

Arkadiusz HULEWICZ*, Krzysztof DZIARSKI*
Zbigniew KRAWIECKI*, Łukasz ANTECKI

DIAGNOSTYKA TERMOWIZYJNA UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH

Tematyka artykułu związana jest z pomiarami termowizyjnymi i ich wykorzystaniem w diagnostyce układów elektronicznych. Dostępność kamer termowizyjnych przyczynia się do wszechstronnego ich zastosowania. Jedną z dziedzin wykorzystujących kamery termowizyjne jest diagnostyka układów elektronicznych. Umożliwia ona odpowiednio wczesne wykrycie przyszłych uszkodzeń objawiających się wzrostem temperatury, a także ocenę właściwego doboru elementów elektronicznych i metod ich chłodzenia. W artykule przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z pomiarami termowizyjnymi, omówiono najważniejsze źródła błędów występujące podczas pomiarów termowizyjnych elementów elektronicznych. Przedstawiono stanowisko pomiarowe do termowizyjnej diagnostyki elementów elektronicznych oraz wyniki badań przeprowadzonych na elementach elektronicznych działających w warunkach rzeczywistych.

SŁOWA KLUCZOWE: kamera termowizyjna, współczynnik emisyjności, promieniowanie podczerwone, natężenie promieniowania.

1. WSTĘP

Pomiary termowizyjne są jedną z powszechnie wykorzystywanych metod monitorowania parametrów pracy elementów elektronicznych i energetycznych [1]. Umożliwiają one bezinwazyjną i bezdotykową, a co za tym idzie bezpieczną dla użytkownika ocenę rozkładu temperatury na powierzchni tych elementów podczas ich normalnej pracy. Jest to szczególnie istotne przy intensywnym rozwoju technologicznym i związaną z tym wzrastającą liczbą urządzeń elektronicznych i energetycznych. Parametry pracy tych urządzeń często oscylują w warunkach krytycznych, co wymusza konieczność cyklicznego monitorowania prawidłowości ich działania. Diagnostyka termowizyjna umożliwi wczesne zlokalizowanie elementów, których parametry pracy odbiegają od wartości prawidłowych i mogą one ulec uszkodzeniu w najbliższym czasie. Badania takie umożliwiają odpowiednio wczesne wykrycie uszkodzonego elementu i jego naprawę, co pozwala uniknąć awarii całego urządzenia.

* Politechnika Poznańska

Współcześnie, liczba oferowanych kamer termowizyjnych oraz ich dostępność znacząco wzrosła, co przy relatywnie niższej cenie przyczyniło się do powszechnego wykorzystywania ich w codziennych zadaniach, związanych z wieloma dziedzinami życia. [1-4]. Rozkład temperatury badanego obiektu oceniany jest na podstawie rejestracji promieniowania podczerwonego emitowanego przez ten obiekt, pod warunkiem, że jego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego [1-3]. Bardzo istotna podczas tej rejestracji jest znajomość wartości parametrów ustawianych w kamerze oraz zachowanie reguł obowiązujących w tego typu pomiarach. Pomimo tempa rozwoju badań termowizyjnych, zauważalny jest brak opracowań, które pozwoliłyby określić wymagania obowiązujące podczas pomiarów termowizyjnych elementów elektronicznych.

W artykule ocenie poddano jaki wpływ na pomiary termowizyjne elementów elektronicznych z bliskiej odległości ma kąt obserwacji, odległość obiektywu kamery od elementu elektronicznego oraz ostrość obrazu. Ponadto, podjęto się próby oceny oddziaływania elementów sąsiadujących z badanym obiektem na jego rozkład temperatury podczas pracy w warunkach rzeczywistych oraz określono wpływ warstwy ochronnej umieszczanej na elementach elektronicznych na wartość temperatury wyznaczanej kamerą termowizyjną. Zaprezentowano wykorzystane w badaniach stanowisko pomiarowe oraz metodykę badań. Przedstawiono podstawowe parametry wykorzystywanej w badaniach kamery Thermal Expert TE-Q1 oraz zestawiono uzyskane wyniki badań.

2. POMIARY TERMOWIZYJNE

Pomiary termowizyjne umożliwiają bezinwazyjną ocenę rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu, w tym wykorzystywanych podczas badań elementów elektronicznych. Metoda ta jest całkowicie bezdotykowa i szybka (wynik pomiaru dostępny jest natychmiast po jego wykonaniu). Uzyskanie jednak niskich wartości błędu pomiaru wymaga zastosowania kamery dobranej do obiektu badanego oraz umiejętności osoby przeprowadzającej pomiar [2, 5].

W trakcie wykonywania pomiarów termowizyjnych szczególną uwagę należy zwrócić na współczynnik emisyjności ϵ . Parametr ten związany jest z właściwościami promiennymi ciał rzeczywistych, a jego wartość zależy od składu chemicznego materiału, temperatury, stanu fizycznego jego powierzchni, stanu skupienia materiału, grubości obiektu oraz jego temperatury [2, 6]. Poza wspomnianym współczynnikiem emisyjności dokładność pomiaru temperatury kamerą termowizyjną zależy od odległości obiektywu kamery od badanego obiektu, kąta obserwacji, współczynnika przepuszczalności atmosfery, wilgotności, temperatury odbitej oraz ostrości zarejestrowanego obrazu. Spośród tych parametrów istotny wpływ ze statystycznego punktu widzenia mają współczynnik emisyjności, odległość obiektywu kamery od badanego obiektu, kąt obserwacji oraz ostrość termogramu [7].

Spośród wymienionych na szczególną uwagę zasługuje współczynnik emisyjności ε . Może on zmieniać swoje wartości w czasie wskutek zmian właściwości emisyjnych wywołanych czynnikami zewnętrznymi [4]. Celem zminimalizowania wpływu zmian wartości współczynnika ε na wynik pomiaru, jego wartość powinna być wyznaczona przed każdym pomiarem i uwzględniona w nastawach kamery termowizyjnej. Istnieją metody, które umożliwiają wyznaczenie współczynnika emisyjności, zostały one podzielone na metody bezpośrednie oraz pośrednie i opisane w literaturze [8].

3. POMIARY TERMOWIZYJNE W ELEKTRONICE

Spośród wielu dziedzin życia, w których wykorzystywane są pomiary termowizyjne szczególną uwagę należy zwrócić na diagnozowanie układów elektronicznych. Diagnostyka termowizyjna układów elektronicznych może być realizowana podczas testów prowadzonych na prototypach, w trakcie kontroli podczas ich eksploatacji, a także po wystąpieniu awarii. Jest ostatni aspekt jest szczególnie istotny, gdyż ze względu na miniaturyzację podzespołów i elementów elektronicznych diagnostyka ich uszkodzeń jest coraz bardziej utrudniona. W przypadku montażu SMD wykorzystanie tradycyjnych, stykowych metod pomiaru temperatury jest utrudnione, a często niemożliwe. Ponadto, wykorzystanie metod stykowych powoduje błędny pomiar, gdyż obudowa małego elementu elektronicznego charakteryzuje się małą pojemnością cieplną, w efekcie czego po przyłożeniu sondy pomiarowej, działającej jako radiator, może wystąpić zmiana temperatury badanego elementu.

W każdym elemencie elektronicznym, wskutek przepływu prądu następuje wzrost jego temperatury. Nadmierny wzrost temperatury może przyczynić się do jego uszkodzenia oraz wzrostu temperatury elementów z nim sąsiadujących, skracając w efekcie czas ich bezawaryjnego działania. Zastosowanie pomiarów termowizyjnych umożliwia wczesne wykrycie elementów pracujących w układzie, których temperatura przekracza wartości dopuszczalne, w efekcie czego możliwe jest uniknięcie awarii i wydłużenie bezawaryjnej pracy całego układu.

Poprawne zdiagnozowanie uszkodzeń występujących w układach elektronicznych możliwe jest przy prawidłowej interpretacji zarejestrowanych termogramów. Wymaga to szczegółowej wiedzy operatora z zakresu pomiarów termowizyjnych, związanej przede wszystkim z właściwym doбором współczynnika emisyjności, kąta obserwacji, odległości od obiektu kamery oraz ostrości zarejestrowanego termogramu. Parametry te są szczególnie istotne w diagnostyce elementów elektronicznych, podczas której pomiary realizowane są z bliskiej odległości i mogą one znacząco wpłynąć na wartość błędu zarejestrowanej temperatury [9, 10].

W artykule zaprezentowano możliwości diagnostyczne kamery termowizyjnej w badaniu elementów elektronicznych, a w szczególności ocenie poddano

wpływ odległości d między obiektywem kamery a obiektem na wynik pomiaru i określono jej wartość graniczną. Ocenie poddano również wpływ ostrości obrazu na wynik pomiaru temperatury kamerą termowizyjną oraz oszacowano oddziaływanie elementu pracującego przy podwyższonej temperaturze na temperaturę elementów sąsiadujących. Podczas badań zweryfikowano również jaki wpływ na wynik pomiaru temperatury wywierają nanoszone na elementy elektroniczne warstwy ochronne. Wszystkie badania zostały przeprowadzone w warunkach rzeczywistych, w pomieszczeniach komercyjnego serwisu sprzętu elektronicznego.

4. STANOWISKO POMIAROWE

Projektując stanowisko pomiarowe umożliwiające detekcję uszkodzeń elementów elektronicznych za pomocą kamery termowizyjnej należało zwrócić szczególną uwagę na zminimalizowanie zakłóceń występujących w trakcie badań. Tego typu pomiary najczęściej wykonywane są w pomieszczeniach zamkniętych, w związku z czym należało zwrócić szczególną uwagę na oświetlenie występujące w pomieszczeniu, urządzenia zewnętrzne będące źródłem ciepła, które mogą zakłócić pomiar oraz podłoże, na którym umieszczone są elementy elektroniczne. Podczas budowy stanowiska pomiarowego należało zastosować oświetlenie o jak najmniejszej emisji promieniowania podczerwonego. Skutecznym rozwiązaniem było zastosowanie oświetlenia LED o zimnej temperaturze barwowej [11]. Celem minimalizacji wpływu źródeł ciepła na wynik pomiaru należało przed dokonaniem pomiaru wyłączyć wszystkie zbędne urządzenia i odczekać, aż ich temperatura osiągnie temperaturę otoczenia. Pozostałe urządzenia, które musiały pracować należało odizolować termicznie od badanego obiektu. Ponadto, celem eliminacji wpływu współczynnika emisyjności podłoża, na którym znajdował się badany układ zastosowano odpowiednie maty o dużym, znanym współczynniku emisyjności.

Podczas badań wykorzystano kamerę Thermal Expert TE-Q1 (rys.1), która dostarczana jest w postaci modułu dołączanego przez złącze USB do komputera lub smartphona z zainstalowanym odpowiednim oprogramowaniem producenta. Kamerę wyposażono w niechłodzony detektor mikrobolometryczny o rozdzielczości 384x288 pikseli. Kamera ta jest kamerą długofalową, rejestrująca obraz w zakresie od 8 μm do 14 μm , a wielkość pojedynczego detektora wynosi 17 μm . Deklarowany przez producenta błąd pomiarowy wynosi $\pm 2^\circ\text{C}$ lub $\pm 2\%$, w zależności który z nich przyjmuje większą wartość. Kamera została wyposażona w układ optyczny z soczewką germanową i obiektyw 6.8 mm. Czułość temperaturowa określona przez producenta jest mniejsza od 50 mK, a zakres pomiarowy temperatury wynosi od -10°C do 150°C . Istotna z punktu widzenia diagnostyki elementów elektronicznych z małej odległości ostrość gwarantowa-

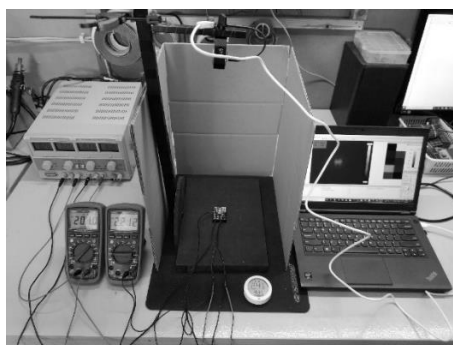
na jest dla wartości większych niż 5 cm. Dla mniejszych odległości obraz może być nieostry [12].



Rys. 1. Kamera termowizyjna Thermal Expert TE-Q1 [13]

Uwzględniając powyższe założenia oraz celem zapewnienia jednakowych warunków badań zbudowano stanowisko pomiarowe (rys.2), w skład którego wchodzi:

- podstawa z dedykowanym ramieniem,
- układ z diagnozowanymi elementami elektronicznymi,
- amperomierz,
- kamera termowizyjna Thermal Expert TE-Q1,
- zasilacz laboratoryjny,
- termometr cyfrowy z wbudowanym higrometrem.

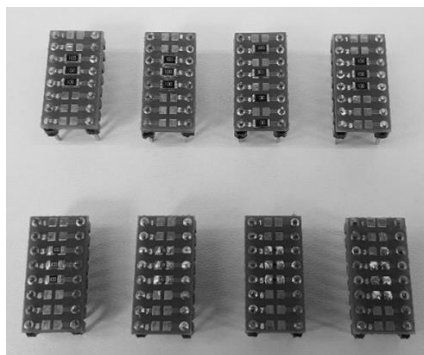


Rys. 2. Stanowisko do pomiarów termowizyjnych elementów elektronicznych [14]

W zaprezentowanym powyżej stanowisku podstawę wykonano z drewna pokrytego farbą o znanym współczynniku emisyjności. Podobnie, ramię do którego zamocowano kamerę pokryto taśmą o znanym współczynniku emisyjności. Działanie takie pozwoliło zminimalizować wpływ czynników zakłócających

pomiar termowizyjny. Zastosowane podczas badań multimetry UNI-T UT139C [15] umożliwiały pomiar prądu płynącego przez badane elementy elektroniczne, którego wartość zadawano za pomocą zasilacza AX-3005D-3 [16]. Celem określenia warunków klimatycznych panujących podczas pomiaru wykorzystano czujnik temperatury z funkcją pomiaru wilgotności LYWSDCGQ firmy Xiaomi Mi. Miernik ten umożliwia pomiar temperatury w zakresie od $-9,9^{\circ}\text{C}$ do 60°C z błędem równym $0,1^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności od 0% do 99,9%, z błędem równym $0,1\%$ [17].

Z wykorzystaniem przedstawionego stanowiska badaniu poddano rezystory SMD o różnej wielkości i wartości rezystancji $10\ \Omega \pm 5\%$. Wszystkie rezystory były tego samego producenta, a ich wielkość oznaczona była odpowiednio symbolami: 0201, 0402, 0603, 0805, 1206. Celem zachowania powtarzalności pomiarów, każdy z badanych rezystorów pochodzi z tej samej partii produkcyjnej i został zamontowany na płytce uniwersalnej (rys.3).



Rys. 3. Przygotowany zestaw rezystorów będących obiektem badań [14]

5. WYNIKI BADAŃ

Celem ograniczenia wpływu czynników zakłócających i ujednolicenia pomiarów każdorazowo przed rozpoczęciem badań określona była temperatura i wilgotność powietrza. Starano się utrzymać stałe wartości tych parametrów i uwzględniane one były w nastawach kamery termowizyjnej. Ponadto, podczas prowadzenia badań wyłączano wszystkie zbędne urządzenia, które mogłyby zmienić te parametry, a sam element badany oddzielono od otoczenia tekturową ścianą. Stanowisko oświetlane było lampą LED o temperaturze barwowej 6500 K, a elementy badane umieszczane były na podstawie pomalowanej czarną farbą o znanym współczynniku emisyjności.

Podczas badań temperatura otoczenia wynosiła $24,7^{\circ}\text{C}$, a wilgotność powietrza 39,5%. W związku tym, aby zminimalizować wpływ promieniowania atmosfery na wynik pomiaru badania przeprowadzono dla takiej wartości prądu,

przy której temperatura elementu elektronicznego była wyższa co najmniej o 50°C od temperatura otoczenia [2]. Uwzględniając tą zależność wszystkie badania przeprowadzono dla temperatury powierzchni elementu elektronicznego większej od 90°C . Współczynnik emisyjności badanych elementów dobrano na podstawie danych literaturowych i jego wartość wynosiła 0,95.

W pierwszej kolejności ocenie poddano jaki wpływ na wynik pomiaru temperatury kamerą termowizyjną ma ostrość zarejestrowanego termogramu. Jednoznaczne określenie jaki termogram można uznać za obraz o właściwej ostrości jest trudne, w związku z tym przyjęto kryterium, według którego obraz uznawany jest za nieostry, gdy niemożliwa jest jednoznaczna identyfikacja kształtu obserwowanego obiektu. Podczas badania wpływu ostrości na wynik pomiaru obiektem badanym był rezystor SMD o rozmiarze 1206. Przy założonej wartości prądu przepływającego przez rezystor i odległości d między obiektywem kamery a elementem badanym równej 5 cm i 12 cm zarejestrowano wartości temperatury T badanego elementu dla termogramu ostrego i o pogorszonej ostrości. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zależność temperatury T od ostrości obrazu dla $d=5$ cm i $d=20$ cm [14].

Odległość d	Temperatura T dla termogramu o pogorszonej ostrości	Temperatura T dla termogramu ostrego	Temperatura T zarejestrowana stykowo
cm	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
5	90,6	97,5	97,8
20	83,7	99,0	99,2

W kolejnym kroku ocenie poddano wpływ kąta obserwacji α na wynik pomiaru temperatury T elementu elektronicznego kamerą termowizyjną. Ze względu na fakt, że wyniki pomiaru temperatury dla termogramów nieostrych były obciążone dużym błędem badania przeprowadzono tylko dla termogramów o poprawnej ostrości. Wyniki uzyskanych badań przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zależność temperatury T od kąta obserwacji dla $d=20$ cm [14].

Kąt obserwacji α	Temperatura T dla termogramu ostrego	Temperatura T zarejestrowana stykowo
$^{\circ}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
0	99,0	99,2
10	98,4	99,2

Kąt obserwacji α	Temperatura T dla termogramu ostrego	Temperatura T zarejestrowana stykowo
20	99,3	99,3
30	98,5	99,3
40	95,6	99,3
50	92,4	99,4
60	90,7	99,4

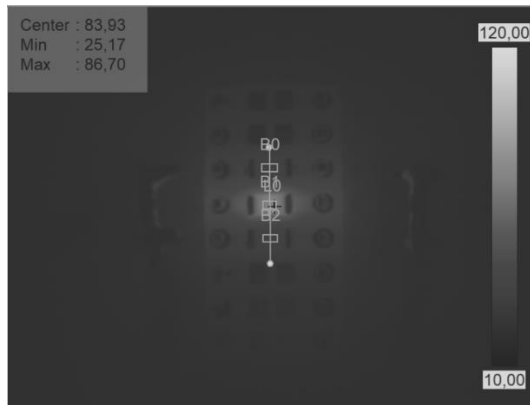
W dalszych etapach badania oceniono jaki wpływ na wynik pomiaru temperatury T elementu elektronicznego ma odległość d między obiektywem kamery a tym elementem. Uwzględniając poprzednie wyniki badanie przeprowadzono dla termogramów o właściwej ostrości oraz dla kąta obserwacji $\alpha=0^\circ$. Pomiaru przeprowadzono dla wszystkich wymienionych wcześniej wielkości rezystorów. Wyniki pomiarów dla rezystorów 1206 (2,20x1,55 mm) oraz 0402 (0,55x0,50 mm) przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zależność temperatury T od odległości d , dla $\alpha=0^\circ$ [14].

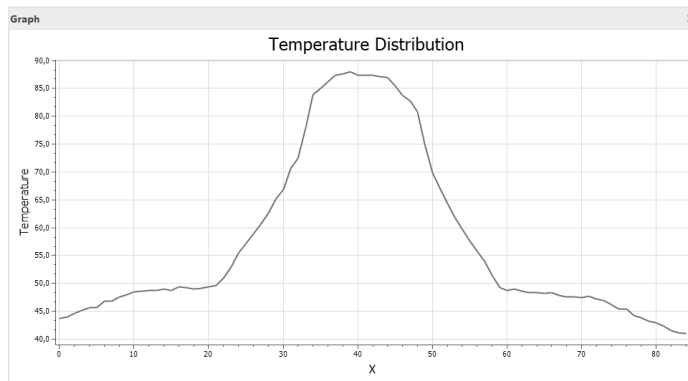
Typ rezystora	Odległość d	Temperatura T dla termogramu ostrego	Temperatura T zarejestrowana stykowo
	cm	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$
1206 (2,20x1,55 mm)	5	96,7	99,2
	10	99,8	99,3
	20	99,1	99,3
	40	89,2	99,3
0402 (0,55x0,50 mm)	5	108,8	108,2
	10	91,4	108,3
	20	79,2	108,2
	40	--	108,3

W kolejnym etapie badań sprawdzono jaki wpływ będzie wywierał element, na którym wydziela się ciepło pod wpływem przepływającego prądu na temperaturę sąsiadujących z nim elementów elektronicznych, przez który nie przepływa prąd. W tym celu badaniu poddano 3 rezystory SMD o rozmiarze 1206, które umieszczono na płycie obok siebie, w odległości 2 mm. W celu określenia oddziaływania elementu o wyższej temperaturze na sąsiadujący element o niższej temperaturze do

środkowego rezystora podłączono zasilanie o zadanej wartości prądu, równej 200 mA. Skrajne rezystory nie zostały podłączone do zasilania. Po upływie 2 minut zarejestrowano za pomocą kamery termowizyjnej temperaturę rezystorów oraz liniowy wykres zmian temperatury. Pomiary wykonano przy kącie obserwacji $\alpha=0^\circ$ i odległości $d=5$ cm. Zarejestrowany termogram przedstawiono na rysunku 4, a uzyskany liniowy wykres temperatury na rysunku 5.



Rys. 4. Zarejestrowany termogram przy zasilaniu jednego rezystora [14]



Rys. 5. Wykres liniowego pomiaru temperatury przy zasilaniu środkowego rezystora. Położenie pierwszego rezystora określone jest na osi X wartością 20, środkowego 40, a trzeciego 60 [14]

W ostatnim etapie badań sprawdzono jaki wpływ na wynik pomiaru temperatury kamerą termowizyjną ma stosowanie substancji ochronnych (lakier, żywica epoksydowa), zabezpieczających elementy elektroniczne przed oddziaływaniem warunków atmosferycznych [18]. Badaniu poddano lakier zabezpieczający LT-4 oraz PVB 60, a obiektem badanym był rezystor SMD 10 Ω o rozmiarze 1206. Po zasileniu rezystora prądem o wartości 200 mA i odczekaniu, aż jego temperatura osiągnie wartość 100°C odczytano z termogramu wartości

temperatur rezystora pokrytego wymienionymi lakierami. Dla rezystora pokrytego lakierem LT-4 uzyskano wartość 94,50°C, a dla lakieru PVB 60 wartość 93,75°C [14]. Zakres tych prac jest przedmiotem dalszych badań.

6. PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano zagadnienia związane z pomiarami termowizyjnymi elementów elektronicznych z bliskiej odległości. Przeprowadzone badania pozwalają określić jaki wpływ na wynik pomiaru temperatury kamerą termowizyjną ma odległość między obiektywem kamery a badanym elementem elektronicznym, kąt obserwacji, ostrość termogramu oraz stosowane na elementach elektronicznych powłoki ochronne.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają, że posiadanie kamery termowizyjnej nie gwarantuje wiarygodnych pomiarów temperatury przy jej użyciu. Wymagana jest wykwalifikowana wiedza operatora kamery, gdyż jak potwierdzono wynikami badań niewłaściwy dobór parametrów jest źródłem znaczących błędów. Niewłaściwe ustawienie ostrości obrazu lub zbyt duża odległość między obiektywem kamery a badanym elementem skutkuje znacznymi różnicami wartości temperatur w otrzymanych termogramach. Na podstawie badań udowodniono, że wybrane czynniki zakłócające, które są nieistotne przy badaniu dużych obiektów z dużej odległości mogą mieć znaczący wpływ na błąd pomiaru temperatury kamerą termowizyjną elementów elektronicznych z małej odległości. Ponadto, w wyniku badań potwierdzono wpływ oddziaływania termicznego elementu o wyższej temperaturze na sąsiadujące z nim elementy o temperaturze niższej.

Zaprezentowane w artykule badania przeprowadzone były w warunkach rzeczywistych, w pomieszczeniach jednego z poznańskich serwisów sprzętu elektronicznego. W związku z tym, w badaniach uwzględnione zostały wszystkie czynniki zakłócające, mogące wystąpić przy tego typu pomiarach. Przeprowadzone badania udowodniły skuteczność kamer termowizyjnych w szybkiej i skutecznej diagnostyce uszkodzeń elementów elektronicznych układów pracujących w warunkach rzeczywistych, bez ich demontażu. Ponadto, pozwalają ocenić jaki wpływ na jej dokładność mają czynniki zakłócające. Wśród tych czynników, szczególną uwagę należy zwrócić na ostrość zarejestrowanego termogramu oraz zastosowane na elementach elektronicznych substancje ochronne. Jak wykazano w artykule czynniki te znacząco wpływają na wynik pomiaru termowizyjnego, a w porównaniu do innych, obszernie opisywanych w literaturze, często nie są uwzględniane w pracach badawczych.

LITERATURA

- [1] Więcek B., De Mey G.: Termowizja w podczerwieni, podstawy i zastosowania, Wydawnictwo PAK, Warszawa, 2011.
- [2] Minkina W.: Pomiary termowizyjne - przyrządy i metody, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2004.
- [3] Rudkowski G.: Termowizja i jej zastosowanie, WKiŁ, Warszawa, 1978.
- [4] Więcek B. i inni: Termografia i spektrometria w podczerwieni: zastosowania przemysłowe, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
- [5] Minkina W. , Rutkowski P. , Wild W.: Podstawy pomiarów termowizyjnych. Cz. I - Istota termowizji i historia jej rozwoju, Pomiary Automatyka Kontrola, R 46, nr 1, 2000, s. 7-10.
- [6] Wiczyński G., Litwa M.: Wpływ kąta obserwacji na wynik pomiaru temperatury kamerą termowizyjną, Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania, nr 6, 2008, s. 147–148.
- [7] Dziarski K., Hulewicz A., Dombek G.: Lack of Thermogram Sharpness as Component of Thermographic Temperature Measurement Uncertainty Budget, Sensors, vol. 21, no. 12, 2021, s. 4013-1-4013-21
- [8] Hutny, A. M., Wyczółkowski, R., Warzecha, M.: Pomiary emisyjności powierzchni zewnętrznych kadzi stalowniczych z wykorzystaniem kamery termowizyjnej, Instytut Metalurgii Żelaza, tom: 67, nr 4, 2015, s. 44-49.
- [9] Adamczewski W.: Zastosowania termowizji w diagnostyce urządzeń elektroenergetycznych w budynkach mieszkalnych, przemysłowych, biurowych i użyteczności publicznej, Elektroinstalator, nr 10, 2008, s. 2–4.
- [10] Minkina W., Dudzik S.: Infrared thermography: errors and uncertainties, John Wiley & Sons, Chichester 2009
- [11] Maziarka J. , Beña L. , Wachta H.: Analiza rozkładu widmowego wybranych źródeł światła w procesie stabilizacji barwy, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Elektrotechnika, z. 34 [292], nr 3, 2015, s. 31-42.
- [12] https://www.thermalexpert.eu/app/download/15538785796/Thermal+Expert_eu_Q1.pdf?t=1582111407 [dostęp: 27.09.2022].
- [13] <https://www.thermalexpert.eu/english-1/shop/thermal-imagers/> [dostęp:27.09.2022].
- [14] Antecki Ł.: Pomiary termowizyjne w diagnostyce układów elektronicznych. Praca magisterska wykonana pod kierunkiem dr. inż. Arkadiusza Hulewicza, Politechnika Poznańska, Poznań 2021
- [15] <https://www.gotronik.pl/ut139c-miernik-uniwersalny-p-2240.html> [dostęp:27.09.2022].
- [16] <https://www.tme.eu/Document/a8245a9e788a5550e80169698ef8bdac/INSTR-AX-3005D-3%20-%20EN.pdf> [dostęp: 27.09.2022].
- [17] <https://mistore.pl/model/lywsdcgq-01zm/> [dostęp: 27.09.2022].
- [18] <https://ep.com.pl/rynek/prezentacje/14337-jak-zabezpieczyc-moduly-elektroniczne-aby-dzialaly-bezawaryjnie> [dostęp: 27.09.2022].

THERMOGRAPHIC DIAGNOSTICS OF THE ELECTRONIC SYSTEMS

The subject of the article is related to the thermographic measurements and their use in the diagnostics of the electronic systems. The availability of the thermographic cameras contributes to their versatile use. One of the areas that use the thermographic cameras is the diagnostics of the electronic systems. It enables the early detection of the future damage manifested by an increase in temperature, as well as the assessment of the correct selection of the electronic components and the methods of their cooling. The article presents the basic issues related to the thermographic measurements, discusses the most important sources of errors occurring during the thermographic measurements of the electronic components. The paper presents the measuring station for the thermographic diagnostics of the electronic components and the results of the tests carried out on the electronic components operating in real conditions.

KEYWORDS: thermographic camera, emissivity factor, infrared radiation, radiation intensity.

(Received: 06.10.2022, revised: 20.11.2022)