УДК 621.31

Л.Б. Терешкевич[1]
О.О. Хоменко[1]

ОСОБЛИВОСТІ ПОСТАНОВКИ ТА ВИРІШЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ СИМЕТРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ

[1] Вінницький національний технічний університет

Анотація
Розроблено алгоритм аналізу нескалярної цілочислової математичної моделі симетрування електричних режимів, який може використовуватись для вирішення задач оперативного керування.
Ключові слова: несиметрія режиму, нескалярна оптимізація, оптимальне керування.

Abstract
The algorithm of analysis of unscalar цілочислової of mathematical model of симетрування of the electric modes is developed, which can be utillized for the decision of tasks of operative management.
Keywords: unsymmetry of the mode, unscalar optimization, optimum management.

Вступ

Розв'язування всіх оптимізаційних задач у класичній математиці пов'язане із знаходженням екстремуму цільової функції f(**X**) або цільового функціонала $J\left(\tilde{\mathbf{O}}\right)=\int_{a}^{b}\tilde{\mathbf{O}}\left(t\right)dt$, де f(**X**) та **X**(t) деякі функції, визначені на відрізку [a,b]. Залежності f(**X**) та J(**X**) є скалярними функціями дійсного змінного, тобто набувають значення, що виражаються дійсним числом і можуть бути подані точкою на числовій осі. Екстремум функції f(**X**) – це найбільше або найменше значення функції на деякому відрізку.

Якщо значення змінних повинні належати деякій області допустимих значень, то оптимізаційна задача вирішується методами дослідження операцій. При цьому під оптимумом розуміється найбільше або найменше значення функції, знайдене з області допустимих значень змінних. Розв'язок задачі дослідження операцій згідно з класичними алгоритмами можливий тільки тоді, коли математичні моделі містять скалярні функції дійсних змінних.

Якщо оптимізаційна задача полягає в знаходженні максимуму або мінімуму цільового функціонала J(**X**), то застосовуються методи варіаційного числення або оптимального керування. При цьому функціонал визначається деяким набором скалярних функцій дійсного змінного та являє собою дійсне число, що залежить від обраної функції.

Зробивши узагальнення, звернемо увагу на ту обставину, що в усіх випадках розв'язування задач оптимізації класичними методами доводиться мати справу лише із скалярними функціями дійсного змінного. Проте ряд задач оптимізації режиму електричних мереж може описуватись в комплексному вигляді. До числа таких задач відносяться задачі оптимізації несиметричних режимів, критеріями оптимальності яких є параметри режиму $\dot{I}_2, \dot{U}_2, \tilde{N}$ – величини векторні, де $\dot{I}_2, \dot{U}_2$ – вектор струму і напруги зворотної послідовності; $\tilde{N}$ – комплекс пульсуючої потужності. Цільові функції цих задач в загальному вигляді можна записати таким чином:

$$\dot{F}\left(\tilde{\mathbf{O}}\right)=f\left(\tilde{\mathbf{O}}\right)+j\phi\left(\tilde{\mathbf{O}}\right), \tag{1}$$

де **X** – вектор змінних, кожний компонент якого – дійсне число; f, φ – скалярні функції; j – уявна одиниця.

Залежність (2.11) є нескалярною функцією дійсного змінного, де кожному значенню **X** відповідає певне значення функції $\dot{F}(\tilde{\mathbf{O}})$, що виражається комплексним числом і подається точкою на комплексній площині. Для таких задач відсутні класичні математичні методи пошуку оптимуму. Більш того, не дано означення самого поняття оптимуму.

Результати дослідження

Термін «оптимум» в економіко-математичних методах використовується в значенні: найкращий варіант із можливих станів системи. В цьому значенні оптимумом слід вважати стан електричної мережі, який описується мінімальними за модулем векторами (комплексами) $\dot{I}_2, \dot{U}_2, \tilde{N}$. Задача оптимізації з цільовою функцією (1) відноситься до задач нескалярної оптимізації. Під нескалярною оптимізацією будемо розуміти знаходження розв'язку, що мінімізує модуль вибраного критеріального показника [1].

Природньо для вирішення оптимізаційних задач, що містять цільову функцію виду (1), прагнення спростити її або виконати такі перетворення, щоб отримати можливість використати один із класичних методів аналізу.

Прикладами такого шляху знаходження оптимуму можуть бути такі [2].

1. Нехтування $f(\tilde{\mathbf{O}})$ або $\phi(\tilde{\mathbf{O}})$ в цільовій функції виразу (1). Наприклад, саме так діють в задачах регулювання напруги в мережах 0,4 – 10 кВ, коли нехтують поперечною складовою вектора спаду напруги. Ця складова завжди залишається набагато меншою за повздовжню складову. Але співвідношення між $f(\tilde{\mathbf{O}})$ та $\phi(\tilde{\mathbf{O}})$ в задачах симетрування електричних режимів такі, що знехтувати будь-якою із них неможливо.

2. При побудові математичної моделі керування можна зробити перехід до модулів векторів режимних параметрів, які є скалярами, тобто $F(\tilde{\mathbf{O}}) = \sqrt{f(\mathbf{X})^2 + j\phi(\mathbf{X})^2}$. Як показали дослідження, такі моделі симетрування режиму електромережі відносяться до класу нелінійних моделей, а іноді зображаються моделями квадратичного програмування. Після такого переходу для знаходження розв'язку оптимізаційної задачі можуть використовуватись уже відомі обчислювальні алгоритми, а самі розв'язки знаходяться в неперервних змінних.

Для керування, зокрема, несиметричним режимом, в реальному часі необхідні розв'язки, знайдені в цілочислових змінних, оскільки за ними стоять, наприклад, параметри СП, які мають дискретні значення або відповідне фазування несиметричних навантажень.

Розв'язування задач квадратичного програмування в цілочислових змінних пов'язане з рядом труднощів. Такі задачі керування можуть вирішуватись в неперервних змінних (без урахування цілочисловості), і якщо отриманий розв'язок задовольняє обмеження цілочисловості, то він є оптимальним для початкової цілочислової задачі. В протилежному випадку потрібно перейти до округлення компонент оптимального плану звичайної моделі квадратичного програмування до цілих чисел, але при цьому можливі розв'язки, що недопустимі за умовою задачі або не є оптимальними.

При постановці задачі симетрування режиму у вигляді задачі нескалярної оптимізації є можливість використати для її розв'язування, наприклад, алгоритм, оснований на ідеях симплекс-методу лінійного програмування, оскільки перший та другий доданки виразу (1) є лінійною функцією змінних вектора керування [3]. Така постановка задачі дає змогу:

– в два рази понизити порядок цільової функції та використати для розв'язування задачі алгоритми, що мають більш просту обчислювальну процедуру;

– знаходити розв'язки в цілочислових змінних, оскільки для цілочислових задач лінійного програмування добре розроблені обчислювальні процедури.

Таким чином, на етапі математичної постановки слід забезпечити адекватність моделі із об’єктом керування, врахувавши особливості процесів, що моделюються, та можливості реалізації керування з однієї сторони, а з іншої – слід виконати вимоги тих або інших математичних методів, за якими буде знаходитись розв’язок задачі. Для вирішення задачі можна піти на допущення, довівши, що вони суттєво не позначаться на отриманих результатах, а якщо цього зробити не можна, то доводиться, обгрунтувавши необхідними дослідженнями, адаптувати відомі математичні методи аналізу чи розробити нові. Саме для аналізу математичних моделей нескалярної оптимізації, які розглядаються далі, адаптовано класичний симплекс-метод лінійного програмування.

Наприклад, аналіз нескалярної моделі внутрішнього симетрування однофазних навантажень можна провести, використавши основні ідеї симплекс-методу лінійного програмування, згідно з алгоритмом (рис. 1). Працездатність алгоритму підтверджена розрахунками та експериментальними дослідженнями як на фізичній моделі системи електропостачання з однофазними електроприймачами, та і на діючих підприємствах.

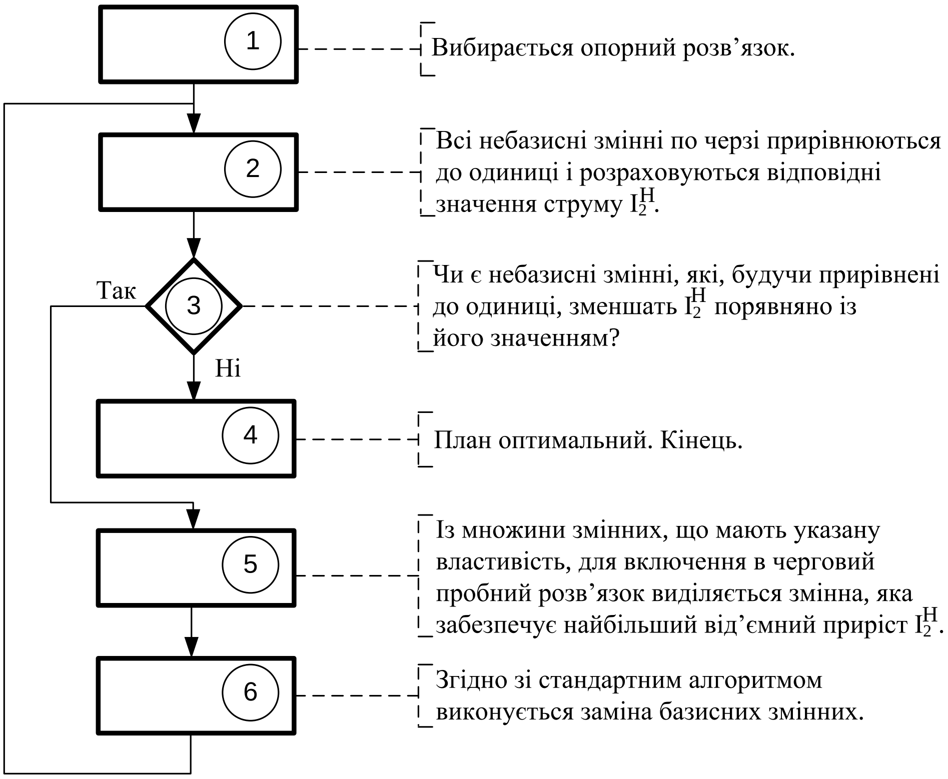

Рисунок 1 – Логічна схема розв’язування задачі внутрішнього симетрування (задачі нескалярної оптимізації)

На рис 1 $I_2^{í}$ – струм зворотної послідовності в лінії, що живить групу однофазних приймачів.

Висновок

Вирішувати цілочислові задачі симетрування електричних режимів можна методами нескалярної оптизації за розробленим алгоритмом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аввакумов В. Г. Методы нескалярной оптимизации и их приложения / В. Г. Аввакумов. – К. : Вища шк., 1990. – 188 с. − ISBN 5-11-001321-7/

2. Терешкевич Л. Б. АСУ в електроспоживанні : навчальний посібник / Л. Б. Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 136 с.

3. Милосердов В.О., Терешкевич Л.Б. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики : Навчальний посібник / В.О. Милосердов, Л.Б Терешкевич. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 123 с.

Леонід Борисович Терешкевич – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

Олександр Олексійович Хоменко – аспірант кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет.

***Leonid Boris Tereshkevich* –** Cand. Sc. (Eng), associate professor, professor of department of the electrical engineerings systems of electro-consumption and power management, Vinnitca national technical university**.**

Aleksander Alex Khomenko is a graduate student of department of the electrical engineerings systems of electro-consumption and power management, Vinnitca national technical university**.**