

## Termowizja jako narzędzie weryfikacji stanu elementów ochronnych SMD podczas badań udarowych

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki badań przyrostów temperatury rejestrowanych za pomocą kamery termowizyjnej ochronnych elementów SMD podczas wykonywania badań odporności na udary napięciowe wykonywane wg normy EN61000-4-5 dla różnych poziomów sprzężeń impedancyjnych

**Abstract.** In the paper, author presents results of temperature gradient measurements of SMD protection devices. Measurements were taken with thermovision camera during voltage surge tests conducted according to the norm EN61000-4-5 for various coupling impedance values. **Temperature gradient measurements of SMD protection devices**

**Słowa kluczowe:** EMC odporność, weryfikacja, termowizja.

**Keywords:** EMC immunity, verification, thermovision.

doi:10.12915/pe.2014.07.35

### Wstęp

W czasie wykonywania badań EMC z zakresu odporności a w szczególności badań udarowych nie kontroluje się stanu elementów ochronnych zastosowanych w badanym obiekcie. W niektórych przypadkach gdy obwody układów są zabezpieczone bardzo „ekonomicznie”, może dochodzić do ukrytych uszkodzeń, nie wykrywanych podczas badania udarowego, lecz ujawniających się po pewnym czasie w trakcie następnych badań. Dlatego też diagnostyka urządzenia badanego w czasie testu jest bardzo ważna. Odnosi się to w szczególności do badań rozwojowych (konstrukcyjnych) danego rozwiązania technicznego, podczas których jednym z podstawowych celów jest optymalizacja kosztów wykonania urządzenia przy jednoczesnym spełnieniu wymagań normalizacyjnych. Dla określenia stanu urządzenia badanego znalazły zastosowanie różnorodne urządzenia pomiarowe m.in. kamery termograficzne pozwalające na przeprowadzanie rejestracji emisji promieniowania podczerwonego. Zastosowanie zobrazowania termograficznego w czasie prowadzonego procesu testowania urządzeń pozwala na ocenę stanu urządzenia i zapobiega jego zniszczeniu co jest szczególnie istotne podczas badań prototypów [1].

Znajomość zarejestrowanych wartości temperatury pozwala na bieżącą ocenę danego urządzenia oraz zastosowanych w nim komponentów. W celu przeprowadzenia prawidłowej interpretacji uzyskanych termogramów konieczna jest znajomość zachowania się poszczególnych komponentów danego układu w różnych warunkach pracy, zarówno normalnych jak również przeciążeniowych, pozwalając na ocenę ich dalszego zachowania. Do podstawowych elementów ochronnych stosowanych masowo do ochrony obwodów i układów elektronicznych niskiego napięcia zaliczamy m.in. warystory oraz diody ochronne. Niniejszy referat wskazuje możliwości wykorzystania termowizji w ocenie jakości zastosowanych elementów ochronnych oraz może być pomocny w selekcji stosowanych elementów ochronnych na przykładzie pomiarów przyrostów temperatury warystorów oraz diod SMD podczas badań ich odporności na udary napięciowe wg. normy EN 61000-4-5 [7]

### Podstawowe informacje o pomiarach termowizyjnych

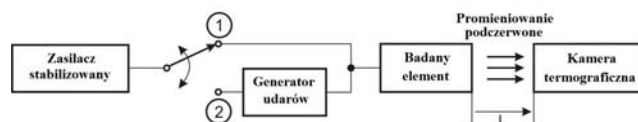
Energia jest wypromieniowywana z każdego obiektu o temperaturze wyższej od 0 K (-273,15°C). Obecnie przyjmuje się, że promieniowanie o długości fali  $\lambda$  z zakresu  $0,75\mu\text{m} < \lambda < 10^3\mu\text{m}$  jest nazywane promieniowaniem podczerwonym. Szczegółowy opis zależności dotyczących podstaw pomiarów w zakresie termografii: podstaw

teoretycznych, zasad pomiarów, oraz metodyki wyznaczania błędów pomiarowych znajduje się m.in. w publikacjach [2, 3, 4, 5, 6].

W przypadku analizy jakościowej układów i urządzeń elektronicznych lepiej jest, zdaniem autora wyznaczać przyrost temperatury obserwowanych obiektów i takie podejście jest prezentowane w niniejszej publikacji. Ponieważ dokładne określenie wartości temperatury za pomocą termograficznych metod pomiarowych wymaga uwzględnienia szeregu różnorodnych oddziaływań zakłócających pomiar. Jednym z głównych problemów jest prawidłowe określenie współczynnika emisyjności obserwowanej powierzchni. Dlatego też, dokładny pomiar wartości temperatury może być obarczony znacznym błędem. Problemy te zostały opisane m.in. w publikacjach [2, 3, 4].

### Układ pomiarowy

W pomiarach wykorzystywano zestaw pomiarowy składający się z generatora UCS500N, w którym występuje moduł udarów hybrydowych zgodny z normą [7]. Zapewnia on uzyskanie udaru napięciowego o czasie narastania  $1,2\mu\text{s}/50\mu\text{s}$  oraz udaru prądowego (przy zwartym wyjściu) o czasie narastania  $8\mu\text{s}/20\mu\text{s}$ . Element badany był sprzęgany z obwodem testowanym za pomocą wewnętrznej sieci sprzęgającej o impedancji wynoszącej  $2\Omega$  oraz za pomocą sprzęgacza CNV504N o impedancji  $40\Omega$ . Obserwację w zakresie widma podczerwonego i widzialnego zapewniała kamera termowizyjna VIGOCam v50, której podstawowe parametry można znaleźć w [8]. W badaniach wykorzystywano układ testowy przestawiony na rysunku 1. Badania wykonywano zarówno w stanie ustalonym (przy przepływie prądu stałego i stałym obciążeniu) jak i przy badaniach udarowych.



Rys.1. Schemat ideowy zastosowanego układu pomiarowego pozycja 1 przełącznika pomiary przy obciążeniu stałym pozycja 2 przełącznika pomiary udarowe

Przy badaniach prądem stałym wykonywano 30 pomiarów termograficznych co 10 sekund. Podczas badań udarowych, impulsy probiercze były podawane seriami po 5 udarów o polaryzacji dodatniej i ujemnej, z czasem pomiędzy kolejnymi udarami wynoszącym 20 sekund.

Podczas badań udarowych utrzymywano na obiektach stałą wartość napięcia (na badanych diodach  $U = 24 V_{DC}$ , a w przypadku warystorów  $U = 12 V_{DC}$ ) Zdjęcia termograficzne elementów wykonywano w odstępach co 5 sekund. Wszystkie obrazy termowizyjne rejestrowano obiektywem 60 mm z odległości  $L = 0,75$  m.

### Badane elementy

Badaniom poddano elementy fabrycznie nowe, których podstawowe parametry zweryfikowano przed badaniami (kontrolowano pojemność elementów). Testy wykonywano metodą wycofywanych próbek, stan badanych elementów kontrolowano przed i po badaniu. W tabelicy 1 podano podstawowe parametry diod ochronnych SM6T39 (obudowa SOD15) firmy STmicroelectronics, natomiast w tabelicy 2 przedstawiono podstawowe parametry badanych warystorów TVM3B220K (wielkości 1206 EIA) firmy Thinking Electronic Industrial Co. Ltd.

Tabela 1. Podstawowe parametry diody SM6T39A [9]

Element	$I_{RM}$	$I_{BR}$	$V_{BR}$	$V_{CL}$	$I_{PP}$	P	C
	[ $\mu A$ ]	[mA]	[V]	[V]	[A]	[W]	[pF]
SM6T39A	1,0	1,0	39,0	69,7	57,0	600,0	900,0

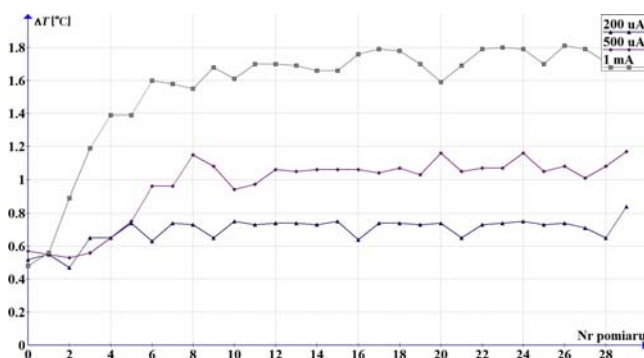
Tabela 2. Podstawowe parametry warystora TVM3B220K [10]

Element	$V_{1mADC}$	$\Delta V_{1mADC}$	$V_{RMS}$	$I_{g/20max}$	W	$C_{1kHz}$
	[V]	[%]	[V]	[A]	[mJ]	[pF]
TVM3B220K	22	10,0	14,0	200	500	1200,0

### Wyniki pomiarów

#### Badania w stanie ustalonym

Pomiary diod SM6T39 i warystorów TVM3220K wykonywano przy następujących prądach płynących przez badany obiekt: 200  $\mu A$ , 500  $\mu A$ , 1,0 mA, 10 mA. Po badaniu prądem 10 mA stwierdzono, że zarówno badane warystory jak i diody w czasie badania ulegały uszkodzeniu. Na rysunku 2 i rysunku 3 przedstawiono zmierzony przyrost temperatury diod SM6T39 przy przepływie prądu stałego.

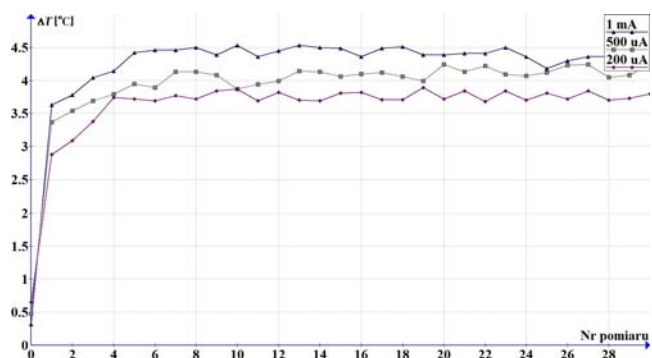


Rys. 2. Przyrosty temperatury diod SM6T39 dla prądów 0,2; 0,5; 1,0 mA



Rys. 3. Przyrosty temperatury diody SM6T39 dla prądu 10,0 mA

Na rysunku 4 przedstawiono przyrosty temperatury warystorów przy przepływie prądów: 200  $\mu A$ , 500  $\mu A$ , 1,0 mA, na rysunku 5 przedstawiono przyrost temperatury warystora przy przepływie prądu 10 mA.



Rys. 4. Przyrosty temperatury warystorów dla 0,2; 0,5; 1,0 mA

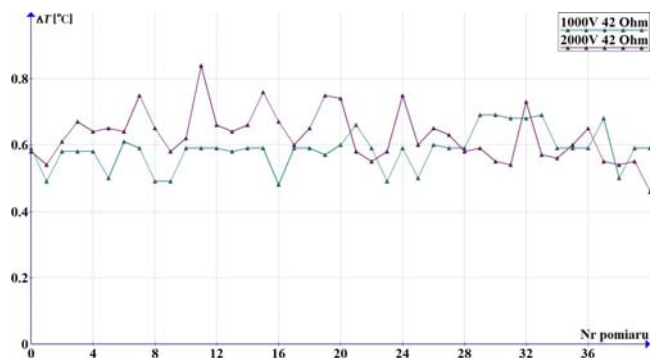


Rys. 5. Przyrosty temperatury warystorów dla prądu 10,0 mA

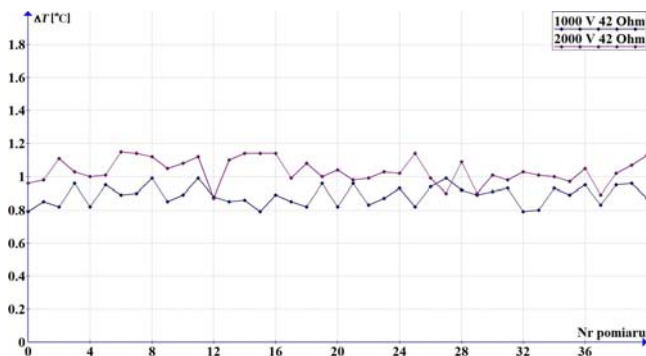
#### Badania udarowe

Pomiary wykonywano dla badanych diod i warystorów w dwóch konfiguracjach. Pierwszej w której wykorzystywano sieć sprzęgającą o impedancji sumarycznej 42  $\Omega$  co skutkuje maksymalnymi prądami o wartościach  $\sim 24$  A dla udaru 1000 V, i prądem maksymalnym o wartości  $\sim 48$  A dla udaru o wartości 2000 V. W drugiej konfiguracji wykorzystywano generator z układem sprzęgającym o impedancji 2  $\Omega$ . W tym przypadku spodziewane prądy udarowe wynoszą 100 A dla napięcia testowego o wartości 200 V. Natomiast przy napięciu udarowym o wartości 500 V spodziewany prąd wynosi 250 A.

Na rysunku 6 i rysunku 7 przedstawiono zarejestrowane przyrosty temperatury badanych elementów w układzie sprzęgającym o impedancji 42  $\Omega$ .

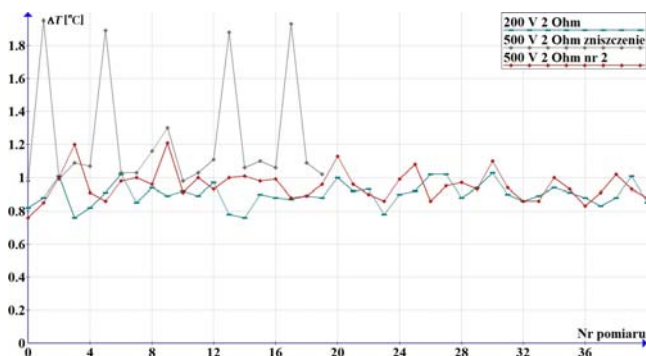


Rys. 6. Przyrosty temperatury diod SM6T39 dla udarów o napięciu 1000 V i 2000 V sprzężenie przez impedancje 42  $\Omega$



Rys. 7. Przyrosty temperatury warystorów dla udarów o napięciu 1000 V i 2000 V sprężeniu przez impedancje 42  $\Omega$

W przypadku badań w konfiguracji drugiej dla impedancji obwodu generatora wynoszącej 2  $\Omega$  dla diod i warystorów wyniki badań udarowych dla wartości napięcia 100 V były porównywalne z wynikami badań dla poziomu testowego 2000 V i sprężenia 42  $\Omega$ . Badane diody przy sprężeniu impedancyjnym wynoszącym 2  $\Omega$  dla wartości napięcia probierczego 200 V ulegały zniszczeniu już podczas pierwszego udaru, jest to zgodne z parametrami deklarowanymi przez producenta który określił maksymalny prąd niepowtarzalny  $I_{PP}$  na poziomie 57 A. Dla wartości napięcia probierczego 200 V i sprężenia impedancyjnego 2  $\Omega$  nie udało się wyznaczyć przyrostu temperatury. W przypadku warystorów maksymalny prąd określony przez producenta dla tego typu udaru wynosi zgodnie z danymi katalogowymi 200 A. Testy były wykonywane dla poziomów 200 V (prąd spodziewany 100 A) i 500 V (prąd spodziewany 250 A). Na rysunku 8 przedstawiono zarejestrowane przyrosty temperatury badanych warystorów. Jeden z badanych warystorów uległ zniszczeniu po 5 udarze (przy prądzie spodziewanym rzędu 250 A). Przebadano dodatkowo jeszcze kilka egzemplarzy warystorów przy tym samym poziomie udaru i żaden z nich nie uległ zniszczeniu podczas badania. Wartość pojemności kontrolowana po próbach była w zakresie dopuszczalnych przez producentów tolerancji podanych w nocie katalogowej.



Rys. 8. Przyrosty temperatury warystory dla udarów o napięciu 200 V i impedancji 42  $\Omega$  oraz 500 V dla impedancji 2  $\Omega$

### Wnioski końcowe

Przeprowadzone badania wskazują, iż możliwa jest bieżąca ocena stanu elementów ochronnych na podstawie zanotowanych przyrostów temperatury. W przypadku warystorów TVM3B220K dla poziomów probierczych

wynoszących 1000 V i 2000 V przy sprężeniu przez 42  $\Omega$  przyrosty temperatury o wartości 1  $^{\circ}\text{C}$  wskazują na poprawną pracę elementu ochronnego. W przypadku zarejestrowania przyrostu temperatury powyżej 1,2  $^{\circ}\text{C}$  należy zakładać wystąpienie degradacji elementu ochronnego. Trwałe uszkodzenie powodujące implozyjne zniszczenie warystora występuje przy poziomach przyrostu temperatury rzędu 1,9  $^{\circ}\text{C}$ . Natomiast w odniesieniu do badanych diod SM6T39 można przyjąć, iż jeżeli zarejestrowane przyrosty temperatury są poniżej 0,8  $^{\circ}\text{C}$  nie nastąpi zniszczenie elementu ochronnego. Równocześnie przeprowadzone badania wykonane dla stałego obciążenia w charakterystycznych punktach katalogowych nie wykazują możliwości ich przełożenia na wyniki w stanach przejściowych. Na podstawie uzyskanych wyników można sformułować bardziej ogólne tezy dotyczące zarówno wymagań dla programów przeznaczonych do automatycznej analizy badanego obiektu jak i proponowanego dalszego zakresu badań podstawowych. Pozwalających na uzyskanie dodatkowych informacji zarówno o stosowanych elementach ochronnych jak i bardziej złożonych strukturach. W stosunku do oprogramowania np. koniecznym jest możliwość wyznaczania regionów (obszarów) obserwowanych z zadanymi przyrostami temperatury, z równoczesną możliwością automatycznego zatrzymania badania w przypadku wykrycia przekroczenia zadanych przyrostów. Oprogramowanie powinno być wyposażone w bazę elementów w której wyznaczone są dopuszczalne chwilowe przyrosty temperatury dla narażeń udarowych. Wymaga to jednak wykonania szeregu podobnych pomiarów dla różnych elementów ochronnych.

### LITERATURA

- [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, PAK 2011
- [3] Vollmer M., Möllmann K. P.: Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications; John Wiley & Sons 2011
- [4] Minkina W.: Wybrane problemy współczesnej termografii i termometrii w podczerwieni Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011
- [5] Kaplan H.: Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment, SPIE 2007
- [6] 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, 7-14
- [7] EN 61000-4-5:2006 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test
- [8] [www.vigo.com.pl/](http://www.vigo.com.pl/)
- [9] [www.st.com/](http://www.st.com/)
- [10] [www.thinking.com.tw](http://www.thinking.com.tw)

**Autor:** dr inż. Stanisław Galla, Politechnika Gdańska, Wydział Elektryki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Metrologii i Optoelektroniki, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, E-mail: [galla@eti.pg.gda.pl](mailto:galla@eti.pg.gda.pl)