



НАДЕЖНОСТ НА ЕЛЕКТРОННОТО ОБОРУДВАНЕ И ТЕРМОГРАФСКИ МЕТОДИ RELIABILITY OF ELECTRONIC EQUIPMENT AND THERMOGRAPHIC METHODS

Анна Андонова*

Технически Университет-София

Велимира Тодорова

Технически Университет-Габрово

Статията е постъпила на 21.05.2013 г.; приета за отпечатване на 31.05.2013 г.

Abstract

Results in the application of advanced thermographic methods effective to conduct diagnosis of electronic equipment and in particular to power conversion devices are presented and discussed. The application of the thermography as a diagnostic tool is illustrated by examples of LED and PV.

Keywords: infrared thermography; power conversion devices; diagnosis; reliability.

ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременното развитие на електронната индустрия поставя високи изисквания към надеждността на оборудването, повишаването на достоверността на диагностичните методи и ефективната експлоатация на електронното оборудване. Надеждността на оборудването се базира на задължително прилагане на най-новите средства и методи за диагностика и изисква комплексен подход към решаването на инженерно-техническите проблеми. Инфрачервената термография привлича все по-голямо внимание като метод за профилактика поради високата си точност и чувствителност. Тя предлага високотехнологичен подход за диагностика на електронно оборудване, откриване на топлинни аномалии и методи за тяхното измерване. Прилагането на системен контрол дава възможност за оценка и прогнозиране на въздействието на околната среда и техническото състояние върху надеждността на електронните устройства. Една съвременна концепция за внедряване на допълнителен термографски контрол може да осигури надеждна експлоатация особено за енергопреобразуващите електронни устройства като светодиодни осветителни тела и фотоволтаични панели, означавани по нататък като ЕПЕУ.

В статията са представени някои резултати от практическото приложение на термографски контрол и нов подход за обработка на термограми, за диагностика на високонадеждни електронни устройства, пряко свързани с осигуряване на енергийната ефективност (по специално LED и PV). Благодарение на прилагането на комплексен анализ може да се автоматизира процесът на диагностика за по-бърз и по-точен анализ на техническото състояние.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Надеждността на ЕПЕУ се реализира с използването на четири форми на техническо обслужване:

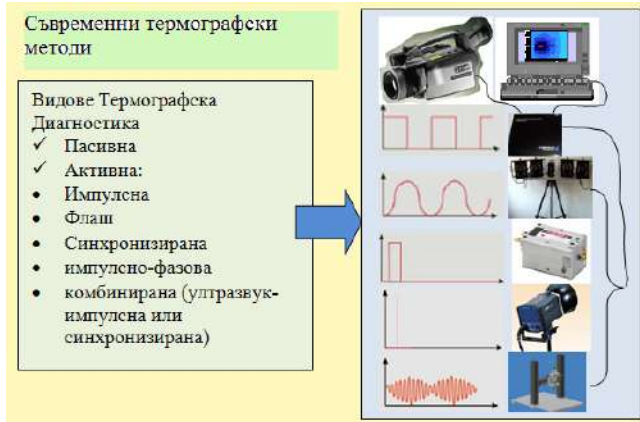
- Реактивно (реагиращо) профилактично обслужване (РПО);
- Обслужване по регламент или планово-профилактично обслужване (ППР);
- Обслужване по фактическо техническо състояние (ОФС);
- Проактивно или превантивно обслужване (ПАО).

В европейските и развитите страни се използват прогресивни форми за техническо обслужване на ЕПЕУ като ПАО и ОФС, а у нас основно регресивни РПО и ППР.

Като се има предвид, че всички методи за техническа диагностика, използвани в световната практика, много тясно граничат с теорията на вероятностите и имат теоретична достоверност 92–96%, а практическата достоверност на всеки метод за техническа диагностика е в диапазон 80%–90%, то може да се направи извод, че за повишаване достоверността на диагностиката и за локализиране на дефект е необходимо да се използват няколко метода за техническа диагностика. Например, термография и електрическа или оптична диагностика, или няколко различни научни методики от едно направление на техническата диагностика (като термографски методи за преобразуване и анализ на термограми), например за откриване на горещи петна по повърхността на ЕПЕУ, поради късо съединение или отворена верига. По статистически данни най-често срещаните проблеми в ЕПЕУ са с електрически, механически и/или оптически характер и водят до поява на късо съединение или отворена верига [1, 2].

* Тел.: 02 9653263; e-mail: ava@ecad.tu-sofia.bg

Термографската диагностика може да се използва за оценка на техническото състояние на ЕПЕУ непосредствено в процеса на експлоатация при натоварено състояние на устройствата. Изборът за приложение на конкретен метод (фиг. 1) определя вида на информативните параметри (параметрите използвани за вземане на решение за техническото състояние на ЕПЕУ).



Фиг. 1. Видове термографски методи, използвани за диагностика и използването на различни източници с типичните сигнали на възбуждане

В зависимост от избрания термографски метод за диагностика са използвани различни информативни параметри:

- Температурен сигнал

$$\Delta T(x,y,\tau) = T(x,y,\tau) - T_{ref}(x,y,\tau) \quad (1)$$

където $T_{ref}(x,y,\tau)$ е еталонна температура, а $\Delta T(x,y,\tau)$ е амплитуден информативен параметър

- Контраст (текущ или нормализиран, или диференциален или контраст на тримерна филтрация)

$$C^{run}(x,y,\tau) = \Delta T(x,y,\tau) / [T(x,y,\tau) - T_a(x,y,\tau)] \quad (2)$$

където $T_a(x,y,\tau)$ – (начална) температура на околната среда, а $C^{run}(x,y,\tau)$ е текущ контраст

- Характерно време на топлопредаване
- Оптимално време на наблюдение
- Ранно време на откриване.

Изследвания са провеждани за диагностика на ЕПЕУ като са използвани пасивна и активна термография (импулсна и синхронизирана). Термографската система включва инфрачервена камера FLIR SC640 (640x480 пиксела), управляващ външните топлинни стимулатори електронен блок AT IRX-Vox USB, инфрачервена лампа, халогенна лампа, флаш, PC и софтуер за управление (AT IR NDT и SDK) и за обработка на термограмите (Researcher).

При анализа на резултатите от термографски контрол трябва да се отчети конструкцията на ЕПЕУ, начинът на охлаждане, условията и продължителността на експлоатация, технологията на изработка и редица други фактори, свързани с калибровката на термографската система.

Прилагайки на практика термографския контрол за ЕПЕУ със слабо топлоотделяне възникна проблем, че малките температурни отклонения, свидетелстващи за поява на аномалии в работата на диагностицираното оборудване, се губят на фона на по-силни шумове, възникващи от различни фактори.

Такива фактори могат да бъдат например влиянието на части от корпусите или на вариациите на излъчва-

телната способност. Още повече, че всяка термограма съдържа в себе си информация за търсените температурни изменения. Така задачата се състои само в това тези изменения да се открият и покажат.

За целта е разработен метод за обработка на термографската информацията за отстраняване на съществуващите проблеми при измерването на слаби топлинни изменения.

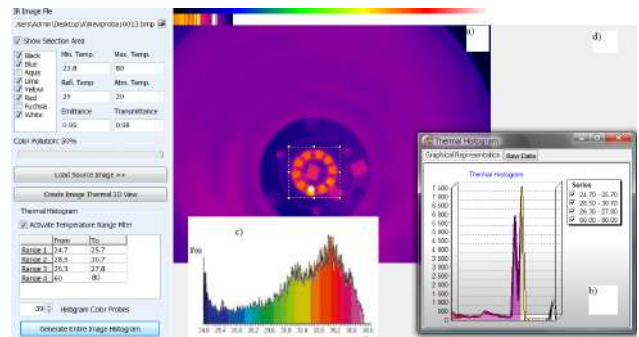
Методът е базиран на принципа на определяне на най-вероятната стойност на температурата на повърхността на обекта или на негов фрагмент. Той отчита както статистическите свойства на излъчващата повърхност, така и статистическите параметри на оптикоелектронния тракт, използван в термографската апаратура. Методът позволява лесно да се извеждат критерии за оценка на техническото състояние на различни ЕПЕУ и да се провежда сравнение на обектите при различни температури на околната среда. Задачата се решава с преобразуване на двумерното разпределение на температурата на обекта в едномерна функция, която е конволюция на термограмата по координати и съдържа в себе си целия измерван обект или фрагмент от неговата повърхност:

$$F(t_i) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m [k(x,y)\epsilon(x,y)]F(x_j, y_k, t_i) \quad (3)$$

където $k(x,y)$ – коефициент на предаване на оптикоелектронния тракт, $\epsilon(x,y)$ – стойност на излъчвателната способност на повърхността.

Въведената функция-конволюция на обекта, както и изходната термограма, носят информация за топлинното състояние на обекта (за случая на пасивна термография), скритите източници на топлоотделяне, взаимодействието с околната среда, статистическите параметри на излъчвателната повърхност и изкривяванията, внасяни от оптикоелектронния тракт на измервателната система. Също така се дава информация за относителната площ на разпределение на температурата по повърхността на контролирания ЕПЕУ.

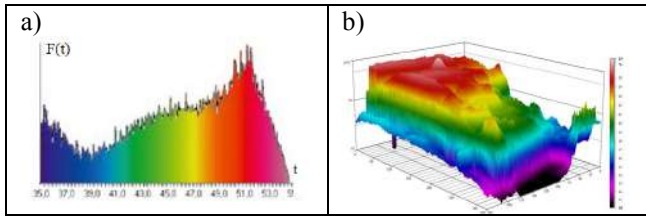
На Фиг. 2 е показан фрагмент от разработения софтуер за автоматизирана обработка на термографски образи от пасивно термографско измерване на светодиодно LED осветително тяло. Предвидена е възможност за избор на фрагмент от обекта и оценка само на неговото температурно разпределение.



Фиг. 2. Резултати от диагностика на LED осветително тяло след 1000 часа на работа. (а)-оригинална термограма с избран фрагмент за анализ; (б) – хистограма на температурното разпределение за фрагмента; (с) – образ на термограмата; (д) - меню на софтуера за обработка на инфрачервени образи от пасивна термография

На фиг. 3 са показани резултати от диагностиката на PV панел. Както се вижда от фиг. 3а, елементарното

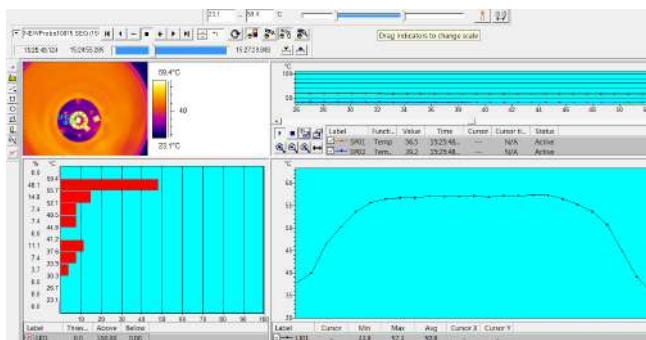
преобразуване се явява функция на Гаус с ярко изразен максимум (най-вероятната стойност на температурата на повърхността). Резултантната функция на преобразуването на PV панел има доста сложен вид, тъй като представлява суперпозиция на елементарни преобразувания на повърхността на обекта, разбит на големи участъци, където температурата може да се счита постоянна в границите на грешката от измерването.



Фиг. 3. Резултати от диагностика на PV панел:
(а)образ на термограма; (б) 3D термограма на панела

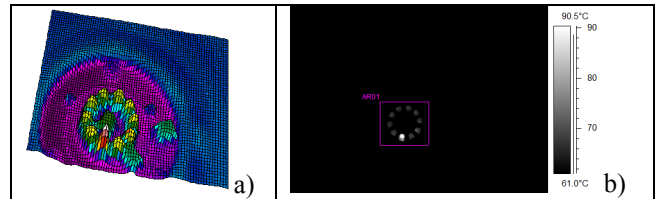
Изхождайки от това, може да се предположи, че възникването на аномалии, явно невидими на термограма, ще доведат до изменение на формата на термографската функция $F(t)$ – поява на допълнителни екстремуми или изместването ѝ в друга температурна зона. Степента на отклонение на получения ”образ” от еталонния характеризира степента на развитие на дефекта. Безусловно, всички измервания трябва да се извършват при неизменни външни условия и натоварване. По външния вид или стойностите на функцията $F(t)$ се взема решение за отсъствие или наличие на вътрешен дефект. Координатите на предполагаемия скрит дефект се определят по анализа на изходната термограма в температурния интервал Δt .

Термограмите (както единични, така и последователности от термограми) са обработвани и с изследователски софтуер Researcher на FLIR. На фиг.3б е показана 3D изображение на диагностициран PV панел, след експлоатация от 5 години. На фиг. 4 е показано менюто на този софтуер с който се анализират данните от последователности от изображения. С това се използва една допълнителна възможност за изследване историята на развитието на топлинни аномалии в реално време. Показан е пример на LED осветително тяло, в който един от светодиодите е с температура, надвишаваща с 20°C температурата на останалите 9 светодиода на тялото. Това се регистрира от хистограмата, профила и температурното изменение във времето на проследяваните елементи (цветодиоди) в обекта.



Фиг. 4. Резултати от обработка на последователности от термографски образи в средата на софтуер RESEARCHER.

След предварително филтриране на оригиналните термограми за редуциране на шума може да се извърши допълнителна обработка за точното определяне позициите на скритите дефекти като 3D визуализирани на скрити дефект и събтракция. Резултати от такива обработки са показани на фиг. 5.



Фиг. 5. Резултати от постпроцесинг на проблемни области със скрити дефекти в LED осветително тяло: (а) 3D изображение; (б)резултантно изображение, получено от извличане на разлика пиксел по пиксел между две термограми, получени в различни моменти от време

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано е, че инфрачервеният термографски контрол е универсален и ефективен метод за оценка на техническото състояние и надеждността на ЕПЕУ (LED и PV). При проверка на хипотезата за минимален брой диагностични измервания и за оценка на фактическото техническо състояние на работещи ЕПЕУ се оказа, че са достатъчни пет статистически измервания на дадения обект.

В случай на невъзможност да се различи визуалният топлинен образ на елементи, прикриващи се един друг, трябва да се използват методи за автоматичен анализ и обработка на термограмите.

Описаните методи за диагностика при системното им използване позволяват по натрупаните данни да се взема обосновано техническо решение за поддържане на експлоатационната надеждност на действащото ЕПЕУ и своевременно да се провеждат ремонти.

Показано е, че термографският контрол може да се използва в качеството на основен метод за откриване на вътрешни аномалии, водещи до изменение на термограмите при мониторинг на ЕПЕУ.

БЛАГОДАРНОСТ

Изследването е осъществено благодарение финансовата подкрепа на ФНИ проект ДФНИ-ИО1 „Информационно-измервателна система за термографска оценка на потенциални дефекти и прогнозиране ресурса на високонадеждни енергопреобразуващи елементи”

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. Poppe1, C. Lasance, On the Standardization of Thermal Characterization of LEDs, 25th IEEE SEMI-THERM Symposium, San-Jose, CA, pp. 151 – 158, 2009.
- [2] S. Koh, W. Van Driell, G. Zhang, Degradation of light emitting diodes: a proposed methodology, Journal of Semiconductors, vol.32, No 1, 2011.
- [3] http://www.nrel.gov/pv/performance_reliability/failure_databases.html
- [4] J. Bauer, O. Breitenstein, Jan-Martin Wagner, Lock-in Thermography: A Versatile Tool for Failure Analysis of Solar Cells, ASM International, No 3, pp. 6-12, 2009.