

УДК 621-192

С.Ф. ТЮРИН, А.М. ГРЕВЦЕВ

Пермская государственная сельскохозяйственная академия  
им. академика Д.Н. Прянишникова, Россия

## ПОЛУЧЕНИЕ ТЕСТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПОЛНОГО ТОЛЕРАНТНОГО ЭЛЕМЕНТА

С целью обеспечения отказоустойчивости цифровой аппаратуры, построенной на функционально – полных толерантных элементах (ФПТ), сохраняющих универсальность в заданной модели отказов, получены соответствующие тесты.

**функционально-полные толерантные цифровые схемы, программируемые логические устройства (ПЛУ), булева производная, контрольный и диагностический тесты**

### Введение

В связи с широким распространением универсальных программируемых логических устройств (ПЛУ), которые могут реконфигурироваться в процессе эксплуатации, возникают новые возможности для построения отказосбоекостойчивых цифровых автоматов. Предлагается сохранять не исходные логические функции, а базисные функции, позволяющие вычислить исходные за большее время при заданной модели отказов [1-6]. Это позволяет восстановить вычислительный процесс при некотором снижении производительности. В случае наличия массива из ФПТ элементов [3] при этом возникает задача распознавания вида отказов для использования оставшихся базисов.

### Определение булевых производных ФПТ - функции №4383

Получим тесты для константных отказов ФПТ-элемента №4383:  $\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4$  известным методом булевых производных для константных отказов.

$$\begin{aligned} \frac{df}{dx_2} &= \bar{x}_3 \bar{x}_4 \oplus (\bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4) = \bar{x}_3 \bar{x}_4 (\bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4) \vee \\ &\vee \bar{x}_3 \bar{x}_4 (\bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4) = (x_3 \vee x_4) (\bar{x}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4) \vee \\ &\vee \bar{x}_3 \bar{x}_4 [x_1 (x_3 \vee x_4)] = x_3 \bar{x}_1 \vee \bar{x}_1 x_4 \vee x_1 x_4 = \bar{x}_1 (x_3 \vee x_4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{df}{dx_3} &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 \oplus (\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_4) = \bar{x}_1 \bar{x}_2 (\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_4) \vee \\ &\vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 (\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_4) = (x_1 \vee x_2) (\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_4) \vee \\ &\vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 [(x_1 \vee x_2) x_4] = x_1 \bar{x}_4 \vee \bar{x}_2 x_4 = \bar{x}_4 (x_1 \vee x_2); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{df}{dx_4} &= \bar{x}_1 \bar{x}_2 \oplus (\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) = \bar{x}_1 \bar{x}_2 (\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \vee \\ &\vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 (\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) = (\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2) (\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3) \vee \\ &\vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 [(\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2) \bar{x}_3] = \bar{x}_3 (\delta_1 \vee \delta_2). \end{aligned}$$

Таким образом, булева производная по переменной групп ( $x_3 x_4$  или  $\bar{x}_3 \bar{x}_4$ ) содержит дизъюнкцию переменных другой группы, с которой производится конъюнкция на инверсию другой переменной группы.

### Получение тестовых наборов для ФПТ- элемента №4383

Получим тесты  $T_{x_i}^{\delta_i}$ , где  $x_i$  - переменная,  $i=1,4$ ,  $\delta$  -

вид константного отказа.  $\delta_i \in \{0,1\}$ :

$$Tx_1^0 = x_1 [\bar{x}_2 (x_3 \vee x_4)] = x_3 \bar{x}_2 x_1 \vee x_4 \bar{x}_2 x_1;$$

$$Tx_1^1 = \bar{x}_1 [\bar{x}_2 (x_3 \vee x_4)] = x_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \vee x_4 \bar{x}_2 \bar{x}_1;$$

$$Tx_2^0 = x_2 [\bar{x}_1 (x_3 \vee x_4)] = x_3 x_2 \bar{x}_1 \vee x_4 x_2 \bar{x}_1;$$

$$Tx_2^1 = \bar{x}_2 [\bar{x}_1 (x_3 \vee x_4)] = x_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \vee x_4 \bar{x}_2 \bar{x}_1;$$

$$Tx_3^0 = x_3 [\bar{x}_4(x_1 \vee x_2)] = \bar{x}_4 x_3 x_1 \vee \bar{x}_4 x_3 x_2;$$

$$Tx_3^1 = \bar{x}_3 [\bar{x}_4(x_1 \vee x_2)] = \bar{x}_4 \bar{x}_3 x_1 \vee x_4 \bar{x}_3 x_2;$$

$$Tx_4^0 = x_4 [\bar{x}_3(x_1 \vee x_2)] = x_4 \bar{x}_3 x_1 \vee x_4 \bar{x}_3 x_2;$$

$$Tx_4^1 = \bar{x}_4 [\bar{x}_3(x_1 \vee x_2)] = \bar{x}_4 \bar{x}_3 x_1 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_3 x_2.$$

**Получение таблицы функций отказов.** Построим по тестовым наборам таблицу функций отказов ФПТ - элемента (табл. 1).

**Получение контрольного теста ФПТ – элемента.** Доопределяя тестовые наборы, получим контрольный тест:

Таблица 1

Функции отказов ФПТ-элемента  $\bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4$

	Наборы				f	Отказы							
	x <sub>4</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub>		x <sub>1</sub> <sup>0</sup>	x <sub>1</sub> <sup>1</sup>	x <sub>2</sub> <sup>0</sup>	x <sub>2</sub> <sup>1</sup>	x <sub>3</sub> <sup>0</sup>	x <sub>3</sub> <sup>1</sup>	x <sub>4</sub> <sup>0</sup>	x <sub>4</sub> <sup>1</sup>
1	-	1	0	1	0	[1]							
2	1	-	0	1	0	[1]							
3	-	1	0	0	1		[0]		[0]				
4	1	-	0	0	1		[0]		[0]				
5	-	1	1	0	0			[1]					
6	1	-	1	0	0			[1]					
7	0	1	-	1	0					[1]			
8	0	1	1	-	0					[1]			
9	0	0	-	1	1						[0]		[0]
10	0	0	1	-	0							[0]	[0]
11	1	0	-	1	0							[1]	
12	1	0	1	-	0							[1]	

$$TK_{4383} = (T_5 \vee T_{13} \vee T_9 \vee T_{13})(T_4 \vee T_{12} \vee T_8 \vee T_{12})$$

$$(T_6 \vee T_{14} \vee T_{10} \vee T_{14}) * (T_5 \vee T_7 \vee T_6 \vee T_7)$$

$$(T_1 \vee T_3 \vee T_2 \vee T_3)(T_9 \vee T_{11} \vee T_{10} \vee T_{11});$$

$$TK_{4383} = (T_5 \vee T_9 \vee T_{13})(T_4 \vee T_8 \vee T_{12})(T_6 \vee T_{10} \vee T_{14})$$

$$(T_4 \vee T_8 \vee T_{12})(T_5 \vee T_6 \vee T_7)(T_1 \vee T_2 \vee T_3)=$$

$$(T_9 \vee T_{10} \vee T_{11})(T_1 \vee T_2 \vee T_3)=$$

$$= (T_5 \vee T_9 \vee T_{13})(T_4 \vee T_8 \vee T_{12})(T_6 \vee T_{10} \vee T_{14})$$

$$(T_5 \vee T_6 \vee T_7)(T_1 \vee T_2 \vee T_3)(T_9 \vee T_{10} \vee T_{11})=$$

$$= [T_5 \vee (T_9 \vee T_{13})(T_6 \vee T_7)](T_4 \vee T_8 \vee T_{12})$$

$$[T_{10} \vee (T_6 \vee T_{14})(T_{10} \vee T_{11})](T_1 \vee T_2 \vee T_3).$$

пары  $(x_2^0, x_4^0)$ , -  $T_9$ ; пары  $(x_1^1, x_2^1)$  и  $(x_3^1, x_4^1)$  - неразличимы. (13)

Таким образом, один из минимальных тестов –  $T_1 T_4 T_5 T_{10}$ .

**Построение дерева контроля ФПТ – элемента**

Построим соответствующее дерево контроля (рис. 1). Используя таблицу функций отказов ФПТ-элемента попытаемся «расщепить» состояния  $(x_1^0, x_3^0)$ ,  $(x_2^0, x_4^0)$ ,  $(x_1^1, x_2^1)$   $(x_3^1, x_4^1)$  Пары  $(x_1^0, x_3^0)$ , «расщепляются» тестом, например,  $T_6$ :

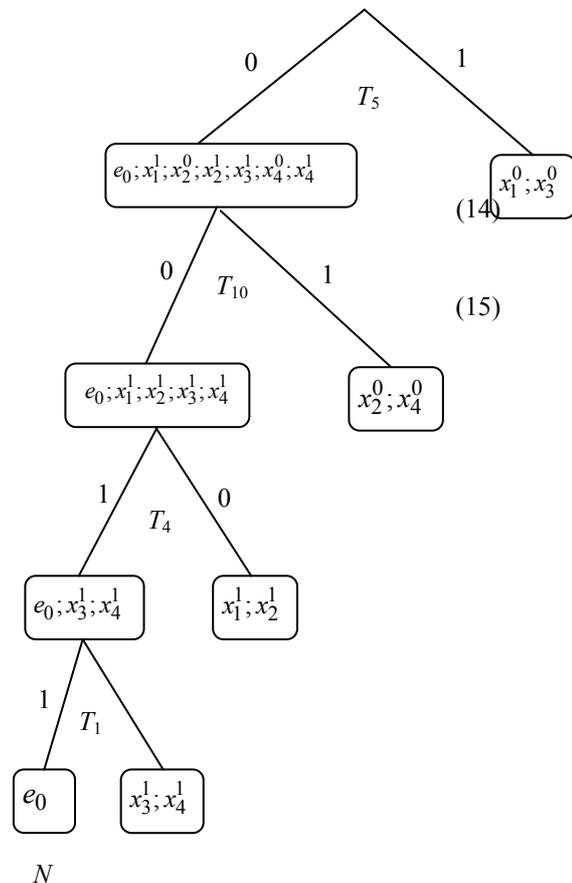


Рис. 1. Дерево контроля ФПТ-элемента  $f_{4383}$

**Построение дерева диагностирования ФПТ – элемента**

Дерево диагностирования выглядит следующим образом (рис. 2.)

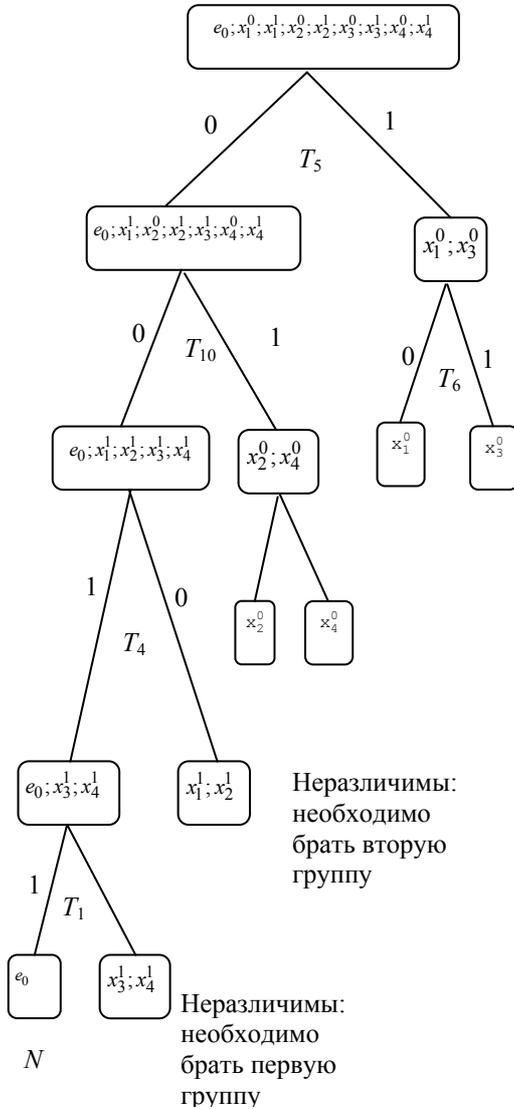


Рис. 2. Дерево диагностирования ФПТ-элемента  $f_{4383}$

**Выводы**

Таким образом, максимум за 4 такта можно выяснить техническое состояние ФПТ-элемента с  $f_{4383} = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4$ .

Полученные оценки сложности могут быть использованы при исследовании вариантов восстановления функций ПЛУ, групп ПЛУ после отказов.

**Литература**

1. Тюрин С.Ф. Синтез адаптируемой к отказам цифровой аппаратуры с резервированием базисных функций // Приборостроение. – 1999. – № 1. – С. 36-39.
2. Тюрин С.Ф. Адаптация к отказам одновыходных схем на генераторах функций с функционально-полными толерантными элементами // Приборостроение. – 1999. – № 7. – С. 32-34.
3. Тюрин С.Ф. Проблема сохранения функциональной полноты булевых функций при «отказах» аргументов // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 9. – С. 176-186.
4. Тюрин С.Ф., Несмелов В.А., Харитонов В.А. и другие. Программируемое логическое устройство. – Патент РФ № 2146840. Оpubл. БИ № 8, 2000 г.
5. Тюрин С.Ф., Прохоров А.А. Обеспечение сбоеустойчивости микропроцессорных систем, адаптируемых к функциональным отказам на основе контроля правильности выполнения команд передачи управления // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – № 5 (17). – С. 54-61.
6. Тюрин С.Ф., Богатырёв С.В., Голубев А.В., Греков А.В., Прохоров А.А., Прохоров Д.А. Функционально-полные толерантные цифровые схемы на базе ПЛИС фирмы Altera // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 8 (27). – С. 66 -70.

Поступила в редакцию 19.02.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аерокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.