

Wiktor CZURSINOW

Katedra Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej

Aleksander KOWALOW

Politechnika w Doniecku, Ukraina

METODA OCENY NIEZAWODNOŚCI WYBRANEGO UKŁADU ZASILANIA KWK Z UWZGLĘDNIENIEM NAPRAWIALNOŚCI ELEMENTÓW

Streszczenie. W poniższym artykule zaproponowano nową metodę obliczeń niezawodności układu zasilania KWK energią elektryczną opartą na stosowaniu przekształcenia "trójkąt - gwiazda" z uwzględnieniem naprawialności elementów i niezawodności połączeń między nimi.

THE METHOD OF ESTIMATION, OF A MINING SUPPLY SYSTEM TAKING INTO CONSIDERATION MAINTAINABILITY OF THE ELEMENTS

Summary. The paper presents a new method of calculation of reliability of the mining power system. The method is based on the delta to star transformation taking into consideration the maintainability of elements and the reliability of the connections between these elements.

МЕТОД РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СХЕМ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ШАХТ С УЧЕТОМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Резюме. В статье представлен новый метод расчета надежности сложных схем систем электроснабжения, основанный на преобразовании "треугольник - звезда", учитывающий восстановление элементов и надежность их соединений.

Dla prostych układów zasilania złożonych z szeregowego, równoległego albo mieszanego (szeregowo-równoległego) połączenia elementów, intensywności uszkodzeń λ i odnów μ można wyznaczyć ze znanych wzorów [1, 2]:

- dla szeregowego połączenia elementów

$$\lambda_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad \mu_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \left(\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^{-1} \quad (1)$$

- dla równoległego połączenia elementów

$$\lambda_k = \prod_{i=1}^n \lambda_i \sum_{j=1}^n \mu_j \left(\prod_{i=1}^n \mu_j \right) \quad \mu_k = \sum_{j=1}^n \mu_j \quad (2)$$

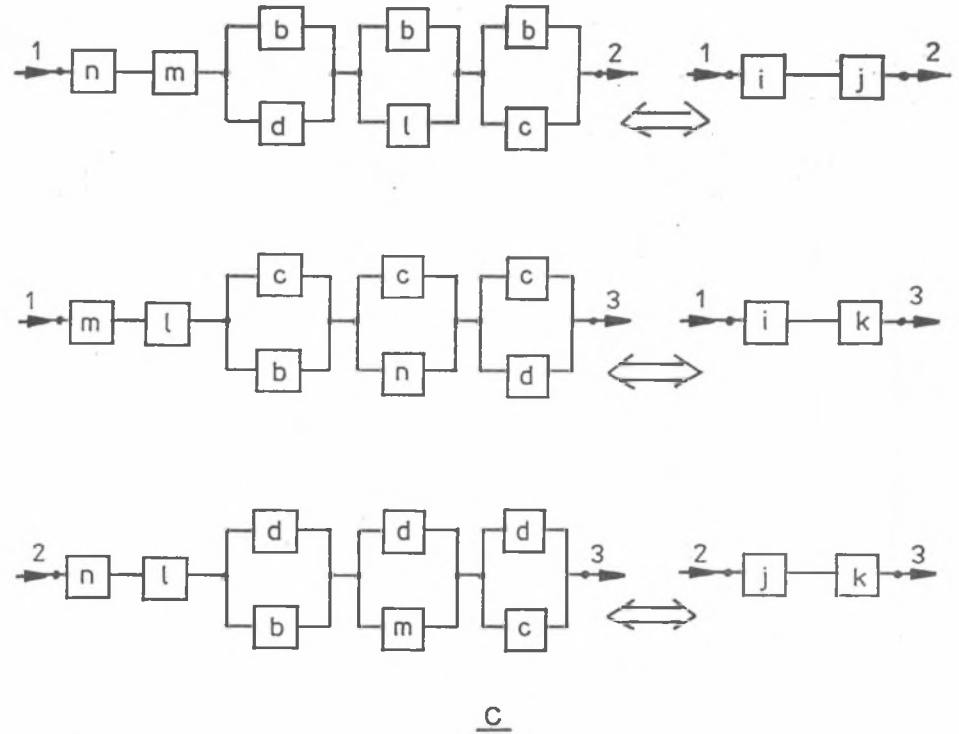
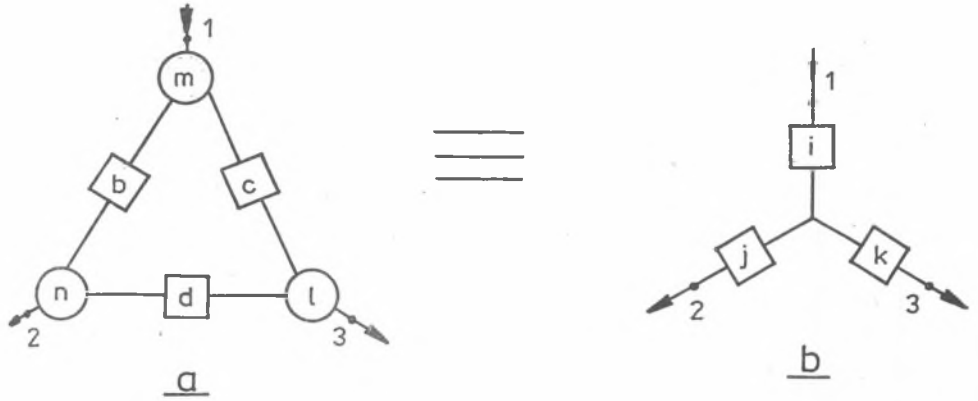
Wzory (1) i (2) są słuszne [1], gdy funkcjonowanie układu można opisać w postaci kolejnych postępowania interwałów zdolności roboczej $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_i$ i przestoju $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_j$. Interwały ξ_i mają rozkład $F_{\xi_i}(t) = 1 - \exp[-(\lambda_i t)]$, a interwały $\eta_j - F_{\eta_j}(t) = 1 - \exp[-(\mu_j t)]$. Wszystkie wielkości ξ_i i η_j są wzajemnie niezależne i spełniają warunek $\mu_i/\lambda_i \geq 100$.

Układ zasilania nie zawsze składa się z szeregowego, równoległego albo mieszanego połączenia elementów. Istnieją również bardziej skomplikowane układy (np. zasilanie KWK "Głęboka" w Doniecku) - można je nazwać mostkowymi, w których elementy połączone są tak, że wzorów (1) i (2) do określenia równoważnych intensywności uszkodzeń i napraw nie można wykorzystać bezpośrednio.

Dla takich układów proponuje się wykorzystać nowy sposób: przekształcenie "trójkąt - gwiazda".

Istota proponowanego przekształcenia "trójkąt - gwiazda" polega na tym, że możliwe jest zastąpienie połączenia elementów w trójkąt równoważny mu, z punktu widzenia niezawodności, połączeniem w gwiazdę. Problem sprowadza się wtedy do wyznaczenia intensywności uszkodzeń i napraw "gwiazdy" równoważnych analogicznym parametrom niezawodności "trójkąta".

Proponowana metoda różni się od metod dotychczas stosowanych tym, iż do oceny niezawodności nie jest wymagane przygotowanie schematu minimalnych przecięć (metoda przekrojów niesprawności), a jest wykorzystany zasadniczy schemat zasilania. Złożona struktura przekształca się w postać prostą (równoległe - szeregową) za pomocą przekształcenia "trójkąt - gwiazda" z uwzględnieniem odnowy elementów i niezawodności połączeń między nimi. Każdy element charakteryzuje się właściwymi parametrami λ_i i μ_i -



Rys. 1. Schematy połączeń elementów w trójkąt i w gwiazdę
 Fig. 1. Diagram of the star and delta connections of elements

intensywnościami uszkodzeń i napraw ($i = 1 \dots n$). Dla elementów układu zasilania przyjęto następujące założenia:

- uszkodzenia elementów są zdarzeniami niezależnymi,
- czasy bezawaryjnej pracy i napraw podlegają wykładniczemu prawu rozkładu prawdopodobieństwa.

Na rys. 1a, b przedstawiono dwa schematy połączeń elementów - w trójkąt i w gwiazdę. Elementy trójkąta oznaczono odpowiednio literami b, c, d; punkty połączenia elementów między sobą (szyny) oznaczono literami m, n, l, natomiast elementy gwiazdy odpowiednio i, j, k. Każdy z elementów trójkąta charakteryzuje się odpowiednią intensywnością uszkodzeń: $\lambda_b, \lambda_c, \lambda_d, \lambda_m, \lambda_n, \lambda_l$ i napraw: $\mu_b, \mu_c, \mu_d, \mu_m, \mu_n, \mu_l$. Analogiczne parametry niezawodności elementów gwiazdy oznaczono: $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k, \mu_i, \mu_j, \mu_k$.

Schematy te będą równoważne, jeżeli intensywności uszkodzeń i napraw schematu minimalnych przecięć (metoda przekrojów niesprawności) między węzłami 1-2, 1-3, 2-3 trójkąta i gwiazdy będą równe.

Schemat przekrojów niesprawności między oznaczonymi węzłami przedstawiono na rysunku 1c.

Wykorzystując otrzymane schematy zastępcze, wyznaczyć można ze wzorów (1) i (2) równoważne intensywności uszkodzeń i napraw. Proponując odpowiednie intensywności uszkodzeń i napraw otrzymanych przekrojów niesprawności trójkąta i gwiazdy, uzyskuje się układ składający się z sześciu równości [1]:

$$\begin{aligned}
 \lambda_{12} &= \lambda_i + \lambda_j \\
 \lambda_{13} &= \lambda_i + \lambda_k \\
 \lambda_{23} &= \lambda_j + \lambda_k \\
 \mu_{12} &= (\lambda_i + \lambda_j) \left[\frac{\lambda_i}{\mu_i} + \frac{\lambda_j}{\mu_j} \right]^{-1} \\
 \mu_{13} &= (\lambda_i + \lambda_k) \left[\frac{\lambda_i}{\mu_i} + \frac{\lambda_k}{\mu_k} \right]^{-1} \\
 \mu_{23} &= (\lambda_j + \lambda_k) \left[\frac{\lambda_j}{\mu_j} + \frac{\lambda_k}{\mu_k} \right]^{-1}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Intensywności uszkodzeń i napraw elementów gwiazdy można wyrazić przez intensywności uszkodzeń i napraw równoważnych elementów między wierzchołkami trójkąta:

$$\lambda_i = 0,5 (\lambda_{12} - \lambda_{23} + \lambda_{13})$$

$$\lambda_j = 0,5 (\lambda_{12} - \lambda_{13} + \lambda_{23})$$

$$\lambda_k = 0,5 (\lambda_{13} - \lambda_{12} + \lambda_{23})$$

$$\mu_i = (\lambda_{12} - \lambda_{23} + \lambda_{13}) \left(\frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}} - \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} + \frac{\lambda_{13}}{\mu_{13}} \right)^{-1} \quad (4)$$

$$\mu_j = (\lambda_{12} - \lambda_{13} + \lambda_{23}) \left(\frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}} - \frac{\lambda_{13}}{\mu_{13}} + \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} \right)^{-1}$$

$$\mu_k = (\lambda_{13} - \lambda_{12} + \lambda_{23}) \left(\frac{\lambda_{13}}{\mu_{13}} - \frac{\lambda_{12}}{\mu_{12}} + \frac{\lambda_{23}}{\mu_{23}} \right)^{-1}$$

W układzie równości (3) przez λ_{12} , λ_{13} , λ_{23} i μ_{12} , μ_{13} , μ_{23} oznaczono intensywności uszkodzeń i napraw elementów schematu minimalnych przecięć, między wierzchołkami trójkąta 1-2, 1-3, 2-3 (rys.1c).

$$\lambda_{12} = \lambda_m + \lambda_n + \lambda_b \left(\frac{\lambda_c}{\mu_c} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_d}{\mu_d} + \frac{\lambda_c + \lambda_1 + \lambda_d}{\mu_b} \right)$$

$$\lambda_{13} = \lambda_m + \lambda_1 + \lambda_c \left(\frac{\lambda_b}{\mu_b} + \frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_d}{\mu_d} + \frac{\lambda_b + \lambda_n + \lambda_d}{\mu_c} \right)$$

$$\lambda_{23} = \lambda_n + \lambda_1 + \lambda_d \left(\frac{\lambda_b}{\mu_b} + \frac{\lambda_m}{\mu_m} + \frac{\lambda_c}{\mu_c} + \frac{\lambda_b + \lambda_m + \lambda_c}{\mu_d} \right) \quad (5)$$

$$\mu_{12} = \left[\lambda_m + \lambda_n + \lambda_b \left(\frac{\lambda_c}{\mu_c} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_d}{\mu_d} + \frac{\lambda_c + \lambda_1 + \lambda_d}{\mu_b} \right) \right] \left[\frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_m}{\mu_m} + \frac{\lambda_b}{\mu_b} \left(\frac{\lambda_d}{\mu_d} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_c}{\mu_c} \right) \right]^{-1}$$

$$\mu_{13} = \left[\lambda_m + \lambda_1 + \lambda_c \left(\frac{\lambda_b}{\mu_b} + \frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_d}{\mu_d} + \frac{\lambda_b + \lambda_n + \lambda_d}{\mu_c} \right) \right] \left[\frac{\lambda_m}{\mu_m} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_c}{\mu_c} \left(\frac{\lambda_b}{\mu_b} + \frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_d}{\mu_d} \right) \right]^{-1}$$

$$\mu_{23} = \left[\lambda_n + \lambda_1 + \lambda_d \left(\frac{\lambda_b}{\mu_b} + \frac{\lambda_m}{\mu_m} + \frac{\lambda_c}{\mu_c} + \frac{\lambda_b + \lambda_m + \lambda_c}{\mu_d} \right) \right] \left[\frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_d}{\mu_d} \left(\frac{\lambda_b}{\mu_b} + \frac{\lambda_m}{\mu_m} + \frac{\lambda_c}{\mu_c} \right) \right]^{-1}$$

Po podstawieniu zależności (5) do układu równań (4) i po wykonaniu niezbędnych przekształceń otrzymuje się:

$$\begin{aligned}
 \lambda_i &= \lambda_m + \lambda_b \lambda_c \left(\frac{1}{\mu_c} + \frac{1}{\mu_b} \right) + 0,5 \lambda_b \lambda_1 \left(\frac{1}{\mu_b} + \frac{1}{\mu_1} \right) + \\
 &\quad + 0,5 \lambda_n \lambda_c \left(\frac{1}{\mu_n} + \frac{1}{\mu_c} \right) - 0,5 \lambda_m \lambda_d \left(\frac{1}{\mu_m} + \frac{1}{\mu_d} \right) \\
 \lambda_j &= \lambda_n + \lambda_d \lambda_b \left(\frac{1}{\mu_d} + \frac{1}{\mu_b} \right) + 0,5 \lambda_b \lambda_1 \left(\frac{1}{\mu_b} + \frac{1}{\mu_1} \right) + \\
 &\quad + 0,5 \lambda_m \lambda_d \left(\frac{1}{\mu_m} + \frac{1}{\mu_d} \right) - 0,5 \lambda_n \lambda_c \left(\frac{1}{\mu_n} + \frac{1}{\mu_c} \right) \\
 \lambda_k &= \lambda_1 + \lambda_d \lambda_c \left(\frac{1}{\mu_d} + \frac{1}{\mu_c} \right) + 0,5 \lambda_n \lambda_c \left(\frac{1}{\mu_n} + \frac{1}{\mu_c} \right) + \\
 &\quad + 0,5 \lambda_m \lambda_d \left(\frac{1}{\mu_m} + \frac{1}{\mu_d} \right) - 0,5 \lambda_1 \lambda_b \left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_b} \right) \\
 \mu_i &= \lambda_i \left(\frac{\lambda_m}{\mu_m} + \frac{\lambda_b}{\mu_b} \frac{\lambda_c}{\mu_c} + 0,5 \frac{\lambda_1}{\mu_1} \frac{\lambda_b}{\mu_b} + 0,5 \frac{\lambda_n}{\mu_n} \frac{\lambda_c}{\mu_c} - 0,5 \frac{\lambda_m}{\mu_m} \frac{\lambda_d}{\mu_d} \right)^{-1} \\
 \mu_j &= \lambda_j \left(\frac{\lambda_n}{\mu_n} + \frac{\lambda_b}{\mu_b} \frac{\lambda_d}{\mu_d} + 0,5 \frac{\lambda_1}{\mu_1} \frac{\lambda_b}{\mu_b} + 0,5 \frac{\lambda_d}{\mu_d} \frac{\lambda_m}{\mu_m} - 0,5 \frac{\lambda_c}{\mu_c} \frac{\lambda_n}{\mu_n} \right)^{-1} \\
 \mu_k &= \lambda_k \left(\frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_c}{\mu_c} \frac{\lambda_d}{\mu_d} + 0,5 \frac{\lambda_n}{\mu_n} \frac{\lambda_c}{\mu_c} + 0,5 \frac{\lambda_d}{\mu_d} \frac{\lambda_m}{\mu_m} - 0,5 \frac{\lambda_1}{\mu_1} \frac{\lambda_b}{\mu_b} \right)^{-1}
 \end{aligned} \tag{6}$$

W przypadku, gdy punkty połączeń (szyny) m, n, 1 można uznać za niezawodne, to jest gdy $\lambda_m = \lambda_n = \lambda_1 \rightarrow 0$, a $\mu_m = \mu_n = \mu_1 \rightarrow \infty$, wzory otrzymują postać [1]:

$$\begin{aligned}
 \lambda_i &= \lambda_b \lambda_c \left(\frac{1}{\mu_b} + \frac{1}{\mu_c} \right) \\
 \lambda_j &= \lambda_b \lambda_d \left(\frac{1}{\mu_b} + \frac{1}{\mu_d} \right) \\
 \lambda_k &= \lambda_c \lambda_d \left(\frac{1}{\mu_c} + \frac{1}{\mu_d} \right) \\
 \mu_i &= \mu_c + \mu_b \\
 \mu_j &= \mu_b + \mu_d \\
 \mu_k &= \mu_c + \mu_d
 \end{aligned} \tag{7}$$

Gdy konieczne jest odwrotne przekształcenie, tj. gwiazda - trójkąt, wtedy wykorzystując układ równań (7) otrzymujemy :

$$\begin{aligned} \lambda_b &= 0,5 \sqrt{\frac{\lambda_i \lambda_j \mu_k}{\mu_i \mu_j \lambda_k}} (\mu_i + \mu_j - \mu_k) \\ \lambda_c &= 0,5 \sqrt{\frac{\lambda_i \lambda_k \mu_j}{\mu_i \mu_k \lambda_j}} (\mu_i + \mu_k - \mu_j) \\ \lambda_d &= 0,5 \sqrt{\frac{\lambda_j \lambda_k \mu_i}{\mu_j \mu_k \lambda_i}} (\mu_j + \mu_k - \mu_i) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \mu_b &= 0,5 (\mu_i + \mu_j - \mu_k) \\ \mu_c &= 0,5 (\mu_i + \mu_k - \mu_j) \\ \mu_d &= 0,5 (\mu_j + \mu_k - \mu_i) \end{aligned}$$

Zależności (równania) są prawdziwe przy następujących warunkach:

$$\mu_i + \mu_j > \mu_k; \quad \mu_i + \mu_k > \mu_j; \quad \mu_j + \mu_k > \mu_i.$$

Obliczanie niezawodności złożonych układów zasilania energią elektryczną z wykorzystaniem zaproponowanego przekształcenia "trójkąt - gwiazda" są mniej uciążliwe i pracochłonne w porównaniu z obliczeniami wykorzystującymi znane dotychczas metody wymagające tworzenia specjalnych schematów zastępczych minimalnych przecięć (przekrojów niesprawności).

LITERATURA

1. Kowalow A.P., Kolesnik L.I.: Metod rasczota nadiożnosti słożnych schem elektrosnabżenija s ucetom wosstanowlenija elementow. Elektriczesstwo, 1985, N 10.
2. Sozański J.: Niezawodność i jakość pracy systemu elektroenergetycznego. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Henryk MARKIEWICZ

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1992 r.

A b s t r a c t

The paper presents a new method of calculation of reliability of the supply system for mines based on delta to star transformation, taking into consideration repairs of elements and reliability of connections between them.

The supply system does not always consist of series, parallel or mixed connections of elements. There are more complex systems which can be called the bridge systems. The concept of delta-star transformation is based on the fact that it is possible to use the star connection instead of the delta connection of elements which is equivalent from the point of view of the system reliability.

The problem is reduced then to determination of failures frequency of "the star system" equivalent to the same reliability parameters of "the delta system".

The proposed method differs from the methods applied so far (for instance: the method of cross-section inefficiency) as it uses the basic supply scheme for reliability evaluation. The complex structure is transformed into a simple structure (parallel-series) using "the delta-star" transformation and taking into account the renewal of elements and reliability of connections.

Each element is characterized by parameters λ_1 and μ_1 - frequency of failures and repairs ($i = 1 \dots n$).

The following assumptions have been accepted for an element of the supply system:

- damages of elements are independent events,
- time of operation without failures and time of repair has an exponential distribution.

The proposed method applied for calculating of complex supply systems is more efficient than the methods used so far.