

Zaburzenia elektromagnetyczne oddziałujące na transportowy system bezpieczeństwa

▶ Janusz Dyduch
Jacek Paś

W artykule omówiono czynniki wpływające na bezpieczeństwo eksploatacji systemów transportowych oraz transportowych systemów nadzoru. Aby zapewnić bezpieczeństwo transportu, szczególnie transportu kolejowego, systemy te powinny działać niezawodnie w obecności zaburzeń, zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych. Do zredukowania oddziaływań elektromagnetycznych w transportowych systemach bezpieczeństwa stosowane są układy filtrujące i ekranujące.

Głównym celem transportu jest przemieszczanie osób i ładunków. Bezpieczeństwo transportu jest to właściwość realizowanego procesu transportowego (proces przemieszczania ludzi i/ lub ładunków), charakteryzująca się niewystępowaniem zagrożeń życia i zdrowia ludzi [1]. Proces ten powinien cechować się wysokim poziomem niezawodności i bezpieczeństwa. Miarą bezpieczeństwa transportu jest zaufanie, że elementy procesu transportowego pozostaną w trakcie jego realizacji nienaruszone, poza zmianami wynikającymi z naturalnych procesów starzenia i zużycia. Aby zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa, niezbędne jest stosowanie transportowych systemów nadzoru, których zadaniem jest zwiększenie bezpieczeństwa przewożonych osób i ładunków.

Transportowe systemy nadzoru są to systemy, których celem jest wykrywanie zagrożeń występujących w procesie transportowym zarówno dla obiektów stacjonarnych (np. dworce kolejowe, lotnicze), jak i ruchomych (np. samochody, lokomotywy, samoloty). Systemy te są coraz częściej stosowane w procesie transportowym, gdzie zapewniają bezpieczeństwo:

- ludziom (np. systemy nadzoru chroniące przed włamaniem i napadem, sygnalizacji pożaru, kontroli dostępu, zainstalowane w obiektach stałych lotnisk, dworców kolejowych, portów itp.)
- przewożonym towarom w obiektach stałych (np. bazy logistyczne, terminale przeładunkowe lądowe i morskie)
- przewożonym towarom w obiektach ruchomych (transport kolejowy, drogowy i morski) – a w połączeniu z systemem GPS mogą monitorować stan ładunku i trasy przejazdu danego środka lokomocji.

Zaburzenia elektromagnetyczne oddziałujące na transportowy system bezpieczeństwa

Systemy transportowe są eksploatowane w zróżnicowanych warunkach klimatycznych i różnym otaczającym je środowisku elektromagnetycznym, które może być przyczyną występowania zakłóceń. Poprawne funkcjonowanie transportowego systemu nadzoru uzależnione jest od:

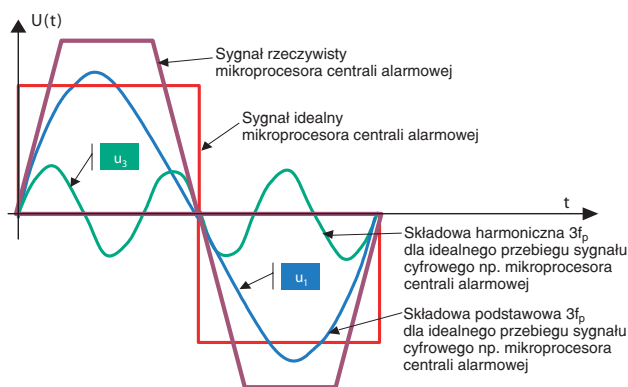
- niezawodności poszczególnych części składowych tworzących system
- wewnętrznej struktury niezawodnościowej systemu transportowego
- przyjętych do realizacji strategii eksploatacji systemu
- zaburzeń elektromagnetycznych oddziałujących na eksploatację systemu.

Każdy sygnał elektryczny (prąd, napięcie, natężenie pola magnetycznego lub elektrycznego) zawiera składową użyteczną i składową pasożytniczą. Składowa użyteczna jest niezbędna do pracy urządzenia systemu bezpieczeństwa (np. kamery, czujki) lub zespołu tych urządzeń wzajemnie połączonych, tworzących system bezpieczeństwa (np. system sygnalizacji włamania i napadu, system sygnalizacji przeciwpożarowej itd.). System bezpieczeństwa tworzą funkcjonalnie powiązane ze sobą urządzenia, które są eksploatowane przy wykorzystaniu konstrukcji wsporczej (otwartej lub zamkniętej) oraz przestrzennie rozłożonych połączeń w postaci przewodów elektrycznych, pól elektromagnetycznych lub połączeń optycznych i mechanicznych [2].

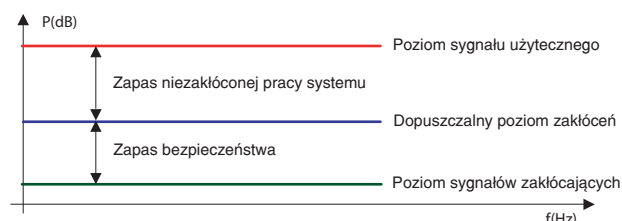
Składowe zakłócające (pasożytnicze) sygnałów w transportowym systemie bezpieczeństwa powstają wskutek:

- przetwarzania sygnałów użytecznych w urządzeniach (elementach) systemu o nieliniowej charakterystyce, np. nieliniowość charakterystyki przejściowej wzmacniacza
- prąd przepływający w połączeniach sygnałowych lub zasileniowych systemu bezpieczeństwa powoduje

▶ *prof. dr hab. inż. Janusz Dyduch – Wydział Transportu i Elektrotechniki Politechniki Radomskiej,
mgr inż. Jacek Paś – Wydział Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej.*



Rys. 1. Sygnał idealny, rzeczywisty i składowe harmoniczne (składowa podstawowa f_p , składowa harmoniczna $3f_p$) sygnałów powstających w mikroprocesorowej centrali alarmowej systemu bezpieczeństwa



Wielkość zapasu bezpieczeństwa zależna jest od skutków wywołanych ewentualnym zakłóceniem pracy:

1. Działanie urządzeń, których zakłócenie może spowodować niebezpieczeństwo dla życia ludzkiego (system bezpieczeństwa transportowy, system ppoż.), wymaga zapasu bezpieczeństwa o wartości co najmniej 20 dB.
2. W przypadku urządzeń (np. czujka systemu ppoż.) które mogą zakłócić całość pracy systemu, należy dążyć do zapasu bezpieczeństwa o wartości 10 dB.
3. Dla wszystkich innych przypadków zaleca się zapas o wartości 6 dB.

Przy określeniu zapasu bezpieczeństwa należy uwzględnić:

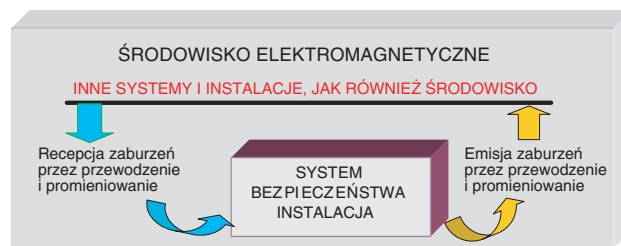
- starzenie się elementów składowych systemu bezpieczeństwa (np. korozja połączeń masy, wypadnięcie elementów odłóżających)
- modernizację systemu bezpieczeństwa (np. zmiany w ułożeniu okablowania, zmiana centrali alarmowej, itd.)
- inne czynniki mające wpływ na właściwości kompatybilnościowe systemu bezpieczeństwa np. zainstalowanie w pobliżu nadajnika RTV, GSM itd.

Rys. 2. Określenie dopuszczalnego poziomu sygnałów zakłócających oraz poziomu sygnału użytecznego uwzględniające oddziaływanie sygnałów zaburzających na transportowy system nadzoru

powstanie zmiennego pola magnetycznego i elektrycznego, które może zakłócać pracę systemu bezpieczeństwa lub innych elektronicznych systemów zainstalowanych na środku transportu [3, 4]

- materiały konstrukcyjne użyte do budowy elementów lub urządzeń systemu bezpieczeństwa są nieidealne, występują więc zjawiska pasożytnicze dla działania danego urządzenia (np. czujki), lecz jednocześnie nieuniknione
- w wielu przypadkach sygnały użyteczne dla jednych urządzeń czy systemów stają się sygnałami zakłócającymi dla innych systemów (rys. 1).

Sygnały zakłócające/zaburzające mogą spowodować wadliwe działanie urządzenia

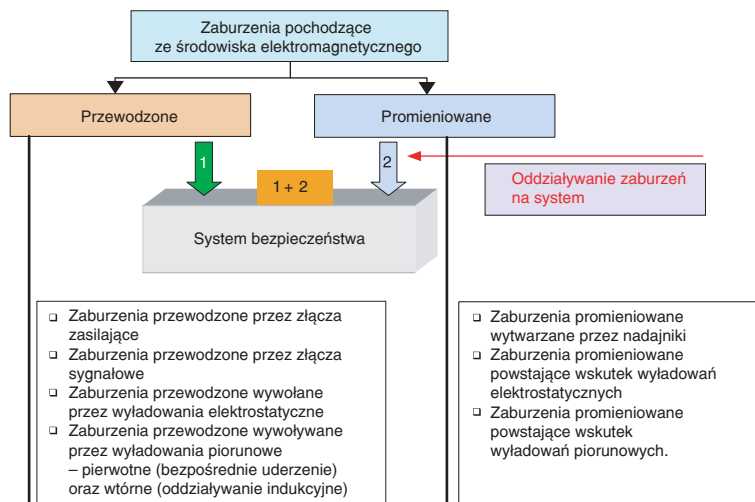


Rys. 3. Transportowy system bezpieczeństwa działający w określonym środowisku elektromagnetycznym

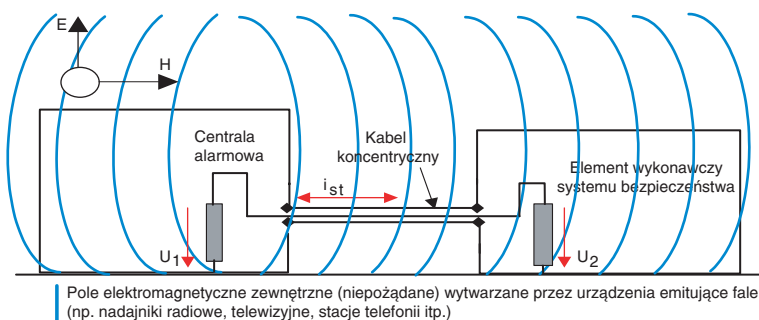
(obniżenie jakości) lub jego zniszczenie, jeżeli między źródłem zaburzeń a urządzeniem wrażliwym istnieje sprzężenie elektromagnetyczne. Prawidłowe działanie urządzeń (systemów) bezpieczeństwa wymaga określenia dopuszczalnego poziomu zakłóceń (rys. 2). Wszystkie urządzenia systemu bezpieczeństwa pracują w istniejącym środowisku elektromagnetycznym oraz wprowadzają do tego środowiska zaburzenia, które mogą doprowadzić do uszkodzenia innych systemów (rys. 3). Wzajemne współlistnienie urządzeń (systemów) w określonym środowisku elektromagnetycznym jest nazwane kompatybilnością elektromagnetyczną.

Według normy międzynarodowej IEC 60050-161 można następująco zdefiniować kompatybilność elektromagnetyczną dla urządzeń: „Kompatybilność elektromagnetyczna jest to zdolność danego urządzenia do jego zadawalającej pracy w środowisku elektromagnetycznym, bez jednoczesnego powodowania zaburzeń elektromagnetycznych, które byłby niedopuszczalne dla innych urządzeń występujących w tym środowisku” [2].

Zaburzenia pochodzące ze środowiska elektromagnetycznego oddziałują na transportowy system bezpieczeństwa jako zaburzenia przewodzone i promieniowane – rys. 4. Zaburzenia przewodzone występują w przypadku, gdy dwa lub więcej obwodów elektrycznych wykorzystuje ten sam przewód powrotny, np. wspólną masę. Zaburzenia promieniowane w zależności od częstotliwości i odległości od źródła zaburzeń (pola bliskie, pola dalekie) mogą oddziaływać na system poprzez:



Rys. 4. Podział zaburzeń elektromagnetycznych oddziałujących na transportowy system bezpieczeństwa



Rys. 5. Oddziaływanie pola elektromagnetycznego zewnętrznego na elementy transportowego systemu bezpieczeństwa zainstalowane na zamkniętej konstrukcji wsporczej

- występowanie sprzężeń pojemnościowych i indukcyjnych (pole bliskie)
- promieniowanie pola elektromagnetycznego (rys. 5, wektory E, H).

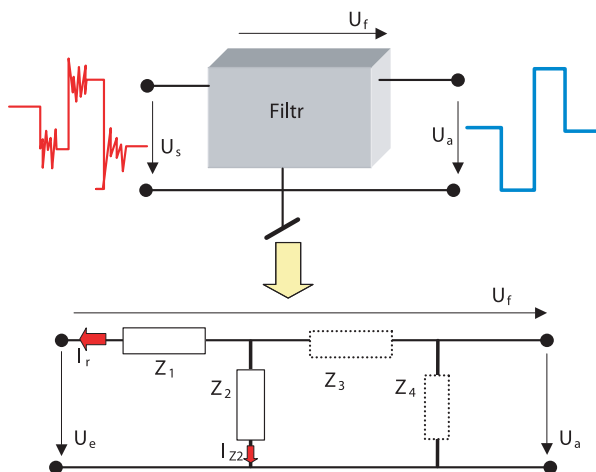
Wartości napięć zakłócających U_1, U_2 występujących na impedancjach obciążenia centrali alarmowej oraz elementu wykonawczego systemu bezpieczeństwa zależą od następujących parametrów:

- natężenia zewnętrznego pola elektromagnetycznego
- współczynnika sprzężenia ekranu kabla (przewodzonego wzdłużnie)
- długości kabla
- wartości impedancji obciążenia.

Wybrane sposoby ograniczenia oddziaływania zakłóceń elektromagnetycznych działających na transportowy system bezpieczeństwa

Filtrowanie zakłóceń

Polega na podziale napięcia sygnału wejściowego w zależności od częstotliwości składowych, przy czym jedna z impedancji Z_1 lub Z_2 musi być zależna od częstotliwości. Schemat blokowy filtru oraz przebieg sygnału zakłócanego na wejściu i wyjściu filtru został przedstawiony na rys. 6.



Rys. 6. Oddziaływanie zakłóceń na transportowy system nadzoru

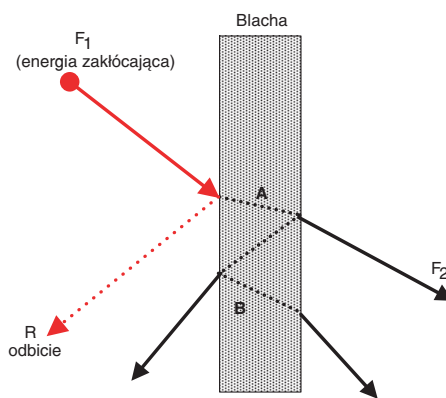
Podział napięcia zależny od częstotliwości wywołuje następujące skutki w układzie:

1. część zakłóceń zostaje odprowadzona przez przewodzenie do masy (I_{Z2})
2. część zakłóceń zostaje odbita (I_r)
3. część zakłóceń zostaje absorbowana, tzn. zamieniona w straty cieplne.

Ekranowanie transportowego systemu bezpieczeństwa

Zdolność tłumienia fal elektromagnetycznych przez przewodzący ekran jest zależna od rodzaju pola, tzn. czy pole

ma charakter w przeważającej części elektryczny, czy też magnetyczny. Jeżeli źródło promieniowania charakteryzuje się dużym prądem i małym napięciem ($E/H < 337 \Omega$) to przeważa magnetyczny charakter pola bliskiego. W przypadku tym pole o charakterze magnetycznym maleje w miarę oddalania się od źródła proporcjonalnie do $1/r^3$, natomiast pole o charakterze elektrycznym proporcjonalnie do $1/r^2$. Jeśli źródło promieniowania charakteryzuje się dużym napięciem i małym prądem ($E/H > 337 \Omega$) to przeważa elektryczny charakter pola bliskiego. W polu dalekim zarówno natężenie pola magnetycznego jak i elektrycznego maleją w funkcji $1/r$. Podstawą oddziaływania są zjawiska pochłaniania lub straty energii czynnej w ekranie zależne od jej rezystancji (przy częstotliwościach poniżej 10 kHz dominują zjawiska ferro- i ferri-magnetyczne - straty na przemagnesowanie) - rys. 7. Głębokość wnikania pola w przewodnik jest zależna od częstotliwości fali - wraz ze wzrostem częstotliwości zmniejsza się głębokość wnikania fali [5].



Rys. 7. Ekranowanie transportowego systemu bezpieczeństwa dla przypadku zaburzeń małej częstotliwości

Aby ekranowanie było skuteczne, należy przestrzegać następujących zasad:

a) ekranowanie pól elektromagnetycznych małej częstotliwości (do 500 kHz):

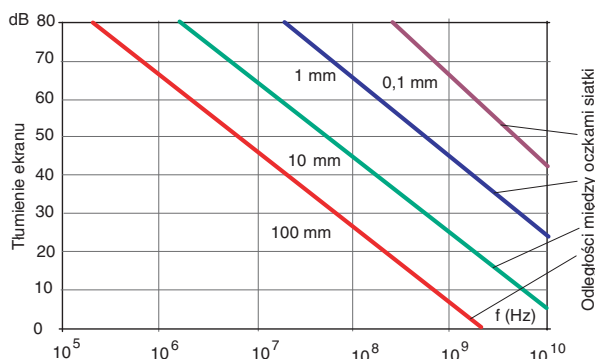
- ekranowanie pól elektrycznych - cienka blacha (20 - 500 mm)
- ekranowanie pól magnetycznych do 500 kHz - gruba blacha (kilka milimetrów) ze stali magnetycznie miękkiej (stal: $\mu_r = 200$)

- ekranowanie pól magnetycznych powyżej 500 kHz – cienka blacha (kilka milimetrów) ze stali magnetycznie miękkiej (stal: $\mu_r = 200$)
- podwójna grubość blachy – powoduje dwukrotne zwiększenie tłumienia absorpcyjnego (pochląnianie).

b) ekranowanie pól elektromagnetycznych dużej częstotliwości (powyżej 500 kHz):

1. Ekranowanie za pomocą uziemionych metalowych siatek – tłumienie zakłóceń proporcjonalne do:

- średnicy drutu
- szerokości oczek siatki ekranującej – rys. 8
- punktu styku siatki z obudową urządzenia co 1 – 2 cm
- druty tworzące siatkę lutowane w miejscach krzyżowania się
- całkowita powierzchnia siatki w miarę możliwości jak najmniejsza.



Rys. 8. Wpływ odległości między oczkami siatki ekranującej pole elektromagnetyczne wysokiej częstotliwości na tłumienie ekranu [2]

2. Pojedyncze blachy użyte do ekranowania powinny spełniać następujące wymagania:

- należy założyć zakładkę blach o szerokości $> 3 - 5$ mm, polepszyć jakość styku za pośrednictwem sprężynek i taśm stykowych
- odstęp między punktami styków elektrycznych co najmniej $\lambda/20$ (≤ 15 mm do częstotliwości 1 GHz)
- zewnętrzną warstwę pokrycia ekranu należy wykonać z materiału miękkiego i o dobrej przewodności elektrycznej
- materiały na ekran – miedź/nikiel, aluminium/cynk, cyna.

Wnioski

Transportowy system bezpieczeństwa jest eksploatowany w zróżnicowanych warunkach środowiskowych [6]. Na rozległym obszarze kolejowym istnieją zamierzone i niezamierzone źródła promieniowania elektromagnetycznego, które mogą zaburzać pracę systemu poprzez zwiększenie wartości np. prawdopodobieństwa fałszywego alarmu. Zmniejszenie poziomu zakłóceń w transportowym systemie bezpieczeństwa może być osiągnięte przez stosowanie filtrów o określonych parametrach technicznych (np. pasmo tłumienia). Jed-

nak innym rozwiązaniem jest stosowanie ekranowania urządzeń systemu bezpieczeństwa przed wpływem niepożądanych zewnętrznych pól elektromagnetycznych. Dobór materiałów, z których ma być wykonane ekranowanie, zależy od pasma częstotliwości zakłócających oddziałujących na system bezpieczeństwa.

Literatura

1. Wawrzyński W.: Bezpieczeństwo systemów sterowania w transporcie. Warszawa, Biblioteka Problemów Eksploatacji 2004.
2. Lutz M., Nedtwig J.: Praktyczny poradnik. Certyfikat CE w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej. Alfa-Weka 1998.
3. Dyduch J.: Model niezawodnościowo-funkcjonalny systemów sterowania ruchem kolejowym. ZEM z1-2, PWN Warszawa 1987.
4. Dyduch J., Moczarski J.: Podstawy eksploatacji systemów sterowania ruchem kolejowym. WPR monografie Radom 2008.
5. Paś J., Brejwo W.: Wstępne wyniki badań oceny skuteczności ograniczenia oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego na środowisko za pomocą ekranowania. XVI Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Zakopane 2002.
6. Paś J.: Wpływ rozrzutu właściwości elementarnej linii dozorowej na niezawodność funkcjonalną systemów bezpieczeństwa. Biuletyn WAT nr 2 (650), Warszawa 2008. ■