



Metodyka badań podatności urządzeń na wyładowania elektrostatyczne — stanowisko pomiarowe

KAMIL BIAŁEK¹, PATRYK WETOSZKA¹, JACEK PAŚ²

¹ Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji,
ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, kbialek@ikolej.pl, pwetoszka@ikolej.pl

² Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, jacek.pas@wat.edu.pl

Streszczenie. Jedną z najczęstszych przyczyn uszkodzeń urządzeń elektronicznych są wyładowania elektrostatyczne — w skrócie ESD. Powstają one podczas normalnego użytkowania urządzeń przez operatora, który w niekorzystnych warunkach (suche powietrze i elektryzujące się materiały) może naładować się elektrostatycznie do bardzo wysokich napięć i dotykając np. klawiatury biletomatu w przedziale pociągu, spowoduje wyładowanie elektrostatyczne. Występuje wiele mechanizmów powstawania ładunków elektrostatycznych, m.in. podczas tarcia, rozdrabniania bądź gwałtownego rozdzielania ciał stałych, ciekłych lub gazowych. Innym sposobem elektryzowania jest zjawisko indukcji elektrostatycznej, podczas której w polu elektrostatycznym następuje polaryzacja ciała w stanie neutralnym — poprzez rozdzielenie ładunków dodatnich i ujemnych.

Słowa kluczowe: wyładowania elektrostatyczne, systemy elektroniczne, zjawisko indukcji elektrostatycznej

DOI: 10.5604/01.3001.0013.9732

1. Wstęp

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z oddziaływaniem wyładowań elektrostatycznych — ESD na elementy, urządzenia i systemy elektroniczne. Elektroklimatem nazywa się zespół zjawisk związanych z obecnością ładunków elektrycznych i pól elektromagnetycznych w środowisku [3, 4, 5, 7, 8, 12]. W różnego rodzaju obiektach (budowlanych, w pomieszczeniach, środkach transportu — wagon kolejowy, elektrowóz itd.) spotykamy się z pojęciem elektroklimatu, który tworzony jest przez:

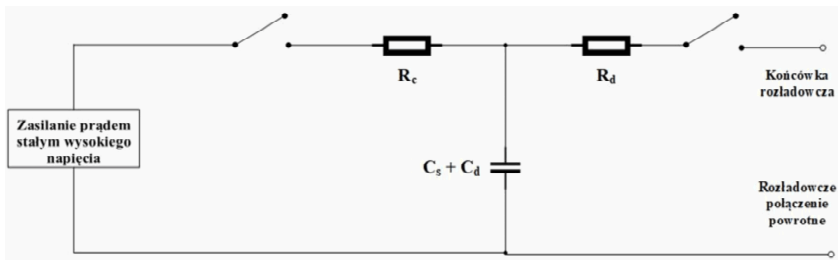
jony, ładunki elektrostatyczne, pola elektromagnetyczne naturalne i pochodzące od sztucznych źródeł promieniowania. Z elektrycznością statyczną spotykamy się codziennie w pracy i domu. Ma to miejsce w środowisku naturalnym oraz wytworzonym przez człowieka, tj. w środkach transportu, w miejscu pracy i odpoczynku itd. [2, 4, 6, 10, 15]. Poznanie źródeł elektryczności statycznej oraz mechanizmów jej oddziaływania, szczególnie wyładowań, może ułatwić podejmowanie środków zaradczych służących ochronie urządzeń elektronicznych, środowiska naturalnego i wytworzonego przez człowieka. Ładunki elektryczności statycznej mogą powstawać w ciałach stałych, w cieczach oraz substancjach sproszkowanych. Przyczyną ich powstania mogą być: działania mechaniczne, zmiany stanu skupienia, procesy elektrochemiczne, jonizacja powietrza, indukcja elektryczna, działania termiczne i inne. Można uważać, że wszelkiego rodzaju tworzywa sztuczne, zaliczane do dielektryków ze względu na dużą rezystywność, są siedliskiem (źródłem) elektryczności statycznej. Wytworzony na nich ładunek staje się źródłem bardzo silnych pól elektrostatycznych, a impuls wyładowania, który powstaje podczas zmiany rezystancji, może spowodować uszkodzenie urządzenia elektronicznego. Czas utrzymywania się ładunków, a tym samym występowania pola elektrycznego, jest zależny od rezystywności ciał. Im większa rezystywność ciał, na których znajduje się dany ładunek, tym trudniej jest go odprowadzić. W najbliższym otoczeniu człowieka ładunki elektrostatyczne powstają najczęściej na następujących elementach: chodnikach, wykładzinach podłogowych, dywanach, meblach z tworzyw sztucznych, powierzchniach lakierowanych, obudowach urządzeń elektronicznych i elektrycznych, opakowaniach foliowych z PCV, bieliznie i odzieży z włókien syntetycznych, obuwiu ze spodami o właściwościach izolacyjnych itd. [2, 5, 12, 14].

2. Układ generowania impulsu i kształt wyładowań ESD

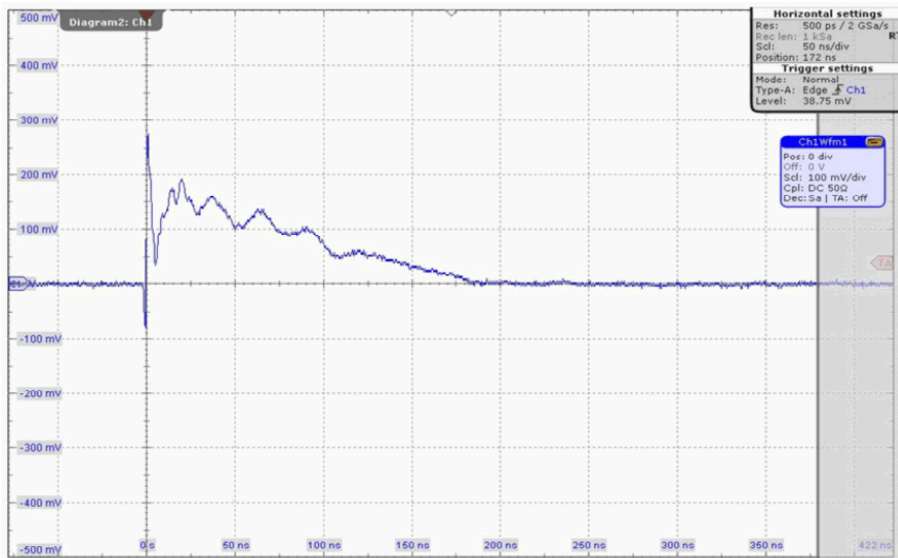
W zakresie badań odporności na wyładowania elektrostatyczne w krajach Unii Europejskiej obowiązuje norma PN-EN 61000-4-2 [1], która odnosi się do urządzeń, systemów, podsystemów mogących podlegać wyładowaniom elektryczności statycznej wynikającym z warunków środowiskowych i instalacyjnych.

Laboratoryjne wyładowania elektrostatyczne generowane są za pomocą układu rozładowczego przedstawionego na rysunku 1.

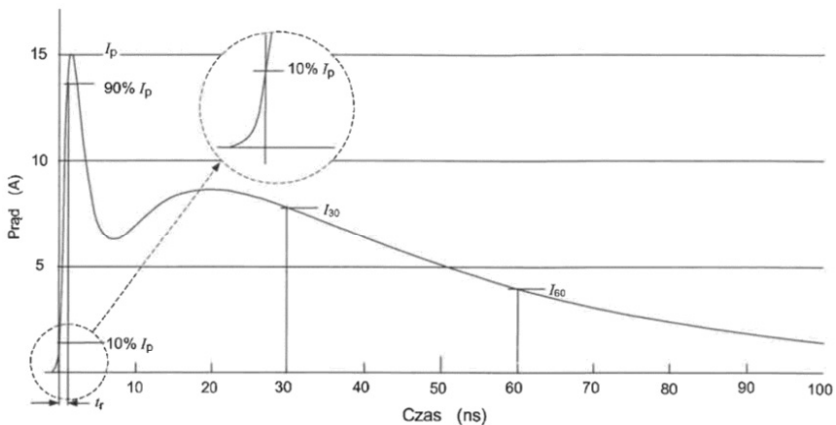
Impuls generowany jest przez pojemność $C_s + C_d = 150$ pF i rezystancję $R_d = 330$ Ω . Kształt impulsu prądowego dla 6 kV uzyskanego podczas kalibracji stanowiska pomiarowego z wykorzystaniem końcówki stykowej przedstawiono na rysunku 2, natomiast na rysunku 3 znajduje się kształt przebiegu prądu dla 4 kV. Poziomy probiercze przedstawiono w tabeli 1 według normy PN-EN 61000-4-2 [1].



Rys. 1. Schemat ideowy generatora impulsu ESD



Rys. 2. Przebieg impulsu prądowego podczas wyładowania kontaktowego dla 6 kV



Rys. 3. Idealny kształt przebiegu prądu wyładowania kontaktowego dla napięcia 4 kV

TABELA 1

Poziomy probiercze [1]

Wyładowania kontaktowe		Wyładowania w powietrzu	
Poziom	Napięcie probiercze [kV]	Poziom	Napięcie probiercze [kV]
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
X ¹	specjalne	X	specjalne

¹ poziom sprecyzowany w odpowiedniej dokumentacji technicznej

3. Metodyka badań

Metodyka badań odporności na wyładowania elektrostatyczne obejmuje urządzenia i systemy ustawiane:

- na stole,
- na podłodze (urządzenia wielkogabarytowe),
- w miejscu zainstalowania.

Badanie ESD wykonuje się pośrednio i bezpośrednio w następujący sposób:

- wyładowanie kontaktowe przykładane do powierzchni metalowych (przewodzących) urządzenia oraz do płaszczyzn sprzęgających VCP (pionowa płaszczyzna sprzęgająca) i HCP (pozioma płaszczyzna sprzęgająca) za pomocą końcówki stykowej,
- wyładowanie powietrzne przykładane do płaszczyzn izolujących za pomocą końcówki zaokrąglonej (powietrznej).



Rys. 4. Końcówki rozładowcze wykorzystywane podczas badania ESD

Na rysunku 3 przedstawiono końcówki rozładowcze wykorzystywane do badania odporności na wyładowania elektrostatyczne. Końcówka nr 1 służy do wyładowań kontaktowych, natomiast końcówki nr 2 i 3 do wyładowań powietrznych. Końcówki dołączane są do pistoletu generatora ESD, który jest częścią wykonawczą systemu do przeprowadzenia testu odporności. Wykorzystuje się je w zależności od miejsca, do którego przykładane jest narażenie.

3.1. Urządzenia ustawiane na stole

Stanowisko pomiarowe składa się ze stołu drewnianego o wysokości $(0,8 \pm 0,08)$ m stojącego na płaszczyźnie ziemi odniesienia (GRP — ang. *Ground Reference Plane*). Na stole znajdują się płaszczyzny sprzęgające HCP (ang. *Horizontal Coupling Plane*) o wymiarach $(1,6 \pm 0,02)$ m \times $(0,8 \pm 0,02)$ m oraz VCP (ang. *Vertical Coupling Plane*) $(0,5 \pm 0,02)$ m \times $(0,5 \pm 0,02)$ m podłączone poprzez rezystory rozładowcze do ziemi odniesienia. Badane urządzenia (EUT — ang. *Equipment Under Test*), jak również przewody należy izolować od płaszczyzny sprzęgającej, stosując podkładkę izolacyjną o grubości $(0,5 \pm 0,05)$ mm. Ziemię odniesienia GRP, jak również płaszczyzny sprzęgające VCP i HCP wykonuje się z miedzi lub aluminium o grubości nie mniejszej niż 0,25 mm bądź przy użyciu innych metali o grubości nie mniejszej niż 0,65 mm.

W przypadku urządzeń nieuziemionych (przenośnych, zasilanych bateryjnie lub urządzenia z podwójną izolacją — II klasy ochronności) posiadających dostępną część metalową, do której powinien być generowany impuls ESD, należy połączyć tę część z poziomą płaszczyzną sprzęgającą (HCP) odpowiednim przewodem z rezystorami rozładowującymi 2×470 k Ω (rys. 4). Na rysunku 5 przedstawiono rzeczywiste stanowisko laboratoryjne do badania odporności na wyładowania elektrostatyczne urządzeń i systemów ustawianych na stole.



Rys. 5. Rezystory rozładowcze o wartości 470 k Ω



Rys. 6. Stanowisko laboratoryjne urządzeń i systemów ustawianych na stole

3.2. Urządzenia ustawiane na podłodze

Badane urządzenia (EUT) ustawia się na podstawce izolującej o grubości od 0,05 m do 0,15 m na płaszczyźnie ziemi odniesienia (GRP). Przewody połączeniowe odizolowane są od ziemi odniesienia podkładką izolującą o grubości $(0,5 \pm 0,05)$ mm. Podkładka ta musi wystawać poza brzegi podstawy izolującej badanego urządzenia.



Rys. 7. Stanowisko pomiarowe urządzeń i systemów ustawianych na podłodze

W przypadku urządzeń nieziemionych należy EUT oraz pionową płaszczyznę VCP połączyć przewodem poprzez rezystory rozładowcze $2 \times 470 \text{ k}\Omega$ do ziemi odniesienia (GRP). Na rysunku 6 przedstawiono rzeczywiste stanowisko laboratoryjne do badania odporności na wyładowania elektrostatyczne urządzeń i systemów ustawianych na podłodze.

3.3. Urządzenia do badań w miejscu zainstalowania

Badania te przeprowadzane są w warunkach *in situ*, realizowane w uzgodnieniu między producentem i odbiorcą. W czasie badań urządzenie musi pracować w warunkach instalacji docelowej. Podczas wykonywania testów należy pamiętać, że mogą mieć one wpływ na działanie innych urządzeń elektrycznych i elektronicznych znajdujących się w pobliżu EUT.

W odległości ok. 0,1 m od badanego urządzenia systemu należy umieścić płaszczyznę ziemi odniesienia GRP, która jest wykonana z miedzi lub aluminium o grubości nie mniejszej niż 0,25 mm. Alternatywą jest użycie innych metali o grubości nie mniejszej niż 0,65 mm. Płaszczyzna powinna mieć wymiary około $2 \times 0,3 \text{ m}$ (długość \times szerokość) oraz być podłączona do uziemienia ochronnego lub zacisku uziemienia EUT.

W przypadku gdy EUT znajduje się na stole metalowym, należy go podłączyć do płaszczyzny ziemi odniesienia GRP przewodem z rezystorami $470 \text{ k}\Omega$ umieszczonymi na obu krańcach, aby zapobiec gromadzeniu ładunku.

4. Wnioski

Jedną z najczęstszych przyczyn uszkodzeń urządzeń elektronicznych są wyładowania elektrostatyczne — w skrócie ESD. Powstają one podczas normalnego użytkowania urządzeń przez operatora, który w niekorzystnych warunkach (suche powietrze i elektryzujące się materiały) może naładować się elektrostatycznie do bardzo wysokich napięć i dotykając np. klawiatury systemu komputerowego, urządzenia do kodowania i rozkodowywania stref bezpieczeństwa, może nieumyślnie spowodować wyładowanie elektrostatyczne. Metodyka wykonywania badania odporności na wyładowania elektrostatyczne ESD opiera się na normie PN-EN 61000-4-2 [1]. Precyzyjnie określono w niej wytyczne dotyczące stanowisk pomiarowych oraz sposób przeprowadzania testu. Podczas testu urządzenie powinno być zasilane oraz funkcjonować w sposób normalny — niezakłócony przeprowadzaną próbą. Urządzenie lub system elektroniczny powinny realizować założone funkcje docelowe bez pogorszenia ich jakości oraz określonych przez producenta parametrów [2, 4, 9, 11, 13, 14, 16, 17]. Producenci urządzeń elektronicznych są zobowiązani przez obowiązujące dyrektywy i zapisy normatywne do zabezpieczania swoich wyrobów przed podatnością na wyładowania elektrostatyczne.

Źródło finansowania pracy — środki własne autorów.

Artykuł opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na X Konferencji Naukowej *Diagnostyka techniczna urządzeń i systemów — DIAG'19*, Augustów, 20-24 maja 2019 r.

Artykuł wpłynął do redakcji 30.05.2019 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 11.12.2019 r.

Jacek Paś <https://orcid.org/0000-0001-8900-1445>

LITERATURA

- [1] PN-EN 61000-4-2:2011 — *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-2: Metody badań i pomiarów — Badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne*.
- [2] PASTEWSKI J., GALLA S., *Systemy monitorowania wyładowań ESD*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, nr 31, 2012.
- [3] DYDUCH J., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
- [4] BIAŁEK K., PAŚ J., *Badanie emisji zaburzeń promieniowanych pojazdów szynowych w trakcji wielokrotnej*, Technika Transportu Szynowego, TTS, 12, 2017, pp. 738-742.
- [5] BIAŁEK K., PAŚ J., *Analysis of the electromagnetic environment in an extensive railway area*, Biuletyn WAT, 67, 1, 2018, 53-63, DOI: 10.5604/01.3001.0011.8034.
- [6] BIAŁEK K., PAŚ J., *Exploitation of selected railway equipment — conducted disturbance emission examination*, Diagnostyka, vol. 19, no. 3, 2018, pp. 29-35.
- [7] DZIULA P., PAŚ J., *Low Frequency Electromagnetic Interferences Impact on Transport Security Systems Used in Wide Transport Areas*, TransNav the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 12, no. 2, June 2018, pp. 251-258.
- [8] KLIMCZAK T., PAŚ J., *Analysis of reliability structures for fire signaling systems in the field of fire safety and hardware requirements*, Journal of KONBIN, t. 46, 2018, pp. 191-214.
- [9] KLIMCZAK T., PAŚ J., *Analysis of solution of a fire signaling system for a choice railway building*, Biuletyn WAT, 67, 4, 2018, 195-205, DOI: 10.5604/01.3001.0012.8515.
- [10] KRZYKOWSKI M., PAŚ J., ROSIŃSKI A., *Assessment of the level of reliability of power supplies of the objects of critical infrastructure*, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 214 (2019) 012018, pp. 1-9.
- [11] WETOSZA P., PAŚ J., LASKOWSKI D., *Electromagnetic compatibility in selected electronic devices security systems — preliminary tests*, Elektronika, Wyd. Sigma-NOT, 8, 2018, pp. 1-8.
- [12] PAŚ J., ROSIŃSKI A., WIŚNIOŚ M., MAJDA-ZDANCEWICZ E., ŁUKASIAK J., *Elektroniczne systemy bezpieczeństwa. Wprowadzenie do laboratorium*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2018.
- [13] KLIMCZAK T., PAŚ J., *Selected issues of the reliability and operational assessment of a fire alarm system*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, vol. 21, no. 4, 2019, pp. 553-561, DOI: 10.17531/ein.2019.4.3.
- [14] SIERGIEJCZYK M., ROSIŃSKI A., PAŚ J., *Analysis of unintended electromagnetic fields generated by safety system control panels*, Diagnostyka, vol. 17, no. 3, 2016, pp. 35-46.
- [15] KLIMCZAK T., PAŚ J., *Selected issues of the reliability and operational assessment of a fire alarm system*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, vol. 21, no. 4, 2019, pp. 553-561, DOI: 10.17531/ein.2019.4.3.

- [16] KLIMCZAK T., PAŚ J., *Reliability and operating analysis of transmission of alarm signals of distributed fire signaling system*, Journal of KONBIN, nr 49, 2019, s. 165-174, DOI: 10.2478/jok-2019-0009.
- [17] PAŚ J., KLIMCZAK T., *Modeling of the process of selected fire signaling systems*, Diagnostyka, vol. 20, no. 4, 2019, pp. 1-8, DOI: 10.29354/diag/113047.

K. BIAŁEK, P. WETOSZKA, J. PAŚ

Methodology of testing positive attitudes to electrostatic discharges — measuring position

Abstract. One of the most common causes of damage to electronic devices is electrostatic discharge — ESD for short. They arise during the normal use of the equipment by the operator who in adverse conditions (dry air and electrifying materials) can charge electrostatically to very high voltages and, for example, touching the ticket machine keyboard in the train compartment and causing an electrostatic discharge. There are many mechanisms for the formation of electrostatic charges, among others: during friction, grinding or rapid separation of solid, liquid or gaseous bodies. Another electrifying method is the phenomenon of electrostatic induction during which in the electrostatic field a polarization of the body occurs in the neutral state in a way of separating positive and negative charges.

Keywords: electrostatic discharges, electronic systems, phenomenon of electrostatic induction

DOI: 10.5604/01.3001.0013.9732

