

Eksploracja systemów telematycznych na rozległym obszarze transportowym z uwzględnieniem oddziaływań o charakterze zakłóceń elektromagnetycznych

Mirosław SIERGIEJCZYK¹, Wojciech WAWRZYŃSKI², Jacek PAŚ³, Adam ROSIŃSKI⁴

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z oddziaływaniem zakłóceń elektromagnetycznych na systemy telematyki transportu, eksploatowane w różnych warunkach otaczającego środowiska elektromagnetycznego. Zaburzenia elektromagnetyczne zamierzone lub niezamierzone (stacjonarne lub ruchome), występujące na rozległym obszarze transportowym, mogą być przyczyną zakłócenia funkcjonowania tych systemów. Z tego względu bardzo istotne jest przeprowadzenie analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej urządzeń elektronicznych stosowanych w systemach telematyki transportu z uwzględnieniem zakłóceń elektromagnetycznych. Takie podejście zaprezentowano w niniejszym artykule.

Słowa kluczowe: eksploatacja, zakłócenia elektromagnetyczne, telematyka transportu, urządzenia elektroniczne, niezawodność

1. Wstęp

Proces przemieszczania osób i ładunków powinien cechować się wysokim poziomem niezawodności i bezpieczeństwa. W systemach transportowych można to uzyskać m.in. przez stosowanie zaawansowanych rozwiązań z zakresu sterowania ruchem (np. lotniczym, kolejowym, drogowym). Oprócz tego rodzaju działań, stosuje się też systemy telematyki transportu. Integrują one informatykę z telekomunikacją w zastosowaniach na potrzeby systemów transportowych. Wdrażanie tego rodzaju systemów zwiększa poziom bezpieczeństwa w transporcie. Zwiększona jest również efektywność wykorzystania zarówno infrastruktury transportowej, jak i środków transportu. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych urządzeń elektronicznych oraz wielu systemów telekomunikacyjnych i informatycznych, możliwe jest świadczenie nowoczesnych usług, które w większości nie mogłyby być zaoferowane podróżnym i przewoźnikom [20, 23].

Zaawansowane urządzenia elektroniczne stosowane w systemach telematyki transportu funkcjonują w określonym środowisku, uzależnionym od rodzaju transportu. Niemniej jednak, niezależnie od rodzaju środka transportowego, zazwyczaj występują dość

zróżnicowane warunki eksploatacyjne. Z tego powodu poprawne funkcjonowanie układów elektronicznych jest uzależnione nie tylko od niezawodności poszczególnych części składowych tworzących system, ale także od poziomu zakłóceń elektromagnetycznych i przyjętych do realizacji strategii eksploatacji.

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia dotyczące oddziaływania zakłóceń elektromagnetycznych na urządzenia elektroniczne stosowane w systemach telematyki transportu. Ponieważ są one eksploatowane w różnych warunkach otaczającego ich środowiska elektromagnetycznego (w tym w szczególności dość wymagającego środowiska transportu kolejowego), zachodzi potrzeba dokonania analiz niezawodnościowo-eksploatacyjnych [1, 22, 30]. Zaburzenia elektromagnetyczne zamierzone lub niezamierzone (stacjonarne lub ruchome) występujące na rozległym obszarze kolejowym mogą być przyczyną niewłaściwego ich funkcjonowania [8, 13, 28]. Ponieważ systemy telematyki transportu biorą udział w procesie transportowym, to przetwarzane przez nie dane mogą mieć istotny wpływ na terminową i bezpieczną realizację procesu przemieszczania ludzi i / lub ładunków [10, 26]. Z tego względu istotne jest prawidłowe funkcjonowanie urządzeń elektronicznych stosowanych

¹ Prof. nzw. dr hab. inż.; Instytut Kolejnictwa.

² Prof. dr hab. inż.; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu.

³ Prof. nzw. dr hab. inż.; Woskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki.

⁴ Prof. nzw. dr hab. inż.; Politechnika Warszawska, Wydział Transportu; e-mail: adro@wt.pw.edu.pl.

w systemach telematiki transportu, przy uwzględnieniu środowiska elektromagnetycznego występującego na obszarze transportowym. Dotyczy to w szczególności systemów związanych z bezpieczeństwem.

Prawidłowa praca urządzeń elektronicznych stosowanych w systemach telematiki transportu jest możliwa przy zabezpieczeniu ich przed oddziaływaniem niepożądanych pól elektromagnetycznych [11]. Na podstawie licznych obserwacji przeprowadzonych przez autorów można stwierdzić, że sztucznie wytworzone pola elektryczne i magnetyczne z różnych zakresów częstotliwości, mogą negatywnie wpływać na funkcjonowanie tych systemów [4, 16]. Stwierdzono, że praca urządzeń i systemów elektronicznych może być poważnie zakłócana w wyniku oddziaływania niepożądanych pól elektromagnetycznych [5, 7, 12]. Autorzy dokonali analiz z zakresu niezawodnościowo-eksploatacyjnego całych systemów [6, 29], jak też ich poszczególnych podsystemów (np. układów zasilania) [9, 21, 25]. W opracowanych modelach nie uwzględniono jednak odpowiednich przejść wynikających z oddziaływania zakłóceń elektromagnetycznych między wyróżnionymi stanami. Z tego powodu tak ważne jest przeprowadzenie analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej urządzeń elektronicznych stosowanych w systemach telematiki transportu z uwzględnieniem zakłóceń elektromagnetycznych.

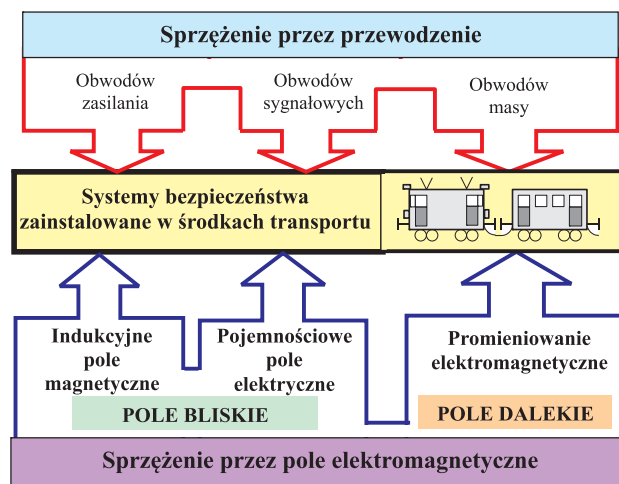
2. Środowisko elektromagnetyczne na rozległym obszarze kolejowym

Środowisko kolejowe jest jednym z najtrudniejszych ze środowisk pod względem zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej. Mianem kompatybilności określa się dopuszczalne warunki oddziaływania elektromagnetycznych, zewnętrznych i wewnętrznych pól na pracę urządzeń elektronicznych oraz sprzętu zawierającego układy elektroniczne [3, 4, 17, 18]. Zgodnie z zapisami występującymi w międzynarodowej normie IEC 50 (161) z 1990 r., zawartymi następnie w projekcie Polskiej Normy Pr. PN-T-01030, przyjmuje się, że „kompatybilnością elektromagnetyczną jest zdolność urządzenia lub systemu do zadowalającego działania w określonym środowisku elektromagnetycznym, również bez wprowadzania do tego środowiska niedopuszczalnych zaburzeń elektromagnetycznych” (rysunek 1). Środowisko kolejowe charakteryzują następujące cechy:

- 1) duża rozległość obszarowa i różne sposoby rozwiązania zasilania energetycznego (AC, DC),
- 2) kable zasilające, sygnałowe, sterujące oraz telekomunikacyjne są układane razem lub bardzo blisko siebie, co jest powodem indukowania się sygnałów zakłócających w systemach (długość kabli zasilających,

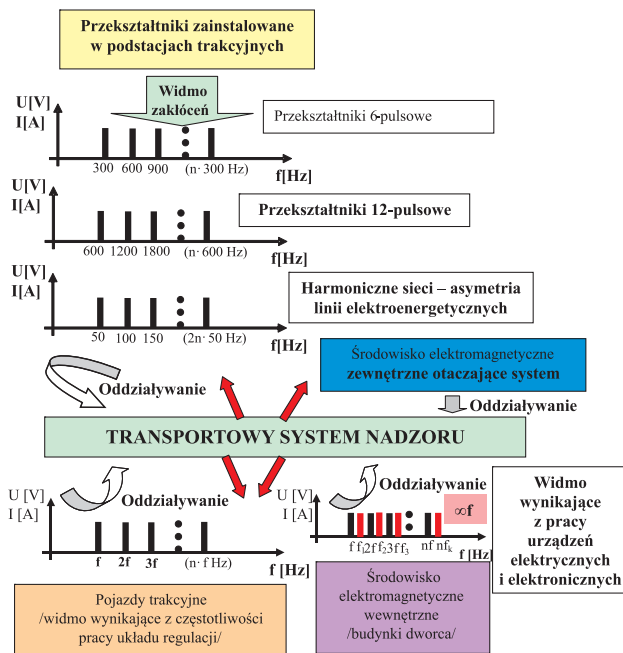
magistral komunikacyjnych może osiągać wartość kilku kilometrów) [7, 15, 27],

- 3) współistnienie na obszarze kolejowym obwodów, urządzeń wysokonapięciowych i niskonapięciowych pobierających małe i bardzo duże prądy zasilania,
- 4) złożoność i wzajemne powiązanie podsystemów różnej generacji – w tym elektronicznych systemów bezpieczeństwa,
- 5) różnorodność systemów zasilania i ich konfiguracji (od napięć stałych po zmienne o różnej częstotliwości),
- 6) rozległe ruchome niezamierzone źródła energii elektromagnetycznej o dużym poziomie zakłóceń zmiennym w czasie [2, 17, 20],
- 7) przenoszenie energii zasilającej do pociągów przez zestyki ślizgowe, które są elementem układu wytwarzającego zakłócenia o szerokim widmie częstotliwości,
- 8) niesymetryczne obciążenia w poszczególnych fazach napięcia (L1, L2, L3) zasilającego budynek kolejowy i trakcję elektryczną,
- 9) zmienne i równoczesne generowanie zaburzeń pochodzących od wielu źródeł, co może prowadzić do interferencji, rezonansów, sumowania, odejmowania lub mnożenia zakłóceń [12, 20, 27] (rys. 2).



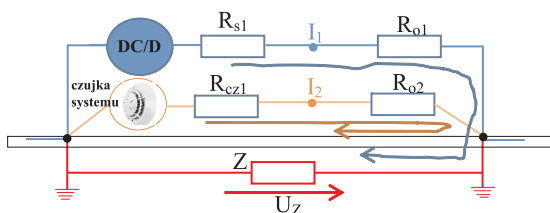
Rys. 1. Oddziaływanie zakłóceń na system zainstalowany na rozległym obszarze kolejowym [opracowanie własne]

Ze względu na nieliniowość charakterystyk przejściowych elementów urządzeń, wykorzystywanych w systemach elektronicznych, które są zainstalowane na rozległym obszarze kolejowym, należy uwzględnić powstanie także zakłóceń intermodulacyjnych. Prawidłowa transmisja, przetwarzanie i wykorzystanie sygnałów elektrycznych w urządzeniach kolejowych wymaga istnienia punktów i / lub płaszczyzn ekwipotencjalnych (stałe w czasie potencjały, niezależne od wartości wpływających lub wypływających prądów) [3, 5, 18, 19].



Rys. 2. Źródła zakłóceń oddziałujących na systemy elektroniczne zainstalowane na rozległym obszarze kolejowym [opracowanie własne]

Te punkty lub płaszczyzny odniesienia w danym podzespole, urządzeniu lub systemie kolejowym (nazywane również uziemieniami dla sygnałów) stanowią tzw. masę. Nazwa uziemienia jest w pełni adekwatna w przypadku, gdy punkt lub dana płaszczyzna jest na potencjale ziemi (istnieje połączenie fizyczne z ziemią). Punkty i płaszczyzny znajdujące się na potencjale masy są bezpieczne dla człowieka. W praktyce, punkty lub płaszczyzny odniesienia nigdy nie są ekwipotencjalne ponieważ uziemienie ma małą, niezerową impedancję (rezystancję). W obwodach elektrycznych i elektronicznych urządzeń kolejowych powstają wtedy pętle uziemienia, rysunek 3. Jeżeli źródło sygnału i odbiornik (na przykład obciążenie – bateria akumulatorów w pojeździe kolejowym) są dołączone do takiej płaszczyzny odniesienia w dostatecznie odległych punktach, to między tymi punktami powstaje różnica potencjałów, wskutek czego pojawia się płynący w tym obwodzie prąd. Jeżeli do jednej płaszczyzny lub punktu dołączono wiele źródeł sygnałów i obciążeń, powstają liczne, także wspólne ścieżki powrotu, którymi płyną prądy od obciążeń do źródeł.



Rys. 3. Zjawisko zakłóceń spowodowane sprzężeniem obwodów o różnych poziomach sygnału na wspólnej impedancji Z płaszczyzny uziemienia [opracowanie własne]

Oznaczenia na rysunku: R_{s1} , R_{s2} – rezystancja wewnętrzna źródła przetwornicy DC/DC i czujki elektronicznego systemu bezpieczeństwa; R_{o1} , R_{o2} – rezystancja obciążenia obwodu przetwornicy i czujki systemu bezpieczeństwa

Źródłem zakłóceń jest obwód nr 1, odbiornikiem zakłóceń jest elektroniczny system bezpieczeństwa, a sygnał zakłóceń przenoszony jest przez wspólną płaszczyznę odniesienia charakteryzowaną przez impedancję Z [7, 12, 15, 17].

3. Systemy telematyki transportu

Systemy telematyki transportu są stosowane w wielu rodzajach transportu. Najczęściej otrzymują one z różnorodnych czujników dane, które następnie przetwarzają w celu uzyskania określonych rezultatów odpowiednich do danego zastosowania. Aplikacje informatyczne są najczęściej dostosowane do potrzeb odbiorców – użytkowników tych informacji. Bardzo istotną cechą aplikacji telematycznych jest zdolność efektywnego współdziałania wielu różnych podsystemów i wprowadzania ich w skoordynowany tryb funkcjonowania.

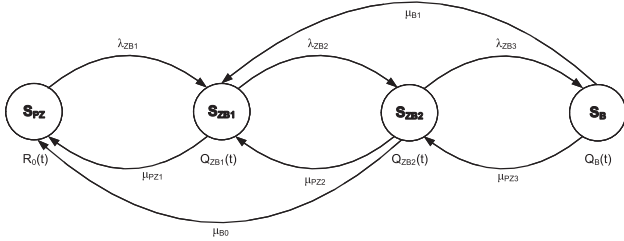
System telematyki transportu obejmuje wiele podsystemów składowych, których funkcje są dedykowane poszczególnym funkcjom eksploatacyjnym. Zadania wykonywane przez poszczególne pojedyncze podsystemy składają się na całość funkcji systemu telematyki transportu. Dzięki temu jest możliwe efektywne i bezpieczne nadzorowanie i sterowanie ruchem, predykcja sytuacji niebezpiecznych, zarządzanie zdarzeniami drogowymi, utrzymanie dróg i realizacja innych czynności niezbędnych do właściwej eksploatacji środków transportu.

Telematyka transportu to zastosowanie różnych systemów teleinformatycznych w celu uzyskania wielu korzyści. Można do nich zaliczyć m.in. zwiększenie bezpieczeństwa podróży i przewozów, zmniejszenie degradacji środowiska, zwiększenie sprawności procesów transportowych, lepsze wykorzystanie infrastruktury transportowej i uzyskiwanie poprawy wyników ekonomicznych operatorów.

4. Model procesu eksploatacji systemu telematycznego z uwzględnieniem zakłóceń elektromagnetycznych

Modele procesu eksploatacji systemów telematycznych, stosowanych w transporcie z uwzględnieniem zakłóceń elektromagnetycznych, wymagają analizy ich funkcjonowania w warunkach rzeczywistych. Dzięki temu jest możliwe uzyskanie zależności pozwalającej na wyznaczenie wartości prawdopodobieństw przebywania rozpatrywanych systemów w wyróżnionych stanach eksploatacyjnych.

W analizie funkcjonowania systemów telematycznych stosowanych w transporcie z uwzględnieniem zakłóceń elektromagnetycznych, można określić relacje zachodzące w tej strukturze w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym, co przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Relacje w systemie telematyki transportu z uwzględnieniem zakłóceń elektromagnetycznych [opracowanie własne]

Oznaczenia na rysunku: $R_0(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdadności S_{PZ} ,
 $Q_{ZB1}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} ,
 $Q_{ZB2}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} ,
 $Q_B(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B ,
 λ_{ZB1} – intensywność przejść ze stanu pełnej zdadności S_{PZ} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} ,
 λ_{ZB2} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} ,
 λ_{ZB3} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B ,
 μ_{ZB1} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} do stanu pełnej zdadności S_{PZ} ,
 μ_{ZB2} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} ,
 μ_{ZB3} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} ,
 μ_{B0} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} do stanu pełnej zdadności S_{PZ} ,
 μ_{B1} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} .

Jeśli system telematyki transportu jest w stanie pełnej zdadności S_{PZ} i pojawiają się zakłócenia elektromagnetyczne (w dopuszczalnym przedziale), to następuje przejście systemu do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} z intensywnością λ_{ZB1} . Jeśli system jest w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} , to możliwe jest przejście do stanu pełnej zdadności S_{PZ} z intensywności μ_{ZB1} pod warunkiem podjęcia działań polegających na zmniejszeniu skutków zakłóceń elektromagnetycznych.

Jeśli system telematyki transportu jest w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i pojawiają się zakłócenia elektromagnetyczne (przekraczające wartości dopuszczalne, ale system jeszcze funkcjonuje), to następuje przejście systemu do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} z intensywnością λ_{ZB2} . Jeśli system jest w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} , to możliwe jest przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} z intensywności μ_{ZB2} pod warunkiem podjęcia działań polegających

na zmniejszeniu skutków zakłóceń elektromagnetycznych (do poziomu wartości dopuszczalnych).

Jeśli system telematyki transportu jest w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} i pojawiają się zakłócenia elektromagnetyczne (przekraczające wartości dopuszczalne i skutkujące przerwaniem funkcjonowania systemu), to następuje przejście systemu do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B z intensywnością λ_{ZB3} . Jeśli system jest w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B , to możliwe jest przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} z intensywności μ_{ZB3} pod warunkiem podjęcia działań polegających na zmniejszeniu skutków zakłóceń elektromagnetycznych (do poziomu przekraczającego wartości dopuszczalne, ale system jeszcze funkcjonuje).

Jeśli system telematyki transportu jest w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} , to możliwe jest przejście do stanu pełnej zdadności S_{PZ} z intensywności μ_{B0} pod warunkiem podjęcia działań polegających na zmniejszeniu skutków zakłóceń elektromagnetycznych (do poziomu poniżej wartości dopuszczalnych).

Jeśli system telematyki transportu jest w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B , to możliwe jest przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} z intensywności μ_{B1} pod warunkiem podjęcia działań polegających na zmniejszeniu skutków zakłóceń elektromagnetycznych (do poziomu wartości dopuszczalnych).

System przedstawiony na rysunku 4 może być opisany następującymi równaniami Kołmogorowa-Chapmana:

$$\begin{aligned} R_0'(t) &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}(t) + \mu_{B0} \cdot Q_{ZB2}(t), \\ Q_{ZB1}'(t) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}(t) - \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}(t) + \\ &\quad + \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}(t) + \mu_{B1} \cdot Q_B(t), \\ Q_{ZB2}'(t) &= \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}(t) - \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}(t) - \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}(t) + \\ &\quad + \mu_{PZ3} \cdot Q_B(t) - \mu_{B0} \cdot Q_{ZB2}(t), \\ Q_B'(t) &= \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}(t) - \mu_{PZ3} \cdot Q_B(t) - \mu_{B1} \cdot Q_B(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Przyjmując warunki początkowe:

$$R_0(0) = 1, \quad Q_{ZB1}(0) = Q_{ZB2}(0) = Q_B(0) = 0. \quad (2)$$

i stosując przekształcenie Laplace'a otrzymujemy następujący układ równań liniowych:

$$\begin{aligned} s \cdot R_0^*(s) - 1 &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}^*(s) + \mu_{B0} \cdot Q_{ZB2}^*(s), \\ s \cdot Q_{ZB1}^*(s) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}^*(s) - \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}^*(s) + \\ &\quad + \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) + \mu_{B1} \cdot Q_B^*(s), \\ s \cdot Q_{ZB2}^*(s) &= \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}^*(s) - \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}^*(s) + \\ &\quad + \mu_{PZ3} \cdot Q_B^*(s) - \mu_{B0} \cdot Q_{ZB2}^*(s), \\ s \cdot Q_B^*(s) &= \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \mu_{PZ3} \cdot Q_B^*(s) - \mu_{B1} \cdot Q_B^*(s). \end{aligned} \quad (3)$$

Prawdopodobieństwa przebywania systemu w wyróżnionych stanach funkcjonalnych w ujęciu symbolicznym (Laplace'a) mają następującą postać:

$$R_0^*(s) = \frac{b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + \mu_{B1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - b \cdot c \cdot d \cdot s + d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2}}{a \cdot b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot \mu_{B1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} + d \cdot s \cdot \mu_{B0} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} - a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot s}$$

$$Q_{ZB1}^*(s) = \frac{\lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} - c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1}}{a \cdot b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot \mu_{B1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} + d \cdot s \cdot \mu_{B0} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} - a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot s}$$

$$Q_{ZB2}^*(s) = -\frac{d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2}}{a \cdot b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot \mu_{B1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} + d \cdot s \cdot \mu_{B0} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} - a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot s}$$

$$Q_B^*(s) = -\frac{\lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3}}{a \cdot b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot \mu_{B1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} + d \cdot s \cdot \mu_{B0} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} - a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot s}$$

gdzie:

$$\begin{aligned} a &= s + \lambda_{ZB1}, \\ b &= s + \mu_{PZ1} + \lambda_{ZB2}, \\ c &= s + \mu_{PZ2} + \lambda_{ZB3} + \mu_{B0}, \\ d &= s + \mu_{PZ3} + \mu_{B1}. \end{aligned} \quad (5)$$

Dalsza analiza matematyczna umożliwia uzyskanie zależności wyznaczających prawdopodobieństwa przebywania systemu telematyki transportu w stanach: pełnej zdadności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i S_{ZB2} oraz zawodności bezpieczeństwa S_B .

Przedstawione rozważania i opracowany model umożliwiają liczbową ocenę różnego rodzaju rozwiązań, które mogą być wdrożone w celu zminimalizowania wpływu zakłóceń elektromagnetycznych na funkcjonowanie systemu telematyki transportu.

5. Podsumowanie i wnioski

Powszechne stosowanie układów elektrycznych i elektronicznych w systemach telematyki transportu powoduje konieczność ich funkcjonowania w określonym środowisku elektromagnetycznym. Skutkiem tego może być zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia zakłóceń w funkcjonowaniu tych systemów, w szczególności w środowisku transportu kolejowego. Z tego względu projektując systemy telematyki transportu, należy uwzględnić ich pracę w warunkach rzeczywistych, czyli w otoczeniu innych urządzeń.

Pomocne w tym mogą być przedstawione rozważania i opracowany model niezawodnościowo-eksploatacyjny uwzględniający zakłócenia elektromagnetyczne. Umożliwiają one liczbowe określenie wartości prawdopodobieństwa przebywania systemu telematyki transportu w wyróżnionych stanach. W dalszych badaniach autorzy planują przeprowadzenie analiz z uwzględnieniem innych rodzajów struktur tych systemów.

Literatura

1. Będkowski L., Dąbrowski T.: *Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
2. Białek K., Paś J.: *Analysis of electromagnetic environment in an extensive railway area*, XXXI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna – Inżynieria bezpieczeństwa – Ochrona przed Skutkami Nadzwyczajnych Zagrożeń EKOMILTARIS 2017, Zakopane.
3. Białek K., Paś J.: *Eksploatacja wybranych urządzeń kolejowych – pomiar emisji zaburzeń przewodzonych i promieniowanych*, XI Szkoła – Konferencja Metrologia Wspomagana Komputerowo, Waplewo 2017.
4. Białek K., Paś J.: *Electromagnetic environment at railway stations – electromagnetic compatibility assurance*, Materiały VIII Krajowej Konferencji ARCHBUD 2017, Zakopane.
5. Charoy A.: *Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych*, WNT, Warszawa 1999.

6. Chmiel J., Rosiński A., Paś J.: *Eksploracja urządzeń elektronicznych stosowanych w systemach telematyki transportu z uwzględnieniem zakłóceń elektromagnetycznych*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2017, z. 118.
7. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: *Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
8. Dziubinski M., Drozd A., Adamiec M., Siemionek E.: *Electromagnetic interference in electrical systems of motor vehicles*, In: Scientific Conference On Automotive Vehicles And Combustion Engines (KONMOT 2016), Book Series: IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, vol. 148, 2016.
9. Korczak D., Rosiński A.: *A discussion of the reliability and performance of the power supply systems used in the airport security systems*, In: the monograph „Wyzwania inżynierii ruchu lotniczego”, editor: J. Skorupski, Warsaw University of Technology, Faculty of Transport, Warsaw 2016. pp. 129–137.
10. Łubkowski P., Laskowski D.: *Selected issues of reliable identification of object in transport systems using video monitoring services*, In: Communication in Computer and Information Science, editor: J. Mikulski, vol. 471, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2015. pp. 59–68.
11. Ott H.W.: *Metody redukcji zakłóceń i szumów w układach elektronicznych*, WNT, Warszawa 1979.
12. Paś J., Duer S.: *Determination of the impact indicators of electromagnetic interferences on computer information systems*, Neural Computing & Applications 2012, DOI:10.1007/s00521-012-1165-1.
13. Paś J., Rosinski A.: *Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, Vol.19, No. 3, 2017, pp. 375–381.
14. Paś J., Siergiejczyk M.: *Interference impact on the electronic safety system with a parallel structur*, Diagnostyka, Vol. 17, No. 1, 2016. pp. 49–55.
15. Paś J.: *Eksploracja elektronicznych systemów transportowych*, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Radom 2015.
16. Paś J.: *Shock a disposable time in electronic security systems*, Journal of KONBiN, 2(38)2016, pp. 5–31.
17. PN-EN 50121-3-2:2017-04: *Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 3–2: Tabor – Aparatura*.
18. 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 – Pomiar zaburzeń przewodzonych*.
19. PN-EN 55016-4-2: *Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz odporności na zaburzenia – Część 4–2: Niepewności, statystyka i modelowanie poziomu dopuszczalnego – Niepewność aparatury pomiarowej*.
20. PN-EN 61000-6-4:2008: *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 6 – 4: Normy ogólne – Norma emisji w środowiskach przemysłowych*.
21. Rosiński A., Dąbrowski T.: *Modelling reliability of uninterruptible power supply units*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, Vol.15, No. 4, 2013.
22. Rosiński A.: *Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematyki transportu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
23. Rychlicki M., Kasprzyk Z.: *Increasing performance of SMS based information systems*, In: „Proceedings of the Ninth International Conference Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, Vol. 286. Springer, 2014, pp. 373–382.
24. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A., Grieco L.A.: *Reliability and viewpoints of selected ITS system*, In: „Proceedings 25th International Conference on Systems Engineering ICSEng 2017”, editors: H. Selvaraj, G. Chmaj, D. Zydek. IEEE, Conference Publishing Services (CPS), 2017, pp. 141–146.
25. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A.: *Reliability-exploitation analysis of electronic power systems used for airport security*, In: „Safety and Reliability – Theory and Applications”, editors: M. Čepin, R. Briš. CRC Press Taylor & Francis Group, London 2017.
26. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: *Evaluation of safety of highway CCTV system's maintenance process*, In: J. Mikulski (ed.) *Telematics – support for transport*, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 471. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2014, pp. 69–79.
27. 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, 2016, pp. 587–593.
28. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: *Train call recorder and electromagnetic interference*, Diagnostyka, vol. 16, no. 1 (2015), pp. 19–22.
29. Siergiejczyk M., Rosiński A., Dziula P., Krzykowska K.: *Analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna autostradowych systemów telematyki transportu*, Journal Of KONBiN nr 1(33)2015, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2015.
30. Stawowy M., Kasprzyk Z.: *Identifying and simulation of status of an ICT system using rough sets*,

In: New Results in Dependability and Computer Systems. Proceedings of the 8th International Conference on Dependability and Complex Sys-

tems DepCoS-RELCOMEX, Zamojski W. (ed.), Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 224. Springer, 2015, pp. 477–487.

Exploitation of Telematics Systems in a Wide Area of Transport, Taking into Account the Interactions of Electromagnetic Interference

Summary

The article presents the basic issues related to the influence of electromagnetic interference on transport telematics systems. They are operated under different conditions of the surrounding electromagnetic environment. Electromagnetic disturbances occurring over a large transport area, whether intended or unintended (stationary or mobile), can cause disruptions in their functioning. Therefore, it is very important to carry out a reliability and operational analysis of electronic devices used in transportation telematics systems, including electromagnetic interference. This approach is presented in this article.

Keywords: exploitation, electromagnetic interference, transport telematics, electronic devices, reliability

Эксплуатация систем телематики на обширной транспортной области с учетом воздействий в виде электромагнитных помех

Резюме

В статье представлены основные вопросы по воздействию электромагнитных помех на системы телематики транспорта. Они эксплуатируются в разных условиях окружающей электромагнитной среды. Выступающие на обширной транспортной области электромагнитные помехи, намеренные и преднамеренные (стационарные и мобильные) могут являться причиной нарушения их функционирования. Поэтому очень важным является проведение надежно-эксплуатационного анализа электронных устройств употребляемых в системах телематики транспорта с учетом электромагнитных помех. Такой подход был представлен в этой статье.

Ключевые слова: эксплуатация, электромагнитные помехи, телематика транспорта, электронные устройства, надежность