

УДК 519.714.2

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

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

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

СИНТЕЗ САМОПРОВЕРЯЕМОГО САМОДВОЙСТВЕННОГО Т-ТРИГГЕРА

В настоящее время предложено несколько способов построения самопроверяемых самодвойственных структур для функционального диагностирования комбинационных устройств [1–4]. Рассмотрим вопросы построения устройств с памятью на основе свойств самодвойственных функций.

Один из методов реализации самодвойственной структуры с памятью заключается в синтезе схемы как автомата, заданного временной диаграммой. Рассмотрим его на примере построения T -триггера.

Данные триггеры имеют один информационный вход « T » и работают в счетном режиме. Переключение триггера из одного состояния в другое происходит каждый раз, когда на его входе действует сигнал логической 1. Поэтому T -триггер называют также счетным триггером.

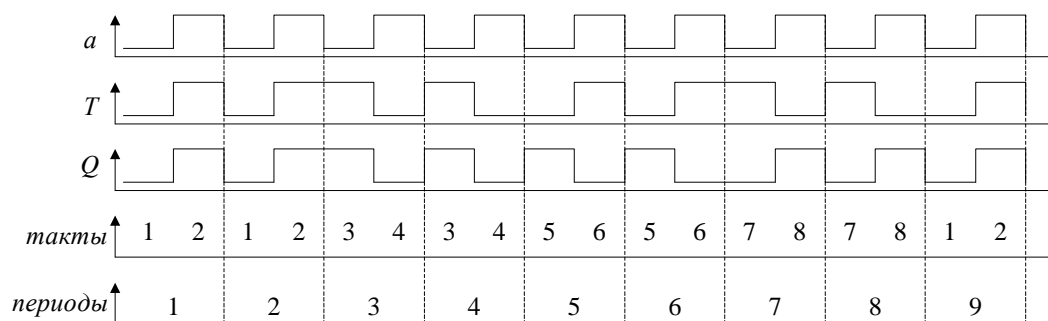


Рисунок 1 – Диаграмма работы T -триггера в самодвойственной логике

На временной диаграмме (рисунок 1) указаны все возможные случаи изменения входного сигнала триггера T при соответствующих внутренних состояниях. Последние однозначно соответствуют значениям выходного сигнала Q . Период 1 рассматривается как исходное состояние ($Q = 0$) и на его входе присутствует пассивный сигнал ($T = 0$).

Переход от периода 1 к периоду 2 соответствует случаю, когда на входе триггера сохраняется значение сигнала $T = 0$ при нулевом состоянии триггера. При этом он остается в этом же состоянии ($Q = 0$). Переход от периода 2 к периоду 3 соответствует случаю смены значения входного сигнала с 0 на 1. Устройство переходит в состояние 1 ($Q = 1$) и т.д.

По временной диаграмме составлена первичная таблица переходов (таблица 1). Число строк таблицы равно числу различных тактов временной диаграммы. Номер ус-

тойчивого состояния совпадает с номером такта, который реализуется данным состоянием. Часть переходов соответствует клеткам таблицы, в которых проставлено обозначение неопределенного состояния (\sim). Такие переходы не могут возникать в работе схемы, так как они связаны с искажениями дополнительного сигнала a , которые невозможны.

Другая часть переходов соответствует клеткам, отмеченным знаком $*$. Такие переходы возникают в работе схемы при искажении входного сигнала T , когда в некотором периоде самодвойственный сигнал заменяется на несамодвойственный. При этом переход определяется таким образом, чтобы выходной сигнал Q также имел несамодвойственную форму представления.

Таким образом, таблица 1 задает самодвойственную схему, которая при наличии на входе самодвойственного сигнала реализует логику T -триггера, а при поступлении на вход несамодвойственного сигнала формирует на выходе также несамодвойственный сигнал.

Таблица 1 имеет четыре пары совместимых строк $E_{max1} = \{1,2\}$, $E_{max2} = \{3,4\}$, $E_{max3} = \{5,6\}$, $E_{max4} = \{7,8\}$ и поэтому минимизированная таблица переходов (таблица 2) имеет четыре строки. Кодирование строк приведено в левом крайнем столбце таблицы 2.

Таблица 1 – Первичная совмещенная таблица переходов T -триггера

s	$a T$			
	00	01	10	11
1.	(1), 0	\sim	1, 0 *	2, 1
2.	1, 0	3, 1	\sim	(2), 1
3.	\sim	(3), 1	4, 0	3, 1 *
4.	5, 1	3, 1	(4), 0	\sim
5.	(5), 1	\sim	5, 1 *	6, 0
6.	5, 1	7, 0	\sim	(6), 0
7.	\sim	(7), 0	8, 1	7, 0 *
8.	1, 0	7, 0	(8), 1	\sim

Таблица 2 – Минимизированная совмещенная таблица переходов T -триггера

Коды строк	s	$a T$			
		00	01	10	11
01	1.	(1), 0	2, 1	1, 0	(1), 1
11	2.	3, 1	(2), 1	(2), 0	2, 1
10	3.	(3), 1	4, 0	3, 1	(3), 0
00	4.	1, 0	(4), 0	(4), 1	4, 0

Кодированная ТП представлена таблицей 3, которая задает следующую систему функций в базисе И – НЕ:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= y_1(a \vee \bar{x}) \vee y_2 \bar{a} x = y_1 \bar{a} \bar{x} \vee y_2 \bar{a} x = (y_1 | \bar{a} | x) | (y_2 | \overline{\bar{a} | x}) \\
 y_2 &= y_2(a \vee x) \vee \bar{y}_1 \bar{a} \bar{x} = y_2 \bar{a} \bar{x} \vee \bar{y}_1 \bar{a} \bar{x} = (y_2 | \bar{a} | \bar{x}) | (\bar{y}_1 | \overline{\bar{a} | \bar{x}}) \\
 Q &= (\bar{a} | \bar{x} | y_1) | (a | \bar{x} | \bar{y}_2) | (x | y_2)
 \end{aligned}$$

Таблица 3 – Кодированная совмещенная таблица переходов T -триггера

s	aT			
	00	01	10	11
01	(01), 0	11, 1	01, 0	(01), 1
11	10, 1	(11), 1	(11), 0	11, 1
10	(10), 1	00, 0	10, 1	(10), 0
00	01, 0	(00), 0	(00), 1	00, 0

Схема самодвойственного T -триггера приведена на рисунке 2. Сигнал "Установка в 0" приводит схему в устойчивое состояние (1) при значении входов $aT = 00$.

Для возможности сравнения различных реализаций самодвойственного T -триггера подсчитаем некоторые его характеристики сложности. Суммарное число входов логических элементов (L), входящих в структуру T -триггера равно 35. Число логических элементов (N_1), используемых в структуре автомата и не имеющих ограничений на число входов, составило 19.

Для схемы самодвойственного T -триггера (рисунок 2) проведены эксперименты по обнаружению неисправностей. Рассматривались все одиночные неисправности типа «константа 0» и «константа 1» входов и выходов логических элементов и входов схемы.

На входы схемы подавались сигналы, соответствующие временной диаграмме, приведенной на рисунке 1.

Контроль исправности схемы осуществлялся путем проверки самодвойственности выходных функций Q и \bar{Q} , то есть в каждом периоде проверялся факта того, что значение функции Q в контрольном такте инверсно значению функции в информационном такте.

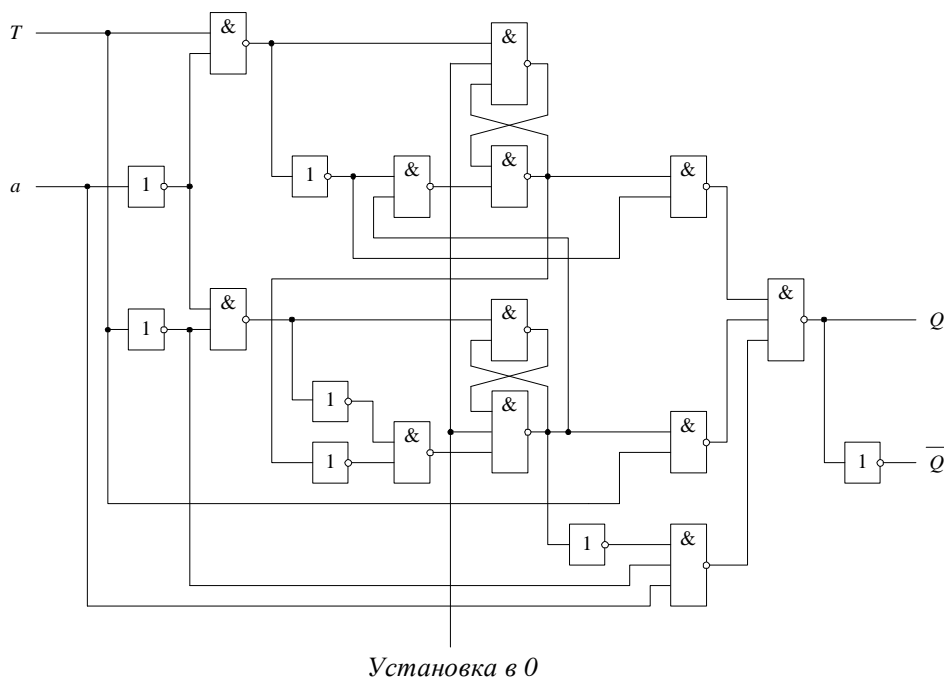


Рисунок 2 – Схема самодвойственного T -триггера

Число одиночных константных неисправностей самодвойственного T -триггера оказалось равным 114. Эксперименты показали, что схемой обнаруживается только 73.68 % из них. Полученный результат не позволяет отнести синтезированный самодвойственный автомат к классу самопроверяемых.

Неисправности логических элементов, не проявившиеся на выходе $Q(\bar{Q})$ схемы T -триггера, приводят, в большинстве случаев, к фиксации определенного (единичного либо нулевого) значения одного из элементов памяти (ЭП). А иногда и обеих внутренних переменных. Однако данный факт не нарушает самодвойственности выходного сигнала.

Рассмотрим причину этого явления. Проанализируем минимизированную совмещенную ТП (таблица 2). В любой строке таблицы записано устойчивое состояние, в котором находится автомат. Причем двум тактам работы триггера, информационному и контрольному, соответствует одно внутреннее состояние. А по определению самодвойственной функции функция выхода принимает противоположные значения. Кодирование внутренних переменных не избыточное и все состояния являются разрешенными. Поэтому фиксация в определенном состоянии ЭП не приводит к нарушению самодвойственности выходного сигнала, хотя и нарушает правильное функционирование триггера.

Устранить данное явление можно несколькими способами.

Во-первых: дополнив условия минимизации. Две строки ТП и ТВ будут совместимыми, если они имеют непротиворечивое размещение цифр, то есть в одном столбце этих строк записаны одинаковые цифры или в одной строке записана цифра, а в другой – знак безразличного состояния, причем устойчивые состояния этих строк имеют одинаковые значения выходов. Возможность применения данного метода маловероятна, поэтому рассмотрим второй способ.

Необходимо каждую строку минимизированной ТП, в которой одному и тому же устойчивому внутреннему состоянию соответствуют противоположные значения выходов, разделить на две строки. В каждой новой строке не должно быть устойчивых состояний с инверсными значениями функции выходов. Для T -триггера такой таблицей является первичная ТП.

Очевидно, что применение этого метода приведет к значительному увеличению количества ЭП и сложности логического преобразователя, а также довольно сложному процессу синтеза автомата.

Третий способ повышения отказоустойчивости заключается в кодировании внутренних переменных автомата таким образом, чтобы при переходе из одного устойчивого состояния в другое изменялось состояние большего числа ЭП. При этом возникают критические состязания, которые устраняются доопределением неосновных состояний ТП.

Сложность схем возрастает в 1,5 – 2 раза. Однако это позволяет увеличить процент обнаруживаемых одиночных константных неисправностей входов и выходов логических элементов до 85 – 95 %.

Проведенные эксперименты показали, что не один из предложенных методов повышения отказоустойчивости не позволяет получить полностью самопроверяемую схему T -триггера. Поэтому необходимо применять принципиально иные методы синтеза.

Используем для построения самодвойственных устройств с памятью один из методов разделения переходов.

Метод кодирования состояний по столбцам ТП (КСТ) удобен при реализации автоматов на функциональных логических элементах. Он обеспечивают максимальное

быстродействие и сравнительно простую структуру ЛП автомата, но дает значительный расход ЭП. Отличается простотой алгоритма. Особенностью метода является то, что в нем каждый столбец ТП рассматривается независимо от других.

Особенность структуры асинхронного конечного автомата, реализованного методом КСТ, состоит в том, что при переходе из неустойчивого состояния в устойчивое под воздействием входа b_j ЭП автомата, входящие в множество разделяющих переменных, не переключаются, так как они принимают необходимые состояния в предыдущем такте работы автомата. Все остальные ЭП могут переключаться в течение одного такта. Состязания между ними являются допустимыми, поскольку новое устойчивое состояние полностью определяется разделяющими переменными.

Для достижения безотказности достаточно состояния каждой системы определяющих ЭП закодировать кодом с обнаружением ошибок. При этом обнаружение отказов осуществляется в пределах каждой системы разделяющих ЭП. Так как сама система указанных ЭП при входе b_j не изменяет своего состояния, то отказы ЭП допускаются в любой момент времени, а следовательно, автомат будет обладать также устойчивостью и к отказам элементов ЛП.

Используем для построения самодвойственного T -триггера метод кодирования внутренних состояний по столбцам таблицы переходов. Исходными данными для синтеза является минимизированная таблица переходов (таблица 2).

Будем рассматривать первые два столбца ТП ($b_1 = 00$ и $b_2 = 01$), так как остальные не содержат переходов из неустойчивых состояний в устойчивые, то есть полных λ -классов. Для кодирования внутренних состояний выделим четыре переменные: две разделяющие – для кодирования двух λ -классов первого столбца и две – для кодирования того же числа λ -классов второго столбца. Коды строк приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Кодированная совмещенная таблица переходов

s	$a T$			
	$b_1 = 00$	$b_2 = 01$	$b_3 = 10$	$b_4 = 11$
10 10	(1010), 0	0110, 1	1010, 0	1010, 1
01 10	0101, 1	(0110), 1	(0110), 0	0110, 1
01 01	(0101), 1	1001, 0	0101, 1	(0101), 0
10 01	1010, 0	(1001), 0	(1001), 1	1001, 0

Находим функции включения элементов памяти и функцию выхода автомата:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= (b_1 \vee b_3 \vee b_4)y_1 \vee b_2 y_4 \\
 y_2 &= (b_1 \vee b_3 \vee b_4)y_2 \vee b_2 y_3 \\
 y_3 &= (b_2 \vee b_3 \vee b_4)y_3 \vee b_1 y_1 \\
 y_4 &= (b_2 \vee b_3 \vee b_4)y_4 \vee b_1 y_2 \\
 z &= b_1 y_2 \vee b_2 y_3 \vee b_3 y_4 \vee b_4 y_3
 \end{aligned}$$

Принципиальная схема асинхронного самодвойственного T -триггера, синтезированного по методу КСТ, приведена на рисунке 3. Схема реализована на 30 логических элементах и имеет сложность L равную 56. Появление в схеме линий задержки обусловлено возникающими критическими состязаниями при переключении элементов памяти как внутри бистабильных ячеек так и между ними.

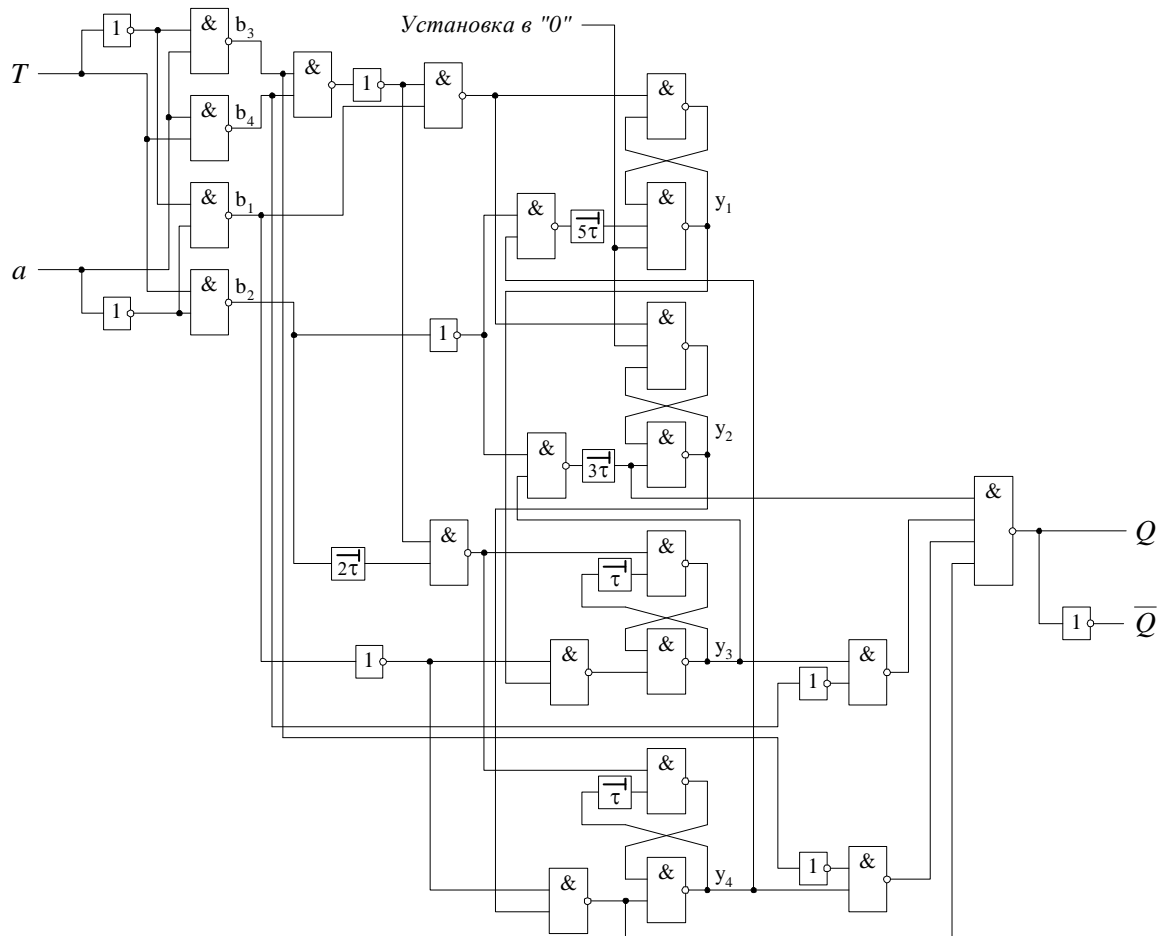


Рисунок 3 – Принципиальная схема самодвойственного T -триггера, синтезированного по методу КСТ

Эксперименты по выявлению одиночных константных неисправностей входов и выходов логических элементов схемы позволяют отнести синтезированный T -триггер к классу полностью самопроверяемых схем. Все 178 неисправностей, внесенных поочередно в схему, привели к нарушению самодвойственности сигнала на выходе Q (\overline{Q}).

Литература

1. 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.
2. 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.

3. 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.
4. Гессель М., Дмитриев А.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Обнаружение неисправностей в комбинационных схемах с помощью самодвойственного контроля // Автоматика и телемеханика. 2000. № 7. С. 140 – 149.
5. Валиев Р.Ш., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Синтез самодвойственных элементов памяти // Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 21. «Современные информационные технологии, электронные системы и приборы». – Екатеринбург: 2001. - С. 33 – 41.
6. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Методы синтеза надежных автоматов. Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. 96 с.

Статья опубликована

Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Валиев Р.Ш. Синтез самопроверяемого самодвойственного Т-триггера // Фундаментальные и прикладные исследования – транспорту. Молодые ученые – транспорту. Труды науч.-техн. конф. – Екатеринбург: УрГУПС, 2001. – Т. 1. С. 102 – 111.