

УДК 681.326.7

В. В. Сапожников – доктор технических наук (ПГУПС)

Вл. В. Сапожников – доктор технических наук (ПГУПС)

Р.Ш. Валиев – кандидат технических наук (НИЛ КСА)

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ САМОПРОВЕРЯЕМЫХ САМОДВОЙСТВЕННЫХ СТРУКТУР

Рассматриваются три способа построения элементов, работающих во временной парафазной (самодвойственной) логике. Исследованы способы реализации преобразователя самодвойственных сигналов в пространственные парафазные, повторителя, переключателя, схемы сравнения самодвойственных сигналов и устройств включения исполнительных реле.

В работах [1 – 12] исследованы вопросы применения свойств самодвойственных функций для организации функционального контроля комбинационных и многотактных логических схем.

Функция $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ называется самодвойственной, если

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bar{f}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n), \quad (1)$$

где двоичные наборы (x_1, x_2, \dots, x_n) и $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ являются противоположными, т.е. имеют противоположные значения в одноименных разрядах. Из (1) следует, что самодвойственная функция имеет противоположные значения на противоположных наборах. В таблице истинности (ТИ) противоположные наборы расположены симметрично относительно средней линии. Например, в табл. 1 такие наборы составляют следующие пары: (0,7), (1,6), (2,5) и (3,4). В этой таблице задана одна из возможных самодвойственных функций от трех переменных: $f = x_1(\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee x_2x_3) \vee \bar{x}_1(x_2\bar{x}_3 \vee \bar{x}_2x_3)$.

На рис. 1 показана структура функционального контроля схемы. Обозначим заданную схему через F . На ее входы поступают переменные x_1, x_2, \dots, x_n , а на выходах реализуются функции f_1, f_2, \dots, f_m . При помощи элементов «сложение по модулю 2» (элементов М2) входные переменные x_1, x_2, \dots, x_n преобразуются в импульсные сигналы $x_1^c, x_2^c, \dots, x_n^c$. Для этого на вторые входы элементов М2 подается последовательность прямоугольных импульсов a , вырабатываемая генератором Γ . Выходы элементов М2 образуют новые входы схемы, на которые поступают сигналы x_i^c (рис. 2).

Период последовательности a содержит два такта (1 и 2). В информационном такте 1 значение сигнала x^c равно значению сигнала x , а в контрольном такте 2 – инверсно значению x . При такой организации переменных x на входы схемы в информационном такте поступают действующие входные наборы $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, а в контрольном такте – инверсные \bar{X} .

Таблица 1

№ n/n	x_1	x_2	x_3	f
0.	0	0	0	0
1.	0	0	1	1
2.	0	1	0	1
3.	0	1	1	0
4.	1	0	0	1
5.	1	0	1	0
6.	1	1	0	0
7.	1	1	1	1

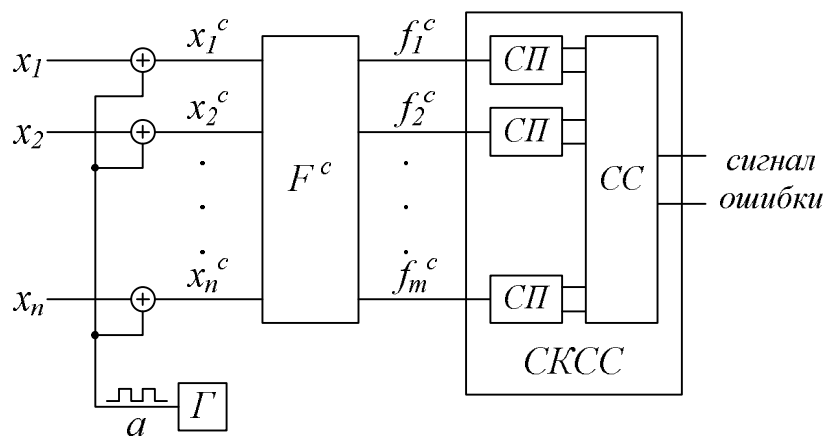


Рис. 1

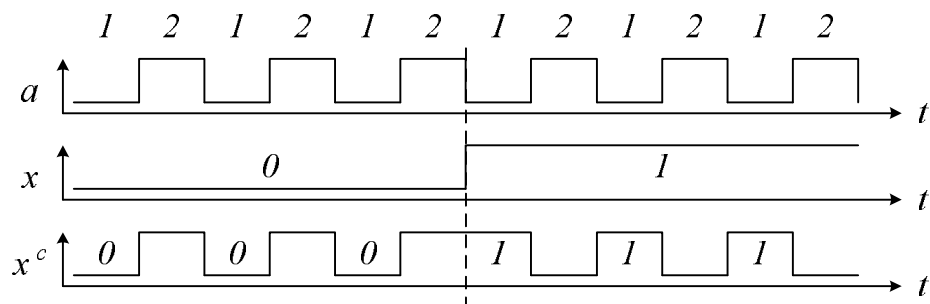


Рис. 2

Если входные сигналы x_i^c поступают на вход схемы F^c , которая реализует само-двойственные функции (СД-функции) $f_1^c, f_2^c, \dots, f_m^c$, то в силу свойства (1) выходные сигналы будут представлять собой импульсные последовательности, аналогичные последовательности x^c на рис. 2.

Неисправности в схеме F^c (см. рис. 1) приводят к искажению одной или нескольких функций $f_1^c, f_2^c, \dots, f_m^c$. В результате искажения эти функции переходят в класс несамо-двойственных и поэтому на выходах возникают несамо-двойственные последовательности выходных сигналов. Это фиксируется схемой контроля само-двойственных сигналов (СКСС).

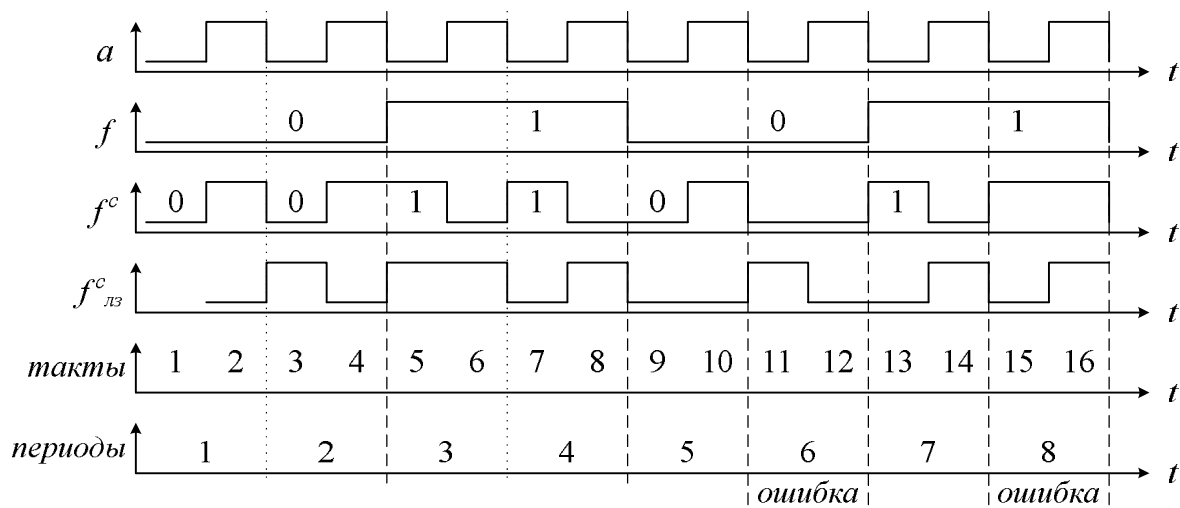


Рис. 3

Заданная схема F в общем случае описывается несамодвойственными функциями, поэтому она преобразуется в схему F^c методами, рассмотренными в [3 – 4, 6, 8 – 9, 11, 12].

Рассмотрим структуру схемы контроля самодвойственных сигналов, относящуюся к классу функциональных элементов самопроверяемых структур.

Основным требованием, предъявляемым к функциональным элементам самодвойственных структур, является обеспечение самопроверяемости схемной реализации и контроля свойства самодвойственности входного сигнала, поскольку по его форме можно судить о исправности внутренней структуры всей системы, к которой они подключены [12].

Один из способов контроля состоит в преобразовании временного парафазного (самодвойственного) сигнала в пространственный парафазный. В этом случае в структуру СКСС входят самодвойственные преобразователи (СП), которые осуществляют преобразование СД-сигнала в пространственный парафазный. Если на вход СП поступает самодвойственный сигнал, то на его выходах формируются парафазные (разные) значения, в противном случае (при поступлении на вход СП несамодвойственного сигнала) – формируются одинаковые значения. Парафазные сигналы контролируются при помощи самопроверяемых схем сравнения (СС), методы построения которых подробно рассмотрены в [13]. Обнаруживаются также отказы входов схемы F^c , которые приводят к замене импульсных входных сигналов x^c на непрерывные.

Для рассмотрения принципа построения СП проанализируем форму самодвойственного сигнала на выходе исправной схемы, а также в случае появления ошибки (рис. 3). Для этого подадим f^c на элемент задержки, величина которой равна одному такту (половине периода) импульсной последовательности a и проанализируем соотношение исходного сигнала f^c и сигнала с выхода элемента задержки $f^c_{лз}$. Фактически произведем сравнение значений f^c в информационном и контрольном тактах.

В моменты информационных тактов (см. такты 3, 5, 7 и 9 на рис. 3) работы устройства сигналы f^c и $f^c_{лз}$ принимают как разные, так и одинаковые значения. Но это не означает искажения самодвойственного сигнала. Причина в том, что f^c и $f^c_{лз}$ соответствуют информационному такту сигнала одного периода и контрольному предыдущего соответственно. Например, в тактах 3 и 7 f^c и $f^c_{лз}$ принимают противоположные

значения, поскольку в периодах 2 и 4 не происходит смены логического значения сигнала, а в тактах 5 и 9 f^c и $f_{лз}^c$ равны, потому что входная последовательность изменила логическое значение.

Рассмотрим такты 2, 4, 6, 8, 10 и 14. Из временной диаграммы видно, что в эти моменты сигналы f^c и $f_{лз}^c$ всегда различны. В этом случае они соответствуют контрольному и информационному тактам одного периода.

Таким образом, сигналы f^c и $f_{лз}^c$ являются пространственными парафазными только во время контрольных тактов работы самодвойственной системы.

Временная диаграмма показывает, что сигналы f^c и $f_{лз}^c$ в контрольных тактах периодов проявления ошибок (см. такты 12 и 16 на рис. 3) равны. Таким образом, при нарушении временной парафазности сигналы f^c и $f_{лз}^c$ в контрольных тактах будут равны.

На основании приведенных выше рассуждений построена схема преобразователя самодвойственного сигнала в пространственный парафазный (рис. 4), на выходе которого при сохранении временной парафазности входного сигнала и исправности внутренней структуры присутствует пространственный парафазный сигнал $z^1 \neq z^0$. В случае нарушения самодвойственности входного сигнала хотя бы в одном периоде или при возникновении одиночной константной неисправности в схеме преобразователя на его парафазном выходе устанавливаются одинаковые значения $z^1 = z^0$.

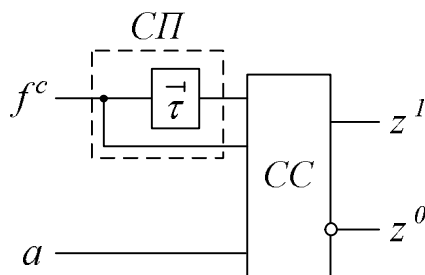


Рис. 4

Используя преобразование парафазных сигналов и типовые схемы самопроверяемых устройств, работающих в пространственной парафазной логике [13, 14], получены следующие схемы функциональных элементов: схема сравнения самодвойственных сигналов, используемая для контроля дублированных структур, устройства включения исполнительных реле.

Основным недостатком рассмотренного метода является большая сложность синтезированных схем, которая вносится самопроверяемыми парафазными устройствами.

Самодвойственный сигнал обладает еще одним свойством, полезным для осуществления его контроля: изменять в каждом периоде работы свое значение. Поэтому, фиксируя перепады сигнала в моменты перехода от информационного такта к контрольному и только тогда, можно обнаружить нарушение временной парафазности. Структура устройства контроля, реализующая предложенный принцип, представлена на рис. 5.

Формирователь контрольных импульсов (ФКИ) осуществляет преобразование перепадов сигнала вида $0 \rightarrow 1$, либо $1 \rightarrow 0$, возникающих по мере его поступления, в короткие импульсы (рис. 6). На выходе формирователя тактовых контрольных импульсов (ФТКИ) в моменты изменений вида $0 \rightarrow 1$ тактового сигнала a присутствуют управляющие импульсы

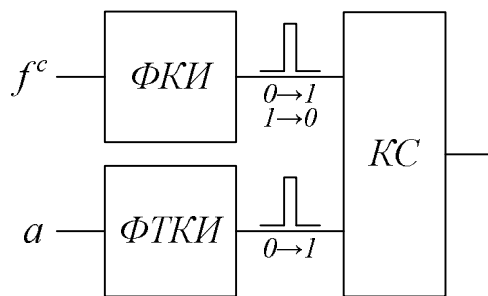


Рис. 5

Функции, выполняемые в конечном итоге синтезируемым устройством, определяют структуру контрольной схемы (КС). Если необходимо получить фиксатор самодвойственного сигнала, КС должна проверять наличие короткого импульса, поступающего с выхода ФКИ в моменты перехода схемы от работы в информационном такте к такту контрольному в каждом периоде работы самодвойственной системы (см. рис. 6). Схема совпадения и накопления служит выходным элементом в структуре устройства сопряжения с объектами. При этом осуществляется не только контроль наличия перепадов сигнала в каждом периоде работы, но и его вид, по которому определяется логическое значение управляющего сигнала.

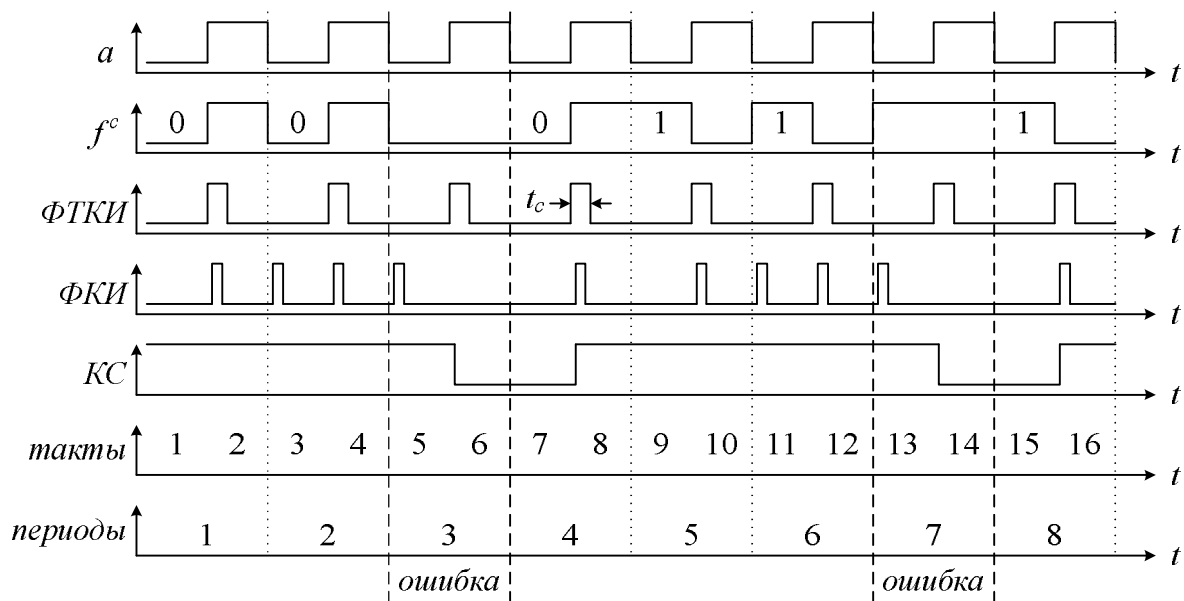


Рис. 6

Самопроверяемость схем функциональных элементов, основанных на контроле перепадов сигнала, достигается схемотехническими решениями.

На примере схемы повторителя самодвойственного сигнала рассмотрим еще один способ построения функциональных элементов самопроверяемых самодвойственных структур, а именно синтез их как конечного автомата, заданного временной диаграммой. При этом свойства и функциональность, которыми должен обладать синтезируемый элемент, учитываются на этапе построения временной диаграммы.

На рис. 7 приведена временная диаграмма схемы повторителя. При поступлении на вход альтернативного сигнала f^c , выход z полностью его повторяет (периоды 1 –

б). В периоде 7 происходит нарушение самодвойственности сигнала f^c и схема переходит в защитное состояние и блокируется в нем (периоды 7 – 8). Восстановление самодвойственности сигнала f^c никак не влияет на работу устройства. Выход схемы из защитного состояния возможен только по цепи установки (период 9).

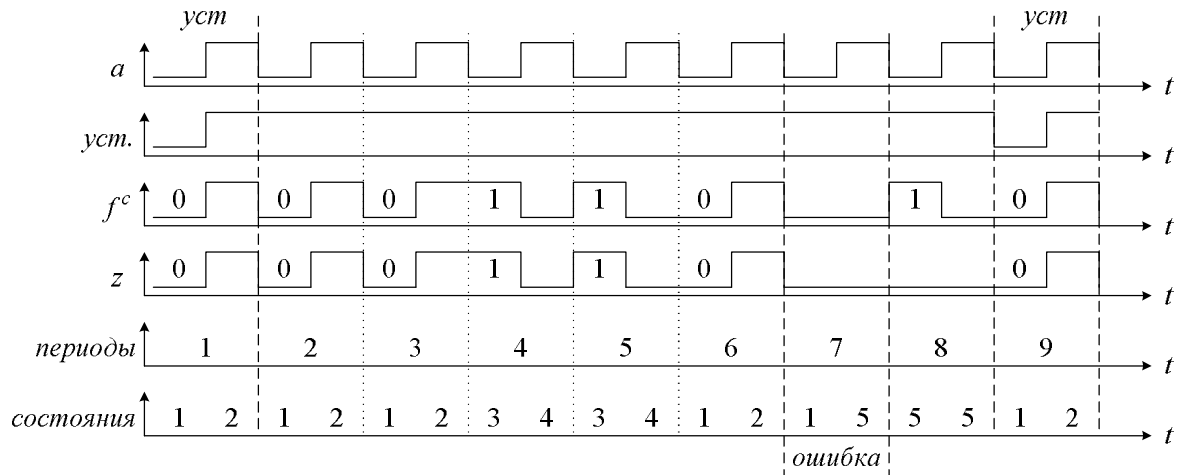


Рис. 7

Таким образом, схема повторителя обладает свойствами контроля и сохранения самодвойственности входного сигнала, самопроверяемости и блокировки в защитном состоянии.

По временной диаграмме построена первичная таблица переходов (табл. 2). При этом состояние под номером 5 является защитным, в котором схема блокируется при нарушении временной парафазности входного сигнала f^c или возникновении одиночной константной неисправности логических элементов внутренней структуры.

Полностью самопроверяемые схемы получают при использовании метода кодирования состояний по столбцам таблицы переходов [15] и кодировании строк кодом с постоянным весом (табл. 3).

Таблица 2

s	$a f^c$			
	00	01	10	11
1	(1), 0	~	5, 0	2, 1
2	1, 0	3, 1	~	(2), 1
3	~	(3), 1	4, 0	5, 0
4	1, 0	3, 1	(4), 0	~
5	(5), 0	(5), 0	(5), 0	(5), 0

Таблица 3

$y_1 y_2 y_3$	$a f^c$			
	00	01	10	11
110	(110), 0	101, 1	011, 0	(110), 1
101	110, 0	(101), 1	(101), 0	011, 0
011	(011), 0	(011), 0	(011), 0	(011), 0

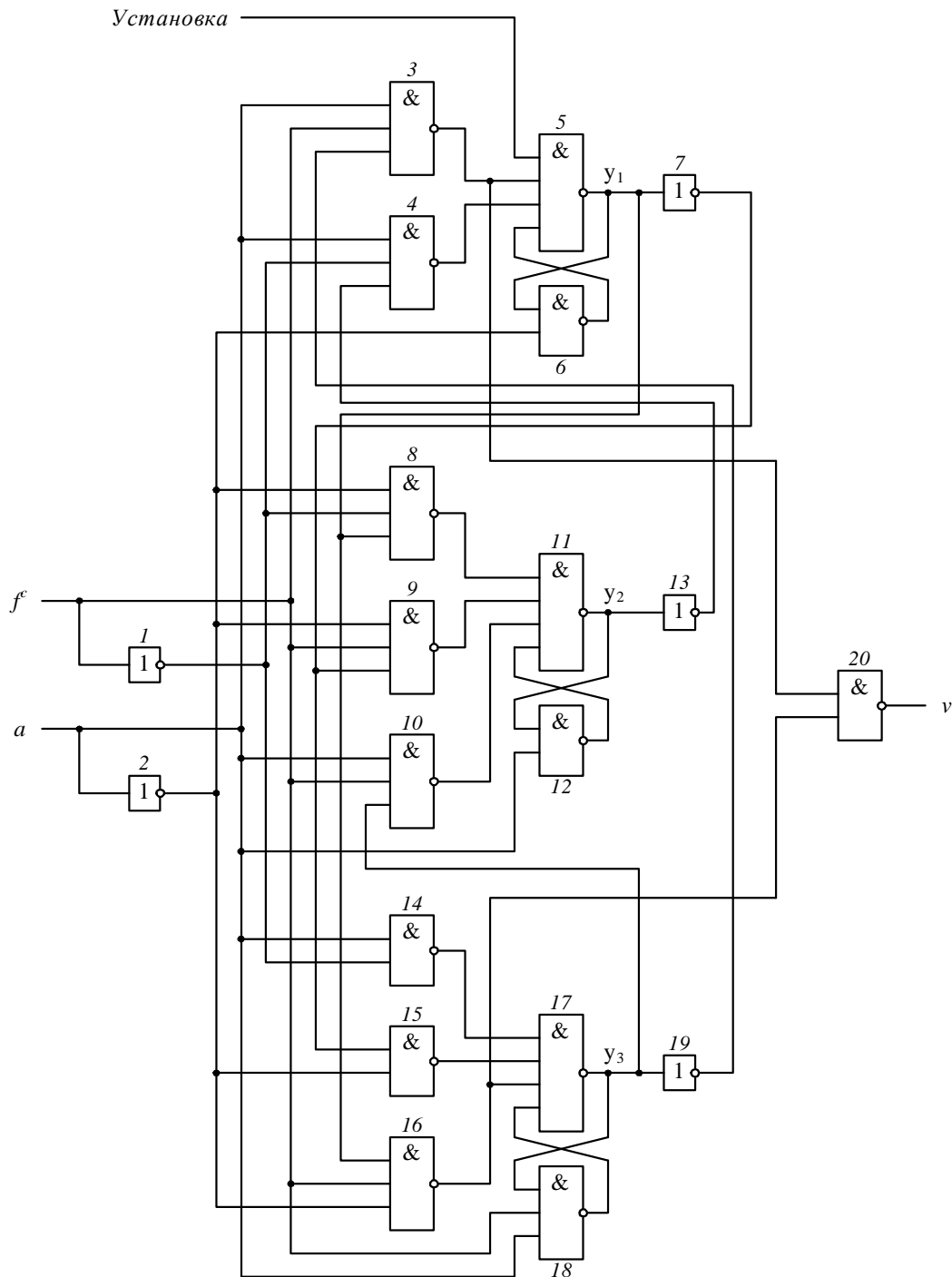


Рис. 8

Схема повторителя самодвойственного сигнала (рис. 8) описывается следующей системой функций:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \bar{a} y_1 \vee a \bar{f}^c \bar{y}_2 \vee a f^c \bar{y}_3 \\
 y_2 &= a y_2 \vee \bar{a} \bar{f}^c y_1 \vee \bar{a} f^c \bar{y}_1 \vee a f^c y_3 \\
 y_3 &= a f^c y_3 \vee \bar{a} f^c y_1 \vee \bar{a} \bar{y}_1 \vee a \bar{f}^c \\
 v &= \bar{a} f^c y_1 \vee a f^c \bar{y}_3.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Метод построения самопроверяемых схем функциональных элементов самодвойственных структур по временной диаграмме отличается универсальностью и применимостью для решения любых задач, связанных с контролем и преобразованием самодвойственных сигналов. Однако, полученные схемы не всегда отличаются простотой схемной реализации.

Литература

1. Reynolds D.A., Metze G. Fault detection capabilities of alternating logic // IEEE Trans. Comput. 1978. V. C. 27. №12. P. 1093 – 1098.
2. Saposhnikov V.I.V., Dmitriev A., Saposhnikov V.V., Goessel M. Self-dual parity checking – a new method for on-line testing // Proc. 14th IEEE VLSI Test Symp., Princeton, New Jersey, 1996. P. 162 – 168.
3. Saposhnikov V.I.V., Moshanin V., Saposhnikov V.V., Goessel M. Self-dual multi-output combinational circuits with output data compaction // IEEE European Test Workshop, Italy, Gagliari, 1997.
4. Гессель М., Мошанин В.И., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Обнаружение неисправностей в самопроверяемых комбинационных схемах с использованием свойств самодвойственных функций // Автоматика и телемеханика. 1997. № 12. С. 193 – 200.
5. Ocheretnij V., Goessel M., Saposhnikov V.I.V., Saposhnikov V.V. Fault-tolerant self-dual circuits with error detection by parity – and group parity prediction // 4th IEEE International On-line Testing Workshop, Capri, Italy. – 1998. – P. 124 – 130.
6. Saposhnikov V.I.V., Moshanin V., Saposhnikov V.V., Goessel M. Experimental results for self-dual multi-output combinational circuits // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. 1999. № 14. P. 295 – 300.
7. Гессель М., Дмитриев А.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Самотестируемая структура для функционального обнаружения отказов в комбинационных схемах // Автоматика и телемеханика. 1999. № 11. С. 162 – 174.
8. Гессель М., Морозов А.А., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Построение самопроверяемых комбинационных схем на основе свойств самодвойственных функций // Автоматика и телемеханика. 2000. № 2. С. 151 – 163.
9. Dmitriev A., Saposhnikov V.V., Saposhnikov V.I.V., Goessel M., Moshanin V., Morozov A. New self-dual circuits for error detection and testing // VLSI Design. 2000. Vol. 11. P. 1 – 21.
10. Гессель М., Дмитриев А.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Исследование свойств самодвойственных самопроверяемых многотактных схем // Автоматика и телемеханика. 2001. № 4. С. 148 – 159.
11. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Валиев Р.Ш. О синтезе самодвойственных логических схем с памятью // Электронное моделирование. 2004. №2. Т. 26. С. 39 – 57.
12. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Гессель М. Самодвойственные дискретные устройства. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ие, 2001. 331 с.
13. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Самопроверяемые дискретные устройства. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 224 с.
14. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Христов Х.А., Гавзов Д.В. Методы построения безопасных микросхем железнодорожной автоматики. М.: Транспорт, 1995. 272 с.
15. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Синтез полностью самоконтролирующихся асинхронных автоматов // Автоматика и телемеханика, 1979. № 1. С. 154 – 166.

Статья опубликована

Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Валиев Р.Ш. Методы построения функциональных элементов самопроверяемых самодвойственных структур // Транспорт Урала. – Екатеринбург, 2006. – №2. С. 2 – 8.