

УДК 681.3.06 : 62-507

## МОДУЛИ, УНИВЕРСАЛЬНЫЕ В КЛАССЕ ВСЕХ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ, С ПАРАФАЗНЫМИ ВХОДНЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

© 1997 г. А. А. Шалыто

Санкт-Петербург, НПО "Аврора"

Поступила в редакцию 21.03.96 г.

В работе вводится новый класс универсальных логических модулей  $n$  переменных с  $m$  парафазными входными переменными. Показана область эффективного применения таких модулей. Предложены методы их настройки на реализацию произвольных булевых функций  $n$  переменных. Получено соотношение для определения числа входов модулей.

**Введение.** Известно большое число работ [1–14], посвященных построению модулей, универсальных в классе всех булевых функций (БФУ) от  $n$  переменных, называемых универсальными логическими модулями  $n$  переменных и обозначаемых УЛМ  $n$ . При этом наибольшее распространение на практике получили модули, в которых информационные и управляющие входы разделены.

В [1, 7] описаны универсальные логические модули  $n$  переменных без парафазных входных переменных, настройка которых осуществляется за счет подачи на управляющие входы констант 0 и 1. Там же описаны универсальные логические модули  $n$  переменных с одной парафазной входной переменной, настройка которых осуществляется за счет подачи на управляющие входы констант 0, 1, переменной  $x_l$  и ее инверсии  $\bar{x}_l$ . Это позволяет сократить число входов модулей по сравнению с предыдущим классом модулей.

Дальнейшее сокращение числа входов достигается при использовании универсальных логических модулей  $n$  переменных с  $n$  парафазными входными переменными, настройка которых осуществляется за счет возможности подачи на управляющие входы констант 0, 1, переменных  $x_1, x_2, \dots, x_l$  и их инверсий  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_l$  [2, 7].

В настоящее время в теории универсальных логических модулей имеется пробел – не рассматривались универсальные логические модули  $n$  переменных с  $m$  парафазными входами ( $n \geq m$ ).

При определенной структуре модули этого класса являются обобщением трех классов модулей, перечисленных выше: первого при  $m = 0$ , второго при  $m = 1$  и третьего при  $n = m$ .

Настоящая работа призвана восполнить указанный пробел и посвящена исследованию указанного выше нового класса модулей.

**1. Универсальные логические модули  $n$  переменных без парафазных входных переменных.**

Модулями этого класса являются мультиплексоры (МС) " $2^n$  в 1", рассматриваемые как одна компонента или композиция МС меньшего числа переменных. Число входов в таких модулях удовлетворяют соотношению

$$M1(n) = n + 2^n.$$

Значения  $M1(n)$  при  $n = 2 \dots 7$  приведены во втором столбце табл. 1. Для модулей этого типа будем использовать обозначение УЛМ  $n, 0$ .

**2. Универсальные логические модули  $n$  переменных с одним парафазным входом.** Модули этого класса являются МС " $2^{n-1}$  в 1", рассматриваемые как одна компонента или композиция МС меньшего числа переменных. Число входов в таких модулях удовлетворяет соотношению

$$M2(n) = n + 2^{n-1} - 1.$$

Значения  $M2(n)$  при  $n = 2 \dots 7$  приведены в третьем столбце табл. 1.

На рис. 1 представлен модуль УЛМ 3, 1, реализованный МС "4 в 1", а на рис. 2 этот модуль построен как композиция трех МС "2 в 1". Реализация произвольной БФУ трех переменных  $x_1, x_2, x_3$  осуществляется за счет подачи на информационные входы переменных  $x_1, x_2$ , а на управляю-

Таблица 1

$n$	$m$							
	0	1	2	3	4	5	6	7
2	6	3	3	–	–	–	–	–
3	11	6	6	6	–	–	–	–
4	20	11	11	10	10	–	–	–
5	37	20	20	17	17	16	–	–
6	70	37	37	30	30	28	28	–
7	135	70	70	55	55	51	51	39

щие входы  $z_0, \dots, z_3$  – констант 0, 1, переменной  $x_3$  и ее инверсии  $\bar{x}_3$ .

На рис. 3 приведен модуль УЛМ 4, 1, состоящий из двух МС “4 в 1” и одного МС “2 в 1”.

**3. Универсальные логические модули  $n$  переменных с  $n$  парафазными входными переменными.** Структура модуля  $n$  переменных, настраиваемого за счет подачи символов 0, 1,  $x_i, \bar{x}_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) на управляющие входы  $z_1, z_2, \dots, z_l$ , приведена на рис. 4. Для модулей этого класса будем использовать обозначение УЛМ  $n, n$ .

Этот модуль содержит блоки (Б), каждый из которых реализует подмножество конъюнкций  $n$  переменных. Конъюнкции в каждом подмножестве должны удовлетворять условию избирательности – с помощью управляющего входа (связанного с блоком) за счет подачи на него символов 0, 1,  $x_i, \bar{x}_i$  могут быть реализованы любые комбинации конъюнкций, образующих подмножество (включая отсутствие конъюнкций).

Число конъюнкций, входящих в блок, должно удовлетворять неравенству

$$s \leq [l + \log_2(n + 1)],$$

где  $[l]$  – символ округления “ $l$ ” до ближайшего меньшего целого.

Число настроечных входов модуля определяется соотношением

$$t(n) = \left\lceil \frac{2^n}{[1 + \log_2(n + 1)]} \right\rceil,$$

где  $\lceil l \rceil$  – символ округления “ $l$ ” до ближайшего целого.

Число входов модуля при  $n \geq 3$

$$M3(n) = n + t = n + \left\lceil \frac{2^n}{[1 + \log_2(n + 1)]} \right\rceil.$$

При  $n = 2$  в качестве модуля УЛМ 2.2 может использоваться МС “2 в 1”, структура которого описывается формулой  $F = \bar{x}_1 \& z_0 \vee x_1 \& z_1$  ( $\vee$  – символ операции дизъюнкция). Значения  $M3$  при  $n = 2 \dots 7$  приведены в крайней правой диагонали табл. 1.

При фиксированном  $n$  блоки, входящие в состав модуля, могут формироваться различными способами. Таблица 2 описывает четыре варианта блоков модулей УЛМ 3.3 (рис. 5). В этой таблице  $a, b \in \{0, 1\}$ .

Выбирая для определенности третий вариант, перечислим входные наборы, образующие блоки модуля УЛМ 3.3

$$B13 = \begin{Bmatrix} 000 \\ 101 \\ 011 \end{Bmatrix}; \quad B23 = \begin{Bmatrix} 100 \\ 001 \\ 111 \end{Bmatrix}; \quad B33 = \begin{Bmatrix} 010 \\ 110 \end{Bmatrix}.$$

Таблица 2

1			2			3			4		
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$a$	0	1	$a$	0	0	$a$	0	0	$a$	0	0
$a$	1	0	$\bar{a}$	1	0	$\bar{a}$	0	1	$\bar{a}$	0	1
$\bar{a}$	1	1	$a$	1	1	$a$	1	1	$\bar{a}$	1	0
$b$	0	0	$b$	0	1	$b$	1	0	$b$	1	1

Из сравнения модулей УЛМ3.1 (рис. 2) и модуля 3.3 (рис. 5) следует, что первые из них обладают меньшей элементной сложностью при одинаковом числе входов. Эти модули обладают также и одинаковыми функциональными возможностями. Однако, как будет показано в следующем разделе, при построении модулей УЛМ  $n$  из модулей УЛМ  $m$  ( $n > m$ ) модули УЛМ  $m$ ,  $m$  более эффективны.

При  $n = 4.5$  блоки могут быть сформированы на основе табл. 3 [2, 14]. При этом  $c, d \in \{0, 1\}$ . Перечислим входные наборы, входящие в соответствующие блоки.

Для модуля УЛМ 4.4

$$B14 = \begin{Bmatrix} 0000 \\ 1010 \\ 0110 \end{Bmatrix}; \quad B24 = \begin{Bmatrix} 0001 \\ 1011 \\ 0111 \end{Bmatrix};$$

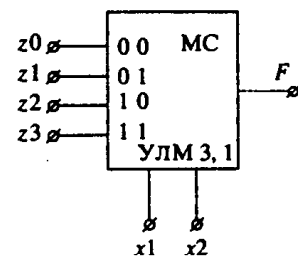


Рис. 1.

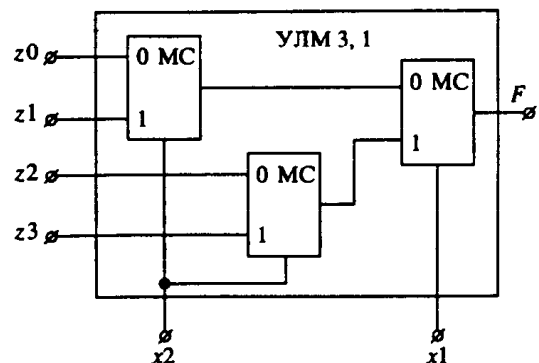


Рис. 2.

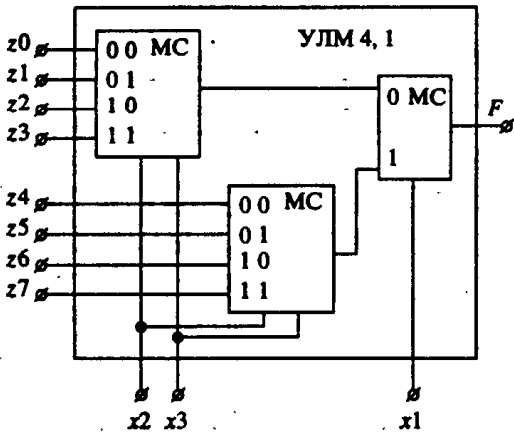


Рис. 3.

$$B54 = \begin{Bmatrix} 0100 \\ 1100 \end{Bmatrix}; \quad B64 = \begin{Bmatrix} 0101 \\ 1101 \end{Bmatrix}$$

Для модуля УЛМ 5.5

$$B15 = \begin{Bmatrix} 00000 \\ 10100 \\ 01100 \end{Bmatrix}; \quad B25 = \begin{Bmatrix} 00001 \\ 10101 \\ 01101 \end{Bmatrix};$$

$$B35 = \begin{Bmatrix} 00010 \\ 10110 \\ 01110 \end{Bmatrix}; \quad B45 = \begin{Bmatrix} 00011 \\ 10111 \\ 01111 \end{Bmatrix};$$

$$B55 = \begin{Bmatrix} 10000 \\ 00100 \\ 11100 \end{Bmatrix}; \quad B65 = \begin{Bmatrix} 10001 \\ 00101 \\ 11101 \end{Bmatrix};$$

$$B75 = \begin{Bmatrix} 10010 \\ 00110 \\ 11110 \end{Bmatrix}; \quad B85 = \begin{Bmatrix} 10011 \\ 00111 \\ 11111 \end{Bmatrix};$$

$$B95 = \begin{Bmatrix} 01000 \\ 11001 \\ 01011 \end{Bmatrix}; \quad B105 = \begin{Bmatrix} 11000 \\ 01001 \\ 11011 \end{Bmatrix};$$

$$B115 = \begin{Bmatrix} 01010 \\ 11010 \end{Bmatrix}$$

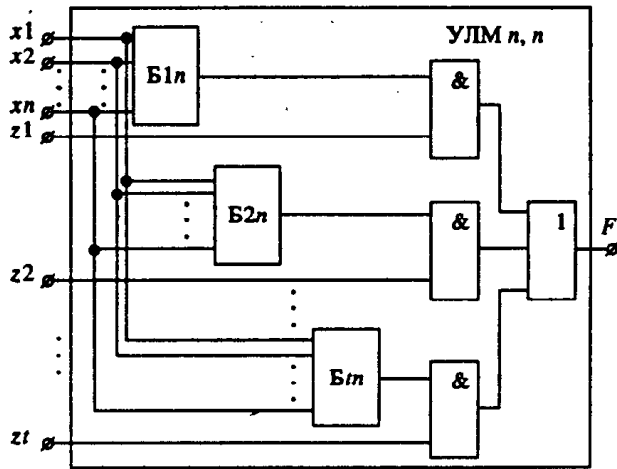


Рис. 4.

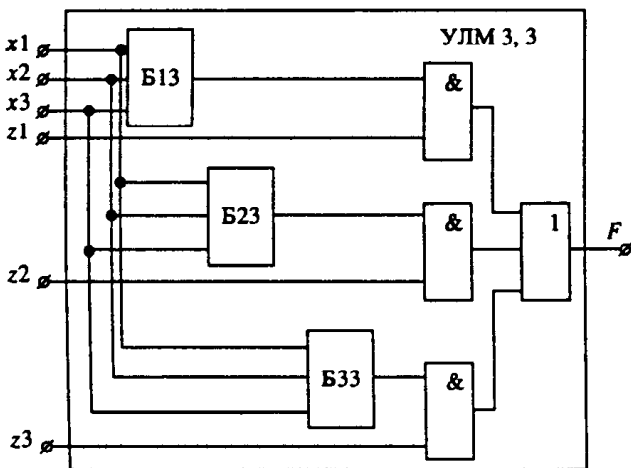


Рис. 5.

$$B34 = \begin{Bmatrix} 1000 \\ 0010 \\ 1110 \end{Bmatrix}; \quad B44 = \begin{Bmatrix} 1001 \\ 0011 \\ 1111 \end{Bmatrix};$$

Модуль УЛМ 3.3, в котором минимизируется элементная сложность, описан в [15].

**4. Использование блоков модулей УЛМ  $m, m$  при построении модулей УЛМ  $n, n$ .** Эту задачу рассмотрим на примере построения модуля УЛМ 5.5 с использованием блоков модуля УЛМ 3.3.

Анализ входных наборов, образующих блоки модуля УЛМ 5.5, приведенных в разд. 3, показывает, что первые четыре блока (B15, ..., B45) могут быть построены на базе блока B13 модуля УЛМ 3.3, блоки с пятого (B55) по восьмой (B85) — на базе блока B23 модуля УЛМ 3.3, девятый и десятый блоки (B95, B105) должны использоваться в "естественном" виде, а одиннадцатый блок B115 может быть реализован на базе блока B33 модуля УЛМ 3.3.

На рис. 6 приведен модуль УЛМ 5.5, имеющий меньшую элементную сложность (при том же числе входов), по сравнению с модулем УЛМ 5.5 с канонической структурой (рис. 4).

При этом на управляющие входы  $z_1, \dots, z_8, z_{11}$  в парафазной форме должны подаваться только переменные  $x_1, x_2, x_3$ , в то время как переменные  $x_4, x_5$  могут быть однофазными. На входах  $z_9$  и  $z_{10}$  любая входная переменная  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  может потребоваться в парафазной форме.

Для определения настройки модуля заданная таблица истинности должна быть преобразована так, чтобы входные наборы в ней располагались в порядке их перечисления по блокам в разд. 3: B15, B25, ..., B115.

**5. Универсальные логические модули первого типа  $n$  переменных с  $m$  парафазными входными переменными.** Будем использовать в этом случае обозначение УЛМ  $n, m, 1$ .

На рис. 7 приведена схема модуля УЛМ  $n, m, 1$ , построенного из  $2^{n-m}$  модулей УЛМ  $m, m$  и одного МС "2<sup>n-m</sup> в 1". На управляющие входы  $Z$  предлагаемого модуля могут подаваться константы 0, 1 и парафазные входные переменные  $x(n-m+1), \dots, x_n$ .

Число входов в таком модуле при  $m = 0, 3, 4, \dots, n$  определяется соотношением

$$M^m_4(n) = n + 2^{n-m} \left[ \frac{2^m}{1 + \log_2(m+1)} \right],$$

так как каждый из  $2^{n-m}$  модулей УЛМ  $m, m$ , входящих в модуль УЛМ  $n, m$  первого типа, имеет по  $t(m)$  управляющих входов.

При  $m = 1$  предлагаемый модуль совпадает с единым модулем УЛМ  $n, 1$ , а при  $m = 2$  – с композиционным модулем УЛМ  $n, 1$ .

Значения  $M_4$  при различных значениях  $n$  и  $m$  приведены в табл. 1.

На рис. 8 приведен модуль УЛМ 4, 3, 1 с 10 входами, построенный из двух шестивходовых модулей УЛМ 3.3 и одного МС "2 в 1". При этом обратим внимание на тот факт, что модуль УЛМ 4.1, построенный из двух шестивходовых модулей УЛМ 3.1 и одного МС "2 в 1" (рис. 3), имеет 11 входов.

Из приведенного примера следует, что модули УЛМ 3.3 и УЛМ 3.1, имеющие одинаковое число входов и одинаковые функциональные возможности, обладают различной эффективностью при построении модуля УЛМ 4 на их основе. Меньшее число входов модуля УЛМ 4.3.1 по сравнению с модулем УЛМ 4.1 определяется большим числом парафазных переменных, подаваемых на его управляющие входы.

Из сравнения модулей УЛМ 4.3 и УЛМ 4.4 следует, что:

- они имеют одинаковое число входов;
- первый модуль имеет меньшую элементную сложность;

Таблица 3

$n = 4$				$n = 5$				
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
$a$	0	0	$b$	0	0	0	$b$	$c$
$\bar{a}$	0	1	$b$	$\bar{a}$	0	1	$b$	$c$
$a$	1	1	$b$	$a$	1	1	$b$	$c$
0	1	0	$b$	$d$	1	0	0	0
1	1	0	$b$	$\bar{d}$	1	0	0	1
				$d$	1	0	1	1
				0	1	0	1	0
				1	1	0	1	0

первый модуль требует использования однофазной переменной  $x_1$ .

Из табл. 1 следует, что аналогичные выводы можно сделать и из сравнения модулей УЛМ 6.5.1 и УЛМ 6.6. При других значениях  $n$  и  $m$  промежуточное число парафазных входных переменных приводит к промежуточному числу входов модулей

$$M_2(n) > M^m_4(n) > M_3(n).$$

**Пример 1.** Определить настройку модуля УЛМ 4.3.1 при реализации БФУ, заданной табл. 4.

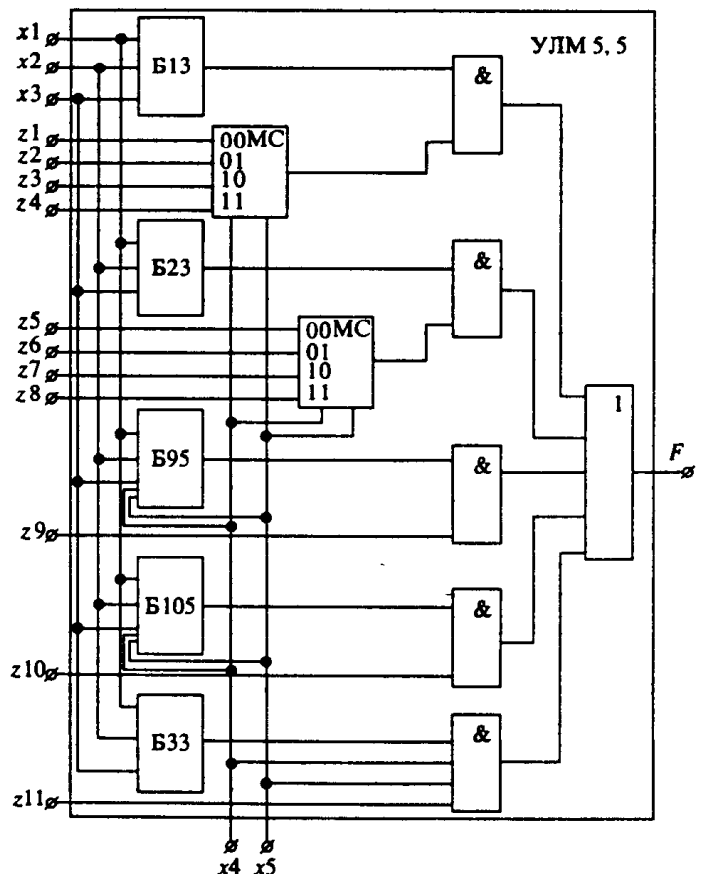


Рис. 6.

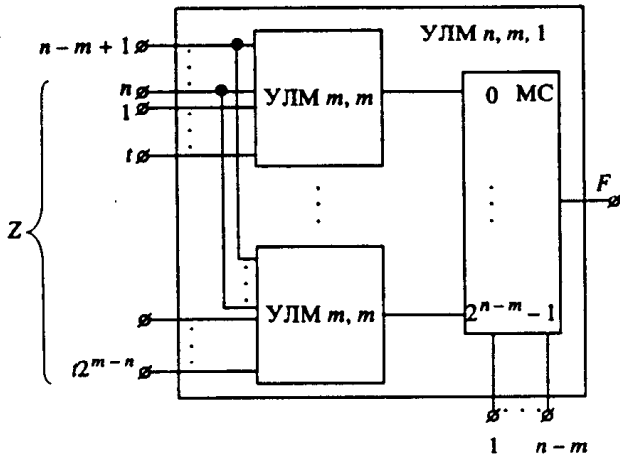


Рис. 7.

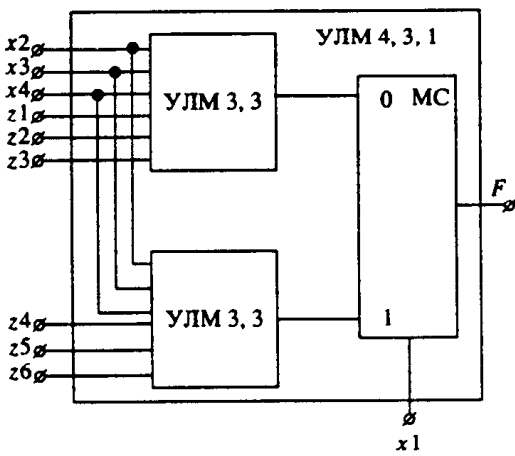


Рис. 8.

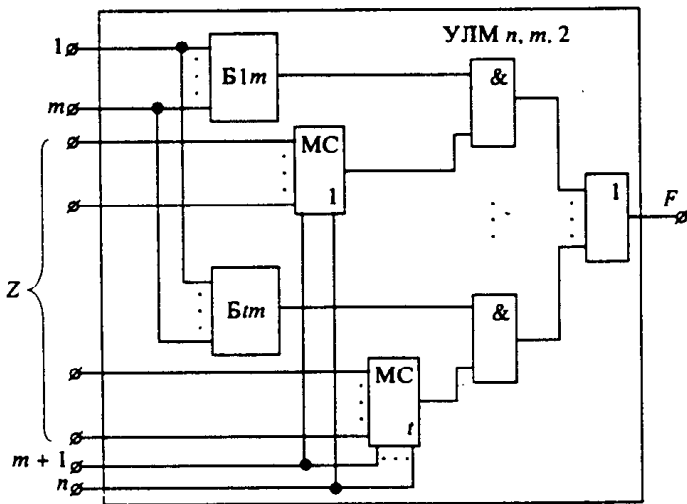


Рис. 9.

Перестроим табл. 4 в соответствии с расположением конъюнкций в блоках модуля УЛМ 3.3 для переменных  $x_2, x_3, x_4$  (табл. 5).

Сопоставляя фрагменты "высоты"  $s$  столбца значений  $f$  заданной функции с соответствующими фрагментами той же "высоты" столбцов зна-

чений входных переменных  $x_2, x_3, x_4$ , заполним столбец  $z_j$  таблицы. Из рассмотрения этого столбца следует, что  $z_1 = x_2, z_2 = x_4, z_3 = 1, z_4 = \overline{x_3}, z_5 = \overline{x_4}, z_6 = \overline{x_2}$ .

**6. Универсальные логические модули второго типа  $n$  переменных с  $m$  парафазными входными переменными.** Существенного уменьшения элементной сложности при сохранении числа входов можно добиться при переходе от рассмотренного в предыдущем разделе класса модулей к универсальным логическим модулям  $n$  переменных с  $m$  парафазными входными переменными второго типа (рис. 9), которые будем обозначать УЛМ  $n, m, 2$ .

Упрощение модулей достигается за счет использования в них не модулей УЛМ  $m, m$ , как в предыдущем случае, а только блоков, входящих в состав этих модулей.

Число входов в таких модулях при  $m \geq 3$  определяется соотношением  $M^{m4}(n)$ , приведенным в предыдущем разделе. В этих модулях число МС равно  $t(m)$ , а каждый из МС имеет  $2^{n-m}$  управляющих входов.

На рис. 10 приведен модуль УЛМ 4.3.2, построенный из блоков модуля УЛМ 3.3.

**Пример 2.** Определить настройку модуля УЛМ 4.3.2 при реализации БФУ (табл. 4).

Перестроим табл. 4. Для этого каждую совокупность наборов значений входных переменных  $x_1, x_2, x_3$ , соответствующую каждому блоку модуля УЛМ 3.3, повторим дважды, и дополним четвертую позицию (для переменной  $x_4$ ) первый раз нулями, а второй — единицами (табл. 6). Из рассмотрения табл. 6 следует, что  $z_1 = x_3; z_2 = \overline{x_1}; z_3 = \overline{x_2}; z_4 = 0; z_5 = x_1; z_6 = 1$ .

Из сравнения блоков, сформированных в табл. 6, с блоками модулей УЛМ 4.4, приведенными в разд. 3, следует их полное совпадение. При этом  $2t(m) = t(n)$ . Это обеспечивает равное число входов модулей УЛМ 4.3.2 и УЛМ 4.4. Однако элементная сложность модуля УЛМ 4.3.2 существенно ниже сложности как модуля УЛМ 4.4, так и модуля УЛМ 4.3.1. При этом для модуля УЛМ 4.3.2 переменная  $x_4$  может быть однофазной. Та же ситуация имеет место при  $m = 5$  и  $n = 6$ .

В случаях, когда

$$2^{n-m}t(m) > t(n),$$

модули УЛМ  $n, m, 2$  имеют большее число входов по сравнению с модулями УЛМ  $n, n$  при меньшей элементной сложности и меньшем числе парафазных входных переменных.

При использовании предлагаемых модулей в общем случае при перестроении таблицы истинности заданной БФУ наборы значений входных переменных  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , соответствующие блокам модуля УЛМ  $m, m$  повторяются  $2^{n-m}$  раз, а ос-

Таблица 4

x1	x2	x3	x4	f
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

Таблица 5

j	x1	x2	x3	x4	f	zj
1	0	0	0	0	0	x2
	0	1	0	1	1	
	0	0	1	1	0	
2	0	1	0	0	0	x4
	0	0	0	1	1	
	0	1	1	1	1	
3	0	0	1	0	1	1
	0	1	1	0	1	
4	1	0	0	0	1	¬x3
	1	1	0	1	1	
	1	0	1	1	0	
5	1	1	0	0	1	¬x4
	1	0	0	1	0	
	1	1	1	1	0	
6	1	0	1	0	1	¬x2
		1	1	1	0	0

Таблица 6

j	x1	x2	x3	x4	f	zj
1	0	0	0	0	0	x3
	1	0	1	0	1	
	0	1	1	0	1	
2	0	0	0	1	1	¬x1
	1	0	1	1	0	
	0	1	1	1	1	
3	1	0	0	0	1	¬x2
	0	0	1	0	1	
	1	1	1	0	0	
4	1	0	0	1	0	0
	0	0	1	1	0	
	1	1	1	1	0	
5	0	1	0	0	0	x1
	1	1	0	0	1	
6	0	1	0	1	1	1
	1	1	0	1	1	

Таблица 7

№ п.п.	z1	z2	z3	z4	Представитель типа
1	x2	x3	0	0	$x1 \& x2 \& x3$
2	x2	0	0	x3	$(x1 \vee x2) \& x3$
3	x2	x3	0	1	$(x1 \vee x2) \oplus x3$
4	x2	0	x3	x3	$(x1 \oplus x2) \& x3$
5	x2	¬x3	1	x3	$x1 \oplus x2 \oplus x3$
6	x2	¬x3	0	x3	$(x1 \vee x2) \& x3 \vee x1 \& x2$
7	0	0	x3	x3	$x1 \& x2 \vee x3 \& \neg x2$
8	x2	1	0	x3	$\neg x1 \& \neg x2 \& x3 \vee x1 \& x2 \& \neg x3$
9	x2	1	¬x3	x3	$\neg x1 \& \neg x2 \vee x1 \& x2 \& \neg x3$
10	x2	¬x3	x3	1	$(x1 \oplus x2) \& x3 \vee \neg x1 \& \neg x2 \& \neg x3$
11	x2	x3	x3	1	$x1 \vee x2 \vee x3$
12	x2	1	x3	x3	$x1 \& x2 \vee x3$
13	x2	x3	1	1	$(x1 \oplus x2) \vee x3$
14	x2	0	¬x3	x3	$(\neg x1 \vee \neg x2) \& \neg x3 \vee (x1 \vee x2) \& x3$
15	x2	0	x3	1	$(x1 \oplus x2) \vee (x1 \vee x2) \& \neg x3$
16	x2	¬x3	¬x3	x3	$x1 \& x2 \vee (x1 \vee x2) \& x3 \vee \neg x1 \& \neg x2 \& \neg x3$

тальные позиции в наборах, соответствующих блоку, заполняются  $n - m$  разрядными двоичными числами, располагаемыми в лексикографическом порядке.

В заключение раздела отметим, что впервые использовать блоки, входящие в состав модулей УЛМ  $m$ ,  $t$ , для построения модулей УЛМ  $n$ ,  $t$  было предложено в [16] при построении модуля УЛМ 4.3.

Частный случай модулей рассматриваемого класса – модули УЛМ  $n$ , 3.2, описаны в [17]. В этой же работе приведен пример реализации БФУ пяти переменных модулей УЛМ 5.3.2.

**7. Универсальные логические модули без разделения информационных и управляющих входов.** Определим нижнюю оценку числа входов  $M$  однокомпонентных модулей, универсальных в классе всех БФУ  $n$  переменных.

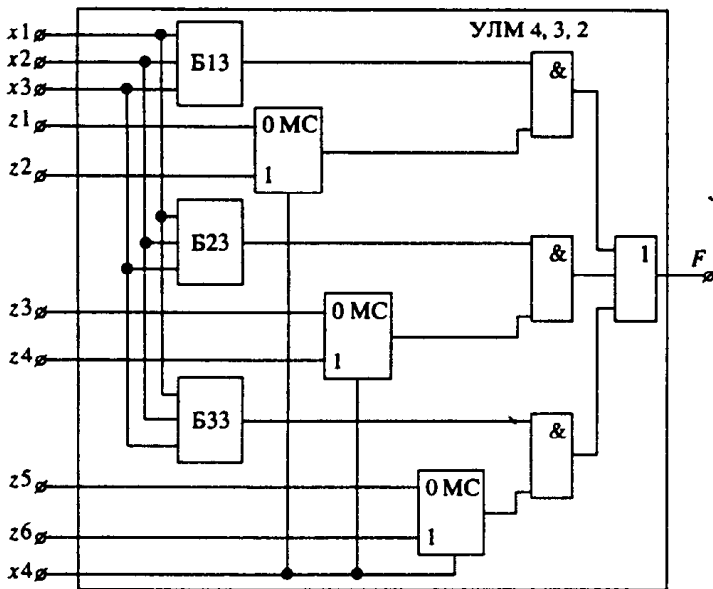


Рис. 10.

Для этого откажемся от разделения входов модулей на информационные и управляющие. Тогда при наличии всех входных переменных в парафазной форме справедливо

$$(2n + 2)^M \geq 2^{2^n};$$

$$M(1 + \log_2(n + 1)) \geq 2^n;$$

$$M \geq \left\lceil \frac{2^n}{1 + \log_2(n + 1)} \right\rceil = t(n).$$

Полученное соотношение показывает, что в модулях УЛМ  $n$  число входов не может быть меньше числа управляющих входов в модулях УЛМ  $n, n$ .

При  $n = 3$   $t(3) = 3$ . Попытка построения УЛМ 3 с  $M = 4$  к успеху не может привести, так как в [3] доказано, что не существует ни одной БФУ четырех переменных, которая одновременно реализует три функции трех переменных:  $f_1 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3$ ,  $f_2 = (x_1 \vee x_2) \& x_3 \vee x_2 \& x_3$ ,  $f_3 = x_1 \& x_2 \& x_3$ .

По этой причине невозможно построение модуля УЛМ 3 с четырьмя входами даже при переходе к *PN*- или *NPN*-классификациям.

Построение модуля УЛМ 3 с пятью входами, реализующего все 256 функций трех переменных, практически невозможно, так как существует всего лишь 260 неэквивалентных вариантов настройки одной функции пяти переменных на функции трех переменных [18]. Поэтому можно утверждать, что модули УЛМ 3.1 и УЛМ 3.3 с шестью входами содержат минимальное число входов, которые могут иметь модули, универсальные в классе всех булевых функций трех переменных.

Переход к *PN*-классификации позволил решить эту задачу [19] для всех представителей 16 типов функций (табл. 7), существенно зависящих от трех переменных, с помощью порождающей функции пяти переменных:

$$F = ((\neg x_1 \& (\neg z_1 \vee \neg z_2) \vee \neg z_1 \& \neg z_2) \& z_3 \vee \\ \vee x_1 \& z_1 \& z_2) \& \neg z_4 \vee (((x_1 \vee z_1) \oplus z_2) \& \neg z_3 \vee \\ \vee ((x_1 \oplus z_1) \vee z_2) \& z_3) \& z_4.$$

Из рассмотрения табл. 7 следует, что этот модуль имеет один информационный и четыре управляющих входа. При этом на вход  $z_1$  могут подаваться константа 0 и переменная  $x_2$ ; на вход  $z_2$  – символы 0, 1,  $x_3$ ,  $\neg x_3$ ; на вход  $z_3$  – символы 0, 1,  $x_3$ ,  $\neg x_3$ , а на вход  $z_4$  – символы 0, 1,  $x_2$ ,  $x_3$ . Таким образом, рассмотренный модуль требует всего лишь одной парафазной переменной  $x_3$ . Отметим, что предложенный модуль УЛМ 3 с пятью входами не является единственным [3–5].

При  $n = 4$   $t(4) = 6$ . Несмотря на то, что существует 560 неэквивалентных вариантов настройки одной функции шести переменных на функции четырех переменных [18], их оказалось недостаточно для реализации представителей всех 208 *NPN* типов функций четырех переменных.

В [18] показано, что существуют 8400 неэквивалентных вариантов настройки одной функции семи переменных на функции четырех переменных. В [3, 4] построены функции семи переменных, порождающие представителей всех *NPN* типов функций четырех переменных.

**Заключение.** Показано, что модули УЛМ  $m, m$ , обладающие тем же числом входов и теми же функциональными возможностями, что и модули УЛМ  $m, 1$ , более эффективны при построении на их основе модулей УЛМ  $n$  ( $n > m$ ). Использование блоков, входящих в состав модулей УЛМ  $m, m$ , позволяет упростить модули УЛМ  $n, n$ . Предложен класс модулей УЛМ  $n, m$ , являющихся обобщением известных классов модулей УЛМ  $n, 0$ , УЛМ  $n, 1$  и УЛМ  $n, n$ .

Модули УЛМ  $n, m$  первого типа, построенные на базе модулей УЛМ  $m, m$ , при некоторых значениях  $n$  проще модулей УЛМ  $n, n$  при том же числе входов. Показано, что модули УЛМ  $n, m$  второго типа, построенные на базе блоков модулей УЛМ  $m, m$ , проще модулей УЛМ  $n, m$  первого типа, а при некоторых значениях  $n$  – и модулей УЛМ  $n, n$  при том же числе входов. Предложены методы настройки модулей УЛМ  $n, m$  первого и второго типа на реализацию произвольных булевых функций  $n$  переменных. Получена оценка числа входов модулей УЛМ  $n, m$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yau S.S., Tang C.K.* Universal Logic Modules and Their Applications // *IEEE Trans. on Computers.* 1970. V. C-19. № 2.
2. *Preparata F.P., Muller D.E.* Generation of Near-Optimal Universal Boolean Functions // *J. Comp. and Sistem Sciences.* 1970. V. 4. № 2.
3. *Stone H.E.* Universal Logic Modules // *Recent Developments in Switching Theory / Ed. Mukhopadhyay A.* N.Y.: Acad. Press., 1971.
4. *Варшавский В.И., Песчанский В.А., Мараховский В.Б.* Многофункциональные модули, реализующие все функции трех и четырех переменных // II Всесоюз. совещ. по теории релейных устройств и конечных автоматов. Тез. докл. Рига: Зинатне, 1971.
5. *Бочков П.Е., Попов Ю.А., Сладков В.А.* Проектирование многофункциональных модулей с использованием инвариантов булевых функций // *Автоматика и вычислитель. техника.* 1973. № 3.
6. *Якубайтис Э.А.* Универсальные логические элементы // *Автоматика и вычисл. техника.* 1973. № 5.
7. *Friedman A.D., Menon P.R.* Theory and Design of Switching Circuits. Computer Science Press, Inc. 1975.
8. *Якубайтис Э.А.* Логические автоматы и микромодули. Рига: Зинатне, 1975.
9. *Якубайтис Э.А.* Теория автоматов. Многофункциональные логические модули // *Итоги науки и техники. Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика.* М.: ВИНТИ, 1976. № 13.
10. *Майоров С.А., Скорубский В.И., Кравцов Л.Я.* Универсальные логические модули и их применение // *Управляющие системы и машины.* 1977. № 1.
11. *Малев В.А.* Структурная избыточность в логических устройствах. М.: Связь, 1978.
12. *Артюхов В.Л., Копейкин Г.А., Шальто А.А.* Судовые управляющие логические системы. Унифицированные логические схемы. Л.: Ин-т повышения квалификации руководящих работников и специалистов судостроительной промышленности, 1981.
13. *Мищенко В.А., Козюминский В.Д., Семашко А.Н.* Многофункциональные автоматы и элементная база цифровых ЭВМ. М.: Радио и связь, 1981.
14. *Пупырев Е.И.* Перестраиваемые автоматы и микропроцессорные системы. М.: Наука, 1984.
15. *Викентьев Л.Ф., Аляев Ю.А., Шальто А.А.* Универсальный логический модуль: А.с. N1335974 СССР // *Б.И.* 1987. № 33.
16. *Артюхов В.Л., Шальто А.А.* Многофункциональный логический модуль: А.с. N924697 СССР // *Б.И.* 1982. № 16.
17. *Артюхов В.Л., Шальто А.А.* Многофункциональный логический модуль: А.с. N1073768 СССР // *Б.И.* 1984. № 6.
18. *Стародубцев Н.А.* Соотношения для числа настроек многофункциональных логических модулей // *Изв. АН СССР. Техн. кибернетика.* 1972. № 4.
19. *Артюхов В.Л., Шальто А.А., Фишман Л.М.* Многофункциональный логический модуль: А.с. N760451 СССР // *Б.И.* 1980. № 32.



Номер 5

Сентябрь - Октябрь 1997

ISSN 0002-3388

*РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК*

# ТЕОРИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Главный редактор  
Е.А. Федосов

МАИК "НАУКА"



"НАУКА"