объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

11-83-63

Б.Науманн

О ТРОИЧНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ БИНАРНЫХ СХЕМ

Направлено в журнал
"Nachrichtentechnik Elektronik"

1983

I. ВВЕДЕНИЕ

При моделировании бинарных схем и при генерировании тестовых последовательностей для бинарных схем часто употребляется троичная небулева логика. Каждая переменная может принимать одно из трёх возможных значений: 0, I или U. При этом 0 и I являются обычными определёнными значениями переменных, а U означает либо неизвестное значение (DON'T KNOW), либо неопределённое значение (DON'T KNOW или DON'T CARE при генерировании установочных последовательностей), либо изменение переменной с 0(I) на I(0) /I//2//3//4/. Так как моделируемые схемы представляют собой бинарные схемы, для операций в этой троичной логике употребляются исключительно определённые в булевой логике функции.

x	y	x·y
0	0	0
0	I	0
0	U	0
I	0	0
I	I	I
I	U	U
U	0	0
U	I	U
U	U	U

конъюнкция

x	y	x∨y
0	0	0
0	I	I
0	U	U
I	0	I
I	I	I
I	U	I
U	0	U
U	I	I
U	U	U

дизъюнкция

x	$\bar{x}$
0	I
I	0
U	U

инверсия

Табл.I. Таблица истинности булевых функций в троичной логике

Действительность знакомых из булевой логики правил в троичной логике ограничена вследствие правила

$$\bar{U} = U. \qquad (I)$$

Это правило делает недействительными очевидные в булевой логике соотношения

$$x\cdot\bar{x} = 0 \qquad (2)$$

$$x\vee\bar{x} = I. \qquad (3)$$

x	$x\cdot\bar{x}$
0	0
I	0
U	U

x	$x\vee\bar{x}$
0	I
I	I
U	U

Табл.2. Таблица истинности правил (2) и (3) в троичной логике

При моделировании бинарных схем и при генерировании тестовых последовательностей для бинарных схем желательно описать бинарные схемы (или часть из них) так, чтобы описание реализовывало определённую функцию бинарной схемы в троичной логике, причём исключительно с помощью булевых функций.

2. ОПИСАНИЕ ТРОИЧНЫХ ФУНКЦИЙ

Пусть дана совершенная троичная таблица истинности описываемой функции

$$y = f(x_0, x_I, \ldots, x_i, \ldots, x_n) \qquad (4)$$

причём $x, y \in \{0, I, U\}$,

с которой можно считывать три бинарные функции в совершенной дизъюнктивной нормальной форме:

$$y^0 = f^0(x_i^B) = \begin{cases} I & \text{при } y = f(x_i) = 0 \\ 0 & \text{при } y = f(x_i) \neq 0 \end{cases} \qquad (5)$$

$$y^I = f^I(x_i^B) = \begin{cases} I & \text{при } y = f(x_i) = I \\ 0 & \text{при } y = f(x_i) \neq I \end{cases} \qquad (6)$$

$$y = f^U(x_i^B) = \begin{cases} I & \text{при } y = f(x_i) = U \\ 0 & \text{при } y = f(x_i) \neq U \end{cases}, \qquad (7)$$

$$\text{где} \quad x_i^B = \begin{cases} x_i^0 & \text{при } x_i = 0 \\ x_i^I & \text{при } x_i = I \\ x_i^U & \text{при } x_i = U \end{cases} \qquad (8)$$

$$\text{и} \quad B \in \{0, I, U\} \quad \text{- троичное значение переменной } x_i. \qquad (9)$$

Функции (5) - (7) можно упростить, вынося за скобки отдельные переменные и употребляя правила (I0) - (I7).

$$x^0 \vee x^I \vee x^U = I \qquad (I0)$$

$$x^{BI} \cdot x^{B2} = 0 \qquad (BI, B2 \in \{0, I, U\},\ BI \neq B2) \qquad (II)$$

$$x^B \cdot 0 = 0 \qquad (I2)$$

$$x^B \cdot I = x^B \qquad (I3)$$

$$x^B \cdot x^B = x^B \qquad (I4)$$

$$x^B \vee 0 = x^B \qquad (I5)$$

$$x^B \vee I = I \qquad (I6)$$

$$x^B \vee x^B = x^B. \qquad (I7)$$

Из функций (5) и (6) можно вывести заключение о том, является ли описываемой функция (4) при употреблении исключительно булевых функций, или нет. Исходя из того, что кроме переменных используются константы 0, I и U, следует для описываемых функций:

$$f^0(x_i^B) = f^0(x_i^0, x_i^I), \qquad (I8)$$

$$f^I(x_i^B) = f^I(x_i^0, x_i^I), \qquad (I9)$$

т.е. функции (5) и (6) независимы от переменных x_i^U. Свойства описываемых функций сведены в таблицу 3.

	$f^U(x_i^B)$	$f^I(x_i^0,x_i^I)$	$f^0(x_i^0,x_i^I)$
1	$\equiv 0$	$\equiv 0$	$\equiv I$
2	$\equiv 0$	$\equiv I$	$\equiv 0$
3	$\equiv I$	$\equiv 0$	$\equiv 0$
4	$= f^U(x_i^0,x_i^I,x_i^U)$	$\equiv 0$	$= f^0(x_i^0,x_i^I)$
5	$= f^U(x_i^0,x_i^I,x_i^U)$	$= f^I(x_i^0,x_i^I)$	$\equiv 0$
6	$= f^U(x_i^0,x_i^I,x_i^U)$	$= f^I(x_i^0,x_i^I)$	$= f^0(x_i^0,x_i^I)$

Табл.3. Свойства описываемых функций

Функция (7) содержит, по меньшей мере, конъюнкцию всех переменных x_i^U, за исключением тривиальных случаев I и 2 (см.табл.3):

$$f^U(x_i^B) = \begin{cases} \equiv 0 \\ = \bigwedge_i x_i^U \vee g^U(x_i^B) \\ \equiv I \end{cases} \tag{20}$$

Если указанные критерии выполнены, можно вывести выражение для функции (4). С этой целью надо перейти от бинарных переменных x_i^B к троичным переменным x_i. С помощью правил трансформации

$$x^0 \Rightarrow \bar{x} \tag{2I}$$

$$x^I \Rightarrow x \tag{22}$$

$$x^U \Rightarrow \bar{x} \cdot x \tag{23}$$

можно перейти от бинарных функций (I8) - (20) к троичным функциям (24) - (26):

$$f^0(x_i^0,x_i^I) \Rightarrow h^0(x_i) \tag{24}$$

$$f^I(x_i^0,x_i^I) \Rightarrow h^I(x_i) \tag{25}$$

$$f^U(x_i^0,x_i^I,x_i^U) \Rightarrow h^U(x_i). \tag{26}$$

Из формулы (27) следует выражение для функции (4)

$$f(x_i) = h^I(x_i) \vee h^U(x_i) \cdot U, \tag{27}$$

которое можно упростить. Все знакомые из булевой логики правила действительны, за исключением правил, которые основываются на действительности правил (2) и (3). Кроме того, для константы U правила (28) и (29) действительны:

$$\bar{x} \cdot x \cdot U = \bar{x} \cdot x \tag{28}$$

$$(\bar{x} \vee x) \cdot U = U. \tag{29}$$

3. ПРИМЕРЫ

3.I. Функции одной переменной

Число возможных различных троичных функций одной переменной составляет $3^3 = 27$. Эти функции показаны в таблице 4.

k \ x	UIO	f_k^U	f_k^I	f_k^0	h_k^U	h_k^I	$f_k = h_k^I \vee h_k^U \cdot U$
00	000	$\equiv 0$	$\equiv 0$	$\equiv I$	$\equiv 0$	$\equiv 0$	$\equiv 0$
0I	00I	$=0$	x^0	$x^U \vee x^I$	(I8) не выполнено		
02	00U	x^0	$\equiv 0$	$x^U \vee x^I$	(I8) не выполнено		
03	0I0	$\equiv 0$	x^I	$x^U \vee x^0$	(I8) не выполнено		
04	0II	$=0$	$x^0 \vee x^I$	x^U	(I8) не выполнено		
05	0IU	x^0	x^I	x^U	(I8) не выполнено		
06	0U0	x^I	$\equiv 0$	$x^U \vee x^0$	(I8) не выполнено		
07	0UI	x^I	x^0	x^U	(I8) не выполнено		
08	0UU	$x^I \quad x^0$	$\equiv 0$	x^U	(I8) не выполнено		
09	I00	$\equiv 0$	x^U	$x^I \vee x^0$	(I9) не выполнено		
I0	I0I	$\equiv 0$	$x^U \vee x^0$	x^I	(I9) не выполнено		
II	I0U	x^0	x^U	x^I	(I9) не выполнено		
I2	II0	$\equiv 0$	$x^U \vee x^I$	x^0	(I9) не выполнено		
I3	III	$\equiv 0$	$\equiv I$	$\equiv 0$	$\equiv 0$	$\equiv I$	$\equiv I$
I4	IIU	x^0	$x^U \vee x^I$	$\equiv 0$	(I9) не выполнено		
I5	IU0	x^I	x^U	x^0	(I9) не выполнено		

$k \backslash x$	UIO	f_k^U	f_k^I	f_k^O	h_k^U	h_k^I .	$f_k = h_k^I \vee h_k^U \cdot U$
I6	IUI	x^I	$x^U \vee x^O$	$\equiv 0$	(I9) не выполнено		
I7	IUU	$x^I \vee x^O$	x^U	$\equiv 0$	(I9) не выполнено		
I8	UOO	x^U	$\equiv 0$	$x^I \vee x^O$	$x \cdot \bar{x}$	$\equiv 0$	$x \cdot \bar{x}$
I9	UOI	x^U	x^O	x^I	$x \cdot \bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
20	UOU	$x^U \vee x^O$	$\equiv 0$	x^I	$\bar{x}$	$\equiv 0$	$\bar{x} \cdot U$
2I	UIO	x^U	x^I	x^O	$x \cdot \bar{x}$	x	x
22	UII	x^U	$x^I \vee x^O$	$\equiv 0$	$x \cdot \bar{x}$	$x \vee \bar{x}$	$x \vee \bar{x}$
23	UIU	$x^U \vee x^O$	x^I	$\equiv 0$	$\bar{x}$	x	$x \vee U$
24	UUO	$x^U \vee x^I$	$\equiv 0$	x^O	x	$\equiv 0$	$x \cdot U$
25	UUI	$x^U \vee x^I$	x^O	$\equiv 0$	x	$\bar{x}$	$\bar{x} \vee U$
26	UUU	$\equiv I$	$\equiv 0$	$\equiv 0$	$\equiv I$	$\equiv 0$	$\equiv U$

Табл.4. Функции одной переменной

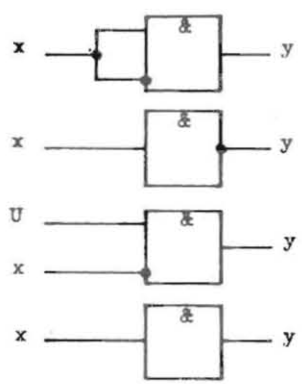
Из этих 27 возможных троичных функций одной переменной только II являются описываемыми. Три из описываемых функций – константы. Эквивалентные схемы описываемых неконстантных функций показаны на рисунке I.

$f_{I8} = x \cdot \bar{x}$

$f_{I9} = \bar{x}$

$f_{20} = \bar{x} \cdot U$

$f_{2I} = x$



$f_{22} = x \vee \bar{x}$

$f_{23} = x \vee U$

$f_{24} = x \cdot U$

$f_{25} = \bar{x} \vee U$

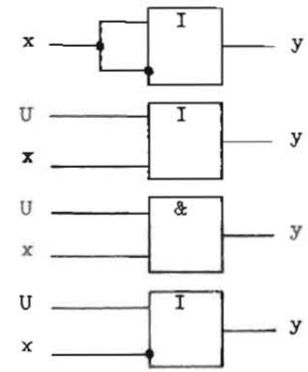


Рис. I Эквивалентные схемы троичных функций одной переменной

3.2. Двунаправленная шина с тремя состояниями

При моделировании бинарных схем и при генерировании тестовых последовательностей для бинарных схем надо описать отношения на двунаправленных шинах с тремя состояниями по меньшей мере так, чтобы конфликты, которые могут разрушить усилители сигналов, надёжно обнаруживались моделированием и с самого начала исключались генерированием. Достаточное описание отношений на шинах требует указания трёх переменных: сигнала, импеданса и конфликта. Обозначим переменные через с (сигнал), и (импеданс) и к (конфликт) и закодируем их следующим образом:

$c \in \{0, I, U\}$, где с = 0, если сигнал равен логическому нулю,
с = I, если сигнал равен логической единице,
с = U, если сигнал неизвестен.

$и \in \{0, I, U\}$, где и = 0, если импеданс низкоомный,
и = I, если импеданс высокоомный,
и = U, если импеданс неизвестен.

$к \in \{0, I, U\}$, где к = 0, если конфликта нет,
к = I, если конфликт имеется,
к = U, если неизвестно, имеется ли конфликт или нет

Определим систему из трёх троичных функций, которая описывает функцию двух переменных на одной двунаправленной шине с тремя состояниями.

Предположим, что:

- низкоомный сигнал подавляет высокоомный;
- сигнал (0,высокоомно) подавляет сигнал (I,высокоомно);
- если имеются одновременно сигналы (0,низкоомно) и (I,низкоомно); тогда имеется конфликт. В этом случае сигнал неизвестен, а импеданс является низкоомным;
- если неизвестно, имеется ли конфликт, тогда импеданс либо низкоомный, либо неизвестен.

Исходя из этого, употребляются только I2 из 27 возможных комбинаций переменных. Таблица истинности системы троичных функций приведена в таблице 5 (таблица истинности упрощена. Знак "-" означает, что конъюнкция не зависит от соответствующей переменной).

$c_I и_I к_I$	$c_2 и_2 к_2$	с и к
0 0 0	0 - 0	0 0 0
0 0 0	- I 0	
0 - 0	0 0 0	
- I 0	0 0 0	
0 I 0	- I 0	0 I 0
- I 0	0 I 0	
0 U 0	- I 0	0 U 0
- I 0	0 U 0	
0 U 0	0 U 0	
I 0 0	I - 0	I 0 0
I 0 0	- I 0	
I - 0	I 0 0	
- I 0	I 0 0	
I I 0	I I 0	I I 0
I I 0	I U 0	I U 0
I U 0	I I 0	
I U 0	I U 0	
U 0 0	- I 0	U 0 0
- I 0	U 0 0	
- - I	- - -	U 0 I
- - -	- - I	
0 0 -	I 0 -	
I 0 -	0 0 -	
- 0 0	- I U	U 0 U
- 0 0	- U U	
- 0 U	- I 0	
- 0 U	- I U	
- 0 U	- U 0	
- 0 U	- U U	
- I 0	- 0 U	
- I U	- 0 0	
- I U	- 0 U	
- U 0	- 0 U	
- U U	- 0 0	
- U U	- 0 U	
U 0 0	- 0 0	
U 0 0	- 0 U	
U 0 0	- U 0	
U 0 U	- 0 0	
U 0 U	- 0 U	
U U 0	- 0 0	
- 0 0	U 0 0	
- 0 0	U 0 U	
- 0 0	U U 0	
- 0 U	U 0 0	
- 0 U	U 0 U	
- U 0	U 0 0	
0 0 0	0 0 U	
0 0 0	I U 0	
0 0 U	0 0 0	
0 0 U	0 0 U	
0 U 0	I 0 0	
I 0 0	0 U 0	
I 0 0	I 0 U	
I 0 U	I 0 0	
I 0 U	I 0 U	
I U 0	0 0 0	
U U 0	- I 0	U U 0
- I 0	U U 0	
0 I 0	I U 0	
I U 0	0 I 0	
I U 0	U I 0	
U I 0	I U 0	
- I 0	- I U	U U U
- I 0	- U U	
- I U	- I 0	
- I U	- I U	
- I U	- U 0	
- I U	- U U	
- U 0	- I U	
- U 0	- U U	
- U U	- I 0	
- U U	- I U	
- U U	- U 0	
- U U	- U U	
U U 0	- U 0	
- U 0	U U 0	
0 U 0	I U 0	
I U 0	0 U 0	
1 1 0	U 1 0	U 1 0
U 1 0	1 1 0	
U 1 0	U 1 0	

Табл.5. Таблица истинности системы троичных функций

С помощью таблицы можно считывать соответствующие бинарные функции для сигнала с, импеданса и, конфликта к:

$$c^0 = \text{к}_I^0 \cdot \text{к}_2^0 \cdot (c_I^0 \cdot c_2^0 \vee c_I^0 \cdot \text{и}_2^I \vee \text{и}_I^I \cdot c_2^0) \qquad (30)$$

$$c^I = \text{к}_I^0 \cdot \text{к}_2^0 \cdot (c_I^I \cdot c_2^I \vee c_I^I \cdot \text{и}_I^0 \cdot \text{и}_2^I \vee \text{и}_I^I \cdot c_2^I \cdot \text{и}_2^0) \qquad (31)$$

$$\begin{aligned} c^U = {} & \text{к}_I^U \vee \text{к}_I^I \vee \text{к}_2^U \vee \text{к}_2^I \vee \qquad (32) \\ & c_I^U \cdot \text{и}_I^0 \vee c_I^U \cdot \text{и}_I^U \vee c_I^U \cdot c_2^U \vee c_2^U \cdot \text{и}_2^0 \vee c_2^U \cdot \text{и}_2^U \vee \\ & c_I^I \cdot \text{и}_I^I \cdot c_2^U \vee c_I^I \cdot \text{и}_I^U \cdot c_2^0 \vee c_I^I \cdot \text{и}_I^U \cdot c_2^U \vee \\ & c_I^0 \cdot c_2^I \cdot \text{и}_2^U \vee c_I^U \cdot c_2^I \cdot \text{и}_2^I \vee c_I^U \cdot c_2^I \cdot \text{и}_2^U \vee \\ & c_I^0 \cdot \text{и}_I^0 \cdot c_2^I \cdot \text{и}_2^0 \vee c_I^0 \cdot \text{и}_I^U \cdot c_2^I \cdot \text{и}_2^0 \vee c_I^I \cdot \text{и}_I^0 \cdot c_2^0 \cdot \text{и}_2^0 \vee c_I^I \cdot \text{и}_I^0 \cdot c_2^0 \cdot \text{и}_2^U \end{aligned}$$

$$\text{и}^0 = \text{к}_I^I \vee \text{к}_2^I \vee \text{и}_I^0 \vee \text{и}_2^0 \qquad (33)$$

$$\text{и}^I = \text{к}_I^0 \cdot \text{к}_2^0 \cdot \text{и}_I^I \cdot \text{и}_2^I \qquad (34)$$

$$\begin{aligned} \text{и}^U = {} & (\text{к}_I^0 \cdot \text{к}_2^0 \vee \text{к}_I^0 \cdot \text{к}_2^U \vee \text{к}_I^U \cdot \text{к}_2^0 \vee \text{к}_I^U \cdot \text{к}_2^U) \cdot (\text{и}_I^I \cdot \text{и}_2^U \vee \text{и}_I^U \cdot \text{и}_2^I \vee \text{и}_I^U \cdot \text{и}_2^U) \vee \qquad (35) \\ & (\text{к}_I^0 \cdot \text{к}_2^U \vee \text{к}_I^U \cdot \text{к}_2^0 \vee \text{к}_I^U \cdot \text{к}_2^U) \cdot \text{и}_I^I \cdot \text{и}_2^I \end{aligned}$$

$$\text{к}^0 = \text{к}_I^0 \cdot \text{к}_I^0 \cdot (\text{и}_I^I \vee \text{и}_2^I \vee c_I^0 \cdot c_2^0 \vee c_I^I \cdot c_2^I) \qquad (36)$$

$$\text{к}^I = \text{к}_I^I \vee \text{к}_2^I \vee c_I^0 \cdot \text{и}_I^0 \cdot c_2^I \cdot \text{и}_2^0 \vee c_I^I \cdot \text{и}_I^0 \cdot c_2^0 \cdot \text{и}_2^0 \qquad (37)$$

$$\begin{aligned} \text{к}^U = {} & (\text{к}_I^0 \cdot \text{к}_2^U \vee \text{к}_I^U \cdot \text{к}_2^0 \vee \text{к}_I^U \cdot \text{к}_2^U) \cdot \qquad (38) \\ & (\text{и}_I^I \vee \text{и}_I^U \vee \text{и}_2^I \vee \text{и}_2^U \vee c_I^U \vee c_2^U \vee c_I^0 \cdot c_2^0 \vee c_I^I \cdot c_2^I) \vee \\ & \text{к}_I^0 \cdot \text{к}_2^0 \cdot (\text{и}_I^0 \cdot \text{и}_2^U \vee \text{и}_I^U \cdot \text{и}_2^0 \vee \text{и}_I^U \cdot \text{и}_2^U) \cdot (c_I^U \vee c_2^U \vee c_I^0 \cdot c_2^I \vee c_I^I \cdot c_2^0) \vee \\ & \text{к}_I^0 \cdot \text{к}_2^0 \cdot \text{и}_I^0 \cdot \text{и}_2^0 \cdot (c_I^U \vee c_2^U) \end{aligned}$$

Так как функции удовлетворяют требованиям (I8) и (I9), то можно вычислить соответствующие троичные функции:

$$c = \bar{к}_I \cdot \bar{к}_2 \cdot (c_I \cdot c_2 \vee c_I \cdot \bar{и}_I \cdot и_2 \vee и_I \cdot c_2 \cdot \bar{и}_2) \vee \tag{39}$$

$$\cdot\ (к_I \vee к_2 \vee \bar{c}_I \cdot \bar{и}_I \cdot c_2 \cdot \bar{и}_2 \vee c_I \cdot \bar{и}_I \cdot \bar{c}_2 \cdot \bar{и}_2)$$

$$и = \bar{к}_I \cdot \bar{к}_2 \cdot и_I \cdot и_2 \tag{40}$$

$$к = к_I \vee к_2 \vee \bar{c}_I \cdot \bar{и}_I \cdot c_2 \cdot \bar{и}_2 \vee c_I \cdot \bar{и}_I \cdot \bar{c}_2 \cdot \bar{и}_2 \tag{41}$$

Есть возможность внести эту систему троичных функций, например, в виде эквивалентной схемы, в библиотеку базовых элементов программы моделирования бинарных схем или программы генерирования тестовых последовательностей для бинарных схем, и с помощью такого базового элемента описать двунаправленные шины. Эквивалентная схема системы троичных функций показана на рисунке 2.

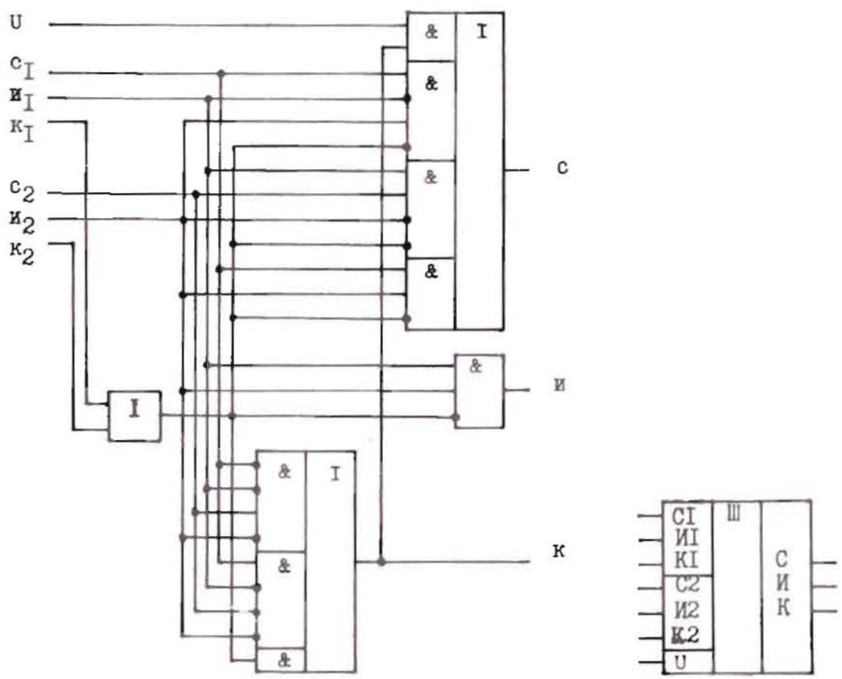
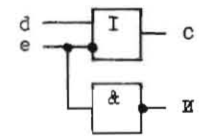


Рис. 2 Эквивалентная схема и символ базового элемента "Шина".

Кроме базового элемента "Шина", ещё нужен базовый элемент "Усилитель" для полного описания двунаправленных шин с тремя состояниями, достаточно удовлетворительно описывающих отношения на выходном контакте усилителя сигналов с тремя состояниями. Таблица истинности, эквивалентная схема и символ базового элемента показаны на рисунке 3.

de	си
OO	II
OI	OO
OU	UU
IO	II
II	IO
IU	IU
UO	II
UI	UO
UU	UU



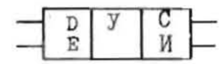
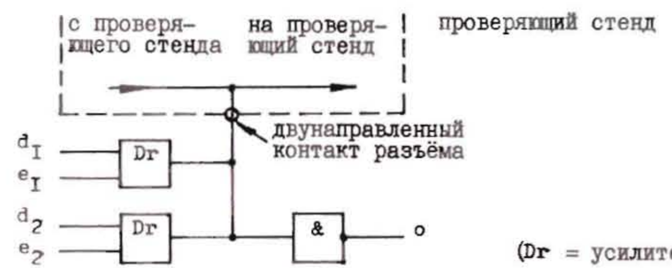


Рис. 3 Таблица истинности, эквивалентная схема и символ базового элемента "Усилитель сигналов"

С помощью этих двух базовых элементов удобно описывать любые шины.

Рассмотрим пример. На рисунке 4 показана простая двунаправленная шина с тремя состояниями. Предположим, что проверяющий стенд через двунаправленный контакт разъёма проверяемой бинарной схемы связан с двунаправленной шиной с тремя состояниями. Пусть усилитель сигналов проверяющего стенда имеет выходные сигналы (O, низкоомно) и (I, высокоомно). На рисунке 5 показана построенная с помощью описанных базовых элементов эквивалентная схема двунаправленной шины с тремя состояниями.



(Dr = усилитель сигналов)

Рис. 4 Пример простой двунаправленной шины с тремя состояниями

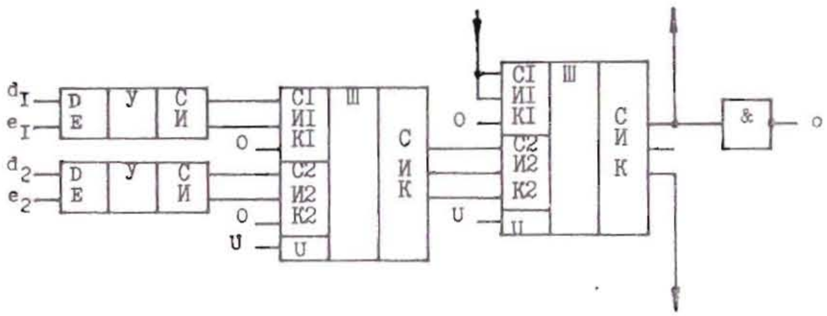


Рис. 5 Эквивалентная схема простой двунаправленной шины с тремя состояниями (см. рис. 4)

В рамках моделирования бинарной схемы можно контролировать на выходном контакте К последнего базового элемента "Шина", имеется ли конфликт на двунаправленной шине с тремя состояниями. В рамках генерирования тестовых последовательностей для бинарной схемы можно применить сигнал на выходном контакте К последнего базового элемента "Шина" для формулировки критерия "Без конфликтов", причём употреблённый алгоритм генерирования тестовых последовательностей должен обрабатывать такие дополнительные критерии /5/.

3.3. Триггер

При генерировании тестовых последовательностей для последовательностных схем часто предлагается заменить триггеры эквивалентными схемами без обратных связей /6/. При этом в большинстве случаев договариваются об определённых ограничениях разрешённых комбинаций входных сигналов. При употреблении троичной логики ограничения не нужны.
Рассмотрим пример построения простого RS-триггера на элементах И-НЕ (рис. 6). Упрощённая таблица истинности триггера приведена в таблице 6.

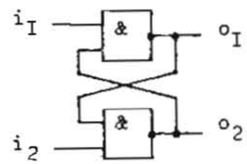


Рис. 6 RS-триггер

$i_I i_2$	$p_I p_2$	$o_I o_2$
I O	- -	O I
I -	O I	
O I	- -	I O
- I	I O	
O O	- -	I I
O U	- -	I U
U O	- -	U I
I I	O O	U U
I I	I I	
I I	U -	
I I	- U	
I U	I -	
I U	U -	
I U	- O	
I U	- U	
U I	O -	
U I	U -	
U I	- I	
U I	- U	
U U	- -	

Табл.6. Таблица истинности RS-триггера
(p_I означает предшествующее значение выхода o_I, p_2 – предшествующее значение выхода o_2)

Так как триггер построен симметрично, достаточно вычислить троичную функцию только одного выхода. Выбираем выход o_I. Из таблицы истинности (табл.6) можно вывести соответствующие бинарные функции:

$$o_I^O = i_I^I \cdot i_2^O \vee i_I^I \cdot p_I^O \cdot p_2^I \qquad (42)$$

$$o_I^I = i_I^O \vee i_2^I \cdot p_I^I \cdot p_I^O \qquad (43)$$

$$o_I^U = i_I^U \cdot i_2^O \vee i_I^U \cdot i_2^U \vee i_I^I \cdot i_2^I \cdot p_I^U \vee i_I^I \cdot i_2^I \cdot p_2^U \vee$$
$$i_I^I \cdot i_2^I \cdot p_I^O \cdot p_2^O \vee i_I^I \cdot i_2^I \cdot p_I^I \cdot p_2^I \vee$$
$$i_I^I \cdot i_2^U \cdot p_I^I \vee i_I^I \cdot i_2^U \cdot p_I^U \vee i_I^I \cdot i_2^U \cdot p_2^O \vee i_I^I \cdot i_2^U \cdot p_2^U \vee$$
$$i_I^U \cdot i_2^I \cdot p_I^O \vee i_I^U \cdot i_2^I \cdot p_I^U \vee i_I^U \cdot i_2^I \cdot p_2^I \vee i_I^U \cdot i_2^I \cdot p_2^U \quad . \qquad (44)$$

Функции удовлетворяют требованиям (I8) и (I9). Из формулы (27) следует выражение

$$o_I = \overline{i}_I \vee i_2 \cdot p_I \cdot \overline{p}_2 \vee i_I \cdot i_2 \cdot (\overline{p}_I \cdot \overline{p}_2 \vee p_I \cdot p_2) \cdot U. \qquad (45)$$

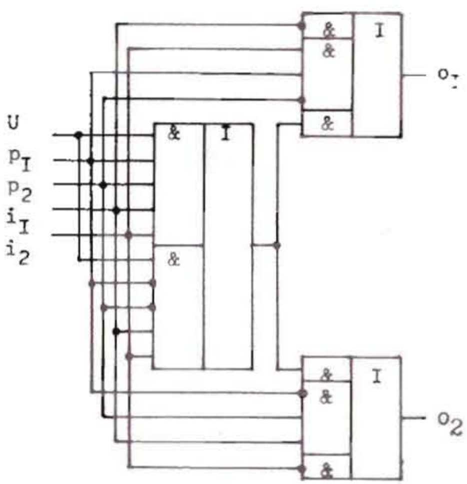


Рис. 7 Эквивалентная схема RS-триггера на элементах И-НЕ

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе троичной небулевой логики представлен способ разработки троичных функций с помощью булевых функций. На конкретных примерах показано применение способа разработки эквивалентных схем для троичного моделирования бинарных схем и для генерирования тестовых последовательностей для бинарных схем. Вследствие употребления константы U способ позволяет применение троичной логики при описании и таких свойств бинарных схем, которые являются неописываемыми в бинарной логике или в троичной логике без употребления константы U.

ЛИТЕРАТУРА

/I/ Werrmann, G.: Simulation von Schaltnetzwerken.
B:
Bochmann, D., V.N. Roginskij: Dynamische Prozesse in Automaten.
Berlin: VEB Verlag Technik 1977.

/2/ Roth, J.P.: Diagnosis of Automata Failures: A Calculus and a Method.
IBM J. of Res. and Dev. 10(1966)4, 278-291.

/3/ Klimovicz, J.M.: Multivalued Equivalence in Fault Test Generation.
FTSD 1979 Brno.

/4/ Eichelberger, E.B.: Hazard Detection in Combinational and Sequential Switching Circuits.
IBM J. of Res. and Dev. 9(1965)2, 90-99.

/5/ Akers, S.B.: A Logic System for Fault Test Generation.
IEEE Trans. on Comp. C-25(1976)6, 620-630.

/6/ Breuer, M.A.: The Effects of Races, Delays, and Delay Faults on Test Generation.
IEEE Trans. on Comp. C-23(1974)10, 1078-1092.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 февраля 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Науманн Б. 11-83-63
О троичном моделировании бинарных схем

На основе троичной небулевой логики представлен способ разработки троичных функций с помощью булевых функций. На конкретных примерах показано применение метода разработки эквивалентных схем для троичного моделирования бинарных схем и для генерирования тестовых последовательностей для этих схем.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Naumann B. 11-83-63
On Ternary of Binary Networks

Based on a ternary logic in this paper is shown how ternary functions can be described using only Boolean operations. A number of examples illustrate how the present method can be applied to design ternary equivalent networks for ternary static simulation of binary networks and ternary test generation for binary networks.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод автора.