

УДК 681.327

М.К. АЛЬМАДИ, Д.Н. МОАМАР, В.Г. РЯБЦЕВ

*Черкасский государственный технологический университет, Украина***МЕТОД И СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

*Приведен метод середневзвешенных оценок диагностических свойств тестов и средство выбора оптимизированного набора тестов, обеспечивающих эффективное тестовое диагностирование запоминающих устройств, что повысит надежность микросхем и модулей памяти на этапе изготовления, а также коэффициент готовности запоминающих устройств на этапе эксплуатации за счет сокращения времени локализации и устранения неисправностей. Для практического применения данного метода используется алгоритм сортировки “пузырьком” средневзвешенных оценок диагностических свойств тестов и разработана программа *Optimal\_Test*, обеспечивающая выбор оптимизированной последовательности тестов, что позволяет увеличить показатель эксплуатационной эффективности системы диагностирования.*

**Ключевые слова:** диагностирование, запоминающее устройство, метод, алгоритм сортировки “пузырьком”, тест.

**Введение**

Постоянное увеличение емкости и быстродействия микросхем оперативной памяти приводит к значительному увеличению количества отказов и сбоев как на стадии изготовления запоминающих устройств из-за несовершенства конструкции и технологии, так и во время эксплуатации управляющих и информационных вычислительных комплексов. Для повышения отказоустойчивости и надежности оперативных запоминающих устройств (ОЗУ) применяются меры, позволяющие обнаружить, локализовать и устранить последствия возникающих неисправностей. К таким мерам относятся методы и средства тестового диагностирования запоминающих устройств.

Выполнение диагностических экспериментов, обеспечивающих получение всех возможных сочетаний распределения данных в микросхемах памяти большого объема, не представляется возможным из-за астрономически большой продолжительности испытаний.

Актуальной остается задача разработки методов выбора оптимизированной последовательности тестов, обеспечивающих эффективное диагностирование запоминающих устройств большой емкости при наличии производственных ограничений на продолжительность испытаний.

В статье [1] рекомендуется выполнять многочисленные диагностические эксперименты для определения условных вероятностей обнаружения неисправностей исследуемыми тестами. Это требу-

ет больших трудозатрат для подготовки исходных данных, необходимых при выполнении расчетов.

При выборе оптимизированной последовательности тестов для диагностирования ОЗУ необходимо учитывать, что их диагностические свойства нечетко определены, а в ряде случаев предлагаются тесты, для которых не излагается даже их подробное алгоритмическое описание.

В работе [2] сделана попытка использовать для оценки свойств тестов лингвистические переменные достоверности результатов диагностирования, но для всех ее термов принята числовая оценка, что искажает результаты дальнейших преобразований.

В работе [3] приведена лингвистическая оценка диагностических свойств тестов, содержащая следующие термы: низкая, хорошая, высокая, но формализованный выбор оптимизированной последовательности тестов не предлагается.

Недостаточно формализованные процедуры выбора тестов приводят к тому, что в большинстве случаев тесты включаются в программу испытаний по интуиции специалистов по диагностированию ОЗУ. Это приводит к снижению качества выпускаемой продукции и к неоправданным затратам времени на выполнение испытаний изделий, т.к. некоторые тесты обнаруживают пересекающиеся подмножества неисправностей и будут избыточными.

**Целью работы** является разработка метода и средства выбора оптимизированного набора тестов, обеспечивающих выполнение эффективного тестового диагностирования, что повысит надежность микросхем и модулей памяти на этапе их изготовле-

ния, а также коэффициент готовности ОЗУ на этапе эксплуатации за счет сокращения времени локализации и устранения неисправностей.

### 1. Задачи обеспечения эффективного диагностирования ОЗУ

Чтобы обеспечить высокое качество микросхем и модулей памяти, необходимо разработать тесты, покрывающее все возможные неисправности микросхем памяти, которые удобно представить в виде операторной модели:

$$MF = (S_a; S_v) \rightarrow F_v \rightarrow R_v$$

где  $S_a, S_v$  – состояния ячейки-агрессора и ячейки-жертвы соответственно;

$F_v \in \{0, 1, \uparrow, \downarrow\}$  – состояния, к которому стрелится или которое достигает ячейка-жертва;

$R_v$  – результат считывания данных из ячейки-жертвы;

$S_a, S_v \in \{0, 1, 0W0, 1W1, 0W1, 1W0, R0, R1\}$  – операции, выполняемые с ячейкой-агрессором и с ячейкой-жертвой соответственно;

$R_v \in \{0, 1, U\}$  – данные, считанные из ячейки-жертвы;

$U$  – неопределенное состояние.

Большое многообразие неисправностей вызвано возможными комбинациями состояний ячеек-агрессоров, которые могут повлиять на состояния ячеек-жертв. Тогда задача проектирования тестов заключается в повторении комбинации тестовых воздействий, которые вызывают неисправности микросхем памяти. Высокие затраты времени на выполнение тестирования ОЗУ большой емкости определяют задачи выбора эффективных тестов, покрывающих наиболее вероятные неисправности за ограниченное время. В формализованном виде данную задачу можно представить в виде следующего функционала [4]:

$$M = f(T = \text{const}, P),$$

где  $M$  – количество тестов;

$T$  – продолжительность тестирования;

$P$  – вероятность покрытия неисправностей.

При решении данной задачи определяется минимальный набор тестов, обеспечивающих максимально возможную вероятность покрытия неисправностей при ограниченной продолжительности тестирования.

При выполнении тестового диагностирования ОЗУ целесообразно применять две стратегии выполнения тестирования:

а) выбор оптимизированной последовательности тестов на основании знаний экспертов по диагностированию;

б) минимизация тестового набора за счет применения эвристических и нечетких алгоритмов.

Для поиска оптимального сценария диагностирования необходимо принимать решение, основанное на балансе времени тестирования и достижении заданного качества изделий. Важным критерием принятия решения являются диагностические свойства применяемых тестов.

### 2. Метод выбора оптимизированного набора тестов

Для каждого теста можно выделить следующие оценки его свойств: вероятность обнаружения отказов и продолжительность выполнения, которое может в зависимости от сложности теста измеряться в микросекундах, часах и даже достигать астрономических значений [5].

Для  $n$  рассматриваемых тестов и  $m$  возможных неисправностей можно получить матрицу, которая отображает вероятности обнаружения неисправностей заданных видов каждым тестом:

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{bmatrix}$$

Для каждого вида неисправности можно получить среднее значение вероятности ее обнаружения по формуле:

$$q_{cp}^j = \sum_{i=1}^n q_{ij} / n.$$

Тогда нормированное значение оценки  $C_{ij}$  диагностического свойства  $i$ -го теста обнаруживать неисправность  $j$ -го вида можно получить при помощи выражения:

$$C_{ij} = 1, \text{ если } q_{ij} > q_{cp}^j;$$

$$C_{ij} = 0, \text{ если } q_{ij} = q_{cp}^j;$$

$$C_{ij} = -1, \text{ если } q_{ij} < q_{cp}^j.$$

Средневзвешенную оценку диагностических свойств  $C_i$  для каждого теста можно получить по формуле

$$C_i = \sum_{j=1}^m C_{ij}.$$

Целевой сценарий принятия решения выбираем с учетом средневзвешенных оценок тестов, при этом задача поиска оптимального пути диагностирования сводится к ранжированию тестов, т.е. к сортировке по возрастанию их средневзвешенных оценок.

Для программной реализации задачи предлагается использовать определенные пользователем структурированные данные вида:

```
Typedef struct
{
    Int Estimation;
    Int Number;
    Char Name [6];
} DATA;
```

В качестве входных данных в память компьютера заносится массив структурированных данных, содержащий диагностические свойства и наименования тестов [6, 7].

Для сортировки массива данных предлагается использовать алгоритм “пузырька”, когда записи с “легкими” значениями ключевого поля всплывают вверх наподобие пузырька. Программа *Optimal\_Test*, реализующая данный алгоритм и осуществляющая выбор оптимизированного набора тестов, разработанного на языке Borland C++, занимает 4.2 кбайт исходного текста и 865 кбайт исполняемого модуля.

Для получения исходных данных о диагностических свойствах тестов необходимо выполнять сортировку микросхем. Микросхемы памяти, полностью выдержавшие тестирование, признаются годными и могут быть отправлены потребителям. Микросхемы, забракованные всеми тестами, подлежат утилизации, т.к. не позволяют различить диагностические свойства тестов.

Результаты диагностических экспериментов, приведенные в [8], получены для двух значений напряжения электропитания: повышенного HVcc и пониженного LVcc значений.

При повышенном напряжении забраковано 1545 микросхем, из них 1343 были забракованы всеми тестами, а 202 забракованы одним или несколькими тестами.

При пониженном напряжении признаны негодными 1543 микросхемы, из них 1320 забракованы всеми тестами, а 223 забракованы одним или несколькими тестами.

Таблица 1

Результаты диагностирования микросхем памяти

| Название теста | Продолжительность теста | Обнаружение отказов при HVcc | Количество микросхем | Обнаружение отказов при LVcc | Количество микросхем |
|----------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| GalRow         | 6n+4nR                  | +                            | 176                  | –                            | –                    |
| Hammer         | 49n                     | +                            | 171                  | +                            | 199                  |
| March Raw      | 26n                     | +                            | 184                  | +                            | 208                  |
| Scan           | 4n                      | +                            | 168                  | –                            | –                    |
| March SL       | 41n                     | +                            | 185                  | +                            | 209                  |
| March SS       | 22n                     | +                            | 184                  | +                            | 208                  |

В результате анализа результатов диагностирования при двух значениях напряжения электропитания специалисты, отразившие результаты тестирования в [8], выбрали шесть тестов, приведенных в табл. 1. Критерием выбора тестов было количество забракованных микросхем каждым тестом, при этом выбирались тесты, которые забраковали большее количество микросхем. Однако полученный набор тестов нельзя считать оптимальным, поскольку отсутствует математическая формализация оптимизационной задачи, кроме того, выбранные тесты, имеющие большую продолжительность, можно заменить несколькими тестами, которые имеют меньшую суммарную продолжительность.

Кроме вероятностей диагностирования неисправностей, полученных для каждого теста, необходимо определить суммарную вероятность обнаружения отказов двумя тестами.

Данные, полученные в результате вычислений, использовались программой *Optimal\_Test* для выбора оптимизированного набора. После выполнения

вычислений в файл *out.txt* выдается оптимизированная последовательность тестов, полученная для повышенного значения напряжения электропитания (HVcc) и приведенная на рис. 1. В оптимизированный набор вошли первые 6 тестов, локализирующие все неисправности в данной партии микросхем памяти.

```
out.txt
Paret-optimal sequence:
Best test number - 3, name - March_G
Next test number - 1, name - Hammer
Next test number - 2, name - March_C
Next test number - 7, name - March_RAW
Next test number - 6, name - PMOVI
Next test number - 11, name - March_SS
Next test number - 9, name - March_SL
Next test number - 4, name - MATS+
Next test number - 5, name - MATS++
Next test number - 8, name - Scan
Next test number - 10, name - March_SR
|
```

Рис. 1. Результаты программы *Optimal\_Test*

### 3. Определение эффективности системы диагностирования

Эффективность системы диагностирования – степень ее приспособления к процессу определения технического состояния объекта диагностирования и поиска в нем дефектов. При сравнении систем диагностирования учитывают параметры эксплуатационной эффективности, конструктивные и стоимостные параметры [9].

Если все тесты обнаруживают непересекающиеся множества отказов и сбоев, то максимальное значение показателя эксплуатационной эффективности можно рассчитать по формуле:

$$P_{ee,max} = \frac{\sum_{i=1}^k C_i}{\sum_{i=1}^k t_i}, \quad (1)$$

где  $C_i$  – средневзвешенная оценка  $i$ -ого теста,

$t_i$  – продолжительность  $i$ -ого теста.

Если все тесты обнаруживают пересекающиеся множества отказов и сбоев, тогда можно рассчитать нижнюю границу обобщенного показателя эксплуатационной эффективности  $P_{ee,max}$  по формуле:

$$P_{ee,min} = \frac{\max(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_k)}{\sum_{i=1}^k t_i} \quad (2)$$

где  $k$  – количество выбранных тестов.

Тогда среднее значение показателя эксплуатационной эффективности определяется по формуле:

$$P_{ee,mid} = \frac{P_{ee,max} + P_{ee,min}}{2}. \quad (3)$$

После обработки исходных данных, приведенных [8], при помощи программы Optimal\_Test при HVcc получен оптимизированный набор, состоящий из 6-ти тестов, средневзвешенные оценки диагностических свойств, которых показаны на рис. 2.

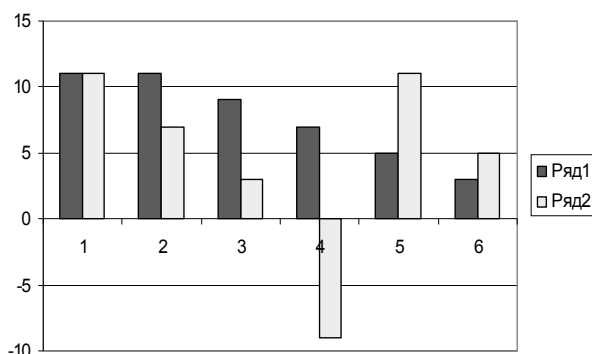


Рис. 2. Средневзвешенные оценки тестов:  
ряд 1 – оптимизированный набор,  
ряд 2 – набор, полученный  
по интуиции пользователя

По формулам (1) – (3) для оптимизированного набора тестов получаем:

$$P_{ee,opt,mid} = \frac{3,835 + 0,917}{2} = 2,376.$$

Для набора тестов, полученного по интуиции пользователя, получаем следующие значения:

$$P_{ee,ran,mid} = \left( \frac{11 + 7 + 3 - 9 + 11 + 5}{13,924} + \frac{11}{13,924} \right) / 2 = \frac{2,01 + 0,790}{2} = 1,4.$$

Таким образом, метод средневзвешенных оценок, обеспечивающий выбор оптимизированной последовательности тестов при известных данных о их диагностических свойствах, позволил увеличить показатель эксплуатационной эффективности системы диагностирования в среднем на 69,7%.

### Заключение

Предлагаемый метод ранжирования средневзвешенных оценок тестов и программа Optimal\_test позволяют уменьшить трудоемкость вычислительных работ при выборе оптимизированного набора тестов для диагностирования полупроводниковых запоминающих устройств.

### Литература

1. Иванюк А.А. *Современные неразрушающие методы и алгоритмы диагностирования оперативных запоминающих устройств* / А.А. Иванюк, Д.С. Петроненко. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2004. – С. 85-89.
2. Долока В.А. *Система прогнозування імовірності виявлення відмов мікросхем пам'яті при нечітких априорних даних* / В.А. Долока, Н.Л. Кириленко, В.Г. Рябцев // *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. – 2001. – Вып. 117. – С. 77-83.
3. Кириленко Н.Л. *Метод принятия решений при разработке программ испытаний модулей памяти*. / Н.Л. Кириленко, В.Г. Рябцев, М.Х. Кхан. // *Проблемы программирования*. – 2000. – № 1-2. – С. 507-512.
4. Al Madi M.K. *Strategy of Adaptive Diagnosing of Memory's Modules*. / V.G. Ryabtsev, M.K. Al Madi. // *Proceedings of East-West Design & Test Workshop (EWDTW'07)*, 7-10 Sep. 2007, Yerevan, Armenia. – Kharkiv: KHNURE. – 2007. – P. 764-768.
5. Аль Маді М.К. *Алгоритмы тестового диагностирования полупроводниковых запоминающих устройств: учебное пособие* / М.К. Аль Маді, В.Г. Рябцев, Д.Н. Моамар. – К.: "Корнійчук", 2008. – 220 с.
6. Al Madi M.K. *Features of decision support's program at choice of tests optimized sequence for semiconductor memory diagnosing*. / V.G. Ryabtsev,

*M.K. Al Madi // Radio electronics & informatics. – 2008. – № 1. – Pp. 84-87.*

7. Аль Мади М.К. Особенности программы поддержки принятия решений при выборе оптимизированной последовательности тестов для диагностирования запоминающих устройств. / Аль Мади М.К. // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2008. – № 1. – С. 172-175.

8. Hamdioui S. Memory test experiment: industrial results and data. / [Hamdioui S., Van de Goor A.J., Reyes D. J. and others] // IEE Proc. Computer. Digit. Tech., Jan. 2006. – Vol. 153. – № 1. – Pp. 1-8.

9. Локазюк В.М. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК: Посібник. / Локазюк В.М., Савченко Ю.Г. – К.: Видавничий центр “Академія”, 2004. – 376 с.

Поступила в редакцію 5.01.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой СКС В.М. Лукашенко, Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, Украина.

### МЕТОД І ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАПАМ'ЯТОВУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

*М.К. Альмаді, Д.Н. Моамар, В.Г. Рябцев*

Наведено метод середньозважених оцінок діагностичних властивостей тестів і засіб вибору оптимізованого набору тестів, що забезпечують ефективне тестове діагностування запам'ятовуючих пристроїв, що підвищить надійність мікросхем і модулів пам'яті на етапі виготовлення, а також коефіцієнт готовності запам'ятовуючих пристроїв на етапі експлуатації за рахунок скорочення часу локалізації та усунення несправностей. Для практичного застосування даного методу використовується алгоритм сортування “бульбашкою” середньозважених оцінок діагностичних властивостей тестів і розроблено програму Optimal Test, що забезпечує вибір оптимізованої послідовності тестів, що дозволяє збільшити показник експлуатаційної ефективності системи діагностування.

**Ключові слова:** діагностування, запам'ятовуючий пристрій, метод, алгоритм сортування “бульбашкою”, тест.

### METHOD AND MEANS OF MEMORY DIAGNOSIS EFFICIENCY IMPROVING

*M.K. Al Madi, D.N. Moamar, V.G. Ryabtsev*

A method of weighted average estimates of tests diagnostic properties and mean of selecting an optimized set of tests to ensure an effective test diagnosis of memory, that will improve the reliability of memory chips and modules at the manufacturing stage, as well as storage device's readiness factor during the exploitation by reducing the time localization and troubleshooting. For practical application of this method a sorting algorithm “bubble” for weighted average estimates of diagnostic properties of tests is used and a program Optimal\_Test, allows choosing an optimized test sequences that can increase the exploitation efficiency of diagnosis.

**Key words:** diagnosis, memory, method, sorting algorithm “bubble” test.

**Мудар Альмаді** – переводчик ООО «Юкоз-медиа», Черкассы, Украина, E-mail: mudarinfo@yahoo.com.

**Диаа Моамар** – аспирант Черкасского государственного технологического университета, Черкассы, Украина, E-mail: diaamoamar@yahoo.com.

**Рябцев Володимир Григорович** – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой математических и компьютерных дисциплин Черкасского филиала Европейского университета, Черкассы, Украина, e-mail: volodja18@ukr.net.