

УДК 519.6.075

В. О. Комар, к. т. н.;

А. В. Пісклярова, асп.

ФОРМУВАННЯ ЗАКОНУ УПРАВЛІННЯ З ВРАХУВАННЯМ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ

Розв'язати задачу врахування якості функціонування системи керування в законі управління можна використавши аналогію між системою рівнянь Колмогорова, що описує марковські процеси та системою рівнянь ортогональності та нормування критеріального програмування. Така аналогія дозволяє побудувати критеріальні моделі якості функціонування, в яких можна буде врахувати фізичні характеристики і поетапний характер відновлювання регулювальних пристроїв. Це підвищить ступінь реалізації оптимальних розрахунків станів динамічних систем, що приведе в таких системах як електроенергетична до покращення якості електропостачання споживачів і зниження втрат електроенергії.

Вступ

За сучасних можливостей обчислювальної техніки та методичної забезпеченості проблем з визначенням оптимальних станів динамічних систем не виникає. Однак, не зважаючи на технічні можливості, реалізація оптимальних розрахунків залишається на досить низькому рівні, що не дозволяє досягти бажаний економічний ефект від оптимального керування. В залежності від рівня автоматизації систем управління, на ступінь реалізації оптимальних розрахунків впливають різні фактори. Так, наприклад, в такій динамічній системі як електроенергетична за умов, що склалися, оптимальні розрахунки оперативному персоналу передаються у вигляді рекомендацій і диспетчер, користуючись власним досвідом, приймає рішення з реалізації оптимальних режимів, що може супроводжуватися не тільки помилками але й продиктовано інтересами конкретної підсистеми в збиток досягнення загальносистемного ефекту. Для усунення людського фактора необхідно збільшити ступінь автоматизації реалізації оптимальних розрахунків.

На реалізацію оптимальних розрахунків впливає значна кількість факторів, які не залежать від рівня технічного забезпечення. Серед них особливе місце займає надійність. Практично важко назвати рішення з корекції стану, під час прийняття якого б не потрібно було враховувати готовність регулювальних пристроїв. Це пояснюється досить просто: якщо рішення з впровадження оптимальних розрахунків залежить від оперативного персоналу, то розрахунки проведені без врахування якості функціонування регулювальних пристроїв не викликають достатньої довіри; якщо САК відпрацьовує закон керування, побудований без врахування якості функціонування, то інтенсивність роботи може зрости настільки, що призведе до виходу з ладу регулювальних пристроїв, причому втрати зростуть настільки, що збитки будуть значно переважати економічний ефект від оптимізації станів динамічної системи.

В статті поставлену задачу пропонується розв'язати використовуючи математичні моделі, отримані під час поєднання теорії марковських процесів та критеріального методу. Запропонований метод побудови критеріальних моделей якості функціонування системи дозволяє не втрачаючи загальності підходу під час отримання закону управління, врахувати функціональну готовність системи.

Математична модель відмов системи

Як відомо, марковський процес описується системою диференціальних рівнянь Колмогорова [2]

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp}{dt} &= v\mathbf{p}; \\ \sum_{i=1}^m p_i &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де \mathbf{p} — матриця ймовірностей станів досліджуваної системи; v — матриця густин ймовірностей переходів з одного стану в інший; m - кількість можливих станів досліджуваної системи.

Для дослідження системи розглянемо модель, яка б відображала її функціонування і в подальшому дозволяла встановити ознаку (міру) ступеня виконання задачі. Зміна станів цієї системи повинна належати до ергодичної множини, тобто система не може вийти з цієї множини станів (іншими словами передбачається, що при попаданні в непрацездатний стан система після закінчення відновлення повертається в працездатний стан). В теорії надійності така модель відповідає задачам відшукування коефіцієнтів готовності, простою тощо [3]. Критерієм оптимальності при порівнянні варіантів функціонування системи є максимум знаходження її в станах, коли параметри знаходяться в межах допустимих значень. Такі стани системи є робочими, але вони відрізняються між собою якістю виконання системою своїх функцій. В задачах оптимального керування нормальними станами таких систем як електроенергетична можна не враховувати динаміку перехідних процесів між окремими станами. Тоді траєкторія руху системи в просторі станів є послідовністю квазістаціонарних станів $\left(\frac{dp_i}{dt} = 0\right)$. В цьому випадку система рівнянь (1) може бути записана у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_{ji} p_i &= 0, \quad j = \overline{2, n}, \\ \sum_{i=1}^m p_i &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де v_{ij} — постійні величини (елементи матриці v), що є алгебраїчними сумами величин інтенсивностей переходів з i -го в j -й стан, n — кількість напрямків зміни станів, що виходять з робочого стану 1 (див. рис. 1).

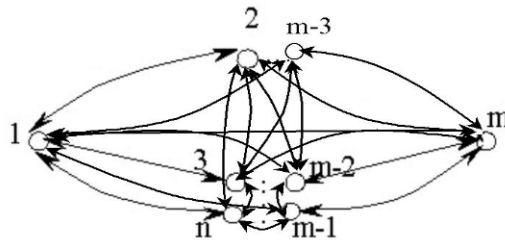


Рис. 1. Граф станів системи

Для визначення ймовірностей робочих станів і оцінки якості функціонування досліджуваної системи необхідно розв'язати алгебраїчну систему рівнянь (2), яка в більш загальному вигляді записується

$$v\mathbf{p} = \mathbf{b}, \quad (3)$$

$$\text{де } v = \begin{vmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} & \dots & v_{1m} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} & \dots & v_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & v_{n3} & \dots & v_{nm} \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{vmatrix}; \mathbf{p} = \begin{vmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ \dots \\ p_m \end{vmatrix}; \mathbf{b} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \end{vmatrix}.$$

Тепер зауважимо, що визначник системи рівнянь (3) є ідентичним матриці розмірностей, що застосовується в теорії подібності [4, 5], а вектор \mathbf{p} , компоненти якого є по суті ваговими

коефіцієнтами станів досліджуваного процесу, за своїм змістом відповідає вектору критеріїв подібності π , елементи якого є безрозмірними співвідношеннями параметрів системи і в тому випадку, коли вони визначаються методом інтегральних аналогів, також є ваговими коефіцієнтами складових цільової функції (пронормовані до одиниці) [5]. Отже можна провести аналогію з такою системою рівнянь:

$$\alpha \cdot \pi = \mathbf{b}, \tag{4}$$

$$\text{де } \alpha = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \dots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \dots & \alpha_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \dots & \alpha_{nm} \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}; \pi = \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \dots \\ \pi_m \end{pmatrix}; \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Така матриця в критеріальному програмуванні відповідає прямій задачі [5]

$$\min \left\{ y(x) = \sum_{i=1}^m a_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ji}} \right\}, \tag{5}$$

де $y(x)$ — деякий узагальнювальний техніко-економічний показник, який характеризує процес, що досліджується; α_{ji} — змінні параметри системи, значення яких оптимізуються; a_i, α_{ji} — постійні коефіцієнти, значення яких визначаються властивостями системи.

За аналогією цільова функція критеріальної програми для системи рівнянь (3) запишеться

$$y(x) = \sum_{i=1}^m c_i \prod_{j=1}^n x_j^{\nu_{ji}}, \tag{6}$$

де $y(x)$ — функція відмови, що відображає вплив елементів системи на здатність виконувати нею поставлену задачу; c_i — постійні коефіцієнти (в задачах розглядуваного типу $c_i = 1$); ν_{ji} — параметри, що характеризують взаємовплив елементів системи.

$$x_j = \prod_{i=1}^m P_i^{\beta_{ji}}, \quad j = \overline{1, n},$$

де β_{ji} — елементи оберненої матриці $\tilde{\nu}$.

Таким чином, ми отримали залежність (6) замість системи рівнянь, яка відображає функціонування системи, що досліджується. Зміну функції відмов в процесі експлуатації системи від параметра δ_j показано на рис. 2.

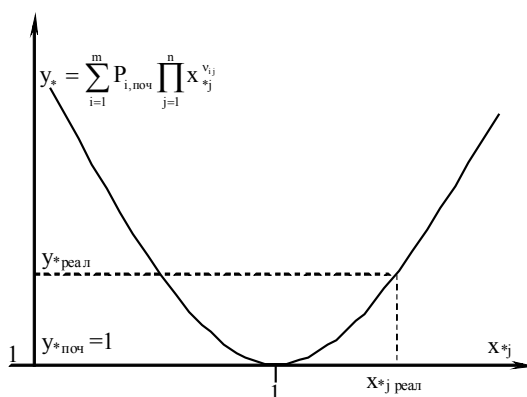


Рис. 2. Функція відмов

Отже якщо ввести в закон управління складову, яка буде враховувати зміну якості функціонування системи, в процесі її експлуатації, то ми зможемо максимально використовувати можливості системи по досягненню оптимального режиму її функціонування.

Формування закону управління

Використовуючи критеріальний метод для формування закону управління, можна записати [5] мінімізувати

$$\delta F_* = \sum_{k=1}^h \sum_{t=0}^r \pi'_{kt} \cdot u_{*ik}^t, \quad (7)$$

за умов

$$u \in M_u; \delta F_* \in M_{\delta F_*}, \quad (8)$$

де π'_{kt} — критерій подібності цільової функції; $u_{i,k}$ — число спрацювань в циклі управління; h — кількість регульовальних пристроїв; r — порядок полінома; I_u — область допустимих значень функції управління u ; $I_{\delta F_*}$ — область допустимих значень техніко-економічного показника δF_* .

Зміну цільової функції при введенні складової якості функціонування показано на рис. 3.

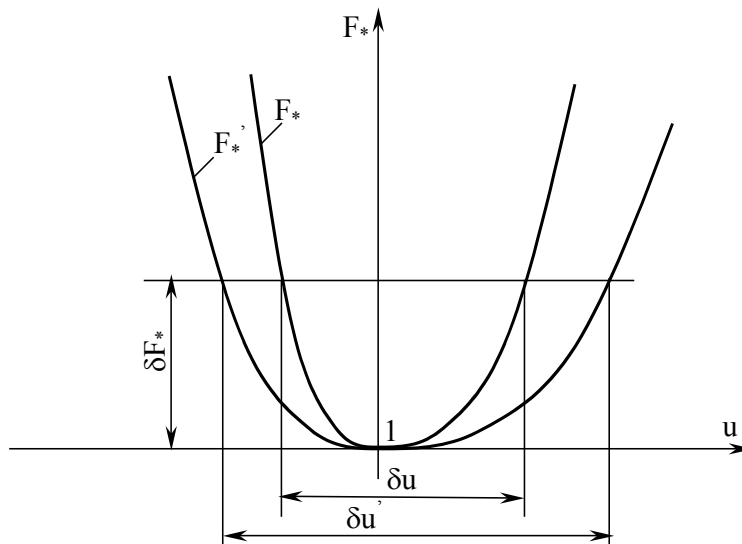


Рис. 3. Вплив складової надійності на реалізацію оптимальних станів

Завдяки використанню єдиної методологічної бази в цільову функцію (7) можна ввести складову якості функціонування: мінімізувати

$$\delta F_* = \sum_{k=1}^h \sum_{t=0}^r \frac{\pi'_{kt}}{\sum_{i=1}^m P_{ki} \prod_{j=1}^n X_{*kj}^{v_{ji}}} \cdot u_{*ik}^t + \sum_{k=1}^h \left(1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^m P_{ki} \prod_{j=1}^n X_{*kj}^{v_{ji}}} \right). \quad (9)$$

Врахування якості функціонування в критерії управління приводить до зміни крутизни характеристики $\delta F_* = f(u_{i*})$. Це вимагає формування області $M_{\delta F_*}$.

Врахування готовності системи керування в законі управління дозволяє обґрунтувати доцільну кількість спрацювань регульовальних пристроїв шляхом зміни зони нечутливості (рис. 4).

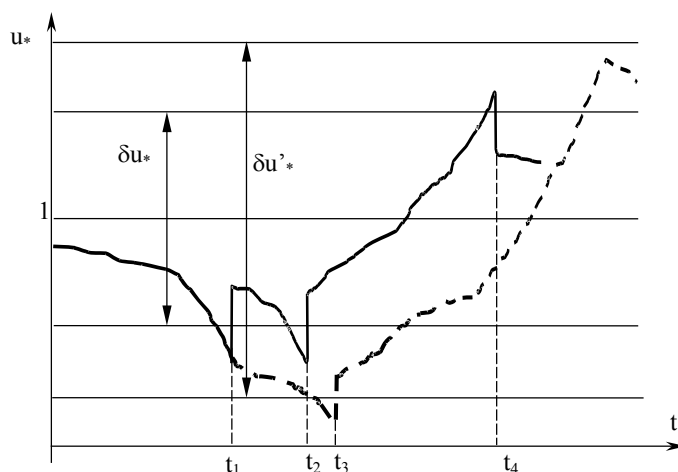


Рис. 4. Вплив зміни зони нечутливості на інтенсивність роботи регулювальних пристроїв

Висновок

Розв'язати задачу врахування якості функціонування системи керування в законі управління можна використавши аналогію між системою рівнянь Колмогорова, що описує марковські процеси та систему рівнянь ортогональності та нормування критеріального програмування. Така аналогія дозволяє побудувати критеріальні моделі якості функціонування, в яких можна буде врахувати фізичні характеристики і поетапний характер відновлювання регулювальних пристроїв. Це підвищить ступінь реалізації оптимальних розрахунків станів динамічних систем, що приведе в електроенергетичних системах до покращення якості електропостачання споживачів і зниження втрат електроенергії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Джексон П. Введение в экспертные системы. — М.: Издат. дом "Вильямс", 2001. — 624 с.
2. Лежнюк П. Д., Бевз С. В., Вишневський С. Я. Інтерпретація закону керування при встановленні зв'язку між керувальними параметрами та матрицею критеріїв подібності // Пр. IV Міжнародної науково-технічної конференції «Контроль і управління в технічних системах». — Вінниця. — 1997. — С. 181—187.
3. Астахов Ю. Н., Лежнюк П. Д. Применение критеріального метода в електроенергетиці. — К.: УМК ВО, 1989. — 140 с.
4. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Томашевський Ю. В. Критеріальне моделювання в задачах оцінки якості функціонування систем // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2003. — № 3. — С. 48—52.
5. Майн Х., Осаки С. Марковские процессы принятия решений. — М.: Наука, 1977. — 176 с.

Комар Вячеслав Олександрович — старший викладач, **Пісклярова Анна Валеріївна** — аспірант.

Кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет