

# НЕРАЗРУШАЮЩЕЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ ДВОЙНЫХ АДРЕСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Деменковец Д. В., Леванцевич В. А.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: Demenkovets@bsuir.by, Lvn@bsuir.by

*Анализируется эффективность применения классических неразрушающих тестов для тестирования запоминающих устройств (ЗУ) и их основные недостатки, среди которых выделяют большую временную сложность и низкую диагностическую способность. Определяется понятие двойной адресной последовательности 2А и приводится пример ее формирования на базе счетчиковых адресных последовательностей. Синтезируется базовый элемент неразрушающих тестов с применением двойных адресных последовательностей. Приводятся два неразрушающих теста ЗУ March\_2A\_1 и March\_2A\_2 для которых оценивается их временная сложность и эффективность обнаружения неисправностей ЗУ. Показывается существенно меньшая временная сложность предложенных тестов и высокая диагностическая способность по сравнению с классическими неразрушающими тестами.*

## ВВЕДЕНИЕ

Важным достижением в развитии функционального диагностирования запоминающих устройств является разработка и применение методов неразрушающего тестирования [1–3]. Основное свойство данных методов заключается в сохранении данных хранимых в памяти после проведения процедуры тестирования. Одной из первых технологий, основанной на применении сигнатурного анализа, была предложенная Б. Конеманом, которая имеет ряд существенных недостатков [1]. Дальнейшим развитием неразрушающего тестирования ЗУ стала методика, предложенная М. Николаидисом, которая основывается на применении классических маршевых тестов [3, 4]. Однако, реализация подобных неразрушающих тестов требует существенного увеличения их временной сложности. Также, данная методика из-за эффекта маскирования не позволяет получить 100%-ую покрывающую способность даже для однократных неисправностей [1, 5]. В тезисе описывается подход, для построения неразрушающих тестов, основанный на применении адресных последовательностей с двукратным повторением адресов [6].

### I. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕСТОВ ЗУ

Следует выделить две особенности неразрушающих тестов. Во-первых, неразрушающие тесты строятся на базе классических маршевых тестов [1, 2]. Во-вторых, все существующие тесты рассматриваются для ЗУ, содержащих N однократных запоминающих элементов (ЗЭ). В общем случае маршевый тест включает в себя коллекцию маршевых элементов, которые называются фазами теста [4].

Для формального описания неисправных состояний ЗУ используются математические мо-

дели их неисправностей, отражающие реальные физические дефекты ЗУ [2-4, 7].

Наиболее сложными моделями неисправностей, обнаруживаемых маршевыми тестами, являются кодочувствительные неисправности – PSFk (pattern sensitive faults) и их модификации в виде граничных кодочувствительных неисправностей NPSFk. Среди неисправностей NPSFk выделяют пассивные NPSFk (PNPSFk) в которых содержимое базовой ячейки нельзя изменить в зависимости от определенного набора в любых k из N ячеек [3, 4].

В (1) пример неразрушающего теста March Y по методике Николаидиса:

$$\{\uparrow (rb, r\bar{b}); \downarrow (r\bar{b}, rb); \uparrow\downarrow (rb)\}$$

$$\{\uparrow (rb, w\bar{b}, r\bar{b}); \downarrow (r\bar{b}, wb, rb); \uparrow\downarrow (rb)\} \quad (1)$$

В неразрушающем тесте, представленном в (1), b принимает произвольное значение 0 или 1, а  $\bar{b}$  инверсное по отношению к b значение. Сам тест состоит из двух частей, начального теста для получения эталонной сигнатуры  $S_F$  и базового теста, для получения реальной сигнатуры  $S_R$ . После этого две сигнатуры сравниваются. Несоответствие сигнатур свидетельствует о неисправном состоянии памяти. Данный маршевый тест March Y обнаруживает только 4 из 8 видов неисправностей взаимного влияния, это составляет 50 процентов полноты покрытия неисправностей  $CF_{id}$ .

### II. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МАРШЕВЫЕ ТЕСТЫ НА БАЗЕ ДВОЙНЫХ АДРЕСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Для повышения эффективности неразрушающего тестирования ЗУ и построения неразрушающих тестов предлагается использование

модифицированных адресных последовательностей. А именно использование двойных адресных последовательностей. В качестве примера в таблице 1 приведены адресные последовательности для случая исходной счетчиковой последовательности  $A_C$  для  $m = 4$  и ее модификация (A2). Эти модификации называют двойными адресными последовательностями (2A), в силу того что каждый адрес формируется дважды.

Таблица 1 – Адресные последовательности  $A_C$ , и 2A $C$  модификации

$A_C =$ $c_3c_2c_1c_0$	$2A_C =$ $c_3c_2c_1$	$2A_C =$ $c_3c_2c_0$	$2A_C =$ $c_3c_1c_0$	$2A_C =$ $c_2c_1c_0$
0000 (0)	000 (0)	000 (0)	000 (0)	000 (0)
0001 (1)	000 (0)	001 (1)	001 (1)	001 (1)
0010 (2)	001 (1)	000 (0)	010 (2)	010 (2)
0011 (3)	001 (1)	001 (1)	011 (3)	011 (3)
0100 (4)	010 (2)	010 (2)	000 (0)	100 (4)
0101 (5)	010 (2)	011 (3)	001 (1)	101 (5)
0110 (6)	011 (3)	010 (2)	010 (2)	110 (6)
0111 (7)	011 (3)	011 (3)	011 (3)	111 (7)
1000 (8)	100 (4)	100 (4)	100 (4)	000 (0)
1001 (9)	100 (4)	101 (5)	101 (5)	001 (1)
1010(10)	101 (5)	100 (4)	110 (6)	010 (2)
1011(11)	101 (5)	101 (5)	111 (7)	011 (3)
1100(12)	110 (6)	110 (6)	100 (4)	100 (4)
1101(13)	110 (6)	111 (7)	101 (5)	101 (5)
1110(14)	111 (7)	110 (6)	110 (6)	110 (6)
1111(15)	111 (7)	111 (7)	111 (7)	111 (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 свойством строится базовый элемент:

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

Отмечается, что использование в базовом элементе двойной адресной последовательности приводит к тому, что каждая ячейка ЗУ последовательно выполнит два перехода из  $b$  в  $\bar{b}$  и, наоборот, из  $\bar{b}$  в  $b$ , сохранив, таким образом, свое начальное значение. Базовый элемент (2) на основе двойных адресных последовательностей позволяет синтезировать два неразрушающих маршевых теста March\_2A\_1 (3) и March\_2A\_2 (4):

$$\{\uparrow\downarrow (rb); 2 \uparrow (rb, w\bar{b}, rb); \uparrow\downarrow (rb)\}. \quad (3)$$

$$\{\uparrow\downarrow (rb); 2 \uparrow (rb, w\bar{b}, rb); 2 \downarrow (rb, w\bar{b}, rb); \uparrow\downarrow (rb)\}. \quad (4)$$

Первая фаза этих тестов получения эталонной сигнатуры  $S_F$ , а их последняя фаза для получения реального значения сигнатуры  $S_R$  после выполнения предыдущих базовых элементов. В случае проявления неисправностей в ходе выполнения базовых элементов их наличие будет определяться выполнением неравенства реальной  $S_R$  и эталонной сигнатуры  $S_F$ .

### III. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ТЕСТОВ MARCH\_2A\_1 И MARCH\_2A\_2

При допущении, что при реализации теста March\_2A\_1 исходное содержимое ЗУ нулевое, можно заключить об эквивалентности тестов March\_2A\_1 и March Y. Они эквивалентны, как во временной сложности равной  $8N$ , так и в покрывающей способности различных типов неисправностей. Для простейших неисправностей тест March\_2A\_1, в отличие от известных неразрушающих тестов, имеет максимальную диагностическую способность. Также максимально возможная диагностическая способность теста March\_2A\_1 достигается и для случая сложных кодочувствительных неисправностей PNPSFk [6]. Неразрушающий маршевый тест March\_2A\_2 отличается от March\_2A\_1 наличием второго базового элемента с обратным порядком адресов 2A, что расширяет его возможности обнаруживать сложные неисправности, сохраняя эффективность March\_2A\_1 для более простых неисправностей [6].

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный анализ свидетельствует о высокой покрывающей способности предложенных тестов, которая сравнима с покрывающей способностью неразрушающего теста March Y для March\_2A\_1, и эффективностью двукратного теста March Y по отношению к March\_2A\_2. Кроме того, наличие базового элемента (2) в обоих тестах обеспечивает максимальную диагностическую способность, достижимую в рамках маршевых тестов, для простых неисправностей и сложных кодочувствительных PNPSFk.

### V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nicolaidis M. Theory of transparent BIST for RAMs / M. Nicolaidis // IEEE Transactions on Computers – 1996. – Vol. 45, № 10. – P. 1141–1156.
2. Ярмолик, В. Н. Неразрушающее тестирование запоминающих устройств / В. Н. Ярмолик, И. А. Мурашко, А. Куммерт, А. А. Ивањук // Минск: Бестпринт. – 2005.
3. Ярмолик, В. Н. Маршевые тесты для самотестирования ОЗУ / В. Н. Ярмолик, А. П. Занкович, А. А. Ивањук // Минск: Бестпринт. – 2009.
4. Goor A. J. Testing Semiconductor Memories: Theory and Practice / A. J. Goor // Chichester, UK: John Wiley & Sons; 1991.
5. Yarmolik V. N. Aliasing-Free Signature Analysis for RAM BIST / V. N. Yarmolik, M. Nicolaidis, O. Kebichi // IEEE International Test Conference – 1994 – P. 368–377.
6. Ярмолик В. Н. Неразрушающее тестирование запоминающих устройств на базе двойных адресных последовательностей / В. Н. Ярмолик, И. Мрозек, В. А. Леванцевич, Д. В. Деменковец // Доклады БГУИР. – 2021. – № 19(4). – С. 43–51.
7. Mrozek I., Yarmolik V.N. Multiple Control Random Testing. Fundamenta Informaticae. – 2019; –144(1): – P. 23–43.