

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Темніков Ігор Миколайович

УДК 681.32.519.713

**МЕТОДИ СИНТЕЗУ МОДУЛІВ СИГНАТУРНОГО МОНІТОРИНГУ
ДЛЯ ДИСКРЕТНИХ ПРИСТРОЇВ, ЩО САМОТЕСТУЮТЬСЯ**

Спеціальність 05.13.05 – елементи та пристрої обчислювальної техніки
та систем керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”
Міністерства освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Дербунович Леонід Вікторович
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”
професор кафедри автоматизації і управління в технічних системах

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Хаханов Володимир Іванович
Харківський національний університет радіоелектроніки
професор кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки

доктор технічних наук, професор
Дмитрієнко Валерій Дмитрович
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”
професор кафедри обчислювальної техніки і програмування

Провідна установа:

Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України, м. Київ

Захист відбудеться “ 21 ” жовтня 2004 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д64.050.07 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за ад-
ресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харків-
ський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “ 18 ” вересня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Голоскоков О.Є.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зростання складності сучасних систем управління технологічними процесами і обладнанням викликає необхідність вирішення безлічі проблем, серед яких важливе місце займають питання забезпечення необхідного рівня відмовостійкості, робастності, продуктивності та швидкої адаптації до класу вирішуваних задач. Одним з ефективних шляхів досягнення високих показників надійності систем управління на основі мікроконтролерів є введення апаратної, програмної і часової надмірності, що забезпечує їх відмовостійкість за наявності дефектів певного класу.

Розвиток субмікронних технологій, широке використання сигнальних процесорів, мікроконтролерів і програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) з числом виходів, що досягає 1000 на одну мікросхему, які функціонують на тактовій частоті 1 - 5 ГГц, призводить до значного зростання вартості діагностичного забезпечення на всіх етапах життя управляючих систем. Існуючі системи діагностичного забезпечення дискретних пристроїв (ДП) і систем на одному кристалі (СОК), підсистеми генерації тестів і моделювання несправностей у більшості випадків орієнтовані на виявлення класу стійких несправностей константного типу, що неадекватно відображає безліч можливих дефектів у субмікронній КМОН технології.

На етапі експлуатації управляючих систем в умовах промислового виробництва в більшості випадків відмови в них обумовлені нестійкими несправностями переміжного типу і збоями, що виникають у процесі виконання управляючих програм.

Необхідність врахування особливостей субмікронних технологій виробництва НВІС, умов експлуатації управляючих систем на їх основі в рамках жорстких вартісних і часових обмежень приводить до необхідності об'єднання методів функціональної та тестової діагностики і реалізації їх у вигляді програмно-апаратних модулів сигнатурного моніторингу, убудованих на кристал або печатну плату.

Вагомий внесок у вирішення проблем тестової і функціональної діагностики, генерації тестів та моделювання несправностей, створення убудованих засобів самотестування внесли вчені: П.П. Пархоменко, Є.С. Согомоян, А.П. Горяшко, В.Г. Тоценко, Д.В. Сперанський, В.А. Твердохлебов, А.М. Романкевич, Л.В. Дербунович, Ю.А. Скобцов, Р. Убар, Г.Ф. Кривуля, В.І. Хаханов, E.J. McCluskey, R.G. Bennets, S.K. Gupta, J. Savir, Y. Zorian, J.A. Abraham та ін.

В сучасних системах тестопридатного проектування СОК передбачається розбиття складної схеми на макроблоки для забезпечення доступу до її внутрішніх вузлів, що дозволяє скоротити трудомісткість і час діагностики макроблоків шляхом паралельного та ієрархічного використання убудованих схем самотестування, які створюють систему сигнатурного моніторингу.

У зв'язку з цим розробка методів синтезу і логічного проектування модулів сигнатурного моніторингу: генераторів тестових послідовностей, сигнатурних модулів компактного стиснення вихідної реакції, модулів управління процесом діагностики і прийняття рішень про стан об'єкта діагностики з урахуванням архітектурних особливостей сучасних ПЛІС, мікроконтроллерів і СОК є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Розробка основних положень роботи здійснювалася відповідно до планів НДР і програм, що виконуються на кафедрі автоматизації і управління в технічних системах НТУ «ХП», а саме до плану прикладних робіт МОН України: «Розробка методик оптимального управління станом динамічних систем в умовах невизначеності» (№ ДР 0100U001691); «Розробка методів прийняття рішень в умовах неповної інформації про об'єкт управління» (№ ДР 0103U001511); пошукова тема «Співзвуччя» НАН України «Розробка комплексів мікропроцесорних технічних засобів контролю і регулювання рівня розплаву при вирощуванні ЩГК» (№ ДР 0101U006612).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка і вдосконалення моделей, методів синтезу і логічного проектування уніфікованих модулів сигнатурного моніторингу для підвищення ефективності тестової та функціональної діагностики мікроконтроллерних пристроїв управління на їх робочій частоті з гарантованою повнотою і мінімальними апаратними витратами.

Сформульована мета досягається рішенням наступних задач:

- розробка алгоритмічних методів генерації тестових послідовностей і стиснення вихідної реакції, орієнтованих на реалізацію псевдовичерпного і псевдовипадкового тестування дискретних пристроїв;
- розробка методів синтезу генераторів тестових послідовностей на основі зсувних регістрів з лінійними і нелінійними зворотними зв'язками;
- розробка моделей аддитивних клітинних автоматів і методів синтезу генераторів псевдовипадкових послідовностей на їх основі;
- розробка методів перетворення автоматних моделей дискретних пристроїв у легко тестовані та реалізація модулів сигнатурного моніторингу, оптимальних за тестопридатністю;
- використання розроблених методів синтезу для реалізації модулів сигнатурного моніторингу на ПЛІС.

Об'єкт дослідження – дискретні пристрої і системи на одному кристалі, мікроконтроллерні пристрої управління, процеси їх тестової та функціональної діагностики.

Предмет дослідження – моделі, методи і алгоритми синтезу модулів сигнатурного моніторингу.

Методи дослідження представлені апаратами теорії автоматів, теорії булевих функцій, теорії графів, теорії матриць. В роботі також використовувалися комп'ютерні експерименти для оцінки властивостей модулів, зпроектованих розробленими методами синтезу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розробці методів, моделей і алгоритмів синтезу модулів сигнатурного моніторингу, що використовуються як убудовані засоби функціональної і тестової діагностики мікропроцесорних контролерів і систем на одному кристалі або печатній платі. Зокрема:

- нові методи синтезу генераторів тестових послідовностей і сигнатурних аналізаторів на основі зсувних регістрів (ЗР) з лінійним зворотним зв'язком з урахуванням специфіки сучасних мікроконтролерних пристроїв управління і дискретних пристроїв на ПЛІС;

- вперше розроблено метод синтезу генераторів тестів для псевдовичерпного тестування (n, m, k) схем на основі зсувних регістрів з нелінійним зворотним зв'язком. Розроблено алгоритм знаходження остовних дерев графової моделі ЗР, які породжують у ньому гамільтонові цикли, з мінімальними витратами на реалізацію функцій зворотного зв'язку ЗР;

- вдосконалені матричні моделі мереж клітинних автоматів і розроблено метод синтезу гібридних аддитивних мереж клітинних автоматів, що генерують послідовності максимальної довжини;

- вдосконалено метод розширення автоматних моделей управляючих модулів сигнатурного моніторингу і спосіб кодування їх стану, що забезпечує тестопридатність модулів у режимі перевірки справності шляхом перетворення елементів пам'яті в один кризний ЗР.

Практичне значення одержаних результатів визначається:

- розробкою методів синтезу і логічного проектування уніфікованих модулів сигнатурного моніторингу для тестової і функціональної діагностики мікроконтролерних пристроїв управління та систем на одному кристалі;

- розширенням класу несправностей, що виявляються, який включає стійкі кратні константні несправності і несправності логічного типу;

- усуненням необхідності виконання трудомістких процедур генерації тестів і моделювання несправностей;

- впровадженням інженерних методів проектування модулів сигнатурного моніторингу і їх реалізація на сучасних ПЛІС.

Розроблені методи проектування і убудовані засоби тестової та функціональної діагностики використовуються на підприємствах: НВО «Хартрон» м. Харків, дослідному виробництві НДІ «Монокристал», а також в учбовому процесі в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» кафедрою «Автоматика і управління в технічних системах» при ви-

вченні курсів «Прикладна теорія цифрових автоматів» і «Системне проектування дискретних пристроїв», в учбовому процесі Української державної академії залізничного транспорту.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем запропоновані нові методи синтезу модулів сигнатурного моніторингу – багатоканального сигнатурного аналізатора, що самоперевіряється, генератора послідовності де Брейна на ЗРНЗЗ, генератора М-послідовності на МКА; метод синтезу ГПТ, заснований на модифікації структури ЗРЛЗЗ/ЗР шляхом формування лінійно-незалежних залишків; метод знаходження послідовності двійкових символів, що породжують гамільтонів цикл у ЗР, циклічний зсув яких забезпечує варіант кодування автомата, оптимального за тестопридатністю, а також алгоритми і програми, які забезпечують рішення поставлених задач. Вся практична робота з розробки та дослідження нових методів синтезу модулів сигнатурного моніторингу виконана здобувачем особисто, а роботи з впровадження цих методів на підприємствах – при його особистій участі.

Апробація результатів дисертації. Наукові результати дисертаційної роботи у міру їх одержання обговорювалися на семінарах кафедри «Автоматика і управління в технічних системах» Національного технічного університету «ХПІ» і кафедри «Автоматизація проектування обчислювальної техніки» Харківського Національного університету радіоелектроніки. Результати дисертаційної роботи докладалися на наукових конференціях і семінарах: на 7-й Міжнародній конференції «Теорія і техніка передачі, прийому і обробки інформації» (Харків, 2001), на Міжнародній конференції «Проблеми інформатики і моделювання – 2001» (Харків, 2001), на 15-й Міжнародній школі-семінарі «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті» (м. Алушта, Крим, Україна, 13 – 20 вересня 2002 р.), на 10-й ювілейній конференції «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» (Крим, 2002).

Публікації. Результати наукових досліджень відображені в 12 друкованих працях, у тому числі в 8 статтях, опублікованих у наукових виданнях, включених до Переліків ВАК України, в 4 матеріалах конференцій.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 190 сторінок: 47 ілюстрацій по тексту, 24 таблиці по тексту; 5 додатків на 28 сторінках; 122 найменування використаних літературних джерел на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі на основі аналізу стану досліджень в області технічної діагностики обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і основні задачі роботи, наведені основні наукові результати і показано їх практичне значення.

У першому розділі аналізуються методи діагностики ДП, виконаних на одному кристалі або печатній платі. При генерації детермінованих тестів головна проблема пов'язана з трудомісткістю їх генерації і моделювання несправностей для класу послідовних схем і комбінаційних схем великої розмірності. Методи тестопридатного проектування ДП, що передбачають сканування внутрішніх елементів пам'яті в режимі тестування і розбиття складних схем на макроблоки, практично зводять проблему тестової діагностики послідовної схеми до перевірки справності її логічного ядра.

Впровадження нанометрових технологій у процес виробництва інтегральних схем і ДП на їх основі, підвищення тактових частот і сумірність затримок в активних елементах та лініях зв'язку призводять до появи несправностей типу “затримка фронту і зрізу імпульсу”, а підвищення ступеня інтеграції – до появи несправностей типу “коротке замикання” між сусідніми лініями і переплутування зв'язків.

Аналіз діагностичного забезпечення мікропроцесорних НВІС провідних зарубіжних фірм: Pentium Pro (Intel Corporation); S/390 (IBM); Power PC; MC 202 – 206 (Motorola); AMD – K6 (Advanced Micro Devices) показує, що 5 – 8% площі кристала НВІС займають убудовані схеми тестування, які дозволяють знайти практично 100% дефектів, перелічених вище. Діагностичне забезпечення мікропроцесора S/390 ($25 \cdot 10^6$ транзисторів, 500 МГц тактова частота) включає ієрархічну структуру убудованих діагностичних засобів; 1) ОЗУ, кеш, пам'ять, схеми їх управління з убудованими схемами самотестування; 2) регістрові мережі, що створюють в режимі тестування сканований шлях за методом Level Sensitive Scan Design; 3) убудовані генератори псевдовипадкових тестових послідовностей з керованою вагою; 4) убудований багатоканальний сигнатурний аналізатор; 5) порт JTAG відповідно до стандарту IEEE 1149.1. [T. Foote, D. Hoffmae et al. Testing 500-MHz IBM S/390 Microprocessor // IEEE Design & Test Computer. – 1998. – Vol. 15, № 3 – P. 83 – 89].

Досвід з промислового використання мікроконтролерних систем управління (МСУ) показав, що в більшості випадків при виконанні управляючих програм мають місце переміжні несправності й збої. Для виявлення цих несправностей і подальшого відновлення працездатності МСУ широко використовується сигнатурний моніторинг, що здійснює контроль правильності виконання сегментів управляючих програм і відновлення працездатності шляхом повторної «прокрутки» програмних сегментів.

Аналіз методів перетворення автоматних моделей ДП в легко тестовані показує, що перетворення початкової схеми до контролепридатного вигляду здійснюється шляхом введення додаткових входів, виходів і контрольних точок. Проведено аналіз алгоритмів перетворення довільного

автомата в легко тестований, для яких розроблені регулярні процедури побудови діагностичного експерименту.

На жаль, практичне використання запропонованих методів синтезу перевіряючих тестів і перетворення ДП до контролепридатного вигляду обмежується функціонально-структурними моделями класів несправностей, які не включають клас несправностей, обумовлених новими технологіями. Важко піддаються аналізу апаратурні витрати, пов'язані з перетворенням автоматної моделі ДП до контролепридатного вигляду. У висновку розділу на основі аналізу сучасних методів діагностики ДП обґрунтована і сформульована постановка задач дослідження.

Другий розділ присвячено розробці методів синтезу генераторів псевдовичерпних тестів (ГПТ) для ДП з убудованим самотестуванням. Аналіз схем сучасних ДП показує, що комбінаційна схема (КС) з n входами і m виходами має конусну залежність m виходів від вхідних змінних. Число входів $k < n$, від яких залежить кожний вихід схеми, називають показником залежності відповідного конуса. Нехай $k = \max(k_1, k_2, \dots, k_m)$ – максимальне значення показника залежності всіх m виходів КС. Тоді схема з n входами, m виходами та k – максимальним показником залежності може бути перевірена вичерпним тестом завдовжки $2^k < L < 2^n$.

Як генератор тестів для (n, m, k) схем використовується структура зсувного регістра з лінійним зворотним зв'язком (ЗРЛЗЗ), послідовно сполучена з зсувним регістром (ЗРЛЗЗ/ЗР). Нехай в структурі ЗРЛЗЗ/ЗР перші v_1 тригерів ЗР замкнуті лінійним зворотним зв'язком відповідно до примітивного полінома $P_1(x)$ ступеня v_1 . Інші $(n - v_1)$ тригерів сполучені послідовно, утворюючи ланцюг ЗР. Тригери ЗРЛЗЗ генерують v_1 – мірні тестові сигнали, що є залишками r_1, r_2, \dots, r_{v_1} від ділення на поліном $P_1(x)$ вхідної послідовності, які в подальших $(n - v_1)$ розрядах формуються у вигляді лінійних комбінацій цих залишків. Наступне твердження визначає необхідну і достатню умову вичерпного тестування вихідних конусів схеми.

Теорема 1. Вихідний конус, який залежить від входів $x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_k}$, перевіряється вичерпним тестом тоді і тільки тоді, коли залишки $r_{i_1}, r_{i_2}, \dots, r_{i_k}$ є лінійно-незалежними.

Псевдовичерпні тести, що генеруються структурою ЗРЛЗЗ/ЗР, частіше за все мають довжину, яка значно перевищує нижню межу 2^k . Для виключення цього недоліку запропоновано використовувати структуру модифікованого ЗРЛЗЗ/ЗР (МЗРЛЗЗ/ЗР), в якій лінійна залежність залишків виключається вживанням логічної операції XOR.

Теорема 2. Для (n, m, k) схеми існує ГПТ із структурою МЗРЛЗЗ/ЗР ступеня v ($k < v < n$) тоді і тільки тоді, коли існує ГПТ із структурою ЗРЛЗЗ/ЗР того ж ступеня v .

Розроблено метод синтезу ГПТ на основі МЗРЛЗЗ/ЗР для тестування заданої (n, m, k) схеми і алгоритм визначення лінійної залежності залишків для синтезу ГПТ.

Запропоновано метод синтезу ГПТ на основі паралельно функціонуючих ЗРЛЗЗ/ЗР (ПЗРЛЗЗ/ЗР). Взаємозв'язок між двома структурами ГПТ на основі МЗРЛЗЗ/ЗР і ПЗРЛЗЗ/ЗР визначається наведеним нижче твердженням.

Теорема 3. Для (n, m, k) схеми існує генератор тестів на основі структури (v, n) ПЗРЛЗЗ/ЗР ($k < v < n$) тоді і тільки тоді, коли для цієї схеми існує генератор тестів на основі МЗРЛЗЗ/ЗР, у якого довжина кожного зсувно-регістрового сегменту принаймні не менша v .

З теореми 3 виходить, що генератори на основі структури ПЗРЛЗЗ/ЗР по апаратурних витратах на їх реалізацію і по довжині тестових послідовностей, що генеруються, практично збігаються з генераторами МЗРЛЗЗ/ЗР у тому випадку, коли зсувно-регістрові сегменти МЗРЛЗЗ/ЗР кратні ступеню v примітивного полінома. Якщо ця умова не виконується, то краще використовувати генератори на основі структури МЗРЛЗЗ/ЗР.

Для підвищення достовірності компактного стиснення вихідних реакцій ДП запропоновано метод синтезу багатоканальних сигнатурних аналізаторів (БСА), реалізованих на ЗРЛЗЗ, що самоперевіряються. В основу контролю правильності функціонування багатоканального сигнатурного аналізатора покладена аддитивно-циклічна властивість M – послідовностей, тобто сума по $\text{mod } 2$ циклічних зсувів M – послідовності є циклічним зсувом тієї ж M – послідовності.

Метод синтезу ілюструється на прикладі сигнатурного аналізатора з породжувальним многочленом $\varphi(x) = x^{16} + x^{12} + x^9 + x^7 + 1$. Поведінка аналізатора може бути описана такими рівняннями:

$$\begin{aligned} q_1(t+1) &= Y_1(t) \oplus q_7(t) \oplus q_9(t) \oplus q_{12}(t) \oplus q_{16}(t); \\ q_i(t+1) &= Y_i(t+1) \oplus q_{i-1}(t), \quad i = \overline{2, 16}. \end{aligned} \quad (1)$$

Складаючи цю рівність по модулю два, одержуємо

$$\sum_{i=1}^{16} q_i(t+1) = \sum_{i=1}^{16} Y_i(t) \oplus \sum_{i=1}^6 q_i(t) \oplus q_8(t) \oplus q_{10}(t) \oplus q_{11}(t) \oplus \sum_{i=13}^{15} q_i(t). \quad (2)$$

Позначивши ліву частину рівності через A , а праву через B , одержуємо рівняння самоконтролю: $A = B$. Достоїнствами цього методу є простота реалізації БСА, відсутність необхідності кодування діагностичної інформації і виявлення помилки при її першій появі на контрольних виходах.

У третьому розділі розглянуто методи синтезу ГПТ на основі ЗР з нелінійним зворотним зв'язком (ЗРНЗЗ), генеруючих послідовності де Брейна. Показано, що знаходження послідовності де Брейна еквівалентне рішенням задачі знаходження гамільтонового циклу в графі ЗР. В графі $G_{(n+1)}$ $(n + 1)$ – розрядного ЗР число різних гамільтонових циклів дорівнює числу остовних дерев графа

G_n . Остовне дерево графа G_n – зв'язаний орієнтований граф без циклів з числом вершин 2^n і числом дуг $(2^n - 1)$. Із зростанням n число остовних дерев росте із зростанням числа його дуг.

Тому при розробці методу синтезу ГПТ на ЗРНЗЗ було поставлено задачу знаходження тих остовних дерев у графі $G_{(k-1)}$, які породжують гамільтонові цикли в графі G_k з мінімальними часовими і апаратними витратами на реалізацію функцій зворотного зв'язку ЗР. Оскільки гамільтонів цикл графа G_k є остовним деревом цього графа, то множина цих остовних дерев графа G_k використовується для породження гамільтонових циклів у графі $G_{(k+1)}$ і т.д. Ітеративно застосовуючи цю процедуру, можна знайти обмежену множину остовних дерев для $k < (32 - 34)$, що задовольняють вказаним вище властивостям.

Запропоновано універсальну кінцево-автоматну модель остовних дерев графа n – розрядного ЗР і розроблено алгоритм знаходження гамільтонових циклів у графі $(n+1)$ – розрядного ЗР по автоматних моделях графа n – розрядного ЗР. Показано, що існує клас остовних дерев, які породжують гамільтонові цикли в графі ЗР з мінімальною апаратною реалізацією ЗЗ у вигляді безповторної мережі Майтра.

Розроблено метод синтезу ГПТ на ЗР з нелінійним зворотним зв'язком, структура якого представлена на рис. 1. Перші k розрядів ЗР з нелінійною функцією зворотного зв'язку $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ формують 2^k різних двійкових векторів, які через k тактів зсовуються в ланцюзі ЗР, визначаючи на кожному такті значення розрядів $(x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n)$ у ЗР. Оскільки довжина циклу ЗРНЗЗ рівна 2^k , то максимальна розмірність ланцюга генератора на ЗРНЗЗ/ЗР $n = 2^k$. Умова формування в $(n - k)$ розрядах ЗР різних двійкових k – мірних векторів визначається наведеним нижче твердженням.

Теорема 4. Нехай задана схема ГПТ на ЗРНЗЗ/ЗР довжиною в n розрядів, у якому розряди x_1, x_2, \dots, x_k формують повний цикл завдовжки 2^k різних двійкових векторів за допомогою функції нелінійного ЗЗ $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$, що породжує гамільтонів цикл в k – розрядному ЗР. Якщо початковий стан всіх n розрядів ГПТ збігається із значеннями функції $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$, зсунутих на $(2^k - i)$ тактів, то на виходах будь-яких k суміжних розрядів ГПТ формуються 2^k різних тестових наборів за 2^k тактових зсувів регістра.

Теорема 4 визначає умови початкової установки розрядів генератора на основі ЗРНЗЗ/ЗР для псевдовичерпного тестування (n, m, k) схеми.

Наслідок 1. Розряди ЗРНЗЗ/ЗР $(x_n, x_1, x_2, \dots, x_{k-1})$ є суміжними і утворюють повний гамільтонів цикл в k – розрядному ЗР.

Наслідок 2. Циркулюючий зсувний регістр з числом розрядів $n = 2^k$, в якому шляхом початкової установки записана послідовність, що породжує гамільтонів цикл в k – розрядному ЗР, генерує за 2^k тактів різні k – мірні вектори в будь-якому з суміжних розрядів ЗР.

Визначення 1. Послідовність k – мірних двійкових векторів завдовжки 2^k , у якій всі вектори різні, називатимемо лічильниковою послідовністю.

Нехай $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$ – виходи розрядів ЗРНЗЗ/ЗР, а x_1, x_2, \dots, x_n – входи (n,m,k) схеми, що перевіряється. Виходи будь-яких k суміжних розрядів ГПТ, що представляються підмножиною $S^k = \{S_i, S_{i+1}, \dots, S_{i+k}\}$, $i = \overline{1, n}$, можна розглядати як виходи k – розрядного лічильника, який формує 2^k різних тестових векторів. Оскільки всі виходи розрядів лічильникових схем є лінійно-незалежними, то будь-яка перестановка або комутація елементів підмножини S^k також утворює лічильникову послідовність і змінює тільки порядок проходження всіх 2^k двійкових векторів, що генеруються цими розрядами.

Визначення 2. Пара вхідних змінних (x_i, x_j) (n,m,k) схеми є залежною, якщо існує щонайменше один вихідний конус з множини m , який одночасно залежить від x_i і x_j . Інакше пара (x_i, x_j) є незалежною.

Очевидно, що множину незалежних входів (n,m,k) схеми можна жити виходом одного і того ж розряду ГПТ. Отже, задача побудови ГПТ для (n,m,k) схеми зводиться до знаходження мінімального покриття множини вершин графа G_n максимальними підграфами незалежних вершин або його кліками, що забезпечить побудову ГПТ мінімальної розмірності з мінімальною довжиною тестової послідовності. Розроблено алгоритм синтезу ГПТ на ЗРНЗЗ/ЗР для (n,m,k) схем, який ілюструється на прикладі схеми з конусною залежністю $y_i = f_i(x)$ $(8, 8, 4)$ у такому вигляді:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, x_3, x_4) & y_3 &= f_3(x_3, x_4, x_5, x_6) & y_5 &= f_5(x_1, x_4, x_7, x_8) & y_7 &= f_7(x_3, x_4, x_5, x_7) \\ y_2 &= f_2(x_6, x_7, x_8) & y_4 &= f_4(x_3, x_5, x_6, x_7) & y_6 &= f_6(x_2, x_3, x_4, x_7) & y_8 &= f_8(x_1, x_2, x_3, x_7). \end{aligned}$$

Виконуючи послідовність кроків алгоритму, знаходимо підмножини незалежних змінних, які представлені графом незалежних вершин на рис. 2. З матриці досяжностей вершин графа незалежних вершин множина клік графа представляється у вигляді підмножин: $a_1 = \{x_1, x_5\}; a_2 = \{x_1, x_6\}; a_3 = \{x_2, x_6\}; a_4 = \{x_2, x_5, x_8\}; a_5 = \{x_3, x_8\}$.

Для знаходження мінімальної множини клік, що покривають всі вершини графа незалежних вершин, розв'язується задача покриття множини вхідних змінних X множиною клік графа. Для початкової схеми $(8,8,4)$ рішення представляється у вигляді:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \{\{x_4\}, \{x_7\}, \{x_1, x_5\}, \{x_2, x_6\}, \{x_3, x_8\}\}; \\ Q_2 &= \{\{x_4\}, \{x_7\}, \{x_1, x_6\}, \{x_2, x_5, x_8\}, \{x_3, x_8\}\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Множини Q_1 і Q_2 визначають структуру ГПТ в тому розумінні, що елементи цих множин суть множини входів схеми $\{x_i\}$, а число їх елементів $(|Q_1|, |Q_2|)$ визначає розрядність генератора лічильникової послідовності і довжину тесту $L = 2^5 = 32$. Використовуючи алгоритм знаходження га-

мільтонових циклів у графі ЗР для $k = 5$, функцію нелінійного зворотного зв'язку безповторної мережі Майтра знаходимо у вигляді:

$$f(s) = s_5 \oplus (\bar{s}_2 + s_1 s_2 s_3), \quad (4)$$

що дає реалізацію ГПТ, схема якого представлена на рис. 3.

Порівняльний аналіз схем ГПТ на основі ЗРЛЗЗ/ЗР і ЗРНЗЗ/ЗР показує, що для певного класу (n, m, k) схем ГПТ на основі ЗРНЗЗ/ЗР мають переваги в порівнянні з ГПТ на основі МЗРЛЗЗ/ЗР як по довжині тесту, так і по апаратурних витратах.

Для побудови легко тестованих модулів сигнатурного моніторингу запропоновано на етапі структурного синтезу використовувати коди, що породжують гамільтонові цикли в ЗР. Показано, що для будь-якого детермінованого автомата існує оптимальний код, який незалежно від властивостей початкової ТПВ автомата дозволяє здійснити його розширення введенням одного вхідного символу, що забезпечує мінімальність, сильнозв'язаність автомата й існування в ньому відмітної послідовності мінімальної довжини.

Практична корисність запропонованого методу оптимального кодування станів автомата підтверджується реалізацією різних лічильникових схем і мікропрограмних автоматів.

У четвертому розділі розроблено методи синтезу генераторів псевдовипадкових послідовностей на одновимірній мережі клітинних автоматів (МКА), представлений на рис. 4.

Функція збудження тригера M , рівна $z_i(t + 1) = f(z_{i-1}(t), z_i(t), z_{i+1}(t))$, називається правилом настройки i -го КА. Правило настройки – це автоматна модель поведінки КА залежно від станів сусідніх клітинок.

Визначення 3. Мережа клітинних автоматів, всі клітинки якої побудовані за одним і тим же правилом, називається однорідною МКА, інакше вона називається гібридною МКА.

Визначення 4. Однорідна або гібридна МКА називається аддитивною МКА, якщо правила настройки клітин є класом лінійних логічних функцій.

Показано, що всі аддитивні правила настройки МКА дозволяють генерувати циклічні послідовності різної довжини залежно від початкових станів клітин і граничних умов. Проте однорідні аддитивні МКА не дозволяють генерувати послідовності максимальної довжини. Для аналізу поведінки гібридних аддитивних МКА запропоновано використовувати матричну модель її структури.

Визначення 5. Квадратна матриця розмірності $n \times n$, яка представляє правила настройки МКА, називається характеристичною матрицею, в якій i -й рядок матриці представляє правило настройки i -го клітинного автомата.

Характеристична матриця може бути представлена у вигляді:

$$T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} & a_{45} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n(n-1)} & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (5)$$

де $a_{ij} = \{0, 1\}$ відображають правила настройки i -го клітинного автомата мережі.

Характеристична матриця дозволяє представити автоматну модель аддитивної МКА у вигляді:

$$[f_{t+1}(x)] = [T][f_t(x)],$$

$$[f_{t+n}(x)] = [T]^n [f_t(x)], \text{ де } T \text{ – квадратна матриця з елементами поля } GF(2).$$

Твердження 1. Мережа клітинних автоматів генерує множину векторів з властивостями групи тоді і тільки тоді, коли $\det[T] = 1$.

Твердження 2. Мережа клітинних автоматів з $[T]^n = I$ формує циклічні послідовності завдовжки p або кратної p з ненульовим початковим станом тоді і тільки тоді, коли $\det[T^p + I] = 0$.

Твердження 3. Якщо довжина циклу є складовим числом, то МКА генерує циклічні послідовності довжиною, рівною його множникам.

Твердження 1, 2, 3 визначають необхідні й достатні умови еволюції МКА, що генерує множину двійкових векторів, які разом з операцією множення утворюють групу і дозволяють формувати циклічні послідовності необхідної довжини.

Аналіз структури ЗРЛЗЗ з позицій матричної моделі МКА дозволяє довести справедливості наступного твердження.

Твердження 4. Характеристичний многочлен матриці $[T]$ МКА еквівалентний характеристичному многочлену $f(x)$ ЗРЛЗЗ, що генерує еквівалентну циклічну послідовність.

Таким чином, ЗРЛЗЗ є одним з варіантів настройки гібридної аддитивної МКА і всі властивості ЗРЛЗЗ, як генератора послідовності максимальної довжини, ізоморфні властивостям гібридної аддитивної МКА при відповідних правилах її настройки. Ізоморфізм між МКА і ЗРЛЗЗ дозволяє знайти правила настройки МКА, що генеруює послідовності максимальної довжини.

Твердження 5. Мережа клітинних автоматів і ЗРЛЗЗ, які генерують послідовності максимальної довжини, мають ідентичні характеристичні многочлени.

Показано, що достатньо використовувати лише два правила настройки КА – 90 і 150, щоб забезпечити еволюцію МКА максимальної довжини. Розроблено метод і алгоритм синтезу МКА з

правилами еволюції для генерації послідовності максимальної довжини, засновані на твердженнях 4 і 5. Як приклад, в таблиці 1 наведені правила настройки МКА різної розмірності відповідно до розробленого алгоритму.

Таблиця 1.

Правила еволюції МКА для генерації послідовностей максимальної довжини

Довжина n	Характеристичний многочлен	Правила настройки МКА
8	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	150,150,90,150,90,150,90,90
10	$x^{10} + x^3 + 1$	90,150,90,150,90,150,90,150,90,90
16	$x^{16} + x^{12} + x^3 + x + 1$	150,150,90,150,90,150,90,150,90,150,90,150,90,90
19	$x^{19} + x^5 + x^2 + x + 1$	90,150,150,90,150,90,90,150,150,90,150,150,90,90,90,150,90,90,90
20	$x^{20} + x^3 + 1$	90,150,150,90,150,90,150,150,150,90,90,90,90,150,90,150,90,150,150,90

У п'ятому розділі проведено аналіз і оцінку властивостей ГТП на ЗРНЗЗ, моделювання модулів сигнатурного моніторингу, реалізованих на ПЛІС ALTERA MAX 7000S, і розрахунок достовірності функціонування БСА, що самоперевіряється.

Складність періодичної послідовності $(s) = (s_0, s_1, \dots, s_i, \dots)$, яка позначається $c(s)$, визначається якнайменшим числом розрядів ЗРЛЗЗ, що генерує (s) .

Нехай $B(2^r) = \{(s) = (s_0, s_1, \dots, s_{2^r-1}) = (L(s), R(s))\}$, $r \geq 1$, а $(L(s), R(s)) \in B(2^{r-1})$ - ліва і права половини вектора (s) . Якщо обчислити $b = R(s) - L(s)$, $b \in B(2^{r-1})$, то $c(s)$ визначається за такими правилами: а) якщо $b = 0$, то $c(s) = c(L(s))$; б) якщо $b \neq 0$, то $c(s) = 2^{r-1} + c(b)$.

На основі цих правил розроблено алгоритм і програму обчислення складності послідовностей де Брейна. Аналіз складності послідовностей, що генеруються r -розрядним ЗРНЗЗ, показує, що $c(s) \approx 2^r$, тобто практично наближається до верхньої межі показника складності, що дозволяє також ефективно використовувати такі генератори при створенні перешкодозахисних каналів зв'язку.

Проведено розрахунок достовірності функціонування БСА, що самоперевіряється, і моделювання на мові VHDL модулів сигнатурного моніторингу, які реалізовані на ПЛІС ALTERA MAX 7000S.

У додатку наведені докази тверджень і теорем (додаток А), правила настройки МКА для одержання послідовностей максимальної довжини (додаток Б), VHDL – моделі модулів сигнатурного моніторингу, програми аналізу лінійної залежності залишків і розрахунку складності послідовностей де Брейна на мові Visual C++ v.6.0 (додаток В), функції зворотного зв'язку ЗРЛЗЗ ступеня 16 для одержання послідовностей де Брейна і оцінка їх складності (додаток Г).

ВИСНОВКИ

Підсумком дисертаційної роботи є рішення важливої науково-технічної задачі забезпечення ефективності тестової і функціональної діагностики мікроконтролерних пристроїв управління, систем на одному кристалі на етапах їх проектування, виробництва і експлуатації. Для цього були розроблені методи синтезу і логічного проектування модулів сигнатурного моніторингу: генераторів тестових послідовностей, модулів компактного стиснення вихідних реакцій пристроїв, що самотестуються, модулів управління процесом діагностики, які можуть бути використані як убудовані на кристал або печатну плату схеми для реалізації псевдовичерпного або псевдовипадкового самотестування та забезпечити перевірку справності пристрою на його робочій частоті з гарантованою повнотою і мінімальними апаратними витратами.

Основні наукові й практичні результати:

- запропоновано новий метод синтезу генераторів псевдовичерпних тестів (ГПТ) на основі зсувних регістрів з лінійним зворотним зв'язком (ЗРЛЗЗ), який забезпечує більш просту реалізацію в порівнянні з відомими структурами. Визначені необхідні й достатні умови існування ГПТ з такою структурою;

- запропоновано новий метод синтезу багатоканального сигнатурного аналізатора, що самоперевіряється, на основі схеми потактного порівняння значень вихідних змінних;

- вперше розроблено метод синтезу ГПТ на основі зсувних регістрів з нелінійним зворотним зв'язком для псевдовичерпного тестування (n,m,k) схем. Показано, що задача синтезу ГПТ зводиться до знаходження клік графової моделі ЗР та мінімального покриття множини вхідних змінних клітками цього графа, що забезпечує побудову ГПТ мінімальної розмірності з мінімальною довжиною перевіряючої послідовності. Розроблено новий алгоритм синтезу на основі запропонованого підходу;

- вдосконалена матрична модель мережі клітинних автоматів (МКА), на основі якої визначений ізоморфізм генераторів на МКА і ЗРЛЗЗ. Розроблено метод синтезу генераторів послідовностей максимальної довжини на МКА і визначені властивості послідовностей, що генеруються;

- вдосконалено метод кодування станів автомата, що забезпечує його тестопридатну структурну реалізацію шляхом введення одного вхідного символу. Показано, що запропоноване розширення автомата має просту і регулярну структуру, яка в режимі тестування перетворюється в ЗР із

зворотним зв'язком у вигляді повторних і безповторних мереж Майтра. Показана ефективність реалізації цього підходу при реалізації модулів сигнатурного моніторингу;

- розроблені програмно-апаратні засоби синтезу модулів сигнатурного моніторингу використовувалися при розробці діагностичного забезпечення виконавчого автомата управління приводом ШЕМ – М системи управління і захисту реакторної установки, яка виконувалась на ВАТ ХАРТРОН, у складі убудованих засобів діагностування системи автоматизованого управління вирощуванням великогабаритних монокристалів у дослідному виробництві Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України (м. Харків), в учбовому процесі УкрДАЗТ і НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дербунович Л.В., Темников И.Н. Синтез самопроверяемого сигнатурного анализатора // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харків: ХДПУ. – 2000. – Вип. 92. – С. 100 – 103.

Здобувачем запропоновано метод побудови багатоканального сигнатурного аналізатора, що самоперевіряється, заснований на потактній перевірці вихідних сигналів у двох контрольних точках.

2. Дербунович Л.В., Косс М.Н., Темников И.Н. Синтез легко тестируемых дискретных устройств // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харків: ХДПУ. – 2000. – Вип. 102. – С. 46 – 51.

Здобувачем запропоновано метод знаходження послідовності двійкових символів, що породжують гамільтонів цикл в ЗР, циклічний зсув яких забезпечує варіант кодування автомата, оптимального за тестопридатністю.

3. Темников И.Н. Генератор нелинейной псевдослучайной тестовой последовательности // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харків: ХДПУ. – 2000. – Вип. 112. – С. 130 – 134.

4. Дербунович Л.В., Темников И.Н., Косс М.Н. Оптимальное кодирование состояний автомата // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: ХарДАЗТ. – 2000. – №2. – С. 70 – 73.

Здобувачем запропоновано метод перетворення несильнозв'язаних автоматних моделей дискретних пристроїв, що не мають відмітних і синхронізуючих послідовностей, в легко тестовані з мінімальними апаратними витратами на їх схемну реалізацію.

5. Темников И.Н. Анализ сложности нелинейных последовательностей максимальной длины // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – Харків: ХНУРЕ. – 2001. – Вип. 117. – С. 48 – 49.

6. Бережная М.А., Дербунович Л.В., Суздаль В.С., Тавровский И.Н., Темников И.Н. Отказоустойчивые системы управления на основе микроконтроллеров // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ ХПІ. – 2002. – Вип. 12. – С. 218 – 220.

Здобувачем запропоновано метод синтезу ГПТ, заснований на модифікації структури ЗРЛЗЗ/ЗР шляхом формування лінійно-незалежних залишків.

7. Темников И.Н. Достоверность работы самопроверяемого многоканального сигнатурного анализатора // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ. – 2003. – № 6. – С. 82 – 84.

8. Дербунович Л.В., Татаренко Д.А., Темников И.Н. Генераторы тестов для дискретных ДУ с самотестированием // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ. – 2004. – № 1. – С. 40 – 45.

Здобувачем проведена експериментальна оцінка ефективності сигнатурного моніторингу для виявлення переміжних несправностей.

9. Темников И.Н. Генераторы последовательностей максимальной длины на клеточных автоматах // Труды 7-й Международной конференции «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». – Харків – 2001. С. 297 – 298.

10. Темников И.Н. Методика синтеза генераторов М – последовательностей на клеточных автоматах // Системи обробки інформації. Збірка наукових праць. Вип. 6(16). – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2001. – С. 120 – 122.

11. Дербунович Л.В., Суздаль В.С., Тавровский И.И., Темников И.Н. Отказоустойчивые микроконтроллеры на основе сигнатурного мониторинга // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ. – 2002. – №4, 5. – С. 71 – 73.

Здобувачем запропоновано метод генерації перевіряючих тестів мережі клітинних автоматів і модель КЛБ ПЛІС у вигляді автомата Мура з двома станами.

12. Бережная М.А., Дербунович Л.В., Темников И.Н. Диагностирование ПЛИС на основе моделей клеточных автоматов // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ. – 2002. – додаток до журналу №4, 5. – с. 33.

Здобувачем запропоновано удосконалення діагностичного процесу для контролю правильності виконання управляючих програм мікроконтроллера шляхом використання уніфікованих модулів сигнатурного моніторингу.

АНОТАЦІЇ

Темніков І.М. Методи синтезу модулів сигнатурного моніторингу для дискретних пристроїв, що самотестуються. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2004.

Дисертація присвячена вирішенню задачі забезпечення ефективності тестової і функціональної діагностики мікроконтролерних пристроїв управління, систем на одному кристалі. Запропоновані: новий метод синтезу ГПТ на основі ЗРЛЗЗ, який забезпечує більш просту реалізацію в порівнянні з відомими структурами; метод синтезу сигнатурного аналізатора, що самоперевіряється, на основі схеми потактного порівняння значень вихідних змінних. Розроблені: новий метод синтезу ГПТ на ЗРНЗЗ для псевдовичерпного тестування (n,m,k) схем; алгоритм синтезу на основі запропонованого підходу; новий метод синтезу генераторів послідовностей максимальної довжини на МКА і визначені властивості послідовностей, що генеруються. Вдосконалено метод кодування станів автомата, що забезпечує його тестопридатну структурну реалізацію шляхом введення одного вхідного символу. Результати впроваджені у промисловість.

Ключові слова: сигнатурний моніторинг, генератори псевдовичерпних і псевдовипадкових послідовностей, матрична модель, компактне тестування, клітинний автомат, зсувні регістри з лінійними і нелінійними зворотними зв'язками.

Темніков І.Н. Методы синтеза модулей сигнатурного мониторинга для самотестируемых дискретных устройств. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2004.

Диссертация посвящена решению задачи повышения эффективности тестового и функционального диагностирования микроконтроллерных устройств управления, систем на одном кристалле на этапах их проектирования, производства и эксплуатации. Разработаны новые методы синтеза и логического проектирования модулей сигнатурного мониторинга: генераторов тестовых последовательностей, модулей компактного сжатия выходных реакций проверяемых устройств, модулей управления процессом диагностирования, которые могут быть использованы в качестве встроенных на кристалл или печатную плату схем для реализации псевдоисчерпывающего или псевдослучайного самотестирования и обеспечить проверку исправности устройства на его рабочей частоте с гарантированной полнотой и минимальными аппаратными затратами. Предложен

новый метод синтеза генераторов псевдоисчерпывающих тестов (ГПТ) на основе сдвиговых регистров с линейной обратной связью (СРЛОС), который обеспечивает более простую аппаратную реализацию по сравнению с известными структурами. Определены необходимые и достаточные условия существования ГПТ с такой структурой. Предложен метод синтеза самопроверяемого сигнатурного анализатора на основе схемы потактного сравнения значений выходных переменных. Разработан новый метод синтеза ГПТ на основе сдвиговых регистров с нелинейной обратной связью (СРНОС) для псевдоисчерпывающего тестирования (n,m,k) схем. Показано, что задача синтеза ГПТ сводится к нахождению клик графовой модели СР и минимального покрытия множества входных переменных кликами этого графа, что обеспечивает построение ГПТ минимальной размерности с минимальной длиной проверяющей последовательности. Разработан алгоритм синтеза на основе предложенного подхода. Усовершенствована матричная модель сети клеточных автоматов (СКА), на основе которой определен изоморфизм генераторов на СКА и СРЛОС. Разработан новый метод синтеза генераторов последовательностей максимальной длины на СКА и определены статистические свойства генерируемых последовательностей. Усовершенствован метод кодирования состояний автомата, обеспечивающий его тестопригодную структурную реализацию путем введения одного входного символа. Показано, что предложенное расширение автомата имеет простую и регулярную структуру, которая в режиме тестирования преобразуется в СР с обратной связью в виде повторных и неповторных сетей Майтра. На основе метода кодирования состояний автомата, оптимального по тестопригодности, получена схема генератора псевдоисчерпывающих и псевдослучайных последовательностей. Проведен анализ свойств ГПТ на СРНОС, моделирование модулей сигнатурного мониторинга, анализ достоверности функционирования самопроверяемого многоканального сигнатурного анализатора.

Ключевые слова: сигнатурный мониторинг, генераторы псевдоисчерпывающих и псевдослучайных последовательностей, матричная модель, компактное тестирование, клеточный автомат, сдвиговые регистры с линейными и нелинейными обратными связями.

Temnikov I.N. The methods of synthesis of signature monitoring modules for self-testing digital devices. – Manuscript.

Thesis for claiming Candidate Science degree in speciality 05.13.05 – elements and devices computer equipment and control systems. National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. Kharkiv, 2004.

Thesis is devoted to the development and implementation of the new methods of synthesis of signature monitoring units providing more effective diagnostic experiment into self-testing systems on chip and microcontrollers. The main goal of these techniques is to minimize the cost of diagnostic means.

New methods of test patterns generators (TPG) design for pseudoexhaustive testing based on using Linear and Nonlinear Feedback Shift Registers are presented. Newly-developed algorithmic procedures make it possible to design TPG modules for given (n,m,k) combinatorial circuits with minimal hardware overheads. The study of one-dimensional cellular automata (CA) exhibiting group properties for design TPG for pseudorandom testing logic circuits is presented. It has been shown how hybrid additive rules can be represented by means of characteristic matrix, representing CA. The method of transformation of arbitrary finite state machine into easy testable one, adding one input symbol is proposed. This method allows to design signature analyzers and test control units with minimal length distinguishing sequence and hardware overheads.

Keywords: signature monitoring, test pattern generator, pseudoexhaustive and pseudorandom testing, signature analyzer, finite state machine.

Підписано до друку 16.09.2004 р. Формати видання 145×215.

Формат 60×90/16. Папір офсетн. Друк – ризографія.

Обсяг 0,9 авт. арк. Гарнітура Times New Roman.

Наклад 100 прим. Зам. № 420540

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.

Свідоцтво № 04058841 Ф0050331 від 21.03.2001р.

61024, м. Харків, вул. Гуданова, 4/10
