

Adam ROŚIŃSKI, Jacek PAŚ, Marek SZULIM, Jarosław ŁUKASIAK
 Military University of Technology (Wojskowa Akademia Techniczna)

ISSUE OF ASSESSMENT OF THE STRONG ELECTROMAGNETIC PULSES IMPACT ON THE FUNCTIONING OF SELECTED ELECTRONIC DEVICES

Problematyka oceny oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie wybranych urządzeń elektronicznych

Abstract: *By analyzing the exploitation process of selected electronic devices (including those used in communication and radiolocation systems), it can be concluded that they operate in heterogeneous, often extreme conditions. Their operate in a full ability state depends not only on the reliability of the subsystems that create them, but also on the effective management of their exploitation, including vulnerability and resistance to the impact of strong electromagnetic pulses. The article proposes specific criteria containing indicators that enable the assessment of the strong electromagnetic pulses impact on the functioning of selected electronic devices.*

Keywords: high power microwave pulses, impact, reliability

Streszczenie: *Przeprowadzając analizę procesu eksploatacji wybranych urządzeń elektronicznych (m.in. stosowanych w łączności, systemach radiolokacyjnych) można stwierdzić, że funkcjonują one w zróżnicowanych, często ekstremalnych warunkach. Przebywanie ich w stanie zdatności jest zależne nie tylko od niezawodności podsystemów je tworzących, ale również od efektywnego zarządzania ich eksploatacją, w tym także podatności i odporności na oddziaływanie silnych impulsów elektromagnetycznych. W artykule zaproponowano określone kryteria zawierające wskaźniki, które umożliwiają ocenę oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie wybranych urządzeń elektronicznych.*

Słowa kluczowe: silne impulsy elektromagnetyczne, oddziaływanie, niezawodność

1. Introduction

In the course of conducting an operational analysis of selected electronic equipment (e.g. used in communications, radiolocation and transport traffic control systems), it can be concluded that they are operated in varying environmental conditions. Therefore, their staying in a state of fitness depends not only on the reliability of its constituent subsystems, but also on the effective management of their operational process [27]. One of the most important issues is also their susceptibility and resistance to the impact of strong electromagnetic pulses [6, 20]. Therefore, determining the indicators of a strong electromagnetic pulse impact on the functionality of selected electronic devices requires a broader view than just an EMC analysis of the subsystems comprising them [4, 14]. It is important that they are fully conducted, taking into account various criteria (e.g. operational, technical, economic) when assessing the impact of strong electromagnetic pulses on electronic devices.

Electronic devices are commonly used in numerous systems (e.g. communications, radiolocation, transport traffic control systems). They are operated under different electromagnetic environment conditions [9, 18, 24]. These environments contain electromagnetic interference sources, which can be divided into intentional or unintentional ones (another division: stationary or mobile). They affect the functioning of electronic devices, resulting in a potential disruption of their operation. Since they very often implement responsible functions (e.g. within the passenger transport process [11, 12]), they should be reliable [16].

Electronic devices operated in a transport environment find themselves in a specific electromagnetic environment. A natural electromagnetic environment shaped by phenomena that occur on Earth is most often seriously distorted within transport areas (railway, in particular). It is associated with numerous electromagnetic fields radiating in an intentional or unintentional manner. Every electric or electronic device is powered by electricity. This results in the generation of own electromagnetic field, which is associated with its operation. The transport domain utilizes electronic devices, which should operate properly regardless of an interference (within permissible level limits) they are exposed to. Mutual coexistence of electronic devices and their correct functioning in a specific electromagnetic environment and the functioning without introducing unacceptable electromagnetic interference into that environment, was defined as electromagnetic compatibility [3, 17].

So far, the scientific publications included numerous deliberations in the field of reliability-operational analysis, taking into account both the reliability structures (i.a. serial, parallel, serial-parallel), as well as the impact of electromagnetic

interference [10, 19, 21]. Nonetheless, these publications did not propose comprehensive solutions in terms of assessing the impact of strong electromagnetic pulses on the functioning of electronic devices.

Currently, the electronic pieces of equipment are required to satisfy numerous criteria. They include, i.a., miniaturization, reducing electricity consumption, high functionality [7, 13, 26] and reliability [23, 25], as well as vibration resistance [2]. The implementation of these requirements results in the application of various structural solutions, aimed at decreasing the difference between the level of useful signals and the level of interference generated by different static and mobile interference sources (e.g. medium- and high-voltage lines, transformer stations, electrical devices). This is why, the issue of assessing the impact of electromagnetic pulses on the functioning of electronic devices is gaining importance. The considerations in this regard are presented in this paper.

2. Impact of strong electromagnetic pulses on the functioning of selected electronic devices

The electromagnetic compatibility concept can be defined as the possibility of a useful signal and interference coexistence without the loss of information contained in the signal. Expanding the concept of electromagnetic compatibility with respect to a specific electronic device, the definition can be as follows: an element of an electronic device electromagnetic environment is deemed compatible, if the interaction between that element and other elements within such an environment can be mutually tolerated.

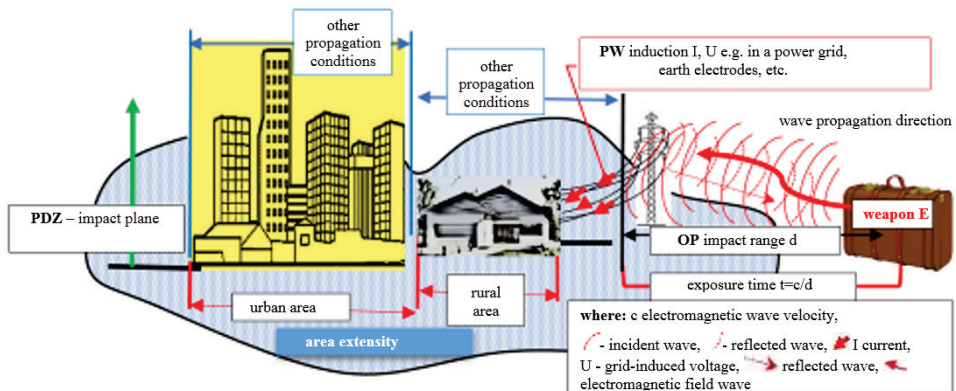


Fig. 1. The impact of strong electromagnetic pulses on selected buildings subject to protection

Fig. 1 shows the impact of strong electromagnetic pulses on selected objects within a vast area. An important issue when determining the impact of strong electromagnetic pulse on selected facilities containing electronic devices is, among others, the impact range of electromagnetic pulses, depending on wave propagation, terrain shape, environmental conditions, radiation source technical parameters, as well as the type of building materials (obstacles used to construct protected facilities and buildings). It greatly influences the electromagnetic wave attenuation.

A rather large group of elaborations are papers on ensuring electromagnetic compatibility of electronic systems and devices. The publication [15] characterizes the issues associated with using various materials for the construction of mobile means of transport and their impact (including, among others, screening) on satisfying the requirements of electromagnetic compatibility. Using specific structural materials and design solutions results in mitigating the electromagnetic interference impacting electronic devices [1, 28]. Fig. 2 shows the issue of electromagnetic interference penetrating into elements of ICT systems. It is important to properly design both the electronic device itself, as well as its housing, together with appropriate input/output protections.

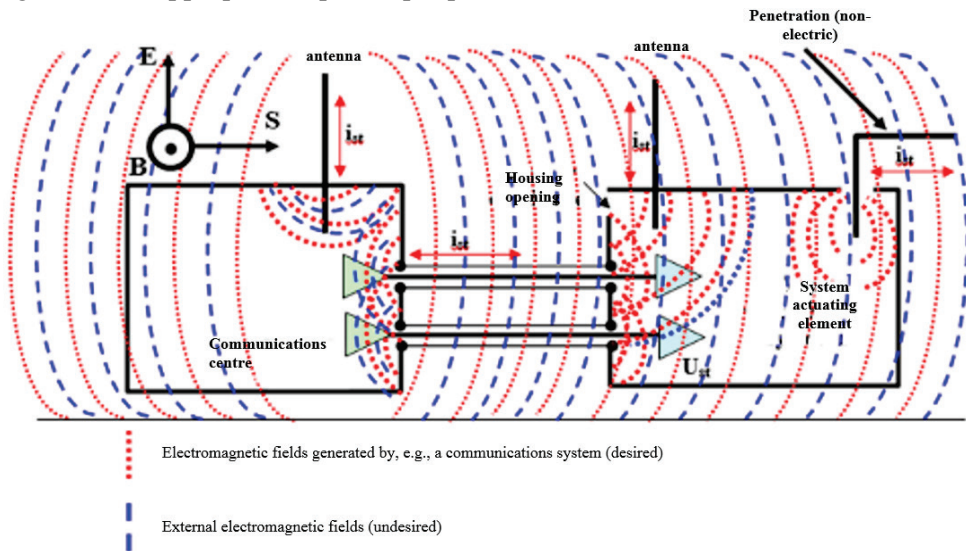


Fig. 2. Electromagnetic interference penetrating into ICT system elements

If an electromagnetic wave encounters a conductive structure of an electronic device, it induces voltages and currents therein. The undesired antennas within an electronic device include, among others, the following structural parts [8]:

- signal and power cables,
- signal cable screens,
- structures, metal guards of electronic devices used for other purposes than conducting current within a circuit,
- conduits used for other purposes than powering electronic devices, i.e., their gas, water supply lines,
- electronic device housing elements (fig. 2).

3. Assessment of the impact of strong electromagnetic pulses on the functioning of selected electronic devices

A comprehensive assessment of a specific electronic device in terms of strong electromagnetic pulses it can be impacted by requires a structured set of values. They should be measurable, and one should rather avoid descriptive indicators. The obtained set of criteria containing specified indicators should enable a functional verification of the analysed device, in the event of an intentional disruption of its operation through exposure to a strong electromagnetic pulse. Such an approach will enable the comparison of various technical solutions (mechanical, electromechanical, electronic, construction) or organizational measures (operating procedures) aimed at increasing the resistance of an electronic device to electromagnetic interference. This will allow to decide on the selection of a specific solution aimed at increasing the safety of a facility against the impact of strong electromagnetic pulses.

Important factors influencing the selection of a specific solution (group of solutions) in the field of protecting a given electronic device against the impact of electromagnetic pulses and selecting criteria together with its assessment indicators are:

- topology of the facility housing the electronic device (land relief, afforestation, vegetation type, terrain obstacles, access road shape),
- climatic conditions (precipitation, season, weather conditions),
- organizational measures (operating procedures) aimed at increasing the safety of a facility against electromagnetic interference,
- technical solutions (mechanical, electromechanical, electronic, construction) aimed at increasing the resistance of an electronic device to electromagnetic interference.

Taking the above factors into account will enable a comprehensive selection of strong electromagnetic pulse impact indicators for assessing a particular electronic device.

Other important issues, which shall be taken into account when selecting a specific solution aimed at increasing the level of electromagnetic safety of a given electronic device are:

- implementation time for a specific technical solution,
- implementation time for a specific organizational measure,
- implementation cost of a specific technical solution,
- implementation cost of a specific organizational measure.

The basis for the creation of a set of selected indicators determining the impact of strong electromagnetic pulses on the electronic device in question also includes the task, which the device is to execute and the set targets to be achieved by the device.

A following group of indicators characterized by an electromagnetic compatibility criterion is suggested in order to evaluate the impact of strong electromagnetic pulses on the operation of electronic devices (used in transport, radiolocation systems and transport traffic control systems):

- resistance to electromagnetic interference (specifies whether a facility is resistant to the impact of strong electromagnetic pulses),
- permissible interference level (specifies the limit value of interference, which can occur within a device, for it to remain in a state of fitness),
- uninterrupted system operation reserve (difference between the useful signal level and the permissible interference level),
- screening efficiency (specifies the effectiveness of applied solutions aimed at mitigating the impact of strong electromagnetic pulses on the device),
- screening survivability (the ability to maintain a state of fitness by the applied solutions after a single exposure of the device to a strong electromagnetic pulse),
- screening efficiency degree of degradation (specifies the decrease in the efficiency of the applied solutions, as a result of the device being exposed to a strong electromagnetic pulse).

Of course, apart from the aforementioned indicators characterizing electromagnetic compatibility, a comprehensive evaluation of the strong electromagnetic pulse impact on the operation of electronic devices, one shall also take into account the aspects regarding reliability, operation and the cost-effectiveness of applied solutions. In the course of further analysis, the authors plan to apply the proposed indicators and the AHP method (*Analytic Hierarchy Process*

[5, 22]) in order to obtain a tool supporting the decision-makers in deciding on the kind of technical solutions and organizational measures aimed at increasing the electromagnetic safety level of electronic devices.

4. Conclusions

The article suggests specific indicators, which enable assessing the impacts of strong electromagnetic pulses on the functioning of selected electronic devices.

The application of selected criteria within a specific electronic device enables the assessment of potentially feasible solutions (i.a., technical, functional, organizational), which will increase the safety (resistance) level of an analysed device to the impact of strong electromagnetic pulses.

Effective implementations of solutions increasing the level of electromagnetic safety requires a system-wise approach towards this issue. It is important to achieve certain effects not only within the subsystems, because in such a case, the outcome within the entire facility/device can be minor. The achieved safety level will be only local, without global effects within the facility/device.

In the course of further research on the scientific issue presented in the article, the authors plan to conduct modelling with the use of a defined mathematical apparatus, in order to numerically assess the specified solutions, which increase the level of resistance to electromagnetic pulses among electronic devices.

The article was edited due to the implementation of a project financed by The National Centre for Research and Development, concerning research and development works for defense and national security no. DOB-1-3/1/PS/2014 "Methods and systems for protection against HPE-M pulses".

5. References

1. Badyor M. P., In'kov Yu. M.: Electromagnetic compatibility of a traction power supply system and infrastructure elements in areas with high traffic. Russian Electrical Engineering, vol. 85, no. 8, 2014.
2. Burdzik R., Konieczny Ł., Figlus T.: Concept of on-board comfort vibration monitoring system for vehicles, in: Activities of Transport Telematics. TST 2013, ed. J. Mikulski, CCIS 395, Springer, Heidelberg 2013.
3. Charoy A.: Interference in electronic devices. WNT, Warsaw 1999.

4. Chmielińska J., Kuchta M., Kubacki R., Dras M., Wierny K.: Selected methods of electronic equipment protection against electromagnetic weapon. *Przegląd elektrotechniczny*, nr 1/2016.
5. Downarowicz O., Krause J., Sikorski M., Stachowski W.: Zastosowanie metody AHP do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego. In: *Wybrane metody ergonomii i nauki o eksploatacji*, ed. O. Downarowicz, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2000.
6. Dras M., Kałuski M., Szafrńska M.: HPM pulses – disturbances and systems interaction – basic issues. *Przegląd elektrotechniczny*, nr 11/2015.
7. Duer S., Zajkowski K., Płocha I., Duer R.: Training of an artificial neural network in the diagnostic system of a technical object. *Neural Computing & Applications*, vol. 22, no. 7, 2013.
8. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: *The basic of the exploitation of transport electronic systems*, Publishing House of Radom University of Technology, Radom, 2011.
9. Dziubiński 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.
10. Grabski F., Jaźwiński J.: *Metody bayesowskie w niezawodności i diagnostyce*. WKiŁ, Warszawa 2001.
11. Kierzkowski A., Kisiel T.: Simulation model of security control system functioning: A case study of the Wrocław Airport terminal. *Journal of Air Transport Management*, 64(B), 2016.
12. Kierzkowski A., Kisiel T.: Airport security screeners reliability analysis. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM 2015*, Singapore, 2015.
13. Kornaszewski M., Chrzan M., Olczykowski Z.: Implementation of new solutions of intelligent transport systems in railway transport in Poland. In: *Communications in Computer and Information Science*, Springer, 2017.
14. Kuchta M., Paś J.: Electromagnetic terrorism — threats in buildings. *Biuletyn WAT*, vol. LXIV, nr 2, 2015.
15. Lheurette E. (ed.): *Metamaterials and Wave Control*. ISTE and Wiley, 2013.
16. Ogunsola A, Mariscotti A.: *Electromagnetic compatibility in railways. Analysis and management*. Springer-Verlag, 2013.
17. Ott H.W.: *Electromagnetic compatibility engineering*. Wiley, 2009.
18. Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 19(3), 2017.
19. Paś J.: *Operation of electronic transportation systems*. Publishing House University of Technology and Humanities, Radom 2015.
20. Przesmycki R., Wnuk M.: Susceptibility of IT devices to HPM pulse. *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 8, no. 2, 2018.

21. Rosiński A.: Modelling the maintenance process of transport telematics systems. Publishing House Warsaw University of Technology, Warsaw 2015.
22. Saaty T.L., Vargas L.G.: Decision making with the analytic network process. Economic, political, social, and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. Springer Science&Business Media, 2006.
23. 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, eds. H. Selvaraj, G. Chmaj, D. Zydek, IEEE Computer Society Conference Publishing Services (CPS), Las Vegas, Nevada, USA, 2017.
24. 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, 10(9), 2016.
25. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A.: Reliability-exploitation analysis of the alarm columns of highway emergency communication system. Journal of KONBiN 2(38), 2016. DOI 10.1515/jok-2016-0018.
26. Stawowy M., Kasprzyk Z.: Identifying and simulation of status of an ICT system using rough sets. In: Proceedings of the Tenth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX, eds. W. Zamojski, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, T. Walkowiak, J. Kacprzyk, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, vol. 365. Springer, 2015.
27. Werbińska-Wojciechowska S.: Modele utrzymania wieloelementowych obiektów technicznych – stan wiedzy. In: Problemy utrzymania systemów technicznych, ed. M. Siergiejczyk, Warszawa 2014.
28. White R.D., McCormack L.M., Hooper P.W.: Electrical System Integration, Electromagnetic Compatibility (EMC) Interface Management of Railway Electrification Systems. HKIE Transactions, vol. 13, no 1, 2006.

PROBLEMATYKA OCENY ODDZIAŁYWANIA SILNYCH IMPULSÓW ELEKTROMAGNETYCZNYCH NA FUNKCJONOWANIE WYBRANYCH URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH

1. Wprowadzenie

Analizując proces eksploatacji wybranych urządzeń elektronicznych (m.in. stosowanych w łączności, systemach radiolokacyjnych, systemach sterowania ruchem w transporcie), można stwierdzić, że funkcjonują one w zróżnicowanych warunkach. Zatem ich przebywanie w stanie zdadności jest zależne nie tylko od niezawodności podsystemów je tworzących, ale także od efektywnego zarządzania ich procesem eksploatacyjnym [27]. Jednym z istotniejszych zagadnień jest również podatność i odporność na oddziaływanie silnych impulsów elektromagnetycznych [6, 20]. Zatem określenie wskaźników oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie wybranych urządzeń elektronicznych wymaga szerszego podejścia niż tylko analiza kompatybilności elektromagnetycznej podsystemów je tworzących [4,14]. Istotne jest, by podczas oceny oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na urządzenia elektroniczne kompleksowo je przeprowadzić, uwzględniając różnorodne kryteria (np. eksploatacyjne, techniczne, ekonomiczne).

Urządzenia elektroniczne są obecnie powszechnie stosowane w wielu systemach (np. łączności, radiolokacyjnych, sterowania ruchem w transporcie). Są one eksploatowane w różnych warunkach otaczającego je środowiska elektromagnetycznego [9, 18, 24]. W środowiskach tych istnieją źródła zaburzeń elektromagnetycznych, które można podzielić na zamierzone lub niezamierzone (inny podział to: stacjonarne lub ruchome). Wpływają one na funkcjonowanie urządzeń elektronicznych, czego skutkiem może być zakłócenie ich pracy. Ponieważ bardzo często realizują one odpowiedzialne funkcje (np. w procesie transportowym pasażerów [11,12]), powinny działać niezawodnie [16].

Każde urządzenie elektryczne lub elektroniczne jest zasilane energią elektryczną, a zatem emituje własne pole elektromagnetyczne. Urządzenia elektroniczne eksploatowane na obszarach transportowych powinny prawidłowo

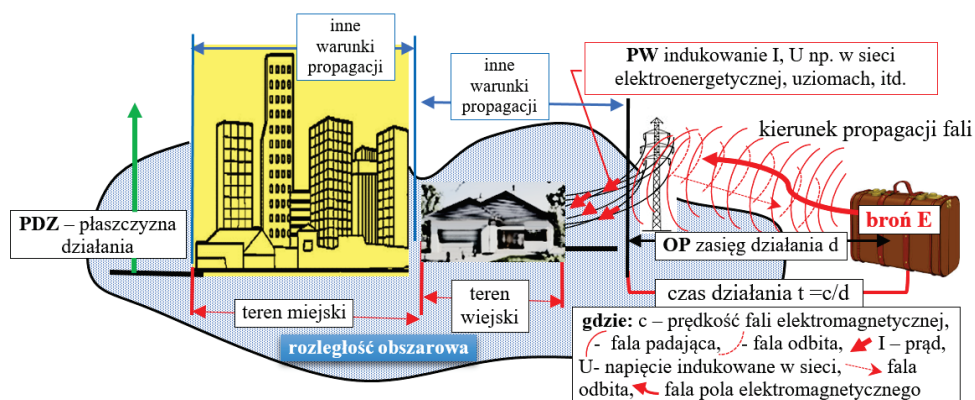
funkcjonować niezależnie od zakłóceń (w dopuszczalnych zakresie poziomów). Wzajemne współistnienie urządzeń elektronicznych (oraz elektrycznych) i ich prawidłowe funkcjonowanie w określonym środowisku elektromagnetycznym oraz działanie bez wprowadzania w to środowisko niedopuszczalnych zniekształceń elektromagnetycznych zostało zdefiniowane jako kompatybilność elektromagnetyczna [3,17].

W literaturze przedmiotu można znaleźć liczne rozważania z zakresu analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej uwzględniającej zarówno struktury niezawodnościowe (m.in. szeregową, równoległą, szeregowo-równoległą), jak i wpływ zakłóceń elektromagnetycznych [10, 19, 21]. Dotychczas jednak nie zaproponowano kompleksowych rozwiązań z zakresu oceny oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie urządzeń elektronicznych.

Obecnie urządzenia elektroniczne muszą spełniać wiele różnorodnych kryteriów, m.in.: miniaturyzacja, ograniczenie poboru energii elektrycznej, duża funkcjonalność [7, 13, 26] i niezawodność [23, 25], odporność na wibracje [2]. Stosowane są zatem różne rozwiązania konstrukcyjne, których efektem jest zmniejszenie różnicy pomiędzy poziomem sygnałów użytecznych a poziomem zakłóceń generowanych przez różne stacjonarne i ruchome źródła zakłóceń (np. linie średnich i wysokich napięć, stacje transformatorowe, urządzenia elektryczne). Dlatego też istotne staje się zagadnienie oceny oddziaływania impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie urządzeń elektronicznych. Rozważania z tego obszaru zostały przedstawione w niniejszym artykule.

2. Oddziaływanie silnych impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie wybranych urządzeń elektronicznych

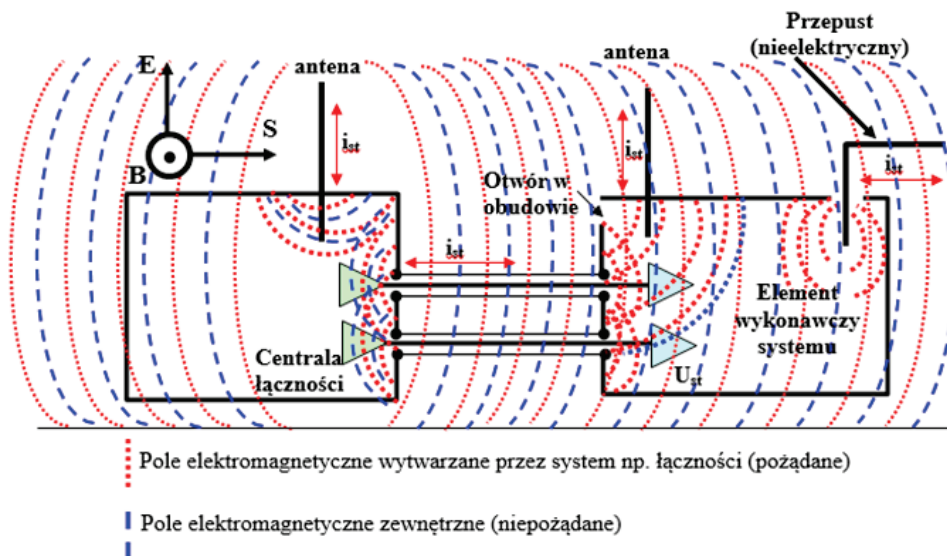
Pojęcie kompatybilności elektromagnetycznej można zdefiniować jako możliwość współistnienia sygnału użytecznego i zakłócenia bez utraty informacji zawartej w sygnale. Rozszerzając pojęcie kompatybilności elektromagnetycznej w odniesieniu do określonego urządzenia elektronicznego, definicję można zapisać następująco: element środowiska elektromagnetycznego urządzenia elektronicznego uważa się za kompatybilny, jeżeli wzajemne oddziaływanie danego elementu z innymi elementami tego środowiska może być wzajemnie tolerowane.



Rys. 1. Oddziaływanie silnych impulsów elektromagnetycznych na wybrane obiekty

Na rys. 1 przedstawiono oddziaływanie silnych impulsów elektromagnetycznych na wybrane obiekty na rozległym obszarze. Istotną kwestią w określeniu tego oddziaływania jest m.in. zasięg działania impulsów elektromagnetycznych uwarunkowany propagacją fali, ukształtowaniem terenu, warunkami środowiskowymi, parametrami technicznymi źródła promieniowania, a także rodzajem materiałów budowlanych (przegród z których wykonane są ochraniające obiekty i budynki). Ma to istotny wpływ na tłumienie fali elektromagnetycznej.

Zagadnienie kompatybilności elektromagnetycznej systemów i urządzeń elektronicznych jest często poruszane w literaturze. W publikacji [15] scharakteryzowano problematykę stosowania różnych materiałów do budowy ruchomych środków transportowych i ich wpływ (w tym m.in. ekranowania) na spełnienie wymagań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej. Stosowanie określonych materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych skutkuje zmniejszeniem poziomu zakłóceń elektromagnetycznych oddziałujących na urządzenia elektroniczne [1, 28]. Na rys.2 przedstawiono problematykę przenikania zakłóceń elektromagnetycznych do elementów systemów teleinformatycznych. Istotne jest, by prawidłowo zaprojektować zarówno samo urządzenie elektroniczne, jak i jego obudowę wraz z odpowiednim zabezpieczeniem wejść/wyjść.



Rys. 2. Przenikanie zakłóceń elektromagnetycznych do elementów systemów teleinformatycznych

Jeżeli fala elektromagnetyczna napotyka strukturę przewodzącą urządzenia elektronicznego, wówczas indukuje w niej napięcia i prądy. Niepożądanymi antenami występującymi w urządzeniu elektronicznym są m.in. następujące części konstrukcyjne [8]:

- przewody elektryczne sygnałowe i zasilające,
- ekrany przewodów sygnałowych,
- konstrukcje, osłony metalowe urządzeń elektronicznych, służące innym celom niż przewodzenie prądu elektrycznego w obwodzie,
- przewody służące innym celom niż elektryczne zasilanie urządzeń elektronicznych, tj. przewody gazowe, wodociągowe,
- części obudowy urządzenia elektronicznego (rys. 2).

3. Ocena oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie wybranych transportowych urządzeń elektronicznych

Kompleksowa ocena określonego urządzenia elektronicznego w aspekcie wpływu silnych impulsów elektromagnetycznych, które na nie mogą oddziaływać, wymaga usystematyzowanego zbioru wartości. Powinny one być mierzalne i raczej

należy unikać wskaźników opisowych. Uzyskany zbiór kryteriów zawierających określone wskaźniki powinien umożliwić weryfikację funkcjonowania urządzenia po wystąpieniu celowego zaburzenia jego działania silnym impulsem elektromagnetycznym. Takie podejście pozwoli na porównanie różnego rodzaju rozwiązań technicznych (mechanicznych, elektromechanicznych, elektronicznych, budowlanych) czy środków organizacyjnych (procedury działania) w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa urządzenia elektronicznego przed zakłóceniami elektromagnetycznymi. Dzięki temu będzie można zdecydować o wyborze określonego rozwiązania w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa obiektu przed oddziaływaniem silnych impulsów elektromagnetycznych.

Istotnymi czynnikami wpływającymi na wybór konkretnego rozwiązania (grupy rozwiązań) z zakresu ochrony określonego urządzenia elektronicznego przed oddziaływaniem silnych impulsów elektromagnetycznych i doboru kryteriów wraz ze wskaźnikami do jego oceny są:

- topologia geograficzna obiektu, w którym znajduje się urządzenie elektroniczne (ukształtowanie rzeźby terenu, zalesienie, rodzaj roślinności, przeszkody terenowe, ukształtowanie dróg dojazdowych),
- warunki klimatyczne (opady atmosferyczne, pora roku, warunki atmosferyczne),
- środki organizacyjne (procedury działania) w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa obiektu przed zakłóceniami elektromagnetycznymi,
- rozwiązania techniczne (mechaniczne, elektromechaniczne, elektroniczne, budowlane) w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa obiektu przed zakłóceniami elektromagnetycznymi.

Uwzględnienie powyższych czynników umożliwi kompleksowy dobór wskaźników oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych do oceny określonego urządzenia elektronicznego.

Kolejnymi istotnymi kwestiami, które należy uwzględnić podczas wyboru określonego rozwiązania, są:

- czas wdrożenia określonego rozwiązania technicznego,
- czas wdrożenia określonego środka organizacyjnego,
- koszt wdrożenia określonego rozwiązania technicznego,
- koszt wdrożenia określonego środka organizacyjnego.

Podstawą do tworzenia zbioru wskaźników określających oddziaływanie silnych impulsów na urządzenie elektroniczne są również zadania, jakie ma realizować i zadane cele, które muszą być osiągnięte przez analizowane urządzenie.

W celu oceny oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie urządzeń elektronicznych (stosowanych w łączności, systemach

radiolokacyjnych, systemach sterowania ruchem w transporcie) proponuje się następującą grupę wskaźników charakteryzujących kryterium kompatybilności elektromagnetycznej:

- odporność na zakłócenia elektromagnetyczne (określa, czy obiekt jest odporny na oddziaływanie silnych impulsów elektromagnetycznych),
- dopuszczalny poziom zakłóceń (określa maksymalną wartość poziomu zakłóceń, jaka może wystąpić w urządzeniu, by nadal znajdowało się w stanie zdatności),
- zapas niezakłóconej pracy systemu (różnica między poziomem sygnału użytecznego a dopuszczalnym poziomem zakłóceń),
- skuteczność ekranowania (określa skuteczność zastosowanych rozwiązań na zmniejszenie oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na urządzenie),
- przeżywalność ekranowania (zdolność do zachowania stanu zdatności zastosowanych rozwiązań po jednokrotnym oddziaływaniu silnego impulsu elektromagnetycznego na urządzenie),
- stopień degradacji skuteczności ekranowania (określa zmniejszenie skuteczności zastosowanych rozwiązań w wyniku oddziaływania silnego impulsu elektromagnetycznego na urządzenie).

Oczywiście oprócz wyżej wymienionych wskaźników charakteryzujących kompatybilność elektromagnetyczną, w całościowej ocenie oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie urządzeń elektronicznych należy także uwzględnić aspekty dotyczące niezawodności, eksploatacji i zasadności ekonomicznej zastosowanych rozwiązań. W dalszej analizie autorzy planują zastosować zaproponowane wskaźniki i metodę AHP (analityczny proces hierarchiczny, ang. *Analytic Hierarchy Process* [5,22]) w celu uzyskania narzędzia wspierającego decydentów w podejmowaniu decyzji co do rodzaju rozwiązań technicznych i środków organizacyjnych w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa urządzeń elektronicznych przed oddziaływaniem silnych impulsów elektromagnetycznych.

4. Podsumowanie

W artykule zaproponowano określone wskaźniki, które umożliwiają ocenę oddziaływania silnych impulsów elektromagnetycznych na funkcjonowanie wybranych urządzeń elektronicznych.

Zastosowanie wybranych wskaźników w określonym urządzeniu elektronicznym pozwala na ocenę możliwych do wdrożenia rozwiązań (m.in.

technicznych, funkcjonalnych, organizacyjnych), które zwiększą poziom bezpieczeństwa – odporności urządzeń na oddziaływanie silnych impulsów elektromagnetycznych.

Efektywne wdrożenia rozwiązań zwiększających poziom bezpieczeństwa w tej dziedzinie wymaga systemowego ujmowania problemu. Istotne jest, by uzyskać określone efekty nie tylko w poszczególnych podsystemach, bo wówczas efekty w całym obiekcie / urządzeniu mogą być nieznaczące. Uzyskany wówczas określony poziom bezpieczeństwa będzie tylko lokalny, bez efektów globalnych w obiekcie / urządzeniu.

W dalszych pracach autorzy planują przeprowadzić modelowanie z wykorzystaniem określonego aparatu matematycznego w celu liczbowej oceny określonych rozwiązań zwiększających poziom odporności urządzeń elektronicznych na oddziaływanie silnych impulsów elektromagnetycznych.

Artykuł opracowano w związku z realizacją projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, dotyczącego badań naukowych i prac rozwojowych na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa nr DOB-1-3/1/PS/2014 „Metody i sposoby ochrony i obrony przed impulsami HPM”.

5. Literatura

1. Badyor M. P., In'kov Yu. M.: Electromagnetic compatibility of a traction power supply system and infrastructure elements in areas with high traffic. *Russian Electrical Engineering*, vol. 85, no. 8, 2014.
2. Burdzik R., Konieczny Ł., Figlus T.: Concept of on-board comfort vibration monitoring system for vehicles. W: *Activities of Transport Telematics*. TST 2013, ed. J. Mikulski, CCIS 395, Springer, Heidelberg 2013.
3. Charoy A.: *Interference in electronic devices*. WNT, Warsaw 1999.
4. Chmielińska J., Kuchta M., Kubacki R., Dras M., Wierny K.: Selected methods of electronic equipment protection against electromagnetic weapon. *Przegląd elektrotechniczny*, nr 1/2016.
5. Downarowicz O., Krause J., Sikorski M., Stachowski W.: Zastosowanie metody AHP do oceny i sterowania poziomem bezpieczeństwa złożonego obiektu technicznego. In: *Wybrane metody ergonomii i nauki o eksploatacji*, red. O. Downarowicz, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2000.
6. Dras M., Kałuski M., Szafrńska M.: HPM pulses – disturbances and systems interaction – basic issues. *Przegląd elektrotechniczny*, nr 11/2015.

7. Duer S., Zajkowski K., Płocha I., Duer R.: Training of an artificial neural network in the diagnostic system of a technical object. *Neural Computing & Applications*, vol. 22, no. 7, 2013.
8. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: The basic of the exploitation of transport electronic systems, Publishing House of Radom University of Technology, Radom, 2011.
9. 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.
10. Grabski F., Jaźwiński J.: *Metody bayesowskie w niezawodności i diagnostyce*. WKiŁ, Warszawa 2001.
11. Kierzkowski A., Kisiel T.: Simulation model of security control system functioning: A case study of the Wrocław Airport terminal. *Journal of Air Transport Management*, 64(B), 2016.
12. Kierzkowski A., Kisiel T.: Airport security screeners reliability analysis. W: *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM 2015*, Singapore, 2015.
13. Kornaszewski M., Chrzan M., Olczykowski Z.: Implementation of new solutions of intelligent transport systems in railway transport in Poland. In: *Communications in Computer and Information Science*, Springer, 2017.
14. Kuchta M., Paś J.: Electromagnetic terrorism — threats in buildings. *Biuletyn WAT*, vol. LXIV, nr 2, 2015.
15. Lheurette E. (ed.): *Metamaterials and Wave Control*. ISTE and Wiley, 2013.
16. Ogunsola A, Mariscotti A.: *Electromagnetic compatibility in railways. Analysis and management*. Springer-Verlag, 2013.
17. Ott H.W.: *Electromagnetic compatibility engineering*. Wiley, 2009.
18. Paś J., Rosiński A.: Selected issues regarding the reliability-operational assessment of electronic transport systems with regard to electromagnetic interference. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 19(3), 2017.
19. Paś J.: *Operation of electronic transportation systems*. Publishing House University of Technology and Humanities, Radom 2015.
20. Przesmycki R., Wnuk M.: Susceptibility of IT devices to HPM pulse. *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 8, no. 2, 2018.
21. Rosiński A.: *Modelling the maintenance process of transport telematics systems*. Publishing House Warsaw University of Technology, Warsaw 2015.
22. Saaty T.L., Vargas L.G.: *Decision making with the analytic network process. Economic, political, social, and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*. Springer Science&Business Media, 2006.
23. Sergiejczyk 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*, eds. H. Selvaraj, G. Chmaj, D. Zydek, IEEE Computer Society Conference Publishing Services (CPS), Las Vegas, Nevada, USA, 2017.

24. 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*, 10(9), 2016.
25. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A.: Reliability-exploitation analysis of the alarm columns of highway emergency communication system. *Journal of KONBiN* 2(38), 2016. DOI 10.1515/jok-2016-0018.
26. Stawowy M., Kasprzyk Z.: Identifying and simulation of status of an ICT system using rough sets. In: *Proceedings of the Tenth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX*, red. W. Zamojski, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, T. Walkowiak, J. Kacprzyk, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent systems and computing”, vol. 365. Springer, 2015.
27. Werbińska-Wojciechowska S.: *Modele utrzymania wieloelementowych obiektów technicznych – stan wiedzy*. W: *Problemy utrzymania systemów technicznych*, red. M. Siergiejczyk, Warszawa 2014.
28. White R.D., McCormack L.M., Hooper P.W.: *Electrical System Integration, Electromagnetic Compatibility (EMC) Interface Management of Railway Electrification Systems*. *HKIE Transactions*, vol. 13, no 1, 2006.