УДК 621.316

РОЗВ'ЯЗАННЯ ДВОЇСТОЇ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ

О.Ю.Петрушенко, Ю.В.Петрушенко, О.О.Рубаненко, канд.техн.наук,
Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна.

Проаналізовано можливість розв'язання двоїстої задачі оптимального керування нормальними режимами ЕЕС з застосуванням нейро-нечіткого моделювання. Запропоновано алгоритм розв'язання двоїстої задачі оптимального керування нормальними режимами ЕЕС, який базується на представленні незалежних критеріїв подібності за допомогою функцій належності членів цільової функції (планових втрат потужності) відповідним множинам. Бібл. 3.
Ключові слова: оптимальне керування, двоїста функція, нейро-нечітке моделювання, критерій подібності.

Для підвищення ефективності оптимального керування електричною системою доцільно використовувати загальну методологічну базу і системний підхід на всіх етапах розв'язування задачі оптимального керування, починаючи з формування математичної моделі і закінчуючи практичною реалізацією оптимальних рішень. Достатньо продуктивним у цьому плані є використання узагальнюючих методів теорії подібності. Добре пристосованим для вирішення оптимізаційних завдань і аналізу отриманих результатів є критеріальний метод (КМ). Але поки що залишається не повністю вирішеною проблема оптимального керування з використанням теорії подібності та її методів, зокрема КМ, в умовах неповноти вихідних даних. Таким чином, метою даної роботи є підвищення ефективності процесу розв'язування оптимізаційних задач великої розмірності шляхом використання засобів нейро-нечіткого моделювання.

Задача керування режимом ЕЕС може бути сформована в такому вигляді [1, 2]:

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

за умов
$$q_k(x)=\sum_{i=m_k+1}^{m_{k+1}} a_i\prod_{j=1}^{n} x_j^{\alpha_{ji}} \le G_k\,,\qquad k=\overline{1,p}\,;\qquad x_j\rangle 0\,,\qquad j=\overline{1,n}\,, \tag{2}$$

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

$$d(\pi_o)=\prod_{i=1}^{m}\left(\frac{a_i}{\pi_{io}}\right)^{\pi_{io}}\prod_{k=1}^{p}\left(\frac{\lambda_k}{G_k}\right)^{\lambda_\kappa} \tag{3}$$

за умов, які представлені у вигляді ортонормованої системи рівнянь,

$$\begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1m_1} & \alpha_{1m_1+1} & \alpha_{1m_1+2} & \dots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2m_1} & \alpha_{2m_1+1} & \alpha_{2m_1+2} & \dots & \alpha_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \alpha_{3m_1+1} & \alpha_{3m_1+2} & \dots & \alpha_{3m} \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{nm_1} & \alpha_{nm_1+1} & \alpha_{nm_1+2} & \dots & \alpha_{nm} \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix}\cdot\begin{vmatrix}\pi_1\\ \pi_2\\ \pi_3\\ \dots\\ \pi_m\end{vmatrix}=\begin{vmatrix}0\\0\\0\\ \dots\\ 1\end{vmatrix}, \tag{4}$$

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

Коли $\boldsymbol{\alpha}$ – квадратна матриця, а це буде тільки тоді, коли сумарна кількість членів цільової функції і обмежень на одиницю більше, ніж кількість змінних, то система рівнянь (4) легко розв'язується будь-яким відомим методом. В усіх інших випадках система рівнянь невизначена або має безліч розв'язків. Розв'язувати задачу визначення оптимальних параметрів нормального режиму і формування керуючих впливів, вдається з мірою складності $t = m\text{-}n\text{-}1 \ge 1$. Тут розглядаються задачі, коли матриця $\boldsymbol{\alpha}$ є виродженою прямокутної форми і система рівнянь (4) невизначена. Очевидно, що розв'язків системи (4) буде безліч або взагалі не існуватиме. Проте використанням сингулярного розкладу матриці **α=SVD** та його властивостей щодо здатності показувати ранг матриці, задача відшукання псевдооберненої матриці до **α** та зменшення розмірності даної матриці стає розв'язуваною. Однак процес знаходження оптимального розв'язку в цьому випадку є досить ресурсоємним. Процес виділення можна виконувати за такою схемою: використовуючи **SVD** розклад матриці α, відшукати базис, а саме, кількість базисних змінних; шляхом вибірки виконувати виділення залежних змінних через незалежні, знайти оптимальний розв'язок системи (4). Проте процедура перебору всіх можливих комбінацій відносно критеріїв подібності становить 2^m і вимагає чимало часу на обчислення, що не задовольняє умови оперативного керування. Розглянемо задачу міри складності: t≥1. У [2] показано, що критерії подібності, які описуються системою ортонормованих рівнянь (4), визначаються так: $\pi_i = \beta_{oi} + \sum_{b=1}^{t} \beta_{ib} \cdot \pi_{Бb}$, $i = \overline{1,m}$, де β_{oi} – елемент вектору нормалізації; β_{ib} – елемент вектору нев'язки; $\pi_{Бb}$ – базисні (незалежні) критерії подібності. Функції належності μ у теорії нечітких множин та критерії подібності в теорії подібності є безрозмірними співвідношеннями [2, 3] параметрів системи. Функція належності і критерії подібності змінюються від 0 до 1, отже між ними є певна аналогія. Схожість функції належності і критерію подібності дозволяє використовувати функції належності при визначенні критеріїв подібності для знаходження оптимізуючого вектора критеріїв подібності в задачах великої міри складності. В умовах невизначеності пропонується записати критерії подібності з використанням функцій належності для базисних критеріїв подібності [5]: $\pi_i = \beta_{oi} + \sum_{b=1}^{t} \beta_{ib} \cdot \mu_b$, $i = \overline{1,m}$, де μ_b – функції належності для базисних критеріїв подібності. Для визначення незалежних (базисних) критеріїв подібності, в залежності від набору початкових даних, запропоновано незалежні критерії подібності представляти за допомогою функцій належності. Розроблені алгоритми використані для розв'язування задачі визначення планового значення технічних втрат потужності, зокрема, для тестової схеми електричної мережі 110–220 кВ IEEE та схем реальних енергосистем. Проаналізовано чутливість цільової функції планового значення втрат потужності до зміни членів цільової функції. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих алгоритмів: відносна похибка визначення планового значення технічних втрат потужності зменшилась на 5–8% .

1. *Астахов Ю.Н., Лежнюк П.Д.* Применение критериального метода в электроэнергетике. – К.:УМК ВО, 1989. – 140 с.

2. *Лежнюк П.Д., Бевз С.В.* Методи оптимізації в електроенергетиці. Критеріальний метод. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 177 с.

3. *Ротштейн О.П.* Інтелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.

УДК 621.316

РЕШЕНИЕ ДВОИСТОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НОРМАЛЬНЫМИ РЕЖИМАМИ ЭЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРО-НЕЧЁТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

О.Ю. Петрушенко, Ю.В. Петрушенко, Е.А. Рубаненко,

Винницкий национальный технический университет, Хмельницкое шоссе, 95, Винница, 21021, Украина.

Проанализирована возможность решения двойственной задачи оптимального управления нормальными режимами ЭЭС с использованием нейро-нечёткого моделирования. Предложен алгоритм решения двойственной задачи оптимального управления нормальными режимами ЭЭС. Данный алгоритм базируется на представлении независимых критериев подобия с помощью функций принадлежности членов целевой функции (плановых потерь мощности) соответствующим множествам. Библ. 3.

Ключевые слова: оптимальное управление, двойственная функция, нейро-нечёткое моделирование, критерий подобия.

THE DVOISTOY PROBLEM SOLUTION OF THE OPTIMAL CONTROL BY NORMAL REGIMES OF EPS WITH USING NEURO-FUZZY MODELLING

O.Yu.Petrushenko, Yu.O.Petrushenko, E.A.Rubanenko,

Vinnytsia National Technical University, Khmelnytske Shosse, 95, Vinnytsia, 21021, Ukraine.

Analyzed the possibility of dvoistoy problem solving of the optimal control normal regimes of EPS with using neuro-fuzzy modeling. Proposed algorithm of dvoistoy problem solving of the optimal control normal regimes of EPS. This algorithm based on presentation of basis similarity criterion with use function membership in the target function (planned power loss) of propering sets. References 3.

1. *Astakhov Yu.N., Lezhniuk P.D.* Criterion method applied energy. – Kyiv: UMK VO, 1989. – 140 p. (Rus)

2. *Lezhniuk P.D., Bevz S.V.* Optimization method in energy. Criterion method. – Vinnytsia: UNIVERSUM, Vinnytskyi derzhavnyi tekhnichnyi universytet. –1999. – 177 p. (Ukr)

3. *Rotshtein O.P.* Artifical technology of identification: fuzzy set, genetic algorithm, neuro networks.– Vinnytsia: UNIVERSUM, Vinnytskyi derzhavnyi tekhnichnyi universytet. – 1999. – 320 p. (Ukr)

Надійшла 26.01.2012

Received 26.01.2012