

# НЕРАЗРУШАЮЩЕЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ ДВОЙНЫХ АДРЕСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Деменковец Д.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Ярмолик В.Н. – профессор, доктор технических наук

Анализируется эффективность применения неразрушающих тестов для тестирования запоминающих устройств (ЗУ). Синтезируется базовый элемент неразрушающих тестов с применением двойных адресных последовательностей. Приводится неразрушающий тест ЗУ March\_2A\_1 для которого оценивается его временная сложность и эффективность обнаружения неисправностей ЗУ.

Основное свойство методов неразрушающего тестирования запоминающих устройств заключается в сохранении данных хранимых в памяти после проведения процедуры тестирования [1–3]. Развитием неразрушающего тестирования ЗУ стала методика, предложенная М. Николаидисом (M. Nicolaidis) [3, 4]. Данная методика из-за эффекта маскирования не позволяет получить 100%-ую покрывающую способность [1, 5].

Для формального описания неисправных состояний ЗУ используются математические модели их неисправностей, отражающие реальные физические дефекты ЗУ [2–4, 6]. Наиболее сложными моделями неисправностей, обнаруживаемых маршевыми тестами и покрывающими более простые неисправности являются, кодочувствительные пассивные неисправности NPSFk (PNPSFk), в которых содержимое базовой ячейки нельзя изменить в зависимости от определенного набора в любых k из N ячеек [3, 4].

В таблице 1 приведены оригинальная реализация и неразрушающая модификация по методике Николаидиса теста March Y [3, 4].

Таблица 1. Две версии реализации теста March Y

Описание теста	Тест	Сложность теста
Неразрушающий тест	$\{\uparrow(rb, r\bar{b}); \downarrow(r\bar{b}, rb); \uparrow\downarrow(rb)\}$ $\{\uparrow(rb, w\bar{b}, r\bar{b}); \downarrow(r\bar{b}, wb, rb); \uparrow\downarrow(rb)\}$	12N

Тест приведенный в табл. 1 состоит из двух частей. Начальная часть теста, необходима для получения эталонной сигнатуры SF [1, 2]. После реализации базового теста формируется реальная сигнатура SR, которая сравнивается с ранее полученной эталонной SF. По результату сравнения принимается решение о наличии либо отсутствии неисправности в ЗУ. Несовпадение реальной сигнатуры SR с ее эталонным значением SF свидетельствует лишь о неисправном состоянии памяти [2].

Для повышения эффективности применения маршевого теста используют подход, при котором тест повторяется несколько раз, но с разной последовательностью адресов на каждой итерации маршевого теста [7]. Основная идея неразрушающих маршевых тестов на базе двойных адресных последовательностей основана на том, что при двукратном инвертировании содержимого ячейки ЗУ его значение останется прежним. В соответствии с этим простейшим свойством операции инвертирования строится базовый элемент неразрушающего маршевого теста на базе двойной адресной последовательности 2A. Маршевый элемент должен начинаться с операции чтения  $rb$  содержимого  $b$  текущей ячейки ЗУ. Следующей операцией должна быть операция записи инверсного значения по отношению к только что прочитанному содержимому из ячейки, так как подобная операция является необходимым условием активизации неисправностей ЗУ. За операцией записи следует операция чтения этой же текущей ячейки ЗУ для проверки правильности выполнения операции инвертирования ее содержимого. Далее переходят к следующему запоминающему элементу, который соответствует следующему адресу адресной последовательности. Использование двойных адресных последовательностей 2A обеспечивает повторное инвертирование каждой ячейки ЗУ, в итоге сохраняя его исходное состояние. Базовый элемент имеет следующий вид.

$$2 \uparrow (rb, w\bar{b}, rb) \quad (1)$$

Отметим, что использование в базовом элементе двойной адресной последовательности ( $2\uparrow$ ) приводит к тому, что каждая ячейка ЗУ последовательно выполнит два перехода из обычного состояния в инверсное и, наоборот, из инверсного в первоначальное, сохранив, таким образом, свое начальное значение. Правильность выполнения обоих переходов ( $\uparrow$ ) и ( $\downarrow$ ), а также операций чтения нулевых и единичных значений обеспечивает вторая операция чтения  $rb$  базового элемента (1).

Базовый элемент на основе двойных адресных последовательностей позволяет синтезировать неразрушающий маршевый тест (2):

$$\text{March\_2A\_1: } \{\uparrow\downarrow (rb); 2 \uparrow (rb, w\bar{b}, rb); \uparrow\downarrow (rb)\}, (8N); \quad (2)$$

В тесте произвольный порядок адресов  $\uparrow\downarrow$  для первой и последней операций чтения должен быть одинаков, возрастающий либо убывающий. Это связано с тем, что первая фаза теста March\_2A\_1 используется для сжатия исходного состояния ЗУ и получения эталонной сигнатуры SF, а их последняя фаза для получения реального значения сигнатуры SR после выполнения предыдущих базовых элементов. В случае проявления неисправностей в ходе выполнения базовых элементов их наличие будет определяться выполнением неравенства  $SF \neq SR$ . Максимально возможная диагностическая способность теста March\_2A\_1 достигается и для случая сложных кодочувствительных неисправностей PNPSFk. Выполнение базового элемента в случае PNPSFk позволяет идентифицировать адрес базовой ячейки. Кроме того, тест March\_2A\_1 позволяет достичь такого же значения полноты покрытия для PNPSFk, как и тест March Y.

Для обнаружения неисправностей взаимного влияния необходимо выполнить анализ состояния ячейки жертвы после активизации конкретной неисправности, что невозможно в рамках базового элемента (1). Это приводит к тому, что конечное состояние ЗУ будет отличаться от его исходного состояния, что приведет к выполнению неравенства  $SF \neq SR$ . Полнота покрытия тестом March\_2A\_1 для неисправностей CFid из экспериментальных данных, приведена в табл. 2.

Таблица 2. Полнота покрытия неисправностей CFid тестом March\_2A\_1 в процентах (%)

CFid	2A <sub>c0</sub>	2A <sub>c1</sub>	2A <sub>c2</sub>	2A <sub>c3</sub>	2A <sub>c4</sub>	2A <sub>c5</sub>	2A <sub>c6</sub>	2A <sub>c7</sub>	2A <sub>c8</sub>
(0,↑)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(1,↑)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
(0,↓)	0,00	0,39	1,18	2,75	5,88	12,16	24,71	49,80	100,00
(1,↓)	100,00	99,61	98,82	97,25	94,12	87,84	75,29	50,20	0,00
(↑,0)	0,00	0,39	1,18	2,75	5,88	12,16	24,71	49,80	100,00
(↑,1)	100,00	99,61	98,82	97,25	94,12	87,84	75,29	50,20	0,00
(↓,0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(↓,1)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Total	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00

Как видно, из приведенной таблицы, общее (Total) количество обнаруживаемых неисправностей тестом March\_2A\_1, независимо от адресной последовательности 2A, всегда равняется 50 %. Приведенный анализ свидетельствует о высокой покрывающей способности нового неразрушающего теста March\_2A\_1, которая сравнима с покрывающей способностью March Y. Кроме того, наличие базового элемента (1) в обоих тестах обеспечивает максимальную диагностическую способность, достижимую в рамках маршевых тестов, для неисправностей SAF, TF и PNPSFk.

#### Список литературы

1. Nicolaidis M. Theory of transparent BIST for RAMs. *IEEE Transactions on Computers*. 1996;45(10):1141-1156.
2. Яромлик В.Н., Мурашко И.А., Куммерт А., Иванюк А.А. *Неразрушающее тестирование запоминающих устройств*. Минск: Бестпринт; 2005.
3. Яромлик С.В., Занкович А.П., Иванюк А.А. *Маршевые тесты для самотестирования ОЗУ*. Минск: Бестпринт; 2009.
4. Goor A.J. *Testing Semiconductor Memories: Theory and Practice*. Chichester, UK: John Wiley & Sons; 1991.
5. Yarmolik V.N., Nicolaidis M., Kebichi O. *Aliasing-Free Signature Analysis for RAM BIST*. *IEEE International Test Conference*. 1994:368-377.
6. Hamdioui S., Wadsworth R., Reyes J.D., Goor A.J. *Memory Fault Modeling Trends: A Case Study*. *Journal of Electronic Testing*. 2004;20(3):245-255.
7. Mrozek I., Yarmolik V.N. *Multiple Control Random Testing*. *Fundamenta Informaticae*. 2019;144(1):23-43.