для построения плоскостных однородных структур, реализующих булевы формулы в базисе И—НЕ (ИЛИ—НЕ). Такая ячейка должна настраиваться на реализацию лишь трех конфигураций (рис. 14.26).

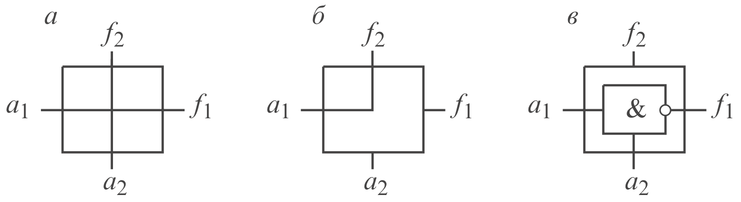

Рис. 14.26

В плоскостной однородной структуре из таких ячеек булева формула $f = x_1 x_2 \vee x_3 x_4 = !\big(!(x_1 x_2)!(x_3 x_4)\big)$ реализуется, как и в предыдущем случае, с помощью шести ячеек, в то время как булева формула $f = x_1 x_2 x_3 x_4$ требует шести ячеек против трех ячеек в предыдущей структуре.

Рассмотренный подход за счет незначительного усложнения ячеек может быть применен и для совместной реализации систем булевых формул. В [28] предложена ячейка, которая может быть настроена на одну из четырех конфигураций, приведенных на рис. 14.27.

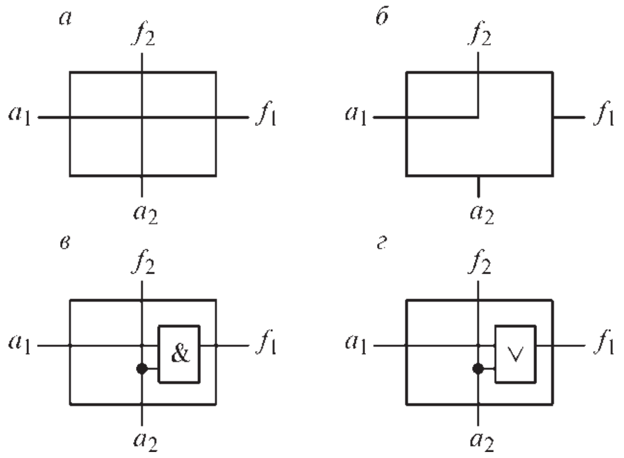

Рис. 14.27

На рис. 14.28 приведена однородная структура из девяти таких ячеек, реализующая систему БФ: $y_1 = x_1 x_2 \vee x_3 \vee x_4$, $y_2 = x_1 x_2 \vee x_3 x_4$.

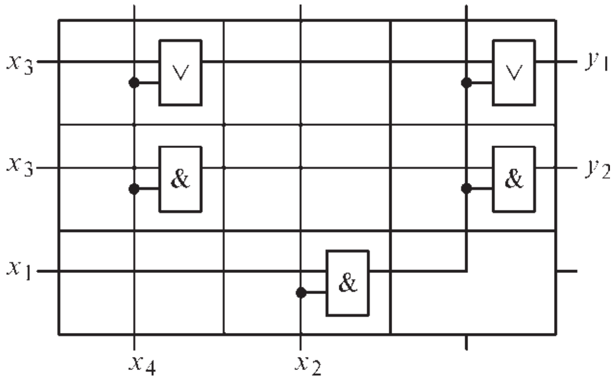

Рис. 14.28

Естественно, что, как и в случае реализации одной БФ, и для системы БФ могут быть предложены ячейки, в которых вместо двухвходовых элементов И и ИЛИ применяются двухвходовые элементы И—НЕ (ИЛИ—НЕ).

Выводы

1. Предложены бесповторные однородные каскады Макхопадхая из $h - 1$ трехвходовых мажоритарных элементов, позволяющие реализовать путем настройки бесповторные пороговые формулы из h букв.

2. Показано, что число пороговых элементов, требующихся для реализации произвольной булевой формулы в базисе И, ИЛИ из h букв, удовлетворяет соотношению

$$1 \leqslant \Pi \leqslant [h/2].$$

3. Установлено, что для того, чтобы булева функция n переменных могла быть реализована бесповторным однородным каскадом Майтра, ее столбец значений должен состоять только из двух типов фрагментов каждой из длин t, где $t = 2, 4, \ldots, 2^{n-1}$.

4. Предложены однородные каскады Майтра из мультиплексоров «2 в 1», которые являются наиболее простыми каскадами этого типа из известных.

5. Предложен мультиплексорный метод с настраиваемым образом декомпозиции для реализации бесповторными однородными каскадами Майтра булевых функций, столбцы значений которых обладают свойством, указанным в п. 3.

6. Предложено использовать преобразования Артюхова—Шалыто для поиска эффективных реализаций булевых функций повторными однородными каскадами Майтра.

7. Предложены многоканальные линейные однородные структуры из $h - 1$ ячеек для реализации булевых формул в рассматриваемых базисах из h букв.

8. Предложены плоскостные однородные структуры для реализации указанных классов булевых формул с квадратичной (от числа букв) верхней оценкой числа ячеек в них.

Литература

1. *Makhapadhyay A.* Unate cellur logic // IEEE Trans. on Computers. 1969. N 2.
2. *Артюхов В. Л., Розенблюм Л. Я., Шалыто А. А.* Логические возможности некоторых типов каскадных структур // Сети связи и дискретные устройства управления. М.: Наука, 1976.
3. *Артюхов В. Л., Копейкин Г. А., Шалыто А. А.* Настраиваемые модули для управляющих логических устройств. Л.: Энергоиздат, 1981.
4. *Бутаков Е. А.* Методы синтеза релейных устройств из пороговых элементов. М.: Энергия, 1970.
5. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А.* Однородные структуры для реализации булевых формул // Логические методы построения однородных и систолических структур. Труды I Всесоюз. семинара. М.: Ин-т проблем передачи информации, 1988.
6. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А.* Реализация булевых формул однородными мультиплексорными и мажоритарными каскадами // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1996. № 5.
7. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А.* Однородная структура. А. с. СССР № 900279 // Бюл. изобр. 1982. № 3.
8. *Maitra K. K.* Cascaded switching networks of two-input flexible cells // IRE Trans. Elect. Comp. 1964. N 2.
9. *Sklansky I., Korenjak A. I., Stone H. S.* Canonical tributary networks // IEEE Trans. on Computers. 1965. N 6.
10. *Plish D. C., Scidmore A. K.* The number of equivalence classes of functions realizable by tributary networks // IEEE Trans. on Computers. 1966. N 2.
11. *Поспелов Д. А.* Логические методы анализа и синтеза схем. М.: Энергия, 1974.
12. *Варшавский В. И., Мараховский В. Б., Песчанский В. А., Розенблюм Л. Я.* Однородные структуры. Анализ. Синтез. Поведение. М.: Энергия, 1973.
13. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А.* Судовые управляющие логические системы. Л.: ИПК СП, 1983.
14. *Шорт Р.* Каскады с матричной структурой из двухканальных элементов // Микроэлектроника и большие системы. М.: Мир, 1967.
15. *Варшавский В. И., Мараховский В. Б., Розенблюм Л. Я.* и др. Синтез схем в однородных структурах // Обзоры по корабельной автоматике. Л.: Судостроение, 1973. Вып. 6.
16. *Битюцкий В. П., Чистов В. П.* Функциональная полнота ленточных структур // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1971. № 3.
17. *Битюцкий В. П., Чистов В. П.* Простейшие ленточные структуры // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1971. № 6.
18. *Голунков Ю. В.* Несколько замечаний об однородных ленточных структурах // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1972. № 6.
19. *Голунков Ю. В.* Функциональная полнота ленточных структур из простейших однонаправленных каскадов // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1973. № 2.
20. *Битюцкий В. П., Ковалин Л. В., Чистов В. П.* О функциональной полноте полосы простейшей однородной структуры // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1974. № 5.

21. *Артюхов В. Л., Копейкин Г. А., Шалыто А. А.* О реализации скобочных формул произвольной глубины в линейных однородных структурах из комбинационных элементов // Однородные вычислительные системы и среды. Ч.1. Материалы IV Всесоюз. конф. Киев: Ин-т кибернетики, 1975.

22. *Артюхов В. Л., Шалыто А. А.* Ячейка однородной среды. А. с. СССР № 798804 // Бюл. изобр. 1981. № 3.

23. *Евреинов Э. В., Косарев Ю. Г.* Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск: Наука, 1966.

24. *Прангишвили И. В., Абрамова Н. А., Бабичева Е. В., Игнатущенко В. В.* Микроэлектроника и однородные структуры для построения логических и вычислительных устройств. М.: Наука, 1967.

25. *Евреинов Э. В., Прангишвили И. В.* Цифровые автоматы с настраиваемой структурой. М.: Энергия, 1974.

26. *Каляев А. В.* Многопроцессорные системы с программируемой архитектурой. М.: Радио и связь, 1984.

27. *Артюхов В. Л., Шалыто А.А* . Ячейка однородной структуры. А. с. СССР № 1092492 // Бюл. изобр. 1984. № 18.

28. *Шалыто А. А.* Ячейка однородной структуры. А. с. СССР № 1264162 // Бюл. изобр. 1986. № 38.