

УДК: 621.316.1.027

В. М. Кутін, д. т. н., проф.;

С. В. Матвієнко, асп.;

М. В. Кутіна, студ.

КОМБІНОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Розглядаються загальні принципи побудови комбінованої системи керування технічним станом розподільних мереж. Даний комбінований діагностичний комплекс будується на основі поєднання множини діагностичних методів у загальний алгоритм забезпечення індивідуальної надійності розподільних мереж, таким чином, щоб кожна підсистема аналізувалась своїм локальним методом, а їх взаємозв'язок — загальним інформаційним методом.

В сучасних умовах кризового стану економіки України, коли промисловий і сільськогосподарський сектори характеризуються зношеністю обладнання та застарілими технологіями, і процес перебудови усієї економіки відбувається впродовж значного часу через відсутність інвестицій, дуже важливо спрямувати наукові дослідження на розробку та впровадження технологій найефективнішого використання наявної техніки за рахунок її модернізації, підвищення надійності і продовження ресурсу роботи.

Особливо це стосується такої галузі народного господарства, як енергетика. Від надійного та економічного енергопостачання суттєво залежить успішне функціонування всієї економіки. В сучасних умовах підвищення безвідмовності і довговічності систем електропостачання (СЕП) неможливе без застосування методів і засобів технічної діагностики. Діагностичне забезпечення повинно супроводжувати СЕП на всіх стадіях життєвого циклу: проектування, створення, експлуатації і ремонту (рис. 1), і ґрунтуватись на сучасних автоматизованих засобах отримання інформації про фактичний стан електрообладнання, включаючи ефективні засоби її обробки. Для цього потрібно мати методи побудови діагностичного забезпечення, в якому могли б узгоджуватись як наявні розрізнені і недостатньо використані, так і нові перспективні рішення.

Найпроблемнішою на даний час частиною СЕП є розподільна мережа, яка характеризується великою загальною протяжністю, складною структурою, великою кількістю внутрішніх зв'язків між елементами, а також недостатньою якістю її експлуатації через дії різного роду технічних, економічних і організаційних факторів.

Як об'єкт діагностування розподільна мережа (РМ) є складною системою. Конструктивно РМ складається з однорідних деградуючих елементів, розподілених в просторі. Забезпечити конструктивними і технологічними засобами однаковий ступінь зношеності навіть однорідних елементів — неможливо, тому вони мають різний ресурс, а імовірнісний для оцінки технічного стану (ТС) РМ є недостатнім. Достовірну оцінку ТС можна отримати на основі комбінації фізичних, енергетичних, інформаційних та інших підходів, коли кожен процес функціонування в основному є детермінованим, і його параметри підлягають безпосередньому визначенню.

Головною причиною зміни ТС РМ є руйнівний вплив зовнішнього середовища та експлуатаційного навантаження різної природи. Найбільша кількість несправностей у РМ (60—90 % від загальної кількості) пов'язана із зміною технічного стану ізоляції окремих елементів, яка зумовлена квазімонотонним накопиченням збоїв, що приводять до зміни фізико-хімічних та механічних властивостей матеріалу елемента. Ці зміни нерідко виникають починаючи із атомно-молекулярного рівня, тому їх виявлення неруйнівними методами потребує розробки спеціальної процедури та методів діагностування.

Найненадійнішою підсистемою РМ є повітряна мережа. Вона складається з фізично неоднорідних деградуючих елементів: провідники, опори, ізолятори, система заземлення, комутаційні апа-

рати, охоронна зона. Визначення технічного стану цих елементів передбачає комбінацію різних методів, в тому числі суб'єктивного і об'єктивного. За цілою низкою параметрів і ознак оцінити ТС елемента або вузла взагалі може тільки оператор, тому існує задача сполучення можливостей оператора і об'єктивних методів.

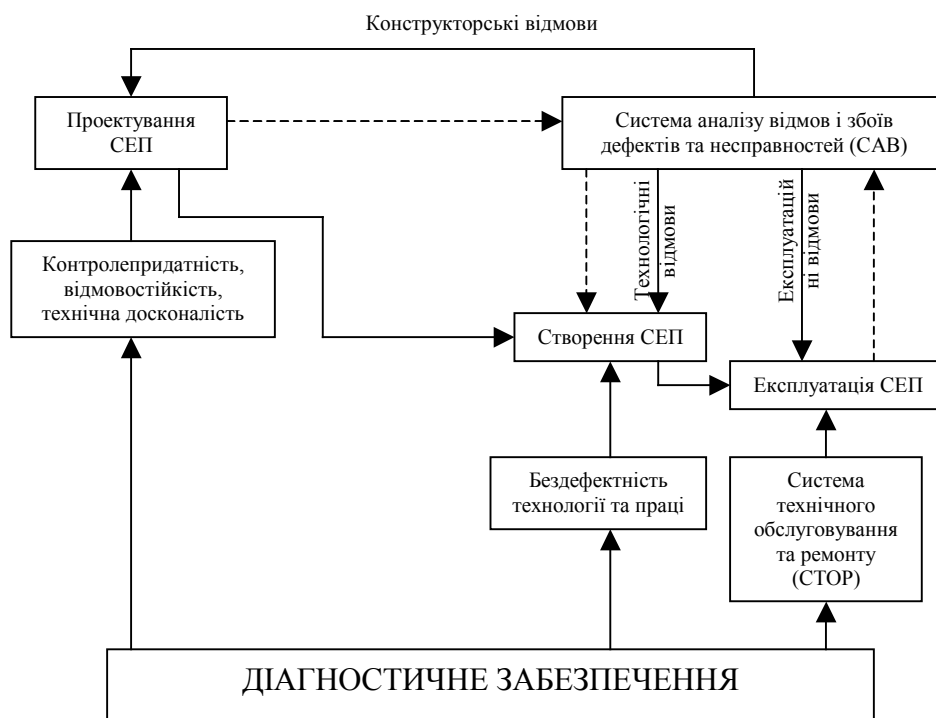


Рис. 1. Життєвий цикл СЕП та показ на концептуальному рівні застосування технічної діагностики для забезпечення її якості і надійності

Вибір стратегії керування ТС РМ є найвідповідальнішим моментом у всій системі технічної експлуатації, оскільки цим визначаються найважливіші показники ефективності використання РМ — рівень витрат на відновлення параметрів елементів. У вітчизняній та зарубіжних СТОР в основному використовується стратегія відновлювальних дій після відмови та попереджувальна за наробітком [1].

Для елементів, відмова яких є одночасно і відмовою розподільної мережі, в разі відновлювальних дій після відмови, попереджувальне керування взагалі не має сенсу. Рівень безвідмовності і нижня межа втрат в разі відмови в даному випадку визначаються тільки надійністю елемента, яку можна підвищити тільки зміною конструкції самого елемента. Ефективності відновлювальних робіт при даній стратегії можна досягти лише за рахунок автоматизації процесу пошуку пошкодженого елемента.

В разі стратегії за наробітком маємо два види втрат — відмови одних елементів і недовикористаний ресурс інших. Зменшити один вид втрат без одночасного збільшення другого неможливо. Можна тільки мінімізувати сумарні питомі втрати. З другого боку, стратегія відновлення за наробітком в розподільних мережах ґрунтується на використанні в основному евристичних методів оцінки ТС РМ. Суб'єктивно вирішується і питання періодичності технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) і виведення в технічне обслуговування і ремонт — згідно з річним графіком ТО і Р, який складається попередньо на запланований рік і не може відображати фактичного ТС мережі і обладнання в наперед заданий момент часу. Покладені в основу планування терміну ремонту середні величини ремонтного циклу і міжремонтних періодів, хоч і спрощують питання планування, але мають суттєвий недолік — не дають об'єктивної оцінки суб'єктивній необхідності ремонту обладнання або діючої мережі.

Таким чином, наявна система ТО і Р не достатньо відображає взаємодію між об'єктивним процесом зміни технічного стану і суб'єктивним процесом експлуатації та потребує подальшого вдосконалення.

Оптимізувати взаємодію цих процесів можна шляхом доповнення наявної системи, системою попереджувального обслуговування, що ґрунтується на неперервних спостереженнях за діагностичними параметрами ТС РМ на рівні взаємодіючих елементів.

В загальному вигляді в разі здійснення відновлювальних дій за результатами контролю параметрів ТС визначають допустиму величину контрольованого параметра (умови працездатності) ε_δ і періодичність контролю діагностичного параметра T_k . Якщо із зміною діагностичного параметра неперервні витрати не зростають, то аналогічно попередньому, питомі витрати при здійсненні відновлювальних дій за контролем ТС визначимо як

$$B'_n(\varepsilon_\delta, T_k) = \frac{Q(\varepsilon_\delta, T_k) B_0 + [1 - Q(\varepsilon_\delta, T_k)] B_n + K_\delta(\varepsilon_\delta, T_k) B_\delta}{T_\phi(\varepsilon_\delta, T_k)}, \quad (1)$$

де $Q(\varepsilon_\delta, T_k)$ — ймовірність відмови елемента при вибраних ε_δ і T_k ; B_n — витрати, пов'язані з попереджувальним відновленням елемента; B_0 — витрати, пов'язані з відмовою елемента; B_δ — витрати на діагностування; $K_\delta(\varepsilon_\delta, T_k)$ — середнє число перевірок параметра за термін служби елемента; $T_\phi(\varepsilon_\delta, T_k)$ — середній наробіток елемента до відновлення за результатами контролю.

Із виразу (1) зрозуміло, що в разі використання стратегії відновлення за контролем ТС з'являється можливість зменшити витрати і від відмов, і від недовикористаного ресурсу, причому в тим більшій мірі, чим нижче рівень витрат на діагностування C_d . Використання стратегії відновлення за контролем ТС має очевидні переваги, але потребує вирішення низки задач. Перша задача полягає у виборі сукупності контрольованих діагностичних параметрів та визначенні умов працездатності елементів. Друга задача — визначення можливості контролювати діагностичні параметри взагалі, або з прийнятною вартістю і точністю неруйнівними методами. Третя задача полягає у розробці можливості пошуку місць пошкодження на ранній стадії їх розвитку.

Зрозуміло, що для такої складної системи як РМ недоцільно для всіх її елементів призначати одну і ту ж стратегію проведення відновлювальних дій. Для кожного елемента повинна вибиратись своя стратегія з урахуванням її впливу на забезпечення показників якості електропостачання. Це потребує поєднання принципово різних методів діагностування, кожен з яких вирішує відповідну локальну задачу забезпечення індивідуальної надійності РМ; кінцевий результат (цільову функцію) можна отримати коли існує зв'язок між множиною різних методів діагностування. Діагностичне забезпечення має створюватись шляхом розробки теоретичної бази комбінованого методу діагностування і створення автоматизованого комплексу засобів діагностування [2].

Принцип комбінованого діагностування ґрунтується на перевірці ТС РМ за сигналом інформаційної змінної неперервного контролю працездатності системи, за інтегральним діагностичним параметром та за відмовами і оптимізацією процесу пошуку пошкоджень шляхом спільного використання статичних і динамічних характеристик РМ. Методологія його побудови ґрунтується на узгодженні причинно-наслідкового детермінованого підходу з його стохастичним розвитком, тобто на структурно-інформаційній теорії надійності [3].

Функціональна схема комбінованої системи діагностування для найскладнішого об'єкта дослідження — повітряної розподільної мережі, зображена на рис. 2.

В даній системі метою керування є підтримання експлуатаційних показників РМ на заданому рівні протягом визначеного часу. Для РМ в якості інтегральних показників використовують

$$\alpha(t) = \{K_\Gamma, K_{\text{ПР}}, K_{\text{ТВ}}, K_{\text{ОГ}}\}, \quad (2)$$

де K_Γ — коефіцієнт готовності; $K_{\text{ПР}}$ — коефіцієнт простою; $K_{\text{ТВ}}$ — коефіцієнт технічного використання; $K_{\text{ОГ}}$ — коефіцієнт оперативної готовності.

До числа параметрів зовнішнього середовища $L(t)$ відносять масив довідкової бази даних 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 та ін.

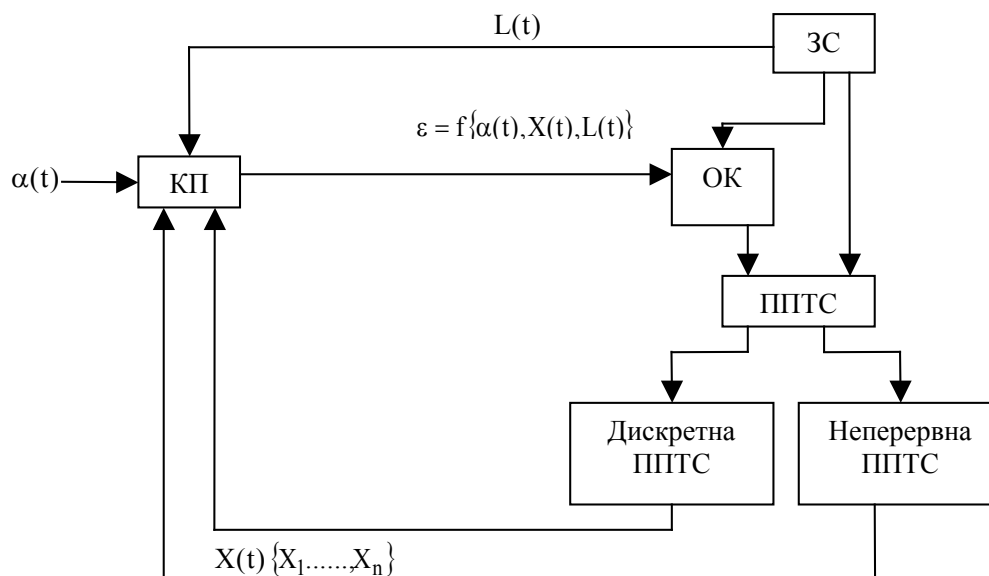


Рис. 2. Функціональна схема комбінованої системи керування ТС СЕП:

ОК — об'єкт керування; ЗС — зовнішнє середовище; ПіпТС — підсистема перевірки ТС об'єкта керування; КП — керувальний пристрій; $\alpha(t)$ — задана мета керування; $X(t) \{x_1, \dots, x_n\}$ — діагностичні ознаки для перевірки ТС об'єкта; $L(t)$ — параметри зовнішнього середовища; $\varepsilon(t) = f\{\alpha(t), X(t), L(t)\}$ — алгоритм керування

Для визначення технічного стану елементів РМ об'єктивними методами використано модель типу

$$\bar{Y} = A\bar{X}; \quad A = A_0 \Rightarrow Q, \quad (3)$$

де \bar{X} , \bar{Y} — вектори відповідно вхідної і вихідної величини; A , A_0 — оператори, що характеризують відповідно працездатність системи і норму.

Процес пошуку може бути відображений як об'єднання результатів пошуку дистанційними методами Y_1 , топографічним методом Y_2 та методом послідовного ділення мережі Y_3 , тобто

$$Y = Y_1 \cup Y_2 \cup Y_3. \quad (3)$$

Визначені критерії ефективності функціонування РМ. В разі раптових відмов в якості критерію використовується недовідпуск електроенергії споживачу за час локалізації пошкодження при обмеженні часу пошуку. При контрольованих вимиканнях в якості критерію використані витрати, пов'язані з локалізацією дефекту.

Показано, що підвищення інтенсивності контролю та відновлення перетворює регламентну систему експлуатації в систему, для якої характерним є діагностичний контроль зі змінними інтервалами циклів, тому є можливість оптимізувати об'єм накопичуваних дефектів.

Висновки

1. Для СЕП призначати одну і ту ж стратегію відновлювальних дій недоцільно. Для кожного елемента або блока повинна використовуватись своя стратегія з урахуванням її впливу на якість електропостачання в процесі експлуатації, а агрегація множини локальних методів діагностування у загальний алгоритм забезпечення індивідуальної надійності РМ повинна здійснюватись так, щоб кожна підсистема аналізувалась своїм локальним методом, а їх взаємозв'язок загальним інформаційним методом на основі комбінованої системи діагностування.

2. На відміну від наявної, методологія побудови комбінованої системи діагностування повинна ґрунтуватись на узгодженні та агрегації причинно-наслідкового детермінованого підходу з його стохастичним розвитком, так щоб детермінований підхід враховував аналогові зв'язки, а стохастичний дозволяв побудувати модель зв'язку РМ з аналоговими і дискретними, лінійними і нелінійними, неперервними і розірваними ланцюгами діагностування. Процедуру діагностування потрібно будувати на основі методу послідовного аналізу, і перехід в режим відновлення визначати за сигналом інформаційної змінної неперервного контролю інтегрального діагностичного параметра.

3. В разі керування процесом пошуку несправностей в РМ важливим є не стільки факт виявлення несправності, скільки визначення оптимальної стратегії використання системи в різних умовах її експлуатації. Пошук несправності передбачає не тільки встановлення її місця, але і визначення стратегії відновлення системи шляхом усунення несправності за допустимий за умовами експлуатації час.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Афанасьев Н. А., Юсипов Т. А., Система технического обслуживания и ремонт оборудования энергохозяйств промышленных предприятий (система ТОРЭО). — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 528 с.
2. Пампура В. И. Структурная информационная теория надежности систем. — К.: Наук. Думка, 1992. — 328 с.
3. Кутін В. М. Якість систем електропостачання // Промислова енергетика та електротехніка. — 2003. — № 5. — С. 33—40.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом XIII Міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2006, 25—28.09.2006 р.)

Надійшла до редакції 23.11.06
Рекомендована до друку 12.12.06

Кутін Василь Михайлович — професор, **Матвієнко Сергій Валерійович** — аспірант.

Кафедра електричних станцій та систем;

Кутіна Марина Василівна — студентка Інституту електроенергетики, екології та електромеханіки.

Вінницький національний технічний університет