

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГРАФИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В. А. СТОРОЖЕНКО, С. Б. МАЛИК

В настоящее время весьма перспективно применение современных тепловизионных технологий для диагностики радиоэлектронной аппаратуры. Приведено описание методики проведения контроля печатных плат с помощью тепловизора, а также описание разработанной программы их автоматической разбраковки.

Now application of modern infrared technologies for diagnostics of the radio-electronic equipment is rather perspective. The description of a technique of monitoring procedure of printed-circuit-boards with the help of infrared camera, and also the description of the developed program of their automatic grading is resulted.

Основы теплового метода неразрушающего контроля плат радиоэлектронного оборудования были заложены в 1970–1980 гг. В качестве измерительных устройств использовались точечные или сканирующие пирометры и тепловизоры с охлаждаемым одноэлементным приемником и механической разверткой [1–3]. Этот факт в сочетании с несовершенными программными средствами сдерживал развитие тепловизионной диагностики электронной техники.

В последние годы аппаратурная база теплового метода контроля существенно изменилась. Это связано с развитием тепловизионной техники, появлением тепловизоров с многоэлементными охлаждаемыми приемниками FPA [4] и более совершенным программным обеспечением. Это вывело тепловизионную диагностику на новый виток развития.

В настоящее время тепловизионный контроль электронного оборудования и его компонентов проводится в следующих направлениях: анализ теплового режима электронных схем; контроль изменения параметров электрических цепей; контроль качества элементов; автоматизация процессов контроля и поиска неисправностей [5]. В частности, такие технологии применяются в Великобритании на заводах фирм IBM, Digital Equipment, Plessi Telecommunications и позволяют не только повысить качество и надежность производимой продукции, но и существенно упростить и сократить по времени операцию контроля плат электронных узлов радиоэлектронного оборудования, в частности телекоммуникационного.

Схематически процедуру термографического контроля можно представить следующим образом: контролируемая плата с подключенным питанием устанавливается перед тепловизором, который регистрирует тепловое излучение ее элементов и визуализирует его в виде термограммы. Полученное температурное поле сравнивается с

эталонным, хранимым в памяти ЭВМ (обычно эталонные температурные сигналы получают усреднением 20–30 термограмм заведомо годных плат). Экспериментальные данные, необходимые для построения достоверных математических моделей (эталонов), могут быть получены только для изделий массового производства (больших серий) или при наличии эталонов в норме и при наличии типовых дефектов или неисправностей.

Дешифрирование термограмм проводит оператор или автоматизированная система. Заключение о качестве изделий принимают на основе анализа величины обнаруженных температурных аномалий; особенностей их временного развития; морфологии температурных зон на поверхности изделия [6].

Так как существующего стандартного программного обеспечения тепловизора недостаточно, чтобы автоматически выделять дефектные элементы и принимать решения о годности всего изделия в целом, необходимо создание отдельного комплекса, позволяющего анализировать по одной термограмме температурные режимы всех элементов любого узла радиоэлектронного оборудования в отдельности. Для успешного решения такой задачи необходимо исследовать плату в рабочем режиме на тепловизоре, получить серию качественных термограмм; выбрать систему информационных признаков, описывающих температурный режим элементов платы; произвести обработку термограммы с помощью стандартного программного обеспечения тепловизора; сформировать базу данных по температурным режимам элементов на термограмме и справочным паспортным данным исследуемой платы; разработать алгоритм и программу для автоматической обработки результатов термографирования печатной платы.

Решению перечисленных выше задач посвящены настоящие исследования, нацеленные на соз-



дание измерительно-программного комплекса для контроля печатных плат.

В основу разработки было положено следующее [5]:

в качестве информативных параметров используются координаты точек и значения температуры в этих точках;

максимально допустимые тепловые режимы компонентов эталонной платы задаются согласно документации на изделие, номинальные рабочие температурные режимы определяются в процессе проектирования изделия по усредненному значению температур элементов сотни годных плат;

ввиду высокой плотности монтажа современных печатных плат, малых размеров элементов и недостаточно высокому пространственному разрешению некоторых тепловизоров, а также идентичности тепловых режимов некоторых элементов рядом расположенные элементы при необходимости можно рассматривать как группу элементов;

измерительная установка должна состоять из координатно-позиционного устройства, измерительного тепловизора, персонального компьютера с соответствующим программным обеспечением, к объекту контроля подводятся питание и нагрузка;

классы годности платы определяются как отклонение от номинальной рабочей температуры: до 5 — первый, до 10 — второй, более чем на 10 % — третий класс [1].

Для обработки и анализа получаемых с помощью тепловизора термограмм была использована среда Matlab, которая содержит набор встроенных функций, позволяющих не только при необходимости проводить качественную фильтрацию и избавляться от шумов на термограмме, но и создавать образцы (эталонные) температурных полей как всего диагностируемого объекта (платы), так и отдельных его элементов с учетом их положения на плате (координаты) [7].

В этой среде была разработана программа ThermoPro v.1.0 обработки термограмм печатных плат с целью их разбраковки и предусматривающая одноразовый ввод в тело программы параметров эталонной печатной платы для каждого изделия, а также диапазона температур, в котором проводится снятие термограмм.

Программа согласована со стандартным программным обеспечением тепловизора, которое формирует термограммы в виде компьютерных файлов с различными разрешениями. Так, термограмма в формате .rsx представляет собой матрицу с нормированными значениями интенсивности цветов в диапазоне 0...255. Поэтому для определения соответствия значений интенсивности цветов реальной температуре предложены и введены в программу формулы:

$$t_{\text{инт}} = (t_{\text{град}} - T_{\text{мин}}) \frac{256}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} \quad (1)$$

или

$$t_{\text{град}} = \frac{(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})t_{\text{инт}}}{256} + T_{\text{min}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{инт}}$ — величина интенсивности цвета на термограмме, соответствующая значению температуры $t_{\text{град}}$, °С; T_{max} и T_{min} — соответственно максимальная и минимальная температуры на термограмме, °С (определяются из информационной строки на термограмме).

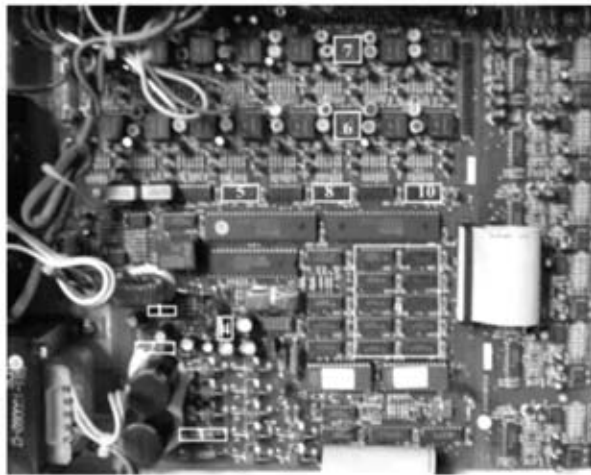
Эталонная печатная плата, состоящая из эталонов отдельных элементов, представляет собой матрицы, отображающие значения максимальной допустимой температуры элемента и номинальной рабочей температуры.

После ввода файла термограммы исследуемой платы согласно алгоритму начинается процесс ее обработки. В первую очередь выделяется элемент на плате. Затем определяется максимальное значение интенсивности в пределах координат этого элемента и сравнивается с максимально допустимым значением (эталонном) для этого элемента. Если элемент дефектный, то программа переходит к анализу следующих элементов. Если элемент имеет температуру ниже пороговой, то проводится сравнение температуры элемента с пороговыми для разных классов качества платы. Затем анализируется следующий элемент.

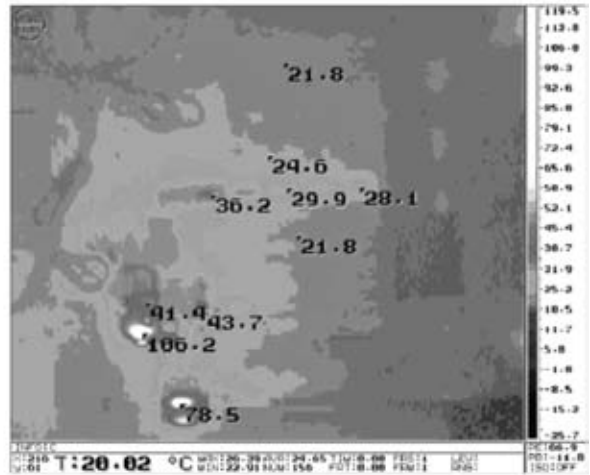
Таким образом, каждому элементу присваивается свой класс годности. В случае дефектности хотя бы одного элемента вся плата признается негодной. Если дефектных элементов нет, то плате присваивается класс годности «худшего» элемента [8].

Работоспособность предложенного алгоритма и программы была проверена экспериментально. Объектом исследования являлась плата мини-АТС MT-360 Series 616/824 Digital KSU (рис. 1, а). Для диагностики исследуемой платы был использован тепловизор IRTIS-200 и персональный компьютер типа Portege 660CDT.

Так как создание набора физических эталонов — очень сложная практическая задача, требующая наличия достаточно полной информации об элементной базе конкретного изделия, которой обладают разработчики контролируемой аппаратуры, то для проведения эксперимента на контролируемой плате были выделены десять по разному нагруженных элементов с известными пороговыми значениями рабочей температуры и по видимому изображению определены их координаты. Получена термограмма и определены максимальные значения температур выбранных элементов (рис. 1, б).



а



б

Рис. 1. Плата мини-АТС: а — внешний вид; б — термограмма



Рис. 2. Термограммы виртуальных плат: а — с имитированным дефектом элемента; б — второго класса качества (температура элемента выше эталонной); в — третьего класса качества (температура элемента выше эталонной)

Ввиду отсутствия идентичных как исправных, так и заведомо дефектных объектов контроля (т. е. аналогичных плат мини-АТС) для определения эталонных температур и проверки программы на возможность разбраковки проводился машинный эксперимент. В качестве эталонных номинальных значений температуры были приняты измеренные значения температуры элементов реальной печатной платы, что позволило сформировать в теле программы модель эталонной платы.

Для машинного эксперимента создан набор виртуальных плат различного качества. Термограммы (температурные поля виртуальных плат) моделируются с помощью графического редактора по определенной схеме (с заданными дефектами и отклонениями температур), часть из них приведена на рис. 2.

Полученные термограммы были введены для анализа в программу. Заключение программы соответствовало сути температурных аномалий, платы были разбракованы корректно.

Выводы

Применение термографии для контроля печатных плат является весьма перспективным направлением в неразрушающем контроле ввиду его эконо-

мичности в первую очередь с точки зрения временных затрат, возможности автоматизации процесса отбраковки. В ходе проведенных экспериментов было установлено, что процесс отбраковки может проходить корректно даже при минимальном наборе информационных признаков (значения температур и координаты), причем программное средство позволяет регулировать «порог брака» в зависимости от требований, предъявляемых к контролируемой аппаратуре. Разработанный программно-измерительный комплекс предусматривает возможность поточного контроля, что очень эффективно при массовом и серийном производстве.

1. Вавилов В. П. Тепловые методы контроля композиционных структур и изделий микроэлектроники. — М.: Радио и связь, 1984. — 152 с.
2. Данилин Н. С. Неразрушающий контроль качества продукции радиоэлектроники. — М.: Изд-во стандартов, 1976. — 240 с.
3. Бекешко Н. А. Тепловые методы неразрушающего контроля изделий и элементов радиоэлектроники // Измерения, контроль, автоматизация. — 1979. — № 5. — С. 13–24.
4. Вавилов В. П., Климов А. Г. Тепловизоры и их применение. — М.: Интел универсал, 2002. — 88 с.
5. Малик С. Б. Термографический контроль радиоэлектронного оборудования // 10-й Юбилейн. міжнар. форум «Радиоелектроніка і молодь у ХХІ ст.» // Зб. матеріалів форуму. — Харків: ХНУРЕ, 2006. — С. 197.

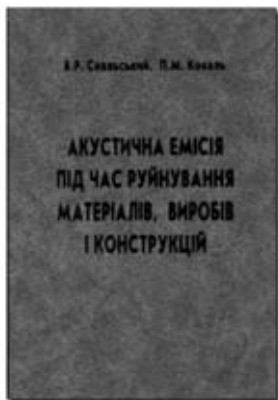
6. *Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. // Под общ. ред. В. В. Клюева. Т.5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль / В. П. Вавилов. Кн. 2: Электрический контроль / К. В. Подмастерьев, Ф. Р. Соснин, С. Ф. Корндорф и др. — М.: Машиностроение, 2004. — 679 с.*
7. *Xavier P. V. Maldague Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. — John Wiley & Sons, Inc. — 2001. — P. 684.*
8. *Стороженко В. А., Малик С. Б. Тепловизионная диагностика электронных узлов телекоммуникационной аппаратуры // Зб. тез доповідей 5-ї Наук.-техн. конф. «Приладобудування: Стан і перспективи» — 25-26 квітня 2006 р., Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ», 2006. — С. 245.*

Харков. нац. ун-т радіоелектроніки

Поступила в редакцію
11.09.2006

НОВЫЕ КНИГИ

Скальський В. Р., Коваль П. М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації. — Львів: СПОЛОМ, 2005. — 396 с.



Розглянуто основні фізичні принципи поширення пружних хвиль у твердих тілах, особливості таких процесів на межі їх поділу, а також у системі «тверде тіло– рідина». З позицій механіки руйнування і на основі явища акустичної емісії (АЕ) описано теоретико-експериментальні засади створення методик неруйнівного контролю для оцінки зародження і розвитку руйнування в різних конструкційних матеріалах: сталях, чавунах, алюмінієвих сплавах, бетоні та залізобетоні.

Запропоновано принципи побудови та практичного застосування основних вузлів і блоків засобів відбору, обробки та зберігання АЕ-інформації. Викладено методологічні засади низки методик АЕ-обстежень і технічного діагностування виробів і конструкцій у реальних умовах експлуатації. Показано специфіку застосування АЕ для обстеження великогабаритних об'єктів довготривалої експлуатації.

Для наукових працівників та інженерів-дослідників, а також аспірантів і студентів відповідних спеціальностей.

Скальський В. Р., Андрейків О. Є. Оцінка об'ємної пошкодженості матеріалів методом акустичної емісії. — Львів: Видавничий центр ЛНУ імені І. Франка, 2006. — 330 с.

У монографії на основі явища акустичної емісії (АЕ) викладено методологію і методи неруйнівного контролю для оцінки об'ємної пошкодженості та прогнозування її критичної величини у матеріалах, виробах і елементах конструкцій. Теоретичною основою цих методів слугує запропонована авторами модель кількісної оцінки об'ємної пошкодженості кристалічних тіл, на підставі якої розроблено експериментальні методики визначення механічної та акустико-емісійної міри об'ємної пошкодженості твердих тіл в області локалізованих пластичних деформацій. Описано методологічні засади для кількісної оцінки АЕ-міри об'ємної пошкодженості матеріалу в пластичній зоні макротріщини, запропоновано аналітичну залежність для її визначення і встановлено критерій початку розвитку макроруйнування. Отримано критерії визначення стадій накопичення об'ємної пошкодженості під час зародження та розвитку мікро- та макротріщин у різних матеріалах і виробах. Приведено методики та описано засоби для лабораторних АЕ-досліджень з метою встановлення базових характеристик матеріалів стосовно запропонованих критеріїв і моделей.

Для наукових працівників та інженерів-дослідників, а також аспірантів і студентів відповідних спеціальностей.



З питань придбання книг звертатись:

Скальський В. Р. Відділ № 12 ФМІ НАНУ, вул. Наукова, 5, м. Львів-60, Україна, 79060
Тел./факс: (0322) 22-96-546; e-mail: skal@ipm.lviv.ua