

ANALIZA NIEZAWODNOŚCIOWO-EKSPLOATACYJNA UKŁADU ZASILANIA STACJONARNYCH OBIEKTÓW TRANSPORTOWYCH

W artykule przedstawiony został układ zasilania systemu telematyki transportu, który jest stosowany w stacjonarnych obiektach transportowych. Dokonano analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej tego układu. Takie podejście umożliwiło wyznaczenie zależności, które pozwalających na obliczenie wartości prawdopodobieństw przebywania układu zasilania (w ujęciu symbolicznym) w stanach funkcjonalnych: pełnej zdatności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i S_{ZB2} oraz zawadności bezpieczeństwa S_B .

WSTĘP

Telematyka transportu jest dziedziną wiedzy i działalności technicznej, która integruje informatykę i telekomunikację w różnych rozwiązaniach stosowanych dla potrzeb systemów transportowych. Umożliwia to projektowanie, implementację, a następnie eksploatację zintegrowanych systemów pomiarowych, telekomunikacyjnych, informatycznych, informacyjnych oraz aplikacji telematycznych, zarówno przez podróżnych, przewoźników jak też i przedsiębiorstwa zajmujące się świadczeniem usług transportowych [6,10,18].

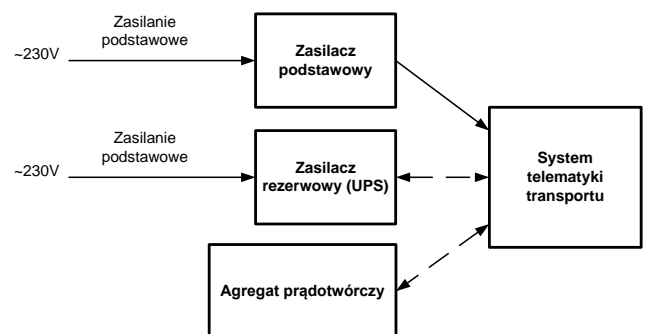
Systemy telematyki transportu są obecnie przedmiotem wielu opracowań i rozważań naukowych. Dzieje się tak, ponieważ obecnie rozwój transportu jest priorytetem (zarówno na szczeblu krajowym poszczególnych państw, jak też całej Unii Europejskiej). Gęstość ruchu na drogach kołowych jest tak duża, że bez racjonalnych działań w kierunku budowy i rozbudowy dróg grozi paraliż komunikacyjny. Zatem problematyka transportu jest w centrum zainteresowania naukowców [3,5,9], projektantów i instytucji rządowych.

Systemy telematyki transportu by niezawodnie funkcjonować wymagają określonego rodzaju zasilania. Nie wystarczy doprowadzić zasilanie o wymaganych parametrach (tj. odpowiedniej wartości napięcia wejściowego, częstotliwości i wydajności prądowej) dla danego urządzenia, ale także konieczne jest zagwarantowanie określonych wartości wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych, by zapewnić ciągłość zasilania. Samo doprowadzenie energii elektrycznej do urządzenia nie jest równoznaczne z zapewnieniem jego ciągłości pracy [2,21]. Zanik napięcia zasilającego w głównych elektronicznych systemach telematyki transportu jest niedopuszczalny i może skutkować brakiem realizacji części funkcji do których te systemy zostały zaprojektowane.

W niniejszym artykule szczególną uwagę skupiono na układzie zasilania, który jest stosowany w stacjonarnych obiektach transportowych w systemach telematyki transportu. Poprzednie rozważania dotyczyły różnorodnych aspektów różnych systemów telematyki transportu [16,17,20] (także z uwzględnieniem kompatybilności elektromagnetycznej [13,19]). W funkcjonowaniu tego typu rozwiązań bardzo ważne są również kwestie związane z prawidłowym zaprojektowaniem i funkcjonowaniem układów zasilania w aspekcie prawnym [7,8]. Analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna układu zasilania została zaprezentowana w kolejnym rozdziale niniejszego artykułu.

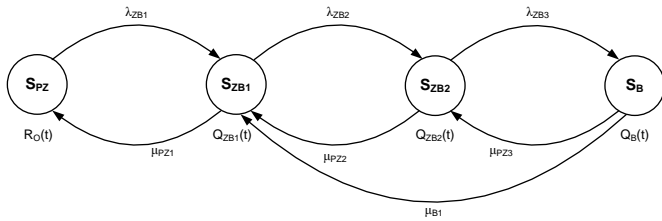
1. ANALIZA NIEZAWODNOŚCIOWO-EKSPLOATACYJNA UKŁADU ZASILANIA SYSTEMU TELEMATYKI TRANSPORTU W STACJONARNYM OBIEKcie TRANSPORTOWYM

Podczas eksploatacji układów zasilania systemu telematyki transportu (zastosowanego w stacjonarnym obiekcie transportowym) występują różnego rodzaju czynniki, które powodują, że każdy z nich po pewnym czasie od chwili uruchomienia może przejść ze stanu zdatności do stanu niezdatności [1,4,22]. W celu zwiększenia wartości prawdopodobieństwa przebywania w stanie zdatności stosuje się różnego rodzaju rozwiązania [11,12,14,15]. Jednym z nich jest zastosowanie dodatkowych źródeł zasilających. Zatem, jeśli oprócz zasilania podstawowego z sieci energetycznej, zastosuje się dodatkowo zasilanie w postaci zasilacza rezerwowego UPS i agregatu prądotwórczego, to zasilanie przyjmie postać jak przedstawiono to na rys. 1.



Rys. 1. Przykład zasilania systemu telematyki transportu z trzech źródeł zasilania [źródło: opracowanie własne]

Przeprowadzając analizę systemu zasilania przedstawionego na rys. 1, można stwierdzić iż relacje w nim zachodzące w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym mogą być zobrazowane tak jak ukazano to na rys. 2.



Rys. 2. Relacje w systemie zasilania systemu telematycznego transportu [źródło: opracowanie własne]

Oznaczenia na rys.:

$R_0(t)$ – 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_{B1} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} .

Stan pełnej zdadności S_{PZ} jest stanem w którym prawidłowo funkcjonują wszystkie trzy źródła zasilania (zarówno podstawowe jak i oba rezerwowe). Stan zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB1} jest stanem w którym zasilanie podstawowe jest niezdatne. Stan zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB2} jest stanem w którym zarówno zasilanie podstawowe jak i zasilanie rezerwowe w postaci zasilacza awaryjnego UPS są niezdatne. Stan zawodności bezpieczeństwa Q_B jest stanem w którym trzy źródła zasilania są niezdatne.

Będąc w stanie pełnej zdadności S_{PZ} w przypadku uszkodzenia zasilania podstawowego następuje przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} z intensywnością λ_{ZB1} . Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} możliwe jest przejście do stanu pełnej zdadności S_{PZ} w przypadku podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdadności zasilaniu podstawowemu.

Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} w przypadku uszkodzenia zasilacza rezerwowego UPS następuje przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} z intensywnością λ_{ZB2} . Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} możliwe jest przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} w przypadku podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdadności zasilacza rezerwowemu UPS.

Będąc w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} w przypadku uszkodzenia agregatu prądowłórczego następuje przejście do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B z intensywnością λ_{ZB3} . Będąc w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B możliwe jest przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} w przypadku podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdadności agregatowi prądowłórczemu.

Będąc w stanie zawodności bezpieczeństwa S_B możliwe jest przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} w przypadku przywrócenia stanu zdadności dwóm źródłom zasilania rezerwowego (tj. UPS i agregat prądowłórczy).

System przedstawiony na rysunku 2 może być opisany następującymi równaniami Kołmogorowa-Chapmana:

$$R_0'(t) = -\lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}(t)$$

$$Q_{ZB1}'(t) = \lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}(t) - \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}(t) + \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}(t) + \mu_{B1} \cdot Q_B(t) \quad (1)$$

$$Q_{ZB2}'(t) = \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}(t) - \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}(t) - \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}(t) + \mu_{PZ3} \cdot Q_B'(t)$$

$$Q_B'(t) = \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}(t) - \mu_{PZ3} \cdot Q_B(t) - \mu_{B1} \cdot Q_B(t)$$

Przyjmując warunki początkowe:

$$R_0(0) = 1 \quad (2)$$

$$Q_{ZB1}(0) = Q_{ZB2}(0) = Q_B(0) = 0$$

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

$$s \cdot R_0^*(s) - 1 = -\lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}^*(s)$$

$$s \cdot Q_{ZB1}^*(s) = \lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}^*(s) - \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}^*(s) + \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) + \mu_{B1} \cdot Q_B^*(s) \quad (3)$$

$$s \cdot Q_{ZB2}^*(s) = \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB1}^*(s) - \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}^*(s) + \mu_{PZ3} \cdot Q_B^*(s)$$

$$s \cdot Q_B^*(s) = \lambda_{ZB3} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \mu_{PZ3} \cdot Q_B^*(s) - \mu_{B1} \cdot Q_B^*(s)$$

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

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

$$Q_{ZB1}^*(s) = \frac{\lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} - c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1}}{a \cdot b \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + \mu_{B1} \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \lambda_{ZB3} - \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} \cdot \lambda_{ZB3} \cdot \mu_{PZ3} + a \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB2} \cdot \mu_{PZ2} + c \cdot d \cdot s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ1} - a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot s} \quad (4)$$

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

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

gdzie:

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

W powyższym wyniku pominięto w oznaczeniach symbol „*” i „s” przy prawdopodobieństwach przebywania systemu w wyróżnionych stanach R_0 , Q_{ZB1} , Q_{ZB2} , Q_B .

Przeprowadzając dalszą analizę matematyczną otrzymuje się zależności pozwalające na wyznaczenie prawdopodobieństw przebywania układu zasilania w stanach: pełnej zdatności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i S_{ZB2} oraz zawodności bezpieczeństwa S_B .

PODSUMOWANIE

Problematyka przedstawiona w artykule dotyczyła układu zasilania systemu telematiki transportu zastosowanego w stacjonarnym obiekcie transportowym. Zaprezentowano schematycznie układ zasilania złożony z trzech podsystemów, tj.: sieci energetycznej 230V AC, zasilacza rezerwowego UPS i agregatu prądotwórczego. Przeprowadzona analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna tego układu pozwoliła na wyznaczenie zależności umożliwiających obliczenie wartości prawdopodobieństw przebywania układu zasilania (w ujęciu symbolicznym) w stanach funkcjonalnych: pełnej zdatności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i S_{ZB2} oraz zawodności bezpieczeństwa S_B . W dalszych rozważaniach naukowych planuje się przeprowadzenie dalszych analiz uwzględniających inne typy układów zasilania. Konieczne wydaje się też, by opracować program komputerowy, który będzie egzemplifikacją otrzymanych rozważań.

BIBLIOGRAFIA

1. Będkowski L., Dąbrowski T., *Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
2. Billinton R., Allan R. N., *Reliability evaluation of power systems*, Plenum Press, New York 1996.
3. Burdzik R., Konieczny Ł., *Research on structure, propagation and exposure to general vibration in passenger car for different damping parameters*, Journal of Vibroengineering, vol. 15, issue 4, 2013, pp. 1680-1688.
4. Dyduch J., Paś J., Rosiński A., *Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
5. Jacyna M., Lewczuk K., Szczepański E., Gołębiowski P., Jachimowski R., Klodawski M., Pyza D., Sivets O., Wasiaś M., Zak J., Jacyna-Golda I., *Effectiveness of national transport system according to costs of emission of pollutants*, in „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczu.A. & Werbińska-Wojciechowska S. CRC Press/Balkema, London 2015. pp. 559-567.
6. Kasprzyk Z., Rychlicki M., *Analysis of physical layer model of WLAN 802.11g data transmission protocol in wireless networks used by telematic 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. 265-274.
7. Krzykowski M., *Ochrona odbiorców wrażliwych energii elektrycznej i paliw gazowych – uwarunkowania prawne*, Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, tom 17, zeszyt 3, 2014, str. 257-268.
8. Krzykowski M., *Rozstrzygnięcie sporów pomiędzy deweloperem a przedsiębiorstwem energetycznym na tle umów przyłączeniowych*, praca zbiorowa „Działalność deweloperska w praktyce obrotu gospodarczego. Wybrane zagadnienia” pod redakcją Królikowska-Olczak M., Bieranowski A., Zięty J. Warszawa 2014. str. 331-344.
9. Lewczuk K., Zak J., Klodawski M., *Model of dynamic allocation of resources to the tasks of warehousing process*, Proceedings CLC 2013, Carpathian Logistics Congress, Cracow 2013, pp. 542-548.
10. Łubkowski P., Laskowski D., *Selected issues of reliable identification of object in transport systems using video monitoring services*, Communication in Computer and Information Science, vol. 471, Springer, Berlin Heidelberg 2015, pp 59-68.
11. Paś J., *Eksploatacja elektronicznych systemów transportowych*, Uniwersytet Technologiczno - Humanistyczny, Radom 2015.
12. Paś J., *Selected methods for increases reliability the of electronic systems security*, Journal of KONBiN, 3(35) 2015, pp. 147-156.
13. Paś J., *Shock a disposable time in electronic security systems*, Journal of KONBiN 2(38) 2016, pp. 5-31.
14. Rosiński A., *Modelowanie procesu eksploatacji systemów telematiki transportu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2015.
15. Rosiński A., *Reliability-exploitation analysis of power supply in transport telematics system*, in: „Safety and Reliability: Methodology and Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2014”, editors: Nowakowski T., Młyńczak M., Jodejko-Pietruczuk A., Werbińska-Wojciechowska S. CRC Press/Balkema, 2015. pp. 343-347.
16. Siergiejczyk M., Chmiel J., Rosiński A., *Reliability analysis of highway emergency response systems*, Journal Of KONBiN, nr 4(24)2012, wyd. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2012, str. 105-113.
17. Siergiejczyk M., Krzykowska K., Rosiński A., *Reliability assessment of integrated airport surface surveillance system*, in: „Proceedings of the Tenth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX”, editors: 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, pp. 435-443.
18. Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A., *Evaluation of safety of highway CCTV system's maintenance process*, in: the monograph „Telematics – support for transport”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 471. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2014. pp. 69-79.
19. 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, doi: 10.1049/iet-its.2015.0183
20. Siergiejczyk M., Rosiński A., Krzykowska K., *Reliability assessment of supporting satellite system EGNOS*, in W. Zamojski, J. Mazurkiewicz, J. Sugier, T. Walkowiak, J. Kacprzyk (eds) New results in dependability and computer systems, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent and soft computing”, Vol. 224. Springer, 2013. pp. 353-364.
21. Sozański J., *Niezawodność i jakość pracy systemu elektroenergetycznego*, WNT, Warszawa 1990.
22. Verma A.K., Ajit S., Karanki D.R., *Reliability and safety engineering*, Springer, London 2010.

Reliability-exploitation analysis of power supply of stationary transport objects

The article presents power supply of transport telematics system, which is used in stationary transport objects. It was done the analysis reliability-exploitation analysis of the system. Such an approach enabled the determination of dependencies, which allow the calculation of probabilities of staying of power supply (in symbolic terms) in the states of functional: full ability S_{PZ} , impendancy over safety S_{ZB1} and S_{ZB2} and unreliability of safety S_B .

Autorzy:

prof. nzw. dr hab. inż. **Mirosław Siergiejczyk** – Politechnika Warszawska Wydział Transportu Zakład Telekomunikacji w Transporcie, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, msi@wt.pw.edu.pl

dr hab. inż. **Adam Rosiński** – Wojskowa Akademia Techniczna Wydział Elektroniki Instytut Systemów Elektronicznych Zakład Eksploatacji Systemów Elektronicznych, 00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, adam.rosinski@wat.edu.pl