



Eksploatacja transportowych systemów nadzoru na rozległym obszarze kolejowym

JACEK PAŚ, JANUSZ DYDUCH¹

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

¹Politechnika Radomska, Instytut Automatyki i Telematyki,
26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29

Streszczenie. W artykule przedstawiono wpływ środowiska elektromagnetycznego istniejącego w rozległym obszarze kolejowym na eksploatację transportowych systemów nadzoru. Wytwarzane przez pojazdy trakcyjne, trakcję zasilającą, podstacje elektroenergetyczne, linie zasilające, stacje transformatorowe, itd. zakłócenia elektromagnetyczne mogą być przyczyną zakłócenia procesu eksploatacyjnego systemu nadzoru. Wraz z rozwojem elektroniki następuje coraz większa miniaturyzacja urządzeń wchodzących w skład transportowych systemów nadzoru, do których można zaliczyć mikroprocesorowe czujki, centrale alarmowe, moduły mocy, itd. Stosowane w nich elementy i układy elektroniczne wymagają mniejszych napięć zasilania i pracują przy zmniejszonym poborze prądu. Dzięki temu pola elektromagnetyczne o mniejszej energii mogą łatwiej zakłócić pracę systemów nadzoru lub nawet spowodować ich uszkodzenie.

Słowa kluczowe: transportowy system nadzoru, zakłócenie elektromagnetyczne, techniczny system ochrony, diagnozowanie, obiekt złożony, system sygnalizacji włamania i napadu

Symbole UKD: 625.19

1. Wstęp

Bezpieczeństwo transportu jest to właściwość realizowanego procesu transportowego (proces przemieszczania ludzi i/lub ładunków) charakteryzująca się brakiem występowania zagrożeń życia i zdrowia ludzi [1, 2]. Proces ten powinien charakteryzować 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 to systemy, których celem jest wykrywanie zagrożeń występujących w procesie transportowym (zarówno dla obiektów stacjonarnych jak i ruchomych).

W przypadku oddziaływania zakłóceń na transportowe systemy nadzoru możemy wyróżnić cztery stany pracy tego systemu:

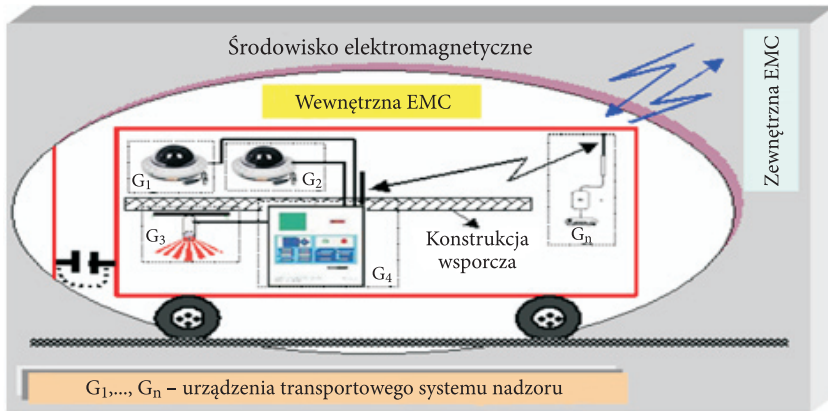
- transportowy system nadzoru nie reaguje na zakłócenie zewnętrzne i wewnętrzne — poziom zakłóceń zbyt mały, nie został przekroczony dopuszczalny poziom zakłóceń, system pozostaje w danym stanie eksploatacyjnym, w którym akurat się znajduje;
- urządzenia wchodzące w skład transportowego systemu nadzoru samoczynnie likwidują zakłócenia poprzez zastosowane filtry pasywne lub aktywne;
- wystąpienie zakłócenia powoduje przejście transportowego systemu nadzoru ze stanu zdatności do stanu niezdatności — przywrócenie stanu zdatności wymaga interwencji obsługi;
- wystąpienie zakłócenia w transportowym systemie nadzoru powoduje uszkodzenie systemu — całkowite lub częściowe, system niezdatny.

Rozpatrując oddziaływanie zakłóceń na transportowe systemy nadzoru, należy uwzględnić następujące kryteria:

- **odporności** systemu na zakłócenia — definiowanej jako zdolność zachowania poprawnego działania urządzeń systemu podczas występowania zakłóceń;
- **podatności** systemu na zakłócenia — tj. reakcji pracującego systemu na zakłócenia zewnętrzne lub wewnętrzne;
- **wytrzymałości** systemu na zakłócenia — to znaczy zdolności do zachowania pierwotnych właściwości systemu po ustąpieniu zakłócenia.

2. Środowisko elektromagnetyczne na obszarze kolejowym

W XX wieku, w wyniku działalności człowieka, wprowadzone zostały sztuczne czynniki kształtujące elektroklimat. Na skutek powstania niezliczonych źródeł promieniowania nastąpiły poważne zmiany w środowisku elektromagnetycznym Ziemi. Szerokie zainteresowanie się niekorzystnym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych, z różnych zakresów częstotliwości, na organizm ludzki i pracę urządzeń elektronicznych nastąpiło z chwilą wprowadzenia przez Unię Europejską dyrektywy dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej (rys. 1).



Rys. 1. Transportowy system nadzoru działający w określonym środowisku elektromagnetycznym

Aby określić wielkość zakłóceń elektromagnetycznych występujących na obszarze kolejowym, powinno się określić następujące parametry obwodów:

- obwodów, w których płynie prąd o dużej wartości (podstacje trakcyjne, sieć trakcyjna, sieć powrotna, pojazdy trakcyjne, elektroenergetyczna sieć zasilająca);
- obwodów, w których płynie prąd o małych wartościach (SRK — systemy sterowania ruchem kolejowym, systemy łączności przewodowej, radiowej i rozgłoszeniowej, transportowe systemy nadzoru).

Zakłócenia generowane przez podstację oraz pojazdy trakcyjne są zakłóceniami asynchronicznymi (sieć trakcji prądu stałego), w przeciwieństwie do trakcji prądu przemiennego (zakłócenia synchroniczne) (rys. 2). W trakcji prądu przemiennego występuje zasilanie jednostronne (każdy następny odcinek trakcji zasilany jest z innej fazy). Zakłócenia generowane w sieci trakcyjnej prądu przemiennego są zsynchronizowane z częstotliwością podstawową dla danego systemu zasilania trakcyjnego.

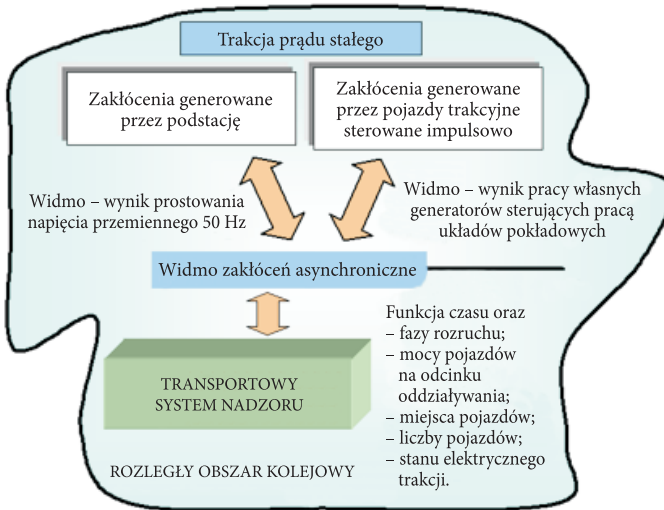
Ogólnie źródła zakłóceń występujące na obszarze kolejowym można podzielić na zakłócenia:

- a) stacjonarne (np. zakłócenia pochodzące od systemów zasilania trakcji kolejowej),
- b) oraz ruchome (np. zakłócenia pochodzące od elektrycznych pojazdów trakcyjnych).

Źródłami zakłóceń, które oddziałują na transportowy system nadzoru są:

- podstacje trakcyjne z zainstalowanymi przekształtnikami;
- sterowane impulsowo pojazdy trakcyjne,
- urządzenia elektryczne i elektroniczne zainstalowane w budynku dworcowym (np. systemy komputerowe, wewnętrzne linie zasilające, elektryczne systemy grzewcze, elektryczne linie zasilające oświetlenie wewnętrzne i zewnętrzne, itd.

- zakłócenia elektromagnetyczne zewnętrzne (pochodzące np. od nadajników stacji bazowych, tramwajowej trakcji zasilania przebiegającej w pobliżu budynków dworca, elektroenergetycznej linii zasilania wysokiego napięcia, stacji transformatorowych zasilających dworzec kolejowy (rys. 3) [3].



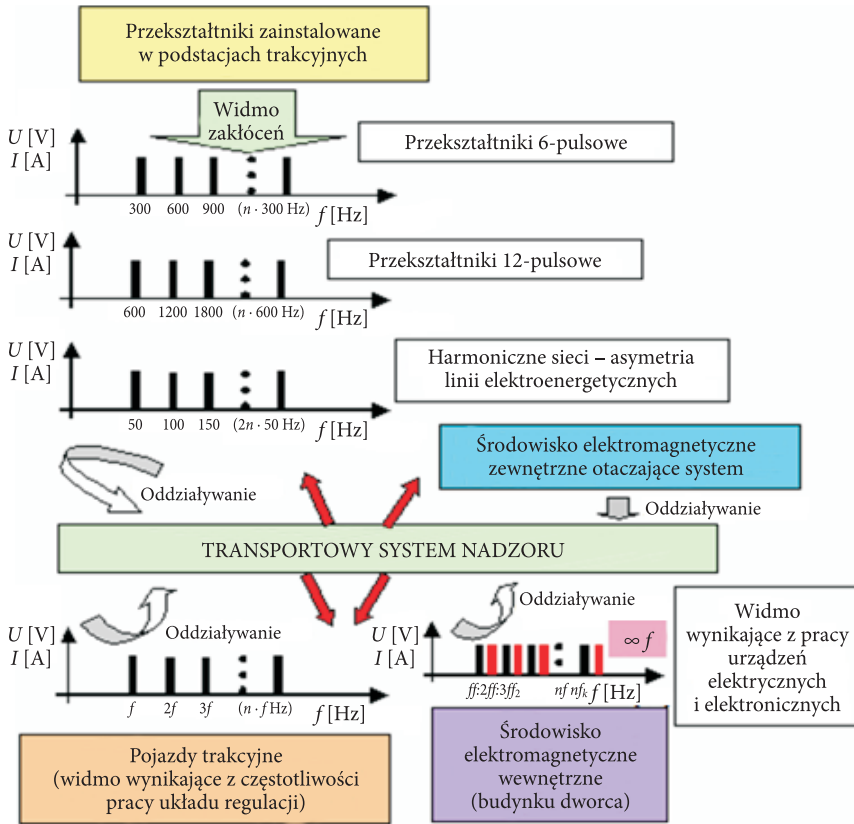
Rys. 2. Zakłócenia w rozległym obszarze kolejowym pochodzące od zakłóceń generowanych przez podstację oraz pojazdy trakcyjne

Wpływ zakłóceń na eksploatację transportowych systemów nadzoru

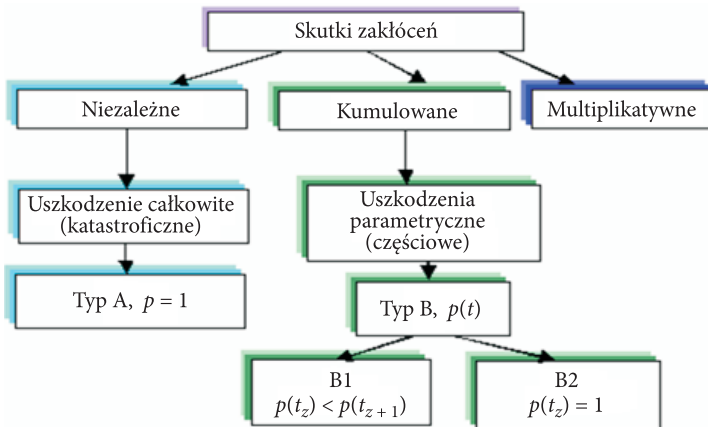
Skutki oddziaływania zakłóceń na eksploatację transportowych systemów nadzoru można podzielić na niezależne oraz kumulowane (rys. 4) [3].

Ze względu na skutki, można wyodrębnić następujące rodzaje zakłóceń:

- **A** — zakłócenia powodujące całkowite uszkodzenie transportowego systemu nadzoru, skutki niezależne (np. uszkodzenie systemu wskutek wyładowania atmosferycznego — oddziaływanie bezpośrednie lub pośrednie);
- **B** — zakłócenia powodujące uszkodzenie parametryczne transportowego systemu nadzoru — skutki kumulowane. Ponieważ uszkodzenia parametryczne są związane ze stopniową zmianą właściwości systemu, zatem w grupie zakłóceń typu **B** można wyróżnić zakłócenia;
- **B1** — zakłócenia, których skutki kumulują się w taki sposób, że prawdopodobieństwo $p(t_i)$, $i = 1, 2, \dots$, uszkodzenia systemu w chwili t_i jest funkcją czasu, monotonicznie rosnącą w ścisłym sensie, czyli np. gdy kryterium uszkodzenia jest zmiana cechy X poniżej wartości dopuszczalnej x_{dop} , to $p(t_i) = P_r(X(t_i) \geq x_{dop})$, $i = 1, 2, \dots$; $p(t_i) < p(t_{i+1})$ gdy $t_i < t_{i+1}$, $i = 1, 2, \dots$, gdzie: t_i, t_{i+1} — chwile wystąpienia zakłóceń.

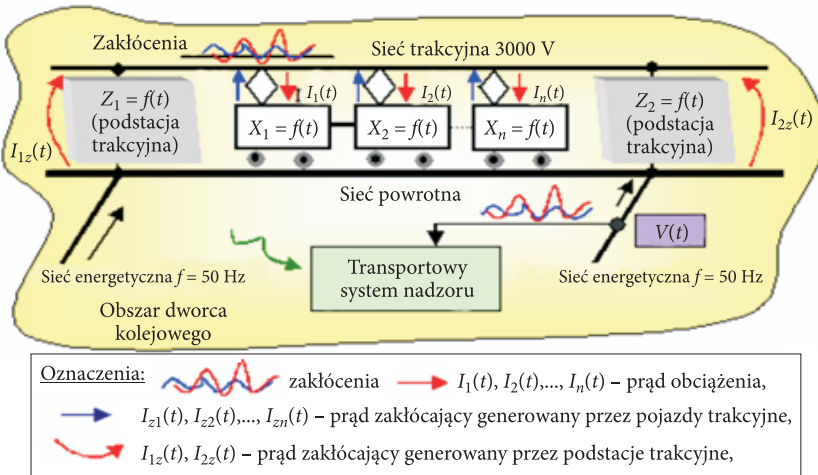


Rys. 3. Źródła zakłóceń oddziałujących na transportowy system nadzoru zainstalowany na rozległym obszarze kolejowym

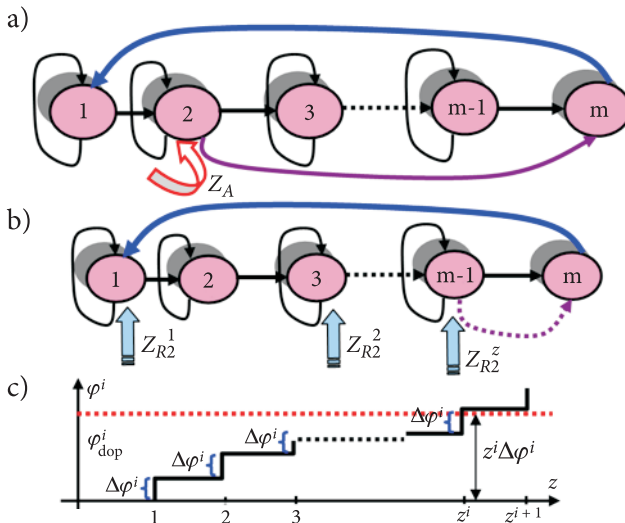


Rys. 4. Podział zakłóceń oddziałujących na transportowy system nadzoru

- **B2** — zakłócenia, których skutki kumulują się w taki sposób, że uszkodzenie systemu wymaga wystąpienia liczby z zakłóceń, co oznacza, że w chwili t_z — wystąpienia zakłócenia z — poziom zmian osiąga wartość krytyczną i jest $p(t_z) = 1 \Rightarrow [p(t_z) = Pr(X(t_z) \geq x_{dop})]$ (rys. 6).



Rys. 5. Zakłócenia generowane przez odbiorniki prądu (pojazdy trakcyjne) i podstacje zasilające sieć trakcyjną



Rys. 6. Graf przejść procesu $\{W(t)\}$ z zakłóceniami typu A — a); typu B2 — b) oraz zmiana cechy — c)

3. Model eksploatacji transportowego systemu nadzoru dyskretny w stanach i czasie uwzględniający wpływ zakłóceń zewnętrznych i wewnętrznych

W teorii eksploatacji są uwzględniane zagadnienia związane ze stanami eksploatacji systemów. Jednak brakuje opracowań dotyczących wpływu zakłóceń na proces eksploatacji transportowego systemu nadzoru. Możemy wyróżnić następujące podstawowe klasy stanów eksploatacji transportowych systemów nadzoru:

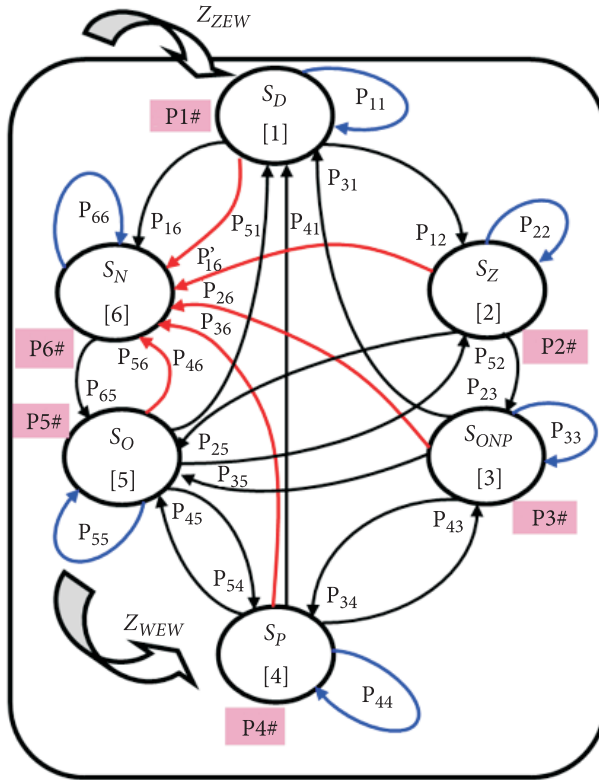
- stany obsługiwanie (np. stan diagnozowania systemu, naprawy, kontroli, obsługi miesięcznej);
- stany użytkowania (np. stan czuwania, dozoru, alarmowania, powiadamiania o stanie systemu drogą radiową, łączem telekomunikacyjnym).

Transportowy system nadzoru posiada skończoną liczbę stanów eksploatacyjnych wynikającą z „normalnej” eksploatacji — bez oddziałujących zakłóceń (system pracuje w środowisku elektromagnetycznym, gdzie brakuje źródeł zakłóceń). Na system nadzoru zainstalowany na rozległym obszarze kolejowym oddziałują zakłócenia elektromagnetyczne o wartościach, które mogą wymusić przejścia między poszczególnymi stanami eksploatacyjnymi niewystępującymi w czasie „normalnej” eksploatacji (rys. 7).

Dla modelu przedstawionego na rysunku 7, uwzględniając tylko zakłócenia typu A oddziałujące na stan zdadności systemu S_D , występuje przejście ze stanu S_D do stanu S_Z (stan niezdatności systemu), macierz prawdopodobieństw przejść stanów ma postać:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & 0 & 0 & p_{16} + p_{16}' \\ 0 & p_{22} & p_{23} & 0 & p_{25} & p_{26} \\ p_{31} & 0 & p_{33} & p_{34} & p_{35} & p_{36} \\ p_{41} & 0 & p_{43} & p_{44} & p_{45} & p_{46} \\ p_{51} & p_{52} & 0 & p_{54} & p_{55} & p_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{65} & p_{66} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gdzie: p_{16}' — prawdopodobieństwo przejścia ze stanu diagnozowania do stanu niezdatności wynikające z oddziaływania na system zakłócenia typu A.



Rys. 7. Graf eksploatacji transportowego systemu nadzoru dla przypadku małych i dużych wartości wskaźników γ sygnałów zakłóceń.

Oznaczenia na rysunku:

S_D — stan diagnozowania; S_Z — stan zdatności; S_{ONP} — stan oczekiwania na pracę; S_P — stan pracy; S_O — stan obsługiwanego; S_N — stan niezdatności;

$P_{12}, P_{16}, P_{23}, P_{25}, P_{34}, P_{31}, P_{35}, P_{43}, P_{45}, P_{41}, P_{54}, P_{52}, P_{51}, P_{65}$ — prawdopodobieństwa przejść procesu eksploatacji systemu nadzoru wynikające z „normalnej” eksploatacji systemu;

$P_1^\#, P_2^\#, P_3^\#, P_4^\#, P_5^\#, P_6^\#$ — prawdopodobieństwa graniczne przebywania systemu nadzoru w wyróżnionych stanach;

$P_{16}, P_{26}, P_{36}, P_{46}, P_{56}$ — prawdopodobieństwo przejść procesu eksploatacji systemu nadzoru pod wpływem zakłóceń typu A dla przypadku dużych wartości wskaźników γ zakłóceń (sygnały zakłóceń o dużej amplitudzie);

$P_{11}, P_{22}, P_{33}, P_{44}, P_{55}, P_{66}$ — prawdopodobieństwo przejść procesu eksploatacji systemu nadzoru pod wpływem zakłóceń typu B dla przypadku małych wartości wskaźników γ zakłóceń (sygnały zakłóceń o małej amplitudzie).

Z powyższej macierzy wynika, że

$$\begin{aligned}
 p_{11} + p_{12} + p_{16} + p_{16}' &= 1, \\
 p_{22} + p_{23} + p_{25} + p_{26} &= 1, \\
 p_{31} + p_{33} + p_{34} + p_{35} + p_{36} &= 1, \\
 p_{41} + p_{43} + p_{44} + p_{45} + p_{46} &= 1, \\
 p_{51} + p_{52} + p_{54} + p_{55} + p_{56} &= 1, \\
 p_{65} + p_{66} &= 1.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Ponieważ proces eksploatacji systemu nadzoru jest dyskretny w stanach i czasie, uzyskujemy następujące równania stanów granicznych:

$$\begin{aligned}
 p_1^\# &= p_{11} \cdot p_1^\# + p_{31} \cdot p_3^\# + p_{41} \cdot p_4^\# + p_{51} \cdot p_5^\#, \\
 p_2^\# &= p_{12} \cdot p_1^\# + p_{22} \cdot p_2^\# + p_{52} \cdot p_5^\#, \\
 p_3^\# &= p_{23} \cdot p_2^\# + p_{33} \cdot p_3^\# + p_{43} \cdot p_4^\#, \\
 p_4^\# &= p_{34} \cdot p_3^\# + p_{44} \cdot p_4^\# + p_{54} \cdot p_5^\#, \\
 p_5^\# &= p_{25} \cdot p_2^\# + p_{35} \cdot p_3^\# + p_{45} \cdot p_4^\# + p_{55} \cdot p_5^\# + p_{65} \cdot p_6^\#, \\
 p_6^\# &= (p_{16} + p_{16}') \cdot p_1^\# + p_{26} \cdot p_2^\# + p_{36} \cdot p_3^\# + p_{46} \cdot p_4^\# + p_{56} \cdot p_5^\# + p_{66} \cdot p_6^\#.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Warunek normalizacyjny ma postać:

$$p_1^\# + p_2^\# + p_3^\# + p_4^\# + p_5^\# + p_6^\# = 1, \tag{4}$$

a więc

$$\sum_{i=1}^n p_i^\# = 1. \tag{5}$$

Zastępując ostatnie równanie w układzie równań (3) równaniem (4) otrzymamy macierzowy zapis równań (3) i (4). Zapis ten przedstawiony jest poniżej:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & p_{31} & p_{41} & p_{51} & 0 \\ p_{12} & -1 & 0 & 0 & p_{52} & 0 \\ 0 & p_{23} & -1 & p_{43} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{34} & -1 & p_{54} & 0 \\ 0 & p_{25} & p_{35} & p_{45} & -1 & p_{65} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1^\# \\ p_2^\# \\ p_3^\# \\ p_4^\# \\ p_5^\# \\ p_6^\# \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}. \tag{6}$$

Jeżeli przyjmiemy, że $A_A \cdot P_A = B_A$, to rozwiązanie układu równań (6) określa wartość prawdopodobieństw granicznych wyróżnionych stanów

$$P_A = A_A^{-1} \cdot B_A. \quad (7)$$

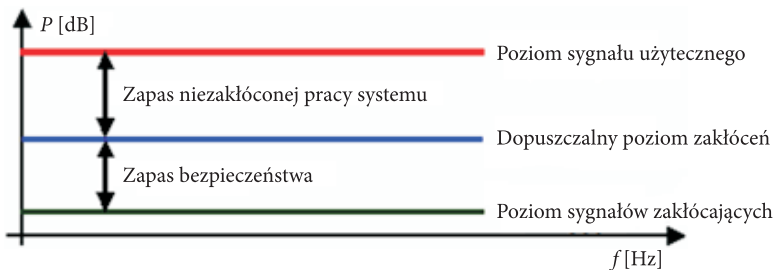
Prawdopodobieństwo przebywania systemu w i -tym stanie S można wyznaczyć na podstawie obserwacji przeprowadzonych podczas określonego czasu T . Prawdopodobieństwo można wtedy określić jako

$$P_i = \frac{t_i}{T_o}, \quad (8)$$

gdzie: t_i — sumaryczny czas przebywania systemu w danym i -tym stanie podczas okresu obserwacji T_o ;
 T_o — okres obserwacji systemu.

3. Prawidłowe działanie transportowego systemu nadzoru w warunkach oddziałujących zakłóceń

Prawidłowość działania transportowego systemu nadzoru jest uwarunkowana utrzymywaniem przez sygnały użyteczne określonego poziomu i posiadaniem wystarczającego zapasu niezakłóconego działania, tzn. wystarczającej różnicy poziomów między poziomem sygnału użytecznego a poziomem sygnału zakłócającego. Dopuszczalny poziom zakłóceń jest uzależniony od najniższej wartości sygnału użytecznego. Przekroczenie wartości granicznej przez poziom zakłóceń prowadzi do nieprawidłowego działania systemu (rys. 8).



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 się 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.

Rys. 8. Określenie zapasu bezpieczeństwa i zapasu niezakłóconej pracy transportowych systemów nadzoru

Przy uwzględnieniu zapasu bezpieczeństwa należy uwzględnić:

- starzenie się elementów składowych transportowego systemu nadzoru (np. zmiana parametrów elementów, z których zbudowane są urządzenia systemu nadzoru, takie jak: tranzystory, diody, układy scalone wykonane z elementów półprzewodnikowych; zmiana parametrów optycznych i chemicznych elementów wchodzących w skład elektronicznych systemów nadzoru: obiektywy, soczewki czujek; zmiana pojemności kondensatorów, korozja połączeń masy wewnątrz systemu i systemów zainstalowanych na obszarze kolejowym, uszkodzenie lub zmiana parametrów elementów odkłócających, np. filtrów, cewek, kondensatorów, itd.);
- modernizacja występująca w transportowym systemie nadzoru, jak zmiany w ułożeniu okablowania, zmiana typów (parametrów) np. centrali alarmowej, czujek, modułów, sposobu transmisji sygnału..., itd.);
- inne czynniki, które mogą mieć wpływ na właściwości kompatybilnościowe systemu nadzoru, np. zainstalowanie w pobliżu nadajnika np. RTV, GSM, radaru..., modernizacja taboru kolejowego poprzez zastosowanie lokomotyw o wyższej mocy, zwiększenie mocy urządzeń elektrycznych na terenie dworca, modernizacja trakcji elektrycznej itd.

Podsumowanie

W XXI wieku występuje ciągły wzrost zagrożeń występujących podczas przemierzania osób i ładunków. Ma to istotny wpływ na wymagania niezawodnościowo-eksploatacyjne instalowanych transportowych systemów nadzoru [4, 5]. Oprócz tych wymagań systemy powinny być także odporne na zakłócenia elektromagnetyczne generowane w sposób zamierzony i niezamierzony. Dlatego wszystkie systemy bezpieczeństwa instalowane w transportowych systemach nadzoru powinny posiadać certyfikat kompatybilności elektromagnetycznej, który jest określony przez normę EN 50130-4. Transportowe systemy nadzoru powinny posiadać także określony zapas bezpieczeństwa (rys. 8). Poziom zapasu ulega zmianom w czasie eksploatacji systemu i powinien być uwzględniany przez projektantów systemu nadzoru.

Artykuł wpłynął do redakcji 14.12.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2009 r.

LITERATURA

- [1] J. DYDUCH, J. MOCZARSKI, *Podstawy eksploatacji systemów sterowania ruchem kolejowym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Radomskiej, 2007.
- [2] W. WAWRZYŃSKI, *Bezpieczeństwo systemów sterownia w transporcie*, Biblioteka Problemów Eksploatacji, Warszawa, 2004.

- [3] J. DYDUCH, J. PAŚ, *Optymalizacja procesu eksploatacji w transportowych systemach nadzoru*, XII Międzynarodowa Konferencja Naukowa „TransComp — 2008”, Zakopane.
- [4] M. PRAŻEWSKA, *Niezawodność urządzeń elektronicznych*, WKŁ, 1987.
- [5] J. DYDUCH, J. PAŚ, *Optymalizacja procesu eksploatacji w transportowych systemach nadzoru*, Logistyka, 6, 2008.
- [6] J. DYDUCH, J. PAŚ, *Środowisko elektromagnetyczne na kolei i jego wpływ na systemy bezpieczeństwa*, Transport i Komunikacja, 1, 2009.
- [7] J. DYDUCH, J. PAŚ, *Zaburzenia elektromagnetyczne oddziałujące na transportowy system bezpieczeństwa*, Pomiary Automatyka Robotyka, 5, 2009.
- [8] J. MIGDAŁSKI, *Inżynieria niezawodności*, ATR, Bydgoszcz, 1992.

J. PAŚ, J. DYDUCH

Exploitation of transport security systems on a vast railway area

Abstract. The development of electronics results in miniaturization of devices being a part of transport security systems that include microprocessor sensors, alarm central unity, power modules, etc.

Elements and electronic unity applied require lower voltage of power supply and work at decreased current. Thus, electromagnetic field of lower energy may more easily disturb the work of security systems or even may cause their damage.

The main task of security systems installed in objects is detection of emergencies, informing about them and, if it is possible, initializing respective countermeasures. Security systems used in buildings require diagnosing to identify their technical and functional condition. Security systems are complex objects, because they realize many functions, e.g., supervising object, auto-diagnosing of system's elements (sensors, cameras, power-supply lines, input/output devices, reserve power suppliers, etc.), alarming about emergency, initializing anti-destructive actions. Such systems are usually equipped with self-monitoring circuits, i.e., circuits responsible for monitoring of technical state of security systems themselves. This monitoring consists in permanent supervising of the elements of the system (sensors, elements of the alarm central unit, cameras, monitors, optical signalizations, etc.).

Source of electromagnetic disturbances may generate disturbances that can be the cause of increased probability of false alarms in transport supervisory systems.

Keywords: transport supervisory systems, source of electromagnetic disturbances, technical security system, diagnosing, complex objects, system of signalization of burglary and assault

Universal Decimal Classification: 625.19