

## ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІДНОВЛЮВАНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ

© Михайлів М.І., 1998

*Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу*

*Розроблені математичні моделі надійності та визначені кількісні показники надійності систем електропостачання електроспоживачів з двох джерел живлення: районної підстанції електроенергетичної системи та вітроелектростанції.*

Під час аналізу надійності складної електричної системи особливі труднощі виникають при визначенні ймовірності знаходження системи в різних станах. Кількість станів різко зростає при врахуванні станів передчасних відмикань елементів для ремонту, огляду тощо. Тому для будь-якої реальної системи необхідно усунути з розгляду малоімовірні стани, що призведе до скорочення кількості станів. Отже, для будь-якої реальної системи оцінка показників надійності є проблемою, навіть, при достовірних вихідних даних.

Всі випадки відмови системи можна звести до трьох основних [1]:

- а) відмова і відновлення одного елемента (одноелементна схема);
- б) відмова і відновлення одного елемента з  $n$  елементів при  $n-1$  працездатних (схема однієї відмови і одного стану);
- в) відмова і відновлення двох резервуючих один одного елементів під час виконання ними

функцій у системі (схема двох відмов).

Особливості резервованих систем з відновленням можна розглянути на прикладі двох резервуючих один одного елементів. Така система може знаходитись у чотирьох станах:

- 1) система працездатна (працюють обидва елементи);
- 2) система працездатна, але відмовив перший елемент;
- 3) система працездатна, але відмовив другий елемент;
- 4) система непрацездатна – обидва елементи знаходяться в стані відмови.

Цими елементами приймаємо генератори теплової станції і генератори відновного джерела живлення. Відповідні ймовірності цих станів приймаємо  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$ ,  $P_3(t)$ ,  $P_4(t)$ .

Граф переходів цієї схеми приймає вигляд, який показаний на рис. 1.

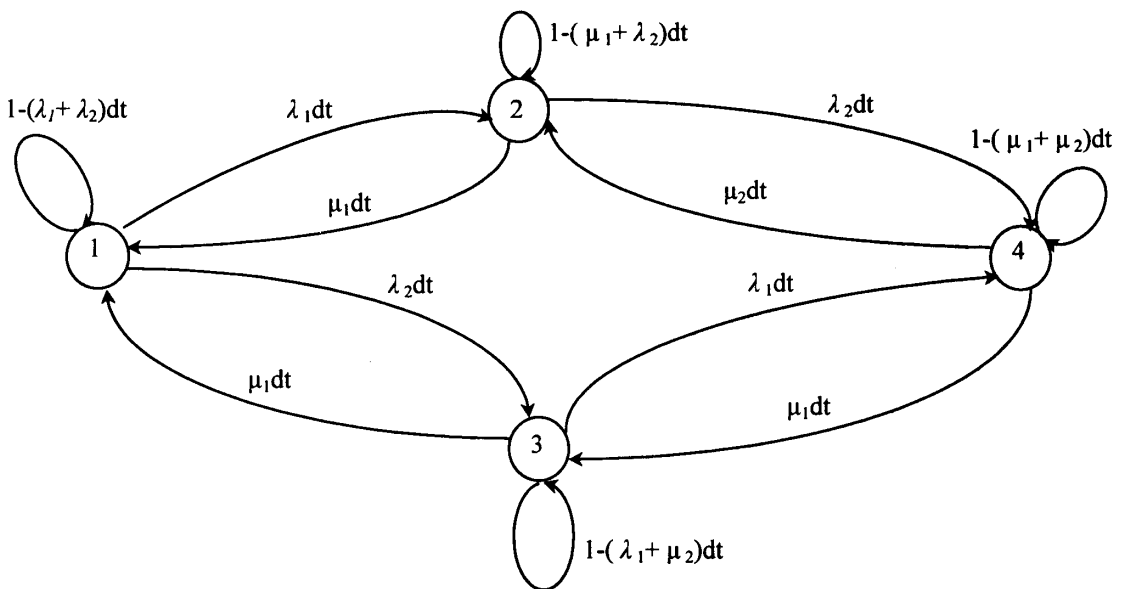


Рис. 1. Граф переходів схеми.

Система диференціальних рівнянь, яка описує ймовірності станів у часі, має вигляд

$$\begin{aligned} P_1' &= -(\lambda_1 + \lambda_2)P_1(t) + \mu_1 P_2(t) + \mu_2 P_3(t); \\ P_2' &= -(\lambda_2 + \mu_1)P_2(t) + \lambda_1 P_1(t) + \mu_2 P_4(t); \\ P_3' &= -(\lambda_1 + \mu_2)P_3(t) + \lambda_2 P_1(t) + \mu_1 P_4(t); \\ P_4' &= -(\mu_1 + \mu_2)P_4(t) + \lambda_1 P_3(t) + \lambda_2 P_2(t), \end{aligned}$$

де  $P_1', P_2', P_3', P_4'$  – похідні від ймовірностей станів;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  – інтенсивності відмов відповідних станів;  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$  – інтенсивності відновлення працездатності.

Розв'язок рівняння запишемо так:

$$P_k(t) = \sum_{k=1}^N a_k^{(i)} e^{-p_i t},$$

де  $k=1, 2, \dots, N$  – стани системи;  $a_k^{(i)}$  – постійні коефіцієнти;  $p_i$  – корені характеристичного рівняння.

У даному випадку ймовірності всіх станів описуються суперпозицією експонент з постійними складовими, яку можна наближено замінити однією експонентою з еквівалентним коефіцієнтом загасання, обернено пропорційним еквівалентному часові переходу із стану відмови в працездатний стан.

За початкових умов для непрацездатної системи  $p_1(0)=0, p_2(0)=0, p_3(0)=0, p_4(0)=1$  ймовірність відмови становитиме

$$\begin{aligned} P_4(t) &= k_{n1} k_{n2} + k_{z1} k_{z2} e^{-(\lambda_1 + \mu_1 + \lambda_2 + \mu_2)t} - \\ &- k_{z1} k_{n2} e^{-(\lambda_1 + \mu_1)t} - k_{n1} k_{z2} e^{-(\lambda_2 + \mu_2)t}, \end{aligned}$$

де  $k_{z1}, k_{z2}$  – коефіцієнти готовності першого і другого елементів;  $k_{n1}, k_{n2}$  – коефіцієнти простою відповідних елементів.

За умови  $T_i \gg t_{сп}$ ,  $\lambda_i \ll \mu_i$  одержуємо

$$\begin{aligned} P_4(t) &\approx k_{n1} k_{n2} + k_{z1} k_{z2} t^{-(\mu_1 + \mu_2)t} - \\ &- k_{z1} k_{n2} e^{-\mu_1 t} - k_{n1} k_{z2} e^{-\mu_2 t} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\mu_1 \mu_2} + c e^{-\mu_{екв} t}, \end{aligned}$$

де  $c e^{-\mu_{екв} t} = k_{z1} k_{z2} t^{-(\mu_1 + \mu_2)t} - k_{z1} k_{n2} e^{-\mu_1 t} - k_{n1} k_{z2} e^{-\mu_2 t}$ .

Розділимо на  $k_{z1} k_{z2}$

$$\frac{c}{k_{z1} k_{z2}} e^{-\mu_{екв} t} = e^{-(\mu_1 + \mu_2)t} - \frac{k_{n2}}{k_{z2}} e^{-\mu_1 t} - \frac{k_{n1}}{k_{z1}} e^{-\mu_2 t}.$$

Врахуємо, що  $k_{z1} k_{z2} \approx 1$

$$c e^{-\mu_{екв} t} = e^{-(\mu_1 + \mu_2)t} - \frac{\lambda_2}{\mu_2} e^{-\mu_1 t} - \frac{\lambda_1}{\mu_1} e^{-\mu_2 t},$$

$$\text{звідки } \mu_{екв}(t) = \left[ \frac{1}{c} \left( e^{-(\mu_1 + \mu_2)t} - \frac{\lambda_2}{\mu_2} e^{-\mu_1 t} - \frac{\lambda_1}{\mu_1} e^{-\mu_2 t} \right) \right].$$

Розглядаючи резервну систему, як один елемент, можна записати  $k_{n.c.} = \lambda_c t_{a.c.}$ , звідки параметр потоку відмов системи з двох резервуючих один одного елементів

$$\lambda_c = \frac{k_{n.c.}}{t_{a.c.}} = \frac{\lambda_1 t_{a1} \lambda_2 t_{a2} (t_{a1} + t_{a2})}{t_{a1} + t_{a2}} = \lambda_1 k_{n2} + \lambda_2 k_{n1}.$$

Тобто, параметр потоку відмов системи, яка складається з двох резервуючих один одного елементів, дорівнює сумі добутків параметра потоку відмов першого на середню ймовірність стану відмови другого і параметра потоку відмов другого на середню ймовірність відмови першого.

Показники надійності резервованих систем з урахуванням ремонтних станів і передчасних відмикач [2].

Коефіцієнт вимушеного простоювання системи і параметр потоку відмов

$$\begin{aligned} k_{n.c.} &= \lambda_1 t_{a1} \lambda_2 t_{a2} + \lambda_{np1} t_{np1} k_{np1} \lambda_2 t_{a2} + \lambda_{n2} t_{np2} k_{np2} \lambda_1 t_{a1}; \\ \lambda_c &= \lambda_1 (\lambda_2 t_{a2}) + \lambda_2 (\lambda_1 t_{a1}) + \lambda_1 (\lambda_{np2} t_{np2}) + \lambda_2 (\lambda_{np1} t_{np1}). \end{aligned}$$

Для системи з  $n$  взаєморезервованих елементів

$$\begin{aligned} k_{n.c.} &= \prod_{i=1}^n \lambda_i t_{a_i} + \sum_{i=1}^n \lambda_{npi} t_{npi} k_{npi} \prod_{j=1, j \neq i}^n \lambda_j t_{a_j}; \\ \lambda_c &= \sum_{i=1}^n \lambda_i \prod_{j=1, j \neq i}^n (\lambda_j t_{a_j} + \lambda_{npj} t_{npj}). \end{aligned}$$

Час відновлення працездатності системи

$$t_{ac} = \frac{k_{nc.}}{\lambda_c}.$$

Оцінимо надійність системи електропостачання, електроприймачів з двох джерел живлення, зображеної на рис.2.

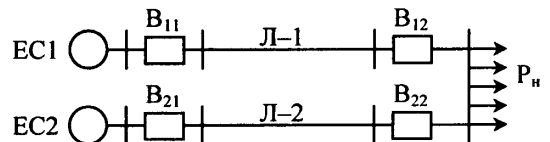


Рис.2. Система електропостачання з двома джерелами живлення: 1 – вітрова електрична станція (вітрогенератори номінальною потужністю  $P_{ном} = 200$  кВт); 2 – районна підстанція енергетичної системи.

Кожне коло даної мережі може передавати всю необхідну потужність.

Параметри потоку відмов і передчасних відмикань елементів системи електропостачання, середні часи відновлення і тривалість передчасних відмикань наведені в таблиці.

Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Елемент					
	В11	Л-1	В12	В21	Л-2	В22
$\lambda$ , 1/км·рік	0.01	0.023	0.02	0.137	0.019	0.137
$l$ , км	-	0.5	-	-	10	-
$t_b$ , год	8	10	8	15	30	15
$\lambda_{np}$ , 1/рік	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4
$t_{np}$ , год	40	15	40	80	20	80

Під час розрахунку вважаємо, що передчасні відмикання послідовно ввімкнених елементів мережі суміщені в часі.

Знаходимо параметри потоку відмов першого і другого кіл, кожне з яких містить три послідовно з'єднані елементи

$$\lambda_1 = \lambda_{oa1}l_1 + \lambda_{a11} + \lambda_{a12} + \lambda_{np.a.12} =$$

$$= 0.023 \times 0.5 + 0.01 + 0.02 + 0.2 = 0.2415, \frac{1}{\text{рік}};$$

$$\lambda_{11} = \lambda_{oa2}l_2 + \lambda_{a21} + \lambda_{a22} + \lambda_{np.a.21} =$$

$$= 0.019 \times 10 + 0.137 + 0.137 + 0.4 = 0.864.$$

Параметр потоку відмов системи

$$\lambda_c = \lambda_1 q_{11} + \lambda_{11} q_1 + \lambda_1 q_{np11} \lambda_{11} q_{np1},$$

$$\text{де } q_1 = q_{a11} + q_{a1} + q_{a12} = \lambda_{a11} t_{oa11} + \lambda_{a1} t_{a1} +$$

$$+ \lambda_{a12} t_{oa12} = \frac{0.01 \cdot 8 + 0.0115 \cdot 10 + 0.02 \cdot 8}{8760} = \frac{0.355}{8760} =$$

$$= 4.053 \cdot 10^{-5};$$

$$t_{a1} = \frac{q_1}{\lambda_1 - \lambda_{npa2}} = \frac{4.053 \cdot 10^{-5}}{0.2415 - 0.2} \cdot 8760 = 8.56 \text{ год};$$

$$q_{11} = q_{a21} + q_{11} + q_{a22} = \lambda_{a21} t_{oa21} + \lambda_{a2} t_{a2} +$$

$$+ \lambda_{a22} t_{oa22} = \frac{0.137 \cdot 15 + 0.19 \cdot 30 + 0.137 \cdot 15}{8760} = 1.12 \cdot 10^{-3};$$

$$t_{a11} = \frac{q_{11}}{\lambda_{11} - \lambda_{npa22}} = \frac{1.12 \cdot 10^{-3}}{0.864 - 0.4} \cdot 8760 = 21.14 \text{ год};$$

$$\lambda_c = \lambda_1 q_{11} + \lambda_{11} q_1 + \lambda_1 q_{np11} \lambda_{11} q_{np1} =$$

$$= \frac{0.864 \cdot 4.053 \cdot 10^{-5} + 0.2415 \cdot 0.4 \cdot 80 + 0.864 \cdot 0.2 \cdot 40}{8760} =$$

$$= 1.67 \cdot 10^{-3}.$$

За одержаними показниками надійності можна оцінити техніко-економічну післядію від недовідпускання електроенергії і перерв електропостачання.

1. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: Практ. пособие / Под ред. В.А.Веникова: Кн.3. Надёжность и эффективность сетей электрических систем. М., 1989. 2. Гук Ю.Б. Анализ надёжности электроэнергетических установок. Л., 1988.