

### МЕТОД ДІАГНОСТИКИ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ СИГНАТУРНОГО АНАЛІЗУ

Д. В. Кухаренко, Ф. В. Фомовський, В. В. Гладкий, С. В. Саньков

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: krutoy276@gmail.com

За допомогою методу дослідження вольт-амперних характеристик, що дозволяє перевіряти ланцюги на платі без подачі напруги живлення, можна ефективно і швидко виявити несправності шляхом порівняння сигнатур пошкодженого ланцюга плати і робочого. Сигнатурні відмінності можуть вказувати на потенційну проблему. Важливою перевагою при тестуванні за допомогою сигнатурного аналізу є те, що при тестуванні пристрою не потрібно подавати живлення, тим самим можливо здійснювати оцінку непрацюючих пристроїв. Даний метод підходить для локалізації несправностей на друкованих платах з запаяними електронними компонентами. Метод застосовуємо для тестування ланцюгів з пасивними компонентами, а також для тестування вхідних і вихідних каскадів активних пристроїв: інтегральні схеми, матриці програмованої логіки та інші. Сигнатурний аналіз дозволяє швидко визначати можливі пошкодження, в тому числі руйнування захисних діодів від статичної електрики або пошкодження вихідних / вхідних транзисторів.

**Ключові слова:** сигнатурний аналіз, методи діагностики електронних схем, тестування ланцюгів.

### МЕТОД ДІАГНОСТИКИ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА

Д. В. Кухаренко, Ф. В. Фомовский, В. В. Гладкий, С. В. Саньков

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: krutoy276@gmail.com

С помощью метода исследования вольт-амперных характеристик, позволяющего проверять цепи на плате без подачи напряжения питания, можно эффективно и быстро обнаружить неисправности путем сравнения сигнатур поврежденной цепи платы и рабочей. Сигнатурные отличия могут указывать на потенциальную проблему. Важным преимуществом при тестировании с помощью сигнатурного анализа есть то, что при тестировании устройства не нужно подключать питание и соответственно можно осуществить оценку неработающих устройств. Данный метод подходит для локализации неисправностей на печатных платах с запаянными электронными компонентами. Метод применим для тестирования цепей с пассивными компонентами, а также для тестирования входных и выходных каскадов активных устройств: интегральные схемы, матрицы программируемой логики и прочие. Сигнатурный анализ позволяет быстро определять возможные повреждения, в т.ч. разрушение защитных диодов от статического электричества или повреждение выходных/входных транзисторов.

**Ключевые слова:** сигнатурный анализ, методы диагностики электронных схем, тестирование цепей.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** За статистикою більше 95% несправностей плат пов'язані з виходом з ладу одного або декількох електронних елементів в ланцюгах живлення або буферах силової чи логічної інтерфейсної частини. Заміну компонента може виконати інженер-електронік середньої кваліфікації за 1 – 4 години. А ось знайти несправність набагато складніше. Ситуація набагато краще, якщо документація до приладу містить принципові і монтажні схеми плат, але зазвичай це не так, виробники сучасного обладнання дають користувачеві лише мінімум, який необхідний для експлуатації, комплект конструкторських документів в нього не входить. Досить часто, для старого обладнання, та документація, яка йшла з ним в комплекті, вже втрачена. Знайти несправність без документації, наосліп кваліфікованому інженеру-електроніку вкрай важко. Інженер-електронік найвищої кваліфікації, маючи час, обладнання та право на помилку, виконає таку роботу, але це вимагає багато часу і великі гроші на утримання таких фахівців. Тому необхідне рішення поставленої проблеми, яке не потребує ні документації, ні супер-фахівців [1].

Метою даної роботи – створення методу діагностики складних електронних схем з використанням сигнатурного аналізу на основі дослідження вольт-амперних характеристик, що дозволяє перевіряти

ланцюги та елементи на платі без подачі напруги живлення.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Сигнатурний аналіз – це потужний метод діагностики несправностей для друкованих плат і радіоелектронних компонентів. У ситуаціях, коли відсутні принципові схеми і документації виробу, сигнатурний аналіз може бути використаний шляхом порівняння аналогових сигнатур працюючих виробів з сигнатурами виробів, які знаходяться під підозрою. Сигнатурні відмінності можуть вказувати на потенційну проблему. Важливою перевагою при тестуванні за допомогою сигнатурного аналізу є те, що при тестуванні пристрою не потрібно подавати живлення, тим самим можливо здійснювати оцінку непрацюючих пристроїв.

Сигнатурний аналіз – простий достовірний метод порівняння двох бітових послідовностей довільної довжини, аналізом яких і займаються при знаходженні несправностей в мікропроцесорних системах за допомогою традиційних приладів. Сигнатурний аналіз заснований на перетворенні довгих послідовностей двійкових сигналів в двійкове число, зване сигнатурою.

У EyePoint P10 використовується метод дослідження вольт-амперних характеристик, який згадується у [2, 3], що дозволяє перевіряти ланцюги на платі без подачі живлення (рис. 1).

Це ефективний і швидкий спосіб пошуку несправностей шляхом порівняння сигнатур у несправному ланцюзі плати з завідома справною. Метод дозволяє швидко визначати можливі пошкодження, в тому числі руйнування захисних діодів від статичної електрики або пошкодження вихідних або входних транзисторів чи інших радіоелементів.

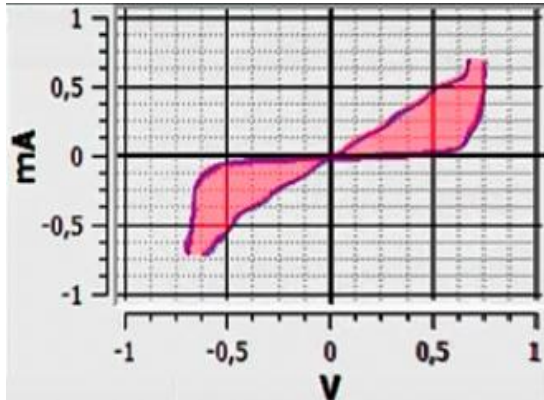


Рисунок 1 – Вольт-амперна характеристика створена в EyePoint P10

За допомогою вбудованої в блок тестуючої системи камери і закладених в прилад алгоритмів кореляційного аналізу, який розглянутий у [4, 5, 6], система автоматично визначає компоненти плати, тестування яких можливо, позначає їх контактні площадки. Далі виконується тестування, створюється список компонентів і їх сигнатур, проводиться порівняння з опорними даними, і тестувальник отримує перелік несправних або «підозрілих» електронних компонентів (рис. 2).



Рисунок 2 – Процес тестування друкованої плати системою EyePoint P10

Для пошуку несправностей на платі необхідно мати:

1. Еталонну плату;
2. Плату з дефектами;
3. Тестову систему EyePoint P10.

Процес тестування складається з трьох етапів:

1. Зняття сигнатур (вольт-амперних характеристик) з кожного виводу компонента на еталонній платі;
2. Зняття сигнатур із плати з дефектами (рис. 3);
3. Аналіз отриманих розбіжностей і заміна несправного компонента на дефектній платі (рис. 4).

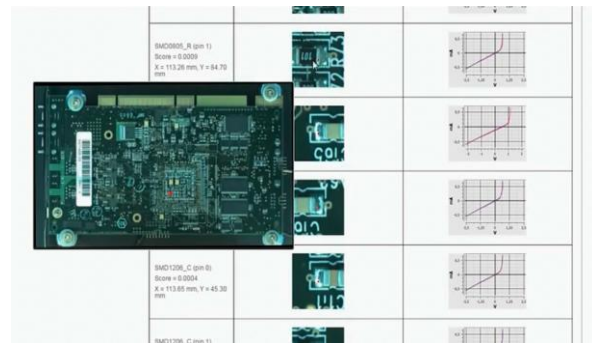


Рисунок 3 – Зняті дефектні сигнатури, за допомогою системи EyePoint P10

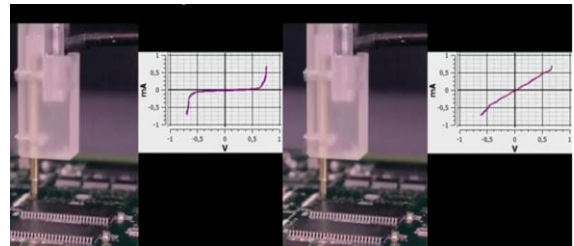


Рисунок 4 – Приклад аналізу отриманих розбіжностей

Це найбільш безпечний (без подачі живлення на досліджувану плату) і швидкий спосіб пошуку відмінностей складних електричних ланцюгів. В основі EyePoint P10 лежить технологія «літаючий щуп», що дозволяє провести перевірку автоматично, без участі оператора, і прецизійна механіка, яка гарантує точність наведення щупа в усьому робочому діапазоні (рис. 5).

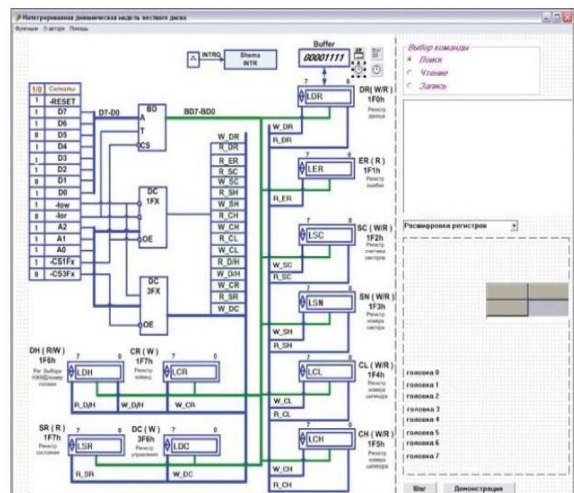


Рисунок 5 – Приклад аналізу схеми

При тестуванні:

- підтримувані типи корпусів: BGA, LGA, PGA, LCC, CSP;
- крок і кількість виводів: 1,5 – 0,4 мм, 8 – 2500 штук;
- довільне розташування виводів;
- швидкість тестування: 100 точок на хв.;
- Точність установки щупа: 30 мкм;
- час на зміну зразка: 10 с;
- напруга тестування: 0,8 – 3,3 В;

- габарити і вага: 300 × 400 × 240 мм, 20 кг;
- керуючий ПК: Intel i5, 3 ГГц, 16 ГбТ RAM, 256 ГбТ SSD;
- електроживлення: ~ 220В, 300 Вт.

Виникає багато питань, якщо виключно дорогий ПЛІС (мікроконтролер) був оригінальним, але далі перемаркованим, відновленим, пошкодженим статикою або пошкоджений недотриманням умов зберігання і транспортування, як виявити дефекти? Такі дефекти надзвичайно складно діагностувати рентгенографічним методом, тому що геометрія внутрішніх структур збережена. Крім того рентген дорогий і тривалий. Відбраковування можна зробити за допомогою функціонального тесту, але такий тест вимагає або запаювання або випайки або реболлінгу кожного компонента, або виготовлення дорогого оснащення та, в будь-якому випадку, розробки програмного коду тесту, унікального для кожної мікросхеми, також застосування спеціалізованого чіп-тестера.

Оптична інспекція у багатьох випадках дозволяє розпізнати перемаркований або відновлений мікрочіп (BGA), але вона безсила в разі внутрішніх пошкоджень або деградації електричних характеристик мікросхеми, що зазначено в [7, 8].

EyePoint B10 – автоматична система тестування для виявлення контрафактних, перемаркованих або несправних електронних компонентів в BGA-корпусах (рис. 6). EyePoint B10 порівнює сигнатури (унікальні вольт-амперні характеристики) кожного виводу досліджуваної мікросхеми з збереженими в пам'яті опорними даними оригінального чіпу і робить висновки не тільки про справність досліджуваного чіпа, а й про його належність до однієї серії з оригінальною мікросхемою.



Рисунок 6 – Загальний вигляд автоматичної станції B10

Система EyePoint B10 використовує літаючий щуп і здатна працювати з BGA-корпусами з будь-яким існуючим на сьогодні розташуванням і кроком виводів без застосування спеціального оснащення або ручного налаштування. EyePoint B10 не потрібно програмувати: розташування всіх виводів досліджуваного BGA-чіпа визначить вбудований повністю автоматичний оптичний сканер, порівняння з еталонним чіпом зробить вбудоване автоматичне програмне забезпечення сигнатурного аналізу, як рекомендовано в [9, 10, 11].

Система також незамінна при діагностуванні BGA компонентів після реболлінга. Для цього необхідно порівняти спірний компонент з відповідним справним компонентом з бази EyePoint B10 через сканування.

Таким чином, перед нами було поставлене завдання для системи EyePoint B10 знайти несправності в блоці живлення компанії HuntKey, назва моделі BS-3000 (рис. 7). Вона має в своєму складі FAN CONTROLLED ATX12V – вказує на те, що вентилятор керований, змінює обороти. Вихідні параметри напруги та максимальна сила струму: +5В, 18А; +3,3В, 14А; +12В, 14А; –12В, 0,5А; –5В, 0,5А. Маркування ХК09-004 6014 не вказує на те, що блок живлення має максимальну короточасну потужність 300Вт. Потужність 300 Вт – це приблизно сумарне значення всіх потужностей блоку живлення. При аналізі електронної плати, виділяють два електrolітичних конденсатора 330 мкФ на 200 В, від невідомого виробника – МК, розраховані на роботу до 85 °С.



Рисунок 7 – Тестований блок живлення BS-3000

При аналізі на несправності блоку живлення відразу помітно, що несправні конденсатори (мають неправильну форму – «здулися»), крім того вентилятор заклинило в районі випрямних діодів, та наявні сліди впливу високих температур (рис. 8). На зворотному боці, біля пайки дроселя групової стабілізації також сліди високої температури, лак «спінився».

Система EyePoint B10 відразу адекватно прореагувала на несправні конденсатори, розпізнавши їх, але не відреагувала на сліди високих температур, що є суттєвим недоліком. Також система не може відреагувати на непрацюючий вентилятор, бо це не входить в її обов'язки.

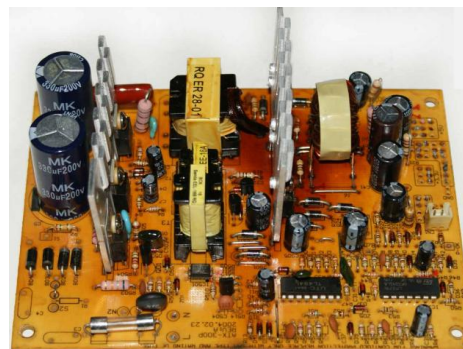


Рисунок 8 – Друкована плата BS-3000 з встановленими елементами

Крім візуального огляду було проведено діагностику працездатності електро-радіоелементів за допомогою сигнатурного аналізу провідними фахівцями. В першу чергу були перевірені електролітичні конденсатори. На відміну від резистивних ланцюгів, залежність між прикладеною напругою, струмом і параметром ємності не є лінійною. В ємнісному ланцюзі, значення струму досягає максимального значення в момент нульового значення напруги. І навпаки, значення напруги досягає максимального значення в момент нульового значення струму. Ця «тимчасова затримка» є функцією ємнісної реактивності, при якій струм випереджає напругу. Графічна залежність між струмом і напругою на ємнісному елементі і результуюча сигнатура представлена на рис. 9.

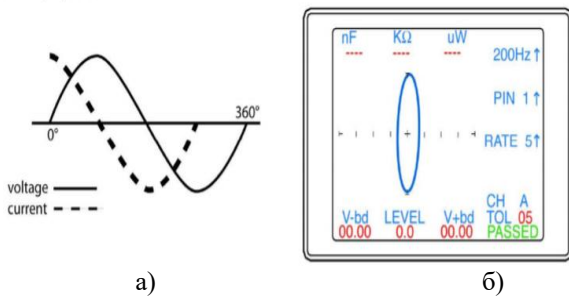


Рисунок 9 – Графіки: а) форма кривих напруга-струм; б) типова сигнатура конденсатора

«Тимчасова затримка» між кривими струму і напруги в ємнісному ланцюзі служить причиною еліптичної форми сигнатури. Ширина такого еліпса безпосередньо пов'язана з величиною ємності досліджуваного конденсатора і встановленими параметрами приладу.

Наведені нижче приклади демонструють, як значення номіналу досліджуваного конденсатора впливає на результуючу сигнатуру, що відображається на екрані приладу. Тестування при використанні тестового опору 10 Ом (рис. 10, 11).

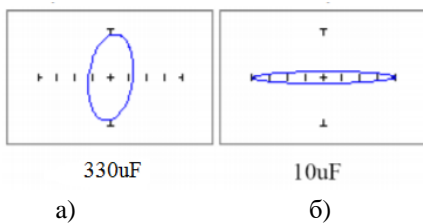


Рисунок 10 – Сигнатури конденсаторів різної ємності при використанні тестового опору 100 Ом: а) 330μF; б) 10μF

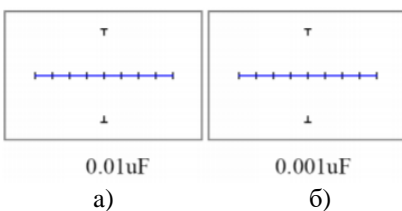


Рисунок 11 – Сигнатури конденсаторів різної ємності при використанні тестового опору 100 Ом: а) 0,01μF; б) 0,001μF

При зменшенні ємності досліджуваного конденсатора, яка відображається на дисплеї сигнатура прагне до горизонтальної лінії, отже конденсатори не відповідають номінальній ємності. Даний тестовий опір ідеально підходить для дослідження конденсаторів з великим значенням ємності.

Тестування при використанні тестового опору 100 Ом (рис. 12, 13).

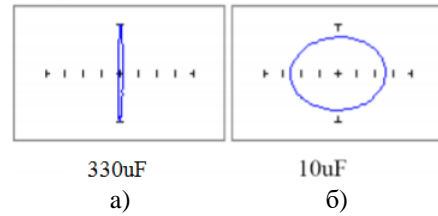


Рисунок 12 – Сигнатури конденсаторів різної ємності при використанні тестового опору 100 Ом: а) 330μF; б) 10μF

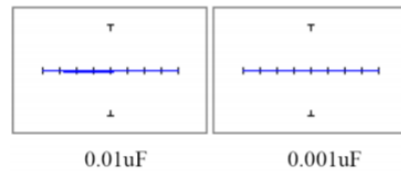


Рисунок 13 – Сигнатури конденсаторів різної ємності при використанні тестового опору 10 Ом: а) 0,01μF; б) 0,001μF

Сигнатури для конденсаторів номіналом 220 мкФ і 10 мкФ мають форму еліпса. Тестування при використанні тестового опору 1 кОм (рис. 14, 15).

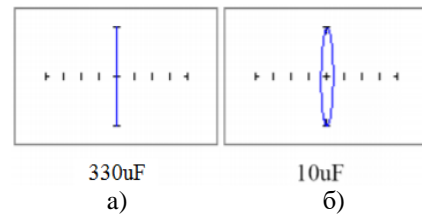


Рисунок 14 – Сигнатури конденсаторів різної ємності при використанні тестового опору 1кОм: а) 330μF; б) 10μF

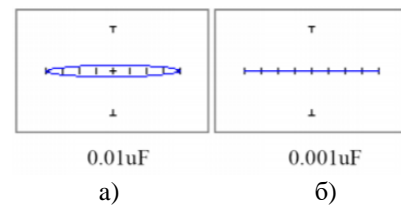


Рисунок 15 – Сигнатури конденсаторів різної ємності при використанні тестового опору 1 кОм: а) 0,01μF; б) 0,001μF

Сигнатури для конденсаторів номіналом 10 мкФ і 0,01 мкФ мають форму еліпса. Інші сигнатури відображені у вигляді вертикальної і горизонтальної лінії.

Тестування при використанні тестового опору 10 кОм (рис. 16).



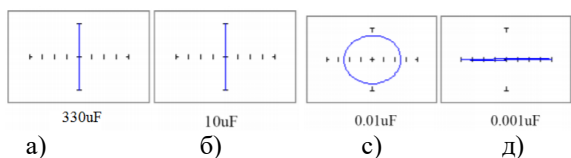


Рисунок 16 – Сигнатури конденсаторів різної ємності при використанні тестового опору 10 кОм: а) 330µF; б) 10µF; в) 0,01µF; д) 0,001µF

Сигнатура конденсатора номіналом 0,01 мкФ відображена у вигляді, типового для конденсаторів, еліпса, а сигнатура конденсатора з номіналом 0,001 мкФ виглядає як дуже сильно стислий еліпс.

ВИСНОВКИ. EyePoint B10 буде корисна інженеру, який займається розробкою або ремонтом складного електронного устаткування. Для постійного застосування. EyePoint B10 незамінна у випробувальній лабораторії будь-якого постачальника сучасних мікросхем. EyePoint B10 – це система неруйнівного контролю. Застосовувані в EyePoint B10 методи не призводять до виходу з ладу або деградації електричних параметрів досліджуваних мікросхем.

При дослідженні блока живлення компанії HuntKey, модель BS-3000, система EyePoint B10 чітко виявила два несправні електролітичні конденсатори 330 мкФ на 200 В від невідомого виробника – МК, але не відреагувала на сліди високих температур, що є суттєвим недоліком. Також система не може відреагувати на непрацюючий вентилятор, бо це не входить в її обов'язки. Таким чином питання в підготовці кваліфікованих кадрів за спеціальністю 171 – «Електроніка» залишається актуальним. Без сумніву, система EyePoint нова ланка інтелектуальних систем в тестуванні і виявленні несправностей, але без кваліфікованих операторів-інженерів така система немає користі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. EYEPOINT P10 ЦИФ-МГУ: веб-сайт. URL: [https://physlab.ru/eye\\_point\\_p10](https://physlab.ru/eye_point_p10) (дата звернення 14.06.2020).
2. Батурина Н. Ю., Калиенко И. В. Построение двумерных регрессионных моделей вольт-амперных характеристик выходного тока полевых транзисторов с помощью информационной системы PLExr. *Измерительная техника*. Москва, 2019. № 11. С. 49–55.
3. Воронов Д. С., Кривошеин А. И. Измерение вольт-амперных характеристик полупроводниковых

приборов методом аналогового сигнатурного анализа. *Аллея науки*. Томск, 2017. Т. 1. № 10. С. 723–728.

4. Кондрашов Д., Шостак А. Системы тестирования на ЭМС микросхем и печатных плат. *Технологии в электронной промышленности*. Москва, 2019. № 5(186). С. 62–66.

5. Кононов В. Б., Кушнерук Ю. И., Назаренко А. А. Дослідження проектування принципової схеми пристрою тестування інтегральних мікросхем. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2019. Т. 5 (57). С. 22–24.

6. Копысов А. Н., Хворенков В. В. и др. Особенности тестирования микроконтроллеров и ПЛИС на стендовом оборудовании «FORMULA 2K». *Информационные технологии в науке, промышленности и образовании*. Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции (Ижевск, 31 марта 2019 г.). Ижевск, 2019. С. 341–346.

7. Невлюдова В. В., Мосьпан Д. В. Моделирование выбора информативных признаков при анализе процессов, что характеризуют жизненный цикл виробів електроніки. *International research and practice conference "Modern methods, innovations, and experience of practical applications in the field of technical science"*. Random, Republic of Poland. December 27-28, 2017. Vol. 46, No. 7, p.p. 40–44.

8. Невлюдова В. В., Мосьпан Д. В. Анализ и выбор концептуальных моделей процессов развития производственных дефектов и отображения информации о техническом состоянии РЭА. *General and complex problems of technical sciences: experience of EU countries and implementation in the practice of Ukraine*. Collective monograph. 2019. p.p. 170–189.

9. Симонова А. А. Методы автоматизации тестирования электронных средств. *Advances in Science and Technology*. Москва, 2019. С. 158–159.

10. Солoduха Р. А., Денис В. М. Опыт сигнатурного анализа стеганографической программы S-TOOL. *Вестник Воронежского института МВД России*. Воронеж, 2013 № 3. С. 110–116.

11. Черкасов К. В., Мешков С. А., Макеев М. О., Иванов Ю. А., Ветрова Н. А., Федоркова Н. В. Моделирование кинетики вольт-амперных характеристик резонансно-туннельных диодов под действием дестабилизирующих факторов. *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. Санкт-Петербург, 2019. Т. 10. № 62. С. 929–940

#### SIGNATURE ANALYSIS METHOD AS A DIAGNOSTIC METHOD FOR COMPLEX ELECTRONIC CIRCUITS

D. Kukharenko, F. Fomovskiy, V. Gladkyi, S. Sankov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University  
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: krutoy276@gmail.com

**Purpose.** According to statistics, more than 95% of board failures are due to the failure of one or more electronic components in the power supply circuits or buffers of the power or logical interface. Replacement of a component can be performed by an electronics engineer of average qualification in 1 – 4 hours. **Methodology.** The method allows you to quickly identify possible damage, including the destruction of shielding diodes from static electricity or damage to the output / input transistors or other radio elements. And it is based on signature analysis. Signature analysis is a powerful method of fault diagnosis for printed circuit boards and electronic components. In situations where there are no schematics and product documentation, signature analysis can be used by comparing the analog signatures of properly functioning products with the product signatures that are under suspicion. **Finding.** EyePoint B10 will be useful to an engineer who develops and / or repairs complex electronic equipment for permanent use. **Originality.** EyePoint B10 is a desktop automatic system for detecting counterfeit, re-marked or defective electronic components in BGA enclosures.

EyePoint B10 compares the signatures (unique volt-ampere characteristics) of each output of the tested chip with the stored in the reference data of the original chip and concludes not only about the serviceability of the tested chip, but also about its belonging to one series or revision with the original chip. **Practical value.** EyePoint B10 is indispensable in the test lab of any supplier of modern microcircuits. EyePoint B10 is a non-destructive testing system. The methods used in EyePoint B10 do not lead to failure or degradation of electrical parameters of the studied chips. In a study of HuntKey's BS-3000 power supply, the EyePoint B10 system clearly identified two faulty 330  $\mu\text{F}$  electrolytic capacitors at 200 V from an unknown manufacturer, the MK, but did not respond to traces of high temperatures, which is a significant drawback. **Conclusions.** Proposed testing technique – this is the safest (without power supply to the test board) and the fastest way to find the differences of complex electrical circuits. The method is based on the technology of “flying probe”, which allows you to check automatically, without the participation of the operator, and precision mechanics, which guarantees the accuracy of the probe in the entire working range. Complemented by signature analysis software and hardware, it is a powerful chip analysis tool.

**Key words:** signature analysis, diagnostic methods for electronic circuits, circuit testing.

#### REFERENCES

1. EYEPOINT P10 CIF-MGU, available at: [https://physlab.ru/eyepoint\\_p10](https://physlab.ru/eyepoint_p10) (accessed 14.06.2020).
2. Baturina, N. Yu., Kalienko, I. V. (2019), “*Postroenie dvumernykh regressionnykh modelej vol't-ampernykh kharakteristik vykhodnogo toka polevykh tranzistorov spomoshh'yu informacziionnoj sistemy PLExp*” [Construction of two-dimensional regression models of current-voltage characteristics of the output current of field-effect transistors using the PLExp], *Izmeritel'naya tekhnika* [Measuring technique], Moscow, № 11, pp. 49–55.
3. Voronov, D. S., Krivoshein, A. I. (2017), “*Izmerenie vol't-ampernykh kharakteristik poluprovodnikovykh priborov metodom analogovogo signaturnogo analiza*” [Measurement of the current-voltage characteristics of semiconductor devices by the method of analog signature analysis], *Alleya nauki* [Alley of science], Tomsk, Vol. 1, № 10, pp. 723–728.
4. Kondrashov, D., Shostak, A. (2019), “*Sistemy testirovaniya na EMS mikroskhem i pechatnykh plat*” [Testing systems for EMC microcircuits and printed circuit boards], *Tekhnologii v elektronnoj promyshlennosti* [Technologies in the electronic industry], Moscow, pp. 62–66.
5. Kononov, V., Kushnuruk, Yu., Nazarenko, A., (2019), “*Doslidzhennya proektivannya pry'ncy'povoyi sxemy pry'stroyu testuvannya integral'nykh mikroskem*” [Preliminary design of the principle circuit I will attach the test of integrated microcircuits], *Systemy upravlinnya, navigaciyi ta zv'yazku* [Control systems, navigation and audio], Poltava: PNTU, pp. 22–24.
6. Kopysov, A. N., Khvorenkov, V. V., Ermakov, F. M., Kochurov, P. A. (2019), “*Osobennosti testirovaniya mikrokontrollerov i PLIS na stendovom oborudovanii «FORMULA 2K»*” [Features of testing microcontrollers and FPGAs on the bench equipment «FORMULA 2K»], *Informacziionny'e tekhnologii v nauke, promyshlennosti i obrazovanii* [Information Technologies in Science, Industry and education], Izhevsk, pp. 341–346.
7. Nevlyudova, V. V., Mospan, D. V. (2017), “*Modelyuvannya vyboru informaty'vny'x oznak pry' analizy procesiv, shho xaraktery'zuyut' zhy'ttyevy'j cy'kl vy'robiv elektroniky*” [Modeling the vibration of informative processes during analysis of processes to characterize the life cycle of electronic technology], *Proceedings of International research and practice conference "Modern methods, innovations, and experience of practical applications in the field of technical science"*, Republic of Poland. December 27–28, 2017, vol. 46, № 7, pp. 40–44.
8. Nevlyudova, V. V., Mospan, D. V. (2019), “*Analiz i vybor konceptual'nykh modelej processov razvitiya proizvodstvennykh defektov i otobrazheniya informaczi o tekhnicheskoy sostoyanii RE'A*” [Analysis and selection of conceptual models of processes for the development of manufacturing defects and the display of information on the technical state of CEA], *General and complex problems of technical sciences: experience of EU countries and implementation in the practice of Ukraine*, pp. 170–189.
9. Simonov, A. A., (2019), “*Metody avtomatizaczi testirovaniya elektronnykh sredstv*” [Methods of testing automation of electronic means], *Advances in Science and Technology*, Moscow, pp. 158–159.
10. Soloduha, R. A., Denis, V. M., (2013), “*Opy't signaturnogo analiza steganograficheskoy programmy S-TOOL*” [Experience in signature analysis of the S-TOOL steganographic program], *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii* [Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia], Voronezh, № 3., pp. 110–116.
11. Cherkasov, K. V., Meshkov, S. A., Makeev, M. O., Ivanov, Yu. A., Vetrova, N. A., Fedorkova, N. V., (2019), “*Modelirovanie kinetiki vol't-ampernykh kharakteristik rezonansno-tunnel'nykh diodov pod dejstviem destabiliziruyushchikh faktorov*” [Simulation of the kinetics of volt-ampere characteristics of resonant tunneling diodes under the influence of destabilizing factors], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Priborostroenie* [News of Higher Education Institutions. Instrument making], Sankt-Peterburg, t. 10, № 62., pp. 929–940.

Стаття надійшла 20.06.2020