

Patryk Wetoszka

Analiza eliminacji elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych w kolejowych systemach bezpieczeństwa

JEL: L92 DOI: 10.24136/atest.2018.481

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule przedstawiono opis stanowiska pomiarowego do badania emisji elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych na portach zasilających EUT. Zaprezentowano metodykę pomiarową, dopuszczalne wartości elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych wg normy PN-EN 50121-3-2 i PN-EN 50121-4. W artykule omówiono wyniki z przeprowadzonych pomiarów oraz zaproponowano metodę eliminacji zakłóceń na porcie wejściowym 24V DC centrali alarmowej.

Słowa kluczowe: emisja zaburzeń przewodzonych, filtr przeciwzakłóceńowy, kompatybilność elektromagnetyczna.

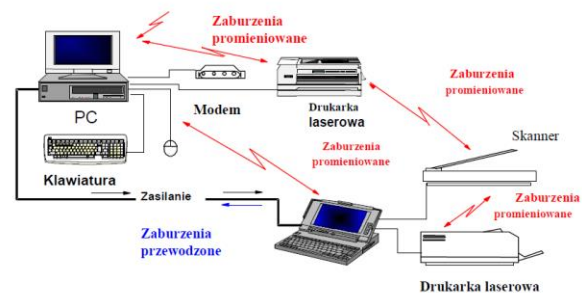
Wstęp

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z oddziaływaniem zakłóceń elektromagnetycznych na elektroniczne systemy bezpieczeństwa występujące na rozległym obszarze kolejowym [1]. Użytkowane urządzenia i systemy, realizując swoje podstawowe zadania, takie jak: wytwarzanie energii mechanicznej, bądź przetwarzanie energii elektrycznej, współdzielą przestrzeń środowiska elektromagnetycznego i oddziałują na siebie nawzajem również w sposób niepożądany [2]. Zjawiska te nazywane są zaburzeniami elektromagnetycznymi i problemy ograniczania ich emisji oraz konstrukcji urządzeń z odpowiednim poziomem odporności na nie, określane są pojęciem kompatybilności elektromagnetycznej (EMC – ang. ElectroMagnetic Compatibility) [3]. Teoria oraz projekt pojęcia kompatybilności elektromagnetycznej powstały w latach sześćdziesiątych w USA i dotyczyły początkowo wyłącznie tematyki radiowej. Motorem rozwoju stała się elektronika wojskowa oraz dążenie do eliminacji nadmiernych zakłóceń przez urządzenia i systemy elektroniczne instalowane w obiektach wojskowych [2]. Z biegiem lat, kompatybilność elektromagnetyczna przenikła do niemal wszystkich dziedzin nauki oraz obszarów gospodarczych. Obecnie w środowisku wykorzystywane jest wiele źródeł pól elektromagnetycznych, o różnych zakresach częstotliwości (widmo pola). Wśród nich, można wyróżnić dużą ilość stacji radiowych i telewizyjnych, stacji bazowych telefonii komórkowej BTS (ang. base transceiver station), łączności satelitarnej, stacji radiolokacyjnych oraz linii elektroenergetycznych.

Oprócz zasadniczych źródeł promieniowania elektromagnetycznego w najbliższym otoczeniu człowieka występuje szeroka gama urządzeń emitujących niezamierzone pola w szerokim zakresie częstotliwości. Miejsca pracy, obiekty mieszkalne oraz inne miejsca w których każdy człowiek codziennie przebywa usłane są okablowaniem, za pomocą którego doprowadzana jest energia elektryczna do ogromnej ilości urządzeń elektrycznych począwszy od odbiorników telewizyjnych i radiowych, kuchenek mikrofalowych poprzez komputery stacjonarne, a skończywszy na telefonach komórkowych oraz różno-rodnych systemach elektronicznych. Znaczący wpływ na prawidłowe funkcjonowanie, bądź jakość działania urządzeń elektronicznych, jak również całych systemów bez względu na gabaryty i przeznaczenie w otaczającym środowisku ma zaburzenie i zakłó-

cenie elektromagnetyczne – rys. 1. Wśród szerokiej gamy szkodliwych działań na urządzenia elektroniczne należy wyróżnić następujące zaburzenia [4]:

- zaburzenie promieniowane – zaburzenie elektromagnetyczne wysyłane w formie fal elektromagnetycznych,
- zaburzenie przewodzone – zaburzenie elektromagnetyczne rozchodzące się wzdłuż przewodów elektrycznych bądź sygnałowych
- zaburzenia radioelektryczne – zaburzenie elektromagnetyczne, którego składowe widmowe mieszczą się w zakresie częstotliwości radiowych,
- zaburzenia sieciowe – zaburzenie elektromagnetyczne wprowadzane do urządzenia przewodem łączącym je ze źródłem zasilania.



Rys. 1. Przykład środowiska elektromagnetycznego [4]

Jednym z dość specyficznych źródeł generowania pola elektromagnetycznego jest obszar kolejowy. Problematyka zaburzeń radioelektrycznych występujących w szeroko pojętym środowisku kolejowym okazała się trudnym zagadnieniem, wynikającym z wielowątkowości tematu [5]. Problemy pojawiające się zakłóceń w układach sterowania ruchem kolejowym (SRK) jest dobrze znany od dawna, jednak w ostatnich latach ich wielkość i różnorodność zdecydowanie uległa zwiększeniu. Przyczyną niewątpliwie stał się ciągły postęp technologiczny oraz innowacyjność producentów na rynku kolejowym.

Źródłem większej ilości zagrożeń dla kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), tj. układów oraz systemów stosowanych w kolejnictwie jest stosowanie znacznej liczby układów elektronicznych funkcjonujących przy niewielkich sygnałach roboczych mających niskie poziomy odporności za zaburzenia elektromagnetyczne, tzw. układy wrażliwe [6].

W wyniku prowadzonych prac badawczych w Instytucie Kolejnictwa zaobserwowano, że spośród wszystkich urządzeń elektronicznych znajdujących się w obszarze kolejowym najwyższe poziomy zaburzeń radioelektrycznych generują pojazdy trakcyjne. Ponadto źródłem zaburzeń są również urządzenia w których występują nagle i krótkotrwałe zmiany prądu – np. rozruch silnika elektro-

1. Badanie emisji zaburzeń przewodzonych

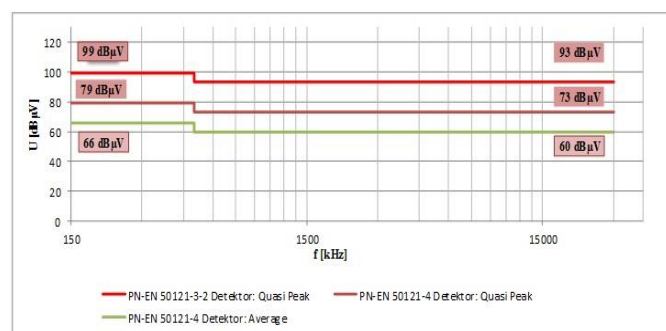
Badania kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) można podzielić na dwie grupy [2,6]:

- **odporności**, definiowane jako zdolność pracy systemu, urządzenia bez pogorszenia jakości działania w miejscu, w którym występuje zaburzenie elektromagnetyczne,
- **emisji (zaburzenia promieniowane i przewodzone)**, definiowanej jako oddziaływanie systemu lub urządzenia za pomocą wysyłanych fal elektromagnetycznych na inne systemy lub urządzenia, znajdujące się w pobliżu.

Zakłócenia przewodzone, nazywane również zaburzeniami, to każde ze zjawisk elektromagnetycznych, które są obecne w przewodach zasilających dołączonych do urządzenia. Nadmierne zakłócenia mogą wpływać na obniżenie jakości działania urządzenia lub systemu, natomiast w środowisku kolejowym zwłaszcza na funkcjonalność urządzeń SRK [2]. Istotne jest zatem, aby urządzenie poddawane badaniom EMC, EUT (ang. Equipment Under Test) nie emitowało zakłóceń o zbyt dużych wartościach, gdyż może to negatywnie wpływać na pracę innych urządzeń.

1.1. Stanowisko pomiarowe

Zgodnie z wymaganiami norm kolejowych PN-EN 50121-3-2 [Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.] i PN-EN 50121-4 [8], pomiar emisji elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych jest wykonywany w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz. Badanie urządzeń i systemów w zakresie ich zgodności z zaleceniami standardu wymaga przeprowadzenia testów zakłóceń i wykazania, że badane urządzenie lub system posiada tolerowalny poziom emisji w dziedzinie częstotliwości [2]. Poziom zakłóceń zależy od warunków docelowej pracy badanego urządzenia. Z tych względów pomiary poziomu zakłóceń powinny być wykonywane w jednoznacznie określonych warunkach pracy EUT, w miarę możliwości odpowiadających warunkom normalnej eksploatacji [9]. Wymagania dotyczące odpowiedniej aparatury pomiarowej oraz metodyka przeprowadzania pomiarów poziomu emisji zaburzeń przewodzonych zawarte są w normach: PN-EN 55016-1-1 [10] oraz PN-EN 55016-1-2 [11] oraz normy szczegółowe zawierające poziomy dopuszczalne w środowisku kolejowym: PN-EN 50121-3-2 [7] i PN-EN 50121-4 [8] dotycząca urządzeń elektronicznych stosowanych na taborze oraz urządzeń sterowania ruchem kolejowym i telekomunikacji – Rys. 2



Rys. 2. Dopuszczalne limity emisji zaburzeń przewodzonych

Głównym urządzeniem pomiarowym wykorzystywanym przy badaniu emisji zaburzeń przewodzonych jest odbiornik pomiarowy, wyposażony w detektory wartości quasi-szczytowej i średniej wymagany przez normę określającą parametry przyrządu pomiarowego do emisji zaburzeń przewodzonych. Detektor ten dokonuje detekcji wartości szczytowej obwiednio zmodulowanego sygnału pośredniej częstotliwości [13]. Oprócz sprzętu pomiarowego w pomiarach zaburzeń radioelektrycznych przewodzonych wykorzy-

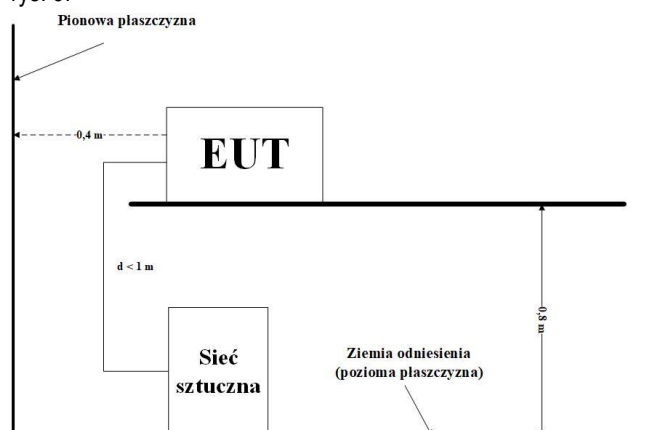
stuje się również sprzęt pomocniczy, do którego można zaliczyć sieć sztuczną, nazywaną również jako obwód stabilizacji impedancji sieci LISN (ang. Line Impedance Stabilization Network). Zapewnia filtrację napięcia sieciowego, standardową i stałą impedancję źródła dzięki czemu otrzymane pomiary są wyłącznie efektem działania EUT. Kolejną istotną funkcjonalnością sieci sztucznej jest możliwość doprowadzenia napięcia (poziomu) zaburzeń do odbiornika pomiarowego, na którym można obserwować graficzną interpretację zakłóceń radioelektrycznych.

Badanie emisji zaburzeń przewodzonych przeprowadzono w celach badawczych przy użyciu aparatury pomiarowej – tabela 1.

Tab. 1. Aparatura pomiarowa

Przyrząd pomiarowy	Producent	Typ
Odbiornik pomiarowy EMI	Rohde & Schwarz	ESR7
Kabel pomiarowy 5 m	HUBER SUHNER	RG58CU/11N/11N/005000
Sieć sztuczna	TESEQ	NNB-51
Termohigrobarometr z panelem odczytowym	LAB-EL	LB-715 LB-755/A
Zasilacz laboratoryjny	MATRIX	MPS-7163L-1

Stanowisko laboratoryjne wykorzystujące sprzęt pomiarowy zamieszczony w tabeli 1 jest ściśle sprecyzowane w normie PN-EN 55016-2-1 Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania. Badane urządzenie powinno znajdować się w odległości 0,4 m od ziemi odniesienia oraz minimum 0,8 m od innych powierzchni metalowych. W przypadku dużych systemów stosowanych w kolejnictwie jakimi są sieci telewizji przemysłowej (CCTV) do stosowania na rozjazdach kolejowych. Wówczas cały system ustawiany jest na poziomej metalowej płycie o wymiarach 2 m x 2 m odizolowany drewnianą podstawką o wysokości 0,1 m. Badając urządzenia o niewielkich gabarytach np. elementy systemów SSWiN, SSP, bądź inne podzespoły stosowane na taborze kolejowym umieszcza się je na niemetalowym stole o wysokości 0,8 m, który stoi na poziomej metalowej ziemi odniesienia. Należy ustawić EUT w taki sposób, aby znajdowało się również w odległości 0,4 m od pionowej płaszczyzny odniesienia która jest połączona z płaszczyzną poziomą. Norma PN-EN 55016-2-1 [12] definiuje również długość przewodu zasilającego pomiędzy EUT, a siecią sztuczną, która powinna być mniejsza od 1 m. Odległość położenia urządzenia badanego względem sieci sztucznej ma wynosić 0,8 m – rys. 3.



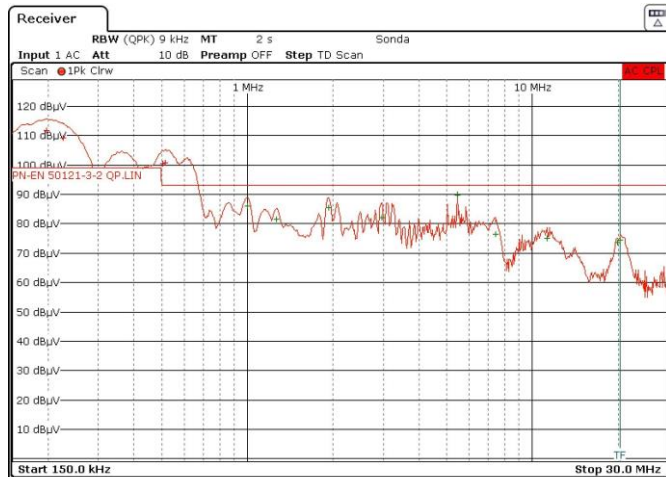
Rys. 3. Stanowisko do pomiaru emisji zaburzeń przewodzonych

1.2. Pomiar elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych

Badania EMC dotyczyły pomiarów emisji zaburzeń przewodzonych na portach zasilających $\pm 24V$ DC centrali alarmowej. Badanie przeprowadzono w akredytowanym laboratorium pomiarowym w znormalizowanych warunkach środowiskowych, na stanowisku pomiarowym określonym przez normę PN-EN 55016-2-1 [12], sto-

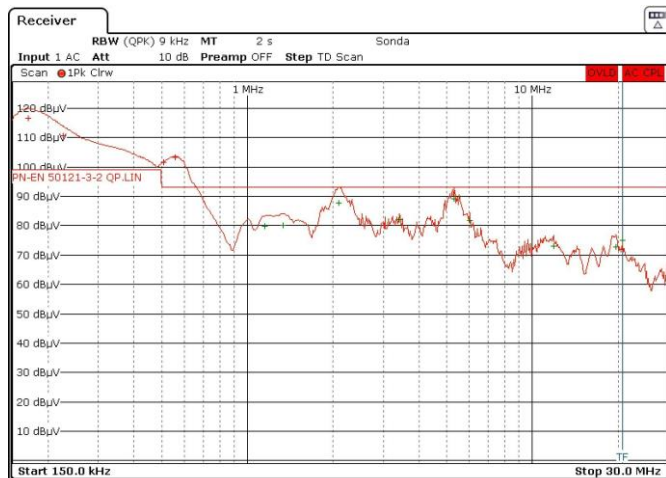
siując dopuszczalne poziomy wartości zaburzeń przewodzonych wymaganych przez normę PN-EN 50121-3-2 [7] dla urządzeń instalowanych w taborze kolejowym.

Wykonany został wielokrotny pomiar emisji zaburzeń przewodzonych, jednak każdorazowy przebieg zakłóceń elektromagnetycznych w funkcji częstotliwości znacznie przewyższał dopuszczalne wartości w paśmie częstotliwości 150 kHz – 517 kHz. Wyniki przeprowadzonych pomiarów przedstawiono poniżej w postaci charakterystyk częstotliwościowych – rys. 4 – 5.



Pasma 150 kHz - 30 MHz, Port +24V DC,

Rys. 4. Pomiar elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych na złączu zasilania + 24V DC

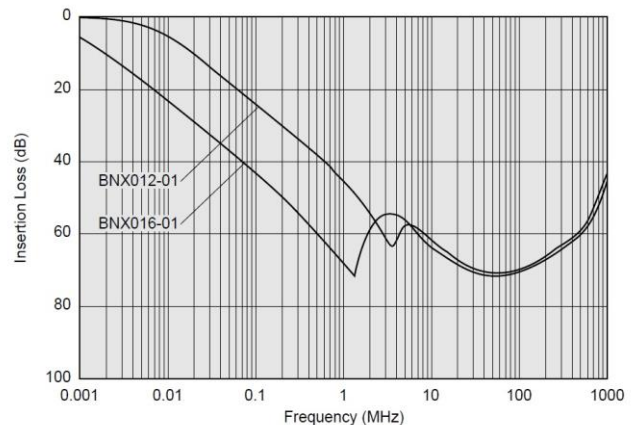


Pasma 150 kHz - 30 MHz, Port -24V DC,

Rys. 5. Pomiar elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych na złączu zasilania - 24V DC

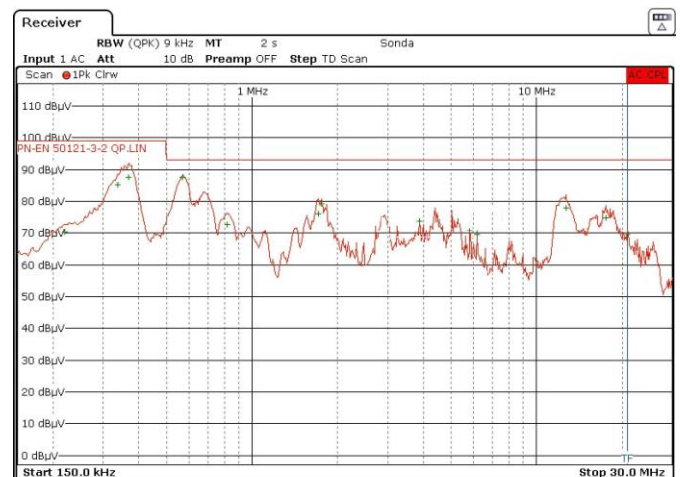
Jednym ze sposobów zmniejszania poziomu zaburzeń przewodzonych jest stosowanie filtrów w obwodach, które emitują zbyt wysoki poziom zakłóceń, w tym wypadku był to obwód zasilający. W tym celu zastosowano wewnątrz centrali odpowiedni filtr przeciwzakłóceńowy firmy MURATA typu BNX016-01 [14]. Podczas wyboru filtru kierowano się głównie parametrami technicznymi – tj. charakterystyką amplitudową [2,16]. Charakterystyka przenoszenia (tłumienia) podana w danych katalogowych powinna posiadać jak największe tłumienie w paśmie częstotliwości, w którym poziom zaburzeń przekracza dopuszczalne wartości emisji. Przy wyborze filtru zwrócono również uwagę na inne parametry techniczne, którymi są m. in.: napięcie zasilania, prąd obciążenia oraz zakres

temperatury pracy [2]. Tłumienie zakłóceń według charakterystyki określonej przez producenta wynosi około 40 – 60 dB w zakresie częstotliwości 150 kHz – 1 MHz – rys. 6.



Rys. 6. Charakterystyka tłumienności filtra typu BNX016-01 [14]

Zainstalowanie filtru zgodnie z wytycznymi producenta pozwoliło uzyskać oczekiwane rezultaty. Na poniższych wykresach można zauważyć, że poziom zmierzonych wartości zaburzeń przewodzonych jest znacznie niższy w porównaniu z pierwotnym. Jednocześnie spełnia założenia normy PN-EN 50121-3-2 [7] wymaganej na urządzenie stosowane w taborze – rys. 7 – 8.

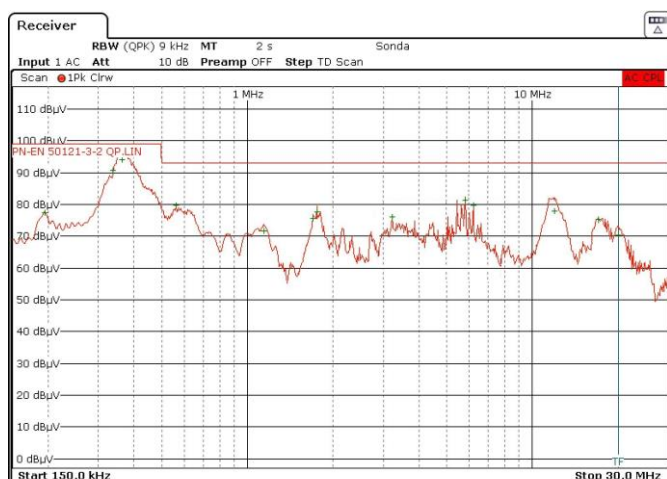


Pasma 150 kHz - 30 MHz, Port +24V DC,

Rys. 6. Pomiar elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych na złączu zasilania + 24V DC z filtrem przeciwzakłóceńowym

Na podstawie przedstawionych pomiarów można wywnioskować, że układy zasilające bez dobranych odpowiednio filtrów mogą emitować zbyt wysokie poziomy elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych. Poziomy dopuszczalne określone przez normy, w tym wypadku normy dotyczące środowiska kolejowego i urządzeń stosowanych na taborze ściśle określają wartości których nie może przekraczać żadne urządzenie elektroniczne instalowane na pojeździe kolejowym.

Obniżenie nadmiernego poziomu zaburzeń radioelektrycznych jest procesem złożonym, wymagającym indywidualnych rozwiązań, oraz doboru elementów także w sposób doświadczalny.



Pasma 150 kHz - 30 MHz, Port -24V DC.

Rys. 7. Pomiar elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych na złączu zasilania - 24V DC z filtrem przeciwzakłóceńowym

Podsumowanie

W artykule zaprezentowano badanie emisji zaburzeń przewodzonych, któremu poddano centralę alarmową na portach zasilających (+,-) 24V DC oraz metodę eliminacji zakłóceń elektromagnetycznych. Pomiary przeprowadzono w akredytowanym laboratorium badawczym na stanowisku pomiarowym o znormalizowanej konfiguracji sprzętowej zgodnej z obowiązującymi normami z dziedziny kompatybilności elektromagnetycznej. W trakcie pomiarów zaobserwowano przekroczenia wartości dopuszczalnej na zaciskach zasilających w paśmie częstotliwości 150 kHz – 517 kHz na obu zaciskach zasilania (+,-). Podjęto stosowne kroki w celu obniżenia poziomów zakłóceń stosując wewnątrz centrali odpowiedni filtr przeciwzakłóceńowy. Przy wyborze elementu obniżającego poziom zaburzeń kierowano się głównie charakterystyką tłumienia, zwrócono również uwagę na inne parametry techniczne, którymi są m. in.: napięcie zasilania, prąd obciążenia oraz zakres temperatury pracy. Zainstalowanie filtra zgodnie z wytycznymi producenta pozwoliło uzyskać oczekiwane rezultaty. W artykule przedstawiono efekty badań w postaci charakterystyk elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych w funkcji częstotliwości zarejestrowanych na urządzeniu pomiarowym.

Bibliografia:

1. M. Siergiejczyk, J. Paś, A. Rosiński: Eksploatacja elektronicznych systemów bezpieczeństwa na obszarze kolejowym z uwzględnieniem zakłóceń elektromagnetycznych, TTS 12/2016
2. D. Laskowski, J. Paś, P. Wetoszka: Kompatybilność elektromagnetyczna w wybranych urządzeniach elektronicznych systemów bezpieczeństwa – wstępne badania, „Elektronika” 2018, tom nr 8
3. W. Moroń: Kompatybilność elektromagnetyczna istota problemu i normalizacja, Przegląd Elektrotechniczny, 2004, nr 6, str. 528-532
4. M. Laskowski: Wprowadzenie w problematykę kompatybilności elektromagnetycznej, Materiały szkoleniowe, IK, Warszawa 2017
5. M. Laskowski, A. Dłużniewski, Ł. John: Problematyka generacji zaburzeń radioelektrycznych oraz ich pomiary w środowisku kolejowym, Przegląd Telekomunikacyjny, 2013, nr 11

6. W. Szulc, A. Rosiński: Systemy Sygnalizacji Włamania i Napadu stosowane w obiektach transportowych wykorzystujące technologie chmury, Logistyka, nr 3/2014, str. 6140 – 6144
7. PN-EN 50121-3-2:2017-04 Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 3-2: Tabor – Aparatura
8. PN-EN 50121-4:2017-04 Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 4: Emisja i odporność urządzeń sterowania ruchem kolejowym oraz telekomunikacji
9. P. A. Mazurek: Laboratorium podstaw kompatybilności elektromagnetycznej, Politechnika Lubelska, Lublin 2010
10. PN-EN 55016-1-1:2010 Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia -- Część 1-1: Aparatura do pomiaru zaburzeń radioelektrycznych i do badań odporności -- Aparatura pomiarowa
11. PN-EN 55016-1-2:2014-09 Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia -- Część 1-2: Aparatura do pomiaru zaburzeń radioelektrycznych i do badań odporności -- Układy sprzęgające dla pomiarów zaburzeń przewodzonych
12. PN-EN 55016-2-1:2014-09 Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia – Część 2-1: Metody pomiaru zaburzeń i badania odporności – Pomiary zaburzeń przewodzonych
13. W. Sabat, K. Kurylo, D. Klepacki, K. Kamuda: Metodyka pomiaru zaburzeń elektromagnetycznych generowanych przez układy awioniki w statkach powietrznych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Nr 89, 2017, str.137 - 139
14. Data Scheet – Block Type EMIFIL, BNXO1*Series, 01.05.2009
15. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011
16. Paś J., Rosiński A., Wiśnios M., Majda-Zdancewicz E., Łukasiak J.: „Elektroniczne systemy bezpieczeństwa. Wprowadzenie do laboratorium”. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2018

Analysis of the elimination of electromagnetic interference in railways security systems

The article presents the study of conducted disturbance emission, which was subjected to the alarm control panel on the (+, -) 24V DC power supply ports and the method of elimination of electromagnetic interferences. The measurements were carried out in an accredited testing laboratory on a measurement stand with a standardized configuration of equipment in accordance with the applicable standards in the field of electromagnetic compatibility. During the measurements, exceedances of the limit value at the power terminals were observed. Appropriate steps have been taken to reduce the interference levels by using an appropriate anti-interference filter inside the control panel. Installing the filter in accordance with the manufacturer's instructions allowed to obtain the expected results. The article presents the effects of research in the form of electromagnetic characteristics of conductive disturbances as a function of frequencies recorded on the measuring device.

Keywords: electromagnetic compatibility, conducted emission, anti-interference filter.

Autorzy:

mgr inż. **Patryk Wetoszka** – Instytutu Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, Warszawa, pwetoszka@ikolej.pl