

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЬЮТОНА ПЕРШОГО ТА ДРУГОГО ПОРЯДКІВ В РОЗРАХУНКАХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

**Петро Лежнюк, Юрій Лук'яненко, Володимир Кулик
(м. Вінниця, Україна)**

Сучасні електричні системи (ЕС) є складними об'єктами, що насичені різноманітними засобами оперативного та автоматичного керування, та характеризуються багатомірністю та нелінійним характером [1]. Управління нормальними режимами електричних систем (НР ЕС) потребує сумісного розв'язання задач короткострокового планування, оперативного та автоматичного керування, що неможливе без проведення значної кількості розрахунків НР ЕС з метою забезпечення необхідного обсягу інформації про стан ЕС, одержання та моделювання керуючих впливів тощо.

Математичні методи розрахунків НР ЕС поділяються в залежності від вищого ступеня похідних, що використовуються в рекурентних виразах ітераційних процесів [2].

Прикладами методів нульового порядку в задачах розрахунку НР ЕС є методи Зейделя та простої ітерації. Ці методи не використовують похідних, але характеризуються надійною збіжністю лише в задачах розрахунку режимів ЕС, далеких від межі статичної стійкості, невеликої розмірності з добре обумовленою матрицею вузлових провідностей [3].

До методів першого порядку можна віднести метод Ньютона з різноманітними модифікаціями. Даний метод використовує рекурентні вирази на базі перших похідних, що одержані з залученням лінійних членів розкладення цільової функції в ряд Тейлора. Для цільової функції, що одержана з використанням методу вузлових напруг [3], який є найбільш раціональним для проведення розрахунків НР ЕС [4], лінеаризована система рівнянь може бути подана таким чином:

$$\frac{\partial F}{\partial U} (U^{(k)}, U^{(k)}) \cdot \begin{vmatrix} \Delta U^{(k)} \\ \Delta U^{(k)} \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} F' (U^{(k)}, U^{(k)}) \\ F'' (U^{(k)}, U^{(k)}) \end{vmatrix}; \quad (1)$$

де $\frac{\partial F}{\partial U}(U^{(k)}, U''^{(k)})$ - матриця чутливості Якобі з урахуванням значень вузлових напруг; $\Delta U^{(k)}, \Delta U''^{(k)}$ - поправки до відповідних складових напруг вузлів на k-й ітерації; F', F'' - дійсна та уявна складові значень небалансів струмів на k-й ітерації.

Основною перевагою даної групи методів розрахунку НР ЕС є їх квадратична збіжність. Тому вони успішно використовуються, коли мова йде про короткострокове планування, але специфіка оперативного, а тим більше автоматичного керування станом ЕС накладає ряд специфічних вимог щодо надійності одержання результатів з одного боку, та відповідності часовим та технічним обмеженням - з іншого. І саме ці вимоги не завжди задовольняються методами першого порядку, зокрема методом Ньютона, особливо, коли мова йде про обтяжені режими роботи ЕС, які в останній час стали реальними. Виходячи з цього з'явилась необхідність використання в межах оперативного керування ЕС методів аналізу станів, які забезпечили б надійність одержання рішення в умовах, що склалися. З цією метою була розроблена група методів другого порядку.

Ця група методів базується на квадратичній апроксимації вихідної системи рівнянь [3]. Сутність методів полягає у вирішенні на кожному кроці ітераційного процесу такої системи рівнянь:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial F}{\partial U}(U^{(k)}, U''^{(k)}) \cdot \begin{vmatrix} \Delta U''^{(k)} \\ \Delta U^{(k)} \end{vmatrix} + \\ & + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial U \partial U}(U^{(k)}, U''^{(k)}) \cdot \begin{vmatrix} \Delta U''^{(k)} \\ \Delta U^{(k)} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \Delta U''^{(k)} \\ \Delta U^{(k)} \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} F'(U^{(k)}, U''^{(k)}) \\ F''(U^{(k)}, U''^{(k)}) \end{vmatrix}; \end{aligned} \quad (2)$$

де $\frac{\partial^2 F}{\partial U \partial U}(U^{(k)}, U''^{(k)})$ - матриця Гессе.

Дана група методів має переваги методів першого порядку, але за рахунок більш точної апроксимації вихідної системи рівнянь має більш швидку і надійну збіжність [2]. До недоліків слід віднести деяке збільшення кількості обчислень на кожному кроці ітераційного процесу.

Порівняльний аналіз методів Ньютона першого та другого порядків проводився за допомогою розробленого програмного забезпечення. Для аналізу був використаний фрагмент ЕС 110-330 кВ "Вінницяенерго". Він містить 20 вузлів навантаження, 26 віток, 3 генеруючих вузла, 5 автотрансформаторів зв'язку.

Моделювання обтяжених станів проводились шляхом пропорційного збільшення потужностей навантаження вузлів ЕС. Проведені розрахунки НР ЕС показують, що в нормальних умовах (номінальні, та близькі до них навантаження вузлів), методи першого та другого порядків характеризуються майже однаковими показниками щодо збіжності процесу (табл.1). Графіки значень небалансів напруг ΔU по ітераціях процесу розрахунку НР ЕС наведено на рис.1. Але при деяких значеннях потужностей навантаження вузлів (більше ніж $1,95 \cdot S_{\text{НОМ}}$) використання методу Ньютона другого порядку стає значно ефективнішим, а з подальшим обтяженням режиму, одержання результату можливе лише за допомогою такого методу.

Таким чином використання методу Ньютона другого порядку в задачах аналізу режимів роботи ЕС є найбільш ефективним в умовах режимів ЕС на межі статичної стійкості, де використання інших методів не дозволяє отримати необхідного результату. Використання цього методу в задачах оптимального керування НР ЕС дозволяє підвищити ефективність керуючих дій за рахунок того, що в граничних станах оптимальне керування найбільш ефективне, а розглянутий метод скорочує час отримання оптимальних керуючих впливів і таким чином дозволяє покращити техніко-економічні показники експлуатації ЕС.

Таблиця 1

Результати розрахунків НР ЕС 110 - 330 кВ Вінницяенерго

Збільшення потужності навантаження, %	Кількість ітерацій за методом Ньютона I порядку	Кількість ітерацій за методом Ньютона II порядку	Значення взаємного відхилення результатів розрахунку, %
0	4	3	0,5
10	4	3	0,5
70	5	5	0,5
80	6	5	0,5
90	6	6	0,5
95	6	6	0,5
99	7	6	0,5
99,9	8	7	0,5
99,97	13	11	0,8
99,973	75	13	1,5
100	∞	33	--

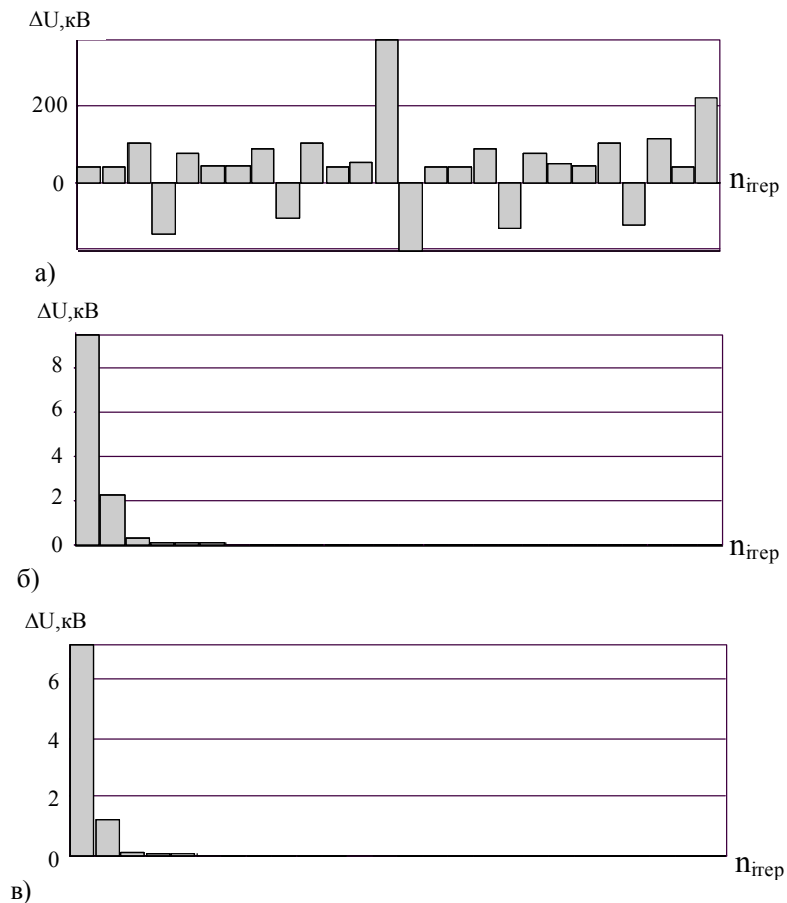


Рис.1. Діаграми змінення небалансів напруг ΔU впродовж ітераційного процесу розрахунку НР ЕС 110-330 кВ Вінницяенерго

а) для методу Зейделя;

б) для методу Ньютона першого порядку;

в) для методу Ньютона другого порядку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гамм А.З., Кучеров Ю.Н., Паламарчук С.И. Методы решения задач реального времени в энергетике / Под ред. Гамма А.З., Розанова М.Н. - Новосибирск: Наука, 1990. - 294 с.
2. Решение электроэнергетических задач методами второго порядка: Учеб. пос. / П.И. Бартоломей. Свердловск: УПИ. 1988. - 88 с.
3. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 288 с.
4. Лежнюк П.Д., Жан-Пьер Нгома, Бевз С.В. Автоматичний аналіз нормальних режимів електричних систем з математичною моделлю на основі методу Ньютона // Вісник ВПІ. - 1996. - №1. - С. 5 - 9.