

Adam ROSIŃSKI

POLITECHNIKA WARSZAWSKA WYDZIAŁ TRANSPORTU,
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Wybrane aspekty analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej układów zasilania systemów telematyki autostradowej

Dr inż. Adam ROSIŃSKI

Obecnie jest adiunktem w Zakładzie Telekomunikacji w Transporcie na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej. Zainteresowania naukowe obejmują Inteligentne Systemy Transportowe, elektronikę (analogową i cyfrową) oraz zagadnienia związane z niezawodnością, eksploatacją, diagnostyką i projektowaniem elektronicznych systemów bezpieczeństwa ze szczególnym uwzględnieniem zastosowania ich w transporcie.



e-mail: adro@wt.pw.edu.pl

Streszczenie

W artykule zaprezentowano analizę dwutorowego układu zasilania systemu telematyki autostradowej w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym. Przyjmując trzy stany (pełnej zdatości S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} i zawodności bezpieczeństwa Q_B) oraz określone przejścia pomiędzy nimi, wyznaczono zależności pozwalające na wyznaczenie prawdopodobieństw przebywania układu zasilania systemu telematyki autostradowej w wymienionych stanach.

Słowa kluczowe: układy zasilania, niezawodność, eksploatacja, telematyka autostradowa.

Selected aspects of reliability-exploitation analysis of power supply of highway telematics systems

Abstract

The reliability of functioning of highway telematics systems requires ensuring the adequate supply of the devices they consist of. Their failure is a failure in the system, which may result in interruption of the operation of the whole or a part of the system. Therefore, the devices are usually supplied from two sources. The first one is the main power supply. In the case of the main power supply failure, the system is automatically switched to the reserve power source. The paper presents the analysis of a two-way power supply of highway telematics system in terms of reliability-exploitation. Assuming three states (full ability S_{PZ} , impendency over safety Q_{ZB} and unreliability of safety Q_B) and certain transitions between them, there were determined the probabilities of staying the power supply highway telematics systems in those states.

Keywords: power supply systems, reliability, exploitation, highway telematics.

1. Wstęp

Pojęcie „Telematyka” pochodzi z języka francuskiego (fr. télématique). W literaturze zaczęło się ono pojawiać na początku lat siedemdziesiątych dwudziestego wieku. Jest to połączenie dwóch słów francuskich: telekomunikacja (fr. télécommunications) i informatyka (fr. informatique). W słownictwie angielskim zaczęto je stosować dopiero pod koniec lat siedemdziesiątych dwudziestego wieku, jednakże nie było ono powszechnie stosowane. Dopiero rozpoczęcie przez Unię Europejską programów unijnych dotyczących rozwoju telematyki w różnych dziedzinach, spowodowało iż zaczęto je częściej stosować. Okres ten przypada na lata dziewięćdziesiąte. Obecnie wyrażeniem „Telematyka” określa się dziedzinę nauki integrującą rozwiązania telekomunikacyjne i informatyczne. Stosuje się je tam gdzie połączenie takie może przynieść korzyści, w porównaniu z zastosowaniem rozwiązań wydzielonych (m.in. uzyskuje się efekt synergii). Można wyróżnić kilka obszarów w których ono funkcjonuje [19]:

- telematyka transportu,
- telematyka medyczna,

- telematyka ochrony środowiska,
- telematyka miejska,
- telematyka finansowa,
- telematyka biblioteczna,
- telematyka operacyjna,
- telematyka przemysłowa,
- telematyka domowa,
- telematyka pocztowa.

Śśród wymienionych obszarów zastosowań telematyki, jednym z największych i najszybciej się rozwijających (zarówno w Polsce, w Europie, jak i na świecie) jest transport. Zagadnienia dotyczące telematyki transportu pojawiły się w polskich publikacjach w połowie lat dziewięćdziesiątych XX wieku.

Telematykę transportu definiuje się jako dziedzinę wiedzy i działalności technicznej integrującej informatykę z telekomunikacją w zastosowaniu do potrzeb systemów transportowych [19]. Można wyróżnić kilka obszarów w których to pojęcie funkcjonuje:

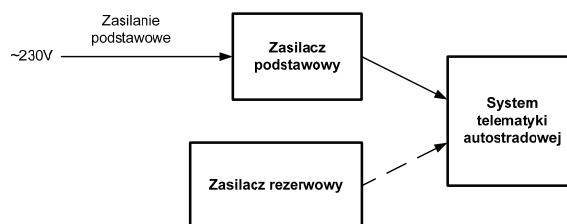
- telematyka drogowa (w tym autostradowa i miejska),
- telematyka kolejowa,
- telematyka lotnicza,
- telematyka morska.

Systemy telematyki autostradowej pracują w zróżnicowanych warunkach eksploatacji [3, 4, 8, 10]. Jako elementy infrastruktury krytycznej powinny zachować zdatość. Jednym z istotniejszych problemów jest zapewnienie ciągłości zasilania w systemach telematyki autostradowej. Dotychczas autorzy dokonali analizy niezawodnościowej ich struktur [9, 11, 12], jednakże istotne jest też przeprowadzenie analizy niezawodnościowej uwzględniającej relacje zachodzące w systemie ze szczególnym uwzględnieniem kwestii związanych z zasilaniem. Dlatego tak ważnego znaczenia nabiera zagadnienie analizy tego zagadnienia.

Teoria niezawodności zawiera w zakresie rozważań ogólnych ugruntowaną od lat podbudowę literaturową [1, 5, 7, 16]. Z zakresu funkcjonowania systemów zasilania można podać następujące publikacje [6, 13]. Kwestie związane z niezawodnością w systemach zasilania przedstawiono w książkach [2, 14, 15]. Zastosowanie rezerwowych źródeł zasilania przedstawiono w publikacjach [17, 18].

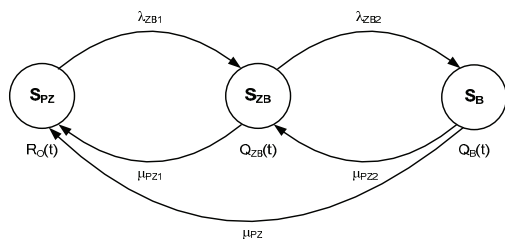
2. Analiza niezawodnościowo-eksploatacyjna układów zasilania

Systemy telematyki autostradowej, aby niezawodnie funkcjonować, wymagają by zapewnić odpowiednie zasilanie poszczególnych urządzeń wchodzących w ich skład. Ich uszkodzenie stanowi uchybienie w pracy systemu, którego skutkiem może być przerwa w funkcjonowaniu całości lub części systemu. Dlatego też zazwyczaj stosuje się zasilanie urządzeń z dwóch źródeł. Pierwszym jest zasilanie podstawowe. W przypadku jego zaniku następuje automatyczne przełączenie na rezerwowe źródło zasilania. Strukturalny szkic systemu zasilania, zawierającego te dwa niezależne źródła energii, adresowanego do systemu telematyki autostradowej przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Przykład zasilania ze źródła podstawowego i rezerwowego
Fig. 1. Basic and reserve power supply

Przeprowadzając analizę układu zasilania, 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 układzie zasilania

Fig. 2. Relationships in the power supply system

Oznaczenia na rys. 2:

$R_0(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdadności S_{PZ} ,

$Q_{ZB}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} ,

$Q_B(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zawodności bezpieczeństwa Q_B ,

λ_{ZB1} – intensywność przejść ze stanu pełnej zdadności S_{PZ} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} ,

μ_{PZ1} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} do stanu pełnej zdadności S_{PZ} ,

λ_{ZB2} – intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} do stanu zawodności bezpieczeństwa Q_B ,

μ_{PZ2} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa Q_B do stanu zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} ,

μ_{PZ} – intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa Q_B do stanu pełnej zdadności S_{PZ} .

Stan pełnej zdadności S_{PZ} jest stanem, w którym prawidłowo funkcjonują oba źródła zasilania (zarówno podstawowe jak rezerwowe). Stan zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} jest stanem, w którym system zasilania podstawowego jest niezdatny. Stan zawodności bezpieczeństwa Q_B jest stanem, w którym oba źródła zasilania są niezdatne.

Jeśli system zasilania jest w stanie pełnej zdadności S_{PZ} i pojawia się uszkodzenie toru zasilania podstawowego to następuje przejście systemu do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} z intensywnością λ_{ZB1} . Jeśli system zasilania jest w stanie zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} to możliwe jest przejście do stanu pełnej zdadności S_{PZ} pod warunkiem podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdadności w torze zasilania podstawowego.

Gdy istnieje stan zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} a dodatkowo pojawia się uszkodzenie zasilacza rezerwowego to następuje przejście do stanu zawodności bezpieczeństwa Q_B z intensywnością λ_{ZB2} . Zwrotne przejście do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB} ze stanu zawodności bezpieczeństwa Q_B jest możliwe pod warunkiem podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdadności zasilaczowi rezerwowemu.

Przejście ze stanu zawodności bezpieczeństwa S_B do stanu pełnej zdadności S_{PZ} jest możliwe lecz wymaga podjęcia działań polegających na przywróceniu stanu zdadności obu źródłom zasilania.

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

$$\begin{aligned} R_0'(t) &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB}(t) + \mu_{PZ} \cdot Q_B(t) \\ Q_{ZB}'(t) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB}(t) - \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB}(t) + \mu_{PZ2} \cdot Q_B(t) \\ Q_B'(t) &= \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB}(t) - \mu_{PZ2} \cdot Q_B(t) - \mu_{PZ} \cdot Q_B(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Przyjmując warunki początkowe:

$$\begin{aligned} R_0(0) &= 1 \\ Q_{ZB}(0) &= Q_B(0) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

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

$$\begin{aligned} s \cdot R_0^*(s) - 1 &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB}^*(s) + \mu_{PZ} \cdot Q_B^*(s) \\ s \cdot Q_{ZB}^*(s) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB}^*(s) - \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB}^*(s) + \mu_{PZ2} \cdot Q_B^*(s) \\ s \cdot Q_B^*(s) &= \lambda_{ZB2} \cdot Q_{ZB}^*(s) - \mu_{PZ2} \cdot Q_B^*(s) - \mu_{PZ} \cdot Q_B^*(s) \end{aligned} \quad (3)$$

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

$$R_0^*(s) = \frac{s^2 + s \cdot \mu_{PZ} + s \cdot \mu_{PZ1} + s \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \mu_{PZ2} + \mu_{PZ1} \cdot \mu_{PZ2} + \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + \mu_{PZ1} \cdot \mu_{PZ2}}{s^2 \cdot \mu_{PZ} + s^2 \cdot \lambda_{ZB1} + s^2 \cdot \mu_{PZ1} + s^2 \cdot \lambda_{ZB2} + s^2 \cdot \mu_{PZ2} + s^3 + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \mu_{PZ1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2} + s \cdot \mu_{PZ1} \cdot \mu_{PZ2}}$$

$$Q_{ZB}^*(s) = \frac{s \cdot \lambda_{ZB1} + \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2}}{s^2 \cdot \mu_{PZ} + s^2 \cdot \lambda_{ZB1} + s^2 \cdot \mu_{PZ1} + s^2 \cdot \lambda_{ZB2} + s^2 \cdot \mu_{PZ2} + s^3 + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \mu_{PZ1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2} + s \cdot \mu_{PZ1} \cdot \mu_{PZ2}}$$

$$Q_B^*(s) = \frac{\lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2}}{s^2 \cdot \mu_{PZ} + s^2 \cdot \lambda_{ZB1} + s^2 \cdot \mu_{PZ1} + s^2 \cdot \lambda_{ZB2} + s^2 \cdot \mu_{PZ2} + s^3 + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \mu_{PZ1} + s \cdot \mu_{PZ} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \lambda_{ZB2} + s \cdot \lambda_{ZB1} \cdot \mu_{PZ2} + s \cdot \mu_{PZ1} \cdot \mu_{PZ2}} \quad (4)$$

Rozwiązanie powyższego zestawu równań w dziedzinie czasu jest kolejnym etapem analizy i nie jest tu omawiane.

3. Modelowanie niezawodnościowo-eksploatacyjne układów zasilania systemu telematyki autostradowej

Metody i badania symulacyjno-komputerowe dają możliwość stosunkowo szybkiego określenia wpływu zmian wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych poszczególnych elementów na wartości wskaźników opisujących cały system.

Stosując wspomaganie komputerowe można wyznaczyć wartości prawdopodobieństw przebywania systemu w stanach pełnej zdadności R_0 , zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} i zawodności bezpieczeństwa Q_B . Postępowanie takie przedstawia poniższy przykład.

Przykład

Przyjmijmy następujące wartości opisujące analizowany układ:

- czas badań – 1 rok:

$$t = 8760 \text{ h}$$

- niezawodność zasilania podstawowego:

$$R_{ZB1}(t) = 0,99$$

- niezawodność zasilania rezerwowego:

$$R_{ZB2}(t) = 0,999$$

- intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu pełnej zdadności:

$$\mu_{PZ1} = 0,1 \frac{1}{\text{h}}$$

- intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa do stanu zagrożenia bezpieczeństwa:

$$\mu_{PZ2} = 0,1 \frac{1}{\text{h}}$$

- intensywność przejść ze stanu zawodności bezpieczeństwa do stanu pełnej zdadności:

$$\mu_{PZ} = 0,05 \frac{1}{h}$$

Znając wartość nieuszkodzalności $R_{ZB1}(t)$, można oszacować intensywność przejść ze stanu pełnej zdadności do stanu zagrożenia bezpieczeństwa. Zakładając najprostsz, wykładniczy model rozkładu czasu zdadności, możemy wykorzystać następującą zależność:

$$R_{ZB1}(t) = e^{-\lambda_{ZB1}t} \text{ dla } t \geq 0$$

więc

$$\lambda_{ZB1} = -\frac{\ln R_{ZB1}(t)}{t}$$

Dla $t = 8760$ h i $R_{ZB1}(t) = 0,99$ otrzymujemy:

$$\lambda_{ZB1} = -\frac{\ln R_{ZB1}(t)}{t} = -\frac{\ln 0,99}{8760} = 1,147298 \cdot 10^{-6} \frac{1}{h}$$

Znając wartość nieuszkodzalności $R_{ZB2}(t)$, można oszacować intensywność przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu zawodności bezpieczeństwa. Dla rozkładu wykładniczego mamy następującą zależność:

$$R_{ZB2}(t) = e^{-\lambda_{ZB2}t} \text{ dla } t \geq 0$$

więc

$$\lambda_{ZB2} = -\frac{\ln R_{ZB2}(t)}{t}$$

Dla $t = 8760$ h i $R_{ZB2}(t) = 0,999$ otrzymujemy:

$$\lambda_{ZB2} = -\frac{\ln R_{ZB2}(t)}{t} = -\frac{\ln 0,999}{8760} = 1,142124 \cdot 10^{-7} \frac{1}{h}$$

Dla powyższych wartości wejściowych z wykorzystaniem równań (4) oraz odwrotnych transformat Laplace'a otrzymujemy:

$$R_0 = 0,99998852$$

$$Q_{ZB} = 0,00001147$$

$$Q_B = 8,7356 \cdot 10^{-12}$$

Praktyczne zastosowanie zaprezentowanych rozważań pozwala na określenie wpływu wartości intensywności przejścia ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu pełnej zdadności μ_{PZ1} i intensywności przejścia ze stanu zawodności bezpieczeństwa do stanu zagrożenia bezpieczeństwa μ_{PZ2} oraz intensywności przejścia ze stanu zawodności bezpieczeństwa do stanu pełnej zdadności μ_{PZ} na wartość prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdadności. Intensywności μ_{PZ1} , μ_{PZ2} i μ_{PZ} należy rozumieć jako odwrotności czasów t_{PZ1} , t_{PZ2} i t_{PZ} które określają czas przywrócenia stanu zdadności poszczególnych torów zasilania.

4. Wnioski

W artykule zaprezentowano analizę dwutorowego układu zasilania systemu telematki autostradowej w aspekcie niezawodnościowo-eksploatacyjnym. Przyjmując trzy stany (pełnej zdadności R_0 , zagrożenia bezpieczeństwa Q_{ZB} i zawodności bezpieczeństwa Q_B) oraz określone przejścia pomiędzy nimi, wyznaczono zależności pozwalające na wyznaczenie prawdopodobieństw przebywania układu zasilania systemu telematki autostradowej w wy-

mienionych stanach. Otrzymane zależności umożliwiają określenie wpływu poszczególnych intensywności przejść na wartości wyznaczonych prawdopodobieństw. W dalszych badaniach przewiduje się przeprowadzenie analiz z zakresu racjonalizacji intensywności przywracania stanów zdadności poszczególnych torów zasilania.

5. Literatura

- [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] Duer S., Zajkowski K., Duer R., Paś J.: Designing of an effective structure of system for the maintenance of a technical object with the using information from an artificial neural network. Neural Computing & Applications, vol. 23, issue 3-4, pp. 913-925, 2012. DOI: 10.1007/s00521-012-1016-0.
- [4] Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
- [5] Epstein B., Weissman I.: Mathematical models for systems reliability. CRC Press / Taylor & Francis Group, 2008.
- [6] Keyhani A., Marwali M.: Smart power grids. Springer-Verlag, 2011.
- [7] Kołowrocki K., Soszyńska-Budny J.: Reliability and safety of complex technical systems and processes. Springer, London 2011.
- [8] Paś J., Duer S.: Determination of the impact indicators of electromagnetic interferences on computer information systems. Neural Computing & Applications 2012, vol. 23, issue 7-8, special Issue: SI, pp: 2143-2157, 2013. DOI:10.1007/s00521-012-1165-1.
- [9] Rosinski A., Dabrowski T.: Modelling reliability of uninterruptible power supply units. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, Vol.15, No. 4, pp. 409-413, 2013.
- [10] Siergiejczyk M., Paś J., Rosiński A.: Application of closed circuit television for highway telematics. The monograph „Telematics in the transport environment”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 329. The publisher: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2012.
- [11] Siergiejczyk M., Rosinski A.: Reliability analysis of electronic protection systems using optical links. The monograph „Dependable Computer Systems”, editors: Wojciech Zamojski, Janusz Kacprzyk, Jacek Mazurkiewicz, Jarosław Sugier i Tomasz Walkowiak, given as the monographic publishing series – „Advances in intelligent and soft computing”, Vol. 97. The publisher: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2011.
- [12] Siergiejczyk M., Rosinski A.: Reliability analysis of power supply systems for devices used in transport telematic systems. The monograph „Modern Transport Telematics”, editors: Jerzy Mikulski, given as the monographic publishing series – „Communications in Computer and Information Science”, Vol. 239. The publisher: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2011.
- [13] Soliman S. A., Mantawy A. H.: Modern optimization techniques with applications in electric power systems. Springer Science+Business Media, 2012.
- [14] Sozański J.: Niezawodność zasilania energią elektryczną. WNT, Warszawa 1982.
- [15] Sozański J.: Niezawodność i jakość pracy systemu elektroenergetycznego. WNT, Warszawa 1990.
- [16] Verma A.K., Ajit S., Karanki D.R.: Reliability and safety engineering. Springer, London 2010.
- [17] Wiatr J., Miegoń M.: Zasilacze UPS oraz baterie akumulatorów w układach zasilania gwarantowanego. Dom Wydawniczy MEDIUM, Warszawa 2008.
- [18] Wiatr J.: Zespoły prądoworcze w układach awaryjnego zasilania obiektów budowlanych. Dom Wydawniczy MEDIUM, Warszawa 2009.
- [19] Wydro K.: Telematyka - znaczenia i definicje terminu. Telekomunikacja i Techniki Informacyjne 1-2/2005. Wyd. Instytut Łączności, Warszawa 2005.