

# ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.389

## МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ГНУЧКИХ СТРУКТУР

*ПРИТЧИН С.Е., ГУРІНА Д.В., ДЕМСЬКА Н.П.*

Розглядаються існуючі методи контролю якості гнучких структур на всіх етапах виробництва. Виявляються переваги та певні недоліки кожного з методів контролю якості гнучких структур. Для реалізації задачі автоматизації процесу контролю якості гнучких структур та для подальшого удосконалення на етапі готової продукції обирається метод неруйнівного контролю якості, а саме метод активного теплового контролю.

### Вступ

Існує ряд методів, які використовують для контролю якості гнучких структур на етапі виготовлення. Для вирішення задачі автоматизації процесу контролю якості [1,2] необхідно обрати метод, що дозволяє оцінювати готові вироби. Існуючі методи дають можливість проводити процес контролю якості на всіх етапах виробництва, але серед них немає універсального методу, що дозволить автоматизувати процес контролю на будь-якому етапі виробництва. Саме тому необхідно проаналізувати існуючі методи контролю якості та обрати серед них такий, що дозволить проводити автоматизований контроль якості гнучких структур.

### Візуальний контроль

Контроль зовнішнього вигляду виробів використовується для оцінки якості окремих технологічних операцій і як складова частина підсумкового контролю. Під контролем зовнішнього вигляду виробу ми розуміємо визначення ступеня його відповідності деякому еталону. Еталон може бути присутнім в явному вигляді і в цьому випадку найбільш простим (якщо це можливо) є поєднання контрольованого зображення з еталоном і оцінка ступеня відмінності. Частіше ж еталона, як такого, немає, а є лише уявлення про нього. Суть контролю в такому випадку полягає в оцінці відповідності картини, за якою ведеться спостереження, цьому уявленню.

Недоліками методу візуального контролю є:

- суб'єктивність методу;
- неможливість виявити «приховані» дефекти (подряпини, відколи, раковини і інші порушення металізації, а також вкраплення і нарости, що призводять до надмірного звуження відстані між сусідніми елементами топології);
- низька достовірність контролю (60-65%).

### Внутрішньосхемне тестування

Внутрішньосхемне тестування - технологія перевірки окремих компонентів на гнучких структурах, або фрагментів схем з використанням спеціального обладнання (ICT-станцій) і оснащення (голчастого адаптера). Завдяки цій методиці тестування можна аналізувати окремі компоненти і аналогові частини схем, а також успішно застосовувати на великосерійному виробництві, тобто в тих випадках, коли інші сучасні технології не справляються.

Умовно внутрішньосхемне тестування можна розділити на аналогове і цифрове. При аналоговому внутрішньосхемному тестуванні зазвичай перевіряються такі характеристики:

- наявність коротких замикань і обривів;
- номінали дискретних компонентів (резисторів, конденсаторів, індуктивностей, дискретних напівпровідникових приладів);
- наявність і правильність установки мікросхем.

Цей метод тестування дозволяє виявити велику кількість дефектів складання, тому аналогове внутрішньосхемне тестування часто називають аналізом виробничих дефектів [3].

Оскільки дана технологія заснована на фізичному контакті голок з контактами компонентів, що тестують, виникає ряд труднощів при реалізації цього підходу в тестуванні.

Постійна мініатюризація компонентів призводить, зокрема, до зменшення фізичних розмірів контактних майданчиків і їх переміщення під корпус. Також в багатошарових структурах значна кількість з'єднань реалізована у внутрішніх шарах. Одним з варіантів вирішення цих проблем є використання методу тестування «літаючими щупами» або «літаючими матрицями». Цей підхід дозволяє піти від необхідності виведення спеціальних контактних майданчиків для тестування, але значно збільшує час перевірки, що є істотним обмеженням для серійного виробництва. На рис. 1 представлений процес тестування «літаючими щупами».

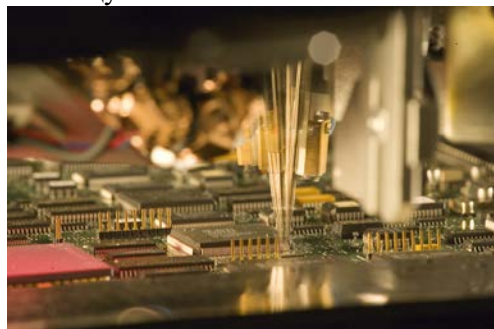


Рис. 1. Процес тестування «літаючими щупами»  
Основним недоліком цього методу є велика вартість устаткування, що необхідне для проведення контролю якості.

## Периферійне тестування

Методика периферійного тестування дозволяє контролювати якість монтажу і відбракувати пристрої ще до стадії функціонального тестування.

Тести для периферійного сканування (boundary-scan) дозволяють підвищити якість пристроїв, що розроблюються, та економити витрати на етапі серійного виробництва. Основна перевага цієї технології - можливість тестування пристроїв з обмеженим доступом до виводів мікросхем в корпусах BGA, COB і QFP. Але існує ряд обмежень для використання цього виду тестування:

- неможливо виявити дефекти монтажу, пов'язані з цифровими або аналоговими елементами, які не мають JTAG-підтримки, також недоступна діагностика дефектів зв'язків між ними;
- неможливо виконати функціональні тести або тести, спрямовані на виявлення несправностей, які є тією чи іншою функцією часу;
- неможливо виконати тести, спрямовані на виявлення таких дефектів шин даних, як, наприклад, тремтіння фази, паразитні зв'язки, інтерференція.

## Функціональне тестування

Функціональне тестування – перевірка зібраних або частково зібраних пристроїв на виконання заданої функціональності і на відповідність параметрам, які закладені в специфікації. Це так зване тестування після остаточного складання (EOL) – перевірка функціональності та відповідності специфікації. Оцінюється не лише якість, але також стабільність та надійність пристрою. Такий аналіз електроніки проходить з використанням складного стендового обладнання, що імітує систему, у складі якої працює пристрій, що підлягає тестуванню. Якщо за результатами такої перевірки відсоток браку перевищує попередню оцінку, тоді коригується технологія виробництва і запускається чергова пробна партія пристроїв. І так в декілька ітерацій.

Функціональне тестування може проводитися як в ручному, так і в автоматичному режимі. При складанні тест-планів ручну працю намагаються звести до мінімуму, залишивши оператору лише підключення та відключення пристрою, а також контроль придатності.

Основні недоліки даного способу перевірки гнучких структур – це необхідність виготовлення спеціалізованої оснастки та написання програмного забезпечення. Також функціональне тестування, на відміну від периферійного сканування, не дає точної вказівки на дефектні ланцюги і ви-

води компонентів, але в більшості випадків проведення цих робіт виправдано максимальним покриттям плати та коротким часом тестування.

## Електричне тестування якості контролю гнучких структур. Матрична система контактування

Якщо перевірка здійснюється почерговим підключенням до кожного контакту для контролю його роз'єднання з кожним з решти, такий спосіб називають максимальним, оскільки він вимагає максимального числа контрольних операцій. Дійсно, для перевірки роз'єднання ланцюгів потрібно послідовним перебором обійти всі пари контрольованих точок:

- перший обхід: 1-2, 1-3, 1-4, ..., 1 - (n-1), 1-n;
- другий обхід: 2-3, 2-4, 2-5, ..., 2 - (n-1), 2-n;
- останній обхід: (n-1)-n.

Наприклад, якщо плата містить  $n = 1000$  роз'єднаних ланцюгів, перевірка їх на роз'єднаність складається з 500 000 операцій.



Рис. 2. Принцип комутації ланцюгів в тестерах з матрицею контактів

Для зменшення кількості контрольних операцій при перевірці роз'єднання ланцюгів використовується інший спосіб комутації точок контактування на матриці контактів («ложе двяхів») (рис.2). Цей спосіб перевірки називається інверсним або зворотним. Під час цього способу всі точки, що піддаються контролю, з'єднуються з масою, і для перевірки окремих ланцюгів їх відривають від маси і з'єднують з шиною вимірювань. Таким чином, ізоляція роз'єднаних ланцюгів перевіряється між окремо взятим ланцюгом і всіма іншими, замкнутими між собою. Кожен ланцюг піддається контролю на роз'єднання один раз, тому кількість перевірок дорівнює числу ланцюгів. Основним недоліком даного методу є його невисока швидкість.

## Система автоматизованого оптичного контролю якості Aplite

Технологія виготовлення гнучких структур включає ряд етапів механічної та хімічної обробки заготовок, в ході яких неминуче з'являються помилки. Проблема контролю на заключних етапах може вирішуватися електричними методами, а на попередніх стадіях зразки піддаються суцільному або вибірковому візуальному контролю.

На вітчизняних підприємствах візуальний контроль в більшості випадків не автоматизований. АІО – системи (Automation Optical Inspection Systems), що випускаються закордонними фірмами, мають дуже високу вартість, тому у нас не поширені. Aplite базується на стандартній обчислювальній техніці – персональному комп'ютері і планшетному сканері для введення контрольованих заготовок.

Це дозволяє здешевити апаратне забезпечення на 1-2 порядки у порівнянні з «важкими» системами та обирати оптимальну конфігурацію для конкретного технологічного процесу.

У ході контролю виявляються такі дефекти, як розриви провідників, короткі замикання, порушення технологічних допусків на мінімальну ширину провідників і мінімальну відстань між ними, спотворення масштабу (розтягнення плівки фотошаблону) та інші.

Основний метод контролю – порівняння з еталонним зображенням шляхом автоматичного суміщення двох картинок, в результаті чого можна побачити такі невідповідності, як відсутні або зайві елементи рисунка плати.

Система Aplite складається з трьох основних програмних модулів: Aplite – власне система контролю, Rhiplastic – редактор еталонів, Fama – редактор кольорних наборів.

Контроль має два застосування: пошук дефектів, що виникли в ході виготовлення плати або фотошаблону, і перевірка результатів векторизації на відповідність оригіналу. У першому випадку для контролю потрібно створити еталонну графіку, у другому – вона вже створена (це результат векторизації).

Для створення еталона необхідно насамперед отримати топологічний рисунок, контактні площадки і (необов'язково) отвори. В системі Aplite це може здійснюватися двома способами - імпортом графіки з CAD/CAM-системи у форматі Gerber RS-274-X або полігонізації «золотої плати».

Недоліками цього методу є необхідність використовувати спеціальне устаткування, складності з отриманням еталонного зображення.

#### **Метод теплового неруйнівного контролю**

Існують такі види неруйнівного контролю згідно з фізичними явищами, що використовують: магнітний, електричний, вихрострумний, радіохвильовий, тепловий, оптичний, радіаційний, акустичний і проникаючими речовинами [4-5, 10].

Тепловий метод неруйнівного контролю заснований на реєстрації збурень, що вносяться внут-

рішніми дефектами в регулярний (еталонний) характер поширення теплових потоків в об'єкті контролю.

Апаратну базу теплового контролю складають інфрачервоні системи вимірювання температури, особливо тепловізори.

У теплових методах неруйнівного контролю використовується тепла енергія, що поширюється в об'єкті контролю. Температурне поле поверхні об'єкта є джерелом інформації про особливості процесу теплопередачі, які, в свою чергу, залежать від наявності внутрішніх або зовнішніх дефектів. Під дефектом при цьому розуміється наявність прихованих раковин, порожнин, тріщин, непроварів, сторонніх включень, всіляких відхилень фізичних властивостей об'єкта контролю від норми, наявності місць локального перегріву (охолодження).

Безконтактні методи теплового контролю засновані на використанні інфрачервоного випромінювання, що випускається всіма нагрітими тілами. Інфрачервоне випромінювання займає широкий діапазон довжин хвиль від 0,76 до 1000 мкм [7-9].

Розрізняють пасивний та активний тепловий контроль. При пасивному тепловому контролі аналіз теплових полів виробів проводять реєстрацією їх власного теплового випромінювання. Активний тепловий контроль передбачає нагрів об'єкта зовнішнім джерелом енергії.

Основною характеристикою температурного поля, що є індикатором дефектності, служить величина локального температурного перепаду. Координати місця перепаду, його рельєф або, іншими словами, топологія температурного поля і його величина в градусах є функцією великої кількості факторів. Ці фактори можна поділити на внутрішні і зовнішні. Внутрішні чинники визначаються теплофізичними властивостями контрольованого об'єкта і дефекту, а також їх геометричними параметрами. Ці ж фактори визначають часові параметри процесу теплопередачі, в основному, процесу розвитку температурного перепаду. Зовнішніми факторами є характеристики процесу теплообміну на поверхні об'єкта контролю (найчастіше величина коефіцієнта конвективної тепловіддачі), потужність джерела нагріву і швидкість його переміщення уздовж об'єкта контролю.

Існують такі способи активного теплового контролю виробів:

а) короткочасний локальний нагрів виробу з подальшою реєстрацією температури тієї ж (при односторонньому контролі) або протилежної області (при двосторонньому контролі);

б) з використанням скануючої системи, що є жорстко закріпленими один до одного джерела нагріву і

реєструючого приладу (наприклад, радіометра), які переміщуються з постійною швидкістю уздовж поверхні зразка;

в) одночасне нагрівання поверхні зразка уздовж деякої лінії з подальшою реєстрацією температури вздовж тієї ж лінії (при односторонньому контролі) або уздовж аналогічної лінії з протилежної поверхні зразка (при двосторонньому контролі). Подібна реєстрація може бути здійснена, наприклад, приладом "Термопрофіль";

г) одночасне нагрівання всієї поверхні зразка і подальша одночасна реєстрація температурного розподілу на цій же або на протилежній поверхні. Подібний спосіб контролю може бути здійснений за допомогою тепловізора.

Ефективність виявлення дефектів кожним з описаних способів теплового контролю зменшується від першого до четвертого, а продуктивність зростає.

Тепловізор здійснює візуалізацію температурного поля, наявного на поверхні, що спостерігається [6].

Спрощено, тепловізор складається з оптичної системи (об'єктива), що фокусує тепловий потік від об'єкта на чутливий елемент - приймач інфрачервоного випромінювання (ІКД), і блоку обробки (посилення) для подання теплової карти (термограми) об'єкта у вигляді, зручному для аналізу. За способом отримання термограм тепловізійні прилади підрозділяються на сканери та тепловізори. Термосканери мають один чутливий елемент, на який системою сканування подається ІКД від елементів об'єкта відповідно до заданих алгоритмом і з кроком, при якому формується матриця значень надходження сигналів. Чутливим елементом термосканера може бути елемент, що виготовлений за різними технологіями. Тепловізори мають багато чутливих елементів, розміщених на одній підкладці – матрицю (160x120, 320x240, 640x480). Кожен елемент формує вихідний сигнал залежно від величини сигналу ІКД, що надійшов на нього з одиниці поверхні об'єкта. Чутливі елементи матриць можуть бути виготовлені за різними технологіями.

Сучасні тепловізійні комплекси є високошвидкісними реєструючими системами, здатними отримувати і обробляти інформацію з великих площ ОК, що значно підвищує його продуктивність. Для ефективного використання в АТК тепловізійних комплексів необхідна наявність майданчикowego нагрівача з досить високою щільністю потоку енергії і рівномірним його розподілом по поверхні ОК. Високі вимоги до

рівномірності нагрівання пов'язані з тим, що ділянки з температурою, яка відрізняється від середньої, при проведенні АТК можуть сприйматися оператором як дефекти, що значно знижує якість контролю.

Серед переваг цього методу необхідно відмітити низьку вартість устаткування, швидкість проведення процесу контролю та можливість проводити контроль декількох виробів одночасно.

### Висновки

Проаналізувавши існуючі методи контролю якості гнучких структур, виявили ряд недоліків: висока вартість устаткування, що необхідно для проведення контролю, невисока швидкість проведення контролю та неможливість використання одного методу на різних етапах виробництва гнучких структур. Удосконалення обраного методу теплового неруйнівного контролю якості дозволить проводити контроль якості на будь-якому етапі виробництва гнучких структур, а подальша автоматизація методу дозволить проводити одночасне тестування 4 та більше структур.

**Література:** 1. *Hartley, R. Multiple view geometry in computer vision, Second Edition [Text] / R. Hartley, A. Zisserman. Cambridge : Cambridge university press, 2003. – 655 р.* 2. *Путятин, С.П. Методи та алгоритми комп'ютерного зору [Текст]: / С. П. Путятин, В. О. Гороховатський, О.О. Матат. Х. : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 236 с.* 3. *The calculation of the current position of front freezing and dew point in the buildings during the phase transitions/O. Lebedev, M. Slitkov, V. Avramenko, E. Abramova, O. Budadin//Book of abstracts of 16th WCNDT.- TS2.21.3.-2004.-р.39-40.* 4. *Температурные измерения [Текст]: справочник // Герашенко О.А. К: Наук. думка, 1984. 494 с.* 5. *Вавилов, В.П. Неразрушающий контроль [Текст]: справочник/ Вавилов В.П. М.: Машиностроение, 2004. 679 с.* 6. *Современные тепловізори для теплового контроля качества [Текст]: тез. докл. XI регион. студ. наук. конфер. (20-21 квітня 2011 р.). Харків: НТУ «ХПІ», 2011. 175 с.* 7. *Thermal Nondestructive Testing of Buildings In Practice / O. Lebedev, D. Kirzhanov, V. Avramenko and O. Budadin // Proceedings of 16th WCNDT. № 609.2004.P. 1-8.* 8. *Неразрушающий контроль и диагностика: справ. / В.В.Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев [и др.]; под ред.В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2005. 656 с.* 9. *Неразрушающий контроль: справ. : в8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2008.* 10. *Методы неразрушающего контроля. Ч. 1. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий: учеб. пособие / В.И. Фанасов, Н. И. Кашубский, А. А. Кузнецов [и др.]. Красноярск : ИПК СФУ, 2009. 104 с.*

### Transliterated bibliography:

1. *Hartley R. Multiple view geometry in computer vision. Second Edition [Text] / R. Hartley. A. Zisserman. Cambridge : Cambridge university press. 2003. 655 p.*

2. *Putyatin, Ye.P.* Metody ta alhorytmy komp'yuternoho zoru [Tekst]: / Ye. P. Putyatyn, V. O. Horokhovats'kyu, O.O. Matat. Kh. : TOV «Kompaniya SMIT», 2006. 236 s.
3. The calculation of the current position of front freezing and dew point in the buildings during the phase transitions /O. Lebedev, M. Slitkov, V. Avramenko, E. Abramova, O. Budadin // Book of abstracts of 16th WCNDT. TS2.21.3. 2004. p.39-40.
4. Temperaturnyye izmereniya [Tekst]: spravochnik // Gerashchenko O.A. K: Nauk. dumka. 1984. 494 s.
5. *Vavilov, V.P.* Nerazrushayushchiy kontrol [Tekst]: spravochnik/ Vavilov V.P. M.: Mashinostroyeniye. 2004. 679 s. 6. Sovremennyye teplovizory dlya teplovogo kontrolya kachestva [Tekst]: tez. dokl. KhI region. stud. nauk. konfer. (20-21 kvitnya 2011). Kharkiv: NTU «KhPI». 2011. 175 s.
7. *Thermal Nondestructive Testing of Buildings In Practice* / O. Lebedev, D. Kirzhanov, V. Avramenko and O. Budadin // Proceedings of 16th WCNDT. № 609. 2004. p. 1-8.
8. *Nerazrushayushchiy kontrol i diagnostika: sprav.* / V.V. Klyuyev, F.R. Sosnin, A.V. Kovalev [i dr.]. M.: Mashinostroyeniye. 2005. 656 s.
9. *Nerazrushayushchiy kontrol: s prav.* : v8 t. M.: Mashinostroyeniye. 2008.
10. *Metody nerazrushayushchego kontrolya.* Ch. 1. Nerazrushayushchiye metody kontrolya materialov i izdeliy: ucheb. Posobiye / V.I. Fanasov, N. I. Kashubskiy. A. A. Kuznetsov [i dr.]. Krasnoyarsk: IPK SFU. 2009. 104s.

Поступила в редколлегію 21.09.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Оксаніч А.П.

**Притчин Сергій Емільович**, д-р техн. наук, професор кафедри інформаційно-управляючих систем, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського. Наукові інтереси: інформаційні технології керування. Адреса: Україна, 39600, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, тел.: (056366)30157. Email: [alpritchin@ukr.net](mailto:alpritchin@ukr.net).

**Гуріна Дар'я Володимирівна**, аспірантка кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, ХНУРЕ. Наукові інтереси: мікро електромеханічні системи, методи якості електронної техніки. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. (057)7021486. E-mail: [d\\_tapr@nure.ua](mailto:d_tapr@nure.ua).

**Демська Наталія Павлівна**, старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, ХНУРЕ. Наукові інтереси: особливості механічних деформацій і руйнувань гнучких друкованих плат в апаратобудуванні. Адреса: Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14, тел. (057)7021486. E-mail: [nataliia.demska@nure.ua](mailto:nataliia.demska@nure.ua).

**Pritchyn Sergiy Emilovich**, Dr. of Tekhn. Sciences, Professor, Department of Information and Control Systems, Kremenchuk National University named after M. Ostrogradsky. Scientific interests: information management technologies. Address: 39600, Kremenchuk, ul. Pershotravneva, 20, tel.: (056366)30157. E-mail: [alpritchin@ukr.net](mailto:alpritchin@ukr.net).

**Gurina Daria Volodymyrivna**, post-graduate student, department of computer-integrated technologies, automation and mechatronics, KNURE. Scientific interests: micro electromechanical systems, methods of quality of electronic equipment. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, 14, Nauki Avenue, tel. (057) 7021486. Email: [d\\_tapr@nure.ua](mailto:d_tapr@nure.ua).

**Demskaya Natalia Pavlovna**, Senior Lecturer of the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, KNURE. Scientific interests: features of mechanical deformations and destruction of flexible printed circuit boards in hardware engineering. Address: Ukraine, 61166, Kharkov, 14, Nauki Avenue, tel. (057) 7021486. E-mail: [nataliia.demska@nure.ua](mailto:nataliia.demska@nure.ua).