

Sposoby eliminacji zaburzeń radioelektrycznych przewodzonych w kolejowych przetwornicach wagonowych

Streszczenie. W artykule przedstawiono potencjalne główne źródła zaburzeń radioelektrycznych, które mogą wystąpić w wielosystemowych przetwornicach wagonowych lub pomocniczych przetwornicach statycznych montowanych na taborze kolejowym. Omówiona została metodologia badań przetwornic wagonowych w zakresie emisji zaburzeń przewodzonych na ich wejściowym porcie zasilania wysokiego napięcia (WN) wyjściowych portach (NN) w odniesieniu do dopuszczalnych poziomów normatywnych.

Abstract. In the paper presents prospective main source of radio-electrical interferences (disturbances), which can appear in multi-system railway carriage converters or in auxiliary static converters installed in rolling stock. Article describes methodology of measurements of railway carriage converters in the range of emission interferences conducted in its high voltage power input and in its power outputs in regard to normative levels. (Modes of elimination radio-electrical disturbances conducted in railway carriage converters).

Słowa Kluczowe: Kompatybilność elektromagnetyczna, zaburzenia radioelektryczne, dopuszczalny poziom emisji, przetwornica wagonowa.

Keywords: Electromagnetic compatibility, radio-electrical disturbance, permissible emission level, carriage converters.

Wstęp

Kolejowe obiekty ruchome, takie jak lokomotywy elektryczne, elektryczne zespoły trakcyjne czy wagony pasażerskie, stanowią specyficzne i złożone środowisko elektromagnetyczne. Pracujące w tym środowisku urządzenia nie powinny wpływać wzajemnie na siebie, a w szczególności urządzenia elektryczne zasilane napięciem 3 kV DC nie powinny wprowadzać nadmiernych zaburzeń elektromagnetycznych.

Przez zaburzenia radioelektryczne przewodzone rozumiemy wszelkie niepożądane sygnały elektryczne występujące w paśmie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz.

Nasycając w coraz większym stopniu taboru kolejowego urządzeniami elektronicznymi, w naturalny sposób wymusza konieczność współistnienia tych urządzeń w tym środowisku elektromagnetycznym. Do istotnych pokładowych urządzeń elektronicznych można zaliczyć między innymi przetwornice wysokiego i niskiego napięcia, które nie powinny wytwarzać zaburzeń elektromagnetycznych o poziomach wyższych niż dopuszczalne, określone w normach.

Jednym z podstawowych sposobów ograniczenia wpływu źródeł zaburzeń zasilanych z obwodu głównego jest separacja galwaniczna obwodów wysokiego i niskiego napięcia, która w nowoczesnych przetwornicach wagonowych jest obecnie realizowana. Ograniczenie możliwości wystąpienia sprzężenia indukcyjnego pomiędzy tymi obwodami zapewnia na ogół znaczne obniżenie poziomu zaburzeń pod warunkiem, że elementy dołączone do obwodu niskiego napięcia nie wytwarzają zaburzeń radioelektrycznych przekraczających dopuszczalne poziomy. Jeżeli takie zjawisko wystąpi wtedy konieczne jest stosowanie filtrów, ekranowania lub dodatkowej separacji źródeł.

Drugi przenikania zaburzeń radioelektrycznych i ich charakterystyka

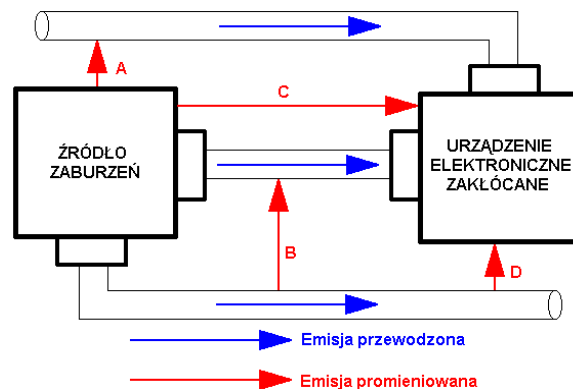
Efekt ubocznym pracy niemal wszystkich urządzeń elektrycznych i elektronicznych są zaburzenia radioelektryczne zaliczane do grupy zaburzeń o małej energii.

Przenikanie zaburzeń do innych urządzeń odbywa się w wyniku promieniowania poszczególnych obwodów urządzenia, istnienia sprzężeń indukcyjnych lub

pojemnościowych między rozpatrywanymi obwodami i urządzeń sąsiednich lub przewodowego wprowadzania tych zaburzeń do energetycznej sieci zasilającej.

Powyższe zjawiska dotyczą urządzeń znajdujących się w danym środowisku elektromagnetycznym ale również złożonych systemów zawierających potencjalne źródła zaburzeń.

W przypadku oddziaływania poprzez pole elektromagnetyczne i sprzężenia pojemnościowe oraz indukcyjne, przenikanie energii następuje w wyniku niedoskonałego ekranowania. Zjawisko to ilustruje rysunek 1.



Rys.1. Drogi rozchodzenia się zaburzeń radioelektrycznych promieniowanych i przewodzonych

Linia A – emisja zaburzeń do przewodu,

Linia B – przewody połączeniowe stanowią źródło emisji zaburzeń,

Linia C – emisja zaburzeń bezpośrednio od źródła do odbiornika,

Linia D – przenikanie zaburzeń drogą sprzężeń.

Rodzaje i charakterystyka przetwornic wagonowych

W pojazdach kolejowych oraz miejskich taboru szynowego można wyróżnić 2 rodzaje przetwornic wagonowych:

- przetwornice statyczne jednosystemowe o jednym napięciu wyjściowym,
- przetwornice statyczne wielosystemowe, które przeznaczone są do zasilania instalacji wagonowych przy wykorzystaniu energii elektrycznej z sieci trakcyjnej. Przetwornice takie są dostosowane do pracy przy zasilaniu napięciami występującymi w europejskich systemach trakcyjnych (wg. karty UIC 550 [1]).

Do najważniejszych parametrów technicznych przetwornic wagonowych zaliczamy:

- nominalne napięcie wejściowe wraz z jego zakresem zmian,
- zakres funkcjonalności napięcia wejściowego,
- moc całkowita przetwornicy,
- napięcia wyjściowe AC i DC,
- stabilność napięcia wyjściowego DC,
- stabilizacja napięć wyjściowych AC,
- tętnienia napięć wyjściowych,
- stabilność częstotliwości napięcia wyjściowego AC,
- sprawność ogólna przetwornicy,
- zakres temperatury pracy przetwornicy.

Parametry wyjść AC i DC przetwornic są dostosowywane do potrzeb odbiorników wagonowych i charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami eksploatacyjnymi.

Napięcia wyjściowe AC mają bardzo niski poziom zniekształceń harmoniczných (THD), co minimalizuje straty w przypadku zasilania siników trakcyjnych. W przypadku wyjść DC przetwornice współpracują ze wszystkimi typami baterii, zapewniając jednocześnie poprawne charakterystyki ładowania oraz kompensację termiczną ich napięć. W przypadku wagonów z klimatyzacją, przetwornice mogą być wyposażone w falowniki o zmiennej częstotliwości wyjściowej.

Z przetwornicami najczęściej może współpracować falownik pomocniczy zasilany z przetwornicy lub baterii akumulatorów 24 V DC, zapewniając w ten sposób zasilanie odbiorników wagonowych 230 V AC, np. gniazdek do laptopów czy ładowarek do telefonów komórkowych.

Obecnie prawie wszystkie rodzaje przetwornic posiadają systemy (np. diagnostyczno-sterujące) oparte na interfejsie CAN 2.0 lub RS 232.

Pomiar emisji zaburzeń radioelektrycznych przetwornic wagonowych

Emisja zaburzeń przewodzonych definiowana jest jako zaburzenie radioelektryczne rozchodzące się wzdłuż ich przewodów elektrycznych zasilania lub linii transmisji sygnałów. Pomiary normatywne emisji zaburzeń przewodzonych przetwornic wykonywane są dla znamionowego obciążenia zgodnie z metodyką i zaleceniami zapisanymi w normie [2].

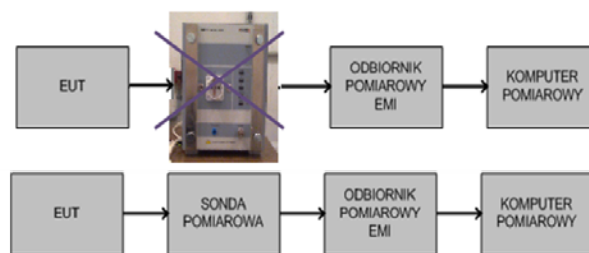
Pomiary napięcia zaburzeń radioelektrycznych wykonuje się w zakresie częstotliwości od 150 kHz do 30 MHz, z podziałem na dwa podzakresy częstotliwości:

- 150 kHz – 500 kHz,
- 500 kHz – 30 MHz.

Pomiar emisji zaburzeń przewodzonych wykonywany jest dla przetwornic wagonowych w zależności od ich konstrukcji oraz zastosowania na wszystkich jej portach, do których można zaliczyć:

- porty wejściowe wysokiego napięcia (HV),
- porty wyjściowe niskiego napięcia (np. 3-fazowe i 1-fazowe AC oraz wyjściowe DC),
- porty przeznaczone do zasilania baterii akumulatorów,
- porty pomiarowe i porty sterowania służące do zasilania urządzeń elektronicznych.

Do pomiaru zaburzeń przewodzonych wykorzystuje się wysokonapięciową sondę pomiarową, a nie jak w przypadku badania urządzeń sieć sztuczną, do której poprzez kabel pomiarowy (koncentryczny) podłączony jest odbiornik pomiarowy EMI, co ilustruje rysunek 2.



Rys.2. Schemat blokowy układu pomiarowego do pomiaru zakłóceń radioelektrycznych na portach WE/WY przetwornic wagonowych

Całe wyposażenie pomiarowe wchodzące w skład toru pomiarowego musi być wzorcowane i spełniać wymagania normy [3].

Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń przewodzonych zawarte w normie [4] wynoszą:

- dla pasma 150 kHz – 500 kHz — 99 dBμV,
- dla pasma 500 kHz – 30 MHz — 93 dBμV.

Zgodnie z wymaganiami normy [4], przekształtniki trakcyjne i pomocnicze o mocy powyżej 50kVA nie wymagają indywidualnego badania. Można je wykonać podczas badań pojazdu jako całości.

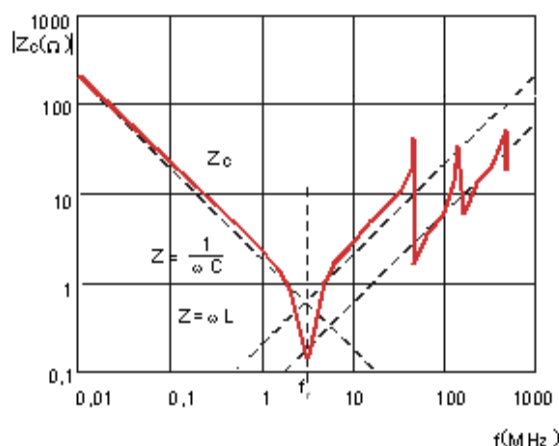
Sposoby zabezpieczenia urządzeń przed oddziaływaniem zaburzeń radioelektrycznych

Celem zabezpieczania urządzeń przed zaburzeniami radioelektrycznymi jest zarówno niedopuszczenie do nadmiernej emisji, jak również przenikania tej energii do danego urządzenia.

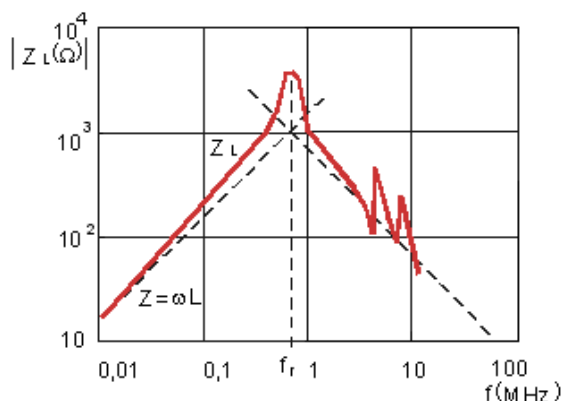
Podstawowymi środkami służącymi do realizacji tego zadania są układy tłumiące zaburzenia w postaci elementów LC oraz ekranowanie obwodów i poszczególnych bloków.

Prawidłowy dobór elementów LC musi być skorelowany z zakresem tłumionych częstotliwości oraz parametrami obwodu. Wynika to z faktu występowania częstotliwości rezonansowych danego elementu. Przykładową charakterystykę impedancji (reaktancji) kondensatora w funkcji częstotliwości ilustruje rysunek 3. Charakterystykę impedancji (reaktancji) dla dławika ilustruje rysunek 4.

Wśród dostępnych na rynku kondensatorów stosowanych do zabezpieczania przeciwzakłócenieniowego bardzo korzystne parametry posiadają kondensatory przepustowe, których częstotliwość rezonansowa może wynosić powyżej 100 MHz.



Rys.3. Charakterystyka impedancji kondensatora w funkcji częstotliwości



Rys.4. Charakterystyka impedancji dławika w funkcji częstotliwości

Prawidłowy dobór elementów pod względem częstotliwości oraz ich skuteczność eliminacji zaburzeń zależy w dużym stopniu od znajomości parametrów obwodu. W tabeli 1 pokazano, jakie należy stosować kryteria przy instalowaniu elementów LC w wybranym obwodzie.

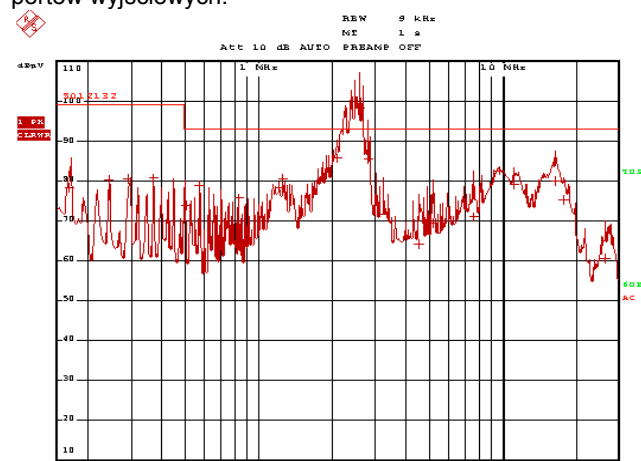
Tabela 1. Zalecane konfiguracje elementów przeciwzakłóceńowych w zależności od impedancji linii zasilania i odbiornika energii

Impedancja źródła zaburzeń	Topologia filtru	Impedancja zakłócanego urządzenia
Niska		Wysoka
Wysoka		Niska
Wysoka		Wysoka
Wysoka - Nieznana		Wysoka - Nieznana
Niska		Niska
Niska - Nieznana		Niska - Nieznana

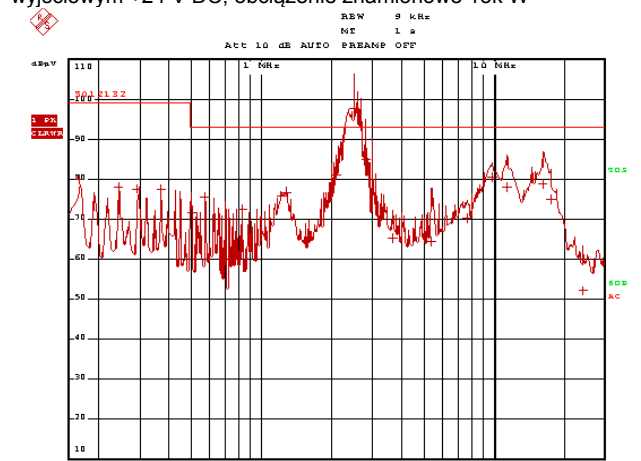
Przykładowe wyniki pomiarów przetwornicy wagonowej wraz z zastosowaniem środka zaradczego

W toku prowadzonych przez Instytut Kolejnictwa pomiarów emisji zaburzeń przewodzonych przetwornic wagonowych zaobserwowano, że większość z nich nie spełnia wymagań normatywnych odnośnie emisji zaburzeń przewodzonych na jej porcie wejściowym wysokiego napięcia i portach wyjściowych niskiego napięcia. Przykładem takim była przebadana wielosystemowa przetwornica statyczna, przeznaczona do przetwarzania napięć stałych i przemiennych głównego przewodu zasilania wagonowego 3 kV DC – w europejskiej trakcji kolejowej – na napięcie stałe 24 V DC oraz przemiennie 230 V AC wykorzystywane w instalacjach niskiego napięcia

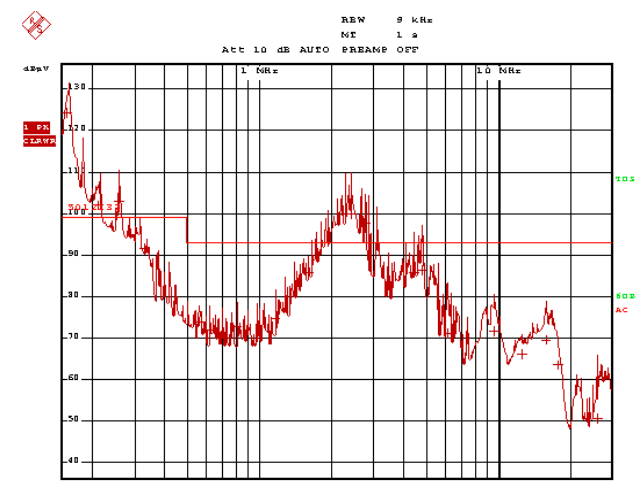
pojazdu trakcyjnego. Na rysunkach od 5 do 8 przedstawiono przebiegi charakterystyk napięcia zaburzeń radioelektrycznych w funkcji częstotliwości badanych portów wyjściowych.



Rys.5. Emisja zaburzeń przewodzonych przetwornicy na porcie wyjściowym +24 V DC, obciążenie znamionowe 13k W

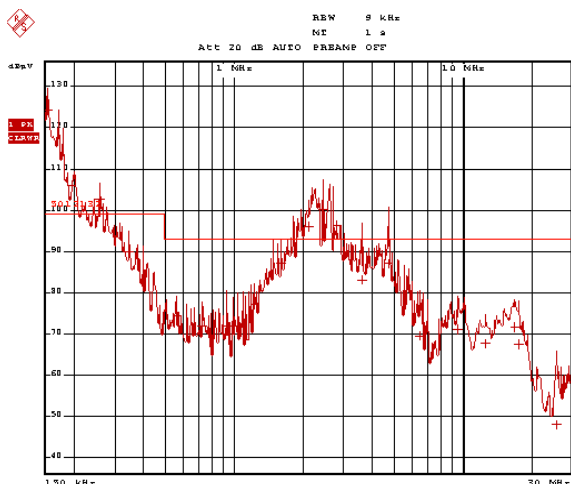


Rys.6. Emisja zaburzeń przewodzonych przetwornicy na porcie wyjściowym -24 V DC, obciążenie znamionowe 13 kW



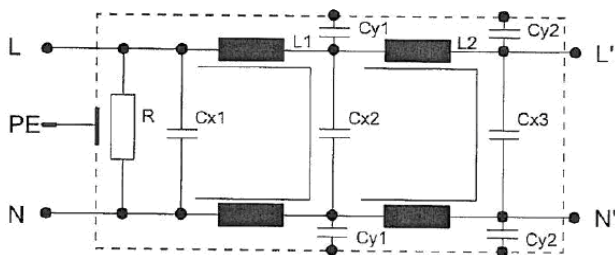
Rys.7. Emisja zaburzeń przewodzonych przetwornicy na porcie wyjściowym L 230 V AC, obciążenie znamionowe 13 kW

We wszystkich badanych przypadkach wartości zaburzeń przewodzonych przy pewnych częstotliwościach przekraczają wartości dopuszczalne zawarte w normie [4].



Rys.8. Emisja zaburzeń przewodzonych przetwornicy na porcie wyjściowym N 230 V AC, obciążenie znamionowe 13 kW

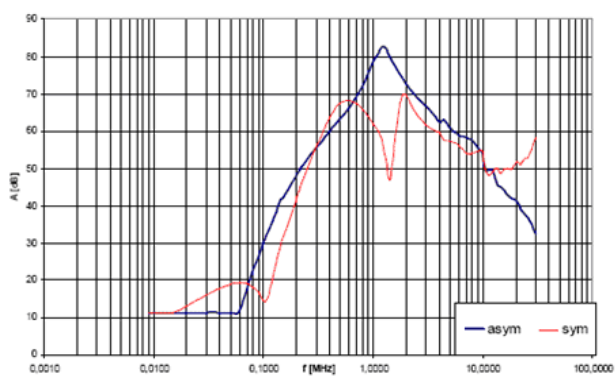
W celu obniżenia poziomu napięcia zaburzeń radioelektrycznych generowanych przez przetwornicę producent zastosował filtr przeciwzakłóceńowy, którego schemat pokazano na rysunku 9. Tabela 2 zawiera podstawowe parametry elementów filtra. Charakterystyka tłumienności filtra funkcji częstotliwości pokazana jest na rysunku 10.



Rys.9. Schemat ideowy filtra przeciwzakłóceńowego typu CNW 102/20

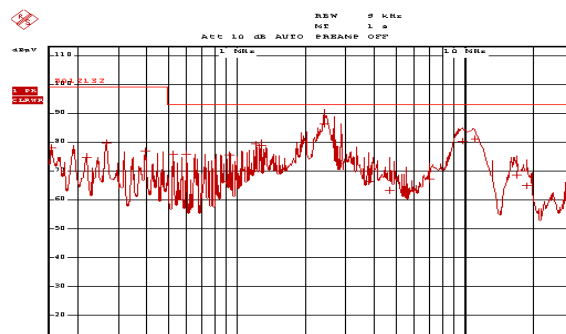
Tabela 2. Parametry zastosowanego filtra [5]

Typ	Prąd [A]	Cx [μ F]	L [mH]	R [k Ω]
CNW 102/20	20	0,94	2,0	560

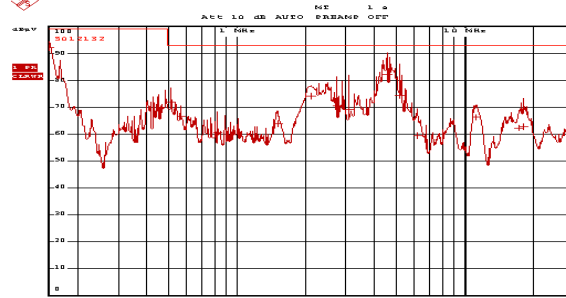


Rys.10. Przebieg charakterystyki tłumienności filtra typu CNW 102/20 w funkcji częstotliwości

Zastosowanie powyższego filtra pozwoliło na eliminację zaburzeń radioelektrycznych generowanych na jej portach wyjściowych 24 V DC i 230 V AC do poziomów mniejszych od wartości granicznej pokazanych na rysunkach 11 i 12.



Rys.11. Emisja zaburzeń przewodzonych przetwornicy z filtrem na porcie wyjściowym ± 24 V DC, obciążenie znamionowe 13 kW



Rys.12. Emisja zaburzeń przewodzonych przetwornicy z filtrem na porcie wyjściowym L i N 230 V AC, obciążenie znamionowe 13 kW

Podsumowanie

Do najważniejszych sposobów spełnienia wymagań kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń w zakresie emisji należą: ekranowanie, filtracja, uziemianie, separacja, dobór wartości impedancji obwodu i dobór kabli.

Tłumienie zaburzeń może być realizowane za pomocą odpowiednich sposobów przy źródle jak również poprzez eliminację dróg przenikania zaburzeń. Zagadnienia związane z kompatybilnością elektromagnetyczną należy uwzględniać już w pierwszym stadium projektowania. Dostępne metody tłumienia jak i koszt ich stosowania są ze sobą współmierne.

Stosowanie zewnętrznych elementów tłumiących zaburzenia w większości przypadków powinno być ostatecznym rozwiązaniem dla zaburzeń o niskiej energii.

LITERATURA

- [1] Karta UIC 550 - Urządzenia elektryczne do zasilania w energię dla wagonów typu pasażerskiego.
- [2] PN-EN 550112012, Urządzenia przemysłowe, naukowe i medyczne -- Charakterystyki zaburzeń o częstotliwości radiowej -- Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru.
- [3] 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.
- [4] PN-EN 50121-3-2:2009, Zastosowania kolejowe. Kompatybilność elektromagnetyczna Część 3-2: Tabor, Aparatura.
- [5] Karta katalogowa filtra typu CNW 102/20 (single-phase mains filters 2-lines) firmy REO Inductive Components, 02.09.2013 r.
- [6] A. Charoy, Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych, tom 1,2,3,4 WNT Warszawa 2000.

Autorzy: mgr inż. Artur Dłużniewski, Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, E-mail: adluzniewski@ikolej.pl; mgr inż. Łukasz John, Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, E-mail: ljohn@ikolej.pl