УДК 62.506.2

В. А. ЛОВИЦКИЙ, канд. техн. наук, *З. Ю. ШАБАНОВА-КУШНАРЕНК*

ОБ ОБРАТИМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

Задачи математического описания процессов языкового по ведения человека требуют разработки методов решения логиче ских уравнений[1]. Особенно ценными были бы аппаратурные ме тоды, подобные тем, которые используются в аналоговых вычи лительных машинах для решения дифференциальных уравнени Однако разработке аппаратурных методов решения логически уравнений препятствует необратимость действия существующи комбинационных схем. Нужны *обратимые логические элемент* типа инвертора, совпадения, разделения, из которых можно бы ло бы собирать специальные комбинационные схемы для реше ния логических уравнений. В статье предпринята попытка по строить такие обратимые логические элементы.

Построим *обратимый элемент совпадения*, осуществляющи решение логического уравнения

$$z = x \wedge y. \qquad ($$

Обратимый элемент совпадения будем схематически изобра жать так, как показано на рис. 1, *а*. В отличие от обычног элемента совпадения, при полюсах обратимого элемента отсут ствуют стрелки. Этим подчеркивается то обстоятельство, чт

---

[1] Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Применение метода нуль-орган в лингвистике. См. статью в настоящем сборнике.

теперь сигналы можно подавать не только на полюсы x, y, но также и на полюс z, снимать же сигналы можно теперь не только с полюса z, но также и с полюсов x, y. Каждый полюс совмещает в себе оба канала передачи информации о значении переменной — как входной, так и выходной (рис. 2, *а*). Обозначим входную информацию о значениях переменных x, y, z соответственно через x_1, y_1, z_1, а выходную информацию о них — через x_2, y_2, z_2. Таким образом, обратимый элемент совпадения можно представить в виде преобразователя информации, имеющего три выхода и три входа (рис. 2, *б*).

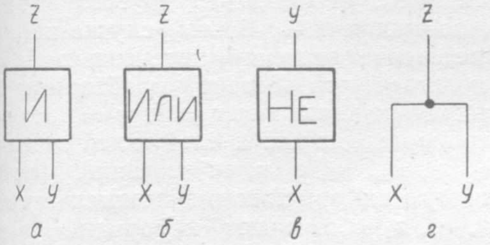

Рис. 1.

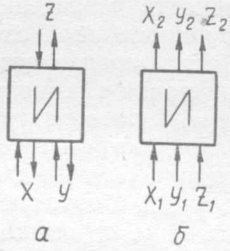

Рис. 2.

Рассмотрим, что представляют собой переменные x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2. Было бы ошибкой полагать, что эти переменные, так же, как и переменные x, y, z, принимают только значения 0 и 1. Приходится принять, что область изменения этих переменных содержит четыре значения, которые мы обозначим символами 0, 1, ?, !. Это диктуется следующими соображениями. При решении уравнения (1) значения некоторых переменных из числа переменных x, y, z могут быть заданы, а значения остальных переменных — не заданы. Например, пусть задано, что $x = 1$ и $z = 1$, значение же переменной y неизвестно, и его нужно определить в результате решения уравнения (1). Всю эту информацию нужно ввести в элемент совпадения, и это можно сделать, положив $x_1 = 1$, $y_1 = ?$ $z_1 = 1$. В результате решения уравнения (1) обратимый элемент совпадения должен определить значение переменной $y = 1$, сформировав на своем среднем выходном канале сигнал $y_2 = 1$. Естественно принять, чтобы на левом и правом выходных каналах обратимый элемент просто продублировал заданные значения переменных x и z и сформировал сигналы $x_2 = 1$ и $z_2 = 1$.

Рассмотрим другой пример. Пусть задано $x = 0$, $z = 0$ и требуется отыскать значение переменной y, удовлетворяющее уравнению (1). Уравнение имеет два решения 0 и 1, значение переменной y остается неопределенным, поэтому полагаем, что в этом случае элемент совпадения выработает на среднем выходе сигнал $y_2 = ?$. Если же задано $x = 0$ и $z = 1$, то ясно, что в этом случае решения для y не существует, а исходные данные несовместимы. В этом случае полагаем, что на своем среднем выхо обратимый элемент совпадения выработает сигнал $y_2 = !$. Дубл ровать значения сигналов $x_1 = 0$ и $z_1 = 1$ на выходах элемен было бы неправильно, поскольку это наводило бы на мысл что заданные значения $x = 0$ и $z = 1$ допускаются уравнени (1), а это не так. Поэтому полагаем, что сигналы x_2 и z_2 такж принимают значение !.

Случай, когда какой-то из входных сигналов x_1, y_1, z_1 эл мента принимает значение !, следует считать возможным; э означает, что информация, поступающая на входы обратимо элемента совпадения (например, от какого-то другого элемен комбинационной схемы), противоречива. В этом случае не име смысла производить определение значений переменных x, y уравнения (1), поэтому полагаем, что элемент вырабатывает зн чение ! по всем трем выходным каналам: $x_2 = !$, $y_2 = !$, $z_2 =$

Рассмотренные примеры приводят нас к следующей интерп тации переменных x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2 и их значений: симво x_1, y_1, z_1 обозначают исходную информацию о значениях перем ных x, y, z; символы x_2, y_2, z_2 обозначают информацию о з чениях x, y, z, полученную в результате решения уравнения (значения 0 и 1 означают, что соответствующая переменная ур нения (1) равна соответственно 0 и 1; значение ? говорит о т что значение переменной уравнения (1) неизвестно, а знак ! о том, что это значение не существует

Исходя из этой интерпретации, построим следующий алгор работы обратимого элемента совпадения:

1 шаг. Если $x_1 = !$ или $y_1 = !$, или $z_1 = !$, или $z_1 = 1$ и (x_1 $= 0$ или $y_1 = 0$), или $z_1 = 0$ и $x_1 = y_1 = 1$, то $x_2 = y_2 = z_2 =$

2 шаг. Если $x_1 = 0$ или $y_1 = 0$, то $x_2 = x_1$, $y_2 = y_1$, $z_2 =$

3 шаг. Если $x_1 = y_1 = 1$ или $z_1 = 1$, то $x_2 = y_2 = z_2 = 1$.

4 шаг. Если $x_1 = 1$ и $z_1 = 0$, то $x_2 = 1$, $y_2 = z_2 = 0$.

5 шаг. Если $y_1 = 1$ и $z_1 = 0$, то $y_2 = 1$, $x_2 = z_2 = 0$.

6 шаг. В остальных случаях $x_2 = x_1$, $y_2 = y_1$, $z_2 = z_1$.

Обратимый элемент совпадения должен быть сконструиро так, чтобы он своим функционированием реализовал алфавит оператор, соответствующий приведенному выше алгоритму. Э элемент может быть построен в виде обычной комбинацион схемы, если перейти к двоичному кодированию символов 0, 1, ? Принимаем следующий способ кодирования: $0 = \langle 1, 0 \rangle$, $1 = \langle 0, 1 \rangle$, $? = \langle 0, 0 \rangle$, $! = \langle 1, 1 \rangle$. Вводим новые обозна ния для разрядов кода $x_i = \langle x_i', x_i'' \rangle$, $y_i = \langle y_i', y_i'' \rangle$, $z_i = \langle z_i'$, $z_i'' \rangle$, $i = 1, 2$. Комбинационная схема, реализующая обрати элемент совпадения при этом способе кодирования, может б описана следующей системой равенств:

$$x_2' = x_1' \vee (y_1' \vee z_1')(y_1'' \vee z_1''); \quad x_2'' = x_1'' \vee z_1'' \vee y_1' y_1'';$$

$$y_2' = y_1' \vee (x_1' \vee z_1')(x_1'' \vee z_1''); \quad y_2'' = y_1'' \vee z_1'' \vee x_1' x_1'';$$

$$z_2' = x_1' \vee y_1' \vee z_1'; \quad z_2'' = z_1'' \vee x_1'' (x_1' \vee z_1') \vee y_1'' (y_1' \vee z_1').$$

Для реализации схемы требуются 33 диода, т. е. в 16,5 раз больше, чем для построения необратимого элемента совпадения.

Заменяя в формулах (2) верхние индексы при всех буквах $'$ на $''$ и $''$ на $'$, получаем формулы, описывающие комбинационную схему, которая реализует *обратимый элемент разделения*, решающий уравнение $z = x \vee y$.

Комбинационная схема *обратимого инвертора* для решения уравнения $y = \bar{x}$ может быть построена на четырех диодах по формулам:

$$x_2' = y_2'' = x_1' \vee y_1''; \quad x_2'' = y_2' = x_1'' \vee y_1'. \qquad (3)$$

Обратимый элемент разделения и обратимый инвертор будем схематически изображать так, как показано на рис. 1, *б*, *в*.

Важно отметить, что узлы, встречающиеся в обратимых комбинационных схемах, в отличие от узлов обычных необратимых схем, представляют собой не простое соединение проводов, а особые преобразователи сигналов. Рассмотрим *обратимый трехполюсный узел* (рис. 1, *г*), который решает систему уравнений $x = y = z$. Его работа при принятом выше способе двоичного кодирования сигналов может быть описана следующей системой равенств:

$$x_2' = y_2' = z_2' = x_1' \vee y_1' \vee z_1', \qquad (4)$$
$$x_2'' = y_2'' = z_2'' = x_1'' \vee y_1'' \vee z_1''$$

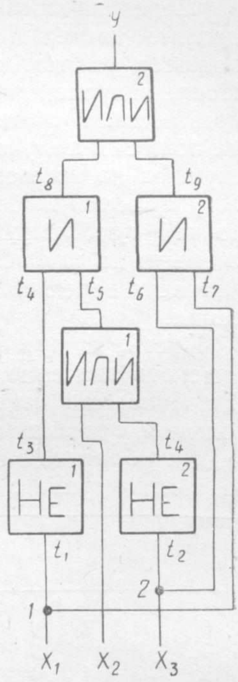

Рис. 3.

Обратимая комбинационная схема, собираемая из рассмотренных выше четырех типов элементов, для решения логического уравнения $f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = y$ имеет почти такой же внешний вид, как и обычная необратимая комбинационная схема для реализации функции $y = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$. Отличие состоит лишь в том, что на ней не указываются стрелками направления движения сигналов, поскольку теперь сигналы могут двигаться во всевозможных направлениях.

Рассмотрим функционирование такой схемы на примере. Предположим, что нам задано следующее логическое уравнение:

$$\bar{x}_1 (x_2 \vee \bar{x}_3) \vee x_1 x_3 = y. \qquad (5)$$

Этому уравнению соответствует обратимая комбинационная схема, изображенная на рис. 3. Схема содержит по два обратимых инвертора, совпадения, разделения и узла. На схеме указаны промежуточные сигналы $t_1 - t_9$.

Уравнение (5) можно заменить эквивалентной ему систем уравнений, каждое из которых соответствует одному из элем тов схемы:

$x_1 = t_1 = t_7$ (первый узел), $x_3 = t_2 = t_6$ (второй узел),

$t_3 = \bar{t}_1$ (первый инвертор), $t_4 = \bar{t}_2$ (второй инвертор),

$t_8 = t_3 \wedge t_5$ (первое совпадение), $t_9 = t_6 \wedge t_7$ (второе совпаден

$t_5 = x_2 \vee t_4$ (первое разделение), $y = t_8 \vee t_9$ (второе разделение)

Перед началом работы схемы на ее полюсах формируем данные значения переменных (0 или 1), на всех осталь полюсах (в том числе и промежуточных) формируем сигн После запуска схемы ее элементы, по мере подхода к ним сиг лов, решают соответствующие уравнения и формируют на их полюсах полученные значения переменных. Эти значения ступают на полюсы различных элементов схемы, снова реша ся уравнения и т. д. Процесс решения уравнения продолжае до тех пор, пока не окончатся переходные процессы в це схемы и на полюсах схемы установятся стабильные во врем значения переменных. Они и являются решением заданного у нения.

Пусть, к примеру, задано $x_2 = 1$, $x_3 = 0$, $y = 1$. Требуе отыскать значение переменной x_1, удовлетворяющее уравне (5). Динамика изменения состояния схемы по тактам в проце решения ею системы уравнений (6) представлена в таблице. видим, обратимая комбинационная схема находит корень x_1 на шестом такте своей работы.

Номер такта	x_1	x_2	x_3	y	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
0	?	1	0	1	?	?	?	?	?	?	?	?
1	?	1	0	1	?	0	?	?	1	0	?	?
2	?	1	0	1	?	0	?	1	1	0	?	?
3	?	1	0	1	?	0	?	1	1	0	?	1
4	?	1	0	1	?	0	1	1	1	0	?	1
5	?	1	0	1	0	0	1	1	1	0	?	1
6	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
7	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1

Поступила 20 марта 1977

УДК 612.82.001.57:51

Д. М. КАЛНИБОЛОТСКИЙ, Г. В. ЦЕПКОВ, канд. техн. наук, *В. П. ШПАКОВСКИЙ, О. Н. ШЕВЕРДА*

НЕЙРОПОДОБНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ

При построении современных электронных систем и устро обработки данных широко используются известные информ онные свойства живых систем. Особое внимание при этом