

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 САМОДВОЙСТВЕННЫХ САМОПРОВЕРЯЕМЫХ ТРИГГЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОДВОЙСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПАМЯТИ

Известна схема самодвойственного T – триггера [1] со свойством самоконтроля, позволяющая обнаруживать любые одиночные неисправности внутренних элементов или нарушение временной парафазности входного сигнала.

Один из методов синтеза самопроверяемых самодвойственных триггеров основан на использовании композиционной модели [2], отражающей структуру триггера как дискретного автомата с памятью. В этом случае построение любой самодвойственной многотактной схемы сводится к синтезу логического преобразователя ($ЛП$) с самодвойственными выходами.

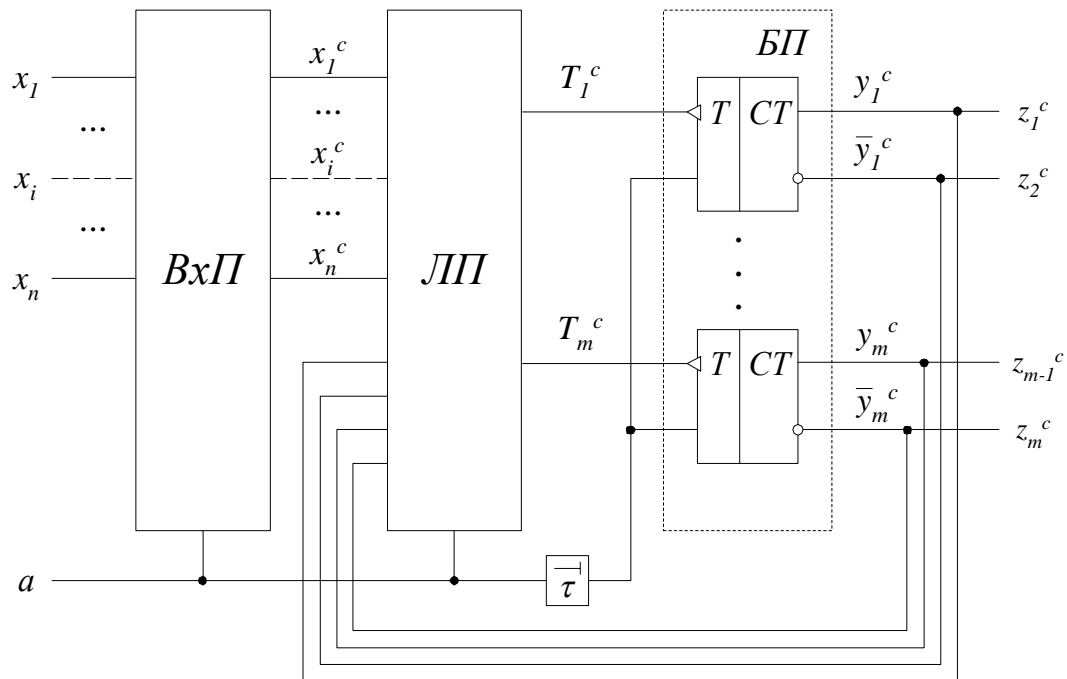
Структура (см. рисунок) содержит три основных блока. Входной преобразователь ($ВхП$) формирует из произвольной входной переменной самодвойственные входные наборы в соответствии с формулой: $x_i^c = a \oplus x_i$. $ВхП$ не используется, если схема входит в самодвойственную систему.

Блок памяти ($БП$) содержит внутренние элементы памяти ($ЭП$), в качестве которых используются самодвойственные самопроверяемые T – триггеры. Логический преобразователь есть самодвойственная комбинационная схема, реализующая самодвойственные функции включения $ЭП$.

Устройства с памятью, синтезированные в соответствии с предложенной структурой, можно отнести к классу синхронных конечных автоматов. Входные сигналы блоков $ЛП$ и $БП$ тактируются импульсной последовательностью a и в идеальном случае изменяются одновременно в моменты переходов $a \rightarrow \bar{a}$ и $\bar{a} \rightarrow a$. Однако, каждый логический элемент имеет задержку распространения сигнала на время переключения, а, следовательно, сигнал на входе блока памяти будет появляться с задержкой. Поэтому в схеме самодвойственного устройства с памятью возможно возникновение ложных переходов, ведущих к искажению алгоритма работы.

Моделированием предложенной структуры установлено, что для её корректной работы необходимо введение задержки тактового сигнала на входе $БП$ в моменты переходов от контрольного такта работы к информационному. Для этого дополнительный сигнал a поступает на входы элементов памяти через элемент задержки, осуществляющей затягивание его спадов.

Заданием на синтез блока $ЛП$ самодвойственного автомата с памятью является его таблица переходов (см. таблицу), образованная 2^j ($j = 2^n$) столбцами и i строками (где n – число информационных входов синтезируемого автомата, а i – число его внутренних состояний).



Структурная схема самодвойственного автомата с памятью

Таблица переходов самодвойственного автомата с памятью

		1	2	...	r	...	j	j+1	j+2	...	j+r	...	2j
	$b_1 \dots b_{n+1}$	J_1	J_2	...	J_r	...	J_j	\bar{J}_1	\bar{J}_2	...	\bar{J}_r	...	\bar{J}_j
	$y_1 \dots y_n$												
1	S_1												
2	S_2												
...		
l	$S_l = \tilde{y}_1 \dots \tilde{y}_k \dots \tilde{y}_m$				$\tilde{y}_1 \dots \tilde{y}_k \dots \tilde{y}_m$								
...		
p	$S_p = \tilde{y}_1 \dots \tilde{y}_k \dots \tilde{y}_m$				$(\tilde{y}_1 \dots \tilde{y}_k \dots \tilde{y}_m)$								
...		
i-1	S_{i-1}												
i	S_i												

Исходя из алгоритма работы самодвойственного автомата, таблица переходов (ТП) может быть условно разделена на две равные части: одна соответствует работе устройства в информационных тактах, другая – в контрольных. При построении схемы ЛП достаточно определить функции включения (ΦB) элементов памяти, соответствующие логике работы T – триггера, а затем привести их к самодвойственному виду любым из известных методов. В результате на входы ЭП будет поступать временной парафазный сигнал.

Стандартный способ построения самодвойственных устройств [3] предполагает введение двойной аппаратной избыточности, но обеспечивает наибольший процент обнаруживаемых ошибок.

Для вычисления логических ΦB ЭП, составляется кодированная ТП. Минимальное число внутренних двоичных переменных, необходимых для безизбыточного кодирования автомата с i состояниями, определяется формулой:

$$m = \log_2 I = \lceil \log_2 i \rceil, \quad (1)$$

где $I > i$ – ближайшее к i целое число, при котором значение $\log_2 I$ также целочисленно.

Процедура кодирования состоит в присвоении каждому внутреннему состоянию некоторого двоичного вектора длины m . Заменяя в заданной совмещённой ТП цифровые обозначения состояний кодовыми векторами, поставленными им в соответствие, получают кодированную ТП, задающую одновременно все ΦB автомата.

Очевидно, что при использовании в качестве ЭП для реализации самодвойственных многотактных устройств самопроверяемого T – триггера его функции включения определяются клетками ТП, не содержащими устойчивых состояний.

Пусть указанная клетка ТП образована пересечением j – го столбца с i – й строкой (см. таблицу). Это означает, что при подаче на вход ЛП вектора, образованного $n+1$ разрядами вектора j_q ($b_1 \dots b_{n+1}$) и m разрядами вектора i_f , соответствующего i – му внутреннему состоянию ($y_1 \dots y_k \dots y_m$), на выходе логического преобразователя формируется передний фронт логического значения переключающего импульса ($0 \rightarrow 1$). При поступлении его на вход самодвойственного T – триггера логическое значение его выхода изменяется на противоположное, что соответствует изменению $(n+1+m)$ – разрядного входного вектора ЛП:

$$(b_1 \dots b_{n+1} y_1 \dots \tilde{y}_k \dots y_m) \rightarrow (b_1 \dots b_{n+1} y_1 \dots \bar{\tilde{y}}_k \dots y_m). \quad (2)$$

Полученному вектору соответствует клетка ТП, содержащая устойчивое состояние. ΦB для k – го ЭП задаются лишь теми клетками кодированной ТП, в которых вектора i_f и i_p различаются в k – м разряде. Здесь i_f – кодовый вектор, определяющий i – е внутренне состояние синтезируемого автомата, а i_p – кодовый вектор, которому соответствует переход во внутреннее состояние i' , являющееся устойчивым при подаче на входы ЛП вектора j_q . Иными словами, ΦB T – триггера принимает значение логической 1 при условии:

$$\begin{cases} i_f = y_1 \dots \tilde{y}_k \dots y_m \\ i_p = y_1 \dots \bar{\tilde{y}}_k \dots y_m \end{cases} \quad (3)$$

Совокупность всех единичных входных наборов, образованных $(n+1+m)$ – разрядными входными векторами, которые определяются по клеткам совмещённой ТП, не содержащим устойчивых состояний и удовлетворяющих условию (3), представляет со-

бой функции включения k -го элемента памяти. Она может быть определена непосредственно по ТП, либо путём построения карт Карно.

В общем случае при использовании в качестве ЭП самодвойственных самопроверяемых T -триггеров ФВ определяются в соответствии с выражениями:

$$y_f^F = \bigvee_{j \in R \setminus R_1} \left(0, \tilde{x}_{j_1} \tilde{x}_{j_2} \dots \tilde{x}_{j_{n+1}} \left(\bigvee_{i \in N_{f_j}} \tilde{y}_{i_1} \tilde{y}_{i_2} \dots \tilde{y}_{i_m} \right) \right), \quad (4)$$

$$y_f^G = \bigwedge_{j \in R \setminus R_1} \left(0, \tilde{x}_{j_1} \vee \tilde{x}_{j_2} \vee \dots \vee \tilde{x}_{j_{n+1}} \left(\bigwedge_{i \in N_{f_j}} \tilde{y}_{i_1} \vee \tilde{y}_{i_2} \vee \dots \vee \tilde{y}_{i_m} \right) \right), \quad (5)$$

где y_f^F и y_f^G – ФВ f -го ЭП (соответственно для информационного и контрольного тактов);

R – множество индексов столбцов ТП, соответствующих информационным тактам работы автомата;

R_1 – множество индексов столбцов ТП, входящих в множество R и не содержащих устойчивых состояний;

N_{f_j} – множество индексов строк, для которых в j -м столбце ТП определён переход в другое внутреннее состояние, такое, что кодовые слова, определяющие текущее состояние и состояние, в которое определён переход, различаются в f -м разряде;

$0, \tilde{x}_{j_1} - \tilde{x}_{j_n}$ – значения входных переменных в j -м столбце;

$\tilde{y}_{i_1} - \tilde{y}_{i_m}$ – значения внутренних переменных в строке с индексом i .

Функции включения y_f^F и y_f^G всех элементов памяти попарно объединяются по формуле:

$$T_a^f = \bar{a} y_f^F \vee a y_f^G. \quad (6)$$

После завершения этапа логического синтеза, результатом которого является получение самодвойственных ФВ всех ЭП, необходимо осуществить параметрический синтез, в процессе которого определяются временные параметры линий задержки. Указанные мероприятия направлены на обеспечение устойчивой работы самодвойственного автомата с памятью.

Самодвойственные полностью самопроверяемые триггеры, построенные с использованием в качестве ЭП самопроверяемых T -триггеров, дают более избыточные структуры, чем синтезированные по временной диаграмме. В среднем увеличение сложности составляет 47%. При построении принципиальных схем, самодвойственные элементы памяти реализуются на логических элементах простого базиса существующих микросхем. Однако, в случае исполнения самодвойственного T -триггера в виде отдельного кристалла микросхемы (самостоятельного логического элемента), общая сложность самодвойственной многотактной схемы резко снизится. К тому же, алгоритм построения автоматов на самодвойственных ЭП отличается простотой и универсальностью.

Литература

1. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Гёссель М. Самодвойственные дискретные устройства. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ие, 2001. 331 с.
2. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Самопроверяемые дискретные устройства. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 224 с.
3. 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.

Статья опубликована

Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Валиев Р.Ш. Синтез самодвойственных самопроверяемых триггеров с использованием самодвойственных элементов памяти // Сборник научных работ преподавателей Челябинского института путей сообщения. – Челябинск, 2003. С. 10 – 15.