

РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ТЕПЛОВОГО ПОРТРЕТУ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

© Пукач А., Теслюк В., Іванців Р.-А., Загарюк Р., 2012

Запропоновано структуру, алгоритм та модель функціонування системи вимірювання та аналізу теплового портрету інтегральних пристроїв.

Ключові слова: МЕМС, тепловий портрет, інтегральна схема, вимірювальна система, кольорові мережі Петрі.

This paper is devoted to general structure, algorithm and functioning model of developed system for measurement and analysis of thermal portrait of integrated devices.

Key words: MEMS, thermal portrait, integrated device, measurement system, coloured Petri Nets.

Вступ

Інтенсивне впровадження в усі сфери людської діяльності технологій виготовлення мікроелектромеханічних систем (МЕМС) [1–4] зумовлене перевагами таких інтегральних пристроїв над макросистемами, а саме: вони мають міліметрові та мікронні розміри, характеризуються високою надійністю та низьким рівнем енергоспоживання, об'єднання елементів мікросистем має синергетичний характер тощо. Використання МЕМС у побутових та пристроях спеціального призначення дає змогу також розв'язати актуальну задачу підвищення серійнопридатності на етапі їх досерійного виробництва, адже мініатюрні розміри активних компонентів мінімізують вплив вимірювальної системи на досліджуваний пристрій, збільшуючи його надійність.

Розроблення структури вимірювальної системи

Одним із методів діагностики інтегральних пристроїв є метод дослідження їх теплового портрету. Цей метод має такі переваги: він дає змогу отримати базу даних теплових портретів, притаманних конкретним режимам роботи досліджуваної інтегральної мікросхеми, а також аналізувати поведінку досліджуваного інтегрального пристрою на практиці в різних умовах із врахуванням властивостей та характеристик конкретного середовища. Досліджувати тепловий портрет можна різними способами, одним із яких є метод вимірювання за допомогою матриці чутливих терморезистивних елементів (МЧТРЕ) [7].

Нижче наведено розроблену структуру вимірювальної системи на основі МЧТРЕ (рис. 1).

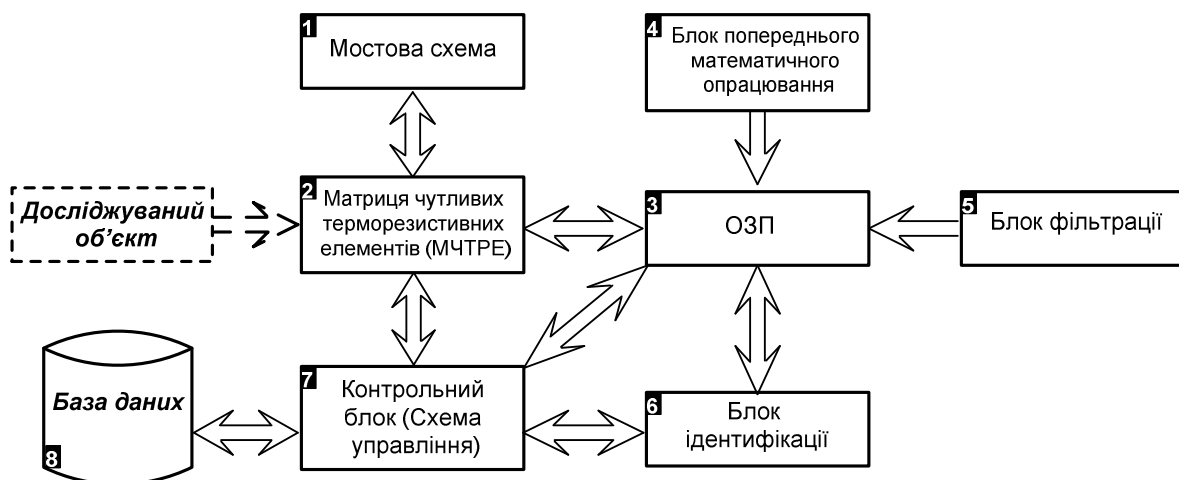


Рис. 1. Загальна структура вимірювальної системи на основі МЧТРЕ

Така структура (рис. 1) дає змогу простежити зв'язки між складовими різних рівнів ієрархії – від внутрішнього рівня (мостової схеми 1) до зовнішнього інтерфейсу (бази даних 8) та зв'язку із досліджуванним об'єктом, а також забезпечує можливість подальшого розширення функціональних складових математичного апарату та інтеграції додаткових компонентів.

Основним призначенням мостової схеми [5,6] 1 є точне вимірювання величини невідомого електричного опору. Завданням МЧТРЕ 2 є безпосередній контакт із досліджуванним об'єктом. ОЗП 3 призначений для формування цілісної картинки теплового портрету та здійснення необхідних операцій над ним. Блок попереднього математичного опрацювання 4 забезпечує здійснення перетворень на підготовчому етапі безпосередньої фільтрації теплового портрету. Блок фільтрації 5 призначений власне для фільтрації теплового портрету. Блок ідентифікації призначений для здійснення ефективного механізму порівняння та розпізнавання потенційних дефектів досліджуваного об'єкта. Контрольний блок (або Схема управління) 7 призначений для синхронізації роботи компонентів усієї вимірювальної системи та із базою даних. База даних 8 призначена для зберігання теплових портретів наперед заданих дефектів. Отже, кожен із компонентів вимірювальної системи, зображеної на рис. 1, є необхідним та достатнім для вирішення поставлених задач.

Розроблення алгоритму функціонування вимірювальної системи

На рис. 2 наведено алгоритм функціонування вимірювальної системи.

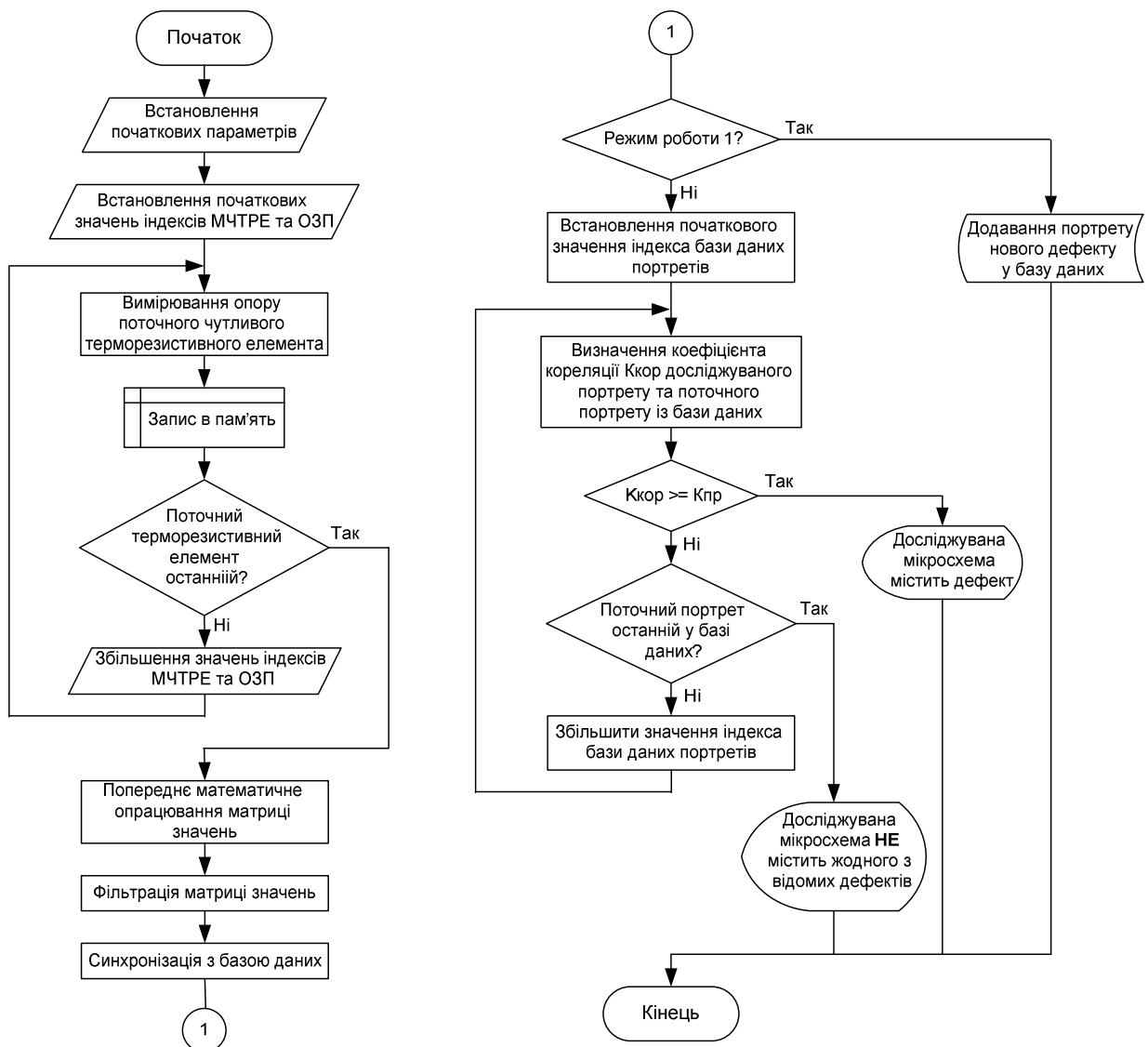


Рис. 2. Алгоритм роботи вимірювальної системи на основі МЧТРЕ

Робота вимірювальної системи розпочинається із встановлення початкових параметрів, обнулення значень лічильників та індексів МЧТРЕ та ОЗП, після чого розпочинається перший вимірювальний цикл, результатом якого є запис у відповідну комірку ОЗП значення опору ділянки досліджуваного об'єкта, отриманого за допомогою вимірювальної мостової схеми 1, після чого відбувається перехід до наступної ділянки досліджуваного об'єкта шляхом збільшення індексу МЧТРЕ аж доти, поки не відбудеться зчитування значення останнього активного елемента матриці. У результаті в ОЗП отримаємо первісний тепловий портрет досліджуваної мікросхеми, який потребує додаткового опрацювання. В блоці попереднього математичного опрацювання відбувається підготовчий етап фільтрації матриці значень, після чого відбувається власне сама фільтрація. Отже, на цьому етапі роботи вимірювальної системи маємо опрацьований та відфільтрований тепловий портрет досліджуваної мікросхеми. Наступним етапом є синхронізація з базою даних, що здійснюється контрольним блоком (схемою управління). Залежно від обраного режиму роботи можливі два варіанти подальшого розвитку подій: а) схема працює в режимі 1 — режимі формування теплових портретів із наперед заданими дефектами, і збережений в ОЗП відфільтрований тепловий портрет лише додається у базу даних; б) схема працює в режимі 2 — режимі розпізнавання дефекту мікросхеми. У другому випадку відбувається пошук по базі даних з метою знаходження найподібнішого дефекту (ступінь подібності визначається за коефіцієнтом кореляції). Якщо обчислений коефіцієнт кореляції $K_{кор}$ більший (або дорівнює) певної порогової величини — прохідного коефіцієнта $K_{пр}$, — то з великим відсотком вірогідності можна говорити про виявлення дефекту мікросхеми із порядковим номером індекса бази даних. Якщо ж при перегляді усієї бази даних жоден із дефектів не виявлений — то приймається рішення про серійнопридатність досліджуваного зразка.

Розроблення схемної моделі вимірювальної системи на основі кольорових мереж Петрі

Нижче наведено схемну модель [13] вимірювальної системи на основі кольорових мереж Петрі [11, 12] (див. рис. 3). На відміну від класичних мереж Петрі [8–10], кольорові мережі Петрі з легкістю дають змогу реалізовувати розгалужувальні схеми.

Робота моделі розпочинається з встановлення початкових маркерів в ключових позиціях, а саме:

- позиції p_1 — відповідає за проходження усіх елементів МЧТРЕ, значення $n_1 = \{\text{кількість_чутливих_елементів_матриці}\} - 1$;
- позиції p_2 — відповідає за режим роботи системи (наявність маркера в цій позиції означає, що обраний режим роботи 1, відсутність свідчить про обраний режим роботи 2);
- позиції p_3 — відповідає за ідентифікацію дефекту досліджуваної мікросхеми, значення $n_2 = \{\text{порядковий_номер_дефекту_у_базі_даних}\} - 1$, якщо ж досліджуваний пристрій не містить жодного з дефектів, записаних у базі даних, то $n_2 = n_3 + 1$ (значення n_3 див. нижче, для позиції p_4);
- позиції p_4 — відповідає за проходження усіх портретів бази даних для порівняння із досліджуваним портретом, значення $n_3 = \{\text{кількість_портретів_у_базі_даних}\} - 1$.

Після встановлення початкових маркерів модель приводиться в дію поміщенням маркера запуску в позицію p_5 , відбувається встановлення початкових параметрів та значень індексів МЧТРЕ та ОЗП спрацюванням переходу t_1 . Активізуються позиції p_6 та p_7 , запускається перший робочий цикл, під час якого відбувається вимірювання опору поточного чутливого терморезистивного елемента та запис отриманого значення в пам'ять ОЗП (спрацюванням переходу t_2). Зворотний зв'язок переходу t_2 із позицією p_6 необхідний для утримування маркера з метою забезпечення неперервності процесу заповнення матриці в ОЗП. У позиції p_8 відбувається перевірка проходження усіх активних чутливих терморезистивних елементів матриці, якщо поточний терморезистивний елемент був не останній — то спрацьовує перехід t_3 і відбувається збільшення значень індексів МЧТРЕ та ОЗП, зменшується кількість маркерів в позиції p_1 , і запускається наступний робочий цикл, під час якого знімаються покази чутливого терморезистивного елемента та запис його у відповідну комірку пам'яті. Якщо ж поточний терморезистивний елемент останній (про що свідчить відсутність маркерів у позиції p_1) — спрацьовує перехід t_4 , котрий запускає механізм попереднього математичного опрацювання та фільтрації матриці в ОЗП, а також синхронізацію з базою даних. Після цього в позиції p_9 відбувається перевірка режиму роботи системи. Якщо обраний режим роботи 1 — режим формування теплових портретів із наперед

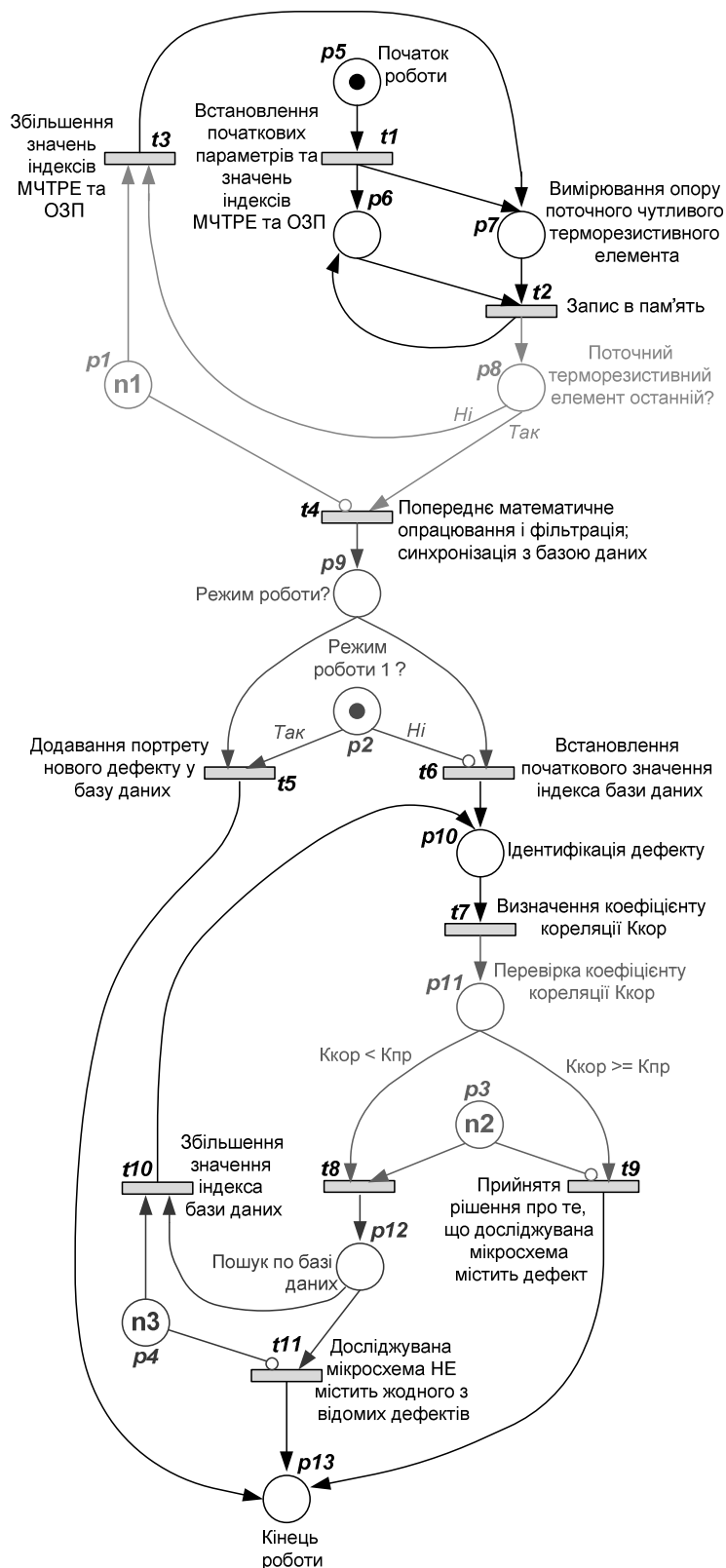


Рис. 3. Схемна модель функціонування вимірювальної системи на основі кольорових мереж Петрі

заданими дефектами (про що свідчить наявність маркера в позиції p2) — спрацьовує перехід t5, тобто відбувається додавання відфільтрованого портрету з ОЗП у базу даних, маркер переходить в позицію p13, і система припиняє роботу. Якщо ж обраний режим роботи 2 — режим розпізнавання дефекту мікросхеми (про що свідчить відсутність маркера в позиції p2) — спрацьовує перехід t6, котрий запускає механізм пошуку у базі даних та встановлює індекс бази даних в початкове значення. З позиції

r_{10} активізується перехід t_7 , відбувається обчислення коефіцієнта кореляції, і якщо отриманий коефіцієнт кореляції $K_{кор}$ менший за прохідний коефіцієнт $K_{пр}$, — спрацьовує перехід t_8 , маркер переходить в позицію r_{12} , де відбувається перевірка проходження усіх елементів бази даних: якщо поточний портрет не останній у базі даних (про що свідчить наявність маркерів в позиції r_4) — спрацьовує перехід t_{10} , збільшується значення індекса бази даних, зменшується кількість маркерів в позиції r_4 , маркер повертається в позицію r_{10} і запускається наступний цикл перевірки досліджуваного портрету вже з іншим (наступним) портретом у базі даних; якщо ж поточний портрет останній у базі даних (про що свідчить відсутність маркерів в позиції r_4) — активізується перехід t_{11} , тобто приймається рішення про те, що досліджувана мікросхема не містить жодного з відомих дефектів, маркер переходить в позицію r_{13} , і відбувається припинення роботи системи. Якщо ж обчислений коефіцієнт кореляції $K_{кор}$ більший (або дорівнює) за прохідний коефіцієнт $K_{пр}$, — запускається перехід t_9 , тобто приймається рішення про те, що досліджувана мікросхема містить дефект, маркер переходить в позицію r_{13} , і робота системи припиняється.

Нижче зображено також граф досяжності станів для моделі на основі кольорових мереж Петрі (рис. 4).

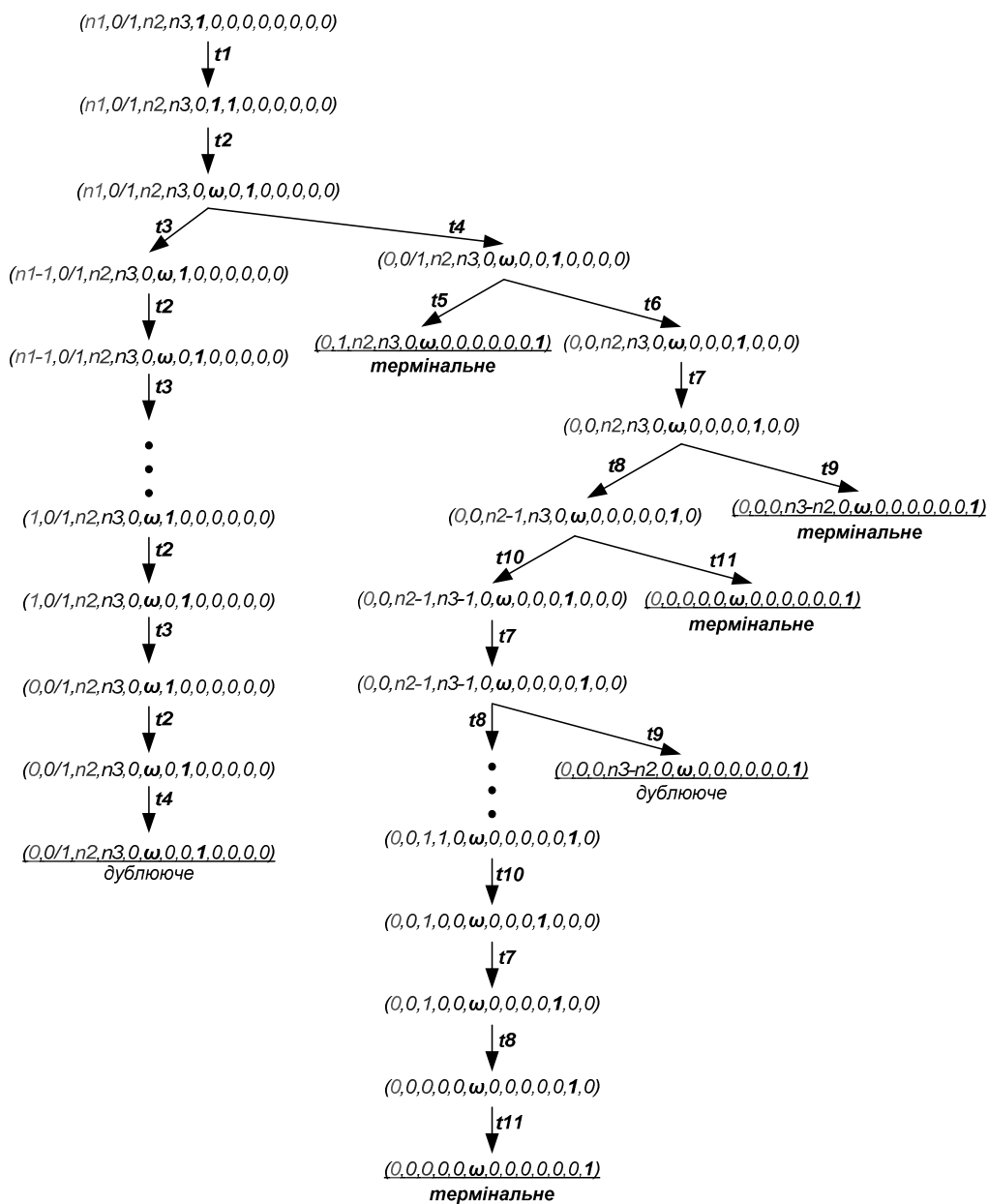


Рис. 4. Граф досяжності станів для моделі функціонування вимірювальної системи на основі кольорових мереж Петрі

Висновок

Підвищення серійнопридатності є актуальною задачею сьогодення. Одним з способів розв'язання цієї задачі є діагностика на етапі досерійного виробництва, одним із методів, що володіє рядом переваг — метод дослідження теплового портрету. Розроблено загальну структуру вимірювальної системи на основі матриці чутливих терморезистивних елементів, побудовано алгоритм роботи цієї вимірювальної системи, а також модель її функціонування. Розроблена вимірювальна система на основі МЧТРЕ виступає ефективним інструментом розв'язання поставленої задачі підвищення серійнопридатності інтегральних пристроїв на етапі їх досерійного виробництва шляхом аналізу їх теплових портретів.

1. Ville Kaajakari *Practical MEMS: Design of microsystems, accelerometers, gyroscopes, RF MEMS, optical MEMS, and microfluidic systems: Small Gear Publishing, 2009. – 496 p.*
2. Minhang Bao *Analysis and Design Principles of MEMS Devices, – 1st edition: Elsevier Science, 2005. – 328 p.*
3. James J. Allen *Micro Electro Mechanical System Design, – 1st edition: CRC Press, 2005. – 496 p.*
4. Marc J. Madou *Fundamentals of Microfabrication: The Science of Miniaturization, – 2nd edition: CRC Press, 2002. – 752 p.*
5. Andriy Pukach, Roman Ivantsiv, Vasyl Tesljuk, *Methods and schemes of measuring the electric circuit resistance parameter value, Proc. of the VI-th International Conference MEMSTECH'2010, pp. 131–134 – Lviv – Polyana, 2010.*
6. Пукач А., Іванців Р., Теслюк В. *Методи та схеми вимірювання значення невідомого опору електричного кола. Технічні вісті: Науково-публіцистичний часопис "Львівська політехніка". Львів: Видавництво НУ"Львівська політехніка". – 2010. – С. 160–163.*
7. Andrii Pukach, Vasyl Teslyuk, Roman-Andriy Ivantsiv, *The method of investigation of thermal portrait of integrated devices with a matrix of sensitive termistor elements, Proc. of the International Conference MEMSTECH'2011, pp. 16–17 – Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine, 2011.*
8. Пугерсон Д. *Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.*
9. Котов В.Е. *Сети Петри. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.*
10. Васильев В.В., Кузьмук В.В. *Сети Петри, параллельные алгоритмы и модели мультипроцессорных систем. К.: Наук, думка, 1990. – 216 с.*
11. James L. Peterson *A Note on Colored Petri Nets, Information Processing Letters, Volume 11, Number 1, (August 1980), pages 40-43.*
12. Kurt Jensen, Lars M. Kristensen. *Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems: 1st edition – Springer, 2009. – 395 p.*
13. Стеценко І.В. *Модельювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.*