

УДК 621.311

П. Д. Лежнюк, д-р. техн. наук, проф.; О. О. Рубаненко, канд. техн. наук

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ КРИТЕРІАЛЬНИМ МЕТОДОМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Запропоновано метод визначення планового значення технологічних втрат потужності (ПЗТВП) в електричних мережах ЕЕС, який полягає в уточненні коефіцієнтів при членах нормативної характеристики технічних втрат потужності критеріальним методом із застосуванням нейронечіткого моделювання. Вдосконалено дворівневий, двоконтурний адаптивний програмно-апаратний комплекс оптимального керування режимами ЕЕС, який на відміну від існуючих враховує ПЗТВП і технічний стан трансформаторів з РПН.

Вступ

Задача зменшення втрат електроенергії при її транспортуванні є актуальною. Одним із способів зменшення втрат електроенергії, який добре зарекомендував себе в розподільних мережах, є їх нормування. Для досягнення нормативного значення технічних втрат електроенергії потрібно відслідковувати поточне значення втрат активної потужності. Для цього оптимальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем (ЕЕС) має здійснюватись таким чином, щоб поточні втрати потужності не перевищили планового їх значення. Тому для оптимального керування нормальними режимами ЕЕС доцільно за критерій оптимальності використовувати втрати активної потужності і намагатись їх значення звести до планового. Це гарантує, що в кінці звітної періоду значення втрат електроенергії не перевищить норматив. Тому актуальною є задача вдосконалення наявних та розробки нових методів оптимізації режимів ЕЕС, коли критерієм оптимальності є втрати електроенергії під час її транспортування з урахуванням планового значення технічних втрат потужності в умовах неповноти вихідних даних.

Таким чином, *метою роботи* є зменшення втрат потужності в ЕЕС за рахунок удосконалення керування параметрами нормальних режимів.

Оптимальне керування ЕЕС з використанням критеріального методу

В оптимальному керуванні нормальними режимами ЕЕС потрібно контролювати відхилення поточних втрат потужності від планового їх значення

$$\psi(\Delta P) = \Delta P - \Delta P_{\text{план}}, \quad (1)$$

де ΔP – поточні втрати потужності; $\Delta P_{\text{план}}$ – планові втрати потужності.

Тоді загальносистемний комплексний критерій оптимальності

$$F = f\left(\Delta P, \Delta P_{\text{план}}, P(\delta), P(\omega), \sum_{i=1}^q \text{Ш}_{T_i}\right), \quad (2)$$

де ΔP – поточні втрати активної потужності в ЕЕС; $P(\delta U)$ – потужність, еквівалентна збитку споживачів, обумовленому низькою якістю напруги; $P(\omega)$ – потужність, еквівалентна збитку внаслідок недовідпуску електроенергії, викликаному відмовами трансформаторів, зокрема відмовами пристроїв РПН; Ш_{T_i} – штрафна функція, яка вводиться для обліку ресурсу трансформаторів, зокрема перемикачів пристроїв РПН; q – кількість регульованих трансформаторів.

Задачу керування нормальними режимами ЕЕС можна представити в такому вигляді [1, 2]:

мінімізувати
$$y(x) = \sum_{i=1}^{m_1} a_i \cdot \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ji}} \quad (3)$$

за умов
$$q_k(x) = \sum_{i=m_k+1}^{m_k+1} a_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ji}} \leq G_k, \quad k = \overline{1, p}; \quad x_j > 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де $y(x)$ – деякий узагальнений критерій оптимальності (загальносистемні втрати потужності, планові втрати потужності); a_i, α_{ji} – постійні коефіцієнти; x_j – змінні параметри; n – кількість змінних параметрів; m – сумарна кількість членів обмежень і цільової функції; m_1 – кількість членів цільової функції; k – номер обмеження; m_k – кількість членів k -го обмеження; p – кількість обмежень.

Відповідна (1) двоїста задача може бути сформульована таким чином [2, 3]:

максимізувати
$$d(\pi_o) = \prod_{i=1}^m \left(\frac{a_i}{\pi_{io}} \right)^{\pi_{io}} \prod_{k=1}^p \left(\frac{\lambda_k}{G_k} \right)^{\lambda_k} \quad (5)$$

за умов, представлених у вигляді ортонормованої системи рівнянь

$$\begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1m_1} & \alpha_{1m_1+1} & \alpha_{1m_1+2} & \dots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2m_1} & \alpha_{2m_1+1} & \alpha_{2m_1+2} & \dots & \alpha_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \alpha_{3m_1+1} & \alpha_{3m_1+2} & \dots & \alpha_{3m} \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{nm_1} & \alpha_{nm_1+1} & \alpha_{nm_1+2} & \dots & \alpha_{nm} \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \dots \\ \pi_m \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \end{vmatrix}, \quad (6)$$

де $m_1 + 1; m_1 + 2$ тощо – індекси членів системи рівнянь (4), які відповідають членам обмежень (4).

Оскільки матриця α , зазвичай, прямокутна, то система рівняння (6) формує область розв'язків двоїстої задачі КП, в якій знаходиться і оптимальний розв'язок. Розмірність області розв'язків в КП прийнято визначати мірою складності $t = m - n - 1$. Область розв'язків може бути сформована шляхом виділення базисних (незалежних) критеріїв подібності і перетворення матриці α методом Гаусса-Жордана. В результаті такого перетворення отримуються вектори нормалізації і нев'язки, які зв'язують залежні критерії подібності з базисними. В умовах невизначеності пропонується записати базисні критерії подібності через функції належності. Тоді вектор критеріїв подібності з використанням функцій належності для базисних критеріїв подібності запишеться [3]

$$\pi_{io} = \beta_{oi} + \sum_{b=1}^t \beta_{ib} \cdot \mu_b, \quad i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

де μ_b – функції належності для базисних критеріїв подібності; β_{io} – елемент вектора нормалізації; β_{ij} – елемент вектора нев'язки.

Визначення планового значення технічних втрат потужності критеріальним методом із застосуванням нейро-нечіткого моделювання

Застосуємо запропонований метод розв'язання задач високої міри складності критеріального програмування для визначення планового значення технічних втрат потужності для визначення планового значення втрат потужності для тестової схеми IEEE 220...110 кВ IEEE на 14 вузлів і схеми фрагменту Південно-Західної ЕЕС (ПЗЕС) 750...110 кВ (рис. 1) [3].

Планові втрати потужності визначаються з формули

$$\Delta P_{\text{план}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j \geq 1}^n A_{ij} \cdot P_i P_j + \sum_{i=1}^n A_i \cdot P_i; \quad (8)$$

для 4-х впливових факторів – мінімізувати

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{норм}} = & A_{11} P_1^2 + A_{22} P_2^2 + A_{33} P_3^2 + A_{44} P_4^2 + A_{12} P_1 P_2 + A_{13} P_1 P_3 + A_{14} P_1 P_4 + \\ & + A_{23} P_2 P_3 + A_{24} P_2 P_4 + A_{34} P_3 P_4 + B_1 P_1 + B_2 P_2 + B_3 P_3 + B_4 P_4 \end{aligned} \quad (9)$$

за умов
$$\frac{P_1}{P_1 P_2} + \frac{P_2}{P_1 P_2} + \frac{P_3}{P_1 P_2} + \frac{P_4}{P_1 P_2} \leq P_c; P_1, P_2, P_3, P_4 > 0,$$

де $P_c = \frac{P_1}{\Delta P^2}$; P_1, P_2, P_3, P_4 – фактори впливу (потужність навантаження на шинах 110 кВ; потужність, яка передається по лінях міжсистемного зв'язку та ін.).

Запишемо ортонормовану систему рівнянь

$$\begin{cases} 2 \cdot \pi_1 & +\pi_5 & +\pi_6 & +\pi_7 & & +\pi_{11} & -\pi_{16} & & -\pi_{17} - \pi_{18} & & = 0 \\ & 2 \cdot \pi_2 & & +\pi_5 & & +\pi_8 & +\pi_9 & & +\pi_{12} & -\pi_{15} + \pi_{16} - \pi_{17} - \pi_{18} - \pi_{16} & = 0 \\ & & 2 \cdot \pi_3 & & +\pi_6 & +\pi_8 & +\pi_{10} & & +\pi_{13} & & +\pi_{17} & = 0 \\ & & & 2 \cdot \pi_4 & & +\pi_7 & +\pi_9 & +\pi_{10} & +\pi_{14} & & +\pi_{18} & = 0 \\ \pi_1 & +\pi_2 & +\pi_3 & +\pi_4 & +\pi_5 & +\pi_6 & +\pi_7 & +\pi_8 & +\pi_9 & +\pi_{10} & +\pi_{11} & +\pi_{12} & & +\pi_{13} & & +\pi_{14} = 1. \end{cases} \quad (10)$$

Міра складності задачі $t = 13$.

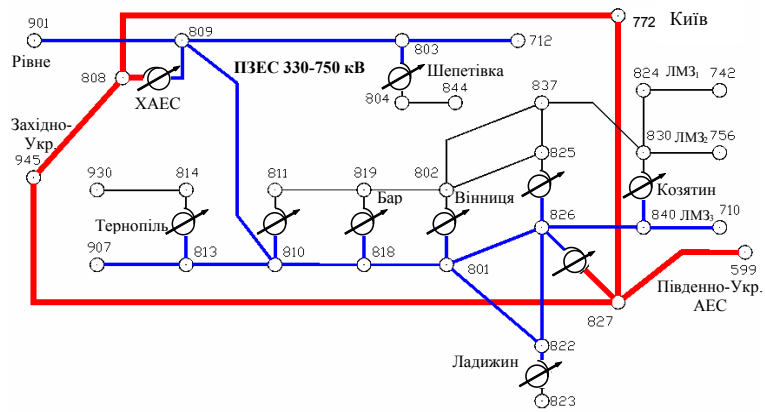
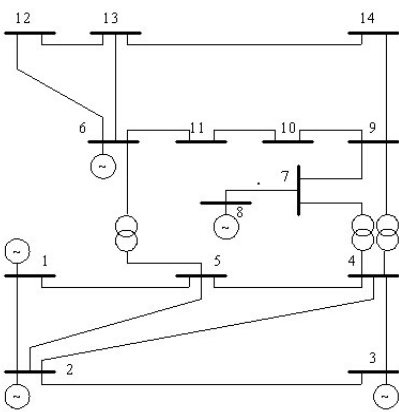


Рис. 1: а – тестова схема IEEE; б – фрагмент схеми 750–110 кВ ПЗЕС

Результати розрахунку планового значення технічних втрат потужності (ПЗТВП) наведені в таблиці.

Результати розрахунку планового значення технічних втрат потужності

Схема	Значення двоїст. функції $d(\pi)$	ПЗТВП (1 метод) (МВт)	ПЗТВП (2 метод) (МВт)	Поточне значення технічних втрат потужності (МВт)	Абсолютна похибка (МВт)		Відносна похибка (%)	
					1 метод	2 метод	1 метод	2 метод
IEEE	15,83	15,83	14,52	16,52	0,69	2,00	4,1	12,1
ПЗЕС	38,97	38,97	40,95	38,87	0,1	2,08	0,26	5,35

1 спосіб – ПЗТВП отримане за допомогою уточнення коефіцієнтів нормативної характеристики технічних втрат критеріальним методом з застосуванням нейро-нечіткого моделювання.

2 спосіб – ПЗТВР отримане за допомогою коефіцієнтів, отриманих регресійним аналізом.

Програмно-апаратний комплекс автоматизованої системи керування ЕЕС

Пропонується вдосконалити дворівневий, двоконтурний адаптивний програмно-апаратний комплекс, розроблений на кафедрі ЕЕС ВНТУ [4]. Ним здійснюється оптимальне автоматичне (автоматизоване) керування регулювальними пристроями (трансформаторами з РПН, джерелами реактивної потужності) підстанцій ЕЕС на нижньому рівні за законом керування, який розроблений на верхньому рівні з урахуванням взаємного впливу регулювальних пристроїв нижнього рівня та за критерієм загальносистемного показника технічних втрат потужності з

урахуванням ПЗТВП і коефіцієнта якості функціонування РПН трансформаторів [5].

Враховуючи розроблений алгоритм розрахунку керуючих впливів, з урахуванням ПЗТВП, запропоновано структурну схему автоматизованої системи керування (АСК) ЕЕС, показану на рис. 3. Запропонована АСК має два контури керування: зовнішній контур – контур оперативного керування і адаптації, і внутрішній контур – контур автоматизованого керування.

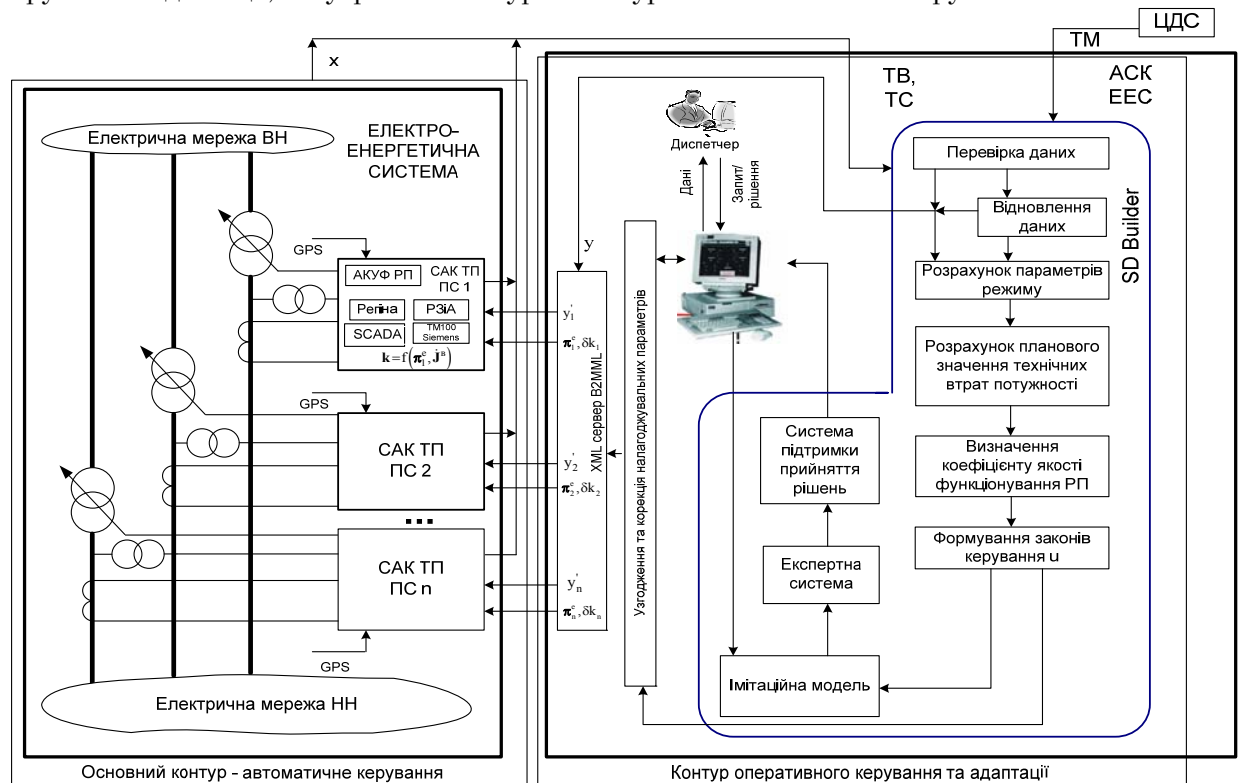


Рис. 2. Дворівневий двоконтурний адаптивний програмно-апаратний комплекс

ВИСНОВОК

Запропоновано розв'язання актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності оптимального керування параметрами нормального режиму ЕЕС критеріальним методом із застосуванням нейронечіткого моделювання в умовах неповноти вихідних даних. Для цього вдосконалюються математичні моделі та методи визначення планових значень технологічних втрат потужності, які враховуються при формуванні керуючих впливів та реалізуються за допомогою дворівневого двоконтурного адаптивного програмно-апаратного комплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Астахов Ю. Н. Применение критеріального метода в електроенергетике / Ю. Н. Астахов, П. Д. Лежнюк. — К.: УМК ВО, 1989. — 140 с.
2. Лежнюк П. Д. Методи оптимізації в електроенергетиці. Критеріальний метод: [навч. посіб.] / П. Д. Лежнюк, С. В. Бевз. — Вінниця: ВДТУ, 1999. — 177 с.
3. Лежнюк П. Оптиміальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з урахуванням планового значення технічних втрат потужності / Петро Лежнюк, Олена Рубаненко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 1. — С. 86—90.
4. Лежнюк П. Д. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами: моног. / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 123 с.
5. Пат. 61058 Україна, МПК⁸ Н02J3/24. Спосіб оптимального керування нормальними режимами електроенергетичної системи / Лежнюк П. Д., Рубаненко О. О.; заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет — заявл. 29.11.10; опубл. 11.07.11, Бюл. № 13, 2011 р.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 14.10.11
Рекомендована до друку 30.11.11

Лежнюк Петро Дем'янович — завідувач кафедри, **Рубаненко Олена Олександрівна** — асистент.
Кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця