

II Sympozjum

AKTUALNE PROBLEMY W METROLOGII' 2013

Katedra Metrologii i Systemów Informacyjnych Politechniki Gdańskiej

ZASTOSOWANIE ZOBRAZOWANIA TERMOGRAFIKZNEGO  
W BADANIACH URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH

Stanisław GALLA

1. Katedra Metrologii i Optoelektroniki, Politechnika Gdańska  
tel: (58) 347 17 37 fax: (58) 341 61 32 e-mail: galla@eti.pg.gda

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono możliwości diagnostyki termowizyjnej w ocenie konstrukcji urządzeń elektronicznych. Zwrócono uwagę na zalety i ograniczenia w stosowaniu termowizji jako narzędzia diagnostycznego przy badaniu złożonych urządzeń elektronicznych. Przedstawiono przykłady zastosowania zobrazowania termograficznego umożliwiającego w ograniczonym czasie szybką i bezpośrednią ocenę zastosowanych rozwiązań technicznych oraz jakości komponentów.

**Słowa kluczowe:** termowizja, diagnostyka, badania.

## 1. WPROWADZENIE

Kontrola stanu urządzeń elektronicznych może być wykonywana za pomocą różnorodnych narzędzi pomiarowych i stanowi bardzo ważną część procedur weryfikujących ich jakość i poprawność działania. Dla określenia stanu urządzeń elektronicznych i elektrycznych stosowane są coraz szerzej kamery termograficzne. Pozwalają one na przeprowadzanie bezkontaktowej i nieinwazyjnej kontroli układu w zakresie emisji promieniowania podczerwonego, które w normalnych warunkach jest niewidoczne dla ludzi. Promieniowanie podczerwone pozwala na uzyskanie dużej ilości informacji o stanie obserwowanego urządzenia, pozwalając na kontrolę poprawności wykonania konstrukcji pod wieloma aspektami. Pozwala w prosty sposób określić zarówno jakość montażu, jak i poprawność zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Dodatkowo monitoring urządzenia badanego w zakresie widma podczerwonego pozwala na sprawdzenie, czy wszystkie komponenty systemu pracują. W przypadku urządzeń cyfrowych o rozbudowanej funkcjonalności, zależnej od oprogramowania, można określić, które podzespoły urządzenia są w danej chwili aktywne. Pozwala to na kontrolę stosowanego oprogramowania, jak również na określenie stabilności pracy urządzenia [1]. Należy podkreślić, iż wykonywanie diagnostyki termowizyjnej w żaden sposób nie ingeruje w urządzenie i nie wymaga, w większości przypadków, specjalnego przygotowywania obserwowanego obiektu.

W przypadku dysponowania wzorcowymi zdjęciami emisji promieniowania podczerwonego obserwowanego obiektu możliwe jest natychmiastowe zdiagnozowanie stanu urządzenia w stosunkowo szerokim zakresie.

## 2. UWARUNKOWANIA POMIAROWE

Podczas termograficznych bezstykowych pomiarów temperatury wykorzystywane jest zjawisko emisji promieniowania cieplnego przez każdy obiekt, którego temperatura jest wyższa od 0 K. Natężenie promieniowania cieplnego dla ciała doskonale czarnego można zdefiniować bezpośrednio z prawa Plancka, jednakże częściej wykorzystywane jest prawo Stefana – Boltzmann. Należy pamiętać, że w rzeczywistości nie mamy do czynienia z ciałami doskonałymi i wyniki pomiarów muszą uwzględniać występowanie wielu różnorodnych czynników wpływających na pomiar [2, 3, 4]. Podstawowym parametrem obiektu, znacząco wpływającym na pomiary jest współczynnik emisyjności  $\varepsilon$  (określający stosunek natężenia promieniowania emitowanego,  $M(\lambda, T)$ , do natężenia promieniowania ciała czarnego  $M_o(\lambda, T)$  dla tej samej temperatury, długości fali  $\lambda$ , i tego samego kąta obserwacji. Współczynnik emisyjności zależy od wielu czynników, min. od rodzaju materiału, sposobu jego wykończenia i temperatury obiektu. Jednym ze stosowanych podziałów ciał obserwowanych jest podział ze względu na współczynnik emisyjności (dla stałego kąta obserwacji) [3, 4]:

- $\varepsilon_0(\lambda, T) = 1$  – ciała czarne,
- $0 < \varepsilon_0(\lambda, T) < 1$  – ciała nie czarne,  
 $0 < \varepsilon_0(\lambda, T) < 1$ ;  $\varepsilon_0(\lambda, T) = \text{const.}$  – ciała szare,  
 $0 < \varepsilon_0(\lambda, T) < 1$ ;  $\varepsilon_0(\lambda, T) = \text{var.}$  – ciała nie szare.

Stosowane obecnie kamery termograficzne mają możliwość uwzględnienia poprawek związanych z zastosowaną optyką i warunkami atmosferycznymi występującymi w czasie trwania pomiarów, w postaci oprogramowania zintegrowanego z urządzeniem pomiarowym. W przypadku pomiarów termowizyjnych urządzeń elektronicznych są to najczęściej złożone układy, które z reguły nie są jednorodne. Używane obecnie w urządzeniach elementy SMD charakteryzują się różnorodną formą ich wykonania, zarówno pod względem zastosowanych do ich budowy materiałów, jak i ich faktury [1]. Za w miarę jednorodną płaszczyznę można uznać powierzchnię płytki PCB, jednakże także ona, w zależności od rodzaju zaimplementowanej maski oraz możliwego występowanie dodatkowych pól o innym charakterze (np. połączonych padów testowych) sprawia,

że sama płytkę PCB może charakteryzować się zmiennym współczynnikiem emisyjności. Na tej podstawie należy wnioskować, że w czasie pomiarów termograficznych nie należy traktować badanych układów elektronicznych jako ciał, o jednorodnym i stałym współczynniku emisyjności. Jednocześnie należy pamiętać, iż powoduje to obciążenie znacznym błędem każdego pomiaru temperatury za pomocą kamery termowizyjnej. Oczywiście możliwe jest wyznaczanie współczynników emisyjności dla poszczególnych obszarów, jednakże bez dodatkowego specjalistycznego oprogramowania jest to znacznie utrudnione. Lepszym rozwiązaniem w takich przypadkach jest wyznaczanie przyrostów temperatury w wybranych obszarach.

### 3. PRZYKŁADOWE POMIARY

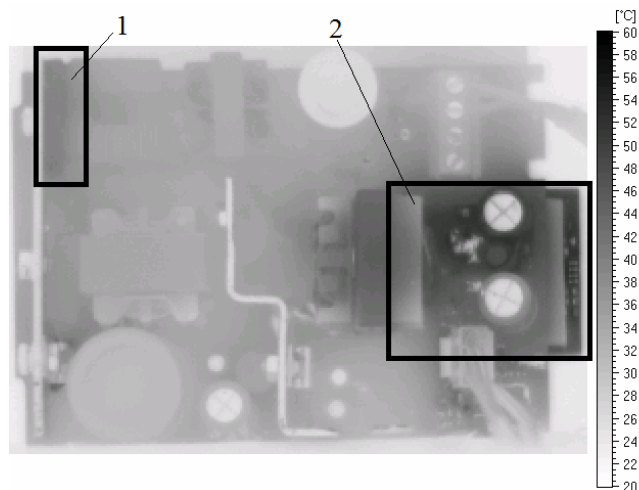
Weryfikacja jakości i poprawności działania urządzenia elektronicznego jest bardzo ważną częścią procesu uruchamiania i badań przed wprowadzeniem danego urządzenia na rynek. Przedstawione poniżej przykłady termogramów obrazują zarówno urządzenia prototypowe, jak i badania kontrolne urządzeń produkowanych seryjnie. Wszystkie termogramy wykonano za pomocą kamery VIGOCam v50, której podstawowe parametry zostały przedstawione w tabelicy 1. Zamieszczone termogramy są zobrazowane w paletcie czarno-białej, gdzie kolor czarny wskazuje wyższą temperaturę powierzchni.

Tabela 1. Podstawowe parametry kamery VIGOCam v50 [5]

Parametr	Opis
Typ detektora	Niechłodzona macierz bolometryczna (FPA)
Zakres spektralny	8 – 14 $\mu\text{m}$
Rozdzielczość obrazu	• 320 x 240 pikseli (60 ramek/s) • 384 x 288 pikseli (30 ramek/s)
Rozdzielczość termiczna	$\leq 0,065^{\circ}\text{C}$ (dla temperatury $30^{\circ}$ )
Zakresy pomiarowe	• zakres 1: $-20^{\circ}\text{C}$ do $120^{\circ}\text{C}$ • zakres 2: $-10^{\circ}\text{C}$ do $400^{\circ}\text{C}$
Błąd bezwzględny	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ lub $\pm 2\%$ zakresu pomiarowego
Korekcja	• korekcja temperatury otoczenia, • korekcja emisyjności, • korekcja wpływu atmosfery uwzględniająca odległość od obiektu, temperaturę i wilgotność atmosfery
Obraz wizyjny	Zapis obrazów na karcie SD, wbudowanej pamięci FLASH
Obraz termiczny	Zapis obrazów na karcie SD, wbudowanej pamięci FLASH Możliwość exportu obrazów do typowych formatów graficznych i tekstowych

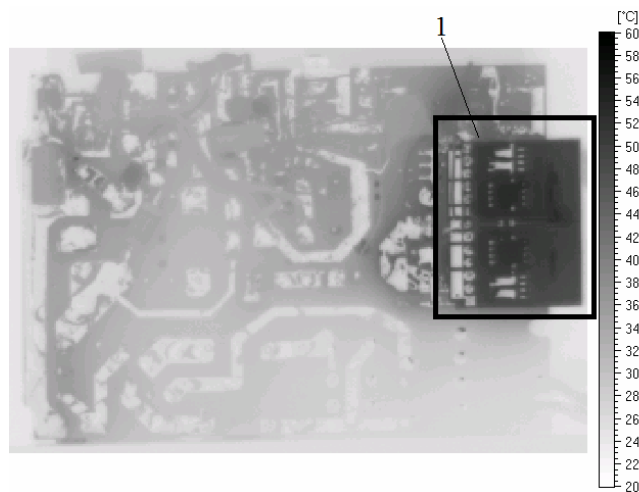
### 3.1. Badania zasilacza AC/DC

Pomiary termograficzne wykonywano dla prototypu zasilacza AC/DC dedykowanego do pracy z centralami alarmowymi o znamionowych parametrach wyjściowych  $U_n = 13,8 \text{ V dc}$  i  $I_n = 4 \text{ A}$ . Pomiary wykonywano w odległości 1000 mm za pomocą obiektywu szerokokątnego przy znamionowych warunkach obciążenia i zasilania.



Rys. 1. Termogram warstwy Top elektroniki zasilacza po 5 minutach pracy pod pełnym obciążeniem (temperatura otoczenia  $24^{\circ}\text{C}$ )

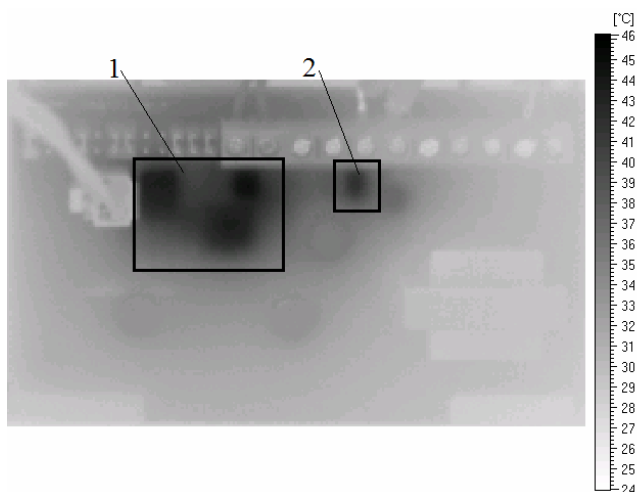
Na podstawie uzyskanych termogramów można na warstwie Top (rysunek 1) zasilacza wyodrębnić dwa obszary (nr 1 i nr 2) o podwyższonej emisji termicznej. Równocześnie na rysunku 2 przedstawiającym warstwę Bottom zasilacza można zaobserwować trudności jakie mogą występować przy analizie obrazów termograficznych. Oprócz wyraźnie widocznego obszaru o zwiększonej emisji promieniowania (obszar 1), wyraźnie widoczne są ścieżki obwodów nie pokrytych maską. W procesie przygotowywania płytki zostały one pocynowane i na obrazach termograficznych wykazują inną temperaturę niż reszta układu (wskazywana temperatura jest niższa od temperatury otoczenia). By poprawnie zobrazować temperaturę dla wskazanych obszarów, należało by zastosować dla nich inne współczynniki emisyjności.



Rys. 2. Termogram warstwy Bottom elektroniki zasilacza po 5 minutach pracy pod pełnym obciążeniem (temperatura otoczenia  $24^{\circ}\text{C}$ )

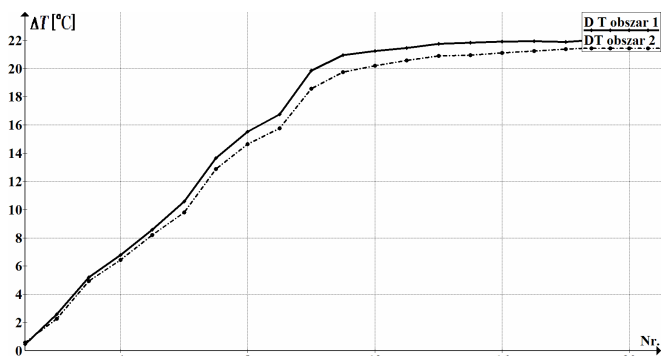
### 3.2. Badania sygnalizatora optyczno - akustycznego

Wykonywano pomiary seryjnie produkowanego sygnalizatora optyczno – akustycznego za pomocą obiektwu szerokokątnego w odległości 750 mm. Sygnalizator jest wykonany wg wymagań dla III klasy środowiskowej opisanej w normie EN50130-5. W badanym sygnalizatorze w celu ochrony elementów elektronicznych przed narażeniami zewnętrznymi, zastosowano zabezpieczenie w postaci zalewy żywicznej. W przypadku stosowania kontaktowych metod pomiarów temperatury w tak wykonanej konstrukcji trudno jest określić warunki nagrzewania poszczególnych elementów sygnalizatora.



Rys. 3. Termogram sygnalizatora optyczno-akustycznego po 10 minutach pracy (temperatura otoczenia 24°C)

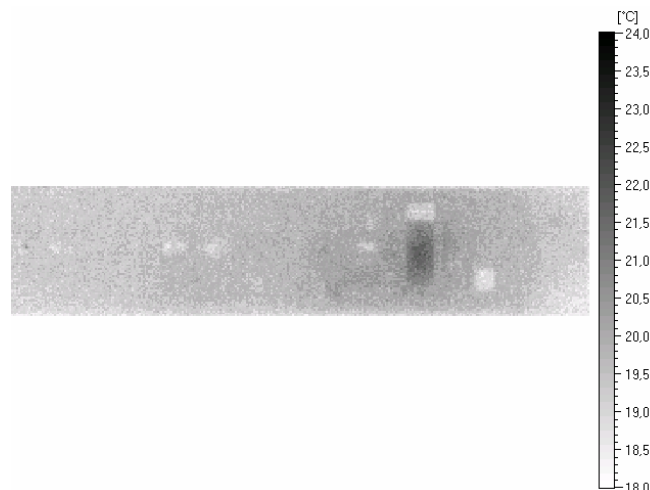
Na uzyskanym termogramie (rysunek 3) wyraźnie można wyznaczyć dwa obszary zwiększonego nagrzewania. Korelując je ze schematem montażowym płytki można określić, że nagrzewają się przetwornica wraz z dławikiem i diodą (obszar 1) oraz dioda zabezpieczająca na wejściu zasilającym. Na rysunku 4 przedstawiono przyrosty temperatury wyznaczone na podstawie pomiarów temperatury wykonywanych co 30 sekund. Zarówno dla obszaru 1 jak i 2 podczas pracy urządzenia (pracująca akustyka oraz optyka sygnalizatora) przyrosty wynoszą około 22°C. Nie wskazują one na możliwe problemy przy pracy w maksymalnych temperaturach otoczenia przewidzianych na 55°C. Należy tu nadmienić, iż maksymalny czas pracy sygnalizatora akustycznego wynosi 15 min i jest on ograniczony, aby spełnić wymagania zawarte w normie EN 50131-4 dotyczącej wymagań funkcjonalnych.



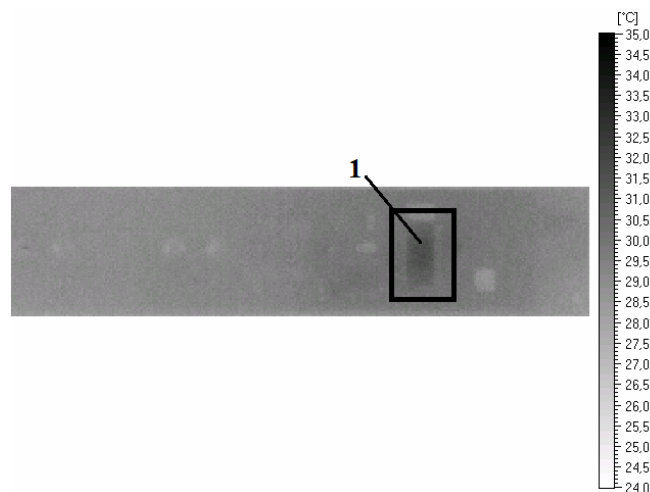
Rys. 4. Trend przyrostu temperatury dla obszaru 1 i 2 sygnalizatora optyczno-akustycznego (temperatura otoczenia 24°C)

### 3.3. Badania układów radiowych

Sprawdzenie stanu pracy urządzeń radiowych pracujących okresowo jest trudnym zagadnieniem, gdyż w wielu przypadkach nie można łatwo stwierdzić czy urządzenie pracuje w danym momencie. Na rysunku 5 przedstawiono termogram kontaktronu działającego w układzie radiowym w stanie nieaktywnym (brak transmisji radiowej, układ w tzw. stanie uśpienia). Na rysunku 6 przedstawiono ten sam kontaktron po wymuszonej transmisji radiowej (układ procesora pracujący oraz wymuszona transmisja radiowa). Uzyskane termogramy pokazują bardzo wyraźnie problemy jakie mogą występować przy ich analizie. Na rysunku 5 widoczne są obszary o temperaturze rzędu 18°C, podczas gdy temperatura otoczenia wynosiła 24°C. Wynika to z różnych wartości współczynnika emisyjności tych elementów elektronicznych. Na rysunku 6, przy wymuszeniu transmisji radiowej widać wyraźnie że procesor (obszar 1) zwiększył swoją emisję termiczną (względem rysunku 5 o około 8°C). Termogram pozwala stwierdzić, że urządzenie jest aktywne co wraz z analizą danych radiowych pozwala na przeprowadzenie weryfikacji stanu pracy.



Rys. 5. Termogram układu radiowego kontaktronu w stanie nieaktywnym (temperatura otoczenia 24°C)



Rys. 6. Termogram układu radiowego kontaktronu w stanie aktywnym (temperatura otoczenia 24°C)

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawione w artykule zagadnienia wskazują na konieczność dalszego doskonalenia technik pomiarów termograficznych, tak aby można było dokładniej i szybciej określać stan obserwowanych urządzeń elektronicznych.

Celowym byłoby opracowanie dedykowanego oprogramowania dla pomiarów urządzeń elektronicznych uwzględniającego możliwość tworzenia masek emisyjności badanego urządzenia (obiektu) i automatycznego wyznaczenia współczynnika emisyjności. Dodatkowo wskazane jest opracowanie bibliotek wzorcowych odpowiedzi termicznych dla poszczególnych elementów i urządzeń w różnych stanach pracy (zarówno normalnych jak i awaryjnych), co może znacząco przyspieszyć diagnostykę badanych obiektów. Należy też zauważyć, iż dalszy spadek cen urządzeń termograficznych będzie skutkowało coraz częstszym ich zastosowaniem w fazie testowania prototypów urządzeń elektronicznych, umożliwiając w stosunkowo szybki, a co najważniejsze bezkontaktowy i bezingerencyjny sposób, pomiar zmian przyrostów temperatury w urządzeniu. Pozwoli to na szybką ocenę zastosowanych rozwiązań technicznych już na etapach prototypowania urządzenia. Równocześnie należy spodziewać się pojawienia na rynku urządzeń umożliwiających prowadzenie zintegrowanej obserwacji w różnych pasmach promieniowania (zarówno w zakresie widma widzialnego, podczerwieni, jak i np. ultrafioletu).

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Galla S.: Wykorzystanie termowizji w badaniach odporności na udary wg EN61000-4-5, Przegląd Elektrotechniczny, Nr 2/2012, Warszawa, s. 36-38.
2. Więcek B., De Mey G.: Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania, Wydawnictwo PAK 2011, ISBN 978-83-926319-7-2
3. Minkina W.: Wybrane problemy współczesnej termografii i termometrii w podczerwieni, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej 2011, ISBN 978-83-7193-512-1
4. Minkina W., Rutkowski P., Wild W.: Podstawy pomiarów termowizyjnych. Część I – Istota termowizji i historia jej rozwoju. Część II – Współczesne rozwiązania systemów termowizyjnych, błędy metody. Pomiary Automatyka Kontrola, 46/ 2000, Nr 1, s. 7-14.
5. Dostęp 06 czerwca 2013 z sieci uczelnianej w Internecie: <http://www.vigo.com.pl/produkty/kamery-termograficzne/vigocam-v50>

### THERMOGRAPHIC IMAGING APPLICATION IN DIAGNOSTICS OF ELECTRONIC EQUIPMENT

The evaluation of design quality of electronic equipment by means of thermographic imaging has been presented in the paper. The benefits and limitations of application of this method as a diagnostic tool for a complex electronic equipment were described. It has been shown in experiments that the thermographic imaging enables in a limited duration the instant and direct assessment of tested equipment and components quality. The capabilities and limitations of the method are discussed referring to the results of measurements both of mass-produced (plant annunciator) and prototype (converter AC/DC dedicated for control-alarm panel) devices. On the basis of test results carried out by means of the video camera VIGOCam v50 the implementation of the method for monitoring and checking of electronic equipment has been proposed. A wide application of this non-contact testing method can be considered in the case of a significant reduction in price of thermal imaging devices. This would allow in a relatively fast way more frequent testing of a Device Under Test (DUT) status. The direction of software development for infrared measurements to create an emission mask and to define an emission factor of tested device automatically (usually not equal for the whole device) to enable more accurate determination of the DUT temperature were postulated.

**Keywords:** thermal imaging, diagnostics, testing.