

# Badania odporności ograniczników przepięć stosowanych w kolejowych układach elektronicznych

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.405  
Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule przedstawiono badanie odporności na udary elektryczne wybranych dwóch ograniczników przepięć stosowanych w kolejowych układach elektronicznych. Przedstawiono metodykę pomiarową, stanowisko laboratoryjne wg normy PN-EN 61000-4-5 oraz dopuszczalne poziomy narażeń zawarte w normie kolejowej PN-EN 50121-3-2. W artykule zaprezentowano przykładowe wyniki badań oraz przeprowadzono ocenę otrzymanych wyników według obowiązujących unormowań.

**Słowa kluczowe:** kompatybilność elektromagnetyczna, odporność, udary, ograniczniki przepięć

## Wstęp

Elektroniczne urządzenia sterowania ruchem kolejowym (srk) jak również urządzenia, znajdujące się na pojazdach trakcyjnych, pracujące najczęściej w rozbudowanych przestrzennie systemach, cechuje duża wrażliwość na impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne, wywołane przede wszystkim wyładowaniami atmosferycznymi. Zapewnienie ochrony podstawowej urządzeń jest realizowane poprzez zastosowanie ograniczników przepięć w obwodach zasilania.

W Unii Europejskiej w połowie lat dziewięćdziesiątych pojawiły się zalecenia dla urządzeń stosowanych w kolejnictwie, najpierw w formie prestandardu, a następnie już jako normy europejskiej. Z chwilą przystąpienia Polski do Unii Europejskiej obowiązują na terenie Polski przepisy zawarte w odpowiednich normach europejskich [13,14].

W artykule przedstawiono badanie odporności na udary elektryczne wybranych ograniczników przepięć zgodnie z metodyką zawartą w normie PN-EN 61000-4-5 [11] i poziomami wg. normy PN-EN 50121-3-2 [13].

## 1 Badania odporności ograniczników przepięć stosowanych w kolejowych układach elektronicznych

Badania odporności jakie należy wykonać na ogranicznikach przepięć stosowanych w kolejowych układach elektronicznych to:

- badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych wg normy PN-EN 61000-4-4 [10],
- badanie odporności na udary elektryczne wg normy PN-EN 61000-4-5 [11],
- badanie odporności na zaburzenia przewodzone indukowane przez pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej wg normy PN-EN 61000-4-6 [12].

W nierniejszym artykule autor zwrócił uwagę na przepięcia, występujące w obwodach zasilających i sygnałowych urządzeń kolejowych, które wbrew pozorom są bardzo trudny i rozległym tematem. Bezpośrednią przyczyną powstawania przepięć w obwodach zasilania kolejowych urządzeń elektronicznych są stany nieustalone w sieciach energetycznych i trakcyjnych [15,16]. W obwodach sygnałowych przyczyną powstawania przepięć są zaindukowane przebiegi

pochodzące od wyładowań atmosferycznych oraz przebiegi zaindukowane w obwodach sąsiednich, sprzężonych magnetycznie [4].

Zjawiska podczas, których powstają udary można podzielić na dwie grupy [9]:

- piorunowe stany przejściowe:
  - bezpośrednie uderzenie pioruna,
  - pośrednie uderzenie pioruna,
  - przepływ w ziemi prądu wyładowań atmosferycznych,
- łączeniowe stany przejściowe
  - stany przejściowe związane z obwodami rezonansowymi dołączonymi do takich elementów łączeniowych jak tyrystory,
  - procesy łączeniowe związane ze zmianami obciążenia w elektroenergetycznej sieci rozdzielczej,
  - proces łączenia urządzeń występujące blisko aparatury,
  - zwarcia i wyładowania łukowe do uziemienia instalacji.

### 1.1 Badanie odporności na udary elektryczne

Badania odporności na udary elektryczne ograniczników przepięć wykonuje się w celu sprawdzenia odporności na impulsy napięciowe i prądowe dużej energii. Kształt impulsu napięciowego przedstawionego na rysunku 1 może być opisany matematycznie krzywą dwuwykładniczą:

$$u(t) = A_0 \cdot (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (1)$$

gdzie:  $A_0$  – wartość referencyjna;  
 $\alpha, \beta$  – stałe tłumienia, dla udaru piorunowego znormalizowanego,  $1,2 \mu s / 50 \mu s$  [4], parametry te wynoszą [1]:

$A_0 = 1,037264$ ;  
 $\alpha = 14659 \text{ s}^{-1}$  (stała czasowa  $t_2 = 1/\alpha \approx 68,22 \mu s$ );  
 $\beta = 2468000 \text{ s}^{-1}$  (stała czasowa  $t_1 = 1/\beta \approx 0,405 \mu s$ ).

Widmo tego udaru wyrażone jest wzorem [3]:

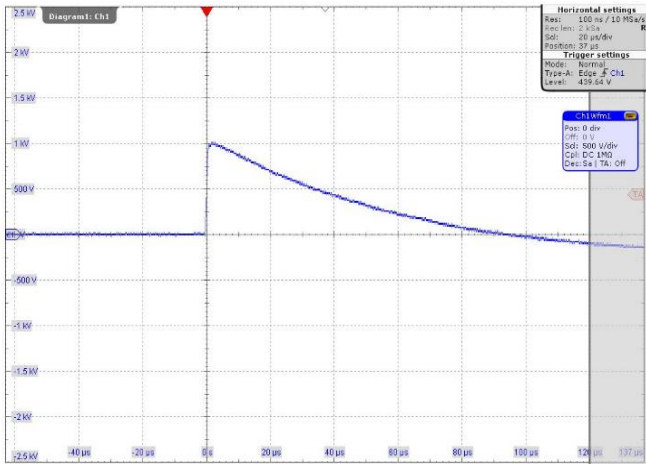
$$u(\omega) = \frac{A_0(\beta - \alpha)}{(\alpha + j\omega) \cdot (\beta + j\omega)} = \frac{A_0(\beta - \alpha)}{\alpha\beta + j\omega \cdot (\alpha + \beta) - \omega^2} \quad (2)$$

Z wzoru wynika, że impuls charakteryzuje się niską wartością częstotliwości granicznej, wynoszącą ok. 4 kHz.

W tabeli 1 przedstawiono parametry impulsu udarowego wykorzystanego podczas badania ograniczników.

Tab 1. Parametr impulsu udarowego napięciowego [13]

Parametr	Wartość
Wartość napięcia obrotu otwartego	$\pm 1 \text{ kV}$ linia-linia $\pm 2 \text{ kV}$ linia-ziemia
Czas narastania impulsu	$1,2 \mu s \pm 30\%$
Czas trwania impulsu	$50 \mu s \pm 20\%$



Rys. 1. Kształt impulsu udarowego „surge”, + 1kV

Powyższe badanie wykonano dla dwóch urządzeń, które nazywano dalej; ogranicznik nr 1 oraz ogranicznik nr 2 zgodnie z metodą zapisaną w normie PN-EN 61000-4-5 [11]. W czasie badań wykorzystano aparaturę pomiarową podaną w tabeli 2. Poziomy narażeń zostały określone w normie kolejowej PN-EN 50121-3-2 [13], która odnosi się do urządzeń elektrycznych i elektronicznych przeznaczonych do stosowania w taborze kolejowym.

Tab 2 Aparatura pomiarowa

Przyrząd pomiarowy	Wartość	Producent
Generator	UCS 500N5	EM Test
Oscyloskop cyfrowy	1,2μs ± 30%	Rohde&Schwarz

Na rysunku 2 przedstawiono stanowisko pomiarowe do badań odporności na udary elektryczne. Głównym elementem stanowiska badawczego jest generator udarów z impedancją wyjściową 2 Ω. Do weryfikacji impulsu wykorzystano oscyloskop cyfrowy z wysokonapięciową sondą pomiarową.

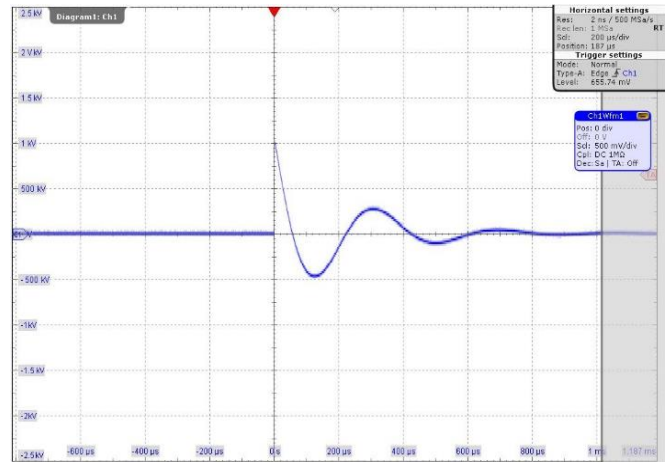


Rys. 2. Stanowiska pomiarowego badanego ogranicznika

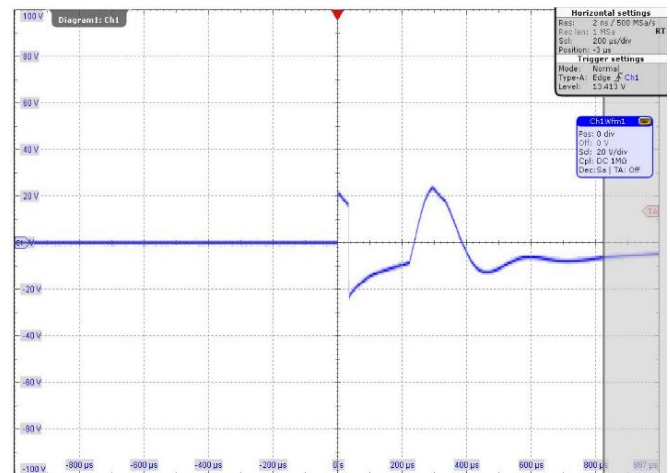
Wyniki badań odporności na udary elektryczne

Badanie odporności wykonano w Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji Instytutu Kolejnictwa dla dwóch ograniczników przepięć. Ogranicznik nr 1 przystosowany jest do pracy w urządzeniach

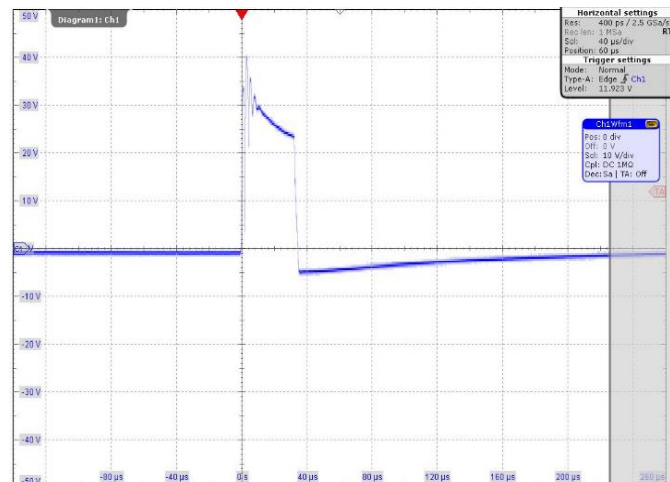
zasilanych napięciem stałym do 24 V DC, natomiast ogranicznik nr 2 w urządzeniach zasilanych napięciem do 32 V DC. Na rysunkach 3 i 7 przedstawiono kolejno impulsy napięciowe podane na wejście każdego z ograniczników („+ 1 kV” i „- 1kV”) o czasie narastania impulsu równym 1,2 μs i czasie trwania 50 μs. Na rysunkach 4, 5 oraz 7, 8 zaprezentowano wyniki na wyjściu ograniczników nr 1 i 2.



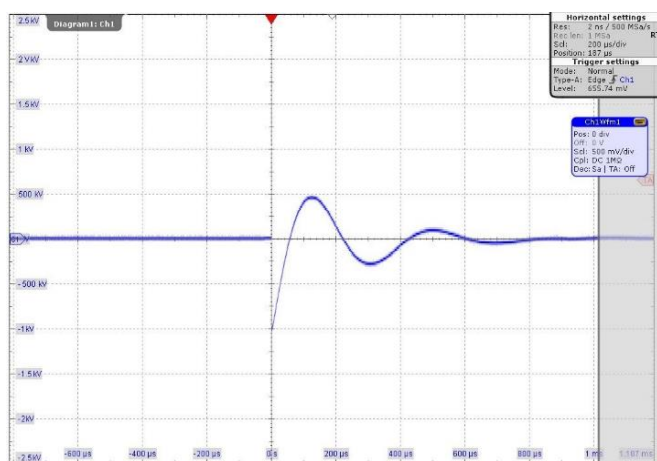
Rys. 3. Kształt impulsu udarowego „surge” o wartości + 1kV.



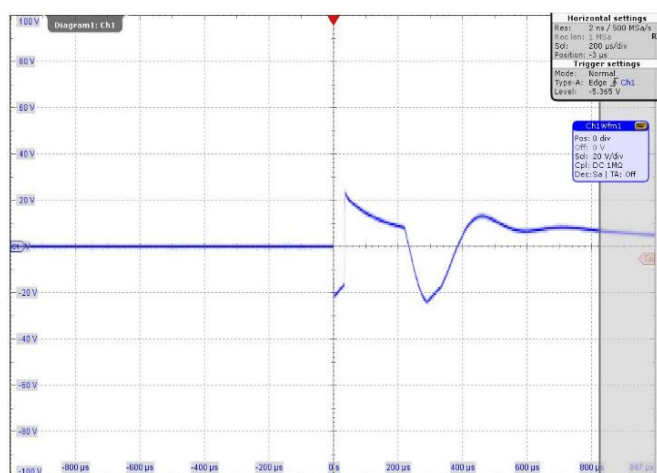
Rys. 4. Kształt napięcia na wyjściu pierwszego badanego ogranicznika dla impulsu udarowego wejściowego + 1kV



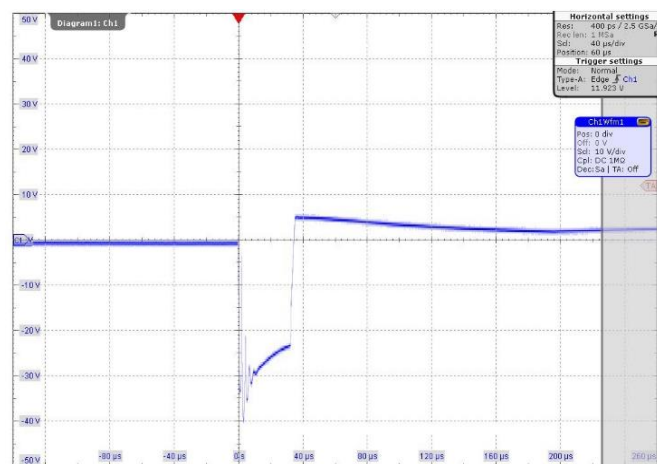
Rys. 5. Kształt napięcia na wyjściu drugiego badanego ogranicznika dla impulsu udarowego wejściowego + 1kV



Rys. 6. Kształt impulsu udarowego „suerge” o wartości - 1kV.



Rys. 7. Kształt napięcia na wyjściu pierwszego badanego ogranicznika dla impulsu udarowego wejściowego - 1kV



Rys. 8. Kształt napięcia na wyjściu drugiego badanego ogranicznika dla impulsu udarowego wejściowego - 1kV

Przedstawione wyniki pomiarów potwierdzają bardzo krótki czas reakcji ograniczników na wymuszenie, na poziomie nanosekund. Pierwszy ogranicznik ograniczał wartość napięcia udarowego z  $\pm 1$  kV do wartości  $\pm 24$  V, natomiast ogranicznik drugi z  $\pm 1$  kV do wartości  $\pm 40$  V. Powyższe ograniczniki stosowane są w urządzeniach kolejowych w zależności od potrzeb dla ograniczania krótkotrwałych impulsów udarowych.

## Podsumowanie

Kolejowe urządzenia elektryczne i elektroniczne narażone są na przebiecia pojawiające się w sposób losowy w obwodzie zasilania oraz w wybranych częściach rozbudowanego systemu. Zaburzenia impulsowe mogą wystąpić zarówno w liniach napowietrznych, jak i kablowych. Urządzenia i systemy kolejowe podczas eksploatacji podlegają działaniu narażeń napięciowych powstających przez piorunowe i łączeniowe stany przejściowe. Z tego powodu zachodzi konieczność wykonywania badań laboratoryjnych nowo powstających urządzeń. Ich celem jest weryfikacja poprawności konstrukcji danego typu urządzenia lub konkretnego wyrobu [4,6,7]. Wewnętrzne urządzenia elektroniczne instalowane w środowisku kolejowym jak również na trakcyjnych pojazdach szynowych powinny być również zabezpieczone po stronie przesyłania sygnałów. Obiekty duże, jak na przykład nastawnie, powinny być zabezpieczone na przyłączy kablowym i na wejściu danego urządzenia. Występowanie impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych w kolejowych urządzeniach srk, szczególnie w obwodach przesyłania sygnałów, jest mało rozpoznane. Chcąc skutecznie ochronić urządzenia przed skutkami przepięć należy przede wszystkim posiadać informację o wartościach znamionowych napięć udarowych na które dane urządzenia są odporne. Dodatkowo, należy posiadać wiedzę na temat instalacji elektrycznej, do której urządzenie ma być podłączone. Te dwie informacje pozwalają wybrać właściwy ogranicznik przepięć, tak aby napięcie na wejściu chronionego urządzenia nie przekraczało jego wytrzymałości udarowej. Ze względu na rozbudowaną kolejową instalację elektryczną nie da się pominąć podczas doboru ogranicznika przepięć dla właściwego skoordynowania podziału energii udarów pomiędzy innymi elementami ograniczającymi udary które są zainstalowane już w kolejowej instalacji elektrycznej [8].

Problematykę dotyczącą ochrony przeciwprzepięciowej urządzeń srk, instalowanych w środowisku kolejowym jak również urządzeń stosowanych na pojazdach szynowych opisują normy PN-EN 50121-3-2 [13] oraz PN-EN50121-4 [14]. Są w nich określone wymagane badania i poziomy narażeń oraz sposób prowadzenia badań, w celu otrzymania pełnej powtarzalności i porównywalności otrzymanych wyników z wynikami uzyskanymi przez różne laboratoria.

W artykule zaprezentowano badanie odporności na udary dwóch ograniczników przepięć i przedstawiono wyniki które potwierdzają ich parametry techniczne – tzn. ograniczają impulsowe wymuszenia wnikające do sieci indukowane przez wyładowania atmosferyczne.

## Bibliografia:

1. Brede A.P., Werle P., Gockenbach E., Borsi H., A new method of determining the mean curve of lightning impulses according to IEC 60060-1, Proc. of the 11thISH, paper 1.74.S21, IEC Publ. No. 467, London, 1999
2. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: *Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
3. Keiser K., *Electromagnetic Compatibility Handbook*, CRC Press, 2005
4. Laskowski M, Frankiewicz W., *Ochrona przeciwprzepięciowa elektronicznych urządzeń sterowania ruchem kolejowym*
5. Paś J., *Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych*. Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny, Radom 2015.
6. Paś J., Rosiński A., Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference, "Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability", 2017, 19(3), pp. 375–381, DOI: 10.17531/ein.2017.3.8.
7. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A., Issue of reliability-exploitation evaluation of electronic transport systems used in the railway

- environment with consideration of electromagnetic interference, "IET Intelligent Transport Systems", 2016, vol. 10, issue 9, pp. 587–593.
8. Wiater J. Prawidłowy dobór i koordynacja energetyczna ograniczników przepięć.
  9. Wincecik K., Ochrona przed przepięciami o częstotliwości sieciowej - nowe urządzenie w ofercie firmy DEHN.
  10. PN-EN 61000-4-4 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) -- Część 4-4: Metody badań i pomiarów -- Badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych.
  11. PN-EN 61000-4-5 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-5: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na udary.
  12. PN-EN 61000-4-6 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-6: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na zaburzenia przewodzone, indukowane przez pola o częstotliwości radiowej,
  13. PN-EN 50121-3-2 Zastosowania kolejowe. Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 3-2: Tabor, Aparatura.
  14. PN-EN 50121-4 Zastosowania kolejowe -- Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 4: Emisja i odporność urządzeń sterowania ruchem kolejowym oraz telekomunikacji.
  15. Wetosza P., Paś J., D. Laskowski: Electromagnetic compatibility in selected electronic devices security systems - preliminary tests, Elektronika, Wyd. Sigma-NOT, 8/2018, pp. 1 – 8.
  16. Białek K., Paś J.: Exploitation of selected railway equipment - conducted disturbance emission examination, Diagnostyka, 2018, Vol. 19, No. 3

---

**Research immunity of surge arresters used in railway electronic systems.**

The article presents the test of immunity to electric surges of two surge arresters used in railway electronic systems. Metering methodology, laboratory stand according to PN-EN 61000-4-5 and exposure levels included in the railway standard PN-EN 50121-3-2 are presented. The article presents examples of research results and an evaluation of the obtained results according to the applicable regulations.

---

**Keywords:** electromagnetic compatibility, immunity, surges, surge arresters

**Autorzy:**

mgr inż. Kamil Białek – Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, ul. Józefa Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, E-mail: kbialek@ikolej.pl