XXV Seminarium

ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICE 2015

Oddział Gdański PTETiS

OCENA JAKOŚCI WARYSTORÓW NA PODSTAWIE POMIARÓW TERMOWIZYJNYCH

Marek BOBCOW [1], Stanisław GALLA [2], Alicja KONCZAKOWSKA [3]

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, student studiów II stopnia, kierunek *elektronika i telekomunikacja*, Vemco sp. z o. o.
   tel. 695601026, e-mail: Marek@abit.gda.pl
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
   tel.: 58 471 21 40, e-mail: galla@eti.pg.gda.pl
3. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
   tel.: 58 471 18 86, e-mail: alkon@eti.pg.gda.pl

Streszczenie: Zaproponowano zastosować temperaturę, mierzoną metodą termowizyjną, do indywidualnej oceny jakości warystorów. Badania przeprowadzono dla 20 warystorów niskonapięciowych. Wykonano pomiary parametrów elektrycznych i temperatury warystorów przed testami narażeniowymi i po 2 kolejnych cyklach narażeń. Testy narażeniowe zastosowano w celu pogorszenia jakości warystorów. Zaproponowano zasady klasyfikacji badanych warystorów do grup o wysokiej i niskiej jakości na podstawie pomiarów parametrów elektrycznych przed testami. Na podstawie porównania wyników pomiarów parametrów elektrycznych i temperatury wykonanych, przed i po testach narażeniowych, wytypowano temperaturę T warystora, mierzoną po 5 minutach samo-podgrzania, jako wartość umożliwiającą klasyfikację badanego warystora do grup jakościowych. Wartość temperatury T większa niż 40 ^{0}C wskazuje, że badany warystor jest niskiej jakości.

Słowa kluczowe: termografia, warystory, ocena jakości.

1. WPROWADZENIE

Badania termowizyjne (badania w podczerwieni) są obecnie stosowane w wielu dziedzinach nauki i techniki. Początkowo, ze względu na znaczący koszt kamer termowizyjnych, termografia była wykorzystywana wyłącznie na potrzeby wojskowe. Dynamiczny rozwój elektroniki przyczynił się do obniżenia kosztów i zróżnicowania aparatury termowizyjnej, co umożliwiło upowszechnienie jej zastosowania. Obecnie technika termowizyjna jest stosowana, np. w medycynie, budownictwie, w wielu gałęziach przemysłu, kryminalistyce. Do zalet tej techniki należy zaliczyć przede wszystkim: krótki czas badań, brak kontaktu z badanym obiektem (badania bezkontaktowe), możliwość indywidualnej oceny parametrów termicznych badanego elementu [1, 2].

W prezentowanych wynikach badań temperaturę warystorów niskonapięciowych (22 V_{DC}) mierzono metodą termowizyjną, obserwując jej wzrost na skutek przepływu prądu, w celu wytypowania wskaźnika termicznego umożliwiającego indywidualną ocenę jakości badanego warystora. W pomiarach termowizyjnych, w których dokonuje się pomiaru temperatury różnych elementów, konieczne jest przeanalizowanie wpływu współczynnika emisyjności powierzchni tych elementów na wyniki pomiarów temperatury. Przyjęto, że emisyjność wszystkich badanych warystorów o wysokiej jakości jest porównywalna. Założono, że proces nagrzewania się lub chłodzenia warystora o niskiej jakości powinien wykazać zmianę temperatury badanego elementu, różną, od temperatury elementu o wysokiej jakości.

Warystor, jako element nieliniowy, jest stosowany przede wszystkim do zabezpieczania podzespołów, bądź urządzeń przed chwilowymi impulsami o zbyt wysokim, do danego zastosowania, napięciu. Zwykle warystor, w momencie pojawienia się niepożądanego impulsu, pełni funkcję zabezpieczenia przepięciowego. Uszkodzony warystor może pracować, jednak jego działania mogą prowadzić do zwierania, np. zbyt niskich napięć. Przeprowadzone badania z zastosowaniem techniki termowizyjnej umożliwiają identyfikację warystorów o nieprawidłowych parametrach elektrycznych. W badaniach zastosowano pirometr graficzny (FLUKE VT04A) ze względu na jego niski koszt w stosunku do kamery termograficznej.

2. PRZEBIEG BADAŃ WARYSTORÓW

Badania wstępne, umożliwiające wytypowanie wskaźnika termicznego do oceny jakości warystorów, składały się z pomiarów parametrów elektrycznych i temperatury wykonywanych przed testem narażeniowym oraz po dwóch kolejnych testach narażeniowych, z których drugi był prowadzony ze zwiększonymi parametrami narażeń. Celem testów narażeniowych było uzyskanie pogorszenia właściwości badanych warystorów. Badaniom poddano 20 warystorów niskonapięciowych. Wszystkie pomiary parametrów elektrycznych i temperatury zostały wykonane w ramach pracy dyplomowej magisterskiej [3].

Przebieg badań był następujący:

Etap I. Pomiary wstępne parametrów warystorów:

a. pomiary parametrów elektrycznych warystorów: pojemności C_p, indukcyjności L_p, rezystancji R_p, dobroci Q, współczynnika strat D i prądu upływu $I_{upł}$,
b. pomiary temperatury warystorów,
c. ustalenie zasad klasyfikacji warystorów ze względu na ich indywidualną jakość (wysoka, czyli bardzo dobra i dobra oraz niska, czyli mierna) na podstawie pomiarów parametrów elektrycznych.

Etap II. Test narażeniowy (poziom I) badanych warystorów zgodnie z normą PN-EN 62305-4:2011 [4].

Etap III. Pomiary parametrów warystorów:

a. pomiary parametrów elektrycznych warystorów: pojemności, indukcyjności, rezystancji, dobroci oraz współczynnika strat,
b. pomiary temperatury warystorów.

Etap IV. Test narażeniowy (poziom II) badanych warystorów zgodnie z normą [4].

Etap V. Pomiary parametrów warystorów:

a. pomiary parametrów elektrycznych warystorów: pojemności, indukcyjności, rezystancji, dobroci oraz współczynnika strat,
b. pomiary temperatury warystorów,
c. określenie powiązań pomiędzy wynikami pomiarów parametrów elektrycznych i temperatury.

Pomiary parametrów elektrycznych wykonano przy użyciu miernika UNI-TUT612, z częstotliwością pomiarową równą 1 kHz. Ze względu na małe rozrzuty wartości mierzonych w kolejnych etapach parametry: L_p i C_p nie zostały uwzględnione przy ocenie wyników badań. Pomiary pirometrem graficznym polegały na pomiarze i rejestracji przebiegu temperatury badanego warystora w czasie 5 minut od włączenia zasilania oraz w ciągu 5 minut po wyłączeniu zasilania. Sumaryczny czas badań termograficznych wynosił 10 minut.

3. WYNIKI BADAŃ

Wyniki pomiarów parametrów elektrycznych wykonane w Etapie I zestawiono w tablicy 3.1 [3]. W tabeli 3.1 zestawiono również zaproponowane zasady klasyfikacji warystorów do grup o zróżnicowanej jakości na podstawie pomiarów parametrów: Q, D, R_p i $I_{upł}$.

Tablica 3.1. Zestawienie statystycznych wyników pomiarów parametrów elektrycznych 20 badanych warystorów wykonanych w Etapie I oraz zaproponowane zasady klasyfikacji warystorów pod względem jakości [3]

Wartości statystyczne			Zasady klasyfikacji ze względu na jakość	
Parametr	wartość średnia	odchylenie standardowe	wysoka	niska
Q	16,03	1,29	>12	≤12
D	0,06	0,01	<0,08	≥0,08
R_p [MΩ]	0,81	0,07	>0,6	≤0,6
$I_{upł}$ [µA]	0,74	0,07	<0,9	≥0,9

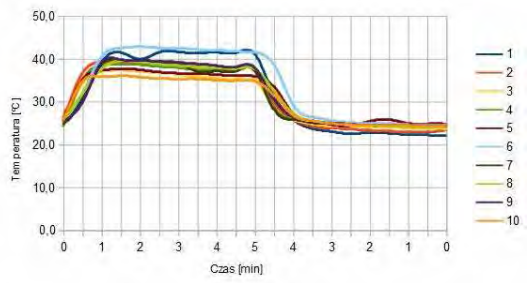
Z danych zamieszczonych w tablicy 3.1 wynika, że wartości graniczne zmierzonych parametrów elektrycznych, definiujące jakość warystora, są następujące: dobroć Q_{gr} = 12, współczynnik strat D_{gr} = 0,08, rezystancja R_{pgr} = 0,6 MΩ, prąd upływu $I_{upłgr}$ = 0,9 µA.

Przyjęto, że w populacji badanych warystorów liczba warystorów o niskiej jakości w stosunku do warystorów o wysokiej jakości powinna być mała. Założono, że parametry charakteryzujące jakość warystorów w całej populacji mają rozkład normalny. Biorąc to pod uwagę przyjęto, że wartości graniczne zmierzonych parametrów elektrycznych zostaną oszacowane na podstawie zależności: wartość średnia parametru elektrycznego plus lub minus 2-3 razy wartość odchylenia standardowego. Czyli przyjęto, że wartości graniczne parametru elektrycznego są w odległości co najmniej dwóch odchyleń standardowych od wartości średniej. Oczywisty jest kierunek zmian (plus lub minus) danego parametru elektrycznego, np. dla:

dobroci: 16,03 - 3·1,29 = 16,03 – 3,87 = 12,11 ≈ 12,

współczynnika strat: 0,06 + 2·0, 01 = 0,08.

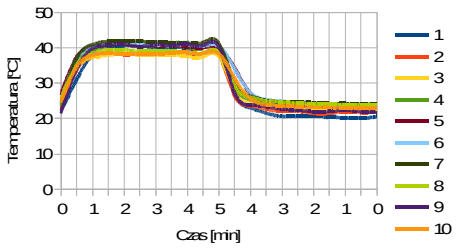
Na rysunku 3.1 przedstawiono, przykładowo, wyniki pomiarów temperatury wykonane dla 10 warystorów o numerach od 1 do 10.



Rys. 3. 1. Charakterystyki temperaturowe warystorów 1-10 wykonane w Etapie I [3]

W Etapie II badane warystory poddano narażeniom w celu pogorszenia jakości tych elementów. Test narażeniowy (poziom I) został wykonany wielofunkcyjnym generatorem UCS 500N5, parametry narażeń były następujące: napięcie 600 V, prąd około 260 A, czas trwania udaru 20 sekund, liczba udarów 10. W Etapie III badań przeprowadzono pomiary parametrów elektrycznych i temperatury. Wyniki w postaci wartości średnich z pomiarów elektrycznych zamieszczono w tablicy 3.2 [3].

Na rysunku 3.2 zamieszczono, przykładowo, wyniki pomiarów temperatury dla warystorów o numerach od 1 do 10 wykonane w Etapie III [3].



Rys. 3. 2. Charakterystyki temperaturowe warystorów 1-10 wykonane w Etapie III [3]

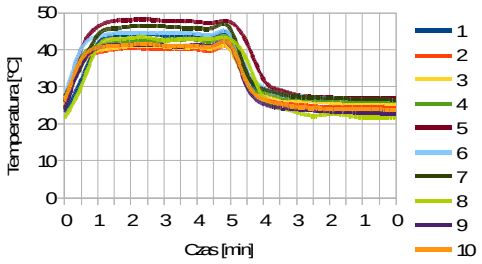
W Etapie IV badane warystory poddano narażeniom w celu dalszego pogorszenia jakości tych elementów. Test narażeniowy (poziom II) został wykonany wielofunkcyjnym generatorem UCS 500N5, parametry narażeń były następujące: napięcie 2000 V, prąd około 1000 A, czas trwania udaru 20 sekund, liczba udarów 10.

W Etapie V badań przeprowadzono pomiary parametrów elektrycznych i temperatury. Wyniki w postaci wartości średnich z pomiarów elektrycznych zamieszczono w tablicy 3.2. Na rysunku 3.3 zamieszczono, przykładowo, wyniki pomiarów temperatury dla warystorów o numerach od 1 do 10 wykonane w ramach tego etapu [3].

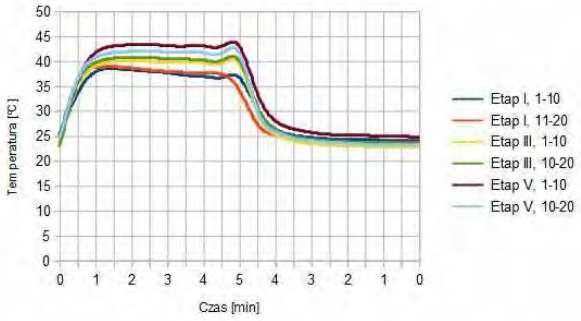
Na rysunku 3.4 zamieszczono oszacowane wartości średnie z pomiarów temperatury wykonanych dla 20 warystorów w Etapach I, III i V. Jak widać (rys. 3.4), wartości średnie temperatury mierzone w kolejnych etapach badań ulegają zwiększeniu. Najniższe temperatury średnie są

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

dla pomiarów wykonanych w Etapie I i są niższe od temperatury 40 ^{0}C.



Rys. 3. 3. Charakterystyki temperaturowe warystorów 1-10 wykonane w Etapie V [3]



Rys. 3. 4. Wartości średnie charakterystyk temperaturowych warystorów 1-20 oszacowane na podstawie wyników pomiarów wykonanych w Etapach I, III i V [3]

Tablica 3.2. Zestawienie wartości średnich z pomiarów parametrów elektrycznych 20 badanych warystorów wykonanych w Etapie I, w Etapie III i w Etapie V oraz błędu względnego pomiarów z Etapów III i V w odniesieniu do wyników z Etapu I [3]

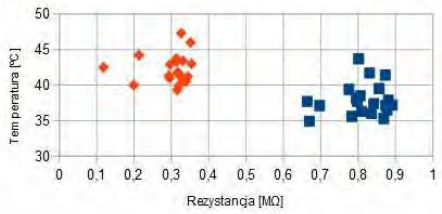
Parametr	Etap I	Etap III	Błąd względny [%]	Etap V	Błąd względny [%]
Q	16,03	14,55	9,23	6,52	59,33
D	0,06	0,07	15,00	0,16	163,33
R_p [MΩ]	0,81	0,75	7,78	0,30	62,84
$I_{upł}$ [μA]	0,74	0,80	8,43	1,99	169,10

Z danych zestawionych w tablicy 3.2 wynika, że szczególnie duże zmiany wystąpiły dla następujących parametrów: współczynnik strat D i prąd upływu $I_{upł}$. Biorąc pod uwagę wyniki pomiarów temperatury (rys. 3.4) przyjęto, że do oceny jakości warystorów na podstawie właściwości temperaturowych zastosowana zostanie wartość temperatury T danego warystora zmierzona w momencie czasu t = 5 min (koniec fazy samo-podgrzania warystorów). Oznacza to, że należy określić wartość temperatury T (zmierzonej dla t = 5 min), która umożliwi indywidualną klasyfikację warystora do grup o zróżnicowanej jakości, równoważną klasyfikacji na podstawie parametrów elektrycznych. Przyjęto, że wartość temperatury T (zmierzonej dla t = 5 min) będzie wskaźnikiem termicznym.

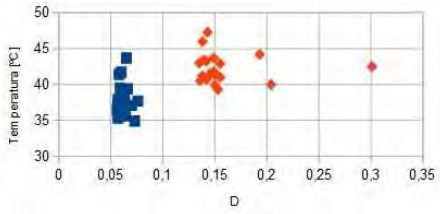
4. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

W celu określenia powiązań pomiędzy parametrami elektrycznymi, a parametrem cieplnym, czyli temperaturą T, porównano zasady klasyfikacji przyjęte dla poszczególnych parametrów elektrycznych z klasyfikacją na podstawie właściwości temperaturowych, podobnie jak w artykule [5]. Na rysunku 4.1 zaprezentowano obszary parametrów elektrycznych i temperatury, dla których zaznaczono punkty o współrzędnych tworzonych przez kolejne parametry elektryczne i wartości T dla danego warystora.

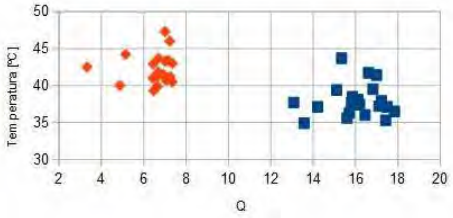
a)



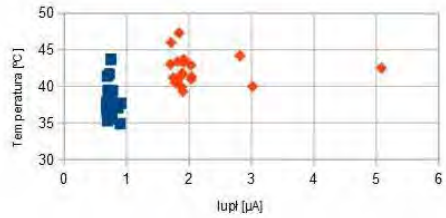
b)



c)



d)



Rys. 4.1. Zestawienie wartości parametrów elektrycznych i temperatury zmierzonych w Etapie I (kolor niebieski) i w Etapie V (kolor czerwony), a) R_p i T, b) D i T, c) Q i T, d) $I_{upł}$ i T [3]

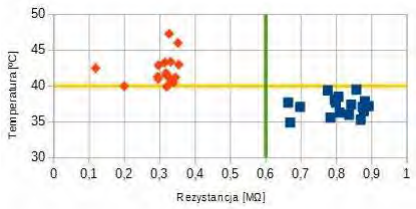
Z wyników zaprezentowanych na rysunku 3.1 widać, że warystory o numerach 1 i 6 charakteryzują się wyraźnie wyższą temperaturą, temperaturą powyżej 40 ^{0}C w fazie samo-podgrzania warystorów. Taki sam wynik uzyskano dla warystora nr 17 z grupy warystorów o numerach od 11 do 20. Prawdopodobnie charakterystyki cieplne tych warystorów zmierzone w Etapie I zostały wykonane nieprawidłowo, ponieważ w kolejnych pomiarach, w Etapie III, były one niższe, również ich parametry elektryczne miały podobne wartości jak pozostałe elementy. Z wyników pomiarów wykonanych w Etapie I, prezentowanych na rysunku 3.4, usunięto punkty odpowiadające warystorom o numerach 1, 6 i 17.

Na rysunku 4.2 zestawiono ponownie wartości parametrów elektrycznych i temperatury z pominięciem warystorów o numerach 1, 6 i 17.

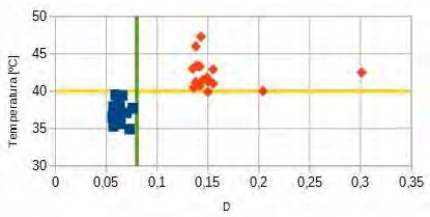
Na rysunku 4.2 zaznaczono również wartości graniczne parametrów elektrycznych zaproponowanych do indywidualnej klasyfikacji warystorów do grup o zróżnicowanej jakości (tablica 3.1).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

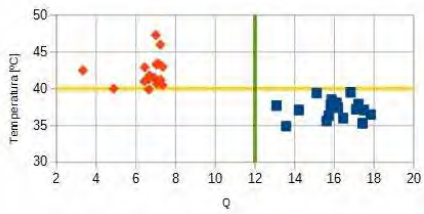
a)



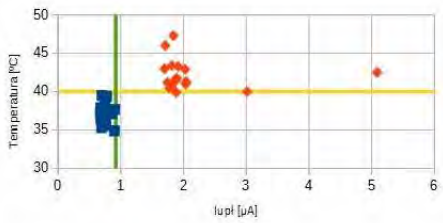
b)



c)



d)



Rys. 4. 2. Zestawienie wartości parametrów elektrycznych i temperatury zmierzonych w Etapie I (kolor niebieski) i w Etapie V (kolor czerwony),
a) R_p i T, b) D i T, c) Q i $\boldsymbol{T}$, d) $I_{upł}$ i T, pominięto wyniki uzyskane dla warystorów nr 1, 6 i 17 [3]

Dla wszystkich parametrów elektrycznych można wprowadzić klasyfikację warystorów zgodną, z zaproponowaną w tablicy 3.1, oraz dla parametru cieplnego, czyli temperatury T, zmierzonej po 5 minutach samo-podgrzewania warystora. Wartości graniczna temperatury T_{gr} umożliwiająca klasyfikację warystorów pod względem ich jakości wynosi 40 ^{0}C.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie badań warystorów niskonapięciowych wytypowano do indywidualnej oceny jakości tych warystorów wskaźnik termiczny, czyli temperaturę T badanego warystora mierzoną po 5 minutach samo-podgrzania. Jeżeli wartość temperatury T będzie większa niż 40 ^{0}C, to należy badany egzemplarz uznać za element o niskiej jakości. Taki warystor nie powinien być stosowany w układach elektrycznych. Ze względu na dostępność pirometrów prezentowany sposób oceny jakości może być stosowany do selekcji warystorów niskonapięciowych pod względem ich jakości.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Więcek B., De Mey G.: Termowizja w podczerwieni. Podstawy I zastosowania, Wydawnictwo PAK, 2011.
2. Minkina W.: Wybrane problem współczesnej termografii I termometrii w podczerwieni, WPC, Częstochowa, 2011.
3. Bobcow M.: Termowizja w zastosowaniu do oceny jakości warystorów, Wydział ETI, Politechnika Gdańska, 2015, praca dyplomowa magisterska.
4. PN-EN 62305-4:2011 Ochrona odgromowa: Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach.
5. Hasse L., Konczakowska A., Smulko J.: Classification of High-voltage Varistors into Groups of Differentiated Quality, Microelectronics Reliability, vol. 49, Issue 12, DEC 2009, 1483-1490.

APPLICATION OF INFRARED THERMOGRAPHY TO VARISTORS QUALITY EVALUATION

The use of thermography displacement (NDT - non-destructive tests) is proposed to assess the quality of individual varistor.

Twenty low-voltage varistors were studied where electrical and thermal performance measurements were taken before the stress-tests (part I) and after two subsequent cycles of two-tier stress tests (part III and V, respectively). Stress-tests were used to obtain degradation of the tested varistors (part II and IV, respectively). The following electrical parameters were measured: electric resistance Rp , quality Q, dissipation factor D and leakage current $I_{upł}$. The scope of the thermographic study included measurements of the varistors' temperature within 5 minutes after turning on the power (self-heating) and 5 minutes after turning off the power (cooling). A comparison study was conducted of the classification rules, where varistors were assigned to groups depending on their quality based on either the electrical parameters measured before the stress tests, or their temperature measurements. Varistor's temperature T, measured after self-heating it up for 5 minutes, was selected as the borderline value on basis of which the selection to the different quality groups was conducted.

The temperature T higher than 40 ^{0}C indicates that the test specimen is of average or poor quality and should not be used.

Keywords: infrared thermography, varistors, quality evaluation.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl