

# МЕТОД ВИБОРУ ТЕСТІВ ДІАГНОСТУВАННЯ МІКРОСХЕМ ПАМ'ЯТІ ПРИ НЕЧІТКИХ АПРІОРНИХ ДАНИХ

В.Г. Рябцев, Н.Л. Кириленко, М.Х. Кхан

Черкаський інженерно-технологічний інститут, 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460,

т.: (0472) 43-56-28; факс: (0472) 42-21-65;

e-mail: masum@bd.nensi.cherkassy.ua

Для розпізнавання діагностичних властивостей тестів поряд з визначеними часовими параметрами пропонується використовувати лінгвістичну змінну – вірогідність діагностування. Розглядається отримана таким чином нечітка модель діагностичних властивостей тестів, яка може бути застосована при розробці програм ефективних випробувань мікросхем пам'яті.

## ВСТУП

Задача вибору послідовності тестів для ефективного діагностування мікросхем та модулів пам'яті є недокінця формалізованою, тому що при її вирішенні ми оперуємо нечіткими апріорними відомостями про діагностичні властивості застосованих тестів. Дана ситуація часто зустрічається при освоєнні виробництва дослідної партії виробів або під час зміни технології їх виготовлення.

На вірогідність винаходження відмов мікросхем та модулів пам'яті впливають особливості схемної та топологічної реалізації елементів, які запам'ятовують (ЗЕ), дешифраторів адреси та вузлів вводу-виводу даних. Під час діагностування в умовах, які не є адекватними режимам експлуатації, може виникнути парадоксальна ситуація, коли мікросхеми пам'яті, які були признані придатними після випробувань за допомогою ефективних тестів, побудованих на основі складних алгоритмів, виявляються недієспроможними у складі обчислювальних систем [1]. Наприклад, дефекти вузлів управління, які призводять до прямої передачі вхідних даних на вихідні контакти корпусу мікросхеми пам'яті, не виявляються деякими пристроями тестового діагностування [2].

Для виявлення таких масових відмов необхідна модифікація алгоритмів тестів, завдяки якій перевірка зчитування одиниці або нуля проводиться при значенні даних, які на входах мікросхем пам'яті в першому циклі дорівнюють інверсному коду зчитаних даних, а в другому – прямому коду зчитаних даних. Даний метод дозволяє зафіксувати відмови в вузлах управління мікросхем пам'яті, в яких зберігається прямий код вхідних даних, а також у вузлах, які інвертують ці дані [3]. Але для більшості залишених відмов неможливо

точно визначити тести, які будуть забезпечувати їх вірогідну локалізацію.

## 1. МОДЕЛЬ ВІДМОВ МІКРОСХЕМ ПАМ'ЯТІ

Якщо уявити множину усіх можливих відмов мікросхем пам'яті у вигляді універсальної множини  $\sigma$ , то її підмножина  $\eta$  - це множина тих відмов, які виявляються за допомогою дослідних тестів. Множина  $\eta$  утворюється шляхом об'єднання підмножин  $\eta_i$ .

$$\eta = \bigcup_{i=1}^{\kappa} \eta_i, \quad (1)$$

$$\bar{\eta} = \sigma \setminus \eta; \quad \bar{\eta} \notin \bigcup_{i=1}^{\kappa} \eta_i, \quad (2)$$

де  $\{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_k\}$  - підмножини відмов, які

були виявлені тестами  $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k$  відповідно;

$\bar{\eta}$  - множина невиявлених відмов.

Множину всіх можливих видів відмов можна представити у вигляді діаграми Ейлера-Венна, яка приведена на рисунку 1.

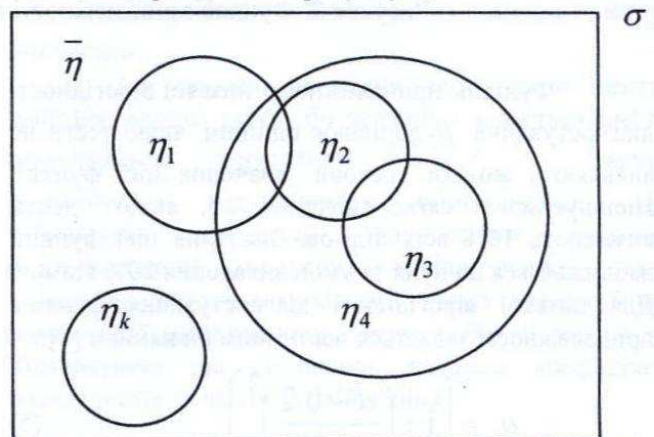


Рисунок 1. Діаграма Ейлера-Венна виявлення відмов мікросхем пам'яті діагностичними тестами

Якщо позначити вірогідність діагностування тестом  $\pi_i$  через

$$d_i = \frac{\eta_i}{\bigcup_{i=1}^{\kappa} \eta_i}, \quad (3)$$

то діагностичні властивості тесту  $\pi_i$  можна представити у вигляді кортежу

$$j_i = (d_i, t_i), \quad (4)$$

де  $t_i$  – тривалість виконання  $i$ -го тесту.

## 2. МЕТОД ВИБОРУ ЕФЕКТИВНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ ТЕСТІВ

Час виконання тесту залежить від складності застосованого алгоритму, має функціональну залежність від обсягу виробу, який діагностується та легко обчислюється.

Значно складніше, а іноді й зовсім неможливо апріорно визначити точне значення вірогідності діагностування різних тестів, тому дану змінну можна вважати нечіткою лінгвістичною змінною, яка може приймати наступні значення:

- l – низька;
- lm – нижче середньої;
- m – середня;
- hm – вище середньої;
- h – висока.

Графіки функції приналежності для наведених вище значень лінгвістичної змінної вірогідності діагностування зображені на рисунку 2, де  $d$  – вірогідність діагностування.

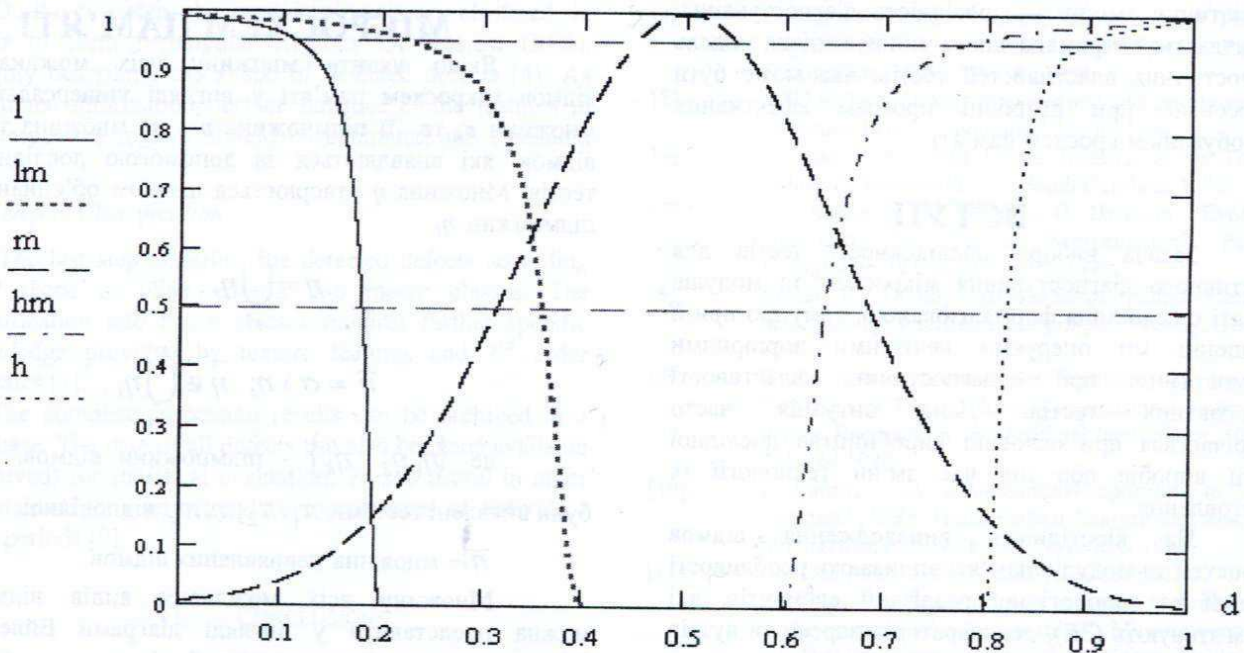


Рисунок 2. Функції приналежності лінгвістичної змінної вірогідності діагностування

Функції приналежності низької вірогідності діагностування  $\mu_l$  дорівнює одиниці, якщо тести не виявляють жодної відмови. Значення цієї функції зменшується і сягає значення 0,5, якщо тести виявляють 18% всіх відмов. Значення цієї функції наближається до нуля за умов виявлення 20% відмов. Для низької вірогідності діагностування функція приналежності задається наступним рівнянням [4]:

$$\mu_l = \left( 1 + \left( \frac{d - 0.2}{0.02} \right)^2 \right)^{-1}; \quad (5)$$

Вірогідність діагностування нижче середньої мають тести, функція приналежності яких також дорівнює одиниці при невиявленні жодної відмови, спадає та сягає значення 0,5, якщо вони виявляють 36% всіх відмов. Функція приналежності в цьому випадку має вигляд:

$$\mu_{lm} = \left( 1 + \left( \frac{d - 0.4}{0.04} \right)^2 \right)^{-1}; \quad (6)$$

Тести, функція приналежності яких дорівнює одиниці при виявленні 50% відмов, мають середню вірогідність діагностування. При зростанні або зменшуванні вірогідності діагностування значення функції приналежності таких тестів зменшується і з достатньо високою точністю може бути задана модифікованою кривою Гауса (7).

$$\mu_m = e^{-20(d-0.5)^2}; \quad (7)$$

Функція приналежності лінгвістичної змінної вірогідності діагностування, значення якої є вище середньої, починає зростати при виявленні 60% відмов і досягає 0.5 при виявленні 64% виявлених відмов та одиниці за умови виявленні всіх відмов. Дана функція може бути задана рівнянням (8):

$$\mu_{hm} = \left( 1 + \left( \frac{d-0,6}{0,04} \right)^{-2} \right)^{-1}; \quad (8)$$

Функція приналежності значення висока лінгвістичної змінної вірогідність діагностування зростає починаючи з 80% виявлених відмов і також досягає значення 1 при виявленні всіх відмов. Ця функція визначається рівнянням (9):

$$\mu_h = \left( 1 + \left( \frac{d-0,8}{0,02} \right)^{-2} \right)^{-1}; \quad (9)$$

Таблиця 1. Апріорні діагностичні властивості тестів

№	Назва тесту	Діагностичні властивості виявлення відмов				
		1	2	3	4	5
1	Запис-зчитування	l	l	lm	l	l
2	Марш	hm	m	lm	lm	l
3	Хрест	hm	lm	lm	lm	l
4	1/0, що біжить	h	hm	l	hm	l
5	Галоп по рядку	h	hm	lm	lm	h
6	Галоп по стовпчику	h	hm	lm	lm	l
7	Метелик	h	hm	m	m	hm
8	Обертання адреси	h	hm	h	l	h

В таблиці 1 наведені наступні позначення окремих видів відмов:

- 1 – відмова комірок пам'яті;
- 2 – відмова дешифраторів адреси;
- 3 – невідповідність часу вибірки адреси;
- 4 – перевищення часу відновлення підсилювачів нормативного значення;
- 5 – невідповідність часу регенерації до встановленого значення.

Під час здійснення діагностування мікросхем пам'яті можна визначити імовірність виникнення відмов різних видів (10).

$$\sum_{i=1}^5 c_i = 1, \quad c_i = \overline{0,1}, \quad (10)$$

де  $c_i$  - імовірність виникнення відмови і-го виду.

Твердження (10) буде справедливим тільки під час процесу діагностування неполаджених мікросхем пам'яті, коли вже відомо про існування відмови.

При рівно імовірному розподілу всіх видів відмов  $c_1 = c_2 = \dots = c_5 = 0,2$ .

Однак, у деяких випадках такий розподіл може не існувати на практиці. Наприклад, для мікросхем пам'яті статичного типу  $c_5 = 0$ . Для даних мікросхем відсутній такий параметр, як час регенерації даних, і тому відмов 5-го виду для них не існує.

Таким чином, задаючи імовірність виникнення відмов різного виду можна враховувати особливості структури виробів, які діагностуються,

Як бачимо з рисунку 2, значення лінгвістичної змінної мають нечіткі межі. Тести з однаковими величинами функцій приналежності можуть мати різні значення цієї змінної: нижче середньої або середня, середня або вище середньої. Крім того, практично неможливо апіорно встановити діагностичні властивості тестів по виявленню всіх можливих відмов, так як кожний тест, як правило, був розроблений з метою локалізації окремих видів відмов основних вузлів мікросхем пам'яті. Лінгвістичні оцінки діагностичних властивостей найбільш розповсюджених тестів по виявленню окремих відмов мікросхем пам'яті наведені в таблиці 1.

та визначати середнє значення імовірності виявлення відмов кожним тестом.

$$d_{cp}^j = \sum_{i=1}^5 d_i^j * c_i, \quad (11)$$

$j$  – номер тесту;

$i$  – вид відмови;

$c_i$  - імовірність виникнення відмови і-го

виду;

$d_i^j$  - вірогідність виявлення відмов і-го виду  $j$ -м тестом.

Але не завжди можна застосувати навіть найефективніші тести, бо звичайно задається ще й максимально допустимий час  $t_{max}$ , який визначається виробничими обмеженнями. Ці обмеження зумовлені досягненням високої продуктивності процесу діагностування, яка забезпечує випуск необхідного обсягу продукції за визначений інтервал часу: зміну, добу, місяць і т.д. Враховуючи цю обставину, введемо коефіцієнт якості тестів за часом їх здійснення.

$$k_j = \begin{cases} 0, & \text{при } t_j > t_{max}, \\ \varepsilon, & \text{при } t_j = t_{max}, \\ \frac{t_{max} - t_j}{t_{max}}, & \text{при } t_j < t_{max}, \end{cases} \quad (12)$$

де  $\varepsilon$  - наперед задане мале число;

$t_j$  - час здійснення  $j$ -го тесту;

$t_{\max}$  - часове обмеження процесу діагностування;

$k_j$  - коефіцієнт якості за часом для  $j$ -го тесту.

Комплексний критерій якості  $Q_j$  кожного тесту можна визначити за його лінгвістичним та часовим параметрами:

$$Q_j = d_j * k_j, \quad (13)$$

Потім, виходячи з аксіоматичних визначень, які приведені в [5], можна здійснити розподіл тестів на неперспективні, перспективні та оптимальні за Парето. З упорядкованої послідовності нас цікавлять тести, які мають високі значення комплексного критерію якості та відповідають економічним можливостям виробництва:

$$\sum_{k=\alpha}^{\omega} t_k \leq t_{\max}, \quad (14)$$

де  $k \in \{\alpha, \beta, \dots, \omega\}$  - номери тих тестів, які були включені у ефективну тестову послідовність;

$t_k$  - час роботи  $k$ -го тесту;

$t_{\max}$  - максимальний час, відведений на діагностування.

Крім цих тестів до рекомендованої для діагностування послідовності можуть бути включені

й інші тести, які користувач на основі свого досвіду вважатиме ефективними за даними обставинами.

Комплексний критерій якості бажано обчислювати за допомогою (13), якщо вплив часових та лінгвістичних характеристик для користувача рівноважний. Але коли більш важливим є використання найбільшої кількості тестів у заданий інтервал часу, можна замість (13) використовувати наступне рівняння:

$$Q_j = d_j + k_j. \quad (15)$$

Для кожного  $i$ -го виду відмов визначаємо вірогідність його виявлення, яку можна спрогнозувати:

$$d_{np}^i = \max d_k^i, \quad (16)$$

де  $k \in \{\alpha, \beta, \dots, \omega\}$ ,  $i = \overline{1,5}$ .

Середнє значення вірогідності виявлення всіх розглянутих видів відмов, яку можна спрогнозувати  $d_{cp}$  має наступний вигляд:

$$d_{cp} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 d_{np}^i. \quad (17)$$

Можна виділити песимістичний та оптимістичний види прогнозу. Песимізм заснований на невпевненості у вірогідності апріорних даних і, за звичай, є притаманний спеціалістам з малим досвідом. Оптимісти впевнені, що даним тестам властиві найкращі діагностичні характеристики.

Значення вірогідності діагностування, яку можна спрогнозувати, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Вірогідність діагностування для різних видів прогнозу

Значення лінгвістичної змінної	Песимістичний прогноз		Оптимістичний прогноз	
	$\mu_{пес}$	$d_{пес}$	$\mu_{опт}$	$d_{опт}$
Низька	0.95	0.11	0.5	0.18
Нижче середньої	0.95	0.23	0.5	0.36
Середня	0.5	0.31	0.5	0.69
Вище середньої	0.5	0.64	0.95	0.78
Вища	0.5	0.82	0.95	0.89

Як бачимо з таблиці 2, вірогідність діагностування відмов мікросхем пам'яті, яку можна спрогнозувати, для окремого розглянутого тесту може змінюватись у межах [0.11;0.89], що відповідає практично всьому діапазону змінної, яка нами досліджується.

## ВИСНОВКИ

Метод вибору послідовності тестів, який був розглянутий вище, є заснованим на принципі нечітких апріорних даних і дозволяє враховувати об'єктивний досвід та кваліфікацію спеціалістів в області діагностування мікросхем пам'яті. Даний метод можна використовувати в системі підтримки прийняття рішень, де враховуються як точні кількісні параметри, так і інформація, яка представлена в лінгвістичній формі, яка легко сприймається.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Nissen P. *Some memory testing paradoxes* – Semiconductor test conference: LSI and Boord, Cherry Hill, N.Y., 1978, Did.Pap. New York, p.91-95.
2. Данилин Н.П., Попель Л.М. *Установка функціонального контролю БИС ОЗУ "Электрон ФЗУ"*. – *Электронная промышленность*, 1981, №2, с.15 – 18.
3. Рябцев В.Г., Торшина В.Е. *Модификация теста "запись-считывание" для диагностирования дефектов устройства управления БИС ОЗУ*. – *Электронная техника*, серия 8, 1987, вып.1, с.6 – 8.
4. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений*. Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165с.
5. Кириленко Н.Л., Рябцев В.Г., Юхан М.Х. *Метод принятия решений при разработке программ испытаний памяти*. – *Проблемы программирования*, 2000, №1-2, с.507 – 512.