

XVIII Seminarium

ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICE' 2008

Oddział Gdański PTETiS

Referat nr 21

ZASTOSOWANIE TEORII PROCESÓW MARKOWA DO MODELOWANIA PROCESÓW EKSPLOATACJI UKŁADU IZOLACYJNEGO URZĄDZEŃ ELEKTROENERGETYCZNYCH

Szczepan MOSKWA

1. Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
tel: 012 617 28 86 fax: 012 634 57 21 e-mail: szczepan@agh.edu.pl

Streszczenie: Urządzenia elektroenergetyczne są narażone w trakcie eksploatacji na działanie różnych czynników o charakterze losowym. Proces ich eksploatacji obejmujący tryb pracy, przestoju, obsługi oraz naprawy, można modelować jako proces losowy.

Dzięki wykorzystaniu możliwości obliczeniowych komputerów można prowadzić symulacje procesów z wieloma zmiennymi wykorzystujących ich modele matematyczne. W artykule przedstawiono model matematyczny procesu eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych, wykorzystujący teorię procesów losowych Markowa. Wyniki symulacji komputerowych opartych na prezentowanym modelu pozwalają na optymalizację czasu obsługi urządzeń oraz nakładów z tym związanych.

Słowa kluczowe: eksploatacja, modelowanie, proces Markowa, układ izolacyjny.

1. WSTĘP

Jednym z kierunków rozwoju elektroenergetyki ostatnich lat jest poprawa standardów jakościowych obsługi odbiorców oraz parametrów technicznych dostarczanej energii elektrycznej. Realizacja wymagań rynku energii elektrycznej pod względem pewności dostaw energii elektrycznej stawia nowe wyzwania w procesie eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych – zwiększenie niezawodności ich pracy oraz pracy całego systemu elektroenergetycznego.

Konsekwencje techniczne i ekonomiczne awarii urządzeń, w tym również gorsza jakość zasilania, wysuwają obsługę diagnostyczną oraz znaczenie informacji o stanie urządzeń i systemu na pierwszy plan w procesie eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Prawidłowe badania diagnostyczne prowadzone w odpowiednich okresach przyczyniają się do zwiększenia gotowości urządzenia, zmniejszenia kosztów obsługi, redukcji ryzyka szkód pośrednich, poprawy bezpieczeństwa systemu oraz optymalizacji użytkowania [4].

W związku z powyższym poniżej przedstawiono przykładowy model matematyczny procesu eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych, na podstawie którego można dokonywać symulacji wpływu intensywności oraz czasu trwania obsługi diagnostycznej na długość całego

okresu eksploatacji urządzenia, w zależności od intensywności uszkodzeń oraz procesu zużycia eksploatacyjnego urządzenia.

2. KLASYFIKACJA STANÓW URZĄDZENIA

Proces eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych może być realizowany, w ogólnym ujęciu, według dwóch modeli:

- praca urządzenia do końca jego czasu życia/trwałości technicznej z minimalnym nakładem na diagnostykę, a zatem przy niskich kosztach eksploatacji,
- eksploatacja z monitoringiem stanu urządzeń za pomocą systemów diagnostyki technicznej i przedłużanie czasu ich eksploatacji oraz podwyższenie dyspozycyjności/zdatności do pracy. Całkowite koszty eksploatacji zawierają w tym przypadku koszty technicznej diagnostyki systemu. częściowej poprawy stanu technicznego urządzeń oraz ewentualne remonty urządzeń.

Ze względu na znaczenie układu izolacyjnego dla pracy urządzeń elektroenergetycznych, stan urządzenia może być klasyfikowany, m.in. na podstawie stanu izolacji [5].

Przykładowa klasyfikacja stanu urządzenia na podstawie wyniku różnych rodzajów badań układów izolacyjnych został przedstawiony poniżej w tabeli 1.

Tablica 1. Klasyfikacja stanu izolacji urządzeń elektroenergetycznych na podstawie różnych rodzajów badań

Metoda pomiaru	PI – wskaźnik polaryzacji	DAR – spólczynnik absorpcji dielektryka	TC – stała czasowa ch-ki prądu rozładowania	DD – prąd rozładowania a dielektryka po 60 s
Stan izolacji				
S ₃ – słaby	< 1	< 1	< 100	> 4
S ₂ – osłabiony; nieokreślony	1 do 2	1 do 1,4	100 do 800	2 do 4
S ₁ – dobry	2 do 4	1,4 do 1,6	800 do 2000	< 2

S ₀ – „jak nowy”	> 4	> 1,6	> 2000
-----------------------------	-----	-------	--------

Przy opracowywaniu przedstawionego w referacie modelu przyjęto, że proces eksploatacji jest realizowany z obsługą diagnostyczną (np. wg modelu CBM – *Condition Based Maintenance*), na podstawie, której jest klasyfikowany stan urządzenia i wykonywane prace konserwacyjne zwiększające czas eksploatacji. Model został zbudowany w oparciu o teorię procesów losowych Markowa, ponieważ teoria ta dotyczy procesów „bez pamięci”, czyli takich, w których istotny jest tylko aktualny stan układu i możliwości jego ewolucji, a nie trajektoria jego przejść w przeszłości [2,3]. Dodatkowy wpływ na wybór metody w opracowaniu modelu miał charakter losowy zmian stanu urządzeń w trakcie eksploatacji oraz możliwości uszkodzenia ich układu izolacyjnego [6].

Poniżej przedstawiono matematyczne założenia do modelu i jego konstrukcję, oraz przykład obliczeniowy.

3. MODEL PROCESU EKSPLOATACJI

Model matematyczny układu izolacyjnego został zbudowany na założeniach, które umożliwiają wyznaczenie czasu do uszkodzenia układu jest dość skomplikowanej natury lub wymaga dodatkowych założeń upraszczających. Dlatego też wykorzystując teorię procesów losowych Markowa [1,2] [przyjęto następujące założenia dla modelu:

- prezentowany wielostanowy model eksploatacji oparty jest na łańcuchu Markowa z czasem ciągłym,
- proces eksploatacji realizowany jest na ośmioelementowym zbiorze stanów, w tym:
 - trzech dopuszczalnych stanów układu izolacyjnego S₀, S₁ i S₂ (odpowiednio „jak nowy”, dobry i osłabiony);
 - dwóch stanów uszkodzeń: S₃ – uszkodzenie w wyniku narażeń ciągłych, S₄ – stany awarii; uszkodzenie katastroficzne;
 - trzech stanów obsługi diagnostycznej (D₀, D₁ i D₂).
- obsługa urządzenia w rozpatrywanym przypadku ma na celu kontrolę stanu układu izolacyjnego, konsekwencją czego jest decyzja o ewentualnych pracach naprawczo-remontowych,
- istnieje możliwość przejścia ze stanów S₀, S₁, S₂ do stanu S₄ w wyniku nagłego uszkodzenia katastroficznego. Prawdopodobieństwo takiego uszkodzenia jest niezależne od stanu, w jakim akurat znajduje się urządzenie,
- intensywności przejść pomiędzy stanami są odwzorowane rozkładem Weibulla opisanym dystrybuantą [3]:

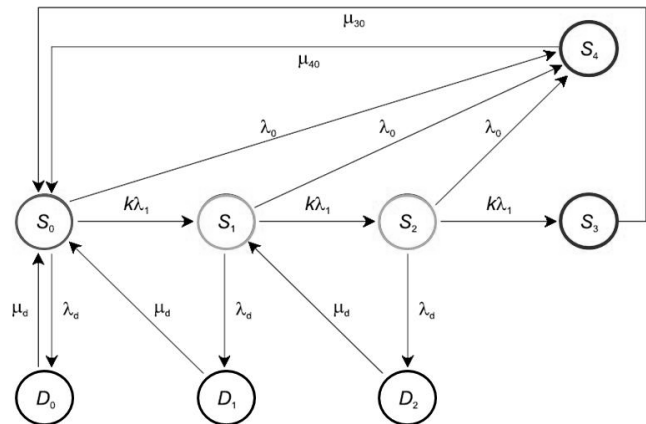
$$F(t) = 1 - \exp(-\beta t^\alpha) \quad (1)$$

gdzie: α, β – parametry rozkładu

Dla parametru $\alpha = 1$ równanie (1) przyjmuje postać rozkładu wykładniczego. Jeżeli więc przyjmiemy $\alpha = 1$ oraz jako $\beta = \lambda$ (intensywność przejścia), wówczas wartość oczekiwana rozważanej zmiennej losowej będzie równa:

$$EX = \frac{1}{\beta} = \left(\frac{1}{\lambda}\right) \quad (2)$$

Graf procesu opisanego modelu obrazujący możliwe przejścia pomiędzy stanami został przedstawiony na rysunku poniżej (rys. 1). Oznaczenia na rysunku są zgodne z przyjętymi założeniami.



Rys. 1. Graf modelu procesu eksploatacji urządzeń; (oznaczenia zgodne z oznaczeniami w tekście)

W przedstawionym modelu odpowiednie intensywności przejść pomiędzy stanami przyjęto czysto teoretycznie i zdefiniowane jako:

- średni statystyczny czas do uszkodzenia katastroficznego: $\lambda_0^{-1} = 500$ dni,
- średni statystyczny czas życia układu izolacyjnego: $\lambda_1^{-1} = 1000$ dni,
- czas pełnego usunięcia awarii $\mu_{40}^{-1} = 2$ dni,
- czas pełnej wymiany jednostki na nową $\mu_{30}^{-1} = 7$ dni,
- czas obsługi diagnostycznej z odnową $\mu_d^{-1} = 0,5$ dnia,
- liczba stanów pośrednich do stanu uszkodzenia S₃, $k = 3$,
- optymalny czasookres badań $t_{d,opt} = \lambda_d^{-1} = \text{const}$.

Zgodnie z teorią procesów losowych Markowa wektor prawdopodobieństwa znalezienia się układu w jednym z możliwych stanów jest zdefiniowany jako:

$$\mathbf{P} \stackrel{\text{def}}{=} [p_0 \quad p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad p_4 \quad p_5 \quad p_6 \quad p_7] \quad (3)$$

gdzie: p_i – prawdopodobieństwo znalezienia się układu w stanie: $i = 0, \dots, 4$ odpowiednio dla stanów S₀, ..., S₄ oraz $i = 5, \dots, 7$ dla stanów D₀, ..., D₃

Warunek kontrolny dla rozpatrywanego modelu jest opisany równaniem (4):

$$\sum_{i=0}^{n-1} p_i = 1 \quad \text{dla} \quad n = 8 \quad (4)$$

Przyjmując, że wszystkie zmienne losowe mają ten sam rozkład, tzn.:

$$\mathbf{P}_n(t) = \mathbf{P}_n(0) = \mathbf{P} \quad (5)$$

jest stałym wektorem oraz rozpatrywany proces jest procesem stacjonarnym, wówczas równania Chapmana – Kołmogorowa mają postać równania (6) [1,2].

$$\mathbf{P} \cdot \mathbf{\Lambda} = 0 \quad (6)$$

gdzie: \mathbf{P} – wektor prawdopodobieństwa, $\mathbf{\Lambda}$ – macierz przejść między stanami

Macierz przejść uwzględniana w równaniu (6) jest, dla przyjętego modelu, podana niżej:

$$\mathbf{\Lambda} = \begin{bmatrix} z & k\lambda_1 & 0 & \lambda_d & 0 & 0 & \lambda_0 & 0 \\ 0 & z & k\lambda_1 & 0 & \lambda_d & 0 & \lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & z & 0 & 0 & \lambda_d & \lambda_0 & k\lambda_1 \\ \mu_d & 0 & 0 & -\mu_d & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_d & 0 & 0 & 0 & -\mu_d & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_d & 0 & 0 & 0 & -\mu_d & 0 & 0 \\ \mu_{40} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_{40} & 0 \\ \mu_{30} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu_{30} \end{bmatrix} \quad (7)$$

gdzie: $z = -k\lambda_1 - \lambda_d - \lambda_0$

Podstawiając wyrażenia równania (3) i (7) do równania (6) można wyznaczyć wartości poszczególnych prawdopodobieństw znalezienia się układu w danym stanie w funkcji czasu.

W przyjętych założeniach podano, że jako dopuszczalne stany urządzenia, w których może się znaleźć z punktu widzenia poprawności eksploatacji to S_0 do S_2 , dlatego też jako funkcję dostępności urządzenia $A(t)$ można podać sumę prawdopodobieństw:

$$A(t) = p_0 + p_1 + p_2 \quad (8)$$

Ze względu na złożoność rozwiązania powyższej funkcji w postaci ogólnej poniżej przedstawiono tylko rozwiązanie szczegółowe dla następujących wartości: $\lambda_0 = 1/365$, $\lambda_1 = 1/365$, $\mu_{40} = 1/2$, $\mu_d = 2$ and $k = 3$. Wówczas wzór równanie (8) przyjmuje postać:

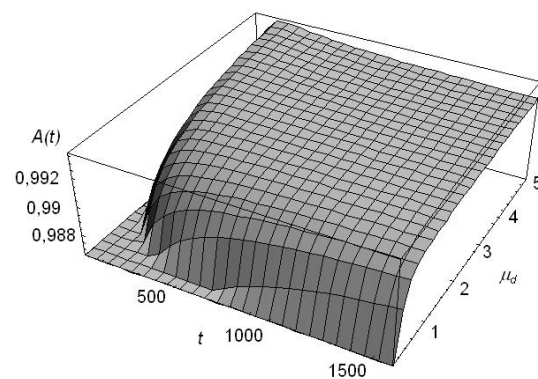
$$A(t) = \frac{1095(37 + 2920 \cdot \lambda_d + 13,32 \cdot 10^4 \lambda_d^2) \mu_{30}}{81 + (40,73 \cdot 10^3 + 32,28 \cdot 10^5 \lambda_d + 14,77 \cdot 10^7 \lambda_d^2 + 48,62 \cdot 10^6 \lambda_d^3) \mu_{30}} \quad (9)$$

Otrzymane rozwiązanie może służyć do wyznaczenia optymalnego czasu obsługi w zależności od intensywności tych obsług w czasie całego okresu eksploatacji. Model matematyczny można wykorzystywać na bieżąco, uwzględniając aktualny stan urządzenia.

Graficzna ilustracja dyspozycyjności urządzenia została przedstawiona na rysunku 2.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Strategia eksploatacyjna wspomagana analizą komputerową procesów obsługi urządzeń daje możliwość efektywniejszego zastosowania diagnostyki urządzeń elektroenergetycznych oraz wykorzystania pozyskiwanych danych diagnostycznych



Rys. 2. Wykres funkcji dyspozycyjności urządzenia w czasie, w zależności od intensywności obsługi czasu ich trwania

Analiza procesów uszkodzeń i obsług z wykorzystaniem modelowania matematycznego pozwala na optymalizację procesu eksploatacji ze względu na jej koszty oraz ograniczenie strat ekonomicznych wynikających z potencjalnych awarii

Ze względu na specyfikę zmian stanu, które zachodzą w urządzeniach elektroenergetycznych, a także specyfikę procesów obsług, zasadnym jest opracowywanie modeli matematycznych tych procesów na podstawie teorii Markowa, co pozwoli na zoptymalizowanie czasookresów badań i obsług.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Davis M.H.A.: Markov Models and Optimization, Chapman & Hall, 1993.
2. Filipowicz B.: Modelowanie i optymalizacja systemów kolejkowych - cz. I Systemy markowskie, Przedsiębiorstwo Poligraficzne Tadeusz Rudkowski, 1995.
3. Pukite P., Pukite J., Modeling for Reliability Analysis: Markov Modeling for Reliability, Maintainability, Safety, and Supportability, Wiley-IEEE Press, 1998.
4. Subgroup "Quality Aspects" within Working Group "Network Issues": Quality Aspects, EUROELECTRIC, 2000, Belgium.
5. Włodek R., Moskwa Sz.: Application of stochastic processes theory to diagnostics of high voltage devices EPE 2005 – 6th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2005, May 30-June 1, 2005, Kouty nad Desnou, Czech Republic s. 83.
6. Włodek R., Moskwa Sz.: Zastosowanie procedur probabilistycznych w eksploatacji elektroenergetycznych linii napowietrznych i kablowych, Przegląd Elektrotechniczny, 2005 Vol.81 nr.4, s. 30-33.

APPLICATION OF MARKOV THEORY FOR MODELING OF EXPLOITATION PROCESS OF INSULATED SYSTEM OF ELECTRICAL POWER DEVICES

Keywords: exploitation, modeling, Markov process

The paper presents the possibility of exploitation procedure modelling based on statistical exploitation data and probabilistic approach. With regard to the random character of states changes and damage of electrical power devices, model of these processes based on Markov random processes theory have been proposed. Particularly Markov random processes are introduced and discussed and some theoretical example is elaborated as a presentation.