

Niezawodność układów zasilania stosowanych w systemach monitoringu wizyjnego w transporcie kolejowym

Mirosław SIERGIEJCZYK¹, Adam ROSIŃSKI²

Streszczenie

W artykule zaprezentowano analizę niezawodnościowo-eksploatacyjną układów zasilania stosowanych w transporcie kolejowym. W jej wyniku stało się możliwe zaproponowanie grafu relacji w rozpatrywanym systemie, następnie zaś na utworzenie układu równań Kołmogorowa-Chapmana opisujących system. Na tej podstawie możliwe jest wyznaczenie zależności pozwalających na obliczenie wartości prawdopodobieństw przebywania układu zasilania w stanach: pełnej zdatności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i S_{ZB2} oraz zawadności bezpieczeństwa S_B .

Słowa kluczowe: transport, układy zasilania, niezawodność

1. Wstęp

Systemy monitoringu wizyjnego stosowane w transporcie kolejowym pracują w zróżnicowanych warunkach eksploatacji [9, 15, 16, 20]. Jako elementy infrastruktury krytycznej, powinny zachować zdatność [2, 4]. Jednym z istotniejszych problemów jest zapewnienie ciągłości zasilania w tych systemach. Wcześniej autorzy dokonali analizy niezawodnościowej ich struktur [5, 21], jednakże istotne jest też przeprowadzenie analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej, uwzględniającej relacje zachodzące w systemie ze szczególnym uwzględnieniem kwestii związanych z zasilaniem.

W zakresie rozważań ogólnych teoria niezawodności ma ugruntowaną od lat podbudowę literaturową [3, 10]. Zaprezentowane w tych publikacjach podejście do analizy niezawodnościowej systemów pozwala na uwzględnienie ich struktur: szeregowej, równoległej i szeregowo-równoległej. Umożliwia to opracowanie grafów przejść pomiędzy wyróżnionymi stanami technicznymi. Stosując określony aparat matematyczny (np. równania Kołmogorowa-Chapmana), można otrzymać zależności, pozwalające na wyznaczenie wartości prawdopodobieństw przeby-

¹ Prof. nzw. dr hab. inż., Politechnika Warszawska, e-mail: msi@wt.pw.edu.pl, wkład merytoryczny autora 50%.

² Dr inż., Politechnika Warszawska, e-mail: adro@wt.pw.edu.pl, wkład merytoryczny autora 50%.

wania systemu w określonych stanach. Metodyka tego typu może być zastosowana do analizy niezawodnościowej zasilaczy buforowych [14].

Z zakresu ogólnego przedstawienia funkcjonowania i projektowania systemów zasilania można wymienić publikacje [7, 8]. Niektóre odnoszą się w szczególności do określonych obszarów związanych z transportem kolejowym [11].

Analizę niezawodnościową systemów zasilających przedstawiono w [6]. Szczególną uwagę poświęcono systemom zasilania awaryjnego (zarówno typu statycznego, jak i dynamicznego). Zastosowanie takich rozwiązań zwiększa wartość wskaźnika gotowości całego systemu.

Zagadnienia niezawodności w systemach zasilania są przedstawiane w literaturze już od wielu lat, wśród nich, do najbardziej znaczących można zaliczyć publikacje [1, 18, 19].

Zagadnienia związane z niezawodnością systemów energetycznych przedstawiono w [1]. Pokazano związek pomiędzy niezawodnością i nakładami finansowymi przeznaczonymi na jej wzrost oraz przedstawiono modele niezawodnościowe systemów z uwzględnieniem intensywności uszkodzeń i intensywności napraw. Podano rozkłady prawdopodobieństw wskaźników niezawodnościowych. Przedstawiono także graf niezawodnościowy zawierający stan zdatności i niezdatności oraz graf zawierający dodatkowo stan wykluczenia urządzenia z pracy systemu.

Rozważania z zakresu niezawodności i jakości systemów zasilania elektroenergetycznego opisano w [18, 19]. Podano przykłady różnych typów sieci energetycznych i dokonano obliczeń niezawodnościowo-eksploatacyjnych. Przytoczono także wartości określonych wskaźników niezawodnościowych, które mogą być przyjęte do rozważań w tego typu systemach zasilania energią elektryczną.

Zagadnienia optymalizacyjne systemów zasilania opisano w [17]. Podano podstawy teoretyczne optymalizacji oraz zaproponowano procedury optymalizacyjne analizowanych systemów z uwzględnieniem czynników ekonomicznych. Niektóre publikacje opisują zastosowanie tego typu rozwiązań [12].

Zastosowanie rezerwowych źródeł zasilania przedstawiono w publikacjach [13, 23]. Zwrócono przy tym szczególną uwagę na systemy zasilania awaryjnego, jak na przykład zasilacze bezprzerwowe UP i zespoły prądotwórcze, a także ekologiczne rozwiązania w postaci paneli solarnych lub generatorów prądu napędzanych siłą wiatru. Analiza takich rozwiązań pozwala jednoznacznie stwierdzić, że ich zastosowanie umożliwia zwiększenie wartości wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych. Oczywiście niezbędne są odpowiednie układy sterujące przełączaniem pomiędzy zastosowanymi źródłami energii elektrycznej oraz systemy zarządzania siecią elektroenergetyczną [22].

Przedstawiono także niezawodność układów zasilania w skali całego kraju, na przykładzie Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej [23]. Scharakteryzowano organizację *North American Electric Reliability Corporation* (NERC), która zajmuje się tymi zagadnieniami. Stwierdzono, iż zastosowanie siłowni wiatrowych,

paneli słonecznych, generatorów prądowórczych zwiększa niezawodność i efektywność funkcjonowania systemu energetycznego w przypadku ataków terrorystycznych i kataklizmów naturalnych (np. huragany, trąby powietrzne).

Pomimo istniejących analiz dotyczących niezawodności systemów zasilania, wydaje się konieczne przeprowadzenie rozważań z zakresu analizy niezawodnościowo-eksploatacyjnej układów zasilania stosowanych w transporcie kolejowym. Te zagadnienia są prezentowane w kolejnych rozdziałach artykułu.

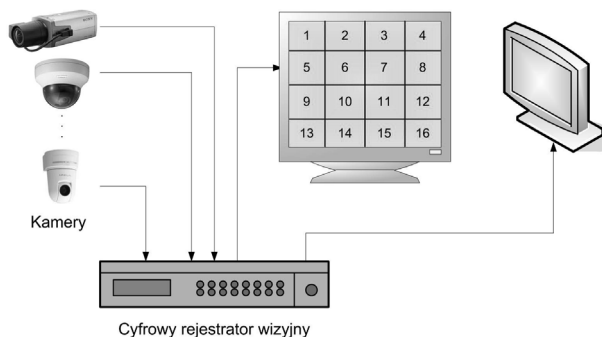
2. Systemy monitoringu wizyjnego

Oprócz wielu różnych urządzeń i systemów, na przejazdach kolejowych coraz częściej instaluje się systemy monitoringu wizyjnego. Dzięki tym systemom, osoby upoważnione (np. dyżurny ruchu, dróżnik) mają możliwość oceny sytuacji występującej na nadzorowanym przejeździe kolejowym w czasie rzeczywistym. Dlatego też istotne jest zwrócenie szczególnej uwagi na ich prawidłowe funkcjonowanie.

Systemy monitoringu wizyjnego (CCTV – ang. *Closed Circuit Television*) to zespół urządzeń i oprogramowania przeznaczony do obserwowania, wykrywania, rejestrowania i sygnalizowania zdarzeń wskazujących na istnienie niebezpieczeństwa. W ich skład (zależnie od konfiguracji) mogą wchodzić następujące podstawowe urządzenia:

- kamery z odpowiednio dobranymi obiektywami,
- media transmisyjne wraz z urządzeniami pośredniczącymi,
- urządzenia rejestrujące,
- monitory,
- układy zasilania,
- inne (np. dodatkowe układy oświetlenia, układy zabezpieczające).

Na rysunku 1 przedstawiono przykład systemu monitoringu wizyjnego. Jego głównym urządzeniem jest cyfrowy rejestrator wizyjny. Do rejestratora podłączono

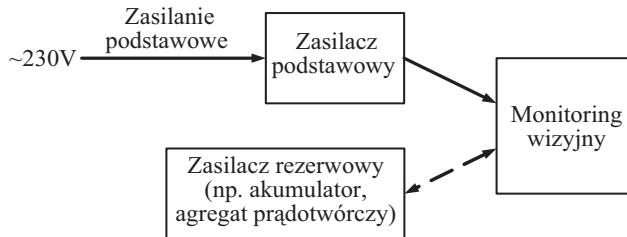


Rys. 1. Przykładowy system monitoringu wizyjnego

dwa monitory LCD (na jednym z nich jest zobrazowany podgląd 16 kamer z możliwością podziału najczęściej na 4, 9, 16 pól, a na drugim widok z kamery, na której poprzez układ detekcji ruchu zostaje wykryty ruch). Zdarzenia zarejestrowane na twardych dyskach rejestratora mogą być w przyszłości wykorzystane jako materiał dowodowy w procesach sądowych dotyczących zdarzeń (wypadków, katastrof) drogowych.

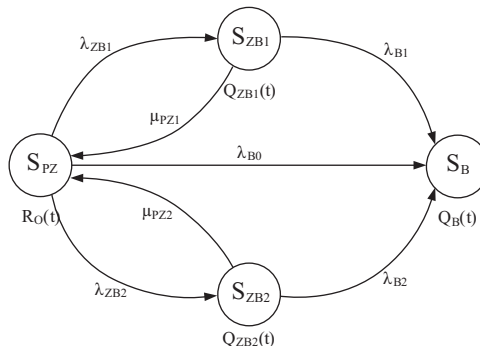
3. Analiza procesu eksploatacji układów zasilania

Niezawodnie funkcjonujące systemy monitoringu wizyjnego stosowane w transporcie kolejowym, wymagają zapewnienia odpowiedniego zasilania 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 zazwyczaj urządzenia zasila się z dwóch źródeł. Pierwszym z nich jest zasilanie podstawowe. W przypadku jego zaniku następuje automatyczne przełączenie na rezerwowe źródło zasilania. Zobrazowano to na rysunku 2.



Rys. 2. Przykład zasilania ze źródła podstawowego i rezerwowego

Relacje zachodzące w funkcjonowaniu układu zasilania systemu monitoringu wizyjnego zastosowanego w transporcie kolejowym przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Relacje w systemie:

- $R_0(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności,
- $Q_{ZB}(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zagrożenia bezpieczeństwa,
- $Q_B(t)$ – funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie zawodności bezpieczeństwa,
- $\lambda_{ZB1}, \lambda_{ZB2}$ – intensywności przejść ze stanu pełnej zdatności do stanu zagrożenia bezpieczeństwa,
- μ_{PZ1}, μ_{PZ2} – intensywności przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu pełnej zdatności,
- λ_{B0} – intensywności przejść ze stanu pełnej zdatności do stanu zawodności bezpieczeństwa,
- $\lambda_{B1}, \lambda_{B2}$ – intensywności przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu zawodności bezpieczeństwa.

Uszkodzenie zasilania podstawowego powoduje przejście ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} . Przywrócenie stanu zdatności zasilania podstawowego powoduje przejście ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} do stanu pełnej zdatności S_{PZ} . W przypadku, gdy układ zasilania znajduje się w stanie S_{ZB1} i nastąpi uszkodzenie zasilania rezerwowego, następuje przejście do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B .

Uszkodzenie zasilania rezerwowego powoduje przejście ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} . Przywrócenie stanu zdatności zasilania rezerwowego powoduje przejście ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB2} do stanu pełnej zdatności S_{PZ} . W przypadku, gdy układ zasilania znajduje się w stanie S_{ZB2} i nastąpi uszkodzenie zasilania podstawowego, następuje przejście do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B .

Możliwe jest także przejście ze stanu pełnej zdatności S_{PZ} do stanu zawodności bezpieczeństwa S_B . Takie zdarzenie występuje wówczas, gdy nastąpi uszkodzenie toru zasilającego system monitoringu wizyjnego.

System przedstawiony na rysunku 3 może być opisany następującymi równaniami Kołmogorowa-Chapmana:

$$\begin{aligned}
 R'_0(t) &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}(t) - \lambda_{ZB2} \cdot R_0(t) + \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}(t) - \lambda_{B0} \cdot R_0(t) \\
 Q'_{ZB1}(t) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0(t) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}(t) - \lambda_{B1} \cdot Q_{ZB1}(t) \\
 Q'_{ZB2}(t) &= \lambda_{ZB2} \cdot R_0(t) - \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}(t) - \lambda_{B2} \cdot Q_{ZB2}(t) \\
 Q'_B(t) &= \lambda_{B1} \cdot Q_{ZB1}(t) + \lambda_{B2} \cdot Q_{ZB2}(t) + \lambda_{B0} \cdot R_0(t).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Przyjmując warunki początkowe:

$$R_0(0) = 1$$

$$Q_{ZB1}(0) = Q_{ZB2}(0) = Q_B(0) = 0 \quad (2)$$

oraz stosując przekształcenie Laplace'a, otrzymujemy następujący układ równań liniowych:

$$\begin{aligned} s \cdot R_0^*(s) - 1 &= -\lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) + \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}^*(s) - \lambda_{ZB2} \cdot R_0^*(s) + \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \lambda_{B0} \cdot R_0(t) \\ s \cdot Q_{ZB1}^*(s) &= \lambda_{ZB1} \cdot R_0^*(s) - \mu_{PZ1} \cdot Q_{ZB1}^*(s) - \lambda_{B1} \cdot Q_{ZB1}^*(s) \\ s \cdot Q_{ZB2}^*(s) &= \lambda_{ZB2} \cdot R_0^*(s) - \mu_{PZ2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) - \lambda_{B2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) \\ s \cdot Q_B^*(s) &= \lambda_{B1} \cdot Q_{ZB1}^*(s) + \lambda_{B2} \cdot Q_{ZB2}^*(s) + \lambda_{B0} \cdot R_0(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Przekształcając go, otrzymujemy zapis w ujęciu schematycznym:

$$\begin{aligned} R_0 &= -\frac{e6 \cdot b_1 \cdot b_2}{b_1 \cdot \mu_{PZ2} + 6 \cdot b_2 \cdot \mu_{PZ1} - e6 \cdot a \cdot b_1 \cdot b_2} \\ Q_{ZB1} &= -\frac{6 \cdot b_2}{b_1 \cdot \mu_{PZ2} + 6 \cdot b_2 \cdot \mu_{PZ1} - e6 \cdot a \cdot b_1 \cdot b_2} \\ Q_{ZB2} &= -\frac{b_1}{b_1 \cdot \mu_{PZ2} + 6 \cdot b_2 \cdot \mu_{PZ1} - e6 \cdot a \cdot b_1 \cdot b_2} \\ Q_B &= -\frac{60 \cdot (b_1 + b_2) - Q_{B0} \cdot b_1 \cdot \mu_{PZ2} -}{e7 \cdot b_1 \cdot s \cdot \mu_{PZ2} + 6 \cdot e7 \cdot b_2 \cdot s \cdot \mu_{PZ1} -} \\ &\quad + e13 \cdot a \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot s \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} a &= s + \lambda_{ZB1} + \lambda_{ZB2} + \lambda_{B0} \\ b_1 &= s + \mu_{PZ1} + \lambda_{B1} \\ b_2 &= s + \mu_{PZ2} + \lambda_{B2}. \end{aligned} \quad (5)$$

W tym 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 pozwa-

lające na wyznaczenie prawdopodobieństw przebywania układu zasilania w stanach: pełnej zdadności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i S_{ZB2} oraz zawodności bezpieczeństwa S_B .

4. Modelowanie procesu eksploatacji układów zasilania

Metody i badania symulacyjno-komputerowe dają możliwość stosunkowo szybkiego określenia wpływu zmian wskaźników niezawodnościowo-eksploatacyjnych poszczególnych elementów na niezawodność całego systemu. Oczywiście wcześniej musi być znana struktura niezawodnościowa systemu oraz charakterystyki niezawodnościowe poszczególnych elementów i układów.

Stosując wspomaganie komputerowe, można przeprowadzić obliczenia umożliwiające wyznaczenie wartości prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdadności R_0 . Postępowanie takie przedstawia przykład.

Przykład

Przyjmijmy następujące wartości opisujące analizowany układ:

- czas badań – 1 rok (wartość tego czasu podano w jednostkach [h]):

$$t = 8760 \text{ [h]},$$

- intensywności przejść ze stanu pełnej zdadności do stanu zagrożenia bezpieczeństwa λ_{ZB1} (uszkodzenie zasilania podstawowego):

$$\lambda_{ZB1} = 0,000006,$$

- intensywności przejść ze stanu pełnej zdadności do stanu zagrożenia bezpieczeństwa λ_{ZB2} (uszkodzenie zasilania rezerwowego):

$$\lambda_{ZB2} = 0,000001,$$

- intensywności przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu zawodności bezpieczeństwa λ_{B1} (uszkodzenie zasilania rezerwowego):

$$\lambda_{B1} = 0,000001,$$

- intensywności przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu zawodności bezpieczeństwa λ_{B2} (uszkodzenie zasilania podstawowego):

$$\lambda_{B2} = 0,000006,$$

- intensywności przejść ze stanu pełnej zdadności do stanu zawodności bezpieczeństwa λ_{B0} (uszkodzenie toru zasilającego):

$$\lambda_{B0} = 0,0000001,$$

- intensywności przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu pełnej zdatności μ_{PZ1} (naprawa zasilania podstawowego):

$$\mu_{PZ1} = 0,1,$$

- intensywności przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu pełnej zdatności μ_{PZ2} (naprawa zasilania rezerwowego):

$$\mu_{PZ2} = 0,2.$$

W wyniku przekształceń otrzymujemy:

$$\begin{aligned} R_0(t) = & 0.0000050002799900035663312 \cdot e^{-0.20000700003049897776 \cdot t} + \\ & + 0.000059994120595313616678 \cdot e^{-0.1000069998860078054 \cdot t} + \\ & + 0.99993500559941468282 \cdot e^{-1.0008349321683574776 \cdot t}. \end{aligned} \quad (6)$$

Jako wynik końcowy otrzymujemy: $R_0 = 0,999058$.

Praktyczne zastosowanie zaprezentowanych rozważań pozwala na określenie wpływu wartości intensywności przejść ze stanu zagrożenia bezpieczeństwa do stanu pełnej zdatności μ_{PZ1} i μ_{PZ2} na wartość prawdopodobieństwa przebywania systemu w stanie pełnej zdatności R_0 . Intensywności μ_{PZ1} i μ_{PZ2} należy rozumieć jako odwrotności czasów t_{PZ1} i t_{PZ2} które określają czas przywrócenia stanu pełnej zdatności.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono analizę niezawodnościowo-eksploatacyjną układów zasilania stosowanych w transporcie kolejowym. Na jej podstawie zaproponowano graf relacji w rozpatrywanym systemie, następnie zaś utworzono układ równań Kołmogorowa-Chapmana opisujących system. Umożliwia to wyznaczenie zależności pozwalających na obliczenie wartości prawdopodobieństw przebywania układu zasilania w stanach: pełnej zdatności S_{PZ} , zagrożenia bezpieczeństwa S_{ZB1} i S_{ZB2} oraz zawodności bezpieczeństwa S_B . W dalszych badaniach planuje się uwzględnienie nakładów finansowych, związanych z przywróceniem stanu pełnej zdatności zarówno zasilania podstawowego jak i rezerwowego.

Literatura

1. Baggini A. (editor): *Handbook of power quality*, John Wiley & Sons, 2008.
2. Będkowski L., Dąbrowski T.: *Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.
3. Billinton R., Allan R.N.: *Reliability evaluation of power systems*, Plenum Press, USA 1996.
4. Borlase S. (editor): *Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions* Taylor & Francis Group, 2012.
5. 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 (2012). DOI: 10.1007/s00521-012-1016-0.
6. Dyduch J., Paś J., Rosiński A.: *Podstawy eksploatacji transportowych systemów elektronicznych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2011.
7. Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K.: *Bezpieczeństwo systemów*, PWN, Warszawa 1993.
8. Keyhani A., Marwali M.: *Smart power grids*. Springer-Verlag, 2011.
9. Kołowrocki K., Soszyńska-Budny J.: *Reliability and safety of complex technical systems and processes*, Springer, 2011.
10. Paś J., Duer S.: *Determination of the impact indicators of electromagnetic interferences on computer information system*, Neural Computing & Applications (2012). DOI:10.1007/s00521-012-1165-1.
11. Pilo E. (editor): *Power supply, energy management and catenary problems*, WIT Press, 2010.
12. Rosiński A.: *Design of the electronic protection systems with utilization of the method of analysis of reliability structures*, Proceedings of the Nineteenth International Conference On Systems Engineering ICSEng 2008, Las Vegas, USA 2008, 421–426.
13. Rosiński A.: *Reliability analysis of the electronic protection systems with mixed m-branches reliability structure*, Proceedings of the International Conference European Safety and Reliability ESREL 2011, Troyes, France 2011: 2064–2071.
14. Rosiński A.: *Wybrane zagadnienia diagnostyki zasilaczy buforowych, IX Szkoła – Konferencja Metrologia Wspomagana Komputerowo MWK 2011*”, Waplewo 2011.
15. Siergiejczyk M., Rosiński A.: *Optimisation of transport telematics electronic systems operational process*, Polish Journal Of Environmental Studies. Stud. Vol. 20, No. 5A (2011).
16. Siergiejczyk M.: *Efektywność eksploatacyjne systemów telematyki transport*, Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport, z. 67, Warszawa 2009.

17. Soliman S.A., Mantawy A.H.: *Modern optimization techniques with applications in electric power systems*, Springer Science+Business Media, 2012.
18. Sozański J.: *Niezawodność i jakość pracy systemu elektroenergetycznego*, WNT, Warszawa 1990.
19. Sozański J.: *Niezawodność zasilania energią elektryczną*, WNT, Warszawa 1982.
20. Sumper A., Baggini A.: *Electrical Energy Efficiency: Technologies and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, 2012.
21. Wang L. (editor): *Modeling and Control of Sustainable Power Systems*, Springer-Verlag, 2012.
22. Wiatr J., Boczkowski A., Orzechowski M.: *Ochrona przeciwporażeniowa oraz dobór przewodów i ich zabezpieczeń w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia*, Dom Wydawniczy MEDIUM, Warszawa 2010.
23. Wiatr J., Miegoń M.: *Zasilacze UPS oraz baterie akumulatorów w układach zasilania gwarantowanego*, Dom Wydawniczy MEDIUM, Warszawa 2008.

Reliability of Power Systems Applied in Visual Monitoring Systems in Rail Transport

Summary

The paper presents analysis of reliability-exploitation analysis of power systems used in rail transport. It made possible to propose the graph of the relationship in the considered system, and then to establish the set of Chapman-Kolmogorov equations that describe it. On this basis it is possible to find the relation for calculating the probabilities of staying power supply in the states: full operational ability S_{PZ} , impendancy over safety S_{ZB1} and S_{ZB2} and unreliability of safety S_B .

Keywords: transport, power systems, reliability

Надёжность систем электроснабжения, используемых в системах видеонаблюдения на железнодорожном транспорте

Резюме

В разработке проведён анализ эксплуатационной надёжности систем электроснабжения, применяемых в железнодорожном транспорте. Это позволило предложить граф отношений в рассматриваемой системе, а затем образовать систему описывающих его уравнений Колмогорова-Чепмена. На этом основании возможно определение соотношений для вычисления вероятностей пребывания системы электроснабжения в состояниях: полной годности S_{PZ} , угрозы безопасности S_{ZB1} и S_{ZB2} и ненадёжности безопасности S_B .

Ключевые слова: транспорт, системы электроснабжения, надёжность