

УДК 518.681

**С. І. Перевозніков**, д-р техн. наук, проф.;**Л. В. Крупельницький**, канд. техн. наук, доц.;**В. С. Озеранський**, асп.

## ШТУЧНІ ГЕНЕРУВАЛЬНІ СТРУКТУРИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ

*Проаналізовано особливості формування штучних генерувальних структур за допомогою внесення до складу схеми цифрового пристрою (ЦП) тимчасових зв'язків між внутрішніми вузлами. З'ясовано умови реструктуризації схеми ЦП, які пристосовані до організації процесу тестування. Розроблено методику формування генераторів зворотних зв'язків, які не потребують особливого тестування елементів.*

### Вступ

Діагностичні властивості засобів тестування в багатьох випадках безпосередньо впливають на глибину пошуку несправностей, формуючи тим самим класи об'єктів свого застосування. Серед таких тестерів в умовах виробництва виділяють системи покомпонентного (пофрагментного) діагностування, в яких конструктивно здійснюється доступ до внутрішніх вузлів (контрольних точок (КТ)) об'єктів. Процес тестування представляє собою стимуляцію КТ тестовими сигналами з боку діагностичних засобів і зняття значень вихідних сигналів, які порівнюються з еталонами. Особливостями такого підходу є створення електричних умов ізоляції компонентів, що тестуються.

*Метою дослідження є автоматизація процесу формування штучних компонентних структур, які здатні генерувати власні послідовності тестових сигналів. Це дає можливість скоротити загальний час пошуку несправностей в схемах ЦП за рахунок спрощення процедур тестування.*

### Постановка задачі

Як показав аналіз сучасних систем діагностування, особливе місце у виробництві електронного обладнання займають системи покомпонентного діагностування. Такі засоби характеризуються простотою виконання та мобільністю налаштування на постійні зміни типів об'єктів тестування [1].

Однією із задач, які потрібно розв'язувати, є задача розбиття схем ЦП на певні складові частини (компоненти). Але задачі тимчасової композиції схем ЦП формально зводяться до введення в структуру схеми ЦП штучних зв'язків з боку засобів діагностування. Відомо, що не існує стандартних способів розбиття схеми ЦП, які спрощують і прискорюють процес пошуку несправностей.

*Метою статті є розробка методів реструктуризації схеми ЦП, що базуються на формуванні тимчасових штучних генераторів тестових сигналів, які створено з елементів самої схеми ЦП.*

### Розв'язання задачі

Особливістю тестерів зазначеного класу є можливість змінювати структури ЦП за рахунок комутації внутрішніх КТ, тим самим тимчасово формуючи штучні фрагменти схем, які найбільше пристосовані для процесів пошуку несправностей. При цьому здійснюються часові обмеження комутації внутрішніх вузлів (при подачі напруги) об'єктів, реалізованих, наприклад, на ТТЛ, ТТЛШ схемах серій 74AS, К1531.

**Властивість 1.** Час тимчасового об'єднання вихідних каскадів елементів за типом «монтажне І» не має перевищувати 65 мсек у разі домінуючого сигналу лог. 0 (міжнародний стандарт 0053.1 — ITF DEF SIN).

**Властивість 2.** Час наведення тестового сигналу лог. 0 на вихід елемента, який знаходиться в стані лог. 1, не має перевищувати 1 сек [2].

**Властивість 3.** Час наведення тестового сигналу лог. 1 на вихід елемента, який знаходиться в стані лог. 0, не має перевищувати  $\approx 0,3$  мсек.

Для тестування штучно сформованого фрагмента схеми ЦП можна скористатися зовнішнім генератором тестових імпульсів з боку засобів діагностування. При цьому така штучна (комутована)

структура має вигляд ланцюга, показаного на рис. 1. При цьому в КТ 2 «замішуються» тестові сигнали згідно з властивістю 1. Подавати сигнал лог. 1 генератором не обов'язково: він встановлюється безпосередньо елементом D 1.1 під час подачі апаратними засобами потенціалу лог. 0 в КТ 1 з дотриманням умови властивості 2.

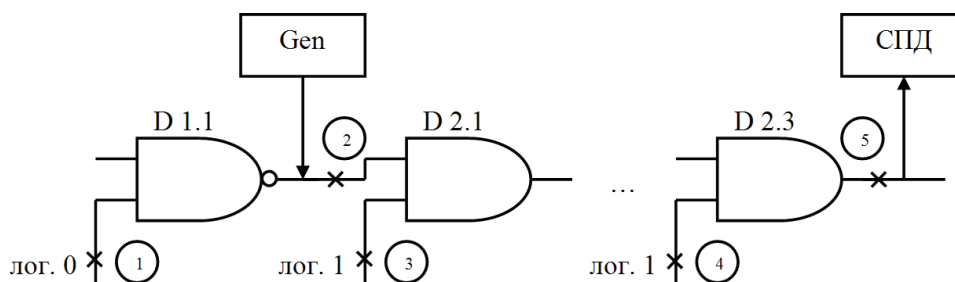


Рис. 1. Штучна ланцюгова структура

Під час тестування на виході ланцюга, який перевіряється, фіксуються імпульси, характеристики яких змінюються зі збільшенням частоти генератора. Так, з підвищенням частоти тестових імпульсів (з 50 кГц до 200 кГц) з метою прискорення тестування елементів ланцюга спостерігається часовий зсув вихідного сигналу. На рис. 2 показано часові особливості проходження тестових імпульсів.

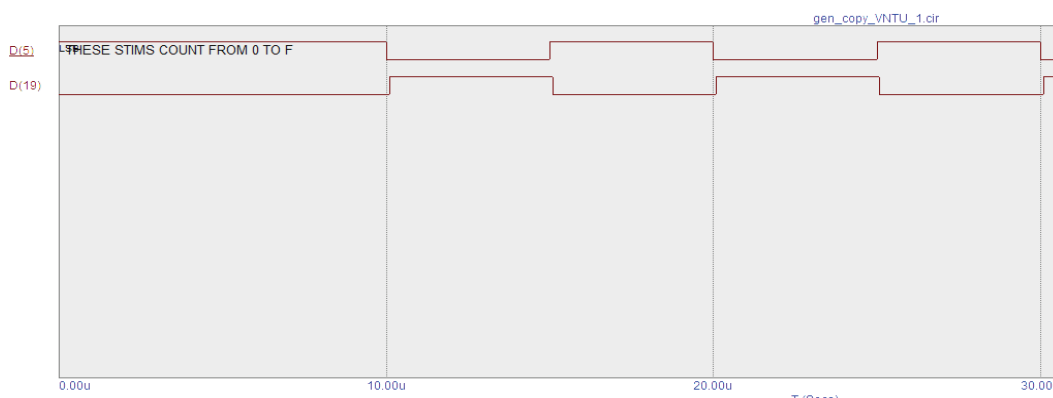


Рис. 2. Часові діаграми тестування штучного ланцюга

За наявності несправності в структурі штучно сформованого ланцюга, яка призводить до встановлення на виході останнього елемента постійного потенціалу лог. «0» або лог. «1», генерація не фіксується (рис. 3).

Аналіз штучних структур тестування показав, що особливе місце серед них займають штучні фрагменти схем, які комутовані з тимчасовими зворотними зв'язками.

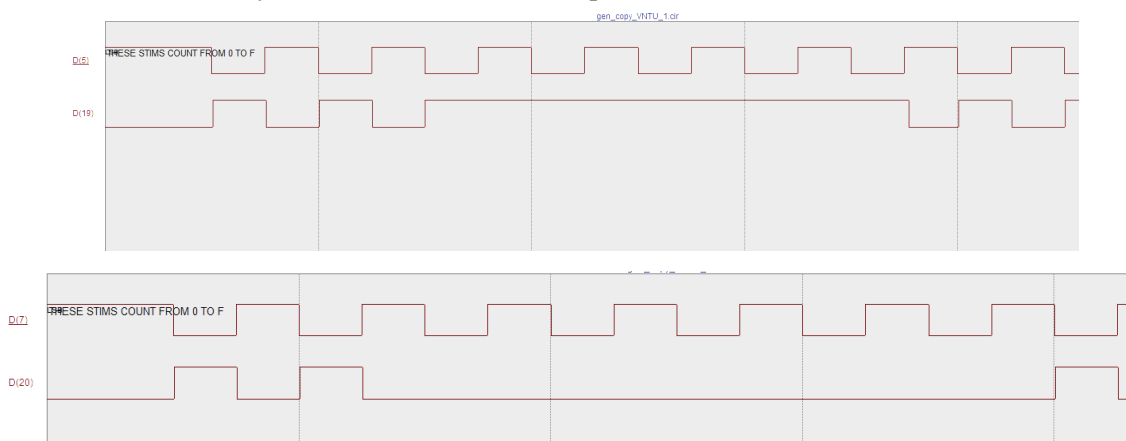


Рис. 3. Часові діаграми тестування ланцюга за наявності несправності

Такі підструктури за відповідних умов здатні самі генерувати імпульсні сигнали незалежно від засобів діагностування (останні тільки фіксують наявність генерації, не користуючись самими програмами тестування елементів таких контурів). Наявність послідовності сигналів свідчить про відсутність несправностей елементів, які складають ланцюги тестування.

Так, на рис. 4 показаний фрагмент схеми пристрою, який має штучний генератор, побудований на тимчасовому зворотному зв'язку елемента D 1.1 (КТ 2). Послідовність тестових сигналів такого генератора надходить на схеми паралельно з'єднаних ланцюгів елементів. В КТ 5, 10, ..., 15 засобами тестування фіксуються відповідні зміни рівнів напруг.

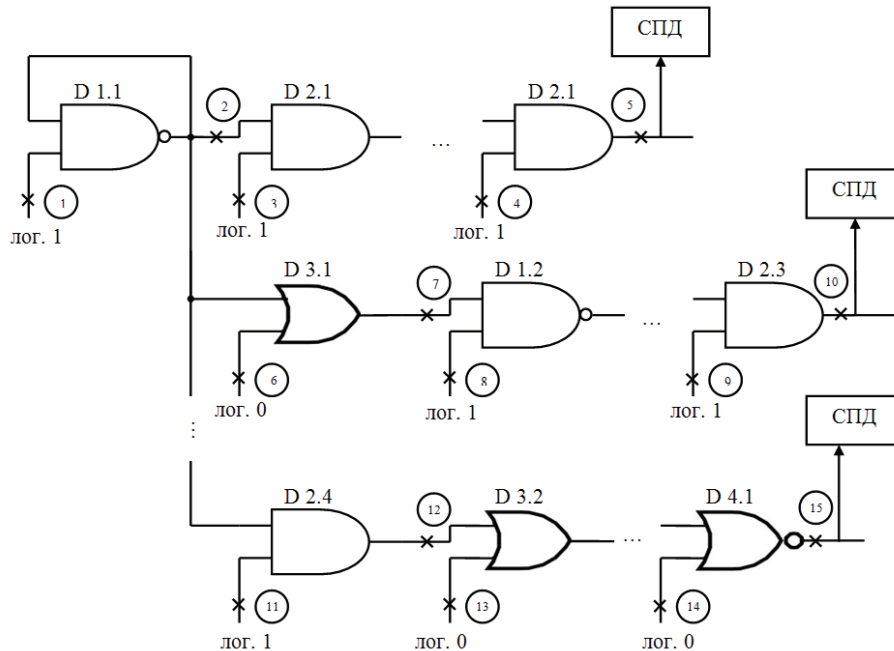


Рис. 4. Штучні ланцюгові структури з генерувальним елементом

Не порушуючи загальності, визначимо основні кроки відповідної методики тестування схем, створених на основі тимчасових генераторів із елементів самих ЦП і штучних зв'язків з боку засобів пошуку несправностей (алгоритм 1).

- Крок 1. Сформувані множини  $M$  внутрішніх вузлів для подальшої комутації ланцюгових тестових структур.
- Крок 2. Визначити вектор  $V$  тестових сигналів, реалізація якого встановить рівні лог. 1 на входах кожного елемента множини  $M$ .
- Крок 3. Визначити генерувальний елемент. Подати блокуючий сигнал на один з його входів.
- Крок 4. Замкнути зворотній зв'язок з виходу генерувального елемента на його інший вхід.
- Крок 5. Зняти блокуючий сигнал з входу генерувального елемента.
- Крок 6. Виміряти процес зміни рівнів напруг на виході генерувального елемента.
- Крок 7. Якщо генерація відсутня, то видати діагностичне повідомлення та перейти до кроку 15, інакше — до кроку 8.
- Крок 8. Реалізувати вектор  $V$  шляхом подачі у внутрішні вузли відповідних тестових сигналів, не порушуючи обмежень властивості 2.
- Крок 9. Якщо у вузлових точках встановлено рівні лог. 1, то перейти до кроку 10; інакше — видати діагностичне повідомлення і перейти до кроку 15.
- Крок 10. Комутувати відповідні внутрішні вузли засобами діагностування (сформувані штучні зв'язки, як для ланцюгових структур тестування), не порушуючи обмежень властивості 1.
- Крок 11. Об'єднати входи ланцюгових структур з виходом генерувального елемента.
- Крок 12. Вибрати наступну ланцюгову структуру.
- Крок 13. Виміряти процес генерації. Якщо генерація відсутня, видати діагностичне повідомлення та перейти до кроку 15.
- Крок 14. Якщо наступна структура остання, то перейти до кроку 15, інакше — перейти до кроку 12.

Крок 15. Розімкнути штучні зв'язки.

Крок 16. Кінець.

Слід зазначити, що процес діагностування тим ефективніший (потребує меншого часу), чим менша частина ланцюгів елементів створює подібні штучні утворення. Відсутність генерації на виході хоча б одного ланцюга передбачає перехід, наприклад, на поелементний пошук несправного елемента або створення інших фрагментів схем з елементами перетинання, з «підозрілим» включно.

Пошук ефективних структур зі скороченим часом генерації призводить безпосередньо (в межах умов властивостей 1—3) до пошуку можливостей розпаралелювання процесів генерації сигналів в контурах схем. В таких компонентах процес генерації в одному контурі фізично впливає на аналогічний процес в інших контурах, які комутовані в паралельну структуру (наприклад, об'єднані по входах).

**Властивість 4.** Для самогенерації в структурі паралельно з'єднаних ланцюгів елементів достатньо наявності генерації в одному, будь-якому контурі із них.

Такі процедури, як правило, швидкодійні і мають свої електричні особливості перебігу — за короткий час генерація припиняється і в кожному контурі формується рівень напруги 1,5—1,7 В (назвемо їх режимом X-стану ( $X$ )). Такі особливості стосуються, як правило, повільно діючих схем, наприклад, серій 1533 (74L).

Цей процес непрямо свідчить про відсутність несправності в паралельних контурах. Такого самого ефекту можна досягнути шляхом подання тестових сигналів з генератора високої частоти на сформовані паралельні ланцюгові структури. Але такі генератори обмежені у своєму використанні як складова СПД. Тому для досягнення ефекту X-стану можна скористатися особливістю самогенерації елементів структури, яка тестується.

На рис. 5. показаний запропонований варіант створення подібних структур (об'єднаних як по входах, так і по виходах) шляхом введення єдиного каналу зворотного зв'язку для усіх паралельних ланцюгів (КТ 6). Але процес створення такої структури має свої особливості. Аналіз показав, що загальний час затримки проходження тестових сигналів у кожного ланцюга, які паралельно з'єднані, має відрізнятися один від одного в середньому на величину, кратну тринадцяти наносекунд. Це дає змогу спростити процес тестування завдяки вимірюванню сформованого саме X-стану (тобто напруги 1,5—1,7 В) в будь-якій КТ паралельної структури з повільнодіючими її елементами, наприклад, серій 1533 (74L).

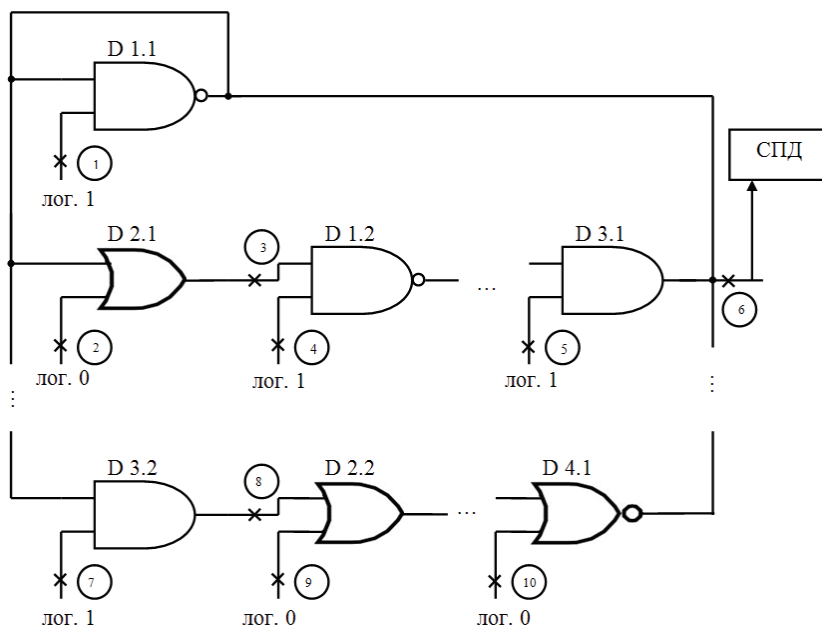


Рис. 5. Штучні паралельні ланцюгові структури

Моделювання (формування) подібних процесів показало, що розбаланс затримок проходження тестових сигналів самогенерації в будь-яких двох контурах може бути нестабільним — тимчасово припиняється і самовідновлюється до стабільного стану в часі. Приклад часової затримки і формування стабільного процесу в зворотному контурі показано на рис. 6 для схеми рис. 7. А на рис. 8

показано усереднений графік вибору часу вимірювання стабільного процесу самогенерації і створення контурів з урахуванням часових затримок формування X-стану в ланцюгах структури, що тестується.

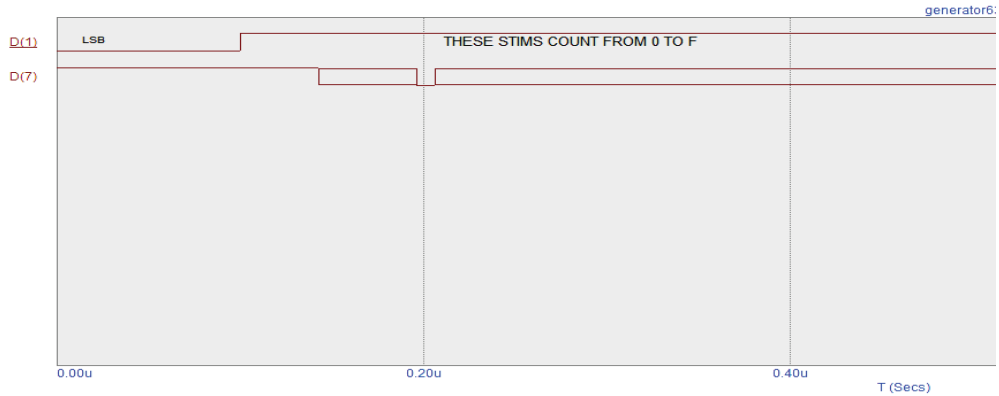


Рис. 6. Часові затримки та стабільність формування X-стану

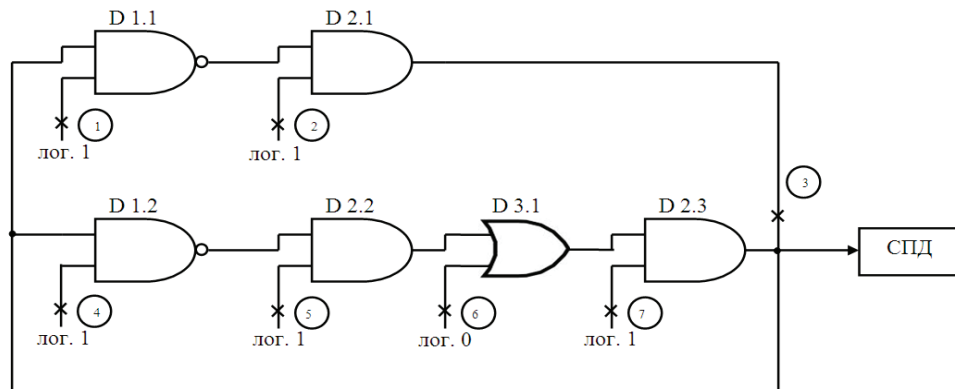


Рис. 7. Схема штучної структури ЦП

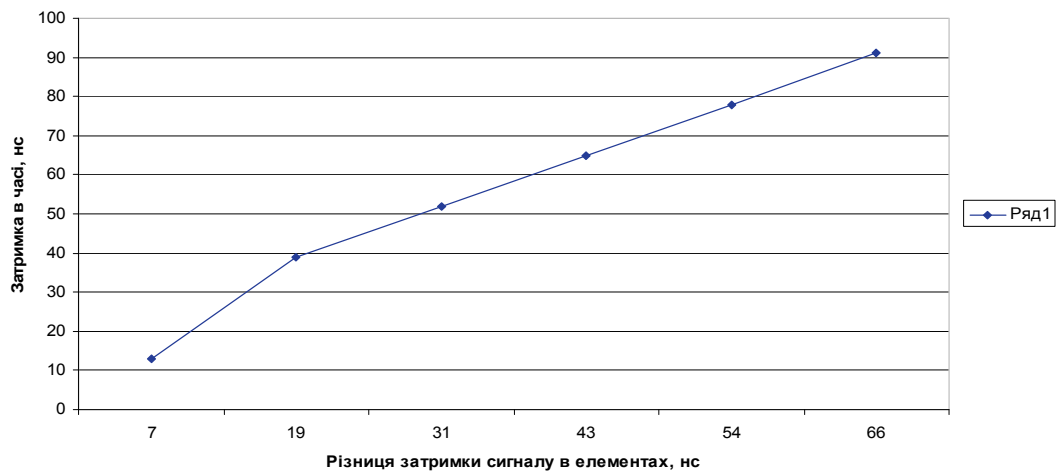


Рис. 8. Залежність часу вимірювання від затримки тестових сигналів в ланцюгах штучних структур

Методика тестування схем, створених на основі загального каналу зворотного зв'язку для всіх сформованих контурів має вигляд (алгоритм 2).

- Крок 1. Сформувати множину  $M$  внутрішніх вузлів для подальшої комутації ланцюгових тестових структур.
- Крок 2. Визначити вектор  $V$  тестових сигналів, реалізація якого встановить рівні логічної 1 на входах елементів множини  $M$ .
- Крок 3. Визначити генерувальний елемент. Подати блокуючий сигнал на один з його входів.
- Крок 4. Замкнути зворотній зв'язок з виходу генерувального елемента на його інший вхід.

- Крок 5. Зняти блокуючий сигнал з входу генерувального елемента.
- Крок 6. Виміряти процес зміни рівнів напруг на виході елемента, що генерує;
- Крок 7. Якщо генерація відсутня, то видати діагностичне повідомлення та перейти до кроку 15, інакше — йти до кроку 8.
- Крок 8. Реалізувати вектор  $V$  шляхом подачі у внутрішні вузли відповідних тестових сигналів, не порушуючи обмежень властивості 2.
- Крок 9. Якщо у вузлових точках встановлено рівні логічної 1, то перейти до кроку 10, інакше — видати діагностичне повідомлення і перейти до кроку 15.
- Крок 10. Комутувати відповідні внутрішні вузли засобами діагностування (сформувати штучні зв'язки, як для ланцюгових структур тестування), не порушуючи обмежень властивості 1.
- Крок 11. Об'єднати входи ланцюгових структур із входом генерувального елемента зі зворотним зв'язком.
- Крок 12. Об'єднати виходи ланцюгових структур.
- Крок 13. Виміряти рівень напруги в точці з'єднання виходів ланцюгових структур. Якщо рівень напруги виходить за межі 1,5—1,7 В, видати діагностичне повідомлення, перейти до кроку 15, інакше — перейти до кроку 14.
- Крок 14. Виміряти рівень напруги в КТ 6, 8 (для рис. 5), тобто на входах кінцевих елементів ланцюгових структур. Якщо рівень напруги виходить за межі 1,5—1,7 В, то видати діагностичне повідомлення, інакше — перейти до кроку 15.
- Крок 15. Розімкнути штучні зв'язки.
- Крок 16. Кінець.

Перебіг процесів генерації тестових сигналів в штучних компонентах, які реалізовані на швидкодіючих елементах (див. рис. 5), наприклад, серій 74F, 74AS, має іншу особливість: режим Х-стану для таких структур не формується. На рис. 9 показана типова часова характеристика процесу генерації сигналів. За наявності неактивних значень потенціалів на входах всіх елементів активізованих шляхів, що тестуються, формується строб (рівень логічної 1) ланцюгом з більшою часовою затримкою, який «пропускає» серію тестових імпульсів контуру з меншим часом тривалості сигналів. Це дає можливість фіксувати процес генерації в одній КТ (для схеми на рис. 7 це КТ 3). При цьому в алгоритмі 2 зміниться дія кроку 13 і кроку 14 на підрахунок кількості тестових сигналів в КТ 3 і їх порівнянням з контрольною сумою (еталоном).

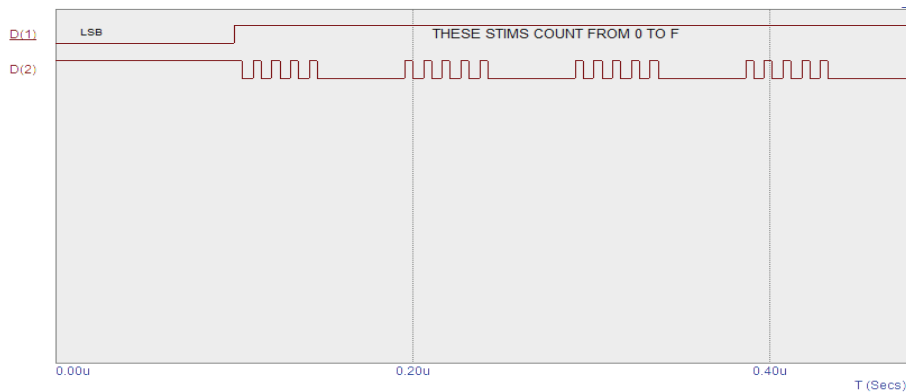


Рис. 9. Наявність генерації у схемах із швидкодіючими елементами

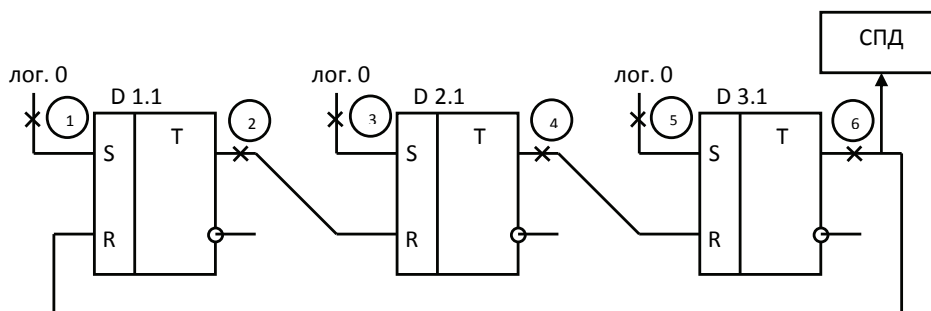


Рис. 10. Генерувальна тригерна структура

Розробка відповідного програмного забезпечення (на основі алгоритмів 1, 2) є складовою частиною загального комплексу процедур покомпонентного діагностування цифрових пристроїв для тимчасових штучних структур.

### Висновки

Запропонований підхід дозволяє скоротити загальний час пошуку несправностей цифрових пристроїв за рахунок особливостей формування фізичних процесів, які відбуваються у комутованих ланцюгах схем. При цьому в кожному вимірюванні (згідно з алгоритмами тестування) міститься інформація про окремий ланцюг штучної структури, що дає можливість прискорити локалізацію спрямованого пошуку несправностей. Слід зазначити, що формування генерувальних штучних структур можливе з елементами середнього і великого ступенів інтеграції. Для цього достатньо представити їх структури в умовах скомутованих шляхів, які активізуються, як показано на рис. 10 для тригерних ланцюгів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Городецкий Ами. Снова о внутрисхемном тестировании / Ами Городецкий // Компоненты и технологии. — 2011. — № 7. — 3 с.
2. Аналіз композиційного підходу формування штучних фрагментів цифрових схем, як об'єктів внутрішньосхемного діагностування / [С. І. Перевозніков, Н. О. Біліченко, М. А. Очуров, В. С. Озеранський] // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2007. — № 2(9). — 6 с.
3. Перевозніков С. І. Стратегії прискореного діагностування цифрових схем / С. І. Перевозніков, М. А. Очуров, В. С. Озеранський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2008. — № 1(11). — 12 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних наук

Стаття надійшла до редакції 8.02.2013  
Рекомендована до друку 19.03.2013

**Перевозніков Сергій Іванович** — завідувач кафедри, **Озеранський Володимир Сергійович** — аспірант.

Кафедра комп'ютерних наук;

**Крупельницький Леонід Віталійович** — доцент кафедри обчислювальної техніки.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця