

П-тестирование с Применением LFSR на основе Приводимых Полиномов

Грицков С.

Технический Университет Молдовы

Кишинев, Молдова

gritscov@gmail.com

Abstract — In this paper pseudo-ring testing of digital memory with LFSR on bases of reducible polynomial is described. Resolution of this kind of pseudo-ring tests is presented for stuck-at and coupled faults, and comparative analysis was performed regarding classical pseudo-ring tests.

Ключевые слова — тестирование, приводимый полином, резолюция, связанные неисправности.

I. ВВЕДЕНИЕ

Классическое π -тестирование обладает достаточно высокой алгоритмической сложностью по сравнению с маршевыми тестами. Основной причиной роста алгоритмической сложности является то, что LFSR (linear feedback shift register – регистр сдвига с линейной обратной связью) строится на основе неприводимого полинома. К примеру, для обнаружения константных неисправностей необходимо записать в память нулевые значения и считать их и выполнить ту же операцию для единичных значений [1]. Операцию записи и чтения нулевых значений на основе неприводимого полинома выполнить несложно, достаточно записать, в качестве начального состояния LFSR, нулевые значения. Запись и чтение единичных значений из каждой ячейки памяти выполнить за одну итерацию невозможно, что и приводит к росту алгоритмической сложности π -тестов [2]. Решением данной задачи является переход к приводимому полиному, который задает структуру LFSR.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОЛЮЦИИ П-ТЕСТОВ С LFSR НА ОСНОВЕ ПРИВОДИМЫХ ПОЛИНОМОВ

При переходе к приводимому полиному LFSR приобретает вид, представленный на рис. 1 [2].

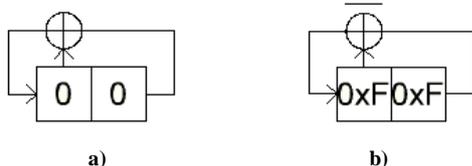


Рис. 1. LFSR на основе приводимого полинома с нулевым начальным состоянием (а) и с единичным начальным состоянием (б).

В этом случае операция XOR с отрицанием позволяет прописать ‘1’ во все ячейки памяти (в данном случае

рассматривается пример 4-х битной памяти). Алгоритмическая сложность в таком случае составит $3n \cdot 2$ (n – количество ячеек памяти) для обнаружения всех константных единичных ($\{\uparrow\{r_i, r_{i+1}, w_{i+2}(r_i \oplus r_{i+1})\}\}$) и нулевых ($\{\downarrow\{r_i, r_{i+1}, w_{i+2}(r_i \oplus r_{i+1})\}\}$) неисправностей. Обозначим алгоритмическую сложность в следующем виде: $\{\{\uparrow(0)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}\}, \{\uparrow(1)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}\}\}$, где значение (0) означает, что в качестве начального состояния во все разряды LFSR записывается ‘0’ (аналогично для ‘1’).

Если рассмотреть связанные неисправности, то наиболее часто появляющимися являются инверсные, идемпотентные и статические [3]. Для активации инверсных и идемпотентных связанных неисправностей необходимо обеспечить переход ячейки агрессора из ‘0’ в ‘1’ и из ‘1’ в ‘0’. Для удовлетворения данного условия необходимо выполнить следующий π -тест: $\{\{\uparrow(0)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}\}, \{\uparrow(1)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}\}, \{\downarrow(0)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}\}\}$. Таким образом, вторая итерация π -теста (с начальным состоянием LFSR 0xFF для 4-х битной памяти) обеспечивает переход всех ячеек памяти из ‘0’ в ‘1’, а третья итерация обеспечивает переход из ‘1’ в ‘0’. Для активации статических связанных неисправностей необходимо, чтобы в ячейке агрессора было фиксированное состояние ‘0’ или ‘1’. Первые и вторая или вторая и третья итерации данного π -теста удовлетворяют данному условию. Таким образом, данный π -тест с алгоритмической сложностью $9n$ активирует все представленные связанные неисправности. Резолюция (обнаруживающая способность) π -тестов, в которых применяется LFSR на основе приводимого полинома, по отношению к константным и связанным неисправностям представлена в табл. 1 (обозначим неисправности, как и в [4]: SAF – константные неисправности, CF_{inv} – инверсные связанные неисправности, CF_{id} – идемпотентные связанные неисправности и CF_{st} – статические связанные неисправности).

Данные табл. 1 справедливы для случая, если ячейка донор (i) обладает меньшим адресом, чем ячейка агрессор (j), а тест проводится по возрастанию адресов ячеек памяти “ \uparrow ” (рис. 2 (а)).

ТАБЛИЦА 1. РЕЗОЛЮЦИЯ П-ТЕСТОВ С LFSR НА ОСНОВЕ ПРИВОДИМЫХ ПОЛИНОМОВ

№	Тест	SAF,	CFin,	CFid,	CFst,
		%	%	%	%
1	$\{(\uparrow(0)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}), (\uparrow(1)r_i, r_{i+1}, w_{i+2})\}$	100	50	25	50
2	$\{(\uparrow(0)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}), (\uparrow(1)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}), (\uparrow(0)r_i, r_{i+1}, w_{i+2})\}$	100	100	50	50



Рис. 2. Местоположение ячейки донора относительно ячейки агрессора.

Для обнаружения неисправности в случае, когда ячейка донор (i) может обладать, как меньшим, так и большим адресом, чем ячейка агрессор (j) (рис. 2(b)), необходимо в π-тестах, представленных в табл. 1, проводить итерации не только по возрастанию адресов, но и по убыванию адресов. Тогда, π-тест будет иметь следующий вид:

$$\{(\uparrow(0)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}), (\uparrow(1)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}), (\uparrow(0)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}), (\downarrow(1)r_i, r_{i+1}, w_{i+2}), (\downarrow(0)r_i, r_{i+1}, w_{i+2})\}.$$

Алгоритмическая сложность такого π-теста составляет 15n, а резолюция, такая же, как и у теста №2 из табл. 1.

Резолюцию π-тестов, представленных в табл. 1, легко доказать аналитически. Тест №2 обнаружит все инверсные неисправности. При записи на второй итерации всех ‘1’ и активации данной неисправности, значение ячейки донора инвертируется. Следовательно, в ячейке доноре окажутся все ‘0’, а не ‘1’, что изменит конечное состояние LFSR, которое не будет равно 0xFF (рис. 3).

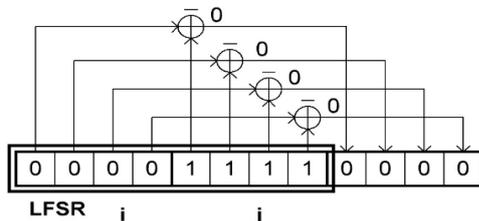


Рис. 3. Выполнение π-теста в момент активации CFin.

В случае идемпотентных связанных неисправностей ячейка донор может перейти и в нулевое и в единичное состояние. Если на второй итерации теста №2 из табл. 1 активируется неисправность и будет переход ячейки

донора в нулевое состояние, неисправность будет обнаружена (рис. 4 (a)). Если ячейка донор перейдет в единичное состояние (рис.4 (b)), неисправность не будет обнаружена. Таким образом, можно утверждать, что тест №2 из табл. 1 найдет лишь 50 % CFid.

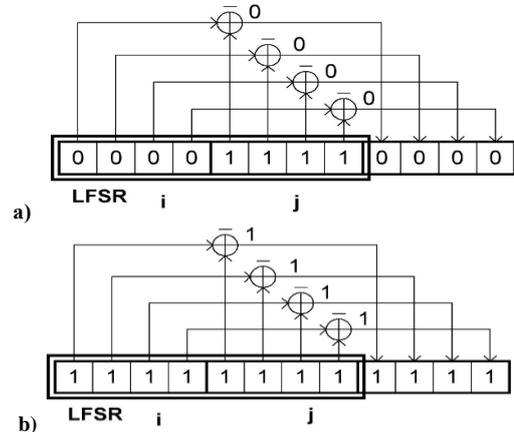


Рис. 4. Выполнение π-теста в момент активации CFid, когда ячейка донор переходит в состояние “0x0” (a) и в состояние “0xFF” (b).

Тест №1 из табл. 1 обнаружит лишь половину связанных неисправностей по отношению к тесту №2, так как тест №1 сможет активировать лишь 50% связанных неисправностей (активирует переход лишь из ‘0’ в ‘1’). Для активации CFst достаточно наличия ‘0’ или ‘1’ в ячейке агрессоре. Ячейка донор, как и в случае CFid может перейти в ‘0’ и в ‘1’. Следовательно, оба теста из табл. 1 обнаружат 50% CFst.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование в π-тестировании LFSR на основе приводимого полинома для обнаружения константных неисправностей снижает алгоритмическую сложность π-тестов в ~4 раза по отношению к классическим π-тестам (для 4-х битной памяти). П-тесты с LFSR на основе приводимого полинома могут быть применены лишь для обнаружения инверсных связанных неисправностей, так как обнаруживающая способность данных π-тестов для идемпотентных и статических связанных неисправностей не превышает 50%.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Gh. Bodean, D. Bodean, A. Labunetz, “New Schemes for Self-Testing RAM,” Design, Automation and Test in Europe, vol. 2, Munich, Germany, 2005, pp. 858–859.
- [2] S. Grițcov, A. Ghincul, Gh. Bodean “AUTOTESTAREA PSEUDOINELARĂ A MICROCONTROLLERELOR NANOSATELITULUI SATUM,” ICTEI-2012, vol. 2, 2012, pp. 260–267.
- [3] С. В. Ярмолик, А. П. Занкович, А. А. Иванюк, “Маршевые тесты для самотестирования ОЗУ,” монография, Минск, издательский центр БГУ, 2009, 270 с.
- [4] 14. Al-Ars, Z., van de Goor, Ad.J., Functional memory faults: a formal notation and a taxonomy, VLSI Test Symposium, 2000. Proceedings. 18th IEEE, 2000, pp.281-289.