

УДК 519.6.075

П.Д. ЛЕЖНЮК, В.О. КОМАР, О.Ю. ПЕТРУШЕНКО

УЗАГАЛЬНЕНИЙ КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ З SMART GRID

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

Анотація. Пропонується метод отримання критерію якості функціонування автоматичних систем керування, оснований на поєднанні засобів теорій марковських процесів і подібності та критеріального моделювання

Abstract. The method of getting criteria quality functioning of automatically control systems based at association of the theory of Markov processes and criterion modeling is considered in given article.

Ключові слова: автоматична система керування, якість функціонування, узагальнений критерій, марковські процеси, подібне моделювання

ВСТУП

За сучасного рівня розвитку науки та техніки в системах керування різних областей промисловості почали широко впроваджуватися SMART Grid технології. Наприклад, активно цей процес іде в електроенергетиці під час виробництва, передачі, розподілу й обліку електроенергії. В існуючих автоматичних системах керування (АСК) при цьому переоснащуються апаратне й інформаційне забезпечення, розширюються їх функціональні можливості. Суттєво цьому сприяє масштабне впровадження і використання в АСК волоконно-оптичних технологій.

Як правило, сучасні АСК є багаторівневими ієрархічними системами, верхній рівень яких є центром керування у вигляді локальної обчислювальної мережі з розподіленою архітектурою. Така архітектура, з одного боку, підвищує надійність і продуктивність такого роду систем, з іншого, істотно ускладнює можливість їх аналізу і аналітичного дослідження на стадії проектування, експлуатації і вдосконалення. В зв'язку з цим постає задача вибору та визначення критерію, за яким можна було б оцінити поточний стан АСК, розробити стратегію її удосконалення, виконувати порівняння різних структурних реалізацій. Як зазначалось в [1] загальні вимоги, яким має відповідати такий критерій є: відображення об'єктивної реальності; оцінка ефективності, якості та оптимальності; можливість фізичного та абстрактного тлумачення; можливість обчислення, хоча б з використанням ЕОМ; нормування і відображення "крайніх" станів АСК з урахуванням потенційно та реально можливих; повинен бути до певної міри узагальнюючим (характеризувати окремі підсистеми і системи в цілому в усіх життєвих циклах). Він повинен легко розкладатись на часткові показники та об'єднуватись в узагальнені, мати теоретичну основу і дозволити розробляти нову теорію або розвивати стару, а також володіти евристичністю та дозволити приймати рішення на підставі досвіду та інтуїції тощо. До цих вимог додається вимога щодо можливості оцінки ефективності від реалізації SMART Grid технологій, особливо впливу їх на техніко-економічні показники об'єкта керування. Особливо що стосується гнучких зворотних зв'язків з використанням комунікаційних мереж для адаптації окремих установок до нестабільних умов експлуатації, зміна яких носить ймовірнісний характер.

Для автоматичних систем керування таким критерієм може бути якість функціонування об'єкта керування [2]. Завдяки розподіленій структурі АСК можна віднести до складних систем, тобто вони мають здатність під час відмови елементів продовжувати виконання своїх функцій, але з пониженою ефективністю, тобто можуть знаходитись в декількох робочих станах. Ця особливість АСК вимагає визначення такого показника як якість функціонування для оцінки ефективності її роботи, яка безпосередньо впливає на рівень досягнутого оптимального режиму об'єктом керування. Якість функціонування – це показник пристосованості системи до виконання визначених для неї функцій.

Проаналізувавши можливі підходи у визначенні такого критерію можна сказати, що доцільним є використання теорії марковських процесів. Причини популярності марковських моделей включають в себе: здатність охоплювати різні залежності, однаково легкість обчислень стабільного, перехідного і кумулятивного перехідного стану, можливість розширення до марковських моделей винагородження, корисних для аналізу працездатності АСК.

ПОДІБНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАРКОВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ

Як відомо, марковський процес описується системою диференціальних рівнянь Колмогорова [3]

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

де p – вектор ймовірностей станів досліджуваної системи; v – матриця густин ймовірностей переходів з одного стану в інший; m - кількість можливих станів досліджуваної системи (рис. 1).

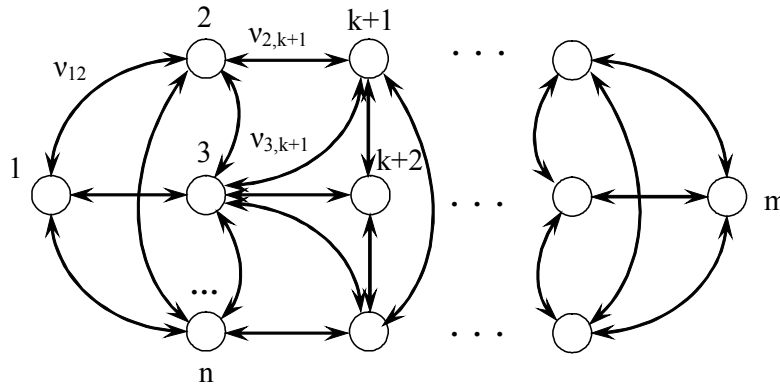


Рис. 1. Граф зміни станів АСК

Аналізуючи систему рівнянь Колмогорова (1) отримати критерії, які б задовольняли висунутим вимогам, досить складно. Проте її можна використати для побудови подібної моделі, що дозволить дослідити властивості, параметри і значення змінних якої пропорційні відповідним властивостям, параметрам і значенням змінних оригінала [4].

Для усталених станів системи $\frac{dp_i}{dt} = 0$ і система рівнянь (1) переписеться:

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

де v_{ji} – 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 (рис. 1).

В більш загальному вигляді (2) записується як

$$v \cdot p = b, \quad (3)$$

де $b_i = [0 \ 0 \dots 0 \ 1]$, а матриця v з виразу (1) доповнена рядком, який складається з m одиниць.

Для встановлення подібності побудуємо многочлен від матриці v . Подібно тому, як будь-яка аналітична функція $f(x)$ може бути представлена у вигляді ряду (многочлену), який збігається, від змінної x [5]:

$$f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots = \sum_{s=0}^{\infty} a_s x^s,$$

функція від матриці $f(X)$ може бути представлена у вигляді многочлена від матриці, який формально отримується заміною скалярної змінної x матрицею X :

$$f(X) = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots = \sum_{s=0}^{\infty} a_s X^s.$$

Якщо скористатись інтерполяційним многочленом, то матрицю переходів v системи рівнянь (3)

можна привести до матричного многочлена [5]. Використаємо для цього експоненціальну функцію $f(z) = e^{zt}$. Якщо мінімальний многочлен (в даному випадку це характеристичний многочлен $\Delta(z)$) складається тільки з лінійних множників $(z - z_k)$, то достатньо визначити функцію $f(z)$ в характеристичних точках z_1, z_2, \dots, z_m . При цьому система рівнянь для коефіцієнтів інтерполяційного многочлену має вигляд:

$$f(z_k) = a_0 + a_1 z_k + \dots + a_{m-1} z_k^{m-1}, \quad (4)$$

або в матричній формі

$$\begin{bmatrix} f(z_1) \\ f(z_2) \\ \dots \\ f(z_m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & z_1^2 & \dots & z_1^{m-1} \\ 1 & z_2 & z_2^2 & \dots & z_2^{m-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & z_m & z_m^2 & \dots & z_m^{m-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_{m-1} \end{bmatrix}.$$

Розв'язавши цю систему відносно a_0, a_1, \dots, a_{m-1} , отримуємо многочлен виду

$$f(v) = \sum_{i=1}^m a_i \prod_{j=1}^n x_j^{v_{ji}}. \quad (5)$$

Зробивши таке перетворення можна використовувати всі властивості і наслідки теорем теорії подібності [6]. Щоб отримати систему критеріїв подібності, розділимо ліву і праву частину (5) на $f(v)$:

$$1 = \frac{a_1 \prod_{j=1}^n x_j^{v_{j1}}}{f(v)} + \frac{a_2 \prod_{j=1}^n x_j^{v_{j2}}}{f(v)} + \dots + \frac{a_m \prod_{j=1}^n x_j^{v_{jm}}}{f(v)}, \quad (6)$$

де $\pi_i = \frac{a_i \prod_{j=1}^n x_j^{v_{ji}}}{f(v)} = \text{idem}$, $i = \overline{1, m}$ – критерії подібності, визначені способом інтегральних аналогів.

З врахуванням введених позначень критеріїв подібності, (6) перепишеться як

$$\pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_m = 1. \quad (7)$$

В даному рівнянні значення критеріїв подібності π_i пронормовані. Вони показують на відносну частку кожного члена (5), або те саме що кожного i -го стану системи, в показнику системи $f(v)$, який характеризує її в цілому. Подібно (7) пронормовані ймовірності станів досліджуваної системи p_i в (1). Така аналогія дозволяє використати принципи критеріального методу для переходу до аналізу якості функціонування системи не за рівняннями (2), а за критеріальними залежностями з прийнятим за базис станом оптимальної або нової системи керування [7]. Для цього необхідно побудувати критеріальну модель марковського процесу.

КРИТЕРІАЛЬНА МОДЕЛЬ МАРКОВСЬКОГО ПРОЦЕСУ

На практиці, коли задача модернізації АСК носить багатоваріантний, переважно оптимізаційний характер, отримане рівняння (7), яке встановлює подібність марковських процесів, є мало прийнятним стосовно таких задач. В багатоваріантних задачах оцінка варіантів ведеться відносно базисного варіанту, який характеризується значеннями параметрів $f_{\bar{0}}, x_{1\bar{0}}, x_{2\bar{0}}, \dots, x_{n\bar{0}}$. Останні, подібно (5), зв'язані умовою

$$f_{\bar{0}}(v) = \sum_{i=1}^m a_i \prod_{j=1}^n x_{j\bar{0}}^{v_{ji}}.$$

Критерії подібності для даного випадку мають вигляд

$$\pi_{i\bar{0}} = \frac{a_i \prod_{j=1}^n x_{j\bar{0}}^{v_{ji}}}{f_{\bar{0}}(v)} = \text{idem}, i = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Якщо тепер почленно розділити ліву і праву частини (5) на $f_{\bar{0}}$ і підставити в правій частині значення $f_{\bar{0}}$ з (8)

$$f_{\bar{0}}(v) = \frac{a_i \prod_{j=1}^n x_{j\bar{0}}^{v_{ji}}}{\pi_{i\bar{0}}},$$

то отримаємо наступне критеріальне співвідношення:

$$f_* = \pi_{1\bar{0}} \prod_{j=1}^n x_{j*}^{v_{j1}} + \pi_{2\bar{0}} \prod_{j=1}^n x_{j*}^{v_{j2}} + \dots + \pi_{m\bar{0}} \prod_{j=1}^n x_{j*}^{v_{jm}}, \quad (9)$$

де $f_* = f(v) / f_{\bar{0}}(v)$, $x_{j*} = x_j / x_{j\bar{0}}$.

Критеріальна модель (9) дозволяє визначити відносні зміни f при відхиленні x_j від прийнятого базисного значення, в тому числі і від оптимального значення. Тобто, за допомогою (9) можна оцінити чутливість оптимальних рішень щодо змін в АСК. Така оцінка є відносною, але перевагою тут є те, що її значення отримується без визначення оптимальних значень параметрів системи. Критеріальна модель може бути також використана для визначення відносного значення критерію якості функціонування АСК. Для цього може бути використаний апарат критеріального програмування [7].

КРИТЕРІЙ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АСК

В критеріальному програмуванні для пошуку оптимальних рішень використовується теорія двоїстості, згідно якої пряма задача мінімізації функції замінюється задачею максимізації відповідної двоїстої функції [7]. В нашому випадку двоїста функція, яка відповідає моделі марковського процесу має вид:

$$d_*(p) = \prod_{i=1}^m \frac{p_i^{P_i}}{p_{0i}^{P_{0i}}}, \quad (10)$$

де p_{0i}, p_i – двоїсті змінні, які за значенням є відповідно ймовірностями знаходження системи в початковому стані і після модернізації.

За отриманою критеріальною моделлю якості функціонування можна оцінити реальний стан системи по відношенню до початкового її стану. На рис. 2 побудовані залежності $d_*(p)$. Звичайно таких залежностей можна побудувати m (кількість станів), але достатньо побудувати одну відносно ймовірності стану, в якому перебуває системи в даний час.

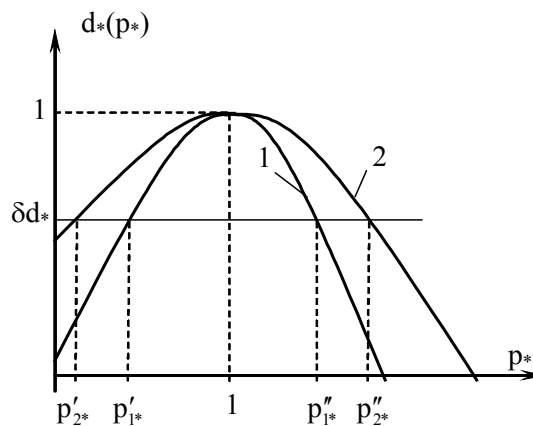


Рис. 2. Функція якості системи керування в двох станах

Використовуючи отримані результати можна визначити критерій якості функціонування, який буде відповідати вимогам [1]. Інтегральний критерій якості функціонування системи визначається як

площа S_i , яка обмежена кривою $d_*(p)$ і прямою $d_* = \delta d_*$:

$$S_i = \int_{p_{*j}}^{p_{*j}''} (d_{*i}(p_{*j})) dp - \int_{p_{*j}}^{p_{*j}''} (\delta d_*) dp.$$

Значення δd_* відповідає межі якості функціонування АСК, за якою система не придатна до виконання своїх функцій або виконує їх з точністю, яка не відповідає вимогам по визначенню вихідного ефекту.

Чим більше значення критерію якості, тим вища функціональна готовність системи. Крім цього, якщо провести аналіз величин S_i , змінюючи незалежні двоїсті змінні (імовірність перебування системи в робочих станах), то можна зробити висновок щодо стратегії подальшого розвитку або перспектив проектування нових систем.

ВИСНОВКИ

Побудова критеріальної моделі якості функціонування розширює можливості під час визначення стану та рівня готовності систем, що функціонують, без врахування економічних показників за критерієм максимуму знаходження в станах задовільної підготовленості системи до виконання своїх функцій.

Аналіз критеріальної моделі якості функціонування дозволяє порівнювати схожі системи, не визначаючи техніко-економічних показників. Окрім цього дозволяє розробити економічно доцільну стратегію відновлюваних робіт за станом автоматизованої системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузьмін І. В. Критерії оцінки ефективності, якості та оптимальності складних систем. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – №1(2). – 1994. – С. 5–9.
2. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных систем. – М.: Энергия, 1977. – 536 с.
3. Майн Х., Осаки С. Марковские процессы принятия решений. – М.: Наука, 1977. – 176 с.
4. Лебедев А.Н. Моделирование в научно-технических исследованиях. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
5. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – К.: Техніка, 1977. – 768 с.
6. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. – М.: Высшая школа, 1976. – 479 с.
7. Астахов Ю.Н., Лежнюк П.Д. Применение критериального метода в электроэнергетике. – К.: УМК ВО, 1989. – 137 с.

Надійшла до редакції 10.11.2013р.

ЛЕЖНЮК П.Д. – д.т.н., проф., завідувач кафедри електричних станцій та систем
Вінницького національного технічного університету, Вінниця, Україна.