

ВРАХУВАННЯ ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Лежнюк П. Д., Комар В. О.

Вінницький національний технічний університет

Запропоновано методику врахування показника якості функціонування для мінімізації затрат під час реконструкції розподільних електричних мереж.

Вступ. Обмеженість України у органічному паливі, особливо у природньому газі, поставило перед споживачами багатьох населених пунктів задачу переходу на електроопалення. Крім того перехід до нової моделі ринку електричної енергії, яка дозволяє споживачеві вибирати джерело електричної енергії, вимагає від електропостачальних організацій виконання певних дій з реконструкції своїх мереж з метою підвищення їх надійності і якості.

В повній мірі це торкнулось розподільних мереж оскільки обмеженість в фінансуванні призвело до суттєвого погіршення стану мережевого обладнання.

Метою цієї статті є ілюстрація можливості використання показника якості функціонування в задачі мінімізації затрат на реконструкцію розподільних електричних мереж.

Якість функціонування розподільної електричної мережі. Розподільна електрична мережа – "складна" система, яка складається з різних елементів – трансформаторних підстанцій, кабельних і повітряних ліній електропередач тощо.

Наявність певної функціональної надлишковості в структурі цієї складної системи приводить до того, що поява відмов окремих елементів або значна зміни тих або інших робочих параметрів можуть привести не до повного виходу системи з ладу, а лише до певного погіршення якості функціонування і зниження ефективності системи в цілому [1, 2].

Під якістю функціонування розуміємо певну кількісну характеристику якості і об'єму задач, що виконує система.

Основною задачею розподільної електричної мережі є забезпечення надійного постачання якісною електроенергією споживачів, які під'єднанні до неї.

У [3] запропоновано критеріальну модель, отриману при поєднанні теорії марковських процесів та критеріального методу. Загальний вигляд критеріальної моделі такий:

$$E = \sum_{i=1}^m P_i \prod_{j=1}^n x_{*j}^{v_{ji}}, \quad (1)$$

де P_i – критерій подібності, який у цьому випадку є ймовірністю перебування системи в стані i (складова,

яка враховує надійність системи); $\prod_{j=1}^n x_{*j}^{v_{ji}}$ – показник

ефективності стану i (складова, яка враховує якість електроенергії); x_{*j} – незалежні параметри, що хара-

ктеризують основні властивості системи (імовірності відповідності показників якості електроенергії нормативним документам).

Для оцінки якості функціонування розподільної електричної мережі критеріальна модель матиме такий вид:

$$E = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \prod_{j=1}^n P_j [A_{min} \leq A \leq A_{max}]^{v_{ji}} - \sum_{i=n+1}^m P_i \cdot \prod_{j=1}^n P_j [A_{min} \leq A \leq A_{max}]^{v_{ji}}, \quad (2)$$

де n – кількість робочих станів; $P_j [A_{min} \leq A \leq A_{max}]$

– імовірність того, що показник якості електричної енергії A в допустимих межах при тому, що система перебуває в стані j ; v_{ji} – елементи матриці переходів, які є алгебраїчними сумами інтенсивностей відмов λ та інтенсивностей відновлень μ .

За критеріальною моделлю (2) можна оцінити якість функціонування мережі по відношенню до кожного з вузлів навантаження.

Мінімізація затрат на реконструкцію і експлуатацію розподільної мережі. Ця задача розв'язується під час вибору оптимального варіанту електропостачання споживача за умовами двостороннього договору. Формулюється задача таким чином: необхідно забезпечити заданий рівень якості функціонування розподільної електричної мережі при мінімальних приведених затратах на її реконструкцію та експлуатацію.

Споживач повинен отримувати живлення від вказаного у двосторонньому договорі джерела по n варіантам схеми розподільної мережі. Необхідно забезпечити заданий рівень якості функціонування $E'_{зад}$ таким чином, щоб приведені затрати на реконструкцію були найменші. Отже, задача зводиться до мінімізації

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i(E'_i) \quad (3)$$

за обмеження

$$1 - E'_{зад} = \prod_{i=1}^n (1 - E'_i), \text{ або } \ln(1 - E'_{зад}) = \sum_{i=1}^n \ln(1 - E'_i), \quad (4)$$

де $Z_i(E'_i)$ – затрати на реконструкцію i -тої схеми ро-

зподільної мережі; E'_i – показник якості функціонування розподільної мережі з абсолютною якістю електричної енергії по відношенню до конкретного споживача.

$$3_i(E'_i) = 3_{pi} + 3_{ei},$$

де 3_{pi} і 3_{ei} – затрати відповідно на реконструкцію та експлуатацію; i – варіант схеми електропостачання конкретного споживача.

Оскільки дослідження відносної зміни величини затрат має ряд переваг над дослідженням абсолютних значень [4] перейдемо до

$$\delta 3_i(E'_i) = \frac{3_i(E'_i) - 3_{i0}(E'_i)}{3_{i0}(E'_i)} = \frac{3_i(E'_i)}{3_{i0}(E'_i)} - 1 = \overline{3_i} - 1.$$

Використовуючи метод базової точки [4] переходимо від (3) до критеріального рівняння виду:

$$y = \sum_{i=1}^n y_i(E'_i), \quad (5)$$

де $y_i(E'_i) = \Theta'_{pi} F_{pi}(E'_i) + F_{ei}(E'_i)$ – безрозмірна функція, що підлягає мінімізації, рівна $\frac{\delta 3_i(E'_i)}{A_{ei} \overline{3_{ei}}}$;

$\Theta'_{pi} = \frac{A_{pi} \overline{3_{pi}}}{A_{ei} \overline{3_{ei}}}$ – критерії подібності; $F_{pi}(E'_i)$,

$F_{ei}(E'_i)$ – функції, які визначають фізичні зв'язки в об'єкті відповідно для реконструкції та експлуатації; A_{pi} , A_{ei} – функції, які включають в себе вихідні питомі вартісні показники відповідно реконструкції та експлуатації.

Рівняння (5) інваріантно по відношенню до будь-яких змін вартості і технічних показників, що не змінюють значення Θ'_{pi} . Це дозволяє розв'язок узагальнити для ряду інших випадків.

З врахуванням (5) задача переписується мінімізувати

$$y = \sum_{i=1}^n y_i(E'_i)$$

за обмеження

$$1 - E'_{3ad} = \prod_{i=1}^n (1 - E'_i), \text{ або } \ln(1 - E'_{3ad}) = \sum_{i=1}^n \ln(1 - E'_i),$$

Для розв'язання задачі використаємо метод невідомих множників Лагранжа. Функцію Лагранжа представимо у вигляді

$$\partial L(E'_1, \dots, E'_n) = \sum_{i=1}^n y_i + \lambda \sum_{i=1}^n \ln(1 - E'_i)$$

де λ – множник Лагранжа.

Для визначення λ розв'яжемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial L(E'_1, \dots, E'_n)}{\partial E'_i} = 0 \\ \ln(1 - E'_{3ad}) = \sum_{i=1}^n \ln(1 - E'_i) \end{cases}$$

$$\frac{\partial}{\partial E'_i} \left[\sum_{i=1}^n y_i(E'_i) + \lambda \sum_{i=1}^n \ln(1 - E'_i) \right] = \frac{\partial y_i}{\partial E'_i} - \lambda \frac{1}{1 - E'_i} = 0$$

Тоді

$$\partial y_i(E'_i) = \lambda \frac{\partial E'_i}{1 - E'_i}; \quad y_i(E'_i) = -\lambda \ln(1 - E'_i) + C_i.$$

Постійну інтегрування C_i визначаємо з граничних умов: для $E'_i = E'_{i0}$, $y_i = y_{i0} = 1$, де E'_{i0} і y_{i0} – показник якості функціонування вихідної схеми і відносний приріст затрат на цю схему відповідно.

$$\begin{aligned} C_i &= 1 + \lambda \ln(1 - E'_{i0}); \\ y_i &= 1 - \lambda \ln(1 - E'_i) + \lambda \ln(1 - E'_{i0}); \\ \ln(1 - E'_i) &= \frac{1 - y_i}{\lambda} + \ln(1 - E'_{i0}). \end{aligned} \quad (6)$$

Підставимо (6) в (4), отримаємо

$$\frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (1 - y_i) + \sum_{i=1}^n \ln(1 - E'_{i0}) = \ln(1 - E'_{3ad}).$$

Звідки

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n (1 - y_i)}{\ln \frac{\prod_{i=1}^n (1 - E'_{i0})}{1 - E'_{3ad}}}. \quad (7)$$

Після підстановки (7) у вираз (6) приходимо до системи з n рівнянь з невідомими E'_i .

$$\ln(1 - E'_i) = \frac{1 - y_i}{\sum_{i=1}^n (1 - y_i)} \ln \frac{(1 - E'_{3ad})}{\prod_{i=1}^n (1 - E'_{i0})} + \ln(1 - E'_{i0}).$$

Після встановлення схеми розподільної електричної мережі з найменшими приведеними затратами необхідно встановити межі відхилення показників якості електричної енергії, для яких буде забезпечене

значення показника якості функціонування з врахуванням якості електричної енергії $E''_{зад}$.

Визначення граничних відхилень показників якості електричної енергії. Для розв'язання цієї задачі скористаємось методикою еліпсоїдів рівної точності викладеної в [5].

Суть методики полягає в тому, що критеріальне рівняння (1), яке в геометричній інтерпретації представляє собою поверхню в $(n+1)$ -вимірному просторі, можна апроксимувати, використовуючи розкладання функції в ряд Тейлора, так званим дотичним параболоїдом рис. 1.

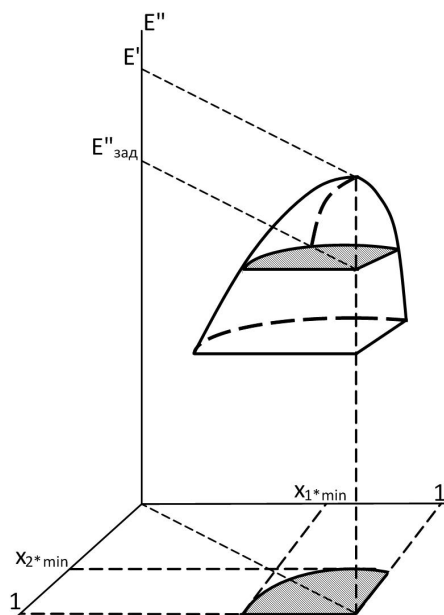


Рисунок 1 – Параболоїд отриманий в результаті апроксимації рівняння (1)

Перетинаючи параболоїд площиною якості функціонування, отримаємо n -вимірну поверхню, яка називається еліпсоїдом. Якщо відносна зміна параметрів знаходиться всередині цього еліпсоїда, то можна вважати, що якість функціонування не будуть нижче $E''_{зад}$, тобто еліпсоїд характеризує допустиму з точки зору заданого значення якості функціонування, область відносного відхилення показників якості електричної енергії від їх оптимального значення (рис. 2).

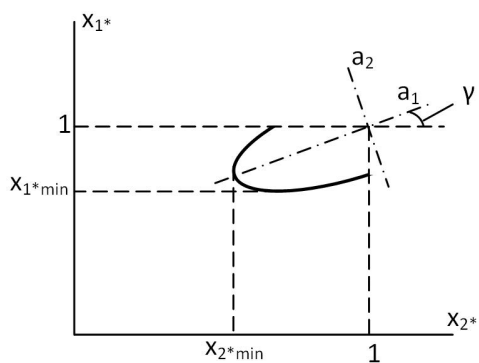


Рисунок 2 – Еліпсоїд рівної точності

Висновок. Зі зміною у відносинах між електропостачальними компаніями та споживачами на значно вищий рівень вийшли вимоги з надійності та якості електропостачання. Тому врахування якості функціонування, як показника, за яким оцінюється надійність і якість електропостачання, під час оцінки шляхів реконструкції розподільних електричних мереж є необхідним і відносно легко реалізовуваним.

Список використаних джерел

1. Надежность технических систем: Справочник / [Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.]; Под ред. И. А. Ушакова – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
2. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных систем. – 4-е изд., перераб. и доп. / Г. В. Дружинин – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.
3. Лежнюк П. Д. Критерій оцінки якості функціонування розподільних мереж [Електронний ресурс] / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, К. І. Кравцов; Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – № 3. – 2008. Режим доступу до журн.: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3.files/uk/08pdlodn_ua.pdf.
4. Арсеньев Ю. Д. Теория подобия в инженерных экономических расчетах. / Арсеньев Ю. Д. – М.: "Высшая школа", 1967. – 261 с.
5. Веников В. А. Электрические системы. Кибернетика электрических систем. А. Учеб. пособие для электроэнерг. вузов. / В. А. Веников – М.: "Высшая школа", 1974. – 328 с.

Аннотация

УЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Лежнюк П. Д., Комар В. А.

Предложено методику учета показателя качества функционирования для минимизации затрат при реконструкции распределительных электрических сетей.

Abstract

CONSIDERATION OF FUNCTION QUALITY INDEX AT MODERNIZATION OF DISTRIBUTIVE ELECTRICAL NETWORKS

P. Lezhnyuk, V. Komar

The technique of functioning quality index considering for cost minimisation at modernization of distributive electrical networks.