

УДК 621.311.1

В. М. Кутін, д-р. техн. наук, проф.; М. О. Ілюхін, асп.

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ З ПОВІТРЯНИМИ ЛІНІЯМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Запропоновано систему керування технічним станом розподільних мереж відобразити моделлю у вигляді структурного інформаційного графа системи зі стохастичними зворотними зв'язками. Методологія його побудови базується на узгодженні взаємопов'язаних детермінованого і стохастичного аналізів, коли основним є детермінований підхід, а стохастичний — його розвитком.

### Вступ

Забезпечення необхідного рівня безвідмовності роботи розподільних мереж неможливе без належної організації робіт з технічного обслуговування і ремонту. В наявній системі технічного обслуговування та ремонту [1–3] періодичність технічного обслуговування визначається на основі суб'єктивних оцінок персоналу який, виходить із виробничої можливості і необхідності, які реалізуються за допомогою річного графіка. Останній складається в наперед визначений час і не може відображати реальний технічний стан окремих елементів, окремі елементи об'єкта працюють в різних умовах і тому не можна гарантувати, що в міжремонтний період не будуть виникати відмови. З такою системою діагностування завжди будуть втрати від відмов і недовикористаного ресурсу.

Мета роботи оптимізувати взаємодію між об'єктивним процесом зміни технічного стану об'єкта і суб'єктивним процесами експлуатації.

### Матеріали та результати дослідження

Запропоновано систему комбінованого діагностування, яка ґрунтується на перевірці технічного стану РМ 6–35 кВ за сигналом інформаційної змінної неперервного контролю роботоздатності системи за інтегральним діагностичним параметром та відмовами і оптимізації процесу пошуку пошкоджень шляхом спільного використання статичних та динамічних характеристик ПРМ. Методологія її побудови ґрунтується на узгодженні причинно-наслідкового детермінованого підходу з його стохастичним розвитком, тобто на структурно-інформаційній теорії надійності [4]. Функціональна схема комбінованої системи діагностування повітряної розподільної мережі зображена на рис. 1 [5].

У цій системі метою керування є підтримка експлуатаційних показників РМ на заданому рівні протягом визначеного часу. Для РМ як інтегральні експлуатаційні показники використовують

$$\alpha(t) = \{K_{\Gamma}, K_{\text{ПР}}, K_{\text{ТВ}}, K_{\text{ОГ}}\},$$

де  $K_{\Gamma}$  — коефіцієнт готовності;  $K_{\text{ПР}}$  — коефіцієнт простою;  $K_{\text{ТВ}}$  — коефіцієнт технічного вико-

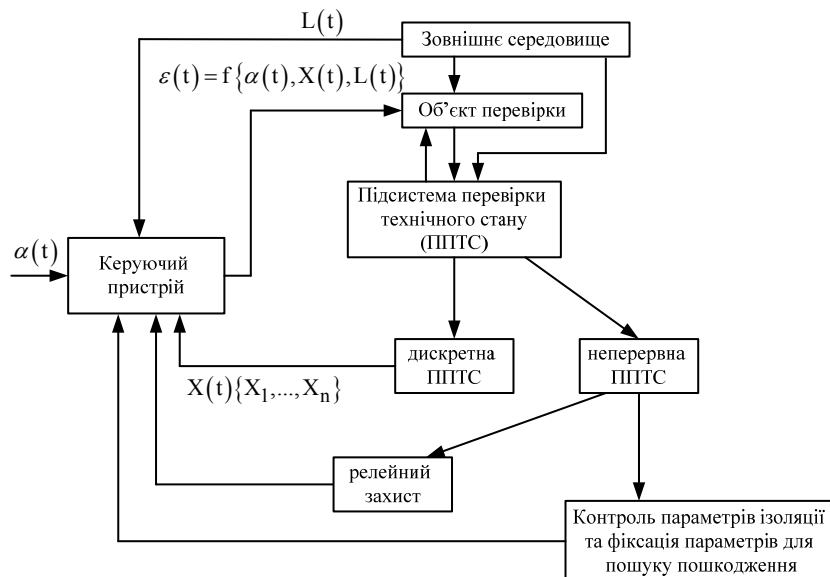


Рис. 1. Функціональна схема комбінованої системи діагностування:  
 $\alpha(t)$  — задана мета керування;  $X(t)\{X_1, \dots, X_n\}$  — параметри перевірки ТС об'єкта;  $L(t)$  — параметри зовнішнього середовища;  
 $\varepsilon(t) = f\{\alpha(t), X(t), L(t)\}$  — керуюча дія

ристання;  $K_{OG}$  — коефіцієнт оперативної готовності.

До параметрів зовнішнього середовища  $L(t)$  відносять масив довідкової бази РМ та техніко-економічні показники, показники діяльності служби експлуатації та ремонту РМ, характеристики та параметри енергоремонтної бази, персоналу, технічного оснащення оперативних та ремонтних бригад, облік наявних матеріалів, запасних частин та комплектуючих пристроїв, дані про кліматичні умови експлуатації РМ тощо.

На стадії локалізування пошкоджень крім технічних засобів використовуються евристичні методи оцінки технічного стану. Взаємодію оператора з об'єктом можна відобразити в такій послідовності. Оператор збирає інформацію в порядку зниження її надходження

$$v_{\lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(k) = \frac{1}{t_k \lambda_k} \sum_{\lambda_k} P_{\lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(\lambda_k) \left[ \sum_D P_{\lambda_1, \dots, \lambda_k}(D) \log_2 P_{\lambda_1, \dots, \lambda_k}(D) - \sum_{\lambda_k} P_{\lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(D) \log_2 P_{\lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(D) \right], \quad (1)$$

де  $D$  — діагноз;  $k$  —  $k$ -й за чергою сприйняття образ — носій діагностичної інформації;  $\lambda_k$  — результат порівняння  $k$ -го носія інформації з еталоном ( $\lambda_k = 0$  — носій збігається з еталоном;  $\lambda_k \neq 0$  — носій не збігається з еталоном);  $t_k$  — час отримання оператором  $k$ -го носія інформації;  $P_{\lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(\lambda_k)$  — ймовірність сприйняття оператором  $k$ -го носія інформації;  $P_{\lambda_1, \dots, \lambda_k}(D)$  — розподіл ймовірностей можливих діагнозів після сприйняття оператором  $k$  носіїв інформації.

Накопичує цю інформацію у відповідності з рівнянням

$$P_{\lambda_1, \dots, \lambda_k}(D) = \frac{P_{\lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(D) \cdot P_{D, \lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(\lambda_k)}{\sum_D P_{\lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(D) \cdot P_{D, \lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(\lambda_k)}, \quad (2)$$

де  $P_{D, \lambda_1, \dots, \lambda_{k-1}}(\lambda_k)$  — ймовірність, яка характеризує досвід оператора по вилученню інформації з  $k$ -го носія.

Використовує її для вибору дії у відповідності з виразом

$$P_{\lambda_1, \dots, \lambda_k}(D=d) = 1 - \delta, \quad (3)$$

де  $\delta$  — міра ризику оператора у виборі діагнозу в разі нестачі інформації.

Оскільки в основі детермінованого підходу лежить уявлення про інформаційну змінну [4], що визначає вихідний ефект функціонування РМ, а також зв'язаних з ним сигналів керування нею, то існує можливість установити взаємозв'язок всіх частин електротехнічного комплексу, який складається із об'єкта і кіл керування, в загальний алгоритм функціонування і врахувати їх вплив на кінцевий ефект системи.

Якщо задана множина станів  $\Omega = \{\Omega_X\}$ , подій  $\varepsilon = \{\varepsilon_{ij}\}$  і шляхи керування технічним станом РМ є незалежними подіями, то вихідний потік можна визначити як [27]:

$$\Theta_{\text{вих}} = \bigcup_{i \neq j} \varepsilon_{ij} \theta_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

а ймовірність вихідного потоку

$$P(\Theta_{\text{вих}}) = \sum_{i=1}^3 P(\theta_{ij}) \cdot P(\varepsilon_{ij} / \theta_{ij}). \quad (5)$$

Для представлення (5) в розгорнутому вигляді проведемо аналіз інформаційних потоків.

$$\Theta_{\text{вих}} = \Theta_I + \Theta_{II} + \Theta_{III}.$$

На рис. 2 зображено граф керування технічним станом РМ за нормальних умов експлуатації. Граф керування за технічним станом і наробітком за відмовами зображені, відповідно, на рис. 3 та 2.

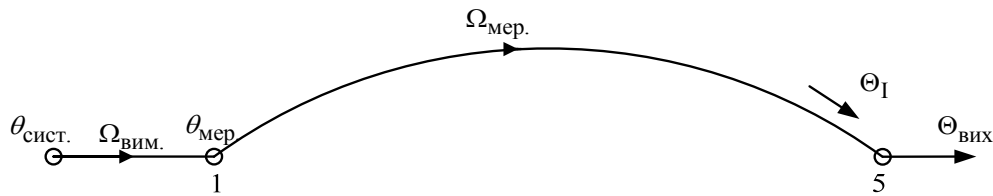


Рис. 2. Граф керування технічним станом РМ (нормальні умови експлуатації)

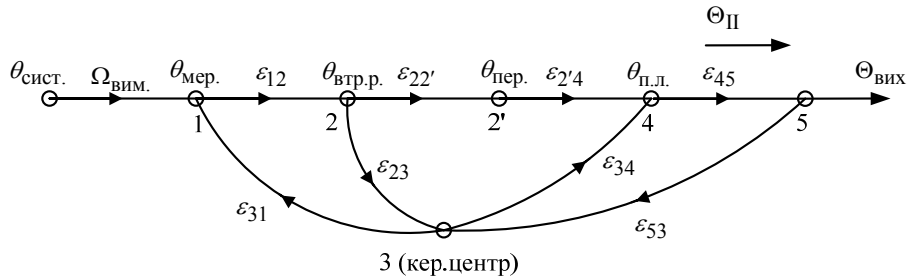


Рис. 3. Граф керування технічним станом РМ за технічним станом і наробітком на відмову

Для прикладу розглянемо граф на рис. 3. Вітка 1–2 відображає подію  $\epsilon_{12}$  неперервного контролю технічного стану за вибраним діагностичним параметром. У випадку втрати роботоздатності з'являється інформаційний сигнал  $\theta_{втр.р.}$ , подія його передачі в керувальний центр відображається як  $\epsilon_{23}$ . На основі отриманої інформації в керувальному центрі (вузол 3) виробляється керувальна дія (направлення оперативно-виїздної бригади на підстанцію, від якої живиться РМ), яка є подією  $\epsilon_{31}$ .

У вузлі 2 відбувається перевірка отриманої інформації – подія  $\epsilon_{22'}$  (сигнал  $\theta_{пер.}$ ). Якщо інформація достовірна, то відбувається процес пошуку пошкоджених елементів, перевірка технічного стану апріорно визначених деградуючих елементів, локалізуванню пошкоджених елементів та вмикання резерву, що є подією  $\epsilon_{2'4}$  (сигнал  $\theta_{п.л.}$ ). Якщо оперативно-виїзна бригада здатна сама відновити пошкодження, то це є подією  $\epsilon_{45}$ . Якщо ні – то передається інформація в керувальний центр – подія  $\epsilon_{53}$ , який приймає рішення – подія  $\epsilon_{34}$  про відновлення системи ремонтною бригадою.

Вихідний потік при нормальних умовах експлуатації

$$\Theta_{15} = \theta_{мер.} \cdot \Omega_{мер.} \quad \text{або} \quad \Theta_I = \theta_{сист.} \cdot \Omega_{вим.} \cdot \Omega_{мер.}, \quad (6)$$

$\theta_{сист.}$  – сигнал системи (напруга джерела живлення);  $\theta_{мер.}$  – сигнал мережі;  $\Omega_{мер.}$  – роботоздатний стан мережі;  $\Omega_{вим.}$  – роботоздатний стан вимикача;

Для інформаційної змінної  $\theta_{втр.р.}$  справедливе рівняння [4]

$$\theta_{втр.р.} (I - \Omega_{зв.2-3-1} \epsilon_{12} \epsilon_{23} \epsilon_{31}) = \bar{\Omega}_{зв.2-3-1} \epsilon_{12} \theta_{мер.} \quad (7)$$

де  $\Omega_{зв.2-3-1}$  – стан, коли зворотній стохастичний зв'язок 2–3–1 спрацьовує і настає подія передачі інформації про необхідність відновлення РМ;  $\bar{\Omega}_{зв.2-3-1}$  – стан, коли зворотній стохастичний зв'язок 2–3–1 не спрацьовує;  $I$  – достовірна інформація.

Якщо виконуються умови

$$\bar{\Omega}_{зв.2-3-1} \epsilon_{23} \epsilon_{31} = \emptyset; \quad \bar{\Omega}_{зв.2-3-1} \epsilon_{12} = \emptyset; \quad \bar{\Omega}_{зв.2-3-1} \epsilon_{12} + \bar{\Omega}_{зв.2-3-1} \epsilon_{23} \epsilon_{31} = I,$$

то вихідний потік інформації передається без втрат, а тому

$$\theta_{втр.р.} = \bar{\Omega}_{зв.2-3-1} \epsilon_{12} \theta_{мер.}; \quad (8)$$

$$\theta_{пер.} = \theta_{втр.р.} \epsilon_{22'};$$

$$\theta_{\text{п.л.}} = \theta_{\text{пер.}} \varepsilon_{2'4}; \quad \Theta_{25} = \bar{\Omega}_{\text{зв.5-3-4}} \varepsilon_{45} \theta_{\text{п.л.}}, \quad (9)$$

де  $\bar{\Omega}_{\text{зв.5-3-4}}$  — стан, коли зворотний зв'язок 5–3–4 не працює.

Тоді

$$\Theta_{II} = \bar{\Omega}_{\text{зв.2-3-1}} \bar{\Omega}_{\text{зв.5-3-4}} \varepsilon_{12} \varepsilon_{22'} \varepsilon_{2'4} \varepsilon_{45} \theta_{\text{мер.}} \quad (10)$$

Аналогічно у випадку керування технічним станом за відмовами (спрацювання релейного захисту)

$$\Theta_{III} = \bar{\Omega}_{\text{P3}} \bar{\Omega}_{\text{зв.5-3-9}} \varepsilon_{17} \varepsilon_{77'} \varepsilon_{7'9} \varepsilon_{95} \theta_{\text{мер.}}, \quad (11)$$

де  $\Omega_{\text{P3}}$ ,  $\bar{\Omega}_{\text{P3}}$  — стани, коли релейний захист відповідно спрацьовує і не спрацьовує;  $\Omega_{\text{зв.5-3-9}}$ ,  $\bar{\Omega}_{\text{зв.5-3-9}}$  — стани, коли зворотний стохастичний зв'язок 5–10–9 відповідно працює і не працює.

Враховуючи рівняння (6), (10), (11), отримаємо

$$\Theta_{\text{вих}} = \theta_{\text{сист.}} \Omega_{\text{вим.}} \left( \Omega_{\text{мер.}} + \bar{\Omega}_{\text{зв.2-3-1}} \bar{\Omega}_{\text{зв.5-3-4}} \varepsilon_{12} \varepsilon_{22'} \varepsilon_{2'4} \varepsilon_{45} + \bar{\Omega}_{\text{P3}} \bar{\Omega}_{\text{зв.5-3-9}} \varepsilon_{17} \varepsilon_{77'} \varepsilon_{7'9} \varepsilon_{95} \right) \quad (12)$$

Виходячи з рівняння (12), імовірність сигналу комплексу визначимо як

$$P(\Theta_{\text{вих}}) = P(\theta_{\text{сист.}}) P(\theta_{\text{вим.}}) \times \\ \times \left\{ P(\Omega_{\text{мер.}}) + \frac{P(\bar{\Omega}_{\text{зв.2-3-1}} \varepsilon_{12}) P(\varepsilon_{22'}) P(\varepsilon_{2'4}) P(\bar{\Omega}_{\text{зв.5-3-4}} \varepsilon_{45})}{[I - P(\varepsilon_{23} \varepsilon_{31} / \Omega_{\text{зв.2-3-1}}) P(\varepsilon_{12})] [I - P(\varepsilon_{53} \varepsilon_{34} / \Omega_{\text{зв.5-3-4}}) P(\varepsilon_{45})]} + \right. \\ \left. + \frac{P(\bar{\Omega}_{\text{P3}} \varepsilon_{17}) P(\varepsilon_{77'}) P(\varepsilon_{7'9}) P(\varepsilon_{95})}{[I - P(\varepsilon_{73} \varepsilon_{31'} / \Omega_{\text{P3}}) \cdot P(\varepsilon_{17})] [I - P(\varepsilon_{53} \varepsilon_{39} / \Omega_{\text{зв.5-3-9}}) P(\varepsilon_{95})]} \right\}.$$

## Висновки

Запропоновано систему керування технічним станом розподільних мереж, в якій процес керування технічним станом відображено моделлю у вигляді структурного інформаційного графа системи зі стохастичними зворотними зв'язками. Методологія його побудови базується на узгодженні взаємопов'язаних детермінованого і стохастичного аналізів, коли основним є детермінований підхід, а стохастичний — його розвитком. Ефективність системи оцінюється ймовірністю випадкового вихідного потоку об'єкта — коефіцієнтом готовності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Афанасьев Н. А. Система технического обслуживания и ремонта оборудования энергохозяйств промышленных предприятий / Н. А. Афанасьев, М. А. Юсипов. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 528 с.
2. Справочник по ремонту и техническому обслуживанию электрических сетей / под ред. К. Антипова, И. Е. Бандуилова. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 560 с.
3. Надежность систем электроснабжения / В.В.Зорин, В. В. Тисленко, Ф. Клеппель, Г. Адлер. — К. : Вища шк., головное изд-во, 1984. — 192 с.
4. Пампура В. И. Структурная информационная теория надежности систем / В. И. Пампура — К. : Наук. Думка, 1992. — 328 с.
5. Кутін В. М. Оптимізація системи керування технічним станом розподільної мережі змінного струму / В. М. Кутін // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 1999. — № 5. — С. 56—65.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 14.10.11  
Рекомендована до друку 25.11.11

**Кутін Василь Михайлович** — професор, **Глюхін Максим Олександрович** — аспірант.

Кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця