

програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах / М.М.Климаш, М.О.Селюченко, О.М.Панченко // X Міжнародна науково -технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» ПТ-2016: Збірник матеріалів конференції (м. Київ, 19-22 квітня 2016 р.). - К.: НТТУ «КПІ», 2016. - С.345-347.

2. Стеклов В.І. Проектування телекомунікаційних мереж. Підручник для студ. вищ. навч. закл. за напрямком "Телекомунікації"/ В.І. Стеклов, Л.Н.Беркман // -К.: Техніка, 2002.-792 с.

## **Підвищення тестопридатності цифрових об'єктів діагностування на основі послідовної структурної декомпозиції**

Козенюк О.М.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Чешун В.М.

Хмельницький національний університет

Через неможливість комплексного вирішення всіх задач технічної діагностики, що виникають при організації експериментів з тестових перевірок будь-якого сучасного цифрового об'єкта діагностування (ЦОД), постановку експерименту розбивають на підзадачі, кожна з яких орієнтована на вирішення певних завдань і має обмежений спектр застосування. Для вирішення зазначених завдань також використовуються спеціалізовані методи, орієнтовані саме на даний клас задач і, відповідно, з обмеженою сферою застосування.

Таким чином, при постановці будь-якого завдання технічної діагностики сучасних ЦОД потрібно обмежити сферу актуальності задач даного завдання і уточнити вимоги щодо очікуваних результатів. Аналогічно, обмежити сферу актуальності задач і уточнити вимоги щодо очікуваних результатів необхідно при формуванні опису методу структурної декомпозиції цифрових об'єктів діагностування.

Першочергово визначимо загальні положення методу:

- метод структурної декомпозиції ЦОД орієнтований на застосування на завершальному етапі проектування схем функціонально-завершених цифрових вузлів або пристроїв;

- метод призначений для забезпечення рівня тестопридатності ЦОД відповідно висунутим вимогам щодо глибини їх діагностування;

- метод орієнтований на декомпозицію і аналіз структурної організації ЦОД з метою визначення мінімально-достатнього набору контрольних точок для реалізації діагностичних перевірок із заданою точністю, а також шляхів і способів транспортування діагностичних даних (сигналів) в структурі об'єкта діагностування;

- за результатами застосування методу можуть бути сформульовані

вимоги щодо забезпечення доступу до мінімально-достатнього набору контрольних точок для реалізації діагностичних перевірок, а також рекомендації щодо структурної реорганізації схеми об'єкта діагностування для збільшення його тестопридатності;

- вихідними даними для реалізації методу є інформація про структурну організацію ЦОД як сукупності інтегральних компонентів  $w_h \in W$  з фіксованим набором контактів і зв'язків між ними, а також діагностичні тести, необхідні для відокремленої перевірки кожного компонента  $w_h \in W$  із заданою точністю.

Деталізуємо наведені базові вимоги.

Першочергово, метод структурної декомпозиції ЦОД орієнтований на застосування на завершальному етапі проектування схем функціонально-завершених цифрових вузлів або пристроїв, які при застосуванні методу розглядаються в якості ЦОД, і призначений для забезпечення рівня тестопридатності створення цифрових вузлів (пристроїв) відповідного висунутим вимогам щодо глибини діагностування.

Приведення структури ЦОД до умов тестопридатності проводиться з позицій забезпечення необхідної глибини пошуку несправностей, тому першочергово слід ввести обмеження щодо глибини діагностування, на яку буде зорієнтовано метод.

Найпростішим варіантом перевірки ЦОД є їх перевірка за принципом «справний-несправний», але така перевірка, поряд з максимальною простотою реалізації, є малоінформативною і не може бути прийнята за обмеження глибини пошуку несправностей для методу структурної декомпозиції ЦОД, оскільки, фактично, жодним чином не вказує на місце виникнення і тип несправності в складі ЦОД.

В розгляді будь-яких ЦОД при їх тестовому діагностуванні важливою є структурна будова досліджуваного об'єкта, яка, фактично, може бути представлена у вигляді множини окремих блоків (вузлів, схем або інших структурних одиниць тощо), на пошук несправностей орієнтовані процедури діагностування.

Не має потреби і занадто завищувати вимоги щодо глибини діагностування цифрових об'єктів, зокрема, не доцільно заглиблюватись при пошуку місця виникнення дефектів і зумовлених ними несправностей у внутрішню будову інтегральних компонентів з двох основних причин:

- пошук дефектів у внутрішній структурі інтегральних компонентів, що є складовими частинами ЦОД, для більшості задач технічної діагностики не є необхідним, оскільки ремонт або заміна складових частин в середині інтегрального компонента не є можливими;

- пошук дефектів із заглибленням у внутрішні вузли інтегральних компонентів призводить до невиправданого багатократного збільшення складності застосовуваних тестів і до надмірного збільшення вартості

синтезу таких тестів.

На сьогоднішній день, як правило, вважається, що глибина діагностування може вважатися досягнутою, якщо пошук несправностей ЦОД проводиться до рівня окремих інтегральних компонентів (мікросхем), при чому самі зазначені інтегральні компоненти проходять повну діагностичну перевірку для встановлення діагнозу за принципом «справний-несправний».

Отже, при розгляді методу структурної декомпозиції ЦОД введемо за необхідну вимогу щодо глибини діагностування ЦОД забезпечення можливості їх перевірки із локалізацією місця виникнення несправностей з точністю до інтегрального компонента та класифікацією стану перевірених компонентів за принципом «справний-несправний». Ознакою справності ЦОД в цілому будемо вважати проходження всіма компонентами, наявними в їх структурі, всіх передбачених планом експерименту діагностичних перевірок з діагнозом «справний».

За висновками, що були зроблені при обґрунтуванні математичної моделі методу структурної декомпозиції ЦОД, такий підхід є виправданим з цілого ряду причин:

- більш глибока деталізація структурної будови цифрового пристрою для більшості задач технічної діагностики не є необхідною, оскільки ремонт або заміна складових інтегрального компонента не є можливими;

- деталізація структурної будови цифрового пристрою з точністю до інтегрального компонента дозволяє перейти до спрощених моделей його представлення із обґрунтованим збереженням можливостей проведення діагностичних випробувань відповідно до заданих вимог із застосуванням методу структурної декомпозиції ЦОД;

- розгляд ЦОД як сукупності інтегральних компонентів дозволяє зводити задачу діагностування цифрового об'єкта з рівня «чорного ящика» до рівня взаємопов'язаної сукупності інтегральних компонентів з певними відомими характеристиками;

- для інтегральних компонентів в діагностичних бібліотеках з більшою вірогідністю можуть бути наявні дані щодо типів можливих несправностей та статистичних ймовірностей їх виникнення, ніж для цілого пристрою (особливо на етапі проектування схем зазначених пристроїв, де і планується застосовувати метод структурної декомпозиції ЦОД). За відсутності безпосередніх даних про несправності наявного інтегрального компонента, відповідні дані можуть бути прогнозовані експертами або експертними системами на підставі накопиченої діагностичної інформації про аналогічні або споріднені компоненти;

- для інтегральних компонентів фірмою-виробником можуть надаватися перевірочні тести або технічна документація, достатня для створення таких тестів, що спрощує перехід від покомпонентних тестів до

структурного тестування, особливо із застосуванням пропонованого методу структурної декомпозиції ЦОД. За відсутності подібних тестів від виробника, їх, знову ж таки, можна створити з діагностичних бібліотек на підставі накопиченої діагностичної інформації про тестування аналогічних або споріднених компонентів, що є значно простішим, ніж розробка тестів для ЦОД одразу в цілому.

Виходячи з вже визначених положень, що метод структурної декомпозиції ЦОД призначений для забезпечення рівня тестопридатності створюваних цифрових вузлів (пристроїв) відповідного висунутим вимогам щодо глибини діагностування, а також з того, що в даній кваліфікаційній роботі глибина діагностування обмежується перевіркою справності інтегральних компонентів, які входять до складу ЦОД, з локалізацією місця виникнення несправності з точністю до компонента, для реалізації методу обов'язковою є наявність опису множини структурних складових ЦОД (з точністю до компонента).

Згідно з математичною моделлю методу, загальне структурне представлення ЦОД буде відображається множиною структурних складових ЦОД  $W: \{w_1, w_2, \dots, w_h, \dots, w_n\}$ .

Таким чином, якщо будь-який елемент  $w_h \in W$  є представленням неподільного інтегрального компонента в складі досліджуваного ЦОД, то загальна кількість елементів цієї множини  $n = |W|$  має відповідати числу інтегральних компонентів (мікросхем), з яких зібрано схему об'єкта діагностування.

При реалізації методу можна враховувати, що структурні складові ЦОД діляться два структурні складові, що являють собою схеми комбінаційного типу, і структурні складові, що являють собою схеми з пам'яттю або, в альтернативній класифікації, схеми послідовнісного типу.

З урахуванням поділу множини структурних складових ЦОД на схеми комбінаційного типу і на схеми з пам'яттю, в складі множини можна відокремити дві різнотипних підмножини:  $W_k: \{w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{ki}, \dots, w_{km}\}$  - множина структурних складових ЦОД комбінаційного типу;  $W_n: \{w_{n1}, w_{n2}, \dots, w_{ni}, \dots, w_{nm}\}$  - множина структурних складових ЦОД послідовнісного типу (структурних складових з пам'яттю). Нажаль, переважна більшість інтегральних компонентів сучасних ЦОД є структурними складовими з пам'яттю, тому акцентувати увагу на поділі множини структурних складових ЦОД  $W$  на підмножину структурних складових комбінаційного типу  $W_k$  і підмножину структурних складових послідовнісного типу  $W_n$  в розгляді сучасних ЦОД не доцільно.

В окремих випадках до числа структурних складових ЦОД відносять також з'єднувальні елементи (лінії зв'язку, роз'єми, слоти тощо), але зазначені елементи не виконують функцій перетворення даних і відіграють роль контрольних точок об'єкта діагностування, які задіюються та

перевіряються при перевірці інших структурних складових ЦОД  $w_h \in W$ , що зумовлює недоцільність загромождження математичної моделі методу структурної декомпозиції ЦОД елементами окремого опису з'єднувальних елементів.

Оскільки метод структурної декомпозиції ЦОД призначений для забезпечення рівня тестопридатності створюваних цифрових вузлів (пристроїв), відповідного висунутим вимогам щодо глибини діагностування, а в даній кваліфікаційній роботі глибина діагностування обмежується перевіркою загальної справності інтегральних компонентів, що входять до складу ЦОД, з локалізацією місця виникнення несправності з точністю до компонента, і при цьому сукупність компонентів представлена в реалізації методу множиною структурних складових ЦОД  $W$ , то діагностування подібного об'єкта зводиться до перевірки справності всіх структурних складових ЦОД  $w_h \in W$ . Для перевірки справності всіх структурних складових  $w_h \in W$  ЦОД виникає потреба у застосуванні тестів, здатних виконати перевірку наявних компонентів  $w_h \in W$  за принципом «справний-несправний». В ідеальному варіанті це має бути комплексний тест, адаптований на пошук несправних компонентів в структурі саме досліджуваного типу ЦОД.

Оскільки метод структурної декомпозиції ЦОД орієнтований на застосування на завершальному етапі проектування схем функціонально-завершених цифрових вузлів або пристроїв, які при застосуванні методу розглядаються в якості ЦОД, то говорити про наявність на цьому етапі комплексного тесту з адаптацією на пошук несправних компонентів в структурі досліджуваного новоствореного типу ЦОД апіорі неможливо. Більш того, існує велика імовірність того, що такий комплексний тест без адаптації самої схеми ЦОД для забезпечення тестопридатності до проведення діагностичних випробувань із заданою глибиною діагностування створити неможливо, що і стало підставою для розробки методу структурної декомпозиції ЦОД.

В той же час, існує велика імовірність наявності типових тестів, орієнтованих на перевірку справності різних видів інтегральних компонентів  $w_h \in W$  за умов їх відокремленого діагностування, тобто, для покомпонентної перевірки складових ЦОД.

Тести, орієнтовані на перевірку справності інтегральних компонентів  $w_h \in W$ , можуть бути отримані різними способами:

- перевірочні тести для стандартних інтегральних компонентів можуть надаватися фірмою-виробником;
- перевірочні тести для стандартних інтегральних компонентів можуть бути отримані з діагностичних бібліотек;
- за відсутності перевірочних тестів, їх, знову ж таки, можна створити на підставі технічної документації від виробника, або на підставі накопиченої діагностичної інформації про тестування аналогічних або споріднених

компонентів з діагностичних бібліотек, що є значно простішим, ніж розробка тестів для ЦОД одразу в цілому.

Оскільки завдання синтезу перевірочних тестів, незалежно від того, призначаються вони для тестування інтегральних компонентів, які входять до складу досліджуваних ЦОД, або ж для загального тестування досліджуваних ЦОД, не входить до числа задач методу структурної декомпозиції ЦОД, при розгляді методу будемо спиратися на положення, що тести, орієнтовані на перевірку справності інтегральних компонентів  $w_h \in W$ , є в наявності.

Згідно з математичною моделлю методу структурної декомпозиції ЦОД, тести, призначені для перевірки справності інтегральних компонентів  $w_h \in W$  позначаємо  $t[w_h]$ , сукупність тестів відповідного призначення в математичній моделі ідентифікується як  $T[w_h]: \{t[w_h]_1, t[w_h]_2, \dots, t[w_h]_j, \dots, t[w_h]_d\}$ .

Для кожного тесту  $t[w_h]_j$  має бути співставлено у відповідність певний набір сигналів відповідних реакцій ЦОД  $r[w_h]_j$ , який є очікуваним за умов правильного спрацювання ЦОД на тест  $t[w_h]_j$ . З останнього ствердження можна зробити висновок, що кожній множині тестів  $T[w_h]$ , призначених для перевірки технічного стану компонента  $w_h \in W$ , має бути співставлена множина відповідних реакцій зазначеного компонента ЦОД на тести  $t[w_h]_j \in T[w_h]$  за умови його перебування в справному стані  $R[w_h]: \{r[w_h]_1, r[w_h]_2, \dots, r[w_h]_j, \dots, r[w_h]_d\}$ .

Сукупність множини  $T[w_h]: \{t[w_h]_1, t[w_h]_2, \dots, t[w_h]_j, \dots, t[w_h]_d\}$  тестів  $t[w_h]_j \in T[w_h]$ , призначених для перевірки справності інтегрального компонента  $w_h \in W$ , і множини  $R[w_h]: \{r[w_h]_1, r[w_h]_2, \dots, r[w_h]_j, \dots, r[w_h]_d\}$  відповідних реакцій  $r[w_h]_j \in R[w_h]$  зазначеного інтегрального компонента  $w_h \in W$  на тести  $t[w_h]_j \in T[w_h]$  утворюють комплект тестових діагностичних даних, які є достатніми для перевірки справності інтегрального компонента  $w_h \in W$  за умов його відокремленого діагностування, тобто, для перевірки інтегрального компонента  $w_h \in W$  засобами покомпонентного діагностування за відсутності його зв'язку і взаємовпливів з іншими елементами.

Оскільки вилучення всіх складових частин (інтегральних компонентів  $w_h \in W$ ) ЦОД не передбачено їх конструктивною організацією, забезпечити ідеальні умови для перевірки інтегральних компонентів  $w_h \in W$  засобами покомпонентного діагностування за відсутності їх зв'язку і взаємовпливів з іншими елементами неможливо. Також неможливо забезпечити доступ до всіх потрібних для діагностування контактів інтегральних компонентів  $w_h \in W$  в структурі зібраного в єдиний модуль ЦОД, тому виникає задача забезпечення можливості діагностування інтегральних компонентів  $w_h \in W$  в структурі зібраного в єдиний модуль ЦОД із застосуванням штатних контрольних точок, які передбачені схемою об'єкта діагностування (як

правило, це контакти крайових з'єднувачів і засобів з'єднання з іншими модулями системи).

При такому підході основною задачею постановки діагностичного експерименту є визначення такої множини створюваних для ідентифікації технічного стану досліджуваного ЦОД тестів  $T$ , щоб на вхідних контрольних точках будь-якого компонента  $w_h \in W$  об'єкта діагностування можна було сформулювати будь-який з перевірочних тестів  $t[w_h]_j \in T[w_h]$  з подальшим транспортуванням отримуваних на вихідних контактах компонента  $w_h \in W$  відповідних реакцій  $r[w_h]_j \in R[w_h]$  на вихідні контрольні точки об'єкта діагностування  $q_{вих. i} \in Q_{вих}$  у вигляді певних характерних значень вихідних реакцій ЦОД  $r[w_h]$ .

Сучасні цифрові пристрої як об'єкти діагностування не відрізняються адаптованістю для проведення тестових перевірок і для транспортування використовуваних при цьому сигналів діагностичних даних. Через це зачасту виникають ситуації, коли діагностичні сигнали або взагалі не можуть бути транспортовані між двома віддаленими контактами в структурі ЦОД (доступною у випробуваннях контрольною точкою об'єкта діагностування і контактом інтегрального компонента в його складі), або ж це потребує таких складних і тривалих операцій перетворення і транспортування сигналів, що діагностичні перевірки стають не рентабельними за часовими або іншими критеріями собівартості. Відповідно, побудова комплексного тесту (визначення множини утворюючих його тестів  $T$ ), за потреби транспортування діагностичних сигналів між контактами інтегральних компонентів  $w_h \in W$  і штатними контрольними точками ЦОД через інші компоненти  $w_h \in W$ , також може бути недосяжною або нерентабельною.

Не заглиблюючись в задачі синтезу тестів, які не є предметом досліджень методу структурної декомпозиції ЦОД, уточнимо задачу методу з урахуванням останніх висновків.

Оскільки транспортування необхідних діагностичних сигналів між контактами досліджуваних інтегральних компонентів  $w_h \in W$  і штатними контрольними точками ЦОД через інші компоненти  $w_h \in W$  може бути неможливим або нерентабельним, множину штатних контрольних точок об'єкта діагностування необхідно додатковими контрольними точками в його структурі таким чином, щоб за мінімальних змін була досягнута можливість транспортування необхідних діагностичних сигналів в процесі перевірки будь-якого інтегрального компонента  $w_h \in W$  між ним і доступними контрольними точками.

Отже, пропований метод структурної декомпозиції ЦОД орієнтований на застосування на завершальному етапі проектування схем цифрових вузлів або пристроїв і має за мету забезпечення їх тестопридатності відповідно до заданих вимог щодо глибини діагностування через визначення мінімально-достатнього набору контрольних точок для реалізації діагностичних

перевірок, а також шляхів і способів транспортування діагностичних даних (сигналів) в структурі об'єкта діагностування.

Для застосування методу структурної декомпозиції ЦОД і визначення мінімально-достатнього набору контрольних точок для реалізації діагностичних перевірок необхідно сформувавши загальну множину наявних контактів ЦОД, які можуть бути використані в якості контрольних точок при виконанні діагностичних випробувань. Такими контактами автоматично стають всі штатні контрольні точки ЦОД, якими є контакти комутаційні роз'ємів і з'єднувачів, а також до числа таких контактів з можливістю їх переведення в категорію контрольних точок слід віднести сигнальні контакти (лінії зв'язку) всіх наявних в складі об'єкта діагностування інтегральних компонентів  $w_h \in W$ .

Відповідно до запропонованої математичної моделі методу, загальна множина всіх перспективно-доступних для використання в тестових випробувань контрольних точок ЦОД визначена як  $Q_{км}: \{q_1, q_2, \dots, q_b, \dots, q_p\}$ .

Оскільки кількість контактів інтегральних компонентів  $w_h \in W$  в складі ЦОД може бути досить великою, для зменшення складності реалізації методу структурної декомпозиції ЦОД використаємо спосіб узагальненого представлення контрольних точок, який використовується в структурно-логічних моделях ЦОД і базується на двох положеннях:

- пари контактів двох інтегральних компонентів  $w_h \in W$  і  $w_g \in W$ , які з'єднані однією лінією зв'язку, в сукупності із зазначеною лінією зв'язку розглядаються як одна контрольна точка на зазначеній лінії зв'язку;

- всі контакти інтегральних компонентів  $w_h \in W$ , які з'єднані однією лінією зв'язку з штатною контрольною точкою об'єкта діагностування вважаються приналежними цій контрольній точці і відокремлено не розглядаються;

- групи контактів інтегральних компонентів  $w_h \in W$ , що мають спільне призначення і використовуються завжди групою в однакових режимах роботи, розглядаються як одна групова контрольна точка.

На підставі наведених положень методу структурної декомпозиції цифрових об'єктів діагностування можна перейти його алгоритмічної реалізації.

#### Перелік посилань

1. Ленков Є.С. Узагальнена математична модель процесу технічного обслуговування і ремонту складної техніки / Є.С. Ленков // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – № 2 (247). – С. 186-191.

2. Гунченко Ю.О. Дослідження структури цифрового об'єкта діагностування на основі граф-моделі / Ю.О. Гунченко, Є.С. Ленков, В.М. Чешун, С.О. Прокочук //Сучасна спеціальна техніка. Науково практичний

журнал. – Харків, 2016. – Вип. №2(45), 2016р. – С53-58.

3. Стецюк О.І. Функціональний підхід в діагностуванні цифрових процесорів і елементів пам'яті / Р.В. Кравчук, О.І. Стецюк, В.М. Чешун // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький: ХНУ, 2018. – Вип. №2 (62) – С.106-109.

4. Кушнерова Н.І. Вибір та обґрунтування методу тестового діагностування елементів системи попередження нештатних ситуацій на борту повітряного судна / Н.І. Кушнерова // Системи управління, навігації та зв'язку – Полтава : ПНТУ, 2013. – Вип. 1 (25). – С. 86-89.

5. Шевченко В.В. Визначення технічного стану цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу діагностування / В.В. Шевченко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2015. – № 1. – С. 131-135.

6. Кон Е.Л. Подходы к тестовому диагностированию цифровых устройств / Е.Л. Кон, В.И. Фрейман // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь: ПНИПУ, 2012. – № 6. – С. 231-241.

7. Волков Ю.В. Системы технического диагностирования, автоматического управления и защиты: учебное пособие. Часть 1 / Ю.В. Волков – СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД., 2016. – 115 с.

8. Тюрин С.Ф. Разработка контрольных и диагностических тестов для КМОП элементов с избыточным базисом / С.Ф. Тюрин, О.А. Громов // Приволжский научный вестник. – Ижевск : ИЦНП, 2013. – № 1 (17). – С.13-21.

9. Wu Chi-Feng Fault simulation and test algorithm generation for random access memories / Chi-Feng Wu, Chih-Tsun Huang, Kuo-Liang Cheng, Cheng-Wen Wu //IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2002. – Vol.: 21, Issue: 4. P. 480-490.

10. Li Jin-Fu March-based RAM diagnosis algorithms for stuck-at and coupling faults / Jin-Fu Li, Kuo-Liang Cheng, Chih-Tsun Huang, Cheng-Wen Wu //IEEE Trans. on Fuzzy Systems. 2002. – Vol. 10, Issue 2. – P. 155-170.

11. Bushnell M. Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory & Mixed-Signal VLSI Circuits / M. Bushnell, V. Agrawal – Kluwer Academic Publishers, 2000 – 695 p.

12. Rayudu K. V. B. V. Functional testing technique for Microprocessor Interface board / K. V. B. V. Rayudu //2015 International Conference on VLSI Systems, Architecture, Technology and Applications (VLSI-SATA) – P. 1-5.