

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_1 и ее инверсии \bar{x}_1 . 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_n и их инверсий $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$ [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) "2ⁿ 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 "2ⁿ⁻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 “Г” 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 “Г” 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

$$B_{13} = \begin{Bmatrix} 000 \\ 101 \\ 011 \end{Bmatrix}; \quad B_{23} = \begin{Bmatrix} 100 \\ 001 \\ 111 \end{Bmatrix}; \quad B_{33} = \begin{Bmatrix} 010 \\ 110 \end{Bmatrix}.$$

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

$$B_{14} = \begin{Bmatrix} 0000 \\ 1010 \\ 0110 \end{Bmatrix}; \quad B_{24} = \begin{Bmatrix} 0001 \\ 1011 \\ 0111 \end{Bmatrix};$$

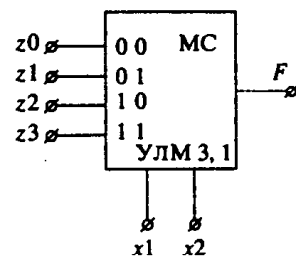


Рис. 1.

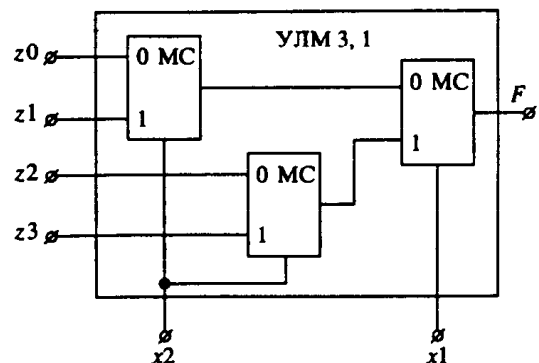


Рис. 2.

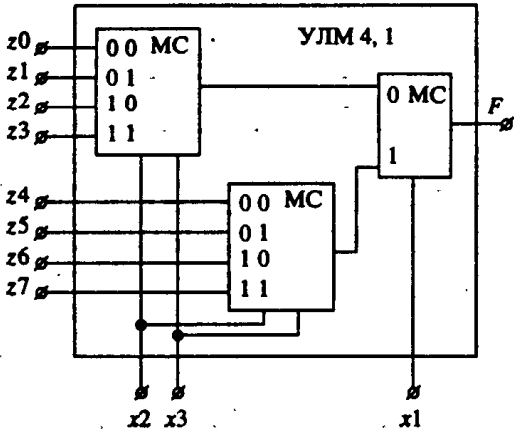


Рис. 3.

$$B_{54} = \begin{Bmatrix} 0100 \\ 1100 \end{Bmatrix}; \quad B_{64} = \begin{Bmatrix} 0101 \\ 1101 \end{Bmatrix}$$

Для модуля УЛМ 5.5

$$B_{15} = \begin{Bmatrix} 00000 \\ 10100 \\ 01100 \end{Bmatrix}; \quad B_{25} = \begin{Bmatrix} 00001 \\ 10101 \\ 01101 \end{Bmatrix};$$

$$B_{35} = \begin{Bmatrix} 00010 \\ 10110 \\ 01110 \end{Bmatrix}; \quad B_{45} = \begin{Bmatrix} 00011 \\ 10111 \\ 01111 \end{Bmatrix};$$

$$B_{55} = \begin{Bmatrix} 10000 \\ 00100 \\ 11100 \end{Bmatrix}; \quad B_{65} = \begin{Bmatrix} 10001 \\ 00101 \\ 11101 \end{Bmatrix};$$

$$B_{75} = \begin{Bmatrix} 10010 \\ 00110 \\ 11110 \end{Bmatrix}; \quad B_{85} = \begin{Bmatrix} 10011 \\ 00111 \\ 11111 \end{Bmatrix};$$

$$B_{95} = \begin{Bmatrix} 01000 \\ 11001 \\ 01011 \end{Bmatrix}; \quad B_{105} = \begin{Bmatrix} 11000 \\ 01001 \\ 11011 \end{Bmatrix};$$

$$B_{115} = \begin{Bmatrix} 01010 \\ 11010 \end{Bmatrix}$$

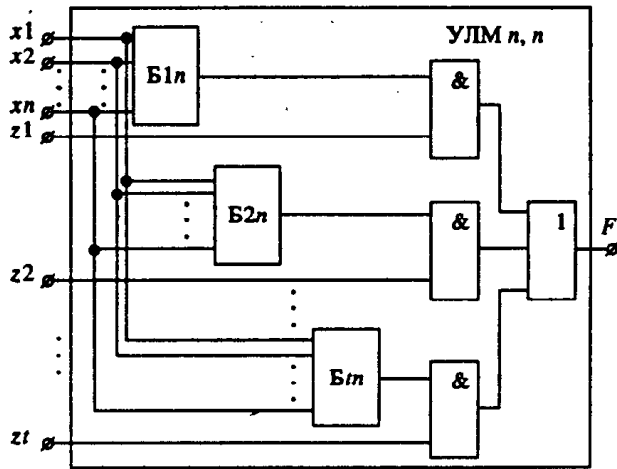


Рис. 4.

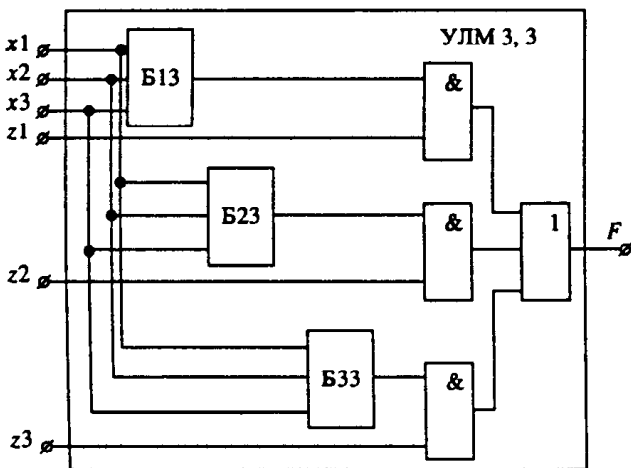


Рис. 5.

$$B_{34} = \begin{Bmatrix} 1000 \\ 0010 \\ 1110 \end{Bmatrix}; \quad B_{44} = \begin{Bmatrix} 1001 \\ 0011 \\ 1111 \end{Bmatrix};$$

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

4. Использование блоков модулей УЛМ t, t 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 (B_{15}, \dots, B_{45}) могут быть построены на базе блока B_{13} модуля УЛМ 3.3, блоки с пятого (B_{55}) по восьмой (B_{85}) — на базе блока B_{23} модуля УЛМ 3.3, девятый и десятый блоки (B_{95}, B_{105}) должны использоваться в "естественном" виде, а одиннадцатый блок B_{115} может быть реализован на базе блока B_{33} 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^{n-m} 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.

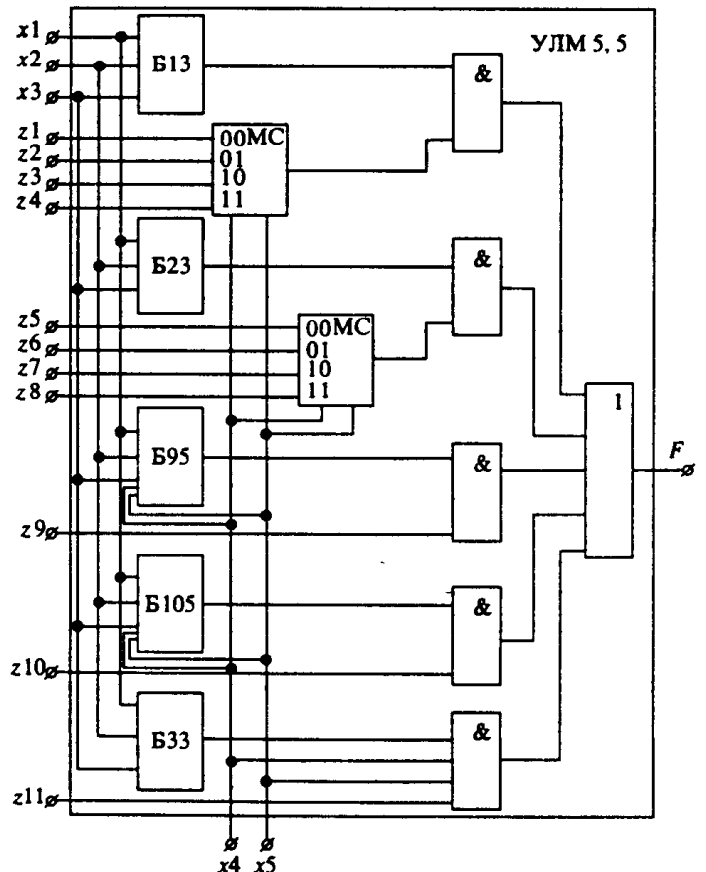


Рис. 6.

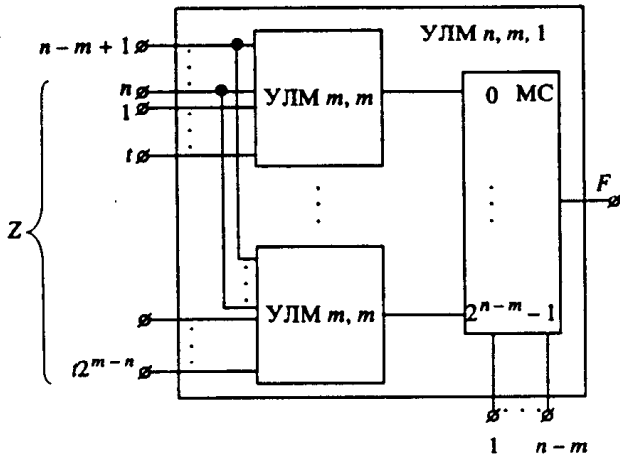


Рис. 7.

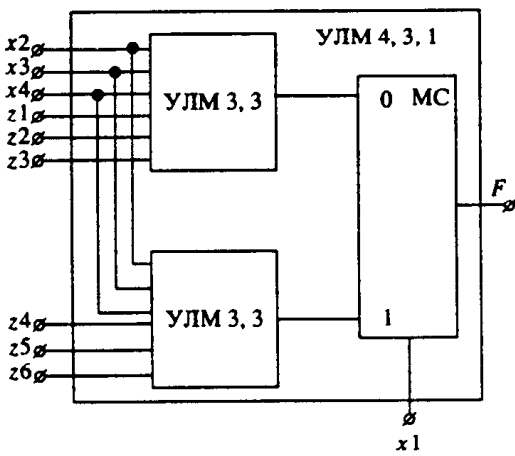


Рис. 8.

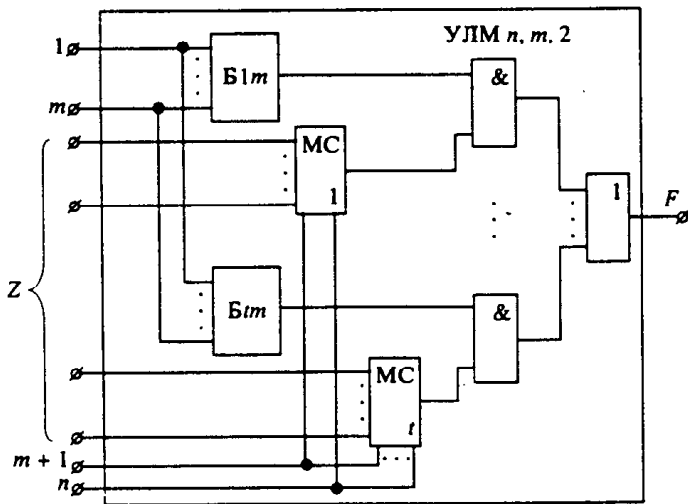


Рис. 9.

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.

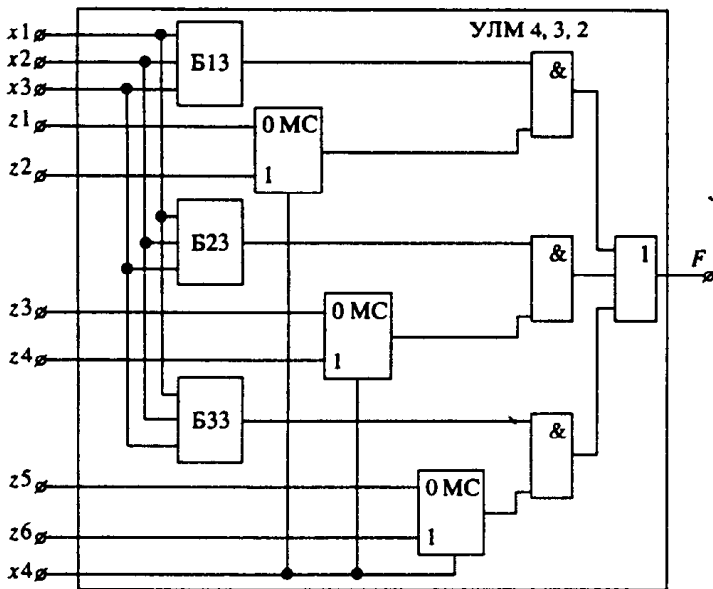


Рис. 10.

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 System 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 вычислительная техника.* 1973. № 3.
6. *Якубайтис Э.А.* Универсальные логические элементы // *Автоматика и вычислительная 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"